

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20250227008

引用格式: 黄子益, 肖雨馨, 许焯, 等. 辣椒、花椒及关键麻辣呈味组分研究的文献计量对比分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(10): 51–60.

HUANG ZY, XIAO YX, XU Y, *et al.* Bibliometric comparative analysis of the studies on the Chili peppers, Sichuan peppers and their key pungent components [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(10): 51–60. (in Chinese with English abstract).

# 辣椒、花椒及关键麻辣呈味组分研究的文献 计量对比分析

黄子益, 肖雨馨, 许焯, 李雨彤, 陈可先\*

(浙江工商大学食品与生物工程学院, 杭州 310018)

**摘要:** **目的** 直观地揭示基于辣椒和花椒及其关键呈味组分的麻辣研究学术脉络与演化趋势。**方法** 本研究以 Web of Science 核心数据库中近 10 年 10000 多篇文献为研究对象, 采用文献计量分析方法对比解析了麻辣研究的现状与热点。**结果** 麻辣研究均呈现多学科交叉融合的持续发展态势, 涉及植物科学、食品科学技术、生物化学分子生物学、药理学药剂学、神经科学和化学等诸多领域, 且它们的研究领域侧重点存在较多不同, 辣味研究的发文量远多于麻味研究。我国是麻辣研究领域发文量最多的国家, 特别是在麻味研究方面, 我国在国际合作、作者与研究机构影响力等方面均占据领先地位。本研究通过共现、聚类 and 突现分析, 进一步揭示了麻辣研究的热点和突跃关键词。**结论** 当前麻辣研究热点的共同点为花椒或辣椒及其主要成分的呈味与活性相关研究, 不同点为辣味研究主要聚焦辣椒及其相关食品在健康与品质方面的研究, 麻味研究则主要聚焦花椒及其关键组分在呈味、品质、健康效应等方面的研究。本研究可为食品科学技术、植物科学、药理学和医学等领域的专家学者把握麻辣研究的现状、规律和方向提供理论依据。

**关键词:** 食品风味; 麻辣; 研究热点; 文献计量分析; 科学引文索引

## Bibliometric comparative analysis of the studies on the Chili peppers, Sichuan peppers and their key pungent components

HUANG Zi-Yi, XIAO Yu-Xin, XU Ye, LI Yu-Tong, CHEN Ke-Xian\*

(School of Food Science and Biotechnology, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310018, China)

**ABSTRACT: Objective** To reveal an intuitive understanding of the academic context and evolutionary trends of the pungent studies based on Chili peppers and Sichuan peppers, as well as their key pungent components. **Methods** Over 10000 articles in the core database of the Web of Science over the past decade had been taken as the research object, and the current status and hotspots of pungent research had been compared and analyzed using the bibliometric analysis methods. **Results** The pungent study presents a continuous trend of the interdisciplinary integration, where many

收稿日期: 2025-02-27

基金项目: 国家级大学生创新创业训练计划项目(202410353014); 浙江省新苗人才计划项目(GJ20250445659)

第一作者: 黄子益(2003—), 女, 主要研究方向为食品风味化学。E-mail: huangziyi8882025@163.com

\*通信作者: 陈可先(1983—), 男, 博士, 讲师, 主要研究方向为食品风味化学。E-mail: kxchem@zjgsu.edu.cn

fields were involved such as plant science, food science and technology, biochemistry and molecular biology, pharmacology and pharmacy, neuroscience and chemistry, and the focuses of the pungent studies were quite different. The number of the publications on the pungent (Là) research was much higher than that on pungent (Má) research. China was the country that had the highest number of publications in the field of both pungent researches, especially in the pungent (Má) research, where China occupied a leading position in the aspects like international cooperation and the influence of the author and research institution. The hot topics and burst keywords in pungent studies had been further revealed through the co-occurrence, clustering and burst occurrence analysis of keywords. **Conclusion** Currently, the commonality lies in the research on the pungency and biological activity of Sichuan peppers or Chili pepper and their main components. The difference is that the pungent (Là) research mainly focuses on the health and quality of Chili peppers and related foods, while the pungent (Má) research focuses more on the pungency, quality and health effects of Sichuan peppers and its key components. The theoretical basis can be provided for the experts and scholars in the fields of plant science, food science and technology, pharmacy and medicine to grasp the current situation, laws and directions of the pungent research.

**KEY WORDS:** food flavor; pungency; research hotpots; bibliometrics; science citation index

## 0 引言

辣椒和花椒是传统菜肴、川味火锅和加工食品的常见的香辛料，它们不仅赋予食品独特的麻辣风味，还赋予了消费者喜爱的颜色和所追求的诸多健康功效，比如抗氧化、减盐等<sup>[1-2]</sup>。据文献报道<sup>[3-4]</sup>，辣椒和花椒也可以用于治疗 and 预防多种疾病。

目前，辣椒与花椒相关研究主要围绕以下几个方面开展：(1)食品安全<sup>[5]</sup>，比如农药残留分析、有害重金属分析；(2)干燥、储藏、保鲜、煮沸等过程或气候对果实风味等的影响<sup>[6-7]</sup>；(3)发酵萃取物的毒性评价<sup>[8]</sup>；(4)多糖等营养成分的含量分析<sup>[9]</sup>；(5)呈味评价研究<sup>[10]</sup>；(6)挥发性成分分析<sup>[11]</sup>；(7)生物活性物质的含量分析及其健康效应评价<sup>[12]</sup>；(8)山椒素类麻味组分和辣椒素类辣味组分的合成<sup>[13-14]</sup>、呈味评价<sup>[15-16]</sup>、呈味机制<sup>[17]</sup>、呈味预测<sup>[18-19]</sup>和结构稳定性研究<sup>[20-21]</sup>；(9)转录调控与成熟度调节研究<sup>[22-23]</sup>；(10)消费者喜好评价<sup>[24-25]</sup>；(11)辣椒或花椒对食品品质的影响<sup>[26]</sup>；(12)品种遗传多样性分析及脱氧核糖核酸指纹图谱构建<sup>[27]</sup>；(13)精准采摘、分选与病虫害管理程序的开发<sup>[28-29]</sup>；(14)麻辣食品加工。

虽然文献中已有花椒与辣椒相关的综述<sup>[4,9,24]</sup>，但大多数文献仅是围绕花椒或者辣椒的某一个角度分别进行综述，尚未有文献对两者研究的整体情况进行综述与对比分析。因此，辣椒与花椒及相关的主要领域的现状、热点、学术脉络和演化趋势缺乏系统认识。文献计量分析方法正好弥补了这一不足，不仅可以从大数据分析角度揭示领域的现状和热点，还可以较好地预测未来的发展趋势和可能的热点领域，也有助于认识学科交叉的情况。在前期对食品基本味觉<sup>[30]</sup>、辣味<sup>[31]</sup>、厚味<sup>[32]</sup>和脂肪味研究<sup>[33]</sup>以及食

品风味研究中常见的离子迁移谱技术<sup>[34]</sup>分别开展文献计量分析的基础上，本研究对花椒和辣椒及其关键呈味组分开展文献计量对比分析，以更好地揭示这些研究现状与演化趋势的差异，为专家学者准确把握麻辣领域研究方向提供理论指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据来源

本研究数据均源自 Web of Science (WOS) 核心库。其中，辣味研究的文献数据收集自 2016 年 9 月 5 日至 2024 年 9 月 5 日期间，关键词为“capsaicin”或“Chili pepper”或“*Capsicum*”，共获得 9959 篇文献。考虑麻味相关文献较少，麻味研究的文献数据收集自 2008 年 9 月 5 日至 2024 年 9 月 5 日，关键词为“sanshool”或“Sichuan pepper”或“*Zanthoxylum Bungeanum*”，共获得 682 篇文献。选用这些关键词可以聚焦辣椒、花椒及其关键麻辣呈味组分的核心文献。本研究的文献计量分析与讨论均以此源文献及其时间范围为基础分别开展。由于检索条件的限制，数据难免会有些遗漏。

### 1.2 统计方法

在上述文献基础上，使用 WOS 数据库自带的检索分析功能分析文献，同时采用 VOSviewer 1.6.20 软件 (<https://www.vosviewer.com/>) 和 Citespace 6.3.R3 软件 (<https://citespace.podia.com/>) 分别对文献数据进行可视化分析。VOSviewer 软件的主要操作步骤为：从 WOS 数据库导出文献信息(TXT 格式)后先对文献去重，再分别选择对应的数据类型和单元进行处理，调整阈值，生成所需的可视化聚类图。Citespace 软件的主要操作步骤为：在导入 TXT

格式文件后进行文献除重操作, 设置时间跨度, 选用算法和节点类型等, 分别对麻味和辣味主题的关键词、引文和作者等进行聚类、共被引和突现分析, 生成可视化图形。

## 2 结果与分析

### 2.1 麻辣研究年发文量的对比分析

根据 WOS 数据库的统计结果, 辣味研究排名前 10 的领域分别为植物科学(1390 篇)、食品科学技术(1176 篇)、生物化学分子生物学(959 篇)、药理学药剂学(856 篇)、神经科学(773 篇)、园艺(630 篇)、农学(622 篇)、化学多学科(525 篇)、多学科科学(481 篇)和临床神经病学(363 篇), 而麻味研究排名前 10 的领域分别为食品科学技术(217 篇)、化学(187 篇)、农业(91 篇)、药理学药剂学(78 篇)、生物化学分子生物学(74 篇)、植物科学(62 篇)、营养膳食学(45 篇)、环境科学生态学(40 篇)、科学技术其他主题(33 篇)和综合性补充医学(20 篇)。麻辣研究均呈现出多学科交叉融合的发展态势, 且研究领域侧重点的差异较大。辣味研究的发文量明显多于麻味研究, 可能原因是麻味研究起步较晚或者研究尚未足够深入。

从图 1 可知, 麻辣研究总体呈现逐年稳定上升趋势。

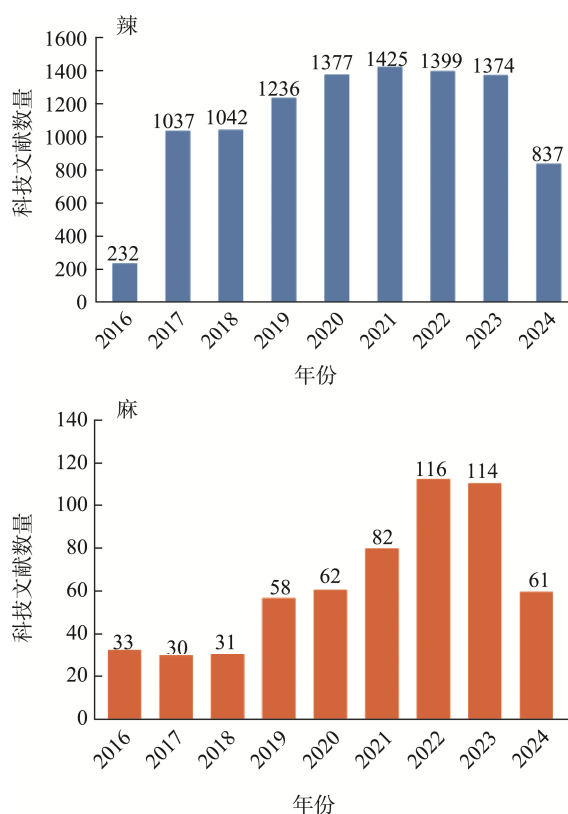


图 1 麻辣研究发文量的逐年变化对比图

Fig.1 Annual changes in the number of papers published in the pungent research fields

其中, 辣味研究发文量较多且相对稳定(年均 1400 篇左右), 而麻味研究发文量增加迅速。据统计, 2008—2015 年之间麻味研究年发文量均低于 21 篇。由于源数据提取日期为 2024 年 9 月 5 日, 所以 2024 年的数据偏少, 但 2025 年 1 月 20 日检索的数据(辣味 2303 篇; 麻味 121 篇)进一步验证了麻辣研究的增长趋势。

麻辣研究发文量前 10 的国家见表 1。由表 1 可知, 中国是麻辣研究发文量均最多的国家。辣味研究方面, 中国的 H 指数、总被引频次和篇均被引次数还有待提高。麻味研究方面, 中国的 H 指数和总被引频次遥遥领先, 但篇均被引次数低于印度、美国和德国等国家。因此, 我国还需要持续加强麻辣研究的高质量成果产出。

表 1 麻辣研究发文量前 10 的国家

Table 1 Top 10 countries in terms of the number of publications in the pungent research fields

国家/地区	发文数	中介中心度	H 指数	总被引频次	篇均被引
中国	2029	0.02	66	30613	15.09
美国	1741	0.16	75	33828	19.41
印度	780	0.05	41	8747	11.21
韩国	631	0.02	38	7658	12.14
巴西	610	0.02	34	6774	11.09
墨西哥	582	0.02	36	5618	9.65
日本	541	0.01	33	6059	11.20
德国	437	0.06	39	7657	17.52
西班牙	394	0.02	41	6548	16.62
意大利	372	0.09	41	7172	19.28
中国	594	0.99	44	8391	14.13
美国	36	0.22	17	993	27.58
日本	33	0.08	15	593	17.97
英国	15	0.10	7	149	9.93
意大利	11	0.00	7	139	12.64
韩国	11	0.04	6	121	11.00
印度	7	0.02	5	314	44.86
加拿大	6	0.00	3	90	15.00
德国	6	0.01	4	123	20.50
埃及	5	0.03	3	125	25

### 2.2 麻辣研究主要脉络及其交互的对比分析

#### 2.2.1 国家的影响力及其合作网络分析

采用 Citespace 软件分别研究了麻辣研究国家间的合作关系( $k$  值设为 25)。主要国家的中介中心度见表 1, 其中, 中介中心度数值越大, 说明该国家与其他国家间的合作越密切。辣味研究由 135 个国家构成合作网络的关节点,

共 1361 条连线,网络密度为 0.1505; 麻味研究由 43 个国家构成合作网络的关联节点,共 72 条连线,网络密度为 0.0797。由此可见,辣味研究的国家间合作密切程度强于麻味研究。其中,与其他国家间合作最频繁(中介中心度较大)的国家分别为:美国(0.16)、意大利(0.09)和德国(0.06)(辣味研究方面);中国(0.99)、美国(0.22)、英国(0.10)和日本(0.08)(麻味研究方面)。

采用 VOSviewer 软件进一步呈现了麻辣研究领域国家间合作的关系图(图 2)。在绘图过程中,限制辣味研究的最大共同作者论文数上限为 25 篇,最小发文数为 45 篇,共筛选出 43 个国家;限制麻味研究的最大共同作者论文数上限为 25 篇,最小发文数为 2 篇,共筛选出 26 个国家。其中圆圈的大小反映该发文数,不同的圆圈颜色代表不同的合作组,圆圈间连线的粗细和长短均反映国家间合作的密切程度。虽然本研究对可视化参数做了限制,但依然可以看出许多国家在辣味研究方面均存在紧密的合作,而麻味方面主要是我国与其他国家间的合作。

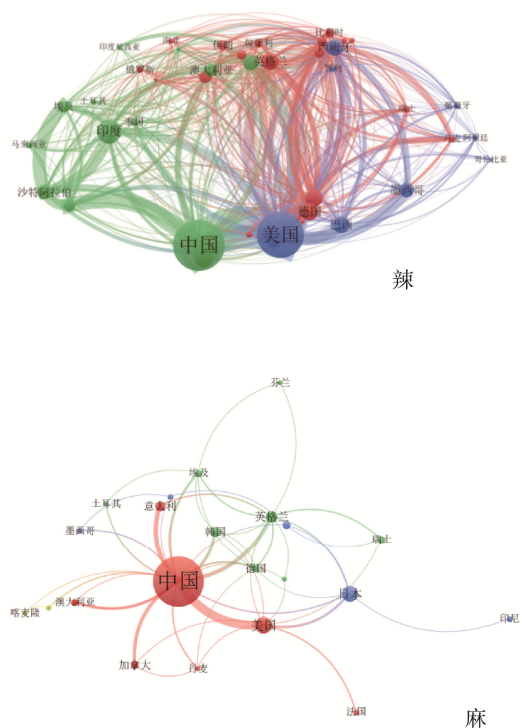


图 2 麻辣研究国家间的合作关系图

Fig.2 Cooperation relationship of the countries in the pungent research fields

### 2.2.2 研究机构的影响力及其合作网络分析

麻辣研究发文量前 10 的研究机构见表 2。辣味研究发文量前 110 的机构发文量均大于 80 篇,发文量前 3 的机构为加州大学系统(170 篇)、埃及知识库(163 篇)和首尔大学(154 篇);中介中心度前 3 的机构为加州大学系统

(0.35)、中国科学院(0.12)和埃及知识库(0.11)。麻味研究发文量前 10 的机构发文量均大于 20 篇,发文量排在前 3 的机构为西北农林科技大学(106 篇)、中国科学院大学(41 篇)和西南大学(40 篇);中介中心度为前 3 的机构为中国科学院(0.22)、西南大学(0.20)和成都中医药大学(0.12)。由表可知,辣味研究方面发文量多的中国研究机构偏少,麻味研究则由中国研究机构主导。图 3 为麻辣研究的机构间合作网络图,其中,辣味研究限制机构最少发文量为 35 篇,共筛选出 58 个机构;麻味研究限制机构最少发文量为 6 篇,共筛选出 44 个机构。尽管做了参数限制,但呈现的规律几乎与表 2 一致。

### 2.2.3 学术期刊的影响力及其合作网络分析

不同学术期刊上的发文量及其互引关系在一定程度上可以反映不同期刊对某个领域的重要性。采用 VOSviewer 软件绘制麻辣研究主要学术期刊间的互引关系图(图 4),其中最小发文量分别设为 7 篇(辣味研究)和 1 篇(麻味研究),分别共有 338 个和 331 个期刊成为图中节点。由图 4 可知,麻辣研究所在期刊间的互引关系较为密切。辣味研究方面,期刊 International Journal of Molecular Sciences、Scientific Reports、Food Chemistry、Frontiers in Plant Science 和 Plants-Basel 的发文量位于前 5。由期刊

表 2 麻辣研究发文量前 10 的机构

Table 2 Top 10 institutions with the most papers published in the pungent research fields

	机构	发文量	中介中心性	国家
辣味研究	加州大学系统	170	0.35	美国
	埃及知识库	163	0.11	埃及
	首尔大学	154	0.05	韩国
	印度农业研究理事会	135	0.05	印度
	中国科学院	110	0.12	中国
	中国农业农村部	104	0.06	中国
	宾夕法尼亚联邦高等教育系统	99	0.08	美国
	墨西哥国立理工学院	96	0.06	墨西哥
	中国农业大学	93	0.03	中国
	韩国农业发展管理局	87	0.02	韩国
麻味研究	西北农林科技大学	106	0.11	中国
	中国科学院	41	0.22	中国
	西南大学	40	0.20	中国
	成都中医药大学	38	0.12	中国
	四川农业大学	38	0.06	中国
	四川大学	30	0.06	中国
	农业农村部	23	0.07	中国
	中国标准化研究院	21	0.05	中国
	中国科学院大学	20	0.05	中国
	贵州师范大学	20	0.02	中国

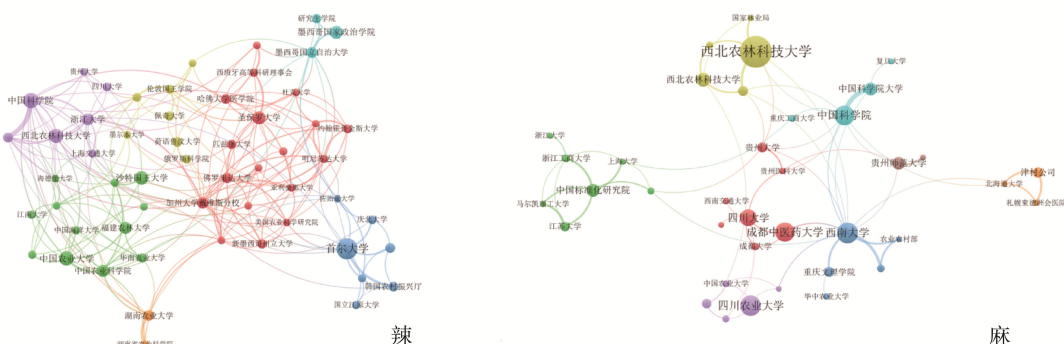


图 3 麻辣研究的主要研究机构合作关系图

Fig.3 Cooperation relationship of the major research institutions in the pungent research fields



图 4 麻辣研究的主要学术期刊互引关系图

Fig.4 Mutual citation relationship of the major academic journals in the pungent research fields

名可知, 辣味研究涉及分子科学、植物科学、食品化学、神经科学和药学等领域。麻味研究方面, 期刊 Food Chemistry、Foods 和 Industrial Crops and Products 的发文量位于前 3。由期刊名可知, 麻味研究主要涉及食品化学、食品分析、农学、天然产物、营养、生物资源和药物等方面。

#### 2.2.4 作者的影响力及其合作网络分析

由表 3 可知, 在辣味研究发文量前 10 的作者中, 5 位作者来自中国, 3 位来自韩国, 2 位分别来自日本和西班牙, 人均发文量在 25 至 51 篇之间。而在麻味研究方面, 全部前 10 的作者来自中国, 人均发文量在 12 至 50 篇之间。由此可见, 我国单个作者发文量在麻辣领域具有较大的影响力。

采用 VOSviewer 软件绘制麻辣研究主要作者间的合作关系图(图 5)。辣味研究方面, 限制最大共同作者上限为 25, 最小发文数 12 篇, 共筛选出 47 位作者; 麻味研究方面, 限制最大共同作者上限为 25, 最小发文数 5 篇, 共筛选出 67 位作者。由图 5 可知, 在辣味研究方面, Kang BC、Gong ZH、Xie JM、Zou XX 等分别与多位作者合作较为密切, 作

者合作情况可分为 7 类; 在麻味研究方面, Wei AZ、Peng W、Zhao L、Wang DM 等分别与多位作者合作较为密切, 作者合作情况可分为 9 类。

### 2.3 麻辣研究主要热点及其演化的对比分析

#### 2.3.1 关键词的共现分析

采用 Citespace 软件对麻辣研究的关键词进行了共现分析, 生成了研究热点视图(图 6), 其中辣味和麻味研究的  $k$  值分别设为 5 和 10。图中每个节点代表一个关键词, 节点大小表示关键词出现频次高低, 节点间连线及其粗细表示关键词共现的紧密程度。

辣味研究的热点关键词为辣椒、辣椒素、表达、激活、辣椒素受体、生长、机制、疼痛、鉴定、受体、离子通道、品质、辣椒、抵抗性、抗氧化活性、神经性疼痛、氧化应激和响应。辣味研究目前聚焦于辣椒、辣味呈味及其分子机制、抗氧化活性、镇痛和结构鉴定等多个方面。麻味研究的热点关键词为花椒、精油、烷基酰胺、化学成分、氧化应激、提取、活化、叶、抗氧化活性、鉴定、花椒和成分。麻味研究目前聚焦于花椒与花椒油及其化学组成、

表 3 麻辣研究发文量前 10 的作者  
Table 3 Top 10 authors with the most papers in the pungent research fields

作者	文献数	机构	国家
Kan B-C	51	国立首尔大学	韩国
He SL	41	福建农林大学	中国
Gong Z-H	39	西北农林科技大学	中国
Yang S	31	福建农林大学	中国
Tominaga M	30	国家自然科学基金研究所	日本
Zhang BX	30	中国农业科学院	中国
Lim CW	28	中央大学	韩国
Kwon J-K	27	国立首尔大学	韩国
Ou LJ	25	湖南农业大学	中国
Palma JM	25	西班牙高等科研理事会	西班牙
Wei AZ	50	西北农林科技大学	中国
Wu CJ	21	成都中医药大学	中国
Zhang ZQ	19	四川农业大学	中国
Liu YL	19	西北农林科技大学	中国
Fei XT	17	西北农林科技大学	中国
Zhao L	16	中国标准化研究院	中国
Wang DM	15	西北农林科技大学	中国
Peng W	14	成都中医药大学	中国
Shi B-L	14	中国标准化研究院	中国
Hou XY	12	四川农业大学	中国

辣味研究

麻味研究

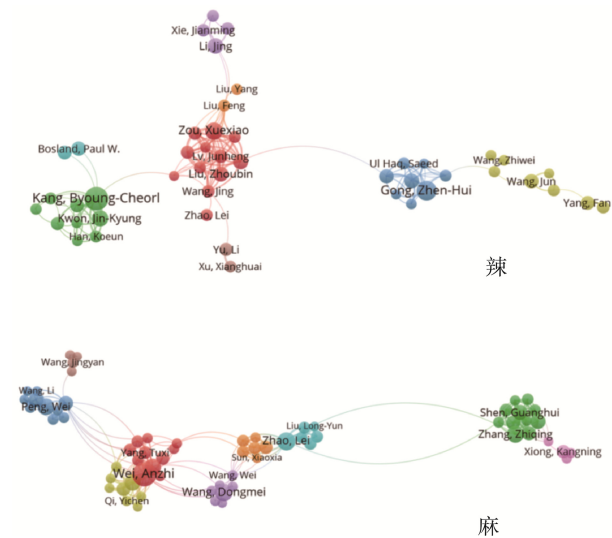


图 5 不同国家作者间麻辣研究的合作关系图  
Fig.5 Cooperation relationship of the authors in the different countries in the pungent research fields

2.3.2 关键词的聚类分析

为了更好地了解麻辣研究的现状，本研究对相关关键词进行了聚类分析，得到了关键词聚类图谱(图 7)。其中，辣味研究聚类的平均轮廓值(S)为 0.758，模块化值(Q)为 0.4693；麻味研究聚类的 S 值为 0.8219，Q 值为 0.4427。Q 和 S 值均分别大于 0.3 和 0.7，因此，上述聚类结果是可靠的。辣味研究大体可以归类为#0 辣椒素受体、#1 辣椒、#2 抗氧化活性、#3 双盲实验和#4 系统 5 种。#0、#1 和#2 是包含关键词最多的聚类，且其之间有较多交叉，说明辣椒、抗氧化活性、基于辣椒素受体的研究最受关注。聚类顺序说明目前辣味研究开始关注介于#0、#1 和#2 视角之间可能忽略的细节，比如不同辣椒的抗氧化活性对比，不同辣椒中辣味物质与受体之间的相互作用等。麻味研究大体可归类为#0 胡椒木、#1 转录组、#2 脂质氧化、#3 透皮吸收促进剂、#4 术后肠梗阻、#5 四川花椒、#6 肠道菌群、

麻味组分及其呈味机制、抗氧化活性和分离萃取等多个方面。麻辣研究的相同点主要为花椒或辣椒及其主要组分的呈味与活性相关研究。从图 6 中还可以看出，麻辣研究还涉及生物合成、包埋缓释、蛋白质、基因表达、细胞、生物活性(如炎症与抗菌)和共存组分(如黄酮等多酚)等方面的研究。

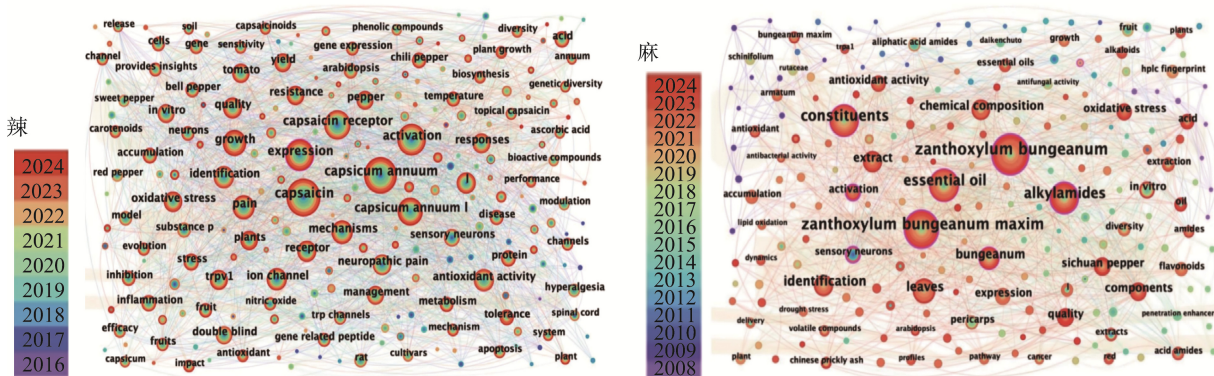


图 6 麻辣研究关键词的共现图谱  
Fig.6 Co-occurrence map of keywords in the pungent research fields

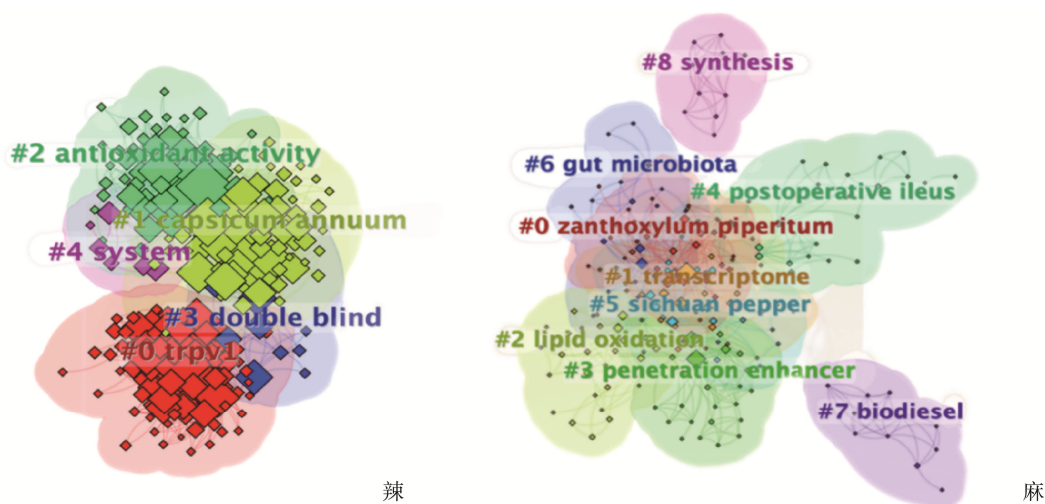


图 7 麻辣研究关键词的聚类图谱

Fig.7 Cluster map of keywords in the pungent research fields

#7 生物柴油和#8 合成 9 种。这说明麻味研究涉及领域分类多于辣味, 前几年重花椒的种植、品质和药效等, 至近几年开始逐步关注麻味相关物质的合成, 以及肠道菌群和生物柴油等新领域。

2.3.3 关键词的突现分析

麻辣研究关键词的突现图谱(图 8)较为清晰呈现了近几年领域主题的演变过程及其未来发展方向。辣味研究方面共筛选出 22 个 top 关键词, 突现强度在 10.45 至 21.97 之间, 突现强度在 15 以上共 5 个关键词, 分别为鼠、初级感觉神经元、小鼠、食品和体内。2016 年就出现的关键词

共 6 个, 包含鼠、初级感觉神经元、感觉神经元、脊髓、炎性疼痛和中枢敏化。2022 年至今依然有突现强度的 4 个关键词是食品、肥胖、稳定性和抗真菌活性, 这也说明辣味食品及其健康是当前辣味研究的关注点。整体上, 关键词的突现时间绝大多数持续 2 至 3 年, 仅有食品和中枢敏化两个关键词持续 4 年。根据这些 top 关键词可知, 辣味研究还突现在离子通道、健康、毒性、辣味受体、人、盐胁迫、感觉神经和质谱等领域。

麻味研究方面共筛选出 25 个 top 关键词, 突现强度(2.1 至 6.18)远低于辣味的 top 关键词。其中, 酯交换是 2008 年

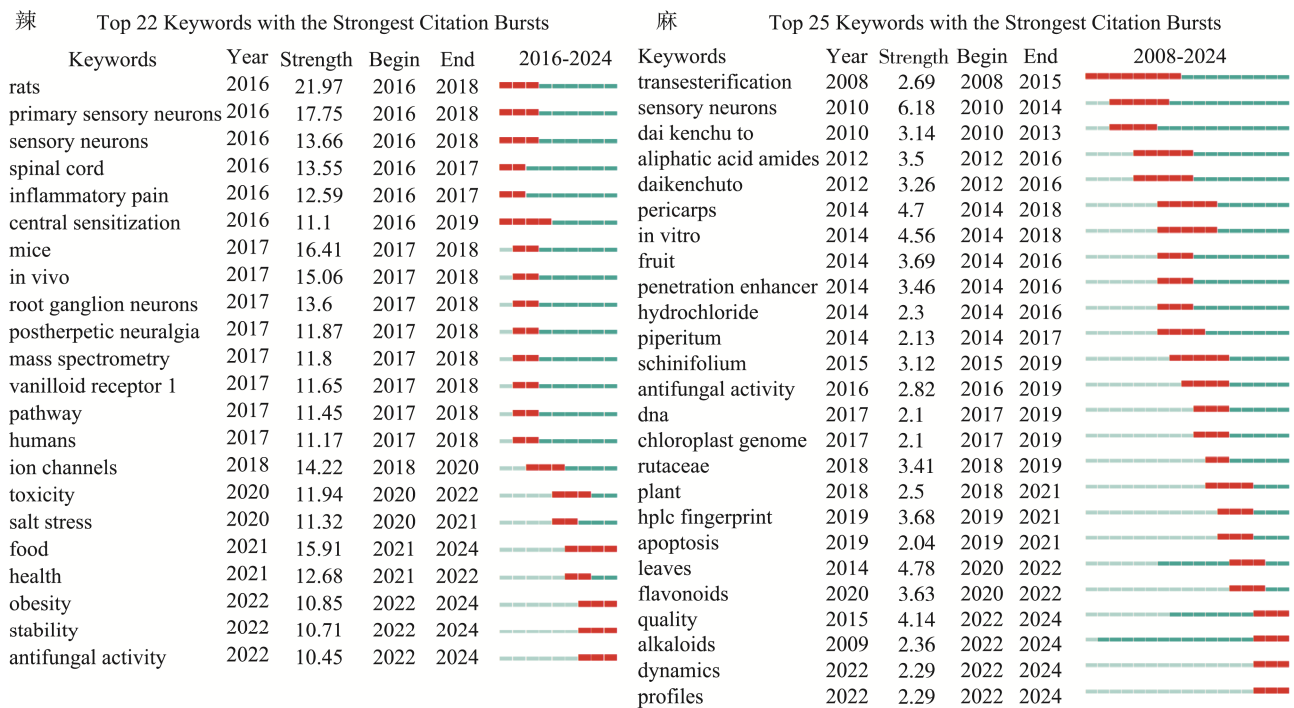


图 8 麻辣研究关键词的突现图谱

Fig.8 Burst map of keywords in the pungent research fields

就已突跃且持续时间最长(8 年)的关键词,说明当初就有较多研究关注麻味物质的合成。持续时间长达 5 年的关键词是感觉神经元、脂肪酸酰胺、daikenchuto(大建中汤)、体内和 schinifolium(崖椒),且感觉神经元的突现强度最强(6.18)。2022 年至今依然持续突现的关键词是品质、生物碱、动力学和轮廓,这说明目前更加关注花椒的品质及其关键活性组分的相关研究。根据麻味研究 top 关键词可知,麻味研究还突现在麻味呈味组分、花椒叶、花椒活性成分(如生物碱与黄酮)、生物活性(如抗真菌)、感觉神经、渗透增强、中药、脱氧核糖核酸和液相色谱等。

因此,麻辣研究在关键词突现方面存在较大的差异,辣味研究更多关注辣椒及其相关食品对人或鼠健康的影响,而麻味研究更聚焦于花椒中活性组分或呈味组分方面的研究。

### 2.3.4 高影响力文献对比分析

通过检索 WOS 数据库,本研究获得了麻辣研究引用频次前 10 的论文,这些文章一定程度上代表了近几年麻辣研究领域的热点。其中,辣味研究高影响力论文的单篇被引次数在 248 至 1522 之间,主要涉及植物学、生物化学与分子生物学、医学和物理化学等领域,包含了风湿性关节炎<sup>[35]</sup>、植物生物刺激剂<sup>[36]</sup>、神经元<sup>[37]</sup>、大麻素配体<sup>[38]</sup>、非生物胁迫<sup>[39]</sup>、瞬时受体电位离子通道<sup>[40]</sup>、可生物降解与微生物群落<sup>[41]</sup>、光伏效率<sup>[42]</sup>、热致休克蛋白<sup>[43]</sup>和炎症<sup>[44]</sup>等。麻味研究高影响力论文的单篇被引次数在 98 至 203 之间,主要涉及植物学、食品科学与技术、生物化学与分子生物学、能源和医学等领域,涵盖了伤口愈合与药用植物<sup>[45]</sup>、 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂与糖尿病<sup>[46]</sup>、药理学、药代动力学与毒理学<sup>[47]</sup>、生物柴油与催化剂<sup>[48-49]</sup>、瞬时受体电位离子通道<sup>[50]</sup>、分子结构鉴定与表征<sup>[51]</sup>、双孔钾离子通道与神经元<sup>[52]</sup>、渗透促进剂<sup>[53]</sup>和自由基清除剂<sup>[54]</sup>等。由此可见,麻辣研究均呈现出学科交叉的趋势,但研究领域有较大的差异,辣味研究更关注辣椒种植及其健康效应方面的研究,而麻味研究聚焦于关键组分含量分析及其与呈味受体相互作用、花椒及其组分的健康效应。

## 3 结 论

本研究以辣椒和辣椒素、或花椒和山椒素为关键词分别对 WOS 核心库中近 9 年辣味研究和近 16 年麻味研究的现状、热点和演变趋势进行了文献计量分析。研究表明,麻辣研究涉及多学科交叉领域,发文量均呈逐年增长趋势。我国在麻辣研究领域的发文量最多,在麻味研究方面多个指标处于领先地位,但篇均引用次数排名偏低。关键词共现分析表明,麻辣研究均聚焦于呈味组分及其机制,以及花椒或辣椒及其生物活性研究;关键词聚类分析表明,麻味研究涉及花椒种植、品质、药效和健康效应等方面,辣味研究涉及辣椒、辣味受体和抗氧化活性等方面;关键词

突现分析表明,辣味研究突现强度均大于麻味研究,且辣味研究更多关注辣椒及其相关食品对健康的影响,而麻味研究则更聚焦于花椒中活性组分或呈味组分方面的研究。在未来,麻辣研究可以从以下几个方面深入开展研究:(1)花椒与辣椒的品质鉴定与提升、属地追溯与精准分类;(2)花椒与辣椒中农药残留与微生物快速检测方法开发;(3)花椒与辣椒中营养成分及其功能的挖掘;(4)花椒与辣椒及其呈味物质的一致性呈味评价方法的开发与精准分级;(5)花椒与辣椒中新型麻辣呈味物质的发现、生物合成路径的揭示及其含量的靶向富产;(6)花椒与辣椒及其相关食品呈味的消费者喜好评价及其在食品开发中的应用;(7)呈味物质呈味的影响因素考察及其镇痛效果评价、生物活性研究;(8)花椒与辣椒及其相关食品的加工与储存方式优化;(9)麻辣呈味物质标准品的制备、稳定性研究及其调控方法;(10)麻辣食品呈味与呈味物质、呈味影响因素间的定性或定量相关性研究;(11)不同麻辣呈味物质与麻辣受体间相互作用的热力学与动力学机制,以及该相互作用与呈味间的定性或半定量关系。此外,继续加强国际化交流合作,强化多学科交叉融合研究,进一步提升我国麻辣研究在国际上的学术地位与影响力。

## 参考文献

- [1] RODRIGUES CA, ZOMER APL, FARIA DR, *et al.* A miniaturized analytical method based on the  $\mu$ -QuEChERS method for the determination of capsaicinoids, cytotoxicity, antioxidant, and antifungal activities of red pepper extracts (*Capsicum* spp.) [J]. Food Analytical Methods, 2025. DOI: 10.1007/s12161-024-02744-0
- [2] ZHANG QB, ZHAO L, GAO, HY, *et al.* The enhancement of the perception of saltiness by Sichuan pepper oleoresin in a NaCl model solution [J]. Food Research International, 2020, 136: 109581.
- [3] CHEN ML, CHEN XM, CHEN QH, *et al.* Potential candidates from a functional food *Zanthoxyl Pericarpium* (Sichuan pepper) for the management of hyperuricemia: High-through virtual screening, network pharmacology and dynamics simulations [J]. Frontiers in Endocrinology, 2024, 15: 1436360.
- [4] ZHANG D, SUN X, BATTINO M, *et al.* A comparative overview on *Chili* pepper (*Capsicum Genus*) and Sichuan pepper (*Zanthoxylum Genus*): From pungent spices to pharma-foods [J]. Trends in Food Science & Technology, 2021, 117: 148-162.
- [5] PARK M, KIM SH, BAE S, *et al.* Monitoring of pesticide residues in *Chili* peppers using international pesticide monitoring data for safety management [J]. Toxics, 2024, 24(7): 508.
- [6] DONG TY, WANG SW, QI N, *et al.* Unraveling the influence of boiling time on aroma generation in Huajiao (*Zanthoxylum bungeanum* Maxim.) water during boiling through molecular sensory science [J]. Food Chemistry-X, 2024, 24: 10193.
- [7] WU YH, ZHUO ZH, QIAN QQ, *et al.* Chemotaxonomic variation of volatile components in *Zanthoxylum Bungeanum* peel and effects of climate on volatile components [J]. BMC Plant Biology, 2024, 24(1): 793.

- [8] GU XY, XU GW, LIANG CH, *et al.* Optimization of fermentation process of *Zanthoxylum bungeanum* seeds and evaluation of acute toxicity of protein extract in mice [J]. *Foods*, 2024, 13(24): 4004.
- [9] ZHANG T, ZHENG JF, CHEN MJ, *et al.* A mini review of polysaccharides from *Zanthoxylum bungeanum maxim*: Their extraction, purification, structural characteristics, bioactivity and potential applications [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2024, 282(Part3): 137007.
- [10] YANG HJ, ZHUO ZH, QIAN QQ, *et al.* Multi-omics strategy to reveal the numbing taste of *Zanthoxylum armatum* DC. at different developmental stages [J]. *Industrial Crops and Products*, 2024, 22: 119405.
- [11] FENG JZ, ZHANG BB, ZHANG HN, *et al.* Combining with E-nose, GC-MS, GC-IMS and chemometrics to explore volatile characteristics during the different stages of *Zanthoxylum bungeanum maxim* fruits [J]. *Food Research International*, 2024, 195: 114964.
- [12] SEONG GU, KIM SS, YUN DY, *et al.* Characterization of bioactive compounds in phytophthora blight-infected red pepper powder (*Capsicum annuum*) and nondestructive discrimination of adulteration ratios using hyperspectral imaging [J]. *Food Bioscience*, 2025, 63: 105662.
- [13] DETHE DH, NAGABHUSHANA CB. Ruthenium-catalyzed direct dehydrogenative cross-coupling of allyl alcohols and acrylates: Application to total synthesis of hydroxy  $\beta$ -sanshool, ZP-amide I, and chondrillin [J]. *Organic Letters*, 2020, 22: 1618–1623.
- [14] NAKANIWA R, MISAWA Y, NAKASATO S, *et al.* Biochemical aspects of putative aminotransferase responsible for converting vanillin to vanillylamine in the capsaicinoid biosynthesis pathway in *Capsicum* plants [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2023, 72: 559–565.
- [15] BADER M, STARK TD, 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: 2479–2488.
- [16] PENG BX, WANG JL, PENG ZH, *et al.* Studies on the synthesis, pungency and antibiofouling performance of capsaicin analogues [J]. *Science China Chemistry*, 2012, 55: 435–442.
- [17] YANG F, ZHENG J. Understand spiciness: Mechanism of TRPV1 channel activation by capsaicin [J]. *Protein Cell*, 2017, 8: 169–177.
- [18] TAO WW, LI QY, CHEN KX, *et al.* Mechanistic elucidation of the oral pungency of capsaicin-related dietary components: Spatial structural insights [J]. *Food Chemistry*, 2021, 353: 129429.
- [19] CHEN KX, XUE LL, LI QY, *et al.* Quantitative structure-pungency landscape of sanshool dietary components from *Zanthoxylum* species [J]. *Food Chemistry*, 2021, 301: 130286.
- [20] WU QY, YU PY, LI JS, *et al.* Mechanistic elucidation of the degradation and transformation of hydroxy- $\alpha$ -sanshool and its conformers as the pungent dietary components in Sichuan pepper: A DFT study [J]. *Food Chemistry*, 2024, 430: 137078.
- [21] CHEN KX, ZENG LR, HE ZJ, *et al.* The degradation and antioxidant activities of capsaicinoid pungent dietary components from peppers and gingers: The mechanistic insights [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2025, 219: 117557.
- [22] VILLA-RIVERA MG, OCHOA-ALEJO N. Transcriptional regulation of ripening in *Chili* pepper fruits (*Capsicum* spp.) [J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2021, 22(22): 12151.
- [23] PAL S, DAS A, ROY S, *et al.* Nano selenium modulates ripening of *Capsicum* fruit under postharvest storage: Cellular redox and related physiological characteristics [J]. *Food Chemistry*, 2025, 472: 142853.
- [24] SIEBERT E, LEE SY, PRESCOTT MP. *Chili* pepper preference development and its impact on dietary intake: A narrative review [J]. *Frontiers in Nutrition*, 2022, 9: 1039207.
- [25] ZHAO L, ZHANG LL, ZHONG K, *et al.* Pungency of Chinese pepper: Its perception and preference [J]. *Science Talks*, 2022, 2: 100009.
- [26] ADEYEMI KD, SULAIMON RO, ISHOLA H, *et al.* Influence of *Capsicum* chinense concentration and salt varieties on the quality attributes of Kilishi, a sundried beef jerky [J]. *Meat Science*, 2025, 219: 109653.
- [27] ZHANG XX, CHEN W, YANG ZW, *et al.* Genetic diversity analysis and DNA fingerprint construction of *Zanthoxylum* species based on SSR and iPBS markers [J]. *BMC Plant Biology*, 2024, 24(1): 843.
- [28] XIANG PJ, PAN F, DUAN XL, *et al.* A method for sorting high-quality fresh Sichuan pepper based on a multi-domain multi-scale feature fusion algorithm [J]. *Foods*, 2024, 13(17): 2776.
- [29] ZHANG ZY, WANG S, WANG C, *et al.* Segmentation method of *Zanthoxylum bungeanum* cluster based on improved mask R-CNN [J]. *Agriculture-Basel*, 2024, 14(9): 1585.
- [30] 范淑雯, 李雨彤, 陈子航, 等. 食品基本味觉研究的文献计量分析[J]. *中国食品学报*, 2024, 24(10): 470–484.
- FAN SW, LI YT, CHEN ZH, *et al.* Bibliometric analysis of the basic tastes of food [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2024, 24(10): 470–484.
- [31] 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 YY, ZENG ZY, WANG H, *et al.* Bibliometric 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.
- [32] 曾亚琴, 曾琳然, 蔡丽莎, 等. 食品厚味科学研究的文献计量分析[J]. *食品工业科技*, 2024, 45(17): 121–130.
- ZENG YQ, ZENG LR, CAI LS, *et al.* Bibliometric analysis of the scientific studies on the Kokumi in foods [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2024, 45(17): 121–130.
- [33] 曾亚琴, 段顺新, 姚思颖, 等. 食品脂肪味科学研究的文献计量分析[J]. *食品安全质量检测学报*, 2023, 14(23): 188–195.
- ZENG YQ, DUAN SX, YAO SY, *et al.* Bibliometric analysis of the scientific studies on the fat taste in foods [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2023, 14(23): 188–195.
- [34] 肖雨馨, 章晓薇, 何宗健, 等. 离子迁移谱应用于食品科学研究的文献计量分析[J]. *食品安全质量检测学报*, 2025, 16(9): 206–215.
- XIAO YX, ZHANG XW, HE ZJ, *et al.* Bibliometric analysis of the ion mobility spectrometry applied in food scientific studies [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2025, 16(9): 206–215.
- [35] KOLASINSKI SL, NEOGI T, HOCHBERG MC, *et al.* 2019 American college of rheumatology/arthritis foundation guideline for the management

- of osteoarthritis of the hand, hip, and knee [J]. *Arthritis & Rheumatology*, 2020, 72(2): 220–233
- [36] YAKHIN OI, LUBYANOV AA, YAKHIN IA, *et al.* Biostimulants in plant science: A global perspective [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2017, 7: 2049
- [37] ZHANG YF, XU JK, RUAN YC, *et al.* Implant-derived magnesium induces local neuronal production of CGRP to improve bone-fracture healing in rats [J]. *Nature Medicine*, 2016, 22(10): 1160–1169.
- [38] MULLER C, MORALES P, REGGIO PH, Cannabinoid ligands targeting TRP channels [J]. *Frontiers in Molecular Neuroscience*, 2019, 11: 487.
- [39] SAMEC D, KARALIJA E, SOLA I, *et al.* The role of polyphenols in abiotic stress response: The influence of molecular structure [J]. *Plants-Basel*, 2021, 10(1): 118.
- [40] VANDEWAUW I, DE-CLERCQ K, MULIER M, *et al.* A TRP channel trio mediates acute noxious heat sensing [J]. *Nature*, 2018, 555(7689): 662.
- [41] BANDOPADHYAY S, MARTIN-CLOSAS L, PELACHO AM, *et al.* Biodegradable plastic mulch films: Impacts on soil microbial communities and ecosystem functions [J]. *Frontiers in Microbiology*, 2018, 9: 819
- [42] XIONG SB, HOU ZY, ZOU SJ, *et al.* Direct observation on p- to n-type transformation of perovskite surface region during defect passivation driving high photovoltaic efficiency [J]. *Joule*, 2021, 5(2): 467–480
- [43] UL-HAQ S, KHAN A, ALI M, *et al.* Heat shock proteins: Dynamic biomolecules to counter plant biotic and abiotic stresses [J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2019, 20(21): 5321.
- [44] GOUIN O, L'HERONDELLE K, LEBONVALLET N, *et al.* TRPV1 and TRPA1 in cutaneous neurogenic and chronic inflammation: Pro-inflammatory response induced by their activation and their sensitization [J]. *Protein & Cell*, 2017, 8(9): 644–661.
- [45] SHEDOEVA A, LEAVESLEY D, UPTON Z, *et al.* Wound healing and the use of medicinal plants [J]. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2019, 2019: 2684108.
- [46] HOSSAIN U, DAS AK, GHOSH S, *et al.* An overview on the role of bioactive  $\alpha$ -glucosidase inhibitors in ameliorating diabetic complications [J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2020, 145: 111738.
- [47] ZHANG MM, WANG JL, ZHU L, *et al.* *Zanthoxylum bungeanum Maxim.* (Rutaceae): A systematic review of its traditional uses, botany, phytochemistry, pharmacology, pharmacokinetics, and toxicology [J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2017, 18(10): 2172.
- [48] ZHANG JH, CHEN SX, YANG R, *et al.* Biodiesel production from vegetable oil using heterogenous acid and alkali catalyst [J]. *Fuel*, 2010, 89(10): 2939–2944.
- [49] ZHANG JJ, JIANG LF. Acid-catalyzed esterification of *Zanthoxylum bungeanum* seed oil with high free fatty acids for biodiesel production [J]. *Bioresource Technology*, 2008, 99(18): 8995–8998.
- [50] RIERA CE, MENOZZI-SMARRITO C, AFFOLTER M, *et al.* Compounds from Sichuan and Melegueta peppers activate, covalently and non-covalently, TRPA1 and TRPV1 channels [J]. *British Journal of Pharmacology*, 2009, 157(8): 1398–1409.
- [51] FENG XY, WANG HW, WANG ZR, *et al.* Discrimination and characterization of the volatile organic compounds in eight kinds of huajiao with geographical indication of China using electronic nose, HS-GC-IMS and HS-SPME-GC-MS [J]. *Food Chemistry*, 2022, 375: 131671.
- [52] TULLEUDA A, COKIC B, CALLEJO G, *et al.* TRESK channel contribution to nociceptive sensory neurons excitability: Modulation by nerve injury [J]. *Molecular Pain*, 2011, 7: 30.
- [53] CHEN J, JIANG QD, CHAI YP, *et al.* Natural terpenes as penetration enhancers for transdermal drug delivery [J]. *Molecules*, 2016, 21(12): 1709.
- [54] YANG LC, LI R, TAN J, *et al.* Polyphenolics composition of the leaves of *Zanthoxylum bungeanum maxim.* grown in Hebei, China, and their radical scavenging activities [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2013, 61(8): 1772–1778.

(责任编辑: 蔡世佳 安香玉)