

即食罗非鱼粒的熟制、成型及其调味研究

叶韬^{1,2}, 王云², 林琳¹, 姜绍通¹, 陆剑锋¹

(1. 合肥工业大学生物与食品工程学院, 安徽合肥 230009) (2. 淮南师范学院生命科学系, 安徽淮南 232001)

摘要: 为了开发基于罗非鱼肉的深加工产品, 本试验以罗非鱼片为原料制备了即食鱼粒, 优化了即食鱼粒的几个关键加工工序(如鱼肉熟制和成型方法以及调味配方)。首先采用差示扫描量热法(DSC)测定鱼肉的热变性温度, 同时结合鱼片的传热曲线确立鱼片的熟制工艺; 随后采用不同粘结剂将鱼肉制备成型, 并分析比较鱼粒的质构和感官特性; 最后采用均匀设计试验法和模糊数学感官评价法优化鱼粒的最佳调味配方。得出鱼粒的最佳工艺为: 鱼片在 75 °C 水浴中预煮 10 min, 可达到熟制目的; 选择 1.0% 的黄原胶与 4.0% 的大豆蛋白作为罗非鱼粒的粘结成型剂; 加入 1.20% 食用盐、1.38% 味精、9.98% 白砂糖、1.14% 五香粉、0.10% 白酒和 0.10% 酱油混匀调味。研究表明, 采用优化配方制备的即食罗非鱼粒粘结成型效果好, 色泽诱人, 鱼肉香气浓郁, 软硬适中, 味道鲜美。

关键词: 罗非鱼; 即食鱼粒; 均匀设计; 模糊数学; 质构分析

文章编号: 1673-9078(2016)3-252-258

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.3.040

Study on Cooking, Molding, and Seasoning of Ready-to-eat Tilapia Tidbit

YE Tao^{1,2}, WANG Yun², LIN Lin¹, JIANG Shao-tong¹, LU Jian-feng¹

(1. College of Biotechnology and Food Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

(2. Department of Life Science, Huainan Normal University, Hefei 230009, China)

Abstract: To develop deep-processed products based on tilapia meat, ready-to-eat (RTE) fish tidbit was prepared with tilapia fillet as the raw material, and several key processing steps in the preparation of RTE fish tidbit were optimized. First, the fillet cooking method was determined based on the heat transfer curve of fish fillet and the thermal denaturation temperature of fish meat measured by differential scanning calorimetry (DSC). Subsequently, different binders were used to mold the fish meat, and its texture and sensory attributes were analyzed and compared. Lastly, the seasoning formula of RTE fish tidbit was optimized by uniform design experimentation and sensory evaluation based on the principle of fuzzy mathematics. The optimum pre-cooking time and temperature were 10 min and 75 °C, respectively, and the best formula of binding agents for the RTE fish was 1.0% xanthan gum, 4.0% soy protein isolates. The optimum contents of seasoning mixtures were 1.20% edible salt, 1.38% monosodium glutamate, 9.98% plantation white sugar, 1.14% Chinese five-spice powder, 0.10% Chinese liquor and 0.10% soy sauce. The RTE fish tidbit prepared using the optimized formula had a good textural characteristic, attractive color, strong fish-meat flavor, medium hardness and softness, and delicious taste.

Key words: tilapia; ready-to-eat fish tidbit; uniform design; fuzzy mathematics; texture profile analysis

我国是世界第一渔业大国, 淡水鱼养殖业发达, 但其产业化经营程度不高, 加工发展滞后, 加工总量不足 10%, 易受地域限制而影响其价格。此外, 加工技术低, 精深加工产品少, 以冷鲜, 罐头制品和腌制品为主, 高附加值产品少。因此, 进行水产品精深加工, 丰富产品种类, 提高加工品质是我国水产科研工作者的一个重要研究方向。

收稿日期: 2014-08-08

基金项目: 省部产学研结合重点项目(2012B091000121); 安徽省 115 产业创新团队计划(2012d5t146)

作者简介: 叶韬(1988-), 男, 硕士研究生, 研究方向为水产品加工及贮藏工程

通讯作者: 陆剑锋(1976-), 男, 博士, 教授, 研究方向为水产动物资源保护及综合利用研究

罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)是一种重要的淡水鱼品种。近年来, 我国罗非鱼养殖业发展迅速, 已成为世界上最大的罗非鱼养殖生产、出口和消费国家。目前, 罗非鱼的深加工产品主要有功能性鱼肉蛋白^[1]、熏制即食罗非鱼^[2]、即食调味罗非鱼片^[3]、发酵半干罗非鱼^[4]等。然而, 随着人们生活方式的转变, 即食休闲鱼粒食品正逐渐得到消费者的青睐而成为一种鱼肉精深加工的重要形式。如杨贤庆等^[5]以低值鱼或小杂鱼为主要原料, 淀粉、白糖、食盐、香辛料等为辅料, 经混合、熟化、压制成型得到粒状休闲产品, 并对鱼粒食品的加工工艺进行了初步的探讨; 郑海波等^[6]使用鲢鱼(*Hypophthalmichthys molitrix*)经腌制调味、蒸煮熟化得到鲢鱼粒, 通过正交试验设计优化得到最佳调味配方为砂糖 6.0%、食盐 3.0%、辣椒 2.0%、料

酒 3.0%、味精 1.0%和五香粉 2.0%；高翔^[7]以鳙鱼 (*Aristichthys nobilis*) 肉为原料，采用马铃薯淀粉、麦芽糊精和卡拉胶（添加量分别为 3.0%、3.0%和 1.5%）为粘结剂，以食盐、白砂糖、辣椒粉和五香粉（添加量分别为 3.0%、2.5%、1.0%和 0.5%）为调味料，通过蒸煮、混合调味料、成型和烘烤等工序制备得到鳙鱼鱼粒。但目前还没有学者对即食罗非鱼粒产品进行相关的研究。

将罗非鱼加工成即食鱼粒食品符合当代消费者的饮食观念，有助于提高罗非鱼的市场价值。鉴于此，本文以罗非鱼片为原料，先考察鱼肉的熟制工艺，再从阿拉伯胶、魔芋精粉、黄原胶、明胶以及卡拉胶中选取鱼肉粒的最佳粘结剂，并根据均匀设计试验原理，采用模糊数学法建立系统的感官评价方法，以感官评定得分为指标，探索即食罗非鱼粒最优的调味配方。本文旨在优化即食罗非鱼粒加工过程中的关键工序，为今后开发即食罗非鱼粒产品提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

罗非鱼片，取自广东明基水产品有限公司，于 -20 ℃ 中贮藏备用；食盐，味精，五香粉等调味料与香辛料购于合肥马鞍山路家乐福超市；阿拉伯胶、魔芋精粉、黄原胶、明胶和卡拉胶以及大豆分离蛋白，购于合肥美丰化工仪器有限公司，均为食品级。

1.2 仪器与设备

DK-20 超级循环水浴磁力搅拌 江苏金坛市文华仪器有限公司；TES-1310 数位温度表 泰仕电子工业股份有限公司（中国台湾）；Q-200 差示扫描量热仪（DSC）美国 TA 公司；DAE5-超微量分析天平 德国 SATORIES 公司；TA-XTPLUS 物性测试仪 英国 STABLE 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 鱼粒加工工艺

工艺流程：冻鱼片→解冻→洗净沥干→熟制→绞碎→加辅料搅拌→压制成型→干燥→回潮→切粒

操作要点：将冷冻罗非鱼片于 4 ℃ 环境中自然解冻，清水洗净后沥干，在水浴锅中进行煮制；将熟制的鱼肉绞碎后与辅料混合，放入成型器中压制成 10.0 cm×10.0 cm×1.4 cm 的鱼肉块；将鱼肉块干燥至指定含水量，回潮 1~2 h，最后切成 1.0 cm×1.0 cm×1.1 cm 的小粒。

1.3.2 鱼肉蛋白热变性温度的测定

称取罗非鱼肉 6~10 mg，置于铝制小坩埚中，盖上坩埚盖，置于压片机下压好密封。用差式量热扫描仪（DSC）分析蛋白变性温度，以空坩埚作为对照，N₂ 为保护气体其流量为 50 mL/min，温度扫描范围为：15~90 ℃，升温速率为 5 ℃/min。

1.3.3 鱼肉中心点升温曲线

将鱼片（4.0 cm×6.0 cm×2.0 cm）恒温到 4 ℃，取出放置于蒸煮袋中，并将温度计的探头插入鱼块几何中心，在 75 ℃ 的水浴中加热，间隔 10 s 记录温度读数。以时间为横轴，以中心温度为纵轴，绘制升温曲线。

1.3.4 鱼粒粘合剂的选择

分别添加阿拉伯胶、魔芋精粉、黄原胶、明胶和卡拉胶作为鱼肉粘结剂，添加量均为 1%（以鱼肉质量计），按照加工工艺制备鱼肉粒。从鱼粒成品的表面、切面、口感等方面进行感官评价，并用质构仪对其质构进行测试，分析比较不同食用胶的粘结效果。

1.3.5 鱼粒的质构测定

将鱼粒切成 1.2 cm×1.2 cm×1.0 cm 的小粒，用物性仪对不同食用胶成型的鱼粒进行质地剖面分析（TPA 模式），质构测试条件为：测量前探头下降速度为 2 mm/s；测试速度为 1 mm/s；测量后探头回程速度为 5 mm/s；下压变形为 30%；触发力为 5 g；探头类型为 P/36R，随机选取每组鱼粒中的 3 个进行测试，取实验所得数据的平均值。

1.3.6 鱼粒调味配方的工艺优化

1.3.6.1 鱼粒感官评价标准

选定 8 名感官评价员，在独立洁净环境中，参照感官评价标准（见表 1）对每组即食罗非鱼粒的色泽、香气和口味分别进行优、良、中、差的等级评定

1.3.6.2 模糊数学评价法对鱼粒进行感官评价

(1) 建立评判集

感官质量指标论域为 U ， $U=[u_1, u_2, u_3]=[色泽, 香气, 口味]$

感官评语论域为 V ， $V=[v_1, v_2, v_3, v_4]=[优, 良, 中, 差]=[90, 80, 70, 60]$

权重向量为 X ， $X=[x_1, x_2, x_3]$ 根据各项评价指标对鱼粒感官影响程度的不同，确定色泽，香气以及口味在鱼粒感官评价体系中各自所占权重，本试验采用强制决定法。

(2) 建立评判矩阵

对所有人的结果统计处理，对于每一个试验产品就可以得出一个模糊评价矩阵。以试验号 1 产品为例，1 号产品的评判矩阵如下：

$$R_j = \begin{vmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & r_{34} \end{vmatrix}$$

其中矩阵中第一行 r_{11} 、 r_{12} 、 r_{13} 和 r_{14} 分别表示 1

号产品色泽优、良、中、差的评定结果。同理，第二行和第三行分别表示香气、口味的评定结果。以此类推，每一个试验产品都可以写出一个评判矩阵。

表 1 罗非鱼粒调味感官评定标准

Table 1 Criteria for sensory evaluation of tilapia tidbit

等级	优	良	中	差
色泽	色泽呈红褐色，诱人食欲	色泽呈浅红褐色，可以接受	色泽呈淡黄色，能接受	色泽浅淡黄色，不易接受
香气	鱼香味与香辛料气味协调，香气优雅，易接受	鱼香味与香辛料气味比较协调，香气较好，可以接受	鱼香味与香辛料气味协调性一般，香气一般，能接受	鱼香味与香辛料气味不协调，香气差，不易接受。
口味	甜味，咸味和鲜味协调，味道鲜美，口味好	甜味，咸味和鲜味比较协调，味道较好	甜味，咸味和鲜味协调一般，味道普通	甜味，咸味和咸味不协调，口味差

(3) 确定隶属度集

用矩阵乘法计算样品的隶属度为 $Y=X R$ 。其中， Y 表示试验的综合评价结果， X 表示加权数集， R 表示评判矩阵。以试验号 1 为例，产品 1 的隶属度 $Y_1=(b_1、b_2、b_3、b_4)$ ，表示 1 号产品综合评价优、良、中、差所占的比例。产品 1 的感官评价得分 $M=90b_1+80b_2+70b_3+60b_4$ 。同理可得出各产品的最终感官评价价值。 M 值越大表示鱼粒综合感官评价越好^[8]。

1.3.6.3 即食鱼粒调味配方的均匀设计试验

根据预实验，确定将食盐、味精、白砂糖、五香粉、白酒以及酱油作为均匀设计试验中鱼粒基本调味配方的 6 个因素，各因素及其试验区域为食盐 0.9~1.8%、味精 0.6~1.4%、白砂糖 1.0~10%、五香粉 0.3~1.2%、白酒 0.1~1.0% 和酱油 0.6~1.5%，得到 $U_{10}^*(10^8)$ 均匀设计试验如表 2 所示。

表 2 均匀设计试验优化罗非鱼粒调味配方方案

Table 2 Scheme of uniform design experiment for optimizing tilapia tidbit seasoning

试验号	食盐 x_1 /%	味精 x_2 /%	白砂糖 x_3 /%	五香粉 x_4 /%	白酒 x_5 /%	酱油 x_6 /%
1	0.9(1)	0.6(2)	3(3)	0.7(5)	0.7(7)	1.0(10)
2	1.0(2)	0.8(4)	6(6)	1.2(10)	0.3(3)	0.9(9)
3	1.1(3)	1.0(6)	9(9)	0.6(4)	1.0(10)	0.8(8)
4	1.2(4)	1.2(8)	1(1)	1.1(9)	0.6(6)	0.7(7)
5	1.3(5)	1.4(10)	4(4)	0.5(3)	0.2(2)	0.6(6)
6	1.4(6)	0.5(1)	7(7)	1.0(8)	0.9(9)	0.5(5)
7	1.5(7)	0.7(3)	10(10)	0.4(2)	0.5(5)	0.4(4)
8	1.6(8)	0.9(5)	2(2)	0.9(7)	0.1(1)	0.3(3)
9	1.7(9)	1.1(7)	5(5)	0.3(1)	0.8(8)	0.2(2)
10	1.8(10)	1.3(9)	8(8)	0.8(6)	0.4(4)	0.1(1)

1.3.7 数据处理

采用 TA Universal Analysis 2000 热分析软件对罗非鱼肉的热变性温度进行分析；采用 SPSS 19.0 和 Excel 2003 软件对鱼粒质构特性数据进行处理和显著性分析， $p < 0.05$ 表示差异显著， $p > 0.05$ 表示差异不显著；采用 DPS 7.05 (Data Processing System) 数据处理软件对均匀试验数据结果进行分析。

2.1.1 鱼肉的差示扫描量热温度 (DSC)

罗非鱼肉蛋白质按其对于中性盐的溶解性，可以分为水溶性的肌浆蛋白质 (约占总蛋白的 30%)，盐溶性的肌原纤维蛋白 (约占总蛋白的 50%) 以及不溶性的肌基质蛋白 (约占总蛋白的 15%，主要为胶原蛋白) 组成^[9-11]。罗非鱼肉蒸煮过程中，热量破坏了维持蛋白质高级结构的化学键，如氢键、疏水键、离子键等，使其立体结构发生不可逆的变化。此时，蛋白质热变性凝固，形成具有立体网络结构的凝胶^[12]。图 1 为罗非鱼肉蛋白质的 DSC 扫描热分析曲线，它可以用来监测蛋白热变性的过程。该曲线含有三个热转变区域：

2 结果与讨论

2.1 罗非鱼肉的熟制

当温度为 44.98~48.25 °C 时,可能是肌原纤维中的肌球蛋白发生变性,其焓变点约为 49.51 °C;温度在 48.25~65.00 °C 时,可能是肌浆蛋白质和胶原蛋白产生变性,其焓变点约为 53.32 °C;温度在 70.50~78.00 °C 时,发生变性的可能是肌原纤维中的肌动蛋白,其焓变点约为 73.82 °C。因此,选取 75 °C 作为蒸煮温度,可使罗非鱼肉蛋白完全变性,达到熟制目的。且在此温度下维持一段时间,常见的食源性致病菌(如大肠杆菌,沙门氏菌等)均能被有效灭活,从而达到前期热加工的另一个目的。同时,这也符合美国、日本、欧盟等国家和地区对动物源性食品加热加工加热终点温度的规定^[13]。

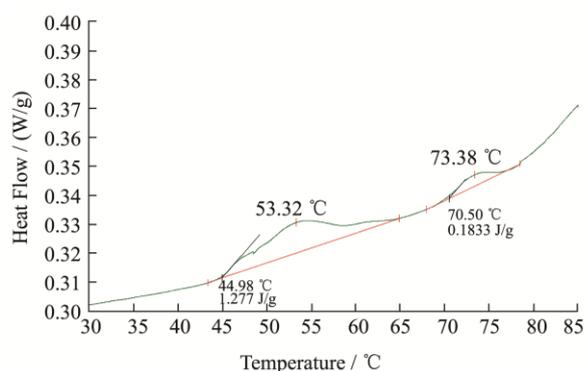


图 1 罗非鱼肉的热分析曲线图

Fig.1 DSC thermal analysis curve of tilapia meat

2.1.2 鱼肉的升温曲线

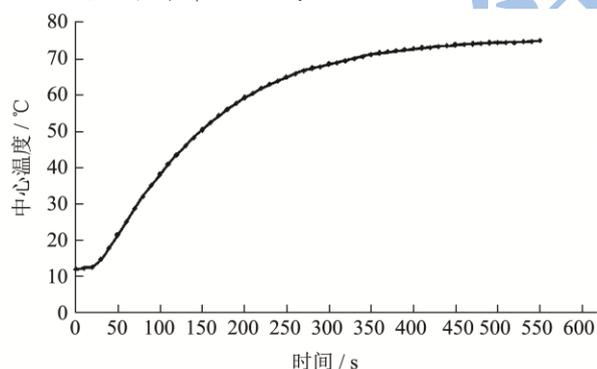


图 2 罗非鱼片在 75 °C 水浴加热过程中的传热曲线

Fig.2 Heat transfer curve of tilapia fillet cooked in water bath at 75 °C

当蒸煮温度为 75 °C 时,罗非鱼片中心温度随时间变化的传热曲线如图 2 所示。加热前期,热量从鱼片表面传递至中心点时大约需要 30 s,此时中心点温度变化较小,大约维持在 13 °C;待热量传递至中心点时,中心点温度开始上升,大约 450 s 后温度可达到 75 °C。传热的整个升温过程中升温速率都在不断下降直至平缓,这可能是由于鱼肉表面蛋白发生变性产生不溶的凝胶,从而阻碍热量的传递^[12]。蒸煮工艺是鱼粒加工过程中的重要步骤,它可使肌肉蛋白发生

变性,释放肉中的自由水和脂肪,降低肉的保水性。因此,蒸煮有利于后续肉粒成型和干燥工艺等的实施。前期的预实验证明,不进行预煮工艺而直接成型后熟化的肉粒成型性差,且不易干燥。由图 2 试验结果可知,在 75 °C 温度下预煮 600 s (或 10 min) 即可达到熟制效果,而该加热温度和时间较传统的沸水煮制也可以降低生产能耗,节约能源,从而降低生产成本。

2.2 罗非鱼粒的成型

传统的肉干是用牛肉等畜类肌肉经预煮、切丁(条、片)、调味、浸煮、收汤和干燥等工艺制成的干熟肉制品。但鱼肉的肌肉纤维较畜类的柔软,细短且肌纤维间存在较大的间隙,其肉质松软不易成型^[14]。然而,可以添加食用胶和大豆蛋白作为鱼肉粘结剂。食用胶的分子结构中含有强离子性基团能与蛋白中氨基酸极性部分发生反应,可以把水溶蛋白、盐溶蛋白以及后添加的其它蛋白更有效地结合在食用胶形成的凝胶体系中。同时,大豆蛋白部分相连的多肽能构成三维网络空间结构形成凝胶体,可以将蛋白溶胶基质固化成有一定机械强度的稳定结构,从而进一步提高鱼粒的咀嚼性、黏性、弹性和可塑性。因此,在鱼肉蛋白热变性后,加入食用胶体和大豆蛋白进行填充,可以将鱼肉粘结一起,进而促使鱼肉更好地成型。

本试验分别添加 1% 的阿拉伯胶、1% 的魔芋精粉、1% 的黄原胶、1% 的明胶以及 1% 的卡拉胶与 4% 的大豆蛋白进行组合试验。不同食用胶制得的罗非鱼粒的感官评定如表 3 所示。从感官评定方面,魔芋精粉成型效果最好,其次是黄原胶,明胶和卡拉胶的成型效果一般,而使用阿拉伯胶的鱼粒则不易成型。明胶和卡拉胶成型效果均较差,所得的鱼粒产品口感也较差(添加明胶的鱼粒咀嚼性差,添加卡拉胶的鱼粒有轻微的粉质感)。使用魔芋精粉作为粘结剂,肉粒的表面以及切面均平整,成型后结构紧密,且口感较好。而添加黄原胶的肉粒表面虽然有少许裂纹,但成型效果也可以接受,且其口感好于魔芋精粉,同时黄原胶原料的市场价格也远低于魔芋精粉。

不同食用胶制得的鱼粒质构分析结果如表 4 所示,添加黄原胶和魔芋精粉所得的鱼粒在硬度方面无显著差异 ($p > 0.05$),但明显大于明胶组和卡拉胶组 ($p < 0.05$);添加卡拉胶和明胶所得的鱼粒硬度相当无显著差异 ($p > 0.05$)。在弹性方面,黄原胶组的鱼粒弹性最佳,其次是魔芋精粉和卡拉胶,明胶组的弹性最差,黄原胶组与魔芋精粉组、卡拉胶组无显著差异 ($p > 0.05$),但明显优于明胶组 ($p < 0.05$)。同时,黄原胶组在鱼粒的内聚性、胶粘性、和咀嚼性方面最

好,其次是魔芋精粉组和卡拉胶组,最差的是明胶组,且各食用胶之间的差异显著 ($p < 0.05$)。因此,添加黄原胶的样品,其硬度、弹性以及内聚性等方面均优于其他添加组。添加魔芋精粉的样品,硬度和内聚性方面和黄原胶组相当,但其咀嚼性明显较差。而添加明胶和卡拉胶组,硬度低,质构松软,咀嚼性差,达不到肉粒所需的成型效果。而高翔^[7]在开发鳙鱼鱼粒时,采用 3.0% 马铃薯淀粉、3.0% 麦芽糊精以及 1.5% 卡拉胶为鱼肉粘结剂,所得产品也具有良好

的质构特性。但是以淀粉和麦芽糊精作为辅料,可能会影响鱼粒产品的口感。此外,本试验采用 1% 黄原胶和 4% 大豆蛋白为粘结剂,不仅减少了粘结剂的添加量,而且将辅料对鱼粒口感的影响降到最低。此外,与水化合物类(马铃薯淀粉和麦芽糊精)粘结剂相比,大豆蛋白作为鱼粒添加剂还能增加鱼粒的蛋白含量,进而可以大大提高鱼粒的营养价值,制备出更加符合鱼粒产品“高蛋白低热量”的特征。

表 3 不同食用胶制得的罗非鱼粒的质构感官评价

Table 3 Effect of different food gums on the texture and sensory attributes of tilapia tidbit

胶的种类	魔芋精粉	黄原胶	明胶	卡拉胶	阿拉伯胶
鱼粒表面	表明平整	表明有少许裂纹	表明不平整	表明较平整	-
鱼粒切面	切面平整	切面较平整	切面不平整,刀切易碎	切面较平整,有少许碎渣	-
粘结效果	易成型,结构紧密	能够成型,成型效果一般	能够成型,但结构松散	能够成型,成型效果差	不易成型
鱼粒口感	软硬适中,咀嚼性一般,口感好	软硬适中咀嚼性较好,口感较好	咀嚼性差,口感差	偏软,有轻微的粉质感,口感较差	-

表 4 不同食用胶制得的罗非鱼粒的质构分析 (TPA 模式) 结果

Table 4 Texture profile analysis (TPA model) results of tilapia tidbit prepared using different food gums

胶的类型	硬度/N	弹性/%	内聚性	胶粘性/N	咀嚼性/N
明胶	1759.76±94.54 ^a	0.64±0.05 ^a	0.41±0.02 ^d	745.59±22.18 ^a	482.03±11.61 ^a
黄原胶	5426.67±60.99 ^b	0.81±0.08 ^b	0.68±0.04 ^b	3675.25±57.60 ^b	3015.72±35.10 ^b
卡拉胶	1814.47±76.24 ^a	0.77±0.09 ^{ab}	0.59±0.05 ^c	1182.79±29.79 ^c	1190.88±20.09 ^c
魔芋精粉	5349.18±37.69 ^b	0.79±0.04 ^b	0.61±0.05 ^{bc}	3230.75±8.47 ^d	2558.95±27.40 ^d

注:表中数据为平均值±标准差,同列字母相同表示差异不显著 ($p > 0.05$),字母不同表示差异显著 ($p < 0.05$)。

表 5 罗非鱼粒感官评价实验统计结果

Table 5 Statistical data for the sensory evaluation of tilapia tidbit

序号	色泽				香气				口味			
	差	中	良	优	差	中	良	优	差	中	良	优
1	6/8	1/8	1/8	0	2/8	3/8	2/8	1/8	3/8	3/8	2/8	0
2	6/8	1/8	1/8	0	1/8	4/8	3/8	0	0	4/8	4/8	0
3	0	2/8	3/8	3/8	1/8	1/8	4/8	2/8	0	1/8	2/8	5/8
4	0	3/8	4/8	1/8	2/8	2/8	3/8	1/8	3/8	3/8	2/8	0
5	0	4/8	3/8	1/8	2/8	2/8	2/8	2/8	4/8	2/8	2/8	0
6	3/8	4/8	1/8	0	1/8	4/8	2/8	1/8	0	4/8	3/8	1/8
7	1/8	1/8	2/8	4/8	0	1/8	3/8	4/8	0	0	1/8	7/8
8	1/8	1/8	3/8	3/8	1/8	5/8	1/8	1/8	2/8	3/8	1/8	2/8
9	2/8	2/8	4/8	0	1/8	2/8	3/8	2/8	1/8	4/8	3/8	0
10	0	2/8	3/8	3/8	0	2/8	2/8	4/8	0	2/8	4/8	2/8

综上可知,添加黄原胶作为食用胶生产鱼粒,不仅成型效果良好,而且肉粒软硬适中有弹性,结构紧密且咀嚼性好,同时兼顾其原料价格优势,最终选取黄原胶(添加量为 1%,以鱼肉质量计)与大豆蛋白

(添加量为 4%,以鱼肉质量计)组合添加,作为肉粒的粘结剂。

2.3 罗非鱼粒调味配方的优化

2.3.1 权重的确定

根据色泽、香气、口味在鱼肉粒食品感官评价中的作用,采用强制决定法确定各质量因素的权重,分别为色泽(0.15)、香气(0.25)、口味(0.60),即 $X=(0.15, 0.25, 0.60)$ 。

2.3.2 鱼粒的模糊感官评价

将 8 个人的评分进行统计,即可得即食罗非鱼粒的评价结果,见表 5。数字分别表示产品在各指标论域中不同评语论域所占的比例。如试验号 1 的样品,色泽被认为差的占 6/8,中的占 1/8,良的占 1/8,没有人认为色泽是优。

2.3.3 模糊评定矩阵的确立

将表 5 中的结果列成矩阵,即可得到 8 位评定员对样品评价的所有信息。以试验号 1 的产品为例, $A_{\text{色泽}}=A_{11}=[0.75, 0.125, 0.125, 0]$, 75.0% 的评价员认为色泽为差, 12.5% 的评价员认为色泽为中, 12.5% 的评价员认为色泽为良, 没有评价员认为 1 号产品色泽为优。同理可得到 1 号试验品的香色、口味的单因素矩阵。 $A_{\text{香气}}=A_{12}=[0.25, 0.375, 0.25, 0.125]$, $A_{\text{口味}}=A_{13}=[0.375, 0.375, 0.25, 0]$ 。将上述同一产品的 3 个单因素矩阵结果写成一个评判关系矩阵,即:

$$R_1 = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & r_{34} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} \\ A_{12} \\ A_{13} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} 0.75 & 0.125 & 0.125 & 0 \\ 0.25 & 0.375 & 0.25 & 0.125 \\ 0.375 & 0.375 & 0.25 & 0 \end{pmatrix}$$

确定隶属度集 $Y=X \cdot R$, 如:

$$Y_1 = (x_1, x_2, x_3) \begin{bmatrix} A_{11} \\ A_{12} \\ A_{13} \end{bmatrix} = (0.15 \ 0.25 \ 0.6) \begin{pmatrix} 0.75 & 0.125 & 0.125 & 0 \\ 0.25 & 0.375 & 0.25 & 0.125 \\ 0.375 & 0.375 & 0.25 & 0 \end{pmatrix}$$

得出 $Y_1=(0.4000 \ 0.3375 \ 0.2313 \ 0.0313)$ 。 Y_1 就为试验号 1 的产品的综合评价评价结果,表示 1 号产品综合评分中,差、中、良、优的比例为 0.4000、0.3375、0.2313、0.0313。试验号 1 的产品的感官评价得分 $M_1=0.4 \times 60+0.3375 \times 70+0.2313 \times 80+0.0313 \times 90=68.94$,表示 1 号产品感官得分为 68.94。10 组试验综合评分及感官得分见表 6。

2.3.4 均匀试验结果与数据分析

由计算可知, $Y=(68.94, 72.69, 82.88, 71.31,$

70.69, 74.65, 86.31, 74.38, 73.75, 80.81) 即为 10 组实验的综合评价结果。使用 DPS7.05 (Data Processing System) 软件数据处理系统对实验结果进行回归分析。可知,线性回归方程和逐步回归方程经方差分析检验均无统计学意义 ($P>0.05$),做线性拟合不合理,因而对结果进行二次多项式逐步回归分析,并对模型进行显著性检验^[15],结果如表 7。

表 6 不同样品的综合评分及感官评价得分结果

Table 6 Comprehensive evaluation and sensory evaluation results of different samples

试验号	综合评分	感官得分
1	(0.4000 0.3375 0.2313 0.0313)	68.94
2	(0.1438 0.4438 0.4125 0)	72.69
3	(0.0312 0.1437 0.3312 0.4937)	82.88
4	(0.2875 0.3438 0.3188 0.050)	71.31
5	(0.3625 0.2875 0.2688 0.0813)	70.69
6	(0.0875 0.5000 0.3062 0.1063)	74.65
7	(0.0180 0.0500 0.2062 0.7250)	86.31
8	(0.2000 0.4000 0.1625 0.2375)	74.38
9	(0.1437 0.4000 0.3937 0.0625)	73.75
10	(0 0.2500 0.4188 0.3313)	80.81

表 7 用二次多项式逐步回归分析法处理的数据结果

Table 7 Results of the data processed by quadratic polynomial stepwise regression method

因素	偏相关	t-检验	显著水平 P
X_3	-0.99259	8.16844	0.01466
X_3^2	0.99995	98.66856	0.0001
X_6^2	-0.991	7.40336	0.01776
$X_1 * X_2$	-0.92948	2.51979	0.12796
$X_1 * X_3$	-0.99884	20.77683	0.00231
$X_1 * X_6$	-0.99915	24.21447	0.0017
$X_2 * X_3$	0.97351	4.25752	0.05099
$X_2 * X_5$	-0.98841	6.51235	0.02278

由 DPS 软件计算得回归方程:

$$Y=86.4228512-1.4393771749X_3+0.3945201330X_3^2-3.185019149X_6^2-1.1993762816X_1 \times X_2-1.3315591406X_1 \times X_3-11.004014597X_1 \times X_6+0.4836594327X_2 \times X_3-0.6788277512X_2 \times X_5$$

相关系数 $R=0.99985$, F 值 = 5847.775, 显著水平 $P=0.0101$, 剩余标准差 $S=0.07955$, 表明该方程能够很好地拟合辅料添加量对感官评价的影响。由各变量显著性检验 P 值可知对感官评分影响的大小为 $X_3^2 > X_1 \times X_6 > X_1 \times X_3 > X_3 > X_6^2 > X_2 \times X_5 > X_2 \times X_3 > X_1 \times X_2$ 。从回归结果可知,因素之间存在一定的交互作用。从回归方程得到最佳参数为:配料添加量为食盐 1.20%,味

精 1.38%，白砂糖 9.98%，五香粉 1.14%，白酒 0.10%，酱油 0.10%，此时综合得分可达 99.54。通过验证试验，在此优化条件下的感官评价得分为 94.58，相对误差仅为 4.98%。

与鲢鱼粒和鳙鱼粒相比，本试验优化所得调味配方中食盐的使用量为 1.20%，而鲢鱼粒为 3.00%^[6]，鳙鱼粒为 2.50%^[7]，因此，大大降低了食盐的使用量，这也符合现代休闲食品提倡的“低盐保健”开发理念。

3 结论

3.1 罗非鱼片（4.0 cm×6.0 cm×2.0 cm）的熟制工艺为在 75℃水浴中煮制 10 min，此时，鱼肉中的肌浆蛋白质，肌原纤维蛋白，肌基质蛋白均发生变性，达到熟制目的。

3.2 选取黄原胶（添加量为 1%，以鱼肉质量计）与大豆蛋白（添加量为 4%，以鱼肉质量计）作为罗非鱼粒的粘结剂，制得的鱼粒粘结成型效果较好，具有良好的硬度，弹性和咀嚼性，同时原料市场价格较低，适合工业化生产。

3.3 通过模糊数学评价法和均匀设计试验法优化得到罗非鱼粒调味配方：食盐 1.20%，味精 1.38%，白砂糖 9.98%，五香粉 1.14%，白酒 0.10%，酱油 0.10%，此时鱼粒感官评价结果最优。

参考文献

- [1] Yarnpakdee S, Benjakul S, Kristinsson H G, et al. Antioxidant and sensory properties of protein hydrolysate derived from Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by one-and two-step hydrolysis [J]. Journal of Food Science and Technology, 2014, DOI 10.1007/s13197-014-1394-7
- [2] 盛金凤.熏制即食罗非鱼产品的研究[D].南宁:广西大学, 2012
- [3] 颜威,王维民,林文思,等.栅栏技术优化即食调味罗非鱼片工艺的研究[J].农产品加工(学刊),2012,4:73-76
YAN Wei, WANG Wei-min, LIN Wen-si, et al. Optimization of hurdle technology in instant seasoning tilapia fillets [J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2012, 4: 73-76
- [4] 金君,武伦福,王沂东,等.乳酸菌发酵对半干罗非鱼挥发性成分的影响[J].暨南大学学报:自然科学与医学版,2011, 32(5):473-479
JIN Jun, WU Lun-fu, WANG Yi-dong, et al. Effects of fermentation by lactic acid bacteria on the volatile components of damp-dry tilapia [J]. Journal of Jinan University (Natural Science & Medicine Edition), 2011, 32(5):473-479
- [5] 杨贤庆,李来好.鱼粒休闲食品生产工艺的探讨[J].湛江海洋大学学报,2000,20(4):41-45
YANG Qing-xian, LI Lai-hao. Study on the technology for making grilled fish tidbit leisure food [J]. Journal of Zhanjiang Ocean University, 2000, 20(4): 41-45
- [6] 郑海波,张献领,马涛,等.鲢鱼粒调味工艺的正交试验优化研究[J].安徽科技学院学报,2012,26(2):44-47
ZHENG Hai-bo, ZHANG Xian-ling, MA Tao, et al. The flavoring processing technology optimization for silver carp tidbit based on orthogonal test [J]. Journal of Anhui Science and Technology University, 2012, 26(2):44-47
- [7] 高翔.鳙鱼鱼肉粒赋形剂及调味配方的研究[J].中国调味品,2013,38(10):117-121
GAO Xiang. Research on seasoning recipe and excipient of *Aristichthys nobilis* grains [J]. China Condiment, 2013, 38(10): 117-121
- [8] Lee S J, Kwon Y A. Study on fuzzy reasoning application for sensory evaluation of sausages [J]. Food control, 2007, 18(7): 811-816
- [9] Poulter R G, Ledward D A, Godber S, et al. Heat stability of fish muscle proteins [J]. International Journal of Food Science and Technology, 1985, 20(2): 203-217
- [10] Ae W P, Type C L. Scanning calorimetric behavior of tilapia myosin and actin due to processing of muscle and protein purification [J]. Journal of Food Science, 1989, 54(1): 49-51
- [11] Bertram H C, Wu Z, van den Berg F, et al. NMR relaxometry and differential scanning calorimetry during meat cooking [J]. Meat Science, 2006, 74(4): 684-689
- [12] 孙丽.金枪鱼肉在蒸煮过程中品质特性变化的研究[D].无锡:江南大学,2009
- [13] 毛毛.肉制品热处理终点温度检测方法研究[D].青岛:中国海洋大学,2010
- [14] 刘茹,尹涛,熊善柏,等.鱼肉和猪肉的微观结构与基本组成的比较研究[J].食品科学,2012,33(13):49-52
LIU Ru, YIN Tao, XIONG Shan-bai, et al. Comparative studies on microstructure and basic components of fish and pork [J]. Food Science, 2012, 33(13): 49-52
- [15] Wu J C, Cheng J, Shi X, et al. Preparation of ACE inhibitory peptides from *Mytilus coruscus* hydrolysate using uniform design [J]. BioMed Research International, 2013, 2013:1-6