

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2018.12.006

凝胶化温度对大黄鱼鱼糜凝胶性质的影响^①

郑昇阳^{1,3}, 陈晓婷^{2,3}, 吴靖娜^{2,3}, 陈爱平^{1,3},
周银珠^{1,3}, 陈剑进¹, 柳晓平¹, 刘智禹^{2,3}

1. 宁德师范学院 生命科学学院, 福建 宁德 352100; 2. 福建省水产研究所, 福建 厦门 361013;
3. 国家海洋局海西海洋特色生物种质资源及生物制品开发公共服务平台, 福建 宁德 352100

摘要: 考察了凝胶化温度对大黄鱼鱼糜凝胶特性的影响。结果显示, 大黄鱼鱼糜的凝胶强度、硬度和咀嚼性等随着凝胶化温度的升高而逐渐降低, 温度为 35 °C 时最大, 分别为 787.26 g/cm²、1 870 N 和 1 309 mJ; (35~45) °C 制备的鱼糜凝胶保水性较好; 温度 45 °C 时, 鱼糜呈现的白度效果最好, 为 72.09; 通过 SDS-PAGE 电泳、微观结构及傅立叶红外变换光谱结果可知, 随着温度升高, MHC 条带颜色逐渐变浅, 鱼糜凝胶网络结构趋于错杂无序, 凝胶热稳定性逐渐增强, 其变性程度越大, 鱼糜中蛋白分子内和分子间的氢键减弱。凝胶化温度为 35 °C 制得的鱼糜凝胶产品功能特性较好。

关键词: 大黄鱼; 凝胶化温度; 凝胶强度; 质构; 微观结构

中图分类号: Q959.483

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2018)12-0037-09

大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*), 隶属于硬骨鱼纲, 鲈形目, 石首鱼科, 黄鱼属, 又名黄鱼、大黄花鱼、桂花黄鱼、石首鱼、黄瓜鱼等, 为传统“四大海产”(大黄鱼、小黄鱼、带鱼、乌贼)之一, 是我国近海主要经济鱼类^[1]。大黄鱼肉质细嫩鲜美、高蛋白、低胆固醇, 富含 EPA, DHA 等高度不饱和脂肪酸, 可供鲜食或制成黄鱼鲞等。

随着育苗技术和养殖技术不断成熟, 养殖大黄鱼的产量逐年增加, 2016 年中国大黄鱼养殖总量已达到 16.55 万 t, 是我国海水鱼类养殖产量最高的鱼类, 其中福建省是大黄鱼主要养殖大省, 2016 年年产量达到 14.65 万 t^[2]。

大黄鱼的主要产地集中在福建宁德, 在国内运输鲜活鱼的成本较高, 且近几年由于产量不断攀升, 以及出口量和国内需求量减少, 导致大黄鱼价格低位运行时间较长。2017 年宁德大黄鱼规格 400~450 g 的价格为 26.4~26.8 元/kg, 相比于前两年的价格有走低趋势, 在 2016 年曾经达到过 58~60 元/kg。因此, 将其加工成鱼糜制品可以有效地增加大黄鱼的附加值, 解决大黄鱼量多价廉的问题。

鱼糜制品具有较高的营养价值、独特的凝胶特性, 且食用方便, 有益健康, 有着广阔的市场空间^[3-5]。凝胶强度是衡量鱼糜制品品质的重要指标之一。鱼糜的形成通常经历 3 个阶段: 凝胶化、凝胶劣化和鱼糕化, 其中凝胶化温度对鱼糜制品的凝胶强度有着至关重要的作用。因此, 如何选择合适的凝胶化温度来提高鱼糜凝胶的形成能力, 已成为高效利用大黄鱼生产鱼糜制品的关键。

① 收稿日期: 2018-07-05

基金项目: 国家海洋局海洋公益性行业科研专项(201405016); 福建省科技厅引导性项目(2018N0027); 福建省海洋与渔业结构调整专项(HY20160310)。

作者简介: 郑昇阳(1962-), 男, 副教授, 硕士, 主要从事海洋生物资源开发利用的研究。

通信作者: 刘智禹, 教授级高级工程师, 博士。

目前,已有专家研究超高压对大黄鱼鱼糜凝胶性质的影响^[6],但还未有涉及温度对其凝胶特性影响的相关报道.因此,本实验以大黄鱼为原料,在不同的凝胶化温度条件下加热形成鱼糜,研究温度对其综合性质和凝胶形成特性的影响,为制备高品质的大黄鱼鱼糜制品提供基础实验数据.

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

大黄鱼收购于宁德海域海水养殖网箱中,生长期为 18~24 个月,400~500 g/尾.

Lowry 试剂盒 美国 Bio-Rad 公司;十二烷基磺酸钠(SDS)、丙烯酰胺 美国 Bio-Rad 公司;标准蛋白 美国 Thermo Fisher 公司.

1.2 仪器和设备

UV-8000A 型紫外分光光度计 上海元析仪器有限公司;S-4800 扫描电子显微镜 日立高新技术公司;Q-2000 差示扫描量热仪 美国 TA 公司;WSC-S 测色色差计 上海精密科学仪器有限公司;TA-XT Plus 质构仪 英国 Stable Micro System 公司.

1.3 方法

1.3.1 鱼糜的制备

大黄鱼鱼糜制备参考 Weng^[7]报道的方法.新鲜大黄鱼经去头、去内脏,用冰水漂洗去除血污和黑膜后,利用采肉机进行采肉.获得的鱼肉按质量与冰水体积为 1:3(W/V)的比例漂洗 3 次,每次 15 min,漂洗后的鱼肉用 4 层纱布沥干后,利用脱水机进行脱水,最后在获得的鱼糜中加入 4%蔗糖、4%山梨醇和 0.2%焦磷酸钠抗冻剂,分装到自封袋中,放置在一 30 ℃冰箱中供以下实验.经测定,制备的鱼糜中水分百分比为 77.39%,蛋白质百分比为 11.59%.

1.3.2 鱼糜凝胶的制备

参考张瑞婷等^[8]报道的方法,将 4 ℃下解冻的冷冻鱼糜于冰冷条件下空擂 10 min,加入鱼糜质量 3%的 NaCl 擂溃 10 min,加入冰的蒸馏水调整水分百分比至 80%继续擂溃 15 min,然后将擂溃好的鱼浆装入不锈钢容器(Φ30×30 mm)中,在不同温度(35 ℃,40 ℃,45 ℃,50 ℃)下保温 1 h 制备成凝胶化的鱼糜,再将凝胶化的鱼糜于 90 ℃下继续水浴 15 min,然后用碎冰迅速冷却 30 min,放在 4 ℃冰箱中存放 12 h 后供实验使用.

1.3.3 鱼糜凝胶强度的测定

参考翁武银等^[9]报道的方法,利用质构仪在室温条件下采用球形探头(Φ5 mm)以 30 mm/min 的测试速度、20 mm 的穿刺距离测定鱼糜凝胶的凝胶强度.

1.3.4 鱼糜凝胶质构的测定

参考 Weng^[7]报道的方法利用质构仪在室温下进行鱼糜凝胶质地剖面分析(TPA),采用直径为 38 mm 的圆柱形探头,测试速度为 60 mm/min,压缩变形量为 30%,感应力最大为 50 N.

1.3.5 鱼糜凝胶持水力的测定

鱼糜凝胶持水力(WHC)参考 Uresti 等^[10]的方法.精确称取 3 g 块状鱼糜凝胶,然后用 2 张滤纸包裹,放入干燥的离心管中,在 4 ℃条件下,经过 2 000 r/min 离心 10 min 后,测定离心前后鱼糜凝胶的质量,鱼糜凝胶持水力(WCH)按照下式进行计算:

$$WCH = W_2 / W_1 \times 100\%$$

式中, W_1 为离心前鱼糜凝胶的质量(g); W_2 为离心后鱼糜凝胶的质量(g).

1.3.6 鱼糜凝胶白度的测定

用色差计测定鱼糜凝胶的色泽,测试前仪器用标准白板进行校正,标准白板的参数: L^* 为 91.86, a^* 为 -0.88, b^* 为 1.42. L^* 表示样品的明度; a^* 代表红绿方向的值, b^* 代表黄蓝方向的值.

1.3.7 SDS-PAGE 凝胶电泳

SDS-PAGE 采用 Laemmli^[11]的方法.其中浓缩胶百分比为 4%,分离胶百分比为 6%,在 10 mA 电流

下电泳后, 先用考马斯亮蓝 R-250 染色液染色, 再用脱色液(甲醇-乙酸-水体积比 30 : 10 : 60)脱色至背景完全透明为止。其中, 蛋白凝胶先利用蛋白变性可溶性液(8 mol/L 尿素-2% SDS-20 Mm/L Tris-HCl, pH=8.8)溶解, 再将溶出的蛋白配成蛋白质量浓度为 1 mg/L 的电泳样品。

1.3.8 鱼糜凝胶微观结构(SEM)的分析

参考 Weng^[7] 报道的扫描电镜样品处理方法, 将鱼糜凝胶切成 3 mm×3 mm×2 mm 的块状, 用 2.5% 的戊二醛(pH=7.2)固定 24 h 后, 再用 0.1 mol/L (pH=7.2)的磷酸盐缓冲液清洗 3 次, 然后用乙醇溶液进行梯度脱水, 经 CO₂ 临界点干燥仪干燥, E-1010 离子溅射仪镀金后, 用扫描电子显微镜(SEM)观察微观结构, 电子术的加速电压为 5 kV。

1.3.9 差示扫描量热分析

利用差示扫描量热仪(DSC)测定不同凝胶化大黄鱼鱼糜凝胶的热转变温度。准确称取 5~10 mg 样品置于铝坩埚中并密封, 以空坩埚作为参比, 扫描温度范围为(5~150) °C, 升温速率为 5 °C/min。

1.3.10 鱼糜凝胶蛋白的傅立叶红外变换光谱(FTIR)分析

鱼糜凝胶蛋白制品通过冷冻干燥获得的粉末与 KBr 按质量 1 : 100 混合, 用玛瑙研钵研磨均匀, 压片机压片后, 使用傅立叶变换红外光谱仪扫描, 扫描波速范围 4 000~1 000 cm⁻¹。

1.3.11 统计分析

数据采用 SPSS Statistics 17.0 软件进行单因素方差分析, 显著性检测方法为 Duncan 多重检验, 检测限为 0.05。

2 结果与分析

2.1 不同加热温度对大黄鱼鱼糜凝胶强度的影响

凝胶强度是评价鱼糜凝胶优劣的一个关键指标, 不同的凝胶化温度对鱼糜凝胶强度有显著的影响。如图 1 所示, 当凝胶化温度为 35 °C 时, 鱼糜制品的凝胶强度高达 787.26 g/cm², 但随着温度上升出现减小的趋势, 在凝胶化温度为 50 °C 时, 鱼糜的凝胶强度最小, 为 410.22 g/cm²。鱼肉中加入一定量食盐后, 经过擂溃工艺, 鱼肉会形成肉糊状的鱼浆, 此种肉糊为肌动球蛋白溶胶, 它非常容易凝胶化, 可以快速失去其塑性转变为富有弹性的鱼糜。从肉糊到弹性的鱼糜经历了 2 个过程, 一是鱼肉在经过 50 °C 以下的温度带时, 会发生鱼糜凝胶结构的形成反应, 另一个则是在 60 °C 附近温度带发生凝胶结构的崩坏的劣化反应^[12]。出现上述结果的原因可能是鱼糜在水浴加热过程中从溶胶变为凝胶, 肌原纤维蛋白分子内的疏水基团暴露, 分子间相互作用形成网状结构, 但随着水浴温度增加, 内源性蛋白水解酶会逐渐活跃, 破坏鱼糜凝胶结构, 降低鱼糜凝胶强度^[13]。另外, XU 等^[14]曾提到, 凝胶化温度较低时蛋白质变性和聚集的速率也较慢, 从而使蛋白质之间有足够的进行有序的相互作用, 可形成高强度的凝胶。因此, 有可能是在 35 °C 的凝胶化温度条件下, 肌原纤维蛋白的变性速度较慢, 可以更充分地形成凝胶网络结构, 所以在此温度下其凝胶强度最大; 但随着温度升高, 鱼糜凝胶出现凝胶劣化现象, 可能由于肌肉组织中存在的蛋白酶(组织蛋白酶或者丝氨酸蛋白酶)降解肌原纤维蛋白所致^[15-16]。

2.2 不同加热温度对大黄鱼鱼糜凝胶持水力的影响

肌原纤维蛋白在加热后形成凝胶, 对肉制品的质地和保水性有着重要的作用^[17-18]。鱼糜凝胶化是鱼肉中肌动球蛋白在被加热的过程中高级结构发生了松散并且在分子之间产生了三维架桥, 形成了更为复杂的网状结构, 进而由于热力作用, 使得形成的三维网状的网目中的自由水被封锁, 不能自由地流动, 因此形成了鱼糜这种极具弹性的特殊凝胶状物^[19]。肉的持水性是在外力作用下, 如加压、加热等加工或者贮藏条件下肌肉保持原有水分与添加水分的能力, 其大小直接关系着肉制品的风味、色泽、质地等, 是评价肉制品食用品质的重要指标之一^[20], 并在一定程度上反映凝胶中水分子与蛋白质分子的结合状况及凝胶的强弱^[21]。

由图 2 可知, 当凝胶化温度为 50 °C 时, 鱼糜的保水性为 82%, 相比于其他 3 个温度的保水性较差, 且与其他 3 个水平的组间差异具有统计学意义($p < 0.05$), 而(35~45) °C 之间不具有统计学意义($p > 0.05$),

说明在(35~45) °C的凝胶化温度范围内,大黄鱼肌原纤维蛋白的保水性较好.原因可能是在(35~45) °C之间,胶原纤维蛋白发生变性,当升到50 °C时持水性却降低,可能是因为随着温度升高肌球蛋白开始聚集形成寡聚体,寡聚体之间通过相互作用形成复杂的空间网络结构并束缚一定量的水分,当温度继续升高,已形成的凝胶网络结构破坏并释放束缚的水分,从而导致凝胶保水能力下降^[22].

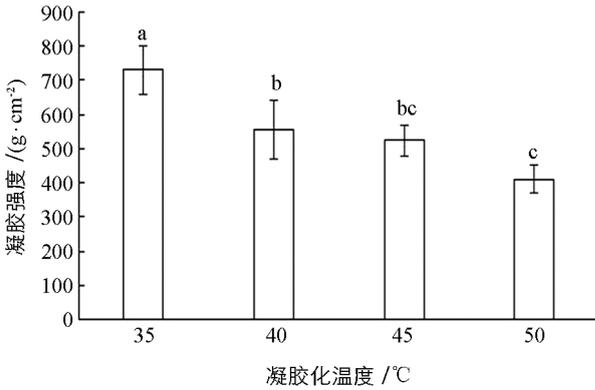


图 1 不同凝胶化温度对大黄鱼鱼糜凝胶强度的影响

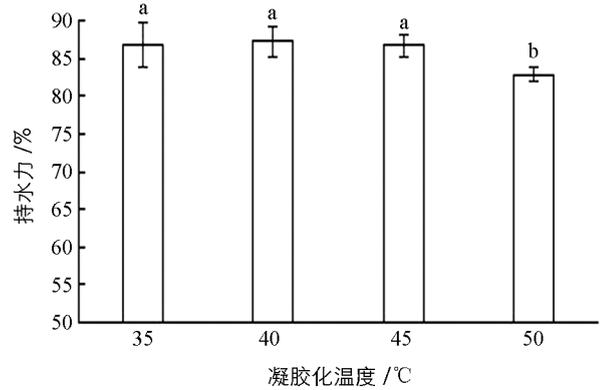


图 2 不同凝胶化温度对大黄鱼鱼糜凝胶持水力的影响

2.3 不同加热温度对大黄鱼鱼糜质构的影响

鱼糜凝胶是一种固体与液体之间的中间相,温度对其质构有着重要的影响,质构参数中的硬度主要用来表示鱼糜凝胶崩溃需要的咬劲或捏劲^[9];聚集性是表示鱼糜凝胶经第1次压缩变形后所表现出来的对第2次压缩的相对抵抗能力,反映鱼糜凝胶蛋白内部结合程度,是凝胶网络结构变化的体现^[23];弹性数值代表其在外力作用下,鱼糜凝胶恢复到原本形态的能力;粘结性和咀嚼性则是鱼糜凝胶硬度值的补充参数^[24].

对不同凝胶化温度下的大黄鱼鱼糜进行质构测定,结果如表1所示.在(35~50) °C的温度范围内,鱼糜凝胶的硬度、聚集性、粘结性、弹性和咀嚼性随鱼糜凝胶化温度的升高而降低,其中35 °C鱼糜凝胶的硬度、聚集性、粘结性和咀嚼性显著高于50 °C,这是因为35 °C时肌动蛋白和肌球蛋白等内部各亚基充分暴露,蛋白亚基之间重新相互作用形成蛋白凝胶的网络结构,而随着凝胶化温度升高,大黄鱼鱼糜凝胶的肌原纤维蛋白由于高温作用未能在变性后相互之间充分聚合形成三维的蛋白网络所致,鱼糜凝胶的硬度、聚集性、咀嚼性和粘结性则有所下降,这与大黄鱼鱼糜凝胶强度的结果相吻合.但从弹性实验结果来看,凝胶化温度对鱼糜凝胶的弹性无显著影响.

TPA数据说明,鱼糜在加热过程中慢慢通过35 °C到40 °C的凝胶化温度带,并迅速通过凝胶劣化温度带,可以得到凝胶性能很好的优质鱼糜,相反则所获得的产品较差.由此可见,鱼肉在加热过程中即使最终到达的温度点相同,但如何到达最终温度点的过程不相同,鱼糜的品质也大相径庭,这也是鱼糜凝胶性能的重要特征^[25-26].

表 1 不同凝胶化温度对大黄鱼鱼糜凝胶 TPA 参数的影响

凝胶化温度/°C	35	40	45	50
硬度/N	1 870.00±107.93a	1 774.86±38.07ab	1 742.98±66.25ab	1 617.34±148.33b
聚集性	0.77±0.01a	0.77±0.01ab	0.76±0.01ab	0.75±0.01b
弹性/mm	0.91±0.03a	0.90±0.01a	0.90±0.003a	0.88±0.03a
粘结性/N	1 437.07±72.07a	1 357.05±39.56ab	1 334.96±43.98ab	1 219.44±111.64b
咀嚼性/mJ	1 309.51±59.63a	1 216.08±41.03ab	1 203.51±39.20ab	1 078.32±126.92b

注:同一行相同小写字母表示差异不具有统计学意义($p>0.05$).

2.4 不同加热温度对大黄鱼鱼糜白度的影响

鱼糜制品的色泽是影响消费者对其感官评定的重要因素之一,在不同凝胶化温度条件下大黄鱼鱼糜的白度如图3所示.由图3可知,随着温度上升,鱼糜白度显著增大,在45 °C时达到最大,为

72.09, 而后逐渐降低。Hwang 等^[27]指出鱼糜凝胶的白度变化与蛋白变性程度相关联, 当凝胶化温度处于(35~45) °C 时, 其变性程度明显小于凝胶化温度为 50 °C 以上的鱼糜凝胶。从实验结果来看, 鱼糜凝胶的白度随着凝胶化温度升高呈现出先增大后减小的趋势, 在 45 °C 明显高于其他 3 个温度时的白度, 说明在此凝胶化温度下鱼糜凝胶蛋白的变性程度对于鱼糜的白度最为适宜, 这也验证了 Hwang 等^[27]关于白度与凝胶蛋白变性程度相关联的观点。其次, 从感官评定也可以发现鱼糜颜色的变化, 随着凝胶化温度升高, 鱼糜颜色逐渐变白, 而后慢慢变为灰白色。

2.5 不同加热温度下大黄鱼鱼糜凝胶的

SDS-PAGE 分析

对不同凝胶化温度条件下的大黄鱼鱼糜凝胶进行 SDS-PAGE 电泳分析, 结果如图 4 所示。从图 4 中可以清晰分辨出肌球蛋白重链(MHC, 2×10^5)和肌动蛋白(Action, 4.5×10^4)。当凝胶温度为(35~45) °C 时, 鱼糜凝胶的蛋白组分无显著区别, 但鱼糜凝胶强度会随温度上升而减小, 说明温度主要促进鱼糜蛋白发生聚集而不是使蛋白之间交联形成聚合物。从图 4 中还可以发现, 35 °C 的 MHC 条带相较于(40~50) °C 颜色较深, 而(40~50) °C 的 MHC 条带颜色无明显变化, 说明鱼糜凝胶的 MHC 发生了降解, 原因可能是加热使内源性蛋白水解酶活性增强, 从而导致肌球蛋白降解。对于不同凝胶化温度处理的鱼糜蛋白样品, MHC 条带强度的减弱可能是蛋白聚集和降解共同作用的结果^[28]。

2.6 不同加热温度下大黄鱼鱼糜凝胶的微观结构分析

凝胶特性是评价鱼糜凝胶品质的重要参数之一, 与微观结构密切相关^[29]。大黄鱼鱼浆在不同温度条件下形成鱼糜凝胶的微观结构如图 5 所示。由图 5 中可以看出, 当凝胶化温度为 45 °C 和 50 °C 时, 大黄鱼鱼糜的凝胶微观结构中具有较多棒状或颗粒状聚合物, 凝胶孔径不均一, 凝胶网状结构比较粗糙、无序; 当降低凝胶化温度, 使其处于 35 °C 和 40 °C 时, 凝胶网络结构趋向有序和有层次, 此时逐渐形成多孔且孔径均一的细致结构, 棒状结构减少甚至消失, 其中温度为 35 °C 的孔径比温度为 40 °C 的稍小。蛋白质网络交联结构在较低的温度开始形成, 降低了凝胶化温度, 有利于形成更致密有序的蛋白质三维网络结构^[30-31]。实验结果表明, 鱼糜的微观结构在 35 °C 时更为细密有序, 而随着凝胶化温度提高, 凝胶网络结构的孔洞越来越大, 形态也逐渐变得错杂无序。凝胶的水分状态与其微观结构紧密相关, 一般情况下鱼糜蛋白分子的有序聚集形成致密均匀的鱼糜凝胶网络结构^[32], 凝胶结构越均匀致密有序, 水分的流动性越弱, 其持水性越强, 凝胶强度越大^[33-34]。所以, 当凝胶化温度处于 35 °C 时, 其微观结构较为细密紧致, 能将水分紧紧锁

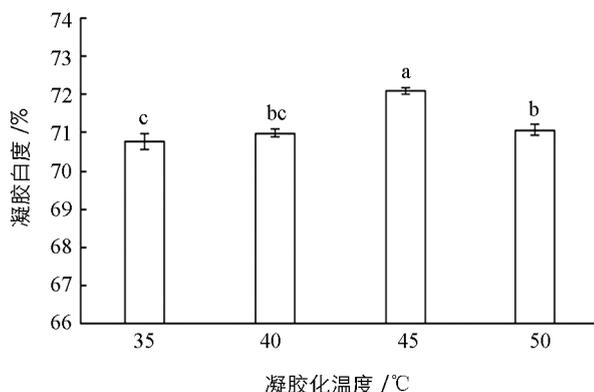


图 3 不同凝胶化温度对鱼糜凝胶白度的影响

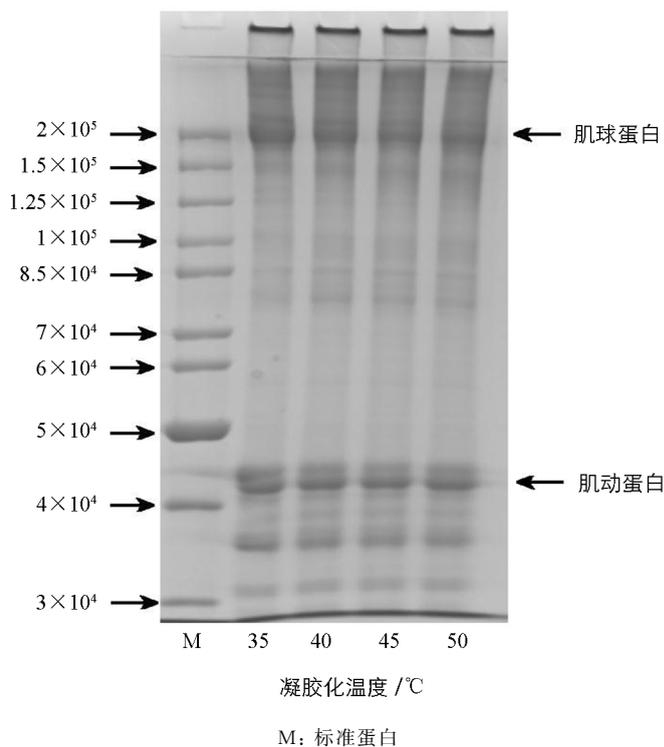


图 4 不同凝胶化温度的大黄鱼鱼糜凝胶 SDS-PAGE 图谱

住,同时验证了 35 ℃ 条件下鱼糜的保水性和凝胶强度较好.

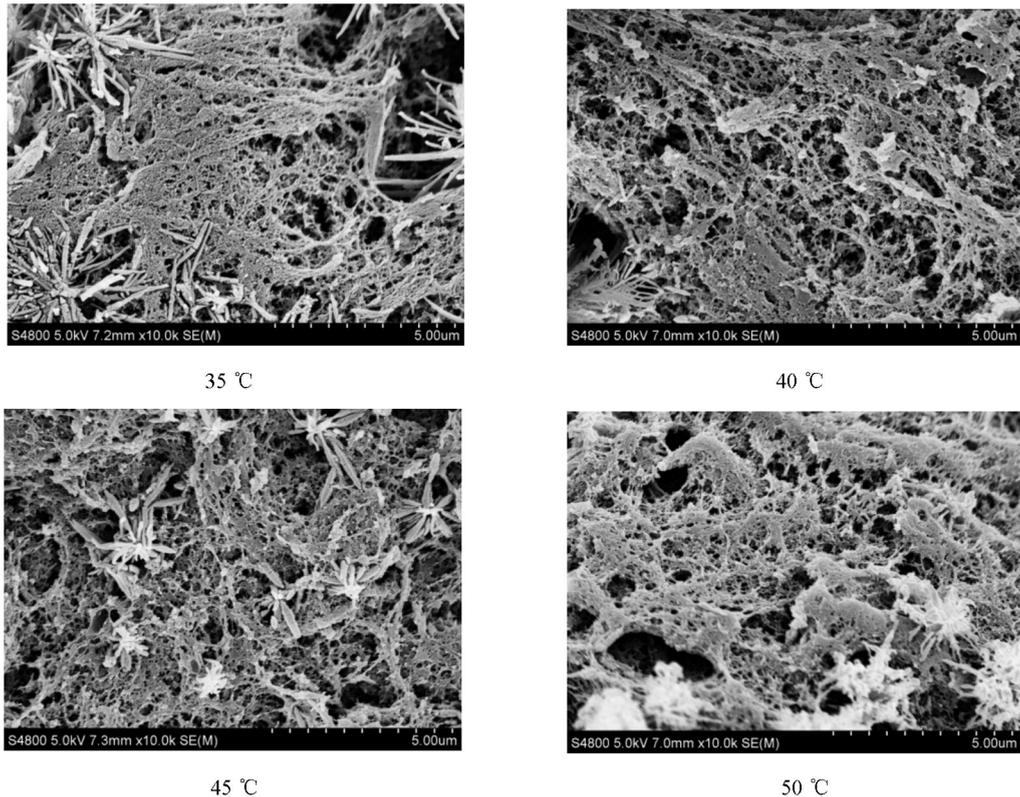


图 5 不同凝胶化温度对大黄鱼鱼糜凝胶微观结构的影响

2.7 不同加热温度对大黄鱼鱼糜凝胶热稳定性的影响

差示扫描量热试验是在程序控温及一定流量气氛下,测量物质与参比物的热流差与温度或时间的一种技术.根据这种流量差信号分析得到样品表征性的温度和量热特征参数^[35].DSC 直观地反应了蛋白质在变性时吸收的热量值,其数值越大说明鱼糜稳定性越强^[36].在一定的条件下,蛋白在 DSC 图中有固定的吸热峰,根据峰值可以确定蛋白质的变性温度.

不同凝胶化温度条件下大黄鱼鱼糜的热转变温度结果如图 6 所示.当凝胶化温度从 35 ℃ 提高至 50 ℃ 时,鱼糜的热转变温度从 111.23 ℃ 逐渐上升至 120.21 ℃.结果表明,随着凝胶化温度升高,大黄鱼鱼糜的热稳定性逐渐增强,即蛋白变性程度越大^[37],当温度为 50 ℃ 时,鱼糜的热稳定性最好.这是由于随着凝胶化温度越来越高,鱼糜凝胶的变性程度逐渐增加,鱼糜蛋白容易因为温度改变而继续变性,其对热的耐受能力较差.

2.8 鱼糜凝胶蛋白的傅立叶红外变换光谱分析

为了考察不同凝胶化温度对鱼糜凝胶中蛋白质之间的相互作用,用傅里叶变换红外光谱仪分析鱼糜中蛋白分子的官能团和氢键的变化.蛋白质的红外吸收光谱由一系列酰胺吸收带组成,即酰胺 I 带、酰胺 II 带、酰胺 III 带、酰胺 IV 带、酰胺 V 带、酰胺 VI 带、酰胺 VII 带、酰胺 A 带和酰胺 B 带.在肌原纤维蛋白经热处理形式凝胶的过程中,发生蛋白质变性聚集,其变性的实质是蛋白质分子中的次级键被破坏,引起蛋白质天然结构解体,其二级结构发生一定的变化,并不涉及共价键(肽键和二硫键)的断裂,蛋白质一级结构保持完整^[38].

在研究蛋白质的二级结构方面,酰胺 I 带($1\ 700\sim 1\ 600\text{ cm}^{-1}$)是较为主要的研究内容^[39].由图 7 可知,在不同的凝胶化温度条件下,形成的大黄鱼鱼糜中蛋白质的特征吸收峰酰胺 A 带发生显著的变化,而对其他特征吸收峰酰胺 B 带、酰胺 I 带、酰胺 II 带和酰胺 III 带没有产生明显的影响,说明凝胶化温度在(35~50) ℃ 的变动范围内,对大黄鱼凝胶肌原纤维蛋白的二级结构无明显的影响;对酰胺 A 带的振动波段位于 $3\ 300\sim 3\ 270\text{ cm}^{-1}$,与 N—H 和 O—H 的伸缩振动相关,吸收峰的变化主要受氢键影

响^[40]. 随着温度降低, FTIR 图谱中酰胺 A 波段的宽吸收峰出现增强现象, 伸缩振动频率变化不明显, 表明降低温度引起鱼糜中蛋白分子内和分子间的氢键增强.

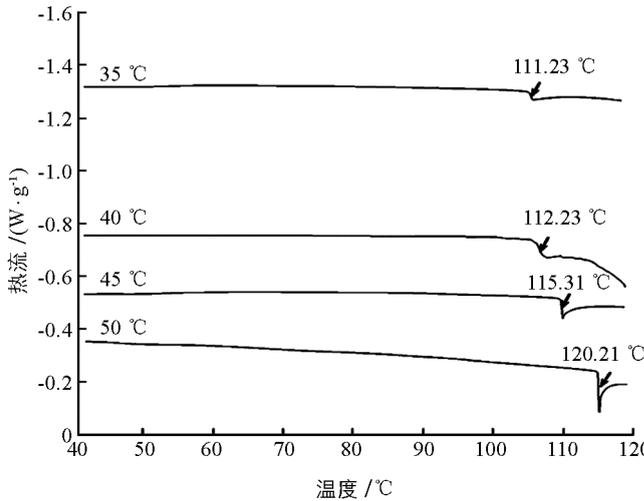


图 6 不同凝胶化温度对大黄鱼鱼糜热稳定性的影响

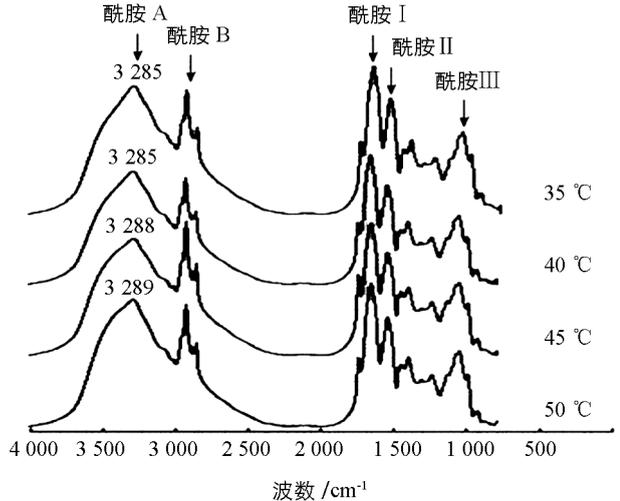


图 7 大黄鱼鱼糜凝胶蛋白的红外光谱分析

3 结 论

凝胶化温度会影响大黄鱼鱼糜的凝胶强度、质构、保水性等凝胶特性. 降低鱼糜的凝胶化温度, 可以显著提高大黄鱼鱼糜的凝胶强度和硬度、聚集性、咀嚼性等质构特性及保水性, 在 35 °C 凝胶化温度条件下, 大黄鱼鱼糜凝胶的凝胶强度、保水性、硬度、聚集性、粘结性和咀嚼性最大, 相较于其他温度条件的鱼糜凝胶, 其凝胶微观网络结构细密紧致, MHC 条带颜色较深, 鱼糜凝胶中蛋白分子内和分子间的氢键增强, 但其热稳定性较低, 因 35 °C 温度肌原纤维蛋白的变性速度较慢, 充分形成凝胶网络结构, 但温度升高使得蛋白质的变性程度加大, 产生凝胶劣化现象且可能由于鱼糜凝胶中内源性蛋白水解酶的活性较强, 使鱼糜凝胶网络结构被分解. 在 35 °C 的凝胶化温度条件下制备的大黄鱼鱼糜凝胶具有更高的凝胶强度及更加致密的网络结构, 在此温度下制备的鱼糜制品品质较好.

参考文献:

- [1] 朱振乐. 大黄鱼人工育苗技术 [J]. 上海海洋大学学报, 2000, 9(2): 1004—1007.
- [2] 陶文斌, 吴燕燕, 李来好. 养殖大黄鱼保鲜、加工技术现状 [J]. 食品工业科技, 2018, 39(11): 339—343.
- [3] SANTANA P, HUDA N, YANG T A. The Addition of Hydrocolloids (Carboxymethylcellulose, Alginate and Konjac) to Improve the Physicochemical Properties and Sensory Characteristics of Fish Sausage Formulated with Surimi Powder [J]. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2013, 13: 561—569.
- [4] ZHANG T, XUE Y, LI Z J, et al. Effects of Deacetylation of Konjac Glucomannan on Alaska Pollock Surimi Gels Subjected to High-Temperature (120 °C) Treatment [J]. Food Hydrocolloids, 2015, 43: 125—131.
- [5] LORENTZEN G, YTTTERSTAD E, OLSEN R L, et al. Thermal Inactivation and Growth Potential of *Listeria innocua* in Rehydrated Salt-Cured Cod Prepared for Ready-to-Eat Products [J]. Food Control, 2010, 21(8): 1121—1126.
- [6] 秦 影, 汤海青, 欧昌荣, 等. 超高压处理对大黄鱼鱼糜水分状态和蛋白质结构的影响 [J]. 农业工程学报, 2015, 31(23): 246—252.
- [7] WENG Z. Silver Carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) Surimi Acid-Induced Gel Extract Characteristics: A Comparison with Heat-Induced Gel [J]. International Journal of Food Properties, 2015, 18(4): 821—832.
- [8] 张瑞婷, 张其标, 郝更新, 等. 添加亲水胶体制备低强度的鱼糜制品及其特性的研究 [J]. 食品工业科技, 2015, 36(21): 88—92.
- [9] 翁武银, 黄玉平, 张希春, 等. 鱼皮明胶蛋白分子质量对鲢鱼鱼糜凝胶性质的影响 [J]. 中国食品学报, 2013, 13(8): 83—90.

- [10] URESTI R M, N LÓPEZ-ARIAS J, GONZÁLEZ-CABRIALES J, et al. Use of Amidated Low Methoxyl Pectin to Produce Fish Restructured Products [J]. *Food Hydrocolloids*, 2003, 17(2): 171–176.
- [11] LAEMMLI U K. Cleavage of Structural Proteins During the Assembly of the Head of Bacteriophage T4 [J]. *Nature*, 1970, 227(5259): 680–685.
- [12] 胡永金. 淡水鱼糜发酵及其凝胶形成机理的研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2007.
- [13] 姚 磊, 罗永康, 沈慧星. 鱼糜制品凝胶特性的控制及研究进展 [J]. *肉类研究*, 2010(2): 18–22.
- [14] XU Y S, JIANG Q, XIA W S. Effect of co Chemical Properties of Silver Carp Mince [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2011, 44(9): 1952–1957.
- [15] 李树红, 张 楠, 刘 欢, 等. 鲢鱼背肌肌原纤维蛋白自溶与内源组织蛋白酶 B, L, H 的关系 [J]. *中国农业大学学报*, 2004, 9(5): 71–75.
- [16] CAO M J, JIANG X J, ZHONG H C. Degradation of Myofibrillar Proteins by a Myofibril-Bound Serine Proteinase in the Skeletal Muscle of Crucian Carp (*Carasius auratus*) [J]. *Food Chemistry*, 2006, 94(1): 7–13.
- [17] 罗 杨, 张剑勇. 高效液相色谱法测定饲料中喹乙醇含量 [J]. *中国饲料*, 2006(12): 35–38.
- [18] THEME K, ANDERSSON B. The Determination of Olaquinox in Pig Feeds By High-Performance Liquid Chromatography [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1982, 33(10): 945–948.
- [19] 鲍晓瑾. 引起鳙鱼鱼糜凝胶劣化的丝氨酸蛋白酶及其抑制研究 [D]. 杭州: 浙江工业大学, 2007.
- [20] LONERGAN H E, LONERGAN S M. Mechanisms of Water-Holding Capacity of Meat: The Role of Postmortem Biochemical and Structural Changes [J]. *Meat Science*, 2005, 71(1): 194–204.
- [21] RAWDKUEN S, BENJAKUL S. Whey Protein Concentrate: Autolysis Inhibition and Effects on the Gel Properties of Surimi Prepared from Tropical Fish [J]. *Food Chemistry*, 2008, 106(3): 1077–1084.
- [22] SANO T, OHNO T, OTSUKA FUCHINO H, et al. Carp Actomyosin: Thermal Denaturation Mechanism [J]. *Journal of Food Science*, 1994, 59(5): 10021008.
- [23] CASAS C, MARTINEZ O, GUILLEN M D. Textural Properties of Raw Atlantic Salmon (*Salmo salar*) at Three Points Along the Fillet Determined by Different Methods [J]. *Food Control*, 2006, 17(7): 511–515.
- [24] MUNIZAGA G T, CANOVAS G V B. Color and Textural Parameters of Pressurized and Heat-Treated Surimi Gels as Affected by Potato Starch and Egg White [J]. *Food Research International*, 2004, 37: 767–775.
- [25] 何 松, 孙远明, 孟凌华. 钙与热处理对鱼糜凝胶强度的影响 [J]. *食品科学*, 2000, 21(2): 30–32.
- [26] JESEPH D, LANIER T C, et al. Temperature and PH Affect Transglutaminase-Catalyzed “etting” of Crude Fish Actomyosin [J]. *Food science*, 1994, 59: 1018–1036.
- [27] HWANG J S, LAI K M, HSU K C. Changes in Textural and Rheological Properties of Gels from Tilapia Muscle Proteins Induced by High Pressure and Setting [J]. *Food Chemistry*, 2007, 104(2): 746–753.
- [28] 吴雪微, 姜启兴, 许艳顺, 等. 酸诱导鱼糜凝胶的酸化条件研究及凝胶特性分析 [J]. *食品与机械*, 2016, 32(12): 17–21.
- [29] AGUILERA J M. Why Food Microstructure [J]. *Journal of Food Engineering*, 2005, 67: 3–11.
- [30] COFRADES S, COLMENERO F J. Protein Molecular Interactions Involved in the Formation of Frankfurters: Effect of Fat Level and Heating Rate [J]. *Meat Science*, 1998, 49(4): 411–423.
- [31] SUN X D, ARNTFIELD S D. Gelation Properties of Salt-Extracted Pea Protein Isolate Induced by Heat Treatment: Effect of Heating and Cooling Rate [J]. *Food Chemistry*, 2010, 124(3): 1011–1016.
- [32] BARBUT S, FOEGEDING E A. Ca^{2+} -Induced Gelation of Preheated Whey Protein Isolate [J]. *Journal of Food Science*, 1993, 55(4): 867–871.
- [33] ZHANG L, XUE Y, XU J, et al. Effects of High-Temperature Treahment ($\geq 100\text{ }^{\circ}\text{C}$) on Alaska Pollock (*Theragra, chalcogr amma*) Surimi Gels [J]. *Journal of Food Engineering*, 2012, 115(1): 115–120.
- [34] 王艳霞, 张金丽, 张瑞婷, 等. 鱼种和亲水胶体对鱼糜制品凝胶性质的影响 [J]. *食品工业科技*, 2016, 37(2): 143–147.
- [35] 高建国, 郭 兵. 差示扫描量热法的基本原理及其在进出口商品检验中的应用 [J]. *化工标准·计量·质量*, 2001(4): 28–31.
- [36] ZHOU A M, BENJAKUL S, PAN K, et al. Cryoprotective Effects of Trehalose and Sodium Lactate on Tilapia (*Sa-*

rotherodon nilotica) Surimi During Frozen Storage [J]. Food Chemistry, 2005, 32(7): 93–96.

- [37] BADI F, HOWELL N K. Changes in the Texture and Structure of Cod and Haddock Fillets During Frozen Storage [J]. Food Hydrocolloids, 2002, 16(4): 313–319.
- [38] 卢雁, 张玮玮, 王公轲. FTIR 用于变性蛋白质二级结构的研究进展 [J]. 光谱学与光谱分析, 2008, 28(1): 88–93.
- [39] 俞启. 基于近红外光谱技术建立鱼糜制品品质快速检测的方法 [D]. 杭州: 浙江工商大学, 2011.
- [40] HOQUE M S, BENJAKUL S, PRODPRAN T. Effect of Heat Treatment of Film-Forming Solution on the Properties of Film from Cuttlefish (*Sepia pharaonis*) Skin Gelatin [J]. Journal of Food Engineering, 2010, 96(1): 66–73.

Effect of Gelation Temperature on Gelling Properties of Large Yellow Croaker (*Pseudosciaena croeca*) Surimi

ZHENG Sheng-yang^{1,3}, CHEN Xiao-ting^{2,3},
WU Jing-na^{2,3}, CHEN Ai-ping^{1,3}, ZHOU Yin-zhu^{1,3},
CHEN Jian-jin¹, LIU Xiao-ping¹, LIU Zhi-yu^{2,3}

1. School of Life Science, Ningde Normal University, Ningde Fujian 352100, China;

2. Fisheries Research Institute of Fujian, Xiamen Fujian 361013, China;

3. State Oceanic Administration Hecynian Special Biological Germplasm Resources and Biological Product Development Public Service Platform, Ningde Fujian 352100, China

Abstract: In a study reported in this paper the effects of gelation temperature on the gelling properties of myofibrillar protein in large yellow croaker (*Pseudosciaena croeca*) were investigated. The results showed that the gel strength, hardness and chewiness of the large yellow croaker surimi decreased gradually with the increase in gelation temperature, being 787.26 g/cm, 1 870 N and 1 309 mJ, respectively, at 35 °C. The water holding capacity of surimi gel prepared at 35–45 °C was good, with no significant difference ($p > 0.05$). At 45 °C, the whiteness of the surimi was the best (72.09). The results of SDS-PAGE electrophoresis, microstructure and Fourier transform infrared spectroscopy showed that the color of MHC bands became lighter with the increase of temperature, the network structure of the surimi gel tended to be disordered, and the thermal stability of the gel was gradually enhanced. The greater the degree of degeneration, the weaker the intramolecular and intermolecular hydrogen bonds in the surimi. In summary, the surimi gel product prepared at a gelation temperature of 35 °C had good functional properties.

Key words: large yellow croaker (*Pseudosciaena croeca*); gelation temperature; gel strength; texture; microstructure

责任编辑 夏娟