

热处理温度对鲜炖燕窝制品安全性及食用品质的影响

赵 婷, 闫雅婷, 徐菲菲, 陈茂深, 钟 芳*

(江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214122)

摘要: 燕窝作为传统的养生食品, 营养价值丰富, 但是少有关于热处理温度对燕窝制品品质影响的研究。以从中国海关进口的食用燕窝为原料, 经过不同温度的热处理制成鲜炖燕窝, 对其微生物指标、蛋白质消化率、唾液酸溶出率、感官属性进行研究。结果表明, 110 ℃及以上炖煮 30 min 的热处理强度能使燕窝在 1 个月的储藏期间符合商业无菌要求。体外模拟消化结果表明, 燕窝的唾液酸溶出率随温度升高而上升, 120 ℃时提升至 90.19%, 显著大于 100 ℃炖煮的溶出率 (46.22%) ($P < 0.05$), 115 ℃与 120 ℃热处理组的燕窝无显著差异 ($P > 0.05$)。定量描述性感官分析发现, 110 ℃和 115 ℃炖煮的燕窝具有较 100 ℃处理组更适中的硬度、顺滑度、咀嚼性、弹性及适当强度的蛋清味, 但进一步升高温度至 120 ℃会造成感官品质劣化。综上, 115 ℃炖煮 30 min 是兼具安全、营养及感官品质的鲜炖燕窝最佳热处理参数。

关键词: 热处理; 燕窝; 菌落总数; 感官描述性分析; 体外消化率

中图分类号: TS 219 文章编号: 1673-1689(2023)12-0024-08 DOI: 10.12441/spyswjs.20210705001

Effect of Heat Treatment Temperature on Safety and Edible Quality of Fresh Stewed Bird's Nest Product

ZHAO Ting, LYU Yating, XU Feifei, CHEN Maoshen, ZHONG Fang*

(School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: Bird's nest, a traditional health food with rich nutritional value, has received little research attention regarding the effect of heat treatment temperature on its product quality. In this study, the bird's nest imported through Chinese customs was used as raw material. The fresh stewed bird's nest products were prepared through heat treatments at different temperatures. The microbial indicators, *in vitro* digestion rate of protein and sialic acid, and sensory properties of edible bird's nest (EBN) products were investigated. The results indicated that EBN products showed commercial sterility during one month of storage after sterilized for 30 min at 110 ℃ and above. The results of *in vitro* simulated digestion revealed that sialic acid release rate of EBN increased significantly with the increase of temperature, reaching 90.19% at 120 ℃, significantly higher than that achieved from stewing at 100 ℃ ($P < 0.05$), which was 46.22%. There was no significant difference between EBN treated at 115 ℃ and 120 ℃ ($P > 0.05$). Quantitative descriptive sensory analysis indicated that EBN stewed at 110 ℃ and 115 ℃ exhibited moderate hardness, smoothness, chewiness, elasticity, and egg white flavor with appropriate intensity. However, further increasing the temperature to 120 ℃ caused

收稿日期: 2021-07-05 修回日期: 2021-09-23

基金项目: 国家自然科学基金项目 (32072153)。

* 通信作者: 钟芳 (1972—), 女, 博士, 教授, 博士研究生导师, 主要从事食品胶体、食品化学研究。E-mail: fzhong@jiangnan.edu.cn

sensory quality deterioration. Overall, EBN stewed at 115 °C for 30 min could provide the optimal heat treatment parameters, ensuring safety, nutrition, and sensory quality.

Keywords: heat treatment, edible bird's nest, colony count, descriptive sensory analysis, *in vitro* digestibility

燕窝是我国传统的滋补食材,食用燕窝被认为具有抗病毒、有助神经系统发育、提高婴幼儿记忆力与智力等生物学功效^[1-4]。随着健康、方便的概念逐渐成为现代饮食主流,鲜炖燕窝作为一种养生食品,因其滋补、方便即食的优点深受消费者喜爱。

燕窝中约含质量分数 60% 的蛋白质与 9%~11% 的唾液酸,是自然界中已知的唾液酸质量分数最高的食物,因此唾液酸也被称为“燕窝酸”。唾液酸学名为 N-乙酰神经氨酸,是一种九碳单糖的衍生物,广泛存在于生物体内的细胞膜糖蛋白以及脂蛋白中,在机体内发挥着重要作用,如参与细胞识别、生物膜流动等,是大脑神经节苷脂的重要组成部分,许多研究发现补充唾液酸可以促进大脑发育、提高记忆力、改善免疫力^[5]。唾液酸的形态分为游离态、聚糖结合态、蛋白质结合态,燕窝原料中的唾液酸大部分以蛋白质结合态的形式存在^[6-7],被消化、溶解后才能被进一步利用,其吸收代谢效率在很大程度上取决于唾液酸的存在形式,相对分子质量越小,吸收效率越高,而相对分子质量越大时,在肠道内滞留的时间越长。

为杀灭有害微生物及延长保质期,鲜炖燕窝产品在加工时通常采用高温高压的杀菌方式,一定强度的热处理能通过影响蛋白质变性程度进而影响燕窝蛋白质的消化效率和唾液酸的存在形态及吸收,但存在高热处理破坏燕窝感官属性的可能性。目前关于燕窝的研究主要集中在从燕窝原料提取唾液酸、验证生物活性方面^[8],少有关于热处理温度对燕窝成品微生物安全性、营养物质体外消化性及感官属性的研究。因此,以食用燕窝为原料,测定不同热处理温度制得的燕窝成品中微生物指标及贮藏期间的菌落总数,确定符合微生物安全的热处理条件。并进一步对比 100、110、115、120 °C 下分别处理 30 min 制得燕窝的主要营养成分的消化情况及感官属性,确定热处理温度对鲜炖燕窝制品安全性及食用品质的影响,为食用燕窝的营养研究与鲜炖燕窝的产业化生产工艺研究提供一定理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

燕窝:厦门市燕之屋丝浓食品有限公司;冰糖:购于超市;平板计数培养基、邻苯二胺盐酸盐:国药集团化学试剂有限公司;胃蛋白酶、胰蛋白酶:Sigma 公司;唾液酸:上海创赛有限公司;其他试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

YXQ-LS-50A 立式压力蒸汽灭菌器:上海博迅医疗生物仪器股份有限公司;CU600A 恒温水槽:上海福玛实验设备有限公司;GHP-9270 隔水式恒温培养箱:上海一恒科学仪器有限公司;SW-CJ-2FD 洁净工作台:苏州安泰空气技术有限公司;KDN-08C 数显温控消化炉:上海新嘉电子有限公司;Agilent1100 高效液相色谱系统:美国安捷伦公司;高效液相色谱仪 Waters 2695:美国 Waters 公司。

1.3 方法

1.3.1 燕窝成品的制备 准确称取 4.00 g 燕窝丝到玻璃罐头瓶中,加入 200 mL 质量浓度为 0.5 g/L 的冰糖水,泡发 1 h 后拧紧瓶盖,分别在 90、100、110、115、120 °C 炖煮 30 min,其中 90、100 °C 采用水浴加热,110、115、120 °C 采用高压蒸汽灭菌锅加热。

1.3.2 燕窝成品微生物残留分析 测定不同温度热处理后燕窝成品中微生物种类及菌落浓度,以泡发 1.5 h、不经过热处理的燕窝作为对照组。菌落总数计数培养方法参考国家标准 GB4789.2—2016。霉菌、酵母菌计数培养方法参考国家标准 GB4789.15—2016 中第一法。沙门氏菌计数培养方法参考国家标准 GB4789.4—2016。金黄色葡萄球菌计数培养方法参考国家标准 GB4789.10—2016 中第二法。大肠埃希氏菌计数培养方法参考国家标准 GB4789.38—2016 中第二法。

1.3.3 燕窝成品贮藏期微生物数量变化分析 将经过不同温度热处理的燕窝成品分别置于 4 °C 及 25 °C 条件下贮藏,并在 7、14、21、28 d 时分别取样,

对其中的菌落浓度进行测定,测定方法同 1.3.2。结果以 $\lg N$ 表示, N 为菌落浓度,单位 CFU/g。

1.3.4 燕窝成品的体外模拟消化 参照刘蓄瑾等的方法^[9],采用胃-胰蛋白酶两步消化法进行燕窝成品的体外模拟消化。首先取冷却过夜后匀浆的燕窝浆 10 g,调节 pH 至 2.0 ± 0.2 后,添加用人工胃液(SGF)溶解的 2 000 U/mL 胃蛋白酶,向体系中补加 SGF 至体系体积为 20 mL。混匀后于 37 °C 水浴锅中酶解 2 h,之后调节 pH 至 8.0~8.5,灭酶。再向体系中加入 20 mL 人工肠液(SIF),混匀后再加入用 SIF 溶解的质量浓度为 2 g/L 的胰蛋白酶,混匀,继续在 37 °C 水浴锅中反应 2 h,反应结束后在沸水浴中灭酶。分别测定胃阶段终期和肠阶段终期蛋白质与唾液酸的消化情况。

1.3.5 燕窝成品的蛋白质消化分析

1)蛋白质的消化率测定 取 5 mL 燕窝消化液,4 °C 下 14 000 r/min 离心 10 min,收集上清液,参照国标 GB5009.5—2016 用凯氏定氮法测定其中可溶性氮的质量,然后根据公式计算蛋白质消化率。

$$X = m_1 / m_2 \times 100\%$$

式中: X 为蛋白质消化率,%; m_1 为上清液中可溶性氮质量,g; m_2 为原料样品中含氮量,g。

2)蛋白质的相对分子质量测定 采用十二烷基硫酸钠-聚丙烯酰胺凝胶电泳(SDS-PAGE)分析消化过程中燕窝蛋白质相对分子质量变化。准确吸取 1 mL 上清液,与上样缓冲液(0.5 mol/L Tris-HCl, pH 6.8,含有质量分数 4% SDS、体积分数 5% β -巯基乙醇和体积分数 20% 甘油)等体积混合均匀,沸水浴 10 min,冷却后 10 000 r/min 离心 10 min,上清液即为电泳上样品。电泳采用 1 mm 凝胶板;上样量为 8 μ L;浓缩胶质量浓度为 5 g/dL,分离胶质量浓度为 10 g/dL。分离胶与浓缩胶配制参照 Huang 等的方法^[10]。

1.3.6 燕窝成品的唾液酸消化分析 参照张启伟等的方法^[11],将燕窝成品中的总唾液酸分为不溶态唾液酸与可溶态唾液酸。其中可溶态唾液酸又可分为游离态唾液酸、聚糖态唾液酸、蛋白质结合态唾液酸,分别进行测定。

唾液酸标准溶液配制:称取 100 mg 唾液酸标准品,配制成 1 g/L 的母液。将母液梯度稀释成 1、5、10、20、40、80、100 mg/L,待衍生。取标准溶液 1 mL,与等体积的 20 g/L 衍生剂邻苯二氨盐酸盐溶液

混合均匀,80 °C 水浴避光衍生 40 min。

总唾液酸的测定:将燕窝成品匀浆后,称取燕窝匀浆 5 g,加入 5 mL 体积分数 2% 的磷酸溶液于沸水浴中水解 20 min,取出后冷却,5 000 r/min 离心 10 min 得上清液,待衍生。衍生方法同标品衍生方法。

可溶态唾液酸的测定:取 5 mL 燕窝滤液的上清液,加入 5 mL 体积分数 2% 的磷酸溶液于沸水浴中水解 20 min,取出后冷却,5 000 r/min 离心 10 min 得上清液,待衍生。衍生方法同标品衍生方法。不可溶态唾液酸质量分数用总唾液酸质量分数减去可溶态唾液酸质量分数计算得出。

游离态唾液酸的测定:参照前人的方法^[12-13]并略微改动。取 1 mL 燕窝滤液的上清液,加入 20 g/L 邻苯二氨盐酸盐溶液 1 mL,40 °C 避光水浴 2 h,取出迅速冷却后,在 4 °C 冰箱内避光衍生 24 h。衍生结束后经 0.45 μ m 水系微孔滤膜过滤,准备进样。

聚糖态唾液酸的测定:将 savage 试剂^[14]与上清液按体积比 4:1 混合,振荡 5 min 后 10 000 g 离心 10 min,除去下方蛋白质层,反复提取蛋白质直至将上清液中的蛋白质除尽,待衍生。衍生方法同标品衍生方法。测得非蛋白质结合态唾液酸质量分数,聚糖态唾液酸质量分数用非蛋白质结合态唾液酸质量分数减去游离态唾液酸质量分数计算得出。

蛋白质结合态唾液酸质量分数用可溶态唾液酸质量分数减去非蛋白质结合态唾液酸质量分数计算得出。

色谱条件:色谱柱 waters symmetry C₁₈ 柱(4.6 mm×250 mm, 5 μ m);流动相:体积分数 1.0% 四氢呋喃水溶液与乙腈(体积比 95:5);荧光激发波长 230 nm,发射波长 425 nm;柱温:35 °C;流量:1.0 mL/min;进样体积:20 μ L。

1.3.7 燕窝的描述性分析 依照国标 GB/T 16291.1—2012 筛选出 10 位评价员。对燕窝描述词的建立采用快速剖面法^[15-16]。给评价员提供多种燕窝样品,评价员坐在独立的检验室里分别进行品尝后生成自己的描述词。品尝结束后汇总词汇,保留频率较高的描述词,并经过讨论删除偏好性和重复词汇,确定最终的词汇表,如表 1 所示,共建立 13 个词汇,包括 1 个外观属性、2 个滋味属性、2 个香气属性和 8 个口感属性。采用 10 点线性标度表对 4 种经过不同温度热处理的燕窝样品进行评分。

表 1 燕窝描述词及定义
Table 1 Descriptive lexicon of bird's nest with definitions

感官性质	描述词	定义及方法
外观	黄色	样品黄色的深浅
滋味	汤汁甜度	取一满勺汤汁,放入口中 3~5 s 内,汤汁甜度的最大值
	燕窝甜度	取一满勺样品,感受咀嚼时的最大甜度
香气	蛋清味	蛋清的香气
	矿物质味	矿泉水中矿物质的味道
口感	汤汁黏度	取一满勺汤汁,用嘴唇轻碰,感受汤汁离开嘴唇时,嘴唇感受到的力
	汤汁稠度	取一满勺汤汁,样品在口中流经舌头时所感受到的阻力
	硬度	取一满勺样品,用白齿咬样品感受到的力
	韧性	取一满勺样品,白齿咬到样品最大变形时所需力的大小(未咬断)
	弹性	取一满勺样品,白齿咀嚼样品后回弹的程度
	咀嚼性	取一满勺样品,样品咀嚼至可吞咽状态时的咀嚼次数
	凝聚性	取一满勺样品,样品被咀嚼后碎片的大小
	顺滑度	取一满勺样品,置于舌头上,样品离开上腭在舌面上来回流动时的顺滑感

1.4 数据统计分析

实验重复 3 次,结果表示为平均值±标准偏差,采用 SPSS 22.0 对实验数据进行统计及显著性分析,不同小写字母表示差异显著, $P<0.05$ 。

2 结果与讨论

2.1 热处理温度对燕窝残留微生物的影响

热处理既是燕窝的熟化过程,也是杀菌过程,

常见的热杀菌手段有巴氏杀菌、常压杀菌及高压蒸汽杀菌^[17]。测定经过 90、100、110、115、120 ℃热处理 30 min 的燕窝成品中微生物的残留情况,结果如表 2 所示。与对照组相比,110 ℃热处理杀菌率可以达到 100%。对 90、100 ℃热处理组(杀菌率分别为 65.79%和 92.10%)进行致病菌的测定,发现沙门氏菌、金黄色葡萄球菌、大肠埃希氏菌等致病菌的浓度仍低于 100 CFU/g,符合国家标准。

表 2 燕窝成品中的残留微生物
Table 2 Residual microorganism in EBN products

组别	菌体浓度/(CFU/g)					
	菌落总数	霉菌	酵母菌	沙门氏菌	金黄色葡萄球菌	大肠埃希氏菌
对照组	1.90×10 ³	<10	<10	—	<10	<10
90 ℃处理组	65	<1	<1	—	<1	<1
100 ℃处理组	15	<1	<1	—	<1	<1
110 ℃处理组	<1	<1	<1	—	<1	<1
115 ℃处理组	<1	<1	<1	—	<1	<1
120 ℃处理组	—	—	—	—	—	—

2.2 热处理温度对燕窝贮藏过程中微生物的影响

鲜炖燕窝属于较短保质期类食品,因此进一步评价不同热处理条件制得的燕窝在 28 d 储藏期内的菌落浓度变化。分别在 4、25 ℃条件下贮藏经过 90、100、110、115、120 ℃热处理 30 min 的燕窝成品,贮藏期间其微生物指标的变化如图 1 所示。110、115、120 ℃处理的燕窝一直未检出菌落,视为无菌。90、100 ℃热处理后,燕窝中的菌落浓度对数值(lg N)随着贮藏时间的延长而增加。热处理温度

越低,lg N 增加越快,相较于 4 ℃,25 ℃贮藏时 lg N 增加更快。在 4 ℃贮藏条件下,经 90 ℃和 100 ℃热处理的燕窝中,lg N 由原来的 1.80 和 0.60 分别增加至 5.04 和 4.97。而在 25 ℃贮藏条件下,经 90 ℃和 100 ℃热处理的燕窝在储藏 28 d 后,lg N 分别增加至 5.51 和 6.18。储藏 0~7 d,lg N 增加较明显,21 d 以后增加速度比较缓慢。温度对杀菌效果影响较大,90 ℃及 100 ℃处理 30 min 的杀菌强度并不能保证燕窝在 28 d 储藏期内的微生物安全性。

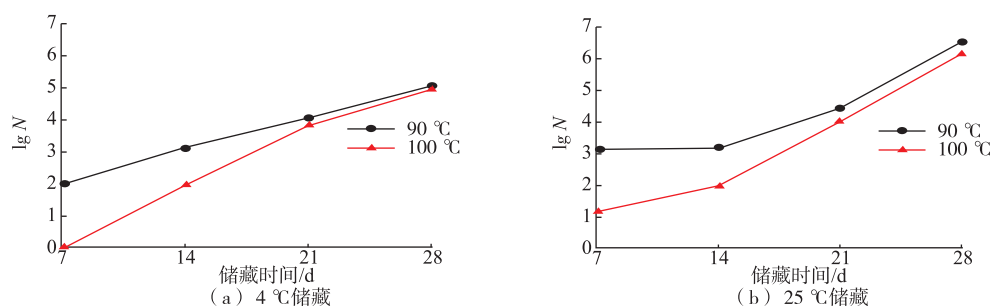


图1 热处理温度对燕窝成品贮藏过程中菌落浓度的影响

Fig. 1 Effects of heat treatments on the colony concentration of EBN products during storage

2.3 热处理温度对燕窝蛋白质消化的影响

微生物实验结果表明 110 °C 及以上的热处理温度能保证燕窝成品在保质期内的安全性,进一步对比家庭炖煮燕窝(100 °C)及工厂生产燕窝(110 °C 及以上)的热处理温度对燕窝营养物质消化性的影响。由表 3 可知,燕窝蛋白质的消化主要发生在胃阶段,0~120 min 内燕窝蛋白质的消化率提高了 20.13%~21.41%。消化后,相较于 100 °C 热处理的燕窝,120 °C 热处理的燕窝蛋白质消化率显著提高了 27.64%,热处理温度提高更有利于蛋白质热变性,燕窝蛋白质消化率随之提升,其中 115、120 °C 热处理的燕窝蛋白质消化率均为 61% 左右,无显著差异 ($P>0.05$)。

燕窝中的主要营养成分唾液酸糖蛋白是一种黏蛋白^[18],吸水后溶胀但不易溶于水,经 120 °C 处理的燕窝未消化时,蛋白质消化率也仅有 32.47%,经高温热处理后的燕窝丝仍能保持应有的均匀絮状结构,表明燕窝具有耐炖煮的加工特性。115 °C 热处理时,燕窝蛋白质体外消化率最高,为 62.71%,而实际体内消化率可能会略大于体外消化率,张丹等利用胃-胰蛋白酶两步消化法测得的中华鳖腿肉蛋白质体外消化率为 87.04%,而实际体内消化率为 96.18%^[19]。这可能是因为体外模拟消化采用的是静态消化模型,而体内消化时还存在肠胃运动带来的食团物理形态变化。

表3 热处理对燕窝体外消化过程中蛋白质消化率的影响

Table 3 Protein solubility of EBN during *in vitro* digestion

消化时间/min	消化率/%			
	100 °C处理组	110 °C处理组	115 °C处理组	120 °C处理组
0	12.11±0.27 ^a	27.06±0.56 ^c	29.06±0.41 ^d	32.47±0.65 ^d
120	36.24±0.57 ^a	47.52±0.34 ^b	47.13±1.64 ^b	49.35±1.70 ^b
240	48.26±1.56 ^a	59.37±1.21 ^b	62.71±0.20 ^c	61.60±0.60 ^c

注:每行中的上标不同字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

进一步利用 SDS-PAGE 分析燕窝蛋白质消化过程中相对分子质量变化,由图 2 可知,消化初始阶段存在许多相对分子质量大于 2.5×10^5 的大分子蛋白质,堆积在浓缩胶顶部,前人的研究结果^[20-21]也说明了该现象。这些大分子蛋白质主要在 120 min 前的胃消化阶段被消化、降解,蛋白质条带发生明显的下移。消化 120 min 后进入肠消化阶段,此时由于可溶性蛋白质几乎完全被消化,相对分子质量过低无法在 SDS-PAGE 图中显示。

对比不同热处理温度的电泳图,120 °C 热处理组比 100 °C 热处理组条带的颜色更深,代表更多蛋白质被消化后溶出。100 °C 热处理组在胃消化阶段的

蛋白质相对分子质量主要分布在 $1.0 \times 10^4 \sim 4.5 \times 10^4$ 。随着热处理温度的升高,110 °C 及以上热处理的燕窝在 $2.0 \times 10^4 \sim 2.5 \times 10^4$ 处也逐渐出现蛋白质条带,表明提高热处理温度在促进蛋白质消化溶出的同时,也促进了大分子蛋白质解聚成小分子。胃消化阶段大分子蛋白质的降解效率更大,可能是由于胃蛋白酶属于肽链内切酶,对肽键的专一性较差,可以将大分子蛋白质降解为多肽,而很难产生小分子氨基酸^[22],更高温度的热处理提高蛋白质消化率,可能是因为热处理后蛋白质变性,蛋白质内部致密的空间结构遭到破坏,更利于胃蛋白酶作用在蛋白质分子的内部^[23]。

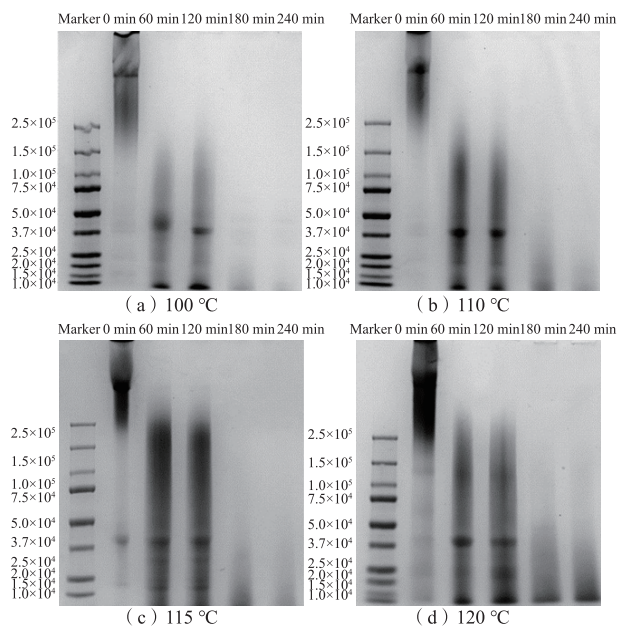


图2 体外消化过程中燕窝蛋白质相对分子质量变化

Fig. 2 Changes in Relative Molecular weight of EBN protein during *in vitro* digestion

2.4 热处理温度对燕窝唾液酸溶出的影响

燕窝原料中含质量分数 9%~11% 的唾液酸,极少为游离态^[24],与蛋白质结合的唾液酸在燕窝制品的热加工过程中稳定性高,并不会发生唾液酸链的分解,但热处理会显著提升燕窝中蛋白质的消化性,因此进一步评估经过不同温度热处理的燕窝中唾液酸的溶出情况,消化过程中唾液酸形态分布如图 3 所示。结果表明,在体外模拟消化的过程中,唾液酸不断被释放出来,而唾液酸的溶出主要集中在胃消化阶段,在肠消化阶段游离态唾液酸质量分数保持稳定,但是会发生部分蛋白质结合态唾液酸转变为聚糖态唾液酸的变化。经过 120 °C 热处理的燕窝在消化终点时(240 min)共有质量分数 90.19% 的唾液酸溶出,115、120 °C 处理后的燕窝唾液酸溶出率无显著差异($P>0.05$),均显著大于 100 °C 热处理燕窝的唾液酸溶出率(质量分数 46.22%)($P<0.05$)。高温促进消化过程中总唾液酸溶出的同时也促进了游离态、聚糖态唾液酸的溶出。100 °C 热处理的燕窝经 240 min 体外消化后仅产生质量分数 11.67% 的游离态唾液酸与 10.83% 的聚糖态唾液酸,而 120 °C 热处理 30 min 后,这两种形态唾液酸的质量分数显著增大到 26.58% 与 49.45% ($P<0.05$)。

高温热处理对燕窝唾液酸溶出的促进作用,可能是热处理促进了大分子唾液酸糖蛋白的消化,从

而增加了游离态、聚糖态等相对分子质量更小的唾液酸。游离态唾液酸在体内可被直接吸收,而唾液酸聚糖态的形式可能有利于避免单体唾液酸的热分解,同时唾液酸连接糖链后相对分子质量增大,延缓了唾液酸的溶出^[25]。115 °C 及以上热处理的燕窝经过消化后,接近 50% 的唾液酸以聚糖态唾液酸形式存在,是更利于人体吸收的唾液酸存在形态分布^[26]。

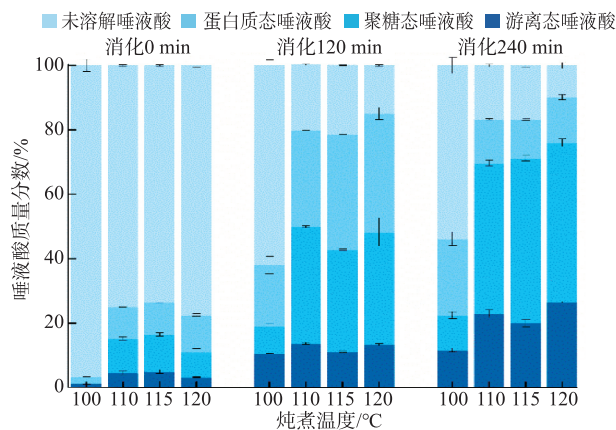


图3 热处理对体外消化过程中燕窝唾液酸形态分布的影响

Fig. 3 Effect of heat treatment on the distribution of sialic acid in EBN during *in vitro* digestion

2.5 燕窝的感官描述性分析

提高热处理温度对燕窝微生物安全性及消化性能的促进作用已得到证明。感官蛛网图能以最直观清晰的形式反映各样品在不同属性上的强度差异^[27-28]。经过不同条件热处理的燕窝感官蛛网图显示(见图 4),随着热处理温度的增大,燕窝汤汁的黏度和稠度明显增大,颜色变黄,呈现出燕窝汤汁特有的浓稠、饱满口感。在质构属性方面,热处理温度上升使燕窝丝凝聚性、顺滑度增大的同时,呈现硬

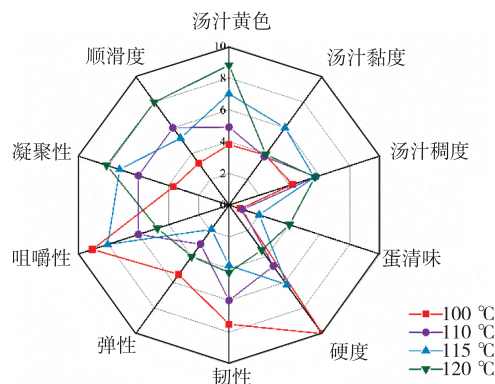


图4 不同条件热处理后的燕窝蛛网图

Fig. 4 Spider plots of EBN with different heat treatments

度、韧性、弹性及咀嚼性下降的现象,推测这一变化可能与热处理过程中燕窝蛋白质变性、燕窝丝吸水溶胀及部分蛋白质溶出有关。此外,燕窝是一种高蛋白质食物,经炖煮后呈现特有的蛋清味,随着热处理温度增大,燕窝产生的蛋清味分值由 100 ℃的 0.75 显著增大到 120 ℃的 4.00 ($P<0.05$)。

在以往的研究中发现,消费者更偏好絮状均匀分布,口感偏脆,且具有一定咀嚼性的燕窝丝^[29],相较于 120 ℃热处理后明显变软的燕窝丝,110 ℃及 115 ℃热处理后得到的燕窝丝可能拥有更受消费者喜爱的质构属性与强度适中的蛋清味。

3 结 语

探讨了不同热处理温度制得燕窝成品的微生物

安全性,并对比了其消化性能与感官属性。结果表明,110 ℃及更高温度下炖煮 30 min 的燕窝可以达到商业无菌的要求,并保证其在 1 个月储藏期内的微生物安全性,相较于 100 ℃隔水炖煮燕窝,110 ℃及更高温度热处理的燕窝体外消化性能更好,经 110、115 ℃处理的燕窝顺滑度、咀嚼性、弹性等质构属性评分处于中位,在口感方面表现更好,并拥有强度适中的蛋清味。综合考虑微生物安全性、主要营养成分的消化性及感官属性,115 ℃炖煮 30 min 的热处理条件最佳。同时,高温热处理后燕窝丝仍能保持条状形态。今后应进一步探究燕窝耐炖煮的加工特性与其黏蛋白的结构特性间的联系。

参考文献:

- [1] 陈念,刘鹏,王聆邈,等. 燕窝生物活性及质量标准研究进展[J]. 生物技术通讯,2013,24(1):143-146.
CHEN N, LIU P, WANG L L, et al. Researches on the bio-active components in edible bird's nest[J]. *Letters in Biotechnology*, 2013, 24(1): 143-146. (in Chinese)
- [2] VARGHESE J N, COLMAN P M, VAN DONKELAAR A, et al. Structural evidence for a second sialic acid binding site in avian influenza virus neuraminidases[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1997, 94(22): 11808-11812.
- [3] MAHAQ O, PRAMELI M A, JAOIEDWARD M, et al. The effects of dietary edible bird nest supplementation on learning and memory functions of multigenerational mice[J]. *Brain and Behavior*, 2020, 10(11): e01817.
- [4] DAUD A N, YUSOP M S, JOE S L, et al. Physicochemical properties of glycan extracted from swiftlet's edible bird nest (genus *Collocalia*) and its potential as prebiotic component[J]. *AIP Conference Proceedings*, 2019, 2111: 1-5.
- [5] ZHANG Y D, IMAM M U, ISMAIL M. *In vitro* bioaccessibility and antioxidant properties of edible bird's nest following simulated human gastro-intestinal digestion[J]. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 2014, 14: 468.
- [6] SHIM E K S, CHANDRA G F, PEDIREDDY S, et al. Characterization of swiftlet edible bird nest, a mucin glycoprotein, and its adulterants by Raman microspectroscopy[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2016, 53(9): 3602-3608.
- [7] 于海花,徐敦明,周昱,等. 燕窝的研究现状[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(1): 197-206.
YU H H, XU D M, ZHOU Y, et al. Research status of the edible bird's nest[J]. *Journal of Food Safety and Quality*, 2015, 6(1): 197-206. (in Chinese)
- [8] 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.
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. (in Chinese)
- [9] 刘蕾瑾,胡志和,刘军军,等. 超高压和热杀菌对黄金贝可消化性和食用品质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(7): 72-77.
LIU X J, HU Z H, LIU J J, et al. Effect of ultra high pressure and thermal sterilization on digestibility and eating quality of golden scallop[J]. *Food Science*, 2016, 37(7): 72-77. (in Chinese)
- [10] HUANG S, ZHAO L M, CHEN Q M, et al. Physicochemical characteristics of edible bird's nest proteins and their cooking processing properties[J]. *International Journal of Food Engineering*, 2018, 14(3): 1-10.
- [11] 张启伟,郑琦. 基于色谱法与质谱法分析唾液酸的衍生方法的研究进展[J]. 色谱, 2019, 37(12): 1261-1267.
ZHANG Q W, ZHENG Q. Advances in derivatization for the analysis of sialic acids by chromatography and/or mass spectrometry [J]. *Chinese Journal of Chromatography*, 2019, 37(12): 1261-1267. (in Chinese)

- [12] SAMRAJ A N, PEARCE O M T, LÄUBLI H, et al. A red meat-derived glycan promotes inflammation and cancer progression[J]. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, 2015, 112(2): 542-547.
- [13] LI C, LIU L B, XIE H L, et al. Determining Neu5Ac in infant formula with ultra-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry[J]. **International Journal of Dairy Technology**, 2015, 68(2): 166-173.
- [14] 郭智高, 翁少伟, 唐文迪, 等. 黑木耳多糖几种脱蛋白方法的对比研究[J]. 食品工业, 2018, 39(6): 54-58.
WU Z G, WENG S W, TANG W D, et al. Comparative study on several methods of protein removal from *Auricularia auricula* polysaccharides[J]. **The Food Industry**, 2018, 39(6): 54-58. (in Chinese)
- [15] 李灿, 钟芳, 李玥. 改善即食燕窝感官品质的渗透脱水工艺研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(4): 158-163.
LI C, ZHONG F, LI Y. Study on osmotic dehydration technology for improving sensory quality of instant bird's nest[J]. **Food and Machinery**, 2017, 33(4): 158-163. (in Chinese)
- [16] LAWLESS H T. Descriptive analysis of complex odors: reality, model or illusion? [J]. **Food Quality and Preference**, 1999, 10(4): 325-332.
- [17] 高学玲, 刘佳, 周巍, 等. 两种杀菌条件下蓝莓汁储藏品质变化及动力学研究[J]. 食品与生物技术学报, 2013, 32(10): 1063-1069.
GAO X L, LIU J, ZHOU W, et al. Quality changes and kinetics of thermal and microwave processed blueberry juice during storage[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2013, 32(10): 1063-1069. (in Chinese)
- [18] HANISCH F G, UHLENBRUCK G. Structural studies on O- and N-glycosidically linked carbohydrate chains on *Collocalia mucin* [J]. **Hoppe-Seyler's Zeitschrift Fur Physiologische Chemie**, 1984, 365(2): 119-128.
- [19] 张丹, 王锡昌. 中华鳖腿肉蛋白质体内外消化研究[J]. 食品科学, 2014, 35(21): 113-117.
ZHANG D, WANG X C. Digestibility *in vitro* and *in vivo* of Chinese soft-shelled turtle protein[J]. **Food Science**, 2014, 35(21): 113-117. (in Chinese)
- [20] LEE T H, WANI W A, KOAY Y S, et al. Recent advances in the identification and authentication methods of edible bird's nest [J]. **Food Research International**, 2017, 100: 14-27.
- [21] MA F C, LIU D C. Sketch of the edible bird's nest and its important bioactivities[J]. **Food Research International**, 2012, 48(2): 559-567.
- [22] 何莉媛, 吴伟, 吴晓娟, 等. 米糠贮藏时间对米糠蛋白体外胃蛋白酶消化性质及其消化产物抗氧化性的影响[J]. 中国油脂, 2017, 42(11): 70-74.
HE L Y, WU W, WU X J, et al. Effects of rice bran storage time on *in vitro* pepsin digestibility of rice bran protein and antioxidant activity of rice bran protein hydrolysates[J]. **China Oils and Fats**, 2017, 42(11): 70-74. (in Chinese)
- [23] 王军, 王忠合, 骆宝. 热处理对猪肉中蛋白质体外消化率及 5-羟甲基糠醛形成的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(16): 79-82.
WANG J, WANG Z H, LUO B. Effect of heating treatment on *in vitro* digestibility of protein and 5-hydroxymethylfurfural formation in pork meat[J]. **Science and Technology of Food Industry**, 2017, 38(16): 79-82. (in Chinese)
- [24] WONG C F, CHAN G K L, ZHANG M L, et al. Characterization of edible bird's nest by peptide fingerprinting with principal component analysis[J]. **Food Quality and Safety**, 2017, 1(1): 83-92.
- [25] LACOMBA R, SALCEDO J, ALEGRÍA A, et al. Sialic acid (N-acetyl and N-glycolylneuraminic acid) and ganglioside in whey protein concentrates and infant formulae[J]. **International Dairy Journal**, 2011, 21(11): 887-895.
- [26] CHANG R, YANG B W, ZHU Q J. Theoretical studies on the electronic structure parameters and reactive activity of Neu5Gc and Neu5Ac under food processing solvent environment[J]. **Molecules**, 2019, 24(2): 313.
- [27] 刘登勇, 董丽, 谭阳, 等. 食品感官分析技术应用及方法学研究进展[J]. 食品科学, 2016, 37(5): 254-258.
LIU D Y, DONG L, TAN Y, et al. Methodology and application of sensory evaluation technology in food science[J]. **Food Science**, 2016, 37(5): 254-258. (in Chinese)
- [28] 丛懿洁, 马蕊. 基于地域喜好差异的常温酸奶关键感官属性优化[J]. 现代食品科技, 2021, 37(4): 292-301.
CONG Y J, MA R. Optimization of key sensory properties of sterilized yogurt based on regional preference[J]. **Modern Food Science and Technology**, 2021, 37(4): 292-301. (in Chinese)
- [29] 戴洁, 李耿, 梁月亮, 等. 燕窝“发头”测定方法的优化及其在质量评价中的应用[J]. 医学研究杂志, 2014, 43(10): 46-48.
DAI J, LI G, LIANG Y L, et al. Establish bird's nest 'fatou' measurement method to evaluate the quality of bird's nest standards [J]. **Journal of Medical Research**, 2014, 43(10): 46-48. (in Chinese)