

微气泡工艺对结晶蜂蜜热稳定性和品质的影响

Effects of microbubbles technology on the thermal stability and quality of crystallized honey

况欣怡^{1,2} 崔政伟^{1,2} 于富民³ 李 黎³

KUANG Xinyi^{1,2} CUI Zhengwei^{1,2} YU Fumin³ LI Li³

(1. 江南大学机械工程学院, 江苏 无锡 214122; 2. 江苏省食品先进制造装备技术重点实验室,

江苏 无锡 214122; 3. 上海森峰园蜂业有限公司, 上海 201417)

(1. School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China; 2. Jiangsu Key Laboratory of Advanced Food Manufacturing Equipment Technology, Wuxi, Jiangsu 214122, China; 3. Shanghai Sen-feng-yuan Bee Products Co., Ltd., Shanghai 201417, China)

摘要:目的: 得到感官优异、货架期延长的结晶蜂蜜。方法: 通过充入微气泡改变结晶蜂蜜物理性状, 考察其热稳定性和物理特性, 并优化实验室规模机械搅拌法制备微气泡结晶蜂蜜的工艺参数。结果: 制备 200 g 结晶蜂蜜的最佳工艺参数为: 搅拌机转速 2 600 r/min、充氮气泡时间 5 min、进气流速 6 L/min, 改进后产品在 35 ℃ 下的热稳定时间提高了 41.51%, 硬度降低了 33%, 同时各理化指标值变化均在规定的范围内。结论: 微气泡处理提高了结晶蜂蜜的耐热能力, 有效延长了其货架期, 同时结晶颗粒细小均匀, 改善了产品的色泽和口感, 并保持蜂蜜原有风味。

关键词: 椴树蜜; 微气泡; 热稳定性; 结晶蜂蜜; 热特性分析

Abstract: **Objective:** To obtain excellent sensory and shelf life of crystallized honey. **Methods:** The process parameters of microbubble crystallized honey were prepared by mechanical stirring on laboratory scale. The physical properties of crystallized honey were changed by filling microbubble, and its thermal stability and physical properties were investigated. **Results:** For 200 g honey the optimized aerated parameters were as follows: the speed of the mixer, 2 600 r/min; the inflatable bubble time, 5 min; and the inlet flow rate, 6 L/min. The thermal stability time of the current improved product at 35 ℃ was increased by 41.51%, and while the hardness of it was reduced by 33%. Besides, the changes of physicochemical indexes were all within the prescribed range. **Conclusion:** Therefore, the microbubbles in

texture can improve the heat resistance of the crystallized honey, and extend the shelf life effectively. At the same time, the crystal particles are fine and uniform, its color and taste of the product are also improved, keeping its original flavor of honey.

Keywords: basswood honey; microbubbles; thermal stability; crystallized honey; thermal characteristic analysis

蜂蜜从组织结构上分为液态和结晶态两种, 目前市场上以液态蜂蜜为主。液态蜂蜜呈半透明或澄清透明状, 放置一段时间后, 尤其是贮藏环境温度较低时会慢慢形成结晶^[1]。大部分蜂蜜自然结晶后外观和口感会变得比较粗糙且结晶分层易造成上层蜂蜜水分活性升高, 而引起蜂蜜中微生物的发酵, 影响其品质^[2-3]。

目前市售结晶蜂蜜主要是人为加入品种诱导蜂蜜快速完全结晶^[4], 然而结晶蜂蜜热稳定性较低, 在高温环境下会出现液化现象^[5], 影响产品的外观和 market 价值。刘大静^[6]采用乳化技术改善蜂蜜品质, 但在蜂蜜中使用添加剂改变了蜂蜜成分。曾子杰^[7]通过超高静压处理蜂蜜, 降低了蜂蜜劣变的几率, 但未能改善蜂蜜的自然结晶状况。Tijis 等^[8]研究发现, 蛋白质微气泡在温度和压力下的稳定性可承受一般食品加工过程, 并贮藏一定时间。

研究拟选择水分含量为 18%~19% 的液态椴树蜂蜜为研究对象, 探索微气泡充气工艺的搅拌机转速、充气时间以及进气流速 3 个因素对结晶蜂蜜品质的影响, 以期得到一种感官优异、热稳定性良好的结晶蜂蜜。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

1.1.1 材料与试剂

椴树蜂蜜: 上海森峰园蜂业有限公司;

作者简介: 况欣怡, 女, 江南大学在读硕士研究生。

通信作者: 崔政伟(1963—), 男, 江南大学教授, 博士。

E-mail: cuizhengwei@jiangnan.edu.cn

收稿日期: 2023-03-12

改回日期: 2023-07-11

氢氧化钠、乙醇、亚铁氰化钾、盐酸、乙酸锌、可溶性淀粉、碘化钾、氯化钠:分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

1.1.2 仪器与设备

生化培养箱:SPS-200 型,上海跃进医疗器械有限公司;

集热式恒温加热磁力搅拌器:DF-101S 型,上海精宏试验设备有限公司;

电子天平:JY5002 型,上海衡平仪器仪表有限公司;

40 L 氮气瓶:7752-39-2 型,无锡鑫锡仪科技有限公司;

搅拌机:TM-767 II 型,中山市海盘电器有限公司;

便携式热特性分析仪:KD2 Pro 型,美国 Decagon 公司;

质构仪:TMS Pro 型,美国 FTC 公司;

阿贝折光仪:BM-2WAJ 型,上海彼爱姆光学仪器制造有限公司;

紫外分光光度计:UV1800 型,日本岛津公司;

旋转蒸发器:RE-52A 型,上海亚荣生化仪器厂。

1.2 试验方法

1.2.1 微气泡结晶蜂蜜制作工艺

蜂蜜原料→预热(45 ℃水浴 30 min)→过滤(200 目纱网)→真空浓缩→添加蜂蜜晶种→充入微气泡(氮气,纯度 99%)→促结晶→结晶蜂蜜

操作要点:将市售椴树蜂蜜(水分含量 23%~24%)过滤后,置于旋转蒸发仪中,于真空度 0.08 MPa(水浴 65 ℃)下浓缩至水分含量为 18%~19%。准确称取 200 g 浓缩蜂蜜于搅拌机中,加入其重量 10%的蜂蜜晶种,匀速搅拌的同时充入微气泡,严格控制搅拌机转速、充气时间等工艺条件,于温度 14 ℃,湿度 75%的恒温恒湿箱中结晶 48 h,得到微气泡结晶蜂蜜成品。

1.2.2 单因素试验

(1) 搅拌机转速:固定充气时间 3 min,进气流速 4 L/min,搅拌机转速分别为 800,1 400,2 000,2 600,3 200 r/min,制作微气泡结晶蜂蜜,以 35 ℃下的热稳定时间和热导率为评价指标,并结合感官评价及样品的硬度、黏性确定最佳搅拌机转速。

(2) 充气时间:固定进气流速 4 L/min,搅拌机转速 2 600 r/min,充气时间分别为 1,3,5,7,9 min,制作微气泡结晶蜂蜜,以 35 ℃下的热稳定时间和热导率为评价指标,并结合感官评价及样品的硬度、黏性确定最佳充气时间。

(3) 进气流速:固定搅拌机转速 2 600 r/min,充气时间 5 min,进气流速分别为 2,4,6,8,10 L/min,以 35 ℃下的热稳定时间和热导率为评价指标,并结合感官评价及

样品的硬度、黏性确定最佳进气流速。

1.2.3 正交试验设计 根据单因素试验,以搅拌机转速、充气时间和进气流速为试验因素,采用三因素三水平 $L_9(3^4)$ 正交试验设计,试验因素水平见表 1。

表 1 正交试验因素水平表

Table 1 Orthogonal experimental design

水平	A 搅拌机转速/ ($r \cdot \min^{-1}$)	B 充气时间/ min	C 进气流速/ ($L \cdot \min^{-1}$)
1	2 000	1	4
2	2 600	3	6
3	3 200	5	8

1.2.4 指标测定

(1) 感官评价:参照 GB 13102—2022 和文献[9]制定的结晶蜂蜜感官评价标准见表 2。

(2) 质构特性^[9]:将 14 ℃贮藏 72 h 的结晶蜂蜜置于统一大小容器中,采用 P/12.5 柱型探头,设定测试速率 1 mm/s,压缩程度 40%,记录结晶蜂蜜的硬度和黏性两个参数。

(3) 热稳定性:参照保健食品稳定性试验指导原则^[10],取不同条件下的微气泡结晶蜂蜜样品于恒温培养箱中,温度为 (35.0 ± 0.5) ℃,相对湿度为 75%。每 1 h 测一次,直至有异常情况出现。对样品的观测内容主要为气泡上浮情况,记录样品稳定状态保持时间,用时间长短

表 2 结晶蜂蜜感官评价标准

Table 2 Sensory evaluation criteria of crystallized honey

指标	感官评价标准	分值
口感 (35 分)	口感粗糙,沙粒感强烈	0~7
	口感粗糙,粘牙,有较强的沙粒感	8~14
	口感较粗糙,不粘牙,有轻微沙粒感	15~21
	口感较好,不粘牙,无沙粒感	22~28
	口感细腻爽滑,不粘牙	29~35
色泽 (25 分)	呈黄色	0~5
	呈淡黄色	6~10
	呈乳黄色	11~15
	呈乳白色微黄	16~20
	呈乳白色	21~25
组织状态 (25 分)	固态,表面粗糙且有大量气泡	0~6
	固态,表面较粗糙且有较大气泡	7~12
	固态,表面较光滑且有小气泡	13~18
	固态,表面光滑且无气泡	19~25
气味 (15 分)	无蜂蜜香味	0~5
	具有蜂蜜特有香味	6~10
	具有浓郁蜂蜜特有香味	11~15

表示热稳定性强弱。

(4) 热导率:采用热特性分析仪进行测定。使用针探头传感器 SH-1 型的双针,探针长 30 mm,直径 1.28 mm,选择自动模式,测试周期 90 s(30 s 平衡、30 s 加热和 30 s 冷却)后,可直接获取样品的热导率^[11]。

(5) 水分含量:根据 SN/T 0852—2012。

(6) 还原糖含量:根据 GB 5009.7—2016。

(7) 酸度:根据 SN/T 0852—2012。

(8) 羟甲基糠醛:根据 GB/T 18932.18—2003。

(9) 淀粉酶值:根据 GB/T 18932.16—2003。

(10) 结晶蜂蜜品质评分标准:由于目前没有结晶蜂蜜特性品质的相关标准,而试验得到的样品形态类似果酱,因而以测定的市售果酱的质构特性值为目标参考值,以一般结晶蜂蜜检测值为热稳定性指标基础(表 3),结合检测结果指定并依据测定结果通过熵权法^[12-13]计算各指标权重,选择热稳定性、热导率、硬度、黏性和感官评分 5 个指标,其中感官评分百分制转化为 10 分值。结晶蜂蜜的加权综合评价结果满分为 10 分,其综合评分=热稳定 $\times 25.9\%$ +热导率 $\times 20.5\%$ +硬度 $\times 12.9\%$ +黏性 $\times 22.3\%$ +感官评分 $\times 18.4\%$,各指标划分评分区间及相应分值见表 4。

表 3 制定标准基础

Table 3 Standard setting basis

果酱硬 度/N	果酱黏性/ (N·s)	一般结晶蜂蜜热 稳定时间/h	一般结晶蜂蜜热导率/ (W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)
1.462 5	-0.568 2	9.66	0.437

表 4 结晶蜂蜜品质评分标准

Table 4 Grading rules of quality evaluation of crystallized honey

分值	热稳定性/h	热导率(20℃)/(W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)	硬度/N	黏性/(N·s)
10~9	19.66~17.66	0.287~0.317	1.312 5~1.462 5	-0.488 2~-0.568 2
9~8	17.66~15.66	0.317~0.347	1.462 5~1.612 5	-0.568 2~-0.648 2
8~7	15.66~13.66	0.347~0.377	1.312 5~1.162 5	-0.648 2~-0.728 2
7~6	13.66~11.66	0.377~0.407	1.612 5~1.762 5	-0.728 2~-0.808 2
6~5	11.66~9.66	0.407~0.437	1.762 5~1.912 5	-0.408 2~-0.488 2
<5	<9.66	>0.437	>1.912 5	<-0.808 2

表 5 搅拌机转速对结晶蜂蜜品质的影响

Table 5 Test results of different mixer speeds

搅拌机转速/ (r·min ⁻¹)	35℃热稳定 时间/h	热导率(20℃)/ (W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)	感官评分	感官评价结果
800	10.33±0.47	0.511±0.015	66.30±4.69	乳黄色,口感较粗糙,表面较粗糙且有较大气泡,有蜜香
1 400	10.67±0.47	0.517±0.007	68.60±5.80	乳黄色,口感较粗糙,表面较粗糙,有蜜香
2 000	11.00±0.82	0.491±0.017	70.70±3.52	乳黄色,口感较好,表面较粗糙,有蜜香
2 600	12.00±0.00	0.429±0.020	86.30±6.87	乳白色微黄,口感较好,表面较光滑,有蜜香
3 200	12.33±0.47	0.431±0.033	84.60±5.78	乳白色微黄,口感较好,表面较粗糙且有较多小气泡

1.2.5 数据处理 各试验均重复测定 3 次,采用 Excel 2021 软件进行平均值、标准差的计算,结果采用平均值±标准差表示;采用 Origin 2018 软件绘图;通过 IBM SPSS Statistics26 软件进行正交试验分析。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 搅拌机转速 由表 5 可知,随着搅拌机转速的增加,样品在 35℃的热稳定时间逐渐增加,颜色逐渐变浅,热导率呈递减趋势。搅拌机转速增加使得蜂蜜中气泡小而密集,结晶后空隙减缓了热量影响。感官评分呈先增大后降低趋势,当搅拌机转速为 2 600 r/min 时,样品的感官评分最佳。搅拌机转速过大,较多小气泡浮于表面致使结晶蜂蜜表面粗糙;搅拌机转速较低,样品颜色较深,口感和表面均表现粗糙且表层存在较大气泡。

由图 1 可知,样品的硬度先降低后平缓,当搅拌机转速<2 000 r/min 时,黏性呈平稳趋势,硬度无较大变化趋势。蜂蜜的硬度能够体现入口最直接的口感,黏性能表现蜂蜜的粘牙感,在感官上均未有粘牙感。相对而言,当搅拌机转速为 2 600 r/min 时,结晶蜂蜜的热稳定时间较长,热导率较低,感官评价最高,硬度和黏性较低。综合比较,选择搅拌机转速为 2 000~3 200 r/min 进行后续正交试验。

2.1.2 充气时间 由表 6 可知,随着充气时间的增加,样品 35℃的热稳定时间、热导率和感官评分均呈先增加后降低趋势,颜色差异减小,主要原因可能是试验过程中充气时间延长,结晶前蜂蜜浮于表面的气泡和蜂蜜温度也

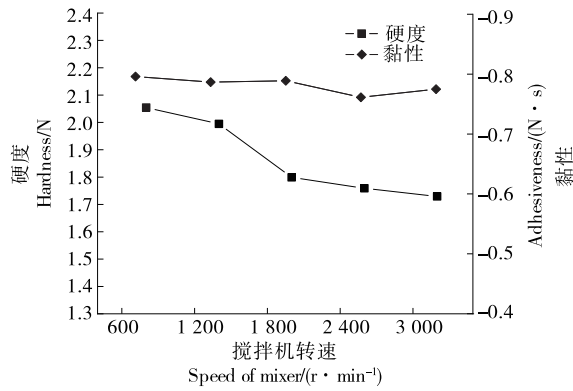


图1 搅拌机转速对蜂蜜硬度和黏性的影响
Figure 1 Effects of mixer speed on hardness and stickiness of honey

在增加,当充气时间 >7 min时,蜂蜜表面气泡明显增多,温度也明显升高,故蜂蜜不宜高速搅拌过长时间。充气时间为3 min和5 min时的感官评分相差较小,但5 min的样品颜色更浅,在热稳定性上表现更优。由图2可知,充气时间对结晶蜂蜜黏性的影响较小,3 min时的黏性最小,蜂蜜的硬度从充气5 min后趋于平缓。因此,选取1~5 min进行后续正交试验。

2.1.3 进气流速 由表7可知,随着进气流速的增大,结晶蜂蜜的热稳定时间先增加后降低,热导率先减少后增加。当进气流速为4,6,8 L/min时,样品的热稳定性趋于平稳,色泽也趋于乳白色。当进气流速为10 L/min时,蜂蜜表面存在较多大气泡,导致结晶蜂蜜表面粗糙。进气流速为4,6 L/min的样品在感官评分上差距较小,

表6 充气时间对结晶蜂蜜品质的影响
Table 6 Test results of different charging time

充气时间/ min	35 ℃热稳定 时间/h	热导率(20 ℃)/ (W · m ⁻¹ · K ⁻¹)	感官评分	感官评价结果
1	10.33±1.25	0.433±0.028	75.50±5.57	乳黄色,口感较粗糙,表面较光滑且有小气泡,有蜜香
3	12.00±0.00	0.425±0.014	86.30±6.87	乳白色微黄,口感较好,表面较光滑,有蜜香
5	13.67±0.94	0.409±0.015	86.90±4.82	乳白色,口感细腻,表面较光滑且有少量小气泡,有蜜香
7	13.00±0.82	0.434±0.041	67.80±5.63	乳白色,口感较好,表面较粗糙且有较大气泡,有蜜香
9	10.00±0.82	0.431±0.035	62.10±3.74	乳白色,口感一般,表面较粗糙且有较大气泡,有蜜香

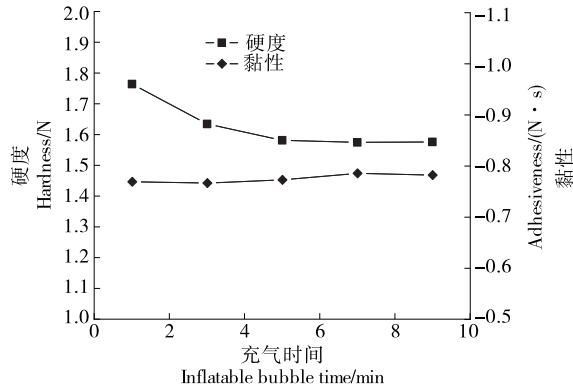


图2 充气时间对蜂蜜硬度和黏性的影响
Figure 2 Effects of aeration time on hardness and stickiness of honey

但6 L/min的热稳定时间稍长。综合表6和图3,当进气流速为6 L/min时,硬度和黏性达到较好状态,因此,选择4~8 L/min进行后续正交试验。

2.2 正交试验分析

正交试验各指标检测结果见表8。由表8直观分析可知,微气泡结晶蜂蜜综合评分最佳的工艺条件为A₂B₃C₂;通过R值可判断各因素作用的主次顺序为B>A>C>D,搅拌时间对样品品质的影响最关键;根据k值,微气泡结晶蜂蜜的最优工艺条件为A₃B₃C₂。由表9可知,A、B及C项对蜂蜜样品的综合评价影响显著($P<0.05$),因此按照A₂B₃C₂工艺和A₃B₃C₂工艺进行验证实验,并进行结果对比。

由表10可知,A₂B₃C₂工艺条件下的样品品质优于

表7 进气流速对结晶蜂蜜品质的影响
Table 7 Test results of different intake velocity

进气流速/ (L · min ⁻¹)	35 ℃热稳定 时间/h	热导率(20 ℃)/ (W · m ⁻¹ · K ⁻¹)	感官评分	感官评价结果
2	11.00±0.82	0.409±0.021	81.30±3.58	乳白色微黄,口感较好,表面较光滑且有小气泡,有蜜香
4	13.00±0.00	0.352±0.031	87.20±4.04	乳白色,口感细腻,表面较光滑且有少量小气泡,有蜜香
6	13.67±1.25	0.346±0.016	87.60±4.65	乳白色,口感细腻,表面较光滑,有蜜香
8	13.00±1.41	0.348±0.031	80.30±3.16	乳白色,口感较好,表面较粗糙且有较大气泡,有蜜香
10	11.33±0.94	0.349±0.028	80.30±3.16	乳白色,口感一般,表面粗糙且有大气泡,有蜜香

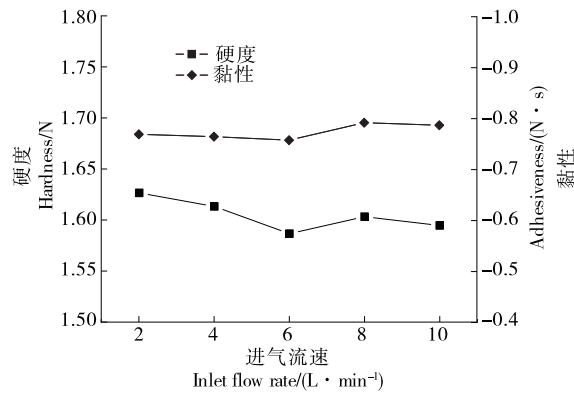


图 3 进气流速对蜂蜜硬度和黏性的影响

Figure 3 Effects of intake velocity on hardness and viscosity of honey

9 号试验所得样品的,因而确定微气泡结晶蜂蜜加工的最佳工艺条件为 $A_2B_3C_2$,即搅拌机转速 2 600 r/min,充气时间 5 min,进气流速 6 L/min,此时样品的综合评分分为 7.602。

2.3 蜂蜜加工前后的理化指标

选取最佳工艺条件 $A_2B_3C_2$ (搅拌机转速 2 600 r/min,充气时间 5 min,进气流速 6 L/min)制备样品,其主要的理化指标见表 11。

由表 11 可知,浓缩处理与结晶固化处理后的蜂蜜理化指标均在 GH/T 18796—2012 规定范围内。蜂蜜加工过程中,各理化指标值变化较小,说明蜂蜜的加工过程对蜂蜜原有状态影响较小,能够很好地保留蜂蜜的营养成分。

表 8 正交试验结果

Table 8 The results of experiment

试验号	A	B	C	感官评分	热稳定 时间/h	热导率/ (W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)	硬度/N	黏性/ (N·s)	综合评分
1	1	1	1	69.70±3.63	10.67±0.47	0.509 0±0.011 9	1.803 0±0.065 5	—0.787 0±0.015 1	5.399
2	1	2	2	77.70±6.97	12.33±0.47	0.467 0±0.017 2	1.783 0±0.028 7	—0.768 0±0.006 2	6.002
3	1	3	3	74.20±6.31	13.00±0.82	0.427 0±0.025 0	1.720 0±0.037 4	—0.799 0±0.010 7	6.397
4	2	1	1	75.50±5.57	11.67±0.47	0.456 0±0.005 7	1.733 0±0.069 4	—0.801 0±0.019 8	6.024
5	2	2	3	78.50±4.38	13.00±0.82	0.434 0±0.015 2	1.623 0±0.036 8	—0.763 0±0.018 4	6.570
6	2	3	2	87.60±4.65	14.00±0.82	0.346 0±0.015 9	1.620 0±0.029 4	—0.758 0±0.022 6	7.453
7	3	1	3	68.90±6.75	10.33±0.47	0.379 0±0.013 2	1.690 0±0.032 7	—0.805 0±0.028 0	6.252
8	3	2	1	84.60±5.78	12.33±0.47	0.358 0±0.015 3	1.727 0±0.070 4	—0.775 0±0.006 6	6.975
9	3	3	2	88.00±4.75	13.67±0.47	0.354 0±0.029 5	1.657 0±0.046 4	—0.797 0±0.010 4	7.213
综 合 评 分	k_1 k_2 k_3 R	5.933 6.682 6.813 0.880 6	5.892 6.516 7.021 1.129 1	6.133 6.889 6.406 0.482 7					

表 9 方差分析表[†]

Table 9 The variance analysis of orthogonal experiment

因素	离差平方和	自由度	均方	F 值	显著水平
A	1.354 5	2	0.677 2	29.311 0	*
B	1.919 5	2	0.959 7	41.537 8	*
C	0.879 8	2	0.439 9	19.039 2	*
误差	0.046 2	2	0.023 1		

[†] ** 为差异极显著($P<0.01$); * 为差异显著($P<0.05$)。

由表 12 可知,与一般结晶椴树蜂蜜相比,机械搅拌法改进的微气泡结晶椴树蜂蜜在热稳定性上有较显著提升,35 ℃热稳定时间提高了 41.51%,热导率有一定程度的降低,同时,在结晶蜂蜜的硬度和黏性方面性状也有较大改善。

2.4 室内自然条件下的贮藏期

选取工艺条件 $A_2B_3C_2$ 进行充气,然后于温度 14 ℃,湿度 75% 的恒温恒湿箱中促结晶 48 h 得到微气泡结晶

表 10 验证性实验结果

Table 10 The results of confirmatory test

工艺条件	硬度/N	黏性/ (N·s)	35 ℃热稳定 时间/h	热导率(20 ℃)/ (W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)	感官评分
$A_2B_3C_2$	1.597±0.028	—0.774±0.023	13.33±0.47	0.313±0.015	89.1±3.35
$A_3B_3C_2$	1.623±0.033	—0.797±0.035	14.00±0.00	0.338±0.019	88.6±5.11

表 11 椴树蜂蜜加工后主要的理化指标

Table 11 The main physicochemical indexes of Linden honey after producing processes

类别	水分/%	酸度/ (mL · kg ⁻¹)	还原糖/%	淀粉酶值/ (mL · kg ⁻¹ · h ⁻¹)	羟甲基糠醛/ (mg · kg ⁻¹)
椴树原蜜	23.6	20.2	70.41	16.7	5.39
浓缩蜂蜜	18.2	20.3	70.09	13.3	8.49
结晶蜂蜜	18.4	20.6	68.73	13.4	9.01

表 12 改进前后椴树结晶蜂蜜性质对比

Table 12 Comparison of honey physicalproperties of lime tree crystal between with microbubbles and without it

类别	35 ℃热稳定 时间/h	热导率(20 ℃)/ (W · m ⁻¹ · K ⁻¹)	硬度/N	黏性/ (N · s)
一般结晶蜂蜜	9.66±0.47	0.437±0.018	2.384±0.016	-1.613±0.034
微气泡结晶蜂蜜	13.67±0.82	0.313±0.015	1.597±0.028	-0.774±0.023

蜂蜜成品,并于室内自然温度条件下进行 180 d 的贮藏试验。随着贮藏时间的增长,结晶蜂蜜的颜色稍有加深,主要原因是蜂蜜发生了美拉德反应^[14],生成深色物质,不过反应缓慢,对蜂蜜的营养及使用影响较小。由图 4 可知,随着贮藏时间的延长,结晶蜂蜜的硬度呈先增长后降低趋势,黏性先略有降低后增加。结晶初期由于结晶快速,蜂蜜晶体蓬松,硬度较小,在室温贮藏过程中结晶蜂蜜内部依然在进行分子运动,随着分子间作用力的增加,形成了一个更为密实的固体结构,从而影响蜂蜜的硬度。随着室内温度的升高,分子间作用减小,会有极少量的液化现象出现,所以硬度减小,黏性增加。

3 结论

通过在蜂蜜中充入氮气微气泡改善了结晶蜂蜜的热稳定性和感官品质。结晶蜂蜜的最佳工艺条件为搅拌机转速 2 600 r/min,充气时间 5 min,进气流速 6 L/min,此工艺条件下加工得到的结晶蜂蜜成品呈乳白色,质地均匀,口感细腻,可以方便勾取。与原结晶蜂蜜相比,产品

的 35 ℃热稳定时间提高了 41.51%,硬度降低了 33%,同时改善了结晶蜂蜜自发结晶易变质、结晶蜂蜜耐热能力弱的问题。后续可以适当扩大试验规模,从而为实现工业化生产提供参考。

参考文献

[1] AL-FARSI M, AL-HADHRAMI A, AL-AMRI A, et al. Quality evaluation of omani honey [J]. Food Chemistry, 2018, 262 (10): 162-167.

[2] 罗子阳, 闫徐, 易灵, 等. 超高静压对蜂蜜主要品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(4): 182-187.

LUO Z Y, YAN X, YI L, et al. Effect of high hydrostatic processing on the quality of honey[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(4): 182-187.

[3] 郭娜娜, 米鑫, 罗其花, 等. 洋槐蜜和椴树蜜结晶前后的主要物质组成和热力学性质变化研究[J]. 中国农业科技导报, 2020, 22 (6): 130-137.

GUO N N, MI X, LUO Q H, et al. Changing patterns of composition and thermodynamic property of locust and linden honey after crystallization [J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2020, 22(6): 130-137.

[4] 吴国泰, 陆文秀, 张琪, 等. 蜂蜜固化方法与技术研究进展[J]. 蜜蜂杂志, 2018, 38(3): 7-9.

WU G T, LU W X, ZHANG Q, et al. Progresses on methods and techniques of solidified med honey[J]. Journal of Bee, 2018, 38(3): 7-9.

[5] SILVIA T, VIRGINIA G, LUIGI R, et al. Physical and structural properties of honey crystallized by static and dynamic processes[J]. Journal of Food Engineering, 2021, 292(8): 1-8.

[6] 刘大静. 乳化蜂蜜的研制[D]. 福州: 福建农林大学, 2012: 13-30.

LIU D J. Study on the development of emulsified honey [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2012: 13-30.

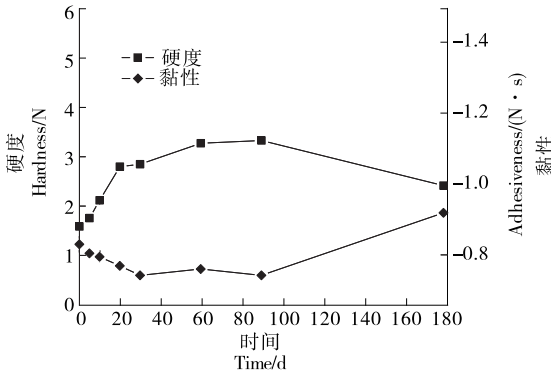


图 4 室内自然条件下贮藏的结晶蜂蜜硬度和黏性变化

Figure 4 Changes in hardness and viscosity of crystallized honey stored indoors under natural state

(下转第 24 页)

- [12] 高英立, 肖蓬, 余长兴, 等. 甲壳质类化合物含量测定的研究[J]. 中国海洋药物, 2001(5): 24-26.
GAO Y L, XIAO P, YU C X, et al. Studies on the quantitative determination of chitins compound[J]. Chinese Journal of Marine Drugs, 2001(5): 24-26.
- [13] TRIKILIDOU E, SAMIOTIS G, TSIKRITZIS L, et al. Performance of semi-micro-kjeldahl nitrogen method-uncertainty and nitrate interference[J]. International Journal of Environmental Analytical Chemistry, 2022, 102(18): 6 204-6 214.
- [14] TOONGSUWAN S, CHANG H C, LI L C, et al. Particle size determination of a three-component suspension using a laser-scattering particle size distribution analyzer[J]. Drug Development and Industrial Pharmacy, 2000, 26(8): 895-900.
- [15] ITOOKA K, TAKAHASHI K, KIMATA Y, et al. Cold atmospheric pressure plasma causes protein denaturation and endoplasmic reticulum stress in *Saccharomyces cerevisiae* [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2018, 102(5): 2 279-2 288.
- [16] CHEN Y, YAO M Y, YANG T Y, et al. Changes in structure and emulsifying properties of coconut globulin after the atmospheric pressure cold plasma treatment [J]. Food Hydrocolloid, 2023, 136: 108289.
- [17] 张钟, 高佳欣. 柠檬酸-反相微胶团法提取虾壳中甲壳素的研究[J]. 食品工业科技, 2017, 38(5): 269-273.
ZHANG Z, GAO J X. Study on the extraction of chitin from shrimp shell by citric acid-reverse micelles method[J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(5): 269-273.
- [18] 刘慧, 邓春梅, 杨丹, 等. 虾皮制备壳聚糖的扫描电镜观察[J]. 广州化工, 2010, 38(3): 119-121.
LIU H, DENG C M, YANG D, et al. Preparation of chitosan from shrimp skin by scanning electron microscope[J]. Guangzhou Chem Ind, 2010, 38(3): 119-121.
- [19] 曲玉超, 贾俊, 宫国强, 等. 现代近红外光谱技术在食品检测中的应用分析[J]. 食品安全导刊, 2022(31): 175-177.
QU Y C, JIA J, GONG G Q, et al. Application analysis of modern near infrared spectroscopy in food detection[J]. Food Safety Guide, 2022(31): 175-177.
- [20] 陈懿, 张志源, 杨公明. 甲壳素液氮粉碎的微观结构变化[J]. 现代食品科技, 2011, 27(6): 637-639.
CHENG Y, ZHANG Z Y, YANG G M. Changes of morphology and microstructures of chitin pulverized by liquid nitrogen [J]. Modern Food Science and Technology, 2011, 27(6): 637-639.
- [21] 张巧, 李永成. 南美白对虾虾壳甲壳素的提取工艺及结构分析[J]. 食品科技, 2020, 45(4): 187-192.
ZHANG Q, LI Y C. Extraction process and structure analysis of shrimp shell chitin from *Penaeus albinus* [J]. Food Science and Technology, 2020, 45(4): 187-192.
- [22] 程泰. 纳米甲壳素的制备及其干法纺丝研究[D]. 上海: 东华大学, 2022: 30-44.
CHENG T. Preparation and dry spinning of nano-chitin [D]. Shanghai: Donghua University, 2022: 30-44.
- [23] 寇律恒. 甲壳素纳米纤维的制备及其涂层的构筑与透光性研究[D]. 长春: 吉林大学, 2022: 48-69.
KOU L H. Preparation, construction and light transmittance of chitin nanofiber coating [D]. Changchun: Jilin University, 2022: 48-69.
- [24] 刘锡红, 赵灵希, 张成杰, 等. 酶法从虾壳中提取甲壳素工艺优化的研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(22): 209-212, 216.
LIU X H, ZHAO L X, ZHANG C J, et al. Study on optimization of enzymatic extraction of chitin from shrimp shell [J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(22): 209-212, 216.
-
- (上接第 17 页)
- [7] 曾子杰. 超高静压与热处理对蜂蜜品质的对比研究[D]. 广州: 暨南大学, 2018: 13-25.
ZENG Z J. Comparison effect of heat treatment and ultra-high static pressure on honey quality [D]. Guangzhou: Jinan University, 2018: 13-25.
- [8] TIJS A M R, GUIDO S, ERIK V D L, et al. Effect of temperature and pressure on the stability of protein microbubbles[J]. ACS Appl Mater Interfaces, 2016, 8(1): 333-340.
- [9] 胡欣宇, 明建, 王姝, 等. 超微板栗粉对海绵蛋糕品质的影响[J]. 食品与机械, 2022, 38(7): 220-226.
HU X Y, MING J, WANG S, et al. Effects of superfine chestnut powder on sponge cake quality [J]. Food & Machinery, 2022, 38(7): 220-226.
- [10] KADJO A, GARNIER J P, MAYE J P, et al. A new transient two-wire method for measuring the thermal diffusivity of electrically conducting and highly corrosive liquids using small samples [J]. International Journal of Thermophysics, 2008, 29(4): 1 267-1 277.
- [11] MONIKA B, PETER H, VLASTA V, et al. Thermal properties of selected bee products [J]. Progress in Agricultural Engineering Sciences, 2018, 14(S1): 37-44.
- [12] 张敏, 余佶, 王琪琰, 等. 基于熵权法和灰色关联分析的藤茶理化品质评价与分级应用[J]. 食品与机械, 2021, 37(1): 186-192.
ZHANG M, YU J, WANG Q Y, et al. Evaluation and classification for physicochemical quality of vine tea on entropy method an grey relation analysis [J]. Food & Machinery, 2021, 37(1): 186-192.
- [13] 谢成城, 陈佳敏, 曹仲文. 基于感官剖面分析法、熵权法和灰色关联度法的扬州兰花干品质评价[J]. 食品与机械, 2022, 38(9): 198-203.
XIE C C, CHEN J M, CAO Z W. Quality evaluation of different varieties of Yangzhou orchid dry based on sensory profile analysis, entropy weight method and grey interconnect degree analysis [J]. Food & Machinery, 2022, 38(9): 198-203.
- [14] JI P R, LIU X T, YANG C C, et al. Natural crystallization properties of honey and seed crystals-induced crystallization process for honey performance enhancing [J]. Food Chemistry, 2023, 405(3): 8-15.