

食用昆虫研究热点和发展趋势： 基于 CiteSpace 的文献计量分析*

贾颖** 仝宇薇 李鸿妹 周志军***

(河北大学生命科学学院, 保定 071002)

摘要 【目的】梳理近 20 年来食用昆虫研究现状、研究趋势和研究热点, 发掘新的研究主题。【方法】基于中国知网 (China National Knowledge Infrastructure, CNKI) 和 WoSCC 数据库 (Web of Science Core Collection, WoSCC) 数据库收录的 2003-2022 年食用昆虫相关研究, 使用可视化软件 CiteSpace 6.2.R5 (64-bit) Advanced 对食用昆虫研究领域的合作网络、共现网络、被引关系等进行分析。【结果】在中国知网与 WoSCC 数据库分别检索到食用昆虫相关研究论文 239 和 2 107 篇。中国知网每年收录的食用昆虫研究论文在 12 篇左右, 而 WoSCC 数据库自 2014 年开始逐年快速上升, 至 2022 年已达到 450 篇。中国知网中, 中国林业科学研究院资源昆虫研究所冯颖团队发表论文最多 (6 篇)。WoSCC 数据库中来自荷兰瓦格宁根大学 (Wageningen University & Research) 发表论文最多 (93 篇), 贡献最大的 10 位作者是以 Aquilanti Lucia、Choi Yun-Sang 和 Tanga Chrysantus M 为主的 3 个研究团队。国内有关食用昆虫的研究主要围绕食用昆虫资源价值、营养成分、安全性等方面, 而国外研究重点除此之外, 还有围绕消费者展开的感官评价与意向偏好、生物活性化合物等内容, 研究内容更为深入具体。【结论】通过文献计量学分析, 证实食用昆虫研究在全球范围内是一个令人着迷的研究领域。研究者可通过本研究了解食用昆虫领域的研究现状和未来发展方向。

关键词 食用昆虫; 文献计量学; CiteSpace; 研究进展

Current trends and hot topics in research on edible insects: A CiteSpace-based bibliometric analysis

JIA Ying** TONG Yu-Wei LI Hong-Mei ZHOU Zhi-Jun***

(College of Life Sciences, Hebei University, Baoding 071002, China)

Abstract 【Aim】To provide guidance and ideas for research on edible insects by means of a bibliometric analysis of the current state, trends, and hot topics in the literature in this field over the past 20 years. 【Methods】Publications on edible insects were retrieved from 2003 to 2022 from the China National Knowledge Infrastructure (CNKI) and Web of Science Core Collection (WoSCC) database. These were analyzed with CiteSpace 6.2. R5 (64-bit) Advanced for co-occurrence, clustering, emerging authors, institutions, and keywords. 【Results】A total of 239 Chinese and 2 107 English publications were obtained for analysis. Publications from the CNKI database underwent a slight fluctuation after about 12 years, whereas, those from the WoSCC database have continuously increased since 2014 to 450 publications by 2022. In the CNKI database, Ying Feng's team from the Research Institute of Resource Insects, Chinese Academy of Forestry, has published the most papers (6). The WoSCC database has the highest number of publications from Wageningen University & Research in the Netherlands (93). The top 10 contributing authors are members of 3 research teams led by Aquilanti Lucia, Choi Yun-Sang, and Tanga Chrysantus M. Domestic research on edible insects mainly focuses on the value of edible insect resources, nutrients and food safety,

*资助项目 Supported project: 京津冀 (雄安新区) 生态安全与生态保护教育部工程研究中心开放课题 (2024-12)

**第一作者 First author, E-mail: jia13102022@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: zhijunzhou@hbu.edu.cn; zhijunzhou@163.com

收稿日期 Received: 2024-03-26; 接受日期 Accepted: 2024-07-16

whereas foreign research focuses on sensory evaluation, consumer preferences, and bioactive compounds, and tends to be more thorough and specific. **[Conclusion]** Our bibliometric analysis confirms that research on edible insects is growing around the world. Our results provide insightful references that researchers can use to identify and understand the status and future direction of research in this field.

Key words edible insects; bibliometrics; CiteSpace; research progress

粮食安全问题是全球亟待解决的重大问题之一(宋培菊等, 2022), 人口持续增长给粮食生产与生态环境带来很大压力。食用昆虫(Edible insects)的有效利用为解决营养不良与粮食安全等问题提供了新的思路(Matiza Ruzengwe *et al.*, 2022; Gomes *et al.*, 2024)。

食用昆虫是指以虫体及其产物供人类食用, 或用作家畜、家禽、鱼类等饲料(屈小雨等, 2021)。在我国利用昆虫作为食物已有近 3 000 年历史。近年来, 食用昆虫作为一种尚未被充分开发的食物资源, 人们对其接受度正在迅速提升(Wade and Hoelle, 2020)。全球约有 2 000 种昆虫被认为是可食用的(Sánchez-Estrada *et al.*, 2024), Omuse 等(2024)鉴定了 2 205 种食用昆虫, 其中亚洲食用昆虫种类最多, 共有 932 种, 我国有 235 种。昆虫作为食物的优势主要有: ①昆虫作为最繁盛的动物类群, 已记录 100 余万种, 开发潜力巨大; ②昆虫虫体富含优质蛋白质(Kulma *et al.*, 2023), 蛋白质含量约占干物质总量的 30%-65%(Pal *et al.*, 2024), 脂质(如: 亚油酸、 α -亚麻酸、棕榈酸、月桂酸、卵磷脂等)(Li *et al.*, 2024)、碳水化合物(如: 几丁质等)、B 族维生素(如: 生物素、核黄素、泛酸等)和矿物质(如: 磷、钙、镁、锌、铁、铜、锰等)等(王芸等, 2012; Akande, 2024; Eom *et al.*, 2024); ③昆虫虫体蛋白及其酶解产物(多肽、氨基酸、黄酮等)具有降血压、降血糖、抗氧化、抗疲劳、调节胆固醇、增强免疫力等药用价值(屈小雨等, 2021), 部分生物活性化合物还可用于治疗微生物感染、呼吸障碍、风湿病和咳嗽等疾病(Sánchez-Estrada *et al.*, 2024); ④昆虫生长周期短、繁殖力强(Kozlu *et al.*, 2024)、环境资源利用率低(水和土地面积)(Vlahova-Vangelova *et al.*, 2024)、饲料转换效率较高(Wade and Hoelle, 2020), 其衍生蛋白工业化生产比传统畜牧业或水

产养殖业成本更低(Grau *et al.*, 2017)。

文献计量分析可通过图形可视化方式帮助人们了解特定学科领域的发展脉络以及前沿热点。CiteSpace 是一种基于 Java 语言环境开发的可视化文献计量分析工具, 包含了合作图谱、共现图谱、共引图谱和突现词探测等多种功能(陈悦等, 2015; 高冬梅等, 2021)。本文使用软件 CiteSpace 6.2.R5 (64-bit) Advanced, 对近 20 年(2003-2022 年)中国知网(China National Knowledge Infrastructure, CNKI)和 WoSCC 数据库(Web of Science Core Collection, WoSCC)收录的“食用昆虫(Edible insects)”研究论文进行统计、归纳与整理分析, 对帮助我国研究者了解该领域的研究热点和最新进展, 确立科学研究方向, 提高研究质量和影响具有现实意义。

1 材料与方法

1.1 数据来源

中国知网的检索条件为: “主题% = xls ('edible insects') or 题名% = xls ('食用昆虫')”, 检索时间范围 2003-2022 年, 语言为中文, 得到文献 244 篇。WoSCC 数据库的检索主题为“Edible insect”, 检索时间范围 2003-2022 年, 语言为英文, 得到文献 2 107 篇。

1.2 研究方法

利用软件 CiteSpace 6.2.R5 (64-bit) Advanced 分别对中国知网和 WoSCC 数据库中“食用昆虫(Edible insect)”相关研究的发文量、共现作者、共现关键词、发文国家、发文机构、载文期刊等信息进行统计与分析。

将文件导入 CiteSpace 软件中, 设置起始时间为 2003 年 1 月, 终止时间为 2022 年 12 月,

时间切片为 1 年, 对合作作者、机构、国家、关键词等节点类型进行数据可视化。节点筛选方式为“Top N%=100%, The maximum number of selected items per slice=1 000”, 即数据内容涵盖所有文献信息, 未作取舍。

图谱中圆圈为节点 (Node, 记作 N), 在不同的图谱中代表涵义不同。节点大小随发文量多少变化, 发文量越多节点越大, 发文量越少则节点越小; 节点颜色代表发文时间, 根据图谱左下角的颜色按照从下到上的顺序时间 (年份) 依次递增, 发表时间越早越靠下, 文章发表时间越新则显示出来的节点或线条颜色越靠上。紫色为发文较早的 2003 年, 2020-2022 年节点颜色均为红色, 发文时间越近颜色越深。

节点与节点间的连线 (Links, 记为 L) 表示节点与节点间的合作关系, 连线粗细代表合作次

数的多少, 连线越粗表示合作越密切; 连线数量代表合作关系强弱, 连线越多表示合作关系越强。

2 结果与分析

2.1 发文量年度变化及趋势分析

中国知网中检索得到“食用昆虫”相关论文 244 篇, 包括: 学术期刊 164 篇, 学位论文 32 篇, 会议 2 篇, 报纸 5 篇, 成果 7 篇, 特色期刊 34 篇。5 篇成果因不满足 CiteSpace 6.2.R5 (64-bit) Advanced 被去除, 最终保留 239 篇用于后续分析。2003-2022 年间, 发文量始终在 12 篇左右。在 WoSCC 数据库中检索到相关论文 2 107 篇, 2003-2014 年, 发文量均未超过 50 篇; 此后开始逐年增加, 至 2017 年首次突破 100 篇, 2022 年高达 450 篇 (图 1)。

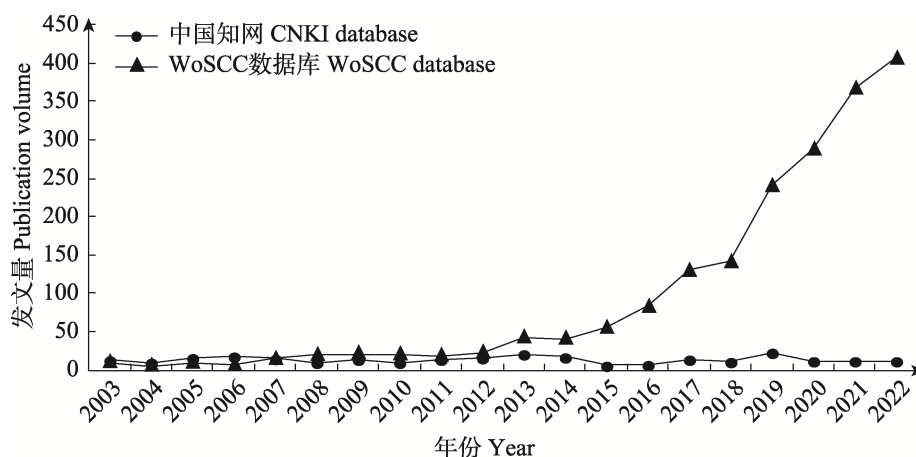


图 1 2003-2022 年食用昆虫研究发文量变化

Fig. 1 Volume of publications related to edible insects, 2003-2022

图中 CNKI 全称为 China National Knowledge Infrastructure, WoSCC 全称为 Web of Science Core Collection。

下图和下表同。The full name of CNKI in the figure is China National Knowledge Infrastructure, WoSCC full name is Web of Science Core Collection. The same below.

2.2 论文作者及其所属研究机构、国家合作网络分析

作者共现是将数据库中导出的文献信息进行筛选, 并对作者和作者发文量等进行统计的结果。中国知网收录的 239 篇论文来自 387 名作者, 其中, 中国林业科学研究院资源昆虫研究所的发表论文数量最多 (7 篇) (表 1)。WoSCC 数据库

收录的 2 107 篇论文来自 7 643 名作者, 其中, Aquilanti Lucia 和 Osimani Andrea 发表论文数量最多 (24 篇) (表 1)。WoSCC 数据库中, 共有 46 名发表论文 10 篇及以上作者, 没有来自我国的研究人员。说明在食用昆虫研究领域, 我国仍处于初级发展阶段, 需要进一步加强。比较两个数据库中的作者共现信息可知, 在发文时间与团队人数上有很大不同。研究人员合作关系的分散

可能对食用昆虫的研究带来一定弊端,我国或许可以尝试加强合作关系,共同促进国内食用昆虫研究领域的发展。

核心作者对研究领域发展具有重要引领和推动作用,作者间合作网络分析可以显示不同学者对该研究领域的贡献。作者共现图谱根据施引文献中作者合作的情况绘制,两个作者出现在同一篇文章中即视为一次合作,主要依据作者共现频次矩阵,可以得到作者合作结构和作者团体合作信息。在中国知网中,通过节点与连线可以了

解到,在 2003 年,作者间尚未形成合作关系,2006 年作者间开始形成合作关系,但不同团队间仍未形成明显合作关系。在 2020 年前后,团队数量增加,出现了分别以苟梦星、冯颖、杨伟和杨春平为首的团队间合作关系(图 2:A)。由 WoSCC 数据库有关食用昆虫作者共现图谱可以看到,作者与作者之间的联系较为密切,团队组成人数较多且复杂程度较高。从节点与线条颜色上看,发文量较多的作者发文时间也较新,说明对食用昆虫研究领域的关注度较高(图 2:B)。

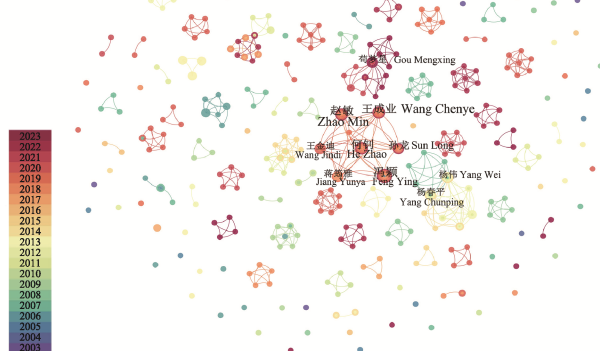
表 1 有关食用昆虫研究发文量前 10 作者

Table 1 Top 10 active authors in the edible insect research

序号 No.	中国知网数据库 China National Knowledge Infrastructure Database			WoSCC 数据库 Web of Science Core Collection Database		
	发文量 Publication volume	年份 Year	作者 Author	发文量 Publication volume	年份 Year	作者 Author
1	7	2005-2021	冯颖 Feng Ying	24	2016-2022	Aquilanti Lucia
2	6	2017-2021	何钊 He Zhao	24	2016-2022	Osmani Andrea
3	6	2017-2021	王成业 Wang Chengye	23	2016-2022	Garofalo Cristiana
4	6	2017-2021	赵敏 Zhao Min	23	2016-2022	Milanovic Vesna
5	5	2017-2021	孙龙 Sun Long	23	2017-2022	Choi Yun-Sang
6	4	2020-2022	苟梦星 Gou Mengxing	22	2017-2022	Kim Tae-Kyung
7	4	2017-2018	蒋筠雅 Jiang Yunya	21	2016-2022	Cardinali Federica
8	4	2018-2019	王金迪 Wang Jindi	20	2016-2021	Clementi Francesca
9	4	2007-2014	杨春平 Yang Chunping	20	2017-2022	Tanga Chrysantus M
10	4	2007-2014	杨伟 Yang Wei	20	2019-2022	Yong Hae In

CiteSpace, v. 6.2.R5 (64-bit) Advanced
November 13, 2023 at 10:52:59 AM CST
WoS: D:\Users\DELL\Desktop\DATA\CNKI\data
Timespan: 2003-2022 (Slice Length=1)
Selection Criteria: Top 100.0% per slice, up to 1000, LRF=3.0, L/N=10, LBY=5, e=1.0
Network: N=387, E=579 (Density=0.0078)
Largest 5 CCs: 53 (13%)
Nodes Labeled: 1.0%
Pruning: None

A



CiteSpace, v. 6.2.R5 (64-bit) Advanced
November 13, 2023 at 3:53:22 PM CST
WoS: D:\Users\DELL\Desktop\DATA\WOS\data
Timespan: 2003-2022 (Slice Length=1)
Selection Criteria: Top 100.0% per slice, up to 1000, LRF=3.0, L/N=10, LBY=5, e=1.0
Network: N=7499, E=24414 (Density=0.0009)
Largest 5 CCs: 1474 (19%)
Nodes Labeled: 1.0%
Pruning: None

B

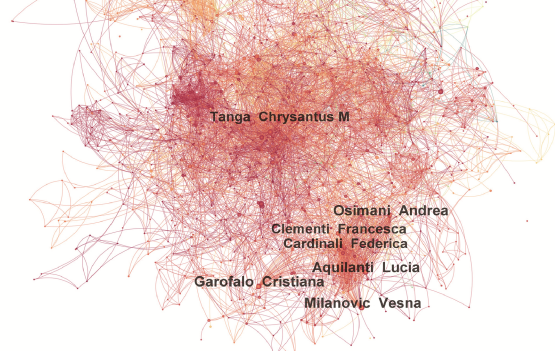


图 2 2003-2022 年中国知网 (A) 和 WoSCC 数据库 (B) 食用昆虫研究作者共现图谱

Fig. 2 Collaborative authorship map of edible insect in CNKI database (A) and WoSCC database (B), 2003-2022

中国知网收录的 239 篇研究论文来自 195 家研究机构,发文量 3 篇及以上的研究机构仅 8 家。中国林业科学研究院资源昆虫研究所发文量最多,为 6 篇(表 2)。WoSCC 数据库收录的 2 107 篇研究论文来自 110 个国家的 1 483 家研究机构,发文量 10 篇及以上的研究机构有 80 家,荷兰的瓦赫宁根大学与研究中心(Wageningen University & Research)发文量最多(97 篇),其次是肯尼亚的国际昆虫生理生态学中心(International Centre of Insect Physiology & Ecology, ICIPE)(55 篇)(表 3)。发文量前 10 的研究机构中,来自肯尼亚和韩国的研究机构各有 2 家(表 3)。

机构共现图谱根据施引文献中机构合作的情况绘制,两个作者机构出现在同一篇文章中即视为一次合作主要依据机构共现频次矩阵。中国知网中,研究机构间合作网络可视化分析图见图 3(A),节点数为 195,连线数为 83,密度为 0.004 4,整体上机构间的合作关系较为松散。WoSCC 数据库,研究机构间合作网络可视化分析图见图 3(B),节点数为 1 483,连线数为 3 510,密度为 0.003 2,机构间的联系较为复杂,机构间的联系较为紧密,合作关系较强,很少有发文量较多但单独存在的机构。将两数据库的信息进行比较可以得出,进一步加强机构间的合作关系在我国食用昆虫的长久稳定发展中是很有必要的。

表 2 中国知网中发表食用昆虫论文研究机构(发文量≥3)
Table 2 The institutions that have published papers on edible insects in CNKI database (Publication volume ≥3)

序号 No.	发文量 Publication volume	研究机构 Institutions
1	6	中国林业科学研究院资源昆虫研究所 Research Institute of Resource Insects, Chinese Academy of Forestry
2	4	国家林业局资源昆虫培育与利用重点实验室 Key Laboratory of Cultivation and Utilization of Resource Insects
3	3	湖南农业大学经济学院 Economic College, Hunan Agricultural University
4	3	吉林农业大学 Jilin Agricultural University
5	3	南京农业大学 Nanjing Agricultural University
6	3	山东农业大学 Shandong Agricultural University
7	3	中国林业科学研究院 Chinese Academy of Forestry
8	3	中国农业科学院蚕业研究所 Sericulture Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences

表 3 WoSCC 数据库中发表食用昆虫论文前 10 的研究机构(前 10 名)
Table 3 Top 10 institutions that have published papers on edible insects in WoSCC database

序号 No.	发文量 Publication volume	研究机构 Institutions	国家 Country
1	97	瓦格宁根大学 Wageningen University & Research	荷兰 Holland
2	55	国际昆虫生理生态学中心 International Centre of Insect Physiology & Ecology (ICIPE)	肯尼亚 Kenya
3	46	哥本哈根大学 University of Copenhagen	丹麦 Denmark
4	42	荷语鲁汶大学 Katholieke Universiteit Leuven	比利时 Belgium
5	39	麦克雷雷大学 Makerere University	乌干达 Uganda
6	38	乔莫肯尼亚农业技术大学 Jomo Kenyatta University of Agriculture & Technology	肯尼亚 Kenya
7	32	马尔凯理工大学 Marche Polytechnic University	意大利 Italy
8	28	韩国食品研究所 Korea Food Research Institute (KFRI)	韩国 Korea
9	28	墨西哥国立自治大学 Universidad Nacional Autonoma de Mexico	墨西哥 Mexico
10	26	韩国农村振兴厅 Rural Development Administration (RDA)	韩国 Korea



图3 2003-2022年中国知网(A)和WoSCC数据库(B)食用昆虫研究机构共现图谱

Fig. 3 Institutional collaborative map of edible insect in CNKI database (A) and WoSCC database (B), 2003-2022

表 4 列出了中国知网和 WoSCC 数据库中, 发表食用昆虫相关研究论文数量前 10 的出版物, 最多的分别是安徽农业科学(9 篇)和 Journal of Insects as Food and Feed (208 篇)。此外, 在 Foods 发表论文也超过 100 篇(107 篇)。

WoSCC 数据库收录的 2 107 篇关于食用昆虫研究的论文来自 110 个国家, 近半数国家(50 个)发文量在 10 篇及以上。我国研究人员发文量最多(217 篇), 其它由高到低依次是美国(214 篇)、意大利(209 篇)、韩国(169 篇)、德国(145

篇)、荷兰(119 篇)、比利时(102 篇)、墨西哥(99 篇)、印度(95 篇)、肯尼亚(95 篇)。从整体数据看, 35 个欧洲国家发表有关食用昆虫文章共计 1 248 篇(约占总量 60%), 其它由高到低依次是来自 25 个亚洲国家的 766 篇、33 个非洲国家的 437 篇、8 个北美洲国家的 367 篇、6 个南美洲国家的 108 篇和 3 个大洋洲国家的 83 篇。

通过国家共现图谱节点间的连线疏密可以看到, 发文量较多的 14 个国家间的联系或合作关系较为密切(图 4)。

表 4 刊登食用昆虫研究论文前 10 的期刊
Table 4 Top 10 journals that published papers on edible insects

序号 No.	中国知网 China National Knowledge Infrastructure Database		WoSCC 数据库 Web of Science Core Collection Database	
	出版物 Journal	发文量 Publication volume	出版物 Journal	发文量 Publication volume
1	安徽农业科学 Journal of Anhui Agricultural Sciences	9	昆虫作为食物和饲料的杂志 Journal of Insects as Food and Feed	208
2	生物资源 Biotic Resources	7	食品 Foods	107
3	食品研究与开发 Food Research and Development	4	昆虫 Insects	64
4	中国食品学报 Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology	4	食品化学 Food Chemistry	43
5	农业知识 Agriculture Knowledge	4	食品研究国际 Food Research International	42
6	中国食物与营养 Food and Nutrition in China	4	国际热带昆虫科学杂志 International Journal of Tropical Insect Science	40
7	食品界 Food Industry	3	科学公共图书馆 Public Library of Science (PLOS ONE)	30
8	江苏农业科学 Jiangsu Agricultural Sciences	3	食品质量与偏好 Food Quality and Preference	29
9	肉类工业 Meat Industry	3	可持续发展 Sustainability	29
10	食品工业科技 Science and Technology of Food Industry	3	营养学前沿 Frontiers in Nutrition	26

2.3 论文关键词分析

关键词是对文献核心主题和重要信息的高度概括, 反应该领域的研究热点与前沿(白雪等, 2023)。通过关键词分析可以得到的主要信息: 关键词出现频次、关键词共现图谱、关键词突现、关键词聚类图谱、Time line 图谱。

2.3.1 关键词共现分析 以“食用昆虫”为主题

在中国知网中共检索到 393 个关键词。14 个关键词出现频次≥5, 按照研究方向可划分为: 昆虫食品(昆虫食品、昆虫、食品)、资源开发利用(昆虫资源、资源昆虫、功能食品)、营养成分(蛋白质、昆虫蛋白、氨基酸)、产业化(安全性、营养价值、消费者接受情况)和食用昆虫种类(黄粉虫)5 个主题(表 5)。

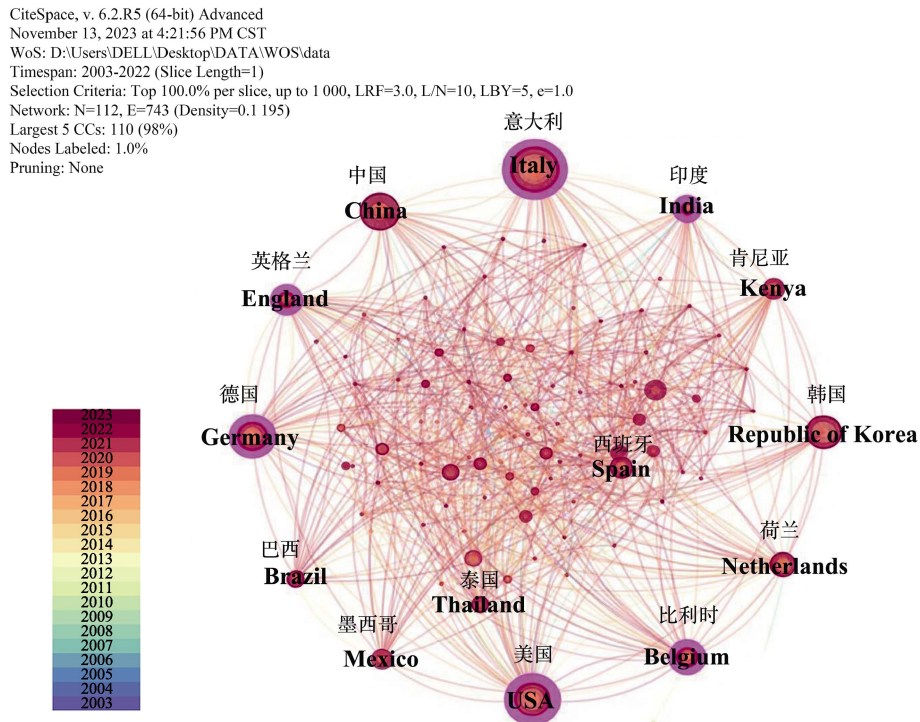


图 4 2003-2022 年 WoSCC 数据库食用昆虫研究国家共现图谱

Fig. 4 National collaborative map of edible insects in WoSCC database, 2003-2022

表 5 中国知网有关食用昆虫高频关键词 (前 14 个)

Table 5 The high frequency keywords of edible insect research in CNKI database (Top 14)

序号 No.	发文量 Publication volume	关键词 Key words	序号 No.	发文量 Publication volume	关键词 Key words
1	116	食用昆虫 Edible insects	8	9	黄粉虫 <i>Tenebrio molitor</i>
2	31	昆虫食品 Insect food	9	9	营养价值 Nutritional value
3	24	昆虫资源 Insect resources	10	8	昆虫蛋白 Insect proteins
4	23	昆虫 Insect	11	8	资源昆虫 Resource insect
5	22	营养成分 Nutrient content	12	6	功能食品 Functional food
6	20	开发利用 Development and utilization	13	5	氨基酸 Amino acids
7	14	蛋白质 Protein	14	5	产业化 Industrialization

以“Edible insect”为主题在 WoSCC 数据库中检索到 7 166 个关键词。16 个关键词出现频次 ≥ 93 (表 6)。合并相同涵义关键词 (单复数等) 得到高频关键词分别为: 食用昆虫 (Edible insects)、食物 (Food)、黄粉虫 (*Tenebrio molitor*)、安全性 (Safety)、营养成分 (Nutritional composition)、消费者接受度 (Consumer acceptance)、饲养 (Feed)、昆虫 (Insects)、蛋白质 (Protein)、黑水虻幼虫 (Black soldier fly larvae)、食虫性 (Entomophagy)、消费 (Consumption)、营养价值 (Nutritional value)、

意愿 (Willingness)、肉 (Meat)、幼虫 (Larvae)、功能特性 (Functional properties)、脂肪酸 (Fatty acids) 等。

关键词共现图谱可以看到关键词与关键词之间联系关系的强弱等信息。在两个数据库中, 除关键词数量上有较大差别外, 关键词间的联系均较为紧密, 且研究重点较为集中 (图 5: A, B)。

2.3.2 关键词突现分析 关键词突现图谱可以展示词频激增现象, 这些关键词常被认为代表着该领域研究热点的变迁 (陈悦等, 2015)。不同突现图谱参数 γ 值 (0-1) 获得的关键词数目存在

表 6 WoSCC 数据库有关食用昆虫高频关键词 (前 16 个)

Table 6 The high frequency keywords of edible insect research in WoSCC database (Top 16)

序号 No.	出现频次 Frequency	关键词 Key words	序号 No.	出现频次 Frequency	关键词 Keywords
1	1 145	食用昆虫 Edible insects	9	119	消费者接受度 Consumer acceptance
2	557	食物 Food	10	116	营养价值 Nutritional value
3	203	饲养 Feed	11	115	肉 Meat
4	201	昆虫 Insects	12	113	幼虫 Larvae
5	196	黄粉虫 <i>Tenebrio molitor</i>	13	108	安全性 Safety
6	166	食虫性 Entomophagy	14	106	消费 Consumption
7	153	蛋白 Protein	15	96	鉴定 Identification
8	121	营养成分 Nutritional composition	16	93	意愿 Willingness

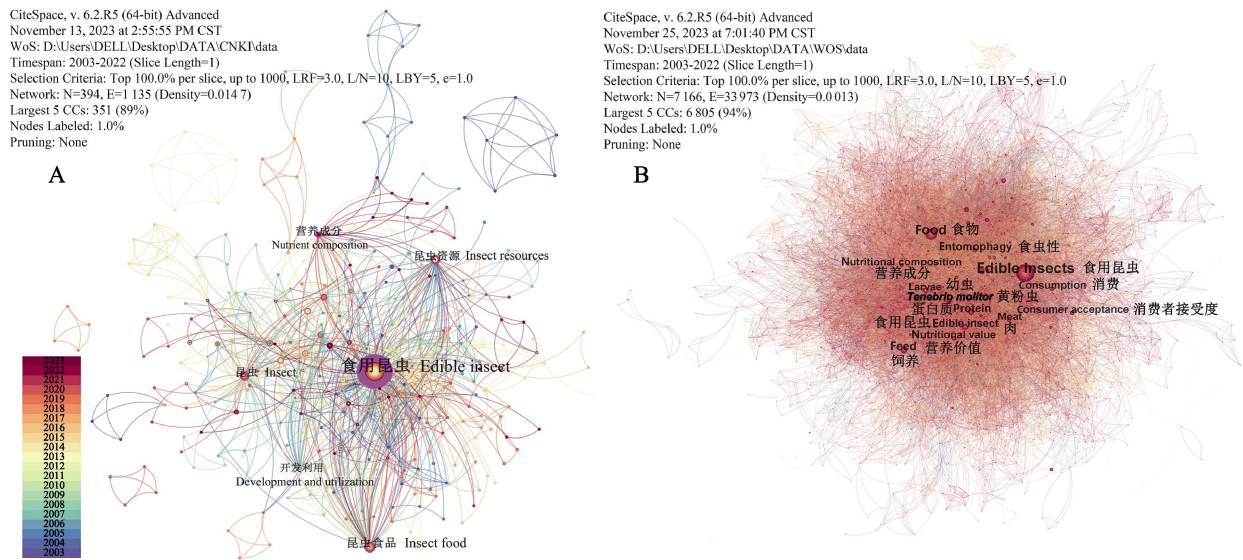


图 5 2003-2022 年中国知网 (A) 和 WoSCC 数据库 (B) 食用昆虫研究关键词共现图谱

Fig. 5 Co-occurrence keyword map of edible insect in CNKI database (A) and WoSCC database (B), 2003-2022

较大变化。根据获得的突现关键词数量(10-20), 设定中国知网和 WOSCC 数据库的 γ 值分别为 0.5 和 1。关键词突现图谱的时间跨度为 2003-2022 年(每格代表 1 年), 关键词突现开始至结束形成的红色标记长度表明该关键词持续时间(图 6: A, B)。

中国知网($\gamma=0.5, n=12$)得到 12 个突现关键词(图 6: A)。2003-2006 年, 研究热点为昆虫资源、食品和洋虫 *Ulomoides dermestoides*, 为食用昆虫的初步探索阶段; 2007-2011 年, 研究热点为食用昆虫开发利用、黄粉虫、资源昆虫调查、昆虫食品与栗山天牛 *Massicus raddei*; 2019-

2022 年, 研究热点转变为食用昆虫蛋白与安全性。

WoSCC 数据库数据库($\gamma=1.0, n=18$)得到 18 个突现关键词(图 6: B)。出现时间较早且长期作为研究热点的关键词有植物(Plants)(14 年)、面包蟹(Edible crab)(13 年)、下颌器官(Mandibular organ)(11 年)、淋巴细胞(Lymphocytes)(7 年)和无脊椎动物(Invertebrates)(7 年)。通过对文献进行核对后发现, 除无脊椎动物(Invertebrates)与主题“食用昆虫(Edible insect)”相关性较强外, Plants 和 Edible crab 均是因单词“Edible(可食用的)”导致搜索结果模糊形成的伪热点关键词, 与主题



图 6 2003-2022 年中国知网 (A) 和 WoSCC 数据库 (B) 食用昆虫研究高频关键词突现图谱

Fig. 6 Bursts of co-occurrence keyword map of edible insect in CNKI database (A) and WoSCC database (B), 2003-2022

相关性较低。2009 年出现的“进化 (Evolution)”、2010 年出现的“生态 (Ecology)”与主题“食用昆虫 (Edible insect)”关系也不紧密。2010 年出现的“无脊椎动物 (Invertebrates)”、“人类食物 (Human food)”与主题“食用昆虫 (Edible insect)”密切相关。2013 年出现的“鞘翅目 (Coleoptera)”与 2017 年出现的“黄粉虫幼虫 (*Tenebrio molitor* larva)”有关。自 2013 年开始,食用昆虫消费开始成为新的研究热点,主要包括“消费者 (Consumers)”、2014 年出现的“喜好 (Liking)”和“熟悉 (Familiar)”、2015 年出现的“态度 (Attitudes)”。2015 年,食用昆虫“安全性 (Safety)”评价开始成为新的研究热点,研究内容主要有过敏原、病原微生物、抗营养素、重金属、抗生素抗性等。消费者 (Consumers) 和安全性 (Safety) 相关性强度“Strength”值分别为 4.06 和 4.43,是 WoSCC 数据库中关于食用

昆虫研究的两个热点。

2.3.3 关键词聚类分析 关键词聚类是指通过对关键词进行对数似然比 (Log likelihood ratio, LLR) 聚类分析提取关键词标签 (白雪等, 2023; 阳晶晶等, 2023)。CiteSpace 依据网络结构和聚类清晰度,以网络模块化指标 (Modularity) 和平均轮廓值 (Silhouette) 两个指标作为评价图谱绘制效果的依据。关键词聚类分析中,网络模块化指标 (Modularity), Q 值介于 0-1,愈接近于 1 表明聚类结果越好,当 Q>0.3 代表聚类结果显著。平均轮廓值 (Silhouette), S 值介于 0-1,愈接近 1 表明网络同质性越高,当 S>0.5 表明该聚类结果是合理的, S>0.7 时表明聚类结果高度可信。中国知网和 WoSCC 数据库聚类结果的 Q 值分别为 0.649 5 和 0.784 1,均大于 0.3; S 值分别为 0.896 5 和 0.894 1,均大于 0.7,说明聚类结果显著且高度可信 (图 7: A, B)。

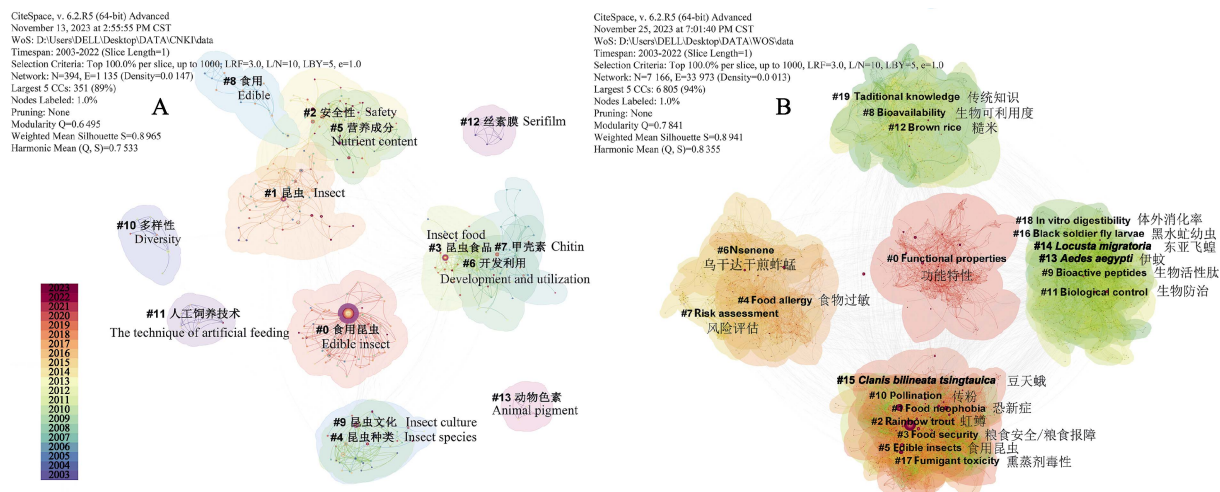


图 7 2003-2022 年中国知网 (A) 和 WoSCC 数据库 (B) 食用昆虫研究关键词聚类图

Fig. 7 Co-occurrence keyword cluster map of edible insect in CNKI database (A) and WoSCC database (B), 2003-2022

通过对中国知网中的关键词进行聚类, 共得到 16 个聚类信息, 前 10 个聚类标签依次为: 食用昆虫、昆虫、昆虫食品、营养成分、繁殖能力、昆虫资源、食用菌、营养评价、昆虫蛋白、维生素。对其进行归纳总结可以得到分别以昆虫资源 (昆虫资源、食用昆虫、昆虫食品)、昆虫 (昆虫、繁殖能力)、营养价值 (营养成分、营养评价、昆虫蛋白、维生素) 三大研究方向。WoSCC 数据库中关键词聚类标签数目较多, 共有 45 个聚类信息。前 10 个聚类标签依次为: 功能特性 Functional properties、恐新症 Food neophobia、虹鳟 Rainbow trout、粮食安全/粮食保障 Food security、食物过敏 Food allergy、食用昆虫 Edible insects、乌干达干煎蚱蜢 Nsenene、风险评估 Risk assessment、生物可利用度 Bioavailability、生物活性肽 Bioactive peptides。主要分为食用昆虫价值 (功能特性 Functional properties、虹鳟 Rainbow trout、乌干达干煎蚱蜢 Nsenene、生物可利用度 Bioavailability 和生物活性肽 Bioactive peptides)、食用昆虫安全性 (粮食安全/粮食保障 Food security、食物过敏 Food allergy 和风险评估 Risk assessment)、消费者接受度 (恐新症 Food neophobia) 三大方向。

2.3.4 Time line 图谱 根据关键词聚类结果按照时间顺序进行排序, 从横向上看, 线条颜色代表研究时间, 线条上的节点大小代表研究程度大小, 通过节点疏密情况或分布情况可以得到在某

一时间段内有关食用昆虫领域的研究方向与研究重点。从纵向上看, 集群根据大小按降序方式排列, 不同聚类中节点与节点间的联系表示其关联信息, 可以了解到研究方向之间的关联程度紧密情况。从连线疏密程度看, 中国知网中人工饲养技术、丝素膜和动物色素出现频次较低, 并与食用昆虫关联程度较小。通过节点分布可以看出, 除对食用昆虫与昆虫以外, 对安全性评价的研究持续时间也较长。最近两年与食用昆虫种类和开发利用相关的研究出现较少。WoSCC 数据库的 11 个聚类分别为: 厌恶 Disgust、功能特性 Functional properties、黑水虻 *Hermetia illucens*、食用昆虫 Edible insects、食物安全 Food security、食物过敏 Food allergy、氟尿嘧啶 Fumigant toxicit、感官评价 Sensory evaluation、生物活性肽 Bioactive peptides、授粉 Pollination。由时间轴可以看到, 在 2003-2010 年间, 关于消费者对食用昆虫的接受情况研究较少, 自 2010 年开始, 食虫性、消费者接受度和消费者意愿开始受到研究人员的重点关注 (图 8: A, B)。

3 讨论

本文对近 20 年间 (2003-2022 年) 中国知网和 WoSCC 数据库收录的食用昆虫研究论文进行检索, 利用文献计量学方法对年度发文数量、作者及其所属机构、关键词等多个方面进行了定量

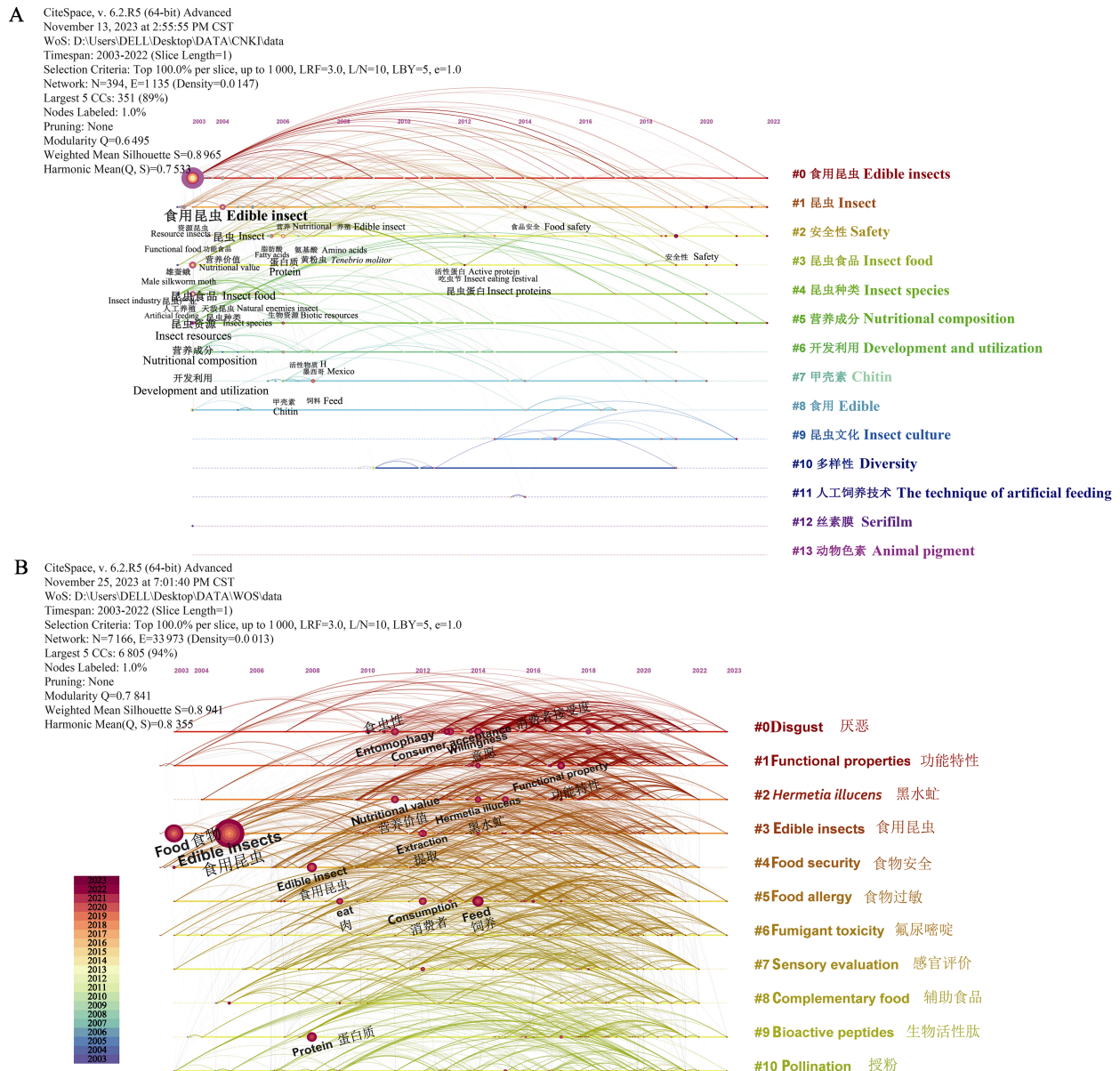


图 8 2003-2022 年中国知网 (A) 和 WoSCC 数据库 (B) 食用昆虫研究关键词时间线图

Fig. 8 Timeline of clustering of keywords on edible insects in CNKI database (A) and WoSCC database (B), 2003-2022

分析。中国知网检索到的论文量约是 WoSCC 数据库的 1/10。近 20 年间, 中国知网收录的相关研究论文数量始终保持稳定, 而 WoSCC 数据库自 2014 年开始逐年快速增加, 至 2017 年首次突破 100 篇, 2022 年更是高达 450 篇。上述结果表明, 国外关于食用昆虫的研究发展迅速, 而国内却未受到足够重视。从中国知网检索论文作者的可视化图谱可以看出, 我国对食用昆虫的研究主要是中国林业科学研究院资源昆虫研究所冯颖为主的研究团队, 研究人员间几乎没有合作

关系。除 3 篇关于安全性研究进展、利用与展望、资源考察与利用的综述性文章外, 研究型论文主要有: 食用昆虫营养成分分析 (双斑蟋与蜻蜓的营养成分分析、蜻蜓含油率与脂肪酸组成、白蜡虫营养价值与功能因子分析)、种类鉴定 (蜻蜓) 和安全性相关研究 (云南常见食药昆虫汞、硒含量及相关性分析)。我国在食用昆虫研究方向的研究重点主要包括: 食用昆虫饮食文化、昆虫食品开发、营养成分与营养价值分析[如: 双斑蟋 *Gryllus bimaculatus* (何钊等, 2021)、锈色粒

肩天牛 *Apriona swainsoni* 幼虫 (冯冰霞等, 2022)、椴六点天蛾 *Marumba dysas* 幼虫 (吴光聪等, 2023) 等]、资源开发利用、安全性评价等。整体上国内对食用昆虫的研究仍处于初级阶段, 要在食用昆虫研究领域占据一席之地, 迫切需要加强合作。

WoSCC 数据库, 10 位在食用昆虫研究领域贡献最大的作者形成以 Aquilanti Lucia、Choi Yun-Sang 和 Tanga Chrysantus M 为主的 3 个研究团队。Aquilanti Lucia 团队成员主要有 Osimani Andrea、Garofalo Cristiana、Milanovic Vesna 和 Clementi Francesca, 主要研究内容有: 食用昆虫相关微生物安全性评价 (包括微生物可转移抗生素抗性基因、微生物多样性、微生物群落动态变化、微生物区系等、产孢菌等), 不同加工方式对微生物群落组成、感官和营养价值影响 (如将蟋蟀粉、黄粉虫粉加入小麦粉中制作面包), 食用昆虫作为饲料评价 (如以黑水虻饲养西伯利亚鲟鱼 *Acipenser baerii*、斑马鱼 *Danio rerio*), 食用昆虫取食不同有机废料后生长和营养价值评估 (如以不同比例的橄榄果渣饲养黄粉虫) 等。Choi Yun-Sang 团队成员主要有 Kim Tae-Kyung、Cardinali Federica 和 Yong Hae In, 研究方向为食用昆虫的生物活性与加工技术。Tanga Chrysantus M 团队主要以非洲食用昆虫为研究对象, 探索了从食用昆虫多样性、寄主植物与分布到食用昆虫的营养价值评估、人工养殖与消费者接受度与偏好等。一些来自欧洲国家的研究机构间的合作关系非常明显, 对食用昆虫的研究也较为深入。可能与 2015 年 11 月 25 日欧盟通过的旨在鼓励食品企业为欧盟市场带来创新食品的 2015/2283 号法案有关 (https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:JOL_2015_327_R_0001)。2021 年, 欧盟更是首批批准干黄粉虫幼虫作为新资源食品上市 (Michela Bertola and Franco Mutinelli, 2021), 此后, 欧盟又陆续批准飞蝗 *Locusta migratoria*、家蟋蟀 *Acheta domesticus* 作为新资源食品投放市场 (Andrea Wangorsch et al., 2024)。欧洲食品安全局 (European Food Safety Authority, EFSA) 列出了最具潜力作为食品和饲料的昆虫名单

(Osimani et al., 2018), 这都在一定程度上引起了欧洲各国对食用昆虫研究的重视。

国际上关于食用昆虫研究重点主要有: ①食用安全相关问题: 过敏源 (酶、蛋白质)、微生物污染、微生物群落组成、病毒危害、寄生虫、抗生素抗性基因与耐药性问题等; ②消费者对食用昆虫态度问题: 消费者对食用昆虫熟悉度、接受度、购买偏好, 以及受影响因素等; ③食用昆虫有益微生物: 乳酸菌, 如对食用昆虫虫体的处理方式 (乳酸发酵); ④食用昆虫主要研究种类: 黄粉虫、蟋蟀、蝗虫等; ⑤食用昆虫肠道微生物多样性、对食用者肠道微生物的影响等; ⑥社区/群落: 该关键词包含的研究重点较多元化, 主要有: 微生物数量与群落、菌群调查、不同食用昆虫种类分布情况、不同地区的人们对食用昆虫的接受度/主要饮食习惯/食用昆虫销售情况等; ⑦蛋白质水解产物/水解蛋白质: 酶水解昆虫蛋白释放生物活性肽、增强昆虫成分功能特性 (溶解度) (Nongonierma and FitzGerald, 2017; Lee et al., 2021) 等; ⑧生物活性化合物 (Sánchez-Estrada et al., 2024): 如多酚、酚类化合物, 具有抗氧化活性、抗炎抗癌活性、抗菌活性、抗酪氨酸酶、抗原毒性和胰脂肪酶抑制活性 (Aiello et al., 2023) 等。

参考文献 (References)

- Aiello D, Barbera M, Bongiorno D, Cammarata M, Censi V, Indelicato S, Mazzotti F, Napoli A, Piazzese D, Saiano F, 2023. Edible insects an alternative nutritional source of bioactive compounds: A review. *Molecules*, 28(2): 699.
- Akande OA, 2024. Comparison of inclusion of skimmed milk and edible insects on the nutritional, sensory and microbial qualities of enriched high energy rice biscuits. *European Journal of Nutrition & Food Safety*, 16(4): 85–94.
- Bai X, Guo FF, Tong L, Yang HJ, 2023. CiteSpace knowledge map analysis of Angong Niu Huang Pills in recent twenty years. *Journal of Chinese Materia Medica*, 48(5): 1381–1392. [白雪, 郭非非, 佟琳, 杨洪军, 2023. 近二十年安宫牛黄丸研究现状的 CiteSpace 知识图谱分析. *中国中药杂志*, 48(5): 1381–1392.]
- Bertola M, Mutinelli F, 2021. A systematic review on viruses in mass-reared edible insect species. *Viruses*, 13(11): 2280.
- Chen Y, Chen CM, Liu ZY, Hu ZG, Wang XW, 2015. The methodology function of CiteSpace mapping knowledge domains. *Studies in Science of Science*, 33(2): 242–253. [陈悦, 陈超美, 刘则渊, 胡志刚, 王贤文, 2015. CiteSpace 知识图谱的方法论功能. *科学学研究*, 33(2): 242–253.]

- Eom H, Kim H, Hahn D, Kwon O, 2024. Development of feed material and its effect on the nutritional composition of *Protaetia brevitarsis* larvae. *Entomological Research*, 54(2): e12711.
- Feng BX, Liu ZK, Yang MF, Liu JF, 2022. Nutrient composition analysis of *Apriona swainsoni* (Hope) (Coleoptera: Cerambycidae). *Journal of Mountain Agriculture and Biology*, 41(4): 78–82. [冯冰霞, 刘卓坤, 杨茂发, 刘健锋, 2022. 锈色粒肩天牛幼虫营养成分分析. 山地农业生物学报, 41(4): 78–82.]
- Gao DM, Gao LH, Li P, Dong MC, Pan RD, Xu ZH, Guo X, 2021. A bibliometric review of research on the Formicidae. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 58(1): 211–219. [高冬梅, 高立洪, 李萍, 董毛村, 潘润东, 徐正会, 郭萧, 2021. 基于文献计量分析的蚁科昆虫研究. 应用昆虫学报, 58(1): 211–219.]
- Gomes JGC, Okano MT, Antunes SN, de Castro Lobo dos Santos H, Ursini EL, Vendrametto O, 2024. Eco-innovation and the edible insect value chain: A systematic review. *Contemporary Economics*, 18(1): 17–39.
- Grau T, Vilcinskas A, Joop G, 2017. Sustainable farming of the mealworm *Tenebrio molitor* for the production of food and feed. *Zeitschrift fur Naturforschung Section C Journal of Biosciences*, 72(9/10): 337–349.
- He Z, Sun L, Wang CY, Feng Y, Zhao M, 2021. Nutritional composition analysis and evaluation of the two-spotted cricket *Gryllus bimaculatus* (Orthoptera: Gryllidae). *Biotic Resources*, 43(3): 303–308. [何钊, 孙龙, 王成业, 冯颖, 赵敏, 2021. 双斑蟋营养成分分析及评价. 生物资源, 43(3): 303–308.]
- Kozlu A, Ngasakul N, Klojdová I, Baigts-Allende DK, 2024. Edible insect-processing techniques: A strategy to develop nutritional food products and novelty food analogs. *European Food Research and Technology*, 250(5): 1253–1267.
- Kulma M, Škvorová P, Petříčková D, Kouřimská L, 2023. A descriptive sensory evaluation of edible insects in Czechia: Do the species and size matter? *International Journal of Food Properties*, 26(1): 218–230.
- Lee JH, Kim TK, Jeong CH, Yong HI, Cha JY, Kim BK, Choi YS, 2021. Biological activity and processing technologies of edible insects: A review. *Food Science and Biotechnology*, 30(8): 1003–1023.
- Li A, Dewettinck K, Verheust Y, Van de Walle D, Raes K, Diehl B, Tzompa-Sosa DA, 2024. Edible insects as a novel source of lecithin: Extraction and lipid characterization of black soldier fly larvae and yellow mealworm. *Food Chemistry*, 452: 139391.
- Matiza Ruzengwe F, Nyarugwe SP, Manditsera FA, Mubaiwa J, Cottin S, Matsungu TM, Chopera P, Ranawana V, Fiore A, Macheka L, 2022. Contribution of edible insects to improved food and nutrition security: A review. *International Journal of Food Science & Technology*, 57(10): 6257–6269.
- Nongonierma AB, FitzGerald RJ, 2017. Unlocking the biological potential of proteins from edible insects through enzymatic hydrolysis: A review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 43: 239–252.
- Omuse ER, Tonnang HEZ, Yusuf AA, Machekano H, Egonu JP, Kimathi E, Mohamed SF, Kassie M, Subramanian S, Onditi J, Mwangi S, Ekesi S, Niassy S, 2024. The global atlas of edible insects: Analysis of diversity and commonality contributing to food systems and sustainability. *Scientific Reports*, 14(1): 5045.
- Pal A, Mann A, den Bakker HC, 2024. Analysis of microbial composition of edible insect products available for human consumption within the United States using traditional microbiological methods and whole genome sequencing. *Journal of Food Protection*, 87(6): 100277.
- Qu XY, Li M, Li HL, Liu JT, Ren XQ, 2021. Edible insects research progress. *Food Research and Development*, 42(23): 204–210. [屈小雨, 李敏, 李海澜, 刘家彤, 任小青, 2021. 可食用昆虫的研究进展. 食品研究与开发, 42(23): 204–210.]
- Sánchez-Estrada ML, Aguirre-Becerra H, Feregrino-Pérez AA, 2024. Bioactive compounds and biological activity in edible insects: A review. *Heliyon*, 10(2): e24045.
- Song PJ, Zhao S, He Q, Tang SY, Lv XY, Gou MX, 2022. Nutritional functional characteristics of insects and its application in food field. *Meat Industry*, 2022(9): 48–52. [宋培菊, 赵霜, 何情, 唐舜尧, 吕小勇, 苟梦星, 2022. 昆虫的营养功能特性及其在食品领域的应用. 肉类工业, 2022(9): 48–52.]
- Vlahova-Vangelova D, Balev D, Kolev N, Dragoev S, Petkov E, Popova T, 2024. Comparison of the effect of drying treatments on the physicochemical parameters, oxidative stability, and microbiological status of yellow mealworm (*Tenebrio molitor* L.) flours as an alternative protein source. *Agriculture*, 14(3): 436.
- Wade M, Hoelle J, 2020. A review of edible insect industrialization: Scales of production and implications for sustainability. *Environmental Research Letters*, 15(12): 123013.
- Wang H, Yang W, Yang CP, Yang H, Yang XZ, Zhang H, 2012. Analysis and evaluation of the nutritional composition of *Euconocephalus nasutus* Thunberg. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 49(5): 1304–1308. [王荟, 杨伟, 杨春平, 杨桦, 杨学圳, 张华, 2012. 鼻优草螽的资源成分分析及价值评价. 应用昆虫学报, 49(5): 1304–1308.]
- Wangorsch A, Jamin A, Spiric J, Vieths S, Scheurer S, Mahler V, Hofmann SC, 2024. Allergic reaction to a commercially available insect snack caused by house cricket (*Acheta domestica*) tropomyosin. *Molecular Nutrition & Food Research*, 68(5): 2300420.
- Wu GC, Zou Y, Liu ZJ, Zhuo ZX, Wu ZW, 2023. Analysis and evaluation of nutrient composition of *Marumba dyras* larvae. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 29(9): 118–122. [吴光聪, 邹悦, 刘梓健, 卓泽鑫, 吴正伟, 2023. 椴六点天蛾幼虫营养成分分析和评价. 安徽农学通报, 29(9): 118–122.]
- Yang JJ, Cai YZ, Liu YX, Luo Z, Deng YH, Li DX, 2023. Analysis of CiteSpace knowledge map of gut microbiota research in field of Chinese medicine in recent twenty years. *Journal of Chinese Materia Medica*, 48(5): 1370–1380. [阳晶晶, 蔡昱哲, 刘艺璇, 罗政, 邓奕辉, 李定祥, 2023. 近二十年中医药领域肠道菌群研究的 CiteSpace 知识图谱分析. 中国中药杂志, 48(5): 1370–1380.]