

郑星, 梁馨文, 吴黎明, 等. 无刺蜂蜂蜜研究进展 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(1): 458–465. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020120285

ZHENG Xing, LIANG Xinwen, WU Liming, et al. Recent Progress of Stingless Bee Honey[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(1): 458–465. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020120285

无刺蜂蜂蜜研究进展

郑 星¹, 梁馨文¹, 吴黎明¹, 薛晓锋¹, 汪正威², 王 凯^{1,*}, 彭文君¹

(1. 中国农业科学院蜜蜂研究所, 北京 100093;

2. 中国科学院西双版纳热带植物园, 云南昆明 650223)

摘 要: 无刺蜂是蜜蜂科 (Apidae) 麦蜂族 (*Meliponini*) 下一类具有重要生态价值和经济价值的授粉昆虫。同蜜蜂属各蜂种类似, 无刺蜂可从开花植物蜜腺中采集花蜜, 经酿造后储存于巢房中的甜物质即为无刺蜂蜂蜜。同普通蜂蜜相比, 无刺蜂蜂蜜香气浓郁, 呈现水分含量高、酸度高、糖分低、结晶慢等特点, 具有独特的口感和良好的药用价值, 因而也成为近年来国际蜂产品研究的热点。我国无刺蜂分布区域较为局限, 仅分布于云南、海南、广西、西藏、台湾省等热带亚热带地区, 因此我国目前对无刺蜂蜂蜜的研究相对较少。本文结合近年来本团队研究及以国内外无刺蜂蜂蜜研究情况为基础, 围绕其理化指标及药理活性研究进行了综述, 以期为我国无刺蜂蜂蜜质量标准、营养品质及功能评价研究提供参考。

关键词: 无刺蜂, 无刺蜂蜂蜜, 理化指标, 药理活性

中图分类号: TS201.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)01-0458-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2020120285



本文网刊:

Recent Progress of Stingless Bee Honey

ZHENG Xing¹, LIANG Xinwen¹, WU Liming¹, XUE Xiaofeng¹, WANG Zhengwei²,

WANG Kai^{1,*}, PENG Wenjun¹

(1. Institute of Apicultural Research, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100093, China;

2. Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, China Academy of Sciences, Kunming 650223, China)

Abstract: Stingless bees are kinds of pollinating insects with important ecological and economic values, belonging to the Tribe *Meliponini* of the Family Apidae. Similar to honeybees, stingless bees collect nectar from the nectary of flowering plants, and such sweet substance stored in the hives is so-called stingless bee honey. Compared with ordinary honeybee honey, stingless bee honey has a stronger aroma, showing the characteristics with high moisture content, high acidity, low sugar content, and slow crystallization. In addition, it has a unique taste with beneficial medicinal values. Therefore, recent years stingless bee honey studies have become a hot spot in the international bee products research area. The distribution area of stingless bees in China is quite limited, and only distributed in tropical and subtropical regions like Yunnan, Hainan, Guangxi, Tibet and Taiwan Provinces. As a result, there are relatively few studies on stingless bee honey in China. This article reviews the recent advance of researches of stingless bee honey from our group as well as studies across the world. The physical and chemical indexes and pharmacological activities of the stingless bees are also summarized. This paper aims to provide reference for further researches of stingless bee honey in China relating the quality standard, nutritional quality and function evaluation studies.

Key words: stingless bees; stingless bee honey; physicochemical parameters; pharmacological activities

无刺蜂隶属于膜翅目 (Hymenoptera)、蜜蜂科 (Apidae)、蜜蜂亚科 (Apinae)、麦蜂族 (*Meliponini*), 在麦蜂族下已报道的无刺蜂属超过 50 个。目前, 世

界上已发现无刺蜂蜂种超过 500 种。它们是一类营群体生活并能酿蜜的昆虫, 因其无蛰针, 而命名为无刺蜂^[1]。主要分布在热带和亚热带地区, 如东南亚地

收稿日期: 2021-01-04

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (32172791); 国家自然科学基金青年科学基金 (31702287); 国家蜂产业技术体系专项 (CARS-44); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项。

作者简介: 郑星 (1996-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 功能食品与生物活性物质, E-mail: zhengxing@caas.cn。

* 通信作者: 王凯 (1988-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 蜂产品质量与营养品质评价, E-mail: wangkai@caas.cn。

区、非洲、澳大利亚、中美洲和南美洲等。无刺蜂体小灵活,是热带地区植物的主要授粉者,在生态环境和经济效益方面担当重要角色^[2]。我国无刺蜂主要分布在云南、海南、广西、西藏和台湾省等热带亚热带区域。目前我国已报道的无刺蜂种主要包括:黄纹无刺蜂(*Lepidotrigona flavibasis*)、顶无刺蜂(*L. terminata*)、暗翅无刺蜂(*Tetragonilla collina*)、蜜色无刺蜂(*T. lutea*)、黑胸无刺蜂(*Tetragonula pagdeni*)、光足无刺蜂(*T. laeviceps*)、虹无刺蜂(*T. iridipennis*)、戈氏无刺蜂(*T. gressitti*)、卡氏无刺蜂(*Lisotrigona carpenteri*)^[3]。图 1 为野生黄纹无刺蜂蜂巢。



图 1 野生黄纹无刺蜂(*L. flavibasis*)蜂巢(图片由潘鹏摄于云南西双版纳)

Fig.1 A wild hive of *L. flavibasis* colony in Xishuangbanna, Yunnan province, China (photo taken by Peng Pan)

无刺蜂可从开花植物蜜腺中采集花蜜,经酿造后储存于巢房中,此类甜物质即为无刺蜂蜂蜜。由于热带雨林地区丰富多样的植被类型、多雨的气候条件及蜂种的差异性,使得无刺蜂蜂蜜具备独特的口感和丰富的营养物质。相比于蜜蜂属蜂蜜,无刺蜂蜂蜜具有香气浓郁、口感酸甜、黏度略低、水分较高和结晶缓慢等特点^[4]。此外,相较于每群蜂年产量为 20 kg 的意大利蜜蜂而言,无刺蜂蜂蜜每群年产量仅为 1~5 kg。无刺蜂蜂蜜药用价值显著,具有多种药理活性,如抗菌消炎、促进伤口愈合、抗氧化、抗癌、降血脂、保护心脏、治疗眼疾、预防胃肠道疾病等^[5]。独特的

口感和显著的药用价值,使得无刺蜂蜂蜜越来越受消费者青睐,显现出极高的商品价值。此外,无刺蜂作为热带地区重要的授粉昆虫,兼具重要的生态价值。

目前,我国无刺蜂相关研究仍处于初始阶段。无刺蜂蜂蜜的研究主要集中在巴西、委内瑞拉、哥斯达黎加等地区,但是本团队调研发现在中国的海南、云南等热带地区也存在野生和养殖的无刺蜂^[6-7],我国无刺蜂蜂群所产出的无刺蜂蜂蜜同样具有极大的开发潜力和研究价值。本文以国内外无刺蜂蜂蜜研究为基础,围绕其理化指标及药理活性研究进行了全面综述,以期为我国无刺蜂蜂蜜的开发利用提供理论参考及依据。

1 无刺蜂蜂蜜理化指标

1.1 无刺蜂蜂蜜常规理化指标

常规蜂蜜的理化指标主要包括:水分、灰分、淀粉酶活性、游离酸、pH、酸度、电导率、糖类(葡萄糖、果糖、蔗糖、麦芽糖)、羟甲基糠醛等,理化指标是评判蜂蜜质量优劣的重要参数。无刺蜂蜂蜜和蜜蜂属蜂蜜由于在蜂种、蜜源植物类型、地理环境和气候条件等方面存在差异,其成分组成和理化性质存在显著差异。目前,研究人员已对多个区域和多个蜂种的无刺蜂蜂蜜理化指标进行测定,同时笔者将意大利蜜蜂采集的中国枣花蜜^[8]和新西兰麦卢卡蜜^[9]与无刺蜂蜂蜜做比较(表 1)。通过表 1 可知,我国海南^[6]和国外^[10]无刺蜂蜂蜜具有较高的含水量、游离酸、酸度和电导率值,但淀粉酶、羟甲基糠醛含量和还原糖含量均低于蜜蜂属蜂蜜。无刺蜂蜂蜜中较高的水分含量可能与其潮湿的热带丛林栖息环境有关。蜂蜜的游离酸度与蜂蜜中有机酸的存在相关,高酸度可能表明糖已发酵成有机酸。Sousa 等^[11]研究发现,无刺蜂蜂蜜的 pH 范围为 2.0~4.7,在酿造蜂蜜的过程中,蜜蜂下颌腺分泌的酶(蛋白酶、脂肪酶和乳糖酶)和其他物质添加到花蜜中,也会改变蜂蜜的 pH。由于无刺蜂蜂蜜的高水分含量和酸度,其变质速度可能比普通蜜蜂更快,因此需要对无刺蜂蜂蜜进行适当加

表 1 意大利蜜蜂蜂蜜和无刺蜂蜂蜜主要理化参数

Table 1 Main physicochemical properties of *Apis mellifera* honey and stingless bee honey

蜂种	中国	新西兰	中国海南	哥斯达黎加、巴西、墨西哥、巴拿马、苏里南、特立尼亚、多巴哥、委内瑞拉
	意大利蜜蜂		无刺蜂(不同蜂种)	
	<i>Apis mellifera</i>	<i>Apis mellifera</i>	<i>L.flavibasis</i>	<i>Tetragonisca, Melipona, Scaptotrigona, Plebeia, Meliponula, Tetragonula</i>
水分(g/100 g)	13.1~18.7	18.70	26.3±0.10	22.9~41.9
灰分(g/100 g)	0.15~0.38	0.03	—	0.01~1.21
淀粉酶(mL/(g·h))	15.7~31.5	—	22.6±0.20	0.9~23.0
游离酸(meq/kg)	—	—	—	5.9~109.0
5-羟甲基糠醛(mg/kg)	2.5~6.1	40.00	—	0.4~78.4
还原糖(g/100 g)	67.3~73	76.00	45.9±3.70	58.0~75.7
蔗糖(g/100 g)	1.1~4.6	2.80	0.8± 0.10	1.1~4.8
pH	6.12~7.36	3.20~4.20	3.7±0.20	3.15~4.66
电导率(μS/cm)	0.337~0.657	0.53	—	0.49~8.77
参考文献	[8]	[9]	[6]	[10]

注:“—”表示未检测。

工,控制其水分活度抑制有害细菌的生长,以便防止无刺蜂蜂蜜在储存运输过程中发酵,并延长其储存和货架期。羟甲基糠醛主要由葡萄糖和果糖在高温下脱水生成,依据其含量高低可以推断出蜂蜜是否新鲜、真实^[12]。有研究表明无刺蜂蜂蜜具有耐热性,对 *Melipona subnitida* 无刺蜂蜂蜜进行 65 °C、30 min 热处理后,未检测到 5-羟甲基糠醛的形成,且加热后的无刺蜂蜂蜜总酚含量上升,微生物数量下降,抗氧化能力下降,可以将短期热处理更有效地应用于无刺蜂蜂蜜生产和包装,但是这种技术可能会损失无刺蜂蜂蜜中的芳香类化合物^[13]。

1.2 有机酸

蜂蜜中有机酸的含量和种类直接决定了蜂蜜的 pH 和酸度^[14]。无刺蜂蜂蜜中有机酸含量不到 0.5%,但对蜂蜜的颜色、香气、味道、pH、酸度以及电导率均会产生重要影响^[15]。无刺蜂蜂蜜 pH 通常在 2.0~4.7 范围内,而游离酸的值可能接近 200 meq/kg^[16]。尽管有时有机酸的高含量与蜂蜜的发酵有关,但无刺蜂蜂蜜所表现出的高酸度并不代表变质,而是促使其产生了独特的风味和口感,因此有机酸含量高也是无刺蜂的重要特征。

无刺蜂与意大利蜜蜂蜂蜜所含的有机酸种类和含量具有差异性^[9],如表 2 所示。意大利蜜蜂蜂蜜中的 D-苹果酸、醋酸、柠檬酸含量高于无刺蜂蜂蜜,但意大利蜜蜂蜂蜜中未检出乳酸和琥珀酸。葡萄糖酸是无刺蜂蜂蜜样品中的主要有机酸, *Heterotrigona itama* 比 *Geniotrigona thoracica* 无刺蜂蜂蜜中的葡萄糖酸含量高。葡萄糖酸主要是由蜜蜂体内的葡萄糖氧化酶作用于花蜜或蜜露中葡萄糖而产生的,这种酸的一部分也是通过葡萄糖酸杆菌属产生的,并存在于蜂蜜的整个成熟过程中^[17]。蜂蜜中其他有机酸的来源尚不完全清楚,它们可能直接来自花蜜或蜜露,也可能是由花蜜和蜜露糖通过无刺蜂工蜂分泌的酶作用形成的,并分泌到无刺蜂蜂蜜中^[18]。

1.3 多酚类化合物

多酚类物质是蜂蜜中重要的生物活性成分,蜂种、采集植物、地理环境、气候和季节的不同会导致

无刺蜂蜂蜜多酚组成存在显著差异。目前在无刺蜂蜂蜜中共检测出多种多酚物质,主要包括香豆素类、酚酸类、黄酮类及黄酮苷类化合物。多酚类化合物的种类和浓度是蜂蜜品质的重要指标,也是影响蜂蜜颜色、感官特征和抗氧化活性的原因^[19]。

本团队^[6]针对海南黄纹无刺蜂(*L. flavibasis*)蜂蜜研究发现,其总酚酸含量为(96.6±0.4)μg/g 绿原酸当量,总黄酮含量为(16.1±0.3)μg/g 槲皮素当量。没食子酸和原儿茶酸是存在于海南无刺蜂蜂蜜中主要的酚酸黄酮物质,并且在无刺蜂蜂蜜中首次检出高良姜黄素。Rosli 等^[20]研究发现,无刺蜂蜂蜜中含量最高的多酚化合物是水杨酸(8.0~94.8 μg/100 g)、对香豆酸(4.5~64.3 μg/100 g)、柚皮苷(4.0~32.0 μg/100 g)和二氢槲皮素(12.0~1920 μg/100 g)。*Melipona subnitida* 和 *Melipona scutellaris* 无刺蜂蜂蜜中含有 2,4-二羟基苯甲酸、3,4-羟基苯甲酸、阿魏酸、鞣花酸、反式肉桂酸、对香豆酸、丁香酸以及类黄酮杨梅素、槲皮素、儿茶素、芦丁、山奈酚、橙皮素、柚皮素和白杨素^[21-22]。HPLC-DAD-ESI-MS/MS 鉴定出 *Melipona beecheii* 无刺蜂蜂蜜共含有 19 种化合物,C-戊糖基-C-己糖基芹菜素、对香豆酸、槲皮素、异鼠李素、山奈酚、木犀草素、芹菜素、槲皮素、阿魏酸和咖啡酸^[23]。在另一项研究中,来自亚马逊不同地区的三种无刺蜂物种(*Melipona flavolineata*, *Melipona mexicana* 和 *Apis mellifera*)蜂蜜存在 14 种酚类化合物,主要化合物是没食子酸和槲皮素^[24]。但是 Nascimento 等^[25]发现,没食子酸是巴西无刺蜂蜂蜜中发现的最丰富的酚类化合物,而槲皮素、杨梅素、原儿茶酸、肉桂酸以及对香豆酸的含量较低。因此,无刺蜂蜂蜜中酚类化合物种类和含量与采集的地点、日期、检测方法等多种因素相关。

1.4 矿物质

蜂蜜中含有多种矿物质,植物源和地理源是影响蜂蜜矿物质种类和含量的重要因素。矿物质种类和含量的鉴定不仅可以用于蜂蜜质量控制,也可以用来蜂蜜溯源^[26]。目前关于无刺蜂蜂蜜矿物质成分研究较少,有报道指出巴西地区无刺蜂蜂蜜中最丰富的

表 2 无刺蜂和意大利蜜蜂蜂蜜中有机酸含量(g/kg 蜂蜜)对比

Table 2 Comparison of organic acids concentration (g/kg of honey) in honey of stingless bee and *Apis mellifera*

蜂种	无刺蜂		蜜蜂	参考文献
	<i>Geniotrigona thoracica</i>	<i>Heterotrigona itama</i>	<i>Apis mellifera</i>	
葡萄糖酸	0.48±0.01	0.90±0.02	0.68±0.03	[9]
酒石酸	0.04±0.01	0.06±0.00	0.15±0.01	
甲酸	—	<LOD	—	
D-苹果酸	—	0.03±0.01	0.48±0.03	
乳酸	0.20±0.08	0.15±0.05	—	
醋酸	0.09±0.00	0.30±0.06	0.39±0.03	
柠檬酸	0.04±0.00	0.04±0.00	0.42±0.27	
琥珀酸	0.52±0.08	0.32±0.03	—	

注:“—”表示未检出;<LOD表示低于检测限度。

矿物质元素主要是钾元素(263~4980 $\mu\text{g/g}$),被认为是定量分析无刺蜂蜂蜜最重要的矿物质,约占矿物质总量的 50%。其次是钙(88.7~138 $\mu\text{g/g}$)、钠(12.7~261 $\mu\text{g/g}$)和镁(25.9~231 $\mu\text{g/g}$)^[27]。无刺蜂蜂蜜中还含有人体必需的微量营养素锰。摄入一勺(约 20 g)无刺蜂蜂蜜可提供 4.55 mg 的钾、0.64 mg 的钙、0.59 mg 的钠、0.31 mg 的镁、47.29 μg 的锌、40.24 μg 的锰、22.69 μg 的铁、13.44 μg 的铬、4.21 μg 的铜和 0.46 μg 的钒;根据成年人的每日参考摄入量,两勺无刺蜂蜂蜜相当于建议摄入量的 0.12% 的钙、0.24% 的镁、1.14% 的锌、3.5% 的锰、3.2% 的铁、76% 的铬和 0.02% 的铜^[28]。蜂蜜反映了蜜蜂收集食物的化学成分,而植物和花蜜的土壤类型会影响蜂蜜中微量元素的含量大小。有研究发现,同一地区意大利蜜蜂(*Apis mellifera*)蜂蜜的矿物质含量与无刺蜂蜂蜜基本相同^[29]。Shadan 等^[30]使用电感耦合等离子体发射光谱法,确定了在马来西亚收集的无刺蜂蜂蜜中含有多种元素(银、铝、砷、硼、钡、铍、镉、钴、铬、铜、铁、镁、锰、钼、镍、铅、铋、硒、锡和锌),通过应用化学计量学技术可以准确识别无刺蜂蜂蜜的地理起源。并且 Ataide 等^[28]基于 ICP-MS 技术开发了一种分析方法,该方法能够定量巴西本地无刺蜂蜂蜜中的 21 种元素。该方法适用于监测环境、蜜蜂的健康状况以及 *Tetragonisca angustula* 无刺蜂蜂蜜的质量。

1.5 挥发性成分

无刺蜂蜂蜜中的挥发性化合物赋予了其独特的香气和风味^[31]。巴西无刺蜂(*Melipona subnitida* 和 *M.scutellaris*)蜂蜜挥发性成分主要包括萜烯类、降碳倍半萜及苯衍生物,其中芳樟醇、D-枞油烯、玫瑰氧化物、苯酸盐可作为无刺蜂蜂蜜潜在的特征标记物^[32]。Da 等^[33]的研究表明芳樟醇衍生物是巴西无刺蜂蜂种蜂蜜中最丰富的挥发性物质。芳樟醇及其衍生物,如脱氢芳樟醇、顺式-芳樟醇和反式-芳樟醇氧化物(吡喃类化合物)、丁香醛都是挥发性化合物,可以标记出在希腊收集的柠檬蜂蜜的花香来源。蜂蜜具有甜味和花香的原因是高含量的芳樟醇氧化物、芳樟醇、三烯酚、环氧芳樟醇和 2,6-二甲基-3,7-辛二烯-2,6-二醇的浓度超过其检测阈值^[34]。辛酸乙酯和癸酸乙酯在不同蜂种的无刺蜂蜂蜜中普遍存在,但脱氢芳樟醇、环化芳樟醇和苯甲醛等可作为判别不同蜂种无刺蜂蜂蜜的微量化合物。

2 无刺蜂蜂蜜药理活性

2.1 抗氧化活性

无刺蜂蜂蜜中富含多种抗氧化活性成分,其中酚酸、黄酮类化合物、葡萄糖氧化酶和过氧化氢酶等均与其抗氧化性密切相关^[35],可预防氧化应激相关疾病。Silva 等^[19]研究发现 *Melipona* 无刺蜂蜂蜜中酚类物质(安息香酸、没食子酸和香草酸)具有较强的自由基清除能力和亚铁离子还原能力。来自马来西

亚的研究人员 Norowi 等^[36]证明无刺蜂蜂蜜中主要的游离酚酸化合物是原儿茶酸和 4-羟基苯乙酸,由于原儿茶酸是一种强氧化剂,以及 4-羟基苯乙酸具有清除活性氧自由基的作用,使得无刺蜂蜂蜜具有抗氧化活性。Biluca 等^[37]的研究结果显示无刺蜂蜂蜜的抗氧化活性与酚类化合物含量成正相关性。此外,很多学者通过体外自由基清除实验证明无刺蜂蜂蜜具有良好的抗氧化能力,例如亚马逊地区的 *Melipona seminigra merrillae* 无刺蜂蜂蜜具有 ABTS⁺清除能力^[38],巴西半干旱地区的 *Meliponini* 无刺蜂蜂蜜显示出较强的 DPPH·和 ABTS⁺清除能力^[39],阿根廷地区的 *T.angustula fie-brigi* 和 *Plebeia wittmanni* 无刺蜂蜂蜜以及巴西东北部的 *Merrillae seminigra* 无刺蜂蜂蜜均具有抗氧化活性^[40]。相比于蜜蜂属蜂蜜,无刺蜂蜂蜜可能具有更强的抗氧化能力。Guerrini 等^[41]研究显示,厄瓜多尔 *Meliponinae* 无刺蜂蜂蜜的抗氧化性显著高于蜜蜂属蜂蜜;澳大利亚 *Meliponini* 无刺蜂蜂蜜的黄酮含量显著高于蜜蜂属蜂蜜,其总抗氧化能力高于欧洲植物花蜜^[42]; *Melipona fasciculata* 无刺蜂蜂蜜的多酚含量显著高于南美地区的蜜蜂属蜂蜜^[43],故而具有更强的抗氧化能力。

2.2 抗菌活性

无刺蜂蜂蜜具有广谱抗菌性,能够抑制许多食源性病原体 and 常见临床细菌的生长,这是由于无刺蜂蜂蜜的 pH 低,并且含有 H_2O_2 、甲基乙二醛和抗菌肽等抑菌物质^[44]。厄瓜多尔 *Meliponinae* 无刺蜂蜂蜜可抑制革兰氏阳性菌和阴性菌,包括金黄色葡萄球菌、铜绿假单胞杆菌、大肠杆菌、粪肠球菌,最小抑菌浓度范围为 10~15 $\mu\text{g/mL}$ ^[45]。同时 Irish 等^[46]的研究结果表明,澳大利亚 *Trigona carbonaria* 无刺蜂蜂蜜的总抗菌活性(平均苯酚当量为 26.3% W/V)高于麦卢卡蜂蜜(平均苯酚当量为 18.0% W/V)和其他蜜蜂属蜂蜜(平均苯酚当量为 13.4% W/V)。马来西亚的 *Melipona eburnea*、*Melipona grandis*、*Melipona flavolineata* 和 *Melipona seminigra* 蜂蜜对革兰氏阳性菌的抑制性比革兰氏阴性菌更强,可能是由于无刺蜂蜂蜜中的类黄酮类物质容易破坏革兰氏阳性菌的细胞质膜并破坏细胞壁,从而导致细菌渗透溶解,促使细菌裂解^[47]。巴西 *Scaptotrigona bipunctata* 和 *S.postica* 无刺蜂蜂蜜均能够抑制革兰氏阳性菌、阴性菌(铜绿假单胞杆菌、粪肠球菌、金黄色葡萄球菌、表皮葡萄球菌、大肠杆菌、屎肠球菌、肺炎克雷伯菌、沙门氏菌、变形链球菌、化脓性链球菌)以及耐药菌株(耐甲氧西林金黄色葡萄球菌),且当两种蜂蜜混合使用时能够显著增强抗菌作用^[48]。在扫描电子显微镜下可观察到,亚马逊无刺蜂 *M. flavolineata* 蜂蜜能有效抑制金黄色葡萄球菌进行细胞分裂^[49]。无刺蜂蜂蜜对革兰氏阳性和革兰氏阴性细菌的抗菌活性影响非常复杂,这是由于不同蜂蜜中含有不同的活性化合物,并且每种蜂蜜中这些化合物的浓度差异性很大。

2.3 抗炎作用

无刺蜂蜂蜜具有抗炎活性。*Melipona marginata* 无刺蜂蜂蜜的提取物可降低小鼠因炎症反应而引起的耳水肿,减少白细胞浸润,抑制活性氧自由基的产生,对皮肤具有显著的抗炎作用^[50]。无刺蜂蜂蜜的抗炎活性可能取决于其丰富的酚类化合物,一些研究已经证实酚类化合物能够抑制炎症反应过程中一氧化氮(nitric oxide, NO)的过量释放以及 TNF- α 和 PGE 2^[51] 促炎症因子的表达,并作为自由基清除剂使细胞免受促炎介质损伤。Biluca 等^[37] 发现,来自巴西的 8 种无刺蜂蜂蜜可降低促炎细胞因子 TNF- α 、IL-6、IL-12p70 和 INF- γ 的表达。但一些研究还指出,蜂蜜处理能够增加 TNF- α 的表达^[52]。这些数据所得出的结果不同,可能与蜂蜜的类型和浓度有关,也与细胞或宿主的状况(体内或体外)有关。但目前对于无刺蜂蜂蜜的抗炎活性机制方面的研究较为缺乏。

2.4 促进伤口愈合

蜂蜜在促进伤口愈合过程中主要是通过其抗氧化性完成的,因为蜂蜜作为抗氧化剂可以防止损伤部位产生氧化应激^[53]。此外,预防细菌感染在伤口愈合过程中也是至关重要的,无刺蜂蜂蜜所具有的广谱抗菌作用使其可以作为抗菌成分涂抹于伤口,减少伤口创面的微生物感染,促进伤口愈合。另外,伤口产生时,巨噬细胞会上调促炎因子的表达而产生炎症反应,但过量的炎症表达会引起组织损伤而导致伤口创面难愈^[54]。已有研究表明蜂蜜可以促进烧伤伤口的愈合而减少伤疤的形成,因此可以推测无刺蜂蜂蜜的抗炎作用可以通过抑制巨噬细胞炎症反应的过量表达而促进伤口愈合。伤口处的潮湿条件可以抑制组织的脱水和坏死,增强血管和结缔组织的形成,防止继发感染并产生有效的氧气循环^[55]。无刺蜂蜂蜜的含水量比常见的意大利蜜蜂蜂蜜要高,由于存在羟基而具有良好的保湿性能。无刺蜂蜂蜜的高渗透压可以保护皮肤免受浸渍,并持续保持湿润的环境。无刺蜂蜂蜜对伤口的愈合作用是通过其抗氧化、抗菌、抗炎和保湿的协同作用实现的,无刺蜂蜂蜜中存在的糖类、蛋白质、维生素、矿物质、过氧化氢组分(过氧化氢和葡萄糖酸)、非过氧化氢组分(酚类化合物)、高酸度环境和高水分含量都是构成无刺蜂蜂蜜促进伤口愈合的主要功能成分。

2.5 治疗眼部疾病

Meliponula bucaudei 无刺蜂蜂蜜可以治疗由细菌引起的眼部感染,其对绿脓假单胞杆菌、金黄色葡萄球菌和表皮葡萄球菌等眼部常见细菌均有显著的抑制作用,并且抗菌效果强于普通抗生素^[56]。此外,有研究表明 *Tetragonisca* 无刺蜂蜂蜜可用于辅助治疗青光眼和白内障^[57]。并且,无刺蜂蜂蜜在治疗化学诱导性白内障疾病方面效果显著, *Melipona favosa* 无刺蜂蜂蜜可辅助治疗小鼠经亚硒酸钠盐诱导造成的白内障损伤,并且添加无刺蜂蜂蜜的洗眼剂能够延

缓小鼠因亚硒酸钠盐诱导的白内障^[58]。因此相比于蜜蜂属蜂蜜,无刺蜂蜂蜜具有治疗眼疾和提升视力的功效。

2.6 其他生物活性

Geniotrigona thoracica 无刺蜂蜂蜜具有抗糖尿病特性,能够保护胰腺免受损伤、防止机能失调,其可以降低糖尿病型雄性大鼠空腹血糖、总胆固醇、甘油三酯和低密度脂蛋白含量,并提高高密度脂蛋白和血清胰岛素水平^[39]。*Tetragonula biroi* 和 *T. laeviceps* 无刺蜂蜂蜜可以抑制 α -葡萄糖苷酶的活性。对链脲佐菌素诱导的糖尿病大鼠给予 *Tetragonula biroi* 无刺蜂蜂蜜治疗后,发现模型大鼠体重减轻,胰腺组织病理学未见损伤,血清空腹血糖值没有增加,因此无刺蜂蜂蜜饮食可能辅助改善糖尿病症状^[59]。

Mohd 等^[60] 研究表明, *Heterotrigona itama* 无刺蜂蜂蜜具有一定的减肥功效。他们通过对高脂饮食建模的大鼠口服 12 周的无刺蜂蜂蜜,发现蜂蜜治疗组大鼠的体重指数、体重增加百分比、肥胖指数和相对器官重量均有所降低。肝酶(碱性磷酸酶、天冬氨酸转氨酶和丙氨酸转氨酶)、甘油三酸酯和低密度-胆固醇的水平也显著降低,脂肪细胞的数量减少。无刺蜂蜂蜜饮食改善了肥胖症的相关指标,具有保肝潜力,并且减少了与肥胖有关的健康风险。

无刺蜂蜂蜜也具有抗突变性,能够在 0~0.6 mg/L 浓度范围内抑制酿酒酵母 D7 突变,可作为抗诱变剂使用^[61]。无刺蜂蜂蜜是天然抗氧化剂的良好来源,可有效延缓皮肤衰老。研究发现无刺蜂蜂蜜显著下调衰老前和衰老的成纤维细胞中金属蛋白酶-1 基因的表达,并上调衰老的成纤维细胞中的 I 型胶原基因的表达^[62]。

无刺蜂蜂蜜可以作为益生元食品。巴西无刺蜂 (*Ziziphus joazeiro*、*Mimosa arenosa*、*Melipona subnitida* 和 *M. scutellari*) 蜂蜜对益生菌株嗜酸乳杆菌 (*L. acidophilus* LA-05) 和乳酸双歧杆菌 (*B. lactis* BB-12) 的生长具有促进作用。无刺蜂蜂蜜较低的 pH、丰富的果糖和酚类化合物含量,有利于增加益生菌的活性^[63]。

目前对于蜜蜂属蜂蜜的活性功能研究已非常全面,但对于无刺蜂蜂蜜生物活性功能研究甚少,目前仍处于初步阶段。无刺蜂蜂蜜的多样性使其具有丰富的生物活性功能和药用价值,但这都需要进一步去研究和挖掘,使其更好地应用于临床医学和营养保健。

3 小结与展望

热带地区丰富多样的植被类型、多雨舒适的气候条件以及无刺蜂蜂种的差异,使得无刺蜂蜂蜜具有丰富的营养价值和良好的生物活性,具备极大的开发价值和应用价值。有关无刺蜂蜂蜜营养成分和功能活性的研究已成为当前国外研究学者关注的热点内容,然而我国对于无刺蜂蜂蜜的研究尚处于起步阶段。蜂种、植物源、地理源以及气候和季节条件的不

同造成了其营养成分及活性物质在含量与种类上的差异,会直接影响无刺蜂蜂蜜的化学组成和营养功能,因此未来针对我国无刺蜂质量标准、营养品质及功能评价等开展相应基础性研究十分必要。另一方面,尽管我国无刺蜂分布区域较为局限,但无刺蜂作为热带地区重要授粉昆虫,具有积极的生态意义。大力推广开发无刺蜂蜂蜜等特色蜂产品,将有助于推动蜂业科技创新与乡村振兴战略深度融合,同时亦可为蜂业科技助力精准扶贫提供一种新途径、新思路。

参考文献

- [1] ZULKHAIRI AMIN F A, SABRI S, MOHAMMAD S M, et al. Therapeutic properties of stingless bee honey in comparison with european bee honey[J]. *Advances in Pharmacological Sciences*, 2018, 2018(12): 1–12.
- [2] SCHVEZOV N, PUCCIARELLI A B, VALDES B, et al. Characterization of yatei (*Tetragonisca fiebrigi*) honey and preservation treatments: Dehumidification, pasteurization and refrigeration[J]. *Food Control*, 2020, 111(5): 1–9.
- [3] 文家栋, 王玉洁, 高景林. 无刺蜂的研究概况与展望[J]. *环境昆虫学报*, 2013, 35(1): 102–108. [WEN J D, WANG Y J, GAO J L. Status and prospects of stingless bees in the word[J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2013, 35(1): 102–108.]
- [4] NORDIN A, SAINIK N Q A V, CHOWDHURY S R, et al. Physicochemical properties of stingless bee honey from around the globe: A comprehensive review[J]. *Food Composition and Analysis*, 2018, 73(6): 91–102.
- [5] RAO P V, KRISHNAN K T, SALLEH N, et al. Biological and therapeutic effects of honey produced by honey bees and stingless bees: A comparative review[J]. *Revista Brasileira De Farmacognosia-Brazilian*, 2016, 26(5): 657–664.
- [6] 梁馨文, 李强强, 高景林, 等. 海南无刺蜂蜂蜜中多酚类物质成分分析及其抗氧化、抗炎活性评价[J]. *食品科学*, 2018, 39(8): 141–148. [LIANG X W, LI Q Q, GAO J L, et al. Polyphenic constituents and antioxidant and anti-inflammatory activities of stingless bee honey from Hainan[J]. *Food Science*, 2018, 39(8): 141–148.]
- [7] 郑星, 王凯, 薛晓锋, 等. 高效液相色谱-示差折光检测法检测无刺蜂蜂蜜中海藻酮糖含量[J]. *食品科学*, 2021, 10(18): 1–14. [ZHENG X, WANG K, XUE X F, et al. Determination of trehalulose in stingless bee honey by HPLC-RID[J]. *Food Science*, 2021, 10(18): 1–14.]
- [8] 周娟. 枣花蜜理化指标及抗氧化活性研究 [D]. 陕西: 西北大学, 2013. [ZHOU J. Physicochemical characterization and antioxidant activity of jujube honey[J]. Shanxi: Northwest University, 2013.]
- [9] ALVAREZ-SUAREZ J M, GASPARRINI M, FORBES-HERNANDEZ T Y, et al. The composition and biological activity of honey: A focus on manuka honey[J]. *Foods*, 2014, 3(3): 420–432.
- [10] SHAMSUDIN S, SELAMAT J, SANNY M, et al. Influence of origins and bee species on physicochemical, antioxidant properties and botanical discrimination of stingless bee honey[J]. *Food Properties*, 2019, 22(1): 238–263.
- [11] DE SOUSA J M, DE SOUZA E L, MARQUES G, et al. Sugar profile, physicochemical and sensory aspects of *Monofloral* honeys produced by different stingless bee species in Brazilian semi-arid region[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2016, 65(1): 645–651.
- [12] CHUTTONG B, CHANBANG Y, SRINGARM K, et al. Physicochemical profiles of stingless bee (Apidae: *Meliponini*) honey from South East Asia (Thailand)[J]. *Food Chemistry*, 2015, 192(2): 149–155.
- [13] BRAGHINI F, BILUCA F C, GONZAGA L V, et al. Impact of short-term thermal treatment on stingless bee honey (*Meliponinae*): Quality, phenolic compounds and antioxidant capacity[J]. *Food Processing and Preservation*, 2019, 43(7): 1–8.
- [14] MATO I, HUIDOBRO J F, SIMAL-LOZANO J, et al. Rapid determination of nonaromatic organic acids in honey by capillary zone electrophoresis with direct ultraviolet detection[J]. *Agricultural and Food Chemistry*, 2006, 54(1): 1541–1550.
- [15] YADATA D. Detection of the electrical conductivity and acidity of honey from different areas of Tepi[J]. *Food Science and Technology*, 2014, 2(5): 59–63.
- [16] SUTO M, KAWASHIMA H, NAKAMURA Y. Determination of organic acids in honey by liquid chromatography with tandem mass spectrometry[J]. *Food Analytical Methods*, 2020, 13(12): 2249–2257.
- [17] SANCHO M T, MATO I, HUIDOBRO J F, et al. Nonaromatic organicacids in honeys. In *Pot-Honey: A Legacy of Stingless Bee*, 1st ed. ; Patricia, V. , Silvia, R. M. P. , David, R. , Eds. ; Springer: London, New York, 2013:447–457.
- [18] BRAGHINI F, BILUCA F C, OTTEQUIR F, et al. Effect of different storage conditions on physicochemical and bioactive characteristics of thermally processed stingless bee honeys[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2020, 131(9): 1–8.
- [19] DA SILVA I A, DA SILVA T M, CAMARA C A, et al. Phenolic profile, antioxidant activity and palynological analysis of stingless bee honey from Amazonas, Northern Brazil[J]. *Food Chemistry*, 2013, 141(12): 3552–3558.
- [20] ROSLI F N, HAZEMI M H F, AKBAR M A, et al. Stingless bee honey: Evaluating its antibacterial activity and bacterial diversity[J]. *Insects*, 2020, 11(8): 500–512.
- [21] SANTANA R S, DE CARVALHO C A L, ODA-SOUZA M, et al. Characterization of honey of stingless bees from the Brazilian semi-arid region[J]. *Food Chemistry*, 2020, 327(10): 1–6.
- [22] DE OLIVEIRA R G, JAIN S, LUNA A C, et al. Screening for quality indicators and phenolic compounds of biotechnological interest in honey samples from six species of stingless bees (*Hymenoptera*: Apidae)[J]. *Food Science and Technology*, 2017, 37(4): 552–557.
- [23] CAMPONE L, PICCINELLI A L, PAGANO I, et al. Determination of phenolic compounds in honey using dispersive liquid-liquid microextraction[J]. *Chromatography A*, 2014, 1334(3): 9–15.
- [24] TRUCHADO P, VIT P, FERRERES F, TOMAS-BARBERAN F. Liquid chromatography tandem mass spectrometry analysis allows the simultaneous characterization of C-glycosyl and O-glycosyl flavonoids in stingless bee honeys[J]. *Chromatography A*,

2011, 1218(42): 7601–7607.

[25] DO NASCIMENTO K S, SATTTLER J A G, MACEDO L F L, et al. Phenolic compounds, antioxidant capacity and physico-chemical properties of Brazilian *Apis mellifera* honeys[J]. LWT, 2018, 91(5): 85–94.

[26] AVILA S, LAZZAROTTO M, HORNUNG P S, et al. Influence of stingless bee genus (*Scaptotrigona* and *Melipona*) on the mineral content, physicochemical and microbiological properties of honey[J]. Food Science and Technology-Mysore, 2019, 56(10): 4742–4748.

[27] BILUCA F C, BRAGHINI F, GONZAGA L V, et al. Physicochemical profiles, minerals and bioactive compounds of stingless bee honey (*Meliponinae*)[J]. Food Composition and Analysis, 2016, 50(7): 61–69.

[28] ATAIDE DE OLIVEIRA F, ABREU A T, ATAIDE N O, et al. Mineral content in honey and pollen from native stingless bees *Tetragonisca angustula* (Latreille, 1811) in the Iron Quadrangle, Brazil[J]. Apicultural Research, 2020, 59(4): 1–12.

[29] KEK S P, CHIN N L, TAN S W, et al. Classification of honey from its bee origin via chemical profiles and mineral content[J]. Food Analytical Methods, 2017, 10(1): 19–30.

[30] SHADAN A F, MAHAT N A, WAN IBRAHIM W A, et al. Provenance establishment of stingless bee honey using multi-element analysis in combination with chemometrics techniques[J]. Forensic Sciences, 2018, 63(1): 80–85.

[31] DE GOUVEIA M D E C, OLIVEIRA F A D S, OLORIS S C S, et al. Pesticide residues in honey from stingless bee *Melipona subnitida* (*Meliponini*, *Apidae*)[J]. Apicultural Science, 2020, 64(1): 29–36.

[32] DA COSTA A C V, SOUSA J M B, BEZERRA T K A, et al. Volatile profile of monofloral honeys produced in Brazilian semiarid region by stingless bees and key volatile compounds[J]. LWT, 2018, 94(8): 198–207.

[33] DA COSTA A C V, SOUSA J M B, DA SILVA M A A P, et al. Sensory and volatile profiles of monofloral honeys produced by native stingless bees of the Brazilian semiarid region[J]. Food Research International, 2018, 105(3): 110–120.

[34] DA SILVA P D M, DE LIMA L S, CAETANO I K, et al. Comparative analysis of the volatile composition of honeys from Brazilian stingless bees by static headspace GC-MS[J]. Food Research International, 2017, 102(12): 536–543.

[35] AVILA S, BEUX M R, RIBANI R H, et al. Stingless bee honey: quality parameters, bioactive compounds, health promotion properties and modification detection strategies[J]. Trends in Food Science and Technology, 2018, 81(11): 37–50.

[36] NOROWI M, SAJAP, ROSLIZA J, et al. Conservation and sustainable utilization of stingless bees for pollination services in agricultural ecosystems in Malaysia[C]. Proceeding of International Seminar on Enhancement of Functional Biodiversity Relevant to Sustainable Food Production in ASPAC. 2010: 1–14.

[37] BILUCA F C, DA SILVA B, CAON T, et al. Investigation of phenolic compounds, antioxidant and anti-inflammatory activities in stingless bee honey (*Meliponinae*)[J]. Food Research International,

2020, 129(3): 1–9.

[38] MASSARO C F, SHELLEY D, HEARD T A, et al. *In vitro* antibacterial phenolic extracts from "sugarbag" pot-honeys of Australian stingless bees (*Tetragonula carbonaria*)[J]. Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62(50): 12209–12217.

[39] AZIZ M S A, GIRIBABU N, RAO P V, et al. Pancreato protective effects of *Geniotrigona thoracica* stingless bee honey in streptozotocin-nicotinamide-induced male diabetic rats[J]. Biomed Pharmacother, 2017, 89(1): 135–145.

[40] SGARIGLIA M A, VATTUONE M A, VATTUONE M M S, et al. Properties of honey from *Tetragonisca angustula fiebrigi* and *Plebeia wittmanni* of Argentina[J]. Apidologie, 2010, 41(6): 667–675.

[41] GUERRINI A, BRUNI R, MAIETTI S, et al. Ecuadorian stingless bee (*Meliponinae*) honey: A chemical and functional profile of an ancient health product[J]. Food Chemistry, 2009, 114(6): 1413–1420.

[42] ODDO L P, HEARD T, RODRIGUEZ-MALAVER A, et al. Composition and antioxidant activity of *Trigona carbonaria* honey from Australia[J]. Medicinal Food, 2008, 11(4): 789–794.

[43] BILUCA F C, DE GOIS J S, SCHULZ M, et al. Phenolic compounds, antioxidant capacity and bioaccessibility of minerals of stingless bee honey (*Meliponinae*)[J]. Food Composition and Analysis, 2017, 63(10): 89–97.

[44] CHANCHAO C. Antimicrobial activity by *Trigona laeviceps* (stingless bee) honey from Thailand[J]. Pakistan Journal of Medical Sciences Online, 2009, 25(3): 364–369.

[45] NISHIO E K, RIBEIRO J M, OLIVEIRA A G, et al. Antibacterial synergic effect of honey from two stingless bees: *Scaptotrigona bipunctata* Lepeletier, 1836, and *S. postica*, Latreille 1807[J]. Scientific Reports, 2016, 6(2): 1–8.

[46] IRISH J, CARTER D A, BLAIR S E, et al. Antibacterial activity of honey from the Australian stingless bee *Trigona carbonaria*[J]. International Journal of Antimicrobial Agents, 2008, 32(1): 89–90.

[47] MIORIN P L, LEVY JUNIOR N C, CUSTODIO A R, et al. Antibacterial activity of honey and propolis from *Apis mellifera* and *Tetragonisca angustula* against *Staphylococcus aureus*[J]. Applied Microbiology, 2003, 95(5): 913–920.

[48] STOW A, BRISCOE D, GILLINGS M, et al. Antimicrobial defences increase with sociality in bees[J]. Biology Letters, 2007, 3(4): 422–424.

[49] DOMINGOS S C B, CLEBIS V H, NAKAZATO G, et al. Antibacterial activity of honeys from Amazonian stingless bees of *Melipona* spp. and its effects on bacterial cell morphology[J]. Science of Food and Agriculture, 2020, 9(24): 1–6.

[50] BORSATO D M, PRUDENTE A S, DOLL-BOSCARDIN P M B, et al. Topical anti-inflammatory activity of a *Monofloral* honey of *Mimosa scabrella* provided by *Melipona marginata* during winter in southern Brazil[J]. Medicinal Food, 2014, 17(7): 817–825.

[51] BADRULHISHAM N S R, AB HAMID S N P, ISMAIL M A H, et al. Harvested locations influence the total phenolic content, antioxidant levels, cytotoxic, and anti-inflammatory activities of

- stingless bee honey[J]. *Asia-Pacific Entomology*, 2020, 23(4): 950–956.
- [52] KASSIM M, ACHOUI M, MUSTAFA M R, et al. Ellagic acid, phenolic acids, and flavonoids in Malaysian honey extracts demonstrate *in vitro* anti-inflammatory activity[J]. *Nutrition Research*, 2010, 30(9): 650–659.
- [53] SHAMAKI B U, YUAUF A, BALLA H J, et al. Evaluation of chemical composition and the comparative wound healing effect of natural honey and olive oil in rabbits[J]. *Communications in Applied Sciences*, 2014, 2(2): 149–169.
- [54] EDIRIWEERA E R, PREMARATHNA N Y. Medicinal and cosmetic uses of bee's honey-A review[J]. *Ayu*, 2012, 33(2): 178–182.
- [55] ABD JALIL M A, KASMURI A R, HADI H. Stingless bee honey, the natural wound healer: A review[J]. *Skin Pharmacol and Physiol*, 2017, 30(2): 66–75.
- [56] ALEX I A, KWAPONG P K, KUSI R. Comparative antimicrobial activity of stingless bee honey and standard antibiotics against common eye pathogens[J]. *Molecular Microbiology and Biotechnology*, 2010, 3(2): 9–15.
- [57] KAKKAR S, BAIS S. A review on protocatechuic acid and its pharmacological potential[J]. *ISRN Pharmacol*, 2014, 2014(3): 1–10.
- [58] VIT P. Effect of stingless bee honey in selente induced cataracts [M]. *Apiacta*, 2002, 3: 1–2.
- [59] SAHLAN M, RAHMAWATI O, PRATAMI D K, et al. The effects of stingless bee (*Tetragonula biroi*) honey on streptozotocin-induced diabetes mellitus in rats[J]. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 2020, 27(8): 2025–2030.
- [60] MOHD RAFIE A Z, SYAHIR A, WAN AHMAD W A N, et al. Supplementation of stingless bee honey from *Heterotrigona itama* improves antiobesity parameters in high-fat diet induced obese rat model[J]. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2018, 2018(11): 1–11.
- [61] ZULKHAIRI AMIN F A, SABRI S, ISMAIL M, et al. Probiotic properties of bacillus strains isolated from stingless bee (*Heterotrigona itama*) honey collected across Malaysia[J]. *Environmental Research and Public Health*, 2020, 17(1): 278.
- [62] MALIK N A, MOHAMED M, MUSTAFA M Z, et al. In vitro modulation of extracellular matrix genes by stingless bee honey in cellular aging of human dermal fibroblast cells[J]. *Food Biochemical*, 2020, 44(1): 1–8.
- [63] DE MELO F H C, MENEZES F N D D, DE SOUSA J M B, et al. Prebiotic activity of monofloral honeys produced by stingless bees in the semi-arid region of Brazilian Northeastern toward *Lactobacillus acidophilus* LA-05 and *Bifidobacterium lactis* BB-12[J]. *Food Research International*, 2020, 128(2): 1–11.