

发酵金鲳鱼糜制品工艺条件的优化及发酵过程中品质变化分析

张大为, 张洁, 田永航

(海南热带海洋学院, 海南省海洋食品工程技术研究中心, 海南三亚 572022)

摘要: 以金鲳鱼糜为主要原料, 毛霉为发酵菌种, 通过单因素试验得到发酵金鲳鱼糜制品的最佳主发酵工艺条件, 同时研究发酵过程中蛋白酶活性、理化指标及质构特性等的变化。实验结果表明: 金鲳鱼糜制品最佳发酵工艺条件为: 发酵时间为 48 h、发酵温度为 26 °C、毛霉菌悬液接种量为 5%。在发酵过程中金鲳鱼糜制品的水分含量逐渐降低, 发酵到 48 h 时, 水分降低到 49.08%; pH 由 6.86 降低到 6.23; 总酸由 0.03% 增高到 0.51%; 挥发性盐基氮由 1.16 mg/100 g 增加到 20.57 mg/100 g, 相对于对照组来说明显降低; 氨基酸态氮由 0.04% 上升到 0.51%; 蛋白酶活力从 0 上升到 65.05 U/g。发酵过程中金鲳鱼糜制品的硬度呈先升高后降低的趋势, 发酵结束后硬度为 248.36 g; 胶黏性呈现先升高后降低再升高的趋势, 发酵结束后胶黏性为 18.15, 明显低于对照组; 弹性呈逐渐降低的趋势 (48 h 后达到 0.63), 但是较对照组高; 咀嚼性呈先降低后升高而后趋于平稳的趋势, 发酵结束后咀嚼性为 264.58, 明显高于对照组。从最终产品质量来看, 金鲳鱼糜制品发酵后品质明显提高。为发酵金鲳鱼糜食品的开发奠定了一定理论和技術基础。

关键词: 金鲳鱼; 发酵; 优化; 理化指标; 分析

文章篇号: 1673-9078(2020)09-211-218

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.9.0182

Optimization of Process Conditions of Fermented Golden Pomfret Surimi Production and Analysis of Quality Changes in Fermentation in Process

ZHANG Da-wei, ZHANG Jie, TIAN Yong-hang

(Hainan Tropical Ocean University, Hainan Engineering Research Center of Seafood, Sanya 572022, China)

Abstract: Using golden pomfret Surimi as the main raw material and hairy mould as the fermentation strain, the optimum fermentation conditions were obtained by single factor test. At the same time, the changes of protease activity, physicochemical index and texture characteristic were studied. The experimental results showed that the optimum fermentation conditions of golden Pomfret surimi production were as follows: the fermentation time was 48 h, the fermentation temperature was 26 °C, and the inoculation amount of suspension was 5%. The water content of golden pomfret surimi production decreased gradually during fermentation, at 48 h, the water content decreased to 49.08%, pH decreased from 6.86 to 6.23, the total acid increased from 0.03% to 0.51%, the volatile base nitrogen increased from 1.16 mg/100 g to 20.57 mg/100 g compared with control group, the amino acid nitrogen increased from 0.04% to 0.51%; the protease activity increased from 0 to 65.05 U/g. During the fermentation process, the hardness of golden Pomfret was increased first and then decreased, the hardness was 248.36 g after fermentation, the adhesive property was increased first and then decreased, and the adhesive property was 18.15 after fermentation, which was obviously lower than that of the control group, but the elasticity was higher than that of the control group (0.63 after 48 hours). The masticatory property decreased first and then increased and then tended to be stable. After the fermentation, the masticatory property was 264.58, which was

引文格式:

张大为,张洁,田永航.发酵金鲳鱼糜制品工艺条件的优化及发酵过程中品质变化分析[J].现代食品科技,2020,36(9):211-218

ZHANG Da-wei, ZHANG Jie, TIAN Yong-hang. Optimization of process conditions of fermented golden pomfret surimi production and analysis of quality changes in fermentation in process [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(9): 211-218

收稿日期: 2020-02-27

基金项目: 三亚市院地合作项目 (2019YD09); 海南热带海洋学院 2018 年校级青年专项基金项目 (RHDQN201831)

作者简介: 张大为 (1977-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 应用微生物

通讯作者: 张洁 (1980-), 女, 讲师, 研究方向: 食品科学

significantly higher than that of the control group. Based on the final product quality, the quality of the golden pomfret surimi production after fermentation significantly improved. It lays a theoretical and technical foundation for the development of fermented golden Pomfret surimi production.

Key words: golden pomfret; fermentation; optimization; physical and chemical index; analysis

金鲳鱼是一种重要的海洋生物资源,含有丰富的蛋白质、碳水化合物、不饱和脂肪酸等多种营养成分^[1]。具有益气养血、补胃益精、降低胆固醇等功效。其养殖成活率高,一般可达90%以上,是我国海南、广东和广西等沿海地区主要海水养殖品种之一^[2]。但是近年来,随着金鲳鱼养殖技术的发展,其产量大幅增加,出现了供过于求、滞销的局面,利润空间被压至成本线边缘^[3]。如果将金鲳鱼进行深加工,将会提高产品附加值,解决上述问题。金鲳鱼在初加工方面以整条冷冻产品为主,鱼片的加工量较少,水产品深加工最多的是制成鱼糜制品,但深加工仍处在实验课题研究阶段。采用微生物发酵技术来对金鲳鱼进行深加工是一种行之有效的方 式,具有较好的前景。

传统的发酵鱼制品是以鱼作为主要原料,通过发酵方式得到而的一种发酵类食品,该类传统食品不仅是一种亚非国家便宜的优质蛋白提供源,还具有独特的保健作用,深受当地人民的喜爱。目前国内外众多研究者对于发酵鱼制品进行了广泛研究,主要包括工艺条件、理化指标、风味品质、发酵微生物特性等诸多方面^[4-8]。例如 Matilda Asiedu 和 Abiodun I. Sanni 研究了西非的鱼糜发酵制品 Enam Ne-Setaakye,对采用自然发酵和接种发酵各自的化学成分和微生物消长变化情况进行了分析^[9];胡永金等根据微生物的发酵性能和鱼糜的基本制作工艺,结合现代食品与发酵技术,研究了单一发酵剂,混合微生物发酵剂对鲢鱼肉糜进行发酵,研制出了具有独特风味,高营养、高安全性、贮藏期长,符合中国人饮食心理等特点的优质发酵鱼糜^[10];谭汝城等从优化发酵工艺制得的鱼鲑中分离筛选出适用于鱼鲑制品生产的优势乳酸菌^[11];刘忠义等研制的基于乳酸菌的混合菌种发酵的红曲鱼及其制备方法,克服了自然发酵难以保证制品的卫生安全且含盐量高的缺陷^[12]。在研究发酵鱼糜制品中,发酵菌种主要以乳酸菌为主要,应用真菌的发酵在国外较常见,而在国内尚处于起步阶段。除乳酸菌外,霉菌在发酵产品中也 被广泛应用,大部分霉菌能够产生蛋白酶、淀粉酶、脂肪酶等酶类,发酵过程中将蛋白质、多糖等转化为小分子物质。在发酵产品中常用的霉菌主要是具有优良特性的毛霉、青霉、曲霉等菌种^[13,14]。近年来,霉菌在发酵豆制品、发酵肉制品、发酵乳制品领域被广泛研究,为霉菌发酵制品的开发、工艺研究

等奠定了基础^[15-18]。

本研究以金鲳鱼糜为主要原料,以毛霉为发酵菌种进行固态发酵,开发出一种发酵金鲳鱼糜制品。优化发酵金鲳鱼糜的主要工艺参数,并研究发酵过程中产品品质的变化,为金鲳鱼的深加工奠定理论和技术基础。

1 材料与方法

1.1 实验材料及试剂

金鲳鱼 (*Trachinotus blochii*): 新鲜,重量为 1 kg 左右的金鲳鱼购于海南省三亚市旺豪超市;毛霉 (*Mucor*) 菌粉: 济宁玉园生物科技有限公司;食用盐、玉米淀粉、葡萄糖、大豆分离蛋白等均为市售;硼酸、氢氧化钠、邻苯二甲酸氢钾等常规试剂均为分析纯,购自用西陇科学股份有限公司。

1.2 主要设备

恒温培养箱 (DPX-9082B-1): 金坛市盛蓝仪器制造有限公司;电热鼓风干燥箱 (Heratherm OMH400): 赛默飞世尔科技公司;分析天平 (ME204E): 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;质构仪 (TMS-PRO): 美国 FTC 公司;高压蒸汽灭菌锅 (SQ510C): 重庆雅马拓科技有限公司;水分测定仪 (MA35): 赛多丽斯科学仪器(北京)有限公司;冷冻离心机 (Heraeus Multifuge X1R): 赛默飞世尔科技公司;高剪切均质机 (XHF-DY): 宁波新芝生物科技股份有限公司。

1.3 金鲳鱼糜的制备工艺

1.3.1 金鲳鱼糜的制备

金鲳鱼宰杀后除去头、尾、内脏、鱼鳞,用清水冲洗干净后进行人工采肉、漂洗、脱水等常规环节,为使原料辅料拌和更加均匀,将处理好的金鲳鱼肉切碎、斩拌,参照马立安等制作腐乳毛坯的工艺优化条件加入食用盐 1%、葡萄糖 2%、玉米淀粉 5%、大豆分离蛋白 10%,擂溃 15 min,然后放操作台静置 5 min。40 °C, 60 min 条件下形成凝胶,然后立即放置在蒸锅中蒸汽加热 20 min。而后将金鲳鱼糜制品放置在无菌操作台上冷却至室温,切块 (3 cm×3 cm×1 cm)^[19]。

1.3.2 金鲳鱼糜制品的接种及主发酵

取适量的毛霉菌粉溶于20倍的无菌水(30℃)中浸泡5 min,充分混匀后过滤,得到菌粉滤液。将菌悬液按一定比例均匀喷洒于鱼糜制品坯块上,坯块间隔约1.5 cm摆放于底部有孔的无菌不锈钢盘上,放置26℃、湿度为85%的恒温恒湿培养箱中培养,定期取样测定相关指标。同时设定不接种毛霉菌组为对照组。

1.4 金鲳鱼糜发酵工艺条件优化

1.4.1 发酵时间的确定

将毛霉菌悬液以5%的接种量均匀喷洒于金鲳鱼糜制品表面,置于26℃、湿度为85%的恒温恒湿培养箱进行主发酵,发酵时间分别为12、24、36、48、60 h,测定蛋白酶活力,以确定最佳发酵时间。

1.4.2 发酵温度的确定

将毛霉菌悬液以5%的接种量均匀喷洒于金鲳鱼糜制品表面,置于22、23、24、25、26、27、28、29和30℃,湿度为85%的恒温恒湿培养箱进行主发酵,发酵时间48 h,测定蛋白酶活力,以确定最佳发酵温度。

1.4.3 接种量的确定

将毛霉菌悬液以2%、3%、4%、5%、6%、7%和9%的接种量均匀喷洒于金鲳鱼糜制品表面,置于26℃、湿度为85%的恒温恒湿培养箱进行主发酵,发酵时间48 h,测定蛋白酶活力,以确定最佳接种量。

1.5 试验方法

1.5.1 水分含量的测定

参照GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》中的直接干燥法^[20]。

取洁净的玻璃制的扁型称量瓶,置于101℃干燥箱中,瓶盖斜支于瓶边,加热1.0 h,取出盖好,置干燥器内冷却0.5 h,称量,并重复干燥至前后两次质量差不超过2 mg,即为恒重。称取2 g~10 g试样,放入此称量瓶中,试样厚度不超过5 mm,加盖,精密称量后,置于101℃干燥箱中,瓶盖斜支于瓶边,干燥2 h后,盖好取出,放入干燥器内冷却0.5 h后称量。然后再放入101℃干燥箱中干燥1 h左右,取出,放入干燥器内冷却0.5 h后再称量。并重复以上操作至前后两次质量差不超过2 mg,即为恒重。

1.5.2 pH值的测定

参照GB 5009.237-2016《食品安全国家标准 食品

pH值的测定》中肉与肉制品的pH值的测定方法进行测定^[21]。

称取10 g绞碎的鱼糜制品,加蒸馏水至100 mL,摇匀,浸渍30 min后过滤,取约500 mL滤液于100 mL烧杯中,pH值校正后,测定。

1.5.3 总酸含量的测定

参照GB/T 12456-2008《食品安全国家标准 食品中总酸的测定》中的酸碱滴定法进行测定^[22]。

1.5.4 挥发性盐基氮的测定

参照GB 5009.288-2016《食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定》中的微量扩散法^[23]。

1.5.5 氨基酸态氮的测定

参照GB 5009.235-2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸态氮的测定》中的酸度计法^[24]。

1.5.6 蛋白酶活性的测定

取3 g发酵金鲳鱼糜制品与27 mL pH 6.0~7.0的磷酸缓冲液制得混合液,按福林酚法测定蛋白酶活力。在10 mL的刻度管后加入1 mL已处理好的发酵鱼糜样品稀释液,放置于40℃水浴加热5 min,然后加入1 mL酪蛋白,保温10 min后立即加入2 mL的0.4 mol/L的三氯乙酸,静置15 min后,在5℃条件下9000 r/min离心10 min取上清液,加入5 mL碳酸钠和1 mL福林酚试剂,摇匀后放入40℃水浴加热20 min,在680 nm下利用分光光度计(T6新世纪型紫外可见分光光度计,北京普析通用仪器有限公司)测OD值,测定蛋白酶活力。

$$\text{蛋白酶活力单位} = \frac{A}{10} \times 4 \times n$$

式中:A-由样品测得的吸光度对应的相当于酪氨酸微克数;n-酶液稀释倍数。

1.5.7 质构的测定

采用压力测试模式中的TPA测试。将样品切成大小厚薄均匀的方块,在室温下把样品放置于质构仪测试(参数为:硬度、粘性、弹性、胶着性、胶黏度、咀嚼性、弹力)TPA测试条件:探头为P5,输入力量感应元的量程为800 N,回到样品表面高度为15 mm,检测速度为60 mm/min,形变百分量为50,间隔压缩时间为6 s。每个样品测3次,取平均值。结果用Texture Expert (V2.1)软件处理。

1.5 数据处理

数据处理和作图采用Origin 8.5,每个实验做三次,所有实验数据结果均为:平均值±标注差(SD)。

2 结果与分析

2.1 金鲳鱼糜制品发酵工艺条件优化结果

2.1.1 发酵时间对蛋白酶活力的影响

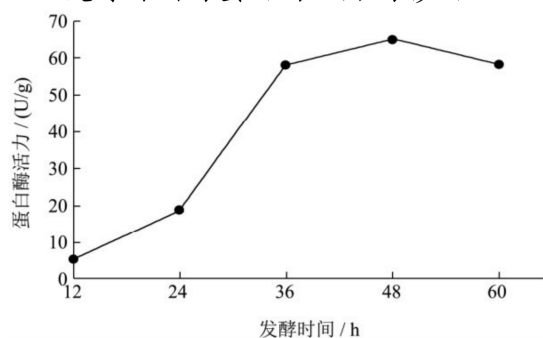


图1 发酵时间对蛋白酶活力的影响

Fig.1 Effect of fermentation time on protease activity

毛霉在金鲳鱼糜制品中生长代谢，随发酵的进行毛霉菌种会分泌蛋白酶，从而降解基质，会形成小分子物质，构成风味的主要物质或前体物质，对金鲳鱼糜的风味形成具有关键的作用^[25]。如图1所示，发酵时间在12~24 h内，蛋白酶活力逐渐增加，但增加比较缓慢，毛霉处于快速生长期前期。随着发酵的进行达到36 h时，蛋白酶活力显著增加，此时毛霉生长活跃且处于快速生长期。发酵48 h后，蛋白酶活力得到最高值65.05 U/g。发酵继续进行，酶活力呈下降的趋势，主要原因是毛霉生长处于衰亡期，菌丝老化，蛋白酶分泌能力下降。由实验可知，金鲳鱼糜制品的最佳主发酵时间是48 h。此结果与吴拥军等研究者对于腐乳发酵过程中蛋白酶活力的变化有相似之处^[25]。

2.1.2 发酵温度对发酵酶活力的影响

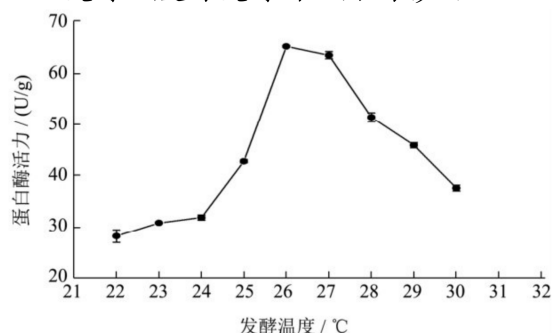


图2 发酵温度对蛋白酶活力的影响

Fig.2 Effect of fermentation temperature on protease activity

由图2可知，在整个温度考查范围内(22~30 °C)，随着温度的升高，毛霉所产蛋白酶活力呈先升高后降低的趋势。发酵温度在22~24 °C时，蛋白酶活力从28.23 U/g升高到31.90 U/g，升高不明显。而发酵温度从24 °C到26 °C时，蛋白酶活力升高至65.07 U/g，升高速度明显高于前一个阶段，且酶活力达到最高值。

说明在考查范围内，26 °C时蛋白酶活力最佳。随着温度的继续升高(26~30 °C)，蛋白酶活力呈下降趋势。说明随着温度的升高已经不适合菌体的生长或酶的代谢。所以，金鲳鱼糜制品最佳的发酵温度选择26 °C比较恰当。

2.1.3 接种量对蛋白酶活力的影响

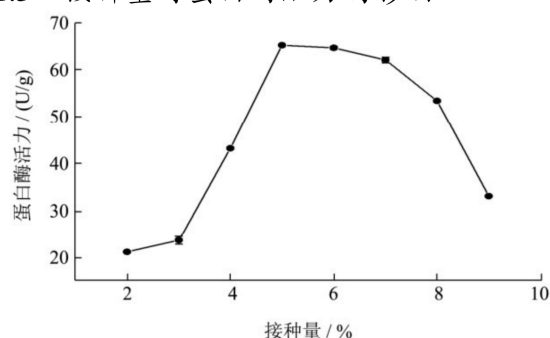


图3 接种量对蛋白酶活力的影响

Fig.3 Effect of inoculum on protease activity

随着接种量的增加，菌种在基质的浓度相应增加，能够缩短延滞期，从而加快生长代谢。如图3可知，接种量在2%~5%之间，毛霉所产的蛋白酶活力呈上升的趋势。接种量在5%时，蛋白酶活力达到最高值65.02 U/g。随着接种量的继续增加，蛋白酶活力趋于稳定，接种量达到8%时，蛋白酶活力下降较明显，原因可能是随着菌种数量的增加消耗较多的营养物质，以至于破坏毛霉的生长环境，菌丝老化提前。综上所述，当毛霉接种量为5%时，较适合蛋白酶的代谢及活力增加。

2.2 金鲳鱼糜制品发酵过程中理化指标的变化

2.2.1 发酵过程中金鲳鱼糜制品水分含量的变化

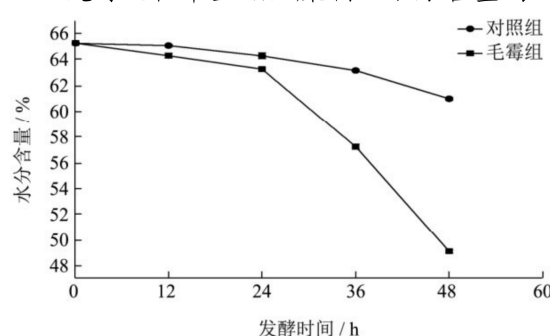


图4 发酵过程中金鲳鱼糜制品水分含量的变化

Fig.4 Change of moisture content of golden pomfret surimi production during fermentation

图4显示发酵过程中金鲳鱼糜制品水分含量的变化，发酵48 h内，毛霉组和对照组水分含量随着时间的增加总体呈下降趋势。发酵0~24 h内，两组鱼糜水分含量变化均较小，发酵24~48 h后，毛霉组鱼糜制品的含水量明显下降，此时水分含量为49.08%；对照

组含水量下降幅度较小。原因是金鲳鱼糜制品发酵过程中水分的损失主要来自于菌体生长消耗和暴露在空气中时挥发失水。发酵 24 h 后,毛霉生长进入了迅速生长期,在消耗大量水分的同时产生的生物热也加剧水分的散失,所以导致水分含量的下降幅度大于对照组。水分含量的变化与以往同类型产品研究具有相同的规律^[26]。

2.2.2 发酵过程中金鲳鱼糜制品 pH 值的变化

由图 5 显示发酵过程中金鲳鱼糜制品 pH 值的变化。从图 5 可以看出,发酵 0~24 h,毛霉组和对照组 pH 值呈下降趋势。接种毛霉的鱼糜制品在 0~24 h 时间段内 pH 由 6.86 降至 6.26,随后下降速度明显缓慢,发酵 48 h 后, pH 降低至 6.23。而对照组的 pH 值在 0~24 h 下降,24 h 后又逐渐上升。两组出现的趋势原因可能是在相对开放的环境中,毛霉可以快速增长并且成为优势菌,在一定的程度上抑制其它杂菌的生长,而对照组从感官上来看,明显有腐臭味道,原因可能是某些杂菌生长,产生大量的胺类物质,从而导致 pH 值上升。由此说明,毛霉的生长对腐败菌生长有较好的抑制作用。

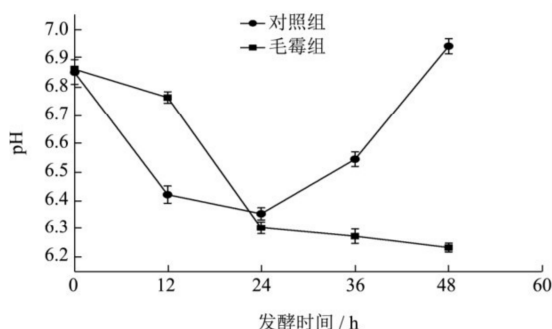


图 5 发酵过程中金鲳鱼糜制品 pH 值的变化

Fig.5 Change of ph of golden pomfret surimi production during fermentation

2.2.3 发酵过程中金鲳鱼糜制品总酸的变化

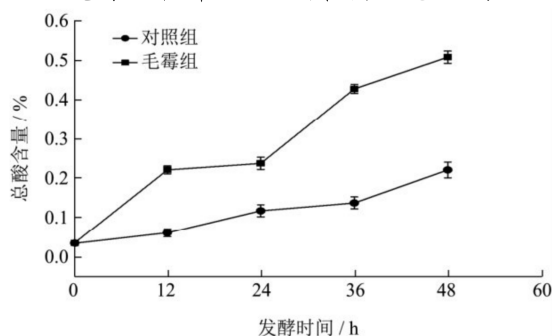


图 6 发酵过程中金鲳鱼糜制品总酸的变化

Fig.6 Change of total acid of golden pomfret surimi production during fermentation

如图 6 所示,在整个发酵过程中,两组鱼糜制品的总酸均呈上升趋势。在 0~12 h 内,毛霉组总酸上升

较对照组快,主要原因是毛霉作为优势菌开始生长并利用底物产生有机酸,而对照组中各种微生物相互竞争原料利用率较低,故产生的酸性产物较少。12~24 h 内,两组鱼糜制品的总酸均上升较缓慢,但毛霉组较对照组的总酸含量高。24~36 h 内,毛霉组总酸急剧上升,而对照组上升相对缓慢,主要是毛霉作为优势菌更加明显,有效抑制了杂菌的生长^[27]。发酵到 48 h,总酸含量从开始 0.03% 上升到 0.51%,与 pH 的变化相互印证。

2.2.4 发酵过程中金鲳鱼糜制品挥发性盐基氮含量的变化

鱼类产品中挥发性盐基氮 (TVB-N) 是酶和微生物对蛋白质的作用程度,在腐败过程中,使蛋白质分解而产生氨以及胺类等碱性含氮物质。通常挥发性盐基氮的含量与组胺成正比,是反应鱼类产品的主要指标。如图 7 所示,毛霉组和对照组 TVB-N 值都会随着发酵时间而逐渐增加,但接种毛霉组鱼糜制品 TVB-N 值上升比较缓慢,在发酵 48 h 后,挥发性盐基氮从开始的 1.16 mg/100 g 上升到 20.57 mg/100 g,未见腐败和臭味的产生,而对照组在发酵 36 h 以后已经出现腐败现象,并且有臭味的产生。原因可能是因为某些杂菌利用游离氨基酸等含氮化合物产生了挥发性含氮的成分^[25]。但接种毛霉后,毛霉在发酵过程中作为优势菌,在一定程度上抑制腐败菌的生长而降低胺类物质的生成。

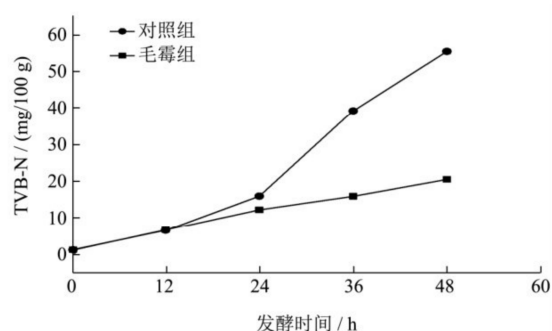


图 7 发酵过程中金鲳鱼糜制品挥发性盐基氮的变化

Fig.7 Variation of volatile salt-based nitrogen in golden pomfret production during fermentation

2.2.5 发酵过程中金鲳鱼糜制品氨基酸态氮的变化

氨基酸态氮主要包括氨基酸和多肽类物质,对于鱼糜制品的风味形成具有重要作用。如图 8 所示主,毛霉组和对照组氨基酸态氮含量都随着发酵时间的增加而增加,接种毛霉组氨基酸态氮含量迅速上升,48 h 内从 0.04% 上升到 0.51%,氨基酸态氮的含量增加主要是毛霉生长代谢并产生蛋白酶,从而降解基质中的蛋白质所产生。对照组的氨基酸态氮也增长,但发酵

到 24 h 时后增加缓慢, 原因可能是杂菌快速生长, 导致基质环境复杂, 抑制蛋白酶的表达式和活性^[28]。

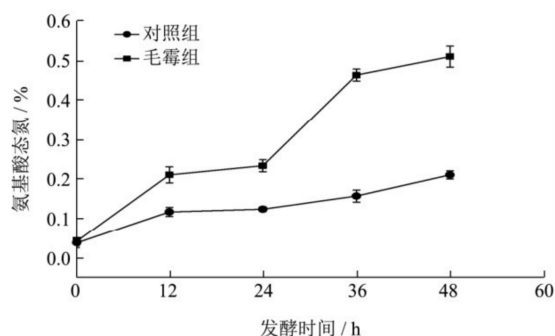


图 8 发酵过程中金鲳鱼糜制品氨基酸态氮的变化

Fig.8 Changes of amino acid nitrogen in gold pomfret surimi production during fermentation

2.2.6 发酵过程中金鲳鱼糜制品蛋白酶活力的变化

由图 9 看出, 毛霉发酵产蛋白酶和菌体生长基本同步, 毛霉在生长过程中产生大量的蛋白酶, 能将物料中的大分子蛋白降解为利于人体消化吸收的小分子肽类。提高鱼糜制品的营养价值, 并且毛霉蛋白酶主

要为内切酶, 产生的主要为多肽, 表明增加了多肽质量分数^[28]。主发酵中毛霉产蛋白酶活性的变化如图 9 所示。毛霉组产蛋白酶活力总体随发酵时间的增加而增加, 且对照组 48 h 内时酶活处于 0~15.07 U/g, 明显低于毛霉组, 毛霉组 48 h 内时酶活处于 0~65.05 U/g, 这与钟晓敏、付静等人的研究结果相类似^[29]。

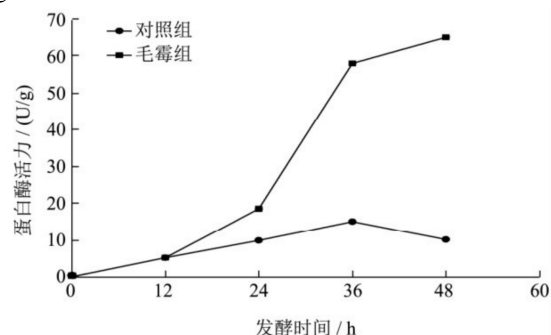


图 9 发酵过程中金鲳鱼糜制品蛋白酶活力的变化

Fig.9 Change of neutral protease activity in gold pomfret surimi production during the fermentation

2.2.7 发酵过程中金鲳鱼糜制品质构的变化

表 1 发酵过程中金鲳鱼糜制品质构的变化

Table 1 Change of quality texture of golden pomfret surimi production during the fermentation

时间/h	处理组别	硬度/g	胶黏性	弹性	咀嚼性/g
0	毛霉组	288.03±0.18	0.62±0.03	0.85±0.02	208.32±1.93
	对照组	288.03±0.18	0.62±0.03	0.85±0.02	208.32±1.93
12	毛霉组	605.58±6.82	15.19±0.85	0.81±0.02	179.41±0.75
	对照组	572.05±4.03	12.11±0.12	0.75±0.02	158.52±0.64
24	毛霉组	336.15±1.84	10.35±0.07	0.65±0.04	284.55±0.84
	对照组	521.23±1.06	12.11±0.15	0.71±0.02	165.40±1.40
36	毛霉组	298.06±1.25	13.54±0.60	0.68±0.02	318.76±0.91
	对照组	455.68±1.82	37.35±0.38	0.61±0.02	127.05±1.19
48	毛霉组	248.36±1.53	18.15±0.08	0.63±0.01	264.58±1.54
	对照组	311.13±1.72	81.04±0.98	0.60±0.02	95.85±1.20

发酵过程中, 金鲳鱼糜制品的硬度、胶黏性、弹性、咀嚼性的变化如表 1 所示。对于硬度、弹性和胶黏性能比较好的反映了金鲳鱼糜制品的感官适口性^[30]。毛霉组鱼糜发酵过程中硬度先增大后减少, 发酵 48 h 后, 硬度达到 248.36, 增大是与金鲳鱼糜制品发酵前期表层失水过多有关, 后期硬度下降是由于毛霉的生长, 分泌蛋白酶等酶物质, 酶分解金鲳鱼糜制品的蛋白质, 破坏了其蛋白质凝胶的结构, 这和腐乳固态发酵过程中的变化相似, 也是金鲳鱼糜制品弹性下降的原因之一^[31]。胶黏性能反映金鲳鱼糜制品的光滑性和韧性。毛霉组鱼糜制品胶黏性增长幅度较小, 发酵 48 h 后, 胶黏性达到 18.15, 对照组鱼糜制品的胶黏性随着发酵时间变化幅度较大, 二者的变化受到

真菌菌丝增长的影响, 毛霉组鱼糜制品发酵过程中产生的毛霉菌丝包围着鱼糜制品, 减少了腐败菌繁殖引起的鱼糜表面发粘, 给予鱼糜制品较好的成型性; 对照组鱼糜制品由于杂菌的繁殖产生酸而导致鱼糜制品发粘和腐败加速。弹性呈逐渐降低的趋势 (48 h 后达到 0.63), 但是较对照组高; 咀嚼性反映了金鲳鱼糜制品从咀嚼的状态到可吞咽状态所需要的能量。咀嚼性越高“咬感”就越好^[32,33]。毛霉组鱼糜制品的咀嚼性在发酵时间为 24~48 h 时明显高于 0~24 h 的, 并在发酵时间为 36 h 达到最大值, 发酵 48 h 后, 达到 264.58。而对照组鱼糜制品咀嚼性在发酵时间为 24~48 h 明显下降, 金鲳鱼糜制品本身的水分、蛋白质、脂肪含量改变比较明显, 导致咀嚼性明显下降^[34]。推测出金鲳

鱼糜制品中的含水量影响咀嚼性的大小,毛霉组鱼糜制品在发酵时间为24~48 h时含水量低于对照组,所以毛霉组鱼糜制品的咀嚼性良好。

3 结论

以金鲳鱼糜为主要原料,毛霉为发酵菌种,通过单因素试验得到发酵金鲳鱼糜制品的最佳主发酵工艺条件为发酵时间为48 h、发酵温度为26℃、毛霉菌悬液接种量为5%。在发酵过程中金鲳鱼糜制品的水分含量逐渐降低,发酵结束后水分降低到49.08%; pH由6.86降低到6.23;总酸由0.03%增高到0.51%;挥发性盐基氮由1.16 mg/100 g增加到20.57 mg/100 g,相对于对照组来说明显降低;氨基酸态氮由0.04%上升到0.51%;蛋白酶活力从0上升到65.05 U/g。通过质构分析可知,发酵过程中金鲳鱼糜制品的硬度呈先升高后降低的趋势;胶黏性呈现先升高后降低再升高的趋势;弹性呈逐渐降低的趋势,但是较对照组高;咀嚼性呈先降低后升高而后趋于平稳的趋势,明显高于对照组。说明经过毛霉发酵后产品口感优良,实验结果为金鲳鱼糜深加工提供了一定的理论和技术支持。

参考文献

- [1] 戴梓茹,钟秋平,林美芳,等.金鲳鱼营养成分分析与评价[J].食品工业科技,2013,34(1):347-350
DAI Xin-ru, ZHONG Qiu-ping, LIN Mei-fang, et al. Nutritional component analysis and quality evaluation of golden pompano [J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(1): 347-350
- [2] 戴梓茹.金鲳鱼体内重金属测定及其分布状况研究[J].食品科技,2012,37(12):298-300
DAI Xin-ru. Assessment of contents of heavy metals in the body of pompano trachinotus ovatus derbio and its regular distributed pattern [J]. Food Science and Technology, 2012, 37(12): 298-300
- [3] 庞涛.金鲳鱼“三代同堂”陷销路困局,给我们带来怎样的反思[J].当代水产,2016,41(8):36-37
PANG Tao. What kind of reflection does golden pomfret's "three generations in the same house" bring to us when it falls into the market dilemma [J]. Modern Aquatic Product, 2016, 41(8): 36-37
- [4] XU Yan-shun, XIA Wen-shui, YANG Fang, et al. Effect of fermentation temperature on the microbial and physicochemical properties of silver carp sausages inoculated with *Pediococcus pentosaceus* [J]. Food Chemistry, 2010, 118(3): 512-518
- [5] Alexander G, Vladimir D, Larisa G. Evaluation of lactic acid bacteria, isolated from lightly preserved fish products, as starter cultures for new fish-based food products [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2001, 1(3): 219-226
- [6] Casaburi A, Aristoy M, Cavella S, et al. Biochemical and sensory characteristics of traditional fermented sausages of Vallo di Diano (Southern Italy) as affected by the use of starter cultures [J]. Meat Science, 2007, 76(2): 295-307
- [7] Olesen PT, Meyer AS, Stahnke LH. Generation of flavour compounds in fermented sausages-the influence of curing ingredients, Staphylococcus starter culture and ripening time [J]. Meat Science, 2004, 66(3): 675-687
- [8] XU Yan-shun, XIA Wen-shui, YANG Fang, et al. Physical and chemical changes of silver carp sausages during fermentation with *Pediococcus pentosaceus* [J]. Food Chemistry, 2010, 122(3): 633-637
- [9] Matilda Asiedu, Abiodun I Sanni. Chemical composition and microbiological changes during spontaneous and starter culture fermentation of Enam Ne-Setaakye, a West African fermented fish-carbohydrate product [J]. European Food Research and Technology, 2002, 215: 8-12
- [10] 胡永金.淡水鱼糜发酵及其机理研究[D].无锡:江南大学, 2007
HU Yong-jin. Study on the fermented freshwater fishes surimi and its gel formation mechanism [D] Wuxi: Jiangnan University, 2007
- [11] 谭汝城,欧阳加敏,卢晓莉,等.接种植物乳杆菌和戊糖片球菌发酵对鱼鲜品质的影响[J].食品科学,2007,28(12): 268-272
TAN Ru-cheng, OUYANG Jia-min, LU Xiao-li, et al. Fermentation conditions of yuzha by inoculated *Lactobacillus plantarum* and *ediococcus pertosaceus* [J]. Food Science, 2007, 28(12): 268-272
- [12] 刘忠义,乐平,侯芳,等.基于乳酸菌的混合菌种发酵红曲鱼及其制备方法:中国,200910042552[P]2009-7-29
LIU Zhong-yi, LE Ping, HOU Fang, et al. Fermentation of monascus fish with mixed strains based on *Lactobacillus* and its preparation method: China, 200910042552 [P] 2009-7-29
- [13] 王哲,王思明.传统发酵技术在东北豆酱加工中的利用与发展[J].中国农史,2017,36(2):118-124
WANG Zhe, WANG Si-ming. Utilization and development of traditional fermentation technology in northeast soybean sauce processing [J]. Agricultural History of China, 2017,

- 36(2): 118-124
- [14] 解万翠,尹超,宋琳,等.中国传统发酵食品微生物多样性及其代谢研究进展[J].食品与发酵工业,2018,44(10):253-259
XIE Wan-cui, YI Chao, SONG Lin, et al. Research progress of microorganism and its metabolism in traditional fermentation food [J]. Food and Fermentation Industries, 2018, 44(10): 253-259
- [15] 李鹏,张艳芳,王选年.米曲霉双菌株组合制曲对产蛋白酶的影响[J].食品与生物技术学报,2018,37(2):206-210
LI Peng, ZHANG Yan-fang, WANG Xuan-nian. Effects of combination Koji making of two strains of *Aspergillus oryzae* on proteases sytem [J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2018, 37(2): 206-210
- [16] PENG Ming-ye, LIU Jing-yi LIU Zhi-jie, et al. Effect of citrus peel on phenolic compounds, organic acids and antioxidant activity of soy sauce [J]. LWT-Food Sci Technol, 2018, 90: 627-635
- [17] 谭雅,黄晴,曹熙,等.发酵肉制品中常见有益微生物及其功能研究进展[J].食品工业科技,2016,37(21):388-392
TAN Ya, HUANG Jing, CAO Xi, et al. Review of the common beneficial microorganisms of fermented meat and its functions [J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(21): 388-392
- [18] 焦晶凯,刘振民,苏米亚.干酪中的生物活性物质及其作用[J].中国酿造,2018,37(11):17-21
JIAO Jing-kai, LIU Zhen-min, SU Mi-ya. Bioactive substances and their effects in cheese [J]. China Brewing, 2018, 37(11): 17-21
- [19] 马立安,张雪山.红曲酱腐乳的特点及制作工艺[J].中国酿造,2000,108(4):35-36
MA Li-an, ZHANG Xue-shan. Characteristics and production technology of monascus sauce sufu [J]. China Brewing, 2009, 108(4): 35-36
- [20] GB 5009.3-2016,食品安全国家标准 食品中水分含量的测定[S]
GB 5009.3-2016, National Standards for Food Safety Determination of Water in Food [S]
- [21] GB 5009.237-2016,食品安全国家标准 食品中 pH 值的测定[S]
GB 5009.237-2016, National Standards for Food Safety Determination of pH in Food [S]
- [22] GB/T 12456-2008,食品安全国家标准 食品中总酸的测定[S]
GB/T 12456-2008, National Standards for Food Safety Determination of Total Acid in Food [S]
- [23] GB 5009.288-2016,食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定[S]
GB 5009.288-2016, National Standards for Food Safety Determination of Volatile Basic Nitrogen in Food[S]
- [24] GB 5009.235-2016,食品安全国家标准 食品中氨基酸态氮的测定[S]
GB5009.235-2016, National Standards for Food Safety Determination of amino acid nitrogen in food [S]
- [25] 吴拥军,龙菊,程昌泽,等.腐乳发酵过程中酶活力和化学组分变化研究[J].食品科学,2009,30(3):249-252
WU Yong-jun, LONG Ju, CHENG Chang-ze, et al. Study on change of enzyme activity and chemical composition of sufu during fermentation [J]. Food Science, 2009, 30(3): 249-252
- [26] 朱莉霞,宁善斌,郭春玉.速酿鱼露种曲的研制[J].食品科学,2005,6:191-196
ZHU Li-xia, NING Shan-bin, GUO Chun-yu. Study of fish sauce's Koji [J]. Food Science, 2005, 6: 191-196
- [27] Robonson RK, Battca, patels PD. Brewer MS.Traditional Preservatives-sodium Chloride [M]. Encylopedia of Food Microbiology New York: Academic Press, 2000: 1723-2728
- [28] 秦恩华,周毅峰,曾凡利,等.根霉发酵豆腐乳蛋白酶活性动态变化研究[J].食品工业科技,2006,27(11):101-102
QIN En-hua, ZHOU Yi-feng, ZENG Fan-li, et al. Dynamic changes of protease activity in fermented tofu by *Rhizopus*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2006, 27(11): 101-102
- [29] 马勇.腐乳生产过程中酶活力变化和理化性质的研究[D].北京:中国农业大学,2010
MA Yong. Changes of enzyme activity and physicochemical properties in sufu production [D]. Beijing: China Agricultural University, 2010
- [30] 林芳冻,蒋珍菊,廖珊.质构仪及其在食品品质评价中的应用综述[J].生命科学仪器,2009,7(5):61-63
LIN Fang-dong, JIANG Zhen-ju, LIAO Shan. The summary of texture analyzer and its application in the evaluation for food quality [J]. Life Science Instruments, 2009, 7(5): 61-63
- [31] 周荧,潘恩轶.腐乳发酵过程中化学组分与质构的变化[J].食品科学,2011,32(1):70-73
ZHOU Ying, PAN En-tie. Changes in chemical composition and texture sufu (fermented tofu) during processing [J]. Food Science, 2011, 32(1): 70-73

(下转第 244 页)

- carboxymethyl modified starch and its application in wallpaper adhesive [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2014
- [16] 陈建慧.糯小麦辛烯基琥珀酸淀粉酯的制备及其特性研究[D].郑州:河南工业大学,2010
CHEN Jian-hui. Preparation and characterization of waxy wheat octenyl succinate starch ester [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2010
- [17] 李英.辛烯基琥珀酸小麦淀粉酯的制备性质及应用研究[D].洛阳:河南科技大学,2011
LI Ying. Preparation properties and application of octenyl succinate wheat starch ester [D]. Luoyang: Henan University of Science and Technology, 2011
- [18] 李光磊,庞玲玲,李一卓,等.甘薯淀粉辛烯基琥珀酸酯物化性质的研究[J].现代食品科技,2014,30(2):37-41
LI Guang-lei, PANG Lin-lin, LI Yi-zhuo, et al. Study on physical and chemical properties of octenyl succinate in sweet potato starch [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(2): 37-41
- [19] 杨景峰,罗志刚,罗发兴.淀粉晶体结构研究进展[J].食品工业科技,2007,7:240-243
YANG Jing-feng, LUO Zhi-gang, LUO Fa-xing. Research progress of starch crystal structure [J]. Science and Technology of Food Industry, 2007, 7: 240-243
- [20] 莫芳,徐晓萍,陶晓奇,等.高静压对木薯淀粉理化特性及结构的影响[J].食品科学,2018,39(17):109-115
MO Fang, XU Xiao-ping, TAO Xiao-qi, et al. Effects of high static pressure on the physicochemical properties and structure of cassava starch [J]. Food Science, 2018, 39(17): 109-115
- [21] 史苗苗,李丹,闫溢哲,等.不同结晶结构淀粉的拉曼光谱分析[J].食品与发酵工业,2018,44(3):241-246
SHI Miao-miao, LI Dan, YAN Yi-zhe, et al. Raman spectrum analysis of starches with different crystal structures [J]. Food and Fermentation Industry, 2018, 44(3): 241-246
- [22] 张本山,张友全,杨连生,等.淀粉多晶体系结晶度测定方法研究[J].华南理工大学学报(自然科学版),2001,5:55-58
ZHANG Ben-shan, ZHANG You-quan, YANG Lian-sheng, et al. Study on the determination method of crystallinity of starch polycrystalline system [J]. Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition), 2001, 5: 55-58
- [23] 孔令晓.辛烯基琥珀酸淀粉酯的制备和应用[D].济南:山东轻工业学院,2010
KONG Ling-xiao. Preparation and application of starch octenyl succinate [D]. Jinan: Shandong Institute of Light Industry, 2010
- [24] 高凌云.西米淀粉醋酸酯及羟丙基衍生物的制备与特性研究[D].广州:华南理工大学,2011
GAO Ling-yun. Preparation and characteristics of sago starch acetate and hydroxypropyl derivatives [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2011
- [25] 白云霏,沈群,胡小松,等.非晶颗粒态交联木薯淀粉醋酸酯制备过程及性质的研究[J].食品工业科技,2012,33(16):122-127
BAI Yun-fei, SHEN Qun, HU Xiao-song, et al. Study on preparation process and properties of amorphous granular crosslinked tapioca starch acetate [J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(16): 122-127

(上接第 218 页)

- [32] 孔保华,李明清,夏秀芳.不同盐对鲤鱼肌原纤维蛋白结构和凝胶特性的影响[J].食品与发酵工业,2011,37(3):50-55
KONG Bao-hua, LI Ming-qing, XIA Xiu-fang. The influence of salts on the structural and gel properties of common carp (*Cyprinus carpio*) myofibrillar proteins [J]. Food and Fermentation Industry, 2011, 37(3): 50-55
- [33] 王欣欣,宋丽荣,王乐,等.不同冻结条件下罗非鱼片的质构条件分析[J].食品与机械,2012,28(1):206-207
WANG Xin-xin, SONG Li-rong, WANG Le, et al. Texture analysis of tilapia fillets under different frozen conditions [J]. Food and Machinery, 2012, 28(1): 206-207
- [34] 崔雁娜,王宏海.不同冻藏条件下养殖大鱼肉质构变化的研究[J].食品与发酵工业,2008,34(8):188-190
CUI Yan-na, WANG Hong-hai. Changes of textural properties of cultured pseudosciaena crocea muscle under different frozen storage conditions [J]. Food and Fermentation Industry, 2008, 34(8): 188-190