

液氮冻结对养殖大黄鱼肌原纤维蛋白结构的影响

胡远辉, 廖慧琦, 陆益钊, 杨巨鹏, 张慧恩, 洪梦蓉, 杨 华*

(浙江万里学院生物与环境学院, 宁波 315100)

摘 要: **目的** 探究液氮冻结对大黄鱼肌原纤维蛋白结构的影响。**方法** 通过荧光分光光度法、傅里叶红外法、圆二色光谱法、激光拉曼光谱法等分析, 探究液氮冻结对大黄鱼肉肌原纤维蛋白结构的变化。**结果** 冻结后大黄鱼肉肌原纤维蛋白表面疏水性上升, 巯基含量下降, 蛋白质二、三级结构在冻结下发生改变, α -螺旋的含量被下降, 转化为 β -折叠和无规卷曲, 影响肽链结合的紧密性。**结论** 蛋白结构的变化影响大黄鱼肉中肌原纤维蛋白的二、三级结构, 进而影响鱼肉的品特性。

关键词: 液氮冻结; 养殖大黄鱼; 肌原纤维蛋白; 结构特性

Effects of liquid nitrogen freezing nitrogen on the structure of myofibrillar protein in cultured large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*)

HU Yuan-Hui, LIAO Hui-Qi, LU Yi-Bei, YANG Ju-Peng, ZHANG Hui-En, HONG Meng-Rong
YANG Hua*

(School of Biology and the Environment, Zhejiang Wanli University, Ningbo 315100, China)

ABSTRACT: Objective To investigate the effects of liquid nitrogen freezing on myofibrillar protein structure in cultured large yellow croaker. **Methods** Fluorescence spectrophotometry, Fourier infrared spectroscopy, circular dichroism, laser Raman spectroscopy and other methods were used to explore the changes of liquid nitrogen freezing on the structure of myofibrillar protein of large yellow croaker. **Results** After freezing, the surface hydrophobicity of myofibrillar protein in cultured large yellow croaker increased, the sulfhydryl content decreased, the secondary and tertiary structure of the protein changed under freezing, and the α -helix content decreased and converted to β -Folding and random coiling, mainly affecting the tightness of peptide chain binding. **Conclusion** The changes of protein structure affect the secondary and tertiary structures of myofibrillar protein structure in cultured large yellow croaker, and then affect the quality characteristics of fish.

KEY WORDS: liquid nitrogen freezing; cultured large yellow croaker; myofibrillar protein; structural characteristics

1 引 言

大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*), 硬骨鱼纲, 鲈形目, 是

我国一种珍贵的石首鱼资源, 是我国东南沿海的经济水产资源、东海 4 大经济鱼种之一^[1,2]。其味道鲜美、高蛋白、富含多种氨基酸、微量元素等, 并且大黄鱼鱼体呈金黄色,

基金项目: 浙江省重点研发计划项目(2019C02071)、宁波市基金项目(2019A610431)

Fund: Supported by the Key Research and Development Plan of Zhejiang Province (2019C02071), and the Ningbo City Fund Project (2019A610431)

*通讯作者: 杨华, 教授, 主要研究方向为水产品加工及贮藏。E-mail: yanghua@zww.edu.cn

*Corresponding author: YANG Hua, Professor, Zhejiang Wanli University, No. 8, Qianhu South Road, Yinzhou District, Ningbo 315100, China. E-mail: yanghua@zww.edu.cn

有富贵长寿之意, 因此深受消费者喜爱。据调查^[3,4]显示, 全国大黄鱼产量从 2013 年的 10.5 万吨增长至 2018 年的近 18 万吨; 目前我国大黄鱼销售, 仍以冰鲜销售为主, 加工产品主要以初级加工为主(罐制品、腌制品等), 深加工以及高附加值产品少^[5]。因此大黄鱼产业进一步发展需要提供一种更好的保鲜方式, 才能更好的保证品质, 进一步提高产业效益。

蛋白质是鱼肉中重要的组成部分, 是其功能性成分。肉中蛋白质根据溶解状态分为: 肌原纤维蛋白(盐溶性)、肌浆蛋白(水溶性)和肌基质蛋白(不溶性)^[6]。大黄鱼中蛋白质含量最高的为肌原纤维蛋白, 其除了参与肌肉收缩和调节外, 结构和性质的变化会直接影响到肉的品质^[7]。液氮冻结是一种近年来食品行业新开辟出来的一种新的贮藏技术, 并多应用于一些高附加值的产品。海鲜由于保鲜难, 价格高, 液氮冻结技术是其理想选择^[8]。江杨阳^[9]研究不同冻结方式、冻结温度对其品质影响, 发现液氮冻结相比较其他冻结(冰箱直接冻结, 单机冻结)后贮藏能更好维持小龙虾的口感、鲜度, 并且对抑制腐败菌具有更好的效果。鲁珺^[10]探究带鱼和银鲳在不同冻结方式下(液氮喷淋冻结、平板冻结、冰柜冻结)对微观组织结构以及品质变化, 发现在液氮冻结贮藏条件下能够更好地延长产品货架期、抑制微生物繁殖与生长、保护产品组织结构、抑制蛋白质变性, 保证产品的品质。因此研究液氮冻结对大黄鱼肌原纤维蛋白结构影响将会是一种趋势, 如廖媛媛^[11]的研究表明液氮冻结致使蛋白质二级结构出现 α -螺旋向 β -折叠的转变情况或者反转作为 α -螺旋与 β -折叠的过渡结构。因此在研究液氮冻结大黄鱼的基础上, 进一步探究超液氮冻结大黄鱼肌原纤维蛋白不仅可以为肌肉蛋白加工过程中提供技术参数和理论依据, 且对液氮冻结技术的开发与利用也具有十分重要的意义。

本研究用液氮冻结大黄鱼, 提取鱼肉中肌原纤维蛋白, 通过荧光分光光度、傅里叶红外、圆二色光谱、激光拉曼光谱等仪器辅助, 探究液氮冻结对大黄鱼肉肌原纤维蛋白二级、三级结构的改变情况, 以期液氮冻结处理海水鱼类生产加工保鲜提供理论支撑。

2 材料与方法

2.1 实验材料

养殖大黄鱼, 购于宁波路林市场, 每条重量为 500 g $\pm$ 50 g, 体长为(33 $\pm$ 3) cm。去鳞、去头、去尾、去皮、去内脏、剔除主骨并用冰水洗净后, 用自封袋真空包装分装好后置于液氮中速冻处理 30 min。将液氮冻结后的鱼肉放入自封袋中密封, 将其完全浸泡在水浴中, 不做其他处理, 当其中心温度达到 0 °C 时, 视为解冻完全。

十二烷基磺酸钠、丙烯酰胺、过硫酸铵、甘氨酸(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司); 三甲胺基甲烷(分析纯, 南京东方之珠工贸有限公司); PAGE 胶促凝剂、巯基

乙醇、考马斯亮蓝 R-250(索莱宝科技有限公司)。

2.2 实验仪器

FSH-2 可调高速匀浆机(常州金坛中旺仪器制造有限公司); Eppendorf AG 22331 Hamburg 离心机(长沙湘锐离心机有限公司); Multiskan FC 酶标仪(北京普朗新技术有限公司); VS-802C 冷冻干燥机(无锡沃信实验仪器技术有限公司); BIO-RAD 凝胶成像仪(美国伯乐公司); UV2000 紫外分光仪(日本岛津-GL 消耗品销售公司); F4600 荧光分光光度仪(日本日立有限公司); Vertex 70 傅里叶红外(德国布鲁克公司); inVia-reflex 拉曼光谱仪(雷尼绍公司); Chirascan 圆二色光谱(英国应用光物理公司)。

2.3 实验方法

2.3.1 肌原纤维蛋白提取

参照 Jiang 等^[12]和 Chin 等^[13]的研究提取方法进行提取。提取后冷冻干燥, 真空保存。

2.3.2 肌原纤维蛋白表面疏水性测定

参照 Chelh 等^[14]的方法。以磷酸盐缓冲液作空白样, 吸光值记做 A_0 , 表面疏水性用以下公式表示:

$$\text{溴酚蓝结合量}(\mu\text{g}) = \frac{200 \times (A_1 - A_0)}{A_0}$$

式中: A_0 为空白吸光度; A_1 为样品吸光度。

2.3.3 肌原纤维蛋白游离巯基含量测定

参考李艳青^[15]和 Disimpliciop^[16]的方法进行测试, 蛋白含量采用 BCA 试剂盒测定, 摩尔消光系数为 13600 M⁻¹·cm⁻¹, 以 Tris-甘氨酸为空白做对照实验。

$$SH(\text{mol}/10^5 \text{ gpro}) = \frac{A \times n}{c \times M}$$

式中: SH 为游离巯基的含量; A 为吸光度值; n 为样品蛋白液稀释倍数; c 为分子吸光系数 13600/[(mol/L)·cm]; M 为蛋白质的净含量。

2.3.4 肌原纤维蛋白圆二色光谱测定

参考 Ogawa 等^[17]的实验方法, 于 25 °C 下测定, 波长 190~250 nm 范围以 50 nm/min 的速度扫描, 扫描 3 次。 α -螺旋(α -Helix)计算公式如下:

$$\alpha - \text{Helix}(\%) = 100 \times \left\{ \frac{[\theta]_{208}}{-40,000} \right\}$$

2.3.5 肌原纤维蛋白激光拉曼测定

参考李乐军^[18]的实验方法, 取适量蛋白, 上机测定, 参数: 激发波长 785 nm, 扫描范围 400~3200 cm⁻¹, 激发功率 140 mw, 曝光 10 s/次, 扫描 3 次。

2.3.6 肌原纤维蛋白内源荧光光谱测定

参考鲢鱼的实验方法^[19], 精确到 0.001 g, 溶于 5 mL 3.5% SDS 溶液中, 水浴 37 °C 2 h, 过滤, 以 3.5% SDS 作为空白。激发波长 280 nm, 狭缝波长 2.5 nm, 测量波长范围 290~450 nm, 扫描速率 240 nm/min。

2.3.7 肌原纤维蛋白傅里叶红外光谱测定

取适量干燥样品和溴化钾于玛瑙研钵中研钵, 压片, 取出样品放入傅里叶红外光谱在 $4000\sim 5000\text{ cm}^{-1}$ 进行检测, 室温 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 并记录光谱^[20]。

2.3.8 数据处理

所有数据均以 $\text{mean}\pm\text{sd}$ 表示, 重复 3 次。数据分析采用 IBM SPSS Statistics 25(IBM Corp., software group route 100, somers, NY, USA), 组间差异比较采用 One-way ANOVA 分析, 两两比较采用 Tukey 法分析均值差异的显著性, $P<0.05$ 表示有显著性差异, 具有统计学意义。数据统计采用 GraphPad prism 7.0(GraphPad Software Inc., San Diego, CA, USA)作图。

3 结果与分析

3.1 液氮冻结对肌原纤维蛋白表面疏水性影响

表面疏水性与蛋白质三级结构构象差异的量度相关, 其反映出蛋白质中表面疏水性氨基酸的相对含量, 能在一定程度判断蛋白质的变性程度。其作为一个评价蛋白质变性的重要参考指标, 可以反映出蛋白质位点的微妙变化^[21,22]。液氮冻结对肌原纤维蛋白表面疏水性的影响如图 1 所示, 液氮冻结使蛋白表面疏水性显著增加($P<0.05$), 从空白组溴酚蓝结合量的(12.55 ± 0.21) μg 增加到(16.82 ± 0.36) μg , 增加了相当于空白组的 34.02% 的含量。表面疏水性的增加且幅度相对较大, 可能由于液氮冻结使蛋白质变性、肌原纤维蛋白折叠打开、内部疏水性氨基酸暴露出来或者冻结合成冰晶破坏肌肉纤维, 使肌原纤维蛋白中疏水基团暴露出来。结果表明液氮冻结会影响蛋白质的表面疏水性, 且对其三级结构构象存在一定影响。

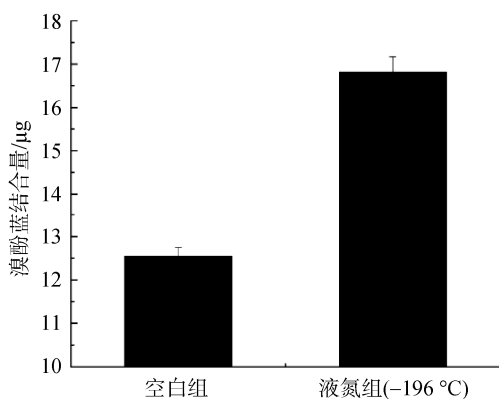


图 1 液氮冻结对肌原纤维蛋白表面疏水性的影响($n=3$)

Fig.1 Effects of liquid nitrogen freezing on surface hydrophobicity of myofibrillar protein ($n=3$)

3.2 液氮冻结对肌原纤维蛋白巯基含量影响

巯基是肌原纤维蛋白中最具有反应活性的功能基团, 蛋白质结构因受冻结影响发生改变, 可能是巯基位点变化

导致; 且活性巯基易氧化生成二硫键, 致使内部巯基裸露出来, 进一步促使二硫键生成, 结构受影响加剧。因此蛋白质冷冻变性会使巯基含量减少, 二硫键含量进一步上升, 再进一步影响蛋白质结构功能特性^[23]。所以巯基含量的变化一定程度上可以反映蛋白质的变性情况。如图 2 所示, 液氮冻结与空白组相比较, 巯基含量显著下降($P<0.05$), 从(77.18 ± 1.54) $\mu\text{mol/g}$ 降低到(62.08 ± 1.34) $\mu\text{mol/g}$ 。高泽磊等^[24]研究结论表明冻结后高蛋白鲑肌原纤维蛋白特性发生明显变化, 总巯基含量逐渐下降。同时 Lund 等^[25]指出, 巯基含量与蛋白质氧化程度相关, 巯基含量的降低一定程度上代表了蛋白氧化的程度。本实验结果表明液氮冻结导致巯基含量降低, 对蛋白质功能结构特性有一定影响, 使蛋白质变性, 分子间的二硫键发生聚集或者受到氧化, 从而影响蛋白质功能结构特性。

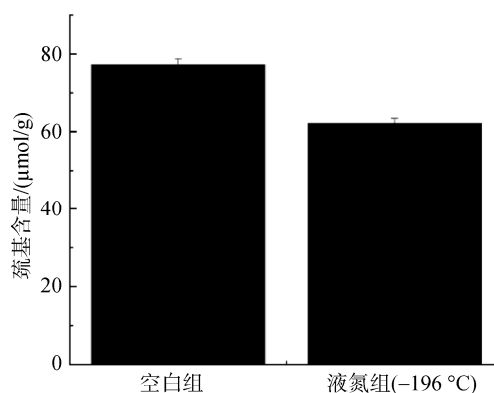


图 2 液氮冻结对肌原纤维蛋白巯基含量的影响($n=3$)

Fig.2 Effects of liquid nitrogen freezing on sulfhydryl content of myofibrillar protein ($n=3$)

3.3 圆二色光谱分析

肽键在圆二色光谱(circular dichroism, CD)中吸收波段在远紫外区, 范围分布为 $190\sim 240\text{ nm}$, 蛋白质的主链构象信息可以在该波段得到反映。二级结构组成成分有 α -螺旋、 β -转角和无规则卷曲, 其中有序稳定的是 α -螺旋结构, 而 β -转角和无规则卷曲是无序结构。由于 α -螺旋的高度稳定性, 蛋白质分子一般为有序结构, 具有高度的结构稳定性; 因此一般使用 α -螺旋含量判断二级结构的稳定性^[26]。 α -螺旋含量可通过 208 nm 处的椭圆率来估算^[27], 以此来研究蛋白质二级结构。空白组 α -螺旋为 16%, 液氮组 α -螺旋为 8%。蛋白质的 α -螺旋结构主要是多肽链上羰基($-\text{C}=\text{O}$)和氨基($-\text{NH}_2$)之间的氢键维持的, 而冻结可能破坏了氢键。同时有研究表明^[28,29]肌原纤维蛋白的构象发生变化, 致使蛋白质内部疏水键暴露出来, 结合位点裸露, 更容易被结合, 因此表面疏水性增加。而 Kato 等^[30]研究发现表面疏水性与 α -螺旋结构表现为负相关。该结果同图 1 相同, 冻结过程中表面疏水性上升, α -螺旋含量降低。据王铮等^[31]

研究液氮组 196 nm 出现强烈负峰, 可能是液氮冻结后对蛋白浓度造成影响, 导致出现经典假峰。本实验结果说明液氮冻结破坏氢键的稳定性, 使 α -螺旋降低, 转化为 β -转角和无规则卷曲, 对蛋白质二级结构产生一定影响。

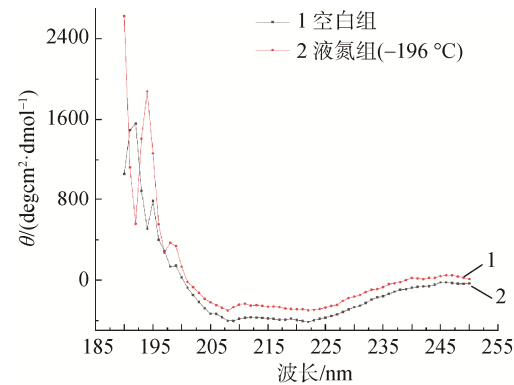


图 3 液氮冻结对肌原纤维蛋白圆二色光谱的影响
Fig.3 Effects of liquid nitrogen freezing on circular dichroism of myofibrillar protein

3.4 激光拉曼分析

拉曼光谱可反映二硫键、芳香族和脂肪族残基、氢键和二级结构类型的相对比例的微环境和相互作用的变化^[32]。Herrero 等^[33,34]研究表明酰胺 I 带是蛋白质二级结构特殊表征, 酰胺 I 带吸收范围处于 1600~1700 cm⁻¹, 并且与蛋白质骨架构象类型相关; α -螺旋结构、 β -折叠结构、无规则卷曲集中表现区域分别为 1650~1660 cm⁻¹、1665~1680 cm⁻¹、1660~1665 cm⁻¹ 处。

激光拉曼光谱条带指认见表 1, 液氮冻结对肌原纤维蛋白的激光拉曼光谱如图 4, 由图 4 可得 2 组肌原纤维蛋白的二级结构以 α -螺旋为主, 液氮冻结导致图谱最大峰值上移, 实验表明鱼肉中肌原纤维蛋白二级结构出现改变, α -螺旋结构不断下降, 蛋白质 β -折叠与无规则卷曲的增加, 各结构出现转化, 与图 3 圆二色光谱显示结果相同。Herrero^[35]冻藏实验研究中发现 α -螺旋含量降低伴随着 β -折叠含量的升高, 猜测冻结过程中出现 α -螺旋转化为 β -折叠。

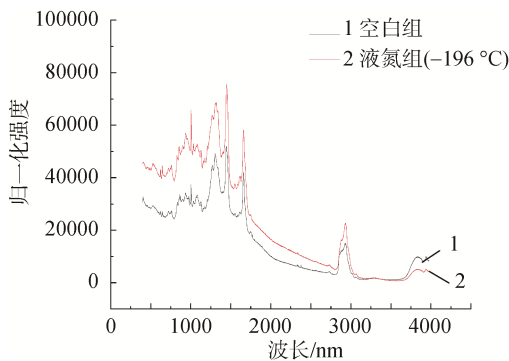


图 4 液氮冻结对肌原纤维蛋白激光拉曼的影响
Fig.4 Effects of liquid nitrogen freezing on laser Raman of myofibrillar protein

表 1 激光拉曼光谱条带指认见表			
Table 1 Raman bands identified in table			
起源	波数/cm ⁻¹	结构	表征
酪氨酸	830/850	氨基酸环境	环瞬间费米尔共振侧面与取代苯平面外弯曲谐振
	1655±5	α -螺旋	酰胺 C=O 伸缩振动, N-H 摆动
酰胺	1665±5	无规卷曲	酰胺 C=O 伸缩振动, N-H 摆动
I 带	1670±5	反平行 β -折叠	酰胺 C=O 伸缩振动, N-H 摆动
	~1680	β -转角	酰胺 C=O 伸缩振动, N-H 摆动

3.5 内源荧光光谱分析

蛋白质的内源荧光光谱测定的是色氨酸残基所处环境的极性, 反映蛋白质构象的变化以及蛋白质之间的相互作用。液氮冻结过程中会出现蛋白结构受到改变破坏, 使蛋白质变性。一部分变性蛋白质所带的氨基酸残基的内源荧光生色基团发生改变, 内源荧光可以用来检测液氮冻结对肌原纤维蛋白构象的影响^[36]。

张登科等^[37]研究表明大黄鱼肌原纤维蛋白的 λ_{max} 在 320 nm 左右。同时 Lefevre 等^[38]研究发现 λ_{max} 受到色氨酸残基所在的环境影响, 界限阈值为 330 nm, 大于阈值处于外部的极性环境, 小于阈值处于蛋白质内部的非极性环境。如图 5 显示可知, 测得大黄鱼的肌原纤维蛋白的 λ_{max} 都在 320 nm 左右, 但液氮组荧光强度明显下降; 荧光峰整体向较长波长的方向移动, 移动程度小且不明显。这表明空白组与液氮组的色氨酸残基大部分在蛋白质内部。荧光峰发生移动, 可能由于冻结使蛋白质结构受损, 一部分色氨酸残基开始游离出来, 从蛋白质内部非极性环境到外部极性环境, 使色氨酸残基暴露。结果表明液氮冻结可以影响肌原纤维蛋白的三级结构。

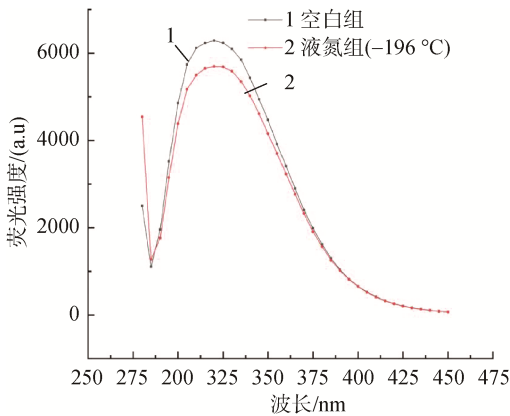


图 5 液氮冻结对肌原纤维蛋白内源荧光光谱的影响
Fig.5 Effects of liquid nitrogen freezing on intrinsic fluorescence spectra of myofibrillar protein

3.6 傅里叶红外光谱分析

傅里叶红外光谱图(图 6)显示, 样品肌原纤维蛋白在

红外光谱区中出现多个吸收峰,在酰胺 A 带(3300 cm^{-1} 左右)、酰胺 B 带(3100 cm^{-1} 左右)、酰胺 I 带(1660 cm^{-1} 左右)、酰胺 II 带(1570 cm^{-1} 左右)和酰胺 II 带(1300 cm^{-1} 左右)处都有吸收峰出现^[39]。

酰胺 A 带与 N—H 基团的伸缩振动有关,当该基团分子参与形成氢键时, N—H 的伸缩振动的红外吸收峰从 $3400\sim 3440\text{ cm}^{-1}$ 开始下降,降低到 3300 cm^{-1} 附近^[40]。实验结果表明 2 组在 3422 cm^{-1} 存在吸收峰,峰特征符合酰胺 A 带;且液氮组吸收峰向上向右移动,幅度不大。说明冻结不利于 N—H 基团参与氢键的形成,对蛋白质结构稳定性有影响。 2925 cm^{-1} 和 2854 cm^{-1} 处的峰分别表示酰胺 B 的甲基和亚甲基的反对称伸缩, 2925 cm^{-1} 处的峰因为冻结向上偏移,说明冻结对蛋白的 C—C 键有影响。

酰胺 I 带主要由 C=O 的伸缩振动和 H—O—H 弯曲振动引起的,能够反映蛋白质二级结构 α -螺旋、 β -折叠、 β -转角、无规则卷曲含量的变化^[41]。 1745 cm^{-1} (酰胺 I 带)处,由于冻结出现峰值下降。说明蛋白质二级结构改变,同拉曼光谱,圆二色谱结论相同。可能存在 α -螺旋下降,转化为 β -折叠、 β -转角、无规则卷曲含量。酰胺 I 带中 1652 cm^{-1} 的 C=O 伸缩和 1558 cm^{-1} 的 NO_2 反对称伸缩都有吸收峰。羰基的伸缩振动形成酰胺 I 和酰胺 II,这与肽链之间的交联程度有关^[41],肽链交联越紧密说明振动频率越大。冻结组在 1655 cm^{-1} 和 1545 cm^{-1} 峰值也下降,说明冻结对肽链结合的紧密性有影响。

蛋白质三维螺旋结构是否完整可以通过酰胺 III 带来观察,吸收峰在 $1200\sim 1300\text{ cm}^{-1}$ 处。图 6 中 2 组对比,冻结使酰胺 III 带的吸收峰峰值下降。实验结果说明液氮冻结在一定程度上破坏了肌原纤维蛋白的三维螺旋结构,降低了二级结构 α -螺旋含量。

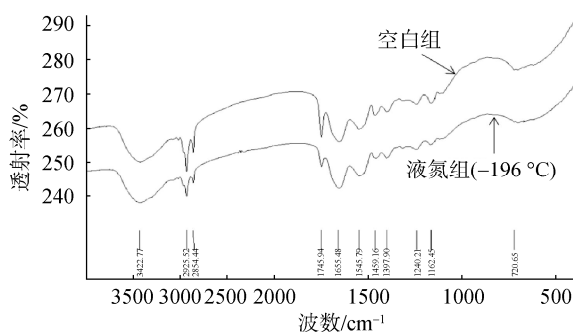


图 6 液氮冻结对肌原纤维蛋白傅里叶红外光谱的影响

Fig.6 Effects of liquid nitrogen freezing on Fourier transform infrared spectroscopy of myofibrillar protein

4 结论

由于液氮冻结影响,肌原纤维蛋白折叠打开,使表面疏水性上升,分子间的二硫键发生聚集或者受到氧化,使

流离巯基含量下降,这与蛋白质二、三级结构在冻结下发生改变有关。圆二色谱、激光拉曼光谱、内源荧光光谱、傅里叶红外光谱的结果显示,空白组与冻结组相比较,液氮冻结破坏了氢键的稳定性,从而影响肌原纤维蛋白二级结构的稳定性,使 α -螺旋含量下降,转化为 β -折叠和无规卷曲;液氮冻结破坏了肌原纤维蛋白的三维螺旋结构,影响肽链结合的紧密性。表明液氮冻结影响了养殖大黄鱼肌原纤维蛋白构象和特性。通过对其蛋白结构特性研究,为进一步研究液氮冻结对肌原纤维蛋白特性及感官特性奠定基础,也有利于液氮处理海水鱼类生产加工保鲜的研究。

参考文献

- [1] 农业部渔业渔政管理局. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2016.
Fishery and Fishery Administration of the Ministry of Agriculture. China fishery statistics yearbook [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2016.
- [2] 陈世达, 朱艳杰, 张登科. 超高压处理对养殖大黄鱼肌肉原纤维蛋白理化特性的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(2): 579-586.
Chen SD, Zhu YJ, Zhang DK. Effects of ultrahigh pressure treatment on physicochemical properties of myofibrin in cultured Rhubarb fish [J]. J Food Saf Qual, 2017, 8(2): 579-586.
- [3] 陈宏霖, 徐承旭. 抗白点病大黄鱼选育有新进展[J]. 水产科技情报, 2019, (5): 299.
Chen HL, Xu CX. New progress in selection and breeding of large yellow croaker resistant to white spot disease [J]. Fish Sci Technol Inform, 2019, (5): 299.
- [4] 杨华, 刘丽君, 张慧恩. 大黄鱼加工和综合利用现状及展望[J]. 科学养鱼, 2014, (4): 75-77.
Yang H, Liu LJ, Zhang HE. Current status and prospects of processing and comprehensive utilization of large yellow croaker [J]. Sci Fish Farm, 2014, (4): 75-77.
- [5] 杨华. 养殖大黄鱼脱脂脱腥技术及品质研究[D]. 宁波: 宁波大学, 2004.
Yang H. Research on degreasing and deodorizing technology and quality of farmed large yellow croaker [D]. Ningbo: Ningbo University, 2004.
- [6] Ahmed AM, Kuroda R, Kawahara S, et al. Dependence of microbial transglutaminase on meat type in myofibrillar proteins crosslinking [J]. Food Chem, 2009, 112(2): 354-361.
- [7] Choi YM, Kim BC. Muscle fiber characteristics, myofibrillar protein isoforms, and meat quality [J]. Livestock Sci, 2009, 122(2-3): 118.
- [8] 张登科, 张慧恩, 朱艳杰, 等. 超高压处理对养殖大黄鱼肌原纤维蛋白结构的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(9): 61-67.
Zhang DK, Zhang HE, Zhu YJ, et al. Effects of ultra-high pressure treatment on the structure of myofibrillar protein in cultured large yellow croaker [J]. Food Sci, 2019, 40(9): 61-67.
- [9] 江杨阳. 小龙虾低温贮藏品质变化规律及其腐败菌鉴定[D]. 杭州: 浙江大学, 2019.
Jiang YY. Low-temperature storage quality of crayfish and identification

- of spoilage bacteria [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2019.
- [10] 鲁珺. 液氮深冷速冻对带鱼和银鲳品质及其肌肉组织的影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2015.
- Lu J. The effect of deep-freezing liquid nitrogen on the quality and muscle tissue of hairtail and silver pomfret [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2015.
- [11] 廖媛媛. 不同冻结方式对大黄鱼品质影响的研究[D]. 宁波: 宁波大学, 2014.
- Liao YY. The effect of different freezing methods on the quality of large yellow croaker [D]. Ningbo: Ningbo University, 2014.
- [12] Jiang X, Zhang Z, Cai H, *et al.* The effect of soybean trypsin inhibitor on the degradation of myofibrillar proteins by an endogenous serine proteinase of crucian carp [J]. Food Chem, 2006, 94(4): 498–503.
- [13] Chin KB, Go MY, Xiong YL. Konjac flour improved textural and water retention properties of transglutaminase-mediated, heat-induced porcine myofibrillar protein gel: Effect of salt level and transglutaminase incubation [J]. Meat Sci, 2009, 81(3): 565–572.
- [14] Chelh I, Gatellier P, Sant-Lhoutellier V. Technical note: A simplified procedure for myofibril hydrophobicity determination [J]. Meat Sci, 2006, 74(4): 681–683.
- [15] 李艳青. 蛋白质氧化对鲤鱼蛋白结构和功能性的影响及其控制技术[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2013.
- Li YQ. The effect of protein oxidation on the structure and function of carp protein and its control technology [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2013.
- [16] Disimpliciop SP, Cheeseman K, Slater T. The reactivity of the SH group of bovine serum albumin with free radicals [J]. Free Radical Res, 1991, 14(4): 253–262.
- [17] Ogawa M, Nakamura S, Horimoto Y, *et al.* Raman spectroscopic study of changes in fish actomyosin during setting [J]. J Agric Food Chem, 1999, 47(8): 3309–3318.
- [18] 李乐军. 荧光光谱与激光拉曼光谱研究脉冲电场对蛋白质构象的影响[D]. 上海: 华东师范大学, 2005.
- Li LJ. Study on the effect of pulsed electric field on protein conformation by fluorescence spectroscopy and laser Raman spectroscopy [D]. Shanghai: East China Normal University, 2005.
- [19] Xu Y, Xia W, Jiang Q, *et al.* Acid-induced aggregation of actomyosin from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) [J]. Food Hydrocol, 2012, 27(2): 309–315.
- [20] Wells JA, Werber MM, Legg JI, *et al.* Inactivation of myosin subfragment one by cobalt(II)/cobalt(III) phenanthroline complexes. I. Incorporation of Co(III) by in situ oxidation of Co(II) [J]. Biochemistry, 1979, 18(22): 48–50.
- [21] Santelhoutellier V, Aubry L, Gatellier P. Effect of oxidation on *in vitro* digestibility of skeletal muscle myofibrillar proteins [J]. J Agric Food Chem, 2007, 55(13): 5343.
- [22] Jin YF, Deng Y, Qian BJ, *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.
- [23] 郑微微. 海藻糖对防止淡水鱼糜蛋白冷冻变性的研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2011.
- Zheng WW. Study on the effect of trehalose on preventing the freezing denaturation of freshwater surimi protein [D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2011.
- [24] 高泽磊, 张建. 不同冻结方式对高白鲑肌原纤维蛋白理化特性和功能特性的影响[J]. 江苏农业科学, 2017, (11): 129–134.
- Gao ZL, Zhang J. Effects of different freezing methods on the physical and chemical properties and functional properties of high whitefish myofibril protein [J]. Jiangsu Agric Sci, 2017, (11): 129–134.
- [25] Lundmn, Hvuidms, Claudi-magnussenc, *et al.* Effects of dietary soybean oil on lipid and protein oxidation in pork patties during chill storage [J]. Meat Sci, 2008, 79(4): 727–733.
- [26] 蔡联辉, 曾虹燕, 蔡西玲, 等. 莲子蛋白组分二级结构的研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2011, 31(9): 2394–2398.
- Cai LH, Zeng HY, Cai XL, *et al.* Study on the secondary structure of lotus seed protein [J]. Spectrosc Spectral Anal, 2011, 31(9): 2394–2398.
- [27] Greenfield. Using circular dichroism spectra to estimate protein secondary structure [J]. Nat Protoc, 2006, 1(6): 2876–2890.
- [28] Sano T, Ohno T, Otsuka-Fuchino H, *et al.* Carp natural actomyosin: Thermal denaturation mechanism [J]. J Food Sci, 1994, 59(5): 1002–1008.
- [29] Li LK, Spector A. Circular dichroism of beta-poly-L-lysine [J]. J Am Chem Soc, 1969, 91(1): 220–222.
- [30] Kato A, Fujimoto K, Matsudomi N, *et al.* Protein flexibility and functional properties of heat-denatured ovalbumin and lysozyme [J]. Biosci Biotechnol Biochem, 1986, 50(2): 417–420.
- [31] 王铮, 郭新秋, 朱邦尚, 等. 利用圆二色光谱检测计算血清白蛋白二级结构[J]. 实验室研究与探索, 2013, 32(10): 294–296.
- Wang Z, Guo XQ, Zhu BS, *et al.* Using circular dichroism spectroscopy to detect and calculate the secondary structure of serum albumin [J]. Lab Res Explor, 2013, 32(10): 294–296.
- [32] Lichan ECY. Macromolecular interactions of food proteins studied by Raman spectroscopy interactions of beta-lactoglobulin, alpha-lactalbumin, and lysozyme in solution, gels, and precipitates [Z].
- [33] Herrero AM. Raman spectroscopy a promising technique for quality assessment of meat and fish: A review [J]. Food Chem, 2008, 107(4): 1642–1651.
- [34] Careche M, Garcia ML, Herrero A, *et al.* Structural properties of aggregates from frozen stored hake muscle proteins [J]. Food Sci, 2002, 67(8): 2827–2832.
- [35] Herrero AM. Raman spectroscopy for monitoring protein structure in muscle food systems [J]. Crit Rev Food Sci Nutr, 2008, 48(6): 512–523.
- [36] 魏冬旭, 江连洲, 王辰, 等. pH值对大豆11S球蛋白结构和表面疏水性影响[J]. 食品科学, 2015, 36(11): 1–5.
- Wei DX, Jiang LZ, Wang C, *et al.* Effect of pH on the structure and surface hydrophobicity of soybean 11S globulin [J]. Food Sci, 2015, 36(11): 1–5.
- [37] 张南海. 不同冻结方式、贮藏温度和解冻方式对彭泽鲫品质的影响[D]. 南昌: 南昌大学, 2018.

- Zhang NH. The effect of different freezing methods, storage temperature and thawing methods on the quality of Pengze crucian carp [D]. Nanchang: Nanchang University, 2018.
- [38] Lefevre F, Fauconneau B, Thompson JW, *et al.* Thermal denaturation and aggregation properties of Atlantic salmon myofibrils and myosin from white and red muscles [J]. *J Agric Food Chem*, 2007, 55(12): 4761.
- [39] 孔继烈, 吴性良. 分析化学原理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010.
- Kong JL, Wu XL. Principles of analytical chemistry [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2010.
- [40] 蔡路昀, 马帅, 李秀霞, 等. 不同提取方法对鳕鱼皮胶原蛋白结构特征和功能性质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2017, 43(5): 240–246.
- Cai LY, Ma S, Li XX, *et al.* Effects of different extraction methods on the structural and functional properties of plaice skin collagen [J]. *Food Ferment Ind*, 2017, 43(5): 240–246.
- [41] 胡晓利, 布冠好. 高压均质与酶法联合改性对大豆蛋白抗原性及结构的影响[J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2018, (6): 29–35.
- Hu XL, Bu GH. The effect of high pressure homogenization and

enzymatic modification on the antigenicity and structure of soybean protein [J]. *J Henan Univ Technol (Nat Sci Ed)*, 2018, (6): 29–35.

(责任编辑: 王 欣)

作者简介

胡远辉, 硕士研究生, 主要研究方向为生物材料与功能制品。
E-mail: 969751468@qq.com

杨 华, 教授, 主要研究方向为水产品加工及贮藏。
E-mail: yanghua@zwu.edu.cn

“生物毒素研究”专题征稿函

随着社会经济的发展, 人民越来越关注食品的安全问题。在日常生活中, 食物中毒事件时有发生。在食品安全事件中, 生物毒素中毒事件占一定比例。生物毒素是生物体内所产生的有毒代谢产物, 包括微生物毒素、植物毒素、动物毒素和海洋毒素。生物毒素不仅对消费者的健康造成危害, 还会对养殖业、种植业、畜牧水产业等行业造成巨大的经济损失。因此, 关注食品中生物毒素的安全, 是一项具有重大经济意义和科学意义的事情。

鉴于此, 本刊特别策划“生物毒素研究”专题。专题将围绕生物毒素的产生与调控机制、生物毒素的快速检测与筛查技术、生物毒素的脱毒方法与机制、生物毒素的毒理研究与风险评估、生物毒素的标准物质研发、生物毒素型药物的开发研究等问题展开讨论, 计划在 2021 年 1~2 月出版。

鉴于您在该领域的成就, 学报主编国家食品安全风险评估中心吴永宁研究员及编辑部全体成员特别邀请有关食品领域研究人员为本专题撰写稿件, 以期进一步提升该专题的学术质量和影响力。综述及研究论文均可, 请在 2020 年 12 月 30 日前通过网站或 E-mail 投稿。我们将快速处理并经审稿合格后优先发表。

同时烦请您帮忙在同事之间转发一下, 希望您能够推荐该领域的相关专家并提供电话和 E-mail。再次感谢您的关怀与支持!

投稿方式(注明专题生物毒素研究):

网站: www.chinafoodj.com(备注投稿请登录食品安全质量检测学报主页-作者登录-注册投稿-投稿选择“专题: 生物毒素研究”)

邮箱投稿: E-mail: jfoodsq@126.com(备注: 生物毒素研究专题投稿)

《食品安全质量检测学报》编辑部