

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20240226008

太平洋褶柔鱼内脏团营养成分分析与评价

辛 云^{1,2}, 刘小芳^{1*}, 王西西¹, 李 爽¹, 姜 维², 龙莉军³, 蒋永毅⁴, 冷凯良¹

(1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 农业农村部极地渔业可持续利用重点实验室, 青岛 266071;
2. 浙江海洋大学, 国家海洋设施养殖工程技术研究中心, 舟山 316022; 3. 威海博宇食品有限公司, 威海 264205;
4. 青岛菲优特检测有限公司, 青岛 266112)

摘 要: **目的** 研究太平洋褶柔鱼(*Todarodes pacificus*)内脏团的营养成分和价值。**方法** 通过系统测定太平洋褶柔鱼内脏团的基本营养成分组成、脂肪酸组成、氨基酸组成、矿物质元素组成和脂溶性维生素含量, 对其营养品质进行分析评价。**结果** 太平洋褶柔鱼内脏团的水分含量为 $(64.19 \pm 0.78)\%$, 蛋白质、粗脂肪、碳水化合物和灰分的含量分别占干基的 $(49.68 \pm 1.89)\%$ 、 $(32.40 \pm 0.14)\%$ 、 $(10.31 \pm 1.94)\%$ 和 $(5.70 \pm 0.14)\%$; 总脂质中甘油酯、磷脂和游离脂肪酸的含量分别为 $(55.42 \pm 2.65)\%$ 、 $(13.33 \pm 1.31)\%$ 和 $(22.64 \pm 0.70)\%$; 总脂质中的多不饱和脂肪酸含量丰富, 且主要为二十碳五烯酸(eicosapentaenoic acid, EPA)和二十二碳六烯酸(docosahexaenoic acid, DHA), 二者分别占总脂肪酸含量的 $(11.56 \pm 0.04)\%$ 和 $(27.86 \pm 0.09)\%$; 氨基酸组成符合联合国粮农组织/世界卫生组织规定的优质蛋白标准; 矿物质元素含量丰富, Zn 和 Fe 等微量元素的含量较高; 维生素 D 和维生素 E 等脂溶性维生素的含量较为丰富。**结论** 太平洋褶柔鱼内脏团是优质蛋白、Omega-3 系列多不饱和脂肪酸、脂溶性维生素等营养成分的良好来源, 值得进一步开发利用。

关键词: 太平洋褶柔鱼; 内脏团; 营养评价; 氨基酸组成; 脂肪酸组成; 脂溶性维生素

Analysis and evaluation of nutritional components of visceral mass from *Todarodes pacificus*

XIN Yun^{1,2}, LIU Xiao-Fang^{1*}, WANG Xi-Xi¹, LI Shuang¹, JIANG Wei²,
LONG Li-Jun³, JIANG Yong-Yi⁴, LENG Kai-Liang¹

(1. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Key Laboratory of Sustainable Development of Polar Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Qingdao 266071, China; 2. Zhejiang Ocean University, National Engineering Research Center for Marine Aquaculture, Zhoushan 316022, China; 3. Weihai Boyu Food Co., Ltd., Weihai 264205, China; 4. Qingdao Future Testing Technology Co., Ltd., Qingdao 266112, China)

ABSTRACT: Objective To study the nutritional composition and value of the visceral mass from *Todarodes pacificus*. **Methods** The basic nutrient composition, fatty acid composition, amino acid composition, mineral element composition and fat-soluble vitamin content of the visceral mass from *Todarodes pacificus* were systematically determined, and the nutritional quality was analyzed and evaluated. **Results** The results showed that the moisture content of the visceral mass from *Todarodes pacificus* was $(64.19 \pm 0.78)\%$, while the contents (dry

基金项目: 青岛市关键技术攻关及产业化示范类项目(23-1-3-hysf-1-hy)

Fund: Supported by the Qingdao Key Technology Research and Industrialization Demonstration Project (23-1-3-hysf-1-hy)

*通信作者: 刘小芳, 博士, 副研究员, 主要研究方向为渔业新资源加工与综合利用。E-mail: liuxiaofang@ysfri.ac.cn

*Corresponding author: LIU Xiao-Fang, Ph.D, Associate Professor, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, No.106, Nanjing Road, Qingdao 266071, China. E-mail: liuxiaofang@ysfri.ac.cn

weight) of protein, total lipids, carbohydrate and ash were $(49.68 \pm 1.89)\%$, $(32.40 \pm 0.14)\%$, $(10.31 \pm 1.94)\%$ and $(5.70 \pm 0.14)\%$, respectively. The content of glycerides, phospholipids and free fatty acids in total lipids were $(55.42 \pm 2.65)\%$, $(13.33 \pm 1.31)\%$ and $(22.64 \pm 0.70)\%$, respectively. The total lipids were rich in polyunsaturated fatty acids, mainly eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA), which accounted for $(11.56 \pm 0.04)\%$ and $(27.86 \pm 0.09)\%$ of the total fatty acids, respectively. The amino acid composition met the Food and Agriculture Organization/World Health Organization high quality protein standards. The mineral element content of the visceral mass from *Todarodes pacificus* were rich, while the content of Zn and Fe were high. The content of fat-soluble vitamins such as vitamin D and vitamin E of the visceral mass from *Todarodes pacificus* were also abundant.

Conclusion The visceral mass from *Todarodes pacificus* is the good source of high-quality protein, omega-3 polyunsaturated fatty acids and fat-soluble vitamins, which will be worthy of further research and utilization.

KEY WORDS: *Todarodes pacificus*; visceral mass; nutritional evaluation; amino acid composition; fatty acid composition; fat-soluble vitamin

0 引言

鱿鱼, 属于软体动物门(Mollusca)、头足纲(Cephalopoda)、枪形目(Teuthoidea), 目前主要的捕捞品种有秘鲁茎柔鱼(*Dosidicus gigas*)、太平洋褶柔鱼(*Todarodes pacificus*, *T. pacificus*)和阿根廷滑柔鱼(*Illex argentinus*)等^[1], 其中, 太平洋褶柔鱼分布于西北太平洋日本列岛、中国黄海和东海等海域, 是我国重要的鱿鱼捕捞品种之一^[2]。近年来, 受水域环境恶化、产业结构不合理、养殖方式粗放等因素影响, 海洋渔业发展空间受到了极大挑战, 拓展渔业向深远海域发展的需求与日俱增^[3]。太平洋褶柔鱼作为远洋渔业的重要品种之一, 产业整体的健康可持续发展也因此备受关注。

据《2023 年中国渔业统计年鉴》显示: 2022 年, 我国鱿鱼远洋捕捞产量已达到 76.66 万 t^[4]。鱿鱼加工作为我国水产加工业的重要组成部分, 目前年加工量约达 40~50 万 t, 行业产值已超 200 亿元^[1]; 我国已成为全球最大的远洋鱿鱼生产、加工和消费国家。然而, 目前鱿鱼加工产品仍主要以鱿鱼片、鱿鱼花、鱿鱼丝等初级加工制品为主, 精深加工制品极少, 且在鱿鱼加工过程中产生的大量副产物, 如内脏团、皮、墨囊等, 占到鱿鱼总体重的 20%~25%, 而该部分资源通常被简单加工为鱿鱼油、鱿鱼膏等初级产品或直接应用于饲料行业, 尚未被最有效加工利用, 造成资源浪费和环境污染等问题, 一定程度上制约着产业发展。鱿鱼加工副产物中含有较多营养成分, 目前已有研究利用鱿鱼加工副产物制备得到胶原蛋白肽^[5]、 β -甲壳素^[6]、透明质酸^[7]等活性成分, 但关于其营养组成的系统分析评价研究仍鲜有报道, 其中有关于太平洋褶柔鱼的研究也主要集中在生物学^[8]和质量安全^[9]等方面。鉴于此, 本研究重点对太平洋褶柔鱼内脏团的营养组成进行了系统分析与评价, 以期科学认知鱿鱼加工副产物资源的营养价值提供数据支持, 为其高值化精准开发利用提供科学指导。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

太平洋褶柔鱼内脏团(包含肝脏、胃、生殖腺、消化腺、墨囊等内脏器官), 威海博宇食品有限公司提供, 经真空冷冻干燥(冷冻温度 -60°C , 真空度 0.098 Mpa)后, 磨碎, 混合均匀, 密封包装后置于干燥器中备用。

甘油三酯试剂盒、胆固醇试剂盒(中生北控生物科技股份有限公司); 37 种脂肪酸甲酯混合标准品、磷脂酰胆碱(phosphatidylcholines, PC)、磷脂酰乙醇胺(phosphatidylethanolamine, PE)、溶血磷脂酰胆碱(lysophosphatidylcholine, LPC)(色谱纯, 美国 Sigma 公司); 氢氧化钠、碘化钾、三氯甲烷、甲醇、异丙醇、乙醇、正己烷、正庚烷、钼酸钠、硫酸联氨、浓硫酸、浓盐酸、无水硫酸钠、硫酸铜、硫酸钾、硼酸、氯化钠、氯化钾、石油醚、TritonX-100、醋酸铜、油酸(分析纯, 上海国药集团化学试剂有限公司)。

1.2 仪器与设备

BSA224S-CW 型电子分析天平(精度 0.1 mg, 德国赛多利斯科学仪器有限公司); CTFD-10P 型真空冷冻干燥机(青岛永合创信电子科技有限公司); L-8900 型全自动氨基酸分析仪[日立科学仪器(北京)有限公司]; MD200 型氮吹仪(杭州奥盛仪器有限公司); UV1-102II 型紫外/可见分光光度计(上海天美科学仪器有限公司); LC-16 型液相色谱仪(配置 Essentia ELSD-16 型蒸发光散射检测器, 日本岛津公司); HP6890 型气相色谱仪(配离子火焰检测器, 美国安捷伦公司)。

1.3 营养成分分析与品质评价方法

1.3.1 各种营养成分检测

水分含量按照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标

准《食品中水分的测定》规定的直接干燥法执行;蛋白质含量按照 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》规定的凯氏定氮法执行;粗脂肪含量按照 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》规定的酸水解法执行;碳水化合物含量按照 GB/Z 21922—2008《食品营养成分基本术语》规定的减差法执行;灰分含量按照 GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》规定的高温灼烧法执行。

采用 FOLCH 等^[10]的方法提取内脏团总脂质,按照李雅婷等^[11]的方法进行脂质组成和脂肪酸组成的测定:取适量内脏团总脂质溶液,氮气吹干后加入适量 10% Triton X-100 异丙醇溶液(V/V),按照试剂盒说明书测定甘油酯和胆固醇含量;磷脂含量按照 GB/T 5537—2008《粮油检验 磷脂含量的测定》规定的钼蓝比色法执行;游离脂肪酸含量采用铜皂比色法测定;脂肪酸组成按照 GB 5009.168—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》规定的归一化法执行。

除色氨酸外的 16 种氨基酸含量按照 GB 5009.124—2016 规定的酸水解法执行;色氨酸含量按照 GB/T 18246—2019《饲料中氨基酸的测定》规定的碱水解法执行。

矿物质元素含量按照 GB 5009.268—2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》规定的方法执行;维生素 A、E 含量按照 GB 5009.82—2016《食品安全国家标准 食品中维生素 A、D、E 的测定》规定的反相高效液相色谱法执行,维生素 D 含量按照 GB 5009.82—2016 规定的液相色谱-串联质谱法执行,维生素 K₁、K₂ 含量分别按照 GB 5009.158—2016《食品安全国家标准 食品中维生素 K₁ 的测定》、GB 5009.290—2023《食品安全国家标准 食品中维生素 K₂ 的测定》规定的方法执行。

1.3.2 氨基酸组成评价标准

氨基酸组成的评分模式参考联合国粮食及农业组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)/世界卫生组织(World Health Organization, WHO)提出的每克氮氨基酸评分标准模式和中国预防医学科学院营养与食品卫生研究的鸡蛋蛋白模式两种评分模式进行。其中,氨基酸分(amino acid score, AAS)和化学分(chemical score, CS)按公式(1)~(2)计算:

$$\text{AAS} = \frac{\text{待评粗蛋白质氨基酸含量(mg/g)}}{\text{评分模式氨基酸含量(mg/g)}} \quad (1)$$

$$\text{CS} = \frac{\text{待评粗蛋白质氨基酸含量(mg/g)}}{\text{鸡蛋粗蛋白氨基酸含量(mg/g)}} \quad (2)$$

1.4 数据处理

实验平行测定 3 次,结果采用“平均值±标准偏差”的形式表示,采用 Excel 2016、IBM SPSS 27.0 软件进行数据分析处理。

2 结果与分析

2.1 基本营养成分组成

太平洋褶柔鱼内脏团的水分含量为(64.19±0.78)%;蛋白质、粗脂肪、碳水化合物、灰分含量分别占干基的(49.68±1.89)%、(32.40±0.14)%、(10.31±1.94)%、(5.70±0.14)%。太平洋褶柔鱼内脏团的蛋白质含量最高,粗脂肪含量次之,碳水化合物含量相对较低。太平洋褶柔鱼内脏团的蛋白质含量高于黑斑蛙内脏^[12]、皱纹盘鲍内脏^[13]及大沽全海笋内脏^[14],低于章鱼内脏^[15];粗脂肪含量高于皱纹盘鲍内脏^[13]、大沽全海笋内脏^[14]及章鱼内脏^[15],低于蓝圆鲈内脏^[16];碳水化合物含量高于皱纹盘鲍内脏^[13]、大沽全海笋内脏^[14]。综上可知,太平洋褶柔鱼内脏团是一种蛋白质、脂质、碳水化合物都较为丰富的水产原料,具备进一步开发利用的价值。

2.2 脂质组成

太平洋褶柔鱼内脏团中甘油酯含量为总脂质的(55.42±2.65)%,是主要的脂质成分,高于章鱼内脏^[15]、皱纹盘鲍内脏^[17]等原料。太平洋褶柔鱼内脏团中磷脂含量为总脂质的(13.33±1.31)%,低于章鱼内脏^[15]。有研究指出,鱿鱼卵中磷脂含量约为总脂质的(72.0±3.2)%^[18]、鱿鱼肝中磷脂含量约为总脂质的(26.45±0.61)%^[19],而本研究中太平洋褶柔鱼内脏团的磷脂含量较低,推测跟本研究所用原料中卵、肝脏的比重较低有关。另外,太平洋褶柔鱼内脏团总脂质中游离脂肪酸含量高达(22.64±0.70)%,推测这与鱿鱼内脏团中所含有的脂质水解酶活性较高且在原料贮藏过程中引发了脂质水解劣变有关^[20];在开发利用太平洋褶柔鱼内脏团脂质时,需要采用相应的加工工艺重点进行脱酸处理。

2.3 脂肪酸组成

太平洋褶柔鱼内脏团的脂肪酸组成分析结果见表 1。由表 1 可知,太平洋褶柔鱼内脏团中共检出 28 种脂肪酸,其中,饱和脂肪酸 11 种,占总脂肪酸含量的(30.91±0.03)%,主要为棕榈酸(C16:0)、硬脂酸(C18:0)和豆蔻酸(C14:0);单不饱和脂肪酸 7 种,占总脂肪酸含量的(23.98±0.02)%,主要为油酸[C18:1(n-9)]、花生烯酸(C20:1)和棕榈烯酸(C16:1);多不饱和脂肪酸 10 种,占总脂肪酸含量的(45.12±0.01)%,主要为二十二碳六烯酸(docosahexaenoic acid, DHA, C22:6)和二十碳五烯酸(eicosapentaenoic acid, EPA, C20:5)。值得注意的是,太平洋褶柔鱼内脏团中 EPA 和 DHA 含量丰富,分别占总脂肪酸含量的(11.56±0.04)%和(27.86±0.09)%,高于大沽全海笋内脏^[14]、蓝圆鲈内脏^[16]、秋刀鱼肌肉^[21]等水产原料。EPA 和 DHA 同属于 Omega-3 系列多不饱和脂肪酸,具有防治心脑血管疾病、改善中枢神经系统功能、维持机体代谢稳态、抑制肿瘤生长等多重生理功能^[22],以

EPA、DHA 为主要功效成分的海洋鱼油产品是目前保健食品市场最受欢迎的产品之一。综上脂肪酸组成分析结果可知, 太平洋褶柔鱼内脏团具有较高的开发价值, 可作为海洋鱼油的加工原料进行使用。

表 1 太平洋褶柔鱼内脏团的脂肪酸组成(%)
Table 1 Fatty acid composition of the visceral mass from *T. pacificus* (%)

脂肪酸	脂肪酸名称	脂肪酸含量
C12:0	十二碳酸	0.04±0.00
C13:0	十三碳酸	0.04±0.00
C14:0	十四碳酸(豆蔻酸)	4.05±0.01
C14:1	顺-9-十四一烯酸(豆蔻脑酸)	0.07±0.02
C15:0	十五碳酸	0.61±0.02
C16:0	十六碳酸(棕榈酸)	19.02±0.06
C16:1	顺-9-十六碳一烯酸 (棕榈一烯酸)	3.92±0.05
C17:0	十七碳酸	0.93±0.02
C18:0	十八碳酸(硬脂酸)	5.57±0.02
C18:1(n-7)	反-9-十八碳一烯酸(反油酸)	0.12±0.03
C18:1(n-9)	顺-9-十八碳一烯酸(顺油酸)	11.19±0.09
C18:2(n-6)	顺,顺-9,12-十八碳二烯酸 (顺亚油酸)	1.67±0.02
C20:0	二十碳酸(花生酸)	0.53±0.00
C18:3(n-6)	顺,顺,顺-6,9,12-十八碳三 烯酸	0.08±0.00
C20:1	顺-11-二十碳一烯酸 (花生一烯酸)	7.47±0.18
C18:3(n-3)	顺,顺,顺-9,12,15-十八碳三 烯酸	1.23±0.02
C21:0	二十一碳酸	0.05±0.00
C20:2(n-6)	顺,顺-11,14-二十碳二烯酸	0.82±0.01
C22:0	二十二碳酸(山嵛酸)	0.06±0.08
C20:3	顺,顺,顺-8,11,14-二十碳三 烯酸	0.12±0.00
C22:1(n-9)	顺-13-二十二碳一烯酸(芥酸)	0.45±0.02
C20:3	顺-11,14,17-二十碳三烯酸	0.09±0.01
C20:4	顺-5,8,11,14-二十碳四烯酸 (花生四烯酸)	1.64±0.01
C23:0	二十三碳酸	0.02±0.00
C22:2	顺-13,16-二十二碳二烯酸	0.05±0.00
C20:5 (EPA)	顺-5,8,11,14,17-二十碳五烯酸 (EPA)	11.56±0.04
C24:1	顺-15-二十四一烯酸	0.75±0.01
C22:6 (DHA)	顺-4,7,10,13,16,19-二十二碳六 烯酸(DHA)	27.86±0.09
饱和脂肪酸		30.91±0.03
单不饱和脂肪酸		23.98±0.02
多不饱和脂肪酸		45.12±0.01
n-3 多不饱和脂肪酸		40.65±0.03
n-6 多不饱和脂肪酸		4.42±0.02

2.4 氨基酸组成及评价

2.4.1 氨基酸组成

太平洋褶柔鱼内脏团的氨基酸组成分析结果见表 2。太平洋褶柔鱼内脏团中共检出 17 种氨基酸, 氨基酸总量为 (51.31±1.27) g/100 g, 其中: 必需氨基酸总量为 (20.66±0.42) g/100 g, 占总氨基酸含量的 (40.27±0.17)%; 非必需氨基酸总量为 (30.65±0.85) g/100 g, 占总氨基酸含量的 (59.73±0.15)%; 通过计算可知, 必需氨基酸与总氨基酸的比值为 0.40, 必需氨基酸与非必需氨基酸的比值为 0.67, 符合 WHO/FAO 规定的优质蛋白质的标准 (FAO/WHO 规定优质蛋白质的组成中必需氨基酸与非必需氨基酸的比值在 0.60 以上, 必需氨基酸与总氨基酸的比

表 2 太平洋褶柔鱼内脏团的氨基酸组成(干基, g/100 g)
Table 2 Amino acid composition of the visceral mass from *T. pacificus* (dry basis, g/100 g)

氨基酸	含量
天门冬氨酸 ^b	5.18±0.13
苏氨酸 ^a	2.48±0.06
丝氨酸	2.17±0.05
谷氨酸 ^{bc}	6.53±0.17
甘氨酸 ^{bc}	2.83±0.08
丙氨酸 ^b	3.84±0.06
缬氨酸 ^a	2.90±0.08
甲硫氨酸 ^a	1.88±0.06
异亮氨酸 ^a	2.79±0.06
亮氨酸 ^a	3.83±0.06
酪氨酸 ^c	1.66±0.06
苯丙氨酸 ^a	2.25±0.05
赖氨酸 ^a	3.84±0.06
组氨酸	1.20±0.03
精氨酸 ^{bc}	2.75±0.07
脯氨酸	4.49±0.19
色氨酸 ^a	0.69±0.00
氨基酸总量	51.31±1.27
必需氨基酸总量	20.66±0.42
必需氨基酸百分含量/%	40.27±0.17
非必需氨基酸百分含量/%	59.73±0.15
呈味氨基酸百分含量/%	41.18±0.02
药效氨基酸百分含量/%	26.84±0.09

注: ^a 为必需氨基酸; ^b 为呈味氨基酸; ^c 为药效氨基酸。

值在 0.40 左右)^[23]。此外,太平洋褶柔鱼内脏团中天冬氨酸、谷氨酸等呈味氨基酸含量丰富,呈味氨基酸总量占总氨基酸含量的(41.18±0.02)%,高于大沽全海笋内脏^[14]、罗非鱼下脚料^[24]等,提示其具有浓郁的海鲜风味;太平洋褶柔鱼内脏团中甘氨酸、谷氨酸等药效氨基酸含量也较高,药效氨基酸总量占总氨基酸含量的(26.84±0.09)%,提示其具有较好的药用价值。综合评价,太平洋褶柔鱼内脏团的氨基酸组成合理,是一种优质的蛋白质资源,具有开发成海洋风味制品、调味品或健康食品的潜力。

2.4.2 氨基酸营养品质评价

由表 2 中的数据乘以 62.5,得到数据为每克氮中含氨基酸毫克数,并与 FAO/WHO 制定的蛋白质评价的氨基酸标准模式和鸡蛋蛋白的氨基酸模式进行比较分析^[25],得到太平洋褶柔鱼内脏团必需氨基酸的 AAS 和 CS 分析结果见表 3。太平洋褶柔鱼内脏团中必需氨基酸的评分较好,说明其营养价值较为良好。根据 AAS 可得知,分数最高的是色氨酸,为 0.72,其次为赖氨酸,为 0.71;依据 CS,分数最高的为赖氨酸,为 0.54,其次为异亮氨酸和苏氨酸,均为 0.53。与太平洋褶柔鱼内脏团中其他氨基酸相比,色氨酸、赖氨酸、异亮氨酸的 AAS 评分更接近 1,说明该原料中 3 种氨基酸最接近人体营养需要^[24]。根据 AAS 可知,太平洋褶柔鱼内脏团的第一限制氨基酸是甲硫氨酸,第二限制氨基酸是亮氨酸;根据 CS 可知,太平洋褶柔鱼内脏团的第一限制氨基酸为甲硫氨酸,第二限制氨基酸为苯丙氨酸+酪氨酸。

2.5 矿物质元素组成

太平洋褶柔鱼内脏团的矿物质元素含量分析结果见表 4。在生物体内,矿物质元素在维持机体的正常生理活

动方面发挥极其重要的作用。由表 4 可知,太平洋褶柔鱼内脏团中除含有丰富的 Na、K、Ca、Mg 等常量元素外,Zn、Fe 等微量元素的含量也很高,含量分别为(117.50±4.95) mg/kg、(179.50±6.36) mg/kg。Zn、Fe 等微量元素能够影响酶活性、细胞分裂、氧运输等关键生理过程,对人体健康至关重要^[26-27]。此外,太平洋褶柔鱼内脏团中 Hg、Pb 的含量均较低,符合相应国家卫生标准的要求,而总砷的含量较高,推测这与水产品易因食物链累积效应出现总砷积累有关。已有研究指出,水产品中的砷元素通常主要以无毒或低毒的有机砷形式存在^[28],在后期开发利用太平洋褶柔鱼内脏团时应进一步对砷的赋存形态进行检测分析,必要时可采取适当方法进行脱砷处理。

2.6 脂溶性维生素组成

太平洋褶柔鱼内脏团中检出的脂溶性维生素主要包括维生素 D₂、α-维生素 E、β-维生素 E 和 γ-维生素 E,含量分别为(301±1.05) μg/100 g、(0.825±0.06) mg/100 g、(1.304±0.13) mg/100 g、(0.326±0.05) mg/100 g。脂溶性维生素通常在动物肝脏中含量丰富,太平洋褶柔鱼内脏团的维生素 D 含量高于大黄鱼肝脏^[29]和鲟鱼肝脏^[29]中的含量,而维生素 E 含量则高于大黄鱼肝脏^[29],低于鲟鱼肝脏^[29]和鮫鰾肝脏^[30]中的含量。维生素 D 具有调节机体磷酸钙稳态的作用,缺乏时则会影响心脑血管、神经、免疫和肌肉骨骼等组织器官的正常功能^[31];维生素 E 是天然的抗氧化剂,具有增强免疫力、延缓衰老、抑制炎症反应、维持生殖器官正常机能等作用^[32]。综上可知,太平洋褶柔鱼内脏团具有富含维生素 D 和维生素 E 的营养特性,是提取生产鱼肝油的良好原料。

表 3 太平洋褶柔鱼内脏团的必需氨基酸评价
Table 3 Evaluation of essential amino acids in the visceral mass from *T. pacificus*

必需氨基酸	太平洋褶柔鱼内脏团/(mg/g)	评分模式/(mg/g)	鸡蛋蛋白/(mg/g)	AAS	CS
苏氨酸	155.00	250	292	0.62	0.53
亮氨酸	239.38	440	534	0.54**	0.45
苯丙氨酸+酪氨酸	244.38	380	565	0.64	0.43**
缬氨酸	181.25	318	410	0.57	0.44
赖氨酸	240.00	340	441	0.71	0.54
异亮氨酸	174.38	250	331	0.70	0.53
甲硫氨酸	117.50	220	386	0.53*	0.30*
色氨酸 p	43.13	60	99	0.72	0.44

注: *为第一限制氨基酸; **为第二限制氨基酸。

表 4 太平洋褶柔鱼内脏团的矿物质元素组成(干基, mg/kg)
Table 4 Mineral element composition of the viscera from *T. pacificus* (dry basis, mg/kg)

元素	含量
Cr	0.49±0.01
Ni	0.55±0.07
As	9.60±0.28
Pb	0.21±0.02
Se	5.39±0.09
Sn	1.72±0.04
Hg	0.11±0.03
Fe	179.50±6.36
Mn	4.45±0.07
Zn	117.50±4.95
Al	10.95±1.91
K	(8.76±0.21)×10 ³
Ca	(6.05±0.53)×10 ³
Na	(6.32±0.18)×10 ³
Mg	(1.52±0.04)×10 ³

3 结 论

太平洋褶柔鱼内脏团作为一种营养丰富的海洋水产原料, 极具开发潜力。太平洋褶柔鱼内脏团含有丰富的脂质, 占干基的(32.40±0.14)%; 总脂质中脂肪酸种类齐全, 其中不饱和脂肪酸在脂肪酸中的含量较高, 达到总脂肪酸总量的(69.10±0.01)%, 且主要为EPA、DHA等Omega-3系列多不饱和脂肪酸。太平洋褶柔鱼内脏团的蛋白质含量约占干基的(49.68±1.89)%, 必需氨基酸种类齐全且氨基酸组成合理, 符合优质蛋白的标准; 另外, 呈味氨基酸和药效氨基酸分别占氨基酸总量的(41.18±0.02)%和(26.84±0.09)%, 具有浓郁的海鲜风味和较好的药用价值。太平洋褶柔鱼内脏团还富含多种维生素和矿物质, 如维生素D、维生素E、Zn和Fe等, 营养价值较为全面。综上所述可知, 太平洋褶柔鱼内脏团是一种营养价值和开发价值较高的水产原料, 未来研究可关注将其应用于活性蛋白肽和功能脂质的提取生产, 以进一步提高资源的高值化综合利用程度。

参考文献

[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 YH, CHEN XJ, CHEN SS. Research progress of squid processing and utilization technology in China [J]. J Shanghai Ocean Univ, 2019, 28(3): 357–364.
[2] 杨林林, 姜亚洲, 张辉, 等. 黄海南部和东海太平洋褶柔鱼适宜栖息地的季节变化及环境驱动因素[J]. 生态学杂志, 2023, 42(3): 685–693.
YANG LL, JIANG YZ, ZHANG H, et al. Seasonal variations and

environmental drivers of suitable habitats of *Todarodes pacificus* in southern Yellow Sea and East China Sea [J]. Chin J Ecol, 2023, 42(3): 685–693.
[3] 徐皓, 陈家勇, 方辉, 等. 中国海洋渔业转型与深蓝渔业战略性新兴产业[J]. 渔业现代化, 2020, 47(3): 1–9.
XU H, CHEN JY, FANG H, et al. Chinese marine fishery transformation and strategic emerging industry of deep ocean fishery [J]. Fish Mod, 2020, 47(3): 1–9.
[4] 农业农村部渔业渔政管理局. 2023 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2023.
Fishey and Fishery Administration of the Ministry of Agriculture. China fisheries statistical yearbook [M]. Beijing: China Agricultural Publishing House, 2023.
[5] CAO S, CAI J, WANG X, et al. Cryoprotective effect of collagen hydrolysates from squid skin on frozen shrimp and characterizations of its antifreeze peptides [J]. LWT, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114443>
[6] OSADA M, NISHIWAKI M, WATANABE T. Environment-friendly utilization of squid pen with water: Production of beta-chitin nanofibers and peptides for lowering blood pressure [J]. Int J Biol Macromol, 2021, 189: 921–929.
[7] 代琼, 杨文鸽, 陈小芳, 等. 鱿鱼眼透明质酸及其降解产物的抗氧化和保湿作用[J]. 食品科学, 2012, 33(1): 35–38.
DAI Q, YANG WG, CHEN XF, et al. Antioxidant and moisture retention properties of hyaluronic acid and its degradation products from squid eyes [J]. Food Sci, 2012, 33(1): 35–38.
[8] YU W, FENG Z, CHEN B, et al. Climate-related variations in autumn cohort of Japanese common squid *Todarodes pacificus* [J]. J Ocean Univ, 2023, 22(2): 490–500.
[9] JIN Y, DENG Y, QIAN B, et al. Allergenic response to squid (*Todarodes pacificus*) tropomyosin Tod p1 structure modifications induced by high hydrostatic pressure [J]. Food Chem Toxicol, 2015, 76: 86–93.
[10] FOLCH J, LEES M, STANLEY-SLOANE GH. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues [J]. J Biol Chem, 1956, 55: 497–509.
[11] 李雅婷, 刘小芳, 姜维, 等. 不同体长南极磷虾的脂质组成差异分析[J]. 中国油脂, 2022, 47(12): 90–96.
LI YT, LIU XF, JIANG W, et al. Comparative analysis of the lipid compositions of Antarctic krill (*Euphausia superba*) with different body lengths [J]. China Oils Fats, 2022, 47(12): 90–96.
[12] 劳梦甜, 曾璐瑶, 王海滨, 等. 黑斑蛙副产物营养成分分析与综合利用评价[J]. 食品科技, 2022, 47(11): 129–135.
LAO MT, ZENG LY, WANG HB, et al. Nutrient composition analysis and comprehensive utilization evaluation of by-products of frog (*Rana nigromaculata*) [J]. Food Sci Technol, 2022, 47(11): 129–135.
[13] 苏永昌, 潘南, 张伯超, 等. 皱纹盘鲍内脏脂类提取、组成分析及营养评价[J]. 渔业研究, 2022, 44(3): 242–248.
SU YC, PAN N, ZHANG BC, et al. Preparation and fatty acids analysis of lipids from *Haliotis discus hannai* viscera [J]. J Fish Res, 2022, 44(3): 242–248.
[14] 傅志宇, 李大成, 白永安, 等. 大沽全海笋的营养成分分析与评价[J]. 水产科学, 2024, 43(2): 304–311.
FU ZY, LI DC, BAI YAN, et al. Analysis and evaluation of nutritional

- components of *Barnea davidi* [J]. Fish Sci, 2024, 43(2): 304–311.
- [15] 付雪媛, 钟宏, 宋文山, 等. 章鱼内脏鱼油的提取及品质分析[J]. 中国油脂, 2020, 45(5): 17–22.
- FU XY, ZHONG H, SONG WS, *et al.* Extraction and quality analysis of octopus viscera fish oil [J]. China Oils Fats, 2020, 45(5): 17–22.
- [16] 王爽, 周爱梅, 戴泽伟, 等. 蓝圆鲹不同部位的营养成分分析与评价[J]. 食品工业科技, 2018, 39(10): 303–307, 314.
- WANG X, ZHOU AIM, DAI ZW, *et al.* Composition analysis and nutritional evaluation of different parts of *Decapterus maruadsi* [J]. Sci Technol Food Ind, 2018, 39(10): 303–307, 314.
- [17] 楼乔明, 杨文鸽, 张进杰, 等. 皱纹盘鲍内脏脂质及其脂肪酸组成成分分析[J]. 中国食品学报, 2013, 13(5): 220–226.
- LOU QM, YANG WG, ZHANG JJ, *et al.* Lipid class and fatty acid compositions of viscera from *Haliotis Discus Hannai* ino [J]. J Chin Ins Food Sci Technol, 2013, 13(5): 220–226.
- [18] WANG Q, XUE CH, LI ZJ, *et al.* Phosphatidylcholine levels and their fatty acid compositions in squid egg: A comparison study with pollack roe and sturgeon caviar [J]. J Food Lipids, 2008, 15(2): 222–230.
- [19] 徐彤砚, 楼乔明, 高娟, 等. 秘鲁鱿鱼肝脏油脂碱水解法提取及其脂肪酸分析[J]. 中国粮油学报, 2016, 31(2): 58–63.
- XU TY, LOU QM, GAO J, *et al.* Hepatic oil extraction of *Dosidicus gigas* by weak alkaline hydrolysis and analysis of the fatty acid compositions [J]. J Chin Cere Oils Assoc, 2016, 31(2): 58–63.
- [20] 姜艳喜, 张建友, 丁玉庭. 鱿鱼副产物自溶水解过程的生化变化及其机理[J]. 食品工业科技, 2010, 31(12): 142–145.
- JIANG YX, ZHANG JY, DING YT. Biochemical changes in the squid processing wastes' auto-hydrolysate and mechanism analysis [J]. Sci Technol Food Ind, 2010, 31(12): 142–145.
- [21] 王琳, 赵玲, 齐祥明, 等. 不同规格秋刀鱼肌肉的营养成分分析与品质评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(21): 6815–6820.
- WANG L, ZHAO L, QI XM, *et al.* Nutritional composition analysis and quality evaluation of muscles of different specifications of *Coloabis saira* [J]. J Food Saf Qual, 2022, 13(21): 6815–6820.
- [22] ZHANG TT, XU J, WANG YM, *et al.* Health benefits of dietary marine DHA/EPA-enriched glycerophospholipids [J]. Prog Lipid Res, 2019, 75: 100997.
- [23] CANNAS A. Energy and protein requirements [Z]. 1973.
- [24] 苏永昌, 刘淑集, 刘智禹, 等. 罗非鱼下脚料营养成分的分析及评价[J]. 食品工业科技, 2017, 38(14): 285–288, 293.
- SU YC, LIU SJ, LIU ZY, *et al.* Analysis and evaluation of nutritional components in tilapia byproduct [J]. Sci Technol Food Ind, 2017, 38(14): 285–288, 293.
- [25] 陈京美, 刘小芳, 冷凯良, 等. 太平洋真鲷鱼卵营养成分分析与评价[J]. 青岛大学学报(自然科学版), 2016, 29(2): 57–62.
- CHEN JM, LIU XF, LENG KL, *et al.* Analysis and evaluation of nutritional components of *Gadus microcephalus* Roe [J]. J Qingdao Univ, 2016, 29(2): 57–62.
- [26] 马彦平, 石磊, 何源. 微量元素铁、锰、硼、锌、铜、钼营养与人体健康[J]. 肥料与健康, 2020, 47(5): 12–17.
- MA YP, SHI L, HE Y. Trace elements iron, manganese, boron, zinc, copper, molybdenum and human health [J]. Fert Health, 2020, 47(5): 12–17.
- [27] PUIG S, RAMOS-ALONSO L, ROMERO AM, *et al.* The elemental role of iron in DNA synthesis and repair [J]. Metallomics, 2017, 9(11): 1483–1500.
- [28] 杨慧, 戴守辉, 王富华, 等. 海产品中的砷形态及其毒理代谢研究[J]. 农产品质量与安全, 2017, (1): 21–26, 32.
- YANG H, DAI SH, WANG FH, *et al.* Overview on arsenic speciation, its metabolism and toxicity in seafood [J]. Qual Saf Agro-Prod, 2017, (1): 21–26, 32.
- [29] 孙伟红, 冷凯良, 邢丽红, 等. 高效液相色谱串联质谱法同时测定大黄鱼肝和鲟鱼肝中的脂溶性维生素[J]. 分析试验室, 2010, 29(S1): 313–315.
- SUN WH, LENG KL, XING LH, *et al.* Simultaneous determination of fat-soluble vitamins in large yellow cod liver and sturgeon liver by high performance liquid chromatography tandem mass spectrometry [J]. Chin J Anal Lab, 2010, 29(S1): 313–315.
- [30] 朱艳超, 姜永江, 熊国通, 等. 鲛鳕鱼鱼肝营养组成的分析及评价[J]. 食品工业科技, 2017, 38(5): 356–360.
- ZHU YC, LOU YJ, XIONG GT, *et al.* Composition analysis and evaluation of Goosefish liver nutrition [J]. Sci Technol Food Ind, 2017, 38(5): 356–360.
- [31] EL-HOSS K, SALLA M, KHALED S, *et al.* Update on vitamin D deficiency and its impact on human health major challenges & technical approaches of food fortification [J]. J Agric Food Res, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100616>
- [32] SHAHIDI F, PINAFFI-LANGLEY ACC, FUENTES J, *et al.* Vitamin E as an essential micronutrient for human health: Common, novel, and unexplored dietary sources [J]. Free Radic Biol Med, 2021, 176: 312–321.

(责任编辑: 韩晓红 于梦娇)

作者简介



辛 云, 硕士研究生, 主要研究方向为农业工程与信息技术。
E-mail: xinyun202269@163.com



刘小芳, 博士, 副研究员, 主要研究方向为渔业新资源加工与综合利用。
E-mail: liuxiaofang@ysfri.ac.cn