

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. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023110075

ZENG Yaqin, ZENG Linran, CAI Lisha, 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. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023110075

· 研究与探讨 ·

# 食品厚味科学研究的文献计量分析

曾亚琴, 曾琳然, 蔡丽莎, 陈可先\*

(浙江工商大学食品与生物工程学院, 浙江杭州 310018)

**摘要:** 厚味 (Kokumi) 不同于传统的酸味、甜味、苦味、咸味和鲜味五种食品基本味觉, 不仅赋予了食品独特的浓厚感、持久度和愉悦感, 还实现了减盐提鲜不减咸等食品感官功效, 满足了消费者对美味和健康的追求。尽管大量文献报道了厚味相关研究, 形成了系列机理、规律和应用上的共识, 但其研究的现状、学术脉络、热点、难点和发展趋势仍缺乏系统分析。为此, 本文借助文献计量分析方法首次剖析了近十五年来厚味科学研究的主要进展, 并通过文献查阅解析厚味研究关注的主要热点与难点。研究结果表明, 厚味研究的热度正呈现不断上涨的趋势, 涉及了食品科学、化学、营养、生物化学、农业、行为科学和神经科学等多学科交叉领域; 我国科研机构和科技工作者在厚味科学研究中具有较强的国际话语权; 厚味研究的热点主要为厚味的化学物质基础、食物来源、评价方法及其对食品整体感官风味的影响, 以及厚味物质的结构鉴定、分离、制备及其对健康的影响; 厚味研究的难点包括新型厚味物质的挖掘与应用。本文可为食品工业精准把握厚味研究的发展趋势, 厚味呈味机理的深层揭示和厚味物质的拓展研究提供一些理论参考。

**关键词:** 食品风味, 厚味, 科学研究, 文献计量分析

中图分类号: TS201.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)17-0121-10

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023110075



本文网刊:

## Bibliometric Analysis of the Scientific Studies on the Kokumi in Foods

ZENG Yaqin, ZENG Linran, CAI Lisha, CHEN Kexian\*

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

**Abstract:** Kokumi is different from the traditional five food basic tastes, namely sourness, sweetness, bitterness, saltiness, and umami. It not only gives foods a unique sense of richness, durability, and pleasure, but also achieves several sensory effects, for instance, enhancing saltiness and umami without reducing saltiness. Consequently, the consumers' pursuit of delicacy and health could be satisfied. Although many studies have reported the kokumi-related research, and the consensus on a series of mechanisms, laws and applications of kokumi has been achieved, the current status, academic context, hotspots, challenges and also the development trends of the kokumi research still lack systematic analysis. Therefore, in this work, the progress of kokumi research in the past fifteen years have been firstly analyzed using the bibliometric analysis methods, and the main hotspots and challenges of kokumi research have been concluded through literature review. The results of this work showed that the popularity of kokumi research was constantly increasing. The interdisciplinary fields such as food science, chemistry, nutrition, biochemistry, agriculture, behavioral science, and neuroscience were involved in the kokumi research. Both institutions and researchers of China had strong international discourse power in the research of the kokumi science. The hot topics on the kokumi research mainly included the chemical basis, the food sources and the evaluation methods of kokumi, the impact of kokumi on the overall sensory flavor of food, as well as the structural identification, separation, preparation, and health effects of the kokumi substances. Challenges in the kokumi research included the discovery and applications of the novel kokumi substances. This work can provide some theoretical references for the food industry to accurately grasp the development trend of kokumi research, deeply reveal the kokumi mechanism and expand the research area of the kokumi substances.

收稿日期: 2023-11-09

基金项目: 四川省川菜发展研究中心项目 (餐饮科学技术与产业化类) (CC22Z03); 国家级大学生创新创业训练计划项目 (202310353067)。

作者简介: 曾亚琴 (2003-), 女, 大学本科, 研究方向: 食品风味化学; E-mail: zyq030820@163.com。

\* 通信作者: 陈可先 (1983-), 男, 博士/博士后, 讲师, 研究方向: 食品风味化学与分子设计研究; E-mail: kxchem@zjgsu.edu.cn。

**Key words:** food flavor; kokumi; scientific study; bibliometric analysis

随着生活水平的提高、食品安全监管力度的加强和食品安全知识的普及,消费者对食品的要求已从吃好和吃的安全逐步转向吃的健康和吃的愉悦,即食品的美味与营养。食品的美味源自消费者对食品的视觉、嗅觉、味觉、触觉和听觉等的综合感觉,是未来食品个性化智造的基础,因此,许多食品科学研究围绕食品感官科学、食品心理物理学等视角展开<sup>[1-2]</sup>。大量研究表明,食品味觉不仅包括了酸味、甜味、苦味、咸味和鲜味五种基本味觉<sup>[3]</sup>,还包括了脂肪味<sup>[4-5]</sup>、涩味<sup>[6-7]</sup>、麻辣味(Pungency)<sup>[8-9]</sup>等几种特殊味觉。由于单一味觉或几种复合味觉存在呈味持续时间短、口感单调或饱满感不足等现象,有时并不能很好地满足消费者所追求的美味需求,此时食品的厚味(Kokumi)<sup>[10-12]</sup>就显得格外重要。

厚味具有增味增稠的特性,不是一种独立的味觉<sup>[13]</sup>。大量的研究报道了厚味的呈味机理<sup>[11-15]</sup>、厚味的物质基础<sup>[11-12,16-17]</sup>、以及基于钙敏感受体(Calcium sensing receptor, CaSR)的厚味物质增味机理<sup>[14,16]</sup>。这些研究表明<sup>[10-11,14]</sup>,肽类和非肽类厚味物质本身即使没有味道也可以诱导出其他味觉本身所没有的感官功效,比如醇厚、绵延、充盈、圆润、回味无穷等感觉,极大地丰富了食品的复杂感、满口感、丝滑感、绵延感、协调性和扩展感,从而让消费者形成了对特定食品的美味记忆。目前已有多篇综述总结了厚味的定义、机理、呈味规律以及呈味物质的功能与应用<sup>[10-14,18]</sup>,但多学科交叉融合致使食品厚味的研究角度繁多,多数研究仅聚焦于 $\gamma$ -谷氨酰胺等特定厚味肽或者食品整体的厚味变化。因此,目前相关研究的现状、学术脉络和发展趋势缺乏系统分析,难以精准给出厚味研究的现阶段和未来热点领域。鉴于如上原因,本文采用文献计量分析方法对厚味科学研究进行了系统分析,目前该方法在食品科学领域已大量的应用<sup>[19-20]</sup>。

## 1 材料与方法

本文数据源自 Web of Science 核心库,检索时间范围为 2008 年 1 月 1 日~2022 年 12 月 31 日,检索时间为 2023 年 6 月 30 号,文章检索的关键词为“Kokumi” OR “thick taste” OR “ $\gamma$ -glutamyl peptide”,排除的主题为 Fisheries、Horticulture、Business、Economics、Health Policy Services、Agricultural Engineering、Engineering Aerospace、Engineering Electrical Electronic、Ethics、Literature、Materials Science Ceramics、Optics、Pediatrics、Public Environmental Occupational Health、Astronomy Astrophysics、Water Resources 和 Philosophy,再经 CiteSpace 6.2.R4 软件(<https://citespace.podia.com/>)降重,最后共有 305 篇文献用于后续的可视化分析。软件的参数设置如下:time slice 为 1 年;采

用 g 指数,其中比例系数 k 值根据可视化程度设置;采取最小生成树法裁剪图谱;其他均采用缺省值。

## 2 结果与分析

### 2.1 年代分布分析

根据 Web of Science 核心库的检索结果,305 篇文献归属于 57 种主题领域,前十领域分别是食品科学技术(183 篇)、化学应用(75 篇)、农业多学科(51 篇)、营养饮食学(27 篇)、生物化学与分子生物学(20 篇)、农业、乳制品和动物科学(16 篇)、生物技术和应用微生物学(14 篇)、多学科科学(13 篇)、行为科学(12 篇)和神经科学(11 篇)。厚味科学研究已是以食品科学领域为主的多学科交叉融合的研究。由图 1 可知,厚味研究的发文量在 2015 年之前相对较少,之后增加较多,特别是 2022 年。由图 2 可知,厚味研究的引用量逐年迅速增加。

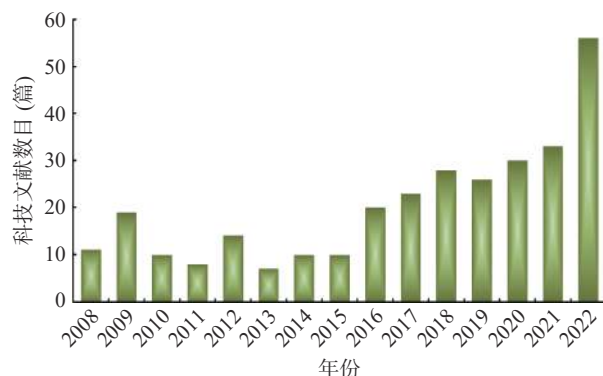


图 1 厚味研究发文量的逐年变化

Fig.1 Annual change of the number of papers in the field of kokumi research

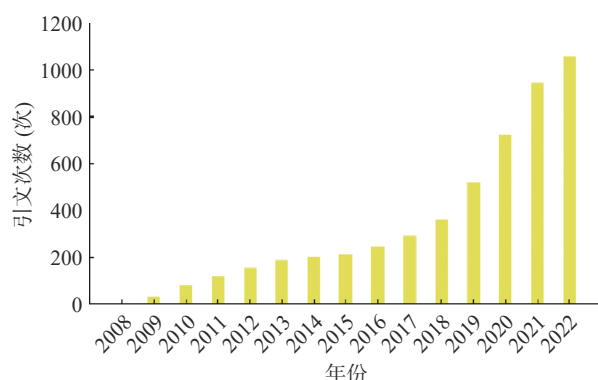


图 2 厚味科学研究引用量的逐年变化

Fig.2 Annual change of the scientific research citations in the kokumi research field

### 2.2 作者的影响力与合作网络分析

厚味研究发文量前 20 的作者及其单位信息见表 1。发文量最多的是 Hofmann 教授,其次是 Cui 教授,再是 Bai 教授、Yang 教授和 Dunkel 教授,其排名共同第三。在发文量前 20 的作者中,有 8 位来自我国,其中仲恺农业工程学院 4 人、华南理工大

学 2 人、中国农业大学 1 人和上海交通大学 1 人; 3 位来自德国的慕尼黑工业大学。从这个角度分析, 我国在厚味研究领域已有多位有影响力的科学家。

主要作者间的合作网络(k 值设为 15)见图 3, 其由 275 位作者构成关联点, 共 157 条连线, 作者合作密度为 0.0042。图中节点的大小与发文量呈正比, 节点中由内向外的颜色表示由远及近的发文时间, 节点连线及其粗细表示合作关系及其紧密程度。上述发文量排名前三的作者合作较多, 比如 Hofmann 教授、

Cui 教授和 Yang 教授均与近十位作者开展合作研究。

2.3 机构的影响力与合作网络分析

厚味研究发文量前 20 的机构见表 2, 其中发文量前三的机构是慕尼黑工业大学、华南理工大学和味之素株式会社。我国有 9 个机构进入前 20 名单, 在排名前 10 机构中占据 5 席, 分别为华南理工大学、农业农村部下属单位、北京工商大学、仲恺农业工程学院和江南大学。主要机构间的合作网络(k 值设为 25)见图 4, 节点及其连线的意义同上。该合作

表 1 2008~2022 年期间厚味研究发文量前 20 的作者

| Table 1 Top 20 authors who published the most research papers on the kokumi research from 2008 to 2022 |                  |     |                                                                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 序号                                                                                                     | 作者               | 发文量 | 机构                                                                                                           | 国家  |
| 1                                                                                                      | Hofmann T        | 21  | Technical University of Munich(慕尼黑工业大学)                                                                      | 德国  |
| 2                                                                                                      | Cui C            | 17  | South China University of Technology(华南理工大学)                                                                 | 中国  |
| 3                                                                                                      | Bai W D          | 8   | Zhongkai University of Agriculture and Engineering(仲恺农业工程学院)                                                 | 中国  |
| 4                                                                                                      | Yang J           | 8   | Zhongkai University of Agriculture and Engineering(仲恺农业工程学院)<br>South China University of Technology(华南理工大学) | 中国  |
| 5                                                                                                      | Dunkel A         | 8   | Technical University of Munich(慕尼黑工业大学)                                                                      | 德国  |
| 6                                                                                                      | Sun-Waterhouse D | 7   | South China University of Technology(华南理工大学)                                                                 | 中国  |
| 7                                                                                                      | Lametsch R       | 6   | University of Copenhagen(哥本哈根大学)                                                                             | 丹麦  |
| 8                                                                                                      | Eto Y            | 5   | Ajinomoto Co. Inc(味之素株式会社)                                                                                   | 日本  |
| 9                                                                                                      | Dong H           | 4   | Zhongkai University of Agriculture and Engineering(仲恺农业工程学院)                                                 | 中国  |
| 10                                                                                                     | Zeng X F         | 4   | Zhongkai University of Agriculture and Engineering(仲恺农业工程学院)                                                 | 中国  |
| 11                                                                                                     | Li Q             | 4   | University of Copenhagen(哥本哈根大学)                                                                             | 丹麦  |
| 12                                                                                                     | Zhang L T        | 4   | University of Copenhagen(哥本哈根大学)                                                                             | 丹麦  |
| 13                                                                                                     | Kuroda M         | 3   | Ajinomoto Co. Inc(味之素株式会社)                                                                                   | 日本  |
| 14                                                                                                     | Brehm L          | 3   | Technical University of Munich(慕尼黑工业大学)                                                                      | 德国  |
| 15                                                                                                     | Calvio C         | 3   | University of Pavia(帕维亚大学)                                                                                   | 意大利 |
| 16                                                                                                     | He W             | 3   | China Agricultural University(中国农业大学)<br>Bohai University(渤海大学)                                              | 中国  |
| 17                                                                                                     | Liu Y            | 3   | Shanghai Jiao Tong University(上海交通大学)                                                                        | 中国  |
| 18                                                                                                     | Busch J          | 2   | Unilever(联合利华)                                                                                               | 荷兰  |
| 19                                                                                                     | Terada Y         | 2   | University of Shizuoka(静冈县立大学)                                                                               | 日本  |
| 20                                                                                                     | Ho C-T           | 2   | Rutgers State University New Brunswick(罗格斯大学新布朗斯维克分校)                                                        | 美国  |

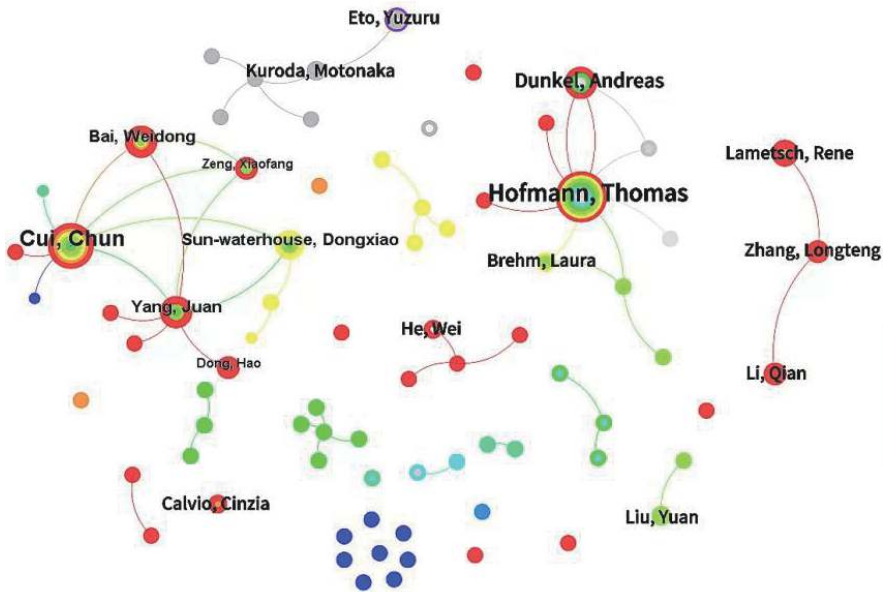


图 3 2008~2022 年期间厚味研究的作者合作关系

Fig.3 Authors collaboration relationship on the kokumi research from 2008 to 2022

表 2 2008~2022 年期间厚味研究发文量前 20 的机构

Table 2 Top 20 institutions who published the most research papers on the kokumi research from 2008 to 2022

| 序号 | 机构                                                                                                          | 发文量 | 国家  |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|
| 1  | Technical University of Munich(慕尼黑工业大学)                                                                     | 24  | 德国  |
| 2  | South China University of Technology(华南理工大学)                                                                | 15  | 中国  |
| 3  | Ajinomoto Co. Inc(味之素株式会社)                                                                                  | 15  | 日本  |
| 4  | Ministry of Agriculture & Rural Affairs(农业农村部)                                                              | 11  | 中国  |
| 5  | Beijing Technology & Business University(北京工商大学)                                                            | 10  | 中国  |
| 6  | Leibniz-Institute for Food Systems Biology at the Technical University of Munich<br>(慕尼黑工业大学莱布尼茨食品系统生物学研究所) | 7   | 德国  |
| 7  | University of Copenhagen(哥本哈根大学)                                                                            | 7   | 丹麦  |
| 8  | Zhongkai University of Agriculture & Engineering(仲恺农业工程学院)                                                  | 6   | 中国  |
| 9  | Jiangnan University(江南大学)                                                                                   | 6   | 中国  |
| 10 | National Agriculture & Food Research Organization-Japan(日本国家农业与食品研究组织)                                      | 6   | 日本  |
| 11 | National University of Singapore(新加坡国立大学)                                                                   | 5   | 新加坡 |
| 12 | China Agricultural University(中国农业大学)                                                                       | 5   | 中国  |
| 13 | Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e L'analisi Dell'economia Agraria<br>(意大利农业研究和经济学分析委员会)             | 4   | 意大利 |
| 14 | INRAE(法国国家农业食品与环境研究所)                                                                                       | 4   | 法国  |
| 15 | Southwest University-China(西南大学)                                                                            | 4   | 中国  |
| 16 | Chinese Academy of Agricultural Sciences(中国农业科学院)                                                           | 4   | 中国  |
| 17 | Consiglio Nazionale delle Ricerche(CNR)(意大利国家研究委员会)                                                         | 4   | 意大利 |
| 18 | Egyptian Knowledge Bank(EKB)(埃及知识银行)                                                                        | 4   | 埃及  |
| 19 | Shanghai Ocean University(上海海洋大学)                                                                           | 3   | 中国  |
| 20 | Oregon Health & Science University(俄勒冈健康与科学大学)                                                              | 3   | 美国  |

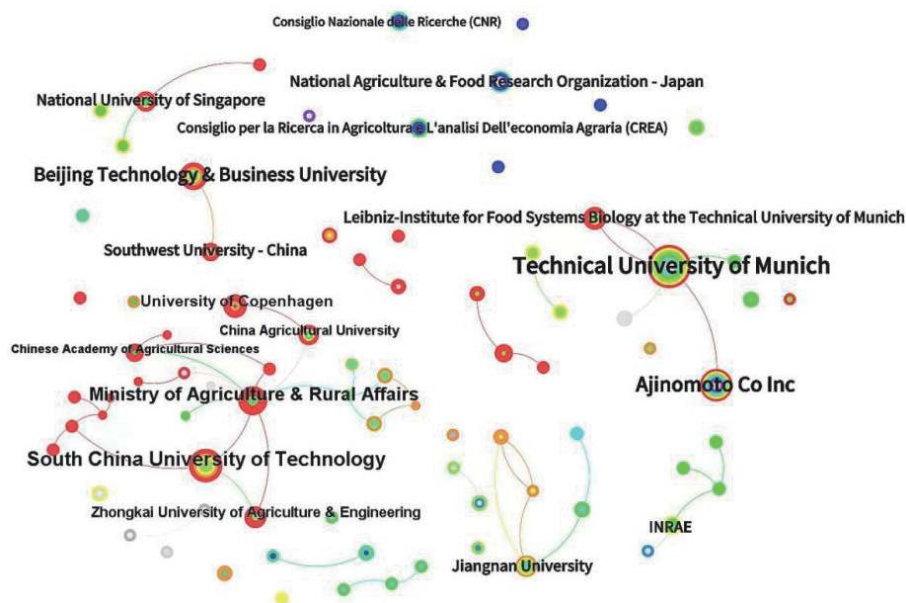


图 4 2008~2022 年期间厚味研究的机构合作关系

Fig.4 Institution collaboration relationship on the kokumi research from 2008 to 2022

网络由 288 个机构构成关关节点,共 178 条连线,作者合作密度为 0.0043,作者间合作强度较低。由图可知,农业农村部、慕尼黑工业大学、华南理工大学、中国农业科学院和江南大学等机构与其他机构间的合作较为频繁。

## 2.4 国家的影响力与合作网络分析

厚味研究发文量前 20 的国家见表 3 和图 5。发文量、H 指数和总被引用频次排名前四的国家是中国、日本、美国和德国,远超其他国家,其中我国的这些指标均排名第一。由图 5 可知,我国在 2016 年

前厚味研究的年发文量并不多,之后迅速增加,而其他国家的年发文量时增时减。

一个国家的中介中心度表示该国家与其他国家间的合作程度<sup>[4]</sup>。中介中心度超过 0.1 的国家有 10 个,其中我国的中介中心度的数值最大(0.55),其次是德国(0.33)。主要国家间的合作网络(k 值设为 25,图 6)由 50 个国家作为关联点构成,共 65 条连线,合作密度为 0.0531,合作强度较强。由图可见,中国、日本、美国和德国与其他国家的合作较为频繁,与中介中心度数据的规律一致。

表 3 2008~2022 年期间厚味研究发文量前 20 的国家  
Table 3 Top 20 countries with the most kokumi research papers from 2008 to 2022

| 序号 | 国家    | 发文量 | 中介中心度 | H指数 | 总被引频次 |
|----|-------|-----|-------|-----|-------|
| 1  | 中国    | 79  | 0.55  | 20  | 1270  |
| 2  | 日本    | 54  | 0.19  | 17  | 891   |
| 3  | 美国    | 42  | 0.29  | 16  | 1125  |
| 4  | 德国    | 34  | 0.33  | 15  | 1018  |
| 5  | 意大利   | 16  | 0.28  | 8   | 297   |
| 6  | 英国    | 14  | 0.22  | 8   | 313   |
| 7  | 澳大利亚  | 13  | 0.31  | 8   | 197   |
| 8  | 加拿大   | 12  | 0     | 9   | 473   |
| 9  | 丹麦    | 10  | 0.11  | 5   | 85    |
| 10 | 巴西    | 9   | 0.11  | 6   | 93    |
| 11 | 西班牙   | 7   | 0.05  | 5   | 104   |
| 12 | 韩国    | 7   | 0.05  | 4   | 87    |
| 13 | 法国    | 6   | 0     | 4   | 105   |
| 14 | 印度    | 6   | 0.02  | 4   | 38    |
| 15 | 土耳其   | 5   | 0     | 3   | 28    |
| 16 | 新西兰   | 5   | 0     | 3   | 55    |
| 17 | 新加坡   | 5   | 0     | 3   | 23    |
| 18 | 波兰    | 5   | 0.13  | 3   | 28    |
| 19 | 沙特阿拉伯 | 5   | 0.1   | 4   | 72    |
| 20 | 泰国    | 4   | 0.01  | 2   | 73    |

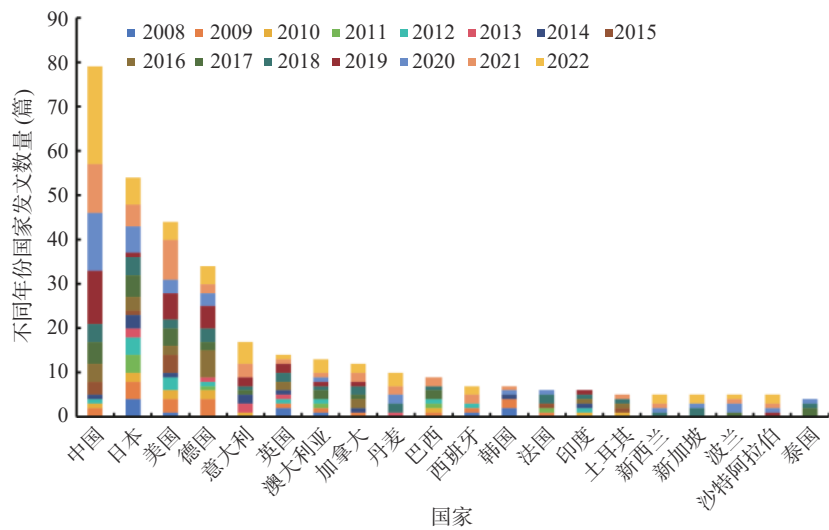


图 5 2008~2022 年期间不同国家厚味研究发文量的逐年变化  
Fig.5 Annual change of the number of the national research papers on the kokumi research from 2008 to 2022

2.5 学术期刊的分布及其互引关系分析

学术期刊间的互引网络见图 7(k 值设为 10), 其由 224 本学术期刊构成关关节点, 共 447 条连线, 期刊间互引密度为 0.0179。报道厚味研究的主要期刊为 *Journal of Agricultural and Food Chemistry*、*Food Chemistry*、*Food Research International*、*Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*、*Journal of Food Science*、*Journal of Biological Chemistry*、*Journal of the Science of Food and Agriculture* 和 *Trends in Food Science & Technology*, 其中, *Nature* 和 *PNAS* 上也有多篇报道。这些期刊之间互引较为频繁。从期刊名称上分析, 厚味研究以食品科学为

主, 同时还涉及了生物化学、乳品科学、农业和食品感官科学。

2.6 研究热点及其演化趋势分析

2.6.1 关键词的热点分析 关键词的共现图谱(图 8, k 值设为 15)给出了近几年厚味研究的关键词出现词频及其相互亲疏关系, 其具体通过节点的大小、数量和节点之间的连线体现。图 8 由 266 个节点关键词和 325 条连线组成, 网络密度为 0.0092。由图 8 可见, 味觉、氨基酸、鉴定、谷氨酰胺酶、多肽、风味、组成、酶合成、感官评价、感官特征、 $\gamma$ -谷氨酰肽、谷胱甘肽、发现、苦味、品质、厚味肽、关键贡献因素和萃取是厚味研究的热点关键词, 其中前 7 个

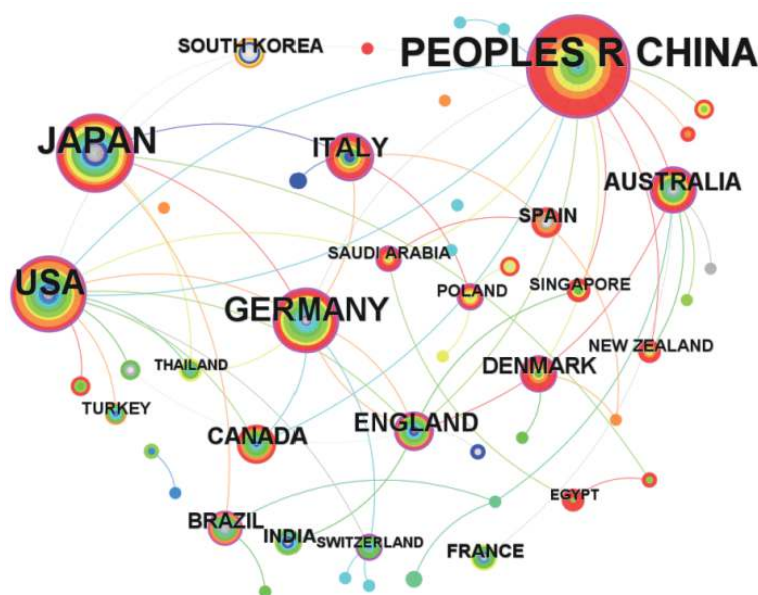


图6 2008~2022年期间厚味研究论文的国家合作关系

Fig.6 Collaboration relationship of countries regarding the kokumi research from 2008 to 2022

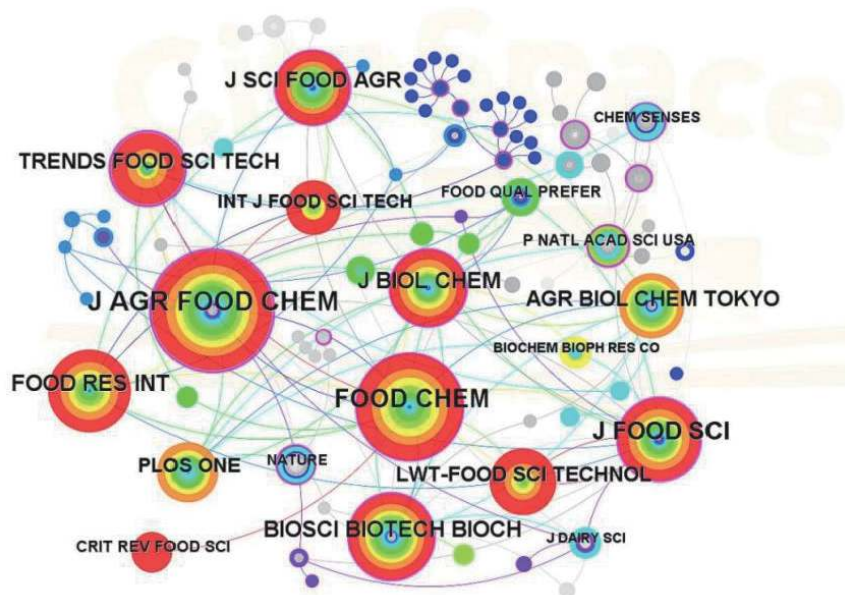


图7 2008~2022年期间厚味研究主要学术期刊互引关系

Fig.7 Mutual citation relationship of the main journals on the kokumi research from 2008 to 2022

关键词出现频次最高,颜色越多的节点表明该关键词持续的时间越长。这些关键词主要围绕以下几个方向: a.厚味的化学物质基础研究,比如厚味肽或厚味关键因子的挖掘、萃取与结构鉴定; b.厚味的生物学基础,比如厚味相关酶功能研究; c.厚味的感官评价,比如厚味感知、食品风味品质; d.厚味的影响,比如厚味与鲜味、苦味和酸味之间的关系。厚味研究不仅涉及了分子层面到宏观层面的研究,还关注了厚味的本质及其影响规律。图中各节点之间均存在较多的连线,说明厚味研究关键词之间联系较为紧密。

为了更好地分析厚味研究的学术脉络,对上述热点关键词进行了聚类分析(图9)。图中模块值(Q)为 0.6657,大于 0.3,平均轮廓值(S)为 0.8931,大于

0.7,这些检验指标说明聚类可信度高。由图可知,厚味研究可以分为 9 个聚类模块,分别为#0 tomato liking(西红柿喜好)、#1 sensomics-based molecularization(基于 sensomic 的分子化)、#2 物理化学性质、#3 酶合成、#4 品尝出有厚味的  $\gamma$ -谷氨酰胺、#5  $\gamma$ -谷氨酰胺、#6 制备方法、#7 漫反射光谱和#8 d-谷氨酰胺,但相互之间比较分散。由图也可知,厚味研究已经从主要关注食物层面的感官评价与厚味物质挖掘等研究,到逐渐关注厚味物质的鉴定、制备及其机理和食品的厚味品质评价等方面的研究。

2.6.2 关键词的突现分析 厚味研究的关键词突现图谱见图 10。由图可知,厚味研究的关键词突现强度普遍偏低,大于 3.0 仅有四个关键词,可能原因是

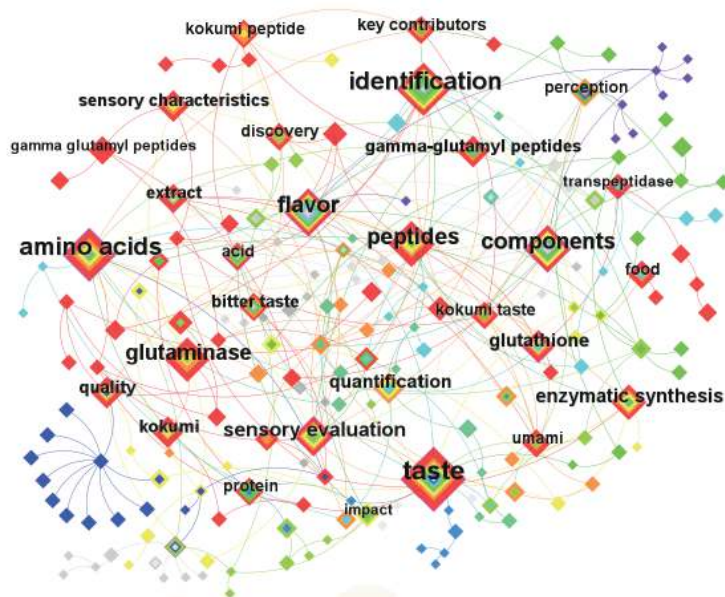


图 8 2008~2022 年期间厚味研究的关键词共现图谱

Fig.8 Co-occurrence graph of the kokumi research keywords from 2008 to 2022

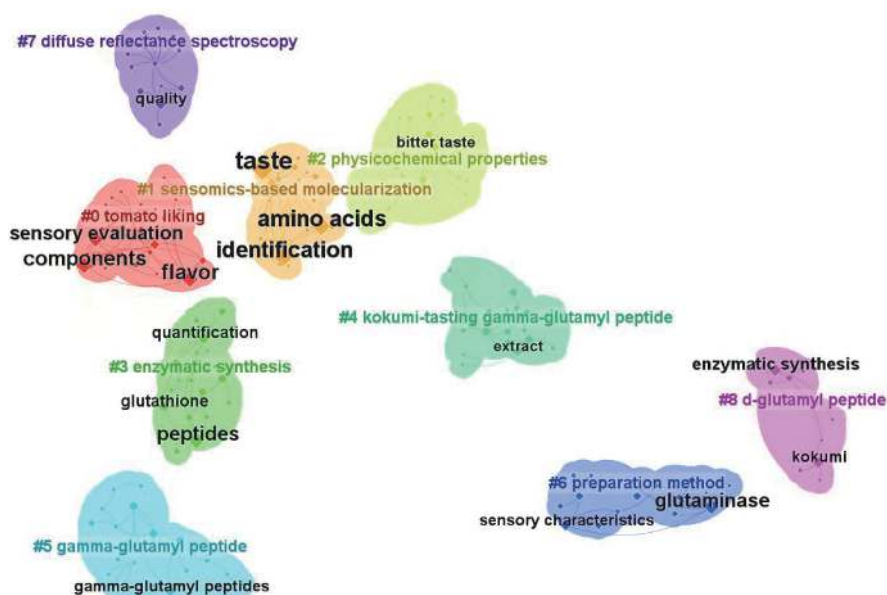


图 9 2008~2022 年期间厚味研究的关键词聚类图谱

Fig.9 Keyword clustering graph of the kokumi research from 2008 to 2022

本文中厚味研究的样本量偏少。2009 年,突现的关键词为 *flavor*(风味),但持续时间仅一年,说明早期主要关注整体食品的风味研究。2017 年和 2018 年突现的关键词分别为 *identification*(鉴定)和 *impact*(影响),持续时间均为三年,这期间较多研究关注厚味的物质基础与厚味的作用(如增咸、提鲜)。2019 年起,谷氨酰胺酶成为突跃了四年的关键词,说明大量研究关注了厚味的形成机制或制备方法。

**2.6.3 高影响力学术论文分析** 厚味研究的高引用量论文可以一定程度上来反映该领域的研究热点。由表 4 可知,引用量前 10 的论文主要报道于食品科学与技术、农业、生物化学、消费文化和生理学等领域期刊上。通过这些文章的题目和摘要可将其简要

分类为以下几类: a.食品风味研究,如食品加工过程中风味物质的形成及其机理、食品如茶叶的感官评价; b.分子生物学研究,比如受体和离子通道研究; c.厚味的影响研究,如口感的持久性与味觉的增强性、消费与文化; d.健康调节作用。本文也发现,这些研究并不仅聚焦厚味研究本身,而更多的在其他研究中涉及厚味研究。

## 2.7 厚味科学研究的主要热点领域

根据上述文献计量分析结果,进一步对厚味科学研究的文献进行了梳理,发现当前厚味科学研究主要围绕以下几个热点领域开展,也是未来几年厚味领域发展的主要方向。

a.厚味物质的来源、分离、结构鉴定与结构特点

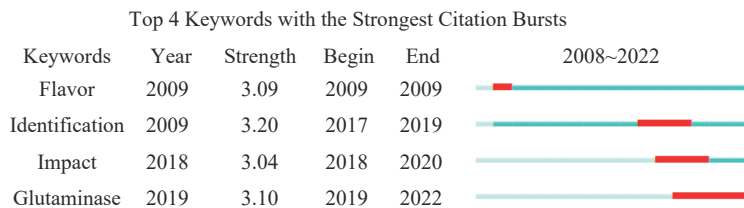


图 10 2008~2022 年期间厚味研究的关键词突现图谱

Fig.10 Jump keywords map of the kokumi research from 2008 to 2022

表 4 2008~2022 年期间厚味研究引用量前 10 的文献

Table 4 Top cited 10 scientific research papers regarding the kokumi from 2008 to 2022

| 序号 | 文献                                                                                                                                                                                                                                                | 总被引频次 |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 1  | GONZALES E B, KAWATE T, GOUAUX E. Pore architecture and ion sites in acid-sensing ion channels and P2X receptors[J]. Nature, 2009, 460(7255): 599–604.                                                                                            | 339   |
| 2  | ZHAO C J, SCHIEBER A, GAENZLE M G. Formation of taste-active amino acids, amino acid derivatives and peptides in food fermentations-A review[J]. Food Research International, 2016, 89 (Pt1): 39–47.                                              | 297   |
| 3  | OHSU T, AMINO Y, NAGASAKI H, et al. Involvement of the calcium-sensing receptor in human taste perception[J]. Journal of Biological Chemistry, 2010, 285(2): 1016–1022.                                                                           | 187   |
| 4  | TOELSTEDE S, DUNKEL A, HOFMANN T. A series of kokumi peptides impart the long-lasting mouthfulness of matured gouda cheese[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(4): 1440–1448.                                                | 163   |
| 5  | LIU J B, LIU M Y, HE C C, et al. Effect of thermal treatment on the flavor generation from Maillard reaction of xylose and chicken peptide[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 64(1): 316–325.                                             | 130   |
| 6  | SASSATELLI R, DAVOLIO F. Consumption, pleasure and politics slow food and the politico-aesthetic problematization of food[J]. Journal of Consumer Culture, 2010, 10(2): 202–232.                                                                  | 106   |
| 7  | HE W, HU X S, ZHAO L, et al. Evaluation of Chinese tea by the electronic tongue: Correlation with sensory properties and classification according to geographical origin and grade level[J]. Food Research International, 2009, 42(10): 1462–1467 | 101   |
| 8  | MARUYAMA Y, YASUDA R, KURODA M, et al. Kokumi substances, enhancers of basic tastes, induce responses in calcium-sensing receptor expressing taste cells[J]. PLoS One 2012, 7(4): e34489.                                                         | 94    |
| 9  | MICHELL A R, DEBNAM E S, UNWIN R J. Regulation of renal function by the gastrointestinal tract: Potential role of gut-derived peptides and hormones[J]. Annual Review of Physiology, 2008, 70(1): 379–403.                                        | 77    |
| 10 | ILIC Z S, MILENKOVIC L, SUNIC L, et al. Effect of coloured shade-nets on plant leaf parameters and tomato fruit quality[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2015, 95(13): 2660–2667.                                              | 74    |

研究<sup>[10–11,13,18,21–23]</sup>。厚味物质的来源研究主要集中在酵母提取物、谷物、鲣鱼、鱼露、酶改性黄油、牛骨髓提取物、扇贝、河豚、盐水鸭、各类酱、干腌火腿、洋葱、酱油、大蒜、蛋白质水解物、菌菇类、奶酪和豆类等。厚味物质的研究种类主要集中在氨基酸类、氨基酸衍生物类、低聚肽类、蛋白质类和非肽类物质五种。厚味物质结构鉴定方法主要集中在化学检测法、色谱分析法及其串联质谱的方法、质谱分析法和核磁共振法等。

b.厚味呈味机理和厚味肽的增味机理,主要包括 $\gamma$ -谷氨酰肽等厚味肽与CaSR受体的结合机制或变构调节研究、味觉细胞中厚味信号传导机制研究和厚味物质的分子结构与厚味关系研究<sup>[11–12,16]</sup>,以及 $\gamma$ -谷氨酰-缬氨酸等呈味肽的多变呈味特性研究<sup>[24]</sup>。分子模拟方法和分子动力学模拟方法也被用于厚味肽呈味机理研究<sup>[15,25–26]</sup>。

c.厚味呈味评价、影响因素及呈味变化形成机理研究<sup>[18,25,27–31]</sup>。厚味的评价方法主要包括智能感官分析技术如电子舌法、人工感官评价法和CaSR法。厚味呈味的影响因素主要集中在以下两个方面的研究: $\gamma$ -谷氨酰肽等厚味物质与其他食品味觉(比如鲜味、咸味)物质间交互呈味关系(比如提鲜),食品共存组分(比如花生酱、奶油冻、鸡汤、味精和酸碱度)对食品厚味呈味的影响。

d.厚味物质的制备,主要包括天然提取法、酶合成法(如使用谷氨酰转肽酶、谷氨酰胺酶、谷氨酰半胱氨酸合成酶和 $\gamma$ -谷氨酰半胱氨酸连接酶等酶)、微生物发酵法(如使用谷氨酸棒状杆菌、解淀粉芽孢杆菌、酿酒酵母和罗伊氏乳杆菌等菌)、化学合成法(如各种氨基酸单体结构的组合或衍生物的制备)以及不同合成方法的组合<sup>[12,18,32–36]</sup>。此外,也有文献考察了食品加工过程中厚味物质形成的规律<sup>[34]</sup>。

e.厚味肽的生理功能(抗癌、抗氧化、抗炎症、免疫调节、抗菌、抗肿瘤和舒缓疲劳等)及其生物利用度研究<sup>[13,16,36]</sup>。

f.厚味物质在调味品、肉制品和饮料等中的应用<sup>[10–15,30,34]</sup>,主要围绕如何增加相关食品的醇厚味、鲜味、酸味和甜味,延长回味或持久度,提升口感协调性或圆润平衡感,淡化咸味,产生复杂口感、满口感、绵延感和浓厚感等方面。

### 3 结论

本文对近十五年厚味科学研究这一特别的食品风味研究进行了文献计量分析与热点难点总结。总的来说,相比于食品基本味觉研究、麻辣味研究<sup>[19]</sup>、脂肪味研究<sup>[4]</sup>等热门领域,厚味科学研究在发文量、研究机构数量等方面显得偏弱。但得益于各国研究机构的重视,随着厚味物质的挖掘、厚味机理的揭示、厚味评价技术的提升以及厚味成果的广泛

应用,厚味科学研究的热度正不断上升,其中我国研究机构和研究人员的国际影响力占据优势。厚味研究已经覆盖了基础与应用研究的多个维度,逐步实现了从宏观的食品感官评价层面、微观的厚味物质基础层面到厚味物质应用层面的转变,因此厚味科学研究大有可为。

目前厚味研究依然存在大量的不足,后续的研究可以围绕以下几个方面深入开展:a.厚味物质的构效关系研究,包括挖掘与鉴定新型厚味物质,开发新型高效制备厚味肽的方法,建立厚味物质结构与厚味活性数据库,制定厚味物质感官评价的一致性标准方法,开展基于钙敏感受体或厚味物质结构的定量构效关系模型或药效团模型研究;b.厚味物质的呈味差异机理研究,包括挖掘厚味受体种类,研究厚味物质与厚味受体间的分子对接与相互作用分子动力学,开发厚味物质的呈味及其差异评价的新方法与新仪器,和研究基于 Stopflow 和等温微量热滴定等技术的呈味快速反应动力学或结合热力学机制;c.不同食品厚味及其差异的风味研究,包括建立不同食品的特定厚味感官数据库,研究食品共存组分影响厚味呈味的规律,实现基于厚味呈味差异的特定食品的品质追溯,明确厚味与食品其他味觉的交互影响机制;d.研究厚味与厚味物质对健康的影响规律,以及厚味的心理物理学机制。

© The Author(s) 2024. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

### 参考文献

- [1] CUI Z, WU B, BLANK I, et al. TastePeptides-EEG: An ensemble model for umami taste evaluation based on electroencephalogram and machine learning[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2023, 71: 36,13430–13439.
- [2] 陈建设,刘源,师锦刚. 食品感官科学研究:挑战与可能[J]. *食品科学*, 2022, 43(19): 1–7. [CHEN J S, LIU Y, SHI J G. Food sensory research: Challenges and possibilities[J]. *Food Science*, 2022, 43(19): 1–7.]
- [3] WANG P H, YE X, LIU J, et al. Recent advancements in the taste transduction mechanism, identification, and characterization of taste components[J]. *Food Chemistry*, 2023, 433: 137282.
- [4] 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 Y Q, DUAN S X, YAO S Y, et al. Bibliometric analysis of the scientific studies on the fat taste in foods[J]. *Journal of Food Safety and Quality*, 2023, 14(23): 188–195.]
- [5] MATJAŽ P, SHUO M, GINO F, et al. Smells like fat: A systematic scoping review on the contribution of olfaction to fat perception in humans and rodents[J]. *Food Quality and Preference*, 2023, 107: 104847.
- [6] DENG S J, ZHANG G, ALUKO O O, et al. Bitter and astringent substances in green tea: Composition, human perception mechanisms, evaluation methods and factors influencing their formation[J]. *Food Research International*, 2022, 157: 111262.
- [7] KUHLMAN B, ALEIXANDRE-TUDO J L, MOORE J P, et al. Arabinoxylan proteins and polysaccharides compete directly with condensed tannins for saliva proteins influencing astringency perception of Cabernet Sauvignon wines[J]. *Food Chemistry*, 2024, 435: 137625.
- [8] CHEN K, XUE L, LI Q, et al. Quantitative structure-pungency landscape of sanshool dietary components from *Zanthoxylum* species[J]. *Food Chemistry*, 2021, 301: 130286.
- [9] WU Q, YU P, LI J, 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.
- [10] VASILAKI A, PANAGIOTOPOULOU E, KOUPANTIS T, et al. Recent insights in flavor-enhancers: Definition, mechanism of action, taste-enhancing ingredients, analytical techniques and the potential of utilization[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2022, 62(32): 9036–9052.
- [11] 张洁,郝武斌,王胜清,等. 浓厚味及浓厚物质研究进展[J]. *中国食品添加剂*, 2021, 32(10): 158–163. [ZHANG J, HAO W B, WANG S Q, et al. Research progress of kokumi and kokumi substance[J]. *China Food Additives*, 2021, 32(10): 158–163.]
- [12] 付余,张宇昊. 浓厚味  $\gamma$ -谷氨酰胺研究进展、机遇与挑战[J]. *中国食品学报*, 2022, 22(4): 14–24. [FU Y, ZHANG Y H. Research progress, opportunities and challenges in the research of kokumi  $\gamma$ -glutamyl peptides[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2022, 22(4): 14–24.]
- [13] 高瑞,崔春, SUN-WATERHOUSE D. 厚味肽增味机制和部分厚味肽潜在生理功能的研究进展[J]. *中国调味品*, 2022, 47(3): 200–205,210. [GAO R, CUI C, SUN-WATERHOUSE D. Research progress on the taste-enhancing mechanism and potential physiological functions of partial kokumi peptides[J]. *China Condiment*, 2022, 47(3): 200–205,210.]
- [14] 常金翠,陈沙,冯涛,等. 酵母提取物中 Kokumi 肽的研究进展[J]. *中国调味品*, 2022, 47(12): 190–196. [CHANG J C, CHEN S, FENG T, et al. Research progress of kokumi peptide from yeast extract[J]. *China Condiment*, 2022, 47(12): 190–196.]
- [15] CHANG J, FENG T, ZHUANG H, et al. Taste mechanism of kokumi peptides from yeast extracts revealed by molecular docking and molecular dynamics simulation[J]. *Journal of Future Foods*, 2022, 2–4: 358–364.
- [16] GUHA S, MAJUMDER K. Comprehensive review of  $\gamma$ -glutamyl peptides ( $\gamma$ -GPs) and their effect on inflammation concerning cardiovascular health *Snigdha* and *Kaustav*[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2022, 70: 7851–7870.
- [17] WU J, LING Z, FENG YZ, et al. Kokumi-enhancing mechanism of N-l-lactoyl-l-met elucidated by sensory experiments and molecular simulations[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2023, 71(40): 14697–14705.
- [18] LI Q, ZHANG L, LAMETSCH R. Current progress in kokumi-active peptides, evaluation and preparation methods: A review[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2022, 62(5): 1230–1241.
- [19] 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. 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.]
- [20] 张鑫,王吉,胡静荣,等. 基于 CiteSpace 和文献计量分析平台的鱼糜研究可视化分析[J]. *食品科学*, 2023, 44(1): 362–370.

- [ZHANG X, WANG J, HU J R, et al. Visual analysis of surimi research using CiteSpace and bibliometric analysis platform[J]. *Food Science*, 2023, 44(1): 362–370.]
- [21] YANG Z, WANG J, HAN Z, et al. Isolation, identification and sensory evaluation of kokumi peptides from by-products of enzyme-modified butter[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2022, 102: 6668–6675.
- [22] KIM J, AHMAD R, DEB-CHOUDHURY S, et al. Generation and identification of kokumi compounds and their validation by taste-receptor assay: An example with dry-cured lamb meat[J]. *Food Chemistry*, 2022, 13: 100218.
- [23] HERES A, LI Q, TOLDRA F, et al. Comparative quantitation of kokumi  $\gamma$ -glutamyl peptides in Spanish dry-cured ham under salt-reduced production[J]. *Foods*, 2023, 12(14): 2814.
- [24] 郭晶, 麦锐杰, 董浩, 等. “厚味” $\gamma$ -谷氨酰-缬氨酸增味作用差异性机制[J]. *食品科学*, 2022, 43(3): 33–39. [GUO J, MAI R J, DONG H, et al. Mechanism for the differential taste-enhancing effect of the kokumi peptide  $\gamma$ -glutamyl-valine[J]. *Food Science*, 2022, 43(3): 33–39.]
- [25] YANG J, GUO J, MAI R J, et al. Comparing the difference in enhancement of kokumi-tasting  $\gamma$ -glutamyl peptides on basic taste via molecular modeling approaches and sensory evaluation[J]. *Food Science and Human Wellness*, 2022, 11(6): 1573–1579.
- [26] DELLAFIORA L, MAGNAGHI F, GALAVERNA G, et al. A mechanistic investigation on kokumi-active  $\gamma$ -glutamyl tripeptides-A computational study to understand molecular basis of their activity and to identify novel potential kokumi-tasting sequences[J]. *Food Research International*, 2022, 162: 111932.
- [27] 刘建彬, 宋焕禄. 酵母抽提物鲜味(Umami)及浓厚味(Kokumi)滋味活性的评价与研究[J]. *中国酿造*, 2014, 33(1): 99–104. [LIU J B, SONG H L. Evaluation of umami and kokumi taste of yeast extract[J]. *China Brewing*, 2014, 33(1): 99–104.]
- [28] RHYU M R, SONG A Y, KIM E Y. Kokumi taste active peptides modulate salt and umami taste[J]. *Nutrients*, 2020, 12: 1198.
- [29] LI Q, LIU J, CAO L C, et al. Effects of  $\gamma$ -glutamylated hydrolysates from porcine hemoglobin and meat on kokumi enhancement and oxidative stability of emulsion-type sausages[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2022, 15(8): 1851–1865.
- [30] YANG J, LIAO J H, DONG H, et al. Synergistic effect of kokumi-active  $\gamma$ -glutamyl peptides and L-glutamate on enhancing umami sensation and stimulating cholecystokinin secretion via T1R1/T1R3 activation in STC-1 cells[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2022, 70(45): 14395–14402.
- [31] YAMAMOTO T, MIZUTA H. Supplementation effects of a kokumi substance,  $\gamma$ -Glu-Val-Gly, on the ingestion of basic taste solutions in rats[J]. *Chemical Senses*, 2022, 47: 1–8.
- [32] FUKAO T, SUZUKI H. Enzymatic synthesis of  $\gamma$ -glutamyl-valylglycine using bacterial  $\gamma$ -glutamyltranspeptidase[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2021, 69: 7675–7679.
- [33] LI Q, ZHANG L T, LAMETSCH R. Increase of kokumi  $\gamma$ -glutamyl peptides in porcine hemoglobin hydrolysate using bacterial  $\gamma$ -glutamyltransferase[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2022, 70(50): 15894–15902.
- [34] ALEJANDRO H, QIAN L, FIDEL T. Generation of kokumi gamma-glutamyl short peptides in Spanish dry-cured ham during its processing[J]. *Meat Science*, 2023, 206: 109323.
- [35] HUANG P M, LIU Z N, HUANG L B, et al. Synthesis of N'-[(2, 4-dimethoxyphenyl)methyl]-N-(2-pyridin-2-ylethyl) oxamide and evaluation of its taste-enhancing effect[J]. *Food Bioscience*, 2023, 56: 103120.
- [36] LU Y, WANG J, SOLADOYE O P, et al. Preparation, receptors, bioactivity and bioavailability of  $\gamma$ -glutamyl peptides: A comprehensive review[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2021, 113: 301–314.