

山乌柏蜂蜜在后成熟过程中的品质变化研究

李娜¹ 何志强² 姜澳¹ 陈兰珍¹

(1 中国农业科学院蜜蜂研究所, 北京 100093; 2 光泽县农业农村局畜牧站, 南平 354100)

摘要: 为了探究蜂蜜在后成熟过程中的品质变化, 本研究以山乌柏蜂蜜为试验对象, 分析不同后成熟时间对其主要品质指标(水分含量、淀粉酶活性、5-羟甲基糠醛、糖类及微生物)的影响。结果表明, 在温度(28~30)℃, 湿度(20~25)%的条件下, 山乌柏蜂蜜经过5天后成熟, 水分含量降低至18%以下, 淀粉酶活性为(2.76±0.82) mL/(g·h), 果糖和葡萄糖总量升高至(77.59±0.10) g/100 g, 蔗糖含量为(0.83±0.07) g/100 g, 5-羟甲基糠醛、菌落总数和嗜渗酵母含量变化不大, 各项指标均达到行业标准NY/T 4644-2025《成熟蜂蜜》的规定。本研究以期改进蜂蜜生产方式提供参考, 促进成熟蜂蜜的推广, 推动蜂产业健康稳步发展。

关键词: 山乌柏(*Triadica cochinchinensis*)蜂蜜; 后成熟; 品质变化

蜂蜜因含有葡萄糖、果糖、维生素、矿物质、微量元素及活性酶等多种营养成分, 具有抗氧化、抗炎、抗菌、调节肠胃功能等多种功效, 深受广大消费者的喜爱^[1]。国际食品法典委员会(CAC)将蜂蜜定义为: 蜜蜂采集植物的花蜜或植物分泌物或昆虫排泄物等, 带回巢房中贮存, 并加入自身分泌的特殊物质, 进行转化、沉积、脱水, 贮存于蜂巢中至成熟的天然甜物质。蜜蜂在酿造蜂蜜的过程中, 水分逐渐蒸发, 多糖或双糖逐渐转化为单糖, 蜂蜜中的化学成分随着生物转化、降解和积累而发生变化, 直至最终封盖, 这个为蜂蜜的成熟过程, 一般需要7~10天^[2]。

2025年5月1日我国发布的行业标准NY/T 4644-2025《成熟蜂蜜》中明确规定成熟蜂蜜的水分含量应≤18%, 果糖和葡萄糖总量≥60%, 且不添加或去除任何物质。然而, 在实际生产中, 因标准不规范、追求产量、价格牵制等因素, 多数蜂场以生产未封盖的非成熟蜂蜜为主。非成熟蜂蜜未经充分酿造、水分含量较高、易发酵变质, 企业通常采用加热浓缩方式降低水分, 以便长期贮存, 但加热浓缩过程不仅破坏蜂蜜营养活性成分, 还会因发生美拉德反应和氧化反应等, 生成糠醛类等大量有害物

质, 对人体健康有潜在危害^[3]。此外, 在部分地区和蜜源条件下, 即使是全封盖蜂蜜, 其水分还未充分蒸发(水分含量>18%)、糖类还未充分转化, 达不到成熟蜂蜜标准的要求。经过充分酿造的天然封盖成熟蜂蜜的营养品质和功能均优于未经充分酿造的非成熟蜂蜜和热加工浓缩蜂蜜, 这已得到科学试验证实和消费者的普遍认可^[4]。

山乌柏(*Triadica cochinchinensis*)是我国南方夏季主要蜜源植物, 因而山乌柏蜂蜜每年的产量极大, 是南方许多省市主要商品蜂蜜^[5]。然而, 由于山乌柏花期是6~7月, 多为雨季, 空气湿度高, 导致即使是完全封盖的蜂蜜, 其含水量仍在20%以上, 蜂蜜浓度较低, 达不到成熟蜂蜜的标准^[6]。因此, 采用后成熟处理模拟蜂蜜在蜂箱中的自然成熟, 对于山乌柏蜂蜜的品质提高具有重要的作用。后成熟是利用蜂蜜具有后熟的特性, 遵循蜂蜜的自然形成条件, 将封盖的蜜脾放置在恒温恒湿的车间进行后成熟。后成熟的目的是促进蜂蜜水分蒸发、糖类转化, 形成高浓度的成熟蜂蜜, 这种方法不仅简单高效, 还可以避免机械高温浓缩对蜂蜜品质的影响^[7]。

目前, 已有研究利用后成熟技术提高了五倍子蜂

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(32272402, 31772070); 福建省光泽县中蜂蜂蜜品质评价技术项目(MFSHTK-CS-2023092); 国家蜂产业技术体系项目(CARS-44-KXJ8)

作者简介: 李娜(1998-), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品科学, E-mail: lina1090@163.com

通讯作者: 陈兰珍(1974-), 女, 研究员, 博士, 研究方向为蜂产品质量与安全, E-mail: chenlanzhen2005@126.com

蜜的成熟度，证明后成熟处理可以有效保证蜂蜜的品质^[8,9]。但缺乏对山乌柏蜂蜜在后成熟过程中品质指标变化的相关研究，尤其是后成熟处理对微生物指标造成的影响和风险尚不清楚。因此，本研究利用蜂蜜后熟的特性，对刚刚完成封盖的山乌柏蜂蜜进行后成熟处理，测定并分析后成熟过程中山乌柏蜂蜜的主要品质指标变化，该研究结果可用于改进蜂蜜加工方法，促进成熟蜜生产，推动蜂产业发展提质增效。

1 材料与方法

1.1 材料

2024年8月，在福建省光泽县中蜂养蜂场，收集封盖率达90%以上的山乌柏蜜脾，不经任何处理，将封盖蜜脾放入恒温恒湿处理室，设置室内温度为(28~30)℃，湿度为(20~25)%，每天连续取样，直到水分含量降低至18%以下。包括未经后成熟处理的封盖山乌柏蜂蜜在内，共连续采样7天，分别标记为0d, 1thd, 2thd, 3thd, 4thd, 5thd, 6thd, 采集的蜂蜜样品保存于4℃冰箱。

1.2 方法

对后成熟过程中的山乌柏蜂蜜的主要品质指标进行测定，包括水分含量、淀粉酶活性、5-羟甲基糠醛、糖类物质(果糖、葡萄糖、蔗糖)含量和微生物指标(菌落总数和嗜渗酵母)，测定方法参考相关国家标准。

水分含量测定参照SN/T 0852-2012《进出口蜂蜜检验规程》，淀粉酶活性的测定参照GB/T 18932.16-2003《蜂蜜中淀粉酶值的测定方法 分光光度法》，5-羟甲基糠醛含量的测定参照GB/T 18932.18-2003《蜂蜜中羟甲基糠醛含量的测定方法 液相色谱-紫外检测法》，糖类物质的含量测定参照GB 5009.8-2023《食品安全国家标准 食品中果糖、葡萄糖、蔗糖、麦芽糖、乳糖的测定》，菌落总数测定参照GB 4789.2-2022《食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》，嗜渗酵母测定参照GB 14963-2011《食品安全国家标准 蜂蜜》中附录，依据GB 14693判定上述微生物指标是否合格。

1.3 统计学分析

运用SPSS Statistics 27.0软件对试验数据进行单因素方差(one-way ANOVA)分析，结果以“平均值±标准差”表示， $P < 0.05$ 为差异显著。利用OriginPro 2018软件绘图。

2 结果与分析

2.1 山乌柏蜂蜜后成熟过程中水分含量的变化

水分是蜂蜜最重要的特性之一，直接影响蜂蜜的粘度、结晶、颜色、风味口感及保存性等参数。水分含量是评价蜂蜜成熟度，衡量蜂蜜品质和等级的关键指标^[10]。山乌柏蜂蜜后成熟过程中的水分含量变化如图1所示，可以看出，在后成熟过程中，山乌柏蜂蜜的水分含量逐渐降低，主要原因是处理室的湿度一直保持在较低水平，室内较为干燥，蜂蜜中的水分不断蒸发。尽管初始蜜(0d)已经自然封盖，但水分含量为(21.24±0.25)%，未达到行业标准NY/T 4644-2025《成熟蜂蜜》中水分含量≤18%的要求，易发酵变质，不利于保存，因而十分有必要进行后成熟处理。从图中可以看出，后成熟前2天蜂蜜中的水分含量降低速度较慢，第3天降低最显著，从(20.07±0.64)%降低至(19.03±0.42)%。经过5天后成熟，水分含量减少至(17.78±0.19)%，已经达到成熟蜂蜜标准的要求。这表明后成熟方法可以在较短时间内有效地降低山乌柏蜂蜜中的水分含量，提高其成熟度，避免因水分含量较高而发酵变质。

2.2 山乌柏蜂蜜后成熟过程中淀粉酶活性的变化

淀粉酶天然存在于蜂蜜中，可以水解淀粉、糊精和麦芽糖。淀粉酶对热敏感，因此能够反映蜂蜜成熟程度、贮存时间长短、加工温度控制是否严格等^[11]。本研究中，经过不同后成熟时间处理的山乌柏蜂蜜的淀粉酶活性整体均不高，范围是2.55~6.11 mL/(g·h)，平均值3.75 mL/(g·h)。有研究也发现与其他单花蜂蜜相比，山乌柏蜂蜜淀粉酶活性较低，这可能是受植物来源和气候条件的影响^[5]。山乌柏蜂蜜在后成熟过

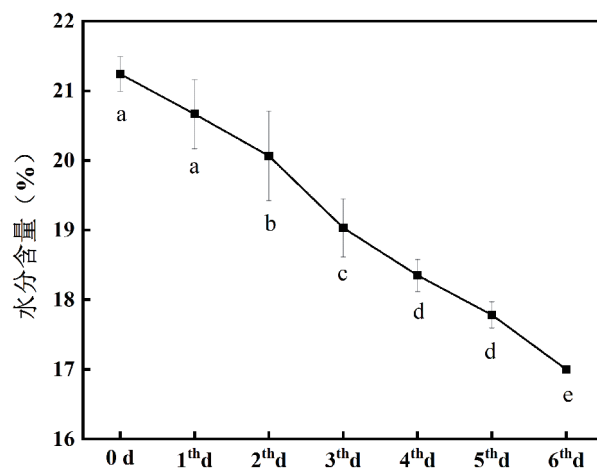


图1 山乌柏蜂蜜后成熟过程中水分含量变化

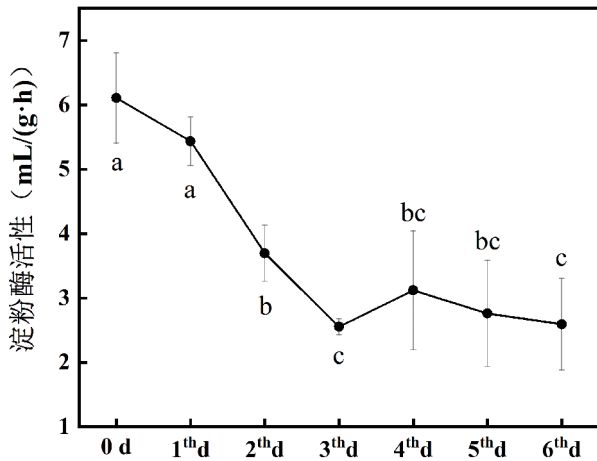


图2 山乌柏蜂蜜后成熟过程中淀粉酶活性变化

程中淀粉酶活性变化如图2所示,初始封盖蜜(0d)的淀粉酶活性最高,为 6.11 ± 0.7 mL/(g·h),然后随着后熟进行显著下降,第3天最低,为 2.55 ± 0.12 mL/(g·h),第5天淀粉酶为 2.76 ± 0.82 mL/(g·h)。总体来看,淀粉酶活性随着后成熟的进行,前期逐渐降低,后期有波动但变化不大,在后成熟前期,蔗糖被分解转化为果糖和葡萄糖的同时,蔗糖转化酶和淀粉酶的活性也相应降低,这是作为催化剂的酶在催化过程中被消化掉一部分的缘故,后期糖类转化变化微小,逐渐达到平衡状态,因而淀粉酶也波动较小。所有山乌柏蜂蜜样品的淀粉酶活性均符合行业标准NY/T 4644-2025《成熟蜂蜜》 ≥ 2 mL/(g·h)的规定,这表明山乌柏蜂蜜在后成熟过程中仍然能够保持良好的新鲜程度。

2.3 山乌柏蜂蜜后成熟过程中5-羟甲基糠醛含量的变化

5-羟甲基糠醛是衡量蜂蜜新鲜度的一项重要指标,其含量越少,表明越新鲜。蜂蜜加工和储存过程中温度越高,时间越长,糖类物质发生美拉德反应而产生的5-羟甲基糠醛就越多。它的含量高,标志蜂蜜贮存环境或加工工艺不合理等^[12]。本研究中,经过不同后成熟时间处理的山乌柏蜂蜜的5-羟甲基糠醛含量范围在(1.25~2.64) mg/kg之间,平均值2.20 mg/kg。山乌柏蜂蜜后成熟过程中的5-羟甲基糠醛含量变化如图3所示,总体变化较小,呈现先降低后升高的趋势,第2天最低(1.36 ± 0.11) mg/kg,第3天最高(2.63 ± 0.02) mg/kg。所有山乌柏蜂蜜样品中的5-羟甲基糠醛含量均远远低于行业标准NY/T 4644-2025《成熟蜂蜜》中5-羟甲基糠醛 ≤ 20 mg/kg的规定,这

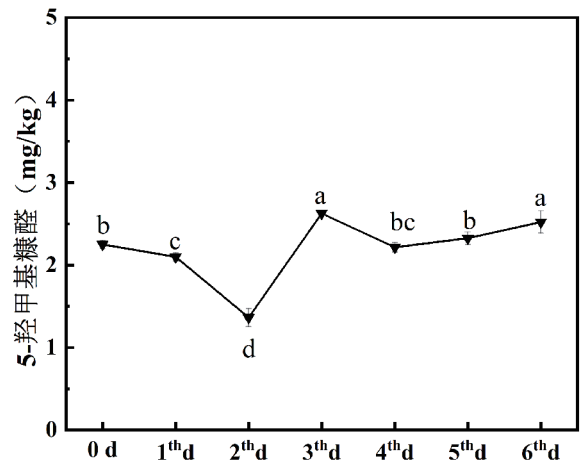


图3 山乌柏蜂蜜后成熟过程中5-羟甲基糠醛含量变化

表明通过控制温湿度的后成熟处理可以在不升高5-羟甲基糠醛含量的前提下提升山乌柏蜂蜜品质。

2.4 山乌柏蜂蜜后成熟过程中糖类物质含量变化

糖类是蜂蜜的主要成分,其中果糖和葡萄糖是含量较高的单糖。按照行业标准NY/T 4644-2025《成熟蜂蜜》要求,蜂蜜中果糖和葡萄糖总量应 $\geq 60\%$,其中桉树蜂蜜、柑橘蜂蜜、紫花苜蓿蜂蜜、荔枝蜂蜜、野桂花蜂蜜的蔗糖含量应 $\leq 10\%$,其他蜂蜜蔗糖含量应 $\leq 5\%$ 。本研究中,经过不同后成熟时间处理的山乌柏蜂蜜的果糖含量范围是(36.78~40.56) g/100 g,平均值39.32 g/100 g;葡萄糖含量范围是(34.79~37.31) g/100 g,平均值36.36 g/100 g;果糖和葡萄糖总量范围是(73.05~77.59) g/100 g,平均值75.68 g/100 g,远大于标准规定的60%。蔗糖含量范围是(0.46~0.83) g/100 g,平均值0.65 g/100 g,远小于标准规定的5%。

山乌柏蜂蜜后成熟过程中的糖类物质含量变化如图4所示,初始封盖蜜(0d)的果糖含量最低,为(36.78 ± 1.26) g/100 g,经过1天后成熟,果糖含量明显升高,为(38.88 ± 0.62) g/100 g,此后3天呈波动上升趋势,第4天达到最高值,为(40.56 ± 1.33) g/100 g,之后两天略有下降,但仍显著高于初始封盖蜜。后成熟过程中,山乌柏蜂蜜中葡萄糖含量整体呈现波动上升趋势,前2天含量较低且有所降低,第3天显著升高,并达到最高值,为(37.31 ± 0.66) g/100 g,之后3天波动不大。初始封盖山乌柏蜂蜜(0d)的葡萄糖和果糖总量最低,为(73.05 ± 1.45) g/100 g,随着后成熟的进行,葡萄糖和果糖总量逐渐升高,第5天达到最高值,为(77.59 ± 0.10) g/100 g,显著

高于初始含量,此后无显著变化。蔗糖含量是评价蜂蜜成熟度和检测真实性的一个非常重要的参数^[10]。初始封盖山乌柏蜜(0d)的蔗糖含量为 (0.46 ± 0.05) g/100 g,随着后成熟时间的延长,山乌柏蜂蜜的蔗糖含量无显著变化,表明其本身的成熟度较高,总之,山乌柏蜂蜜中主要糖类物质在后成熟过程中的变化趋势反映了蜂蜜的后熟特性,表明封盖蜂蜜中糖类物质在后成熟阶段中进一步得到转化。

2.5 山乌柏蜂蜜后成熟过程中微生物指标的变化

成熟蜂蜜具有天然的抑菌活性成分,且水分含量低、渗透压高、pH值低,这些特性常被认为不利

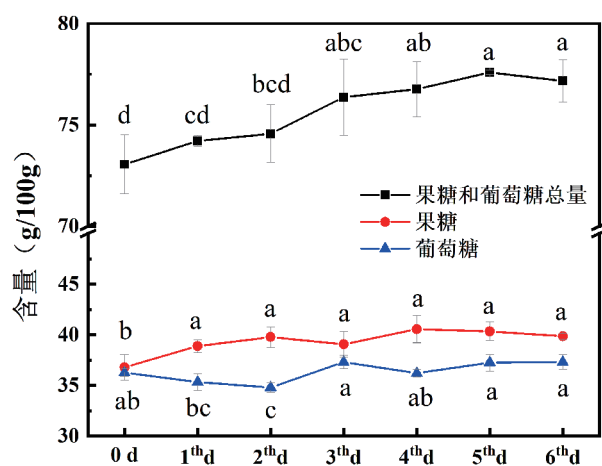


图4 山乌柏蜂蜜后成熟过程中糖类物质含量变化

于微生物的生长繁殖。然而,在实际生产中,微生物污染已成为造成蜂蜜品质不合格和具有潜在危害的主要原因之一。当蜂蜜中水分含量超过20%,部分微生物,尤其是嗜渗酵母等微生物可以大量繁殖,容易引起蜂蜜的发霉或发酵变质^[13]。蜂蜜中微生物污染主要来源于养殖环节和生产环节,养殖环节的污染来源主要包括花粉、蜜蜂的消化残渣、尘埃、空气、水源、花等,生产环节的污染来源包括加工设备、操作人员、包装容器、环境洁净度等。养殖环节的污染难以人为控制,因此减少微生物污染的关键环节是生产环节^[14]。本研究中,后成熟处理是生产环节中的重要阶段,并且初始封盖蜜(0d)水分含量较高为 (21.24 ± 0.25) %,因此,有必要探究直接反映蜂蜜品质的微生物指标,如菌落总数和嗜渗酵母在后成熟过程中的变化情况。

菌落总数是判定食品被污染的程度、卫生质量及生产加工过程是否符合卫生要求的重要指标,行业

标准NY/T 4644-2025《成熟蜂蜜》要求蜂蜜中菌落总数不超过1000 CFU/g。山乌柏蜂蜜后成熟过程中的菌落总数测定结果见表1,所有山乌柏样品菌落总数均远低于限量,符合标准规定,绝大部分样品未检出(< 10 CFU/g),表明山乌柏蜂蜜具有良好的卫生质量,后成熟工艺符合卫生要求。嗜渗酵母对蜂蜜的品质影响很大,是导致蜂蜜发酵的重要原因,行业标准NY/T 4644-2025《成熟蜂蜜》要求蜂蜜中嗜渗酵母不超过200 CFU/g。当蜂蜜中的水分含量过高,且贮存温度适宜时,嗜渗酵母菌就可以分解蜂蜜中的糖类物质,产生乙醇及二氧化碳,在氧气存在的条件下,乙醇还会被转化成乙酸^[14]。山乌柏蜂蜜后成熟过程中的嗜渗酵母测定结果见表1,所有山乌柏样品嗜渗酵母均符合标准规定。初始封盖蜜(0d)嗜渗酵母检出很低(10 CFU/g),经过2天后成熟,嗜渗酵母升高至35 CFU/g,这是因为封盖蜜水分含量仍较高,而且后成熟温度(28~30)℃在嗜渗酵母最适生长温度范围内(25~37)℃,嗜渗酵母在蜂蜜水分含量较高且温度适宜时可大量繁殖。随着后成熟时间的延长,后期嗜渗酵母明显减少,到第5天,未检出嗜渗酵母,这可能是由于蜂蜜中水分含量降低至18%以下,抑制了嗜渗酵母的生长。综上,后成熟处理不仅不会造成微生物污染,还可以通过减少水分含量抑制微生物的生长,有利于提升蜂蜜品质。

3 结论

通过对山乌柏蜂蜜后成熟过程中主要品质指标的变化分析,结果显示,在温度(28~30)℃,湿

表1 菌落总数和嗜渗酵母测定结果

样品	菌落总数 (CFU/g)	嗜渗酵母 (CFU/g)
0d	5	10
1 th d	<10	<10
2 th d	<10	35
3 th d	<10	<10
4 th d	<10	30
5 th d	<10	<10
6 th d	<10	<10

注:< 10表示未检出;行业标准NY/T 4644-2025《成熟蜂蜜》规定蜂蜜中菌落总数限量为1000 CFU/g,嗜渗酵母限量为200 CFU/g。

度(20~25)%的后熟条件下,山乌柏蜂蜜需要5天时间成熟,水分含量降低至18%以下,淀粉酶活性

虽然有所降低,但优于规定的 $2\text{ mL}/(\text{g}\cdot\text{h})$,果糖葡萄糖总量升高至 $(77.59\pm 0.10)\text{ g}/100\text{ g}$,蔗糖含量为 $(0.83\pm 0.07)\text{ g}/100\text{ g}$,5-羟甲基糠醛和微生物指标变化不大,均处于较低水平,各项指标均达到了行业标准NY/T 4644-2025《成熟蜂蜜》的要求。封盖但未成熟的蜂蜜,果糖和葡萄糖比例不协调,水分含量高,容易发酵变质,不利于保存,生产者常用的高温浓缩技术虽然能降低水分含量,延长保存期,但会破坏蜂蜜原有的营养成分和活性酶,还会使5-羟甲基糠醛含量增加,降低蜂蜜的营养价值和食用安全性,因此,寻求安全有效的途径解决这一问题成为蜂产业面临的当务之急。本研究证实通过后成熟处理不仅能够有效降低山乌柏蜂蜜的水分含量,还能使其糖类物质充分转化,提高山乌柏蜂蜜的整体品质,这对于生产优质成熟蜂蜜,助力蜂产业健康长远发展具有重要意义。

致谢:感谢光泽县养蜂协会吴金发,以及光泽县蜂来乐养蜂农场傅建军对本实验样品采集提供的支持和帮助。

参考文献

- [1] Feknous N, Boumendjel M. Natural bioactive compounds of honey and their antimicrobial activity[J]. Czech Journal of Food Sciences, 2022, 40(3): 163-178.
- [2] 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(04): 46-48.
- [3] 吴黎明,薛晓峰,彭文君,等.成熟蜂蜜评价指标探讨[J].中国蜂业,2019,70(06): 18-19.
- [4] 张然,孙德鹏,田洪芸,等.山东地区成熟/未成熟洋槐蜂蜜中酚类物质比较[J].食品与发酵工业,2018,44(05): 256-258.
- [5] 江慧枝,陈伟轩,曾志将.山乌柏蜂蜜的研究进展及展望[J].蜜蜂杂志,2024,44(11): 1-3.
- [6] 颜幸超,江慧枝,冯丽华,等.江西省优质中蜂蜜生产面临的问题与对策[J].中国蜂业,2024,75(02): 19-21.
- [7] 马贝贝,房宇,杨一颖.成熟蜂蜜生产——后成熟[J].中国蜂业,2024,75(06): 15.
- [8] 樊莹,杜林,韩加敏,等.后熟处理对五倍子蜂蜜主要品质指标的影响[J].食品与发酵工业,2022,48(17): 236-240.
- [9] 罗文菊,艾蓉,许浩翔,等.不同温度和后熟时间对贵州黄花梨蜂蜜嗜渗酵母菌质量控制效果的比较[J].中南农业科技,2025,46(04): 268-270.
- [10] Da Silva P M, Gauche C, Gonzaga L V, et al. Honey: Chemical composition, stability and authenticity[J]. Food Chemistry, 2016, 196: 309-323.
- [11] Kamboj R, Sandhu R S, Nanda V. Effect of heating and pH on hydroxymethylfurfural content, diastase and invertase activity of Dalbergia honey using response surface methodology[J]. Food Chemistry Advances, 2024, 5: 100766.
- [12] Golmakani M T, Sasani M, Sahraeian S, et al. Evaluating the impact of thermal processing on physicochemical properties of monofloral and multifloral honey[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2025, 137: 106940.
- [13] 王凯,胡福良.蜂蜜中嗜渗酵母的来源及其与蜂蜜品质的关系[J].蜜蜂杂志,2012,32(11): 9-10.
- [14] 傅骏青,谭丽蕊,王琳,等.我国蜂蜜标准现状及对蜂蜜质量风险的控制[J].中国蜂业,2024,75(06): 38-41. 

(上接第65页)

所单次蜂疗调理。

方案:蜂针直刺内关、神门等穴位(刺激心脏相关经络),配合蜂胶王浆蜜膏内服(补充心肌营养)。

效果:调理后心率恢复正常,8年随访显示心脏功能稳定,印证蜂疗对循环动力的辅助调节作用。

4 蜂疗改善微循环的作用机制分析

4.1 直接作用于血管与血液

蜂毒中的蜂毒肽可抑制血小板聚集、降低血液黏稠度,改善血流速度;透明质酸酶破坏血管周围屏障,促进药物渗透与营养交换,直接优化微循环。

4.2 调节全身代谢与免疫

蜜元膏中的黄酮类、虫草素等成分通过抗氧化、抗炎作用保护血管内皮细胞,减少微循环障碍的诱因;蜂王浆中的王浆酸则辅助修复受损组织,

增强微循环的代偿能力。

4.3 温热与经络协同

蜂药大灸的温热效应扩张血管,配合蜂针对经络的刺激,实现“局部循环改善-全身功能调节”的正向循环,尤其适用于心脑血管疾病的辅助调理。

5 总结与展望

陆氏蜂之宝蜂疗体系的实践案例表明,蜂疗通过“蜂针疏通+内服调节+外敷增效”的协同作用,可改善微循环、辅助调理心脑血管疾病,其机制与蜂毒活性成分、蜂产品营养物质的综合效应密切相关。作为非物质文化遗产,该技艺为传统蜂疗的现代应用提供了实践范本。未来需结合更多现代医学检测手段(如微循环检测仪、血液流变学分析)开展研究,进一步明确其作用机制与适用范围,推动蜂疗在健康维护中发挥更规范、科学的价值。