

炖煮温度对干燕窝质构和风味的影响

Effect of different processing temperature on texture profile and flavor of the edible bird's nest

商可心¹ 邱爽² 张蓝²

SHANG Kexin¹ QIU Shuang² ZHANG Lan²

成向荣¹ 王东亮^{1,2}

CHENG Xiangrong¹ WANG Dongliang^{1,2}

(1. 江南大学食品学院, 江苏 无锡 214122; 2. 河北省燕窝鲜炖技术创新中心, 河北 廊坊 065700)

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China;

2. Hebei Edible Bird's Nest Fresh Stewing Technology Innovation Center, Langfang, Hebei 065700, China)

摘要:目的:研究炖煮温度对干燕窝质构和风味的影响。

方法:以干燕窝为主要原料,利用物性分析仪对不同炖煮温度的燕窝进行全质构分析,利用气相电子鼻检测分析仪和固相微萃取—气相色谱—质谱分析(SPME-GC-MS)方法对不同炖煮温度下的燕窝进行挥发性成分测定。

结果:随着炖煮温度的升高,熟制燕窝的黏附性显著下降($P<0.01$),回复性显著升高($P<0.05$)。GC-MS从熟化后的燕窝中检出有效风味物质 12 种,其中醇类 3 种、醛类 2 种、酯类 2 种、酮类 3 种、酸类 1 种、醚类 1 种,分别占 95、105、115 °C 熟制燕窝总检出物质的 6.23%、49.34%、54.85%。**结论:**炖煮温度影响燕窝口感以及加工后的总体气味轮廓,熟制温度升高趋向于加强蛋清风味。95 °C 的样品中挥发性物质以酸类为主,105 °C 的样品以醇类为主,115 °C 的样品以酮类、醇类为主。

关键词:燕窝;炖煮温度;风味成分;质构

Abstract: Objective: This study aimed to investigate the effects of different processing temperature on texture profile and flavor of dried edible bird's nest. **Methods:** With dried edible bird's nest as the main raw material, the texture profile analysis of edible bird's nest at different processing temperature was carried out by physical property analyzer. The volatile components of edible bird's nest at different processing temperature were determined by electronic nose and solid phase microextraction gas chromatography-mass spectrometry (SPME-GC-MS). **Results:** It

was found that the adhesion of cooked edible bird's nest decreased significantly ($P<0.01$), but its resilience increased significantly ($P<0.05$) with the increase of temperature. 12 kinds of effective flavor substances were detected in the cooked edible bird's nest by SPME-GC-MS, including: 3 alcohols, 2 aldehydes, 2 esters, 3 ketones, 1 acid, and 1 ether, accounting for 6.23%, 49.34%, and 54.85% of the total detected substances in the cooked edible bird's nest at 95 °C, 105 °C and 115 °C, respectively. **Conclusion:** Different processing temperature affects the taste of edible bird's nest and the overall odor profile after processing. Moreover, higher cooking temperature tends to make the egg white-like flavor stronger. The volatile substances in the bird's nest stew at 95 °C are mainly acids, the bird's nest cooked at 105 °C mainly produces alcohols, and the edible bird's nest cooked at 115 °C mainly produces ketones and alcohols.

Keywords: edible bird's nest; processing temperature; volatile components; texture profile

燕窝中含有丰富的营养物质,既是名贵药材也是上等补品,具有药食两用的特征。新鲜采摘的燕窝需经过一系列的加工后方可食用,加工后的成品一般根据形态可分为盏、条、饼、丝等。在燕窝的烹制方法上,最简单的方式是清水炖煮,根据不同品种采用不同时间用纯净水浸发,文火隔水炖煮。常用的熟制温度为 80~120 °C^[1],常规加工温度不会对燕窝的核心营养成分唾液酸产生破坏性损失^[2],但会影响化学反应的类型和程度,因此推测不同炖煮温度下的燕窝产生的挥发性成分会有所差异,而挥发性成分是评价燕窝风味的重要因素之一。目前,关于加工温度及加工工艺对燕窝风味影响的研究尚未见

基金项目:国家自然科学基金(编号:82103836)

作者简介:商可心,女,江南大学实验师,硕士。

通信作者:王东亮(1982—),男,河北省燕窝鲜炖技术创新中心高级工程师,博士。E-mail: dongliang.wang@xxdun.com

收稿日期:2023-02-10 **改回日期:**2023-06-12

报道。

挥发性风味物质可以由鼻腔嗅觉上皮细胞感知,这些成分主要包括醇类、酯类、醛类、酮类、杂环类等^[3],挥发性风味作为食品香气的来源是刺激鼻腔内的嗅觉神经细胞而在中枢引起的一种感觉^[4]。对于易挥发成分分析主要采用包括固相微萃取法(SPME)^[5]在内的不同萃取方法对挥发性香气成分进行提取富集,结合气相色谱—质谱联用(GC-MS)^[6]、气相色谱—嗅闻(GC-O)^[7]或电子鼻(E-nose)^[8-10]等设备进行分析测定。研究拟分析干燕窝原料经 95,105,115 ℃ 熟化后的质构性质和挥发性成分,为燕窝合理烹制温度的确定以及进一步分析燕窝品质提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

原料干燕窝:产自印度尼西亚,生产企业注册号为 005,批号为 20220919,北京榕树堂生物科技有限公司;

纯净水:华润怡宝饮料有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

电热式压力蒸汽灭菌锅:XFH-30CA 型,浙江新丰医疗器械有限公司;

物性分析仪:TA.XTPlus 型,英国 SMS 公司;

快速气相色谱电子鼻:Heracles II 型,法国 Alpha MOS SA 公司;

三重四极杆气质联用仪:TSQ Quantum XLS 型,美国赛默飞世尔科技公司;

恒温数显水浴锅:HH-3A 型,常州国华电器有限公司;

电子天平:AR224CN 型,奥豪斯仪器有限公司。

1.2 方法

1.2.1 样品制备 取干燕窝若干,按照 $m_{\text{燕窝干料}}:m_{\text{纯净水}}$ 为 1:50 加入纯净水,室温泡发 2 h。用双层脱脂棉纱布将泡好的燕窝包裹,手动沥干水分,搓成细丝并挑出其中的细小绒毛、黑点等杂质。取适量燕窝于直径 4 cm,高 6 cm 的圆柱体玻璃罐中,按照 $m_{\text{燕窝干料}}:m_{\text{纯净水}}$ 为 1:20 重新计算用水量加入纯净水,充分浸没燕窝丝条,旋紧配套的瓶盖密封。将密封好的玻璃罐放入蒸汽灭菌锅,分别于 95,105,115 ℃ 下熟化 11,8,5 min,制得最终样品(编号分别为 1,2,3),冷却至室温后于 0~4 ℃ 冷藏备用。

1.2.2 全质构分析 称取 3.5 g 熟制后的燕窝样品于固定几何形状的塑料平皿中,均匀铺开,控制厚度一致。物性分析仪设定为 TPA 模式,选取 P/25 探头,测试前、中、后速度分别为 2.00,2.00,3.00 mm/s;压缩比 50%;两次压缩间隔时间 5.0 s;负载类型为 Auto-5.0 g;采样率为 200 Hz。每组样品平行测定 6 次,得到硬度、黏附性、弹

性、内聚性、胶黏性和回复性。

1.2.3 Heracles II 快速气相电子鼻检测 采用快速气相色谱电子鼻对不同熟化温度下制备的燕窝挥发性成分进行测定。准确称取 5.000 g 熟制燕窝样品于 20 mL 顶空瓶中,加盖密封,4 ℃ 静置过夜,每组设置 5 个平行样品。仪器参数设置:氢火焰离子化检测器(FID),检测器温度 260 ℃;孵化温度 60 ℃,孵化时间 25 min;仪器进样体积 5 000 μL ,进样速度 125 $\mu\text{L}/\text{s}$,进样口温度 200 ℃;搜捕并初始温度 40 ℃,持续时间 50 s;程序升温:柱子初始温度 50 ℃,以 1 ℃/s 的速率升至 80 ℃,以 2 ℃/s 的速率升至 250 ℃,保留 60 s^[11]。

1.2.4 SPME-GC-MS 检测 参考柳训才等^[12]的方法并修改。准确称取 5.000 g 熟制燕窝样品于 20 mL 顶空瓶中,密封后将顶空瓶置于 60 ℃ 恒温磁力搅拌 50 min;插入 85 μm PA 萃取头(萃取头经过 250 ℃、30 min 老化)进行顶空萃取,保温 30 min,立即将萃取头插入 GC-MS 进样口,解析 5 min。

(1) 气相色谱—质谱条件:DB-5 毛细管色谱柱(30 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.25 μm);进样口温度 250 ℃,进样时间 2 min,不分流进样,2 min 后开启隔垫吹扫;程序升温:初始温度 40 ℃,保留 2 min,以 10 ℃/min 的速率升至 260 ℃,保留 6 min;载气为 He,流速 1.0 mL/min。

(2) 质谱条件:接口温度 260 ℃;电子轰击电离源(EI) 230 ℃,电离电压 70 eV;离子扫描范围(m/z) 30~500;正离子模式,Q3SCAN。

1.2.5 数据处理 利用电子鼻仪器中 Alphasoft 软件自带的模块对采集的数据进行分析,选择区分度在 0.8 以上的色谱峰数据实现多元变量统计分析,并自动给出可能的差异性物质的保留时间表。结合保留指数和 AroChemBase 数据库对未知化合物进行定性分析。SPME-GC-MS 采集的数据经软件检索,结合 NIST library 的配比度对相似度 >800 的鉴定结果进行分析,根据峰面积归一化定量计算。质构数据采用 SPSS 22.0 中的单因素 ANOVA 分析,满足方差齐性运用邦弗伦尼模型判定组间是否具有显著性差异($P<0.05$),采用 Origin 2022 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 燕窝的全质构分析

由表 1 可知,随着炖煮温度的升高,熟制燕窝的黏附性差异极显著($P<0.01$),回复性差异显著($P<0.05$),而硬度、弹性、内聚性和胶黏性差异不显著。从统计学意义上来说,105,115 ℃ 加工后的燕窝的黏度显著低于 95 ℃ 的,即炖煮温度升高,燕窝黏性下降。这与熟制燕窝的感官性状表现一致,用品评叉捞起燕窝丝时,95 ℃ 的燕窝丝条间相互勾连,难以分开,而另外 2 组燕窝条用很小的力

表 1 不同炖煮温度下的燕窝全质构[†]

Table 1 Texture profile of the edible bird's nest at different processing temperature

炖煮温度/℃	硬度/N	黏附性/N	弹性	内聚性	胶黏性	回复性
95	0.62±0.13	-0.21±0.04 ^b	0.98±0.02	0.75±0.03	47.83±11.18	0.19±0.05 ^b
105	0.64±0.07	-0.08±0.03 ^a	0.98±0.02	0.82±0.02	52.94±5.87	0.28±0.06 ^a
115	0.52±0.10	-0.07±0.05 ^a	1.01±0.08	0.78±0.07	41.12±7.30	0.22±0.05 ^a

[†] 字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

就能将其分离。这可能是由于炖煮温度升高,溶出的大分子断裂成短链,分子量降低引起分子间相互缠绕连接的几率降低,从而表现出黏性降低^[13]。与黏性变化趋势相反,105,115℃的样品回复性显著高于95℃的,说明炖煮温度越高使得燕窝条在受挤压后恢复越快^[14],可能与燕窝蛋白凝胶网络结构的强度有关^[15]。

2.2 燕窝的电子鼻分析

主成分分析中,样品之间的相对距离越近,表明样品的整体气味越近,差异越小,反之差异越大。判别指数(DI)值在80~100表示该数据区分分析结果为有效结果,DI值越大效果越佳^[16]。PCA的判别指数为87,表明此样品间的区分效果为有效区分。PC1、PC2及二者累加的方差贡献率分别为74.38%,21.81%,96.19%,3种炖煮温度的燕窝在横坐标上的水平距离较远,说明3种炖煮温度下的燕窝存在明显的挥发性成分差异。其中,105℃的燕窝与95,110℃的距离最远,差异最大。

由图3、图4可知,DF1的贡献率为95.06%,DF2的贡献率为1.94%,累计贡献率为100.00%,说明DFA模型可明显区分不同温度炖煮后的燕窝样品。95℃的燕窝与105,115℃的存在较大距离,说明提高炖煮温度会使气味成分发生较大变化。

感官嗅闻发现,115℃的燕窝的蛋清气味最强烈,105,95℃的燕窝味道淡或几乎闻不到,这与PCA和DFA的结果存在明显不同,提示利用快速气相电子鼻采集数据建立的模型可能不适合对燕窝蛋清味的识别。由PCA和DFA载荷图发现,115℃样品附近的变量因子即色谱峰因子较少,因此主要的差异成分对蛋清味的筛分贡献不大。由于一种化合物在不同浓度时呈现的风味有所差异,因此推测在加工燕窝中贡献蛋清味的挥发性成分的含量可能较低,其含量过高时并不能被人类的感官细胞识别。

雷达图(图5)和柱状图(图6)呈现了不同熟化温度下燕窝所存在的差异性风味物质在2根色谱柱上的保留时间。进一步对差异化合物进行定性分析,采用仪器自带的AroChemBase数据库进行比对,结果见表2。由表2可知,与105,115℃炖煮的燕窝相比,95℃的燕窝中可能含有更高的2-甲基丁酸甲酯、甲基环戊烷和乙基葫芦巴内酯;105℃的燕窝挥发性成分中可能有更高的叔丁

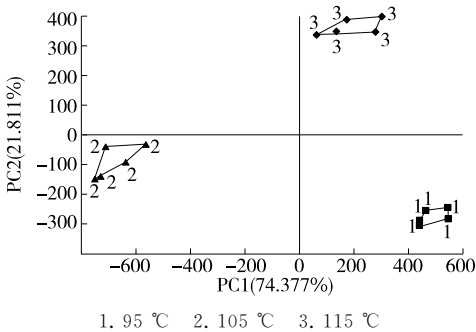


图 1 不同炖煮温度下的燕窝电子鼻 PCA 图

Figure 1 The PCA image of electronic nose analyses of the edible bird's nest at different processing temperature

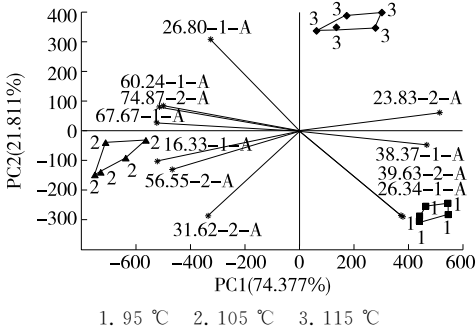


图 2 不同炖煮温度下的燕窝电子鼻 PCA 载荷图

Figure 2 The PCA loading analysis of electronic nose analyses of the edible bird's nest at different processing temperature

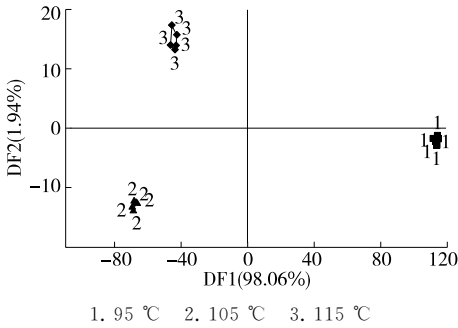


图 3 不同炖煮温度下的燕窝电子鼻 DFA 图

Figure 3 The DFA image of electronic nose analyses of the edible bird's nest at different processing temperature

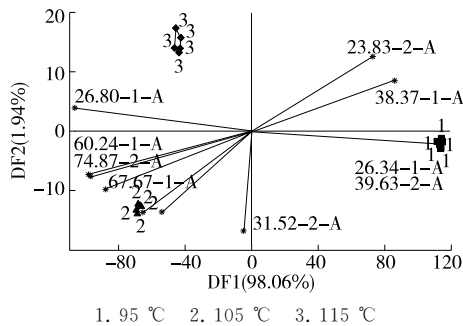


图 4 不同炖煮温度下的燕窝电子鼻 DFA 载荷图
Figure 4 The DFA loading analysis of electronic nose analyses of the edible bird's nest at different processing temperature

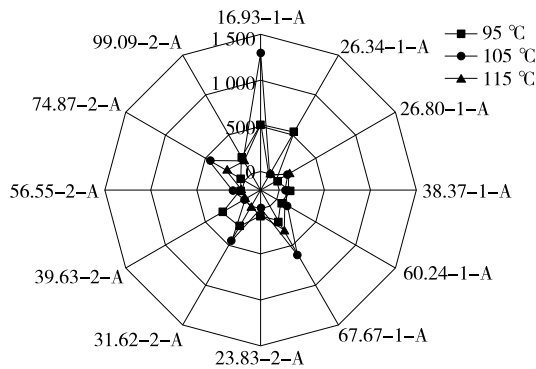


图 5 不同炖煮温度下的燕窝电子鼻雷达图
Figure 5 The radar image of electronic nose analyses of the edible bird's nest at different processing temperature

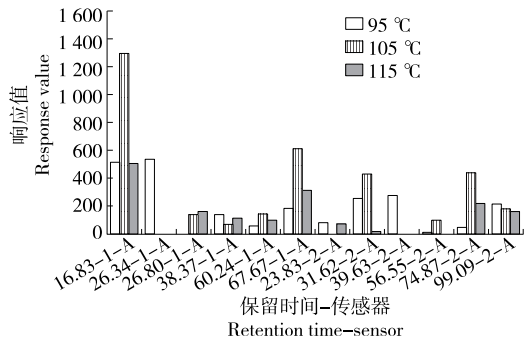


图 6 不同炖煮温度下的燕窝电子鼻 Bar 图
Figure 6 The bar image of electronic nose analyses of the edible bird's nest at different processing temperature

醇、1,5-戊内酯、桉叶油醇和二乙二醇乙醚;115 °C 的燕窝中可能含有更高的巴豆醛。羟基丙酮可能为仅在 95 °C 炖煮温度下的燕窝中存在的一种挥发性成分,因此可以作为燕窝较低温度炖煮下的特异性产物,作为区分燕窝炖煮温度的判别依据。

2.3 燕窝的 SPME-GC-MS 分析

由图 7 和表 3 可知,95,105,115 °C 的燕窝总峰面积和出峰数目分别为 3.87×10^8 , 1.05×10^8 , 1.03×10^8 和 112,104,98 个。通过与 NISTlibrary 数据库比对,以相似度(RD)超过 800 为依据,从熟化后的燕窝中检出 18 种挥发性物质,有效鉴定出的物质分别占 95,105,115 °C 熟制燕窝总检出物质的 29.50%,52.18%,72.54%;其中硅氧烷类物质 3 种,其可能是固相微萃取头或顶空瓶盖上脱

表 2 不同炖煮温度下燕窝可能的差异挥发性成分信息[†]

Table 2 Different composition of the edible bird's nest at different processing temperature

物质名称	保留时间-1/s	保留指数-1	保留时间-2/s	保留指数-2	气味信息	含量排序
叔丁醇	16.93	483	24.49	644	有类似樟脑气味	2>1>3
羟基丙酮	26.34	650	39.63	797	刺激性香味,存在于啤酒、烟草和蜂蜜中	仅 1
巴豆醛	26.80	655	34.26	749	窒息性刺激气味	3>2
2-甲基丁酸甲酯	38.37	765	45.51	845	具有似苹果和朗姆酒似香甜味;天然存在于苹果、欧洲越橘、甜瓜、菠萝蜜、草莓、豌豆、乳酪等中	1>3>2
1,5-戊内酯	60.24	958	79.59	1 174	—	2>3>1
桉叶油醇	67.67	1 030	72.03	1 088	有樟脑气息和清凉的草药味道	2>3>1
甲基环戊烷	25.63	641	23.83	635	—	1>3
二乙二醇乙醚	64.87	1 002	74.87	1 120	中等程度令人愉快的气味	2>3>1
乙基葫芦巴内酯	82.64	1 210	99.09	1 431	呈未熟青水果香气和枫糖、司考其奶糖香味;天然存在于大豆水解蛋白中	1>2>3

[†] 含量排序中 1,2,3 分别代表 95,105,115 °C 炖煮燕窝。

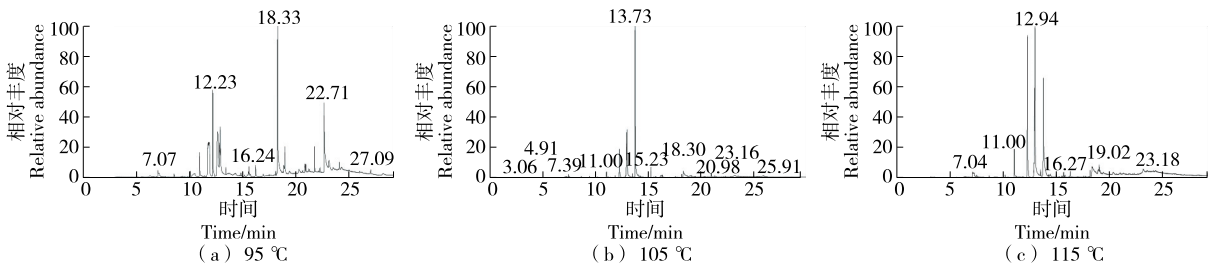


图 7 不同炖煮温度下燕窝挥发性成分的 GC-MS 离子流图

Figure 7 Ion chromatogram of volatile flavor compounds of the edible bird's nest at different processing temperature

表 3 不同炖煮温度下燕窝的 18 种挥发性成分

Table 3 The 18 volatile flavor components of the edible bird's nest at different processing temperature

种类	挥发性成分	气味描述	保留时 间/min	相对含量/%		
				95 °C	105 °C	115 °C
烃类	十甲基环五硅氧烷	—	9.39	0.10	0.44	0.00
	八甲基环四硅氧烷	—	6.89	0.00	0.06	0.00
	十二甲基环六硅氧烷	—	11.82	0.00	0.47	0.00
醇类	异辛醇	青草味	7.43	0.00	1.29	0.54
	月桂醇	月下香、紫罗兰香气	13.73	0.00	35.54	19.15
	十一醇	柠檬香味	16.15	0.00	1.42	0.00
醛类	壬醛	脂肪香、柑橘香、嫩绿植物清香	8.61	0.23	0.49	0.00
	癸醛	柑橘香、花香	10.14	0.31	0.17	0.22
酯类	甲苯-2,4-二异氰酸酯	—	11.83	21.62	0.00	17.69
	邻苯二甲酸二异丁酯	甜香味	18.15	0.25	0.62	0.59
	对甲氧基肉桂酸异辛酯	—	20.98	0.95	1.07	0.00
	乙酰柠檬酸三丁酯	—	21.80	1.55	0.00	0.00
	2,2,4-三甲基-1,3-戊二醇二异丁酸酯	—	15.23	0.00	1.87	0.00
酮类	香叶基丙酮	木兰香气	13.47	0.35	0.00	0.00
	二苯甲酮	玫瑰香气	15.60	0.44	0.00	0.58
	5-甲基-1,3-二氢苯并咪唑-2-酮	芳香物质	12.90	0.00	7.88	31.03
酸类	棕榈酸	—	19.03	2.26	0.00	0.00
醚类	二乙二醇乙醚	令人愉快的气味	7.07	1.44	0.86	2.74

附的复合材料;甲苯-2,4-二异氰酸酯、乙酰柠檬酸三丁酯和 2,2,4-三甲基-1,3-戊二醇二异丁酸酯均因其独特的性质在食品包装材料中作为增塑剂使用,认为这 3 种物质是由燕窝相关包装材料所用到的黏合剂、塑化剂带入^[17-19];经确认有效风味物质 12 种,其中醇类 3 种、醛类 2 种、酯类 2 种、酮类 3 种、酸类 1 种、醚类 1 种,分别占 95、105、115 °C 熟制燕窝总检出物质的 6.23%、49.34%、54.85%。从总峰面积和出峰数目看,95 °C 炖煮的燕窝总挥发性物质更丰富,其次是 105 °C 的,115 °C 的挥发性物质最少。而有效鉴定物质占比的排序则呈相反的趋势,即 95 °C 炖煮的燕窝中鉴定出的挥发性物质最少,其次是 105 °C 的,115 °C 的最多。通过直接感官嗅闻比较,3 种样品中 115 °C 炖煮后的样品有最强的蛋清风味,而 95 °C 的

气味最浅。因此推测炖煮温度升高使整体挥发性物质的种类和数量减少,但蛋清味加强。

除去非风味相关成分后,采用面积归一化法得到烃类、醛类、酯类、酮类、酸类和醚类的相对含量,结果见表 4。由表 4 可知,95 °C 炖煮燕窝中挥发性物质以酸类为主,占比为 36.28%,其次是酯类 19.26%,未检出醇类。105 °C 炖煮燕窝中检出醇类,且为该温度下样品的主要挥发性成分,相对含量达 77.52%,而酸类和酯类含量分别骤降至低于检出限和 3.43%。115 °C 炖煮燕窝中醇类含量有所下降,为 35.90%,酮类含量明显上升至 57.63%,成为该炖煮温度下相对含量最高的挥发性成分,而酸类和酯类仍处于低水平,含量分别低于检出限和 1.08%。从 95 °C 开始提高燕窝的炖煮温度,酸酯类含量呈降低趋

表 4 不同炖煮温度下燕窝中各类物质占有效挥发性物质的比例

Table 4 The proportion of various volatile flavor substances of the edible bird's nest at different processing temperature

种类	相对含量/%		
	95 °C	105 °C	115 °C
醇类	0.00	77.52	35.90
醛类	8.67	1.34	0.40
酯类	19.26	3.43	1.08
酮类	12.68	15.97	57.63
酸类	36.28	0.00	0.00
醚类	23.11	1.74	5.00

势,醇类含量先上升后下降,酮类含量则不断增加。这与电子鼻的分析结果较一致,不同炖煮温度下燕窝可能的差异物质中,95 °C炖煮燕窝中 2-甲基丁酸甲酯和乙基葫芦巴内酯含量更高,105 °C炖煮燕窝中叔丁醇和桉叶油醇含量更高。

在检出的酸类物质中,棕榈酸在朱顶红叶^[20]、披针叶胡颓子花挥发油^[21]、咖啡豆^[22]、炮制九香虫^[23]中被检出,多存在于植物化合物中,对气味贡献低。酯类物质多贡献清香、奶香味^[24-25]。邻苯二甲酸二异丁酯、对甲氧基肉桂酸辛酯等多作为植物化合物被检出^[26]。醇类物质贡献较多清香味,大多数支链醇可能由氨基酸的 Strecker 降解或微生物的代谢产生^[27]。酮类物质多为植物天然化合物^[28],其中二苯甲酮具有玫瑰香气,在植物病株^[29]、炮制九香虫^[23]、印尼产干燕盏碎^[12]中也有少量检出。115 °C炖煮燕窝中占比最高的 5-甲基-1,3-二氢苯并咪唑-2-酮是苹果属植物花中的一种芳香物质^[30]。李明洁等^[31]从新鲜咸鸭蛋清的挥发性成分中检出 70.92%的酮类化合物,且 115 °C炖煮燕窝的蛋清味比 105、95 °C的更浓郁,因此推测酮类在蛋清味组成中具有重要作用。此外,醛类物质在熟制燕窝中占比不高,推测是由于燕窝中脂肪总含量少。醛类物质气味阈值低,贡献较多鲜香味;壬醛、癸醛提供了脂肪香、柑橘香、花香、嫩绿植物等鲜香味^[30],这类物质主要源于脂肪的氧化和降解,一些带支链的醛也可由氨基酸的 Strecker 降解反应生成^[26,32]。GC-MS 检出的唯一一种醚类物质为二乙二醇乙醚,与气相电子鼻的定性分析一致,该物质在腌制 40~100 d 的熟咸蛋黄挥发性物质中被检出,展现出中等程度令人愉悦的气味^[33]。

天然的干燕窝和熟制燕窝均拥有特殊的香味,行业一般称蛋清味。柳才才等^[12]运用 SPME/GC-MS 技术并优化了萃取方式,发现印尼燕盏的气味构成复杂,检出并成功鉴定出 82 种成分,包括 43 种烃类、16 种醇类、17 种

醛类、4 种醚类、4 种酯类,含量占比分别为 39.29%, 21.94%, 17.77%, 7.23%, 4.06%,其余为酮类、酸类、酚类、噻唑类、吡喃类。与干燕盏明显不同的是,熟制燕窝中烃类物质种类和含量明显减少。潘柯伊等^[34]采用 GC-IMS 技术分析了市售燕盏的挥发性成分,发现苯甲醛(杏仁香、坚果香)含量较高为 10.54%。而 3 种炖煮温度下熟制燕窝中,挥发性醛类占比低于 0.7%,因此认为燕盏干料经过贮藏运输、泡发清洁和热处理工序,随着燕窝物质成分的流失以及化学反应的发生,熟制燕窝与燕盏的挥发性成分差异显著。

综上,由于燕窝的特殊蛋清味是一种独特的产品信息,适当的炖煮温度有利于控制该气味的产生从而获得最合适的风味强度。

3 结论

试验表明,随着炖煮温度(95,105,115 °C)的升高,熟制燕窝的黏附性下降($P<0.01$),回复性升高($P<0.05$),提示不同炖煮温度影响燕窝口感,可能是炖煮温度影响了可溶性物质的分子量和蛋白凝胶网络强度。炖煮温度会影响燕窝加工后的总体气味轮廓,炖煮温度升高趋向于加强蛋清风味,燕窝总挥发性物质种类和数量更多,而有效鉴定成分的占比则相反。GC-MS 检测发现 95 °C炖煮燕窝中挥发性物质以酸类为主,105 °C的以醇类为主,115 °C的以酮类、醇类为主。后续可考虑通过燕窝蛋白结构、氨基酸组成变化了解不同口感的内因,还可结合质谱平台和组学方法以获得更准确、多样的风味信息。

参考文献

- [1] 李会霞. 即食燕窝加工工艺优化研究[J]. 现代食品, 2021(16): 129-132.
- [2] LI H X. Study on processing technology optimization of instant bird's nest[J]. Modern Food, 2021(16): 129-132.
- [3] 连建梅, 范群艳, 李红卫. 不同加工工艺对燕窝产品唾液酸含量的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(1): 265-268, 277.
- [4] LIAN J M, FAN Q Y, LI H W. Influence of different processing technology on sialic acid content of edible bird's nest products[J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(1): 265-268, 277.
- [5] RAY M, 范文来, 徐岩. 风味, 香气和气味分析[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2013: 108-110.
- [6] RAY M, FAN W L, XU Y. Flavor, fragrance and odor analysis[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2013: 108-110.
- [7] 冯涛, 田怀香, 陈福玉. 食品风味化学[M]. 北京: 中国质检出版社, 2013: 67-70.
- [8] FENG T, TIAN H X, CHEN F Y. Food flavor chemistry [M]. Beijing: China Quality Inspection Press, 2013: 67-70.
- [9] 范文来, 徐岩. 应用液液萃取结合正相色谱技术鉴定汾酒与郎酒挥发性成分(下)[J]. 酿酒科技, 2013(3): 17-27.

- FAN W L, XU Y. Identification of volatile compounds of Fenjiu and Langjiu by liquid-liquid extraction coupled with normal phase liquid chromatography (last part) [J]. *Liquor-Making Science & Technology*, 2013(3): 17-27.
- [6] SERKAN S, GONCA G C. Analysis of volatile compounds of wild gilthead sea bream (*Sparus aurata*) by simultaneous distillation-extraction (SDE) and GC-MS[J]. *Microchemical Journal*, 2010, 93(2): 232-235.
- [7] 胡玉霞, 王方, 王昭君, 等. 顶空固相微萃取与气质联用分析山核桃香气成分[J]. *农业机械*, 2011(29): 135-138.
- HU Y X, WANG F, WANG Z J, et al. Analysis of volatile components in *Carya cathayensis* by headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Farm Machinery*, 2011(29): 135-138.
- [8] ZHANG M, CHEN X, KHIZAR H, et al. Characterization of odor-active compounds of chicken broth and improved flavor by thermal modulation in electrical stewpots[J]. *Food Research International*, 2018, 109: 72-81.
- [9] WANG L H, ZHANG Z Y, SHEN D Q, et al. Characterization of key aroma compounds in Beijing roasted duck by gas chromatography-olfactometry-mass spectrometry, odor-activity values, and aroma-recombination experiments [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2019, 67(20): 5 847-5 856.
- [10] ALI F, SEYED S M, MAHMOUD O. Optimization of rendering process of poultry by-products with batch cooker model monitored by electronic nose[J]. *Journal of Environmental Management*, 2019, 235: 194-201.
- [11] 高雅慧, 徐良, 董亚欣, 等. 基于 Heracles II 超快速气相电子鼻对不同加工方式牛奶的快速鉴别[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(14): 260-263, 269.
- GAO Y H, XU L, DONG Y X, et al. Rapid identification of milks treated with different processing methods based on Heracles II ultra-fast gas phase electronic nose[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 40(14): 260-263, 269.
- [12] 柳训才, 张小江, 张晓婷, 等. 固相微萃取/气相色谱-质谱联用技术测定燕窝中挥发性成分[J]. *分析测试学报*, 2020, 39(2): 205-211.
- LIU X C, ZHANG X J, ZHANG X T, et al. Detection of volatile compounds in edible bird's nest by using solid phase micro-extraction/gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Journal of Instrumental Analysis*, 2020, 39(2): 205-211.
- [13] 屠康, 姜松, 朱文学. 食品物性学[M]. 南京: 东南大学出版社, 2006: 146-147.
- TU K, JIANG S, ZHU W X. Physical properties of foods[M]. Nanjing: Southeast University Press, 2006: 146-147.
- [14] 陈弦, 张凌泓, 张雁, 等. 回软对紫薯类月饼 TPA 参数及感官品质的影响[J]. *食品科学*, 2017, 38(13): 138-142.
- CHEN X, ZHANG L H, ZHANG Y, et al. Effect of post-baking softening on texture profile analysis (TPA) parameters and sensory quality of moon cake stuffed with purple sweet potato[J]. *Food Science*, 2017, 38(13): 138-142.
- [15] 任凯, 陶康, 于政鲜, 等. TPA 测试条件对豆腐质构测试结果的影响[J]. *中国调味品*, 2019, 44(9): 29-32, 38.
- REN K, TAO K, YU Z X, et al. Effects of testing conditions on texture profile analysis (TPA) of tofu[J]. *China Condiment*, 2019, 44(9): 29-32, 38.
- [16] 李崇晖, 黄明忠, 黄少华, 等. 4 种石斛属植物花朵挥发性成分分析[J]. *热带亚热带植物学报*, 2015, 23(4): 454-462.
- LI C H, HUANG M Z, HUANG S H, et al. Volatile components in flowers of four *Dendrobium* species [J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2015, 23(4): 454-462.
- [17] 任平, 赵洁, 居莹, 等. 食品接触材料中初级芳香胺的迁移风险与法规管控[J]. *中国塑料*, 2022, 36(2): 139-146.
- REN P, ZHAO J, JU Y, et al. Migration risk and regulatory control of primary aromatic amines in food contact materials[J]. *China Plastics*, 2022, 36(2): 139-146.
- [18] 孙颖, 黄岩, 王星煜, 等. 快递包装袋挥发性气味成分分析[J]. *中国塑料*, 2022, 36(5): 116-121.
- SUN Y, HUANG Y, WANG X Y, et al. Analysis of volatile odor components in express packing bags[J]. *China Plastics*, 2022, 36(5): 116-121.
- [19] 周良春, 马俊辉, 张晓飞, 等. 气相色谱-质谱法快速测定食品接触用塑料中 2,2,4-三甲基-1,3-戊二醇双异丁酸酯的特定迁移量[J]. *理化检验(化学分册)*, 2021, 57(2): 146-151.
- ZHOU L C, MA J H, ZHANG X F, et al. Rapid determination of specific migration amount of 2, 2, 4-trimethyl-1, 3-pentanediol diisobutyrate in plastics for food contact by GC-MS[J]. *Physical Testing and Chemical Analysis Part B (Chemical Analysis)*, 2021, 57(2): 146-151.
- [20] 季宇彬, 李鑫, 辛国松. 朱顶红叶挥发类活性成分提取及气相色谱分析[J]. *哈尔滨商业大学学报(自然科学版)*, 2018, 34(1): 1-4.
- JI Y B, LI X, XIN G S. Extraction and analysis of active components of volatile gas chromatography in *Hippeastrum vittatum* leaves[J]. *Journal of Harbin University of Commerce (Natural Sciences Edition)*, 2018, 34(1): 1-4.
- [21] 王长青, 潘素娟, 左国防, 等. 披针叶胡颓子花挥发油气相色谱-质谱联用分析及抑菌作用[J]. *食品科学*, 2013, 34(2): 191-193.
- WANG C Q, PAN S J, ZUO G F, et al. GC-MS analysis of chemical composition and antibacterial activity of volatile oil from flowers of *Elaeagnus lanceolata* Warb. apud diels[J]. *Food Science*, 2013, 34(2): 191-193.
- [22] 董聪慧, 董文江, 程金焕, 等. 咖啡豆烘焙过程中油脂脂肪酸组成、挥发性风味及活性成分的演变规律[J]. *食品科学*, 2022, 43(24): 210-222.
- DONG C H, DONG W J, CHENG J H, et al. Evolution of fatty acid composition, volatile flavors and bioactive ingredients of coffee oil during coffee bean roasting[J]. *Food Science*, 2022, 43(24): 210-222.

- [23] 张成江, 江艳, 陈儒嘉. 固相微萃取—气相色谱—质谱联用分析九香虫气味成分[J]. 遵义医学院学报, 2018, 41(6): 751-757.
ZHANG C J, JIANG Y, CHEN R J. Analysis on odor components of *Aspongopus chinensis* by SPME-GC-MS[J]. Journal of Zunyi Medical University, 2018, 41(6): 751-757.
- [24] 韦璐, 孙钦菊, 杨昌鹏, 等. 香蕉果醋连续固定化发酵过程中挥发性香气成分含量变化[J]. 食品与机械, 2021, 37(3): 22-28, 35.
WEI L, SUN Q J, YANG C P, et al. The change of volatile flavor substances in the processing of continuous immobilization of banana vinegar[J]. Food & Machinery, 2021, 37(3): 22-28, 35.
- [25] 李升升, 刘书杰. 冷藏对牦牛酸奶营养成分及挥发性物质的影响[J]. 食品与机械, 2020, 36(11): 112-117.
LI S S, LIU S J. Effect of refrigerated storage on nutritional composition and volatile substances of yak yogurt[J]. Food & Machinery, 2020, 36(11): 112-117.
- [26] 李志军, 包海鹰. 黑木耳的不同浸泡方式与其邻苯二甲酸二异丁酯含量相关性研究[J]. 菌物学报, 2018, 37(3): 389-394.
LI Z J, BAO H Y. Correlation between different soaking way and content of diisobutyl phthalate in *Auricularia heimuer* [J]. Mycosystema, 2018, 37(3): 389-394.
- [27] 单启梅, 罗瑞明, 杨波, 等. 不同贮藏期冷却滩羊肉煮制后挥发性气味物质的变化[J]. 食品科学, 2022, 43(6): 265-271.
SHAN Q M, LUO R M, YANG B, et al. Changes of volatile odor substances in chilled tan sheep meat stored for different periods and cooked[J]. Food Science, 2022, 43(6): 265-271.
- [28] 袁金梅, 罗靖, 朱琳琳, 等. 3 个桂花品种花瓣游离态和糖苷态香气成分[J]. 林业科学, 2021, 57(8): 33-42.
YUAN J M, LUO Q, ZHU L L, et al. Free and glycosylated aroma components in petals of three *Osmanthus fragrans* cultivars[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2021, 57(8): 33-42.
- [29] 王璐丰, 胡奎, 贺华良, 等. 南方水稻黑条矮缩病毒诱导的水稻挥发物及白背飞虱成虫对其组分的行为反应[J]. 昆虫学报, 2017, 60(4): 412-420.
WANG L F, HU K, HE H L, et al. Southern rice black-streaked dwarf virus-induced volatiles from rice plants and behavioral responses of adult *Sogatella furcifera* (Hemiptera: Delphacidae) to the components of these volatiles[J]. Acta Entomologica Sinica, 2017, 60(4): 412-420.
- [30] 庞纪伟, 殷菲彤, 刘云芬, 等. HS-SPME-GC-MS 在水果产品挥发性物质检测中的研究进展[J]. 食品与机械, 2023, 39(4): 217-224.
PANG J W, YIN F L, LIU Y F, et al. Research progress of HS-SPME-GC-MS in the detection of volatile substances in fruit products[J]. Food & Machinery, 2023, 39(4): 217-224.
- [31] 李明洁, 凌道, 李祥雨, 等. 基于气相色谱—离子迁移谱分析海鸭蛋腌制过程中蛋清挥发性风味物质的变化[J]. 食品科学, 2022, 43(18): 200-208.
LI M J, LING X, LI X Y, et al. Analysis of volatile flavor compounds in sea duck egg white during salting by gas chromatography-ion mobility spectrometry[J]. Food Science, 2022, 43(18): 200-208.
- [32] 张宜彩, 林勤保, 黄湛艳, 等. 顶空—气相色谱—质谱法结合保留指数分析食品包装用纸中挥发性气味成分[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(13): 268-273.
ZHANG Y C, LIN Q B, HUANG Z Y, et al. Determination of volatile odor compounds from food packaging paper by headspace gas chromatography-mass spectrometry coupled with retention indices[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(13): 268-273.
- [33] 郑茵. 咸蛋黄脂肪酸和挥发性成分的分析研究[D]. 广东: 华南农业大学, 2011: 40.
ZHENG Y. Analysis of fatty acids and volatile components of salted egg yolk [D]. Guangdong: South China Agricultural University, 2011: 40.
- [34] 潘柯伊, 杜方敏, 陈述文, 等. 气相离子迁移谱分析市售燕盏挥发性物质成分[J]. 食品工业科技, 2020, 41(12): 251-255.
PAN K Y, DU F M, CHEN S W, et al. Analysis of volatile substances in bird's nest by GC-IMS technique[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(12): 251-255.

(上接第 18 页)

- [17] 陈春. 桑葚多糖的结构鉴定、活性评价及其体外消化降解[D]. 广州: 华南理工大学, 2018: 78-80.
CHEN C. Structural identification, biological activities evaluation, digestion and fermentation in vitro of polysaccharides from *Fructus mori*[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2018: 78-80.
- [18] 黄诗铭. 龙须菜多糖调节脂质代谢及肠道菌群功效研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2019: 29-31.
HUANG S M. Regulating lipid metabolism effect and modulation on intestinal microfloras of polysaccharide extracted from *Gracilaria lemaneiformis*[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2019: 29-31.
- [19] 胥振国, 蔡玉华, 刘修树, 等. 双歧杆菌研究进展及应用前景[J]. 中国生物制品学杂志, 2017, 30(2): 215-220.
XU Z G, CAI Y H, LIU X S, et al. Research progress and application prospect of *bifidobacterium* [J]. Chinese Journal of Biologics, 2017, 30(2): 215-220.
- [20] AHN J B, HWANG H J, PARK J H. Physiological responses of oxygen-tolerant anaerobic *Bifidobacterium longum* under oxygen [J]. Journal of Microbiology and Biotechnology, 2001, 11: 443-451.
- [21] 田芬, 陈俊亮, 霍贵成. 嗜酸乳杆菌和双歧杆菌的主代谢产物分析[J]. 中国食品学报, 2013, 13(6): 220-226.
TIAN F, CHEN J L, HUO G C. Analysis of the main metabolites of *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium* [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2013, 13(6): 220-226.