

响应面法优化莲子红衣肉丸加工工艺

王悦,陈曦,姚倩,曹杨,徐虹*

(北京工商大学,北京市食品添加剂工程技术研究中心,
北京食品营养与人类健康高精尖创新中心,北京 100048)

摘要:为了综合利用莲子资源,本研究探索了碱法提取的莲子红衣蛋白在肉丸加工中的应用。通过单因素实验探讨不同的食盐、水、淀粉和莲子红衣蛋白添加量对烹调猪肉丸感官品质(弹性、口感、切面形态、色泽、味道)的影响,利用响应面分析法确定了肉丸加工的最佳配比。结果表明,莲子红衣肉丸的最优工艺为:水 35%,食盐 1.8%,淀粉 8%,红衣蛋白 1.6%。在此条件下,所制肉丸软硬适中,口感较佳,感官评分为 19.57 ± 0.08 分,与预测值误差为 0.7%,该工艺具有可行性。莲子红衣蛋白的添加对肉丸品质具有改善作用。

关键词:莲子红衣蛋白,肉丸加工,响应面分析法,工艺优化,感官评价

Optimization of Processing Technology of Lotus Seed Red-skin Meatballs by Response Surface Methodology

WANG Yue, CHEN Xi, YAO Qian, CAO Yang, XU Hong*

(Beijing Technology and Business University, Beijing Engineering and Technology Research Center of Food Additives,
Beijing Advanced Innovation Center for Food Nutrition and Human Health, Beijing 100048, China)

Abstract: In order to make comprehensive use of lotus seed, the application of protein that extracted by alkaline method from lotus seed red-skin in meatball processing was explored in this study. The single factor experiment was designed to explore the influence of different salt, water, starch and protein additions on the sensory quality (elasticity, texture, section shape, color, flavor) of cooking pork meatballs. Response surface methodology was used to determine the optimum formula of meatball processing. The results showed that the optimal processing technology of lotus seed red-skin meatballs was: water 35%, salt 1.8%, starch 8%, and red-skin protein 1.6%. Under these conditions, the meatballs had good elasticity and hardness with a sensory score of 19.57 ± 0.08 , and the relative error was 0.7% compared with the predicted value, which indicated that the process was feasible. The results showed that the addition of protein from lotus seed red-skin could improve the quality of meatballs.

Key words: protein from lotus seed red-skin; meatball processing; response surface methodology; process optimization; sensory evaluation

中图分类号: TS201.1

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2019)19-0170-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2019.19.028

引文格式: 王悦,陈曦,姚倩,等. 响应面法优化莲子红衣肉丸加工工艺[J]. 食品工业科技, 2019, 40(19): 170-174.

莲子,又称莲米、水芝丹,睡莲科莲属,是老百姓喜爱的滋补佳品。现代研究表明,莲子不仅富含蛋白质、维生素、碳水化合物及人体所需的 8 种必需氨基酸,还含有多种活性成分如生物碱、多糖、多酚、原花青素、黄酮等,具有补脾止泻、益心补肾、固精安神和润肠的功效^[1-2]。莲子的加工主要采用机械除衣的方式,这种生产方式损耗率较高,每加工 100 kg 红莲,就会磨去约 15 kg 红衣粉,只能得到约 85 kg 白莲。目前这层红衣粉尚未得到有效的利用,由于味涩甚至不能作为牲畜饲料,只能大量地堆于田间地头,对环境造成污染^[3-4]。因此,如何有效利用红衣粉,减少环境污染,降低生产成本,是莲子加工的一

个研究重点。经本实验室前期研究测定,红衣粉中蛋白质含量约为 17.65%^[5]。

肉丸作为一种历史悠久的肉制品,它的原料主要有:淀粉、蛋白质、食盐、水等。这些常见材料有些用量很少,但却对猪肉丸品质具有显著影响^[6]。蛋白质具有较好的乳化性、凝胶性、保水性等,经常应用于乳制品、肉制品及烘焙食品等食品工业中^[7]。研究表明,在肉制品中添加蛋白质,可以提高产品的保水性、保油性^[8],增加产品弹性,提高肉制品蒸煮得率,改善其口感^[9]。石晓等^[10]在火腿肠和肉糜中添加花生蛋白,明显改善了其质构特性。高云中^[11]选用花生蛋白粉和花生浓缩蛋白替代香肠中的大豆蛋白,研究表明

收稿日期: 2018-12-11

作者简介: 王悦(1995-),女,硕士研究生,研究方向:食品加工, E-mail: 18302455108@163.com。

* 通讯作者: 徐虹(1977-),女,博士,副教授,研究方向:食品营养与安全, E-mail: xuhong@th.btbu.edu.cn。

基金项目: 人才培养质量建设-一流专业建设(市级)-食品科学与工程(PXM2019-014213-000010);北京市自然科学基金(6162003)。

表1 感官评价评分标准
Table 1 Scoring criteria of sensory evaluation

项目	评分标准	偏好	得分(分)
口感	滑嫩爽口,细腻酥脆,软硬适中	好	5
	比较软或不易嚼碎,比较爽滑,比较细腻	一般	3
	过软或过硬,有渣,无脆感,无韧度	差	1
弹性	富有弹性,指压不裂且能迅速恢复原状	好	5
	弹性一般,指压不易裂开,能较快恢复原状	一般	3
	弹性差,指压易裂	差	1
味道	清香柔和,咸淡适中,无异味	好	5
	肉味正常,香气一般,无异味	一般	3
	无肉味,无清香,有异味	差	1
色泽	灰褐,色泽均匀	好	5
	灰白,色泽均匀	一般	3
	其他杂色,色泽不均匀	差	1
切面	切面致密均一,气孔细小均匀	好	5
	切面较均一,略有稍大气孔	一般	3
	切面粗糙,气孔大	差	1

把60%大豆蛋白换成花生浓缩蛋白时,香肠的感官评价评分较高,质构特性也达到最佳值。

为了使营养丰富的莲子资源得到充分利用,本研究使用碱法从莲子红衣粉中提取蛋白,然后采用单因素实验和响应面分析法,以感官评价得分为主要指标,探索莲子红衣蛋白在猪肉丸加工中的最佳添加量,为莲子加工副产物的综合利用提供新的思路和技术参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

莲子红衣粉 浙江杭州三湘莲业贸易有限公司;新鲜猪肉、淀粉、食盐、花椒、大料 均北京市永辉超市;氢氧化钠 天津市光复科技发展有限公司;盐酸 国药集团化学试剂有限公司;硫酸、丙酮 北京化工厂;以上试剂均为分析纯。

DHG-9246A 型电热恒温鼓风干燥箱 上海精宏实验设备有限公司;JA2003C 型电子天平 上海越平科学仪器有限公司;FE20 型实验室 PH 计 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;HJ-3 型数显恒温磁力搅拌器 常州国华电器有限公司;MG02810202 XMTB 数显控温仪 余姚市东方电工仪器厂;QL-901 型振荡器 海门市其林贝尔仪器制造有限公司;美的电磁炉 美的电器有限公司;CR 22G 型高速冷冻离心机 北京中豪莱博科技有限公司;8695 型超低温冰箱 Thermo Fisher Scientific, USA;CT3 质构仪 美国 BROOKFIELD 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 莲子红衣蛋白的碱法提取 以80目筛筛出莲子红衣粉100g,加入1000mL水,搅拌后用0.5mol/L NaOH调节pH至8.0,搅拌1h。5000r/min的离心机在25℃离心15min,取上清液;用0.5mol/L HCl调节pH至4.9,搅拌后用5000r/min的离心机25℃离心15min,取沉淀,冻干得提取物。测得提取物中蛋白质纯度为85.6%。

1.2.2 肉丸的制作 大料10g,花椒5g,冲洗后放入锅中,加入100mL水,大火煮沸后转小火煮15min,取汤汁。以1:10(mL/g)的比例将花椒大料水倒入肉馅,充分搅拌10min左右之后,添加一定量淀粉、食盐、莲子红衣蛋白,再充分搅拌数分钟,然后将混合均匀的肉糜手工搓成约15g左右的肉丸。在锅中加入500mL水,待水沸腾后,放入6个肉丸,加热至100℃。肉丸变色后再煮4min左右,即可捞出、品尝、评分。

1.2.3 肉丸的感官评价 请8名接受过感官评价培训的食品专业在校大学生(4男4女)作为评判员,根据喜好程度就5个品质指标(口感、弹性、味道、色泽和切面)对样品进行评定。评分标准见表1,样品各项品质指标得分为所有评判员评定的平均值。

1.2.4 单因素实验设计

1.2.4.1 食盐添加量对肉丸品质的影响 实验过程中,分别采用添加量为1.6%、1.8%、2.0%、2.2%和2.4%的食盐,莲子红衣蛋白为1.8%,水为40%,淀粉为8%,温度为25℃。采取感官评定的方法对肉丸品质进行评价,确定合适的食盐添加量范围。

1.2.4.2 淀粉添加量对肉丸品质的影响 实验过程中,分别采用添加量为2%、4%、6%、8%和10%的淀粉,莲子红衣蛋白为1.8%,水为40%,食盐为1.8%,温度为25℃。采取感官评定的方法对肉丸品质进行评价,确定合适的淀粉添加量范围。

1.2.4.3 水添加量对肉丸品质的影响 实验过程中,分别采用添加量为25%、30%、35%、40%和45%的水,红衣蛋白为1.8%,食盐为1.8%,淀粉为8%,温度为25℃。采取感官评定的方法对肉丸品质进行评价,确定合适的水分添加量范围。

1.2.4.4 莲子红衣蛋白添加量对肉丸品质的影响 实验过程中,分别采用添加量为0、0.6%、1.2%、1.8%、2.4%和3.0%的莲子红衣蛋白,食盐为1.8%,水为40%,淀粉为8%,温度为25℃。采取感官评定的方法对肉丸品质进行评价,确定合适的红衣蛋白

添加量范围。

1.2.5 响应面分析设计方案 采用软件 Design-Expert8.1 中的 Box-Behnken 试验设计原理,综合单因素实验结果,设计三因素三水平试验设计见表 2。三因素分别是 A 水添加量、B 莲子红衣蛋白添加量、C 食盐添加量,以肉丸的感官评分为评价指标。

表 2 Box-Behnken 试验设计因素和水平

Table 2 Factors and coded levels in Box-Behnken experiment design

因素	水平		
	-1	0	1
A 水添加量 (%)	35	40	45
B 莲子红衣蛋白添加量 (%)	1.2	1.8	2.4
C 食盐添加量 (%)	1.6	1.8	2.0

1.3 数据处理

本研究实验数据通过 ANOVA 程序进行方差分析,使用统计软件 Design-Expert 8.1 设计响应面试验分析。

2 结果与分析

2.1 单因素实验结果

2.1.1 食盐添加量对肉丸感官评分的影响 由图 1 可知,随着食盐添加量的增加,肉丸的感官评分也逐渐升高,当食盐添加量为 1.8% 时,肉丸的感官评分达到最高,为 18.3 分。但是当食盐量达到 1.8% 以后,感官评分逐渐下降。这可能是因为食盐本身具有鲜味性质,少量的食盐能起到调味和增加制品黏性的作用。然而过多地添加食盐使肉丸腥味更加明显,并且在斩拌的时候破坏了肌肉中的蛋白质网状结构,使肉丸黏性下降^[12]。所以,最适的食盐添加量范围为 1.6%~2.0%。

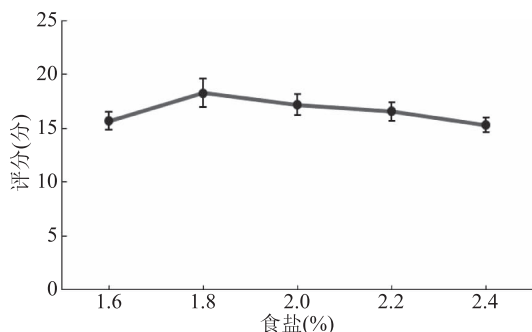


图 1 食盐添加量对肉丸感官评分的影响

Fig.1 Effects of salt addition on sensory score of meatballs

2.1.2 淀粉添加量对肉丸感官评分的影响 由图 2 可知,当淀粉添加量在 2%~8% 时,肉丸的感官评分一直升高,在 8% 时达到最高,为 19.3 分。随着淀粉添加量的继续增加,评分开始下降。这与高雅文等^[13]的研究结论一致。这可能是因为猪肉丸中添加淀粉,不仅能降低生产成本,还能提高肉丸的持水性,改善肉丸的色泽、口感、弹性等^[14]。然而淀粉过多,会导致肉丸口感过硬,粗糙,弹性差^[15]。所以,最适的淀粉添加量为 8%。但总体来说,淀粉添加量对

肉丸感官评分的影响不及其他因素明显。

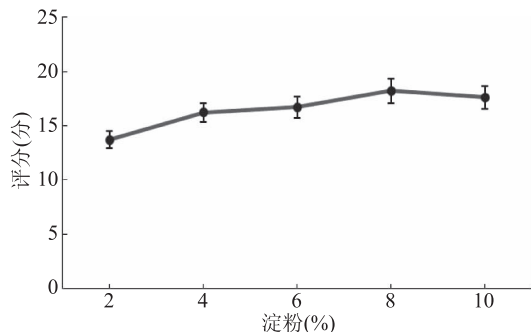


图 2 淀粉添加量对肉丸感官评分的影响

Fig.2 Effects of starch addition on sensory score of meatballs

2.1.3 水添加量对肉丸感官评分的影响 由图 3 可知,随着水添加量的增加,肉丸的感官评分也逐渐升高,在添加量达到 40% 时,肉丸的感官评分最高,为 19.1 分。之后随着水添加量的继续增加,感官评分开始下降。其原因可能是适量的低温水加入到肉丸的配料中,一方面能提供原辅料充分混合溶解的溶剂环境,另一方面能使淀粉充分吸湿,发挥其最大的糊化能力^[16]。然而加水量过多,会导致游离水过剩,降低蛋白质的粘着力和凝胶结构的牢固性,从而使产品过软,弹性变差^[17]。所以,最适的水添加量范围为 35%~45%。

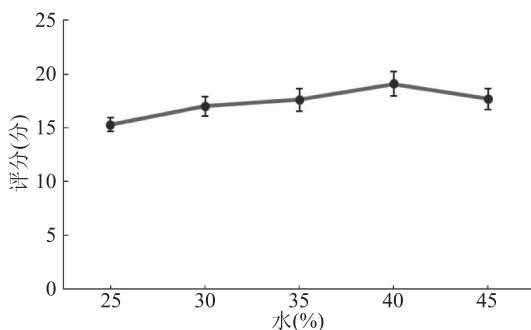


图 3 水添加量对肉丸感官评分的影响

Fig.3 Effects of water addition on sensory score of meatballs

2.1.4 莲子红衣蛋白添加量对肉丸感官评分的影响 由图 4 可知,随着莲子红衣蛋白添加量的增加,肉丸的感官评分呈先升高后降低的趋势。并在莲子红衣蛋白添加量为 1.8% 时达到最高,为 17.0 分。在此条件下制成的肉丸口感和色泽较好,富有弹性。其原因可能是适量的蛋白形成的凝胶网状结构具有较高的弹性和黏性,为保持水分和脂肪提供基质,可以改善肉丸的弹性,增加肉丸的硬度和咀嚼感^[18-19]。但是蛋白加入量过多会使凝胶强度过大,导致肉丸口感发硬,涩味更重^[20]。所以,适量地添加莲子红衣蛋白会使肉丸的口感有所改善,尤其是在添加量为 1.2%~2.4% 时,肉丸的品质较好。

2.2 莲子红衣蛋白肉丸制作工艺的响应面优化结果

2.2.1 响应面法优化肉丸的制作工艺 以 A、B、C 为自变量,感官评分 Y 为响应值,响应面分析方案及结果见表 4。

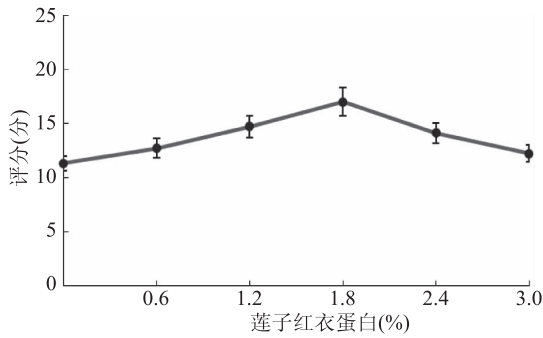


图4 莲子红衣蛋白添加量对肉丸感官评分的影响

Fig.4 Effects of lotus seed red-skin protein addition on sensory score of meatballs

表4 响应面分析设计及结果

Table 4 Design and results of response surface analysis

试验号	A	B	C	Y:感官评分(分)
1	-1	1	0	14.67
2	-1	0	1	18.14
3	-1	0	-1	17.28
4	0	-1	-1	15.36
5	0	0	0	18.79
6	0	0	0	19.02
7	0	-1	1	16.33
8	1	0	1	17.02
9	0	1	1	13.22
10	-1	-1	0	17.96
11	1	1	0	15.12
12	1	-1	0	16.03
13	0	0	0	19.07
14	0	1	-1	13.23
15	0	0	0	18.56
16	1	0	-1	15.67
17	0	0	0	18.23

2.2.2 模型的建立及显著性检验 利用 Design-Expert 软件对表4 数据进行多元回归拟合,得到肉丸感官评分对水添加量(A)、莲子红衣蛋白添加量(B)和食盐添加量(C)的二次多项回归模型: $Y = -120.07 - 0.21A + 20.18B + 150.00C + 0.20AB + 0.12AC - 2.04BC - 5.93A^2 - 7.34B^2 - 38.96C^2$ 。

由表5 可知,整体模型达极限显著水平($P < 0.01$),失拟项 $P = 0.3529 > 0.05$ 不显著, $R^2 = 0.9831$, $R_{Adj} = 0.9613$,说明该方程的拟合较好。方差分析结果表明,A、B、 B^2 、 C^2 为极显著项($P < 0.01$),C、AB 为显著项($P < 0.05$)。由方差分析结果可知,三因素影响的大小关系依次是:莲子红衣蛋白添加量(B) > 水添加量(A) > 食盐添加量(C)。

2.2.3 肉丸制作工艺的响应面分析与优化 用 Design-Expert 软件,根据回归方程分析作响应面图5~图7。图5 显示在食盐添加量为1.8%的条件下,水添加量与莲子红衣蛋白添加量对肉丸感官评分的影响。感官评分随着水添加量的增大而平缓下降,随着莲子红衣蛋白添加量的增加呈先增大后减小的

表5 响应面二次回归方程方差分析结果

Table 5 Response surface equations of quadratic regression analysis of variance

	自由度	均方和	均方	F 值	P 值
模型	9	58.47	6.50	45.12	<0.0001**
A	1	2.22	2.22	15.39	0.0057**
B	1	11.14	11.14	77.36	<0.0001**
C	1	1.26	1.26	8.72	0.0213*
AB	1	1.42	1.42	9.83	0.0165*
AC	1	0.060	0.060	0.42	0.5391
BC	1	0.24	0.24	1.67	0.2376
A^2	1	0.093	0.093	0.64	0.4491
B^2	1	29.36	29.36	203.92	<0.0001**
C^2	1	10.22	10.22	71.00	<0.0001**
残差	7	1.01	0.14		
失拟检验	3	0.53	0.18	1.45	0.3529
纯误差	4	0.48	0.12		
总误差	16	59.48			

注:* 表示显著差异 $P < 0.05$; ** 表示极显著差异 $P < 0.01$ 。趋势。水添加量与莲子红衣蛋白添加量交互作用的等高线呈椭圆,说明二者交互作用显著,与方差分析结果一致。图6 显示在莲子红衣蛋白添加量为1.8%的条件下,水添加量与食盐添加量对肉丸感官评分的影响。感官评分随水添加量的增大呈平缓下降的趋势,随食盐添加量的增加呈先增大后减小的趋势。图7 显示在水添加量为40%的条件下,莲子红衣蛋白添加量和食盐添加量对肉丸感官评分的影响。感官评分随莲子红衣蛋白添加量和食盐添加量的增加均呈先增大后减小的趋势。由图5 和图7 可知,感官评分随莲子红衣蛋白添加量的变化幅度比水添加量和食盐添加量更陡峭,说明莲子红衣蛋白添加量对感官评分的影响较大。

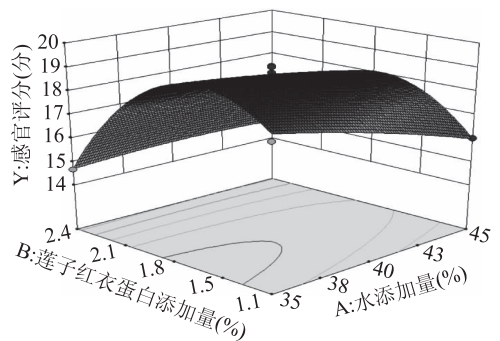


图5 水添加量与莲子红衣蛋白添加量对肉丸感官评分影响的响应面分析

Fig.5 Response surface analysis of effects of water and protein addition levels on sensory evaluation of meatballs

2.2.4 烹调肉丸的最佳制作工艺条件 结合二次回归模型的数学分析结果,获得制作肉丸的最佳工艺参数为:水添加量35%,莲子红衣蛋白添加量1.6%,食盐添加量1.8%,在此条件下烹调肉丸理论感官评分为19.43分。依据上述最佳条件进行三次平行试验验证,其实际感官评分为(19.57 ± 0.08)分,与预测误差值为0.7%,说明该模型可靠。

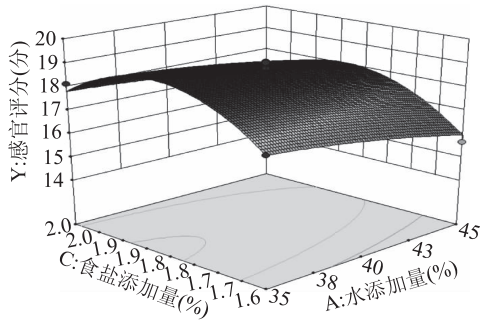


图6 水添加量与食盐添加量
对肉丸感官评分影响的响应面分析

Fig.6 Response surface analysis of effects of water
and salt addition levels on sensory evaluation of meatballs

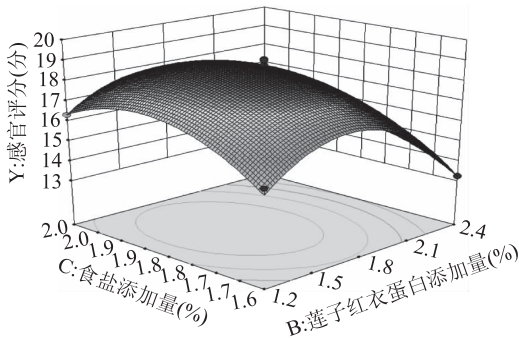


图7 莲子红衣蛋白添加量与食盐添加量
对肉丸感官评分影响的响应面分析

Fig.7 Response surface analysis of effects of protein
and salt addition levels on sensory evaluation of meatballs

3 结论

莲子红衣作为莲子加工的副产物,经常被直接弃去而忽略了它的利用价值。本研究在单因素实验基础上设计响应面实验,探索了碱法提取的莲子红衣蛋白在烹调猪肉丸加工中的最佳工艺参数:水35%,莲子红衣蛋白1.6%,食盐1.8%,淀粉8%。在此条件下所制肉丸感官评分为(19.57±0.08)分,口感滑嫩、富有弹性、味道柔和和无异味、色泽均匀、切面致密均一,与大豆蛋白、花生蛋白改善肉丸品质的功效相似^[9-10]。由此可见,莲子红衣粉在食品加工中的应用值得深入研究,研究成果可以帮助解决莲子产业副产物多的难题,变废为宝,给莲产业带来附加效益。

参考文献

[1] 曹杨,徐虹,王静,等.莲天然产物及其生物活性研究进展

(上接第169页)

[18] 刘晶晶,蔡静,许喆娟,等.血糯米软曲奇的生产工艺及货架期测定[J].食品科学,2013,34(12):71-75.

[19] Tamires C S, Devson P P G, Renata C F B, et al. Optimization of solid state fermentation of potato peel for the production of cellulolytic enzymes [J]. Food Chemistry, 2012 (133): 1299-1304.

[20] Fan J P, Cao J, Zhang X H, et al. Optimization of ionic liquid based ultrasonic assisted extraction of puerarin from Radix

[J].食品工业科技,2012,33(8):402-405.

[2] 李卓瓦.莲子的营养价值及加工利用[J].农产品加工,2008(6):42-44.

[3] 徐虹,朱雨薇,曹杨,等.莲子红皮多糖提取工艺研究[J].食品工业科技,2011,32(2):266-268.

[4] 高航,高延芬,徐虹.莲子红衣醇提物的抗氧化和抗褐变活性[J].食品科学,2013,34(11):83-87.

[5] 徐虹,王馨仪,曹杨,等.莲子红皮蛋白微波辅助盐提工艺优化[J].食品科学,2011,32(4):87-91.

[6] 邓小顺.速冻猪肉丸加工工艺及其添加剂的应用研究[D].南宁:广西大学,2013.

[7] 李玉珍,肖怀秋,兰立新.大豆分离蛋白功能特性及其在食品工业中的应用[J].中国食品添加剂,2008(1):121-124,109.

[8] 李萍萍,刘振.TG酶对大豆分离蛋白的作用及在肉制品中的应用[J].大豆科技,2012(5):36-38.

[9] 刘勤华,周光宏,孟美晨,等.利用模糊数学感官评价法研究猪肉丸加工工艺[J].食品与机械,2011,27(6):249-253.

[10] 石晓,周瑞宝,张春晖.花生蛋白在火腿肠中的应用研究[J].粮油加工,2006(6):82-84.

[11] 高云中.花生粕蛋白的提取及性质研究[D].无锡:江南大学,2009.

[12] Lamkey J W, Mandigo R W, Calkins C R, et al. Effect of salt and phosphate on the texture and color stability of restructured beef steaks [J]. Journal of Food Science, 2006, 51(4): 873-875.

[13] 高雅文,李壮,刘学军.金针菇牛肉丸生产工艺优化[J].食品科学,2010,31(6):302-305.

[14] 杨铭泽,张春雨,张怀涛,等.猪肉丸构成组分及肉处理对其品质影响的研究[J].四川烹饪高等专科学校学报,2008(2):24-27.

[15] 程春梅.淀粉、大豆蛋白和食用胶在肉品加工中的应用[J].农村新技术,2009(12):46-47.

[16] 杨礼宪.速冻猪肉丸生产工艺研究[D].雅安:四川农业大学,2006.

[17] 张晓光.方便水饺制作工艺及储藏性的研究[D].吉林:吉林大学,2009.

[18] Kumar S S, Balasubramanian S, Biswas A K, et al. Efficacy of soy protein isolate as a fat replacer on physico-chemical and sensory characteristics of low-fat paneer [J]. Journal of Food Science and Technology, 2011, 48(4): 498-501.

[19] 殷俊.即食牛肉丸加工技术研究[D].广州:华南理工大学,2012.

[20] 邹金,徐宝钗,尚雪娇,等.添加大豆分离蛋白对鲜广椒肉丸品质的影响[J].肉类研究,2018,32(4):27-32.

Puerariae Lobatae by response surface methodology [J]. Food Chemistry, 2012, 135(4): 2299-2306.

[21] 胡炜东,邹寅.响应面分析优化酶法提取南瓜籽油的工艺研究[J].食品工业科技,2013,34(3):277-280.

[22] 张艳荣,丰艳,孙丽琴,等.响应面法优化米糠挤出工艺及其物性研究[J].食品科学,2010,31(20):146-151.

[23] 霍丹群,王洪彬,宋兴兴,等.响应面法优化猕猴桃原酒发酵工艺[J].食品工业科技,2013,34(9):219-223.