

文章编号: 1674-5566(2023)04-0852-13

DOI:10.12024/jsou.20220603888

## 不同热加工方式对翼柄柔鱼品质的影响

宁海花<sup>1</sup>, 孔姗姗<sup>1</sup>, 褚福于<sup>1</sup>, 刘志杰<sup>1</sup>, 宋益善<sup>1</sup>, 赖克强<sup>1,2</sup>

(1. 上海海洋大学 食品学院, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 食品热加工工程技术研究中心, 上海 201306)

**摘要:** 探究煮制、油炸、烤制 3 种热加工方式对翼柄柔鱼 (*Sthenoteuthis pteropus*) 色泽、质构、硫代巴比妥酸值、生物胺及挥发性组分等指标的影响。结果表明: 热加工处理后, 翼柄柔鱼色泽发生明显改变, 油炸处理组色泽与其他处理组差异性显著; 鱿鱼的硬度和咀嚼性发生了显著变化, 煮制与其他处理组相比, 弹性存在显著差异; 样品经不同热加工方式后的氧化程度: 煮制 > 油炸 > 烤制。热加工对 6 种生物胺的影响存在差异: 亚精胺、酪胺及精胺总体含量较低, 差异不显著; 生鲜鱿鱼中组胺含量为 (3.23±0.20) mg/kg, 经热加工分别增加了 1.29 倍(煮制)、3.68 倍(油炸)、2.89 倍(烤制)。采用 SPME-GC-MS 方法对生鲜、煮制、油炸、烤制翼柄柔鱼进行挥发性化合物检验, 分别检出 46、52、61、70 种挥发性化合物。不同热加工方式对翼柄柔鱼色泽、质地、风味等食用品质的影响存在差异。研究结果为鱿鱼的热加工提供了理论指导。

**关键词:** 翼柄柔鱼; 热加工方式; 生物胺; 挥发性组分; 品质

**中图分类号:** TS 254.4 **文献标志码:** A

鱿鱼是一种富含蛋白质的头足类动物, 被认为是目前最重要的海产品之一<sup>[1]</sup>。因鱿鱼具有高营养价值及良好风味, 需求量逐渐增加, 2021 年中国鱿鱼的远洋捕获量已高达 29.57 万 t<sup>[2]</sup>。在我国, 鱿鱼常见的家庭烹饪方法包括煮制、油炸和烤制, 热加工不仅可以增加食用水产品的安全性, 还能赋予水产品良好的色泽、质地及特定的风味<sup>[3-4]</sup>。

由于时间、温度、传热介质等的差异, 不同热加工方式对鱼肉品质产生不同的影响。赵洪雷等<sup>[5]</sup>发现海鲈鱼肉蒸制过程中硬度和咀嚼度先下降后又显著增大, 而弹性先升高后降低; 蒸制后鱼肉的 L\* 值和 b\* 值显著升高, a\* 值显著降低。姜万舟<sup>[6]</sup>对鳙 (*Aristichys nobilis*) 鱼块进行热加工后发现, 微波处理组的脂质氧化程度最高, 其次为烤制和水煮, 油炸处理组最低。李锐等<sup>[7]</sup>研究表明, 经 3 种热处理(汽蒸、水煮、空气炸)后的罗非鱼, 挥发性物质均存在显著性差异。热处理在满足人们对食品口感和风味需求的同时, 也可能

导致食品有害物质(杂环胺、丙烯酰胺、生物胺)的累积。生物胺是一类含氮的碱性低分子量有机化合物, 广泛存在于食品中<sup>[8]</sup>。生物胺的过量积累对食品风味和人体健康均有不利影响<sup>[9]</sup>。生物胺对鱿鱼鲜度的指示作用及潜在毒性作用已引起了大量研究者的关注, 研究主要集中在储藏、运输、保鲜以及制品的加工与包装等方面。ZHANG 等<sup>[10-11]</sup>研究了不同储藏温度及盐处理对鱿鱼的生物胺及挥发性组分的影响, 结果表明盐处理能够抑制生物胺的积累及抑制异味挥发性化合物的产生。敖晓林等<sup>[12]</sup>通过研究不同包装材料对烤制鱿鱼品质的影响, 发现铝箔包装更合适烤制鱿鱼储藏。目前, 对于鱿鱼在不同热处理中生物胺含量变化及风味差异的研究鲜少。本研究以新鲜翼柄柔鱼 (*Sthenoteuthis pteropus*) 为对照, 探究了煮制、油炸及烤制 3 种热加工方式对其色泽、质地、生物胺及挥发性组分的变化规律, 比较不同加热方式对翼柄柔鱼品质的影响。

收稿日期: 2022-06-04

修回日期: 2022-06-24

基金项目: 十三五国家重点研发计划项目(2017YFC1600706)

作者简介: 宁海花(1997—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品质量与安全。E-mail: ning12090811@163.com

通信作者: 赖克强, E-mail: kqlai@shou.edu.cn

版权所有 ©《上海海洋大学学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)

Copyright © Editorial Office of Journal of Shanghai Ocean University (CC BY-NC-ND 4.0)

<http://www.shhydx.com>

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

大西洋翼柄柔鱼[体质量为(1 500±200) g]捕获后置于-35℃平板快速冷冻,随后转至于(-2±2)℃中保存。鱿鱼用碎冰处理后置于泡沫箱中,通过冷链车运送至实验室。

亚精胺二盐酸盐、尸胺二盐酸盐、腐胺二盐酸盐、酪胺二盐酸盐、组胺二盐酸盐和精胺二盐酸盐均为分析纯,购自 Sigma 化学公司(美国);2,4,6-三甲基吡啶(纯度 99%),液相色谱纯乙腈和甲醇、丹磺酰氯(纯度 98%),购自百灵威化工有限公司(中国);所有其他化学品和试剂均为分析纯,购自中国国药化学试剂有限公司。

### 1.2 仪器与设备

Agilent GC 7890 气相色谱仪,Agilent MS 5977 质谱仪,Agilent 1260 型高效液相色谱仪,安捷伦科技有限公司;色差仪 CR400, KONICA MINOLTA,日本;TA-XT 质地分析仪,Stable Micro Systems,Surrey UK;TJE12 搅拌机,浙江绍兴苏泊尔生活电器有限公司;MG38CB-AA 烤箱,芜湖美的厨房电器制造有限公司;DF-101S 型集热式恒温加热磁力搅拌器,中国上海聚坤仪器设备有限公司。

### 1.3 样品预处理

冷冻翼柄柔鱼样品于(4±1)℃下解冻 12 h,再流水解冻 30 min。对样品进行去皮、去内脏和去触须,将肉样切成 3.0 cm×2.0 cm×0.7 cm 的鱼片,洗净,擦干鱼片表面多余的水分。将鱼片随机分为 4 组:(1)对照组:新鲜鱿鱼;(2)煮制组:样品在沸水浴中加热 10 min;(3)油炸组:样品置于 180℃的油炸锅中加热 3 min,油炸过程中不停翻转鱼样;(4)烤制组:样品置于 200℃的烤箱中,两面加热,烤制 10 min。

待样品冷却,除去样品表面多余的油渍,并进行色泽和质构测定,随后将样品放入搅拌机中绞碎,每次绞制时间为 6 s,共绞制 2~3 次。将处理好的样品进行下述指标的测定,对每个样品进行 3 次平行测试参数的分析,共重复 2 次。

### 1.4 色泽测定

用色差仪测定样品的色差值 L\*(亮度),a\*(红色/绿色)和 b\*(黄色/蓝色),在样品测定前进行白板校正。每组重复 3 次,取平均值。

### 1.5 质构测定

根据刘妙等<sup>[13]</sup>的方法,并作修改。采用物性分析仪进行质构测定,使用 P/50 探头,回程距离为 30 mm,测前速率为 2.00 mm/s,检测速率为 1.00 mm/s,测后速率为 2.00 mm/s,形变量为 50%,起始力为 6.00 g。每个样品重复测定 6 次,取平均值。

### 1.6 硫代巴比妥酸值的测定

硫代巴比妥酸值(Thiobarbituric acid reactive substances, TBARs)的测定参考 GB 5009.181—2016<sup>[14]</sup>的方法,并略作修改。取(5.0±0.1)g 已经完全搅碎的样品,加入 10 mL 7.5%三氯乙酸(含有 0.1%没食子酸丙酯和 0.1%乙二胺四乙酸二钠)并进行均质。将均质液过滤,取 5 mL 滤液与 5 mL 0.02 mol/L 2-硫代巴比妥酸混匀并于 90℃的水浴中反应 40 min。在冰水浴中冷却后,用紫外可见分光光度计在 532 nm 波长处测量吸光度。

### 1.7 生物胺测定

翼柄柔鱼中生物胺的提取、衍生及测定方法参考 ZHANG 等<sup>[10]</sup>的方法,并略作修改。采用高效液相色谱法进行测定,以 0.1 mol/L 乙酸铵(溶剂 A)和乙腈(溶剂 B)为二元溶液洗脱生物胺。梯度洗脱程序:0 min,55% B;7 min,50% B;25 min,90% B;30 min,95% B;35 min,55% B。

### 1.8 挥发性组分含量测定

参考 ZHANG 等<sup>[11]</sup>的方法,并略作修改。称取(2.0±0.1)g 鱿鱼鱼片样品放入 20 mL 的顶空瓶中,用聚四氟乙烯/硅胶隔膜和钳口盖密封。将 65 μm 的 PDMS/DVB-SPME 萃取头插入隔膜,暴露于顶空瓶中,提取各挥发物。萃取温度 60℃,平衡时间 15 min,萃取时间 30 min。待萃取结束,抽取萃取头插入 GC-MS 进样口,250℃解吸 5 min。气相色谱的升温程序:初始柱温 35℃,保留 5 min,以 3℃/min 升至 60℃,保留 1 min,随后以 4℃/min 升至 160℃,再以 8℃/min 升至 230℃,保留 8 min。质谱条件:采用 EI 离子源作为电离方式,电子能量 70 eV,离子源温度为 230℃,四极杆温度 150℃;质量扫描范围:35~550 m/z,溶剂延迟时间 2 min。

### 1.9 数据处理

采用 Origin 2019 和 SPSS 22.0 进行数据处理。基于单因素方差分析(One way ANOVA)中的 Duncan 氏检验法分析不同数据间是否存在显

著性差异,  $P < 0.05$  表示差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同热加工方式对翼柄柔鱼色泽的影响

色泽是食品的外观指标,它影响着人们对产品的接受度。翼柄柔鱼在加工过程中会发生蛋白质变性、脱水、脂肪氧化等一系列反应,导致鱿鱼表面颜色发生变化,影响食用品质。由表1可知,  $L^*$  值与  $b^*$  值在热加工处理组之间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

与生鲜组相比,煮制、烤制翼柄柔鱼  $L^*$  值分别增加了 29.91% 和 19.78%,在煮制、烤制过程中鱿鱼的球蛋白被破坏,颜色变浅,使其对光线的反射能力增强,导致  $L^*$  值增加。这与文献[7]报道的研究结果一致。油炸组  $L^*$  值显著降低,可能是油炸过程发生了美拉德反应,生成了棕色物质导致样品表面亮度降低。 $a^*$  为红绿值,此值为正且数值越大,颜色越红。经煮制和烤制后鱿鱼中的  $a^*$  值均没有显著变化,而煮制后的  $a^*$  值有略微的下降,可能与亚铁肌红蛋白受热氧化后变成高铁肌红蛋白有关<sup>[7]</sup>;油炸翼柄柔鱼  $a^*$  值显著高于与其他组 ( $P < 0.05$ ),主要是由于油炸导致的表面褐变,样品红度增加。 $b^*$  值升高视觉上体现为鱼片变黄。不同处理组之间的  $b^*$  值均存在显著差异 ( $P < 0.05$ ),其中油炸组最高, $b^*$  值为  $43.70 \pm 1.03$ ,之后依次为烤制组、煮制组和生鲜组。油炸处理的鱼片表面颜色变化与美拉德反应和焦糖化反应有关,表面为黄褐色。

表1 不同热加工方式对翼柄柔鱼色泽的影响

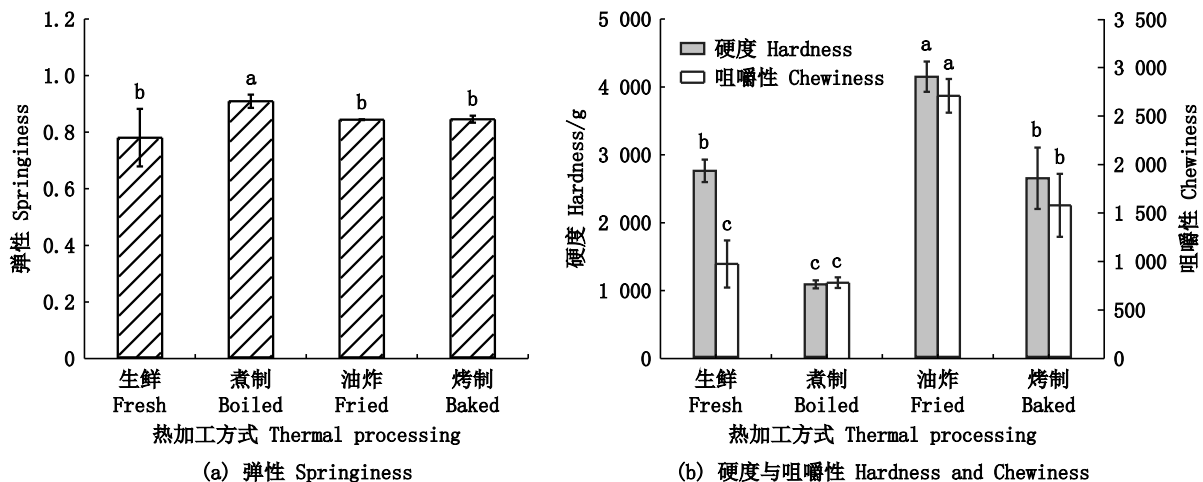
Tab.1 Effect of different thermal processing methods on coloration of *Sthenoteuthis pteropus*

加工方式 Processing methods	明暗度 $L^*$	红绿色 $a^*$	黄蓝色 $b^*$
生鲜 Fresh	$66.87 \pm 0.71^c$	$-2.51 \pm 0.24^b$	$-1.84 \pm 0.43^d$
煮制 Boiled	$86.87 \pm 0.50^a$	$-2.11 \pm 0.30^b$	$11.74 \pm 0.28^c$
油炸 Fried	$56.93 \pm 0.88^d$	$14.55 \pm 0.33^a$	$43.70 \pm 1.03^a$
烤制 Baked	$80.10 \pm 1.21^b$	$-2.83 \pm 0.41^b$	$18.72 \pm 4.28^b$

注:不同字母表示不同热加工方式间存在显著性差异 ( $P < 0.05$ )。Notes: Different letters indicates significant differences between different thermal processing methods ( $P < 0.05$ ).

### 2.2 不同热加工方式对翼柄柔鱼质构特性的影响

质构特性是评价热加工肉制品质量的重要指标之一,其值与样品自身条件和生产加工条件的密切相关。如图1所示,油炸样品硬度为 ( $4150.60 \pm 224.12$ ) g,咀嚼性为 ( $2707.81 \pm 174.12$ ),与其他组处理存在显著差异 ( $P < 0.05$ )。翼柄柔鱼片在高温油炸时,表层快速升温发生脱水,导致肌内膜和肌胶束发生纵向及横向变性收缩<sup>[15-16]</sup>,鱼块的外壳增厚,导致硬度与咀嚼性增加。相对其他组,煮制的硬度显著降低。这可能是由于水煮更能破坏维持蛋白质空间结构的化学键,细胞之间的结合力降低,肉质变软,硬度变小,咀嚼所需的力变小。不同热加工方式下,翼柄柔鱼片弹性差异并不显著,主要由于这3种热加工方式的中心温度均只达到  $70^\circ\text{C}$ ,肌肉蛋白热变性程度不大,因此保持了较好的弹性。



不同字母表示不同热加工方式间存在显著性差异 ( $P < 0.05$ )。

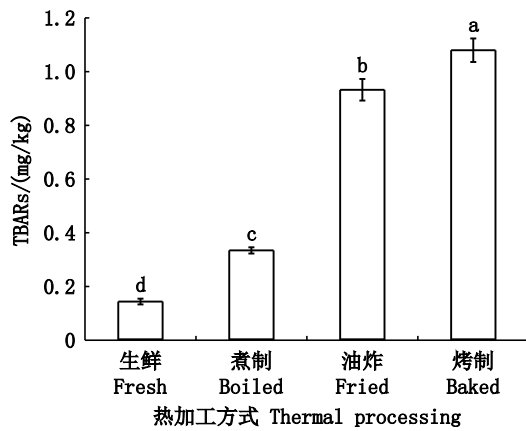
Different letters indicate significant differences between different thermal processing methods ( $P < 0.05$ ).

图1 不同热加工方式对翼柄柔鱼质构特性的影响

Fig.1 Effects of different thermal processing methods on texture properties of *Sthenoteuthis pteropus*

### 2.3 不同热加工方式对翼柄柔鱼 TBARs 的影响

不同热加工方式对翼柄柔鱼 TBARs 的影响如图 2 所示,生鲜样品的氧化程度较低, TBARs 值为  $(0.14 \pm 0.01)$  mg/kg, 鱿鱼的脂肪含量较低, 生鲜样品中 TBARs 值一般也低于其他水产品<sup>[17]</sup>。3 种热加工方式均提高了翼柄柔鱼的 TBARs 值 ( $P < 0.05$ ), 经煮制、油炸及烤制后 TBARs 值分别达到了  $(0.33 \pm 0.01)$ 、 $(0.93 \pm 0.04)$ 、 $(1.08 \pm 0.04)$  mg/kg。鱼片在热加工处理下脂质膜系统被破坏, 促进促氧化剂与不饱和脂肪酸的相互反应, 从而产生自由基, 加快脂质氧化反应的进行<sup>[18]</sup>。RUBEN 等<sup>[19]</sup> 也发现热加工会促进马驹肉 TBARs 值的增加。



不同字母表示不同热加工方式间存在显著性差异 ( $P < 0.05$ )。Different letters indicate significant differences between different thermal processing methods ( $P < 0.05$ ).

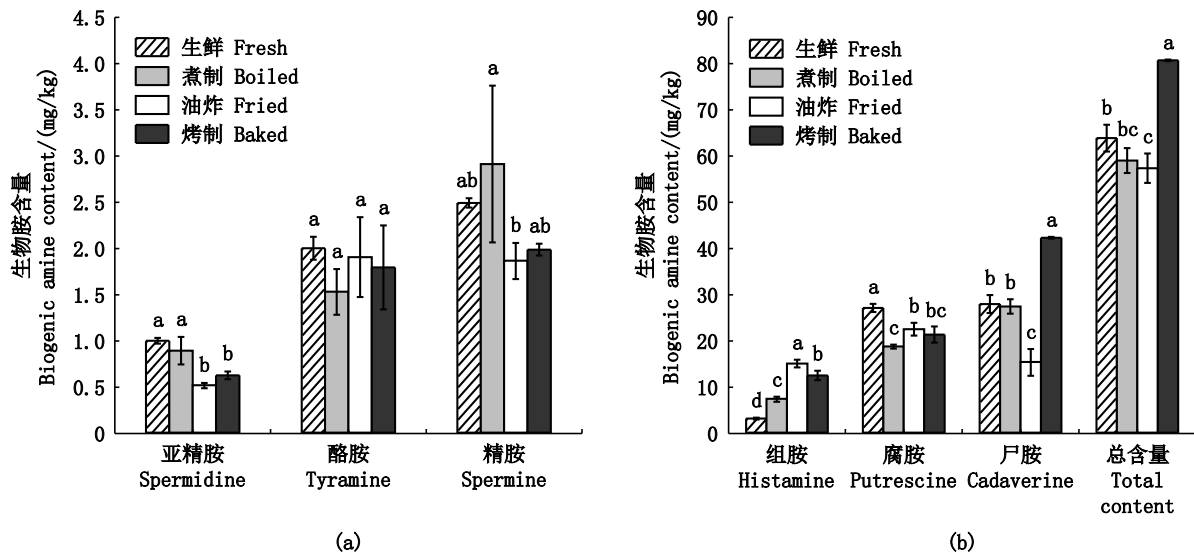
图 2 不同热加工方式对翼柄柔鱼 TBARs 值的影响  
Fig. 2 Effect of different thermal processing methods on the TBARs of *Sthenoteuthis pteropus*

### 2.4 不同热加工方式对翼柄柔鱼生物胺的影响

由图 3 可知: 6 种生物胺在各处理组中均被

检出。生鲜翼柄柔鱼中, 亚精胺、酪胺和精胺含量都处于较低水平 [亚精胺:  $(0.52 \pm 0.03) \sim (1.00 \pm 0.03)$  mg/kg; 酪胺:  $(1.50 \pm 0.10) \sim (2.00 \pm 0.12)$  mg/kg; 精胺:  $(1.46 \pm 0.21) \sim (2.91 \pm 0.85)$  mg/kg], 这与李颖畅等<sup>[20]</sup> 研究阿根廷鱿鱼生物胺在贮藏初期结果一致。热加工处理后, 腐胺含量显著降低 ( $P < 0.05$ )。图 3b 中, 生鲜样品中腐胺含量为  $(27.16 \pm 0.87)$  mg/kg, 经热加工, 腐胺含量降低, 且煮制组降低最为显著, 可能是由于蒸煮损失导致腐胺含量相对减少。腐胺是通过将谷氨酸和精氨酸转化为鸟氨酸, 然后脱羧而形成的。翼柄柔鱼中生鲜组腐胺含量较高, 可能也与样品本身游离氨基酸含量较高有关。生鲜鱼样中组胺含量为  $(3.23 \pm 0.20)$  mg/kg, 经煮制, 油炸, 烤制处理组胺含量分别为  $(7.41 \pm 0.54)$ 、 $(15.13 \pm 0.83)$ 、 $(12.56 \pm 1.01)$  mg/kg。说明热加工促进了翼柄柔鱼中组胺的积累。

研究<sup>[21]</sup> 表明: 油炸/烤制后凤尾鱼组胺增加, 鳀鱼经干燥、烤制、煮制处理后, 其组胺含量分别增加了 200、45、2 倍。本研究中翼柄柔鱼经热加工后其组胺含量变化与上述研究一致。油炸和烤制会增加食物中的组胺水平, 而煮制对组胺的促进作用不明显, 甚至在肉类食品中还可能会降低组胺水平<sup>[21]</sup>。HIDALGO 等<sup>[22]</sup> 发现脂质氧化产物的存在使组氨酸在 pH 为 3 或 6 的模拟环境中更容易脱羧。此外, 脂质氧化产物 2,4-己二烯醛可以加速分解组氨酸最大限度地产生组胺。除了热加工发生了脂质氧化作用以外, 热加工可以通过加速细胞之间的分子转运来提高生物胺的提取效率<sup>[23]</sup>。烤制组组胺含量低于油炸组, 可能是在脂质氧化产物的影响下, 加热可能不仅促进了氨基酸脱羧<sup>[24]</sup>, 还使其转化为短链醛<sup>[25]</sup>。



不同字母表示不同热加工方式间存在显著性差异 ( $P < 0.05$ )。

Different letters indicate significant differences between different thermal processing methods ( $P < 0.05$ ).

图3 不同热加工方式对翼柄柔鱼生物胺的影响

Fig. 3 Effect of different thermal processing methods on biogenic amines of *Sthenoteuthis pteropus*

## 2.5 不同热加工方式对翼柄柔鱼挥发性组分的影响

由图4可知,4组翼柄柔鱼样品共检测出138种挥发性化合物,包括烃类32种、苯类25种、萘类12种、醛类11种、酮类10种、酚类5种、醇类4种、酯类16种、酸类4种、吡嗪类8种、含氮化合物及其他11种。生鲜翼柄柔鱼肉中鉴定出化合物46种,主要有烃类、醛类和苯类,这一结果与解薇等<sup>[26]</sup>研究结果一致,烃类是鱿鱼挥发性物质的一种特征成分。翼柄柔鱼经热加工后,挥发性物质增加到52(煮制)、61(油炸)、70种(烤制)。经煮制处理,醛类、酮类、酚类、酸类、苯类、萘类挥发性成分总含量都有显著降低;经油炸处理,醛类、酮类、酸类、酯类、醇类、萘类挥发性成分总含量显著降低,且在该处理组中检测出了大量的吡嗪类化合物;烤制处理组醛类、酮类、酚类挥发性成分总含量亦减少,酯类、烃类、苯类、萘类挥发性成分物质总含量显著增加。从挥发性成分物质保留程度来看,最优是烤制处理,油炸和煮制次之。

烃类、醇类、酸类物质由于阈值较高,对翼柄柔鱼整体风味贡献较小,但由于相互作用,对鱼肉整体风味也会产生一定影响<sup>[27]</sup>。生鲜样品中检出醇类化合物2种(总含量642.06  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )、煮制处理组检出1种(总含量487.13  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )、油炸

处理组检出1种(总含量134.89  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )以及烤制处理组检出1种(总百分含量90.68  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )。经热加工后,醇类化合物总含量显著减少,这与孙承锋等<sup>[28]</sup>研究所得到的结果一致。

酮类化合物是脂肪氧化的终产物,主要由脂肪分解、氧化生成<sup>[29]</sup>,对翼柄柔鱼风味的贡献低于醛类和醇类。各处理组检出酮类化合物种类变化不大,含量却存在显著性差异。生鲜样品4种(相对含量9.79%)、煮制3种(相对含量3.63%)、油炸6种(相对含量3.60%)以及烤制3种(相对含量1.02%)。虽然多数酮类物质阈值较大,对于翼柄柔鱼风味贡献较小,但是作为杂环类风味化合物的重要中间体,对于翼柄柔鱼风味的形成及增强均有一定的贡献。

醛类物质主要来自脂肪的氧化和蛋白质的降解<sup>[30]</sup>,阈值较低,对翼柄柔鱼风味贡献较大。由图4及表2可知,醛类化合物在不同处理组翼柄柔鱼含量均较高,生鲜样品中检测出7种,相对含量为17.18%;煮制、油炸、烤制翼柄柔鱼中分别检测出7种、7种、4种,相对含量分别为10.68%、8.89%、9.50%。熟制后翼柄柔鱼中醛类化合物的相对含量明显下降。生鲜样品及3个处理组共有挥发性物质为癸醛、壬醛、苯丙醛,是构成翼柄柔鱼产品中主要的醛类物质。壬醛主要来自油酸氧化,具有鱼腥味;癸醛具有牛酯

气味<sup>[31]</sup>。经过热加工处理,癸醛、壬醛含量降低。煮制、油炸、烤制处理后壬醛含量分别减少了40.49%、55.86%、29.43%,这可能是由于热加工处理能够抑制翼柄柔鱼中油酸的氧化从而抑制壬醛的生成。热加工温度较高也使得壬醛与氨

基酸发生美拉德反应,降低了壬醛的含量。烤制处理组中壬醛、癸醛含量均高于油炸处理组,这与烤制具有较高TBARs值一致。因此,氨基酸在加热(存在脂质氧化产物)条件下可能转化成了直链短醛<sup>[25]</sup>。

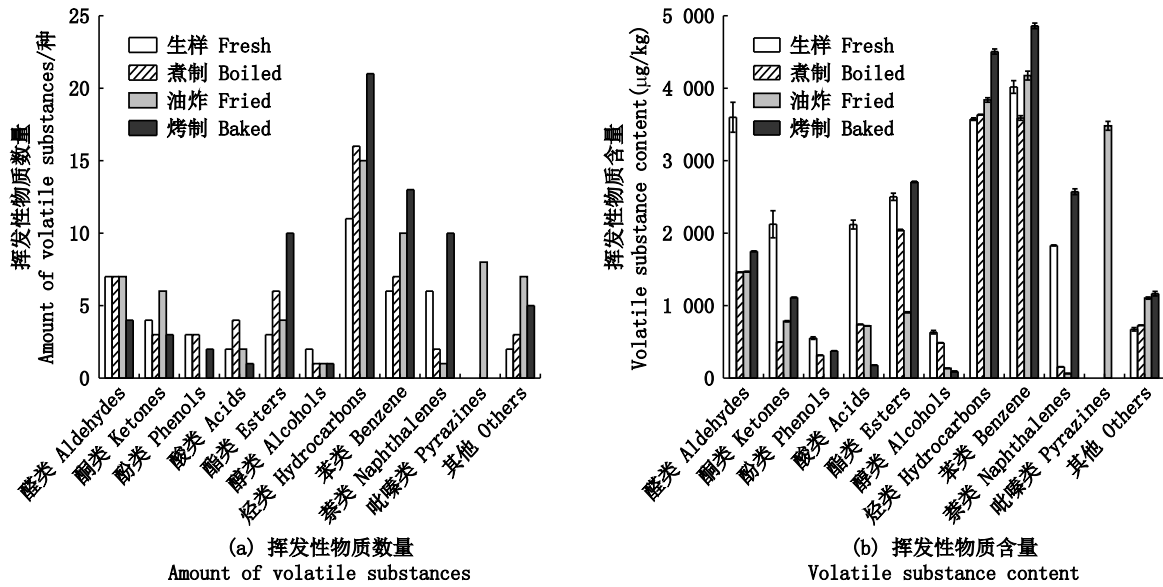


图4 不同热加工方式下翼柄柔鱼挥发性物质种类数量(a)及含量(b)变化

Fig. 4 Variations in the quantity (a) and content (b) of the volatile substances of *Sthenoteuthis pteropus* under different thermal processing methods

表2 不同热加工方式下翼柄柔鱼挥发性成分物质的含量

Tab. 2 Contents of volatile compounds in *Sthenoteuthis pteropus* under different thermal processing methods

类别 Category	化合物名称 Compound name	含量 Content/(µg/kg)			
		生鲜 Fresh	煮制 Boiled	油炸 Fried	烤制 Baked
醛类 Aldehydes	3-甲硫基丙醛 Methional	123.66±14.14 <sup>b</sup>	-	133.23±2.75 <sup>b</sup>	251.52±3.82 <sup>a</sup>
	癸醛 Decanal	1 146.75±167.37 <sup>a</sup>	295.93±4.84 <sup>b</sup>	201.63±2.51 <sup>b</sup>	306.51±3.44 <sup>b</sup>
	壬醛 Nonanal	1 281.18±150.72 <sup>a</sup>	762.42±3.41 <sup>b</sup>	565.46±4.43 <sup>c</sup>	904.17±6.01 <sup>b</sup>
	苯丙醛 Phenylpropyl aldehyde	171.92±50.34 <sup>b</sup>	52.52±0.67 <sup>d</sup>	117.82±2.76 <sup>c</sup>	286.18±5.64 <sup>a</sup>
	庚醛 Heptanal	-	20.90±0.72 <sup>b</sup>	33.73±0.47 <sup>a</sup>	-
	肉豆蔻醛 Tetradecanal	-	188.43±1.99 <sup>b</sup>	191.43±0.98 <sup>a</sup>	-
	1H-吡咯-2-甲醛 2-Formyl-1H-pyrrole	-	-	225.01±3.76	-
	十二醛 Dodecaldehyde	205.00±6.27 <sup>a</sup>	119.28±1.67 <sup>b</sup>	-	-
	4-乙基-苯甲醛 4-Ethylbenzaldehyde	155.08±12.12 <sup>a</sup>	21.15±0.85 <sup>b</sup>	-	-
	2,4-二甲基苯甲醛 2,4-Dimethyl-benzaldehyde	-	515.39±10.40	-	-
酮类 Ketones	苯乙酮 Acetophenone	146.57±34.24 <sup>a</sup>	122.65±0.92 <sup>a</sup>	86.29±4.99 <sup>b</sup>	-
	(E)-2,6-二甲基-2,6-十一碳二烯-10-酮 (E)-2,6-Dimethyl-2,6-undecadien-10-one	1 524.71±149.27 <sup>a</sup>	299.55±1.91 <sup>b</sup>	140.30±1.42 <sup>c</sup>	-
	3,3,5-三甲基-环己酮 3,3,5-Trimethylcyclohexanone	126.20±7.06	-	-	-
	7-氯-2,3-二氢-3-(4-N,N-二甲氨基苄叉)- 5-苯基-1H-1,4-苯二氮杂-2-酮 7-Chloro-2,3-dihydro-3-(4-N,N-dimethylaminobenzylidene)-5-phenyl-1H-1, 4-benzodiazepin-2-one	325.47±24.14	-	-	-

· 续表 2 ·

类别 Category	化合物名称 Compound name	含量 Content/( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )			
		生鲜 Fresh	煮制 Boiled	油炸 Fried	烤制 Baked
醛类 Aldehydes	4-羟基-苯乙酮 4-Hydroxyacetophenone	-	74.76 $\pm$ 2.11	-	-
	2-癸酮 2-Decanone	-	-	145.02 $\pm$ 1.75	-
	1-(2-氨基苯基)-乙酮 1-(2-aminophenyl)-Ethanone	-	-	85.32 $\pm$ 1.80 <sup>b</sup>	187.75 $\pm$ 4.05 <sup>a</sup>
	2-十二烷酮 2-Dodecanone	-	-	141.52 $\pm$ 2.44	-
	7,9-二叔丁基-1-氧杂螺(4,5)癸-6,9-二烯-2,8-二酮 7,9-Ditert-butyl-1-oxaspiro[4.5]deca-6,9-diene-2,8-dione	-	-	186.43 $\pm$ 3.81 <sup>b</sup>	617.60 $\pm$ 6.11 <sup>a</sup>
	4,5,7,7a-四氢-4,7-甲烷茛-6(3aH)-酮, (7CI) 4,7-Methanoinden-6(3aH)-one,4,5,7,7a-tetrahydro-(7CI)	-	-	-	307.11 $\pm$ 5.58
	2,4-二叔丁基苯酚 2,4-Di-tert-butylphenol	203.33 $\pm$ 12.65 <sup>a</sup>	135.06 $\pm$ 4.65 <sup>b</sup>	-	-
	3,4-二乙基苯酚 3,4-Diethylphenol	184.24 $\pm$ 6.29	-	-	-
	2,6-双(1,1-二甲基乙基)-4-(1-氧丙基)苯酚 2,6-Bis(1,1-dimethylethyl)-4-(1-oxopropyl)phenol	164.26 $\pm$ 5.63	-	-	315.71 $\pm$ 3.84
	3,5-双(1,1-二甲基乙基)-苯酚 3,5-Bis(1,1-dimethylethyl)-phenol	-	101.37 $\pm$ 1.40	-	59.57 $\pm$ 1.72
2-甲基-5-(1-甲基乙基)-苯酚 2-Methyl-5-(1-methylethyl)-phenol	-	78.46 $\pm$ 1.21	-	-	
酸类 Acids	十八烷酸 Octadecanoic acid	749.36 $\pm$ 2.82 <sup>a</sup>	209.31 $\pm$ 1.10 <sup>b</sup>	125.75 $\pm$ 6.00 <sup>c</sup>	-
	十六烷酸 Hexadecanoic acid	1369.11 $\pm$ 58.81 <sup>a</sup>	401.83 $\pm$ 1.24 <sup>c</sup>	595.02 $\pm$ 5.96 <sup>b</sup>	-
	苯甲酸 Benzenecarboxylic acid	-	35.36 $\pm$ 0.65	-	-
	六十九烷酸 Nonahexacontanoic acid	-	94.09 $\pm$ 2.15 <sup>b</sup>	-	178.14 $\pm$ 3.54 <sup>a</sup>
酯类 Esters	邻苯二甲酸二丁酯 Dibutyl phthalate	1298.59 $\pm$ 63.86 <sup>a</sup>	724.45 $\pm$ 3.42 <sup>b</sup>	444.74 $\pm$ 4.79 <sup>c</sup>	667.67 $\pm$ 19.7 <sup>b</sup>
	邻苯二甲酸异丁酯 Diisobutyl phthalate	937.00 $\pm$ 16.70 <sup>a</sup>	-	-	521.20 $\pm$ 9.42 <sup>b</sup>
	戊酸异丁酯 Isobutylvalerate	266.14 $\pm$ 2.90 <sup>b</sup>	-	-	276.71 $\pm$ 5.63 <sup>a</sup>
	亚硫酸十四烷基酯 Sulfurous acid, butyl tetradecyl ester	-	116.49 $\pm$ 3.94	-	168.00 $\pm$ 5.32
	碳酸十八烷基丙-1-烯-2-酯 Carbonic acid, octadecyl prop-1-en-2-yl ester	-	127.40 $\pm$ 3.41	-	-
	邻苯二甲酸异丁基反己-3-烯基酯 Phthalic acid, isobutyl trans-hex-3-enyl ester	-	799.35 $\pm$ 2.38	-	-
	亚硫酸 2-丙基十一烷基酯 Sulfurous acid, 2-propyl undecyl ester	-	109.68 $\pm$ 1.22	-	-
	亚硫酸丁基十六烷基酯 Sulfurous acid, butylheptadecyl ester	-	166.48 $\pm$ 3.93 <sup>b</sup>	-	176.79 $\pm$ 5.89 <sup>a</sup>
	1,2-苯二甲酸双(2-甲基丙基)酯 1,2-Benzenedicarboxylic acid, bis(2-methylpropyl) ester	-	-	294.71 $\pm$ 5.79	-
	氯乙酸十六酯 Chloroacetic acid hexadecyl ester	-	-	36.77 $\pm$ 1.00	-
	碳酸癸基十一烷基酯 Carbonic acid, decyl undecyl ester	-	-	132.42 $\pm$ 2.63	-
	五氟十八酸十八烷基酯 Pentadecafluorooctanoic acid, octadecyl ester	-	-	-	74.79 $\pm$ 5.50
	亚硫酸十五烷基酯 Sulfurous acid, butylpentadecyl ester	-	-	-	328.49 $\pm$ 3.70

· 续表 2 ·

类别 Category	化合物名称 Compound name	含量 Content/( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )			
		生鲜 Fresh	煮制 Boiled	油炸 Fried	烤制 Baked
酯类 Esters	碳酸二十二烷基乙烯基酯 Carbonic acid, eicosyl vinyl ester	-	-	-	137.02±4.31
	亚硫酸十八烷基 2-丙酯 Sulfurous acid, octadecyl 2-propyl ester	-	-	-	232.85±5.42
	碳酸十三烷基 2,2,2-三氯乙基酯 Carbonic acid, tridecyl 2, 2, 2-trichloroethyl ester	-	-	-	123.98±5.06
醇类 Alcohols	柏木脑 Cedrol	368.60±21.07	-	-	-
	1-十二烷醇 1-Dodecanol	264.92±4.49 <sup>a</sup>	-	135.10±3.66 <sup>b</sup>	-
	2-乙基己醇 2-Ethylhexanol	-	486.94±2.48	-	-
	2-己基-1-癸醇 2-Hexyl-1-decanol	-	-	-	91.50±6.57
烃类 Hydrocarbons	十一烷 Undecane	-	43.36±2.07	-	-
	十二烷 Dodecane	121.65±1.62 <sup>a</sup>	42.12±2.96 <sup>c</sup>	120.83±2.73 <sup>a</sup>	96.11±3.59 <sup>b</sup>
	十四烷 Tetradecane	181.75±2.04 <sup>c</sup>	165.54±1.05 <sup>d</sup>	247.19±5.18 <sup>b</sup>	480.27±8.37 <sup>a</sup>
	十五烷 Pentadecane	390.01±1.40 <sup>a</sup>	384.91±2.13 <sup>ab</sup>	374.75±4.31 <sup>bc</sup>	379.24±5.15 <sup>c</sup>
	十六烷 Hexadecane	270.87±9.34 <sup>b</sup>	-	87.48±0.85 <sup>c</sup>	287.23±5.57 <sup>a</sup>
	十七烷 Heptadecane	528.86±21.00 <sup>a</sup>	336.46±4.52 <sup>b</sup>	-	277.38±6.45 <sup>c</sup>
	十八烷 Octadecane	240.37±1.11 <sup>a</sup>	168.18±2.27 <sup>c</sup>	61.60±2.01 <sup>d</sup>	194.70±5.17 <sup>b</sup>
	二十烷 Eicosane	733.65±10.63 <sup>a</sup>	-	282.16±3.42 <sup>b</sup>	156.16±6.78 <sup>c</sup>
	三十一烷 Hentriacontane	259.43±2.13 <sup>b</sup>	416.54±5.63 <sup>a</sup>	-	-
	环十二烷 Cyclododecane	199.58±1.50 <sup>b</sup>	156.24±4.79 <sup>c</sup>	-	225.67±4.59 <sup>a</sup>
	环十四烷 Cyclotetradecane	389.28±10.05 <sup>a</sup>	-	72.60±1.59 <sup>b</sup>	-
	石竹烯 Caryophyllene	258.27±9.35 <sup>b</sup>	615.66±5.72 <sup>a</sup>	-	-
	二十七烷 Heptacosane	-	155.61±5.71	-	-
	环戊庚烯 Azulene	-	83.65±0.54	-	-
	壬基-环戊烷 Nonyl cyclopentane	-	107.20±2.23 <sup>b</sup>	77.18±4.28 <sup>c</sup>	221.24±3.15 <sup>a</sup>
	十一烷基-环戊烷 Undecyl cyclopentane	-	162.75±1.60 <sup>a</sup>	-	103.68±4.43 <sup>b</sup>
	2,6,10,14-四甲基-十五烷 2,6,10,14-Tetramethylpentadecane	-	399.05±1.50 <sup>a</sup>	-	366.73±5.82 <sup>b</sup>
	六氯丁二烯 Hexachlorobutadiene	-	207.49±2.00 <sup>a</sup>	105.17±5.50 <sup>c</sup>	132.13±7.28 <sup>b</sup>
	壬基-环丙烷 Nonyl cyclopropane	-	189.69±0.57	-	-
	十三烷 Tridecane	-	-	72.55±1.70 <sup>b</sup>	102.22±13.90 <sup>a</sup>
	十六烯 Hexadecene	-	-	117.97±2.51	-
	1-十四烯 1-Tetradecene	-	-	2018.34±21.25	-
	1-氟-十二烷 1-Fluorododecane	-	-	25.18±0.57	-
	1-十三碳烯 1-Tridecene	-	-	92.22±6.99	-
	2,3,4,5,6,7-六氢-1H-环戊[a]戊烯 2,3,4,5,6,7-Hexahydro-1H-cyclopenta [a]pentalene	-	-	-	166.60±7.79
	1,2-环氧壬烷 1,2-Epoxynonane	-	-	-	186.93±5.48
	环十六烷 Cyclohexadecane	-	-	-	204.63±5.91
	D-柠檬烯 D-Limonene	-	-	-	226.74±14.79
	[S-(Z)]-6-(1-丁烯基)-1,4-环庚二烯 [ S-( Z ) ]-6-( 1-butenyl )-1, 4-Cycloheptadiene	-	-	-	70.31±2.36
	2,6-二甲基双环[3.2.1]辛烷 2,6-Dimethylbicyclo[3.2.1]octane	-	-	-	245.34±22.38
	十七烷基-环氧乙烷 Heptadecyl-oxirane	-	-	-	141.84±7.34
1-壬烯 1-Nonene	-	-	-	240.67±9.46	
二十五烷 Pentacosane	-	-	82.61±2.82	-	



·续表2·

类别 Category	化合物名称 Compound name	含量 Content/( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )			
		生鲜 Fresh	煮制 Boiled	油炸 Fried	烤制 Baked
	五甲基苯 Pentamethylbenzene	704.19 $\pm$ 5.42	-	-	-
	1,2,4,5-四甲基苯 1,2,4,5-Tetramethylbenzene	1 579.45 $\pm$ 40.85 <sup>a</sup>	215.14 $\pm$ 4.33 <sup>c</sup>	-	530.03 $\pm$ 12.57 <sup>b</sup>
	均三甲苯 Mesitylene	85.40 $\pm$ 1.52 <sup>d</sup>	846.82 $\pm$ 3.19 <sup>b</sup>	778.96 $\pm$ 9.05 <sup>c</sup>	886.39 $\pm$ 12.86 <sup>a</sup>
	1,2,3,5-四甲基苯 1,2,3,5-Tetramethylbenzene	1 265.72 $\pm$ 41.92 <sup>a</sup>	-	105.93 $\pm$ 6.33 <sup>c</sup>	180.78 $\pm$ 15.46 <sup>b</sup>
	1,3-二甲基-5-(1-甲基乙基)-苯 1,3-Dimethyl-5-(1-methylethyl)benzene	159.96 $\pm$ 1.26	-	-	-
	(1-戊基庚基)-苯 (1-pentylheptyl)-Benzene	222.42 $\pm$ 0.75 <sup>a</sup>	-	153.22 $\pm$ 2.59 <sup>b</sup>	-
	1,2,3-三甲苯 1,2,3-Trimethylbenzene	-	2 056.40 $\pm$ 43.91 <sup>b</sup>	2 374.06 $\pm$ 42.5 <sup>a</sup>	-
	对二甲苯 p-Xylene	-	158.87 $\pm$ 3.08 <sup>b</sup>	-	916.36 $\pm$ 20.09 <sup>a</sup>
	1-乙基-3,5-二甲苯-苯 1-Ethyl-2,3-dimethyl-benzene	-	187.10 $\pm$ 1.58 <sup>b</sup>	-	228.19 $\pm$ 11.06 <sup>a</sup>
	1,2-二甲苯-4-乙基苯 4-Ethyl-o-xylene	-	74.83 $\pm$ 2.27	-	-
	1,3-二甲苯 1,3-Dimethyl	-	49.95 $\pm$ 1.03	-	-
	邻伞花烃 o-Cymene	-	-	67.84 $\pm$ 1.78	-
	1-甲基-3-(1-甲基乙基)-苯 1-Methyl-3-(1-methylethyl)-benzene	-	-	77.70 $\pm$ 2.61	-
苯类 Benzene	(1-丙基辛基)-苯 (1-Propyloctyl)-benzene	-	-	81.75 $\pm$ 3.03	-
	(1-丁基辛基)-苯 (1-Butyloctyl)-benzene	-	-	168.90 $\pm$ 3.67	-
	(1-丙基壬基)-苯 (1-Propylnonyl)-benzene	-	-	230.42 $\pm$ 4.40	-
	(1-乙基癸基)-苯 (1-Ethyldecyl)-benzene	-	-	135.41 $\pm$ 3.07	-
	1-甲基-3-丙基-苯 1-Methyl-3-propyl-benzene	-	-	-	233.91 $\pm$ 15.97
	邻二甲苯 o-Xylene	-	-	-	529.77 $\pm$ 16.76
	丙基苯 n-Propylbenzene	-	-	-	196.71 $\pm$ 6.63
	1-甲基-4-丙基-苯 1-Methyl-4-propyl-benzene	-	-	-	229.61 $\pm$ 33.52
	1-甲基-4-(1-甲基丙基)-苯 1-Methyl-4-(1-methylpropyl)-benzene	-	-	-	162.22 $\pm$ 7.52
	2-乙烯基-1,4-二甲苯-苯 2-Vinyl-1,4-dimethyl-benzene	-	-	-	259.49 $\pm$ 10.48
	2,3-二氢-5-甲基-1H-茚 2,3-Dihydro-5-methyl-1H-indene	-	-	-	201.25 $\pm$ 11.07
	(2-甲基-1-丁烯基)-苯 (2-Methyl-1-butenyl)-benzene	-	-	-	305.91 $\pm$ 11.40
	萘 Naphthalene	802.52 $\pm$ 3.86 <sup>a</sup>	68.49 $\pm$ 1.09 <sup>c</sup>	63.15 $\pm$ 2.99 <sup>c</sup>	271.57 $\pm$ 18.40 <sup>b</sup>
	2-甲基萘 2-Methylnaphthalene	497.26 $\pm$ 4.53 <sup>b</sup>	87.84 $\pm$ 0.94 <sup>c</sup>	-	674.09 $\pm$ 23.75 <sup>a</sup>
	(1S-顺式)-1,2,3,5,6,8a-六氢-4,7-二甲 基-1-(1-甲基乙基)-萘 (1S-cis)-1,2,3,5,6,8a-Hexahydro-4,7- dimethyl-1-(1-methylethyl)-naphthalene	102.63 $\pm$ 1.83	-	-	-
萘类 Naphthalenes	2,6-二甲基萘 2,6-Dimethylnaphthalene	122.16 $\pm$ 4.17 <sup>a</sup>	-	-	115.72 $\pm$ 15.74 <sup>b</sup>
	1,6-二甲基萘 1,6-Dimethylnaphthalene	82.80 $\pm$ 0.88	-	-	-
	2,3-二甲基萘 2,3-Dimethylnaphthalene	222.68 $\pm$ 2.21 <sup>a</sup>	-	-	174.74 $\pm$ 16.63 <sup>b</sup>
	1,4-二甲基-1,2,3,4-四氢-萘 1,4-Dimethyl-1,2,3,4-tetrahydronaphthalene	-	-	-	176.52 $\pm$ 11.13
	2-甲基-1,2,3,4-四氢萘 2-Methyl-1,2,3,4-tetrahydronaphthalene	-	-	-	167.31 $\pm$ 15.55

· 续表 2 ·

类别 Category	化合物名称 Compound name	含量 Content/( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )			
		生鲜 Fresh	煮制 Boiled	油炸 Fried	烤制 Baked
萘类 Naphthalenes	6-甲基-1,2,3,4-四氢萘 6-Methyl-1,2,3,4-tetrahydronaphthalene	-	-	-	266.77 $\pm$ 14.13
	2-乙基-萘 2-Ethynynaphthalene	-	-	-	250.20 $\pm$ 28.87
	2,7-二甲基-萘 2,7-Dimethyl-naphthalene	-	-	-	103.80 $\pm$ 13.58
	四氢萘 Tetrahydronaphthalene	-	-	-	370.98 $\pm$ 28.51
吡嗪类 Pyrazines	2,5-二甲基吡嗪 2,5-Dimethylpyrazine	-	-	148.75 $\pm$ 3.00	-
	2-乙基-3,5-二甲基-吡嗪 2-Ethyl-3,5-dimethylpyrazine	-	-	324.11 $\pm$ 4.99	-
	2,3-二甲基-5-乙基吡嗪 2,3-Diethyl-5-methyl-pyrazine	-	-	659.19 $\pm$ 2.14	-
	2,3-二乙基-5-甲基-吡嗪 2,3-Diethyl-5-methyl-pyrazine	-	-	75.90 $\pm$ 1.56	-
	2,3-二甲基吡嗪 2,3-Dimethylpyrazine	-	-	105.74 $\pm$ 6.56	-
	三甲基吡嗪 2,3,5-Trimethylpyrazine	-	-	1463.41 $\pm$ 47.90	-
	2,3,5-三甲基-6-乙基吡嗪 2,3-Dichloro-6-methylquinoxaline	-	-	235.44 $\pm$ 5.96	-
	2-乙酰基-3-乙基吡嗪 2-Acetyl-3-ethylpyrazine	-	-	132.87 $\pm$ 2.49	-
	N,N-二甲基硫代甲酰胺 N,N-Dimethylthioformamide	-	-	113.60 $\pm$ 2.96 <sup>a</sup>	90.60 $\pm$ 10.13 <sup>b</sup>
	3-甲基苯甲胺 3-Methylbenzylamine	474.65 $\pm$ 21.57	-	-	-
二甲基棕榈胺 N,N-Dimethylpalmitylamine;	-	485.3 $\pm$ 3.58 <sup>b</sup>	-	719.80 $\pm$ 29.60 <sup>a</sup>	
其他 Others	2,4,6-三甲基-1,3-苯二胺 2,4,6-Trimethyl-1,3-phenylenediamine	-	-	29.68 $\pm$ 1.18	-
	1-(环己基羰基)-2-甲基哌啶 1-(Cyclohexylcarbonyl)-2-methylpiperidine	-	82.17 $\pm$ 1.49	-	-
	4,5-二甲基-噻唑 4,5-Dimethylthiazole	-	161.16 $\pm$ 2.01 <sup>a</sup>	116.16 $\pm$ 1.29 <sup>b</sup>	84.33 $\pm$ 3.09 <sup>c</sup>
	甲氧基-苯基脒 Methoxy-phenyl-oxime	-	-	136.16 $\pm$ 5.14 <sup>b</sup>	150.58 $\pm$ 10.98 <sup>a</sup>
	5,6,7,8-四氢吡啶 5,6,7,8-Tetrahydroindolizine	-	-	-	120.35 $\pm$ 26.04
	吡啶 Indole	198.48 $\pm$ 2.55 <sup>a</sup>	-	37.54 $\pm$ 0.82 <sup>b</sup>	-
	十二烷基异丁基醚 Dodecyl isobutyl ether	-	-	576.24 $\pm$ 5.66	-
	5-(甲硫基)-戊腈 5-(Methylthio)-pentanenitrile	-	-	95.09 $\pm$ 3.74	-

注:不同字母表示不同热加工方式间存在显著性差异( $P<0.05$ )。

Notes: Different letters indicate significant differences between different thermal processing methods( $P<0.05$ ).

翼柄柔鱼经过油炸,产生了大量的吡嗪类化合物,对油炸处理组样品整体风味的形成具有重要作用。吡嗪类物质具有典型的烘烤香气,主要是由邻二羰基化合物与氨基酸通过 Strecker 降解反应生成的  $2\alpha$ -氨基酮缩合形成<sup>[32]</sup>。大多数吡嗪类化合物阈值较低,对翼柄柔鱼主体风味贡献较大。煮制、烤制处理下的翼柄柔鱼并未检测到吡嗪类物质的生成,可能因为煮制中翼柄柔鱼肉样温度低于  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,烤制翼柄柔鱼中食品中心温度  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  左右,表面温度低于  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,所以没有吡嗪类物质生成<sup>[33]</sup>。氨基酸在热加工过程中发生脱羧反应,通过 5-恶唑烷酮中间体生成相对稳定

的偶甲亚胺叶立德,进而产生共轭亚胺<sup>[23]</sup>。这些氨基化合物可与葡萄糖降解产物反应生成吡嗪类化合物。氨可直接与二羰基化合物反应,这一过程比  $\alpha$ -氨基经历的 Strecker 降解要快得多<sup>[34]</sup>,故氨基化合物在油炸过程中可参与脱酰胺反应产生吡嗪类化合物,而在烤制过程中则可能转化成了短醛,因此烤制过程中醛类化合物较油炸处理组含量高,油炸组则生成了具有独特风味的吡嗪类化合物。

### 3 结论

生鲜翼柄柔鱼经过热加工后,其色泽、质地、

生物胺及挥发性组分都发生了显著变化。油炸对翼柄柔鱼色泽、质地影响较大,能明显区别于煮制和烤制处理组。煮制、油炸、烤制处理后TBARs值分别增加了1.36、5.64、6.71倍,经烤制的翼柄柔鱼脂质氧化程度更高。生物胺在经热加工处理后,含量均有不同程度的变化,其中组胺含量显著增加,组胺含量的积累可能与加热后TBARs值增加有关。生鲜翼柄柔鱼经热加工处理后,风味物质发生明显改变,壬醛、癸醛的相对含量降低,不良风味减弱;吡嗪类化合物含量增加,肉香气味增强。

### 参考文献:

- [1] ABUGOCH L, GUARDA A, PÉREZ L M, et al. Determination of proximal chemical composition of squid (*Dosidicus gigas*) and development of gel products [J]. Archivos Latinoamericanos De Nutrición, 1999, 49(2): 156-161.
- [2] 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 2021 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2021.
- Bureau of Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, PRC, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. 2021 China fishery statistical yearbook [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2021.
- [3] CARRASCON V, ESCUDERO A, FERREIRA V, et al. Characterisation of the key odorants in a squid broth (*Illex argentinus*) [J]. LWT-Food Science and Technology, 2014, 57(2): 652-662.
- [4] 周晓燕. 烹调工艺学[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2008.
- ZHOU X Y. Cooking technology[M]. Beijing: China Textile Publishing House, 2008.
- [5] 赵洪雷, 冯媛, 徐永霞, 等. 海鲈鱼肉蒸制过程中品质及风味特性的变化[J]. 食品科学, 2021, 42(20): 145-151.
- ZHAO H L, FENG Y, XU Y X, et al. Changes in quality and flavor characteristics of sea bass muscle during steaming [J]. Food Science, 2021, 42(20): 145-151.
- [6] 姜万舟. 烹饪、储藏及配送方式对鲮鱼块品质及安全性的影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2017.
- JIANG W Z. The effects of cooking, storage and distribution methods on the quality and safety of Bighead Carp (*Aristichthys nobilis*) [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2017.
- [7] 李锐. 不同热加工方式对罗非鱼片品质变化影响作用研究[D]. 烟台: 烟台大学, 2021.
- LI R. Study on the effect of different thermal processing methods influence on the quality changes of Tilapia Fillets [D]. Yantai: Yantai University, 2021.
- [8] 张黎明, 章祎, 赵云松, 等. 腌鱼中产生物胺菌株的筛选、鉴定及其特性研究[J]. 中国食品学报, 2021, 21(7): 291-299.
- ZHANG L M, ZHANG Y, ZHAO Y S, et al. Screening, identification and characteristics of biogenic amines producing strains in salted fish [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(7): 291-299.
- [9] 王丹, 孙学颖, 刘建林, 等. 发酵肉制品中微生物对生物胺形成机理的影响研究[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(8): 218-224.
- WANG D, SUN X Y, LIU J L, et al. Study on the effect of microorganisms on the formation mechanism of bioamines in fermented meat products [J]. Food Research and Development, 2021, 42(8): 218-224.
- [10] ZHANG C Q, ZHANG Y Y, LUAN D L, et al. Changes in biogenic amines and total volatile base nitrogen in *Gonatopsis borealis* muscle during storage [J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2020, 14(1): 106-113.
- [11] ZHANG C Q, ZHANG Y Y, LIN L S, et al. Effects of different salt concentrations on several freshness indicators of North Pacific squid (*Ommastrephes sloani pacificus*) during storage at 4 °C [J]. Journal of Food Protection, 2020, 83(11): 1871-1876.
- [12] 敖晓林, 傅宝尚, 祁立波, 等. 不同包装材料对烤制鱿鱼贮藏品质的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(16): 279-285.
- AO X L, FU B S, QI L B, et al. Effect of different packaging materials on quality changes of baked squid during storage [J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(16): 279-285.
- [13] 刘妙, 杨宪时, 张小伟, 等. 复配保鲜剂对反复冻融鱿鱼品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(5): 140-145.
- LIU M, YANG X S, ZHANG X W, et al. Effect of complex preservatives on the quality of repeated freeze-thaw squid [J]. Food and Fermentation Industries, 2016, 42(5): 140-145.
- [14] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.181—2016 食品安全国家标准 食品中丙二醛的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- Ministry of Health. GB 5009.181 - 2016 National standard for food safety determination of malondialdehyde in food [S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.
- [15] 姚芳, 刘靖, 张静, 等. 热风-远红外联合干燥肉脯的工艺优化及其品质研究[J]. 食品工业科技, 2018, 39(20): 165-172.
- YAO F, LIU J, ZHANG J, et al. Optimization of hot air assisted far-infrared drying parameters of dried meat slice and its quality research [J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(20): 165-172.

- [16] 张鹏,王旋,杨方,等. 斑点叉尾鲷鱼脱水程度对其油炸品质的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2016, 35(8): 878-882.  
ZHANG P, WANG X, YANG F, et al. Effect of dehydration degree on the quality of fried channel catfish[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2016, 35(8): 878-882.
- [17] 谭明堂,谢晶,王金锋. 解冻方式对鱿鱼品质的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(13): 94-101.  
TAN M T, XIE J, WANG J F. Effects of different thawing methods on quality of squid[J]. Food Science, 2019, 40(13): 94-101.
- [18] KILIÇ B, ŞİMŞEK A, CLAUS J R, et al. Effects of different end-point cooking temperatures on the efficiency of encapsulated phosphates on lipid oxidation inhibition in ground meat[J]. Journal of Food Science, 2015, 80(10): C2161-C2169.
- [19] DOMÍNGUEZ R, GÓMEZ M, FONSECA S, et al. Influence of thermal treatment on formation of volatile compounds, cooking loss and lipid oxidation in foal meat[J]. LWT-Food Science and Technology, 2014, 58(2): 439-445.
- [20] 李颖畅,曹娜娜,韩笑,等. 贮藏过程中阿根廷鱿鱼生物胺的变化及产胺菌的分离鉴定[J]. 中国食品学报, 2021, 21(4): 236-245.  
LI Y C, CAO N N, HAN X, et al. Changes of biogenic amines in *Illex argentinus* during storage and isolation and identification of amine bacteria [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(4): 236-245.
- [21] CHUNG B Y, PARK S Y, BYUN Y S, et al. Effect of different cooking methods on histamine levels in selected foods [J]. Annals of Dermatology, 2017, 29(6): 706-714.
- [22] HIDALGO F J, NAVARRO J L, DELGADO R M, et al. Histamine formation by lipid oxidation products[J]. Food Research International, 2013, 52(1): 206-213.
- [23] XIAO H W, PAN Z L, DENG L Z, et al. Recent developments and trends in thermal blanching - A comprehensive review [J]. Information Processing in Agriculture, 2017, 4(2): 101-127.
- [24] ZAMORA R, DELGADO R M, HIDALGO F J. Formation of  $\beta$ -phenylethylamine as a consequence of lipid oxidation[J]. Food Research International, 2012, 46(1): 321-325.
- [25] ZAMORA R, DELGADO R M, HIDALGO F J. Chemical conversion of phenylethylamine into phenylacetaldehyde by carbonyl-amine reactions in model systems [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(21): 5491-5496.
- [26] 解薇, 娄永江. 顶空固相微萃取-气质联用技术分析秘鲁鱿鱼的挥发性风味成分[J]. 食品工业科技, 2012, 33(5): 71-75.  
XIE W, LOU Y J. Determination of volatile compounds of Peru squid by headspace solid phase microextraction gas chromatography-mass spectrometry [J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(5): 71-75.
- [27] 吕慧超. 基于定向美拉德反应和热力场干燥技术的烤猪肉挥发性风味物质研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2015.  
LYU H C. Study on the volatile aromatic compounds of roast pork based on directional Maillard reaction and thermal field desiccant technology [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2015.
- [28] 孙承锋, 喻倩倩, 宋长坤, 等. 酱牛肉加工过程中挥发性成分的含量变化分析[J]. 现代食品科技, 2014, 30(3): 130-136.  
SUN C F, YU Q Q, SONG C K, et al. Changes of volatile compounds during the processing of spiced beef[J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(3): 130-136.
- [29] MATERA J, LUNA A S, BATISTA D B, et al. Brazilian cheeses: A survey covering physicochemical characteristics, mineral content, fatty acid profile and volatile compounds [J]. Food Research International, 2018, 108: 18-26.
- [30] VARLET V, PROST C, SEROT T. Volatile aldehydes in smoked fish: analysis methods, occurrence and mechanisms of formation[J]. Food Chemistry, 2007, 105(4): 1536-1556.
- [31] DRUMM T D, SPANIER A M. Changes in the content of lipid autoxidation and sulfur-containing compounds in cooked beef during storage [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1991, 39(2): 336-343.
- [32] 余祥英, 胡军, 曾世通, 等. Maillard 反应中杂环香味化合物形成机理的研究进展[J]. 香料香精化妆品, 2012(4): 46-53.  
YU X Y, HU J, ZENG S T, et al. Research progress on the formation mechanism of heterocyclic flavor compounds in Maillard Reaction [J]. Flavour Fragrance Cosmetics, 2012(4): 46-53.
- [33] NEILL G, AL-MUHTASEB A H, MAGEE T R A. Optimisation of time/temperature treatment, for heat treated soft wheat flour[J]. Journal of Food Engineering, 2012, 113(3): 422-426.
- [34] EHLING S, SHIBAMOTO T. Correlation of acrylamide generation in thermally processed model systems of asparagine and glucose with color formation, amounts of pyrazines formed, and antioxidative properties of extracts [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(12): 4813-4819.

## Effects of different thermal processing methods on the quality of *Sthenoteuthis pteropus*

NING Haihua<sup>1</sup>, KONG Shanshan<sup>1</sup>, CHU Fuyu<sup>1</sup>, LIU Zhijie<sup>1</sup>, SONG Yishan<sup>1</sup>, LAI Keqiang<sup>1,2</sup>

(1. College of Food Sciences and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Engineering Research Center of Food Thermal-Processing Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** The effects of boiling, frying and baking on the color, texture, thiobarbituric acid value, biogenic amines and volatile substances of *Sthenoteuthis pteropus* were investigated. The results showed that the color of *Sthenoteuthis pteropus* changed significantly after thermal processing, and the color of the fried treatment group was significantly different from that of other treatment groups. The hardness and chewiness of *Sthenoteuthis pteropus* changed greatly, and the boiling group's elasticity varied greatly from that of the other treatment groups. The magnitude of oxidation of the samples after different thermal processing methods: boiled > fried > baked. There were differences in the effects of thermal processing on the six biogenic amines: the overall content of spermidine, tyramine and spermine in the four groups of samples was low and the differences were not significant. The histamine content in fresh squid was (3.23±0.20) mg/kg, which increased 1.29 times (boiled), 3.68 times (fried) and 2.89 times (baked) by thermal processing, respectively. A total of 46, 52, 61, and 70 volatile substances were found in fresh, boiled, fried, and baked *Sthenoteuthis pteropus*, respectively, using the SPME-GC-MS technique. The effects of different thermal processing methods on the edible quality of *Sthenoteuthis pteropus*, such as color, texture and flavor, were different. The results of the study provide theoretical guidance for the thermal processing of squid.

**Key words:** *Sthenoteuthis pteropus*; thermal processing method; biogenic amine; volatile substance; quality