

# 基于 Web of Science 探究肿腿蜂科昆虫的研究进展及趋势

潘书梅<sup>1,2</sup>, 郝好东<sup>2</sup>, 李莉<sup>1\*</sup>, 刘柱东<sup>2\*</sup>

(1. 贵州师范大学生命科学学院, 贵阳 550025; 2. 河北大学生命科学学院, 保定 071002)

**摘要:** 为了解肿腿蜂科昆虫的资源价值、研究现状和发展趋势, 基于 Web of Science 核心数据库, 检索有关肿腿蜂科昆虫研究的相关文献。利用 R 语言文献计量分析程序包 bibliometril、文献可视化分析软件 CiteSpace 等对获得的数据进行分析, 从文献产出时间趋势、国家/地区和研究机构分布、期刊分布、关键词时间动态、研究热点与发展变化等方面进行文献计量和知识图谱分析。结果表明, 近 20 年以来, 肿腿蜂科昆虫相关的研究文献呈线性增长趋势; 发文量最多的国家主要是巴西、中国、美国 and 英国等, 其中巴西的累计发文量最多, 中国次之; Universidade Federal do Espirito Santo、United States Department of Agriculture、ZheJiang University 等科研机构发表论文最多。检索到的 317 篇文献主要来源于 Zootaxa、Biological Control、Entomologia Experimentalis et Applicata、Journal of Asia-Pacific Entomology 等动物学和昆虫学领域的知名期刊。肿腿蜂科研究内容逐渐多样化, 在生物防治、新物种鉴定、进化、行为 4 个主题词方面开展了较多且具有较长时间的研究。近阶段肿腿蜂科研究热点包括系统发育、膜翅目寄生蜂、分子系统学等研究内容。肿腿蜂科昆虫已在生物防治综合治理中发挥了重要的价值, 将会在分子机制方面更加深入研究。上述结果从收录论文的角度描述了肿腿蜂科昆虫的研究现状和发展趋势, 以期促进肿腿蜂科相关研究更加深入, 为该领域的研究者提供参考。

**关键词:** 肿腿蜂科; 资源价值; 共现网络; 文献计量分析; 趋势

中图分类号: Q968.1;S433 文献标识码: A

## The progress and trend of research on bethylidae insects based on Web of Science

PAN Shu-Mei<sup>1,2</sup>, HAO Hao-Dong<sup>2</sup>, LI Li<sup>1\*</sup>, LIU Zhu-Dong<sup>2\*</sup> (1. School of Life Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang 550025, China; 2. College of Life Science, Hebei University, Baoding 071002, Hebei Province, China)

**Abstract:** The objective of this study is to comprehend the resource value, research status, and developmental trends concerning Bethylidae insects. Utilizing the Web of Science core database, we conducted a comprehensive search for relevant literature on Bethylidae insect research. Employing the R language bibliometric analysis program package bibliometril and the literature visualization and analysis software CiteSpace, we conducted bibliometric and knowledge mapping

基金项目: 国家重大研发计划 (2021YFC2600101); 国家自然科学基金 (32371893 和 32060342); 贵州师范大学学术新苗基金 (黔师新苗[2021]A13 号); 贵州省高等学校高山杜鹃病虫害绿色防控重点实验室 (黔教技[2022]044 号)

作者简介: 潘书梅, 女, 1995 年生, 硕士研究生, 研究方向为昆虫化学生态学, E-mail: pansm050820@163.com

\*共同通讯作者 Author for correspondence: 刘柱东, 男, 博士, 研究员, 研究方向为昆虫生态与适应性进化, E-mail: liuzd@ioz.ac.cn;

李莉, 女, 博士, 副教授, 研究方向为昆虫化学生态及生物防治, E-mail: liliee001@126.com

收稿日期 Received: 2023-12-01; 接受日期 Accepted: 2024-03-11

analyses focusing on the temporal trend of literature outputs, the distribution of countries / regions and research institutes, journal distribution, temporal dynamics of keywords, and hotspots of research and developmental changes. The findings indicated a linear growth trend in research literature related to Bethyridae insects over the past two decades. The countries leading in the number of publications were Brazil, China, the United States, and the United Kingdom. Major contributions had come from institutions such as Universidade Federal do Espirito Santo, the United States Department of Agriculture, and Zhejiang University. The 317 retrieved papers primarily originate from renowned journals in the fields of Zoology and Entomology, including *Zootaxa*, *Biological Control*, *Entomologia Experimentalis et Applicata*, and *Journal of Asia-Pacific Entomology*. The research on Bethyridae had experienced a gradual diversification, with a focus on four key subject headings: Biological control, new species identification, evolution, and behavior. Current hotspots in Bethyridae research encompass phylogeny, Hymenoptera parasitic wasps, molecular systematics, and related areas. Bethyridae insects had demonstrated significant value in integrated biological control and are poised for more in-depth studies, particularly in exploring molecular mechanisms. This overview provides a comprehensive depiction of the current research status and developmental trends within Bethyridae insects, aiming to foster further exploration in this field and offer valuable insights to researchers.

**Key words:** Bethyridae; resource value; co-occurrence network; bibliometrics; trends

肿腿蜂科 Bethyridae 隶属于膜翅目 Hymenoptera 青蜂总科 Chrysoidea, 是许多农业害虫、林木蛀干类害虫(天牛、吉丁、小蠹、象甲类)幼虫和蛹的重要寄生性天敌,在中国、印度、欧洲、北美、夏威夷群岛和北非等地都有分布(陈君和程惠珍, 2000; Yang *et al.*, 2014; 周冰颖和雷海霞, 2021)。肿腿蜂科分布于 8 个亚科中, 包括 96 属 2920 种(Azevedo *et al.*, 2018), 分布于除寒温带、北极和海洋岛屿以外的世界各地(Evans, 1977; Azevedo *et al.*, 2015)。肿腿蜂科物种具有繁殖周期短、寄生种类广泛(Mugrabi and Azevedo, 2010)、寄生能力强、表型可塑性高等生物学习性, 被广泛应用于农林蛀干害虫的生物防治(陈君和程惠珍, 2000; 汪有奎等, 2000; 陈宗麒等, 2001)。早期研究聚焦其生物学习性(申莉莉和周祖基, 2002; 代平礼和徐志强, 2007)、寄主选择和适合度(Li *et al.*, 2010; Li *et al.*, 2011; Liu *et al.*, 2011; 周冰颖等, 2016; 任雪敏等, 2018)、行为学(张卫光等, 2004; Li *et al.*, 2009; Li *et al.*, 2015; 唐艳龙等, 2015; 黄维亚, 2017; 罗丽林和李莉, 2018; 蒋玉洁, 2021; 牛国霜等, 2022; Wei *et al.*, 2023; 韦云等, 2023)、生物防治与应用(郑雅楠等, 2022)。现今肿腿蜂的研究内容更加丰富, 肿腿蜂科昆虫的系统发育、分子系统学成为近阶段的研究热点。肿腿蜂科昆虫作为重要的天敌资源, 在农林害虫的生物防治和综合治理中发挥重要作用, 能有效防治天牛蛀干类害虫(郑雅楠等, 2022), 具有重要的利用价值。

对某个领域研究主题的挖掘来探索该领域主题特征的发展趋势已涉及各个领域。科学计量和可视化分析已为某个领域的深层次研究提供了一种合适的方法。该方法运用统计学对该研究领域有关文章、期刊、研究趋势等信息和指标进行定量分析, 并通过可视化分析该研究

领域的研究现状和趋势，对从事特定研究领域的研究人员提供重要见解，让其更好的了解该领域的研究发展趋势、范围、类别、重点议题、著作和作者等 (Li *et al.*, 2021)。

肿腿蜂科昆虫研究主题整体布局和演变随着时间的推进，其研究中紧密关联的知识单元的变化等问题需要进一步的梳理，便于该领域研究人员挖掘研究热点和前沿，进一步开展肿腿蜂科昆虫的研究。本研究应用 R 语言文献计量程序包 *bibliometrix* (Aria *et al.*, 2017) 和科技文献可视化分析软件 *CiteSpaces* (赵蓉英和李飞, 2013; 刘光阳, 2017)，以及 *Web of Science* 核心数据库在线分析等工具，对肿腿蜂科主题进行检索、提取和分析，探究肿腿蜂科研究的热点、学科领域构成、发展趋势等，以期梳理肿腿蜂科昆虫研究的整体布局和发展趋势。

## 1 数据源及分析方法

### 1.1 数据检索与采集

以 *Web of Science* 核心数据库 (以下简称“WoSCC”) 为数据源，采用高级检索，选择“WoSCC 核心合集”，检索式为主题=“*Bethylidae*”。根据主题及限定条件 (SCI 和 SSCI) 进行检索，检索期限为 2003-2023 年，WoSCC 数据库仅检索英文文献，数据检索截止日期为 2023 年 9 月 2 日。

### 1.2 分析方法

应用 R 程序包 *bibliometrix* 提取作者、关键词、文献源等关键信息以及时间序列数据，使用 *stata* 包中 *lm* 函数进行趋势拟合，使用 *ggplot2* 进行统计数据绘图。使用文献题录信息统计分析工具 *CiteSpace* 软件、*Origin*、WoSCC 数据库网站提供的在线分析工具对所获得的数据进行分析、作图及可视化处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 肿腿蜂科昆虫文献检索情况及研究概况

检索到文献的时间跨度为 2003-2023 年，检索文献数量共 317 篇。使用 R 程序包 *bibliometrix* 对 WoSCC 检索到的数据集进行主要描述性信息 (表 1)。文献来源于 114 种期刊，570 位研究人员 (单独或合著)，其中 14 位研究人员仅发表过一篇文献。大多数文献的工作都由多位作者共同合作完成，其中国际合作作者占比 31.23%，每篇文献的平均合作作者数为 3.43 人，单一作者文献贡献数量仅有 24 篇，平均每篇文献引用量为 10.52，以上检索数据表明，肿腿蜂科的研究在国内外都受到广泛的关注。

表 1 WoSCC 检索数据集的主要描述性信息

Table 1 Descriptive information of the data set on *Bethylidae* by WoSCC

描述信息	结果	描述信息	结果
Description	Results	Description	Results
出版期间	2003-2023	关键词	720
Timespan		Keywords Plus (ID)	
文献源 (期刊、图书等)	114	作者关键词	796
Sources(Journals, Books, etc)		Author's Keywords (DE)	

文献数量 Documents	317	作者数 Authors	570
年增长率 (%)	3.94	仅发表一篇文献的作者数	14
Annual Growth Rate		Authors of single-authored docs	
文献平均使用年限	8.55	单一作者文献数	24
Document Average Age		Single-authored docs	
平均每篇文章引用量	10.52	每篇文献合作作者数	3.43
Avg.citations per document		Co-Authors per Doc	
参考文献	7 782	国际合作作者 (%)	31.23
References		International co-authorships	
论文 Articles	292	综述 Review	13
修正 Correction	6	其他 Other (letter, note, etc)	6

通过对 2003-2023 年检索到的 317 篇文献进行整理与分析，整理出近 20 年肿腿蜂科研究排名前 10 的物种（表 2）。其中具代表性的研究物种有 *Prorops nasuta*、甲虫肿腿蜂 *Cephalonomia stephanoderis*、管氏肿腿蜂 *Sclerodermus gunai*、白蜡吉丁肿腿蜂 *Sclerodermus pupariae* 等。肿腿蜂科由 2920 种组成，分为 96 属，分布在 8 个亚科中 (Azevedo *et al.*, 2018)，其作为重要的天敌昆虫，在生物学习性、寄生行为、生物防治与应用等方面已经开展了许多研究。目前对肿腿蜂科的研究热点包括系统发育、膜翅目寄生蜂、分子系统学等。近年来，鞘翅目天牛及松材线虫 *Bursaphelenchus xylophilus* 对松树 *Pinus spp.* 进行危害，造成大量的松树死亡和严重的经济损失，而肿腿蜂科昆虫被广泛应用于鞘翅目昆虫的生物防治当中，因此，对肿腿蜂科昆虫的更深入研究让其更高效的用于今后的生物防治中是很有必要的。肿腿蜂科硬皮肿腿蜂属 *Sclerodermus*——管氏肿腿蜂作为我国重要的农林害虫天敌，于 1983 年由萧刚柔先生鉴定、发表为新种，寄生于粗鞘双条杉天牛 *Semanotus bifasciatus* 上，并将其命名为管氏肿腿蜂 *S. guani* Xiao *et Wu* (萧刚柔和吴坚, 1983)。20 多年后，日本 Terayama 和韩国 Lim 等于 2006 年发表论文，将我国的管氏肿腿蜂列为哈氏肿腿蜂 *Sclerodermus harmandi* (Buysson 1903) 的同物异名，徐再福和何俊华 2008 年发表的论文也同意此观点。在分类学研究中，杨忠岐等 (2014) 仔细检查了萧刚柔先生保存在中国林业科学研究院昆虫标本馆中的管氏肿腿蜂模式标本，并对我国管氏肿腿蜂进行了再描述，认为我国的管氏肿腿蜂与哈氏肿腿蜂明显不同，管氏肿腿蜂应为一个有效种。因此，本文管氏肿腿蜂的拉丁文以杨忠岐等 (2014) 再描述的为准。

表 2 肿腿蜂科昆虫研究前 10 的物种

Table 2 Top 10 species of Bethyilidae insects studied

排序	物种	物种中文译名	文献数量 (篇)
Order	Species	Species Chinese Name	Literature amount
1	<i>Prorops nasuta</i>	-	19
2	<i>Cephalonomia stephanoderis</i>	甲虫肿腿蜂	15
3	<i>Sclerodermus gunai</i>	管氏肿腿蜂	12
4	<i>Sclerodermus pupariae</i>	白蜡吉丁肿腿蜂	12
5	<i>Sclerodermus harmandi</i>	哈氏肿腿蜂	8
6	<i>Cephalonomia tarsalis</i>	红跗头甲肿腿蜂	6

7	<i>Sclerodermus brevicornis</i>	-	6
8	<i>Cephalonomia waterstoni</i>	瓦氏头肿腿蜂	5
9	<i>Cephalonomia hyalinipennis</i>	-	5
10	<i>Sclerodermus sichuanensis</i>	川硬皮肿腿蜂	4

注：“-”表示未查询该物种中文译名。Note：“-” indicated that the Chinese Name of the species was not queried.

## 2.2 肿腿蜂科昆虫论文产出的时间趋势

### 2.2.1 文献整体产出趋势

WoSCC 数据库中肿腿蜂科昆虫相关的研究论文发表趋势（图 1），WoSCC 数据中检索肿腿蜂科相关研究论文从 2003 年开始年发文量 6 篇，到 2023 年年发文量 13 篇，整体上呈现线性增长的趋势（ $y=0.5974x-1187.4762$ ,  $F=14.63$ ,  $r^2=0.4349$ ,  $P<0.001$ ），平均每年以约 16 篇的速度增长，文献累计量曲线呈现显著的线性增长模式（ $y=16.166x-32398.486$ ,  $F=1830$ ,  $r^2=0.9897$ ,  $P<0.001$ ）。文献发表量随着时间的演变表明了肿腿蜂科的相关研究呈增长的趋势。

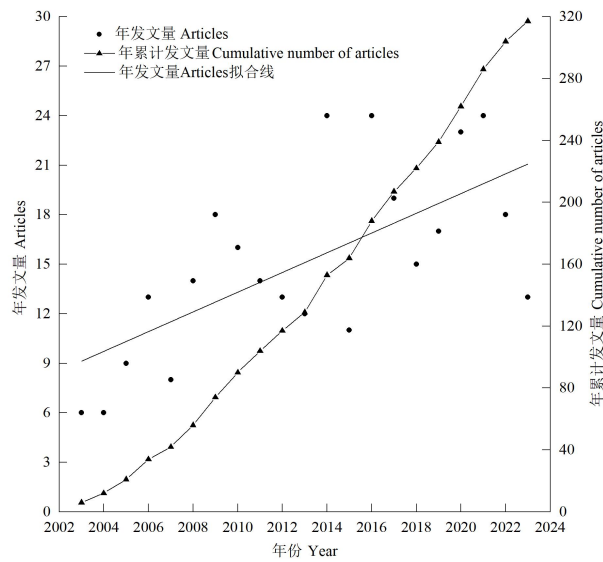


图 1 肿腿蜂科研究论文的年分布

Fig. 1 Publication trends of the papers from 2003 to 2023

### 2.2.2 学科类别产出趋势

某个科学主题在某一学科的发展趋势与该学科研究发表的文献数量和内容结构关联密切。对肿腿蜂科昆虫研究主题发文量排名前 10 学科领域的发文趋势进行了分析（图 2）。肿腿蜂科研究主要集中于昆虫学 Entomology 和动物学 Zoology 领域。其中昆虫学 Entomology 领域的发文量最多，发文量 156 篇，动物学 Zoology 领域次之，102 篇，其他领域的发文量低于 20 篇。

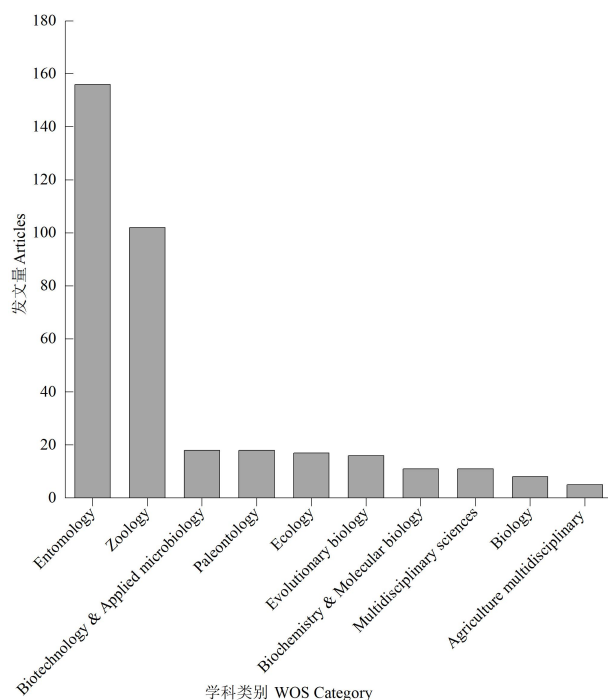


图2 发文章数前10位的学科发文趋势

Fig. 2 Annual distribution of publications of the top 10 WOS scientific categories

### 2.2.3 期刊产出趋势

从 WoSCC 中检索数据得出,肿腿蜂科研究主题发文章数前 10 的期刊(表 3),其中 *Zootaxa* 发文章数最高,总发文章数为 69 篇,其次是 *Biological Control* 发文章数为 15 篇,其它期刊发文章数均未超过 10 篇。总体而言,肿腿蜂科相关研究论文主要刊发在动物学和昆虫学相关领域期刊上。具体而言,近二十年来,肿腿蜂科研究的主要热点是新物种的描述,占总发文章数的 21.7%。

对 WoSCC 检索出排名前 10 的期刊的年产出变化趋势进行了分析(图 3)。近 20 年来,*Zootaxa* 的产出相对稳定且在该期刊上发文章数最多, *Entomologia Experimentalis et Applicata*、*Journal of Asia Pacific Entomology* 等多个期刊在 2006 年后才开始刊登肿腿蜂科相关的文献。其中 *Journal of Hymenoptera Research* 期刊从 2015 年发文章数增加, *Revista Brasileira De Entomologia* 这个期刊从 2012 年开始没有刊发肿腿蜂科相关研究文献。

表 3 肿腿蜂科发文章数前 10 的期刊

Table 3 Outputs of top 10 journals on Bethyilidae

期刊英文名 English Name of Journal	期刊中文译名 Journals Chinese Name	总发文章数(篇) Articles
<i>Zootaxa</i>	《动物学报》	69
<i>Biological Control</i>	《生物防治》	15
<i>Entomologia Experimentalis Et Applicata</i>	《昆虫学实验与应用》	9
<i>Journal of Asia Pacific Entomology</i>	《亚太昆虫学期刊》	8
<i>Journal of Hymenoptera Research</i>	《膜翅目研究杂志》	7
PLoS ONE	《PLoS ONE》	7
<i>Revista Brasileira De Entomologia</i>	《巴西昆虫杂志》	7

Entomological news	《昆虫学新闻》	5
Florida Entomologist	《佛罗里达昆虫学家》	5
Insect Systematics Evolution	《昆虫系统进化》	5

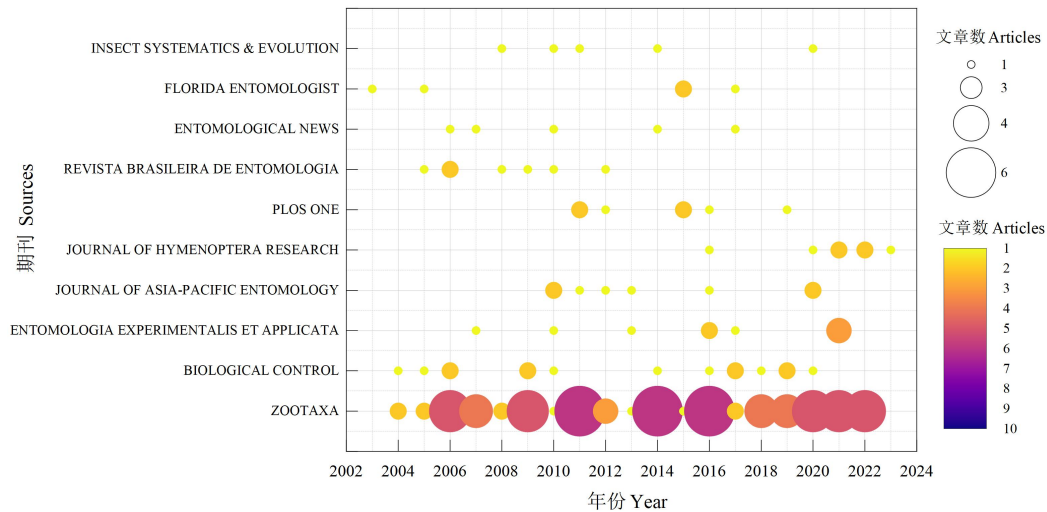


图 3 排名前 10 的期刊年发文量变化

Fig. 3 Outputs of top 10 journals on Bethylidae from 2003 to 2023

## 2.3 肿腿蜂科昆虫文献产出空间分布及作者群分析

### 2.3.1 国家（地区）分布

基于 WoSCC 数据库检索到全球共有 42 个国家（地区）检索出了 317 篇文献，排名前 5 的国家分别是巴西(Brazil)、中国(China)、美国(USA)、英国(UK)、韩国(Korea)。2010 年之前，发文量领先的是巴西和美国；2010 年之后，中国的发文量开始上升，在 2010 至 2015 年期间中国发文量达到最高，超过巴西和美国（图 4）。研究论文数量的提高表明了中国科研工作者自 2010 年开始对肿腿蜂科的研究投入在不断增加，在国际上有越来越重要的影响力。

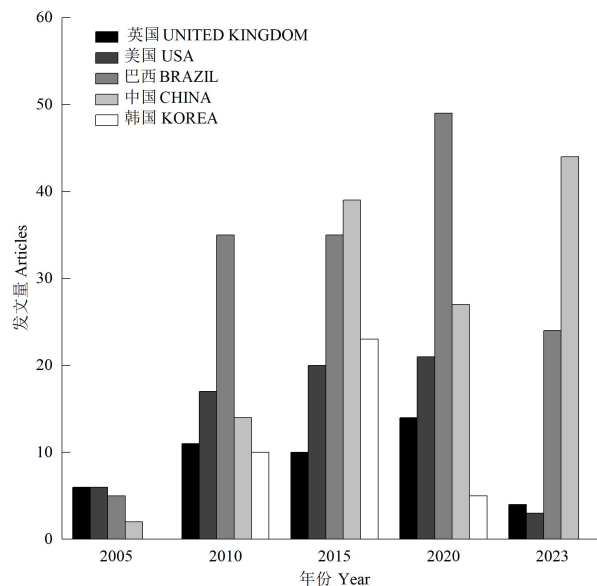


图 4 排名前 5 的国家年发文量变化

Fig. 4 Annual distribution of publications of the top 5 countries

### 2.3.2 研究机构分布

WoSCC 核心合集检出文献所属独立机构为 290 个，对排名前 5 的研究机构进行了分析（表 4）。其中，Universidade Federal do Espirito Santo 累计发表文献 109 篇排名第一，占总发文量的 34.4%，United States Department of Agriculture (USDA) 累计发文量 17 篇排名第二，占总发文量 5.4%，浙江大学累计发文量为 16 篇排名第三，占总发文量 5.0%。排名前 5 的期刊总发文量为 172 篇，占总发文量的 54.3%。

表 4 肿腿蜂科昆虫研究文献发表量前 5 的机构

Table 4 Top 5 units with literatures on Bethylidae in China in the database

排序 Order	机构 Unit	发表文献数量（篇） Literature amount
1	圣埃斯皮里图联邦大学 Universidade Federal do Espirito Santo	109
2	美国农业部 United States Department of Agriculture (USDA)	17
3	浙江大学 ZheJiang University	16
4	国家科学研究中心（法国） Centre National De La Recherche Scientifiqu (CNRS)	15
5	诺丁汉大学 University of Nottingham	15

### 2.3.3 作者群分析

WoSCC 检索出肿腿蜂科相关研究论文 317 篇中，共检索出作者数为 570。对 WoSCC 核心合集数据库检索出关于肿腿蜂科文献的作者关系群进行分析，其中线条连接表示作者之间的合作，原点越大表示该作者发文量越多（图 5）。其中单个作者群数最多为 14，第二为 9，发文量最多的作者是 Azevedo, Celso O。其他一般为 2~7 人每作者群，单一作者有 67 个。这表明了肿腿蜂科研究的团队之间存在密切合作。



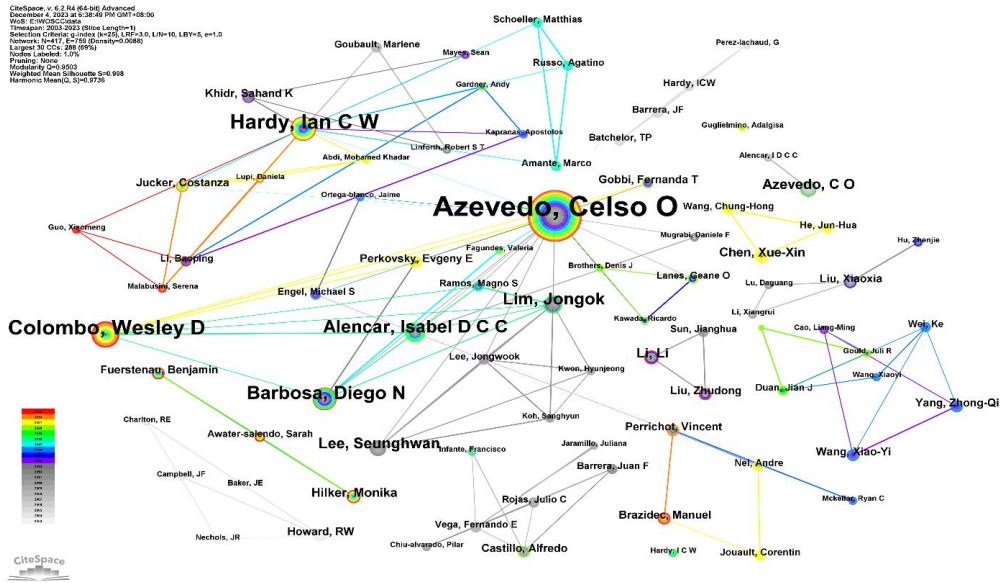


图 5 WoSCC 数据库检索的关于肿腿蜂科研究文献的作者关系群

Fig. 5 Authors network of the literatures on Bethylidae in the database WoSCC

## 2.4 肿腿蜂科昆虫研究热点与发展变化

### 2.4.1 研究主题构成

对 WoSCC 数据库检索到的 317 篇论文的关键词进行分析，提取出排名前 50 的关键词的词云，以分析肿腿蜂科研究的主题及研究热点（图 6）。图中字体越大表明此关键词出现频次越高，即表明该关键词（主题）的研究关注度较高。其中肿腿蜂科(Bethylidae)、进化（Evolution）、膜翅目(Hymenoptera)、行为(Behavior)、生物防控(Biological-Control)是肿腿蜂科研究中的主要关注点，咖啡小蠹-鞘翅目(Hypothenemus-hampeii Coleoptera)、系统发育(Phylogeny)等也是较受关注的主题。

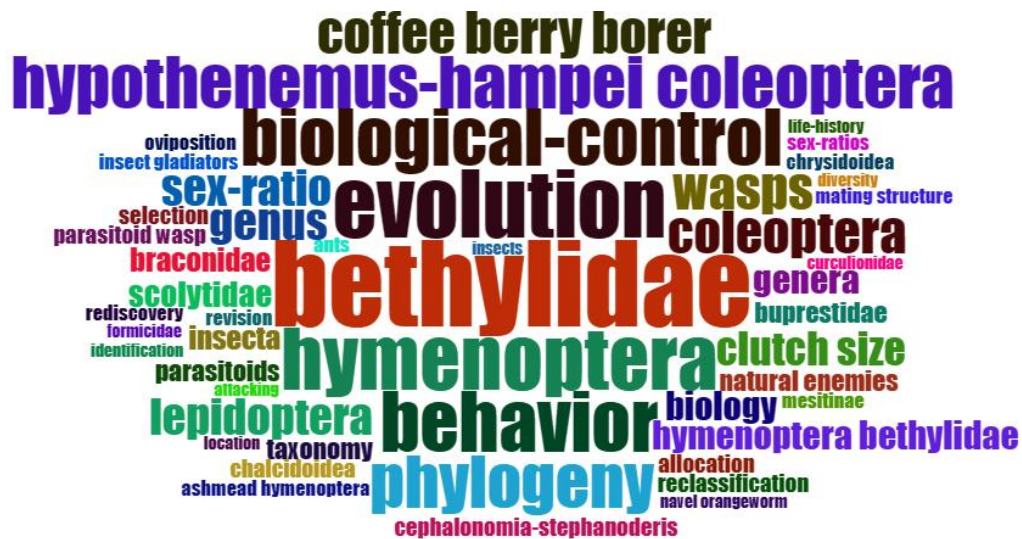


图 6 出现频次大于 20 的关键词词云（前 50 词）

Fig. 6 Words cloud of top 50 keywords

### 2.4.2 研究热点

研究热点时间轴表明该研究领域随着时间演变的研究进展。通过 CiteSpace 软件对 2003-2023 年 WoSCC 收录的关于肿腿蜂科研究论文的关键词进行聚类分析，采用 LLR 算法计算，进行时间聚类分析，剔除图谱中小聚类模块并做相应调整，得出 WoSCC 发表的肿腿蜂科研究内容总共被分成 27 类研究热点问题，在此仅展示了该研究领域前 8 类研究热点问题(图 7)：聚类 0 (#0) 研究主要关注 Flat wasps (肿腿蜂科)，其包括对拟寄生蜂 (Parasitoid)、分子系统发育 (Molecular phylogeny) 等 4 个主题词的研究；聚类 1 (#1) 研究主要关注 Coffee berry borer (咖啡浆果蛀虫)，该类的研究时间较长且有较多的研究方向，研究肿腿蜂对咖啡浆果害虫的生物防治作用；聚类 2 (#2) 研究主要关注的物种是 *Sclerodermus guani* (管氏肿腿蜂)，其研究包括母蜂投入 (Maternal investment)、寄主体型大小 (Body size) 对管氏肿腿蜂的影响；聚类 3 (#3) 研究主要关注 Plumariidae (毛角土蜂科)，其中主要包括对昆虫化学生态 (Chemical ecology) 的研究；聚类 4 (#4) 研究主要关注 *Cephalonomia waterstoni* (瓦氏头肿腿蜂 (Hou *et al.*, 2004))，该聚类的研究时间也较长，其中研究包括对 Semiochemicals (化学信息素)、Systematics (分类学)、*Cephalonomia tarsalis* (红跗头甲肿腿蜂 (Ashmead, 1893)) 的研究；聚类 5 (#5) 研究主要关注 New species (新物种)，其中对 New record (新纪录)、New genera (新属) 的研究较多；聚类 6 (#6) 和聚类 7 (#7) 主要研究 Quasi-social parasitoid (亚社会性寄生蜂) 和 Stored product pest (仓储性害虫)，其中这两个聚类研究主要包括对蛀干类害虫、GC-MS 分析 (GC-MS analysis)、Sex pheromone (性信息素)、Phenotype matching (表型)、Kin recognition (亲属选择) 等的研究。

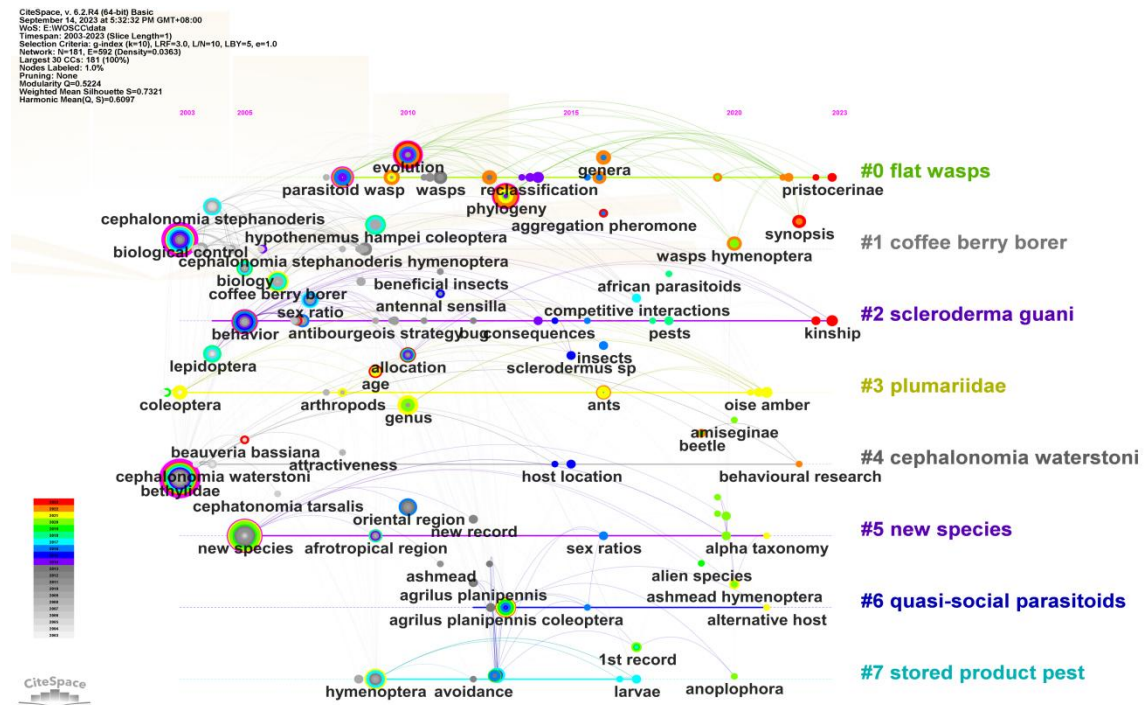


图 7 肿腿蜂科研究热点时间轴

Fig. 7 Bethylidae research frontier analysis

### 2.4.3 肿腿蜂科研究的发展变化

















对某研究领域关键词突现的分析,可表明该领域研究者阶段性所关注的研究热点和发展趋势。采用 CiteSpace 软件中的 Burstness 分析功能,对肿腿蜂科研究领域论文的关键词进行突现分析,得到关键词突现结果(表 5)。表中红色符号  表示关键词突现部分,Strength 表示每个使用频次较高关键词突变的强度,强度越高表示该关键词在其研究领域相应的时间区间影响越大(李杰和陈超美, 2017)。在本领域研究的早期阶段,出现时间较早的关键词是咖啡浆果蛀虫(Coffee berry borer),该阶段在肿腿蜂科昆虫与寄主之间的相互作用、肿腿蜂科昆虫行为与适合度的研究较多;中期阶段,关键词寄生蜂(Parasitoid wasp)和 *Agrilus planipennis* Coleoptera(白蜡窄吉丁鞘翅目)的突现强度较高,其中膜翅目肿腿蜂科(Hymenoptera Bethylidae)和进化(Evolution)也逐渐成为研究热点。近年来肿腿蜂科研究方向开始倾向于分子研究层面,其中关键词系统发育(Phylogeny)突现强度较高。随着科学技术的不断提升,肿腿蜂科昆虫的研究内容更加丰富,且研究层次更加深入。

表 5 肿腿蜂科研究领域 20 个使用频次较高关键词突变的强度

Table 5 Top 20 Keywords with the Strongest Citation Bursts of the Bethylidae

关键词 Keywords	年份 Year	突变强度 Strength	起始 Begin	结束 End	时间段(2003-2023) Time period
咖啡浆果蛀虫 Coffee berry borer	2004	2.35	2004	2009	
攻击 Attacking	2004	1.8	2004	2009	
性比 Sex ratio	2007	2.26	2007	2010	
行为 Behavior	2005	1.95	2007	2009	
膜翅目 Hymenoptera	2009	2.26	2009	2012	
小蠹科 Scolytidae	2009	1.91	2009	2012	
东洋区 Oriental region	2010	2.76	2010	2016	
寄生蜂 Wasps	2011	2.24	2011	2013	
白蜡窄吉丁鞘翅目 <i>Agrilus planipennis</i> Coleoptera	2013	3.24	2013	2019	
膜翅目肿腿蜂科 Hymenoptera Bethylidae	2013	2.89	2013	2017	
寄生蜂 Parasitoid wasp	2008	3.67	2014	2016	
进化 Evolution	2010	1.81	2014	2016	
鳞翅目 Lepidoptera	2004	1.99	2017	2018	
咖啡小蠹鞘翅目 <i>Hypothenemus hampei</i> Coleoptera	2009	1.89	2017	2018	
新物种	2005	3.17	2019	2020	

New species					
系统发育	2013	4.83	2020	2023	-----
Phylogeny					
属	2010	3.75	2020	2021	-----
Genus					
寄生蜂膜翅目	2020	2.51	2020	2023	-----
Wasps Hymenoptera					
蚂蚁	2016	2.69	2021	2023	-----
Ants					
分子系统发育	2010	2.56	2021	2023	-----
Molecular phylogeny					

## 2.5 基金支持

通过对 WoSCC 检索的 317 篇文献的支持基金进行分析，总共有 108 项基金支持肿腿蜂科的相关研究。肿腿蜂科研究前 5 的基金名称（表 6）表明，对于肿腿蜂科的研究，基金项目比较充足，巴西国家科技发展委员会对该领域的支持力度最大，发文量为 75 篇，占文献总数的 23.7%，表明巴西国家对肿腿蜂科昆虫研究支持力度较大。

表 6 肿腿蜂科昆虫研究的文献支持基金（WoSCC）

Table 6 Founding noted in the literatures on Bethyidae in the database WoSCC

排序	基金名称	检出文献数量（篇）
Order	Name of the found	Literature amount
1	国家科技发展委员会（巴西） Conselho Nacional De Desenvolvimento Cientifico E Tecnologico Cnpq	75
2	圣埃斯皮里图州研究基金会(巴西) Fundacao De Amparo A Pesquisa Do Estado De Espiritu Santo Fapes	29
3	中国国家自然科学基金 National Natural Science Foundation Of China Nsf	29
4	高等教育人员能力协调机构（美国） Coordenacao De Aperfeicoamento De Pessoal De Nivel Superior Capes	27
5	国家科学基金会（美国） National Science Foundation Nsf	10

## 3 总结与讨论

### 3.1 总结

本文基于 WoSCC 数据库，2003-2023 年期间共检索出 317 篇肿腿蜂科研究的相关文献共刊载于 114 个期刊（或书籍），平均每年发表 16 篇文献，相关文献量的产出虽呈线性增长趋势，但总体文献量不多还有待增加投入，应加大研究力度。肿腿蜂科相关研究主要集中于昆虫学（Entomology）和动物学（Zoology）领域；相关研究论文主要发表在 Zootaxa、Biological Control、Entomologia Experimentalis et Applicata 等动物学和昆虫学相关领域期刊上。肿腿蜂科的研究分布广，其中排名前五的国家分别是巴西、中国、美国、英国、韩国，2010 年之后，中国的发文量开始上升，在 2015 年发文量达到最高，超过巴西和美国。肿腿蜂科研究主要包括肿腿蜂科昆虫新物种记录、进化、膜翅目、行为、生物防控等层面。研究热点向性信息素、表型、分子系统发育、分类学等方面发展。经费投入方面，共有 108 项基金支持肿

腿蜂科的相关研究，经费投入相对充足。

### 3.2 讨论

纵观 20 年来肿腿蜂科昆虫的研究进展和趋势，肿腿蜂科昆虫的研究取得了长足的进步，在研究物种、研究方向和研究机构上呈现多样化，机构间的合作国际程度呈现良好特征，但也存在受关注度较低、研究阶段还多停留在新种的描述，阻碍肿腿蜂科天敌昆虫控害的实践。

二十年来，中国和巴西逐渐成为肿腿蜂研究的中心。巴西和中国有关肿腿蜂的发文量分别为 148 和 126 篇，分别占全球发文量的 46%和 40%；此外，巴西和中国在肿腿蜂方面研究的投入也是排在前列，表明巴西和中国肿腿蜂昆虫资源十分丰富，且十分重视肿腿蜂昆虫天敌资源的挖掘和应用，将为蛀干蛀果类害虫的治理提供可用的天敌资源。巴西作为发文和研究投入首位的国家，成功的利用甲虫肿腿蜂寄主搜寻特性防治咖啡小蠹 *Hypothenemus hampei* (Gómez *et al.*, 2005; De Souza *et al.*, 2006; Gómez *et al.*, 2012)。我国对肿腿蜂资源研究比较多，主要聚焦研究了管氏肿腿蜂生物学、生态学及应用探索 (Liu *et al.*, 2011; Hu *et al.*, 2012; Li *et al.*, 2015; Liu *et al.*, 2021)，目前已被广泛用于蛀干害虫的生物防治 (Yao and Yang, 2008; Yang *et al.*, 2014)。通过关键词搜索确定肿腿蜂昆虫进化 (分类)、行为和生物防治是这 20 年来研究的主要方向，但根据发表论文的刊物来看，发表在 *Zootaxa* 高达 69 篇，占总发文量的 22%，这些文章多为新种的描述。此外，从物种发文数量来看，排名第 10 的川硬皮肿腿蜂 *Sclerodermus sichuanensis* 仅发表 4 篇，表明很多物种仅发表相关论文 1 篇，急需深入加强对已发现的肿腿蜂昆虫生物学生态学的研究，探究其应用于蛀干蛀果害虫的生物防治的潜力和前景。目前，两个排在靠前的肿腿蜂，管氏肿腿蜂和甲虫肿腿蜂，是被研究比较深入的物种，已被广泛用于生物防治。其它肿腿蜂未来研究中，应当借助这两种肿腿蜂的研究模式，深入研究其生物学和寄生行为，为未来天敌资源的开发提供支持。

肿腿蜂科昆虫是许多农业害虫、林木蛀干类害虫 (天牛、吉丁、小蠹、象甲类) 幼虫和蛹的重要寄生性天敌，在中国、印度、欧洲、北美、夏威夷群岛和北非等地都有分布 (陈君和程惠珍, 2000; Yang *et al.*, 2014; 周冰颖和雷海霞, 2021)，是很有潜力的生物防治因子，将在对蛀干蛀果隐蔽性强害虫的生物防治发挥重要作用。此外，肿腿蜂科昆虫具有极强的行为可塑性和某些社会性行为，常被作为种内和种间关系及寄主利用研究的生态模型，探讨生态学现象，丰富了生态学理论。Goubault 等 (2006) 利用大气化学电离质谱 (APCI-MS) 方法，研究了肿腿蜂 *Goniozus legneri* Gordh 同种雌性个体竞争时释放螺乙缩醛 (2-methyl-1,7-dioxaspiro[5,5]undecane) 介导竞争结果。我国学者研究管氏肿腿蜂寄生不同大小寄主的适合度，阐明了寄生死亡风险驱动合作 (Liu *et al.*, 2011; Liu *et al.*, 2021)。应用方面，探讨了管氏肿腿蜂与球孢白僵菌 *Beauveria bassiana* 联合防控天牛的生态学机制，为二者协同增效控害提供了理论基础 (刘洪剑, 2007; 杨清碰和李莉, 2017; 郭涵, 2020)。

现阶段，肿腿蜂科昆虫在分子层面的研究更加深入，在其分子系统发育、毒液基因鉴定及功能验证、嗅觉机制、适应性进化等方面开展研究，将阐明寄主搜寻、控害背后的内在机

制 (Perkin *et al.*, 2015; Laurino *et al.*, 2016; Huang *et al.*, 2023)。深入开展肿腿蜂科昆虫表型与机理相互作用的研究,将为肿腿蜂科昆虫应用于全球农林害虫生物防治和综合治理应用方面提供更多科学理论支撑。

## 参考文献 (References)

- Aria M, Cuccurullo C. Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis [J]. *Journal of Informetrics*, 2017, 11 (4): 959-975.
- Ashmead WH. A Monograph of the North American Proctotrupidae [M]. America: Bulletin of the United States Nation Museum, 1893: 45: 1-463.
- Azevedo CO, Alencar IDCC, Ramos MS, *et al.* Global guide of the flat wasps(Hymenoptera: Bethyridae) [J]. *Zootaxa*, 2018, 4489 (1): 1-249.
- Azevedo CO, Garcia R, Gobbi FT, *et al.* Insecta, Hymenoptera, Bethyridae: Range extension and filling gaps in Central African Republic [J]. *Check List*, 2015, 11 (2): 1-4.
- Buysson DR. Hymenopteres recoltés au Japon par MJ. Harmand [C]. Paris: Bulletin Museum National d'Historie Naturelle, 1903, 9 (3): 125-127.
- Chen J, Cheng HZ. Advances in applied research on *Scleroderma* spp [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2000, 16 (4): 166-170. [陈君, 程惠珍. 肿腿蜂的应用研究进展 [J]. 中国生物防治, 2000, 16 (4): 166-170]
- Chen ZQ, Zhan AD, Liao S, *et al.* Progress in the research of parasitoids species of *Plutella xylostella* (L.) and their introduction and utilization in China [J]. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 2001, 16 (4): 308-312. [陈宗麒, 湛爱东, 缪森, 等. 小菜蛾寄生性天敌研究及引进利用进展 [J]. 云南农业大学学报, 2001, 16 (4): 308-312]
- Dai PL, Xu ZQ. Embryonic development of mass rearing *Scleroderma guani* [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2007, 44 (3): 431-433. [代平礼, 徐志强. 管氏肿腿蜂的胚胎发育观察 [J]. 昆虫知识, 2007, 44 (3): 431-433]
- De Souza MS, Teixeira CAD, Azevedo CO, *et al.* Occurrence of *Cephalonomia stephanoderis* Betrem (Hymenoptera: Bethyridae) in coffee plantations of the Brazilian Amazonia [J]. *Neotropical Entomology*, 2006, 35 (4): 560-562.
- Evans, HE. A revision of the *Holepyris* in the Americas (Hymenoptera: Bethyridae) [J]. *Trans. Am. Entomology Society*, 1977, 111: 531-579.
- Gómez J, Barrera JF, Liedo P, *et al.* Influence of age and diet on the performance of *Cephalonomia stephanoderis* (Hymenoptera: Bethyridae) a parasitoid of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*(Coleoptera: Curculionidae) [J]. *Revista Brasileira De Entomologia*, 2012, 56 (1): 95-100.
- Gómez J, Barrera JF, Rojas JC, *et al.* Volatile compounds released by disturbed females of *Cephalonomia stephanoderis* (Hymenoptera: Bethyridae): A parasitoid of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) [J]. *Florida Entomologist*, 2005, 88 (2): 180-187.
- Goubault M, Batchelor T, Linforth R, *et al.* Volatile emission by contest losers revealed by real-time chemical analysis [J]. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2006, 273: 2853-2859.
- Guo H, Liu ZD, Sun JH. Effects of spore suspension concentration and host body size on the pathogenicity of *Beauveria bassiana* against *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae) larvae [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2020, 63 (7) : 835-842. [郭涵, 刘柱东, 孙江华. 孢悬液浓度和宿主体型大小对球孢白僵菌对松墨天牛幼虫的致病力的影响 [J]. 昆虫学报, 2020, 63 (7): 835-842]
- Hou XW, Paul F, Paul F, *et al.* Control of stored-product beetles with combinations of protein-rich pea flour and parasitoids [J]. *Environmental Entomology*, 2004, 33 (3): 671-680.
- Huang GZ, Liu ZD, Gu SH, *et al.* Identification and functional analysis of odorant-binding proteins of the parasitoid wasp *Scleroderma guani* reveal a chemosensory synergistic evolution with the host *Monochamus alternatus* [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2023, 249, 126088.
- Huang WY. Maternal Care of *Scleroderma guani* Female Adults and Its Effects on Offspring Fitness [D]. Guiyang: Guizhou Normal University Master Thesis, 2017. [黄维亚. 管氏肿腿蜂雌成蜂的护幼行为及其对适合度的影响 [D]. 贵阳: 贵州师范大学硕士学位论文, 2017]
- Jiang YJ. Effects of Hormones on Parental Care of *Scleroderma guani* Female Adults [D]. Guiyang: Guizhou Normal University Master Thesis, 2021. [蒋玉洁. 激素对管氏肿腿蜂期待抚育行为的影响 [D]. 贵阳: 贵州师范大学硕士学位论文, 2021]
- Laurino S, Grossi G, Pucci P, *et al.* Identification of major *Toxonereon nigriceps* venom proteins using an integrated transcriptomic / proteomic approach [J]. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 2016, 76: 49-61.
- Li J, Chen CM. CiteSpace: Text Mining and Visualization in Scientific Literature [M]. Beijing: Capital University of Economics and

- Business Press, 2017. [李杰, 陈超美. CiteSpace:科技文本挖掘及可视化 [M]. 北京: 首都经济贸易大学出版社, 2017]
- Li J, Goerlandt F, Reniers G. An overview of scientometric mapping for the safety science community: Methods, tools, and framework [J]. *Safety Science*, 2021, 134: 105093.
- Li L, Liu ZD, Sun JH. Olfactory cues in host and host-plant recognition of a polyphagous ectoparasitoid *Sclerodermus guani* [J]. *Biological Control*, 2015, 60 (3): 307-316.
- Li L, Miller DR, Sun JH. The influence of prior experience on preference and performance of a cryptoparasitoid *Sclerodermus guani* (Hymenoptera: Bethyilidae) on beetle hosts [J]. *Ecological Entomology*, 2009, 34 (6): 725-734.
- Li L, Sun JH. Host Suitability of a gregarious parasitoid on beetle hosts: Flexibility between fitness of adult and offspring [J]. *PLoS ONE*, 2011, 6 (4): e18563.
- Li L, Wei W, Liu ZD, et al. Host adaptation of a gregarious parasitoid *Sclerodermus harmandi* in artificial rearing [J]. *Biological Control*, 2010, 55: 465-472.
- Lim J, Lyu D, Choi GS, et al. A taxonomic note on *Sclerodermus harmandi*, ectoparasite of stem and wood boring insect larvae (Hymenoptera: Chrysoidea: Bethyilidae) in South Korea [J]. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 2006, 9 (2): 115-119.
- Liu GY. The spread track of CiteSpace application in China, based on the statistical and visual analysis of cross database data from 2006 to 2015 [J]. *Documentation, Information & Knowledge*, 2017, 2: 60-74. [刘阳光. CiteSpace 国内应用的传播轨迹——基于 2006-2015 年跨库数据的统计与可视化分析 [J]. 图书情报知识, 2017, 2: 60-70]
- Liu HJ. The Application of *Beauveria bassiana* and *Scleroderma guani* in Control of *Monochamus alternatus* and the Distribution of *B. xylophilus* in the Pine Trees [D]. Hefei: Anhui Agricultural University Master Thesis, 2007. [刘洪剑. 白僵菌和肿腿蜂在松墨天牛防治中的应用及松材线虫在树体内分布 [D]. 合肥: 安徽农业大学, 2007]
- Liu Z, Xu B, Li L, et al. Host-size mediated trade-off in a parasitoid *Sclerodermus harmandi* [J]. *PLoS ONE*, 2011, 6 (8): e23260.
- Luo LL, Li L. Mating behavior of *Sclerodermus guani* (Hymenoptera: Bethyilidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2018, 61 (5): 604-612. [罗丽林, 李莉. 管氏肿腿蜂的交配行为 [J]. 昆虫学报, 2018, 61 (5): 604-612]
- Mugrabi DF, Azevedo CO. Insecta, Hymenoptera, Bethyilidae: Range extension and filling gaps in madagascar [J]. *Check List*, 2010, 6 (1): 62-63.
- Niu GS, Li L, Tang M. Effects of parasite density on the parasitism and reproduction efficiency of *Sclerodermus guani* (Hymenoptera: Bethyilidae) [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2022, 45 (2): 496-506. [牛国霜, 李莉, 唐明. 管氏肿腿蜂密度对其寄生及繁衍能力的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2022, 45 (2): 496-506]
- Perkin LC, Friesen KS, Flinn PW, et al. Venom gland components of the ectoparasitoid wasp, *Anisopteromalus calandrae* [J]. *Journal of Venom Research*, 2015, 6: 19-37.
- Ren XM, Zhao M, Wu GX, et al. Effects of parasitization by *Sclerodermus guani* and injection with its venom on nutritional metabolism of *Tenebrio molitor* pupae [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2018, 40 (6): 1380-1388. [任雪敏, 赵满, 吴国星, 等. 管氏肿腿蜂寄生及注射其毒液对黄粉甲蛹营养代谢的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2018, 40 (6): 1380-1388]
- Shen LL, Zhou ZJ. Characteristics of embryonic development of *Scleroderma sichuanensis* [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2002, 39 (6): 453-455. [申莉莉, 周祖基. 川硬皮肿腿蜂的胚胎发育 [J]. 昆虫知识, 2002, 39 (6): 453-455]
- Tang YL, Wei K, Wang XY, et al. Study on learning behavior of *Sclerodermus pupariae* (Hymenoptera: Bethyilidae) [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2015, 37 (5): 1064-1069. [唐艳龙, 魏可, 王小艺, 等. 白蜡吉丁肿腿蜂学习行为的研究 [J]. 环境昆虫学报, 2015, 37 (5): 1064-1069]
- Terayama M. The insects of Japan: Bethyilidae(Hymenoptera) [J]. *Entomological Society of Japan*, 2006, 1: 1-319.
- Wang YK, Yin CL, Bai ZQ, et al. A preliminary study on the use and protection of the natural enemies of insect pests in the seed stands of *Picea crassifolia* [J]. *Forest Research*, 2000, 13 (4): 416-422. [汪有奎, 尹承陇, 白志强, 等. 青海云杉母树虫害天敌资源保护利用的研究 [J]. 林业科学研究, 2000, 13 (4): 416-422]
- Wei Y, Li L, Pan SM, et al. Adaptive reproductive strategies of an ectoparasitoid *Sclerodermus guani* under the stress of its entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* [J]. *Insects*, 2023, 14, 320.
- Wei Y, Li L, Zhang MM, et al. Intergenerational effects of the entomopathogen *Beauveria bassiana* on the mortality and parasitism of the ectoparasitoid *Sclerodermus guani* (Hymenoptera: Bethyilidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2023, 66 (10): 1-18. [韦云, 李莉, 张萌萌, 等. 球孢白僵菌对管氏肿腿蜂致死和寄生的次代效应 [J]. 昆虫学报, 2023, 66 (10): 1-18]
- Xiao GR, Wu J. A new species of *Scleroderma guani* from China (Hymenoptera: Bethyilidae) [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, (Memoirs of Forest Entomology), 1983, 8: 81-84. [萧刚柔, 吴坚. 防治天牛的有效天敌——管氏肿腿蜂(膜翅目: 肿腿蜂科) [J]. 林业科学(昆虫学专辑), 1983, 8: 81-84]

- Xu ZF, He JH. Revision on the scientific name of the bethylid regarded as *Scleroderma guani* which used widely in forest of China [J]. *Journal of Entomology*, 2008, 30 (2): 192-194. [许再福, 何俊华. 关于我国林业中广泛应用的“管氏肿腿蜂”学名的订正 [J]. 环境昆虫学报, 2008, 30 (2): 192-194]
- Yang QP, Li L. Negative influenced *Beauveria bassiana* infection on female adults of a cryptoparasitoid *Scleroderma guani* (Hymenoptera: Bethyridae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2017, 60 (1): 53-59. [杨清碰, 李莉. 球孢白僵菌感染对管氏肿腿蜂成蜂的不利影响 [J]. 昆虫学报, 2017, 60 (1): 53-59]
- Yang ZQ, Wang XY, Cao LM, et al. Re-description of *Sclerodermus guani* and revision of the genus (Hymenoptera: Bethyridae) in China [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2014, 30 (1): 1-12. [杨忠岐, 王小艺, 曹亮明, 等. 管氏肿腿蜂的再描述及中国硬皮肿腿蜂属 *Sclerodermus* (Hymenoptera: Bethyridae) 的种类 [J]. 中国生物防治学报, 2014, 30 (1):1-12]
- Yang ZQ, Wang XY, Zhang YN. Recent advances in biological control of important native and invasive forest pests in China [J]. *Biological Control*, 2014, 68: 117-661.
- Yao WJ, Yang ZQ. Studies on biological control of *Anoplophora glabripennis* (Coleoptera: Cerambycidae) with a parasitoid, *Sclerodermus guani* (Hymenoptera: Bethyridae) [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2008, 30: 127-134.
- Zhang WG, Sun XG, Qu J, et al. The oviposition behaviour of *Scleroderma guani* Xiao et Wu [J]. *Natural Enemies of Insects*, 2004, 26 (1): 28-33. [张卫光, 孙绪良, 曲爱军, 等. 管氏肿腿蜂的寄生与产卵行为研究 [J]. 昆虫天敌, 2004, 26 (1): 28-33]
- Zhao RY, Li F. A comparative study of informetrics in China and in foreign countries based on social network analysis [J]. *Information Science*, 2013, 31 (2): 7-12. [赵蓉英, 李飞. 基于社会网络分析方法的国内外信息计量比较研究 [J]. 情报科学, 2013, 31 (2): 7-12]
- Zheng YN, Zhang YL, Shi Y, et al. Preliminary study on the control efficiency of *Monochamus saltuarius* by *Sclerodermus* spp [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2022, 38 (2): 306-311. [郑雅楠, 张彦龙, 时勇, 等. 肿腿蜂对云杉花墨天牛防治效果的初步研究 [J]. 中国生物防治学报, 2022, 38 (2): 306-311]
- Zhou BY, Lei HX. Advances in research and application of Bethyridae in China [J]. *Contemporary Horticulture*, 2021, 44 (21): 3-5. [周冰颖, 雷海霞. 我国肿腿蜂科昆虫研究与应用进展 [J]. 现代园艺, 2021, 44 (21): 3-5]
- Zhou BY, Li BP, Lin FF, et al. Influence of host body size on potential reproductive capability of *Sclerodermus guani* (Hymenoptera: Bethyridae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2016, 59 (3): 316-321. [周冰颖, 李保平, 林芳芳, 等. 寄主体型大小对管氏肿腿蜂生殖潜力的影响 [J]. 昆虫学报, 2016, 59 (3): 316-321]