

文章编号: 1674-5566(2019)05-0801-10

DOI:10.12024/jsou.20181102431

## 金枪鱼头汤中脂肪酸组成、维生素 E 含量分析及微观形貌观察

钱雪丽<sup>1</sup>, 苏红<sup>1</sup>, 樊馨怡<sup>1</sup>, 张静<sup>1</sup>, 陶宁萍<sup>1,2</sup>, 王锡昌<sup>1,2</sup>

(1. 上海海洋大学 食品学院, 上海 201306; 2. 上海水产品加工及贮藏工程技术研究中心, 上海 201306)

**摘要:** 采用两种不同方式熬煮金枪鱼头分别得到金枪鱼头清汤和白汤。在分析两种熬煮条件下鱼头汤的脂肪酸组成及维生素 E 含量变化的基础上, 探究鱼头汤熬煮过程中微观形貌的变化。结果表明: 金枪鱼头熬煮的清汤和白汤中脂肪酸种类一致, 都为 22 种。在鱼水比 1:8(m/m), 熬煮时间为 150 min 时, 鱼头汤中饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸及维生素 E 的含量达到最大, 且白汤大于清汤。利用马尔文激光粒度分析仪测定微滤和超滤处理后的清汤和白汤中颗粒的平均粒径, 发现两种汤中颗粒的平均粒径显著变小( $P < 0.05$ ), 但颗粒之间会发生重聚形成较大的颗粒。采用倒置光学显微镜观察可见, 鱼头汤中存在大量大小不一、形状为球形、分散性良好的微纳米颗粒。

**关键词:** 金枪鱼头汤; 脂肪酸; 维生素 E; 微纳米颗粒

**中图分类号:** S 968.1      **文献标志码:** A

金枪鱼(Tuna), 又名吞拿鱼、鲔鱼, 属硬骨鱼纲(Osteichthyes) 鲈形目(Pereiformes) 鲭科(Scombridae), 具有极高的食用价值, 享有“海洋黄金”的美称<sup>[1-3]</sup>。金枪鱼附加值很高, 可加工成生食鱼片、鱼罐头、鱼松等产品, 在金枪鱼加工过程中会出现大量的副产物, 如鱼头、鱼骨、碎肉等, 占总重量的 50% ~ 70%, 均有较高的利用价值<sup>[4]</sup>。其中金枪鱼头富含蛋白质、脂肪、维生素、矿物质元素等营养物质, 具有广阔的食品开发应用前景。

鱼汤味道鲜美、滋补养生、制作便捷, 含有人体所需且易吸收的大部分营养物质。尤其鱼汤中水溶性营养成分、风味物质含量高, 特别适合于老人、孕妇、儿童以及体弱多病者。例如: 我国的鲫鱼汤通常是产后妇女充当催乳功能的良药<sup>[5]</sup>; 鳊鱼汤具有暖补脾胃、治疗风湿头痛的功效<sup>[6]</sup>; 乌鱼汤被用于治疗肠痔下血<sup>[7]</sup>。随着人们对营养化和方便化鱼产品要求的提高, 鱼汤越来越受大众喜爱。为高效地利用金枪鱼头, 将其经过熬煮这一典型的加工条件制成鱼头汤, 不仅避免了鱼头的浪费, 促进了金枪鱼业的发展, 而且

满足了人们的消费。

目前有关海水鱼汤营养成分及含量鲜见研究报道, 以金枪鱼头汤为原料, 比较分析两种熬煮条件下金枪鱼头汤中的脂肪酸组成、维生素 E 含量和微纳米颗粒结构随时间的变化, 旨在为金枪鱼头汤的熬煮提供科学合理的参考, 也为更好地开发利用金枪鱼提供理论依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 原料与试剂

实验原料为 25 个大眼金枪鱼头, 质量为  $(1.52 \pm 0.19)$  kg, 体长  $(27.09 \pm 2.04)$  cm, 体宽  $(25.69 \pm 1.00)$  cm, 购于大连翔祥食品有限公司; 大豆油为市售。

主要试剂:  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 、 $\delta$ -生育酚标准品、37 种脂肪酸甲酯标准品、十九烷酸及十九烷酸甲酯标准品购于上海安谱科技股份有限公司; 正己烷、三氯甲烷、甲醇、选用色谱级; 抗坏血酸、2,6-二叔丁基对甲酚(BHT)、十二烷基磺酸钠(SDS)、无水乙醇及其他试剂均为分析级, 购于国药集团化学试剂有限公司。

收稿日期: 2018-11-12      修回日期: 2019-03-12

基金项目: 国家重点研发计划专项(2016YFD0400202-8)

作者简介: 钱雪丽(1992—), 女, 硕士生, 研究方向为食品品质与营养评价。E-mail: qianxlshou@126.com

通信作者: 陶宁萍, E-mail: npta@shou.edu.cn

## 1.2 仪器与设备

主要仪器与设备:TRACE GC ULTRA 气相色谱仪,美国 Thermo Fisher 公司;Agilent 1260 高效液相色谱仪,美国 Agilent 公司;Athena C30 (250 mm × 4.6 mm, 5 μm) 色谱柱,上海安谱科技股份有限公司;MS2000 激光粒度分析仪,英国马尔文仪器有限公司;HWS-24 电热恒温水浴锅,上海一恒科学仪器有限公司;TG16-WS 台式高速离心机,湖南湘仪实验室仪器开发有限公司;倒置光学显微镜,上海明兹精密仪器有限公司。

## 1.3 实验方法

### 1.3.1 金枪鱼头汤的制备

清汤:解冻→清洗→切块,称重→加水→旺火煮开→微火慢炖→鱼头汤。

白汤:解冻→清洗→切块,称重→油煎→加水→旺火煮开→大火熬煮→微火慢炖→鱼头汤。

工艺参数:(400 ± 2) g 金枪鱼头块(5 cm × 3 cm × 2 cm), (20 ± 2) g 大豆油, 120 °C 油煎 30 ~ 40 s;按照鱼水比 1:8 (m/m) 熬煮金枪鱼头汤。熬煮过程中,每 30 min 取 300 mL 鱼头汤样品进行脂肪酸组成、维生素 E 含量分析和微纳米颗粒结构的观察。

### 1.3.2 脂肪酸组成分析

总脂的提取:准确称取金枪鱼头汤样品 10 g 于锥形瓶中,按照张静等<sup>[8]</sup>的方法加入 200 mL *V* (氯仿):*V* (甲醇) = 2:1 的混合物,充分搅拌均匀,浸泡 24 h。然后加入 30 mL 0.6% 的氯化镁溶液,静置分层,吸出上清液,用无水硫酸钠过滤干燥,得下层脂肪提取液。在 45 °C 水浴条件下旋转蒸发浓缩,烘干到恒重得到汤中总脂。

脂肪酸组成分析:采用三氟化硼-甲醇法进行甲酯化,参考 ZHANG 等<sup>[9]</sup>的方法对脂肪酸组成进行分析测定。取上述脂肪于圆底烧瓶中,加入氢氧化钠-甲醇溶液和十九烷酸内标储备液,混合均匀,于 100 °C 水浴 10 min,加入三氟化硼-甲醇溶液和正己烷,再于 100 °C 水浴 7 min;冷却后加入饱和氯化钠溶液,收集上清液于进样瓶,待气相色谱分析。

气相色谱条件:色谱柱为 Agilent SP-2560 毛细管柱(100 m × 0.25 mm × 0.2 μm);升温程序起始 70 °C,以 50 °C/min 升至 140 °C 保持 1 min, 4 °C/min 升至 180 °C 保持 1 min, 3 °C/min 升至 225 °C 保持 30 min;进样口温度 260 °C;进样量 1

μL,分流比 45:1,柱流量 1 mL/min,载气为氮气。

定性定量分析:采用 37 种脂肪酸甲酯混合标准品与样品对比保留时间进行定性分析,内标法定量分析。

### 1.3.3 金枪鱼头汤中维生素 E 含量的测定

金枪鱼头汤中维生素 E 含量的测定参考 GB 5009.82—2016<sup>[10]</sup> 并做适当修改。具体操作如下:称取 50 g 金枪鱼头汤置于 250 mL 的锥形瓶中,依次加入 30 mL 的无水乙醇,1 g 抗坏血酸、0.1 g BHT 和 15 mL 的氢氧化钾溶液,于 80 °C 恒温水浴中振荡皂化 30 min,皂化液滤入 250 mL 棕色分液漏斗中,用 50 mL 石油醚-乙醚混合液萃取,重复 3 次,合并醚层。用蒸馏水洗涤醚层至中性,洗涤后的醚层经无水硫酸钠滤入 100 mL 旋转蒸发瓶,于旋转蒸发仪减压回收溶剂至干,用色谱级的甲醇溶解定容至 10 mL,摇匀,溶液过 0.22 μm 有机相滤膜后供高效液相色谱测定。

色谱条件:C30 色谱柱,柱温 25 °C;检测器:荧光检测器,λ<sub>ex</sub> = 294 nm, λ<sub>em</sub> = 320 nm;流动相:甲醇 + 水 = 98 mL + 2 mL;流速:1.0 mL/min;进样量:10 μL。

维生素 E 异构体标准曲线的绘制:以 α、β、γ、δ-生育酚标准品的浓度(0.05、1、5、10、20、40、60 μg/mL)为横坐标,峰面积为纵坐标,绘制维生素 E 异构体的标准曲线,所得标准曲线公式分别为:α-生育酚,  $y = 11.331x - 0.0689$ ,  $R^2 = 0.9997$ ; β-生育酚,  $y = 26.429x - 3.176$ ,  $R^2 = 0.9991$ ; γ-生育酚,  $y = 24.64x - 1.0423$ ,  $R^2 = 0.9996$ ; δ-生育酚,  $y = 17.146x + 0.9648$ ,  $R^2 = 0.9991$ 。这些在相应浓度范围内线性关系良好。

### 1.3.4 金枪鱼头汤中微纳米颗粒的粒径大小测定

金枪鱼头汤清汤和白汤粗滤除去肉渣等即为原汤。原汤经 5 000 r/min 离心 15 min 后,取上清液经 0.45 μm 膜抽滤得到微滤液;取上清液经 100 ku 超滤管离心超滤后得到超滤液,从而分离得到不同粒径大小的金枪鱼头汤。用 MS2000 激光粒度分析仪测定经不同方式处理后金枪鱼头汤微纳米颗粒的平均粒径。 $D_{3,2}$  是体积表面平均粒径,指与实际颗粒群有相同比表面的等效球体的平均直径; $D_{4,3}$  是体积平均粒径,表示与实际颗粒群的质量相同的等效球体的平均直径; $D_{50}$  表示平均粒径。

### 1.3.5 倒置光学显微镜观察金枪鱼头汤微纳米颗粒的形貌特征

倒置光学显微镜可用于观察流质沉淀、粉体以及细小颗粒等物体。将金枪鱼头汤清汤和白汤处理后,取 500  $\mu\text{L}$  样品于灭菌的激光共聚焦培养皿里,用倒置光学显微镜进行观察,放大倍数为 500 X。

### 1.3.6 数据处理

所有数据进行 3 次平行实验,检测结果均以平均值  $\pm$  标准偏差 (Mean  $\pm$  SD,  $n = 3$ ) 表示。利

用 SPSS 20.0 软件进行显著性差异分析 ( $P < 0.05$ ),采用 Excel 2011 作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 金枪鱼头汤熬煮过程中脂肪酸组成变化

在鱼水比 1:8 (m/m) 的条件下,利用两种不同的方式熬煮得到金枪鱼头汤清汤和白汤,两种鱼头汤在熬煮过程中脂肪酸组成及含量的测定结果见表 1 和表 2。

表 1 不同熬煮时间清汤中脂肪酸的组成  
Tab.1 Effects of boiling time on fatty acid composition of broth

脂肪酸种类 Fatty acids	时间 Time/min					
	30	60	90	120	150	180
C14:0	2.14 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>	3.23 $\pm$ 0.31 <sup>a</sup>	4.69 $\pm$ 0.73 <sup>b</sup>	7.69 $\pm$ 0.12 <sup>c</sup>	11.85 $\pm$ 0.90 <sup>c</sup>	9.26 $\pm$ 0.26 <sup>d</sup>
C15:0	0.56 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>	0.84 $\pm$ 0.10 <sup>a</sup>	1.11 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>	1.85 $\pm$ 0.03 <sup>b</sup>	3.30 $\pm$ 0.42 <sup>c</sup>	1.72 $\pm$ 0.37 <sup>b</sup>
C16:0	25.01 $\pm$ 1.26 <sup>a</sup>	35.74 $\pm$ 1.72 <sup>b</sup>	57.58 $\pm$ 0.75 <sup>c</sup>	78.14 $\pm$ 0.56 <sup>d</sup>	87.33 $\pm$ 0.82 <sup>e</sup>	84.92 $\pm$ 0.71 <sup>e</sup>
C17:0	0.41 $\pm$ 0.20 <sup>a</sup>	0.89 $\pm$ 0.19 <sup>ab</sup>	0.95 $\pm$ 0.74 <sup>ab</sup>	1.69 $\pm$ 0.06 <sup>bc</sup>	2.51 $\pm$ 0.26 <sup>c</sup>	1.66 $\pm$ 0.34 <sup>bc</sup>
C18:0	0.20 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	3.26 $\pm$ 0.25 <sup>b</sup>	6.20 $\pm$ 0.54 <sup>c</sup>	10.14 $\pm$ 1.03 <sup>d</sup>	13.11 $\pm$ 0.37 <sup>e</sup>	12.27 $\pm$ 0.09 <sup>e</sup>
C20:0	0.19 $\pm$ 0.07 <sup>a</sup>	0.38 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>	0.84 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>	0.90 $\pm$ 0.60 <sup>a</sup>	1.28 $\pm$ 0.25 <sup>a</sup>	0.66 $\pm$ 0.22 <sup>a</sup>
C22:0	0.27 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>	0.41 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>	0.53 $\pm$ 0.20 <sup>ab</sup>	0.88 $\pm$ 0.00 <sup>bc</sup>	1.24 $\pm$ 0.13 <sup>c</sup>	0.80 $\pm$ 0.18 <sup>c</sup>
C23:0	2.43 $\pm$ 0.25 <sup>a</sup>	3.85 $\pm$ 0.58 <sup>ab</sup>	5.31 $\pm$ 2.42 <sup>ab</sup>	9.62 $\pm$ 0.75 <sup>ce</sup>	12.31 $\pm$ 0.66 <sup>e</sup>	6.65 $\pm$ 1.50 <sup>bc</sup>
C24:0	0.19 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	0.31 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	0.53 $\pm$ 0.03 <sup>b</sup>	0.67 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>	0.69 $\pm$ 0.11 <sup>b</sup>	0.58 $\pm$ 0.13 <sup>b</sup>
C16:1	5.01 $\pm$ 0.60 <sup>a</sup>	7.96 $\pm$ 0.83 <sup>ab</sup>	10.79 $\pm$ 2.17 <sup>b</sup>	15.13 $\pm$ 0.90 <sup>c</sup>	17.77 $\pm$ 0.52 <sup>c</sup>	14.74 $\pm$ 2.87 <sup>c</sup>
C17:1	0.78 $\pm$ 0.09 <sup>a</sup>	1.18 $\pm$ 0.11 <sup>ab</sup>	1.79 $\pm$ 0.29 <sup>ab</sup>	2.49 $\pm$ 0.08 <sup>b</sup>	4.74 $\pm$ 1.39 <sup>c</sup>	2.76 $\pm$ 0.76 <sup>b</sup>
C18:1	35.55 $\pm$ 1.41 <sup>a</sup>	51.63 $\pm$ 0.86 <sup>b</sup>	68.26 $\pm$ 0.23 <sup>c</sup>	82.67 $\pm$ 0.68 <sup>e</sup>	91.22 $\pm$ 0.39 <sup>f</sup>	75.99 $\pm$ 2.44 <sup>d</sup>
C20:1	1.58 $\pm$ 0.12 <sup>a</sup>	2.35 $\pm$ 0.12 <sup>a</sup>	3.27 $\pm$ 1.12 <sup>ab</sup>	5.45 $\pm$ 0.02 <sup>c</sup>	8.93 $\pm$ 0.91 <sup>d</sup>	5.15 $\pm$ 1.23 <sup>bc</sup>
C22:1	0.15 $\pm$ 0.06 <sup>a</sup>	0.30 $\pm$ 0.09 <sup>a</sup>	0.61 $\pm$ 0.53 <sup>a</sup>	0.57 $\pm$ 0.05 <sup>a</sup>	1.78 $\pm$ 1.72 <sup>a</sup>	0.73 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>
C24:1	0.80 $\pm$ 0.05 <sup>a</sup>	1.30 $\pm$ 0.17 <sup>a</sup>	1.54 $\pm$ 0.56 <sup>a</sup>	1.54 $\pm$ 0.56 <sup>a</sup>	2.80 $\pm$ 0.34 <sup>b</sup>	2.67 $\pm$ 0.29 <sup>b</sup>
C18:2	12.23 $\pm$ 0.78 <sup>a</sup>	18.42 $\pm$ 1.59 <sup>b</sup>	23.72 $\pm$ 0.12 <sup>c</sup>	26.23 $\pm$ 0.44 <sup>d</sup>	30.98 $\pm$ 0.21 <sup>f</sup>	28.68 $\pm$ 0.15 <sup>e</sup>
C18:3	1.37 $\pm$ 0.11 <sup>a</sup>	2.11 $\pm$ 0.23 <sup>ab</sup>	2.68 $\pm$ 0.48 <sup>bc</sup>	3.57 $\pm$ 0.02 <sup>cd</sup>	5.59 $\pm$ 0.45 <sup>e</sup>	3.82 $\pm$ 0.68 <sup>d</sup>
C20:2	0.49 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>	0.76 $\pm$ 0.19 <sup>a</sup>	0.83 $\pm$ 0.28 <sup>a</sup>	1.58 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	2.07 $\pm$ 0.42 <sup>b</sup>	1.68 $\pm$ 0.15 <sup>b</sup>
C20:3	0.48 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	0.52 $\pm$ 0.10 <sup>a</sup>	0.70 $\pm$ 0.65 <sup>a</sup>	1.13 $\pm$ 0.49 <sup>a</sup>	1.48 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>	0.79 $\pm$ 0.16 <sup>a</sup>
C22:2	0.37 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	0.62 $\pm$ 0.06 <sup>b</sup>	0.86 $\pm$ 0.06 <sup>c</sup>	1.19 $\pm$ 0.06 <sup>d</sup>	1.68 $\pm$ 0.02 <sup>e</sup>	1.21 $\pm$ 0.09 <sup>d</sup>
C20:5 (EPA)	6.44 $\pm$ 0.64 <sup>a</sup>	9.34 $\pm$ 1.02 <sup>a</sup>	13.39 $\pm$ 5.7 <sup>ab</sup>	21.27 $\pm$ 0.15 <sup>cd</sup>	25.56 $\pm$ 3.52 <sup>d</sup>	17.65 $\pm$ 3.64 <sup>bc</sup>
C22:6 (DHA)	34.03 $\pm$ 4.43 <sup>a</sup>	50.11 $\pm$ 3.27 <sup>ab</sup>	70.77 $\pm$ 0.78 <sup>b</sup>	105.05 $\pm$ 1.24 <sup>c</sup>	123.81 $\pm$ 16.35 <sup>c</sup>	100.23 $\pm$ 17.58 <sup>c</sup>
TFA	130.69 $\pm$ 6.85 <sup>a</sup>	195.49 $\pm$ 8.53 <sup>b</sup>	276.93 $\pm$ 13.75 <sup>c</sup>	379.45 $\pm$ 3.10 <sup>d</sup>	452.02 $\pm$ 19.42 <sup>e</sup>	374.63 $\pm$ 26.81 <sup>d</sup>

注:同一行字母不同表示差异显著 ( $P < 0.05$ ), TFA 表示总脂肪酸

Notes: Different letters in the same line indicate significant differences ( $P < 0.05$ ), TFA. total fatty acids

表 2 不同熬煮时间白汤中脂肪酸的组成

Tab. 2 Effects of boiling time on fatty acid composition of pan-fried soup

mg/100 g soup

脂肪酸种类 Fatty acids	时间 Time/min					
	30	60	90	120	150	180
C14:0	6.19 ± 0.13 <sup>a</sup>	9.46 ± 1.46 <sup>ab</sup>	11.32 ± 0.20 <sup>bc</sup>	13.14 ± 1.37 <sup>c</sup>	18.96 ± 0.03 <sup>d</sup>	16.83 ± 2.76 <sup>d</sup>
C15:0	1.78 ± 0.01 <sup>a</sup>	2.92 ± 0.25 <sup>ab</sup>	3.34 ± 0.06 <sup>b</sup>	4.95 ± 0.78 <sup>c</sup>	6.92 ± 0.96 <sup>d</sup>	6.61 ± 0.73 <sup>d</sup>
C16:0	32.15 ± 1.24 <sup>a</sup>	49.93 ± 0.06 <sup>b</sup>	71.75 ± 1.23 <sup>c</sup>	97.92 ± 1.12 <sup>c</sup>	105.91 ± 2.28 <sup>f</sup>	92.63 ± 0.97 <sup>d</sup>
C17:0	1.48 ± 0.21 <sup>a</sup>	2.44 ± 0.58 <sup>b</sup>	2.60 ± 0.09 <sup>b</sup>	3.86 ± 0.52 <sup>c</sup>	6.25 ± 0.11 <sup>e</sup>	5.34 ± 0.23 <sup>d</sup>
C18:0	8.59 ± 0.15 <sup>a</sup>	13.41 ± 1.83 <sup>b</sup>	15.62 ± 0.64 <sup>b</sup>	23.81 ± 1.94 <sup>c</sup>	33.63 ± 0.27 <sup>d</sup>	31.04 ± 3.92 <sup>d</sup>
C20:0	0.35 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.60 ± 0.02 <sup>b</sup>	0.95 ± 0.07 <sup>c</sup>	1.52 ± 0.01 <sup>d</sup>	2.45 ± 0.20 <sup>d</sup>	0.90 ± 0.08 <sup>c</sup>
C22:0	0.31 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.44 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.74 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.78 ± 0.10 <sup>a</sup>	1.61 ± 0.31 <sup>b</sup>	1.37 ± 0.11 <sup>b</sup>
C23:0	9.46 ± 0.29 <sup>a</sup>	13.36 ± 1.56 <sup>b</sup>	15.80 ± 0.13 <sup>c</sup>	17.42 ± 1.53 <sup>d</sup>	18.57 ± 0.64 <sup>d</sup>	16.26 ± 0.58 <sup>d</sup>
C24:0	0.22 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.37 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.49 ± 0.27 <sup>a</sup>	0.54 ± 0.20 <sup>a</sup>	1.15 ± 0.11 <sup>b</sup>	0.94 ± 0.00 <sup>b</sup>
C16:1	14.66 ± 0.75 <sup>a</sup>	21.39 ± 1.78 <sup>b</sup>	30.84 ± 0.45 <sup>c</sup>	40.13 ± 3.88 <sup>d</sup>	54.42 ± 2.44 <sup>f</sup>	47.29 ± 1.06 <sup>e</sup>
C17:1	1.73 ± 1.03 <sup>a</sup>	3.75 ± 0.18 <sup>b</sup>	3.76 ± 0.44 <sup>b</sup>	4.35 ± 0.21 <sup>b</sup>	7.54 ± 0.21 <sup>c</sup>	6.66 ± 0.93 <sup>c</sup>
C18:1	49.23 ± 0.58 <sup>a</sup>	78.96 ± 1.24 <sup>b</sup>	106.73 ± 0.51 <sup>b</sup>	112.08 ± 0.60 <sup>c</sup>	129.29 ± 0.77 <sup>c</sup>	116.59 ± 1.03 <sup>c</sup>
C20:1	3.48 ± 0.03 <sup>a</sup>	6.77 ± 0.96 <sup>a</sup>	7.31 ± 0.68 <sup>b</sup>	12.88 ± 1.15 <sup>b</sup>	15.14 ± 0.28 <sup>c</sup>	13.66 ± 1.71 <sup>c</sup>
C22:1	0.22 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.35 ± 0.07 <sup>b</sup>	1.06 ± 0.08 <sup>c</sup>	0.78 ± 0.21 <sup>d</sup>	1.11 ± 0.08 <sup>f</sup>	0.72 ± 0.11 <sup>e</sup>
C24:1	1.00 ± 0.03 <sup>a</sup>	1.56 ± 0.06 <sup>b</sup>	3.02 ± 0.33 <sup>c</sup>	3.02 ± 0.33 <sup>d</sup>	4.83 ± 0.61 <sup>e</sup>	4.26 ± 0.21 <sup>d</sup>
C18:2	16.62 ± 1.54 <sup>a</sup>	22.79 ± 0.81 <sup>b</sup>	25.42 ± 0.04 <sup>c</sup>	36.12 ± 0.41 <sup>d</sup>	47.43 ± 0.51 <sup>e</sup>	36.3 ± 0.05 <sup>d</sup>
C18:3	0.47 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.78 ± 0.08 <sup>a</sup>	1.06 ± 0.59 <sup>a</sup>	1.47 ± 0.24 <sup>a</sup>	1.71 ± 0.17 <sup>a</sup>	1.20 ± 0.26 <sup>a</sup>
C20:2	1.03 ± 0.02 <sup>a</sup>	1.73 ± 0.02 <sup>b</sup>	1.90 ± 0.08 <sup>b</sup>	3.21 ± 0.10 <sup>c</sup>	4.46 ± 0.48 <sup>d</sup>	3.20 ± 0.28 <sup>c</sup>
C20:3	0.78 ± 0.01 <sup>a</sup>	1.08 ± 0.03 <sup>a</sup>	1.36 ± 0.04 <sup>a</sup>	2.27 ± 0.18 <sup>b</sup>	5.55 ± 0.86 <sup>d</sup>	4.53 ± 0.15 <sup>c</sup>
C22:2	0.89 ± 0.12 <sup>a</sup>	1.45 ± 0.17 <sup>a</sup>	1.47 ± 0.10 <sup>a</sup>	2.59 ± 0.64 <sup>b</sup>	5.01 ± 0.30 <sup>c</sup>	2.54 ± 0.24 <sup>b</sup>
C20:5(EPA)	15.67 ± 2.75 <sup>a</sup>	23.52 ± 0.90 <sup>b</sup>	25.41 ± 0.30 <sup>b</sup>	26.99 ± 2.28 <sup>b</sup>	31.49 ± 1.12 <sup>c</sup>	25.1 ± 1.55 <sup>b</sup>
C22:6(DHA)	43.63 ± 1.80 <sup>a</sup>	67.96 ± 1.12 <sup>b</sup>	114.71 ± 3.97 <sup>c</sup>	128.56 ± 7.24 <sup>d</sup>	135.30 ± 0.27 <sup>d</sup>	126.53 ± 4.56 <sup>d</sup>
TFA	259.78 ± 5.80 <sup>a</sup>	395.34 ± 21.78 <sup>b</sup>	519.00 ± 3.58 <sup>c</sup>	601.19 ± 11.38 <sup>d</sup>	694.87 ± 5.62 <sup>e</sup>	625.52 ± 2.33 <sup>d</sup>

注:同一行字母不同表示差异显著( $P < 0.05$ ), TFA 表示总脂肪酸

Notes: Different letters in the same line indicate significant differences ( $P < 0.05$ ), TFA, total fatty acids

从表 1 和表 2 可以看出:清汤和白汤中脂肪酸的种类一致,均为 22 种脂肪酸,其中饱和脂肪酸(SFA)、单不饱和脂肪酸(MUFA)、多不饱和脂肪酸(PUFA)分别为 9 种、6 种和 7 种。两种鱼头汤中主要的脂肪酸为不饱和脂肪酸,清汤和白汤中不饱和脂肪酸约占总脂肪酸含量的 68.37% ~ 75.97% 和 69.33% ~ 72.55%。随着熬煮时间的延长,清汤和白汤中各脂肪酸的含量都逐渐增加,表明鱼头组织中的脂肪酸随熬煮而逐渐溶出,且在 150 min 时,各脂肪酸含量达到最大。在熬煮 150 min 之后鱼汤中各脂肪酸含量有所下降,可能是持续的高温处理导致了鱼汤中脂肪酸降解为小分子挥发性风味物质<sup>[11]</sup>。

比较分析清汤和白汤中脂肪酸的组成发现:清汤中主要的饱和脂肪酸为棕榈酸(C16:0),不同熬煮时间内占饱和脂肪酸含量的 65.37% ~ 79.63%;白汤中主要的饱和脂肪酸为棕榈酸(C16:0),其次是硬脂酸(C18:0)、二十三烷酸(C23:0),含量约占饱和脂肪酸 80.81% ~

84.88%。鱼头汤熬煮过程中,油酸(C18:1)作为清汤和白汤中主要的单不饱和脂肪,其含量分别占单不饱和脂肪酸总量的 71.68% ~ 81.03% 和 60.89% ~ 70.08%。油酸属于  $\omega$ -9 系列不饱和脂肪酸,比多不饱和脂肪酸的氧化稳定性高,具有降低低密度脂蛋白胆固醇而不降低高密度脂蛋白胆固醇的独特作用,能有效地防止动脉硬化<sup>[12-13]</sup>。

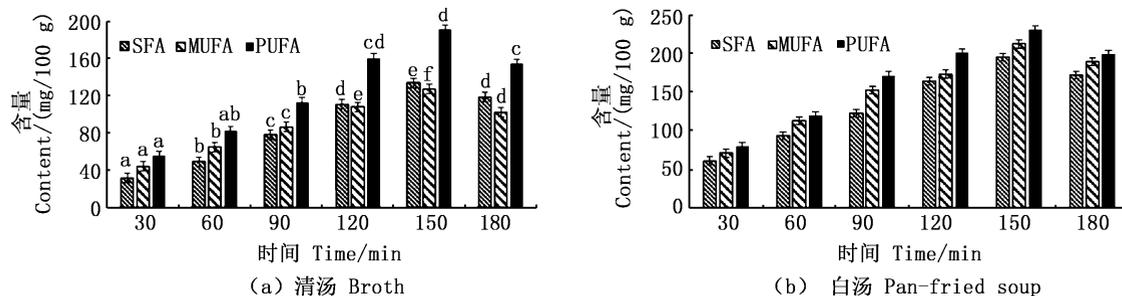
从表 1 和表 2 还可以得知:金枪鱼头汤中含有丰富多不饱和脂肪酸,尤其是 EPA 和 DHA。清汤和白汤中 EPA + DHA 分别占多不饱和脂肪酸含量的 72.60% ~ 78.94% 和 72.21% ~ 81.78%。EPA 和 DHA 这两种  $\omega$ -3 系列的不饱和脂肪酸,人体自身不能合成,只能从食物中获取,具有防止心血管疾病、调节血浆血脂、抗癌抗炎、健脑明目等功能,经常食用,有利于提高学习能力、改善记忆力、预防老年痴呆症<sup>[14-17]</sup>。同时,两种鱼头汤中还含有一定量的亚油酸(C18:2),清汤和白汤中其含量分别占多不饱和脂肪酸的

16.20%~22.50%和14.84%~21.01%。亚油酸是一种功能性多不饱和脂肪酸,具有抑制动脉血栓形成的作用,摄入大量的亚油酸对心血管疾病患者有明显疗效<sup>[18]</sup>。

金枪鱼头汤中脂肪酸含量丰富且种类较多,如油酸、亚油酸、EPA和DHA等人体必需脂肪酸,对降低人体胆固醇、调节脂质代谢、预防和治理疾病等具有重要的作用,由此可见金枪鱼头汤是一种天然的高营养价值加工产物。

由图1可知,白汤中各脂肪酸总量的含量均

高于清汤,可能是因为白汤熬煮过程中经过一段时间的高温处理,使肉质松散,更有利于鱼头组织中脂肪酸的溶出。在150 min内,清汤和白汤中SFA、MUFA和PUFA的绝对含量逐渐增加,但随着熬煮持续进行,清汤和白汤中的不饱和脂肪酸的含量急降至68.37%和69.31%,这可能是因为不饱和脂肪酸易受高温影响而发生裂变,降解、热氧化等反应,分解为短链脂肪酸及其他风味物质<sup>[11,19]</sup>。



相同图形不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ )

Different letters in the same figure indicate significant differences ( $P < 0.05$ )

图1 金枪鱼头汤熬煮过程中SFA、MUFA和PUFA含量变化

Fig. 1 Ratio of SFA, MUFA, PUFA to TFA with boiling time of tuna head soup

## 2.2 金枪鱼头汤熬煮过程中维生素E含量变化

由表3和表4可知,随着熬煮时间的延长,金枪鱼头中的维生素E不断溶出到汤中,使清汤和白汤中的维生素E异构体含量明显增加,且在150 min时各维生素E异构体及维生素E总量达到最高,这与脂肪酸的结果一致。相比清汤,白汤中维生素E含量明显高于清汤,在白汤中还检测到少量的 $\delta$ -生育酚,清汤中未检测出 $\delta$ -生育

酚。油煎鱼头的大豆油中含有较高含量的 $\delta$ -生育酚 $[(22.14 \pm 0.64) \mu\text{g}/\text{g}]$ 。因此,推测白汤中少量的 $\delta$ -生育酚可能来源于油煎鱼头的大豆油。维生素E作为一种人体不可或缺的维生素,在治疗老年性痴呆病、冠心病、高血压、动脉硬化、不孕症等方面扮演着重要的角色<sup>[20-21]</sup>。无论清汤还是白汤,金枪鱼头汤中都含有丰富的维生素E,这也进一步证实了金枪鱼头汤的营养价值。

表3 熬煮时间对清汤中维生素E异构体组成的影响

Tab. 3 Effects of boiling time on tocopherol isomers composition of broth

维生素E异构体 Vitamin E isomer	时间 Time/min					
	30	60	90	120	150	180
$\alpha$ -生育酚 $\alpha$ -tocopherol	0.62 $\pm$ 0.01 <sup>d</sup>	0.80 $\pm$ 0.02 <sup>d</sup>	1.34 $\pm$ 0.36 <sup>b</sup>	1.44 $\pm$ 0.12 <sup>b</sup>	2.37 $\pm$ 0.260 <sup>a</sup>	1.29 $\pm$ 0.00 <sup>bc</sup>
$\beta$ -生育酚 $\beta$ -tocopherol	0.03 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>	0.03 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>	0.04 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>	0.04 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>	0.05 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>	0.04 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>
$\gamma$ -生育酚 $\gamma$ -tocopherol	0.02 $\pm$ 0.00 <sup>d</sup>	0.02 $\pm$ 0.00 <sup>e</sup>	0.04 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	0.04 $\pm$ 0.01 <sup>bc</sup>	0.07 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>	0.03 $\pm$ 0.00 <sup>c</sup>
$\delta$ -生育酚 $\delta$ -tocopherol	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.
总量 Total	0.68 $\pm$ 0.02 <sup>c</sup>	0.84 $\pm$ 0.02 <sup>c</sup>	1.42 $\pm$ 0.37 <sup>b</sup>	1.51 $\pm$ 0.13 <sup>b</sup>	2.49 $\pm$ 0.27 <sup>a</sup>	1.36 $\pm$ 0.00 <sup>b</sup>

注:同一行不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ );N. D.表示未检测出

Notes: Different letters in the same line indicate significant differences ( $P < 0.05$ ); N. D. is not detected

表 4 熬煮时间对白汤中维生素 E 异构体组成的影响

维生素 E 异构体 Vitamin E isomer	时间 Time/min					
	30	60	90	120	150	180
$\alpha$ -生育酚 $\alpha$ -tocopherol	$0.95 \pm 0.01^e$	$0.92 \pm 0.31^e$	$1.18 \pm 0.02^d$	$1.63 \pm 0.01^c$	$2.57 \pm 0.00^a$	$2.09 \pm 0.01^b$
$\beta$ -生育酚 $\beta$ -tocopherol	$0.11 \pm 0.01^d$	$0.11 \pm 0.02^d$	$0.03 \pm 0.03^e$	$0.43 \pm 0.02^c$	$0.83 \pm 0.00^a$	$0.54 \pm 0.01^b$
$\gamma$ -生育酚 $\gamma$ -tocopherol	$0.03 \pm 0.00^e$	$0.02 \pm 0.01^d$	$0.02 \pm 0.00^d$	$0.04 \pm 0.00^c$	$0.09 \pm 0.00^a$	$0.07 \pm 0.00^b$
$\delta$ -生育酚 $\delta$ -tocopherol	$0.06 \pm 0.01^d$	$0.15 \pm 0.07^e$	$0.12 \pm 0.03^e$	$0.51 \pm 0.01^b$	$0.78 \pm 0.00^a$	$0.53 \pm 0.00^b$
总量 Total	$1.15 \pm 0.03^d$	$1.20 \pm 0.39^d$	$1.35 \pm 0.08^d$	$2.61 \pm 0.04^c$	$4.27 \pm 0.01^a$	$3.23 \pm 0.01^b$

注:同一行不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ )

Notes: Different letters in the same line indicate significant differences ( $P < 0.05$ )

### 2.3 金枪鱼头汤中微纳米颗粒的粒径大小

分析可知,在鱼水比为 1:8(m/m)、熬煮时间为 150 min 时,金枪鱼头汤各脂肪酸及维生素 E 的含量达到最大。选择该条件下的清汤和白汤经过滤除去大残渣后,用 0.45  $\mu\text{m}$  的滤膜抽滤和 100 ku 的超滤管超滤处理,测定鱼头汤中颗粒的粒径大小,结果见表 5。由表 5 可知,经过不同方式处理后的清汤和白汤平均粒径发生显著变化。白汤的原汤中颗粒平均粒径均大于清汤,可能是因为白汤鱼头先油煎的作用,汤汁更为浓稠,测得的颗粒的平均粒径大于清汤。原汤经微滤和

超滤处理时,鱼头汤中许多大颗粒被滤膜截留,小颗粒透过滤膜,颗粒的平均粒径显著变小。相比骨汤<sup>[22]</sup>,鱼头汤经 0.45  $\mu\text{m}$  膜抽滤、100 ku 超滤管超滤后,无论清汤还是白汤,颗粒的平均粒径均偏大,可能是因为鱼头汤中的小颗粒物质透过滤膜后重聚形成较大的颗粒,测得的颗粒的平均粒径较大。

由此可见,经过不同的处理方法,汤中不同大小的颗粒可以进行初步分离,这为以后研究鱼头汤中颗粒大小与营养功能之间的关系提供参考。

表 5 金枪鱼头汤不同处理方式的粒径大小

Tab. 5 Size distribution of tuna head soup with different treatment methods

粒径参数 Particle size parameter	原汤 Original soup		0.45 $\mu\text{m}$ 微滤 Microfiltration 0.45 $\mu\text{m}$		100 ku 超滤 Ultrafiltration 100 ku	
	清汤/Broth	白汤/PFS	清汤/Broth	白汤/PFS	清汤/Broth	白汤/PFS
	$D_{3,2}/\mu\text{m}$	$8.64 \pm 0.70^C$	$34.84 \pm 3.18^b$	$6.55 \pm 0.72^B$	$4.25 \pm 0.30^a$	$3.81 \pm 0.57^A$
$D_{4,3}/\mu\text{m}$	$134.72 \pm 1.39^C$	$136.53 \pm 3.92^b$	$76.26 \pm 0.77^B$	$72.58 \pm 4.53^a$	$39.44 \pm 0.84^A$	$29.79 \pm 0.91^a$
$D_{50}/\mu\text{m}$	$68.77 \pm 0.67^C$	$113.6 \pm 1.35^c$	$20.22 \pm 0.60^B$	$36.33 \pm 0.37^b$	$4.60 \pm 0.45^A$	$6.28 \pm 0.16^a$
比表面积 Specific area/( $\text{m}^2/\text{g}$ )	$0.70 \pm 0.02^C$	$0.17 \pm 0.00^c$	$0.92 \pm 0.02^B$	$1.41 \pm 0.10^b$	$1.57 \pm 0.12^A$	$2.22 \pm 0.11^a$

注:同一行字母不同表示差异显著( $P < 0.05$ );清汤为大写字母,白汤为小写字母

Notes: Different letters in the same line indicate significant differences ( $P < 0.05$ ); broth is capital letters, pan-fried soup (PFS) is lowercase letters

### 2.4 金枪鱼头汤中微纳米颗粒形貌特征的观察

为阐明金枪鱼头汤在熬煮过程中微纳米颗粒的形成及变化过程,特选取不同熬煮时间下的金枪鱼头汤进行观察。在金枪鱼头汤熬煮过程中,鱼头汤体系中产生大量大小不一的球形颗粒,且尺寸分布范围较广,分散性良好。熬煮时间为 90 min 时,鱼头组织中脂质、脂肪酸等物质大量溶出,各物质之间相互作用,清汤和白汤体系中有双层球形颗粒形成。在 150 min 时,鱼头组织中各脂肪酸、维生素 E 等物质溶出达到最

大;清汤中球形颗粒逐渐均匀分布且形态规则,表明此时清汤体系已处于稳定状态;白汤由于鱼头经油煎的作用,具有乳化现象,体系较为浓稠,观察到体系中球形颗粒粒径较大,且表面较为粗糙。见图版 I - II。

## 3 讨论

两种方式熬煮得到的金枪鱼头汤的脂肪酸含量丰富,优于大鲩汤<sup>[19]</sup>和鲫鱼汤<sup>[23]</sup>。当鱼水比为 1:8(m/m),熬煮 150 min 时,金枪鱼汤中各

脂肪酸含量达到最大,此时清汤和白汤中脂肪酸总量分别为 $(452.02 \pm 19.42)$  mg/100 g 和 $(694.87 \pm 5.62)$  mg/100 g,高于唐学燕等<sup>[24]</sup>研究的鲫鱼汤清汤和白汤的脂肪酸总量。DHA 作为两种汤的主要脂肪酸,其含量分别为 $(123.81 \pm 16.35)$  mg/100 g 和 $(135.30 \pm 0.27)$  mg/100 g。油煎鱼头的大豆油中主要的脂肪酸含量为油酸和亚油酸,其含量达到 80% 以上,未检测到 EPA 和 DHA,因此金枪鱼头汤中溶出的 EPA 和 DHA 主要来源于金枪鱼头。在金枪鱼头汤熬煮过程中,白汤中各脂肪酸含量普遍高于清汤,除了一部分来自熬煮方式和原料金枪鱼头之外,还有可能是来源于大豆油。与金枪鱼头汤中脂肪酸随熬煮时间的变化规律相似,当熬煮时间为 150 min 时,清汤和白汤中维生素 E 含量达到最大,其含量分别为 $(2.49 \pm 0.27)$   $\mu$ g/g 和 $(4.27 \pm 0.01)$   $\mu$ g/g。由此可见,白汤中脂肪酸和维生素 E 含量较高,这可能是白汤比较受欢迎的原因之一。

利用马尔文激光粒度分析仪测定发现不同方式处理后的清汤和白汤中微纳米颗粒的平均粒径显著变小( $P < 0.05$ )。经过 100 ku 超滤管超滤处理的清汤和白汤的平均粒径减小到 $(4.60 \pm 0.45)$   $\mu$ m 和 $(6.28 \pm 0.16)$   $\mu$ m,这是因为滤过液中的微纳米颗粒之间发生重聚形成较大颗粒,使颗粒的平均粒径较大。已有研究报道,微纳米颗粒作为有效成分的组织单元而发挥相应的生物活性。KE 等<sup>[25]</sup>利用 10 ku 超滤管和尺寸排阻色谱分离得到不同粒径大小的猪骨汤,经马尔文激光粒度分析仪测定两种方式处理后的猪骨汤中微纳米颗粒的平均粒径分别为 $(248 \pm 10)$  nm 和 $(170 \pm 1)$  nm。当氧化氢自由基诱导剂 AAPH 自由基攻击口腔巨噬细胞时,骨汤中分离得到的两种微纳米颗粒减轻了过氧化自由基诱导的膜超极化作用高达 70%,并且抑制线粒体样呼吸作用达 100%。孔玉婷等<sup>[22]</sup>的研究也发现骨汤及其不同粒径大小颗粒组分的抗氧化活性在胞内存在差异。经微滤和超滤处理后得到不同粒径大小的金枪鱼头汤,这为后续研究不同粒径大小的金枪鱼头汤的生物活性提供参考。

煮汤不仅仅是一个简单的浸提过程。在熬煮过程中,汤中溶出的各成分(脂质、蛋白质、糖等)之间通过分子间次级键的相互作用,组装形

成新的超分子结构,形成微纳米尺度的聚集体<sup>[26]</sup>。笔者利用倒置光学显微镜首次观察了不同熬煮时间鱼头汤中微纳米颗粒的形成和变化过程,随着熬煮时间的延长,清汤和白汤中不断形成大小不一,且尺寸分布范围广的球形颗粒。已有研究报道,许多汤体系中存在微纳米颗粒,如河蚬汤、苦瓜汤和骨汤,在这些汤体系中,均存在大小不一的微纳米颗粒。KE 等<sup>[27]</sup>曾报道,中药麻杏石甘汤中也存在大小不一的微纳米颗粒,这些微纳米颗粒的形成和汤的加热过程密切相关,并通过激光光散射分析得知这些微纳米颗粒在煮沸后的 30~60 min 内形成。由此可见,在金枪鱼头汤熬煮过程中,随着各物质的不断迁移溶出,在汤中会形成复杂的胶体体系。

笔者以金枪鱼头为原料,分析了其熬煮过程中脂肪酸组成和维生素 E 含量的变化,可进一步分析其他营养物质(蛋白质、总糖、氨基酸、核苷酸等)随熬煮时间的变化,以便更好地为工业化、标准化生产高品质鱼头汤提供理论依据。利用光学显微镜观察了金枪鱼头汤熬煮过程微纳米颗粒的形成过程,可进一步分析微纳米颗粒的化学成分组成及各成分在微纳米颗粒上的分布规律,为熬煮过程中微纳米颗粒形成的自组装机制提供理论创新。

#### 参考文献:

- [1] 孙静,黄健,侯云丹,等. 顶空固相微萃取-气质联用分析大眼金枪鱼肉的挥发性成分[J]. 食品科学, 2011, 32(22): 230-233.  
SUN J, HUANG J, HOU Y D, et al. Analysis of volatile compounds of Bigeye tuna (*Thunnus obesus*) meat by headspace solid-phase microextraction combined with gas chromatography-mass spectrometry[J]. Food Science, 2011, 32(22): 230-233.
- [2] HERNÁNDEZ-MARTÍNEZ M, GALLARDO-VELÁZQUEZ T, OSORIO-REVILLA G, et al. Prediction of total fat, fatty acid composition and nutritional parameters in fish fillets using MID-FTIR spectroscopy and chemometrics[J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 52(1): 12-20.
- [3] 杨金生,霍健聪,夏松养. 不同品种金枪鱼营养成分的研究与分析[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2013, 32(5): 393-397.  
YANG J S, HUO J C, XIA S Y. The analysis of nutrients of different tuna [J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2013, 32(5): 393-397.
- [4] JE J Y, QIAN Z J, BYUN H G, et al. Purification and characterization of an antioxidant peptide obtained from tuna

- backbone protein by enzymatic hydrolysis [J]. *Process Biochemistry*, 2007, 42(5): 840-846.
- [5] 周建武, 柯李晶, 邵彪, 等. 汤的威力: 食品科学新知[J]. *中国食品学报*, 2011, 11(8): 9-15.  
ZHOU J W, KE L J, SHAO B, et al. The power of soup: new perspectives on food science [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2011, 11(8): 9-15.
- [6] 徐红梅. 热加工对鳊鱼汤品质影响的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2008.  
XU H M. The effects of heat processing on the bighead crap soup quality [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2008.
- [7] 朱琳, 陈丽丽, 袁美兰, 等. 加工方法对乌鱼汤营养成分的影响[J]. *中国调味品*, 2017, 42(9): 61-64, 72.  
ZHU L, CHEN L L, YUAN M L, et al. Effect of processing methods on the nutritional components of mullet soup [J]. *China Condiment*, 2017, 42(9): 61-64, 72.
- [8] 张静, 陶宁萍, 朱清澄, 等. 秋刀鱼内脏磷脂的化学特性研究[J]. *中国油脂*, 2017, 42(8): 28-31, 81.  
ZHANG J, TAO N P, ZHU Q C, et al. Chemical characterization of Pacific saury (*Cololabis saira*) viscera lecithin [J]. *China Oils and Fats*, 2017, 42(8): 28-31, 81.
- [9] ZHANG J, TAO N P, WANG M F, et al. Characterization of phospholipids from Pacific saury (*Cololabis saira*) viscera and their neuroprotective activity [J]. *Food Bioscience*, 2018, 24: 120-126.
- [10] 国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.82—2016 食品中维生素 A、D、E 的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.  
National Health and Family Planning. GB 5009.82-2016 Determination of vitamin A, D and E in food [S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [11] 吴娜. 基于脂质热氧化降解解析中华绒螯蟹关键香气物质的形成机制[D]. 上海: 上海海洋大学, 2017.  
WU N. Formation mechanism of key odorants derived from lipid oxidation and degradation in Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2017.
- [12] 刘凤兰, 韩宏伟, 毛金梅, 等. 不同品种巴旦木种仁在不同采收期粗脂肪含量及其油脂脂肪酸组成的比较[J]. *中国油脂*, 2018, 43(6): 104-107.  
LIU F L, HAN H W, MAO J M, et al. Comparison of crude fat contents and oil fatty acid compositions of different species of almond kernel in different harvest time [J]. *China Oils and Fats*, 2018, 43(6): 104-107.
- [13] LI Y Q, LI C B, ZHAO F, et al. The effects of long - duration stewing combined with different cooking and heating methods on the quality of Pork Belly [J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2016, 40(1): 94-102.
- [14] 李妍, 王静, 李麒龙, 等. EPA 与 DHA 最新研究进展[J]. *农产品加工·学刊*, 2013, (2): 6-13.  
LI Y, WANG J, LI Q L, et al. The recent advances in the studies on EPA and DHA [J]. *Academic Periodical of Farm Products Processing*, 2013, (2): 6-13.
- [15] 王峰, 杨金生, 尚艳丽, 等. 黄鳍金枪鱼营养成分的研究与分析[J]. *食品工业*, 2013, 34(1): 187-189.  
WANG F, YANG J S, SHANG Y L, et al. The analysis of nutrition components in Yellow-Fin tuna [J]. *The Food Industry*, 2013, 34(1): 187-189.
- [16] 郭玉华, 李钰金. 水产品中 EPA 和 DHA 的研究进展[J]. *肉类研究*, 2011, 25(1): 82-86.  
GUO Y H, LI Y J. Research progress of EPA and DHA from Aatic [J]. *Meat Research*, 2011, 25(1): 82-86.
- [17] 王盛林, 赵震宇, 刘平怀, 等. 胶网藻 1A10 营养成分及羟基自由基清除能力研究[J]. *上海海洋大学学报*, 2018, 27(2): 196-205.  
WANG S L, ZHAO Z Y, LIU P H, et al. Nutrient components and hydroxyl radicals scavenging capacity research of *Dictyosphaerium* sp. 1A10 [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2018, 27(2): 196-205.
- [18] 刘果, 陈鸿鹏, 彭彦, 等. 印加果种子生长发育过程中脂肪酸组成的变化分析[J]. *中国油脂*, 2018, 43(8): 57-62.  
LIU G, CHEN H P, PENG Y, et al. Variations in fatty acid composition of Sachainchi seeds during growth and development [J]. *China Oils and Fats*, 2018, 43(8): 57-62.
- [19] 倪冬冬, 李洪军, 贺稚非, 等. 大鲵汤加工过程中营养品质变化规律[J]. *食品科学*, 2017, 38(20): 119-124.  
NI D D, LI H J, HE Z F, et al. Changes in nutritional quality during processing of giant salamander soup [J]. *Food Science*, 2017, 38(20): 119-124.
- [20] QI N L, GONG X, FENG C P, et al. Simultaneous analysis of eight vitamin E isomers in *Moringaoleifera* Lam. leaves by ultraperformance convergence chromatography [J]. *Food Chemistry*, 2016, 207: 157-161.
- [21] HUO J Z, NELIS H J, LAVENS P, et al. Determination of vitamin E in aquatic organisms by high-performance liquid chromatography with fluorescence detection [J]. *Analytical Biochemistry*, 1996, 242(1): 123-128.
- [22] 孔玉婷. 猪骨汤胞内抗氧化活性评价模型的研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2016.  
KONG Y T. Cell model study on intracellular antioxidant activities of pig bone soup [D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2016.
- [23] 蒋静. 电磁加热模式对鲫鱼汤营养释放的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2016.  
JIANG J. The influence of electromagnetic heating mode on the nutrients release of crucian soup [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2016.
- [24] 唐学燕, 陈洁, 李更更, 等. 加工方法对鱼汤营养成分的影响[J]. *食品工业科技*, 2008, 29(10): 248-251, 255.  
TANG X Y, CHEN J, LI G G, et al. Effect of processing

- conditions on the nutrition value of fish soup[J]. Science and Technology of Food Industry, 2008, 29(10): 248-251, 255.
- [25] KE L J, WANG H Q, GAO G Z, et al. Direct interaction of food derived colloidal micro/nano-particles with oral macrophages[J]. npjScience of Food, 2017, 1: 3.
- [26] 禄彦科. 猪骨汤微纳米胶粒的形成、化学性质及其初步分离[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2016.
- LU Y K. The formation chemistry and primary separation of micro/nano-particles in pig bone broth [D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2016.
- [27] KE L J, ZHOU J W, LU W, et al. The power of soups: Super-hero or team-work? [J]. Trends in Food Science & Technology, 2011, 22(9): 492-497.

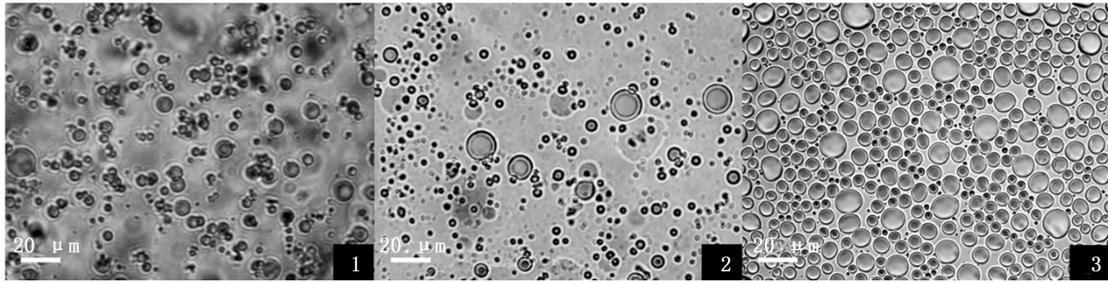
## Fatty acid composition, vitamin E and microscopic morphology of tuna (*Thunnus obesus*) head soup

QIAN Xueli<sup>1</sup>, SU Hong<sup>1</sup>, FAN Xinyi<sup>1</sup>, ZHANG Jing<sup>1</sup>, TAO Ningping<sup>1,2</sup>, WANG Xichang<sup>1,2</sup>

(1. College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Shanghai Engineering Research Center of Aquatic Product Processing & Preservation, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** The broth and pan-fried soup (PFS) of tuna (*Thunnus obesus*) head were stewed by two different methods. Fatty acid compositions and vitamin E ( $V_E$ ) contents of two different tuna head soups were analyzed and its microscopic morphology were observed during the cooking process. The results showed that there were 22 kinds of fatty acids both in the broth and PFS. The proportion of saturated fatty acids, monounsaturated fatty acids, polyunsaturated fatty acids and  $V_E$  reached the maximum with the condition of fish to water ratio of 1:8 (m/m), boiled for 150 min, and the contents in the PFS were higher than those in the broth. The average particles size of the micro/nano-size particle in broth and PFS after microfiltration and ultrafiltration treatment was measured by Malvern laser particle size analyzer, and it was found that the average particle size of the two kinds of soup was significantly smaller ( $P < 0.05$ ), but re-aggregation occurs to form larger particles. Observed under Inverted microscopy microscope, the particles were found to be unequal-sized spherical, with wide size distribution and good dispersion. This paper provides a research basis for the transfer of nutrients into the soup during the cooking process. Furthermore, it provides theoretical basis for the production of high-quality fish soup.

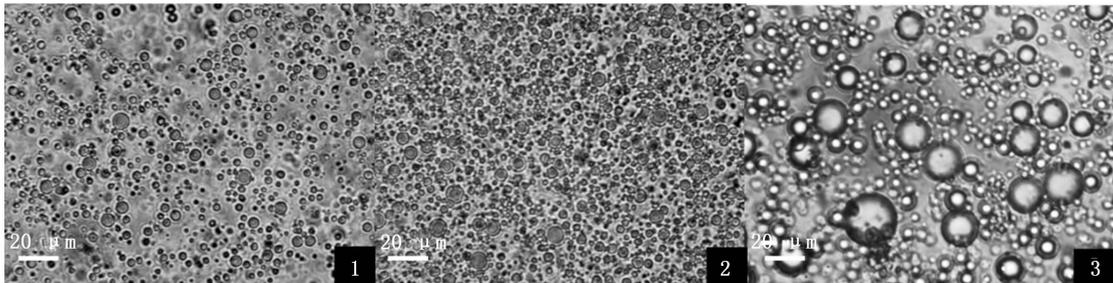
**Key words:** tuna head soup; fatty acid composition; vitamin E; micro/nano-size particle



1. 30 min; 2. 90 min; 3. 150 min

图版 I 金枪鱼头汤清汤中颗粒的光学显微镜形貌图

Plate I Morphology of particles in the broth by inverted optical microscopy



1. 30 min; 2. 90 min; 3. 150 min

图版 II 金枪鱼头汤白汤中颗粒的光学显微镜形貌图

Plate II Morphology of particles in the pan-fried soup by inverted optical microscopy