

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2020.06.010

# 8种颌针鱼肌肉脂肪酸成分分析

## Analysis of fatty acids in the muscle of 8 species of needlefish

庄海旗<sup>1,2</sup> 刘江琴<sup>2</sup> 钟宇<sup>3</sup> 崔燎<sup>1,4</sup> 罗辉<sup>4,5</sup>

ZHUANG Hai-qi<sup>1,2</sup> LIU Jiang-qin<sup>2</sup> ZHONG Yu<sup>3</sup> CUI Liao<sup>1,4</sup> LUO Hui<sup>4,5</sup>

(1. 广东医科大学广东天然药物研究与开发实验室, 广东 湛江 524023; 2. 广东医科大学化学教研室, 广东 湛江 524023; 3. 广东医科大学分析中心, 广东 湛江 524023; 4. 广东医科大学海洋医药研究院, 广东 湛江 524023; 5. 广东医科大学湛江市环北部湾海洋微生物资源研究开发重点实验室, 广东 湛江 524023)

(1. Guangdong Key Laboratory for Research and Development of Natural Drugs, Guangdong Medical University, Zhanjiang, Guangdong 524023, China; 2. Chemistry Teaching and Research Section, Guangdong Medical University, Zhanjiang, Guangdong 524023, China; 3. Analysis Center of Guangdong Medical University, Guangdong Medical University, Zhanjiang, Guangdong 524023, China; 4. Marine Medicine Research Institute, Guangdong Medical University, Zhanjiang, Guangdong 524023, China; 5. The Key Laboratory of R&D Marine Microorganism and Microalgae in the Beibu Gulf Rim, Guangdong Medical University, Zhanjiang, Guangdong 524023, China)

**摘要:**在秋冬季收集来源于湛江海域的斑鰹、南洋鰹、杜氏下鰹、缘下鰹、瓜氏下鰹、叉尾鹤鰹、尖嘴圆尾鹤鰹、尾斑圆尾鹤鰹8种颌针鱼,测定了其肌肉中的水分与粗脂肪含量,并通过气相色谱法分析了脂肪酸组分。结果显示,8种颌针鱼肌肉含水量66.7%~73.2%,粗脂肪占干重2.04%~2.78%,饱和脂肪酸(SFA)含量为32.10%~42.97%,单不饱和脂肪酸(MUFA)含量为11.99%~35.51%,多不饱和脂肪酸(PUFA)含量为29.37%~43.92%。8种颌针鱼的n-3系脂肪酸(21.19%~38.98%)和n-6系脂肪酸(5.44%~18.24%)均有较高含量,其中瓜氏下鰹*H. quoyi*和叉尾鹤鰹*T. acus* EPA+DHA+DPA含量分别为35.55%和33.31%,有较高脂肪酸营养价值和药用价值。杜氏下鰹和叉尾鹤鰹有较高的DPA含量,达8.43%和7.31%。

**关键词:**颌针鱼;鰹科;颌针鱼科;脂肪酸;气相色谱

**Abstract:** The fatty acid contents in muscle of eight species of needlefish were determined and compared for the development and utilization of the marine resource. In autumn and winter, 8 species of needlefish were collected from Zhanjiang sea area, in-

cluding *Hemiramphus far*, *Hemiramphus lutkei*, *Hyporhamphus dussumieri*, *Hyporhamphus limbatus*, *Hyporhamphus quoyi*, *Tylosurus acus*, *Strongylura anastomella* and *Strongylura strongylura*. The moisture and crude lipid of muscle were determined by national standard method and the content of fatty acid in muscle was determined by capillary gas chromatography. The results showed that moisture of the muscle of needlefish was 66.7%~73.2% and crude lipid was 2.04%~2.78% dry weight. The contents of saturated fatty acids (SFA), monounsaturated fatty acids (MUFA), polyunsaturated fatty acids (PUFA) in muscle were 32.10%~42.97%, 11.99%~35.51%, 29.37%~43.92%, respectively. The content of n-3 fatty acids (21.19%~38.98%) and n-6 fatty acids (5.44%~18.24%) in 8 species of needlefish were high and have higher fatty acid nutritional value and medicinal value, among which the content of *H. quoyi* and *T. acus* EPA+DHA+DPA were 35.55% and 33.31%, respectively. The DPA contents in *H. dussumieri* and *T. acus* were high, reaching 8.43% and 7.31%, respectively.

**Keywords:** needlefish; hemiramphidae; belonidae; fatty acids; gas chromatography

**基金项目:**广东省科技发展专项资金项目(编号:粤科规财字[2017]12号);湛江市科技计划项目(编号:2017B01008)

**作者简介:**庄海旗,男,广东医科大学副教授,硕士。

**通信作者:**刘江琴(1966—),女,广东医科大学副教授,硕士。

E-mail: 314042613@qq.com

**收稿日期:**2020-01-17

颌针鱼为辐鳍亚纲鹤鰹目集群性上层海洋鱼类,广泛分布于大西洋、印度洋和太平洋等温带至热带近岸海域。颌针鱼鱼体细长且有长针状颌,其中鰹科鱼上颌短,下颌前伸成针状,颌针鱼科鱼双颌均长如针状。鰹科鱼以漂浮的藻类、甲壳类动物和小型鱼类为食,食性较杂,而颌针鱼科鱼主要以小鱼或银汉鱼为食<sup>[1]</sup>。海洋鱼类含

有丰富的对人体健康有多方面积极作用的 EPA(二十碳五烯酸)和 DHA(二十二碳六烯酸)等  $n-3$  系多烯不饱和脂肪酸<sup>[2]</sup>。目前,关于颌针鱼的生物学特性已有大量报道,而有关其脂肪酸组成的研究较少,试验研究的 8 种颌针鱼除 Dhaneesh 等<sup>[3]</sup>有报道杜氏下鱈脂肪酸的研究外,其余 7 种颌针鱼脂肪酸研究未见报道。Rafika 等<sup>[4]</sup>报道欧洲鳔针鱼(*Belone belone*)EPA+DHA 含量为 17.16%,Merdzhanova 等<sup>[5]</sup>研究的欧洲鳔针鱼(*Belone belone*)的 EPA+DHA 含量为 19.84%,Dhaneesh 等<sup>[3]</sup>报道杜氏下鱈 EPA+DHA 含量为 7.41%,说明颌针鱼具有一定含量的多不饱和脂肪酸和 EPA、DHA 等长链不饱和脂肪酸。经测定发现,8 种颌针鱼 EPA+DHA 含量均高于 Dhaneesh 等<sup>[3]</sup>报道的杜氏下鱈。此外,杜氏下鱈、瓜氏下鱈、尖嘴圆尾鹤鱈、斑鱈和尾斑圆尾鹤鱈均有较高的 DPA(二十二碳五烯酸)含量。鉴于海洋鱼类含有大量人类所需补充的  $n-3$  系必需脂肪酸以及鱼油中的 DHA 和 EPA 在医药或保健品中的广泛应用,研究拟测定和比较广东湛江海域 8 种颌针鱼脂肪酸的数据,旨在为其脂肪酸营养评估或医药开发利用提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

#### 1.1.1 材料

8 种颌针鱼:于秋冬季节分 4 批次于广东湛江霞山渔港海鲜市场收集,由广东海洋大学陈文河教授协助鉴定为 5 种鱈科鱼种[斑鱈(*Hemiramphus far*)、南洋鱈(*Hemiramphus lutkei*)、杜氏下鱈(*Hyporhamphus dussumieri*)、缘下鱈(*Hyporhamphus limbatus*)、瓜氏下鱈(*Hyporhamphus quoyi*)],3 种颌针鱼科鱼种[叉尾鹤鱈(*Tylosurus acus*)、尖嘴圆尾鹤鱈(*Strongylura anastomella*)、尾斑圆尾鹤鱈(*Strongylura strongylura*)]。选取成年颌针鱼各 4 尾,去鳞割取背部肌肉,在内置干燥剂和充  $N_2$  玻璃干燥器中冷冻干燥保存备用。

#### 1.1.2 试剂

混合 21 种标准脂肪酸甲酯(等质量比);美国 Sigma 公司;

所用试剂:分析纯,广州化学试剂厂。

### 1.2 仪器与设备

气相色谱:GC-2010 型,配 GC-workstation 工作站,日本岛津公司;

电子天平:AL204 型,梅特勒—托利多上海仪器有限公司;

恒温水浴锅:数显 HH-4 型,常州澳华仪器有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 鱼体水分和粗脂肪的测定

(1) 水分:烘干失水法,按 GB 5009.3—2010 执行。

(2) 粗脂肪:索氏抽提法,按 GB 5009.6—2016 执行。

1.3.2 鱼体肌肉脂肪酸甲酯化 分别称取 50 mg 干燥后研磨成细粉的颌针鱼,各加 0.5% 硫酸—甲醇溶液 2 mL,60 °C 水浴恒温 1 h,加入 4 mL 正己烷进行两次萃取,上层萃取液合并于离心管,加无水硫酸钠充分吸附水分,样品溶液以氮气保存备用。

1.3.3 气相色谱条件 DB-WAX 色谱柱(30.0 m × 0.25 mm × 0.25 μm);进样器(250 °C);检测器(FID, 250 °C);色谱柱温度:120 °C(保持 1 min 后以 10 °C/min 升温)→210 °C(保持 4 min 后 3 °C/min 升温)→240 °C(保持 10 min)。载气: $N_2$ ;柱内流速 30 mL/min,分流比 100:1,标准混合脂肪酸甲酯及样品各自进样 5 μL。

1.3.4 数据处理 试验数据用 Excel 2003 软件处理,颌针鱼脂肪酸成分含量以“平均值 ± SD”表示,显著性差异检验使用  $t$  检验法。

## 2 结果与分析

### 2.1 颌针鱼一般成分测定

颌针鱼体重范围、身长范围、肌肉含水量及粗脂肪等如表 1 所示。表 1 显示,各种颌针鱼成鱼的个体体重、体长各不相同;鱈科鱼肌肉含水量 < 颌针鱼科鱼肌肉含水量,具显著性差异( $P < 0.05$ ),5 种鱈科鱼科内鱼种含水量无显著性差异( $P > 0.05$ ),3 种颌针鱼科鱼科内鱼种肌肉含水量亦无显著性差异( $P > 0.05$ );鱈科鱼肌肉粗脂肪含量 > 颌针鱼科鱼肌肉粗脂肪含量,具显著性差异( $P < 0.05$ ),5 种鱈科鱼科内鱼种肌肉粗脂肪含量无显著性差异( $P > 0.05$ ),3 种颌针鱼科鱼科内鱼种肌肉粗脂肪含量无显著性差异( $P > 0.05$ )。

### 2.2 标准脂肪酸甲酯的保留时间及校正因子

标准脂肪酸甲酯保留时间及对应峰面积校正因子见表 2,杜氏下鱈肌肉相应的脂肪酸甲酯气相色谱图见图 1。

### 2.3 颌针鱼中脂肪酸含量的测定结果

对 8 种颌针鱼肌肉脂肪酸样品进行气相色谱分析,其脂肪酸组分含量结果列表 3。其中未确定物质含量占全部成分 1.66%~5.66%。21 种被测定的脂肪酸中,含量 > 1% 的主要饱和脂肪酸为  $C_{14:0}$ 、 $C_{16:0}$  和  $C_{18:0}$ ,单不饱和脂肪酸为  $C_{18:1}$  和  $C_{16:1}$ ,多不饱和脂肪酸为  $C_{18:2(6)}$ 、 $C_{20:4(n-6)}$ (AA)、 $C_{22:5(n-6)}$ 、 $C_{22:5(n-3)}$ (DPA)、 $C_{20:5(n-3)}$ (EPA)和  $C_{22:6(n-3)}$ (DHA)。

### 2.4 颌针鱼中脂肪酸含量分析

2.4.1 饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸含量 图 2 为各颌针鱼总饱和脂肪酸、总单不饱和脂肪酸和总多不饱和脂肪酸的比较图。颌针鱼肌肉总饱和脂肪酸( $\Sigma$ SFA)含量 32.10%~42.97%,其中各颌针鱼肌肉的总饱和脂肪酸[叉尾鹤鱈(42.97%)、南洋鱈(42.01%)]与[尾斑圆尾鹤

表 1 颌针鱼的体重、身长、水分和脂肪(干重)<sup>†</sup>

Table 1 Body weight, body length, moisture and crude lipid (dry weight) of needlefish

| 鱼种     | 体重/g    | 体长/mm   | 水分/%                   | 粗脂肪(干重)/%              |
|--------|---------|---------|------------------------|------------------------|
| 斑鲷     | 132~149 | 201~232 | 71.7±1.9 <sup>a*</sup> | 2.13±0.37 <sup>b</sup> |
| 南洋鲷    | 122~137 | 192~228 | 72.1±2.1 <sup>a</sup>  | 2.20±0.21 <sup>b</sup> |
| 杜氏下鲷   | 118~142 | 158~217 | 73.2±1.8 <sup>a</sup>  | 2.16±0.28 <sup>b</sup> |
| 缘下鲷    | 108~134 | 157~194 | 72.4±2.0 <sup>a</sup>  | 2.04±0.15 <sup>b</sup> |
| 瓜氏下鲷   | 105~143 | 149~196 | 72.9±1.6 <sup>a</sup>  | 2.11±0.43 <sup>b</sup> |
| 叉尾鹤鲷   | 523~742 | 421~573 | 66.7±1.7 <sup>b</sup>  | 2.78±0.13 <sup>a</sup> |
| 尖嘴圆尾鹤鲷 | 284~326 | 352~395 | 68.6±2.1 <sup>b</sup>  | 2.52±0.34 <sup>a</sup> |
| 尾斑圆尾鹤鲷 | 258~372 | 337~403 | 68.2±1.3 <sup>b</sup>  | 2.67±0.29 <sup>a</sup> |

<sup>†</sup> 同列小写字母不同表示具有显著性差异(P<0.05)。

表 2 标准脂肪酸甲酯保留时间及校正因子

Table 2 The retention time and correction factor of standard fatty acid methyl ester

| 标准脂肪酸甲酯                | 保留时间/min | 相对校正因子 | 标准脂肪酸甲酯                | 保留时间/min | 相对校正因子 |
|------------------------|----------|--------|------------------------|----------|--------|
| C <sub>14:0</sub>      | 7.93     | 0.99   | C <sub>20:1</sub>      | 16.62    | 1.00   |
| C <sub>15:0</sub>      | 8.97     | 1.00   | C <sub>20:2(n-6)</sub> | 17.37    | 1.01   |
| C <sub>16:0</sub>      | 10.24    | 1.00   | C <sub>20:3(n-6)</sub> | 17.82    | 1.06   |
| C <sub>16:1</sub>      | 10.58    | 0.99   | C <sub>20:4(n-6)</sub> | 18.22    | 1.03   |
| C <sub>17:0</sub>      | 11.64    | 1.01   | C <sub>20:4(n-3)</sub> | 19.01    | 0.99   |
| C <sub>18:0</sub>      | 13.15    | 1.03   | C <sub>20:5(n-3)</sub> | 19.49    | 1.09   |
| C <sub>18:1</sub>      | 13.44    | 0.99   | C <sub>22:4(n-6)</sub> | 22.88    | 1.15   |
| C <sub>18:2(n-6)</sub> | 14.12    | 0.98   | C <sub>22:5(n-6)</sub> | 23.68    | 1.12   |
| C <sub>18:3(n-6)</sub> | 14.71    | 1.00   | C <sub>22:5(n-3)</sub> | 24.83    | 1.24   |
| C <sub>18:3(n-3)</sub> | 15.10    | 1.00   | C <sub>22:6(n-3)</sub> | 25.77    | 1.28   |
| C <sub>18:4(n-3)</sub> | 15.57    | 1.00   |                        |          |        |

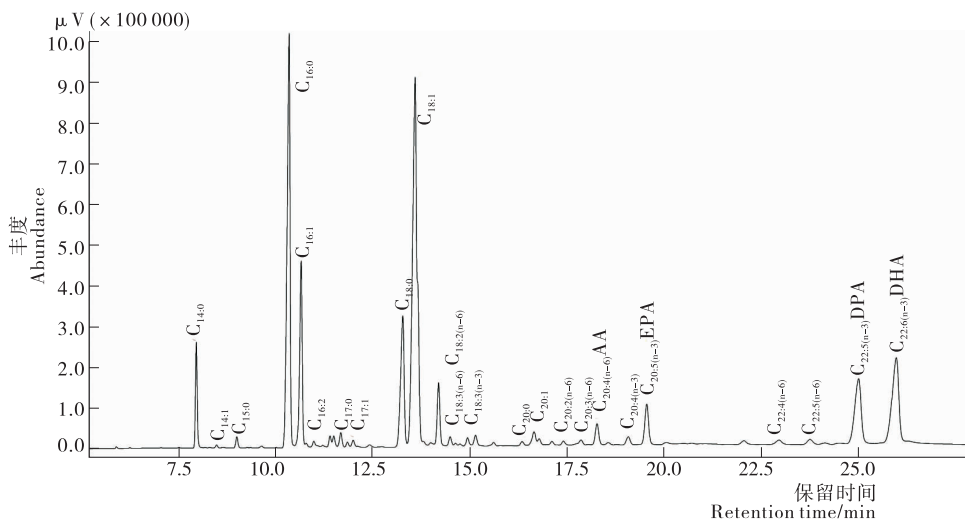


图 1 杜氏下鲷肌肉脂肪酸甲酯总离子流色谱图

Figure 1 Total ion current chromatogram of fatty acids methyl ester from the muscle of *H. dussumieri*

表 3 8种颌针鱼肌肉脂肪酸的组成和相对含量<sup>†</sup>  
Table 3 The composition and percentage in eight species of needlefish (n=4) %

| 种类     | C <sub>14:0</sub>                | C <sub>15:0</sub>          | C <sub>16:0</sub>          | C <sub>16:1</sub>                | C <sub>17:0</sub>                | C <sub>18:0</sub>          | C <sub>18:1</sub>              | C <sub>18:2</sub> (n-6)    |
|--------|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| 斑鲻     | 2.43±0.29 <sup>c</sup>           | 0.79±0.15 <sup>a</sup>     | 22.54±2.38 <sup>bc</sup>   | 4.63±0.32 <sup>b</sup>           | 1.08±0.11 <sup>a</sup>           | 9.52±0.37 <sup>cd</sup>    | 15.51±1.12 <sup>d</sup>        | 3.43±0.34 <sup>c</sup>     |
| 南洋鲻    | 1.41±0.43 <sup>d</sup>           | 0.57±0.17 <sup>abc</sup>   | 27.95±3.24 <sup>a</sup>    | 3.31±0.41 <sup>c</sup>           | 0.97±0.09 <sup>a</sup>           | 11.09±0.79 <sup>ab</sup>   | 16.67±1.49 <sup>cd</sup>       | 3.27±0.22 <sup>c</sup>     |
| 杜氏下鲻   | 3.07±0.38 <sup>b</sup>           | 0.38±0.26 <sup>bc</sup>    | 20.37±1.8 <sup>9c</sup>    | 7.59±0.53 <sup>a</sup>           | 0.57±0.05 <sup>c</sup>           | 7.71±0.42 <sup>f</sup>     | 27.43±2.36 <sup>a</sup>        | 2.63±0.29 <sup>d</sup>     |
| 缘下鲻    | 1.62±0.17 <sup>d</sup>           | 0.26±0.03 <sup>d</sup>     | 24.33±2.31 <sup>ab</sup>   | 3.29±0.47 <sup>c</sup>           | 0.35±0.04 <sup>d</sup>           | 7.65±0.26 <sup>f</sup>     | 22.39±1.98 <sup>b</sup>        | 11.27±1.46 <sup>a</sup>    |
| 瓜氏下鲻   | 2.48±0.43 <sup>bc</sup>          | 0.37±0.02 <sup>c</sup>     | 25.22±2.02 <sup>ab</sup>   | 5.13±0.66 <sup>b</sup>           | 0.52±0.08 <sup>c</sup>           | 8.45±0.38 <sup>e</sup>     | 10.97±1.23 <sup>e</sup>        | 1.56±0.26 <sup>e</sup>     |
| 叉尾鹤鲻   | 5.02±0.37 <sup>a</sup>           | 0.72±0.06 <sup>a</sup>     | 23.89±2.19 <sup>ab</sup>   | 1.82±0.21 <sup>d</sup>           | 1.02±0.06 <sup>a</sup>           | 11.77±0.89 <sup>a</sup>    | 9.61±0.74 <sup>e</sup>         | 0.55±0.03 <sup>g</sup>     |
| 尖嘴圆尾鹤鲻 | 2.85±0.18 <sup>b</sup>           | 0.64±0.09 <sup>ab</sup>    | 26.23±2.56 <sup>ab</sup>   | 6.83±0.74 <sup>a</sup>           | 0.74±0.12 <sup>b</sup>           | 9.04±0.44 <sup>de</sup>    | 14.81±1.85 <sup>d</sup>        | 0.88±0.15 <sup>f</sup>     |
| 尾斑圆尾鹤鲻 | 1.02±0.14 <sup>e</sup>           | 0.65±0.11 <sup>ab</sup>    | 24.03±1.97 <sup>ab</sup>   | 3.61±0.18 <sup>c</sup>           | 1.23±0.21 <sup>a</sup>           | 10.04±0.50 <sup>bc</sup>   | 18.55±2.13 <sup>c</sup>        | 4.18±0.32 <sup>b</sup>     |
| 种类     | C <sub>18:3</sub><br>(n-6)       | C <sub>18:3</sub><br>(n-3) | C <sub>18:4</sub><br>(n-3) | C <sub>20:1</sub>                | C <sub>20:2</sub><br>(n-6)       | C <sub>20:3</sub><br>(n-6) | C <sub>20:4</sub><br>(n-6)(AA) | C <sub>20:4</sub><br>(n-3) |
| 斑鲻     | 0.24±0.02 <sup>c</sup>           | 0.80±0.03 <sup>a</sup>     | 0.43±0.05 <sup>b</sup>     | 0.47±0.06 <sup>bc</sup>          | 0.27±0.02 <sup>d</sup>           | 0.08±0.01 <sup>f</sup>     | 2.49±0.34 <sup>cd</sup>        | 0.38±0.03 <sup>d</sup>     |
| 南洋鲻    | 0.09±0.03 <sup>e</sup>           | 0.84±0.06 <sup>a</sup>     | 0.41±0.03 <sup>b</sup>     | 0.28±0.03 <sup>f</sup>           | 0.19±0.01 <sup>e</sup>           | 0.09±0.01 <sup>f</sup>     | 2.97±0.21 <sup>c</sup>         | 0.22±0.02 <sup>e</sup>     |
| 杜氏下鲻   | 0.35±0.02 <sup>a</sup>           | 0.36±0.02 <sup>d</sup>     | 0.11±0.01 <sup>f</sup>     | 0.49±0.02 <sup>b</sup>           | 0.20±0.01 <sup>e</sup>           | 0.25±0.05 <sup>d</sup>     | 1.23±0.42 <sup>e</sup>         | 0.47±0.07 <sup>c</sup>     |
| 缘下鲻    | 0.31±0.01 <sup>b</sup>           | 0.60±0.05 <sup>b</sup>     | 0.14±0.02 <sup>e</sup>     | 0.58±0.07 <sup>a</sup>           | 0.48±0.03 <sup>b</sup>           | 1.24±0.08 <sup>a</sup>     | 3.09±0.37 <sup>c</sup>         | 0.17±0.03 <sup>f</sup>     |
| 瓜氏下鲻   | 0.05±0.03 <sup>e</sup>           | 0.49±0.08 <sup>c</sup>     | 0.27±0.03 <sup>c</sup>     | 0.18±0.02 <sup>g</sup>           | 0.11±0.03 <sup>f</sup>           | 0.25±0.06 <sup>d</sup>     | 2.35±0.22 <sup>d</sup>         | 0.95±0.11 <sup>a</sup>     |
| 叉尾鹤鲻   | 0.33±0.02 <sup>ab</sup>          | 0.16±0.01 <sup>e</sup>     | 0.57±0.08 <sup>a</sup>     | 0.35±0.02 <sup>de</sup>          | 0.42±0.03 <sup>c</sup>           | 0.41±0.01 <sup>c</sup>     | 4.01±0.32 <sup>b</sup>         | 0.20±0.03 <sup>ef</sup>    |
| 尖嘴圆尾鹤鲻 | 0.18±0.02 <sup>d</sup>           | 0.51±0.05 <sup>c</sup>     | 0.20±0.02 <sup>d</sup>     | 0.30±0.05 <sup>ef</sup>          | 0.14±0.03 <sup>f</sup>           | 0.16±0.04 <sup>e</sup>     | 2.20±0.13 <sup>d</sup>         | 0.77±0.07 <sup>b</sup>     |
| 尾斑圆尾鹤鲻 | 0.24±0.02 <sup>c</sup>           | 0.38±0.16 <sup>cd</sup>    | 0.11±0.01 <sup>f</sup>     | 0.39±0.04 <sup>cd</sup>          | 0.68±0.08 <sup>a</sup>           | 0.65±0.03 <sup>b</sup>     | 4.99±0.41 <sup>a</sup>         | 0.75±0.06 <sup>b</sup>     |
| 种类     | C <sub>20:5</sub> (n-3)<br>(EPA) | C <sub>22:4</sub><br>(n-6) | C <sub>22:5</sub><br>(n-3) | C <sub>22:5</sub> (n-3)<br>(DPA) | C <sub>22:6</sub> (n-3)<br>(DHA) | 不确定<br>成分                  | ∑SFA                           | ∑MUFA                      |
| 斑鲻     | 3.28±0.42 <sup>c</sup>           | 0.79±0.13 <sup>c</sup>     | 1.69±0.24 <sup>a</sup>     | 4.89±0.27 <sup>cd</sup>          | 21.27±2.18 <sup>b</sup>          | 3.00                       | 36.36±2.47 <sup>b</sup>        | 20.60±2.13 <sup>c</sup>    |
| 南洋鲻    | 3.99±0.19 <sup>b</sup>           | 0.65±0.19 <sup>cd</sup>    | 1.20±0.11 <sup>b</sup>     | 2.62±0.29 <sup>ef</sup>          | 17.90±1.82 <sup>cd</sup>         | 3.29                       | 42.01±3.03 <sup>a</sup>        | 19.27±1.47 <sup>cd</sup>   |
| 杜氏下鲻   | 2.72±0.22 <sup>d</sup>           | 0.31±0.05 <sup>e</sup>     | 0.47±0.06 <sup>d</sup>     | 8.43±0.45 <sup>a</sup>           | 11.85±1.35 <sup>f</sup>          | 3.01                       | 32.10±1.82 <sup>c</sup>        | 35.51±3.28 <sup>a</sup>    |
| 缘下鲻    | 2.25±0.34 <sup>d</sup>           | 0.27±0.03 <sup>e</sup>     | 1.28±0.31 <sup>ab</sup>    | 2.76±0.31 <sup>e</sup>           | 14.02±1.17 <sup>ef</sup>         | 1.66                       | 34.20±2.34 <sup>bc</sup>       | 26.26±2.74 <sup>b</sup>    |
| 瓜氏下鲻   | 4.88±0.59 <sup>a</sup>           | 1.27±0.27 <sup>b</sup>     | 0.90±0.13 <sup>c</sup>     | 7.31±0.52 <sup>b</sup>           | 23.36±2.24 <sup>b</sup>          | 2.96                       | 37.03±3.69 <sup>ab</sup>       | 16.28±2.61 <sup>d</sup>    |
| 叉尾鹤鲻   | 3.27±0.31 <sup>c</sup>           | 0.43±0.06 <sup>d</sup>     | 1.22±0.16 <sup>b</sup>     | 2.19±0.31 <sup>f</sup>           | 27.84±2.38 <sup>a</sup>          | 4.23                       | 42.97±3.16 <sup>a</sup>        | 11.99±1.37 <sup>e</sup>    |
| 尖嘴圆尾鹤鲻 | 2.60±0.31 <sup>d</sup>           | 0.68±0.09 <sup>c</sup>     | 0.92±0.11 <sup>c</sup>     | 5.61±0.62 <sup>c</sup>           | 18.06±1.37 <sup>c</sup>          | 5.66                       | 39.50±4.32 <sup>ab</sup>       | 21.94±1.92 <sup>c</sup>    |
| 尾斑圆尾鹤鲻 | 3.05±0.15 <sup>c</sup>           | 1.62±0.11 <sup>a</sup>     | 1.21±0.25 <sup>b</sup>     | 4.43±0.38 <sup>d</sup>           | 15.00±1.73 <sup>de</sup>         | 3.18                       | 36.98±2.13 <sup>b</sup>        | 22.56±2.66 <sup>bc</sup>   |
| 种类     | ∑PUFA                            | ∑n-3                       | ∑n-6                       | ∑n-3/<br>∑n-6                    | EPA+DHA                          | DHA/<br>EPA                | EPA+DHA+<br>DPA                |                            |
| 斑鲻     | 40.51±3.11 <sup>ab</sup>         | 32.98±2.35 <sup>b</sup>    | 9.54±1.44 <sup>c</sup>     | 3.5                              | 24.54±3.14 <sup>bc</sup>         | 6.5                        | 29.43±2.84 <sup>b</sup>        |                            |
| 南洋鲻    | 35.42±2.45 <sup>cd</sup>         | 29.26±2.20 <sup>bc</sup>   | 6.02±0.86 <sup>de</sup>    | 4.9                              | 21.89±2.17 <sup>c</sup>          | 4.5                        | 24.51±1.83 <sup>cd</sup>       |                            |
| 杜氏下鲻   | 29.37±1.49 <sup>e</sup>          | 24.71±2.76 <sup>de</sup>   | 5.44±0.41 <sup>e</sup>     | 4.5                              | 14.58±1.56 <sup>f</sup>          | 4.4                        | 23.01±2.16 <sup>d</sup>        |                            |
| 缘下鲻    | 37.88±3.01 <sup>bc</sup>         | 21.19±1.67 <sup>e</sup>    | 18.24±1.49 <sup>a</sup>    | 1.1                              | 16.27±1.89 <sup>ef</sup>         | 6.2                        | 19.03±1.94 <sup>e</sup>        |                            |
| 瓜氏下鲻   | 43.92±2.77 <sup>a</sup>          | 38.98±3.04 <sup>a</sup>    | 6.93±0.73 <sup>d</sup>     | 5.6                              | 28.24±2.47 <sup>ab</sup>         | 4.8                        | 35.55±2.51 <sup>a</sup>        |                            |
| 叉尾鹤鲻   | 41.03±2.93 <sup>ab</sup>         | 32.70±2.11 <sup>b</sup>    | 8.33±0.50 <sup>c</sup>     | 3.9                              | 31.12±2.04 <sup>a</sup>          | 8.5                        | 33.31±2.23 <sup>ab</sup>       |                            |
| 尖嘴圆尾鹤鲻 | 33.21±2.81 <sup>de</sup>         | 29.01±2.51 <sup>bcd</sup>  | 5.49±0.94 <sup>de</sup>    | 5.3                              | 20.65±1.86 <sup>cd</sup>         | 7.0                        | 26.26±1.92 <sup>c</sup>        |                            |
| 尾斑圆尾鹤鲻 | 37.67±2.23 <sup>bc</sup>         | 26.41±1.70 <sup>cd</sup>   | 13.71±1.42 <sup>b</sup>    | 1.9                              | 18.05±2.03 <sup>de</sup>         | 4.9                        | 22.48±1.98 <sup>d</sup>        |                            |

† 同列小写字母不同表示具有显著性差异(P<0.05)。

鲻 36.98%、斑鲻(36.36%)与[杜氏下鲻(32.10%)]相互间具有显著性差异(P<0.05);总单不饱和脂肪酸含量(∑MUFA)为 11.99%~35.51%,其中各颌针鱼肌肉的总

单不饱和脂肪酸[杜氏下鲻(35.51%)]与[缘下鲻(26.26%)]与[尖嘴圆尾鹤鲻(21.94%)、斑鲻(20.60%)]与[瓜氏下鲻(16.28%)]与[叉尾鹤鲻(11.99%)]相互间

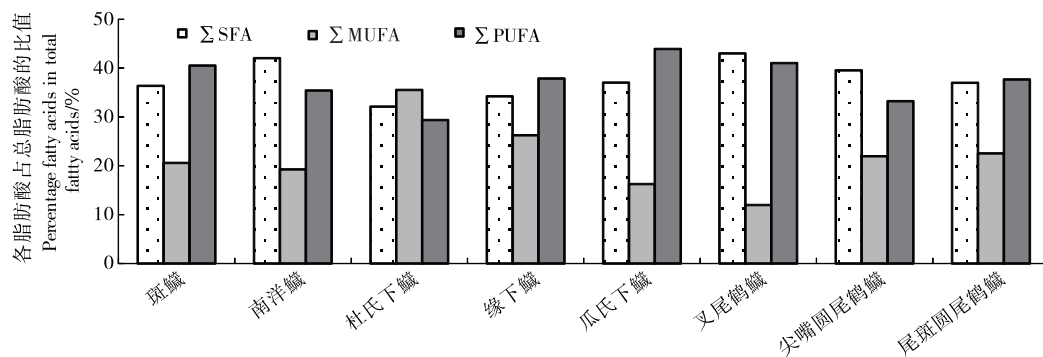


图 2 饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸和和多不饱和脂肪酸比较  
Figure 2 Comparison of SFA, MUFA and PUFA

具有显著性差异( $P < 0.05$ )。

在海洋鱼类中,一般  $C_{16:0}$  占比较大,但通常  $C_{16:0}$  与 DHA 有竞争性占比:一般情况下,  $C_{16:0}$  大于所有脂肪酸含量,但若 DHA 含量较大时,则 DHA 可能会超过  $C_{16:0}$  [6]。8 种颌针鱼主要饱和脂肪酸,除叉尾鹤鲷  $C_{16:0}$  (23.89%)  $< C_{22:6}$  ( $n-3$ ) (DHA) (27.84%) 外,其余 7 种颌针鱼均  $C_{16:0} > C_{22:6}$  ( $n-3$ ) (DHA),与 Rafika 等 [4] 和 Merdzhanova 等 [5] 报道的欧洲鳎针鱼  $C_{16:0} > C_{22:6}$  ( $n-3$ ) (DHA) 一致。也有其他特殊情况,如杜氏下鲷呈现了  $C_{16:0}$  (20.37%)  $< C_{18:1}$  (27.43%) 的情况。

8 种颌针鱼  $C_{16:0} > C_{18:0} > C_{14:0}$  和  $C_{18:1} > C_{16:1} > C_{20:1}$ ,与吴志强等 [6] 研究的 6 种中上层鱼,Rafika 等 [4] 和 Merdzhanova 等 [5] 报道的欧洲鳎针鱼一致。

2.4.2 多不饱和脂肪酸 总多不饱和脂肪酸 ( $\Sigma$ PUFA) 含量为 29.37%~43.92%,其中 [瓜氏下鲷 (43.92%)] 与 [缘下鲷 (37.88%)、尾斑圆尾鹤鲷 (37.67%)] 与 [尖嘴圆尾鹤鲷 (33.21%)、杜氏下鲷 (29.37%)] 相互间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

研究 [7] 表明,海洋生物或海洋鱼类含有丰富的多不饱和脂肪酸,8 种颌针鱼主要多不饱和脂肪酸为  $C_{18:2}$  ( $n-6$ )、 $C_{20:4}$  ( $n-6$ ) (AA)、 $C_{20:5}$  ( $n-3$ ) (EPA)、 $C_{22:5}$  ( $n-3$ ) (DPA) 和  $C_{22:6}$  ( $n-3$ ) (DHA)。  $C_{20:4}$  ( $n-6$ ) (AA) 和  $C_{20:5}$

( $n-3$ ) (EPA) 在各种颌针鱼中变化相对稳定。  $C_{18:2}$  ( $n-6$ ) 在海洋鱼中变化相对较大 [8],各种颌针鱼中也变化相对较大,其中  $C_{18:2}$  ( $n-6$ ) 在斑鲷 (3.43%)、南洋鲷 (3.27%) 尾斑圆尾鹤鲷 (4.18%) 中与 Merdzhanova 等 [5] 研究的欧洲鳎针鱼  $C_{18:2}$  ( $n-6$ ) (3.47%) 的情况基本相符。试验测得缘下鲷  $C_{18:2}$  ( $n-6$ ) 的含量高达 11.27%,远高于其他 7 种颌针鱼,与 Huang 等 [8] 研究 12 种海鱼中的欧洲舌齿鲈 *Dicentrarchu labrax* 的  $C_{18:2}$  ( $n-6$ ) (17.4%) 和金头鲷 *parus aurata* 的  $C_{18:2}$  ( $n-6$ ) (15.0%) 情况相似。

一般鱼油主要功效成分是 DHA 和 EPA,以及脂溶性维生素 A 和维生素 D 等 [9]。EPA 和 DHA 是膳食脂肪酸中能降低甘油三酯的物质,并可用于治疗高甘油三酯血症 [10-11]。8 种颌针鱼均具有较高的 EPA+DHA (见图 3),其中尖嘴圆尾鹤鲷、南洋鲷、斑鲷、瓜氏下鲷和叉尾鹤鲷的 EPA+DHA 含量达 20.65%~31.12%,是较好的 EPA 和 DHA 食品来源。金枪鱼是世界营养学会推荐为三大营养鱼类之一,研究的瓜氏下鲷和叉尾鹤鲷的 EPA+DHA 分别为 28.24% 和 31.12%,低于周聘等 [12] 研究的黄鳍金枪鱼的 (35.12%)、长鳍金枪鱼 (37.26%) 和罗殷等 [13] 研究的黄鳍金枪鱼 (43.28%) 等的含量,高于苏阳等 [14] 研究的青干金枪鱼 (22.50%)、鲣鱼 (17.80%)、圆舵鲣鱼 (22.80%),还高于常用于生产鱼油的鲑鱼肌肉

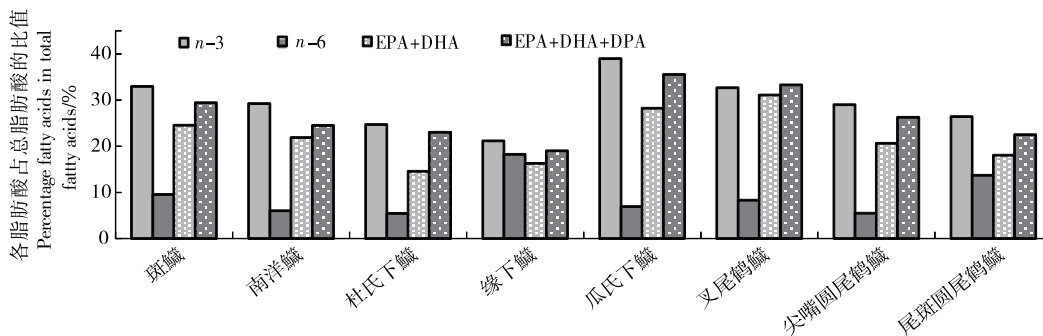


图 3  $\Sigma n-6$ 、 $\Sigma n-3$ 、EPA+DHA 和 EPA+DHA+DPA 脂肪酸的比较

Figure 3 Comparison of  $\Sigma n-3$ ,  $\Sigma n-6$ , EPA+DHA, and EPA+DHA+DPA fatty acids

(24.6%)<sup>[15]</sup>、精制沙丁鱼油(23.41%)<sup>[16]</sup>和鲭鱼肌肉(22.60%)<sup>[17]</sup>,因此这两种鱼可用于提取或精制高EPA+DHA含量的鱼油。

对于心血管代谢疾病,DHA较EPA的治疗作用要高一些<sup>[18-19]</sup>,8种颌针鱼均DHA>EPA,且DHA/EPA在4.4~8.5,因此膳食颌针鱼更适合心血管疾病人群。

DPA被证实具有与EPA和DHA相同功效的脂肪酸,尤其是抗炎作用<sup>[20-22]</sup>。DPA在海洋生物中的含量通常与海豹油比较,8种颌针鱼中杜氏下鱈(8.43%)、瓜氏下鱈(7.31%)、尖嘴圆尾鹤鱈(5.61%)、斑鱈(4.89%)和尾斑圆尾鹤鱈(4.43%)均超过加拿大海豹油(3.31%)<sup>[23]</sup>和海豹油(4.09%)<sup>[24]</sup>。其中杜氏下鱈和瓜氏下鱈的DPA含量高达8.43%和7.31%,高于庄海旗等<sup>[25]</sup>研究的单色天竺鲷(7.00%)。若按抗炎作用的EPA+DHA+DPA的含量计算,8种颌针鱼脂肪酸EPA+DHA+DPA(见图3)含量为19.03%~35.55%,其中瓜氏下鱈和叉尾鹤鱈的EPA+DHA+DPA分别为35.55%和33.31%,均超过30%值,具有很好的医药开发利用价值。

2.4.3 *n*-6系和*n*-3系脂肪酸 8种颌针鱼肌肉中,*n*-3系脂肪酸含量(21.19%~38.98%)高于*n*-6系脂肪酸(5.44%~18.24%) (见图3),除缘下鱈和尾斑圆尾鹤鱈 $\sum n-3/\sum n-6$ 比率较低外,其余6种颌针鱼的 $\sum n-3/\sum n-6$ 比率为3.5~5.6,因此经常食用颌针鱼可提高人体*n*-3脂肪酸的摄入量,有利于平衡体内来自于动植物膳食的脂肪酸<sup>[9,26]</sup>。

### 3 结论

研究测得8种颌针鱼21种脂肪酸成分,多不饱和脂肪酸含量高达29.37%~43.92%,其中*n*-3系脂肪酸含量达21.19%~38.98%,可作为膳食脂肪酸营养补充食品。8种颌针鱼的二十二碳五稀酸有一定的含量,其中杜氏下鱈和瓜氏下鱈的二十二碳五稀酸含量高达8.43%和7.31%。8种颌针鱼抗炎作用的二十碳五稀酸+二十二碳六稀酸+二十二碳五稀酸为19.03%~35.55%,其中瓜氏下鱈和叉尾鹤鱈的二十碳五稀酸+二十二碳六稀酸+二十二碳五稀酸分别为35.55%和33.31%,具有很好的医药开发利用价值。

#### 参考文献

[1] FROESE R, PAULY D. FishBase[DB/OL]. [2020-01-03]. <https://www.fishbase.de/>.

[2] 孙翔宇, 高贵田, 段爱莉, 等. 多不饱和脂肪酸的研究进展[J]. 食品工业科技, 2012, 33(7): 418-423.

[3] DHANEESH K V, NOUSHAD K M, AJITH T T. Nutritional evaluation of commercially important fish species of Lakshadweep Archipelago, India[J]. PLoS ONE, 2012, 7

(9): 1-7.

[4] RAFIKA F B, MOHAMED A B, SMIDA, et al. Impact of a blood-sucking parasite on the chemical composition of fatty acids in the white muscle of garfish (*Belone belone*, *Belo-nidae*) from Tunisian coasts (Central Mediterranean)[J]. African Journal of Biology, 2013, 1(2): 69-72.

[5] MERDZHANOVA A, STANCHEVA M, MAKEDONSKI L. Fatty acid composition of Bulgarian Black Sea fish species[J]. Ovidius University Annals of Chemistry, 2012, 23(1): 41-46.

[6] 吴志强, 丘书院, 杨圣云, 等. 闽南一台湾浅滩渔场六种主要中上层鱼类的脂肪酸研究[J]. 水产学报, 2000, 24(1): 61-66.

[7] 金青哲, 逯良忠, 王兴国, 等. 海洋鱼油的生产与应用[J]. 中国油脂, 2011, 36(8): 1-5.

[8] HUANG L T, BÜLBÜL U, WEN P C, et al. Fatty acid composition of 12 fish species from the Black Sea[J]. Journal of Food Science, 2012, 77(5): C512-C518.

[9] LAWRENCE G D. The fats of life: Essential fatty acids in health and disease[M]. [S.l.]: Rutgers University Press, 2010: 16-29.

[10] DOUG B, BILL L. Balancing proportions of competing omega-3 and omega-6 highly unsaturated fatty acids (HUFA) in tissue lipids[J]. Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids, 2015, 99: 19-23.

[11] DAMON A B, GERALD F W. Contemporary and novel therapeutic options for hypertriglyceridemia[J]. Clinical Therapeutic, 2015, 37(12): 2 732-2 750.

[12] 周聃, 徐坤华, 赵巧灵. 2种大洋性金枪鱼赤身营养价值分析与评价[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(11): 13-18.

[13] 罗殷, 王锡昌, 刘源. 黄鳍金枪鱼食用品质的研究[J]. 食品科学, 2008, 29(9): 476-480.

[14] 苏阳, 章超桦, 曹文红, 等. 南海产3种金枪鱼普通肉、暗色肉营养成分分析与评价[J]. 广东海洋大学学报, 2015, 35(3): 87-93.

[15] 祖丽亚, 罗俊雄, 樊铁. 海水鱼与淡水鱼脂肪中EPA、DHA含量的比较[J]. 中国油脂, 2003, 28(11): 48-50.

[16] 张蒙娜, 宋恭帅, 彭茜, 等. 精制沙丁鱼油品质及挥发性风味成分分析[J]. 中国油脂, 2018, 43(4): 48-52.

[17] SAHENAA F, ZAIDULA I S, JINAPA S, et al. Analytical methods fatty acid compositions of fish oil extracted from different parts of Indian mackerel (*Rastrelliger kanagurta*) using various techniques of supercritical CO<sub>2</sub> extraction[J]. Food Chemistry, 2010, 120: 879-885.

[18] INNES J K, CALDER P C. The differential effects of eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid on cardiometabolic risk factors: A systematic review[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2018, 19(2): 532.

(下转第70页)

### 3 结论

对燕麦、青稞、苦荞、甜荞、藜麦 5 种杂粮的基本成分、粒径分布、面团流变学特性及水合特性进行了分析。结果表明,5 种杂粮粉具有不同的粉质特性,其中青稞、燕麦和苦荞的吸水率较高,面团流变学特性较好,面团稳定性好,有着良好的持水力和溶胀性,预测比较适合制作杂粮面条。后续可对其杂粮面条的加工适应性进行研究。

#### 参考文献

- [1] 贾立东. 杂粮食品的开发应用[J]. 食品安全导刊, 2019(3): 145-146.
- [2] 吴朝霞, 丁霞. 杂粮的营养价值与杂粮保健食品的开发和应用[J]. 杂粮作物, 2001, 21(5): 48-50.
- [3] 罗静, 李玉锋, 胥霞. 青稞中的活性物质及功能研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(9): 300-304.
- [4] KIHARA M, OKADA Y, LIMURE T, et al. Accumulation and degradation of two functional constituents, GABA and  $\beta$ -glucan, and their varietal differences in germinated barley grains[J]. *Breeding Science*, 2007, 57(2): 85-89.
- [5] 张培培. 燕麦  $\beta$ -葡聚糖对大鼠肠道微环境和机体能量代谢的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2010: 2-10.
- [6] 马超月. 燕麦多肽的制备及其降血脂和降血压效果研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2018: 1-2.
- [7] 陈磊. 燕麦的营养功能及综合加工利用[J]. 食品与机械, 2012, 28(2): 236-237.
- [8] 魏爱春, 杨修仕, 么杨, 等. 藜麦营养成分及生物活性研究进展[J]. 食品科学, 2015, 36(15): 272-276.
- [9] 王世霞, 刘珊, 李笑蕊, 等. 甜荞麦与苦荞麦的营养及功能活性成分对比分析[J]. 食品工业科技, 2015, 36(21): 78-82.
- [10] 张英强. 苦荞麦黄酮和蛋白质提取工艺的优化[D]. 西安: 西北大学, 2016: 7-11.
- [11] 张成东, 杨立娜, 吴昊桐, 等. 杂粮面条和馒头的研究进

- 展[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(10): 212-216.
- [12] 马先红, 刘景圣, 张文露, 等. 中国杂粮面条主食化的研究[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(20): 181-184.
- [13] 何财安, 张珍, 王丽静, 等. 磨粉方式对苦荞粉粉质特性及体外消化特性的影响[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(5): 19-25, 49.
- [14] HATCHER D W, ANDERSON M J, DESJARDINS R G, et al. Effects of flour particle size and starch damage on processing and quality of white salted noodles[J]. *Cereal Chemistry*, 2002, 79(1): 64-71.
- [15] 彭国泰. 磨粉方式对糙米粉性质及米线品质的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2017: 8-19.
- [16] 靳志强, 白变霞, 赵晋峰, 等. 半干法磨制对小米粉及面条品质特性的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(15): 132-138.
- [17] 胡秋辉, 高永欣, 杨文建, 等. 混合实验仪评价香菇粉对面团流变特性的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(10): 159-167.
- [18] HEO S, LEE S M, SHIM J H, et al. Effect of dry-and wet-milled rice flours on the quality attributes of gluten-free dough and noodles[J]. *Journal of Food Engineering*, 2013, 116(1): 213-217.
- [19] BARRERA G N, BUSTOS M C, ITURRIAGA L, et al. Effect of damaged starch on the rheological properties of wheat starch suspensions[J]. *Journal of Food Engineering*, 2013, 116(1): 233-239.
- [20] MARTIN, JOHN M, TALBERT, et al. Reduced amylose effects on bread and white salted noodle quality[J]. *Cereal Chemistry*, 2004, 81(2): 188-193.
- [21] 王兴, 黄忠明, 王莉, 等. 苦荞蛋白模拟消化产物抗氧化活性及组成研究[J]. 中国食品学报, 2009, 9(6): 10-15.
- [22] YU Jing-lin, WANG Shu-jun, WANG Jing-rong, et al. Effect of laboratory milling on properties of starches isolated from different flour millstreams of hard and soft wheat[J]. *Food Chemistry*, 2015, 172(4): 504-514.

(上接第 65 页)

- [19] TREVOR A M. Marine OMEGA-3 fatty acids in the prevention of cardiovascular disease [J]. *Fitoterapia*, 2018, 126: 8-15.
- [20] GUNVEEN K, DAVID C S, MANOHAR G, et al. Docosapentaenoic acid (22:5n-3): a review of its biological effects[J]. *Progress in Lipid Research*, 2011, 50(1): 28-34.
- [21] GUNVEEN K, DENOVAN P B, DANIEL B. Short-term docosapentaenoic acid (22:5n-3) supplementation increases tissue docosapentaenoic acid, DHA and EPA concentrations in rats[J]. *British Journal of Nutrition*, 2010, 103(1): 32-37.
- [22] FERREIDON S, PRIYATHARINI A. Novel functional food ingredients from marine sources[J]. *Current Opinion in Food*

- Science*, 2015, 2(4): 123-129.
- [23] HU Hui, WANG Li-li, HUANG Ji-cai, et al. Pilot-plant molecular distillation of seal oil fatty acids[J]. *Advanced Materials Research*, 2012, 550/551/552/553: 1 703-1 708.
- [24] 曹淑兰, 关紫烽, 蔡云萍, 等. 深海鱼油、海豹油脂脂肪酸组份的分析研究[J]. 质谱学报, 1998, 20(1): 70-75.
- [25] 庄海旗, 刘江琴, 钟宇, 等. 8 种天竺鲷科鱼肌肉脂肪酸组成分析[J]. 食品与发酵工业, 2019, DOI: 10.13995/j.cnki.11-1802/ts.022066.
- [26] THORSTEINN L, BILJANA I, GUDRUN M A, et al. Fatty acids from marine lipids: Biological activity, formulation and stability[J]. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 2016, 34(8): 71-75.