



江慧枝,江武军,李震,等.优质山乌柏蜂蜜生产及其成分分析[J].江西农业大学学报,2023,45(6):1473–1485.
JIANG H Z,JIANG W J,LI Z,et al.Production and composition analysis of high-quality *Triadica cochinchinensis* honey[J].Acta agriculturae universitatis Jiangxiensis,2023,45(6):1473–1485.

优质山乌柏蜂蜜生产及其成分分析

江慧枝^{1,2},江武军³,李震^{1,2},钟史清^{1,2},何旭江^{1,2},
颜伟玉^{1,2},席芳贵³,吴卫民⁴,曾志将^{1,2*}

(1.江西农业大学 蜜蜂研究所,江西 南昌 330045;2.江西省蜜蜂生物学与饲养重点实验室,江西 南昌 330045;3.江西省养蜂研究所,江西 南昌 330052;4.江西省卫民蜜蜂园有限公司,江西 九江 330305)

摘要:【目的】山乌柏(*Triadica cochinchinensis*)是江西省最主要蜜源植物之一。山乌柏蜂蜜在江西省年产量最多,但由于目前生产的山乌柏蜂蜜含水量高,易发酵变质,且容易出现结晶分层现象,导致山乌柏蜂蜜售价较低,甚至滞销。研究拟从养蜂生产源头上,通过饲养多箱体强群生产优质山乌柏蜂蜜,同时分析山乌柏蜂蜜成分,旨在提高山乌柏蜂蜜的质量和销量。【方法】在山乌柏流蜜期,以西方蜜蜂(*Apis mellifera*)为试验材料,利用智能蜂箱饲养两箱体和多箱体蜂群,记录蜂群日均增重、温度和相对湿度,统计两箱体和多箱体蜂群的山乌柏蜂蜜总产量、波美度和含水量;测定于两箱体和多箱体蜂群取的24 h水蜜、正在封盖蜂蜜和封盖大于15 d蜂蜜3个不同成熟度的山乌柏蜂蜜基本成分;对山乌柏蜂蜜、油菜蜂蜜、枣花蜂蜜等10种蜂蜜进行基本成分测定;对山乌柏蜂蜜、洋槐蜂蜜、荆条蜂蜜等12种蜂蜜进行非靶向代谢组学分析。【结果】多箱体蜂群日均增重显著高于两箱体蜂群($P<0.05$),但两者的日均温度、相对湿度都无显著差异($P>0.05$);多箱体蜂群的蜂蜜群产量比两箱体蜂群提高160%($P<0.05$),但两者的蜂蜜波美度和含水量均无显著差异($P<0.05$);随着山乌柏蜂蜜成熟度增加,蜂蜜中果糖和葡萄糖含量、色值、Zn含量逐渐增加,而含水量逐渐减少,且都存在显著差异($P<0.05$);山乌柏蜂蜜中矿物质Fe、Zn含量显著高于其他9种蜂蜜($P<0.05$),但山乌柏蜂蜜的淀粉酶活性和酸度都偏低;通过非靶向代谢组学分析得到的PLS-DA模型可以有效区分山乌柏蜂蜜和其他11种蜂蜜;通过差异代谢物筛选鉴定分析-MS/MS总共鉴定到207种化合物,在山乌柏蜂蜜中显著上调的差异代谢物有组氨酸、苏氨酸、天冬氨酸、3,4-亚甲二氧基甲基苯丙胺、维生素H3、月桂酸、芳樟醇、磷酸胆碱、天冬酰胺、果糖-1-磷酸等。【结论】饲养多箱体强群可以显著提高山乌柏蜂蜜产量;成熟度越高,山乌柏蜂蜜品质越好;山乌柏蜂蜜富含矿物质Fe、Zn;PLS-DA模型可以有效区分山乌柏蜂蜜和其他11种蜂蜜。研究结果为优质山乌柏蜂蜜生产和消费提供技术支撑。

关键词:山乌柏;蜂蜜;多箱体饲养;成分分析

中图分类号:S896.1

文献标志码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

文章编号:1000-2286(2023)06-1473-13



Production Production and Composition Analysis of High-quality *Triadica cochinchinensis* Honey

JIANG Huizhi^{1,2}, JIANG Wujun³, LI Zhen^{1,2}, ZHONG Shiqing^{1,2}, HE Xujiang^{1,2},
YAN Weiyu^{1,2}, XI Fanggui³, WU Weimin⁴, ZENG Zhijiang^{1,2*}

收稿日期:2023-09-15 修回日期:2023-10-10

基金项目:国家重点研发计划项目(2022YFD1600202)和国家蜂产业技术体系资助项目(CARS-44-KXJ15)

Project supported by the National Key R&D Program Project of China (2022YFD1600202) and the Earmarked Fund for the China Agricultural Research System (CARS-44-KXJ15)

作者简介:江慧枝,硕士生, orcid.org/0009-0004-4151-526X, 819650500@qq.com; *通信作者:曾志将,教授,博士,博士生导师,主要从事蜜蜂生物学与饲养研究, orcid.org/0000-0001-5778-4115, bees1965@sina.com。

(1. Institute of Honeybee, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China; 2. Jiangxi Provincial Key Laboratory of Honeybee Biology and Beekeeping, Nanchang 330045, China; 3. Jiangxi Provincial Institute of Apiculture, Nanchang 330045, China; 4. Jiangxi Weimin Honey Bee Garden Co., Ltd., Jiujiang, Jiangxi 330305, China)

Abstract: [Objective] *Triadica cochinchinensis* is one of the most important honey source plants in Jiangxi Province. *T. cochinchinensis* honey has the largest annual production in Jiangxi Province, but the current *T. cochinchinensis* honey has a high-water content and is easy to ferment, deteriorate, crystallize and stratificate, resulting in a very low selling price, or even stagnation in the sale. This study intends to produce high-quality *T. cochinchinensis* honey by rearing strong colonies with skyscraper hive and analyzed the composition of *T. cochinchinensis* honey, with the aim of improving the quality and sales of *T. cochinchinensis* honey. [Method] During the nectar flow period of *T. cochinchinensis*, Western honey bees (*Apis mellifera*) were used as the experimental materials. Double hive and skyscraper hive colonies were reared by using intelligent beehives. The average daily weight gain, temperature, and relative humidity of the colonies were recorded. The total production, the Baume degree, and the moisture content of the double hive and skyscraper hive colonies were counted; the basic components of *T. cochinchinensis* honey with three different maturity levels, including 24h water honey, capping honey, and honey capped for more than 15 days, were determined. 10 types of honey, including *T. cochinchinensis* honey, *Brassica napus* honey, *Ziziphus jujuba* Mill honey etc, were subjected to the determination of basic components, and 12 types of honey, including *T. cochinchinensis* honey, *Robinia pseudoacacia* L honey, *Vitex negundo* Linn. var. *heterophylla* honey etc, were subjected to untargeted metabolomics analyses. [Result] The average daily weight gain of skyscraper hive colonies was significantly higher than that of double hive colonies ($P < 0.05$), and there were no significant differences in the average daily temperature and relative humidity between skyscraper hive colonies and double hive colonies ($P > 0.05$); the honey colony yield of the skyscraper hive colonies was 160% higher than that of the double hive colonies ($P < 0.05$), and there were no significant differences in the honey Baume degree and moisture content between skyscraper hive and double hive colonies ($P > 0.05$); as the maturity of *T. cochinchinensis* honey increased, the fructose and glucose contents, colour value, and Zn content of the honey gradually increased, while the moisture content gradually decreased, and all the components were significantly different ($P < 0.05$); the contents of the minerals Fe and Zn contents of *T. cochinchinensis* honey were significantly higher than those of the other 9 types of honeys ($P < 0.05$), the amylase activity and acidity of *T. cochinchinensis* honey were both low; the PLS-DA model obtained by non-targeted metabolomics analysis could effectively discriminate *T. cochinchinensis* honey from the other 11 types of honeys. A total of 207 compounds were identified by differential metabolite screening analysis-MS/MS, and the differential metabolites that were significantly up-regulated in *T. cochinchinensis* honey were L-histidine, threonine, L-aspartic acid, 3,4-methylenedioxymphetamine, procaine, dodecanoic acid, linalool, and phosphorylcholine, L-asparagine, fructose-1-phosphate, etc. [Conclusion] The production of *T. cochinchinensis* honey can be significantly increased by rearing strong colonies with skyscraper hive; the higher the maturity, the better the quality of *T. cochinchinensis* honey; *T. cochinchinensis* honey is rich in minerals Fe and Zn; PLS-DA model can effectively discriminate *T. cochinchinensis* honey from other 11 types of honeys. The results provide technical support for the production and consumption of high-quality *T. cochinchinensis* honey.

Keywords: *Triadica cochinchinensis*; honey; skyscraper hive rearing; component analysis

【研究意义】蜜蜂是重要授粉昆虫,蜜蜂授粉成为绿色食品生产和实现农业现代化的一项重要配套措施^[1-2]。养蜂业在满足人民美好生活需要、促进农业绿色发展、保护生态环境、助力乡村振兴等方

面都有重要作用^[1,3]。山乌柏(*Triadica cochinchinensis*)又名野乌柏、山柳、山杠、红心乌柏,属于大戟科乌柏属。广泛分布于我国热带和亚热带地区,多生长在山区山坡。江西省山乌柏的始花期在5月下旬,花期30 d左右,每群蜂可产蜂蜜20~30 kg。山乌柏是江西省最主要蜜源植物之一,山乌柏蜂蜜是江西省产量最高商品蜂蜜。由于生长在山区,没有农药污染,属于纯天然蜂蜜^[1]。但由于目前生产的山乌柏蜂蜜含水量高,极易发酵变质,加上山乌柏蜂蜜会出现结晶分层现象,导致山乌柏蜂蜜销售价格很低,甚至滞销。如何从养蜂生产源头上,通过饲养多箱体强群来生产优质山乌柏蜂蜜,同时分析山乌柏蜂蜜成分特点,对促进山乌柏蜂蜜销售有重要指导意义。【前人研究进展】我国著名养蜂专家马德风先生^[4]早在1989年撰文指出:蜂蜜是天然食品之一,提高蜂蜜质量不能只靠加工,应从养蜂生产入手。提高养蜂技术水平,饲养强群才能让蜂蜜优质高产,开创我国养蜂业的新局面。但目前我国许多蜂场习惯于“养小群、勤取蜜”,导致生产的蜂蜜没有成熟,含水量高。这是一种落后的养蜂生产方式,小群饲养费时多,蜂蜜质量低下,经济效益低。现有的养蜂生产方式亟待改变。许多养蜂工作者进行大量探索,并取得了可喜进展。吴黎明等^[5]就强群生产成熟蜂蜜的生产群组织与管理进行全面总结,韩胜明等^[6]以北京荆条花期为例,提出了强群多箱体成熟蜂蜜生产技术,并取得了荆条蜂蜜高产和稳产。尽管养蜂工作者针对优质蜂蜜生产做了一系列研究,但山乌柏蜂蜜优质高产这一难题仍未得到有效解决。【本研究切入点】根据饲养多箱体强群原理,组织西方蜜蜂多箱体强群来采集和生产山乌柏蜂蜜,从而达到山乌柏蜂蜜优质高产目的。【拟解决的关键问题】针对成熟山乌柏蜂蜜生产的技术难题,通过饲养多箱体强群,以期解决生产的山乌柏蜂蜜含水量高和易发酵变质技术瓶颈,为优质山乌柏蜂蜜生产和消费提供技术支撑。

1 材料与方

1.1 试验蜂群

在山乌柏花期开花前1周(2023年5月下旬)将15群两箱体(1个巢箱和1个继箱,12~13张脾,群势和子脾基本相当)西方蜜蜂(*Apis mellifera*)置于江西省卫民蜜蜂园有限公司(江西省永修县燕山,29°01'N,115°29'E),其中10群,每2群就近合并,留1只蜂王,形成多箱体(1个巢箱和3个继箱);另外5群作为对照,仍然为两箱体(图1)。山乌柏花期于2023年6月初开始,7月初结束,花期约1个月。待花期结束后,收取蜂蜜1次。



图1 多箱体和两箱体蜂群

Fig.1 Colonies of skyscraper hive and double hive

1.2 试剂与耗材

色谱纯乙腈、色谱纯甲醇(美国Fisher公司),色谱级甲酸(日本TCI公司),甲酸铵(Sigma,纯度≥99.9%),超纯水(上海乐枫生物技术有限公司),葡萄糖、果糖标准物质(德国Dr.Ehrenstorfer公司),蔗糖标准物质(上海安谱实验科技股份有限公司),糠醛标液(天津阿尔塔科技有限公司),甘油(国药集团化学试剂有限公司),0.1 mol/L氢氧化钠标准溶液(博林达科技有限公司),硝酸(美国Fluka公司),铁、锌、铜标液(钢研纳克检测技术股份有限公司),乙酸钠、乙酸、碘、碘化钾、氯化钠、淀粉(国药集团化学试剂有限公司),100,1 000 μL枪头和10,50 mL离心管(安徽白鲨生物科技有限公司),25,50 mL容量瓶和100 mL烧杯(北京玻璃集团公司供销分公司)。

油菜蜂蜜(*Brassica napus* honey,简称BNH)、混合蜂蜜(Polymerization honey,简称POH)、柑橘蜂蜜(*Citrus reticulata* Blanco honey,简称CBH)。洋槐蜂蜜(*Robinia pseudoacacia* honey,简称RPH)、枣花蜂蜜(*Ziziphus jujuba* Mill honey,简称ZMH)、荆条蜂蜜(*Vitex negundo* L. var. *heterophylla* honey,简称VLH)、枸

杞蜂蜜(*Lycium chinense* Miller honey, 简称LMH)、荔枝蜂蜜(*Litchi chinensis* Sonn honey, 简称LSH)、枇杷蜂蜜(*Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl honey, 简称ELH)、椴树蜂蜜(*Tilia tuan* Szyszyl honey, 简称TSH)均由武汉葆春蜂王浆有限责任公司提供。油茶蜂蜜(*Camellia oleifera* honey, 简称COH)购自湖南省常宁市丽水蓝天林业合作社,山乌柏蜂蜜(*Triadica cochinchinensis* honey, 简称TCH)由江西农业大学蜜蜂研究所于江西省卫民蜜蜂园有限公司(江西省永修县燕山29°01'N, 115°29'E)生产。

1.3 试验方法

1.3.1 山乌柏花期内蜂群日均增重、温度、相对湿度统计 10群蜂群均用智能蜂箱(梅州市惜时科技有限公司生产,箱盖内部中央、箱盖外部、箱底各有一个温湿度探头,箱盖内部有4个排风扇)饲养,从蜜蜂饲养管理系统(<http://s039-t.jxszhny.cn/iot/iotBee>)导出智能蜂箱每日19:00两箱体蜂群和多箱体蜂群的质量、温度和相对湿度数据(平台监控的温度和相对湿度数据频次为1次/min)。计算两箱体蜂群和多箱体蜂群的日均温度和相对湿度,同时人工记录每日天气情况。

$$\text{日均增重(kg/d)} = \text{次日蜂群质量} - \text{当日蜂群质量} \quad (1)$$

$$\text{日均温度(}^{\circ}\text{C)} = \frac{\text{当日每分钟温度总和}}{1440} \quad (2)$$

$$\text{日均相对湿度(\%)} = \frac{\text{当日每分钟相对湿度总和}}{1440} \times 100\% \quad (3)$$

1.3.2 山乌柏蜂蜜总产量、波美度和含水量测定 山乌柏花期结束后,将每群蜂中的蜂蜜用摇蜜机(蜂佳源有限公司)全部摇出,电子秤(金华市凯丰有限公司)称重后分别记录单群产量。用手持蜂蜜测糖仪(蜂佳源有限公司)测定每群蜂中的蜂蜜的波美度;用阿贝折光仪(上海恒平科学仪器有限公司)参照《SN/T 0852—2012》^[7],测定每群蜂中的蜂蜜的含水量,每组设置5个样本重复。

1.3.3 不同成熟程度的山乌柏蜂蜜取样 在大流蜜期,往1群多箱体蜂群的继箱和1群两箱体蜂群的继箱中各放1张空脾,24 h后将该脾取出,用吸蜜机(Smart VAC,北京大龙有限公司)吸取脾内储存所有的水蜜,再从这两群中分别挑选封盖程度30%左右的封盖蜜脾,取蜜脾中正在封盖蜂蜜,同时将正在封盖蜂蜜区域做好标记取完样后放回蜂群。15 d后,拿出标记的蜜脾,取出标记区域的所有封盖蜂蜜。

1.3.4 蜂蜜基本成分测定 蜂蜜样品基本成分是委托农业农村部蜂产品质量监督检验测试中心(北京)进行测定。测定蜂蜜样品有:山乌柏蜂蜜、油菜蜂蜜、洋槐蜂蜜、枣花蜂蜜、荆条蜂蜜、枸杞蜂蜜、荔枝蜂蜜、枇杷蜂蜜、柑橘蜂蜜、椴树蜂蜜10种蜂蜜。具体测定方法如下:用高效液相色谱-示差检测器(Waters 2695-2414示差检测器,美国waters公司)参照《GB 5009.8—2016》测定果糖、葡萄糖、蔗糖^[8];用紫外可见光分光光度计(UV-2550,日本岛津公司)参照《GB/T 18932.16—2003》测定淀粉酶活性^[9];分别用阿贝折光仪(上海恒平科学仪器有限公司)、酸度计(梅特勒托利多科技有限公司)、卜方特仪(HI 96785,意大利Hanna公司)参照《SN/T 0852—2012》测定含水量、酸度色值^[7];用超高效液相色谱-二极管阵列检测器(UPLC-PDA,美国waters公司)参考《GB/T 18932.18—2003》测定羟甲基糠醛含量^[10];用马弗炉(SX-4-10,林茂科技有限公司)参照《GB 5009.4—2016》测定灰分^[11];用生物显微镜COIC(重庆重光实业有限公司)参考《GB/T 23194—2008》测定花粉粒浓度^[12];用电导率仪(DDS-307A,上海雷磁公司)参考《GB/T 18932.15—2003》测定电导率^[13];用电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS 7500,美国Agilent公司)参考《GB 5009.268—2016》测定矿物质Fe、Cu、Zn的含量^[14]。每个蜂蜜样品设置5个生物学重复。

1.3.5 蜂蜜非靶向代谢组学分析 蜂蜜样品非靶向代谢组学分析委托江苏省苏州帕诺米克生物医药科技有限公司进行测定。测定蜂蜜样品有:山乌柏蜂蜜、油菜蜂蜜、混合蜂蜜、柑橘蜂蜜、洋槐蜂蜜、枣花蜂蜜、荆条蜂蜜、枸杞蜂蜜、荔枝蜂蜜、枇杷蜂蜜、椴树蜂蜜、油茶蜂蜜12种蜂蜜,具体测定方法如下:

样品前处理:准确称取100 mg蜂蜜样品(设置6个生物学重复)于2 mL离心管中,加入400 μL 甲醇溶液(-20°C 保存),涡旋1 min,再用12 000 r/min 4°C 离心10 min,取全部上清液,转移至新的2 mL离心管中,浓缩干燥,准确加入150 μL 体积分数80%甲醇水配制的2-氯-L-苯丙氨酸(4 mg/L)溶液(4°C 保存)复溶样品,取上清液过0.22 μm 膜过滤,过滤液用体积分数80%甲醇水配制的2-氯-L-苯丙氨酸(4 mg/L)溶液稀释5倍后加入到检测瓶中。

色谱条件:超高效液相系统(Vanquish,赛默飞世尔科技有限公司),使用 ACQUITY UPLC® HSST3 (2.1 mm×150 mm, 1.8 μm)色谱柱,0.25 mL/min 的流速,40 ℃的柱温,进样量 2 μL。正离子模式,流动相为 0.1% 甲酸乙腈(C)和 0.1% 甲酸水(D),梯度洗脱程序为:0~1 min,2% C;1~9 min,2%~50% C;9~12 min, 50%~98% C;12~13.5 min,98% C;13.5~14 min,98%~2% C;14~20 min,2% C。负离子模式,流动相为乙腈(A)和 0.005 mol/L 甲酸铵水(B),梯度洗脱程序为:0~1 min,2% A;1~9 min,2%~50% A;9~12 min, 50%~98% A;12~13.5 min,98% A;13.5~14 min,98%~2% A;14~17 min,2% A^[15]。

质谱条件:质谱检测器(Q Exactive HF-X,赛默飞世尔科技有限公司),电喷雾离子源(ESI),正负离子模式分别采集数据。正离子喷雾电压为 3.50 kV,负离子喷雾电压为-2.50 kV,鞘气 30 arb,辅助气 10 arb。毛细管温度 325 ℃,以分辨率 60 000 进行一级全扫描,一级离子扫描范围(*m/z*)81~1 000,并采用 HCD 进行二级裂解,碰撞电压为 30%,二级分辨率为 15 000,采集信号前 8 离子进行碎裂,同时采用动态排除去除无必要的 MS/MS 信息^[16]。

1.4 数据统计方法

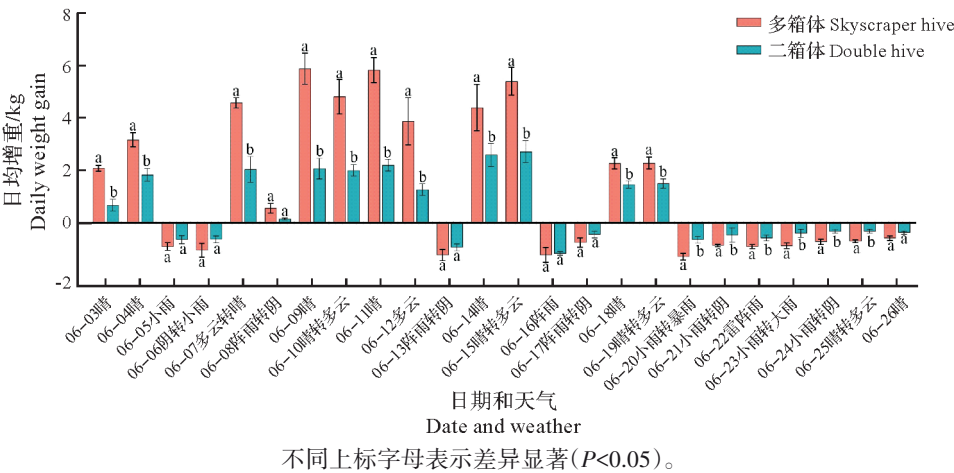
1.3.1~1.3.4 试验数据分析均采用 SPSS27.0 软件。数据用平均值±标准误差(Mean±SE)表示。使用独立样本 *T* 检验或单因素方差分析(ANOVA)来检验各组之间的差异。组间差异有显著意义的概率水平是 *P*<0.05。

1.3.5 试验结果采用 R XCMS 软件对质谱数据进行峰检测、过滤、对齐处理,得到物质定量列表,采用公共数据库 HMDB、massbank、LipidMaps、mzcloud、KEGG 及自建物质库进行物质的鉴定。采用 R 软件包 Ropls 对样本数据进行偏最小二乘判别分析(PLS-DA)并分别绘制得分图。根据统计检验计算 *P* 值、VIP 值、FC 计算组间差异倍数,衡量各代谢物组分含量对样本分类判别的影响强度和解释能力,辅助标志代谢物的筛选。当 *P* 值<0.05 和 VIP>1 时,认为该代谢物为差异代谢物。

2 结果与分析

2.1 两箱体蜂群和多箱体蜂群日均增重、温度、相对湿度结果

从图 2、图 3 和图 4 可知,在山乌柏花期内,除阴雨天气外,多箱体蜂群日均增重显著高于两箱体蜂群(*P*<0.05),但多箱体蜂群与两箱体蜂群的日均温度、相对湿度均无显著差异(*P*>0.05)。



不同上标字母表示差异显著(*P*<0.05)。
Different letters on the bars indicated significant differences (*P*<0.05).
图2 山乌柏花期内蜂群日均增重
Fig.2 Average daily weight gain of the colonies during *Triadica cochinchinensis* flowering period

2.2 山乌柏蜂蜜总产量、波美度和含水量测定结果

如表 1 所示,多箱体蜂群的蜂蜜群产量比两箱体蜂群显著提高了 160% (*P*<0.05),但两者的蜂蜜波美度和含水量均无显著差异(*P*>0.05)。

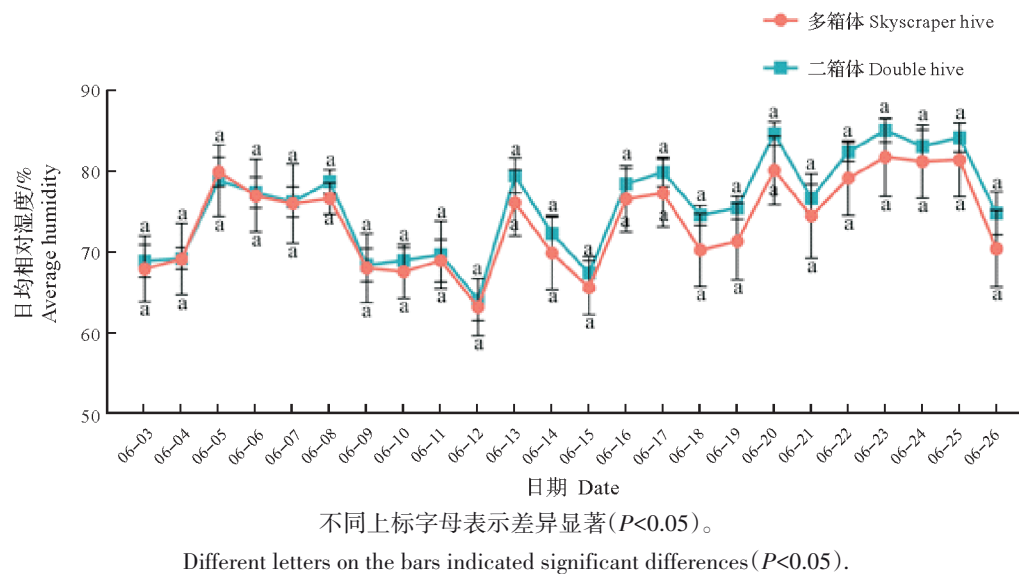


图3 山乌柏花期内蜂群日均相对湿度

Fig.3 Average daily relative humidity of the colonies during *Triadica cochinchinensis* flowering period

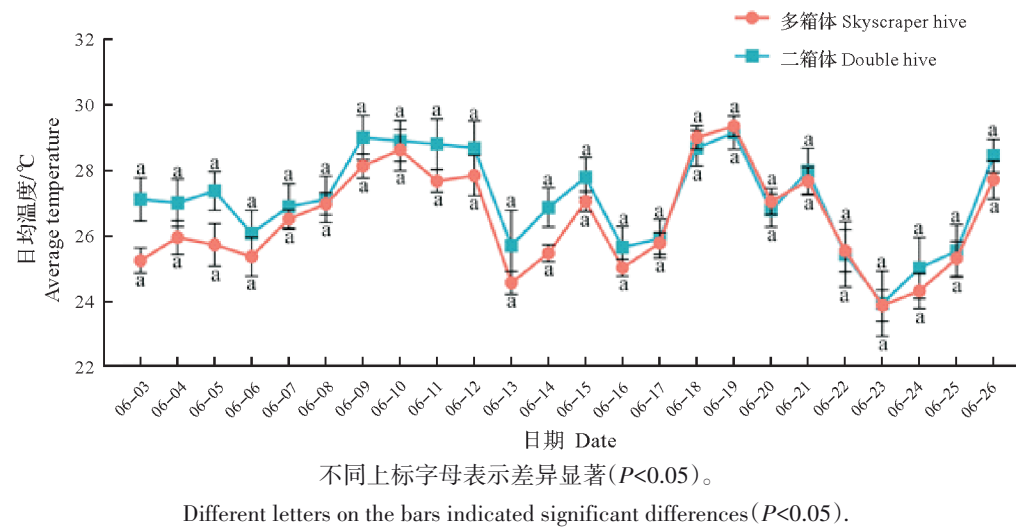


图4 山乌柏花期内蜂群日均温度

Fig.4 Average daily temperature of the colonies during *Triadica cochinchinensis* flowering period

表1 多箱体与两箱体饲养对山乌柏蜂蜜群产量、波美度和含水量影响

Tab.1 The effect of skyscraper hive and double hive rearing on the yield, Baume degree, and moisture content of *Triadica cochinchinensis* honey

项目 Item	多箱体 Skyscraper hive	两箱体 Double hive
蜂蜜群产量/(kg·群 ⁻¹) Group output of Honey	33.05±7.67 ^a	12.69±3.89 ^b
蜂蜜波美度/(°Bé) Honey Baume	41.22±0.54 ^a	41.19±0.50 ^a
蜂蜜含水量/% Honey moisture content	20.46±0.29 ^a	20.74±0.45 ^a

同列字母相同表示差异不显著($P>0.05$),不同表示差异显著($P<0.05$)。

The same lowercase letter in the same column indicated no significant differences ($P>0.05$), different lowercase indicated significant differences ($P<0.05$).

2.3 不同成熟程度的山乌柏蜂蜜基本成分测定结果

从表2可知,24 h水蜜、正在封盖蜂蜜和大于15 d封盖蜂蜜,随着蜂蜜成熟度的增加,山乌柏蜂蜜中的果糖含量、葡萄糖含量、色值、矿物质Zn含量呈显著增加($P<0.05$),而含水量则显著下降($P<0.05$)。从表3可知,多箱体蜂群的大于15 d封盖蜂蜜中葡萄糖含量、果糖含量、淀粉酶活性、酸度、矿物质Fe、Zn含量都显著高于两箱体蜂群($P<0.05$),同时含水量显著低于两箱体蜂群($P<0.05$)。

表 2 多箱体蜂群中不同成熟度的山乌桕蜂蜜基本成分

Tab.2 Basic composition of different maturity *Triadica cochinchinensis* honey in skyscraper hive colonies

成分 Component	多箱体 Skyscraper hive		
	24 h 水蜜	正在封盖蜂蜜	大于 15 d 封盖蜂蜜
	24 h water honey	Capping honey	Honey capped for more than 15 days
果糖(每 100 g 计)/g Fructose	31.97±0.33 ^c	37.60±0.58 ^b	38.03±0.15 ^a
葡萄糖(每 100 g 计)/g Glucose	31.70±0.06 ^b	37.50±0.15 ^a	37.60±0.10 ^a
蔗糖(每 100 g 计)/g Sucrose	1.27±0.15 ^b	0.68±0.07 ^c	1.47±0.07 ^a
淀粉酶活性(1% 淀粉溶液)/[mL·(g·h) ⁻¹] Amylase activity(1% starch solution)	7.57±0.15 ^a	4.80±0.06 ^c	5.67±0.26 ^b
含水量/% Moisture content	27.30±0.06 ^a	19.07±0.07 ^b	17.73±0.07 ^c
羟甲基糠醛/(mg·kg ⁻¹) HMF	—	—	4.70±0.02
酸度/(mg·kg ⁻¹) Acidity	9.94±0.01 ^b	7.98±0.02 ^c	12.90±0.06 ^a
花粉浓度/(piece·mL ⁻¹) Pollen concentration	11 250.00±2 165.06 ^b	8 750.00±1 250.00 ^b	16 250.00±2 500.00 ^a
电导率/(ms·cm ⁻¹) Conductivity	0.12±0 ^a	0.11±0.003 ^b	0.14±0.003 ^a
色值 Color value	14.67±0.33 ^c	21.33±0.67 ^b	24.67±0.67 ^a
铁/(mg·kg ⁻¹) Fe	31.51±0.22 ^a	16.00±0.16 ^b	8.57±0.24 ^c
铜/(μg·kg ⁻¹) Cu	111.63±3.14 ^a	41.367±0.42 ^c	95.60±1.40 ^b
锌/(mg·kg ⁻¹) Zn	2.83±0.01 ^c	5.61±0.06 ^b	7.36±0.05 ^a
灰分(每 100 g 计)/g Ash content	0.02	0.02	0.01

同列字母相同表示差异不显著($P<0.05$),不同表示差异显著($P<0.05$)。

The same lowercase letter in the same column indicated no significant differences ($P>0.05$), different lowercase indicated significant differences ($P<0.05$).

表 3 多箱体与两箱体饲养对封盖大于 15 d 山乌桕蜂蜜基本成分影响

Tab.3 The effect of skyscraper hive and double hive rearing on basic composition of *Triadica cochinchinensis* honey capped for more than 15 days

成分 component	封盖大于 15 d 蜂蜜	封盖大于 15 d 蜂蜜
	Honey capped for more than 15 days	Honey capped for more than 15 days
	多箱体 Skyscraper hive	两箱体 Double hive
果糖(每 100 g 计)/g Fructose	38.03±0.15 ^a	36.8±0.15 ^b
葡萄糖(每 100 g 计)/g Glucose	37.60±0.10 ^a	37.03±0.15 ^b
蔗糖(每 100 g 计)/g Sucrose	1.47±0.07 ^a	0.87±0.09 ^b
淀粉酶活性(1% 淀粉溶液)/[mL·(g·h) ⁻¹] Amylase activity(1% starch solution)	5.67±0.26 ^a	3.97±0.03 ^b
含水量/% Moisture content	17.73±0.07 ^b	19.07±0.07 ^a
羟甲基糠醛/(mg·kg ⁻¹) HMF	4.70±0.02 ^a	1.90±0.02 ^b
酸度/(mg·kg ⁻¹) Acidity	12.90±0.06 ^a	9.04±0.03 ^b
花粉浓度/(piece·mL ⁻¹) Pollen concentration	16 250.00±2 500.00 ^a	15 000.00±3 750.00 ^a
电导率/(ms·cm ⁻¹) Conductivity	0.14±0.003 ^a	0.12±0.003 ^b
色值 Color value	24.67±0.67 ^a	23.33±0.33 ^a
铁/(mg·kg ⁻¹) Fe	8.57±0.24 ^a	3.87±0.16 ^b
铜/(μg·kg ⁻¹) Cu	95.60±1.40 ^a	90.23±2.76 ^a
锌/(mg·kg ⁻¹) Zn	7.36±0.05 ^a	4.15±0.06 ^b
灰分(每 100 g 计)/g Ash content	0.01	0.01

同列字母相同表示差异不显著($P<0.05$),不同表示差异显著($P<0.05$)。

The same lowercase letter in the same column indicated no significant differences ($P>0.05$), different lowercase indicated significant differences ($P<0.05$).

2.4 不同蜂蜜基本成分测定结果

从表 4 可知,10 种蜂蜜每 100 g 的果糖和葡萄糖的总含量(还原糖)均大于 60 g,每 100 g 蜂蜜测得蔗糖的含量均小于 5 g,含水量均小于 24%,酸度均小于 40 mL/kg,羟甲基糠醛均小于 40 mg/kg,灰分均小于 0.4 g,

表 4 10 种蜂蜜基本成分
Tab.4 Basic composition of 10 types of honey

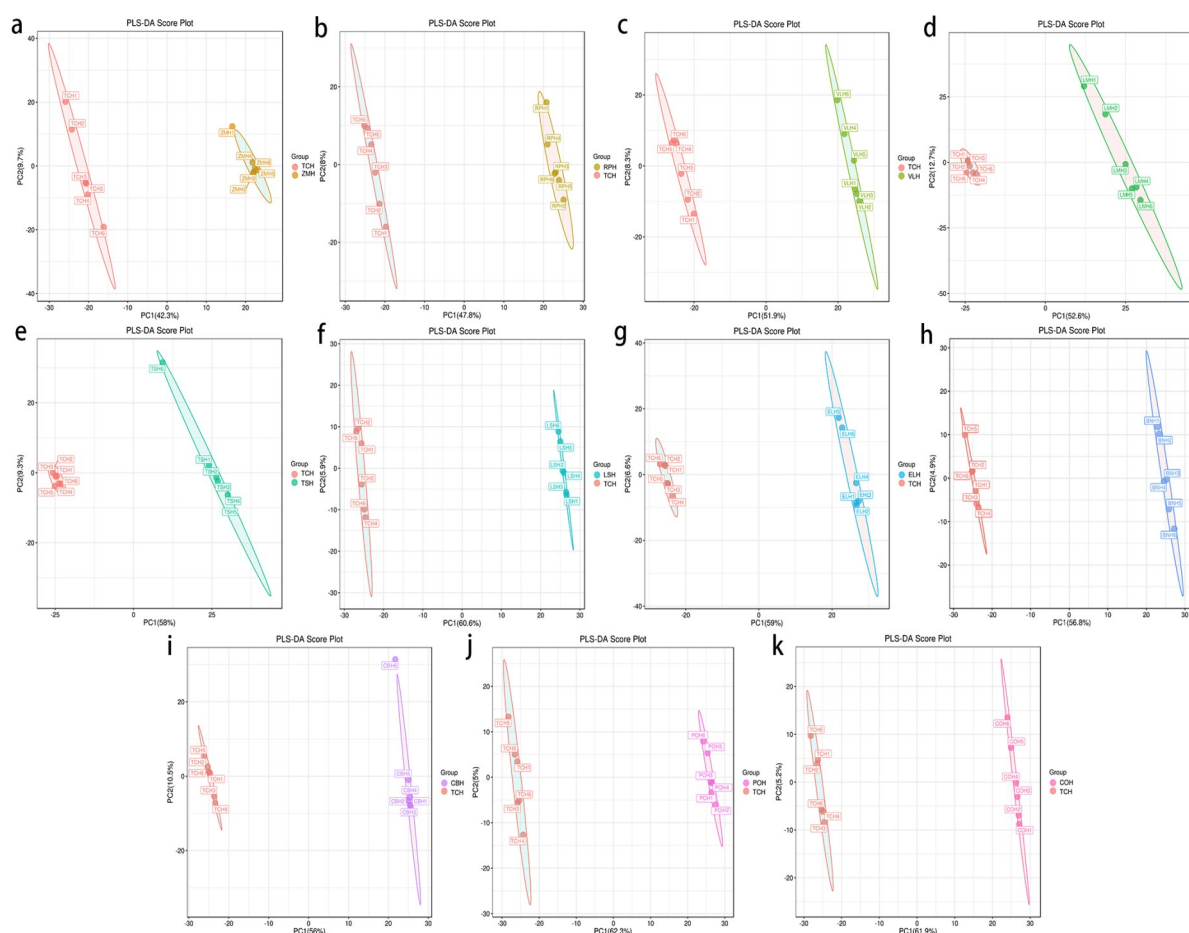
成分 component	山乌柏蜂蜜 TCH	油菜蜂蜜 BNH	洋槐蜂蜜 RPH	枣花蜂蜜 ZMH	荆条蜂蜜 VLH	枸杞蜂蜜 LMH	荔枝蜂蜜 LSH	枇杷蜂蜜 ELH	柑橘蜂蜜 CBH	椴树蜂蜜 TSH
果糖(每 100 g 计)/g Fructose	38.03±0.15 ^f	40.08±0.06 ^d	46.33±0.03 ^a	40.97±0.09 ^d	41.10±0.30 ^d	45.10±0.06 ^b	42.80±0.06 ^c	36.47±0.09 ^e	39.63±0.07 ^e	39.60±0.12 ^e
葡萄糖(每 100 g 计)/g Glucose	37.60±0.10 ^b	37.87±0.13 ^a	26.70±0.03 ^b	25.27±0.19 ⁱ	31.00±0.13 ^f	31.70±0.06 ^c	30.57±0.09 ^e	31.57±0.09 ^e	32.70±0.00 ^d	33.77±0.03 ^c
果糖+葡萄糖 (每 100 g 计)/g Sum of fructose+ glucose	75.63±0.19 ^e	78.67±0.19 ^a	72.97±0.09 ^e	66.23±0.27 ^b	72.40±0.10 ^f	76.80±0.10 ^b	73.37±0.03 ^d	68.03±0.09 ^e	72.33±0.07 ^f	73.37±0.15 ^d
蔗糖(每 100 g 计)/g Sucrose	1.47±0.07 ^e	—	2.42±0.02 ^b	—	—	—	—	3.09±0.01 ^a	—	—
淀粉酶活性 (1% 淀粉溶液)/ [mL·(g·h) ⁻¹] Amylase activity (1% starch solution)	5.67±0.26 ^e	15.43±0.03 ^d	10.37±0.03 ^e	20.90±0.32 ^a	16.00±0.11 ^c	10.63±0.07 ^e	9.83±0.12 ^f	2.47±0.07 ^b	16.47±0.19 ^b	10.30±0.10 ^e
含水量/% Moisture content	17.73±0.07 ^e	18.60±0.03 ^d	19.90±0.06 ^c	17.20±0.03 ^e	17.37±0.03 ^f	16.17±0.03 ^b	21.23±0.03 ^a	17.13±0.03 ^e	21.07±0.03 ^b	17.73±0.06 ^c
羟甲基糠醛/ (mg·kg ⁻¹) HMF	4.70±0.024 ^d	—	—	—	20.46±0.19 ^c	3.33±0.03 ^e	29.13±0.09 ^a	21.80±0.35 ^b	—	3.53±0.07 ^e
酸度/(mg·kg ⁻¹) Acidity	12.90±0.05 ^f	15.63±0.07 ^b	10.57±0.09 ^b	10.53±0.15 ^b	14.70±0.12 ^c	13.30±0.06 ^c	19.30±0.06 ^a	14.33±0.03 ^d	15.53±0.09 ^b	11.27±0.09 ^e
花粉浓度/ (piece·mL ⁻¹) Pollen concentration	16 250.00± 57.74 ^b	145 333.33± 1 452.97 ^b	46 333.33± 1 201.85 ^f	44 333.33± 1 763.83 ^f	124 666.67± 2 403.70 ^c	61 666.67± 1 452.97 ^c	183 000.00± 2 516.61 ^a	68 000.00± 577.35 ^d	22 000.00± 577.35 ^e	55 000.00± 2 081.67 ^f
电导率/ (ms·cm ⁻¹) Conductivity	0.144±0.02 ⁱ	0.20±0.03 ^f	0.17±0.02 ^b	0.70±0.01 ^a	0.245±0.02 ^e	0.36±0.01 ^c	0.314±0.01 ^d	0.19±0.03 ^e	0.17±0.03 ^b	0.611±0.03 ^b
色值 Color value	25.00	53.00	0	65.00	39.00	83.00	42.00	19.00	6.00	97.00
铁/(mg·kg ⁻¹) Fe	8.57±0.24 ^a	1.55±0.04 ^d	0.47±0.09 ^g	1.23±0.09 ^e	0.59±0.01 ^f	1.15±0.01 ^c	1.30±0.04 ^e	0.35±0.01 ^g	3.25±0.04 ^b	2.28±0.02 ^e
铜/(μg·kg ⁻¹) Cu	95.60±1.40 ^d	83.00±3.46 ^c	43.07±0.50 ^b	264.27±3.04 ^b	97.60±0.35 ^d	57.33±0.45 ^e	489.90±0.81 ^a	45.73±0.34 ^b	62.70±0.80 ^f	115.63±0.58 ^c
锌/(mg·kg ⁻¹) Zn	4 145.77± 62.91 ^a	479.80± 25.30 ^e	174.93± 4.01 ^b	1 499.30± 9.60 ^b	417.43± 2.64 ^f	319.60± 3.43 ^e	570.63± 0.75 ^d	311.06± 1.05 ^e	387.60± 2.18 ^f	734.47± 3.62 ^e
灰分 (每 100 g 计)/g Ash content	0.01	0.01	0.06	0.02	0.04	0.11	0.08	0.02	0.06	0.18

同列字母相同表示差异不显著($P<0.05$),不同表示差异显著($P<0.05$)。
The same lowercase letter in the same column indicated no significant differences($P>0.05$), different lowercase indicated significant differences($P<0.05$).

都显著优于蜂蜜的行业标准。淀粉酶值除枇杷蜂蜜外,均大于4 mL/(g·h),符合行业标准要求^[17]。另外山乌柏蜂蜜中Fe、Zn含量显著高于其他9种蜂蜜($P<0.05$),但山乌柏蜂蜜的淀粉酶活性和酸度都偏低。

2.5 不同蜂蜜非靶向代谢组学测定结果

如图5所示,利用组间差异的最小二乘法-判别分析(partial least squares-discriminate analysis, PLS-DA)R语言 Ropls包计算得到的PLS-DA模型得分显示各组间 $R^2X>0.60$ 、 $R^2Y>0.98$ 、 $Q^2Y>0.98$,说明模型的可靠性和预测性良好(图5a-图5k),能有效区分山乌柏蜂蜜与其他11种蜂蜜。



a: 山乌柏蜂蜜 vs 枣花蜂蜜组间 OPLS-DA 得分; b: 山乌柏蜂蜜 vs 洋槐蜂蜜组间 OPLS-DA 得分; c: 山乌柏蜂蜜 vs 荆条蜂蜜组间 OPLS-DA 得分; d: 山乌柏蜂蜜 vs 枸杞蜂蜜组间 OPLS-DA 得分; e: 山乌柏蜂蜜 vs 椴树蜂蜜组间 OPLS-DA 得分; f: 山乌柏蜂蜜 vs 荔枝蜂蜜组间 OPLS-DA 得分; g: 山乌柏蜂蜜 vs 枇杷蜂蜜组间 OPLS-DA 得分; h: 山乌柏蜂蜜 vs 油菜蜂蜜组间 OPLS-DA 得分; i: 山乌柏蜂蜜 vs 柑橘蜂蜜组间 OPLS-DA 得分; j: 山乌柏蜂蜜 vs 混合蜂蜜组间 OPLS-DA 得分; k: 山乌柏蜂蜜 vs 油茶蜂蜜组间 OPLS-DA 得分。

a: OPLS-DA score chart of TCH and ZMH; b: OPLS-DA score chart of TCH and RPH; c: OPLS-DA score chart of TCH and VLH; d: OPLS-DA score chart of TCH and LMH; e: OPLS-DA score chart of TCH and TSH; f: OPLS-DA score chart of TCH and LSH; g: OPLS-DA score chart of TCH and ELH; h: OPLS-DA score chart of TCH and BNH; i: OPLS-DA score chart of TCH and CBH; j: OPLS-DA score chart of TCH and POH; k: OPLS-DA score chart of TCH and COH.

图5 山乌柏蜂蜜与11种蜂蜜的OPLS-DA得分

Fig.5 OPLS-DA score chart of *Triadica cochinchinensis* honey and 11 types of honey

从表5可知,通过差异代谢物筛选鉴定分析-MS/MS总共鉴定到207种化合物,主要包括氨基酸、碳水化合物、脂肪酸和羧酸类、醇类、有机酸类、酮类、酚类、萜类、苯及其衍生物、嘌呤和嘧啶衍生物等10类。与其他11种蜂蜜相比较,山乌柏蜂蜜中显著上调的差异代谢物有组氨酸、苏氨酸、天冬氨酸、3,4-亚甲二氧基甲基苯丙胺、维生素H3、月桂酸、芳樟醇、磷酸胆碱、天冬酰胺、果糖-1-磷酸等。

表 5 山乌柏蜂蜜与其他 11 种蜂蜜比较的差异代谢物

Tab.5 Comparison of different metabolites between *Triadica cochinchinensis* Honey and Other 11 types of honey

比较组别 Compare groups	总代谢物 Total	下降 Down	上调 Up	总差异代谢物 Total DE	差异性显著表达的前五个上调物质 The first five up-regulated substances with significant differential expression
山乌柏蜂蜜 vs 枣花蜂蜜 TCH vs ZMH	207	59	37	96	谷氨酰胺 (Glutamine)、3,4-亚甲二氧基甲基苯丙胺 (3,4-Methylenedioxyamphetamine)、组氨酸 (L-Histidine)、苏氨酸 (L-Threonine)、 天冬酰胺 (L-Asparagine)
山乌柏蜂蜜 vs 洋槐蜂蜜 TCH vs RPH	207	59	55	114	3,4-亚甲二氧基甲基苯丙胺 (3,4-Methylenedioxyamphetamine)、维生素 H3 (Procaine)、葡萄糖醛酸 (D-Glucuronic Acid) 4-氨基苯酚 (4-Aminophenol)、 对香豆氨酸 (4-Hydroxycinnamoylagmatine)
山乌柏蜂蜜 vs 荆条蜂蜜 TCH vs VLH	207	70	50	120	3,4-亚甲二氧基甲基苯丙胺 (3,4-Methylenedioxyamphetamine)、月桂酸 (Dodecanoic acid)、苏氨酸 (Threonic acid) 5-羟基吡嗪酰胺 (5-Hydroxypyrazinamide)、N-乙酰基-D-氨基葡萄糖 (N-Acetyl-D-glucosamine)
山乌柏蜂蜜 vs 枸杞蜂蜜 TCH vs LMH	207	31	102	133	3,4-亚甲二氧基甲基苯丙胺 (3,4-Methylenedioxyamphetamine)、磷酸胆碱 (Phosphorylcholine)、维生素 H3 (Procaine)、芳樟醇 (Linalool)、 异戊酸 (Isovaleric acid)
山乌柏蜂蜜 vs 椴树蜂蜜 TCH vs TSH	207	24	109	133	乙酰鸟氨酸 (Acetylornithine)、天冬氨酸 (L-Aspartic acid)、果糖-1-磷酸 (Fructose-1P)、茶氨酸 (L-Theanine)、邻甲苯甲酸 (2-Methylbenzoic acid)
山乌柏蜂蜜 vs 荔枝蜂蜜 TCH vs LSH	207	40	101	141	3,4-亚甲二氧基甲基苯丙胺 (3,4-Methylenedioxyamphetamine)、乙酰葡萄糖胺 (beta-N-Acetylglucosamine)、天冬酰胺 (L-Asparagine)、石杖素 (Parthenin)、 乙酰鸟氨酸 (N-Acetylornithine)
山乌柏蜂蜜 vs 枇杷蜂蜜 TCH vs ELH	207	26	107	133	苏氨酸 (L-Threonine)、对烯丙基苯酚 (Chavicol)、反式异沙酮苯 (trans-isoasarone)、芳樟醇 (Linalool)、组氨酸 (L-Histidine)
山乌柏蜂蜜 vs 油菜蜂蜜 TCH vs BNH	207	31	104	135	3,4-亚甲二氧基甲基苯丙胺 (3,4-Methylenedioxyamphetamine)、对烯丙基苯酚 (Chavico)、芳樟醇 (Linalool)、美替拉酮 (Metyrapone)、癸二酸 (Sebacic acid)
山乌柏蜂蜜 vs 柑橘蜂蜜 TCH vs CBH	207	18	107	125	苏氨酸 (L-Threonine)、组氨酸 (L-Histidine)、维生素 H3 (Procaine)、 次黄嘌呤 (Hypoxanthine)、4-胍基丁酸 (4-Guanidinobutanoic acid)
山乌柏蜂蜜 vs 混合蜂蜜 TCH vs POH	207	37	88	125	3,4-亚甲二氧基甲基苯丙胺 (3,4-Methylenedioxyamphetamine)、 天冬氨酸 (L-Aspartic acid)、芳樟醇 (Linalool)、月桂酸 (Dodecanoic acid)、 半乳糖基甘油 (Galactosylglycerol)
山乌柏蜂蜜 vs 油茶蜂蜜 TCH vs COH	207	51	91	142	组氨酸 (L-Histidine)、3,4-亚甲二氧基甲基苯丙胺 (3,4-Methylenedioxyamphetamine)、磷酸胆碱 (Phosphorylcholine)、黄嘌呤 (Xanthine)、 果糖-1-磷酸 (Fructose-1P)

3 结论与讨论

与常规两箱体蜂群饲养相比,多箱体蜂群饲养生产山乌柏蜂蜜产量大幅提高了 160%,这与韩胜明等^[6]和蒙善朝^[18]研究的产量结果一致,但两者蜂蜜的波美度和含水量无明显差异,可能是大流蜜期阴雨天气过多,以及蜂蜜产量包含封盖蜂蜜和未封盖蜂蜜所导致的。本试验中,饲养多箱体蜂群得到的大于 15 d 封盖蜂蜜的葡萄糖和果糖含量、淀粉酶活性、Fe、Zn 含量都显著高于两箱体,且含水量显著低于两箱体,说明饲养多箱体强群能生产品质更优的成熟蜂蜜。从蜜蜂生物学角度来分析,饲养多箱体强群至少有以下方面生物学意义:巢内环境因素稳定,群内恒温对蜂儿和幼蜂健康发育有保证;多箱体强群具有很强清理能力,抗病能力比较强;多箱体强群里的内勤工蜂占比少,有更多工蜂参与采集工作,采集效率高;当巢内有大量进蜜时,多箱体强群能快速降低巢内相对湿度,有利于花蜜水分蒸发;多箱体强群贮蜜巢

脾充足,促进蜜蜂酿造花蜜^[19]。因此饲养多箱体蜂群生产成熟蜂蜜是一项值得广泛推广的实用技术。

本研究结果表明,随着山乌柏蜂蜜成熟度增加,蜂蜜中果糖、葡萄糖含量逐渐增加,含水量逐渐减少,这与王会迪^[20]和Zhang等^[21]研究结果一致。蜂蜜封盖后,会在转化酶作用下继续酿造,蜂蜜中蔗糖继续转化为果糖和葡萄糖,水分逐渐降低^[22],这是蜂蜜后成熟特性。谭宏伟等^[23]利用蜂蜜的后熟特性来提高成熟蜂蜜品质,对五倍子蜂蜜分别进行0~72 h后熟处理,五倍子蜂蜜的含水量随着后熟处理时间的增加而下降。显然在蜂农中普及蜂蜜后成熟特性知识,改变目前“勤取蜜”生产习惯,倡导“蜜不封盖不收,蜜不成熟不取”^[24],这样才能生产优质成熟蜂蜜。

Liu等^[25]检测了不同成熟度山乌柏蜂蜜理化指标发现,随着山乌柏蜂蜜成熟度增加,山乌柏蜂蜜淀粉酶值总体下降,蔗糖含量总体增加,这与本研究结果基本一致。但也有研究指出:蜂蜜淀粉酶值与成熟度成正比^[26-27],这与本研究结果不同,可能是蜂蜜成分因蜜源植物种类和地理位置不同而形成差异^[24],或是山乌柏蜂蜜淀粉酶值偏低原因^[25,28]。

蜂蜜中果糖/葡萄糖比值是预测蜂蜜结晶性的重要参数,当果糖/葡萄糖比值小于1.11时,蜂蜜极易结晶^[29]。山乌柏蜂蜜的果糖/葡萄糖比值为1.01,表明山乌柏蜂蜜极易结晶,与实际情况一致。而且碳水化合物中维持较平均的果糖/葡萄糖会更容易被人体吸收^[30];含水量是鉴别蜂蜜质量重要指标,封盖大于15 d山乌柏蜂蜜平均含水量为17.73%,达到行业标准规定的一级蜂蜜水平^[17,31];山乌柏蜂蜜中Fe、Zn含量显著高于其他9种蜂蜜,Fe在参与氧气运输、氧化酶活性和能量代谢中发挥重要作用,可以减缓身体疲劳,改善贫血,提高食蜜者免疫力^[32-33]。Zn与人体的免疫、消化、生长发育和物质代谢等方面有密切联系,促进人体的正常发育、伤口愈合,保护视力^[34]。

近年来,代谢组学技术在蜂产品成分鉴定^[35-36]、鉴别和鉴伪^[37-38]、生物活性机制研究中^[39-40]广泛应用,本研究通过非靶向代谢组学技术可以有效鉴别山乌柏蜂蜜,为挖掘山乌柏蜂蜜潜在特征标志物奠定了基础,但要确定具体特征标志物,还待于进一步研究。

山乌柏蜂蜜是江西的特色蜂蜜。山乌柏和麦卢卡都是常绿灌木或乔木,生长环境都在山区山坡上,无农药污染。山乌柏和麦卢卡蜂蜜都是容易结晶的纯天然蜂蜜,但由于新西兰科技工作者研究发现:麦卢卡蜂蜜中含有一种独有活性抗菌物质——独麦素(unique manuka factor, UMF),对麦卢卡蜂蜜进行科技赋能,给麦卢卡蜂蜜在全世界提供宣传亮点和卖点,形成世界蜂蜜品牌效应,1 kg麦卢卡蜂蜜销售价格高达数百元甚至上千元人民币^[41-42]。国内养蜂科技者要在推广饲养多箱体强群技术生产优质山乌柏蜂蜜基础上,进一步挖掘山乌柏蜂蜜潜在特有成分和生物学功能,给山乌柏蜂蜜进行科技赋能,为山乌柏蜂蜜提供宣传亮点,形成山乌柏蜂蜜品牌效应,进而提高养蜂生产和经济效益。

参考文献 References:

- [1] 曾志将. 养蜂学[M]. 4版. 北京: 中国农业出版社, 2023: 1-20.
ZENG Z J. Apiculture[M]. 4th ed. Beijing: China Agricultural Press, 2023: 1-20.
- [2] 李震, 易瑶, 何旭江, 等. 全基因组DNA甲基化揭示西方蜜蜂表观遗传印迹[J]. 江西农业大学学报, 2022, 44(4): 968-975.
LI Z, YI Y, HE X J, et al. Genome-wide DNA methylation revealing epigenetic inheritance marks in honeybee (*Apis mellifera*) [J]. Acta agriculturae universitatis Jiangxiensis, 2022, 44(4): 968-975.
- [3] 李震, 黄强, 彭成涛, 等. 油茶授粉蜜蜂的培育与应用[J]. 江西农业大学学报, 2023, 45(4): 944-951.
LI Z, HUANG Q, PENG C T, et al. Honey bee breeding and application to Camellia oleifera pollination [J]. Acta agriculturae universitatis Jiangxiensis, 2023, 45(4): 944-951.
- [4] 马德风. 多王繁殖强群采蜜技术的研究[J]. 蜜蜂杂志, 1989(2): 11-12.
MA D F. Study on the technique of multiqueen reproduction and strong colony honey harvesting [J]. Journal of bee, 1989(2): 11-12.
- [5] 吴黎明, 彭文君, 胡福良, 等. 成熟蜂蜜生产群的组织与管理[J]. 中国蜂业, 2020, 71(5): 20-22.
WU L M, PANG W J, HU F L, et al. Organization and management of colony of mature honey production [J]. Apiculture of China, 2020, 71(5): 20-22.
- [6] 韩胜明, 赵亚周, 刘金良, 等. 强群多箱体成熟蜂蜜生产技术[J]. 中国蜂业, 2021(5): 20-22.
HAN S M, ZHAO Y Z, LIU J L, et al. Production technology of mature honey of strong colony skyscraper hive [J]. Apiculture of China, 2021(5): 20-22.

- [7] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 进出口蜂蜜检验规程: SN/T 0852—2012[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Regulations for the inspection of imported and exported honey: SN/T 0852—2012[S]. Beijing: Chinese Standard Press, 2012.
- [8] 中华人民共和国国家食品药品监督管理总局. 食品中果糖、葡萄糖、蔗糖、麦芽糖、乳糖的测定: GB 5009.8—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
National Medical Products Administration of the People's Republic of China. Determination of fructose, glucose, sucrose, maltose, and lactose in Foods: GB5009.8—2016[S]. Beijing: Chinese Standard Press, 2016.
- [9] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 蜂蜜中淀粉酶值的测定方法: 分光光度法: GB/T 18932.16—2003[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Method for the determination of diastase number in honey: spectrometric method: GB/T 18932.16—2003[S]. Beijing: Chinese Standard Press, 2003.
- [10] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 蜂蜜中羟甲基糠醛含量的测定方法: 液相色谱-紫外检测法: GB/T 18932.18—2003[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Method for the determination of hydroxymethylfurfural in honey-HPLC-UV detection method: GB/T 18932.18—2003[S]. Beijing: Chinese Standard Press, 2003.
- [11] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品中灰分的测定: GB/T 5009.4—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. Determination of ash in food: GB/T 5009.4—2016[S]. Beijing: Chinese Standard Press, 2016.
- [12] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 蜂蜜中植物花粉的测定方法: GB/T 23194—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Method for the determination of plant pollen in honey: GB/T 23194—2008[S]. Beijing: Chinese Standard Press, 2008.
- [13] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 蜂蜜电导率测定方法: GB/T 18932.15—2003[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Method for determining the electrical conductivity of honey: GB/T 18932.15—2003[S]. Beijing: Chinese Standard Press, 2003.
- [14] 中华人民共和国国家食品药品监督管理总局. 食品中多的测定中的微波消解-电感耦合等离子体质谱法: GB 5009.268—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
China Food and Drug Administration of the People's Republic of China. Microwave digestion inductively coupled plasma mass spectrometry for the determination of multiple elements in food: GB5009.268-2016[S]. Beijing: Chinese Standard Press, 2016.
- [15] ZELEN E, DUNN W B, BROADHURST D, et al. Development of a robust and repeatable UPLC-MS method for the long-term metabolomic study of human serum[J]. Analytical chemistry, 2009, 81(4): 1357-1364.
- [16] WANT E J, MASSON P, MICHOPoulos F, et al. Global metabolic profiling of animal and human tissues via UPLC-MS[J]. Nature protocols, 2013, 8(1): 17-32.
- [17] 中华人民共和国供销合作行业标准: 蜂蜜: GH/T 18796—2012[J]. 中国蜂业, 2012, 63(19): 39-42.
Industry Standard for Supply and Marketing Cooperation of the People's Republic of China: Honey: GH/T 18796—2012[J]. Apiculture of China, 2012, 63(19): 39-42.
- [18] 蒙善朝. 多箱体养蜂+多继箱取成熟蜜方法[J]. 当代畜牧, 2023(2): 103-104.
MENG S C. Skyscraper hive beekeeping + skyscraper hive for extracting mature honey method[J]. Contemporary Animal Husbandry, 2023(2): 103-104.
- [19] 黄文诚. 先进养蜂技术: 多箱体养蜂+多继箱取成熟蜜方法[J]. 中国蜂业, 2021, 72(4): 11-12.
HUANG W C. Advanced beekeeping technology: skyscraper hive beekeeping + skyscraper hive method for extracting mature honey[J]. Apiculture of China, 2021, 72(4): 11-12.
- [20] 王会迪. 不同成熟阶段椴树蜜的成分分析及其体外抗氧化和抑菌作用的研究[D]. 延边: 延边大学, 2023.
WANG H D. Component analysis of linden honey at different maturity stages and its antioxidant and antibacterial effects in vitro[D]. Yanbian: Yanbian University, 2023.
- [21] ZHANG G Z, TIAN J, ZHANG Y Z, et al. Investigation of the maturity evaluation indicator of honey in natural ripening process: the case of rape honey[J]. Foods, 2021, 10(11): 2882.

- [22] 国际蜂联(APIMONDIA)关于伪劣蜂蜜的声明(2020年1月)[J].中国蜂业,2020,71(5):13-17.
APIMONDIA declaration on counterfeit honey(January 2020)[J].Apiculture of China,2020,71(5):13-17.
- [23] 谭宏伟,荆战星,张晶,等.后熟处理对蜂蜜品质的影响[J].中国蜂业,2023,74(4):46-48.
TAN H W, JING Z X, ZHANG J, et al. Effect of post ripening treatment on quality honey[J].Apiculture of China,2023,74(4):46-48.
- [24] 吴福明.浅谈多箱体叠加式养蜂法[J].中国蜂业,2008(2):22-23.
WU F M. Discussion on the skyscraper hive stacking beekeeping method[J].Apiculture of China,2008(2):22-23.
- [25] LIU T, QIANG N, NING F, et al. Identification and characterization of plant-derived biomarkers and physicochemical variations in the maturation process of *Triadica cochinchinensis* honey based on UPLC-QTOF-MS metabolomics analysis[J].Food chemistry,2023,408:135197.
- [26] SEMKIW P, SKOWRONEK W, SKUBIDA P, et al. Changes occurring in honey during ripening under controlled conditions based on alpha-amylase activity, acidity and 5-hydroxymethylfurfural content[J].Journal of apicultural science,2010,54:55-64.
- [27] 田静.油菜蜂蜜自然酿造过程中成熟度的评价指标初探[D].杭州:浙江大学,2020.
TIAN J. Preliminary study on the evaluation index of maturity in natural ripening process of rape honey[D].Hangzhou: Zhejiang University,2022.
- [28] 伊作林,骆群,刘锋,等.2019年江西省中蜂蜂蜜品质调查及分析[J].蜜蜂杂志,2020,40(7):15-18.
YI Z L, LUO Q, LIU F, et al. Investigation and analysis on the quality of *Apis cerana cerana* honey in Jiangxi Province in 2019[J].Journal of bee,2020,40(7):15-18.
- [29] WU L, DU B, HEYDEN Y V, et al. Recent advancements in detecting sugar-based adulterants in honey-a challenge[J].Trends in analytical chemistry,2017,86:25-38.
- [30] FERNANDEZ-BANARES F. Carbohydrate maldigestion and intolerance[J].Nutrients,2022,14(9):1923.
- [31] 张冯斌,方冲伟,李斌,等.基于代谢组学对延安五倍子蜂蜜特征物筛选的研究[J].中国蜂业,2023,74(1):60-63.
ZHANG F B, FANG C W, LI B, et al. Research on screening characteristic compounds of gallnut honey from Yan'an of China based on metabolomics[J].Apiculture of China,2023,74(1):60-63.
- [32] AJIBOLA A, IDOWU G, AMBALL A, et al. Improvement of some haematological parameters in albino rats with pure natural honey[J].Journal of biological science research,2007,2:67-9.
- [33] 李岩,霍军生.微量铁与人体健康[J].肥料与健康,2022,49(6):25-27.
LI Y, HUO J S. Trace element iron and human health[J].Fertilizer and health,2022,49(6):25-27.
- [34] 姚蕾,王晓平.关注保健食品中的微量元素[J].食品研究与开发,2014,35(5):124-127.
YAO L, WANG X P. Concerned about the trace elements in health food[J].Food research and development,2014,35(5):124-127.
- [35] KLUPCZYNSKA A, PLEWA S, DEREZINSKI P, et al. Identification and quantification of honeybee venom constituents by multiplatform metabolomics[J].Scientific reports,2020,10(1):21645.
- [36] 张冯斌,方冲伟,李斌,等.基于代谢组学对延安五倍子蜂蜜特征物筛选的研究[J].中国蜂业,2023,74(1):60-63.
ZHANG F B, FANG C W, LI B, et al. Research on screening characteristic compounds of gallnut honey from Yan'an of China based on metabolomics[J].Apiculture of China,2023,74(1):60-63.
- [37] WANG X R, ROGERS K M, LI Y, et al. Untargeted and targeted discrimination of honey collected by *Apis cerana* and *Apis mellifera* based on volatiles using HS-GC-IMS and HS-SPME-GC-MS[J].Journal of agricultural and food chemistry,2019,67(43):12144-12152.
- [38] YAN S, WANG X, ZHAO H M, et al. Metabolomics-based screening and chemically identifying abundant stachydrine as quality characteristic of rare *Leucosceptrum canum* Smith honey[J].Journal of food composition and analysis,2022,114:104759.
- [39] ZHAO H, CHENG N, WANG Q, et al. Effects of honey-extracted polyphenols on serum antioxidant capacity and metabolic phenotype in rats[J].Food & function,2019,10(5):2347-2358.
- [40] ZHU Y Y, MENG X C, ZHOU Y J, et al. Major royal jelly proteins alleviate non-alcoholic fatty liver disease in mice model by regulating disordered metabolic pathways[J].Journal of food biochemistry,2022,46(9):e14214.
- [41] ALLEN K L, MOLAN P C, REID G M, et al. A survey of the antibacterial activity of some New Zealand honeys[J].Journal of pharmacy and pharmacology,1991,43(12):817-822.
- [42] 沙芳芳,赵瑞丽,张璐,等.麦卢卡蜂蜜促健康功能研究进展[J].食品与发酵工业,2023,49(19):348-359.
SHA F F, ZHAO R L, ZHANG L, et al. Research progress in health-promoting activities of Manuka honey[J].Food and fermentation industries,2023,49(19):348-359.