

响应面法优化高膳食纤维鱼丸加工的制作工艺

林倩¹, 泮丽冰¹, 刘学¹, 刘建朝², 董婧琪¹, 邵娟娟^{1*}

(1.河北农业大学 理工学院, 河北 沧州 061100; 2.唐山市水产技术推广站, 河北 唐山 063000)

摘要: 该试验以罗非鱼糜为原料, 通过添加圆苞车前子壳、魔芋胶、淀粉等辅料, 制成高膳食纤维含量的罗非鱼鱼丸产品, 以鱼丸的感官评分和凝胶强度为指标, 通过响应面法优化圆苞车前子壳、淀粉和魔芋胶的添加量, 确定鱼丸的最佳配方。试验结果表明, 鱼丸淀粉添加量 6.290%、圆苞车前子壳添加量 3.030%、魔芋胶添加量 0.090% 时, 其感官评分和凝胶强度的综合考察结果最优, 感官评分为 93, 凝胶强度为 439.609 g·cm。该工艺制得的高膳食纤维罗非鱼丸色泽洁白晶莹, 口感细腻柔软、有弹性。

关键词: 罗非鱼; 圆苞车前子壳; 凝胶强度; 感官评分; 响应面分析法

Optimization of the Fabrication of Fish Ball Products with High Dietary Fiber Content via Response Surface Methods

LIN Qian¹, PAN Li-bing¹, LIU Xue¹, LIU Jian-chao², DONG Jing-qi¹, SHAO Juan-juan^{1*}

(1.College of Science & Technology, Hebei Agricultural University, Cangzhou 061100, Hebei, China;

2.Tangshan Aquatic Product Technology Promotion Station, Tangshan 063000, Hebei, China)

Abstract: Tilapia surimi was used as the raw material to make tilapia fish ball products with high dietary fiber content. Different auxiliary materials were used, including cornstarch, bract plantain seed shell and konjac gum. Based on the sensory score and gel strength, the amount of cornstarch and konjac gum were optimized via response surface methods to determine the optimal formula of the fish ball products. The results showed that when the fish ball products contained 6.290% starch, 3.030% bract plantain seed shell powder, and 0.090% konjac gum, their sensory score, and gel strength were the best; the sensory score was 93 and the gel strength was 439.609 g·cm. Of note, the high dietary fiber tilapia fish balls prepared via this technology were white and crystal clear, delicate, soft, and elastic in taste.

Key words: tilapia; bract plantain seed shell; gel strength; sensory scores; response surface analysis

引文格式:

林倩, 泮丽冰, 刘学, 等. 响应面法优化高膳食纤维鱼丸加工的制作工艺 [J]. 食品研究与开发, 2021, 42(9): 82-89.

LIN Qian, PAN Libing, LIU Xue, et al. Optimization of the Fabrication of Fish Ball Products with High Dietary Fiber Content via Response Surface Methods[J]. Food Research and Development, 2021, 42(9): 82-89.

圆苞车前子壳属于车前科车前属圆苞车前种子的外壳, 经碾磨后制得。2014年5月, 国家卫计委批准

圆苞车前子壳可以作为新食品原料添加到食品中^[1]。圆苞车前子壳富含的膳食纤维高达 80% 以上, 富含胶质, 其它营养成分主要包括葡萄糖甙、蛋白质、多糖、维生素 B₁ 和胆碱。其中圆苞车前子壳含有水溶性膳食纤维高达 56%, 强吸水性和膨胀性, 遇水会膨胀形成数十倍的凝胶团, 可增加消费者的饱腹感, 从而达到降低热量摄取、控制体重的目的。药理研究表明圆苞车

基金项目: 河北省现代农业产业技术体系淡水养殖创新团队建设基金项目 (HBCT2018180206)

作者简介: 林倩 (1998—), 女 (汉), 本科在读, 食品加工专业。

* 通信作者: 邵娟娟 (1984—), 女 (汉), 讲师, 硕士, 研究方向: 水产品

加工 ©1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

前子壳具有润肠通便、预防肠胃疾病、降低血脂、增加肠道蠕动、促进肠道益生菌生长的保健功效。圆苞车前子的高膳食纤维性,使它可以用于便秘、肠胃不适、腹泻、高胆固醇、肥胖等特殊人群食用。

罗非鱼味道鲜美,含有丰富蛋白质、氨基酸^[2]以及钙、磷、铁、锌等多种矿物元素,是高品质、低脂肪的优质蛋白源^[3],符合现代消费者的消费观^[4]。并且罗非鱼对环境的适应能力强,生长速度快,饲养成本低,是鱼糜制品的良好原料。丰富罗非鱼制品是当今研究热点。鱼丸制品是具有发展前途的水产制品,鱼丸制品携带运输方便,贮藏时间长,因而深受广大消费者的喜爱,消费量大。将圆苞车前子壳加入到罗非鱼肉糜中,不仅可以增加圆苞车前子壳的利用方式,而且可以进一步丰富罗非鱼肉糜鱼丸的营养成分、增加罗非鱼肉糜制品鱼膳食纤维的营养保健功能。

该试验以罗非鱼、圆苞车前子壳为原料,添加魔芋胶、淀粉、添加剂等辅料,采用响应面法优化制作工艺,制得风味好、口感佳的高膳食纤维含量的罗非鱼鱼丸产品,为高膳食纤维鱼丸新产品的开发提供理论研究和技

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

罗非鱼:河北省沧州市黄骅市信誉楼超市;圆苞车前子壳:陕西点开生物科技有限公司,无需进行预处理;食盐、料酒、白砂糖、姜粉、鸡精、五香粉:黄骅市信誉楼超市;魔芋粉(食品级):河南万邦实业有限公司。

S2-A818型绞肉机:九阳股份有限公司;DH-600AB型电热恒温水浴锅:北京中兴伟业仪器有限公司;FA2004型电子分析天平:上海衡平仪器仪表厂;TMS-PRO型质构分析仪:美国FTC公司;WSC-2B型精密色差仪:上海仪电物理光学仪器有限公司;SC-04型低速离心机:安徽中科中佳科学仪器有限公司;DH50型擂溃机:肇庆市鼎湖双辉机械有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 圆苞车前子壳罗非鱼丸的工艺流程

参考冷冻鱼糜国家标准^[5]和沈秋霞等^[6]的试验研究确定鱼丸的工艺流程:漂洗→预处理→搅碎→精滤→擂溃→混料→成型→冷却、冷冻→成品。

1.2.2 操作要点

1) 预处理:将洗净的罗非鱼去鳞去皮,清除内脏、腮、腥线、鱼骨,再将鱼清洗干净,避免有内脏、血液、黑膜残余。

2) 搅碎:将洗净的罗非鱼用绞肉机搅碎成鱼糜状

3) 精滤:去除鱼肉中细小骨刺、反结缔组织、黏膜等物质。

4) 擂溃:将鱼糜用擂溃机进行擂溃,通过搅拌和研磨作用破坏鱼肉的肌原纤维蛋白,锁住水分,使鱼糜具有一定黏性,提高凝胶特性^[7]。

5) 混料:将食盐、料酒、白砂糖、姜粉、鸡精、五香粉,加适量水调制均匀得调制液,称取定量的擂溃好的鱼糜,然后将调制液、圆苞车前子壳、魔芋粉胶状水溶液(以下简称“魔芋胶”)加入到鱼糜中,充分搅拌均匀。

6) 成型:对混料均匀的鱼糜进行适量揉搓,排除内部空气,然后制成鱼丸形状,过程中应注意不让空气进入鱼糜中。

1.2.3 单因素试验设计

按照1.2.1中的工艺流程进行鱼丸制作,鱼丸的基本配方为:淀粉6.250%、食盐3.000%、蛋清2.000%、圆苞车前子壳1.250%、料酒0.200%、白砂糖2.500%、姜粉0.200%、五香粉0.200%、魔芋胶0.100%。在基本配方的基础上,以感官评分为指标,以圆苞车前子壳、淀粉和魔芋胶添加量为考察因素进行单因素试验,优化3个因素的添加量,判定其对鱼丸品质的影响。

1.2.3.1 圆苞车前子壳的添加量对鱼丸品质的影响

在基本配方不变的条件下,分别添加1.500%、2.000%、2.500%、3.000%、3.500%的圆苞车前子壳,考察其对鱼丸品质的影响。

1.2.3.2 淀粉的添加量对鱼丸品质的影响

在基本配方不变的条件下,分别添加5.000%、6.250%、7.500%、8.250%、10.000%的淀粉,考察其对鱼丸品质的影响。

1.2.3.3 魔芋胶的添加量对鱼丸品质的影响

在基本配方不变的条件下,分别添加0.025%、0.050%、0.075%、0.100%、0.125%的魔芋胶,考察其对鱼丸品质的影响。

1.2.4 鱼丸制作工艺响应面优化试验设计

根据Box-Behnken试验设计原理,在单因素试验的基础上,选取淀粉添加量、圆苞车前子壳添加量、魔芋胶添加量的3个较佳因素水平,以感官评分为响应值,进行三因素三水平的响应面分析,响应面试验因素与水平设计见表1。

表1 响应面试验因素水平表

Table 1 Response surface test factor level table

水平	因素		
	淀粉添加量/%	圆苞车前子壳添加量/%	魔芋胶添加量/%
-1	5.000	2.500	0.075
0	6.250	3.000	0.100
1	7.500	3.500	0.125

1.2.5 凝胶强度测定

参考冷冻鱼糜的食品安全国家标准和王艳霞等^[8]的研究,将鱼丸切成 25 mm×25 mm,用 TMS-PRO 型质构仪测定其凝胶强度,球形探头(Φ5 mm)的测试速度为 30 mm/min,穿刺距离为 20 mm,穿刺曲线上的最高峰值为破断力,其位移值为破断距离,连续检测 5 个平行样,去掉最高值和最低值,计算其余数据的平均值。鱼丸的凝胶强度的计算公式为式(1)。

$$\text{凝胶强度}/(\text{g}\cdot\text{cm}) = Q \times L \quad \text{式(1)}$$

式中:Q 为破断力,g;L 为破断距离,cm。

1.2.6 白度测定

借鉴付强^[9]的方法,稍加变动,测定白度。按配方制作 5 cm×5 cm×2 cm 大小的鱼丸,在室温(25℃)下用 WSC-2B 型色差仪测定鱼丸色度,用标准白板对仪器进行校对,每组取 4 个平行样,每样做 6 个平行,测量并记录 L^* 、 a^* 、 b^* 值。鱼丸白度的计算公式为式(2)。

$$\text{白度 } W = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}} \quad \text{式(2)}$$

式中: L^* 为鱼丸亮度; a^* 为红值; b^* 为黄值。

1.2.7 持水率测定

参照崔旭海等^[10]方法,测定鱼丸的失水率,以此表明鱼丸持水率的大小。将鱼丸切成 5 mm 薄片并称重(W_1),放置于 3 张滤纸上,上面放 2 张滤纸,用 5 kg 重的铁块进行压制,维持 15 min,取出压制后的鱼丸进行称重(W_2),做 3 组平行试验,取平均值。鱼丸持水率的计算公式为式(3)。

$$\text{持水率}/\% = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad \text{式(3)}$$

式中: W_1 为 5 mm 鱼丸薄片质量,g; W_2 为压制后的 5 mm 鱼丸薄片质量,g。

1.2.8 感官评分的测定

随机选取 10 人组成的感官评定小组,采用百分制评分标准,参考冷冻鱼糜的食品安全国家标准,依照表 2 的感官评价标准从色泽、气味、滋味、组织状态、口感、杂质五方面进行感官评定,取平均值为最终的感官评分值。感官评分标准见表 2。

表 2 感官评价标准

Table 2 Sensory evaluation criteria

项目	分值	要求
色泽	20	色泽洁白、晶莹,有光泽
气味	20	鱼肉香气浓郁
滋味	20	有鱼肉特有的鲜味,滋味可口
组织状态	20	鱼丸内部紧实,无大气孔,有分布均匀的小气孔
口感	20	口感细腻、柔软,有弹性

1.3 数据分析

数据分析过程中采用 Origin8 软件和 Excel 2010 对试验数据进行整理与绘图,采用 Design-Expert 8.0.6 统计软件进行响应面优化分析。

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果

2.1.1 圆苞车前子壳添加量对高膳食纤维鱼丸的影响
鱼糜制品的凝胶强度是评价鱼糜制品质量的重要指标^[11]。圆苞车前子壳添加量对高膳食纤维鱼丸感官评分及凝胶强度的影响见图 1。

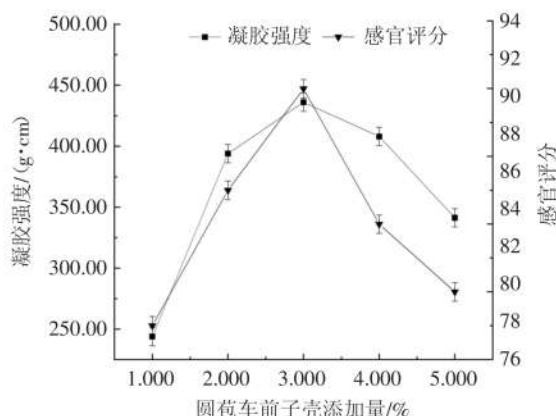


图 1 圆苞车前子壳添加量对高膳食纤维鱼丸感官评价及凝胶强度的影响

Fig. 1 Effect of the addition of bract plantain seed shell on sensory evaluation and gelation of high dietary fiber tilapia balls

由图 1 可以看出,圆苞车前子壳的添加量对感官评分影响在 1.000%~3.000% 时呈上升趋势,在 3.000%~5.000% 时呈下降趋势,是因为圆苞车前子壳添加量过多时,分布不均匀,鱼丸品尝时有颗粒感。圆苞车前子壳的添加量对凝胶强度影响在 1.000%~3.000% 时呈上升趋势,曲楠等^[12]的研究表明,在鱼糜加工时,加入膳食纤维,能增强鱼糜制品的凝胶强度。在其添加量范围在 3.000%~5.000% 时呈下降趋势,可能是因为圆苞车前子壳纤维贯穿并破坏鱼糜凝胶的网络结构^[13]。

白度是鱼糜制品的一个重要感官指标。圆苞车前子壳添加量对高膳食纤维鱼丸白度及持水率的影响见图 2。

由图 2 可以看出,随着圆苞车前子壳添加量的增加,高膳食纤维鱼丸的持水率呈上升趋势,而其白度几乎没有变化。杨玲芝等^[14]的研究表明,膳食纤维添加量对白度没有太大影响。鱼丸持水率过高不利于其储藏期稳定性。

2.1.2 淀粉添加量对高膳食纤维鱼丸的影响

淀粉是鱼糜制品中常用的增稠剂和赋形剂^[15],可

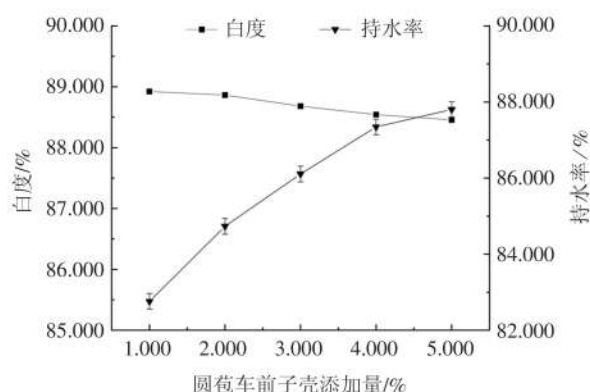


图2 圆苞车前子壳添加量对高膳食纤维鱼丸白度及持水率的影响

Fig. 2 Effect of the addition of bract plantain seed shell on the whiteness and water holding rate of tilapia balls with high dietary fiber fiber

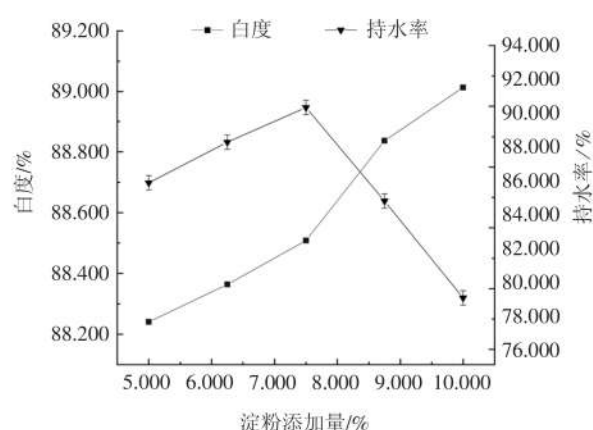


图4 淀粉添加量对高膳食纤维鱼丸白度及持水率的影响

Fig. 4 Effect of starch content on whiteness and water holding rate of high dietary fiber tilapia balls

以作为辅料填充到鱼糜制品^[15]。淀粉添加量对高膳食纤维鱼丸感官评分及凝胶强度的影响见图3。

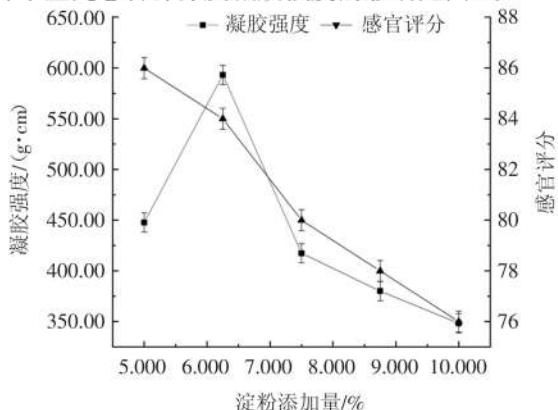


图3 淀粉添加量对高膳食纤维鱼丸感官评价及凝胶强度的影响

Fig. 3 Effect of starch content on sensory evaluation and gelation of high dietary fiber tilapia balls

由图3所示,感官评分随着淀粉添加量的增加呈下降趋势,淀粉添加量过多,影响高膳食纤维鱼丸口感。淀粉的添加量在5.000%~6.250%时对凝胶强度影响处于上升趋势,在6.250%~10.000%处于下降趋势。淀粉添加量少时,淀粉颗粒填充在鱼糜肌原纤维蛋白交联形成的三维网状结构空隙中,使凝胶网状结构致密,并且淀粉可以结合鱼糜网状结构中的自由水,提高鱼糜的持水能力^[16-17]。然而淀粉添加量过多时,可能是由于在凝胶升温的过程中,淀粉交联程度过于剧烈,淀粉吸水溶胀,空间占据率大,影响了鱼糜肌原纤维蛋白分子间的相互作用,使肌原纤维蛋白变性不完全,导致高膳食纤维鱼丸的凝胶强度下降^[18]。Zhang等^[19]的研究也表明,淀粉添加量过多时,会降低鱼丸的凝胶强度。淀粉添加量对高膳食纤维鱼丸白度及持水率的影响见图4。

由图4所示,随着淀粉添加量的增加高膳食纤维鱼丸的白度呈上升趋势。淀粉添加量在5.000%~7.500%范围内持水率呈上升趋势,在7.500%~10.000%呈下降趋势。这与周阳等的结论相同^[18]。初步选定淀粉的添加量为5.000%、6.250%、7.500%。

2.1.3 魔芋胶添加量对高膳食纤维鱼丸的影响

魔芋胶添加量对高膳食纤维鱼丸感官评分及凝胶强度的影响见图5。

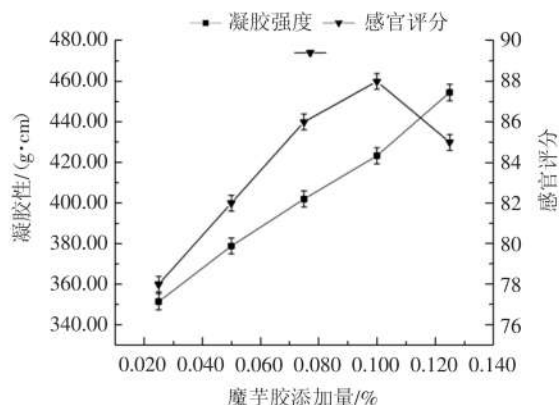


图5 魔芋胶添加量对高膳食纤维鱼丸感官评价及凝胶强度的影响

Fig. 5 Effect of konjac gum addition on sensory evaluation and gelation of high dietary fiber tilapia balls

由图5可以看出,随着魔芋胶添加量的增加高膳食纤维鱼丸的凝胶强度呈上升趋势。魔芋胶能使鱼糜制品肌原纤维蛋白凝胶强度形成均匀、致密的三维凝胶网络结构^[17],从而提高高膳食纤维鱼丸的凝胶强度^[20]。魔芋胶的添加量对感官评价的影响在0.025%~0.100%时处于上升趋势,0.100%~0.125%处于下降趋势。在添加量0.100%以后,随着魔芋胶添加量的添加,高膳食纤维鱼丸的白度下降,颜色变暗黄,感官评价呈下降趋势。初步选定魔芋胶的添加量为0.075%、

0.100%、0.125%。

魔芋胶具有良好的吸水性^[21]。魔芋胶添加量对高膳食纤维鱼丸白度及持水率的影响见图6。

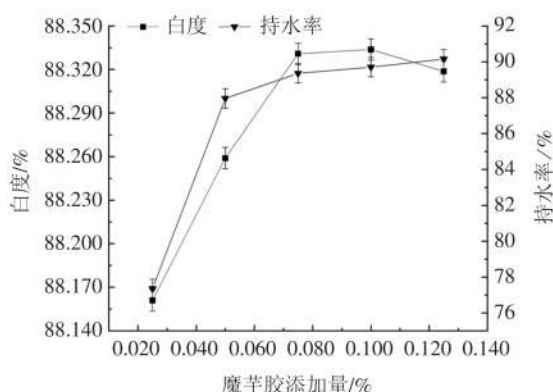


图6 魔芋胶添加量对高膳食纤维鱼丸白度及持水率的影响

Fig. 6 Effect of konjac gum addition on whiteness and water holding rate of tilapia balls with high dietary fiber fiber

由图6可以看出,随着魔芋胶添加量的增加,持水率呈上升趋势。魔芋胶添加量在0.025%~0.100%范围内,高膳食纤维鱼丸的白度呈上升趋势,添加量在0.1000%~0.125%范围内,高膳食纤维鱼丸的白度略有下降。这与Xiong等的研究结果相同^[22]。初步选定魔芋胶的添加量为0.075%、0.100%、0.125%。

2.2 响应面试验结果

2.2.1 响应面结果分析

利用Design Expert 8.0.6软件对选取的3个因素进行响应面分析,响应面试验结果如表3所示。

表3 响应面试验设计与结果

Table 3 Response surface experiment design and results

试验号	A 淀粉添加量/%	B 圆苞车前子壳添加量/%	C 魔芋胶添加量/%	感官评分	凝胶强度/(g·cm)
1	7.500	3.000	0.125	85	194.943
2	7.500	2.500	0.100	87	364.943
3	6.250	3.500	0.125	85	322.819
4	5.000	3.000	0.125	87	444.664
5	7.500	3.500	0.100	86	354.555
6	5.000	3.000	0.075	86	206.381
7	7.500	3.000	0.075	89	461.653
8	5.000	2.500	0.100	85	363.478
9	6.250	3.000	0.100	93	491.287
10	6.250	3.000	0.100	93	490.850
11	6.250	3.500	0.075	87	391.869
12	6.250	2.500	0.075	85	346.747
13	6.250	2.500	0.125	85	381.820
14	6.250	3.000	0.100	93	498.477
15	5.000	3.500	0.100	88	357.171
16	6.250	3.000	0.100	94	491.818
17	6.250	3.000	0.100	92	490.659

试验数据进行二次多项式回归拟合,得到感官评分(Y)与凝胶强度(Y')对淀粉添加量(A)、圆苞车前子壳添加量(B)、魔芋胶添加量(C)的回归模型方程: $Y = +93 + 0.12A + 0.05B - 0.63C - 1.00AB - 1.25AC - 0.05BC - 2.62A^2 - 3.87B^2 - 3.63C^2$; $Y' = +492.61 + 0.55A + 0.55B - 7.80C - 1.02AB - 126.25AC - 26.03BC - 83.24A^2 - 49.34B^2 - 82.46C^2$ 。

回归模型方差分析(感官评分)见表4。

表4 回归模型方差分析(感官评分)

Table 4 Regression model variance analysis

来源	平方和	自由度	均方	F值	p值	显著性
模型	180.81	9	20.9	62.5	<0.000 1	极显著
A	0.12	1	0.12	0.39	0.552 7	不显著
B	2.00	1	2.00	6.22	0.041 3	较显著
C	3.12	1	3.12	9.72	0.016 9	较显著
AB	4.00	1	4.00	12.44	0.009 6	极显著
AC	6.25	1	6.25	19.44	0.003 1	极显著
BC	1.00	1	1.00	3.11	0.121 1	不显著
A ²	29.01	1	29.01	90.26	<0.000 1	极显著
B ²	63.22	1	63.22	196.70	<0.000 1	极显著
C ²	55.33	1	55.33	172.13	<0.000 1	极显著
剩余	2.25	7	0.32			
失拟项	0.25	3	0.083	0.17	0.091 36	不显著
误差	2.00	4	0.50			
总和	183.06	16				

注: $p < 0.01$ 表示极显著, $p < 0.05$ 表示较显著, $p > 0.05$ 表示不显著。

根据表4模型分析可知,二次回归模型的 $F = 62.50$, $p < 0.000 1$,表明该模型达到极显著水平;失拟项是模型中数据的变异,失拟项 $p = 0.091 36$, $p > 0.05$,说明失拟项差异不显著,能充分反映实际情况,回归模型是适合的;试验模型的决定系数 $R^2 = 0.961 1$,说明高膳食纤维鱼丸的加工工艺与模型预测结果有着良好的一致性,试验误差较小,试验模型的校正系数 $R^2_{Adj} = 0.971 9$,这也验证了该模型的可靠。通过回归方程与方差分析可以了解到模型一次项中魔芋胶添加量与圆苞车前子壳添加量对感官评分影响较显著,淀粉添加量对感官评分的影响不显著,交互项中AB、AC对结果的影响极显著,BC对试验结果的影响不显著,二次项中 A^2 、 B^2 与 C^2 对试验结果影响极显著,由此可知试验中设计的各因素对感官评分影响的顺序为:魔芋胶添加量(C) > 圆苞车前子壳添加量(B) > 淀粉添加量(A)。

回归模型方差分析表(凝胶强度)见表5。

根据表5模型分析可知,二次回归模型的 $F = 2 049.68$, $p < 0.000 1$,表明该模型达到极显著水平;失拟项是模型中数据的变异,失拟项 $p = 0.813$, $p > 0.05$,说明失拟项差异不显著,能充分反映实际情况,回归模

表5 回归模型方差分析(凝胶强度)

Table 5 Regression model variance analysis

来源	平方和	自由度	均方	F值	p值	显著性
模型	142 206.23	9	15 845.61	2 049.68	<0.000 1	极显著
A	2.42	1	2.42	0.31	0.593 3	不显著
B	116.89	1	116.89	15.12	0.006 0	极显著
C	486.72	1	486.72	62.96	<0.000 1	极显著
AB	4.18	1	4.18	0.54	0.000 9	极显著
AC	63 753.73	1	63 753.73	8 246.75	0.485 9	不显著
BC	2 710.76	1	2 710.76	350.65	<0.000 1	极显著
A ²	29 034.11	1	29 174.13	3 773.77	<0.000 1	极显著
B ²	10 167.22	1	10 250.15	1 325.89	<0.000 1	极显著
C ²	28 494.69	1	28 633.41	3 703.82	<0.000 1	极显著
剩余	33.88	7	7.73			
失拟项	10.43	3	3.48	0.32	0.813	不显著
误差	23.46	4	10.92			
总和	142240.12	16				

注: $p < 0.01$ 表示极显著, $p < 0.05$ 表示较显著, $p > 0.05$ 表示不显著。

型是适合的;试验模型的确定系数 $R^2 = 0.998 4$, 说明高膳食纤维鱼丸的加工工艺与模型预测结果有着良好的一致性, 试验误差较小, 试验模型的校正系数 $R^2_{Adj} = 0.999 1$, 这也验证了该模型的可靠。通过对回归方程与方差分析可以了解到模型一次项中魔芋胶添加量与圆苞车前子壳添加量对鱼丸凝胶强度的测定结果影响极显著, 淀粉添加量的影响不显著, 交互项中 AB、BC 对结果的影响极显著, AC 对试验结果的影响不显著, 二次项中 A²、B² 与 C² 对试验结果影响极显著。由此可知该试验中设计的各因素对凝胶强度影响的主次顺序为魔芋胶添加量(C) > 圆苞车前子壳添加量(B) > 淀粉添加量(A)。

2.2.2 响应面中交互作用及优化

多元二次回归模型所作的响应面图是通过 Box-Behnken 原理设计试验得到的, 响应面图形反映的是各个因素之间的相互关系以及相互作用程度。固定其他因素, 考察交互项对高膳食纤维鱼丸感官评分与凝胶强度的影响, 响应面分析图可用于评价该试验中设计的试验因素对鱼丸感官评分与凝胶强度影响的两两交互作用。由于在交互项中淀粉的添加量(A)和圆苞车前子壳(B)的交互作用对高膳食纤维鱼丸感官评分与凝胶强度的影响均显著, 用 Design-Expert 8.0.6 软件绘出了相应的响应面图。淀粉的添加量(A)和圆苞车前子壳(B)的交互作用对响应值的影响如图 7、图 8 所示。

响应面坡度越陡峭, 说明改变试验条件对响应值的影响越显著, 该因素对鱼丸的影响越大; 反之则表明该因素对鱼丸的影响越不显著。

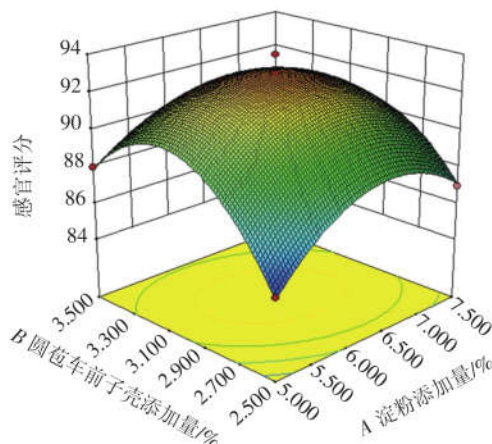


图7 淀粉添加量与圆苞车前子壳交互作用对鱼丸感官评分的影响

Fig. 7 Effect of the interaction of starch addition and bract plantain seed shell on sensory score of fish balls

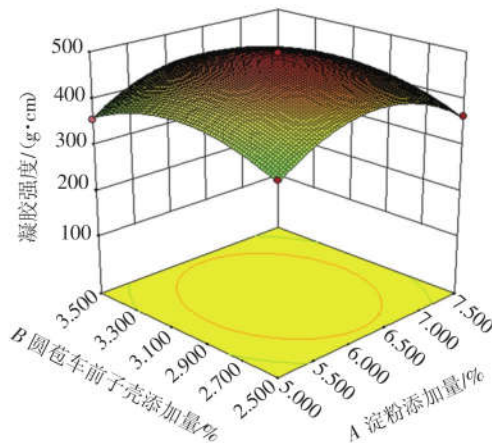


图8 淀粉添加量与圆苞车前子壳交互作用对鱼丸凝胶强度的影响

Fig. 8 Effect of the interaction between the amount of starch added and bract plantain seed shell on the gel strength of fish balls

2.2.3 验证试验

以感官评分为指标得到的最优工艺参数 1 为: 淀粉添加量 6.290%、圆苞车前子壳添加量 3.030%、魔芋胶添加量 0.090%。以凝胶强度为指标得到的最优工艺参数 2 为: 淀粉添加量 7.500%、圆苞车前子壳添加量 3.020%、魔芋胶添加量 0.100%。对工艺参数 1 和工艺参数 2 进行 3 次平行验证试验, 结果如表 6 所示。

表6 验证试验结果

Table 6 Verification test results

工艺参数	淀粉添加量/%	圆苞车前子壳添加量/%	魔芋胶添加量/%	感官评分	凝胶强度/(g·cm)
工艺参数 1	6.290	3.030	0.090	93	439.609
工艺参数 2	7.500	3.020	0.100	91	471.818

由表 6 可看出, 工艺参数 1 的感官评分比工艺参数 2 高, 凝胶强度比工艺参数 2 低, 与软件给出预测值较吻合。由于感官评分更加综合体现鱼丸的品质, 确定工艺参数 1 作为最优工艺参数。

3 结论

通过单因素试验,确定圆苞车前子壳添加量、淀粉添加量、魔芋胶添加量在单一因素变化的情况下的最优值。以单因素试验的结果为基础,用响应面法对高膳食纤维鱼丸制作工艺进行优化,建立圆苞车前子壳添加量、淀粉添加量、魔芋胶添加量对感官评分及凝胶强度的二次回归方程模型,经验证,该数学模型可靠,可用于高膳食纤维鱼丸最优工艺参数的预测。参照响应面分析得到的结果,获得的最佳配方参数为:淀粉添加量 6.290%、圆苞车前子壳添加量 3.030%、魔芋胶添加量 0.090%。在此条件下制作的鱼丸感官评分为 93,凝胶强度为 439.609 g·cm。

4 结论与展望

此研究结果表明添加圆苞车前子壳,可提高鱼丸中膳食纤维含量,并且鱼丸使用品质良好。该研究对鱼丸新产品的开发具有指导意义。高膳食纤维鱼丸的评估建立在试验层次上,有关高膳食纤维鱼丸产品投放市场,有待于工业化生产线产品品质的进一步检验,从而优化新产品开发。

参考文献:

- [1] 佚名.关于批准塔格糖等 6 种新食品原料的公告(2014 年第 10 号)[J].中国食品添加剂,2014(5):202-204.
Anon. Announcement on the approval of six new food materials including tagatose (2014 No.10)[J]. China Food Additives,2014(5): 202-204.
- [2] 陈寅山,戴聪杰.红罗非鱼肌肉的营养成分分析[J].福建师范大学学报(自然科学版),2003(4):62-66.
CHEN Yinshan,DAI Congjie. Evaluation on nutritional components of the muscle in the *Oreochromis niloticus* × *O. mossambicus* [J]. Journal of Fujian Normal University(Natural Science Edition),2003 (4):62-66.
- [3] 吴文龙.罗非鱼鱼丸的加工工艺研究[J].食品科技,2006(2):39-41.
WU Wenlong. Study on processing technology of tilapia surimi[J]. Food Science and Technology, 2006(2):39-41.
- [4] 赵志霞,吴燕燕,李来好,等.我国罗非鱼加工研究现状[J].食品工业科技,2017,38(9):363-367,373.
ZHAO Zhixia, WU Yanyan, LI Laihao, et al. Current research situation of tilapia processing in China[J]. Science and Technology of Food Industry, 2017,38(9):363-367,373.
- [5] 国家市场监督管理总局.国家标准化管理委员会.冷冻鱼糜:GB/T 36187-2018[S].北京:中国标准出版社,2018.
Standardization Administration, State Administration for Market Regulation. Frozen surimi: GB/T 36187-2018[S]. Beijing: Standards Press of China, 2018.
- [6] 沈秋霞,胡永正,王尧君,等.微波膨化甘薯鱼糜脆片的加工工艺优化[J].食品工业科技,2019,40(5):170-175.
SHEN Qiuxia, HU Yongzheng, WANG Xiaojun, et al. Optimization of processing technology of surimi and sweet potato crisps by microwave puffing[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(5):170-175.
- [7] LIU L L, HE Y T, SHI L, et al. Gelling properties of silver carp surimi as affected by different comminution methods: blending and shearing[J]. Journal of the science of food and agriculture,2019, 99(8):3926-3932.
- [8] 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.
WANG Yanxia, ZHANG Jinli, ZHANG Ruiting, et al. Effects of fish species and hydrocolloids on the gel properties of surimi gels[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016,37(2):143-147.
- [9] 付强.超高压处理对鲢鱼鱼糜品质特性的影响[D].上海:上海海洋大学,2015.
FU Qiang. Effects of Ultra-high pressure treatments on the qualities of silver carp surimi[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University,2015.
- [10] 崔旭海,毕海丹,崔晓莹,等.不同食用蛋白的添加对鲤鱼鱼糜流变和凝胶特性的影响[J].食品工业科技,2018,39(16):195-200, 225.
CUI Xuhai, BI Haidan, CUI Xiaoying, et al. Effects of the edible protein on rheological and gel properties of carp surimi[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018,39(16):195-200,225.
- [11] 陈晓平,何姣,李燕,等.不同辅料对鱼糜制品品质的影响研究[J].食品工业,2011(11):87-90.
CHEN Xiaoping, HE Jiao, LI Yan, et al. The Effect of Subsidiary Materials on the Quality of Trash Fish Surimi Products[J]. The Food Industry, 2011(11):87-90.
- [12] 曲楠,曾名勇,赵元辉.鱼糜凝胶性能研究进展[J].肉类研究,2009 (10):80-84.
QU Nan, ZENG Mingyong, ZHAO Yuanhui, et al. Research progress on gel properties of surimi[J]. Meat Research, 2009(10):80-84.
- [13] 王丽丽,杨文鸽,徐大伦,等.外源添加剂对鱼糜及其制品凝胶性能影响的研究[J].核农学报,2015,29(10):1985-1990.
WANG Lili, YANG Wenge, XU Dalun, et al. Effects of exogenous additives on gel properties of surimi and its products[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2015, 29(10):1985-1990.
- [14] 杨玲芝,陈舜胜,赵善贞,等.膳食纤维对淡水鱼糜凝胶弹性的影响[J].现代食品科技,2006(2):89-91.
YANG Lingzhi, CHEN Shunsheng, ZHAO Shanzhen, et al. Effect of adding dietary fiber on elasticity of fresh fish surimi gel[J]. Modern Food Science and Technology, 2006(2):89-91.
- [15] 邓后勤.利用罗非鱼碎肉生产鱼糕和鱼松的关键技术研究[D].长沙:湖南农业大学,2006.
DENG Houqin. Studies on the key technology processing fish cake and shred fish from tilapia's frittered meat[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2006.
- [16] 李丹辰,程文建,陈丽娇.淀粉及变性淀粉在鱼糜制品中的应用研究进展[J].科学养鱼,2013(8):75-76. <http://www.cnki.net>

- LI Danchen, CHENG Wenjian, CHEN Lijiao, et al. Research progress of the application of starches and modified starches in the surimi seafood[J]. Scientific Fish Farming, 2013(8):75-76.
- [17] 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.
- YAO Lei, LUO Yongkang, SHEN Huixing. Surimi products' gel properties and its development[J]. Meat Research, 2010(2):18-22.
- [18] 周阳, 胥伟, 陈季旺, 等. 小麦淀粉和马铃薯淀粉对鱼丸品质的影响[J]. 肉类研究, 2018, 32(2):29-33, 10.
- ZHOU Yang, XU Wei, CHEN Jiwang, et al. Effect of wheat and potato starches on the quality of fish balls [J]. Meat Research, 2018, 32(2): 29-33, 10.
- [19] ZHANG F, FANG L, WANG C, et al. Effects of starches on the textural, rheological, and color properties of surimi-beef gels with microbial transglutaminase[J]. Meat Science, 2013, 93(3):533-537.
- [20] 秦影, 欧昌荣, 汤海青, 等. 鱼糜制品凝胶特性研究进展[J]. 核农学报, 2015, 29(9):1766-1773.
- QIN Ying, OU Changrong, TANG Haiqing, et al. Research progress on gel properties of surimi products [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2015, 29(9):1766-1773.
- [21] 黄明发, 鲁兴容, 刁兵, 等. 魔芋胶的功能特性及其在肉制品中的应用[J]. 中国食品添加剂, 2012(1):186-190.
- HUANG Mingfa, LU Xingrong, DIAO Bing, et al. The functional characteristics of konjac gum and its application in meat industry [J]. China Food Additives, 2012(1):186-190.
- [22] XIONG G Q, CHENG W, YE L X, et al. Effects of konjac glucomannan on physicochemical properties of myofibrillar protein and surimi gels from grass carp (*Ctenopharyngodon Idella*) [J]. Food Chemistry, 2009, 116:413-418.

加工编辑:张弘

收稿日期:2020-04-27

热烈庆祝中国共产党成立100周年!