

直链/支链淀粉对鱼丸质构特性及感官品质的影响

张啸峰, 王鑫淼, 陈建设, 胡小雪*

(浙江工商大学 食品科学与生物工程学院, 浙江 杭州 310018)

摘要: 为探究直链/支链淀粉对不同来源(海水鱼/淡水鱼)鱼丸的质构特性以及感官品质的影响,采用质构剖面分析法(texture profile analysis, TPA)测定鱼丸的质构特性,结合感官品质评定方法对鱼丸质构进行综合评定,并辅以持水性分析和微观结构观察,研究鱼丸凝胶性质。结果表明:相对于直链淀粉,支链淀粉在鱼丸加工工艺中能更有效地提高其硬度和咀嚼性。以鲮鱼肉作为鱼丸原料相较于巴沙鱼肉具有更高的蛋白质及更低的脂肪含量,更为优越的质构特性、感官品质以及持水性。

关键词: 鱼丸;直链淀粉;支链淀粉;质构剖面法;感官评定

中图分类号:TS 254.4 文章编号:1673-1689(2023)03-0057-07 DOI:10.3969/j.issn.1673-1689.2023.03.007

Effects of Amylose/Amylopectin on Texture and Organoleptic Qualities of Fish Balls

ZHANG Xiaofeng, WANG Xinmiao, CHEN Jianshe, HU Xiaoxue*

(School of Food and Biotechnology, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: In order to explore the effects of amylose/amylopectin on the texture characteristics and organoleptic qualities of fish balls from different sources (marine fish/freshwater fish), texture profile analysis (TPA) method was used to determine the texture of fish balls, and the comprehensive assessment of the fish balls texture was then evaluated in combination with organoleptic evaluation. The gel properties of fish balls were studied by water holding capacity analysis and microstructure observation. The results showed that amylopectin could more effectively improve the hardness and chewiness of fish balls compared with amylose. In comparison with the fish balls prepared from basa fish meat, those prepared from mackerel meat had higher content of protein and lower content of fat with superior texture characteristics, organoleptic quality and water retention.

Keywords: fish balls, amylose, amylopectin, texture profile method, sensory evaluation

对水产品进行二次加工是水产品销售与储存的良好方法之一。但与发达国家相比,我国水产品

加工率较低,相应带来的经济收益与资源合理利用率较小^[1]。其中,鱼丸是近年来产量和技术发展较快

收稿日期:2022-04-11

基金项目:浙江省教育厅项目(Y201942658)。

*通信作者:胡小雪(1993—),女,博士,实验师,主要从事食品物性学分析方面的研究。E-mail:huxiaoxue@zjgsu.edu.cn

的鱼糜加工制品之一,不同加工工艺和鱼肉类型的差异对其品质影响较大^[2]。高温会破坏鱼肉本身的三级和四级蛋白质结构,导致加工后的凝胶强度下降,结构松散,并影响其持水性,最终导致鱼丸的感官品质下降^[3]。蛋白质凝胶的形成受到多糖的影响,添加多糖是降低肉制品硬度和获得理想质地的方法之一,可以改变肉的质构、风味等以提高肉制品感官质量。其中淀粉作为一种均一性多糖,常用作赋形剂和填充剂来改善肉制品的外观形状和品质^[4]。研究发现,淀粉的加入可以降低鱼糜制品的硬度,提高其凝胶强度,并改善其持水能力,蛋白质与淀粉之间的相互作用对加工食品的结构和稳定性起着重要的作用^[5]。例如:小麦淀粉会对鳕鱼糜的黏弹性产生显著影响^[6];马铃薯淀粉可以提高鱼糜制品的保水性以及凝胶强度^[7]。根据分子链结构的不同,淀粉分子被分为具有短的线性链的直链淀粉和高度分支的支链淀粉,研究发现,淀粉结构是影响其凝胶网络结构的重要因素^[8-9],肉制品的凝胶和质构特性会因淀粉颗粒中支链和直链比例及其种类不同而不同^[10]。然而,淀粉结构作为淀粉的重要参数之一,其对鱼丸的质构及其感官性质的影响却未得到关注。

鱼糜凝胶特性因为鱼肉来源不同而有很大差异。鲑鱼作为一种海水鱼,其蛋白质、以钙为主的矿物质及维生素 A 含量丰富,在中医研究中食用鲑鱼有补气、缓解咳嗽等作用^[11]。但鲑鱼因具有洄游特性因而无法人工养殖,主要以鲜食为主,加工水平很低,浪费情况严重^[12]。巴沙鱼作为一种淡水鱼,其肉质相较于海水鱼更为细嫩,且含有 17 种氨基酸,其中 7 种为必需氨基酸,多种微量矿物质及 12 种脂肪酸^[13]。但因肉质相对疏松、易腐败而限制了其销售^[14]。作者选取鲑鱼和巴沙鱼为原料并添加直链和支链淀粉制备鱼丸,对其品质进行质构分析和感官评价测试。质构品质检测采用质构剖面分析,并结合感官评价结果、微观结构进行综合分析,旨在为不同结构类型淀粉在鱼肉制品中的应用提供一定的参考依据,为构建客观、精确、便捷的鱼肉丸感官品质评价体系奠定基础。

1 材料与方法

1.1 实验材料

蓝色石蕊试纸:泰州市奥克滤纸厂产品;脱脂

棉:曹县和泰卫生材料有限公司产品;中速滤纸、乙醇、无水乙醚、碘化钾、硫酸铜、硫酸钾等分析纯试剂:杭州捷诚生物科技有限公司产品;巴沙鱼肉、鲑鱼肉、鸡胸肉:购自浙江省杭州市永辉超市学府宝龙店;食盐:广东省盐业集团有限公司产品;白砂糖:广东禧正东海集团产品;食品级玉米直链淀粉、食品级玉米支链淀粉:美国康生物制品有限公司产品;多聚磷酸盐:盐城市圣菲特食品有限公司产品;鸡精:香港鲜宝食品有限公司产品。

1.2 试剂制备

盐酸溶液(2 mol/L)制备:将 50 mL 盐酸加到 250 mL 水中,并混合均匀。碘液(0.05 mol/L)制备:利用分析天平分别称取 6.5 g 碘和 25 g 碘化钾,加到适量水中溶解,并稀释到 1 L。

1.3 实验设备与仪器

恒温水浴锅、DF-101S 恒温加热磁力搅拌器:巩义市予华仪器有限责任公司产品;分析天平:梅特勒-托利多(上海)有限公司产品;电热鼓风机干燥箱:上海博讯实业有限公司医疗设备厂产品;电热板:广州三研科技有限公司产品;TA.XT plus 质地分析仪:英国 Stable Micro System 公司产品;CM-14 型斩拌机:美国 Mainca 公司产品;自动凯氏定氮仪:上海沛欧分析仪器有限公司产品;TGL-20M 台式高速冷冻离心机:湖南湘仪实验室仪器开发有限公司产品。

1.4 实验方法

1.4.1 鱼丸制作基本配方 鱼肉与鸡胸肉按照质量比 1:1 添加,每 100 g 肉添加 8 g 淀粉、1.5 g 食盐、3 g 白砂糖、0.7 g 鸡精、0.5 g 多聚磷酸盐。

1.4.2 鱼丸制作工艺 冷冻鲑鱼肉和巴沙鱼肉洗净解冻后切割成小块状,并和适量冰水(按实际温度分批次加入)共同加入斩拌机中空擂 5 min,将食用盐均匀加入鱼糜中斩拌 10 min,在鱼糜中添加称量好的淀粉、鸡精等食品添加剂并在加入冰水保证温度情况下继续斩拌 8 min 使鱼丸成型,之后 50 °C 水浴 10 min,沸水浴加热 10 min,冷却成丸。

1.4.3 保水性测试 准确称取斩拌后的鱼糜样品 3~5 g,用滤纸包住,置于离心管中(离心管底部放一小块棉花),4 000 r/min 离心 30 min,称量并测定保水率。每个样品 3 次平行,取平均值^[15]。

$$W = m_1 / m_2 \times 100\%$$

式中:W 为保水率,%; m_1 为离心后样品质量,g; m_2 为离心前样品质量,g。

1.4.4 凝胶质构测定 采用质构分析仪在 TPA 模式下模仿人口腔咀嚼食物的运动过程,客观地反映鱼丸物理性状^[16]。将样品切成棱长为 2.0 cm 的正方体,利用 P50 夹具探头,进行固定压缩量的 TPA 测试。测试条件如下:测前速率 2 mm/s,测试速率 5 mm/s,测后速率 5 mm/s;压缩比例 50%,两次压缩之间停留时间 5 s;触发类型: return to start;触发力: 10 g。每个样品重复 6 次。其中测试的物理量主要包括:硬度 (hardness)、弹性 (springiness)、黏聚性

(adhesiveness)、内聚性 (cohesiveness)。

1.4.5 感官评定 参照《中华人民共和国国内贸易行业标准-肉丸》(SB/T 10610—2011)进行总体评分(见表 1),于食品专业研究生中挑选志愿者,并于相关感官测试培训后挑选合格的 10 名志愿者(男女各 5 名)为本次测试专属感官评定小组。将新鲜鱼丸置于室温下解冻,并于沸水中煮制 6 min,至鱼丸中心温度达到 80 ℃左右。感官评定小组对煮熟的鱼丸质地进行感官评价,具体标准见表 1。

表 1 评分标准及打分表

Table 1 Standard of sensory evaluation and the score chart

质地指标	定义	参照物	分数范围
硬度	将样品放在白齿间,评价第一口咬住样品所施加的力	奶油奶酪对应 1 分,热狗对应 7 分,水果硬糖对应 12 分	0~15
黏聚性	将样品放在白齿间,对其进行压迫并评价样品在断裂前的变形量	全麦饼干对应 1 分,热狗对应 7 分,淀粉软糖对应 12 分	0~15
弹性	将样品放在白齿间进行局部压迫,取消压迫并评价样品恢复原样的速度和程度	奶油奶酪对应 0 分,热狗对应 5 分,橡皮糖对应 12 分	0~15
咀嚼性	样品从被咀嚼到吞咽时所做的功(所需要的咀嚼次数和时间)	奶油奶酪对应 1 分,全麦饼干对应 6 分,果汁软糖对应 12 分	0~15
紧密性	将样品放在白齿之间咬,评价样品断面的紧密程度	全麦面包对应 2 分,全麦饼干对应 5 分,明胶布丁对应 13 分	0~15
粗糙性	将样品放入口中,用嘴唇和舌头感受表面状况,评价样品表面颗粒状况	明胶布丁对应 0 分,马铃薯片对应 9 分,全麦面包对应 13 分	0~15

注:0 分表示非常小,15 分表示非常大。

1.5 凝胶微观结构观察

参考王阳的方法^[17],将煮熟并放凉的鱼丸样品切割为 2 mm×2 mm×2 mm 大小的标准样品并进行冷冻干燥,将干燥后的样品在真空离子溅射喷金后利用电子显微镜观察其微观结构,加速电压为 5.0 kV。

1.6 数据处理

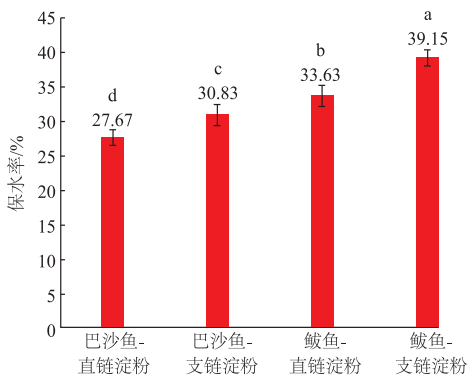
采用 Origin 9.0 软件绘图。采用 SPSS 22.0 软件处理数据,进行显著性分析,其中 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同处理组鱼糜的保水性

不同组淀粉-鱼糜的保水率见图 1。其中,鲮鱼组的持水性普遍显著高于巴沙鱼组($P < 0.05$),其中鲮鱼-支链淀粉组持水能力更佳。这与鲮鱼肉中丰富的肌原纤维蛋白以及极低的脂肪含量有关,丰富的蛋白质在盐溶处理下呈黏性很强的溶胶状态,吸附水分子能力增强,同时蛋白质分子间静电斥力相对增强,内聚力降低,网络结构松弛,因而表现出很强的持水性^[18]。而巴沙鱼肌球蛋白含量较低,鱼肉凝胶

性较低^[19],因此鱼糜持水性较弱。两种类型鱼糜的支链淀粉组持水性显著高于直链淀粉组,这与支链淀粉更为支化的网络结构以及更强的颗粒溶胀能力有关,支链淀粉舒展、高度支化的网络结构使凝胶结构可以充分吸收水分,而直链淀粉颗粒更难糊化,短链的小分子易发生聚合,运动相对更快,更易老化而不利于水分的保持^[20]。



不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

图 1 鱼丸的保水率

Fig. 1 Water retention rate of fish balls

2.2 不同处理组的仪器质构和感官质构特性及其相关性分析

TPA 是评价肉丸质构的常用方法之一,该方法可有效模拟人咀嚼食物时的质构变化,操作过程较为简便且应用广泛^[21]。表 2 显示了不同处理组鱼丸

的仪器质构特性。不同处理组样品的硬度、回复性、咀嚼性均具有显著性差异 ($P<0.05$),支链淀粉组相对于直链淀粉组具有更优越的硬度、咀嚼性;鲷鱼组的硬度、胶黏性、咀嚼性显著高于巴沙鱼组。

表 2 不同鱼丸的质构性质分析

Table 2 Texture profile of fish balls prepared from mackerel and basa fish

样品	硬度/g	黏聚性/g	回复性/%	内聚性	弹性/%	胶黏性	咀嚼性
巴沙鱼-直链淀粉	2 659.87±125.44 ^d	-18.10±12.85 ^a	44.18±1.21 ^a	0.77±0.01 ^a	94.94±2.64 ^a	2 046.62±109.00 ^c	1 944.83±143.58 ^c
巴沙鱼-支链淀粉	3 186.07±111.51 ^c	-25.83±23.68 ^a	38.34±0.49 ^c	0.76±0.01 ^a	93.21±2.14 ^a	2 423.58±100.42 ^c	2 257.41±59.31 ^c
鲷鱼-直链淀粉	4 740.87±326.21 ^b	-24.01±12.29 ^a	41.59±3.70 ^{ab}	0.76±0.04 ^a	93.04±3.10 ^a	3 596.07±312.41 ^b	3 351.86±373.35 ^b
鲷鱼-支链淀粉	6 250.20±168.95 ^a	-32.30±27.60 ^a	42.40±0.61 ^b	0.76±0.01 ^a	93.89±3.76 ^a	4 739.88±109.53 ^a	4 449.65±191.22 ^a

注:数据采用平均值±标准偏差表示;同一列数据,不同字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

为准确反映消费者的真实感官值,还需要更进一步进行仪器质构评价指标与感官评定指标的相关性分析^[22]。

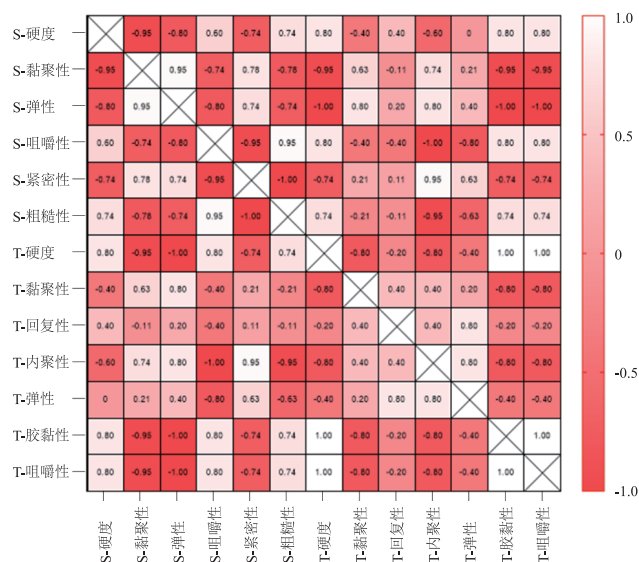
由 Spearman 相关系数分类标准可知,相关系数为 0.80~1.00 时表示相关性极强,0.60~0.80 时表示强相关,0.40~0.60 时表示中等相关强度,同理,相关系数为 0.20~0.40 表示相关性极弱,0~0.20 表示无相关性^[22],结果见图 2。TPA 实验指标和感官评定指标具有一定的相关性,其中感官评定小组得出的鱼丸硬度、弹性、咀嚼性和仪器所测质构性质中的鱼丸硬度、咀嚼性、胶黏性之间有相关性或相关性极显著 ($r=0.60\sim 1.00$, $P<0.05$ 或 $P<0.01$)。已有研究表明,真实食品的感官性质和仪器所测质构结果具有显著相关性,这与该实验结果类似^[23-24]。因此,与其他感官评定指标相比,硬度和咀嚼性可以更准确地评价鱼丸质构性质。

2.3 仪器质构与感官质构数据的主成分分析

对仪器质构与感官质构数据进行主成分分析 (PCA),共得到 3 个主成分,前 2 个主成分的方差贡献率分别为 69.68%和 17.12%,累计达 86.79%。如图 3 所示,主成分 1 与仪器质构指标中的硬度、咀嚼性、胶黏性以及感官质构指标中的硬度、咀嚼性、粗糙性均呈正相关,与仪器质构指标中的内聚性、黏聚性以及感官质构指标中的弹性、紧密性均呈负相关。主成分 2 与仪器质构中的弹性、回复性呈正相关。由上述结果可证实仪器质构指标及感官质构

指标均能被图中两个主成分较好地解释。由此可得,仪器及感官质构结果中,包括硬度、咀嚼性、黏聚性和弹性在内的参数均能够较好地被主成分 1 解释,回复性和弹性能够较好地被主成分 2 解释。

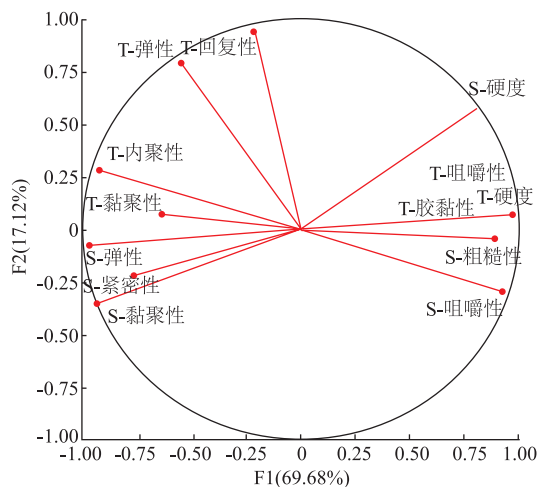
根据样品得分因子绘制 PCA 得分图(见图 4)。其中鲷鱼-支链淀粉组趋近于主成分 1 和主成分 2 的正方向,主成分 1 与仪器质构参数的硬度、咀嚼性、胶黏性以及感官质构参数的硬度、咀嚼性、粗糙性



T 为仪器质构参数;S 为感官质构参数。

图 2 感官评定与 TPA 实验指标聚类相关性色图

Fig. 2 Color map of clustering correlations of sensory evaluation and TPA experimental indexes



T 为仪器质构参数;S 为感官质构参数。

图 3 主成分载荷图

Fig. 3 Biplot of principal component analysis

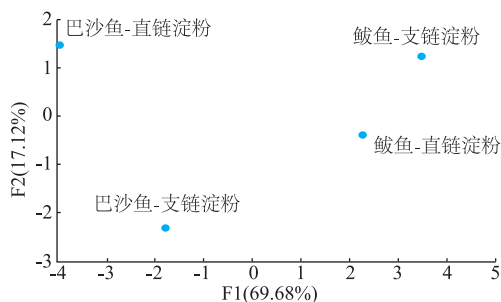


图 4 PCA 得分图

Fig. 4 PCA score plot of samples

呈现正相关且能够被较好地解释。因此,不论是在鲑鱼还是巴沙鱼鱼糜中,支链淀粉组相对于直链淀粉组均具有更优越的硬度、咀嚼性、弹性和回复性。这与支链淀粉具有更强的颗粒溶胀性以及支化结构更有利于凝胶网络结构的形成有关。但直链淀粉颗粒难以糊化,充填在鱼肉蛋白质形成的连续相中,淀粉对网络结构的充填作用相较蛋白质而言,淀粉分子链之间的相互作用对肉丸的凝胶性贡献相对较弱,因而支链淀粉组中都显示出更优越的凝胶性。对比鲑鱼与巴沙鱼组,无论是直链淀粉还是支链淀粉组,鲑鱼组均趋近于主成分 1 的正方向,鲑鱼丸的硬度、咀嚼性显著高于巴沙鱼丸,而巴沙鱼丸的弹性高于鲑鱼丸。

海水鱼因其生活环境中温度较低,受鱼糜加工过程中温度变化的影响较小,而淡水鱼的内源性蛋白酶含量较海水鱼内源性蛋白酶含量高^[8]。肌原纤维蛋白,尤其是肌球蛋白重链被水产品中的内源性蛋白酶降解是导致凝胶劣质化的主要原因之一^[25]。

其中的内源性蛋白酶主要包括钙蛋白酶^[26]、组织蛋白酶^[27]和肌原纤维结合型丝氨酸蛋白酶^[28]。在凝胶形成过程中,随着温度升高,内源性蛋白酶的代谢增强,使以肌球蛋白为代表的蛋白质逐步降解,加速鱼肉软化,再者内源性蛋白酶通过降解肌联蛋白降低鱼糜制品的弹性,使其无法形成良好的凝胶网络结构。此外,因鲑鱼肉中肌球蛋白含量较高、脂肪含量较低,以其为原料制得的鱼丸凝胶网络结构更为稳固,同时其凝胶网络抑制了淀粉颗粒的糊化,凝胶网络内淀粉吸水产生的充填效应显著增大了凝胶的强度。巴沙鱼肌球蛋白含量较低、脂肪含量较高,凝胶化速度较慢^[9]。Kong 等在研究中也指出,淀粉颗粒对鱼糜蛋白凝胶强度的增强基于凝胶网络内淀粉颗粒吸水膨胀而产生的充填效应^[3]。淀粉颗粒越大,对混合凝胶的支撑效应越好。淀粉颗粒吸水糊化而崩解,因此在凝胶网络结构间无法产生充填效应,而糊化后的淀粉与鱼糜蛋白形成了良好的凝胶网络结构,弹性更强^[29]。

2.4 不同组鱼丸的微观结构分析

如图 5 所示,通过扫描电镜对鱼丸凝胶的微观结构进行观察,发现不论是鲑鱼丸还是巴沙鱼丸,直链淀粉均形成了以蛋白质为连续相、淀粉颗粒为分散相的三维网状结构。直链淀粉颗粒以完整颗粒形态嵌于孔洞中,均能较好地分散在连续相中。不同鱼种类中,鱼丸的孔洞大小以及淀粉糊化程度有所差异,鲑鱼丸中直链淀粉颗粒溶胀程度较大,这与其保水率结果相符。鲑鱼肉中更为丰富的肌球蛋白在盐溶处理下呈黏性很强的溶胶状态,吸附水分子能力增强,因而淀粉吸水溶胀度更佳,颗粒粒径更大。而巴沙鱼肉中肌球蛋白含量较低、鱼肉凝胶性较低、热稳定性较差,形成了持水性较弱的凝胶,抑制了淀粉颗粒的溶胀。在支链淀粉组中均未观察到淀粉颗粒,这与支链淀粉更为支化的网络结构以及更强的颗粒溶胀能力有关,支链淀粉充分糊化与鱼肉蛋白质形成了高度支化、致密的三维网络结构。值得注意的是,鲑鱼-支链淀粉组与巴沙鱼-支链淀粉组相比,显示出了更为致密、坚实的凝胶网络,这与鲑鱼肉对加工过程中温度变化的较强适应性以及其较低的内源性蛋白酶含量、更高的蛋白质含量、更低的脂肪含量有关。

综上,鱼丸凝胶的形成机制如图 6 所示。在加热过程中,鱼糜中的蛋白质受热变性而展开,形成

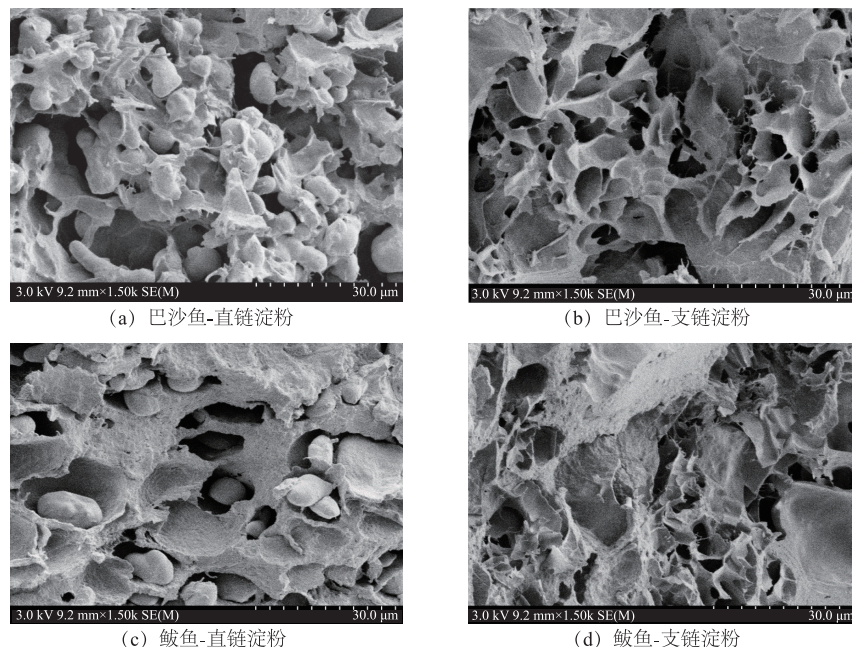


图 5 鱼丸的微观结构

Fig. 5 Microstructure observation of fish balls

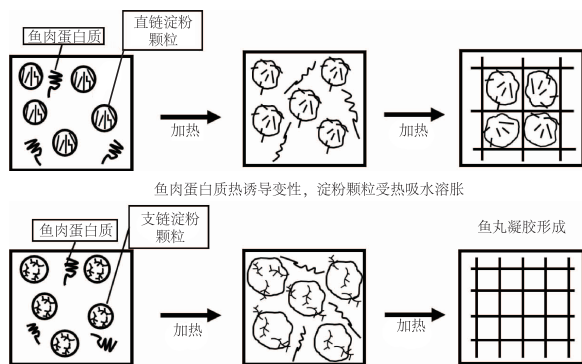


图 6 鱼丸凝胶空间网络结构的形成机制

Fig. 6 Formation mechanism of spatial network structure of fish ball gel

三维网状空间结构,淀粉颗粒作为分散相填充于鱼糜凝胶结构的空隙中。其中,直链淀粉吸水膨胀能力较弱、颗粒不易于溶胀而无法完全糊化,且因其短链结构易发生聚合重排,故呈颗粒状填充于鱼糜凝胶中。支链淀粉因其较好的吸水溶胀性而更容易吸水糊化,高度支化的淀粉链段与鱼肉蛋白质形成了高度支化、致密的三维网络结构,因此具有更优

越的凝胶性质。

3 结语

从仪器质构品质和感官质构品质出发,结合持水性、微观结构分析对添加了不同结构(支链/直链)淀粉的鲮鱼及巴沙鱼鱼丸进行综合评定。结果表明,在添加淀粉类型方面,因支链淀粉具有高度支化的结构,更易糊化,该类淀粉与鱼肉蛋白质易形成高度支化、致密、高持水性的三维网络结构,其以硬度和咀嚼性为代表的仪器质构品质以及感官质构品质更佳。而直链淀粉吸水溶胀性较差且并未完全糊化,该类型淀粉以颗粒的形式存在于连续相为蛋白质的凝胶网络中,其凝胶性和持水性相对较弱,以硬度和咀嚼性为代表的仪器质构品质及感官质构品质较差。在鱼肉种类方面,制作成鱼丸后,鲮鱼相对于巴沙鱼显示出更好的质构品质以及持水性,这与其较强的热稳定性以及其较低的内源性蛋白酶含量、更高的蛋白质含量、更低的脂肪含量有关^[30]。

参考文献:

- [1] 张慙,段振华,汤坚. 低值淡水鱼加工利用研究进展[J]. 渔业现代化,2003,3:30-31.
- [2] 陈凤杰,张慙. 真空微波干燥重组鱼丸的研究[J]. 食品与生物技术学报,2012,31(7):703-710.
- [3] KONG W, ZHANG T, FENG D, et al. Effects of modified starches on the gel properties of Alaska Pollock surimi subjected to different temperature treatments[J]. *Food Hydrocolloids*, 2016, 56:20-28.

- [4] 吴银琴,唐敏敏,洪雁,等. 直链淀粉含量对玉米淀粉/瓜尔胶复配体系糊化和流变特性的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2014,33(1):48-55.
- [5] 吴满刚. 脂肪和淀粉对肌原纤维蛋白凝胶性能的影响机理[D]. 无锡:江南大学,2010.
- [6] CAMPO L, TOVAR C. Influence of the starch content in the viscoelastic properties of surimi gels[J]. **Journal of Food Engineering**, 2008, 84(1): 140-147.
- [7] TABILO-MUNIZAGA G, BARBOSA-CÁNOVAS G V. Pressurized and heat-treated surimi gels as affected by potato starch and egg white: microstructure and water-holding capacity[J]. **LWT-Food Science and Technology**, 2005, 38(1): 47-57.
- [8] EVAGELIOU V. Co-gelation of high methoxy pectin with oxidised starch or potato maltodextrin[J]. **Carbohydrate Polymers**, 2000, 42(3): 233-243.
- [9] HANSEN M R, BLENNOW A, PEDERSEN S, et al. Gel texture and chain structure of amyloamylase-modified starches compared to gelatin[J]. **Food Hydrocolloids**, 2008, 22(8): 1551-1566.
- [10] HUNT A, GETTY K J K, PARK J W. Roles of starch in surimi seafood: a review[J]. **Food Reviews International**, 2009, 25(4): 299-312.
- [11] 陈增卉. 冷熏鲑鱼的工艺研究[D]. 大连:大连工业大学,2017.
- [12] 史策,韩烽烽,刘鹏,等. 鲑鱼和鲟鱼肉蛋白酶解产物功能特性及抗氧化性[J]. 肉类研究, 2013, 27(8): 5-7.
- [13] 李崇豪. 烟熏巴沙鱼工艺优化及贮藏过程中品质变化的研究[D]. 杭州:浙江工商大学,2021.
- [14] KHOR Y P, WAN S Y, TAN C P, et al. Potential of using basa catfish oil as a promising alternative deep-frying medium: a thermo-oxidative stability study[J]. **Food Research International**, 2021, 141: 1-8.
- [15] 叶丹. 小麦麸皮对肉糜性质的影响及在肉丸中的应用研究[D]. 成都:西华大学,2018.
- [16] PELEG M. The instrumental texture profile analysis revisited[J]. **Journal of Texture Studies**, 2019, 50(5): 362-368.
- [17] 王阳. 不同配料对猪肉丸凝胶品质影响的探究[D]. 南宁:广西大学,2017.
- [18] TAKEUCHI T. Progress on larval and juvenile nutrition to improve the quality and health of seawater fish; a review[J]. **Fisheries Science**, 2014, 80(3): 389-403.
- [19] 吴涛. 草鱼加工关键技术的研究与开发[D]. 杭州:浙江大学,2008.
- [20] YANG H, PARK J W. Effects of starch properties and thermal-processing conditions on surimi-starch gels[J]. **LWT-Food Science and Technology**, 1998, 31(4): 344-353.
- [21] 黄峻榕,李艳芳,蒲华寅,等. 质构仪在淀粉及淀粉基食品品质研究中应用的研究进展[J]. 食品工业科技, 2017, 38(4): 390-395.
- [22] 殷俊. 即食牛肉丸加工技术研究[D]. 广州:华南理工大学,2012.
- [23] MEULLENET J F C, GROSS J, MARKS B P, et al. Sensory descriptive texture analyses of cooked rice and its correlation to instrumental parameters using an extrusion cell[J]. **Cereal Chemistry Journal**, 1998, 75(5): 714-720.
- [24] LAURIE S M, FABER M, CALITZ F J, et al. The use of sensory attributes, sugar content, instrumental data and consumer acceptability in selection of sweet potato varieties; sensory, consumer and objective assessment of sweet potato[J]. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 2013, 93(7): 1610-1619.
- [25] 张怡,陈秉彦,曾红亮,等. 肌原纤维蛋白与鱼糜凝胶特性相关性概述[J]. 亚热带农业研究, 2016, 12(1): 13-24.
- [26] PARK S, CHO S Y, YOSHIOKA T, et al. Influence of endogenous proteases and transglutaminase on thermal gelation of salted squid muscle paste[J]. **Journal of Food Science**, 2010, 68(8): 2473-2478.
- [27] LIU H, YIN L J, LI S H, et al. Effects of endogenous cathepsins B and L on degradation of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) myofibrillar proteins[J]. **Journal of Muscle Foods**, 2008, 19(2): 125-139.
- [28] ZHONG C, CAI Q F, LIU G M, et al. Purification and characterisation of cathepsin L from the skeletal muscle of blue scad (*Decapterus maruadsi*) and comparison of its role with myofibrillar-bound serine proteinase in the degradation of myofibrillar proteins[J]. **Food Chemistry**, 2012, 133(4): 1560-1568.
- [29] 吴满刚,熊幼翎,陈洁. 不同淀粉对肌纤维蛋白凝胶强度和微观结构的影响[J]. 食品工业科技, 2010, 31(9): 95-98.
- [30] 王庆丽,励建荣,朱军莉,等. 壳聚糖和植酸复合生物保鲜剂对冷藏鱼丸品质的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2012, 31(12): 1239-1244.