

海带降血压活性肽面条的工艺优化

臧盈盈,陈丽娇,陈继承*,陈莉,赵晓丹
(福建农林大学食品科学学院,福建福州 350002)

摘要:为研制海带降血压活性肽面条,将海带降血压活性肽、甘露醇、褐藻胶和海带膳食纤维添加到面条中,以最大抗拉伸阻力及感官评分为指标,进行单因素实验和响应面实验,优化面条的工艺参数并验证其降血压活性。结果表明:在海带膳食纤维添加量3%,海带降血压活性肽添加量0.5%,甘露醇添加量1.8%,褐藻胶添加量0.3%的条件下,面条的最大抗拉伸阻力达到36.72 g,感官评分达到91分,与预测值分别相差2.52%和0.005%(<5%)。对最优工艺条件制备的面条降血压活性进行检测,其半数抑制率 IC_{50} 值为6.02 mg/mL。

关键词:海带降血压活性肽,甘露醇,褐藻胶,海带膳食纤维,面条,工艺优化

The process optimization of noodles with antihypertensive peptide from *Laminaria japonica*

ZANG Ying-ying, CHEN Li-jiao, CHEN Ji-cheng*, CHEN Li, ZHAO Xiao-dan
(College of Food Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: The aim was to develop a kind of hypotensive noodles by adding antihypertensive peptides, mannitol, alginate and dietary fiber from *Laminaria japonica*. The single factor experiment and response surface experiments were carried according to the maximum tensile resistance and sensory scores. Optimal technique parameters of noodles were obtained, and antihypertensive activities were also verified. The optimal processing parameters of kelp noodles was that kelp dietary fiber 3%, 0.5% kelp antihypertensive peptide, 1.8% mannitol, 0.3% algin. Sensory evaluation results suggested that the produced noodles had good taste score of 91 points, and the maximum tensile resistance was 36.72 g under such conditions, 2.52% and 0.005% respectively with the predicted value (<5%). The antihypertensive activities of noodles under the optimal conditions was determined, the half inhibition rate of IC_{50} was 6.02 mg/mL.

Key words: antihypertensive peptide from *Laminaria japonica*; mannitol; alginate; kelp dietary fiber; noodle; process optimization

中图分类号:TS218 文献标识码:B 文章编号:1002-0306(2017)14-0203-06
doi:10.13386/j.issn1002-0306.2017.14.040

面条是我国最常见的传统面食之一,现已普及世界各地。海带面条是将海带添加到面条中的一种营养面条,且目前海带面条已经进入市场。海带是一种营养价值较高的蔬菜,且具有降血压功效^[1-2]。目前对海带的降血压功效已有研究,且已经能够从海带中分离出各种具有功能特性的物质,如:海带降血压活性肽、甘露醇、褐藻胶、褐藻糖胶、海带膳食纤维等^[3-4]。其中海带降血压活性肽具有很好的降血压效果^[5];甘露醇具有脱水及降颅内压的功效^[6];褐藻糖胶具有抗凝血、降血脂等功效^[7-9];海带膳食纤维是一种营养物质,具有治疗便秘的功效,还可以对面条的品质起到一定的作用^[10]。

目前,市场上海带面条的研制是将海带经过打浆、制粉或者酶解等工艺处理后添加到面条中,但是此类方法制作的海带面条中的海带成分的比例一

致,得到的海带面条的品种较单一,通过优化海带添加量对面条品质的改善作用也受到了限制^[11-12]。

本研究拟选取海带降血压活性肽、甘露醇、褐藻胶、海带膳食纤维添加到面条中,研究其对面条品质的影响趋势,以选取对面条品质影响较大且具有功能特性的因子进行复配,得到品质佳、口感好的面条。因此,选取最大抗拉伸阻力和感官评分为响应值以制作较好品质的面条,并且验证是否具有降血压活性来判定其是否具有功能性。此思路不仅可以制作出品质较好的面条,并且其降血压功效增加了面条价值,还提高了海带的综合利用程度,为以后营养物质的高值化利用提供了思路。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

海带降血压活性肽 用复合蛋白酶(木瓜蛋白

收稿日期:2016-11-04

作者简介:臧盈盈(1990-),女,硕士研究生,研究方向:功能性食品研究,E-mail:zyychang@163.com。

*通讯作者:陈继承(1978-),男,博士,副教授,研究方向:生物活性成分分析检测和功能性食品研究,E-mail:newtaicjc@163.com。

基金项目:福建省海洋高新产业发展专项(闽海渔高新【2004】03号);福州市科技项目(2013-N-47);福建农林大学高水平大学建设项目(61201404310)。

表1 感官评分标准
Table 1 Standard of sensory score

项目	满分	评分标准
色泽	10	面条的颜色和亮度。面条颜色为绿色,光亮为 8.5~10.0 分;中间为 6.0~8.4 分;亮度较差为 1.0~5.9 分
外观状态	10	面条表面光滑和膨胀程度。表面结构细密、光滑为 8.5~10.0 分;中间为 6.0~8.4 分;表面粗糙、膨胀、变形严重为 1.0~5.9 分。
适口性	20	用牙咬断一根面条所需力的大小。力适中得分为 17~20 分;稍偏硬或者软 12~16 分;太硬或者太软为 1~11 分。
韧性	25	面条在咀嚼时,咬劲和弹性的大小。有咬劲、富有弹性为 21~25 分;一般为 15~20 分;咬劲差、弹性不足为 1~14 分。
粘性	25	指在咀嚼过程中,面条粘牙程度。咀嚼时爽口、不粘牙为 21~25 分;较爽口、稍粘牙为 15~20 分;不爽口、发粘为 10~14 分。
光滑性	5	在品尝面条时口感的光滑程度。光滑为 4.3~5.0 分;中间为 3.0~4.2 分;光滑程度差为 1.0~2.9 分。
食味	5	指品尝时的味道。具有麦清香味 4.3~5.0 分;基本无异味 3.0~4.2 分;有异味 1.0~2.9 分。

酶:碱性蛋白酶:胰蛋白酶=1:2:1)酶解海带蛋白获得降血压活性多肽,分子量为 3000 Da^[13];甘露醇、褐藻胶 国药集团化学试剂有限公司;面粉 福州永辉超市;海带膳食纤维 海带中提取,国药集团化学试剂有限公司,浅棕色粉末。

HR2356/21HR 型自动面条机 飞利浦投资有限公司,用于面条的制作;TA.XT Plus 物性质构仪 英国 Stable Micro System 公司,用于对面条拉伸特性的测定;LC-20A 型高效液相色谱仪 日本岛津公司,用于测定多肽活性。

1.2 实验方法

1.2.1 海带面条制备工艺步骤 原辅料混合:称取海带降血压活性肽、甘露醇、褐藻胶、海带膳食纤维、面粉加入到面条机中,启动面条机,加 33%的水和面 5 min;

熟化:用保鲜膜密封面条机的加料口,熟化 10 min;

成型:选择直径为 6 mm 的磨具,启动制面,制作出直径为 6 mm 的圆柱形面条;

包装:将做好的面条放置到保鲜袋中密封,使面条处于自然松弛状态^[14]。

1.2.2 面条拉伸特性测定方法 参考陆启玉^[15]等的方法并且略有改动,利用特定探头,将面条缠绕在探头上进行拉伸实验,记录面条被拉断过程中力臂所承受力的变化曲线,确定面条被拉断时的最大抗拉伸阻力和拉伸距离,每个样品做 8 次平行实验,去掉最大值和最小值求平均值。质构仪参数:选用 A/SPR 探头,张力模式,预测试速度 1.0 mm/s,测试速度 5.00 mm/s,后测试速度 10.00 mm/s,测试距离 15 mm,触发形式选用自动,触发力 5 g。

1.2.3 感官评价实验方法 感官评分标准参照 SB/T10137-93 进行部分修改,如表 1 所示,由 10 位专业人员组成感官评定小组^[16]。

1.2.4 单因素实验设计 以面条最大抗拉伸阻力和感官评分为指标,研究海带降血压活性肽、甘露醇、褐藻胶和海带膳食纤维添加量对面条品质的影响。

设置海带降血压活性肽添加量分别为 0、0.1%、0.3%、0.5%、0.7%、0.9%、1%,其他条件:甘露醇

2%、褐藻胶添加量 0.3%、海带膳食纤维 2%;

设置甘露醇添加量分别为 0、0.5%、1%、2%、3%、4%、6%,其他条件:海带降血压活性肽 0.5%、褐藻胶添加量 0.3%、海带膳食纤维 2%;

设置褐藻胶添加量分别为 0、0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5%、0.8%,其他条件:海带降血压活性肽 0.5%、甘露醇 2%、海带膳食纤维 2%;

设置海带膳食纤维添加量分别为 0、1%、2%、3%、4%、5%,其他条件:海带降血压活性肽 0.5%、甘露醇 2%、褐藻胶 0.3%。

1.2.5 响应曲面实验设计 根据单因素实验结果选取对面条品质影响大的因素,采用 Box-Behnken Design 中心组合设计原理,以最大抗拉伸阻力和感官评分为响应值,进行三因素三水平的响应面实验^[17]。设计如表 2 所示。

表2 面条加工工艺响应面因素及水平设计

Table 2 Factors and levels of response surface design in noodle processing

因素	水平		
	-1	0	1
A 海带降血压活性肽(%)	0.3	0.5	0.7
B 甘露醇(%)	1	2	3
C 褐藻胶(%)	0.2	0.3	0.4

1.2.6 海带面条降血压活性测定方法 面条的降血压活性检测参考 Chen 等报道 ACE 抑制活性的测定方法^[18]。面条用水稀释十倍后打浆,4000 r/min 离心 20 s 后取上清液备用。高效液相色谱(HPLC)条件:色谱柱 symmetry C₁₈(5 μm,4.6 mm×150 mm),柱温 25 ℃,检测波长 228 nm,流速 0.5 mL/min,流动相为 0.05% TFA 加 0.05% 三乙胺水溶液(pH2.80)/乙腈=85:15(v/v)。

取 10 μL ACE 和 40 μL 样品于旋涡震荡器中震荡 2 min,37 ℃保温 5 min,加入 50 μL 马尿酰组氨酸亮氨酸(HHL),37 ℃下反应 0.5 h 后加入 200 μL 的 1.0 mol/L HCl 终止反应,离心后取上清液,通过 HPLC 法测定在 228 nm 处反应生成马尿酸(HA)的吸收值,计算 ACE 抑制活性的半数抑制率 IC₅₀ 值。

ACE 抑制活性计算公式:

抑制率(%) = (A - B) / A × 100

式中:A 为不加入抑制剂时的马尿酸的峰面积在标准曲线上对应的浓度,单位 mmol/L;B 为加入抑制剂时的马尿酸的峰面积在标准曲线上对应的浓度,单位 mmol/L。

1.3 数据处理

采用 Qrigin 8.5 分析软件对单因素的实验结果进行分析,采用 JMP10 对单因素的显著性进行分析,采用 Design-Expert 8.05 统计软件对各因素编码值和响应值进行回归拟合分析。采用 SSPS20.0 分析处理 ACE 抑制活性的半数抑制率 IC₅₀ 值数据。

2 结果与讨论

2.1 单因素实验结果

2.1.1 海带降血压活性肽添加量对面条最大抗拉伸阻力和感官评分的影响 由图 1 可知,海带降血压活性肽添加量在 0~0.5% 的范围内,随着添加量的增大最大抗拉伸阻力和感官评分呈增大趋势,海带降血压活性肽添加量为 0.5% 时达到最大值,此时最大抗拉伸阻力为 24.43 g,感官评分为 87 分,随着海带降血压活性肽添加量继续增大面条最大抗拉伸阻力和感官评分呈下降趋势。目前关于海带降血压活性肽的应用鲜有报道,研究结果可能是由于适量添加海带降血压活性肽对于面条的品质有一定的改善作用,使得面条的拉伸特性增强,口感变好,但是海带降血压活性肽添加过量时,面条在制作过程中会出现断面,面条的感官评分变低,面条最大抗拉伸阻力下降。因此,选定海带降血压活性肽添加量范围 0.3%~0.7%。

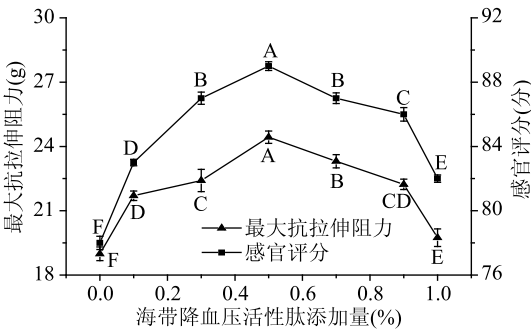


图 1 海带降血压活性肽添加量对面条最大抗拉伸阻力和感官评分的影响

Fig.1 Effects of the addition of antihypertensive peptides from *Laminaria japonica* on maximum tensile resistance and sensory score of noodle

注:不同字母代表显著性差异,

相同字母代表差异不显著,图 2~图 4 同。

2.1.2 甘露醇添加量对面条最大抗拉伸阻力和感官评分的影响 由图 2 可知,甘露醇添加量在 0~2% 范围内时,随着添加量增大最大抗拉伸阻力呈增大趋势,甘露醇添加量为 2% 时达到最大值,此时最大抗拉伸阻力为 39.19 g,但是随着甘露醇添加量的继续增大最大抗拉伸阻力呈下降趋势。感官评分也是呈现先增大后减小的趋势,且在甘露醇添加量为 3% 时

达到最大值,为 89 分。目前甘露醇主要应用在糖果的生产,对于其在面条中的应用还无人报道。研究结果可能是由于甘露醇是一种增稠剂,适量添加能够改善面条的品质,增强面条的口感,但是甘露醇添加过量时,面条在制作过程中会出现断裂的现象,面条品质下降,1%、3% 添加量时的感官评分与 2% 时相差较少。因此,选定甘露醇添加量范围为 1%~3%。

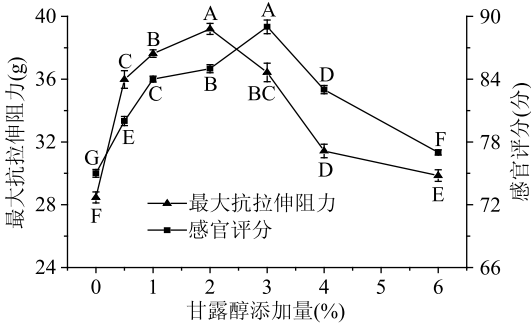


图 2 甘露醇添加量对面条最大抗拉伸阻力和感官评分的影响

Fig.2 Effect of mannitol on the maximum tensile resistance and sensory score of noodle

2.1.3 褐藻胶添加量对面条最大抗拉伸阻力和感官评分的影响 由图 3 可知,褐藻胶的添加量在 0~0.3% 范围内,随着添加量的增大最大抗拉伸阻力和感官评分呈增大趋势,褐藻胶添加量为 0.3% 时达到最大值,此时最大抗拉伸阻力为 35.80 g,感官评分为 88 分,但是随着褐藻胶添加量的继续增加面条最大抗拉伸阻力和感官评分呈下降趋势。这是由于褐藻胶有增强面团吸水率和增强面条的硬度及弹性的作用,同时褐藻胶有增稠作用,有助于形成类似面筋的网络结构,增强了面条的拉伸性能,但是褐藻胶添加过量时,高浓度褐藻胶制作的面条硬度较大,易断裂,面条拉伸特性下降,口感变差^[19-20]。因此,选定褐藻胶添加范围为 0.2%~0.4%。

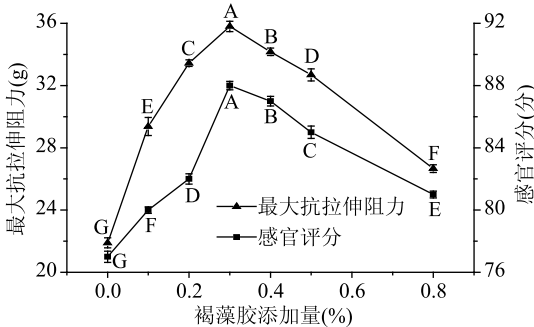


图 3 褐藻胶添加量对面条最大抗拉伸阻力和感官评分的影响

Fig.3 Effects of alginate addition on maximum resistance and sensory score noodles

2.1.4 海带膳食纤维添加量对面条最大抗拉伸阻力和感官评分的影响 由图 4 可知,海带膳食纤维的添加量在 0~3% 的范围内,随着添加量增大,最大抗拉伸阻力和感官评分呈增大趋势,添加量为 3% 时达到最大值,此时最大抗拉伸阻力为 39.18 g,感官评分为 87 分,但是随着海带膳食纤维添加量的继续增

大,面条最大抗拉伸阻力和感官评分呈下降趋势。这是由于海带膳食纤维持水能力较好,有助于维持面筋网络结构,面条拉伸特性增大,但海带膳食纤维不能形成面筋,添加量过高对面筋起稀释作用,导致网络结构疏松,面条品质下降,因此海带膳食纤维添加过量会导致面条拉伸特性下降,结果与其他膳食纤维在面制品中的添加量相近^[21-22]。因此,选定海带膳食纤维添加量为3%。

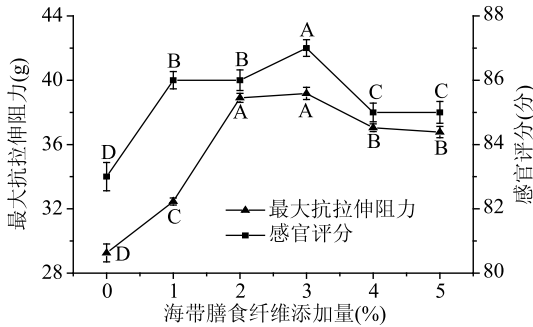


图4 海带膳食纤维添加量对面条最大抗拉伸阻力和感官评分的影响

Fig.4 Effect of dietary fiber addition on maximum tensile resistance and sensory score of noodle

2.2 响应面法优化面条加工工艺

2.2.1 响应面分析水平的确定 由单因素实验结果可知,通过单因素添加量空白时与最优条件进行对比,甘露醇和褐藻胶对面条品质及口感的改善程度比海带膳食纤维、海带降血压活性肽大,另外考虑海带降血压活性肽的营养价值及其显著降血压功能,因此选定海带膳食纤维的添加量为3%,选取海带降血压活性肽、甘露醇、褐藻胶添加量为自变量。

2.2.2 响应面实验结果 见表3。

2.2.3 以最大抗拉伸阻力为响应值的响应面分析 响应面实验得到回归方程：
$$Y_1 = 36.66 - 1.06B - 2.44AC - 5.23A^2 - 2.13B^2 - 2.29C^2$$

表4 最大抗拉伸阻力方差分析及显著性检验

Table4 The maximum tensile resistance variance analysis and test of significance

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	p 值	显著性
回归模型	207.24	9	23.03	15.74	0.0007	**
A	0.39	1	0.39	0.27	0.6198	
B	9.04	1	9.04	6.18	0.0418	*
C	0.30	1	0.30	0.21	0.6635	
AB	0.74	1	0.74	0.51	0.4993	
AC	23.74	1	23.74	16.23	0.0050	**
BC	2.69	1	2.69	1.84	0.2175	
A ²	114.96	1	114.96	78.59	<0.0001	**
B ²	19.12	1	19.12	13.07	0.0086	**
C ²	22.16	1	22.16	15.15	0.0060	**
残差	10.24	7	1.46			
失拟项	6.15	3	2.05	2	0.2559	
净误差	4.09	4	1.02			
总和	217.48	16				

注: **:极显著(p<0.01); *:显著(p<0.05)。

表3 响应面实验结果

Table 3 The response surface experiment results

实验号	A 海带 降血压 活性肽	B 甘露醇	C 褐藻胶	Y ₁ 最大抗 拉伸阻力 (g)	Y ₂ 感官 评分 (分)
1	0	1	-1	31.45	90
2	-1	-1	0	29.35	78
3	0	-1	-1	34.62	89
4	-1	1	0	28.50	89
5	-1	0	1	33.29	86
6	1	-1	0	31.37	86
7	0	0	0	37.55	89
8	0	0	0	36.33	92
9	0	0	0	37.55	92
10	0	1	1	30.88	90
11	-1	0	-1	27.44	83
12	0	-1	1	32.78	83
13	1	0	-1	30.27	89
14	1	1	0	28.79	85
15	1	0	1	26.37	84
16	0	0	0	35.32	92
17	0	0	0	37.55	91

方差分析及显著性检验如表4所示,该回归模型 $p = 0.0007 < 0.01$,极显著。失拟项不显著($0.2559 > 0.05$)。模型的相关系数 $R^2 = 95.29\%$,校正决定系数 $R^2_{Adj} = 89.24\%$,说明该模型的拟合度良好,误差小。模型 $CV = 3.74\%$,实验稳定性较好。表明可用该模型对面条最大抗拉伸阻力进行分析及预测。

由表4 方差分析及显著性检验和图5 响应曲面图可知,B 对面条最大抗拉伸阻力的影响显著;交互项 AC,二次项 A²、B²、C² 的影响极显著,交互项 AB、AC 的影响不显著。

2.2.4 以感官评分为响应值的响应面分析 响应面实验得到回归方程：

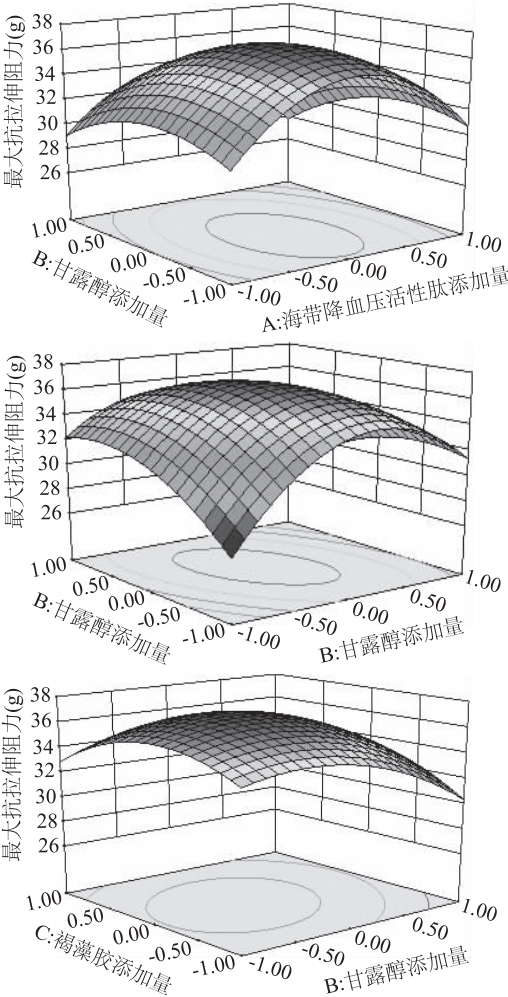


图5 响应面图

Fig.5 Response surface chart

$$Y_2 = 91.20 + 1.38B - 3.00AB - 2.00AC - 3.73A^2 - 2.98B^2 - 1.97C^2$$

方差分析及显著性检验如表 5 所示,该回归模型 $p = 0.0037 < 0.01$,极显著。失拟项不显著 (0.2299

> 0.05)。模型的相关系数 $R^2 = 92.34\%$,校正决定系数 $R^2_{adj} = 82.50\%$,说明该模型的拟合度良好,误差小。模型 $CV = 1.84\%$,实验稳定性较好。表明可用该模型对面条感官评分进行分析及预测。

由表 5 方差分析及显著性检验和图 6 响应面图可知,B、AC、 C^2 对面条最大抗拉伸阻力的影响显著,交互项 AB 以及二次项 A^2 、 B^2 的影响极显著,BC 的交互作用影响不显著。

2.2.5 面条最佳工艺的确定及验证实验 通过 Design-Expert 8.05 统计分析软件对实验数据进行分析,以最大抗拉伸阻力为响应值的面条的理论最佳工艺条件:海带降血压活性肽添加量 0.498%,甘露醇添加量 1.75%,褐藻胶添加量 0.3%,面条最大抗拉伸阻力的最佳预测值为 37.67 g。以感官评分为响应值的面条的理论最佳工艺条件:海带降血压活性肽添加量 0.54%,甘露醇添加量 2.04%,褐藻胶添加量 0.27%,面条感官评分的最佳预测值为 91.46 分。两者最佳工艺相近,考虑感官评分能够表现消费者的需求性以及实际操作的可操作性,将工艺调整为降血压活性肽添加量 0.5%,甘露醇添加量 1.8%,褐藻胶添加量 0.3% 进行验证,实测得最大抗拉伸阻力为 36.72 g,感官评分为 91 分,最大抗拉伸阻力与预测值的相对误差 RSD 值为 2.52% ($< 5\%$),感官评分与预测值的相对误差 RSD 值为 0.005% ($< 5\%$),说明预测模型可靠。

2.3 面条 ACE 抑制活性验证结果

对以上最优工艺参数制作出的面条进行 ACE 抑制活性验证,结果显示,其 IC_{50} 值为 6.02 mg/mL,说明面条对 ACE 酶具有一定的抑制作用,海带降血压活性肽能够抑制 ACE 酶活性,从而抑制血管紧张素 I 水解为血管紧张素 II 及催化舒缓激肽失活两个过程,达到降血压效果。海带降血压活性肽、甘露醇和褐藻胶均具有不同程度的降血压效果,各物质的添加使得制作的面条具有 ACE 抑制活性。

表 5 感官评分方差分析及显著性检验

Table 5 Variance analysis and significance test of sensory evaluation

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	p 值	显著性
回归模型	217.71	9	24.19	9.38	0.0037	**
A	8.00	1	8.00	3.10	0.1216	
B	15.13	1	15.13	5.87	0.0460	*
C	6.13	1	6.13	2.38	0.1672	
AB	36.00	1	36.00	13.96	0.0073	**
AC	16.00	1	16.00	6.20	0.0415	*
BC	12.25	1	12.25	4.75	0.0657	
A^2	58.42	1	58.42	22.66	0.0021	**
B^2	37.27	1	37.27	14.45	0.0067	**
C^2	16.42	1	16.42	6.37	0.0396	*
残差	18.05	7	2.58			
失拟项	11.25	3	3.75	2.21	0.2299	
净误差	6.80	4	1.70			
总和	235.76	16				

注:**:极显著($p < 0.01$);*:显著($p < 0.05$)。

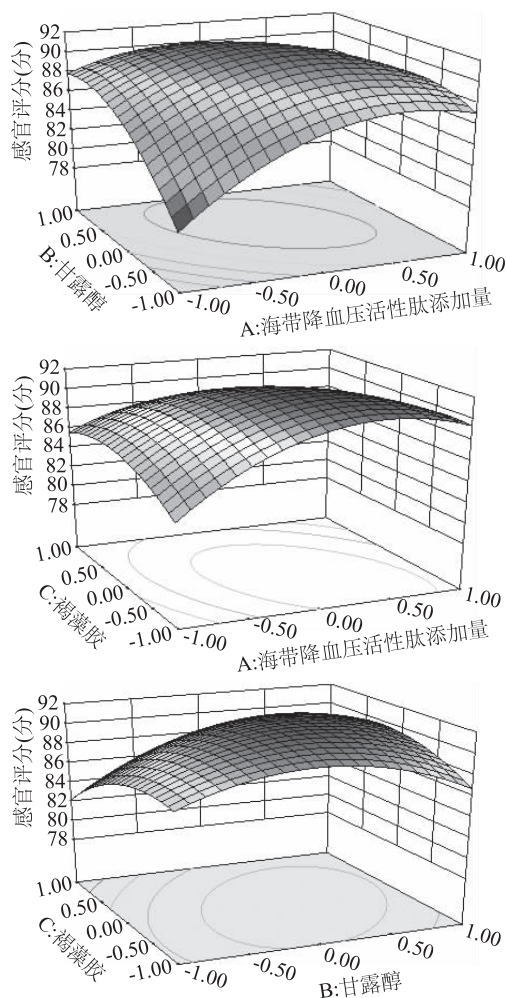


图6 响应曲面图

Fig.6 Response surface map

3 结论

在单因素实验的基础上固定海带膳食纤维的添加量为3%，采用响应面实验优化面条工艺参数：海带降血压活性肽添加量0.5%，甘露醇添加量1.8%，褐藻胶添加量0.3%，此时最大抗拉伸阻力达到36.72 g，感官评分为91分，面条的 IC_{50} 值为6.02 mg/mL，制作出的面条品质较好。本文为以后重组功能性营养物质提供了思路，并且提高了海带综合利用程度，为海带的高值化利用提供了路径。

参考文献

- [1] 姚海芹, 王飞久, 刘福利, 等. 食用海带品系营养成分分析与评价[J]. 食品科学, 2016(12): 95-98.
- [2] Xue Zhao, Fengjun Guo, Jing Hu, et al. Antithrombotic activity of oral administered low molecular weight fucoidan from *Laminaria japonica* [J]. Thrombosis Research, 2016, 14(4): 46-52.
- [3] Glen S Patten, Mahinda Y Abeywardena, Louise E Bennett. Inhibition of Angiotensin Converting Enzyme, Angiotensin II Receptor Blocking, and Blood Pressure Lowering Bioactivity

across Plant Families [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2013, 56(2): 181-214.

- [4] Xue Zhao, Chang-Hu Xue, Ba-Fang Li. Study of antioxidant activities of sulfated polysaccharides from *Laminaria japonica* [J]. Journal of Applied Phycology, 2008, 20(4): 431-436.
- [5] 任丹丹, 汪秋宽, 吴超, 等. 海带 ACE 酶抑制剂的浸提工艺研究[J]. 食品工业科技, 2012(2): 103-105.
- [6] G Schierhout, A Wakai. Mannitol for acute traumatic brain injury [J]. Cochrane Database of Systematic Reviews, 2013, 8(1): 279-281.
- [7] 刘海燕, 王晓梅, 张娟娟, 等. 海藻酸钠在面团体系中的应用研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2013(2): 199-203.
- [8] AV Podkorytova, L H Vafina, E A Kovaleva, et al. Production of algal gels from the brown alga, *Laminaria japonica* Aresch, and their biotechnological applications [J]. Journal of Applied Phycology, 2007, 19(6): 827-830.
- [9] Jeong Eun Song, A Ram Kim, Cheon Jung Lee, et al. Effects of purified alginate sponge on the regeneration of chondrocytes: *in vitro* and *in vivo* [J]. Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition, 2015, 26(3): 181-195.
- [10] 宋欢, 明建, 赵国华. 添加膳食纤维对面团及面制品品质的影响[J]. 食品科学, 2008(2): 493-496.
- [11] 樊环环, 牛晓峰, 王丽静, 等. 苦荞海带挤压湿面条研制及其抗氧化性[J]. 食品工业科技, 2016(8): 276-280.
- [12] 赵贵红, 周天华, 王尚荣. 马齿苋海带营养面条的研制[J]. 食品科学, 2006(12): 945-947.
- [13] 许慧娇. 不同酶酶解核桃蛋白产物体外抗氧化和降血压性研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2010.
- [14] 张辉, 翟小童, 徐元元, 等. 不同种类荞麦挤压面条的制作工艺研究[J]. 粮食加工, 2012(4): 68-72.
- [15] 牛巧娟, 陆启玉, 章绍兵, 等. 鲜湿燕麦面条的品质改良研究[J]. 食品科技, 2014(2): 156-161.
- [16] 姜龙波, 张喜文, 李萍, 等. 小米豇豆营养挂面的研制[J]. 食品工业科技, 2014(10): 297-302.
- [17] 陈辉, 刘心洁, 胡朝辉, 等. 响应面法优化无麸质面条复合改良剂[J]. 河北工业科技, 2014(4): 306-310.
- [18] Ji - Cheng Chen, Jie Wang, Bao - Dong Zheng, et al. Simultaneous Determination of 8 Small Antihypertensive Peptides with Tyrosine at the C-terminal in *Laminaria japonica* Hydrolysates by RP - HPLC Method [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2016, 40(3): 492-501.
- [19] 许春华. 亲水胶体对面条品质影响的研究[J]. 粮食与食品工业, 2013(6): 45-49.
- [20] 王春霞, 范素琴, 王晓梅, 等. 复配型面条改良剂的应用研究[J]. 现代食品科技, 2013(1): 177-180.
- [21] 赵文华, 李书国, 陈辉, 等. 麦麸膳食纤维对面团特性及中式面条品质的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2008(11): 9-11.
- [22] 蔡为荣, 张虹, 李清华, 等. 麦麸膳食纤维的提取及其添加量对面条面团黏弹性的影响[J]. 安徽农业科学, 2012(12): 7398-7401.