

低致敏蛋白 Ara h 1 复合益生菌发酵花生乳制备工艺优化

Optimization of preparation process of fermented peanut milk complexed with hypoallergenic protein Ara h 1 and probiotics

孙 畅¹ 吕呈蔚¹ 李铁柱¹ 胡济美² 黄 威¹

SUN Chang¹ LU Chen-yu¹ LI Tie-zhu¹ HU Ji-mei² HUANG Wei¹

(1. 吉林省农业科学院农产品加工研究所, 吉林 长春 130033; 2. 中国国际工程咨询有限公司, 北京 100048)

(1. Institute of Agro-food Technology, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun, Jilin 130033, China; 2. China International Engineering Consulting Corporation, Beijing 100048, China)

摘要:目的:研制低致敏复合乳酸菌发酵花生乳。方法:利用试剂盒测定不同品种花生中的粗蛋白含量及 Ara h 1 含量,选取 Ara h 1 含量最低的花生品种制作发酵乳;以接种量、接种种类、发酵时间及糖添加量为考察因素, Ara h 1 含量为测定结果,采用响应面法优化致敏蛋白 Ara h 1 含量下降最多的发酵花生乳制备工艺;制作复合益生菌发酵花生乳,并对产品的口感、组织状态和风味进行感官评价。结果:当接种量为 4%、接种嗜热链球菌和保加利亚乳杆菌、发酵 4 h、糖添加量为 6% 时,发酵花生乳中的主要过敏原 Ara h 1 减少 70%,含量为 48 μg/g,且感官评分达到 80 分。结论:经工艺优化获得了致敏蛋白 Ara h 1 含量低,凝乳效果好,口味怡人的复合益生菌发酵花生制品。

关键词:花生; Ara h 1; 响应面; 复合益生菌; 发酵

Abstract: Objective: This study aimed to develop a kind of fermented hypoallergenic peanut milk with lactic acid bacteria.

Methods: The crude protein content and Ara h 1 concentration in different peanut varieties were determined by the kit, and the peanut varieties with the lowest Ara h 1 content were selected to make fermented milk. Response surface method was used to optimize the preparation process of fermented peanut milk with

the maximum reduction of sensitizing protein Ara h 1 content with different inoculation amount, inoculation species, fermentation time and sugar addition amount as factors. The compound fermented peanut milk with probiotics was prepared, and the taste, histological state and flavor of the product were evaluated. **Results:** When inoculated with 4% bacteria, inoculated with *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus bulgaricus*, fermented for 4 h, and added with 6% sugar, the main allergen Ara h 1 in fermented peanut milk was reduced by 70% to 48 μg/g, and the average score of sensory evaluation was 80 points. **Conclusion:** Through process optimization, a compound probiotic fermented peanut product with low content of sensitizing protein Ara h 1, good curd effect and pleasant taste was obtained.

Keywords: peanut; Ara h 1; response surface; compound probiotics; fermentation

花生价格低廉、营养丰富。然而,花生中的过敏蛋白是重要的过敏源会引发严重的食物过敏^[1],是当今世界上重大公共卫生问题之一。花生主要的过敏源为 Ara h 1、Ara h 2、Ara h 3 等,其中花生过敏蛋白 Ara h 1 含量最高,且具有耐酶性、热稳定性高和极强致敏性等特点^[2],成为花生脱敏的难点。

传统的花生脱敏方法包括高压、酶解、发酵、水煮等。研究^[3]表明,高压蒸汽处理可以降低花生过敏源含量,烤花生仁经高压蒸汽处理 30 min,可显著降低过敏源与 IgE 的结合能力,达到脱敏效果,但是此过程能耗高、设备昂贵。酶解法是一种有效降低花生过敏源的方法,但是酶处理成本高,特异性差。相比之下,发酵法兼具酶解法的优点,同时成本低廉,特异性要求不高。有研究^[4]表明,益生菌发酵能有效降低花生中致敏蛋白 Ara h 1 和 Ara h 2

基金项目:吉林省科技厅重点研发计划项目(编号:20210203182SF);吉林省预算内基本建设基金(编号:2023c038-1);吉林省农业科技创新工程项目(编号: CXGC2021TD006)

作者简介:孙畅,女,吉林省农业科学院研究实习员,硕士。

通信作者:胡济美(1985—),男,中国国际工程咨询有限公司高级工程师,硕士。E-mail: hujimei@ciecc.com.cn

黄威(1976—),男,吉林省农业科学院副研究员,硕士。E-mail: huangwei501@126.com

收稿日期:2022-08-26 **改回日期:**2023-01-10

含量。但是,目前关于乳酸菌发酵降低花生致敏性的报道较少。有研究^[5]表明,纳豆芽孢杆菌和乳酸菌联合发酵会降低花生的致敏性。水煮法是一种常用的花生脱敏方法,花生在 100 ℃ 水煮 5 min 后其中的 Ara h 1 二级结构发生部分缺失,从而降低致敏性,是一种方便快捷的脱敏方法^[6]。然而,水煮后的花生口感发生变化,水煮法脱敏普遍适用于生产低致敏花生食品。研究拟选择复合乳酸菌发酵法与水煮法结合,将新型花生脱敏方法与常用的花生脱敏方法结合,研制一款低致敏复合乳酸菌发酵花生乳,旨在丰富花生制品的种类和利用价值,为口服免疫疗法食物载体^[7]和花生过敏患者食用的花生制品研制提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

花生:吉花 3、吉花 4、吉花 11、吉花 23、吉花 24、吉花 25、吉花 26、吉花 28、吉花 29、吉花 33、双辽四粒红、扶余四粒红,吉林省农业科学院;

嗜热链球菌、保加利亚乳杆菌:陕西西先尔生物科技有限公司;

丙酮、NaCl:分析纯,上海阿拉丁生化科技股份有限公司;

Tris-HCl 缓冲液、PBS 缓冲液:北京索莱宝科技有限公司;

花生 Ara h 1 蛋白 ELISA 检测试剂盒:上海钦诚生物科技有限公司;

磁力搅拌器:HJ-6 型,江苏省金坛市荣华仪器制造有限公司;

高速冷冻离心机:CR21G II 型,日立(中国)有限公司;

恒温水浴锅:HH-2 型,常州朗越制造有限公司;

超净工作台:VS-840K(-U)/1300L(-U)型,安泰科技股份有限公司;

超声波清洗机:KQ5200DV 型,昆山市超声仪器有限公司;

恒温培养箱:DHP-9052 型,上海呈科技实验仪器有限公司;

多功能酶标仪:iMark 型,伯乐生命医学产品(上海)有限公司。

1.2 方法

1.2.1 花生水分含量测定 按 GB 5009.3—2016 执行。

1.2.2 花生过敏源含量测定 剔除花生中坏籽,称取新鲜花生 5 g,剥去红衣,研磨成粉末,将花生粉末与丙酮按 $m_{花生粉末} : V_{丙酮}$ 为 1 : 10 (g/mL) 混合,4 ℃ 搅拌脱脂 2 h,4 ℃、9 000 r/min 离心 10 min,去掉上层清液,重复脱脂两次后将沉淀物于通风柜中自然风干。将脱脂花生粉末

与 PBS 缓冲液(pH 8.0)按 $m_{花生粉末} : V_{缓冲液}$ 为 1 : 10 (g/mL) 混合,60 ℃ 震荡 15 min,4 ℃、9 000 r/min 离心 10 min,收集上清液即为花生蛋白粗提液^[8]。用 Ara h 1 过敏源试剂盒测定其过敏源含量^[9]。

发酵花生乳蛋白提取:参照文献^[10—12]略作修改,将花生乳与 PBS 缓冲液(pH 8.0),按 $m_{花生乳} : V_{缓冲液}$ 为 1 : 10 (g/mL) 混合,60 ℃ 超声水浴 15 min,15 000 r/min 离心 30 min,取上清液。用 Ara h 1 过敏源试剂盒测定其过敏源含量。

1.2.3 单因素试验

(1) 发酵花生乳制备流程:

脱壳剥皮花生磨碎→加水、加糖煮沸 15 min→95 ℃ 水浴灭菌 15 min→晾凉→接菌→发酵→冷藏后熟

(2) 固定接菌量为 2%、接菌种类为嗜热链球菌、发酵时间为 4 h、糖添加量为 6%、发酵温度 43 ℃。分别考察糖添加量(4%,5%,6%,7%,8%)、接菌种类(嗜热链球菌、保加利亚乳杆菌、 $m_{嗜热链球菌} : m_{保加利亚乳杆菌}$ 为 1 : 1 复合, $m_{嗜热链球菌} : m_{保加利亚乳杆菌}$ 为 1 : 2 复合, $m_{嗜热链球菌} : m_{保加利亚乳杆菌}$ 为 2 : 1 复合)、接菌量(2%,3%,4%,5%,6%),发酵时间(2,4,6,8,10 h)对 Ara h 1 降低率的影响^[13—16]。

1.2.4 响应面试验 根据单因素试验,选取发酵时间、糖添加量和接菌量为因素,以 Ara h 1 降低率为响应值进行三因素三水平响应面试验,优化低致敏蛋白 Ara h 1 含量的发酵花生乳最佳工艺参数。

1.2.5 感官评价 根据响应面试验结果制作低致敏发酵花生乳,选择 10 位具有酸奶品评经验的人员根据产品的口感、组织状态和风味按表 1 进行综合评审,取平均值。

1.2.6 统计分析 所有样品平行测定 3 次,用 Graph pad 8 绘图并进行显著性分析。

表 1 益生菌花生发酵乳的感官评价标准

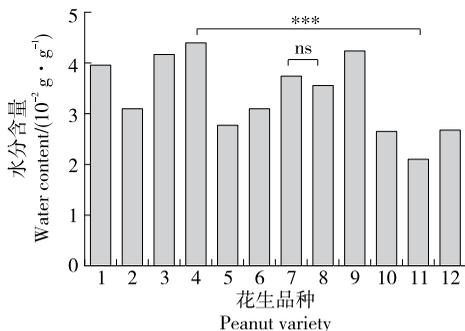
Table 1 Sensory evaluation criteria of probiotic peanut fermented milk

指标	评价标准	分值
口感	酸甜适宜,细腻滑润	30~40
	酸甜适中,较细腻	20~29
	酸甜度失调,不细腻	10~19
组织状态	凝乳均匀,无气泡,不分层	20~30
	有较好的风味,凝乳较均匀,无气泡,少量但分层不显著	10~19
	凝乳不均匀,有气泡,分层显著	1~9
风味	具有良好的花生和酸奶混合风味	20~30
	花生和酸奶风味基石协调或某一风味浓郁	10~19
	风味不佳或不协调	1~9

2 结果与分析

2.1 花生水分含量

影响花生食品口感的因素较多,例如花生与水分添加比例^[17],花生粒径大小^[18],花生的原料特性,包括水分、脂肪、蛋白质^[19]等。由图 1 可知,所有品种的花生水分含量不超过 5 g/100 g,表明晾晒充分,不会对发酵乳口感产生影响。不同品种的花生水分含量存在差异,水分含量最高和水分含量最低组之间呈极显著差异($P < 0.001$),7 号和 8 号之间无显著性差异,是由于花生中的水分含量受产地、品种等因素影响^[20],由此可见,通过调整花生的种植方式及花生品种的选择会改变花生水分含量从而进一步利于加工和贮藏。



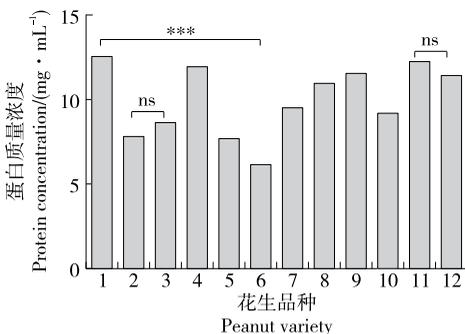
1~12 号分别代表吉花 3、吉花 4、吉花 11、吉花 23、吉花 24、吉花 25、吉花 26、吉花 28、吉花 29、吉花 33、双辽四粒红、扶余四粒红;
*** 为 $P < 0.001$; ns 为 $P > 0.05$

图 1 不同花生品种水分含量

Figure 1 Moisture content of different peanut varieties

2.2 花生过敏源含量

由图 2 可知,不同品种的花生蛋白质量浓度为 5.5~13 mg/mL,最高与最低含量存在极显著性差异($P < 0.01$),2 号与 3 号等花生之间蛋白含量无差异。这与童



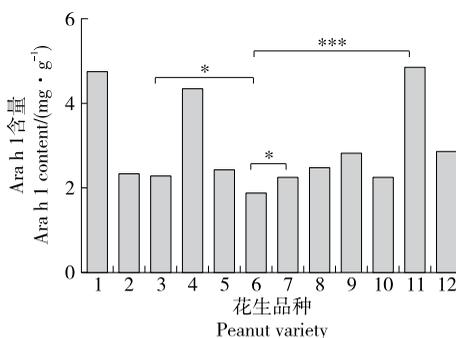
1~12 号分别代表吉花 3、吉花 4、吉花 11、吉花 23、吉花 24、吉花 25、吉花 26、吉花 28、吉花 29、吉花 33、双辽四粒红、扶余四粒红;
*** 为 $P < 0.001$; ns 为 $P > 0.05$

图 2 不同花生品种的蛋白浓度

Figure 2 Protein concentration of different peanut varieties

芳^[15]的研究结果一致,花生蛋白质含量会影响发酵花生乳的凝胶强度、咀嚼性、黏性等,进一步可能会影响货架期等。同时,在不同的花生蛋白饮品研究中,最佳感官评价的花生饮品花生蛋白添加比例不同^[21]。

由于过敏蛋白 Ara h 1、Ara h 2、Ara h 3、Ara h 6 在花生中含量高且致敏性较强,被认为是 4 种主要的花生过敏源^[22],Ara h 1 含量最高,是最主要的过敏源^[23]。花生的过敏蛋白含量与花生蛋白质量浓度呈正相关,Ara h 1 约占花生总蛋白的 12%~16%^[24]。由图 3 可知,不同品种花生过敏蛋白 Ara h 1 含量为 1.9~5 mg/g,Yu 等^[10]测得弗吉尼亚花生中过敏蛋白 Ara h 1 含量为 5.3 mg/g,Pomés 等^[12]测得不同品种花生中过敏蛋白 Ara h 1 含量为 0.5~15 mg/g,与试验结果相同。6 号花生的 Ara h 1 含量最低。



1~12 号分别代表吉花 3、吉花 4、吉花 11、吉花 23、吉花 24、吉花 25、吉花 26、吉花 28、吉花 29、吉花 33、双辽四粒红、扶余四粒红;
* 为 $P < 0.05$; *** 为 $P < 0.001$

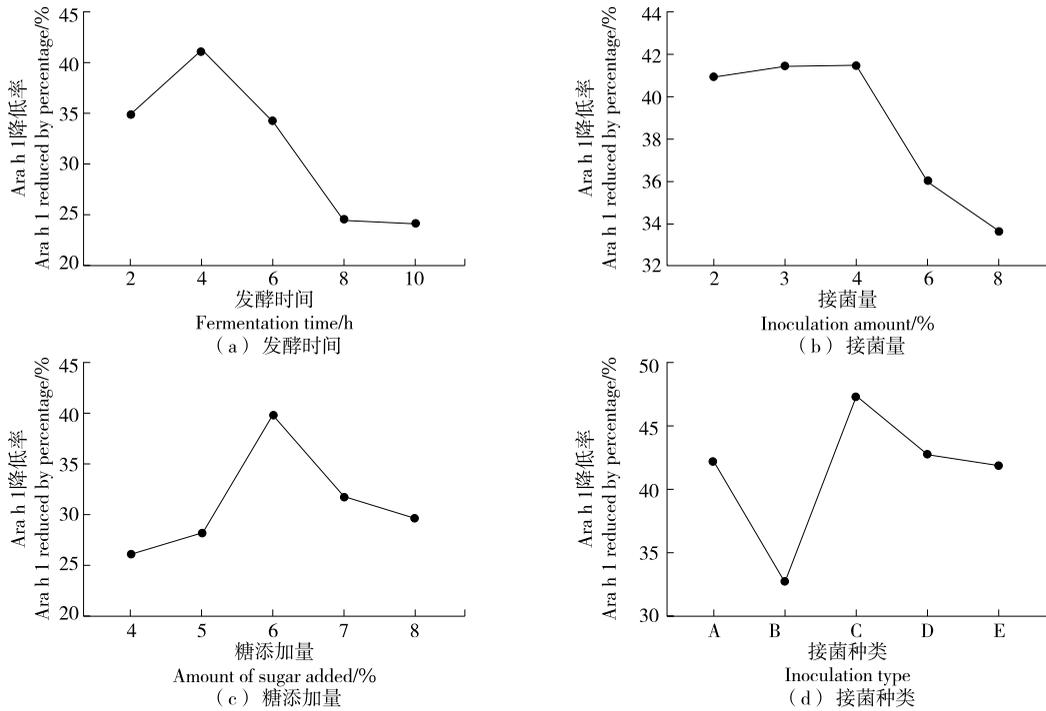
图 3 不同花生品种中过敏源 Ara h 1 含量

Figure 3 Allergen Ara h 1 content in different peanut varieties

2.3 单因素试验

由图 4(a)、图 4(b)可知,当发酵时间为 4 h、接菌量为 4% 时,Ara h 1 含量减少最多,可能是因为发酵时间和接菌量的变化会影响益生菌发酵产生的蛋白酶活力,导致花生蛋白分解数量和速率改变,进而影响 Ara h 1 含量^[33]。当接菌量为 4% 时,Ara h 1 含量与接菌量 2%、3% 的无差异,但与接菌量 5%、6% 的差异显著($P < 0.05$)。因此,选择发酵时间 2,4,6 h,接菌量为 2%,4%,6% 进行后续响应面试验^[17]。

由图 4(c)可知,当糖添加量为 6% 时,Ara h 1 含量减少最多,与童芳^[15]的研究相似,可能是由于糖的增加抑制了益生菌发酵,降低了分解 Ara h 1 的能力。由图 4(d)可知,当 m 嗜热链球菌 : m 保加利亚乳杆菌 为 1 : 1 复合时,能降低花生乳中 Ara h 1 含量,且效果比单一菌株和其他比例的复合菌好。两种益生菌同时发酵可起到协同作用,共同降低花生与 IgE 的结合能力,从而达到降低过敏性的效



A 为嗜热链球菌;B 为保加利亚杆菌;C 为 *m*嗜热链球菌 : *m*保加利亚杆菌 为 1 : 1 复合;D 为 *m*嗜酸乳杆菌 : *m*保加利亚杆菌 为 1 : 2 复合;E 为 *m*嗜酸乳杆菌 : *m*保加利亚杆菌 为 2 : 1 复合

图 4 各因素对 Ara h 1 降低率的影响

Figure 4 The effect of different factors on Ara h 1 reduction rate

果^[13],同时,不同种类益生菌所产生的蛋白酶活力不同也会影响试验效果。因此,选择糖添加量 5%,6%,7%,*m*嗜热链球菌 : *m*保加利亚杆菌 为 1 : 1 进行后续响应面试验。

2.4 响应面试验

2.4.1 模型建立与方差分析 根据单因素试验,选取发酵时间、糖添加量和接菌量为因素,以 Ara h 1 降低率为响应值进行三因素三水平响应面试验,各因素水平见表 2,试验设计及结果见表 3。

利用 Design-Expert 8.0.6 软件拟合分析,得出过敏蛋白 Ara h 1 降低率与 A、B、C 三因素的回归方程为:

$$Y = 68.64 + 1.85A + 0.88B - 0.81C - 0.25AB - 1.22AC + 0.58BC - 5.27A^2 - 6.58B^2 - 4.78C^2. \quad (1)$$

由表 4 可知,模型 $P < 0.0001$,极显著;失拟项 $P > 0.05$,不显著,说明失拟误差小,该试验结果与模型拟合度高。 R^2 为 0.9848, R^2_{Adj} 为 0.9653,说明试验模型误差较小。

表 2 益生菌发酵花生乳响应面优化试验设计

Table 2 Optimization of response surface of peanut milk fermented by probiotics

水平	A 发酵时间/h	B 糖添加量/%	C 接菌量/%
-1	2	4	2
0	4	6	4
1	6	8	6

表 3 发酵花生乳中 Ara h 1 含量响应面优化试验结果

Table 3 Response surface optimization of Ara h 1 content in fermented peanut milk

试验号	A	B	C	Ara h 1 降低率/%
1	0	0	0	67.34
2	1	0	-1	62.15
3	0	1	-1	59.23
4	1	0	1	58.62
5	0	0	0	68.45
6	0	-1	1	54.18
7	0	0	0	69.29
8	-1	0	1	57.46
9	0	0	0	69.98
10	-1	-1	0	54.35
11	-1	0	-1	56.13
12	0	0	0	68.12
13	-1	1	0	55.43
14	0	1	1	58.26
15	0	-1	-1	57.47
16	1	-1	0	58.65
17	1	1	0	58.73

小,结果均在合理范围内。一次项系数的绝对值排列为 $A > B > C$,说明过敏蛋白 Ara h 1 降低率受发酵时间影响最大,受接菌量的影响最小。一次项 A、交互项 AC 和二次项 A^2 、 B^2 、 C^2 对 Ara h 1 降低率影响极显著 ($P < 0.01$),一次项 B 对 Ara h 1 降低率影响显著 ($P < 0.05$)。

2.4.2 响应面分析 由图 5 可知,发酵时间与糖添加量和接菌量的相互作用效果大于糖添加量和接菌量的,发酵时间、接菌量、糖添加量在中间数值时对 Ara h 1 降低率影响最大,与方差分析的结果相符。

2.4.3 验证实验 根据响应面模型优化出的最佳条件组合为发酵时间 4.37 h、糖添加量 6.12%、接菌量 3.79%,此时过敏蛋白 Ara h 1 减少 68.9%,含量为 47.35 $\mu\text{g/g}$ 。考虑到实际可操作性,选择发酵时间 4 h、糖添加量 6%、接菌量 3%,验证该工艺参数,此时过敏蛋白 Ara h 1 减少 70%,含量为 48 $\mu\text{g/g}$,与此模型得出的预测值无显著差异,证明此模型有效。有研究^[12]对市面上花生制品 Ara h 1 含量进行检测,花生酱 Ara h 1 含量为 188.5 $\mu\text{g/g}$,花生三明治 Ara h 1 含量为 100~150 $\mu\text{g/g}$,其含量是花生发酵乳的 2 倍以上。

表 4 Ara h 1 降低率响应面试验数据结果的方差分析[†]

Table 4 Anova analysis of Ara h 1 rate-reduction response surface test results

差异来源	平方和	自由度	均方差	F 值	P 值	显著性
模型	486.44	9	54.05	50.41	<0.000 1	**
A	27.31	1	27.31	25.47	0.001 5	**
B	6.13	1	6.13	5.71	0.048 2	
C	5.22	1	5.22	4.87	0.063 2	
AB	0.25	1	0.25	0.23	0.643 9	
AC	5.90	1	5.90	5.51	0.015 3	*
BC	1.35	1	1.35	1.26	0.299 5	
A^2	116.96	1	116.96	109.09	<0.000 1	**
B^2	182.05	1	182.05	169.81	<0.000 1	**
C^2	96.02	1	96.02	89.56	<0.000 1	**
误差	7.50	7	1.07			
失拟误差	3.29	3	1.10	1.04	0.465 2	
纯误差	4.21	4	1.05			
总和	493.94	16				

[†] ** 为差异极显著 ($P < 0.01$); * 为差异显著 ($P < 0.05$);

$R^2 = 0.984 8; R^2_{\text{adj}} = 0.965 3$ 。

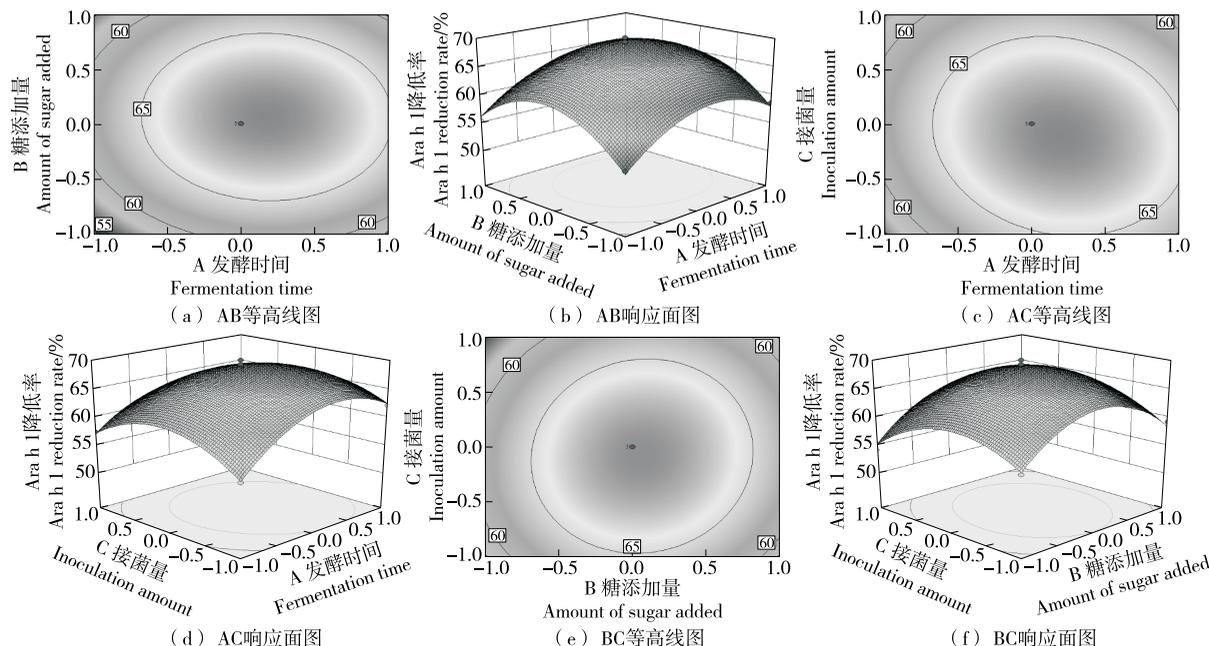


图 5 两两因素交互的等高线图和 3D 图

Figure 5 Contour plot and 3D plot of the interaction between two factors in the response surface experimental model

2.5 感官评价

由图 6 可知,最佳条件下制作的发酵花生乳感官评分为 80,且低致敏复合益生菌发酵花生乳质地良好,花生香气较协调,酸甜适中。研究表明,加入不同比例的牛乳或脱脂乳粉进行发酵会影响花生发酵乳的风味物质、黏性和持水力等^[10, 22-25],加入 DHA 制作发酵花生乳可增加其蛋白质含量^[12],加入芹菜汁可增加发酵花生乳的独

特风味^[26]。

3 结论

研究表明:复合益生菌发酵花生乳可以很好地降低花生的主要过敏源 Ara h 1 含量,最佳的工艺条件为发酵时间 4 h、接菌量 4%、糖添加量 6%、接菌嗜热链球菌和保加利亚乳杆菌,此条件下主要过敏源 Ara h 1 含量降低 70%,含量为 48 $\mu\text{g/g}$ 。成品感官评价效果好,有良好的

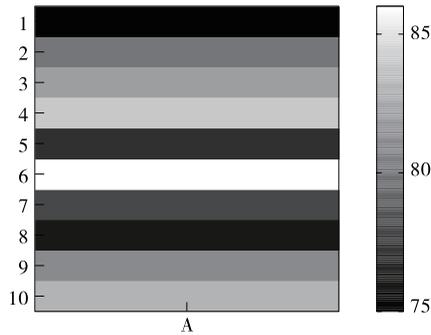


图 6 感官评价热图

Figure 6 Sensory evaluation heat map

发酵乳风味。后续可对花生发酵乳进行功能性研究,检测发酵完成的花生乳中乳酸菌总量,验证抗氧化等功能特性,为口服免疫疗法食物载体和花生过敏患者食用的花生制品提供依据,为进一步工业化生产提供思路。

参考文献

- [1] 张雅君, 张浩, 杨选, 等. 花生主要致敏物质及其脱敏方法研究进展[J]. 食品科学, 2014, 35(17): 312-318.
ZHANG Y J, ZHANG H, YANG X, et al. Recent advances in research on main peanut allergens and desensitization methods[J]. Food Science, 2014, 35(17): 312-318.
- [2] CABANOS C, URABE H, TANDANG-SILVAS M R, et al. Crystal structure of the major peanut allergen Ara h 1 [J]. Molecular Immunology, 2011, 49(1/2): 115-123.
- [3] CABANILLAS B, MALEKI S J, RODRIGUEZ J, et al. Heat and pressure treatments effects on peanut allergenicity [J]. Food Chemistry, 2012, 132(1): 360-366.
- [4] Agricultural Communications and Technology Unit at North Carolina Agricultural and Technical State University. New process removes allergy proteins from peanuts[J]. Research, 2005, 2: 3.
- [5] PI X W, FU G M, YANG Y L, et al. Changes in IgE binding capacity, structure, physicochemical properties of peanuts through fermentation with *Bacillus natto* and *Lactobacillus plantarum* along with autoclave pretreatment[J]. Food Chemistry, 2022, 392: 133208.
- [6] BLANC F, VISSERS Y M, ADEL-PATIENT D K, et al. Boiling peanut Ara h 1 results in the formation of aggregates with reduced allergenicity[J]. Molecular Nutrition & Food Research, 2011, 55(12): 1887-1894.
- [7] YAHIA S H, MACHNES-MAAYAN D, FRIZINSKY S F, et al. Oral immunotherapy for children with a high-threshold peanut allergy Author links open overlay panel[J]. Annals of Allergy, Asthma & Immunology, 2022, 123(3): 347-353.
- [8] 潘迪. 超高压及其协同酶处理对花生致敏蛋白 Ara h 1 的免疫反应性及结构的影响研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2019: 20-21.
PAN D. Effects of ultra-high pressure and its synergistic enzymatic treatment on the immunoreactivity and structure of peanut allergenic protein Ara h 1[D]. Xiamen: Xiamen University, 2019: 20-21.
- [9] 王耀, 陈曦, 武汉良, 等. 花生致敏蛋白 Ara h 1 双抗体夹心 ELISA 法的建立[J]. 食品与机械, 2020, 36(7): 59-62, 113.
WANG Y, CHENG X, WU H L, et al. Establishment of double antibody sandwich ELISA for peanut allergenic protein Ara h 1[J]. Food & Machinery, 2020, 36(7): 59-62, 113.
- [10] YU J M, MILIASHVILI N. Effectiveness of different proteases in reducing allergen content and IgE binding of raw peanuts[J]. Food Chemistry, 2020, 307: 125565.
- [11] 吴序栋, 肖杰, 刘志刚, 等. 花生主要过敏原 Ara h 1 的纯化[J]. 食品科学, 2011, 32(5): 12-15.
WU X L, XIAO J, LIU Z G, et al. Purification of peanut allergen Ara h 1[J]. Food Science, 2011, 32(5): 12-15.
- [12] POMES A, HELM R M, BANNON G A, et al. Monitoring peanut allergen in food products by measuring Ara h 1 [J]. Journal of Allergy and Clinical Immunology, 2003, 111(3): 640-644.
- [13] 李博, 谷新晰, 卢海强, 等. 发酵花生酸奶益生菌菌株筛选及其蛋白酶活性[J]. 中国食品学报, 2017, 17(4): 272-279.
LI B, GU X X, LU H Q, et al. Screening and protease activity of *Lactobacillus* strains fermented peanut yogurt [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2017, 17(4): 272-279.
- [14] 刘金平, 梁西爱. 花生酸奶的研制[J]. 中国乳品工业, 2006(3): 21-23.
LIU J P, LIANG X A. Research and development of peanut yoghurt[J]. China Dairy Industry, 2006(3): 21-23.
- [15] 童芳. 花生酸奶的制备、营养成分及品质研究[D]. 重庆: 西南大学, 2020: 6, 29, 44.
TONG F. Preparation, nutrition and quality of peanut yogurt[D]. Chongqing: Southwest University, 2020: 6, 29, 44.
- [16] 侯凯荣, 妥彦峰, 牟光庆. 干酪乳杆菌 16 发酵豆乳工艺优化及抗氧化性研究[J]. 食品与机械, 2020, 36(6): 193-197.
HOU K R, TUO Y F, MU G Q. Optimization on process of fermented soymilk by *Lactobacillus casei* 16 [J]. Food and Machinery, 2020, 36(6): 193-197.
- [17] 白卫东, 沈棚, 钱敏, 等. 响应面优化花生乳酶法脱敏工艺[J]. 中国食品学报, 2013, 13(9): 126-132.
BAI W D, SHEN P, QIAN M, et al. Response surface optimization of peanut milk enzymatic desensitization process[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2013, 13(9): 126-132.
- [18] 刘玉兰, 舒垚, 孙国昊, 等. 花生品种对花生酱风味及综合品质的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(9): 15-21.
LIU Y L, SHU Y, SUN G H, et al. Effects of different varieties of peanuts on the flavor and quality of peanut butter[J]. Food Science, 2021, 42(9): 15-21.
- [19] 巩阿娜, 刘红芝, 刘丽, 等. 原料特性对花生酱品质的影响[J]. 中国食品学报, 2016, 16(11): 253-262.
GONG A N, LIU H Z, LIU L, et al. Influence of raw material characteristics on the quality of peanut butter [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2016, 16(11): 253-262.

(下转第 194 页)

- properties of surimi and precocious Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) meat [J]. *Food Hydrocolloids*, 2020, 98: 105261.
- [20] ZHANG W, CHENG S, WANG S, et al. Effect of pre-frying on distribution of protons and physicochemical qualities of mackerel [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2021, 101(11): 4 838-4 846.
- [21] CAKIR E, DAUBERT C R, DRAKE M A, et al. The effect of microstructure on the sensory perception and textural characteristics of whey protein/ κ -carrageenan mixed gels[J]. *Food Hydrocolloids*, 2012, 26(1): 33-43.
- [22] GARCIA E, TOTOSAUS A. Low-fat sodium-reduced sausages: Effect of the interaction between locust bean gum, potato starch and κ -carrageenan by a mixture design approach[J]. *Meat Science*, 2008, 78(4): 406-413.
- [23] SUN F, HUANG Q, HU T, et al. Effects and mechanism of modified starches on the gel properties of myofibrillar protein from grass carp [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2014, 64: 17-24.
- [24] HUNT A, PARK J W, HANDA A. Effect of various types of egg white on characteristics and gelation of fish myofibrillar proteins [J]. *Journal of Food Science*, 2009, 74(9): C683-C692.
- [25] 张一鸣, 李思仪, 沈晓溪, 等. 外源添加剂对鲢鱼-鳙鱼复合鱼糜凝胶性能的影响[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(19): 197-203. ZHANG Y M, LI S Y, SHEN X X, et al. Effect of exogenous additives on gel characteristics of silverfish-cod fish mixture[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(19): 197-203.
- [26] FLYNN T D O, HOGAN S A, DALY D F M, et al. Rheological and solubility properties of soy protein isolate[J]. *Molecules*, 2021, 26(10): 3 015.
- [27] 陈瑜, 张小军, 丁国芳, 等. 外源添加剂对日本黄姑鱼鱼糜制品凝胶特性的影响[J]. *食品科技*, 2018, 43(12): 149-153. CHEN Y, ZHANG X J, DING G F, et al. Effect of exogenous additives on gel properties of *Nibea japonica* surimi products[J]. *Food Science and Technology*, 2018, 43(12): 149-153.
- [28] LI Y, DAMODARAN S. In vitro digestibility and IgE reactivity of enzymatically cross-linked heterologous protein polymers[J]. *Food Chemistry*, 2017, 221: 1 151-1 157.
- [29] 于楠楠, 王卫东, 陈学红, 等. TG 酶对高温杀菌鱼糜凝胶特性影响[J]. *食品工业*, 2020, 41(4): 98-101. YU N N, WANG W D, CHEN X H, et al. Effects of glutamine transaminase on gel properties of high temperature sterilization surimi[J]. *The Food Industry*, 2020, 41(4): 98-101.
- [30] JIANG Y, REDDY C K, HUANG K, et al. Hydrocolloidal properties of flaxseed gum/konjac glucomannan compound gel[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2019, 133: 1 156-1 163.
- [31] PETCHARAT T, BENJAKUL S. Effect of gellan incorporation on gel properties of bigeye snapper surimi[J]. *Food Hydrocolloids*, 2017, 77: 746-753.
- [32] WANG Z, LIANG J, JIANG L, et al. Effect of the interaction between myofibrillar protein and heat-induced soy protein isolates on gel properties [J]. *CYTA: Journal of Food*, 2015, 13(4): 527-534.
- [33] MI H, ZHAO Y, LI Y, et al. Combining effect of soybean protein isolate and transglutaminase on the gel properties of zhikong scallop (*Chlamys farreri*) adductor muscle[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2021, 138: 110727.
- [34] LUO H, GUO C, LIN L, et al. Combined use of rheology, LF-NMR, and MRI for characterizing the gel properties of hairtail surimi with potato starch[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2020, 13(1): 637-647.
- [35] YANG S, TU Z C, WANG H, et al. Effects of coagulant promoter on the physical properties and microstructure of the mixed system of ultrafine fishbone and surimi [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2020, 131: 109792.
-
- (上接第 185 页)
- [20] 陈鹏泉, 刘磊, 陈楠, 等. 不同干燥预处理下储藏条件对花生品质变化影响研究[J]. *花生学报*, 2022, 51(1): 30-41. CHENG P X, LIU L, CHEN N, et al. Study on effect of storage conditions on peanut quality under different dry pretreatment[J]. *Journal of Peanut Science*, 2022, 51(1): 30-41.
- [21] 秦朗. 含 DHA 的花生蛋白酸奶稳定性的研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2019: 9-11. QIN L. Study on stability of peanut protein yogurt containing DHA[D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2019: 9-11.
- [22] BECKER W M, JAPPE U. Peanut allergens [J]. *Chemical Immunology & Allergy*, 2014, 100: 256-267.
- [23] KOPPELMAN S J, VLOOSWIJK R A A, KNIPPELSNIPPELS L M J, et al. Quantification of major peanut allergens Ara h 1 and Ara h 2 in the peanut varieties Runner, Spanish, Virginia, and Valencia, bred indifferent parts of the world[J]. *Allergy*, 2015, 56(2): 132-137.
- [24] 史云凤, 张彤, 陈沁. 花生过敏原 Ara h 1 蛋白的原核表达及致敏性分析[J]. *食品科学*, 2019, 40(6): 121-127. SHI Y F, ZHANG T, CHEN Q. Prokaryotic expression of peanut allergen Ara h 1 and its allergenicity[J]. *Food Science*, 2019, 40(6): 121-127.
- [25] 朱广成, 覃思, 聂乾忠. 椴子果提取物对酸奶发酵特性和功能特性的影响[J]. *食品与机械*, 2020, 36(4): 176-182. ZHU G C, QIN S, NIE Q Z. Effect of *Gardenia fruit* extract on fermentation and functional properties of yogurt [J]. *Food & Machinery*, 2020, 36(4): 176-182.
- [26] 魏秋红, 赵美琳. 芹菜花生酸奶的研制[J]. *中国酿造*, 2011(9): 192-194. WEI Q H, ZHAO M L. Preparation of celery-peanut yoghurt[J]. *China Brewing*, 2011(9): 192-194.