



DOI:10.14188/j.ajsh.20251129001

常见人工养殖胡蜂和西方蜜蜂蜂毒性状比较研究

谢正华^{1,2*}, 王健敏^{3*}, 徐涓^{1,2}, 冯璇璇^{1,2}

(1. 中国林业科学研究院 高原林业研究所, 云南 昆明 650224;

2. 云南省资源昆虫培育与利用重点实验室, 云南 昆明 650224;

3. 云南省农村科技服务中心, 云南 昆明 650021)

摘要: 蜜蜂和胡蜂蜂毒均有祛风、解毒、抗菌、消炎和缓解胀痛等功效。蜜蜂蜂毒成分的研究已较深入,但对胡蜂蜂毒成分知之甚少。为提高胡蜂蜂毒的应用价值,有必要充分认识蜜蜂蜂毒和胡蜂蜂毒成分差异。以3种常见的人工养殖胡蜂(黄脚胡蜂、基胡蜂和金环胡蜂)和西方蜜蜂为对象,测量不同产毒蜂个体大小和毒囊大小,分析蜂毒的多肽和蛋白成分、氨基酸和5-羟色胺含量,以及磷脂酶A和透明质酸酶活性等。结果显示,3种胡蜂的个体和毒囊均大于蜜蜂,故胡蜂可产生更多的蜂毒。胡蜂和蜜蜂蜂毒成分存在差异,胡蜂蜂毒存在大量未被注释的多肽和蛋白。胡蜂和西方蜜蜂蜂毒的多肽、蜂毒过敏原、磷脂酶A等成分并不相同。胡蜂蜂毒和蜜蜂蜂毒的18种常见氨基酸平均含量存在差异。此外,胡蜂蜂毒的5-羟色胺含量显著高于蜜蜂蜂毒的5-羟色胺含量,但胡蜂蜂毒的磷脂酶A和透明质酸酶活性显著低于蜜蜂蜂毒的活性。胡蜂蜂毒和蜜蜂蜂毒成分和含量的差异表明,胡蜂蜂毒具有极大的开发利用空间,研究结果为科学利用胡蜂蜂毒奠定了理论依据。

关键词: 蜂毒; 多肽和蛋白; 磷脂酶A; 透明质酸酶; 5-羟色胺

中图分类号: Q965.9

文献标志码: A

文章编号: 2096-3491(2026)01-0029-08

Venom trait differences between commonly reared wasps and the Western honeybee

XIE Zhenghua^{1,2*}, WANG Jianmin^{3*}, XU Juan^{1,2}, FENG Xuanxuan^{1,2}

(1. Institute of Highland Forest Science, Chinese Academy of Forestry, Kunming 650224, Yunnan, China;

2. Yunnan Key Laboratory of Breeding and Utilization of Resource Insects, Kunming 650224, Yunnan, China;

3. Yunnan Rural Science and Technology Service Centre, Kunming 650021, Yunnan, China)

Abstract: In traditional Chinese medicine, honeybee venom and wasp venom are widely used for dispelling wind, detoxifying, combating microbes, reducing inflammation, and relieving swelling and pain. The components of honeybee venom have been well characterized; nevertheless, those of wasp venom remain largely unexplored. Therefore, it is necessary to clarify the compositional differences between wasp venom and honeybee venom. In this study, three wasp species (*Vespa basalis* Smith, *Vespa mandarina* Smith and *Vespa velutina* Lepeletier) and the Western honeybee (*Apis mellifera* Linnaeus) were selected to investigate their body sizes and venom sac sizes. Liquid chromatography-tandem mass spectrometry (LC-MS/MS) was employed for component analysis to identify venom polypeptides and proteins. Additionally, the contents of amino acids and 5-hydroxytryptamine, as well as the bioactivities of phospholipase and hyal-

收稿日期: 2025-11-29 修回日期: 2026-01-19 接受日期: 2026-02-11

作者简介: 谢正华(1977-),男,博士,研究方向为昆虫生态学, E-mail: cnbees@gmail.com

* 通信作者: 王健敏(1982-),男,研究员,博士,研究方向为资源昆虫学, E-mail: jmwang21@foxmail.com

基金项目: 云南省中青年学术和技术带头人后备人才项目(202405AC350077); 云南省基础研究计划项目(202401AS070015, 202301AT070432)

引用格式: 谢正华, 王健敏, 徐涓, 等. 常见人工养殖胡蜂和西方蜜蜂蜂毒性状比较研究[J]. 生物资源, 2026, 48(1): 29-36.

Xie Z H, Wang J M, Xu J, et al. Venom trait differences between commonly reared wasps and the Western honeybee [J]. Biotic Resources, 2026, 48(1): 29-36.

uronidase, were determined. The results showed that wasps had significantly larger body sizes and venom sac sizes than honeybees, indicating that wasps likely produce greater quantities of venom. Despite the lack of reference data in public databases, which hindered the annotation of many polypeptides and proteins, the overall composition of wasp venom was found to differ from that of honeybee venom. Specifically, notable differences were observed in polypeptides, venom allergens, and phospholipases between the two venoms, along with discrepancies in 18 common amino acid contents. Moreover, wasp venom contained a significantly higher level of 5-hydroxytryptamine than honeybee venom. Unexpectedly, the bioactivities of phospholipase and hyaluronidase in wasp venom were significantly lower than those in honeybee venom. Collectively, the unique compositional profile of wasp venom suggests that further research on its components is necessary, which may help to reveal the potential of wasp venom as a medicinal resource.

Key words: bee venom; polypeptide and protein; phospholipase A; hyaluronidase; 5-hydroxytryptamine

0 引言

胡蜂属于膜翅目(Hymenoptera)胡蜂亚科(Vespidae)昆虫。胡蜂种群数量大,个体常聚集一起营社会性生活。目前,部分胡蜂已成功养殖,其幼虫和蜂蛹可为人类提供丰富的蛋白^[1-2]。除用于食材外,胡蜂蜂毒在中医中具祛风、解毒、缓解胀痛作用,对治疗风湿关节炎、杀菌和干扰神经退化具有一定的疗效^[3-6]。但是,目前人们对胡蜂蜂毒的经济价值和药用价值并未完全了解。

胡蜂腹部末端具尾针,受到威胁时可以排出毒素用于攻击入侵者。对大部分生物来说,被胡蜂蜇刺后呈现强烈的过敏反应,因而胡蜂蜂毒被当成有害物质。然而,在云南省民族地区,胡蜂蜂毒作为中药材在临床上用于治疗风湿等疾病^[3,5]。因而,了解胡蜂蜂毒的成分和药理作用是当前研究的热点。随着胡蜂人工养殖业不断发展,市场上蜂毒数量持续增长,但胡蜂蜂毒在生产中的应用却十分有限。目前并不清楚胡蜂蜂毒成分和含量的差异,这在一定程度上阻碍了胡蜂蜂毒的开发与应用。

已有的研究表明,胡蜂蜂毒属于复杂的混合物^[7-8]。从成分来看,胡蜂蜂毒主要由蛋白、多肽、生物胺、多糖等物质构成,这些物质在过敏反应中具有不同的功能^[9]。磷脂酶A1(phospholipase A1, PLA1)、透明质酸酶(hyaluronidase A, HAase)和蜂毒过敏原抗原5(venom allergen 5, Ag5)具有重要的生理功能^[8,10]。磷脂酶A1可以引起红细胞或其他细胞的细胞膜破裂,导致细胞坏死和溶血。透明质酸酶通过降低体内透明质酸的活性,提高组织中液体渗透能力,让人体组织形成肿胀糜烂等生理现象。5-羟色胺和组胺等胺类物质既可以引起兴奋,让受害者记忆蜂毒的疼痛感并远离胡蜂巢室,又可能作为一种过敏源引起风团和肿胀^[11]。这些物质不仅能独立引起过敏反应,其还可能同其他成分存在交叉协同作用^[11]。由此可见,磷脂酶A1、透明质酸酶和

生物胺类物质是胡蜂蜂毒中的重要成分,在过敏和疼痛反应中起重要的作用。为了解胡蜂蜂毒对动物的影响,有必要厘清不同胡蜂蜂毒中该类物质的含量差异。

同胡蜂蜂毒相比,蜜蜂蜂毒成分研究历史更长久,其主要成分已被解析。研究表明,蜜蜂蜂毒同胡蜂蜂毒存在差异,蜜蜂蜂毒主要有小分子蜂毒肽(melittin)、蜂毒明肽(Apamin),同时含有磷脂酶A2等其他物质^[12-15]。其中,蜜蜂蜂毒肽为蜜蜂蜂毒主要成分,超过干物质总量的50%^[11,13]。磷脂酶A2具有溶解细胞结构的作用,引起动物的疼痛感。由此可见,胡蜂蜂毒同蜜蜂蜂毒具有不同的成分。然而,目前没有研究比较胡蜂蜂毒和蜜蜂蜂毒的成分差异。为进一步开拓胡蜂蜂毒的应用价值,揭示胡蜂优质种质资源,结合现代分析测试技术,比较胡蜂蜂毒和蜜蜂蜂毒成分和含量差异,为提高胡蜂蜂毒在生产中的应用奠定基础。

本研究以3种人工养殖胡蜂和西方蜜蜂为对象,测定胡蜂和蜜蜂形态大小和毒囊大小,比较胡蜂和蜜蜂的个体大小及毒囊大小差异。通过液相色谱方法解析蜂毒主要蛋白成分,比较氨基酸、5-羟色胺含量,磷脂酶A和透明质酸酶活性,以期揭示胡蜂蜂毒成分差异和特征。从蜂毒成分和含量的角度,为人工饲养胡蜂的物种筛选提供参考。

1 材料与方法

1.1 物种选择和蜂毒采集

研究对象为西方蜜蜂(*Apis mellifera* Linnaeus)和中国人工养殖的黄脚胡蜂(*Vespa velutina* var. *auraria* Lepeletier)、基胡蜂(*Vespa basalis* Smith)和金环胡蜂(*Vespa mandarina* Smith)。为降低环境对蜂毒成分的可能影响,实验所用蜂毒均来源于养蜂场刚采集的蜂毒,未久置于自然环境。取毒时,将采毒板置放于蜂巢下方并接通电源,蜜蜂和胡蜂通过针刺带电的玻璃板,在玻璃板上释放蜂毒。因而,所

取得的蜂毒来源于采集点内多个群蜂若干职蜂释放的蜂毒。将带蜂毒的玻璃板立即放置于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冰室,待液态蜂毒冷凝结晶为固体粉末,取下保存于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱待用。

1.2 胡蜂个体大小以及毒囊大小

各采集至少18只上述4种产毒蜂职蜂保存于75%的酒精中,在解剖镜下测定昆虫翅间距(intertegular distance, ITD),用于量化昆虫个体大小。用昆虫针轻挑成虫腹部背板,显露昆虫尾针、毒囊和后肠器官,于超景深体视镜(日产VHX-5000)下拍摄毒囊照片。由于毒囊为橄榄球状器官,不能直接测定其体积,研究选择毒囊的长和宽用于量化毒囊大小。实验共测定90只产毒蜂的个体大小和毒囊大小(西方蜜蜂:21只;黄脚胡蜂:18只;基胡蜂:21只;金环胡蜂:30只)。

1.3 蜂毒多肽和蛋白鉴定

采用液相色谱串联质谱法(liquid chromatography-mass spectrometry, LC-MS/MS)鉴定蜂毒中的多肽和蛋白。先用SDT裂解液(4% SDS, 100 mmol/L Tris/HCl pH7.6, 0.1 mol/L DTT)提取蜂毒中蛋白质。将5 mg样品加入200 μL SDT裂解液,超声5 min后再沸水浴5 min, 14 000 r/min离心15 min,获得上清蛋白。再加入40 μL Trypsin buffer, $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ 孵育16~18 h进行肽段酶解。色谱分离时,液相所用A液为0.1%甲酸水溶液,B液为0.1%甲酸乙腈水溶液。液相色谱柱(0.15 mm $\times$ 150 mm, RP-C18, Column Technology Inc.)以95%的A液进行平衡,样品自动进样到捕集柱(Zorbax 300SB-C18 peptide traps, Agilent Technologies Inc.)后经液相色谱柱分离。分离后的酶解产物用质谱仪(Q Exactive HF-X, Thermo Fisher)质谱分析60 min,全扫描后采集10个碎片图谱。运用MaxQuant软件将质谱数据分别比对到UniProtKB数据库中(<https://www.uniprot.org/>)胡蜂和蜜蜂的蛋白数据库(截止2025年06月20日),获得蛋白质鉴定及定量分析结果。蜂毒成分检测、数据比对委托浙江省杭州研趣信息技术有限公司完成。

1.4 5-羟色胺含量测定

采用液相色谱质谱仪(UPLC-MS/M平台)定量检测蜂毒中5-羟色胺的含量。取不同物种的蜂毒样品各1 mg,加入0.7 mL甲醇,充分涡旋混匀,低温超声30 min,于 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下12 000 r/min离心5 min。上清液转移至离心管中,继续用0.7 mL甲醇按上述方法提取2次,合并全部上清液,经0.22 μm 有机滤膜过滤。液体转三重四级杆液质联用仪(Sciex Tri-

pleQuad 4500, US)检测5-羟色胺含量。其中,根据仪器标准操作流程设置赛默飞 Thermo ScientificTM的Hypersil GOLDTM C18 column色谱柱测试条件。配制不同浓度的标准品溶液,按上述操作步骤获取各个标准品的质谱峰强度,基于标准品浓度和质谱峰面积绘制标准曲线。每种产毒蜂设置3个重复并获取质谱峰面积,由标准曲线计算样品中5-羟色胺含量。

1.5 氨基酸含量测定

按国标 GB/T5009.124-2016^[16]测定蜂毒中氨基酸含量。用浓盐酸(6 mol/L)在 $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ 氮气条件下水解并消化蜂毒22 h至所有蛋白分解成氨基酸,后用氨基酸分析仪(百康 Biochrom30+)测定18种常见氨基酸(天冬氨酸、苏氨酸、丝氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、胱氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸、组氨酸、赖氨酸、精氨酸、脯氨酸和脯氨酸)含量。本研究用单位质量中氨基酸含量(mg/g)来量化蜂毒中氨基酸差异。每种蜂毒设置3次重复,用均值量化不同氨基酸含量,并比较不同蜂毒中氨基酸含量差异。

1.6 磷脂酶A和透明质酸酶活性测定

采用昆虫磷脂酶A(PLA)ELISA检测试剂盒(上海纪宁实业有限公司,货号:JN94288)和昆虫透明质酸酶(HAase)ELISA检测试剂盒(上海纪宁实业有限公司,货号:JN214811)检测蜂毒样品中的磷脂酶A和透明质酸酶活性。将标准品(50 μL)和样品(10 μL 样本+40 μL 样本稀释液)加入检测孔,在 $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ 水浴中检测抗-HRP(辣根过氧化物酶)标记60 min后,20 $\times$ 洗涤缓冲液,重复洗板5次,底物A、B各50 μL 中避光孵育15 min,最后在终止液50 μL 中反应15 min,所得物在450 nm波长下测定各孔的吸光度值(OD值)。依据标准品的酶活性值(U/mL)和吸光度值建立标准曲线,据此线性关系,由样品吸光度值推测样品酶活性值。每个样品测试3个重复,用均值量化不同蜂毒的磷脂酶A和透明质酸酶活性差异。

1.7 4种产毒蜂蜂毒成分含量的雷达图分析

基于上述测定值,用雷达图综合评价上述黄脚胡蜂、基胡蜂、金环胡蜂和西方蜜蜂蜂毒性状。由于不同成分具有不同量化刻度,为在同一个雷达图中展示多个成分,首先对各个成分按一定比例降低量化值。本研究中,分别对各成分测定值除以某固定值,以便降低量化值,并在同一雷达图内展示不同成分的差异。其中,对氨基酸含量除以32,5-羟色胺含量除以 10^5 ,磷脂酶A含量除以10,透明质酸酶含量

除以 100。处理后的数值用 R 的 ggradar 包绘制雷达图^[17]。

1.8 数据分析与处理

方差分析 (analysis of variance, ANOVA) 分别检验 4 种产毒蜂个体大小、毒囊长和毒囊宽差异,产毒蜂的个体大小、毒囊长和毒囊宽为因变量,产毒蜂 (类型变量) 为自变量。计算产毒蜂个体大小同毒囊长、毒囊宽的 Pearson 相关系数,以及毒囊长和毒囊宽的 Pearson 相关系数,量化它们之间的相关性。 R^2 值越大,表明变量间的相关性越高,反之亦然。因不同蜂毒中 5-羟色胺含量、18 种氨基酸含量、磷脂酶 A 和透明质酸酶活性仅设置 3 个重复,因而采用非参数秩和检验 (Kruskal-Wallis rank sum test) 比较这些成分在不同蜂毒中的含量差异。所有分析检验在 R 软件 (4.5.2) 中进行^[18]。

2 结果与分析

2.1 4 种产毒蜂的个体大小和毒囊形状差异

方差分析表明,不同产毒蜂个体大小存在显著差异 (表 1)。蜜蜂个体最小 (2.89 ± 0.15 mm),基胡蜂 (3.25 ± 0.44 mm)、黄脚胡蜂 (3.65 ± 0.19 mm) 和金环胡蜂 (6.18 ± 0.36 mm) 的个体依次增大,金环胡蜂个体最大。西方蜜蜂和胡蜂的毒囊多为橄榄球状,即两端缩小而中部膨大。正常情况下,毒囊为乳白色,如图 1(a)。由于受保存时间的影响,部分样品毒囊色泽发生变化,解剖镜下呈浅黄色,如图 1(b)、(c)、(d)。方差分析表明,不同物种毒囊的长和宽存在显著差异 (表 1)。蜜蜂的毒囊最小 (长: 1461.47 ± 0.18 mm; 宽: 0.87 ± 0.16 mm),黄脚胡蜂的毒囊 (长: 2.23 ± 0.73 mm; 宽: 1.25 ± 0.41 mm)、基胡蜂的毒囊 (长: 3.34 ± 0.49 mm; 宽: 1.98 ± 0.37 mm) 和金环胡蜂的毒囊 (长: 4.83 ± 1.77 mm; 宽: 2.97 ± 0.77 mm) 依次增大,金环胡蜂

毒囊最大。产毒蜂毒囊的长和宽显著性正相关 ($R^2=0.854$),产毒蜂毒囊个体大小同毒囊长 ($R^2=0.412$) 和宽 ($R^2=0.487$) 显著性正相关。

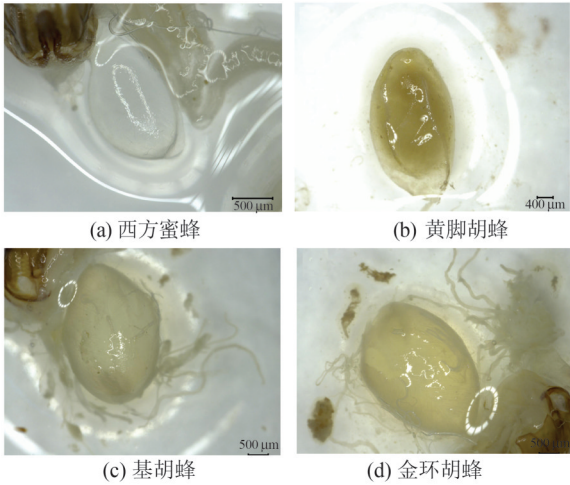


图 1 4 种产毒蜂毒囊形状图

Figure 1 Venom sac images of the four bee species

2.2 蜂毒蛋白质和多肽成分鉴定

LC-MSMS 方法识别出蜜蜂蜂毒中 628 种多肽和 522 组蛋白,胡蜂蜂毒中 773 种多肽和 77 组蛋白 (表 2)。同 uniprotkb 数据库比对可知,西方蜜蜂蜂毒中主要含多种蜂毒肽,比如蜂毒二肽基肽-4 (venom dipeptidyl peptidase 4, DPP-4)、蜜蜂蜂毒抗原变体 2 (icarapin variant 2)、血淋巴蛋白 (hemolymph protein) 和蜂毒明肽 (apamin) 等物质。同时还有磷脂酶 A2、蜂毒酸性磷酸酶 Acph-1 (venom acid phosphatase Acph-1)、透明质酸酶、王浆主蛋白 5 和王浆主蛋白 9 等物质。对于胡蜂而言,主要的成分包含多种胡蜂蜂毒肽、磷脂酶 A1、蜂毒过敏源 5、透明质酸酶 A 和胡蜂化学趋向性肽 X 等物质。同时,3 种胡蜂的蜂毒成分又存在差异。金环胡蜂蜂毒中存在大量的辅酶 I-泛醌氧化还原酶,而黄脚胡蜂和基胡

表 1 4 种产毒蜂个体大小、毒囊长和毒囊宽的方差分析
Table 1 Analysis of body size variation and venom sac dimensions (length and width) among the four bee species

变量		自由度(df)	平方和	F 值	P 值*
因变量	个体大小				
	自变量				
	产毒蜂	3	176 741 527	294.30	<0.001
	残差	86	17 213 243		
因变量	毒囊长				
	自变量				
	产毒蜂	3	157 276 214	41.88	<0.001
	残差	86	107 649 243		
因变量	毒囊宽				
	自变量				
	产毒蜂	3	62 679 901	76.17	<0.001
	残差	86	23 588 715		

蜂蜂毒中具有较多的胡蜂趋化性肽X(Vespid chemotactic peptide X)。黄脚胡蜂和基胡蜂的蜂毒中存在胡蜂趋化肽T(vespid chemotactic peptide T)和细胞色素氧化酶亚型2抗体(cytochrome c oxidase subunit 2),但在金环胡蜂蜂毒中未检测到这两种成分。此外,黄脚胡蜂蜂毒中含有胰凝乳蛋白酶(chymotrypsin-2)。除此之外,4种蜂毒中还鉴定出其他成分和特有成分。

2.3 蜂毒氨基酸含量

4种产毒蜂的蜂毒中均检测到18种常见氨基酸,但其含量存在差异(表3)。胡蜂蜂毒的天冬氨酸、丝氨酸、蛋氨酸、亮氨酸、酪氨酸和苯丙氨酸平均含量显著高于蜜蜂蜂毒相应含量,而蜜蜂蜂毒的苏氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、缬氨酸、组氨酸、精氨酸和脯氨酸平均含量显著高于胡蜂蜂毒相应含量。胱氨酸、异亮氨酸和赖氨酸的含量在四种蜂毒中不存在显著差异。对18种常见氨基酸求和可知,单位质量的基胡蜂蜂毒氨基酸总量高于金环胡蜂、黄脚胡蜂和蜜蜂,黄脚胡蜂蜂毒中氨基酸总量最低。

2.4 5-羟色胺含量

4种产毒蜂的蜂毒均具有5-羟色胺,但不同蜂毒中5-羟色胺含量存在显著差异(图2: $\chi^2=10.385, df=3, P=0.016$)。胡蜂蜂毒中的5-羟色胺平均含量超过 $10^5 \mu\text{g/g}$,显著高于蜜蜂蜂毒中5-羟色胺的含量,后者平均值仅约 $50 \mu\text{g/g}$ 。就胡蜂而言,3种胡蜂蜂毒中5-羟色胺含量同样存在显著差异($\chi^2=7.200, df=2, P=0.027$)。黄脚胡蜂5-羟色

胺平均含量显著高于金环胡蜂和基胡蜂的5-羟色胺平均含量。

2.5 磷脂酶A和透明质酸酶活性

4种产毒蜂蜂毒中磷脂酶A的活性存在显著性差异($\chi^2=10.385, df=3, P=0.016$)。胡蜂蜂毒中磷脂酶A1活性低于蜜蜂蜂毒的磷脂酶A2活性,见图3(a)。就胡蜂来说,3种产毒蜂蜂毒中的磷脂酶A1活性同样存在显著性差异($\chi^2=7.200, df=2, P=0.027$)。金环胡蜂蜂毒中的磷脂酶A活性最低,黄脚胡蜂和基胡蜂依次增加,蜜蜂蜂毒的磷脂酶A活性最高。

4种产毒蜂蜂毒中透明质酸酶的活性存在显著性差异($\chi^2=9.974, df=3, P=0.019$),胡蜂蜂毒中透明质酸酶活性低于蜜蜂蜂毒的透明质酸酶活性,见图3(b)。就胡蜂来说,3种产毒胡蜂蜂毒中的透明质酸酶活性同样存在显著性差异($\chi^2=6.489, df=2, P=0.039$)。金环胡蜂蜂毒中透明质酸酶活性最低,黄脚胡蜂和基胡蜂依次增加,蜜蜂蜂毒的透明质酸酶活性最高。

2.6 蜂毒不同成分含量雷达图分析

雷达图总结出4种产毒蜂蜂毒成分含量差异(图4)。具体而言,4种蜂毒中的氨基酸总量(绿色)差异并不明显。但是,5-羟色胺含量(红色)在4种蜂毒中差异尤为明显。与前面数据一致,蜜蜂的5-羟色胺含量较低,而胡蜂的5-羟色胺含量较高。同时,4种蜂毒的磷脂酶A(绿色)和透明质酸酶(橙色)含量同样存在差异。

表2 西方蜜蜂和3种胡蜂蜂毒成分差异*
Table 2 Differences in venom components of the Western honeybee and the three wasps*

内容	金环胡蜂 (<i>Vespa mandarina</i>)	黄脚胡蜂 (<i>Vespa velutina</i>)	基胡蜂 (<i>Vespa basalis</i>)	西方蜜蜂(<i>Apis mellifera</i>)
检测的多肽数量 [§]		773		628
检测的蛋白组数量 [§]		78		523
比对的多肽和蛋白数量 [#]	23	28	29	100
多肽类	胡蜂蜂毒肽A,胡蜂蜂毒肽,类胡蜂蜂毒肽	胡蜂蜂毒肽B,类胡蜂蜂毒肽	胡蜂蜂毒肽A,胡蜂蜂毒肽B,类胡蜂蜂毒肽	蜂毒肽,蜂毒明肽
磷脂酶A	磷脂酶A1	磷脂酶A1	磷脂酶A1	磷脂酶A2,蜂毒酸性磷脂酶
透明质酸	透明质酸酶	透明质酸酶	透明质酸酶	透明质酸酶
蜂毒过敏原5	蜂毒过敏原5	蜂毒过敏原5	蜂毒过敏原5	蜂毒二肽基多肽4(过敏源C) 蜜蜂过敏源6.03
王浆主蛋白类	无	无	无	王浆主蛋白9,王浆主蛋白5, 王浆主蛋白1

注: *测定结果比对到 UniProtKB 数据库中蜜蜂或胡蜂蛋白数据库; [§] 合并3种胡蜂检测的数据; [#] 4种产毒蜂检测数据分别同参考数据库比对的结果。
Note: *Sequences are aligned against the UniProtKB databases for honeybee and wasp; [§] the data for the three wasps are merged; [#] alignment results of polypeptides and protein groups of the four bee species against their respective reference databases.

表3 4种产毒蜂的蜂毒中常见氨基酸平均含量
Table 3 Average contents of venom amino acids of the four bee species

氨基酸成分	金环胡蜂(<i>Vespa mandarina</i>)/(mg·g ⁻¹)	黄脚胡蜂(<i>Vespa velutina</i>)/(mg·g ⁻¹)	基胡蜂(<i>Vespa basalis</i>)/(mg·g ⁻¹)	蜜蜂(<i>Apis mellifera</i>)/(mg·g ⁻¹)	卡方值	P值
天冬氨酸(Asp)	62.241	49.813	64.734	23.936	9.667	0.022
苏氨酸(Thr)	31.316	17.728	33.562	46.630	9.667	0.022
丝氨酸(Ser)	34.457	18.300	33.982	24.061	9.461	0.024
谷氨酸(Glu)	72.298	46.268	66.272	73.639	8.436	0.038
甘氨酸(Gly)	30.323	35.705	31.387	41.955	9.359	0.025
丙氨酸(Ala)	29.452	52.529	30.327	34.511	7.821	0.049
胱氨酸(Cys)	8.062 3	8.013 7	7.550 7	14.893	2.385	0.497
缬氨酸(Val)	26.156	15.787	25.061	34.703	9.461	0.024
蛋氨酸(Met)	12.104	22.158	13.117	3.119 7	9.359	0.025
异亮氨酸(Ile)	47.752	55.309	49.302	54.951	4.436	0.218
亮氨酸(Leu)	104.95	88.717	110.290	76.292	7.307	0.063*
酪氨酸(Tyr)	18.702	21.450	20.527	12.121	8.231	0.042
苯丙氨酸(Phe)	34.838	31.438	36.999	9.548 7	9.154	0.027
组氨酸(His)	10.050	9.913 7	11.157	12.268	7.923	0.048
赖氨酸(Lys)	78.793	88.386	78.237	76.743	2.590	0.459
精氨酸(Arg)	28.847	18.052	28.290	65.338	9.462	0.024
脯氨酸(Pro)	22.569	28.422	23.115	34.490	9.359	0.024
总和	652.542	607.989	663.895	646.449		

注: $P < 0.01$ 为差异显著; *在 0.1 水平检验差异显著。

Note: $P < 0.01$ means significant difference; * significant difference is measured at 0.1 level.

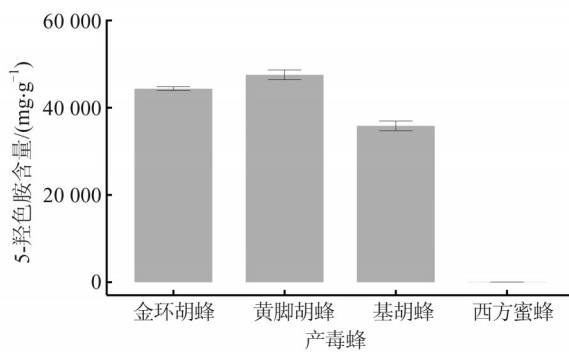


图2 4种产毒蜂5-羟色胺含量差异

Figure 2 5-hydroxytryptamine contents in venoms of the four bee species

3 讨论

研究发现,产毒蜂毒囊大小同个体大小相关。产毒蜂个体越大,其毒囊越大。3种胡蜂的个体比西方蜜蜂的个体大,它们的毒囊均大于蜜蜂毒囊,表明胡蜂能够释放更多毒素,因而在叮刺动物过程中,胡蜂一次排出比西方蜜蜂更多的毒液。同时,3种胡蜂的毒囊大小也存在差异,个体最大的金环胡蜂毒囊最大,表明该物种具有释放大量毒液的能力。

由于参考数据库的原因,本研究仅能比对约30种胡蜂蜂毒成分(表2),存在较大漏检。比如,分别

对金环胡蜂蜂毒进行多肽和蛋白质成分色谱鉴定,发现金环胡蜂蜂毒中含有超过100多种成分^[9,19]。研究者发现约1000种化学成分,其中存在小分子胡蜂蜂毒肽M(Mastoparan-M)^[4],而本研究比对结果并未注释该成分。由此可见,由于胡蜂蜂毒蛋白数据库不完整,本研究并未完全厘清胡蜂蜂毒组分。相比而言,西方蜜蜂蜂毒研究历史更长,蜂毒蛋白的参考数据库更加完整和丰富,能够比对出更多成分。因而建立更加完善的胡蜂蜂毒成分数据库,有利于充分揭示胡蜂蜂毒成分。

即使比对数据库不完整,本研究仍然发现胡蜂蜂毒和西方蜜蜂蜂毒成分组成存在差异。已有的研究表明,蜜蜂蜂毒中蜂毒肽含量约占50%^[20,13,11],本研究测定结果与已有研究结果一致,同样发现西方蜜蜂蜂毒中含有大量的蜂毒肽,而在胡蜂蜂毒中未检测到这些物质^[21]。除此之外,西方蜜蜂蜂毒中包含大量磷脂酶A2,而胡蜂蜂毒中则为磷脂酶A1。虽然两者同为磷脂酶,但分子结构不同。蜜蜂蜂毒和胡蜂蜂毒成分含量的差异,可能表明它们引起过敏的机理存在差异。为探究胡蜂蜂毒的生理功能,有必要进一步研究蜂毒成分的空间结构特征及引起的生理功能差异。胡蜂蜂毒特有成分,表明胡蜂具

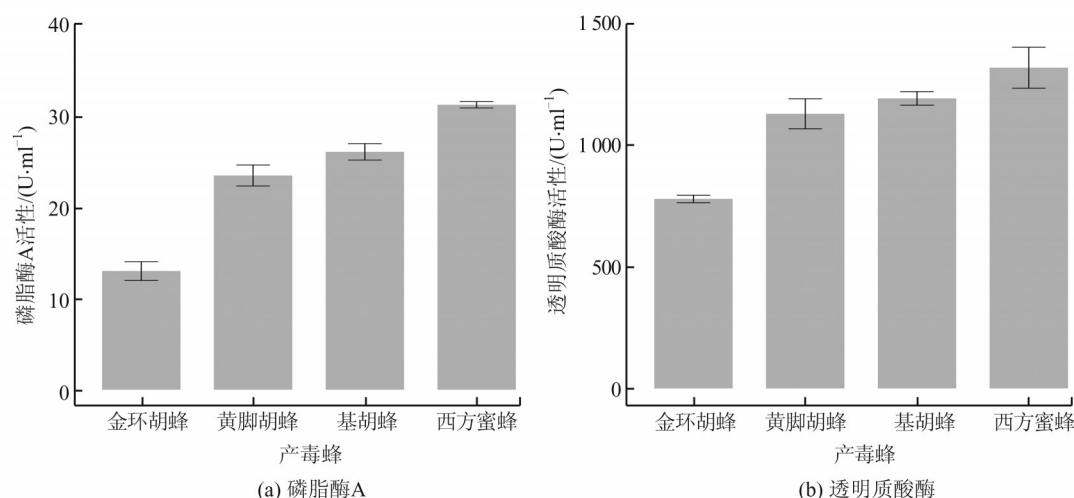


图3 4种产毒蜂的蜂毒中磷脂酶A和透明质酸酶活性差异

Figure 3 Differences in bioactivity of phospholipase A and hyaluronidase in venoms of the four bee species

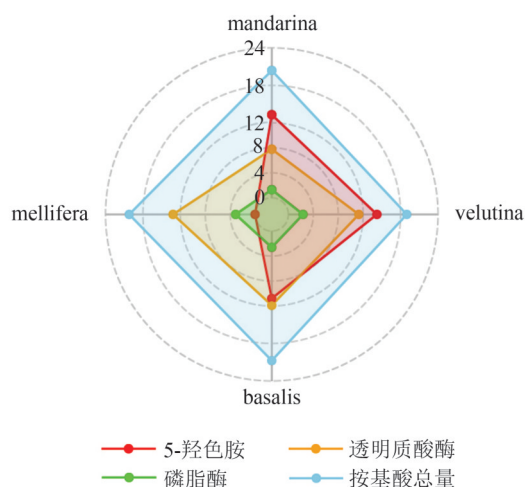


图4 4种蜂毒的不同成分活性雷达图

Figure 4 Radar diagram showing the different contents in venoms of the four bee species

有更广阔的开发和应用空间,值得深入研究。

4种蜂毒的氨基酸含量存在差异。胡蜂蜂毒部分氨基酸含量高于蜜蜂蜂毒,但另一些氨基酸含量低于蜜蜂蜂毒。总体来看,4种蜂毒单位质量的氨基酸含量差异不大。雷达图进一步表明,4种产毒蜂氨基酸总量相似。

除成分差异外,4种蜂毒重要成分的活性同样存在差异。比如,蜜蜂蜂毒中磷脂酶A和透明质酸酶的活性高于胡蜂蜂毒的活性。由于蜜蜂蜂毒含磷脂酶A2,而胡蜂蜂毒为磷脂酶A1,两种酶的分子结构并不一致,因而它们的活性可能存在差异。由于磷脂酶A促使红细胞及其他细胞膜破裂^[11],因而推测蜜蜂蜂毒比胡蜂蜂毒更容易引起细胞溶血或坏死。同理,透明质酸酶分子结构在蜜蜂蜂毒和胡蜂蜂毒中同样存在差异,因而存在活性差异。

蜂毒中的5-羟色胺和组胺等小分子多肽能引起动物强烈致痛感。由于胡蜂中5-羟色胺的含量远远高于蜜蜂中5-羟色胺含量,因而被3种胡蜂螫刺后,会有比蜜蜂更强的疼痛感。同时,5-羟色胺也是一种过敏原,引起细胞内的过敏反应,因而被胡蜂螫刺后,会有比蜜蜂更严重的过敏症状,比如在皮肤上形成更大的风团等。因此,在利用胡蜂时也需要考虑其可能存在的风险。

由于人们对蜜蜂蜂毒具有深入了解和认识,在中医和民族医学中受到重视,临床上也多运用蜜蜂蜂毒治疗疾病。然而,由于人们对胡蜂蜂毒的成分和功能认识的局限,目前中国仅有少部分人(如云南景颇族)运用胡蜂蜂毒开展治疗。本研究表明,胡蜂蜂毒和蜜蜂蜂毒的成分、含量和活性存在显著性差异,有必要开展更多的研究,以评估胡蜂蜂毒在医药、保健以及其他行业中的应用潜力和开发价值。

参考文献

- [1] Kiewhuo P, Mozhui L, Kakati L, et al. Traditional rearing techniques of the edible Asian giant hornet (*Vespa mandarina* Smith) and its socio-economic perspective in Nagaland, India [J]. Journal of Insects as Food and Feed, 2022, 8(3): 325-335.
- [2] 艾薇,尹海辽,陈海燕,等. 云南保山地区两种胡蜂食用虫态营养成分分析及评价[J]. 生物资源, 2023, 45(4): 382-389.
- [3] Ai W, Yin H L, Chen H Y, et al. Nutritional component analysis and evaluation of the edible stages of two *Vespa* species from Baoshan area, Yunnan Province [J]. Biotic Resources, 2023, 45(4): 382-389.
- [3] Gao Y, Yu W X, Duan X M, et al. Wasp venom possesses potential therapeutic effect in experimental

- models of rheumatoid arthritis [J]. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2020, 2020 (1): 6394625.
- [4] Liu C J, Li X Y, Chen M R, et al. Characterization and neurotherapeutic evaluation of venom polypeptides identified from *Vespa magnifica*: the role of Mastoparan-M in Parkinson's disease intervention [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2025, 343: 119481.
- [5] 段晓梅, 余万鑫, 刘衡, 等. 胡蜂毒提取物对胶原诱导性类风湿性关节炎大鼠的作用研究 [J]. 中国药理学杂志, 2020, 55(1): 26-32.
- Duan X M, Yu W X, Liu H, et al. Effect of wasp venom extract on collagen-induced arthritis in rats [J]. Chinese Pharmaceutical Journal, 2020, 55(1): 26-32.
- [6] 莫湘桂, 赵琴, 谭昱. 凹纹胡蜂蜂毒中一种新型多肽的识别与活性检测 [J]. 云南农业大学学报(自然科学版), 2022, 37(1): 126-130.
- Mo X G, Zhao Q, Tan K. Identification and viability assay of a new peptide in venom of *Vespa velutina* [J]. Journal of Yunnan Agricultural University (Nat Sci), 2022, 37(1): 126-130.
- [7] Rungsa P, Incamnoi P, Sukprasert S, et al. Comparative proteomic analysis of two wasps venom, *Vespa tropica* and *Vespa affinis* [J]. Toxicon, 2016, 119: 159-167.
- [8] 安输, 赖仞. 胡蜂毒素导致过敏的物质基础及作用机制 [J]. 科学通报, 2012, 57(32): 3031-3038.
- An S, Lai R. Wasp venom allergens and mechanism of wasp venom allergy [J]. Chinese Science Bulletin, 2012, 57(32): 3031-3038.
- [9] Zhou S T, Luan K, Ni L L, et al. A strategy for quality control of *Vespa magnifica* (Smith) venom based on HPLC fingerprint analysis and multi-component separation combined with quantitative analysis [J]. Molecules, 2019, 24(16): 2920.
- [10] 黄世容, 孟小林, 徐进平. 胡蜂抗原 5 的研究进展 [J]. 氨基酸和生物资源, 2004, 26(3): 9-13.
- Huang S R, Meng X L, Xu J P. Progress in the studies of vespidae antigen 5 [J]. Amino Acids & Biotic Resources, 2004, 26(3): 9-13.
- [11] 谭江丽, Vanachterberg C, 陈学新. 致命的胡蜂: 中国胡蜂亚科 [M]. 北京: 科学出版社, 2015.
- Tan J L, Vanachterberg C, Chen X X. Potentially lethal social wasps: Fauna of the Chinese Vespinae (Hymenoptera: Vespidae) [M]. Beijing: Science Publisher, 2015.
- [12] Kokot Z J, Matysiak J. Simultaneous determination of major constituents of honeybee venom by LC-DAD [J]. Chromatographia, 2009, 69(11): 1401-1405.
- [13] Pascoal A, Estevinho M M, Choupina A B, et al. An overview of the bioactive compounds, therapeutic properties and toxic effects of apitoxin [J]. Food and Chemical Toxicology, 2019, 134: 110864.
- [14] Sig A K, Güney M, Sig Ö Ö, et al. Bee venom: a medical perspective “,” Arı zehri: Tıbbi bakış [J]. Turkish Journal of Clinics and Laboratory, 2019, 10 (3): 414-421.
- [15] Wehbe R, Frangieh J, Rima M, et al. Bee venom: overview of main compounds and bioactivities for therapeutic interests [J]. Molecules, 2019, 24(16): 2997.
- [16] 食品安全国家标准. 食品中蛋白质的测定: GB 5009.5-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- National Food Safety Standard-Determination of Protein in Foods: GB 5009.5-2016[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.
- [17] Bion R, Sartori P. 2025. ggadar2: Create radar charts using ggplot2 (version 0.3) [CP]. 2023, <https://github.com/xl0418/ggadar2>.
- [18] Core Team R. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria (version 4.5.2) [CP]. 2025, <https://www.R-project.org/>.
- [19] 周思彤, 车逸豪, 倪连丽, 等. 大胡蜂蜂毒中多肽和蛋白质结构和功能的多样性 [J]. 天然产物研究与开发, 2019, 31(9): 1596-1601.
- Zhou S T, Che Y H, Ni L L, et al. Determination of peptide and protein diversity in venom of *Vespa magnifica* (Smith) on structure and function [J]. Natural Product Research and Development, 2019, 31 (9): 1596-1601.
- [20] Edwards R. Social wasps: their biology and control [M]. United Kingdom: Rentokil Limited, 1980.
- [21] Moreno M, Giralt E, Moreno M, et al. Three valuable peptides from bee and wasp venoms for therapeutic and biotechnological use: melittin, apamin and mastoparan [J]. Toxins, 2015, 7(4): 1126-1150.