

低糖青稞蛋糕品质复合改良剂配方研发

黄益前, 张雨薇, 郑万琴, 刘春燕, 赖攀, 肖猛*

(四川旅游学院 食品学院, 四川 成都 610100)

摘要: 为研究海藻酸丙二醇酯(PGA)、谷氨酰胺转氨酶(TG酶)、褐藻胶(SA)3种食品添加剂制成的复配型品质改良剂对低糖青稞蛋糕品质的影响,以模糊综合评价得分为响应值,利用响应面分析法对3种食品添加剂的配方进行优化。结果表明:3种食品添加剂对低糖青稞蛋糕品质影响顺序为:SA>PGA>TG酶,最佳配方为:SA添加量0.17%、TG酶添加量0.13%、PGA添加量0.15%,在此条件下,品质综合评分可达0.987,采用上述最优条件进行验证实验,实际得分为 0.98 ± 0.01 ,成品蛋糕的感官品质良好。

关键词: 低糖;青稞蛋糕;食品添加剂;响应面分析;美食营养

中图分类号: TS 972.13

文献标识码: A

文章编号: 2095-8730(2019)03-0054-06

青稞营养丰富,但其面筋蛋白质含量极低,且黏性较大,以青稞粉制作传统的乳沫蛋糕蓬松度低,适口性差。海藻酸丙二醇酯(PGA)对面团具有很好的增稠、乳化和稳定的作用。^[1]谷氨酰胺转氨酶(TG酶)对蛋白质的性质如发泡性、乳化性、保水性影响显著。^[2]褐藻胶(SA)可促进蛋糕的蓬松,改善蛋糕的口感。^[3]目前单一添加剂在食品中的应用较为成熟,但三者蛋糕中的复合使用尚未见相关报道。

本试验在团队^[4]已开发青稞蛋糕的基础上,选用PGA、TG酶、SA褐藻胶3种品质改良剂,根据单因素的实验结果设计Box-Behnken试验(3因素3水平),研究青稞低糖蛋糕复配型品质改良剂的最佳配方,开发新型的蛋糕复配改良剂。

1 材料与方法

1.1 试验材料

青稞粉:四川省甘孜藏族自治州农科所提供;蛋糕油:安琪酵母股份有限公司;木糖醇:山东龙力生物科技股份有限公司;低筋粉:美玫牌低筋面粉;市售食品级的鸡蛋、植物油和精盐。

1.2 仪器和设备

YP-N型电子天平:上海精密仪器仪表有限

公司;XYF-3K烤炉:广州红菱电热设备有限公司;TMS-PRO食品物性分析仪:美国FTC公司;高速组织捣碎机:永康市兆申电器有限公司;DHS16-A水分测定仪:上海奥豪斯仪器有限公司;DC-P3色差仪:北京市兴先测色仪器公司;搅拌机:青岛汉尚电器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 蛋糕基础配方

根据前期预实验结果,确定低糖青稞蛋糕的基础配方,见表1。

表1 低糖青稞蛋糕原料配比(烘焙质量百分比)

原 料	混粉	鸡蛋	木糖醇	植物油	水	蛋糕油	食盐
	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
添加量	100	180	60	25	25	5	1

1.3.2 制作方法

采用SP乳化法进行制作。即蛋液、木糖醇搅拌均匀后将混合粉料、SP蛋糕油、复合改良剂加入混合搅拌蓬松,再依次拌入水、植物油,做成面糊进行烘烤,制成产品。

1.4 试验设计

1.4.1 单因素试验设计

PGA、TG酶、SA3种添加剂分别进行试验。

收稿日期:2018-12-28 * 通信作者

基金项目:四川省教育厅重大培育项目(14CZ0033);四川省科技厅科技支撑计划(2016FZ0027);四川省教育厅自然科学基金项目(18ZB0439);四川旅游学院2018年科研创新团队(18SCTUTD04)

作者简介:黄益前(1979-),男,广西融安人,四川旅游学院食品学院副教授,从事焙烤食品工艺研究;

肖猛(1967-),男,四川成都人,四川旅游学院食品学院教授,从事青稞种质资源与加工利用。

通过指标检测和品质模糊综合评价法,探讨其对低糖青稞蛋糕的品质影响,从而筛选出最佳添加量范围。在此基础上,设计响应面试验。

1.4.2 响应面优化设计

根据单因素试验结果和 Box - Behnken 试验设计原理采用 3 因素 3 水平的响应面分析法。以品质综合评分为响应面值,确定低糖青稞蛋糕添加剂的最优参数。实验设计如表 2 所示。

表 2 实验设计及编码

因素	水平		
	-1	0	1
A: PGA 添加量/%	0.15	0.20	0.25
B: TG 酶添加量/%	0.10	0.12	0.14
C: SA 添加量/%	0.15	0.20	0.25

1.5 指标与检测方法

1.5.1 蛋糕面糊比重测定

面糊比重 = 相同体积面糊的质量 / 相同体积水的质量。

1.5.2 蛋糕比容测定

蛋糕比容 (cm³/g) = 蛋糕体积 (cm³) / 蛋糕质量 (g)。^[5]

1.5.3 蛋糕皮和芯色差分析

用色差计分别测定蛋糕样品芯和表皮颜色,每个样品测 9 个平行。

1.5.4 蛋糕烘焙损失率测定

对比烘烤前后纸杯中的面糊量,检测出不同添加剂对低糖青稞蛋糕烘焙损失率的影响。

1.5.5 蛋糕水分含量测定

参考 GB 5009.3—2010 进行测定。

1.5.6 蛋糕 TPA 全质构测定

将蛋糕切成厚薄均匀(20 mm)的薄片,采用 P/36 探头进行测定,每个样品至少测定 3 次。参数设定:测前速率 1.0 mm/s、测试速率 1.0 mm/s、测后速率 1.0 mm/s、启始感应力 0.375 N、形变量 60%、压缩间隔时间为 5 s。

1.5.7 蛋糕感官评分标准

由 10 人组成感官评定小组,对实验样本进行感官评分,取平均值。蛋糕评价标准见表 3。

1.5.8 品质综合评价

采用模糊综合评价法进行评价。评价项目:包括面糊比重 U₁、烘焙损失率 U₂、比容 U₃、色差

皮 U₄、色差心 U₅、水分 U₆、硬度 U₇、胶黏性 U₈、咀嚼性 U₉、弹性 U₁₀、内聚性 U₁₁、黏附性 U₁₂、感官评分 U₁₃。根据前期试验研究并结合参考文献,确定指标范围:

U₁ = 0.3 ~ 0.5 g/ml、U₂ = 0.05 ~ 0.15%、U₃ = 3 ~ 5 mL/g、U₄ = 1.5 ~ 18、U₅ = 0.4 ~ 6、U₆ = 0.3 ~ 0.4%、U₇ = 8 ~ 11 N、U₈ = 4 ~ 8 N、U₉ = 53 ~ 56 mJ、U₁₀ = 7 ~ 10 mm、U₁₁ = 0.3 ~ 0.7 Ratio、U₁₂ = 0.1 ~ 0.2 mJ、U₁₃ = 82 ~ 89。

表 3 低糖青稞蛋糕感官评价标准

项目	评分标准及分值
外观状态	色泽金黄,膨松均匀,细腻光滑。满分 20 分
内部结构	气孔均匀,光滑一致,组织疏松。满分 20 分
弹性	柔软有弹性,按压复原快,无掉渣。满分 20 分
口感	口感纯正,细腻绵软,不黏牙。满分 20 分
香气	蛋香味浓,略带青稞风味。满分 20 分

$$P(U_1) = \begin{cases} 1 (U_1 \geq 0.5) \\ \frac{U_1 - 0.3}{0.5 - 0.3} & (0.3 < U_1 < 0.5) \\ 0 (U_1 \leq 0.3) \end{cases}$$

$$P(U_2) = \begin{cases} 1 (U_2 \geq 0.15) \\ \frac{U_2 - 0.05}{0.15 - 0.05} & (0.05 < U_2 < 0.15) \\ 0 (U_2 \leq 0.05) \end{cases}$$

$$P(U_3) = \begin{cases} 1 (U_3 \geq 5) \\ \frac{U_3 - 3}{5 - 3} & (3 < U_3 < 5) \\ 0 (U_3 \leq 3) \end{cases}$$

$$P(U_4) = \begin{cases} 1 (U_4 \geq 18) \\ \frac{U_4 - 1.5}{18 - 1.5} & (1.5 < U_4 < 18) \\ 0 (U_4 \leq 1.5) \end{cases}$$

$$P(U_5) = \begin{cases} 1 (U_5 \geq 6) \\ \frac{U_5 - 0.4}{6 - 0.4} & (0.4 < U_5 < 6) \\ 0 (U_5 \leq 0.4) \end{cases}$$

$$P(U_6) = \begin{cases} 1 (U_6 \geq 0.4) \\ \frac{U_6 - 0.3}{0.4 - 0.3} & (0.3 < U_6 < 0.4) \\ 0 (U_6 \leq 0.3) \end{cases}$$

$$P(U_7) = \begin{cases} 1 & (U_7 \geq 11) \\ \frac{U_7 - 8}{11 - 8} & (8 < U_7 < 11) \\ 0 & (U_7 \leq 8) \end{cases}$$

$$P(U_8) = \begin{cases} 1 & (U_8 \geq 8) \\ \frac{U_8 - 4}{8 - 4} & (4 < U_8 < 8) \\ 0 & (U_8 \leq 4) \end{cases}$$

$$P(U_9) = \begin{cases} 1 & (U_9 \leq 56) \\ \frac{U_9 - 53}{56 - 53} & (53 < U_9 < 56) \\ 0 & (U_9 \leq 53) \end{cases}$$

$$P(U_{10}) = \begin{cases} 1 & (U_{10} \geq 10) \\ \frac{U_{10} - 7}{10 - 7} & (7 < U_{10} < 10) \\ 0 & (U_{10} \leq 7) \end{cases}$$

$$P(U_{11}) = \begin{cases} 1 & (U_{11} \geq 0.7) \\ \frac{U_{11} - 0.3}{0.7 - 0.3} & (0.3 < U_{11} < 0.7) \\ 0 & (U_{11} \leq 0.3) \end{cases}$$

$$P(U_{12}) = \begin{cases} 1 & (U_{12} \geq 0.2) \\ \frac{U_{12} - 0.1}{0.2 - 0.1} & (0.1 < U_{12} < 0.2) \\ 0 & (U_{12} \leq 0.1) \end{cases}$$

$$P(U_{13}) = \begin{cases} 1 & (U_{13} \geq 89) \\ \frac{U_{13} - 82}{89 - 82} & (82 < U_{13} < 89) \\ 0 & (U_{13} \leq 82) \end{cases}$$

品质综合评分为:

$$Y = P(U_1) \times a_1 + P(U_2) \times a_2 + P(U_3) \times a_3 + P(U_4) \times a_4 + P(U_5) \times a_5 + P(U_6) \times a_6 + P(U_7) \times a_7 + P(U_8) \times a_8 + P(U_9) \times a_9 + P(U_{10}) \times a_{10} + P(U_{11}) \times a_{11} + P(U_{12}) \times a_{12} + P(U_{13}) \times a_{13}$$

式中: Y 为品质综合评分; U_i 为评价项目; a_i 为各指标在评价体系中所占的比重,由经验确定,其值分别为 0.10、0.05、0.10、0.05、0.05、0.05、0.05、0.05、0.10、0.20、0.05、0.05、0.10。

1.6 数据处理软件

数据处理采用 SPSS 22.0 和 Design Expert 8.0.5b 进行。

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果分析

2.1.1 SA 添加量对蛋糕综合品质的影响

如图 1 所示,伴随着 SA 添加量的增加,低糖

青稞蛋糕的综合评分表现为先增加后降低。当 SA 添加量在 0.2% 左右时,低糖青稞蛋糕的品质综合得分相对较高。综上所述,SA 添加量为 0.15% ~ 0.25% 内较适宜。

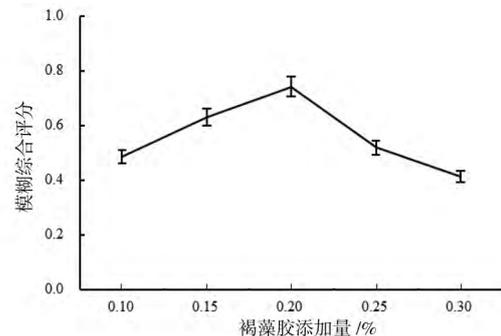


图 1 SA 添加量对低糖青稞蛋糕综合品质的影响

2.1.2 TG 酶添加量对蛋糕综合品质的影响

由图 2 可知,增加 TG 酶的含量,蛋糕综合评分的整体趋势表现为先上升后下降。当 TG 添加量为 0.10% ~ 0.14% 时,低糖青稞蛋糕的品质综合得分较高。

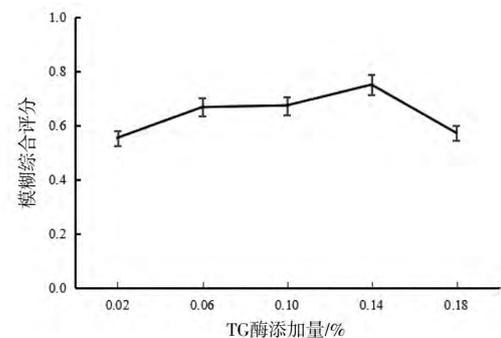


图 2 TG 酶添加量对低糖青稞蛋糕综合品质的影响

2.1.3 PGA 添加量对蛋糕综合品质的影响

如图 3 所示,随着 PGA 的增加,低糖青稞蛋糕的综合评分表现为先增加后降低。当 PGA 添加量为 0.15% ~ 0.25% 时,低糖青稞蛋糕的品质综合得分较高,即 PGA 添加量为 0.15% ~ 0.25% 较适宜。

2.2 模型的建立及优化

根据添加剂单独实验的结果和 Box - Behnken 的设计原理,使用 Design Expert 8.05b 对 PGA、TG 酶、SA 3 个因素,设计一个 3 因素 3 水平的试验方案,共有 17 次试验,以品质综合评分为响应变量 Y (表 4)。

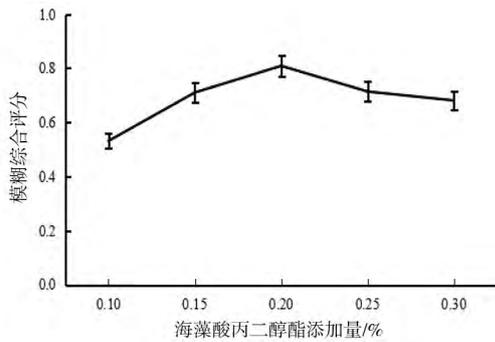


图3 PGA添加量对低糖青稞蛋糕综合品质的影响

表4 响应面实验的设计方案

序号	A/%	B/%	C/%	Y 模糊综合评分/分
1	1	0	-1	0.92
2	-1	-1	0	0.87
3	0	0	0	0.98
4	1	0	1	0.78
5	-1	0	1	0.85
6	1	1	0	0.87
7	0	0	0	0.94
8	0	-1	1	0.79
9	-1	1	0	0.91
10	0	-1	-1	0.84
11	0	1	1	0.72
12	-1	0	-1	0.97
13	1	-1	0	0.87
14	0	0	0	0.95
15	0	0	0	0.95
16	0	1	-1	0.94
17	0	0	0	0.96

表5 回归模型方差分析

来源	平方和	自由度	均值	F 值	P 值	显著性
模型	8.700×10^{-2}	9	9.715×10^{-3}	38.97	<0.000 1	significant
A	3.200×10^{-3}	1	3.200×10^{-3}	12.84	0.008 9	
B	6.125×10^{-4}	1	6.125×10^{-4}	2.46	0.161	
C	3.500×10^{-2}	1	3.500×10^{-2}	140.85	<0.000 1	
AB	4.000×10^{-4}	1	4.000×10^{-4}	1.60	0.245 8	
AC	1.000×10^{-4}	1	1.000×10^{-4}	0.40	0.546 6	
BC	7.225×10^{-3}	1	7.225×10^{-3}	28.98	0.001	
A ²	3.603×10^{-4}	1	3.603×10^{-4}	1.45	0.268 4	
B ²	1.900×10^{-2}	1	1.900×10^{-2}	75.26	<0.000 1	
C ²	1.900×10^{-2}	1	1.900×10^{-2}	75.26	<0.000 1	
残差	1.745×10^{-3}	7	2.493×10^{-4}			
失拟项	8.250×10^{-4}	3	2.750×10^{-4}	1.20	0.417 8	not significant
纯误差	9.200×10^{-4}	4	2.300×10^{-4}			
总和	8.900×10^{-2}	16				

根据设计的方案,以 PGA、TG 酶、SA 不同的添加量进行 17 次试验。其中析因点有 12 个试验点,由 A、B、C 构成自变量取值;剩下的为区域中心点,重复 5 次中心点试验以估计试验误差,采用以品质综合评分为响应值的单一试验结果为试验方案。^[6]结果如表 4 所示。

利用 Box - Behnken 设计综合品质评分与各个响应因素之间的矩阵回归拟合方程,得出的二次多项回归方程如下:

$Y = 0.960 - 0.020A + 8.750 \times 10^{-3}B - 0.066C - 0.010AB - 5.000 \times 10^{-3}AC - 0.043BC - 9.250 \times 10^{-3}A^2 - 0.067B^2 - 0.067C^2$ 。对低糖青稞蛋糕品质综合评分的模型进行方差分析以检验方程的有效性,结果如表 5、表 6 所示。

F 值的大小与各因素对低糖青稞蛋糕品质影响的强弱成正比关系, F 值越大,说明添加剂对青稞蛋糕的影响越强。由表 5 可知,该模型达到了极显著的水平 ($P < 0.01$),且失拟项不显著 ($P > 0.05$),表明该模型方程与实际情况能较好地吻合,且实验误差较小,可用于模拟 3 因素 3 水平的试验分析。表 5 中一次项 A 和 C 的 P 值都小于 0.05,表明海藻酸丙二醇酯添加量 A 和海藻酸钠添加量 C 对品质综合评分有显著的影响。因此,改良剂对品质综合评分的影响程度为: SA 添加量 > PGA 添加量 > TG 酶添加量。交互项 AB、AC、BC 的 P 值都小于 1;二次项 A²、B²、C² 的 P 值小于 0.5,对响应值影响显著。

表6 方程相关系数

项目	标准差	平均值	CV(%)	预测误差	R^2	R^2_{adj}	R^2_{Pred}	信噪比
数值	0.016	0.89	1.78	0.015	0.9804	0.9553	0.8359	19.716

由表6可知:回归系数(R^2)为0.9804,校正回归系数(R^2_{adj})为0.9553, $R^2_{pred} = 0.8359$,变异系数 $CV = 1.78\%$ ($< 5\%$),信噪比为19.716 (> 4)。综上所述,在实验允许误差范围之内,该模型在实践中有较好的拟合度,自变量与响应值之间具有显著的线性关系,模型的预测性良好,具有较高的可信度和重现性。因此,该模型可用于自变量与响应值之间变化规律的预测和分析。

2.2.1 低糖青稞蛋糕品质综合评分的响应面图形分析

根据回归方程,做出用于预测SA添加量、PGA添加量、TG酶添加量三种单因素对品质综合评分影响的响应面图。利用Design Expert 8.05b软件分析得到各因素交互作用对青稞低糖蛋糕品质综合评分影响的响应面图(图4~6)。响应面图的坡度大小及等高线密集程度,直接反映了综合评分与各因素以及各个因素之间的关系,因素之间交互作用越大,响应面的坡度越陡,等高线越密集成椭圆形。

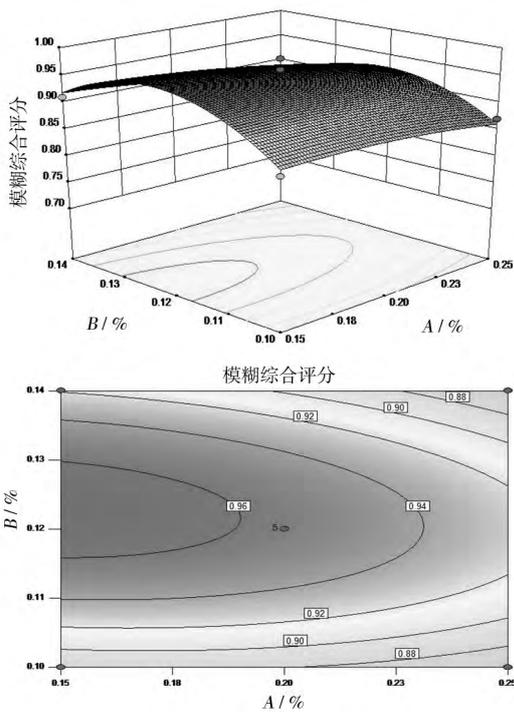


图4 TG酶添加量与PGA添加量的交互对综合评分的影响

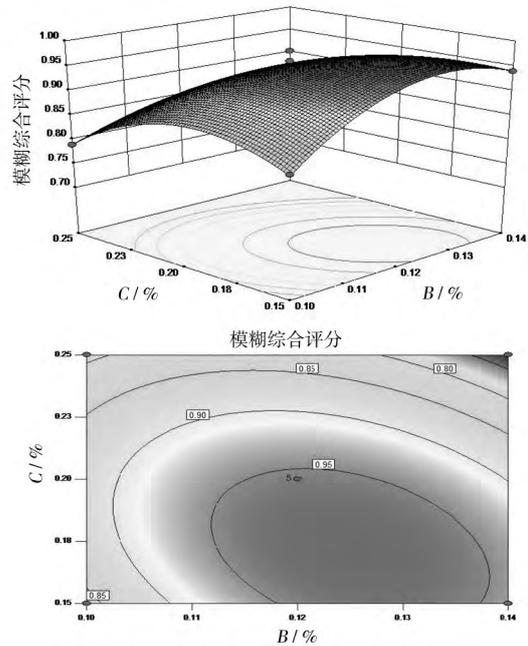


图5 TG酶添加量与SA添加量的交互对综合评分的影响

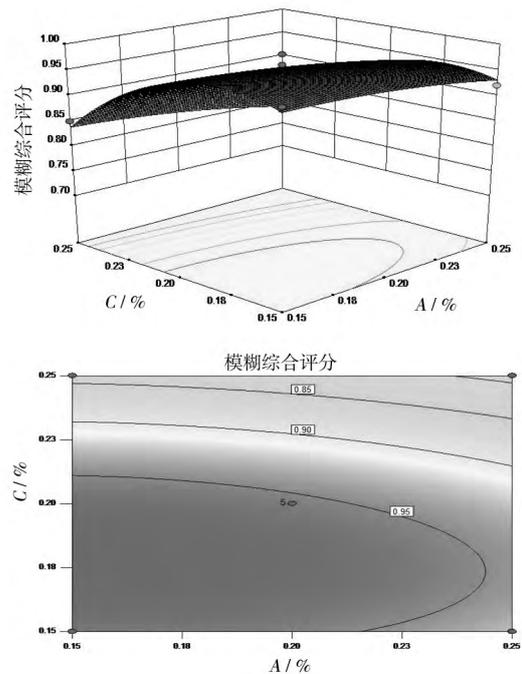


图6 SA添加量与PGA添加量的交互对综合评分的影响

图4~6的3个响应面均为开口向下的凸行曲线,故在所设计的因素水平范围内存在最优水

平,响应值存在极大值。图4在固定C的条件下,A和B交互作用不显著,从对应的等高线图上可知,当PGA添加量在0.2%时,TG酶添加量越多,综合评分越高。图5在固定B的条件下,A和C交互作用不显著,从对应的等高线图上可知,当PGA添加量在0.2%时,SA添加量越少,综合评分越高。图6在固定A的条件下,B和C交互作用显著,从对应的等高线图上可知,当SA添加量在0.2%时,TG酶添加量越高,综合评分越高。

2.2.2 低糖青稞蛋糕最佳工艺参数的确定

根据回归模型预测,得出低糖青稞蛋糕复合添加剂的最佳配方为:SA添加量0.17%、TG酶添加量0.13%、PGA添加量0.15%。在此条件下,品质综合评分可达0.987。

3 结论

PGA、SA、TG酶3种食品添加剂对低糖青稞蛋糕品质综合评分均起到一定的改良作用,其中SA添加量是影响低糖青稞蛋糕品质综合评分的最关键因素,3种食品添加剂对低糖青稞蛋糕品质影响程度的顺序为:SA>PGA>TG酶。低糖青稞蛋糕品质复合改良剂最佳配方为:SA添加量0.17%、TG酶添加量0.13%、PGA添加量

0.15%。在此条件下,品质综合评分可达0.987。采用上述最优条件进行验证,实际所得的品质综合评分为 0.98 ± 0.01 ,显著提高了蛋糕品质。因此该复配剂是一种比较理想的蛋糕改良剂。

参考文献:

- [1] 刘然然,范素琴,王晓梅,等.不同黏度海藻酸丙二醇酯(PGA)对面包品质改良效果研究[J].中国食品添加剂,2018(6):137-140.
- [2] 马清香.面制品中常用的酶制剂及其作用[N].中国食品报,2014-11-10(6).
- [3] 杨金生,陈晶晶,潘玉英.褐藻胶生物活性应用及最新研究进展[J].农村经济与科技,2017,28(5):90-91.
- [4] 廖诚成,何江红,戡得蓉,等.冻藏时间对速冻微波青稞蛋糕食用品质影响研究[J].粮食与油脂,2018,31(1):23-27.
- [5] 黄益前,廖诚成,丁捷,等.响应面法优化松墨天牛幼虫青稞蛋糕原料配比研究[J].美食研究,2017,34(1):56-61.
- [6] 何江红,丁捷,黄益前,等.响应面法优化速冻青稞鱼面鱼糜加工工艺[J].美食研究,2017,34(4):42-47.

Development of compound food additives for low – sugar highland barley cake

HUANG Yiqian , ZHANG Yuwei , ZHENG Wanqin , LIU Chunyan , LAI Pan , XIAO Meng

(College of Food , Sichuan Tourism University , Chengdu , Sichuan 610100 , China)

Abstract: Propylene glycol alginate (PGA) , glutamine transaminase (TG enzyme) , sodium alginate (SA) were used for preparing the compound food additive to improve the quality of low – sugar barley cake using fuzzy evaluation and response surface methodology. The results showed that the optimum formula was composed of 0.17% of SA , 0.13% of TG , and 0.15% of PGA. Under these conditions , the comprehensive quality score could reach 0.987 , and the sensory quality of the finished cake was good.

Key words: low sugar; highland barley cake; food additive; response surface methodology; food nutrition

(责任编辑: 赵 勇)