



## 三种大洋性柔鱼的营养成分及品质

吴俊杰<sup>1,2</sup>, 唐峰华<sup>2</sup>, 郭全友<sup>2\*</sup>, 宋晓燕<sup>1\*</sup>,  
张晓慧<sup>2</sup>, 杨絮<sup>2</sup>, 郑尧<sup>2</sup>

(1. 上海理工大学健康科学与工程学院, 上海 200093;

2. 中国水产科学研究院东海水产研究所, 农业农村部远洋与极地渔业创新重点实验室, 上海 200090)

**摘要:** 为探究阿根廷滑柔鱼、秘鲁茎柔鱼及巴特柔鱼的肌肉和皮肤营养成分与品质差异, 采用国标法对其肌肉和皮肤的基本营养成分、脂肪酸组成和氨基酸组成进行测定分析, 利用质构仪和低场核磁共振仪对其肌肉和皮肤进行了质构和水分分布分析。结果显示, 阿根廷滑柔鱼肌肉的粗脂肪含量为 1.23%, 显著高于其他两种柔鱼。除水分含量外, 柔鱼肌肉的粗蛋白含量、粗脂肪含量和灰分含量均显著高于皮肤; 柔鱼肌肉及皮肤的不饱和脂肪酸含量均大于 61%, 阿根廷滑柔鱼肌肉的总不饱和脂肪酸  $\Sigma$ UFA 为 66.51%, 显著高于其他两种柔鱼; 不同部位共检测出 17 种氨基酸, 其中柔鱼肌肉的必需氨基酸总量分别为 5.54、6.68 和 5.97 g/100 g, 占氨基酸总量的 40% 以上。柔鱼肌肉中不易流动水含量显著高于皮肤, 阿根廷滑柔鱼肌肉的不易流动水比例最高, 为 96.92%。阿根廷滑柔鱼的硬度和弹性均显著高于其他两种柔鱼, 未去皮的柔鱼肌肉的胶黏性和黏附性显著高于去皮柔鱼肌肉。与另两种柔鱼相比, 阿根廷滑柔鱼肌肉的不饱和脂肪酸含量高、质构特性好、保水能力强。研究表明, 去皮和未去皮的柔鱼肌肉在硬度、内聚性和咀嚼性方面无显著差异, 皮肤营养价值略低于肌肉, 但具有较高的加工利用前景。本结果为后续柔鱼的精深加工奠定基础。

**关键词:** 柔鱼; 营养成分; 品质评价; 质构特征; 水分分布

中图分类号: S 986; TS 207.3

文献标志码: A

柔鱼也称鱿鱼、枪乌贼, 属软体动物门 (Mollusca) 头足纲 (Cephalopoda) 蛸亚纲 (Coleoidea) 十腕总目 (Decapodiformes) 管鱿目 (Teuthida) 开眼亚目 (Oegopsida)。远洋捕捞柔鱼品种主要包括西南大西洋的阿根廷滑柔鱼 (*Illex argentine*)、东南太平洋的秘鲁茎柔鱼 (*Dosidicus gigas*) 和北太平洋的巴特柔鱼 (*Ommastrephes bartrami*)<sup>[1]</sup>, 2020 年三者总产量达到 50 万 t 以上, 是我国远洋渔业主要开发利用的渔业资源品种<sup>[2]</sup>。目前柔鱼以原条冻品为主, 产品形式有鱿鱼丝、鱿鱼干、鱼糜

制品和调味鱿鱼等。柔鱼是典型的高蛋白、低脂肪海产品, 富含多不饱和脂肪酸、必需氨基酸和微量元素等, 具有预防动脉粥样硬化和防止心血管等多种生理功效<sup>[3]</sup>。

柔鱼品质受品种和部位<sup>[4]</sup>等因素影响, 其差异较大。杨宪时等<sup>[5]</sup>对秘鲁茎柔鱼和日本海鱿鱼 (*Onychoteuthis borealijaponicus okada*) 胴体的营养成分进行了分析比较, 秘鲁茎柔鱼的氨基酸总量、必需氨基酸占总氨基酸的比例均高于日本海鱿鱼。柔鱼不同部位的品质也具有差异, 于笛等<sup>[6]</sup>分析

收稿日期: 2022-07-27 修回日期: 2022-11-14

资助项目: 国家重点研发计划 (2020YFD0901203); 中国水产科学研究院基本科研业务费专项 (2020TD68)

第一作者: 吴俊杰 (照片), 从事水产品加工与贮藏研究, E-mail: tslwj2022@163.com

通信作者: 郭全友, 从事水产品加工及贮藏研究, E-mail: dhsguoqy@163.com;

宋晓燕, 从事食品冷冻冷藏研究, E-mail: xishi.rujin@163.com



秘鲁茎柔鱼头部、肌肉、内脏、眼部和颈部的基本营养成分、氨基酸组成和脂肪酸组成, 结果表明肌肉组织的二十二碳六烯酸 (DHA) 含量最高, 颈部的二十碳五烯酸 (EPA) 和 DHA 总量占比最高 (61.49%)。邱月等<sup>[7]</sup> 分析鸢乌贼 (*Symplectoteuthis oualaniensis*) 和杜氏枪乌贼 (*Loligo duvauceli*) 头足和胴体的营养成分, 表明鸢乌贼与其他柔鱼相比, DHA 含量较高。柔鱼皮肤约占柔鱼总重的 10%, 通常作为柔鱼加工废弃物处理, 具有极大的经济价值和营养价值。管雪娇等<sup>[8]</sup> 对秘鲁茎柔鱼皮肤的营养成分进行了系统地分析, 结果表明, 柔鱼皮肤蛋白含量丰富, 有多种维生素、矿物质和氨基酸, 必需氨基酸占总氨基酸的含量达 30.97%, DHA 含量占总脂肪酸的 35.49%。随着柔鱼加工技术的发展, 柔鱼皮肤的品质特性和加工日益受到重视。关于单一一种类柔鱼肌肉或柔鱼皮肤品质特性研究较多<sup>[9-11]</sup>, 而对不同柔鱼品种及不同部位品质特性的比较研究少见报道。

实验以 3 种经济大洋性柔鱼为研究对象, 分析其主要可食部位 (肌肉和外皮) 的基本营养成分、脂肪酸组成、氨基酸组成、质构特性及水分分布, 旨在从食品原料学角度解析其营养成分和品质特性差异, 为后续精深加工奠定基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

原条柔鱼均购于中国水产舟山海洋渔业有限公司, 样品信息见表 1, 冷链 1 d 运至实验室, 4 °C 流水解冻后, 将柔鱼去头、去尾、去内脏。取不同部位, 分别为肌肉 [阿根廷滑柔鱼肌肉 (AS-M)、秘鲁茎柔鱼肌肉 (PS-M) 和巴特柔鱼肌肉 (NS-M)] 及皮肤 [阿根廷滑柔鱼皮肤 (AS-S)、秘鲁茎柔鱼皮肤 (PS-S) 和巴特柔鱼皮肤 (NS-S)], 用于基本营养成分、脂肪酸、氨基酸、水分分布和理化指标的测定; 另取带皮的柔鱼肌肉和不带皮的柔鱼

肌肉, 分别为带皮的柔鱼肌肉 [阿根廷滑柔鱼 (AM-WS)、秘鲁茎柔鱼 (PM-WS) 和巴特柔鱼 (NM-WS)] 及不带皮的柔鱼肌肉 [阿根廷滑柔鱼 (AM-WOS)、秘鲁茎柔鱼 (PM-WOS) 和巴特柔鱼 (NM-WOS)], 用于质构的测定。将上述样品清洗干净, 沥干水分后于 -80 °C 超低温冰箱保存备用。本研究严格遵守实验动物伦理, 并获得了所在单位伦理审查委员会的批准。

### 1.2 实验方法

**基本营养成分测定** 水分含量采用《食品安全国家标准 食品中水分的测定》中直接干燥法 (GB 5009.3—2016) 测定; 灰分含量采用《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》马弗炉高温灼烧法 (GB 5009.4—2016) 测定; 粗蛋白含量采用《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》微量凯氏定氮法 (GB 5009.5—2016) 测定; 粗脂肪含量采用《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》索氏抽提法 (GB 5009.6—2016) 测定。

**脂肪酸含量测定** 根据 GB 5009.168—2016《食品中脂肪酸的测定》中水解法提取, 并利用 37 种脂肪酸甲酯混标 (美国西格玛奥德里奇公司) 等试剂, 通过 Agilent 7860A 气相色谱 [安捷伦科技 (中国) 有限公司] 测定脂肪酸甲酯含量和转换系数, 进行计算得出。测试参数: 毛细管色谱柱 (长 100 m, 内径 0.25 mm, 膜厚 0.2 μm); 进样器温度 250 °C, 检测器温度 280 °C; 进样体积 1 μL, 分流比 100 : 1; 升温程序: 初始温度 45 °C, 保持 2 min, 以 25 °C/min 升温至 105 °C, 保持 2 min, 再以 15 °C/min 升温 200 °C, 保持 10 min, 以 1 °C/min 升温至 210 °C, 保持 10 min, 最后以 2 °C/min 升温 220 °C, 保持 10 min。

**脂肪酸的评价方法** 常用动脉粥样硬化指数 (AI)、血栓形成指数 (TI)<sup>[12]</sup> 评价水产品对人类心血管疾病发生的影响, 计算公式:

$$AI = \frac{C_{12:0} + C_{14:0} + C_{16:0}}{\sum MUFA + \sum PUFA} \quad (1)$$

$$TI = \frac{C_{14:0} + C_{16:0} + C_{18:0}}{0.5 \times \sum MUFA + 0.5 \times n-6 \sum PUFA + 3 \times n-3 \sum PUFA + (n-3 \sum PUFA / n-6 \sum PUFA)} \quad (2)$$

式中,  $C_{12:0}$ 、 $C_{14:0}$ 、 $C_{16:0}$ 、 $C_{18:0}$  分别为月桂酸、肉豆蔻酸、棕榈酸、硬脂酸占总脂肪酸含量的比例 (%),  $\sum MUFA$  为单不饱和脂肪酸占总脂肪酸含量之和 (%),  $\sum PUFA$  为多不饱和脂肪酸占总脂肪

酸含量之和 (%),  $n-3 \sum PUFA$  为  $n-3$  系列 PUFA 占总脂肪酸含量之和 (%),  $n-6 \sum PUFA$  为  $n-6$  系列 PUFA 占总脂肪酸含量之和 (%).

**氨基酸组成测定** 按照 GB 5009.124—

表 1 3 种柔鱼样品信息

Tab. 1 Information of three squid samples

编号 number	学名 scientific name	拉丁学名 Latin name	体重/g body weight	捕捞时间 time of capture	经纬度 longitude and latitude
A	阿根廷滑柔鱼	<i>Illex argentines</i>	300-400	2021-03	50°50'W/48°42'S
B	秘鲁茎柔鱼	<i>Dosidicus gigas</i>	500-600	2021-08	95°45'W/5°53'S
C	巴特柔鱼	<i>Ommastrephes bartrami</i>	300-500	2021-05	168°28'W/45°5'N

2016《食品中氨基酸的测定》中酸水解方法进行。样品加入 6 mol/L HCl 溶液后, 110 °C 条件下水解 22 h, 经过滤、定容、浓缩后, 采用日立 L-8900 型氨基酸全自动分析仪进行检测。

氨基酸的评价方法 根据 FAO/WHO 建议的氨基酸评分标准模式计算氨基酸评分 (AAS) 和氨基酸的化学评分 (CS)<sup>[13]</sup>;

$$AAS = \frac{\text{试样中某种氨基酸含量(mg/g N)}}{\text{FAO/WHO标准模式中同种氨基酸的含量(mg/g N)}} \quad (3)$$

$$CS = \frac{\text{试样中某种氨基酸含量(mg/g N)}}{\text{鸡蛋蛋白模式中同种氨基酸的含量(mg/g N)}} \quad (4)$$

质构特性测定 参考石钰琢等<sup>[14]</sup>的方法, 将柔鱼肌肉切成 1.0 cm×2.0 cm×0.5 cm 的小块, 采用 TMS-PRO 质构仪 (美国 Food Technology Corporation 公司) 进行质构剖面分析模式 (TPA) 下的挤压试验。挤压试验参数: 测试速度 30 mm/min, 形变量 50%, 回程距离 30 mm。

水分分布测定 参考蔡丽君等<sup>[15]</sup>的方法, 采用 PQ001-20-25V 低场核磁共振仪 (苏州纽迈分析仪器股份有限公司), 将样品切成重量一致的小块, 在测定管中称重后放入射频线圈中心。参数: 采样频率为 100 kHz, 回波个数为 2 500, 重复采样 16 次, 等待时间为 3 500 ms。通过 SIRT 反演, 选择滤波档位 2, 迭代 100 万次, 得到不同状态水分的顶峰弛豫时间 ( $T_{21}$ 、 $T_{22}$ 、 $T_{23}$ ) 及峰面积比

例 ( $A_{21}$ 、 $A_{22}$ 、 $A_{23}$ )。

数据分析 所有数据均采用 SPSS Statistics 26.0 软件进行显著分析, 采用单因素方差分析 (One-Way ANOVA) 和 Duncan 氏多重比较检验进行显著性评价 ( $P < 0.05$ ), 实验结果表示为平均值±标准误 ( $n=3$ )。

## 2 结果

### 2.1 3 种柔鱼不同部位基本营养成分

3 种柔鱼肌肉水分含量无显著差异 ( $P > 0.05$ ) (表 2)。秘鲁茎柔鱼肌肉的粗蛋白含量最高, 为 17.54%。阿根廷滑柔鱼肌肉的粗脂肪含量显著高于其他两种柔鱼 ( $P < 0.05$ )。从柔鱼的不同部位的

表 2 3 种柔鱼不同部位基本营养成分 (湿重)

Tab. 2 Nutritional comparison of different parts of three species of squids (wet mass)

样品 sample	水分 moisture	粗蛋白 crude protein	粗脂肪 crude lipid	灰分 ash
AS-M	76.42±0.15 <sup>ba</sup>	16.92±0.30 <sup>ab</sup>	1.23±0.01 <sup>aA</sup>	1.60±0.01 <sup>bb</sup>
AS-S	81.88±0.92 <sup>a</sup>	11.76±0.06 <sup>b</sup>	0.96±0.00 <sup>b</sup>	1.92±0.03 <sup>a</sup>
PS-M	74.97±0.67 <sup>ba</sup>	17.54±0.67 <sup>aA</sup>	0.58±0.01 <sup>aC</sup>	1.60±0.01 <sup>bb</sup>
PS-S	80.33±0.23 <sup>a</sup>	12.15±0.58 <sup>b</sup>	0.35±0.01 <sup>b</sup>	1.83±0.05 <sup>a</sup>
NS-M	74.53±0.15 <sup>ba</sup>	16.92±0.47 <sup>ab</sup>	1.01±0.02 <sup>ab</sup>	1.82±0.07 <sup>ba</sup>
NS-S	79.86±0.34 <sup>a</sup>	10.56±0.45 <sup>b</sup>	0.45±0.00 <sup>b</sup>	2.01±0.00 <sup>a</sup>

注: AS-M为阿根廷滑柔鱼肌肉, AS-S为阿根廷滑柔鱼皮, PS-M为秘鲁茎柔鱼肌肉, PS-S为秘鲁茎柔鱼皮, NS-M为巴特柔鱼肌肉, NS-S为巴特柔鱼皮, 下同。同列中不同的小写字母表示不同部位之间的统计差异显著 ( $P < 0.05$ ), 同列中不同的大写字母表示不同物种之间的统计差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Notes: AS-M is *I. argentines* muscle, AS-S is *I. argentines* skin, PS-M is *D. gigas* muscle, PS-S is *D. gigas* skin, NS-M is *O. bartrami* muscle, NS-S is *O. bartrami* skin, the same below. Different small letters within one column denote statistically significant differences between different parts ( $P < 0.05$ ), and different capital letters within one column denote statistically significant differences among different species ( $P < 0.05$ ).

比较发现, 除水分含量外, 柔鱼肌肉的粗蛋白含量、粗脂肪含量和灰分含量均显著高于皮肤 ( $P<0.05$ )。3种柔鱼不同部位在基本营养成分上差异较大, 其中秘鲁茎柔鱼肌肉粗蛋白含量较高, 阿根廷滑柔鱼肌肉粗脂肪含量较高。

### 2.2 3种柔鱼不同部位脂肪酸组成和评价

3种柔鱼不同部位共检测出15种脂肪酸, 其中包括6种饱和脂肪酸(SFA)、3种单不饱和脂肪

(MUFA)、6种多不饱和脂肪酸(PUFA)(表3)。肌肉中, 阿根廷滑柔鱼的 $\Sigma$ MUFA为3.79%, 是秘鲁茎柔鱼的2.35倍, 是巴特柔鱼的1.58倍; 阿根廷滑柔鱼的n-3 $\Sigma$ PUFA/n-6 $\Sigma$ PUFA和总不饱和脂肪酸( $\Sigma$ UFA)也最高。柔鱼肌肉的 $\Sigma$ PUFA、n-3 $\Sigma$ PUFA/n-6 $\Sigma$ PUFA和 $\Sigma$ UFA显著高于皮肤 ( $P<0.05$ )。除巴特柔鱼外, 柔鱼肌肉的AI和TI均显著低于皮肤 ( $P<0.05$ )。阿根廷滑柔鱼的脂肪酸营养价值较高, 皮肤的脂肪酸营养价值略低于肌肉。

表3 3种柔鱼不同部位脂肪酸组成及含量(湿重)

Tab. 3 Fatty acids composition of different parts of three species of squids (wet mass) %

脂肪酸 fatty acids	AS-M	AS-S	PS-M	PS-S	NS-M	NS-S
C14:0	1.69±0.00 <sup>aA</sup>	1.69±0.00 <sup>a</sup>	1.01±0.01 <sup>aB</sup>	0.95±0.01 <sup>b</sup>	1.01±0.01 <sup>aB</sup>	0.87±0.00 <sup>b</sup>
C15:0	0.43±0.00 <sup>bB</sup>	0.50±0.02 <sup>a</sup>	0.51±0.00 <sup>bA</sup>	0.69±0.00 <sup>a</sup>	0.33±0.00 <sup>bC</sup>	0.39±0.00 <sup>a</sup>
C16:0	27.42±0.00 <sup>bA</sup>	28.77±0.10 <sup>a</sup>	25.71±0.04 <sup>aC</sup>	25.31±0.06 <sup>b</sup>	26.83±0.10 <sup>aB</sup>	25.87±0.03 <sup>b</sup>
C16:1n7	1.75±0.01 <sup>bA</sup>	1.88±0.02 <sup>a</sup>	0.32±0.00 <sup>aC</sup>	0.24±0.01 <sup>b</sup>	1.18±0.00 <sup>aB</sup>	0.83±0.01 <sup>b</sup>
C17:0	0.41±0.01 <sup>bC</sup>	0.53±0.01 <sup>a</sup>	1.01±0.01 <sup>bA</sup>	1.58±0.00 <sup>a</sup>	0.87±0.01 <sup>bB</sup>	1.02±0.01 <sup>a</sup>
C18:0	3.33±0.03 <sup>bC</sup>	3.78±0.03 <sup>a</sup>	6.27±0.04 <sup>bB</sup>	9.16±0.03 <sup>a</sup>	6.46±0.03 <sup>bA</sup>	8.15±0.02 <sup>a</sup>
C18: 1n9c	2.05±0.01 <sup>bA</sup>	3.00±0.06 <sup>a</sup>	1.29±0.02 <sup>B</sup>	—	1.21±0.01 <sup>aB</sup>	0.93±0.01 <sup>b</sup>
C18: 1n9t	—	—	—	0.07±0.00	—	—
C18: 2n6t	0.30±0.01 <sup>aA</sup>	0.29±0.01 <sup>a</sup>	0.06±0.00 <sup>bB</sup>	1.62±0.02 <sup>a</sup>	—	0.08±0.00
C18: 2n6c	0.11±0.00 <sup>bA</sup>	0.26±0.01 <sup>a</sup>	0.09±0.00 <sup>bB</sup>	0.13±0.01 <sup>a</sup>	—	0.21±0.00
C18: 3n6	0.07±0.00 <sup>b</sup>	0.12±0.01 <sup>a</sup>	—	—	—	—
C21: 0	0.18±0.00 <sup>aB</sup>	0.23±0.00 <sup>b</sup>	0.21±0.00 <sup>bA</sup>	0.60±0.01 <sup>a</sup>	—	1.46±0.01
C20: 4n6	1.02±0.01 <sup>bC</sup>	2.01±0.01 <sup>a</sup>	1.47±0.01 <sup>bB</sup>	6.05±0.20 <sup>a</sup>	4.35±0.03 <sup>aA</sup>	3.91±0.12 <sup>b</sup>
C20:5n3(EPA)	15.85±0.02 <sup>bA</sup>	18.98±0.04 <sup>a</sup>	13.95±0.04 <sup>bB</sup>	16.41±0.05 <sup>a</sup>	13.53±0.02 <sup>bC</sup>	16.86±0.01 <sup>a</sup>
C22: 6n3(DHA)	45.37±0.03 <sup>aB</sup>	37.95±0.06 <sup>b</sup>	48.14±0.08 <sup>aA</sup>	37.20±0.12 <sup>b</sup>	44.24±0.20 <sup>aC</sup>	39.60±0.03 <sup>b</sup>
EPA+DHA	61.22±0.04 <sup>aB</sup>	56.93±0.03 <sup>b</sup>	62.09±0.04 <sup>aA</sup>	53.61±0.07 <sup>b</sup>	57.77±0.18 <sup>aC</sup>	56.47±0.04 <sup>b</sup>
$\Sigma$ SFA	33.47±0.03 <sup>bC</sup>	35.50±0.10 <sup>a</sup>	34.71±0.02 <sup>bB</sup>	38.29±0.10 <sup>a</sup>	35.49±0.14 <sup>bA</sup>	37.77±0.07 <sup>a</sup>
$\Sigma$ MUFA	3.79±0.02 <sup>bA</sup>	4.88±0.08 <sup>a</sup>	1.61±0.02 <sup>aC</sup>	0.31±0.01 <sup>b</sup>	2.39±0.01 <sup>aB</sup>	1.75±0.03 <sup>b</sup>
$\Sigma$ PUFA	62.72±0.04 <sup>aB</sup>	59.62±0.03 <sup>b</sup>	63.71±0.04 <sup>aA</sup>	61.42±0.12 <sup>b</sup>	62.12±0.15 <sup>aC</sup>	60.67±0.15 <sup>b</sup>
n-3 $\Sigma$ PUFA	61.22±0.04 <sup>aB</sup>	56.93±0.03 <sup>b</sup>	62.09±0.04 <sup>aA</sup>	53.61±0.07 <sup>b</sup>	57.77±0.18 <sup>aC</sup>	56.47±0.04 <sup>b</sup>
n-6 $\Sigma$ PUFA	1.09±0.01 <sup>bC</sup>	2.13±0.02 <sup>a</sup>	1.47±0.01 <sup>bB</sup>	6.05±0.20 <sup>a</sup>	4.35±0.03 <sup>aA</sup>	3.91±0.12 <sup>b</sup>
n-3 $\Sigma$ PUFA/n-6 $\Sigma$ PUFA	56.06±0.23 <sup>aA</sup>	26.74±0.23 <sup>b</sup>	42.24±0.20 <sup>aB</sup>	8.87±0.31 <sup>b</sup>	13.30±0.12 <sup>bC</sup>	14.47±0.45 <sup>a</sup>
$\Sigma$ UFA	66.51±0.06 <sup>aA</sup>	64.50±0.10 <sup>b</sup>	65.32±0.03 <sup>aB</sup>	61.72±0.11 <sup>b</sup>	64.51±0.14 <sup>aC</sup>	62.42±0.14 <sup>b</sup>
AI	0.44±0.00 <sup>bA</sup>	0.47±0.00 <sup>a</sup>	0.41±0.00 <sup>bC</sup>	0.43±0.00 <sup>a</sup>	0.43±0.00 <sup>aB</sup>	0.43±0.00 <sup>a</sup>
TI	0.13±0.00 <sup>bC</sup>	0.17±0.00 <sup>a</sup>	0.14±0.00 <sup>bB</sup>	0.20±0.00 <sup>a</sup>	0.18±0.00 <sup>bA</sup>	0.19±0.00 <sup>a</sup>

注: 同行中不同的小写字母表示不同部位之间的统计差异显著 ( $P<0.05$ ), 同行中不同的大写字母表示不同物种之间的统计差异显著 ( $P<0.05$ )。“—”表示未检出或低于0.05%的检出限。AI动脉粥样硬化指数, TI血栓形成指数。  
Notes: Different small letters in one row denote statistically significant differences ( $P<0.05$ ) between different parts, and different capital letters in one row denote statistically significant differences ( $P<0.05$ ) between different species. “—” means not detected or below the detection limit of 0.05%. AI. atherosclerosis index, TI. thrombosis index.

### 2.3 3种柔鱼不同部位氨基酸组成和评价

3种柔鱼不同部位中均检出17种氨基酸(色氨酸未检测)(图1)。3种柔鱼肌肉及皮肤中谷氨

酸含量(0.91%~2.32%)均最高, 胱氨酸含量(0.07%~0.14%)均最低。除甘氨酸外, 同种柔鱼肌肉氨基酸含量均显著高于皮肤 ( $P<0.05$ )。柔鱼肌

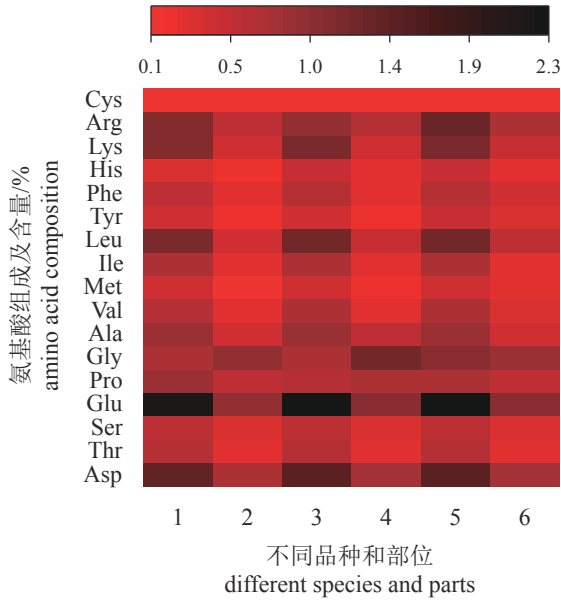


图 1 3 种柔鱼不同部位氨基酸热图

1. AS-M, 2. AS-S, 3. PS-M, 4. PS-S, 5. NS-M, 6. NS-S, 图 2 同。

Fig. 1 Amino acids heatmap of different parts of three species of squids

1. AS-M, 2. AS-S, 3. PS-M, 4. PS-S, 5. NS-M, 6. NS-S, the same as Fig.2.

肉中, 必需氨基酸含量以秘鲁茎柔鱼最高, 非必需氨基酸含量以巴特柔鱼最高。3 种柔鱼肌肉中必需氨基酸与总氨基酸之比 (EAA/TAA) 为 (40.37%~42.00%), 必需氨基酸与非必需氨基酸之比 (EAA/NEAA) 为 (68.00%~72.40%)。3 种柔鱼不同部位必需氨基酸营养价值评价结果显示 (表 4), 除 3 种柔鱼肌肉的异亮氨酸和赖氨酸含量、巴特

柔鱼肌肉的亮氨酸以及巴特柔鱼皮肤苯丙氨酸+酪氨酸的含量高于 WHO/FAO 标准以外, 其余氨基酸含量均低于 WHO/FAO 标准。根据 AAS 和 CS 评分可见, 采用 AAS 得分对柔鱼进行评价时, 3 种柔鱼不同部位的第一限制性氨基酸均为缬氨酸。以 CS 评分为标准, 除秘鲁茎柔鱼皮和巴特柔鱼皮外, 第一限制性氨基酸均为蛋氨酸+胱氨酸。

### 2.4 3 种柔鱼肌肉的质构特性

表 5 为 3 种柔鱼肌肉 (去皮和未去皮) 质构的比较。对于未去皮的柔鱼样品, 阿根廷滑柔鱼硬度为 160.30 N, 显著高于其他两种柔鱼 ( $P<0.05$ ), 在弹性方面也有相同的趋势; 巴特柔鱼的黏附性是阿根廷滑柔鱼的 1.73 倍, 是秘鲁茎柔鱼的 2.14 倍。对于同种柔鱼, 在硬度、内聚性和咀嚼性方面, 去皮和未去皮的样品没有显著差异 ( $P>0.05$ ); 未去皮柔鱼样品的胶黏性显著高于去皮柔鱼样品 ( $P<0.05$ )。表明阿根廷柔鱼在弹性和硬度方面较好, 去皮与否会显著影响柔鱼肌肉的胶黏性和黏附性。

### 2.5 3 种柔鱼不同部位水分分布特征

图 2 为 3 种柔鱼不同部位弛豫图谱、 $T_2$  弛豫时间及峰面积。其中 (0~2 ms) 为  $T_{21}$  结合水、(50~90 ms) 为  $T_{22}$  不易流动水、(300~1200 ms) 为  $T_{23}$  自由水。阿根廷滑柔鱼肌肉弛豫时间  $T_{22}$  和  $T_{23}$  均显著高于其他两种柔鱼 ( $P<0.05$ ); 巴特柔鱼峰面积  $A_{23}$  是阿根廷滑柔鱼的 1.20 倍, 是秘鲁

表 4 3 种柔鱼不同部位必需氨基酸的营养评价

Tab. 4 Evaluation of essential amino acid nutrition in different parts of three species of squids

样品 samples	项目 items	异亮氨酸 Ile	亮氨酸 Leu	赖氨酸 Lys	蛋氨酸+胱氨酸 Met+Cys	苯丙氨酸+酪氨酸 Phe+Tyr	苏氨酸 Thr	缬氨酸 Val
AS-M	AAS	1.04	0.97	1.19	0.86	0.91	0.92	0.75
	CS	0.78	0.80	0.91	0.49	0.61	0.79	0.57
AS-S	AAS	0.60	0.53	0.62	0.49	0.62	0.57	0.47
	CS	0.46	0.44	0.48	0.28	0.41	0.49	0.36
PS-M	AAS	1.05	0.99	1.17	0.88	0.97	0.92	0.76
	CS	0.79	0.81	0.90	0.50	0.65	0.78	0.58
PS-S	AAS	0.55	0.52	0.57	0.61	0.56	0.59	0.45
	CS	0.42	0.43	0.44	0.35	0.38	0.51	0.34
NS-M	AAS	1.03	1.03	1.24	0.98	1.11	0.95	0.80
	CS	0.78	0.85	0.96	0.56	0.75	0.81	0.60
NS-S	AAS	0.64	0.73	0.88	0.90	1.13	0.66	0.61
	CS	0.48	0.60	0.68	0.51	0.76	0.56	0.46

表 5 3 种柔鱼的质构特性

Tab. 5 TPA characteristics of three species of squids

样品 sample	硬度/N hardness	内聚性 ratio cohesiveness	弹性/mm springiness	胶黏性/N gumminess	咀嚼性/mJ chewiness	黏附性/mJ adhesiveness
AM-WS	160.30±0.14 <sup>AA</sup>	0.20±0.00 <sup>BB</sup>	1.31±0.03 <sup>AA</sup>	21.03±0.82 <sup>BB</sup>	11.70±0.30 <sup>BB</sup>	0.26±0.00 <sup>CC</sup>
AM-WOS	152.26±5.28 <sup>a</sup>	0.19±0.00 <sup>a</sup>	1.35±0.01 <sup>a</sup>	12.67±0.12 <sup>b</sup>	11.82±0.70 <sup>a</sup>	0.21±0.00 <sup>b</sup>
PM-WS	142.07±2.81 <sup>AB</sup>	0.24±0.00 <sup>AA</sup>	0.79±0.01 <sup>AB</sup>	24.90±0.95 <sup>AA</sup>	19.83±0.52 <sup>AA</sup>	0.21±0.00 <sup>BB</sup>
PM-WOS	139.28±3.56 <sup>a</sup>	0.24±0.01 <sup>a</sup>	0.81±0.01 <sup>a</sup>	15.62±0.20 <sup>b</sup>	18.35±0.23 <sup>a</sup>	0.15±0.00 <sup>b</sup>
NM-WS	55.30±1.60 <sup>CC</sup>	0.20±0.00 <sup>BB</sup>	0.56±0.02 <sup>BC</sup>	10.50±0.37 <sup>CC</sup>	4.35±0.15 <sup>CC</sup>	0.45±0.01 <sup>AA</sup>
NM-WOS	46.97±2.71 <sup>a</sup>	0.16±0.00 <sup>b</sup>	0.70±0.01 <sup>a</sup>	6.21±0.90 <sup>b</sup>	4.84±0.03 <sup>a</sup>	0.16±0.01 <sup>b</sup>

注: 同列中不同的小写字母表示带皮的肌肉和不带皮的肌肉之间的统计差异显著( $P<0.05$ ), 同列中不同的大写字母表示不同物种之间的统计差异显著( $P<0.05$ )。AM-WS为阿根廷滑柔鱼肌肉带皮, AM-WOS为阿根廷滑柔鱼肌肉不带皮, PM-WS为秘鲁茎柔鱼肌肉带皮, PM-WOS为秘鲁茎柔鱼肌肉不带皮, NM-WS为巴特柔鱼肌肉带皮, NM-WOS为巴特柔鱼肌肉不带皮。

Notes: Different small letters in one column denote statistically significant differences ( $P<0.05$ ) between unskinned and skinned muscle, and different capital letters within one column denote statistically significant differences ( $P<0.05$ ) between different species. AM-WS is unskinned *I. argentines* muscle, AM-WOS is skinned *I. argentines* muscle, PM-WS is unskinned *D. gigas* muscle, PM-WOS is skinned *D. gigas* muscle, NM-WS is unskinned *O. bartrami* muscle, and NM-WOS is skinned *O. bartrami* muscle.

茎柔鱼的 1.14 倍。从皮肤和肌肉的比较来看, 弛豫时间  $T_{23}$  是向左移动,  $T_{22}$  是向右移动; 柔鱼皮的峰面积  $A_{22}$  显著低于肌肉 ( $P<0.05$ )。

### 3 讨论

#### 3.1 3 种柔鱼不同部位营养成分

蛋白质、脂肪和水分是柔鱼不同部位的主要成分, 决定了其营养和食用特性<sup>[16]</sup>。本研究中 3 种柔鱼的肌肉粗蛋白含量为 16.92%~17.54%, 粗脂肪含量为 0.58%~1.23%, 属于高蛋白低脂肪肉类。柔鱼皮肤粗蛋白和粗脂肪含量不及柔鱼肌肉, 柔鱼皮肤粗蛋白含量为 10.56%~12.15%, 粗脂肪含量为 0.35%~0.96%, 与管雪娇等<sup>[8]</sup>研究结果基本一致。3 种柔鱼的肌肉粗蛋白和粗脂肪含量显著高于杜氏枪乌贼 (*Uroteuthis duvauceli*) (14.20%, 0.70%)<sup>[17]</sup> 和鸢乌贼 (16.46%, 0.30%)<sup>[7]</sup>。除水分含量外, 3 种柔鱼的粗蛋白、粗脂肪及灰分都有显著差异。与杨宪时等<sup>[5]</sup>的研究结果相比, 本研究中秘鲁茎柔鱼肌肉的水分和脂肪含量略低, 蛋白质和灰分含量相对较高。阿根廷滑柔鱼肌肉蛋白质含量为 16.92%, 脂肪含量为 1.23%, 低于杨芳<sup>[18]</sup>的研究结果 (18.9%, 2.19%)。产生这种差异的原因可能是不同品种柔鱼的生物学特性、地理分布等因素的差异。

脂肪酸可合成人体正常生理功能不可或缺的营养物质, 尤其是不饱和脂肪酸, 在人体中具有酯化胆固醇、降低血液黏稠度及提高脑细胞活性等生理功能<sup>[19]</sup>。本研究发现, 脂肪酸主要成分为 C16:0、C18:1n9c 和 C22:6n3, 分别属于 SFA、

MUFA 和 PUFA, 该结果与 Remyakumari 等<sup>[17]</sup>结果一致。阿根廷滑柔鱼肌肉的  $\Sigma$ UFA 为 66.51%, 显著高于其他两种柔鱼 ( $P<0.05$ )。现有研究显示, 不饱和脂肪酸可以从营养代谢调控等方面发挥其对机体的保护作用<sup>[20]</sup>。根据 FAO/WHO 推荐的日常膳食 n-3  $\Sigma$ PUFA/n-6  $\Sigma$ PUFA 值为 0.1~30.2<sup>[21]</sup>, 本研究中柔鱼肌肉及柔鱼皮肤均达到该标准, 阿根廷滑柔鱼肌肉的 n-3  $\Sigma$ PUFA/n-6  $\Sigma$ PUFA 为 56.06%, 显著高于其他两种柔鱼 ( $P<0.05$ )。AI、TI 值越小, 表明不饱和脂肪酸含量越高, 对人体越有益, 例如养殖大黄鱼 (*Larimichthys crocea*) 肌肉的 AI、TI 分别为 0.91、0.70<sup>[22]</sup>, 狭鳕 (*Theragra chalcogramma*) 皮肤的 AI、TI 值分别为 0.50、0.23<sup>[23]</sup>。本研究中 3 种柔鱼肌肉的 AI 值分别为 0.44、0.41、0.43, 表明柔鱼肌肉能更好地抑制动脉粥样硬化。3 种柔鱼皮肤的 TI 值分别为 0.17、0.20、0.19, 表明柔鱼皮肤能更好地防止血栓形成。EPA 和 DHA 被视为有益的脂质, 因其具有降低动脉粥样硬化的风险<sup>[24]</sup>, EPA+DHA 常作为反映营养功效的指标之一。本研究中, EPA+DHA (PS-M)>EPA+DHA(AS-M)>EPA+DHA(NS-M)( $P<0.05$ ), EPA+DHA (AS-S)>EPA+DHA (NS-S)>EPA+DHA (PS-S) ( $P<0.05$ ), 除巴特柔鱼外, 柔鱼肌肉 EPA+DHA 显著高于皮肤 ( $P<0.05$ )。柔鱼不同部位中的粗脂肪含量较低, 分别为 0.58%~1.23% 和 0.35%~0.96%,  $\Sigma$ UFA 较高, 尤其富含  $\Sigma$ PUFA。

氨基酸对人类的生长和代谢功能起着重要的作用。根据人体能否合成或合成速率是否满足生物体正常生理需要, 氨基酸可分为必需氨基酸和非必需氨基酸。本研究秘鲁茎柔鱼肌肉的必需氨

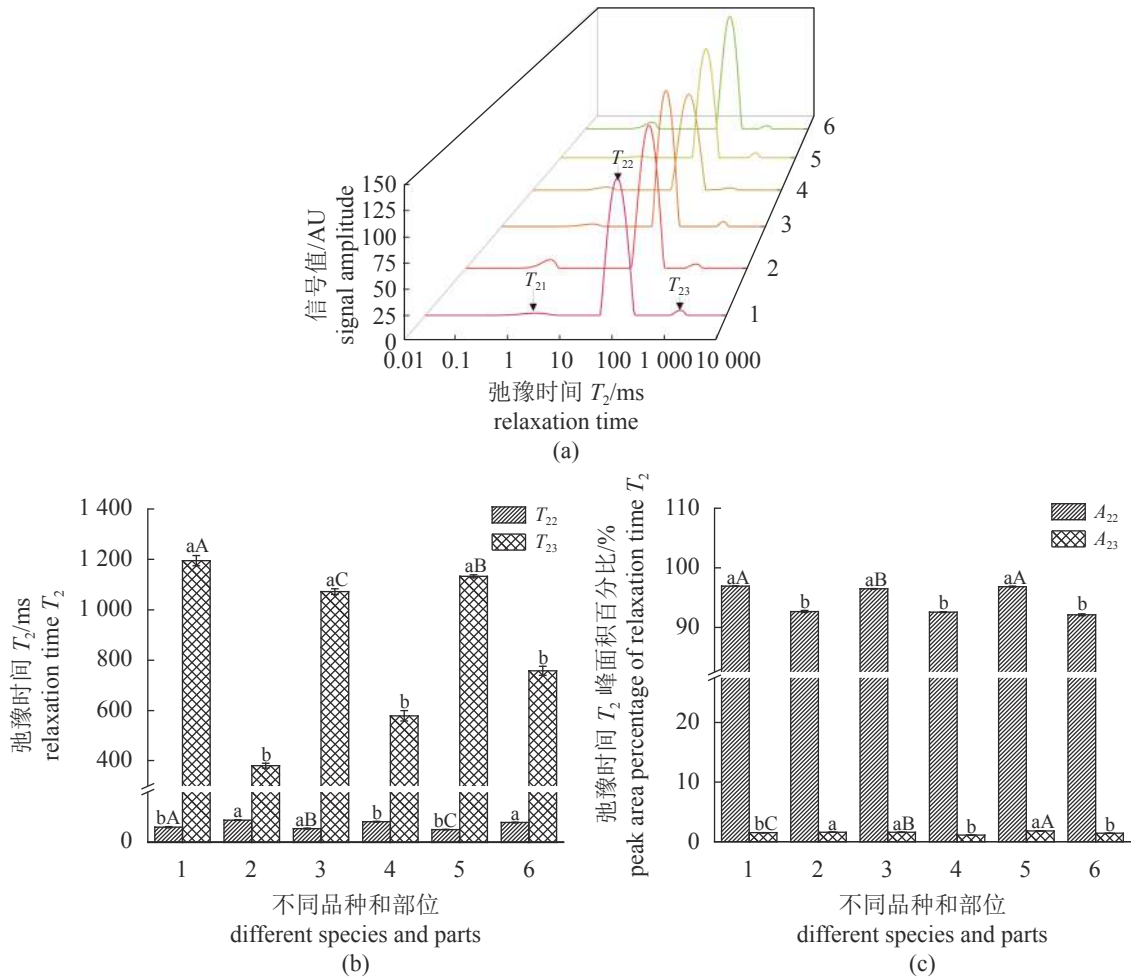


图 2 3 种柔鱼不同部位  $T_2$  弛豫图谱 (a)、 $T_2$  弛豫时间 (b) 和峰面积 (c)

不同的小写字母表示不同部位之间的统计具有显著差异 ( $P < 0.05$ ), 不同的大写字母表示不同物种之间的统计具有显著差异 ( $P < 0.05$ )。

Fig. 2  $T_2$  relaxation pattern of three species of squids (a),  $T_2$  relaxation time (b) and relaxometry proportions of peak areas (c)

Different small letters denote statistically significant differences between different parts ( $P < 0.05$ ), and different capital letters denote statistically significant differences between different species ( $P < 0.05$ ).

氨酸为 6.68 g/100 g, 显著高于其他两种柔鱼肌肉 ( $P < 0.05$ ); 巴特柔鱼皮肤的必需氨基酸为 2.91 g/100 g, 显著高于其他两种柔鱼皮肤 ( $P < 0.05$ )。FAO/WHO 推荐的理想蛋白模式认为, 质量较好的蛋白质其氨基酸组成 EAA/TAA 和 EAA/NEAA 应该分别为 40% 左右和 60% 以上<sup>[25]</sup>, 3 种柔鱼肌肉均符合该标准。因此, 柔鱼肌肉的必需氨基酸种类齐全, 比例适宜, 有利于人体消化吸收, 属于优质蛋白。AAS 和 CS 值越接近 1, 营养价值越高, 越容易被人体吸收, 而评分最低的是第一限制性氨基酸<sup>[26]</sup>。赖氨酸被称为“生长性氨基酸”<sup>[27]</sup>, 柔鱼肌肉中的赖氨酸含量非常丰富, AAS 评分为 1.19~1.24, CS 评分为 0.88~0.91, 而赖氨酸是谷物和大多数植物蛋白的第一限制氨基酸, 因此, 柔鱼肌肉丰

富的赖氨酸可以对以谷物为主食地区的膳食提供有效补充。

综上, 3 种柔鱼肌肉营养组成较丰富, 氨基酸比例均衡, 均属于优质蛋白源, 阿根廷滑柔鱼肌肉不饱和脂肪酸含量最高。柔鱼肌肉的营养价值高于皮肤。柔鱼皮肤富含 DHA 和 EPA, 从营养角度出发, 柔鱼皮肤也是一种高蛋白、低脂肪的食品。

### 3.2 3 种柔鱼不同部位品质差异

鱼肉的质构特性是最直观的因素, 会影响消费者的购买行为和食用者的直观感受。鱼肉的许多感官特性与质地密切相关, 如硬度、弹性和内聚性, 其中硬度、弹性是主要参数。通过 TPA 模

拟人嘴巴的咬合动作, 分析食品结构及其水分分布的相关性, 可弥补感官评分的不足<sup>[28-29]</sup>。本研究中, 无论去皮与否, 阿根廷滑柔鱼肌肉的硬度和弹性远大于其他两种柔鱼 ( $P < 0.05$ ), 说明质构与其品种有关, 柔鱼肌肉质构的结果与谭明堂等<sup>[30]</sup>的研究结果一致。硬度和弹性最能影响鱼肉品质<sup>[31]</sup>, AM-WS 硬度是 PM-WS 的 1.13 倍, AM-WS 弹性是 PM-WS 的 1.66 倍; AM-WS 硬度是 NM-WS 的 2.90 倍, AM-WS 弹性是 NM-WS 的 2.34 倍。对于同种柔鱼, 在硬度、内聚性和咀嚼性方面, 去皮和未去皮的样品没有显著差异 ( $P > 0.05$ )。胶黏性指克服食物表面和与食物接触的部位(如舌头、牙齿等)表面之间的吸引力的特性<sup>[32]</sup>, 胶黏性与含水量呈正相关<sup>[33]</sup>。柔鱼皮肤的水分含量显著高于柔鱼 ( $P < 0.05$ ), 因而未去皮柔鱼肌肉的胶黏性高于去皮柔鱼肌肉的胶黏性。

低场核磁共振弛豫法被广泛用于研究肉和肉制品中的水分分布和流动性, 核磁共振横向弛豫 ( $T_2$ ) 可分为 3 个指数种群<sup>[34]</sup>。不易流动水决定着柔鱼不同部位的保水性<sup>[35]</sup>, 柔鱼肌肉的峰比例  $A_{22}$  显著高于皮肤 ( $P < 0.05$ ), 即不易流动水含量较大。阿根廷滑柔鱼肌肉的峰比例  $A_{22}$  为 96.92%, 显著高于其他两种柔鱼肌肉, 说明阿根廷柔鱼肌肉中蛋白质分子与水的结合度较强, 导致水分子移动性较弱<sup>[36]</sup>。在 3 种柔鱼肌肉中, 横向弛豫时间  $T_{21}$  变化很小, 可能是由于这部分水与部分蛋白质紧密结合; 横向弛豫时间  $T_{22}$  和  $T_{23}$  变化较大, 可能是由于这部分水中的氢质子与大分子之间的相互作用较小, 自由水含量较高, 保水性较差。

综上所述, 阿根廷滑柔鱼肌肉的保水性优于其他两种柔鱼肌肉, 弹性和硬度较好, 柔鱼带皮肌肉胶黏性较大, 更耐咀嚼。

## 4 结论

综上所述, 阿根廷滑柔鱼、秘鲁茎柔鱼和巴特柔鱼不同部位在营养成分和品质特性方面存在显著差异。3 种柔鱼肌肉都含有较高的蛋白质和较低的脂肪, 属于高蛋白低脂肪肉类。阿根廷滑柔鱼的  $\Sigma$ UFA 最高为 66.51%, 说明阿根廷柔鱼肌肉的营养价值更高。3 种柔鱼肌肉必需氨基酸种类齐全、比例较高, 与 WHO/FAO 模式推荐的标准相近, 均属于优质蛋白源。与肌肉相比, 柔鱼皮肤的营养价值略低, 但仍有较高的开发潜力。从品质特性来看, 阿根廷滑柔鱼的硬度和弹性显

著高于其他两种柔鱼。肌肉中不易流动水的含量也是最高的, 说明阿根廷滑柔鱼肌肉保水性较强, 品质较优。同种柔鱼肌肉, 去皮和未去皮的样品在硬度、内聚性和咀嚼性方面无显著差异, 未去皮柔鱼肌肉的胶黏性和黏附性显著高于去皮柔鱼肌肉, 表明未去皮的肌肉韧性和嚼劲更好。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

## 参考文献 (References):

- [1] 曲映红, 陈新军, 陈舜胜. 我国鱿鱼加工利用技术研究进展[J]. 上海海洋大学学报, 2019, 28(3): 357-364.  
Qu Y H, Chen X J, Chen S S. Research progress of squid processing and utilization technology in China[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2019, 28(3): 357-364 (in Chinese).
- [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. 中国渔业统计年鉴 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2020: 46.  
Fishery and Fishery Administration of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Aquatic Technology Promotion Station, China Society of Fisheries. China fishery statistical yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2020: 46 (in Chinese).
- [3] 赵巧灵, 吴佳佳, 戴志远. 鱿鱼精深加工技术研究进展及发展趋势[J]. 食品科技, 2013, 38(12): 150-154.  
Zhao Q L, Wu J J, Dai Z Y. Progress of deep-processing technology and comprehensive utilization of squid[J]. Food Science and Technology, 2013, 38(12): 150-154 (in Chinese).
- [4] Singh A, Mittal A, Benjakul S. Full utilization of squid meat and its processing by-products: revisit[J]. Food Reviews International, 2022, 38(4): 455-479.
- [5] 杨宪时, 王丽丽, 李学英, 等. 秘鲁鱿鱼和日本海鱿鱼营养成分分析与评价[J]. 现代食品科技, 2013, 29(9): 2247-2251, 2293.  
Yang X S, Wang L L, Li X Y, et al. Analysis and evaluation of nutritional compositions of *Dosidicus gigas* and *Onychoteuthis borealijaponicus okada*[J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29(9): 2247-2251, 2293 (in Chinese).
- [6] 于笛, 傅志宇, 郑杰, 等. 秘鲁鱿鱼不同组织营养成分分析与评价[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(5): 164-171.  
Yu D, Fu Z Y, Zheng J, et al. Analysis and evaluation of nutritional components of different tissues from squid  
中国水产学会主办 sponsored by China Society of Fisheries



- Dosidicus gigas*[J]. Food Research and Development, 2021, 42(5): 164-171 (in Chinese).
- [ 7 ] 邱月, 曾少葵, 章超桦, 等. 鳶乌贼和杜氏枪乌贼营养成分分析与比较[J]. 广东海洋大学学报, 2016, 36(1): 19-24.
- Qiu Y, Zeng S K, Zhang C H, *et al.* Nutritional component analysis and quality evaluation of *Symplectoteuthis oualaniensis* and *Loligo duvauceli*[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2016, 36(1): 19-24 (in Chinese).
- [ 8 ] 管雪娇, 邓尚贵. 鱿鱼皮营养成分分析[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(27): 11135-11137.
- Guan X J, Deng S G. Analysis of nutrient components of squid skin[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2013, 41(27): 11135-11137 (in Chinese).
- [ 9 ] 胡艺. 秘鲁鱿鱼皮调味罐头的研究 [D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2016.
- Hu Y. The study of flavoring Peru squid skin can[D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2016 (in Chinese).
- [10] 李桂芬. 阿根廷鱿鱼生化成分的分析研究[J]. 现代食品科技, 2005, 21(1): 120-121,100.
- Li G F. Research on the biochemical composition of *Sepia iuex Argentinus*[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2005, 21(1): 120-121,100 (in Chinese).
- [11] 方益, 夏松养. 北太平洋红鱿鱼营养成分分析及评价[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2014, 33(1): 85-91.
- Fang Y, Xia S Y. Analysis and evaluation of nutritive composition in *Ommastephes bartrami*[J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science Edition), 2014, 33(1): 85-91 (in Chinese).
- [12] 楼乔明, 杨文鸽, 徐大伦, 等. 多支链饱和脂肪酸质谱特征及其在海洋动物中的含量分析[J]. 核农学报, 2013, 27(3): 334-339.
- Lou Q M, Yang W G, Xu D L, *et al.* Analysis of mass spectrometry characteristics of multi-branched saturated fatty acids and contents in marine animals[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2013, 27(3): 334-339 (in Chinese).
- [13] 蔡丽, 魏泽宏, 唐涛, 等. 池塘内循环水“跑道”养殖与池塘传统养殖翘嘴鲌肌肉营养成分和挥发性风味物质的比较[J]. 水产学报, 2021, 45(10): 1621-1633.
- Cai L, Wei Z H, Tang T, *et al.* Comparison of nutritional quality and volatile flavor compounds in muscle of *Culter alburnus* cultivated in in-pond “raceway” aquaculture system and traditional pond[J]. Journal of Fisheries of China, 2021, 45(10): 1621-1633 (in Chinese).
- [14] 石钰琢, 郭全友, 郑尧, 等. 不同养殖模式及流通方式的大黄鱼品质评价和等级判定[J]. 食品科学, 2022, 43(13): 184-191.
- Shi Y Z, Guo Q Y, Zheng Y, *et al.* Quality evaluation and grading of *Larimichthys crocea* cultured in different aquaculture modes and circulated under different conditions[J]. *Food Science*, 2022, 43(13): 184-191 (in Chinese).
- [15] 蔡丽君, 郑尧, 郭全友, 等. 油炸工艺参数对即食泥鳅品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(19): 153-161.
- Cai L J, Zheng Y, Guo Q Y, *et al.* Effect of frying process parameters on the quality of ready-to-eat loach[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(19): 153-161 (in Chinese).
- [16] Mehta N K, Nayak B B. Bio-chemical composition, functional, and rheological properties of fresh meat from fish, squid, and shrimp: a comparative study[J]. *International Journal of Food Properties*, 2017, 20(sup1): S707-S721.
- [17] Remyakumari K R, Ginson J, Ajeeshkumar K K, *et al.* Biochemical profile and nutritional quality of indian squid, *Uroteuthis duvauceli*[J]. International Journal of Fisheries and Aquatic Studies, 2018, 6(3): 187-192.
- [18] 杨芳. 阿根廷鱿鱼肌原纤维蛋白特性及其加工的研究 [D]. 厦门: 集美大学, 2009.
- Yang F. Study on the myofibrillar character and processing of *Illex argentinus* Castellanos[D]. Xiamen: Jimei University, 2009 (in Chinese).
- [19] 宋红梅, 屈政委, 汪学杰, 等. 印尼拟松鲷肌肉营养成分分析与评价[J]. 渔业科学进展, 2020, 41(5): 177-184.
- Song H M, Qu Z W, Wang X J, *et al.* Analysis and assessment for nutritional components of the muscle of *Datnioides pulcher*[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2020, 41(5): 177-184 (in Chinese).
- [20] 郑娅, 王晓璇, 胡生海, 等. 河西肉牛脂肪酸成分比较及主成分分析[J]. 现代食品科技, 2021, 37(2): 290-297,170.
- Zheng Y, Wang X X, Hu S H, *et al.* Comparison of fatty acid composition and principal component analysis of beef cattle in western area of Yellow River[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2021, 37(2): 290-297,170

- (in Chinese).
- [21] World Health Organization. Fats and oils in human nutrition: report of a joint expert consultation[M]. Rome: Food & Agriculture Org, 1994.
- [22] 李松, 郭全友, 李保国, 等. 养殖模式和饵料对养殖大黄鱼体色、质构和营养成分评价的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(21): 118-125.
- Li S, Guo Q Y, Li B G, *et al.* Evaluation of culture mode and feed on body color, texture and nutritional composition of cultured *Larimichthys crocea*[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2019, 45(21): 118-125 (in Chinese).
- [23] 楼乔明, 张问, 刘连亮, 等. 狭鳕鱼皮脂肪胺组成分析及其营养评价[J]. *核农学报*, 2016, 30(2): 332-337.
- Lou Q M, Zhang W, Liu L L, *et al.* Analysis and nutritional evaluation of fatty acids in fishskin of *Theragra chalcogramma*[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2016, 30(2): 332-337 (in Chinese).
- [24] Hu B J, Zhou J, Qiu H M, *et al.* Comparison of nutritional quality and volatile flavor compounds among big-head carp from three aquaculture systems[J]. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 2021, 28(8): 4291-4299.
- [25] Baldwin C, Moore K, Steele C, *et al.* The effect of food fortification with or without oral nutritional supplements on energy and protein provision and intake in nursing home residents: a service evaluation[J]. *Clinical Nutrition ESPEN*, 2015, 10(5): E188-E189.
- [26] 罗辉, 陈李婷, 敬庭森, 等. 田螺科四种螺的肌肉主要营养成分[J]. *水产学报*, 2021, 46(11): 2177-2185.
- Luo H, Chen L T, Jing T S, *et al.* Muscle nutrition analysis of four snail species[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2021, 46(11): 2177-2185 (in Chinese).
- [27] 范泽, 王连生. 鱼类赖氨酸营养研究进展[J]. *中国饲料*, 2021, 1(13): 66-72.
- Fan Z, Wang L S. Advances in fish lysine nutrition research[J]. *China Feed*, 2021, 1(13): 66-72 (in Chinese).
- [28] Ma H F, Liu Y J, Tu X H, *et al.* YunOptimization of test conditions for TPA texture properties of avocado flesh[J]. *IOP Conference Series:Earth and Environmental Science*, 2020, 526: 012058.
- [29] Larsen D S, Tang J Y, Ferguson L, *et al.* Textural complexity is a food property – shown using model foods[J]. *International Journal of Food Properties*, 2016, 19(7): 1544-1555.
- [30] 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 (in Chinese).
- [31] 吴永祥, 王婷婷, 张梦婷, 等. 徽州臭鳊鱼微生物多样性、品质特性及其酶解产物抗氧化能力分析[J]. *食品科学*, 2021, 42(2): 128-134.
- Wu Y X, Wang T T, Zhang M T, *et al.* Microbial diversity and quality characteristics of Huizhou stinky mandarin fish and antioxidant activity of its enzymatic hydrolysates[J]. *Food Science*, 2021, 42(2): 128-134 (in Chinese).
- [32] 贾俊琦, 张悦, 廖月琴, 等. 2种乌贼肌肉的营养成分及品质评价[J]. *渔业科学进展*, 2023, 44, (4): 234-243.
- Jia J Q, Zhang Y, Liao Y Q, *et al.* Evaluation of the nutritional composition and quality of muscles in two cuttlefish species[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2023, 44, (4): 234-243 (in Chinese).
- [33] 殷俊, 梅灿辉, 陈斌, 等. 肉丸品质的质构与感官分析[J]. *现代食品科技*, 2011, 27(1): 50-55.
- Yin J, Mei C H, Chen B, *et al.* Sensory evaluation and instrumental measurement of meatballs[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2011, 27(1): 50-55 (in Chinese).
- [34] Zheng H B, Xiong G Y, Han M Y, *et al.* High pressure/thermal combinations on texture and water holding capacity of chicken batters[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2015, 30: 8-14.
- [35] 李龙祥, 赵欣欣, 夏秀芳, 等. 食盐对调理重组牛肉制品品质及水分分布特性的影响[J]. *食品科学*, 2017, 38(19): 143-148.
- Li L X, Zhao X X, Xia X F, *et al.* Effect of salt on quality and water distribution characteristics of ready-to-eat restructured beef products[J]. *Food Science*, 2017, 38(19): 143-148 (in Chinese).
- [36] 焦阳阳, 祝超智, 赵改名, 等. 不同牛肉部位对牛肉片品质的影响[J]. *肉类研究*, 2019, 33(4): 1-6.
- Jiao Y Y, Zhu C Z, Zhao G M, *et al.* Effect of different beef cuts on quality of dried beef slices[J]. *Meat Research*, 2019, 33(4): 1-6 (in Chinese).

## Evaluation of the nutritional composition and quality of three pelagic squid species

WU Junjie<sup>1,2</sup>, TANG Fenghua<sup>2</sup>, GUO Quanyou<sup>2\*</sup>, SONG Xiaoyan<sup>1\*</sup>,  
ZHANG Xiaohui<sup>2</sup>, YANG Xu<sup>2</sup>, ZHENG Yao<sup>2</sup>

(1. School of Healthy Science and Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;

2. Key Laboratory of Oceanic and Polar Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs,

East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China)

**Abstract:** In order to investigate the differences in the nutritional composition and quality of muscle and skin of *Illex argentes*, *Dosidicus gigas* and *Ommastrephes bartrami*, fatty acid composition and amino acid composition of their muscle and skin were determined and analyzed using the national standard method, and the texture and moisture distribution of their muscle and skin were analyzed using a mass spectrometer and low-field nuclear magnetic resonance instrument. The results showed that the crude lipid content of *I. argentes* muscle was 1.23%, which was significantly higher than that of the other two species ( $P<0.05$ ). In addition to moisture content, the crude protein content, crude lipid content and ash content of the muscle were significantly higher than those of the skin ( $P<0.05$ ). The unsaturated fatty acid content of both muscle and skin was higher than 61%, and the total unsaturated fatty acid ( $\Sigma$ UFA) of *I. argentes* muscle was 66.51%, which was significantly higher than those of the other two species ( $P<0.05$ ). 17 amino acids were detected in different parts of the muscle. The total amount of essential amino acids in the *Il. argentes* muscle was 5.54, 6.68 and 5.97 g/100 g, which accounted for more than 40% of the total amino acids. The content of non-fluid water in the muscle was significantly higher than that in the skin ( $P<0.05$ ), and the percentage of immobile water (96.92%) in the *I. argentes* muscle was the highest. The hardness and springiness of *I. argentes* were significantly higher than those of the other two species ( $P<0.05$ ), and the gumminess and adhesiveness of skinned squid muscle were significantly higher than those of unskinned squid muscle ( $P<0.05$ ). Compared to the other two species of squid, *I. argentes* muscle had highest unsaturated fatty acid content, best textural properties, and highest water retention capacity. There was no significant difference in hardness, cohesiveness and chewiness between skinned and unskinned squid muscle ( $P>0.05$ ), and although the nutritional value of squid skin was slightly lower than that of muscle, squid skin still had high processing and utilization prospects.

**Key words:** squid; nutritional component; quality evaluation; texture characteristics; water distribution

**Corresponding authors:** GUO Quanyou. E-mail: [dhsguoqy@163.com](mailto:dhsguoqy@163.com);

SONG Xiaoyan. E-mail: [xishi.rujin@163.com](mailto:xishi.rujin@163.com)

**Funding projects:** National Key R & D Program of China (2020YFD0901203); Special Research Fund for the National Non-profit Institutions of Chinese Academy of Fishery Sciences (2020TD68)