

马铃薯藜麦凉粉的制备及抗老化研究

何 莲¹, 宋家钰², 黄桢妮¹, 乔明锋³,
朱 楠^{1*}, 林 丹¹, 杨 翠¹

(1. 四川旅游学院 食品学院, 四川 成都 610100; 2. 四川农业大学 食品学院, 四川 成都 625014;

3. 四川旅游学院 烹饪科学四川省高等学校重点实验室, 四川 成都 610100)

摘 要:为探究马铃薯藜麦凉粉最佳抗老化方案,在单因素试验基础上,以马铃薯粉与藜麦粉质量比、卡拉胶添加量、马铃薯藜麦粉与水的料液比、蒸煮时间为因变量,运用 Box-Behnken 响应面法优化马铃薯藜麦凉粉配比。在此基础上选取乳化剂、食用胶、酶制剂的添加量为变量对马铃薯藜麦凉粉的抗老化进行探究。结果表明:以马铃薯粉和藜麦粉总量 100 g 为基准,马铃薯粉 90 g、藜麦粉 10 g、水 600 g、卡拉胶添加量 1.0 g、蒸煮时间 5.5 min 的最佳配比基础上,添加抗老化剂蔗糖脂脂肪酸酯 1.061 g、黄原胶 0.407 g、 β -淀粉酶 3.263 mg,此时凉粉感官总分 85.21,凝胶强度为 683.26 g,标准样品在 4℃ 下保藏时间达 13 d,较未添加复配抗老化剂的空白样品时间延长了 8 d,经验证实验,较市售凉粉有藜麦独特风味、蛋白质含量更高等特点。

关键词:马铃薯藜麦凉粉;最佳配比;抗老化;响应面法

中图分类号: TS 972.123.4

文献标志码: A

文章编号: 2095-8730(2023)03-0057-10

藜麦 (*Chenopodium quinoa*) 属于藜科双子叶假谷物^[1],其蛋白质含量约为稻米和玉米的 2~3 倍,与牛奶类似,且含所有必需氨基酸^[2],被认为是唯一可满足人体日常营养需求的单体植物,被称为“营养黄金”“超级谷物”^[3],其因不含麸质成为乳糜泄患者、麸质不耐受人群在谷物食品中的最佳选择^[4]。目前,对其研究仍集中于育种及种植,开发利用方面的研究大多以藜麦作为辅料添加到饼干、鸡肉丸子、能量棒等产品中^[5]。

凉粉是我国的特色小吃,是淀粉类原料与适量的水一起加热糊化后冷却形成的胶状凝固物^[6],黏弹性高,口感爽滑,晶莹剔透^[7-9],为夏季风味食品。现有对于淀粉凝胶类凉粉的研究主要集中于凉粉的工艺优化及老化等问题^[7],回生是淀粉从无定形态回复到结晶态的过程,这种趋势是一系列老化现象的直接内在推动力^[10]。回生

的结果就是水分散失,淀粉链重新由无定形态变为晶体^[11],从而发生老化现象,使凉粉保质期变短、口感品质变质,难以实现工业化生产,而抗老化剂的加入可以有效缓解淀粉老化,淀粉凝胶食品中加入不同抗老化剂对凝胶强度有不同影响。相关抗老化剂种类多样,有食用胶、食用胶、乳化剂、抗氧化剂等。本次实验选定 6 种(3 类)抗老化剂,进行单因素实验。

为研制出具有新型风味和质地的凉粉产品,本研究拟通过添加藜麦粉改善凉粉的风味及质地,强化其凝胶弹性和咀嚼性,提高其营养品质,在此基础上对乳化剂、食用胶、酶制剂的添加量进行探究,改善淀粉类物质在存放过程中易老化现象,保持并延长凉粉的最佳口感,为藜麦新产品的开发应用拓展新的领域,同时为丰富凉粉产品市场提供配方基础和理论支撑。

收稿日期:2023-04-24 *通信作者

基金项目:四川旅游学院科研创新团队项目(22SCTUGD01);肉类加工四川省重点实验室开放基金科研项目(19-R-20);四川省高等学校工程研究中心项目(GCZX22-33);四川旅游学院高等教育人才培养质量和教改项目(JG2022005);四川旅游学院本科教学育人体系建设工程(SPJG19);四川省大学生创新创业训练计划项目(S202211552012、S202211552080)

作者简介:何 莲,女,四川旅游学院食品学院副教授,主要从事食品营养与风味研究,E-mail: yolotusung@qq.com;

朱 楠,男,四川旅游学院食品学院副教授,主要从事食品加工研究,E-mail:42697199@qq.com。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

马铃薯淀粉:盐城厨鹤粉业有限公司;藜麦粉:宣城市悦谷百味商贸有限公司;小高马铃薯凉粉:山西小高风味食品有限公司;二女凉粉:山西金城逸凡科技有限公司;恒宗浑源凉粉:太原市万柏林区致物辛百货店;卡拉胶、黄原胶、魔芋胶、蔗糖脂肪酸酯、双乙酰酒石酸单双甘油酯、 α -淀粉酶、 β -淀粉酶:成都恒明科技有限公司。

1.2 仪器与设备

XK30-A6 型电子台秤:上海精密仪器公司;C22-IJ59E 型电磁炉:浙江苏泊尔股份有限公司;101-0-BS 干燥箱:力辰科技有限公司;DFY-400C 400 克摇摆式高速粉碎机:温岭市林大机械有限公司;TMS-PRO 型高精度专业食品物性分析仪:美国 FTC 公司;NH310 型高精度色差仪:深圳三恩驰科技有限公司;CA-HM 型食品热量成分分析仪:北京盈盛恒泰科技有限责任公司。

1.3 试验方法

1.3.1 工艺流程

原料经预处理(马铃薯淀粉、藜麦粉分别过 0.15 mm 筛)后,按照一定比例混匀,加入自来水搅拌均匀得到浆液,将卡拉胶加入浆液中,搅匀并煮沸;待黏稠成型后装碗,冷却后即得凉粉成品。马铃薯藜麦凉粉工艺流程如下:

土豆淀粉、藜麦粉→加水搅拌→浆液→煮沸→
添加剂↑

成型→装碗→冷却。

1.3.2 马铃薯藜麦凉粉配方的单因素试验及响应面优化

1.3.2.1 单因素试验

在确定原料粉质量(马铃薯粉与藜麦粉质量比 9:1)为 100 g、自来水 600 g、卡拉胶 1 g 为基础配方的前提下,选择马铃薯粉与藜麦粉质量比(100:0、95:5、90:10、85:15、80:20, g:g)、料液质量比(1:4、1:5、1:6、1:7、1:8, g:g)、卡拉胶添加量(0.8、1.0、1.2、1.4、1.6 g)、蒸煮时间(2.5、3.5、4.5、5.5、6.5 min)进行单因素试验,并对所得成品进行感官评价。

1.3.2.2 响应面优化分析

以单因素试验的感官评分为基础,采用 Box-Behnken 响应面法优化马铃薯藜麦凉粉配

比,以马铃薯粉与藜麦粉质量比(A_1)、卡拉胶添加量(B_1)、蒸煮时间(C_1)因素为变量进行分析。响应面设计见表 1,共 17 个试验点。

表 1 马铃薯藜麦凉粉响应面实验因素水平因素

水平	A_1	B_1/g	C_1/min
-1	95:5	1.0	4.5
0	90:10	1.2	5.5
1	85:15	1.4	6.5

1.3.3 马铃薯藜麦凉粉抗老化的单因素试验及响应面优化

本研究选用抗老化剂除酶制剂外对温度并无严格要求,又因 α -淀粉酶和 β -淀粉酶最适温度较高,遂沿用马铃薯藜麦凉粉最佳配方及工艺制作流程。通过单因素试验对样品进行感官评价和质构分析,采用模糊数学推测感官评价最高配比,结合质构分析中抗老化剂对硬度的影响,进行响应面优化及验证试验,分析比较马铃薯藜麦凉粉标准样品与市售样品差异。借鉴现今市面上已有售卖的方便即食凉粉保存条件:4℃冷柜,设定实验保藏条件为 4℃进行保藏天数验证。

1.3.3.1 抗氧化剂的单因素试验

在确定最佳工艺配方的基础上,选择乳化剂蔗糖脂肪酸酯(A_2)按 0.5、1.0、1.5 g、食用胶黄原胶(B_2)按 0.2、0.4、0.6 g、酶制剂 β -淀粉酶(C_2)按 1、3、5 mg 进行单因素试验,并对所得成品进行感官评价。

1.3.3.2 抗氧化剂的响应面优化分析

在单因素试验的基础上,根据 Box-Behnken Design 试验设计原理,以感官评分为响应值,选取蔗糖脂肪酸酯、黄原胶、 β -淀粉酶 3 个因素进行响应面优化试验,响应面设计见表 2,共 17 个试验点。

表 2 马铃薯藜麦凉粉响应面实验因素水平

水平	A_2/g	B_2/g	C_2/mg
-1	0.5	0.2	1.0
0	1.0	0.4	3.0
1	1.5	0.6	5.0

1.3.3.3 模糊数学法建立感官评价体系

将模糊数学的计算方法运用到食品的感官审评中,可有效避免传统感官审评时产生的误差^[12]。模糊矩阵即为 10 位评委针对评价对象,

分别从不同的评价因素角度,根据感官评价表,给出个人的选择投票^[13]。以色泽(D_1)、质地(D_2)、口感(D_3)和风味(D_4)建立感官因素集 D ,以感官评分优(E_1)、良(E_2)、差(E_3)为评语集 E ,根据感官评定的结果,建立6个单因素的评价矩阵,采用模糊数学法对其进行分析。以因素集 $D = \{D_1, D_2, D_3, D_4\}$;评语集 $E = \{E_1, E_2, E_3\}$,选择各级分数的中位数为该等级得分,使所得结果差异显著,以 Z 表示,即 $Z = \{9, 7, 3\}$,并邀请10位具有感官鉴评专业知识人员对产品色泽、质地、口感和风味进行权重(X)分析,最终权重集可表示为 $X = \{0.25, 0.15, 0.4, 0.2\}$,并建立马铃薯藜麦凉粉感官品质评价表,评分标准见表3。

表3 马铃薯藜麦凉粉感官评分标准

项目	特征描述	分数
色泽 (25分)	透明度好,外表光滑,色泽均匀通透	(16~25]
	半透明状,外表较光滑,色泽较为均匀通透	(8~16]
	透明度差,外表粗糙,色泽不均	[1~8]
质地 (25分)	质地均匀,气泡少,弹性好,无水析出	(16~25]
	质地较均匀,有少量气泡,弹性一般,少量水析出	(8~16]
	质地不均匀,糊状,气泡多,弹性差或析水较多	[1~8]
口感 (25分)	口感嫩滑、细腻,富有弹性	(16~25]
	口感较嫩滑,轻微颗粒感,弹性较差	(8~16]
	口感偏硬,颗粒感明显,弹性差	[1~8]
风味 (25分)	藜麦风味适宜,清新爽口,无苦味、异味、涩感	(16~25]
	藜麦风味较适宜,较为清新,稍有苦味,无异味、涩感	(8~16]
	藜麦风味过浓或过淡,有苦味或异味、涩感	[1~8]

1.3.4 TPA 质构测定

参考洪洋等^[14]的方法,凝胶强度采用探头下压过程中最大感应力。将凉粉切成 $2.0\text{ cm} \times 2.0\text{ cm} \times 1.5\text{ cm}$ 的小块,探头型号为P/0.5柱形探头,测定模式为TPA模式。参数设置为:测前速度 2.0 mm/s 、测量速度 1.0 mm/s 、测后速度 2.0 mm/s 。每组样品进行3次重复,结果取平均值。

1.3.5 水分测定

样品 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下保藏13 d与未保藏的标准样品采用直接干燥法测定其水分,将样品放入洁净称

量瓶中 $101\sim 105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘箱内重复干燥至恒重后称量。每个样品测试重复3次,分别取样。比较样品保藏后与未保藏之间的水分差距,进而确定凉粉保藏后水分的变化。

1.3.6 色泽测定

样品 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下保藏13 d与未保藏的标准样品采用色差仪测定其色泽,每个样品测试重复3次,分别取样,计算样品保藏后与未保藏的白度值差异,分析色泽变化。

2 结果与分析

2.1 马铃薯藜麦凉粉配方实验结果

2.1.1 单因素实验结果

马铃薯粉及藜麦粉质量比对马铃薯藜麦凉粉感官评价及凝胶强度的影响见图1。由图1可知,随藜麦粉占比的增大,马铃薯藜麦凉粉的感官评分增加。凉粉凝胶强度随着马铃薯藜麦粉的质量比下降而持续上升,在80:20时达到最高。分析原因可能在于藜麦粉添加后凝胶能力的形成相比马铃薯粉要强。综合分析,整体感官较好时为90:10,此时的凉粉凝胶强度为 600 g ,感官评分为86,效果最佳。因此,在后续进行响应面实验时选取马铃薯粉及藜麦粉质量比95:5、90:10、85:15作为响应面因素设计水平。

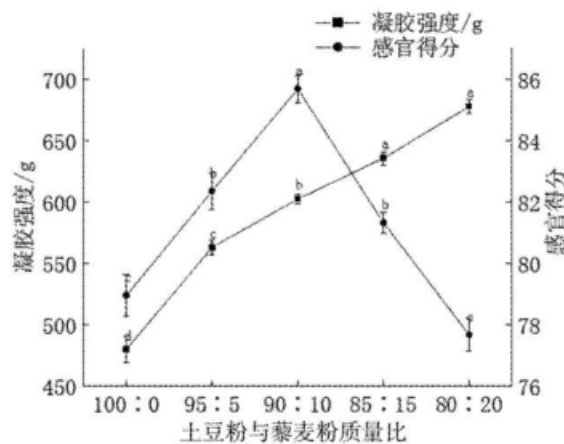


图1 马铃薯粉与藜麦粉质量比对马铃薯藜麦凉粉感官评价及凝胶强度的影响

卡拉胶是一种天然提取物,在食品工业中常常把卡拉胶作胶凝剂、悬浮剂、增稠剂、乳化剂和稳定剂等^[15]。卡拉胶添加量对马铃薯藜麦凉粉感官评分及凝胶强度的影响见图2。由图2可知,感官评分随着卡拉胶的增加,呈现先升后降的趋势,凝胶强度也类似。可能与卡拉胶的结构相

关,适量添加卡拉胶,其具有的双螺旋结构有助于三维网状结构的形成,从而提升马铃薯藜麦凉粉的凝胶强度^[16]。但卡拉胶添加量大于1.2 g时,产品感官评分下降。综上所述,在进行响应面实验时选取卡拉胶添加量为1.2 g时最佳,从而选取卡拉胶添加量1.0、1.2和1.4 g进行响应面因素水平的优化。

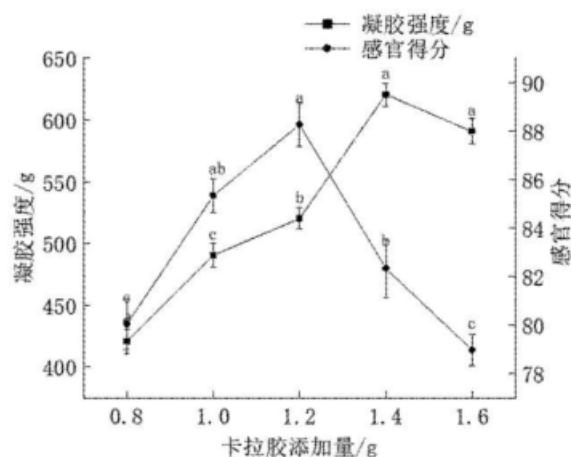


图2 卡拉胶添加量对马铃薯藜麦凉粉感官评价及凝胶强度的影响

马铃薯藜麦粉与水的料液比对马铃薯藜麦凉粉感官评价及凝胶强度的影响见图3。由图3可知,随着料液比比例增大,马铃薯藜麦凉粉的凝胶能力呈下降趋势。在料液比1:4时凝胶能力最强,在1:8时凝胶能力最弱。可能是由于粉料浓度的降低,淀粉分子交联缠绕和聚合有序的机会减少,从而降低了凝胶能力^[17]。在感官评分方面,感官评分呈现趋势为先升后降,料液比为1:6时达到最高。基于以上结果,在进行响应面优化实验时将料液比确定为1:6,不计为响应面分析的因素。

蒸煮时间对马铃薯藜麦凉粉感官评价及凝胶强度的影响见图4。由图4可知,随着蒸煮时间的延长,凝胶能力不断上升,并在6.5 min时达到峰值;感官评分随着蒸煮时间的延长先升后降,在5.5 min时达到峰值。分析其原因可能是较低的温度下,淀粉通过氢键作用结合部分水分子,使淀粉结构不发生变化;当温度升高到一定程度后,淀粉分子大量吸收水分而急剧膨胀,分子结构发生伸展,淀粉颗粒外围的支链淀粉被胀裂,内部的直链淀粉游离出来,使悬浊液变成黏稠状^[18],随着蒸煮时间的延长,淀粉的糊化程度更彻底,但蒸煮时间超过5.5 min时产品的口感发生变化,感官评分随之下降。因此选取蒸煮时间4.5、5.5、

6.5 min作为响应面因素水平进行优化。

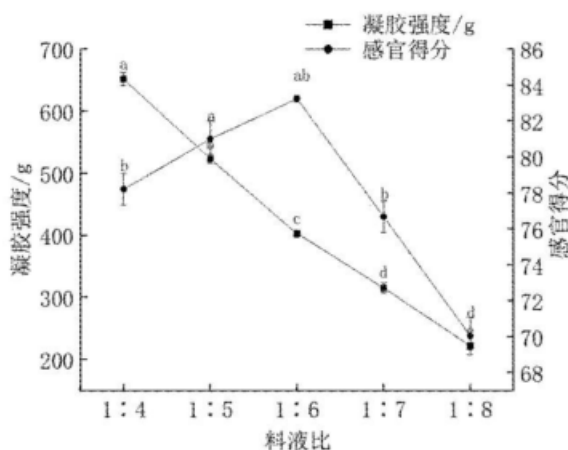


图3 料液比对马铃薯藜麦凉粉感官评价及凝胶强度的影响

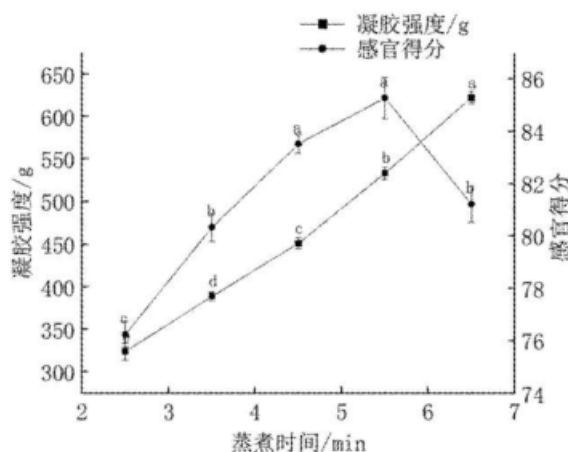


图4 蒸煮时间对马铃薯藜麦凉粉感官评价及凝胶强度的影响

2.1.2 马铃薯藜麦凉粉的响应面结果及分析

马铃薯藜麦凉粉响应面结果见表4、表5、图5和图6。

通过对单因素实验所得结果进行响应面优化设计,其响应面模型 $P < 0.001$ 为极显著,失拟项不显著,拟合方程为 $R_1 = 84.342 + 0.729A_1 - 2.396B_1 + 1.180C_1 + 0.603A_1B_1 - 3.090A_1C_1 + 0.805B_1C_1 - 5.412A_1^2 - 1.687B_1^2 - 4.480C_1^2$, $R^2 = 0.9496$,试验模型的校正系数 $R^2 = 0.8847$,表明模型拟合程度好,能够准确地预测感官评分。其次通过方差分析表可知,二次项 A_1^2 、 C_1^2 ($P < 0.001$)对感官评价影响均为极显著,一次项 B_1 、交互项 A_1C_1 ($P < 0.05$)对感官评价影响显著。

综合以上分析,在Design expert中以感官评分为指标预测最佳配方:马铃薯粉及藜麦粉质量

比90:10、卡拉胶添加量1.0 g、蒸煮时间5.5 min,此时所得产品感官评分较佳,预测值为85.21。

表4 马铃薯藜麦凉粉响应面结果与方差分析

组别	A_1	B_1/g	C_1/min	感官得分
1	-1	0	-1	68.60
2	1	1	0	76.26
3	0	-1	1	80.53
4	-1	-1	0	79.43
5	0	1	-1	74.21
6	0	0	0	82.13
7	1	0	-1	76.59
8	1	0	1	74.12
9	0	0	0	85.51
10	0	0	0	86.29
11	0	1	1	76.83
12	0	0	0	85.19
13	0	-1	-1	81.13
14	-1	0	1	78.49
15	0	0	0	82.59
16	-1	1	0	73.95
17	1	-1	0	79.33

表5 回归模型方差分析

方差来源	平方和	自由度	均分	F值	P值	显著性
模型	343.94	9	38.22	14.64	<0.000 1	***
A_1	4.25	1	4.25	1.63	0.242 7	
B_1	45.94	1	45.94	17.60	0.004 1	**
C_1	11.14	1	11.14	4.27	0.077 7	
A_1B_1	1.45	1	1.45	0.55	0.480 0	
A_1C_1	38.19	1	38.19	14.63	0.006 5	**
B_1C_1	2.59	1	2.59	0.99	0.352 2	
A_1^2	123.34	1	123.34	47.26	0.000 2	***
B_1^2	11.99	1	11.99	4.59	0.069 3	
C_1^2	84.50	1	84.50	32.38	0.000 7	***
残差	18.27	7	2.61			
失拟项	4.43	3	1.48	0.426 7	0.745 0	
纯误差	13.84	4	3.46			
总和	362.21	16				

注: **表示 $P < 0.01$; ***表示 $P < 0.001$ 。

2.2 马铃薯藜麦凉粉抗老化实验结果

2.2.1 感官评定分析

对样品进行感官评价分析,表6为马铃薯藜麦凉粉感官评价得票统计。其中序号1~6分别

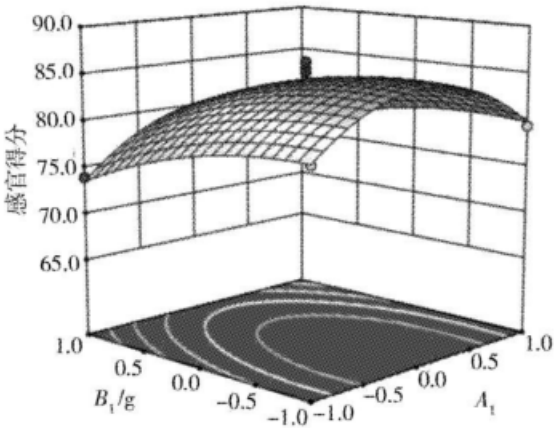


图5 马铃薯粉与藜麦粉质量比与卡拉胶添加量交互作用

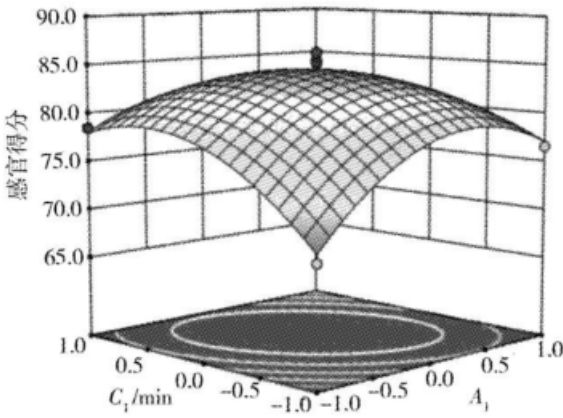


图6 马铃薯粉与藜麦粉质量比与蒸煮时间交互作用

代表蔗糖脂肪酸酯与双乙酰酒石酸单双甘油酯(对比)添加量为0.5、1.0、1.5 g的样品;序号7~12分别代表黄原胶与魔芋胶(对比)添加量为0.2、0.4、0.6 g的样品;序号13~18分别代表 β -淀粉酶与 α -淀粉酶(对比)添加量为1、3、5 mg的样品;序号19代表空白样品。

表6 马铃薯藜麦凉粉感官评价得票统计

序号	D_1			D_2			D_3			D_4		
	E_1	E_2	E_3	E_1	E_2	E_3	E_1	E_2	E_3	E_1	E_2	E_3
1	8	2	0	8	1	1	7	3	0	6	3	1
2	8	2	0	7	3	0	8	2	0	7	3	0
3	7	3	0	7	2	1	6	3	1	8	2	0
4	7	2	1	8	2	0	8	2	0	7	3	0
5	8	2	0	7	2	1	6	4	0	7	3	0
6	6	4	0	5	4	1	5	5	0	6	4	0
7	7	3	0	6	3	1	6	4	0	4	4	2
8	8	1	1	6	3	1	9	1	0	7	3	0
9	7	3	0	8	2	0	6	3	1	5	4	1
10	7	3	0	6	3	1	6	4	0	4	4	2

续表 6

序号	D_1			D_2			D_3			D_4		
	E_1	E_2	E_3	E_1	E_2	E_3	E_1	E_2	E_3	E_1	E_2	E_3
11	8	2	0	8	1	1	7	3	0	6	3	1
12	7	3	0	7	2	1	6	3	1	8	2	0
13	6	4	0	5	4	1	5	5	0	6	4	0
14	6	3	1	4	4	2	6	4	0	5	5	0
15	4	3	3	2	1	7	0	1	9	4	4	2
16	7	3	0	7	2	1	6	3	1	8	2	0
17	9	1	0	8	2	0	8	2	0	7	2	1
18	5	4	1	5	4	1	6	4	0	5	2	3
19	7	3	0	8	1	1	6	3	1	5	4	1

将 F 设定为模糊矩阵,模糊关系综合评判集(G)为 $G = X \times F$,最终以模糊数学总分(H)为 $H = G \times Z$ 比较分析感官得分。将不同等级的投票数除以投票人数得到 4 个行矩阵,以色泽为例得到 $D_1 = \{0.8, 0.2, 0.0\}$ 、 $D_2 = \{0.8, 0.1, 0.1\}$ 、 $D_3 =$

$\{0.7, 0.3, 0.0\}$ 、 $D_4 = \{0.6, 0.3, 0.1\}$,将其转化为数字模糊矩阵 F_1 。

$$F_1 = \begin{bmatrix} 0.8 & 0.2 & 0.0 \\ 0.8 & 0.1 & 0.1 \\ 0.7 & 0.3 & 0.0 \\ 0.6 & 0.3 & 0.1 \end{bmatrix}$$

以此类推得到 $F_2 \sim F_{19}$ 。使用矩阵计算公式可得:

$$G_1 = F_1 \times X = \begin{bmatrix} 0.8 & 0.2 & 0.0 \\ 0.8 & 0.1 & 0.1 \\ 0.7 & 0.3 & 0.0 \\ 0.6 & 0.3 & 0.1 \end{bmatrix} \times$$

$$\begin{bmatrix} 0.2 & 0.15 & 0.4 & 0.2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.68 & 0.235 & 0.035 \end{bmatrix}。$$

模糊数学总分 $H = G \times Z$ 。以 G_1 为例,

$$G_1 = \begin{bmatrix} 0.68 & 0.235 & 0.035 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 9 \\ 7 \\ 3 \end{bmatrix} = 7.87。$$

同理可得所有分值(见表 7)。

表 7 模糊数学总分统计

项目	序 号																		
	G_1	G_2	G_3	G_4	G_5	G_6	G_7	G_8	G_9	G_{10}	G_{11}	G_{12}	G_{13}	G_{14}	G_{15}	G_{16}	G_{17}	G_{18}	G_{19}
分值	7.87	8.10	7.72	8.01	7.88	7.62	7.53	8.01	7.61	7.53	7.87	7.72	7.62	7.49	4.77	7.72	8.09	7.30	7.55

由此可知,通过比较 G 大小, $G_1 \sim G_6$ 中 G_2 最大,证明蔗糖脂肪酸酯添加量为 1 g 时样品感官评价最高; $G_7 \sim G_{12}$ 中, G_8 最大,证明黄原胶添加量为 0.4 g 时感官评价最高; $G_{13} \sim G_{18}$ 中, G_{17} 最大,证明 β -淀粉酶添加量为 3 mg 时候样品感官评价最高。最佳单因素组样品得分均高于空白样品组,说明分别适当添加 3 种抗氧化剂对凉粉皆有正向效果。

2.2.2 质构分析

2.2.2.1 添加乳化剂的产品质构分析

图 7 为两种乳化剂的不同添加量样品在 4℃ 下放置 13 d 的硬度折线图,每 2 d 测试一次硬度。

由图 7 可知,相较于空白凉粉,乳化剂的加入使样品硬度降低。对比分析 2 种乳化剂双乙酰酒石酸单双甘油酯(对比)与蔗糖脂肪酸酯,随着时间增加,产品总体硬度皆下降,相比之下蔗糖脂肪酸酯的下降幅度更小;蔗糖脂肪酸酯添加量 1.5 g 样品在第 5 天时硬度超过空白样品,且在第 13 天时依旧保持较高硬度,说明蔗糖脂肪酸酯产生了

良好的抗老化效果,适量的添加乳化剂能提高凉粉的水分保持能力,但过量添加对组织质地有较大影响,易分散不成形。

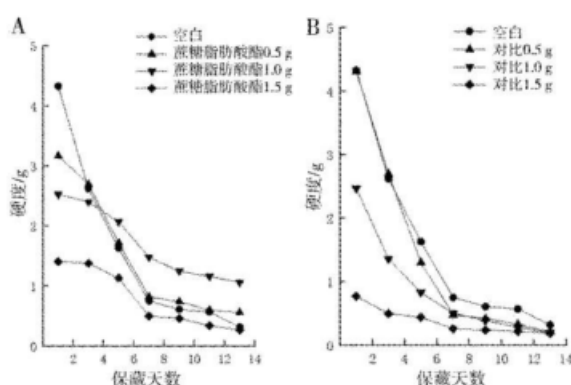


图 7 乳化剂对马铃薯蕹菜凉粉硬度影响

2.2.2.2 添加食用胶的产品质构分析

图 8 为 2 种食用胶不同添加量样品在 4℃ 下放置 13 d 的硬度折线图,每 2 d 测试一次硬度。

由图 8 可知,食用胶使凉粉硬度和品质有小幅下降。相较之下,添加黄原胶的凉粉硬度下

降幅度明显小于添加魔芋胶(对比)的凉粉,在13 d内,黄原胶添加量为0.6 g的凉粉样品硬度的降幅最低,抗老化效果最好。总体得出黄原胶的抗老化效果优于魔芋胶的抗老化效果。但结合感官评分 $G_7 \sim G_{12}$,过量的食用胶添加会影响产品的感官品质。

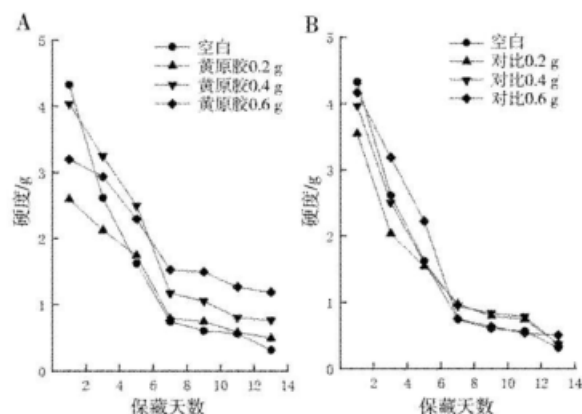


图8 食用胶对马铃薯凉粉硬度影响

2.2.2.3 添加酶制剂的产品质构分析

图9为2种酶制剂不同添加量样品在4℃下放置13 d的硬度曲线图。

由图9可知,淀粉酶的加入会明显降低样品的硬度。空白组样品硬度在13 d内急剧减少,添加酶制剂 α -淀粉酶(对比)的凉粉硬度也会在13 d后降到同一个梯度,其中添加 β -淀粉酶量为3 mg的凉粉硬度在13 d内降幅最小,在第5天时超过空白样品硬度。但2种酶制剂添加量为5 mg时会严重影响凉粉的品质,尤其 α -淀粉酶过量的添加会影响凉粉的成型,可能原因是因为 α -淀粉酶会产生可溶性的糊精。总体得出 β -淀粉酶抗老化作用强于 α -淀粉酶。

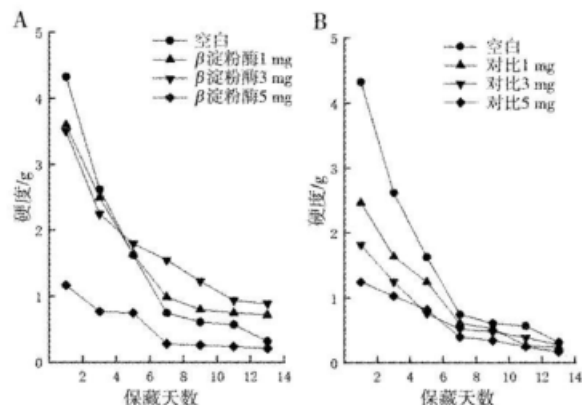


图9 酶制剂对马铃薯凉粉硬度影响

2.2.3 响应面设计优化马铃薯凉粉抗老化剂配方

综上所述,结合感官评鉴与质构分析得出的结果可以得出最佳的复合抗老化试剂:乳化剂为蔗糖脂肪酸酯、食用胶为黄原胶、酶制剂为 β -淀粉酶,并进一步作为响应面3因素进行分析。

2.2.3.1 模型的建立及显著性实验

为了获取马铃薯凉粉的最佳的复配抗老化剂配比,分别以蔗糖脂肪酸酯(A_2)、黄原胶(B_2)、 β -淀粉酶(C_2)作为自变量,硬度(M)作为响应值,进行响应面分析实验,响应面实验因素水平见表2,实验结果见表8和表9。

表8 响应面实验设计与方差分析结果

序号	A_2/g	B_2/g	C_2/mg	M/g
1	0.5	0.2	3	1.51
2	1.5	0.2	3	1.69
3	0.5	0.6	3	1.60
4	1.5	0.6	3	1.64
5	0.5	0.4	1	1.55
6	1.5	0.4	1	1.56
7	0.5	0.4	5	1.66
8	1.5	0.4	5	1.64
9	1.0	0.2	1	1.57
10	1.0	0.6	1	1.50
11	1.0	0.2	5	1.54
12	1.0	0.6	5	1.64
13	1.0	0.4	3	1.79
14	1.0	0.4	3	1.78
15	1.0	0.4	3	1.87
16	1.0	0.4	3	1.83
17	1.0	0.4	3	1.96

采用响应面分析法分析实验结果,得到硬度的回归方程: $M = 0.413 + 0.999A_2 + 2.835B_2 + 0.202C_2 - 0.350A_2B_2 - 0.008A_2C_2 + 0.106B_2C_2 - 0.392A_2^2 - 3.450B_2^2 - 0.036C_2^2$ 。

表中 P 值的大小代表模型及各考察因素的显著水平。由表9可知,模型 $P < 0.01$,表明该二次方程模型极显著,失拟项 P 值为0.7227大于0.05,失拟项不显著,表明该回归方程拟合度较好,误差小,与实际预测值能较好的拟合。回归方程的复合相关系数 $R^2 = 0.9016$,表明有90.16%的数据可用,实验较成功。由显著性检验可知二

次项 B_2^2 、 C_2^2 ($P < 0.01$) 对硬度影响均为极显著;二次项 A_2^2 ($P < 0.05$) 对硬度影响显著;一次项 A_2 、 B_2 、 C_2 、交互项 A_2B_2 、 B_2C_2 、 A_2C_2 的交互作用对硬度影响不显著。3 个自变量对硬度的影响呈现复杂的线性相关关系。此外,可以通过 M 值看出影响硬度的次序依次为 β -淀粉酶添加量、蔗糖脂脂肪酸酯添加量、黄原胶添加量。

表 9 马铃薯藜麦凉粉研究结果方差分析

方差来源	平方和	自由度	均分	F 值	P 值	显著性
模型	0.260 0	9	0.029 2	7.12	0.008 5	**
A_2	0.005 5	1	0.005 5	1.34	0.284 6	
B_2	0.000 6	1	0.000 6	1.49	0.710 8	
C_2	0.011 2	1	0.011 2	2.74	0.141 9	
A_2B_2	0.004 9	1	0.004 9	1.19	0.310 8	
A_2C_2	0.000 2	1	0.000 2	0.55	0.821 6	
B_2C_2	0.007 2	1	0.007 2	1.76	0.226 3	
A_2^2	0.040 4	1	0.040 4	9.85	0.016 4	*
B_2^2	0.080 2	1	0.080 2	19.53	0.003 1	**
C_2^2	0.089 1	1	0.089 1	21.71	0.002 3	**
残差	0.028 7	1	0.004 1			
失拟项	0.007 4	3	0.002 5	0.4644	0.722 7	
纯误差	0.021 3	4	0.005 3			
总和	0.292 0	16				
R^2	0.901 6					
CV/%			3.85			

注: * 差异表示 $P < 0.05$; ** 差异表示 $P < 0.01$ 。

2.2.3.2 条件优化验证

由图 10、图 11 可知,响应面存在最小值,对回归方程进行数学处理得出极值:蔗糖脂脂肪酸酯 1.061 g、黄原胶 0.407 g、 β -淀粉酶 3.263 mg。在此条件下,结合凉粉基本配方得到最佳配方,重复实验 3 次,马铃薯藜麦凉粉理想硬度值为 1.850 g,所得最佳马铃薯藜麦凉粉硬度值为 1.900 g,差距不大。

2.2.4 马铃薯藜麦凉粉最佳抗老化配方的确定

根据马铃薯藜麦凉粉的基本配方与复合抗老化剂的优化实验,得出最终的具有良好抗老化品质的马铃薯藜麦凉粉最佳配方:以马铃薯粉和藜麦粉总量 100 g 为基准,马铃薯粉 90 g、藜麦粉 10 g、水 600 g、卡拉胶 1.0 g,抗老化剂蔗糖脂脂肪酸酯添加量 1.060 0 g、黄原胶添加量 0.407 0 g、

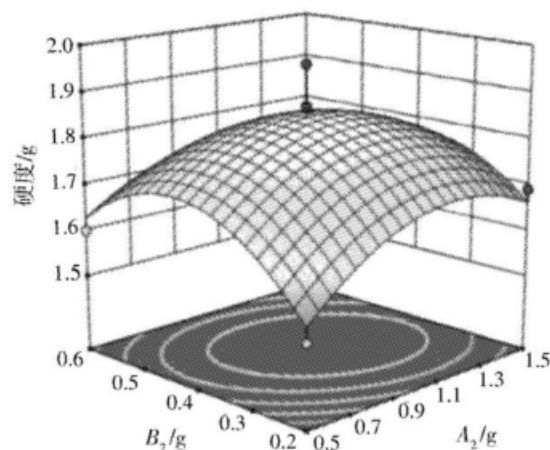
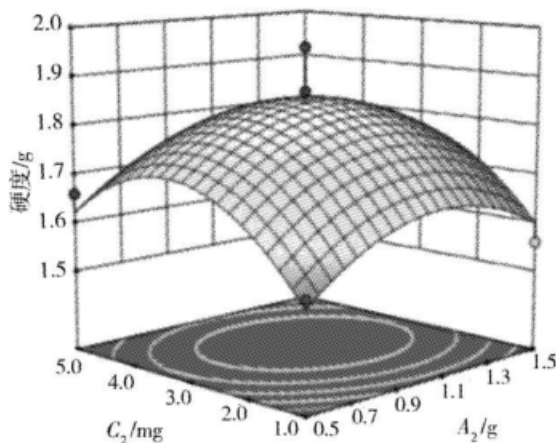


图 10 蔗糖脂脂肪酸酯和黄原胶的交互作用对硬度的影响

图 11 蔗糖脂脂肪酸酯和 β -淀粉酶的交互作用对硬度的影响

β -淀粉酶添加量 3.263 mg。

2.2.5 验证试验

采用最佳抗老化配方制作的马铃薯藜麦凉粉,经保藏 13 d 作为验证组,与市场上购得的 4 款同类方便凉粉作为对比组进行验证试验。分别测定其凝胶强度、感官得分,采用 CA-HM 型食品热量成分分析仪测定营养成分并采用高精度色差仪测量白度值进行色差分析。平行实验 3 次,取其平均值,分析其是否存在显著性差异和结果是否可信。结果见表 10、表 11。

由表 10、表 11 可知,验证组和参照组在色泽上无显著性差异,水分含量高于各参照组,为 87.91%,分析其可能的原因是乳化剂的加入使淀粉浆液最终黏度显著下降,淀粉浆液表现出更好的稳定性^[19]。同时抗老化剂 β -淀粉酶使淀粉聚合度、结晶度下降,产生了水致使水分含量的增

加,抑制了老化作用^[20]。感官总分和凝胶强度上的指标数值存在显著性差异,感官总分验证组为87.59,显著高于参照组各组得分,产品滋味丰富、口感爽滑且有浓淡相宜的藜麦风味;凉粉验证组色泽上为浅褐色,参照组为白色。在凝胶性能上,验证组为683.26 g,高于参照组各组凝胶强度,这有利于马铃薯藜麦凉粉特有口感和风味体验。在营养价值上,验证组与各参照组在能量、碳水化合物和脂肪含量上并无显著差异。验证组蛋白质含量为5.98%,显著高于参照组的各组数值,为凉粉在蛋白质营养价值上的短缺做出弥补。

表10 验证实验结果

样品	水分含量/%	色泽	感官总分	凝胶强度/g
对比组1	85.86 ± 1.24 ^a	20.33 ± 0.66 ^a	82.33 ± 0.23 ^b	631.25 ± 10.33 ^b
对比组2	79.23 ± 2.68 ^a	19.77 ± 0.58 ^a	84.21 ± 0.79 ^b	594.54 ± 9.04 ^b
对比组3	80.37 ± 3.12 ^a	19.62 ± 0.39 ^a	81.04 ± 1.41 ^b	634.92 ± 11.74 ^b
对比组4	76.50 ± 3.16 ^a	20.75 ± 0.18 ^a	83.92 ± 0.46 ^b	648.73 ± 10.46 ^b
验证组	87.91 ± 1.74 ^a	19.28 ± 0.86 ^a	87.59 ± 0.44 ^a	683.26 ± 8.26 ^a

注:同列不同小写字母表示数值间差异显著($P < 0.05$)。

表11 各组营养成分测定结果

样品	能量/kJ	蛋白质含量/%	脂肪含量/%	碳水化合物含量/%
对比组1	103.67 ± 1.53 ^a	2.50 ± 0.06 ^a	4.53 ± 0.09 ^b	12.60 ± 0.34 ^b
对比组2	104.33 ± 1.53 ^a	3.34 ± 0.33 ^a	5.06 ± 0.15 ^b	11.52 ± 0.33 ^b
对比组3	99.67 ± 3.06 ^b	3.02 ± 0.09 ^a	4.50 ± 0.15 ^b	10.88 ± 0.40 ^b
对比组4	124.67 ± 4.73 ^a	4.54 ± 0.20 ^a	6.48 ± 0.23 ^b	11.62 ± 0.25 ^b
验证组	111.67 ± 1.53 ^a	5.98 ± 0.38 ^b	4.42 ± 0.29 ^b	11.83 ± 0.52 ^b

注:同列不同小写字母表示数值间差异显著($P < 0.05$)。

综上,与市售的4款凉粉进行对比,响应面优化最佳配方所得产品组织成型性更好、弹性高、口感爽滑色泽光亮、藜麦风味适中,较为适应大众口味且蛋白质含量更高。

3 结论

本研究通过单因素试验,选取马铃薯粉与藜

麦粉质量比、卡拉胶添加量、料液比与蒸煮时间为变量对马铃薯藜麦凉粉的制作进行探究,通过响应面分析和感官评分探究其最佳配方。得出响应面模型 R^2 为0.9816,模型显著且拟合程度高。方差分析中确定各因素对感官评分的影响主次分别为马铃薯粉与藜麦粉质量比、卡拉胶添加量、蒸煮时间,通过响应面交互作用图判断出各因素间均存在交互作用且显著。最终以感官评分最大值为指标进行预测,得出最佳配方以马铃薯粉和藜麦粉总量100 g为基准,马铃薯粉90 g、藜麦粉10 g、水600 g、卡拉胶添加量1.0 g、蒸煮时间5.5 min,该配方下感官总分85.21、凝胶性能为683.26 g、蛋白质含量5.98%,蛋白质含量较普通市售凉粉有较大提高。此基础上,选取乳化剂添加量、食用胶添加量、酶制剂添加量进行单因素试验、响应面优化,得出当蔗糖脂肪酸酯添加量1.061 g、黄原胶添加量0.407 g、 β -淀粉酶添加量3.263 mg时,标准样品在4℃下保藏时间可达到13 d,相较于空白样品保藏时间延长了8 d。且加入抗老化剂后的标准样品水分色泽变化微小,保证感官品质前提下延长马铃薯藜麦凉粉保藏时间。经验证实验,该产品较市售凉粉有藜麦独特风味、脂肪含量更低、蛋白质含量更高等特点,为马铃薯藜麦方便凉粉工业化生产奠定了理论基础,且丰富了藜麦深加工产品种类。

参考文献:

- [1] 申瑞玲,张文杰,董吉林,等. 藜麦的营养成分、健康促进作用及其在食品工业中的应用[J]. 中国粮油学报,2016,31(9):150-155.
- [2] 孙耀军. 藜麦全粉对面条品质的影响[J]. 食品研究与开发,2020,41(7):47-51.
- [3] 杨爽,董艳娇,朱可彤,等. 藜麦淀粉的研究进展[J]. 粮食与油脂,2023,36(4):1-4.
- [4] 陈若瑄. 藜麦粉的理化特性及其挤压型面条的制备[D]. 无锡:江南大学,2019:1-2.
- [5] 杜乾,栗慧,孙丰梅. 藜麦产品加工利用研究进展[J]. 食品工程,2023,166(1):14-16.
- [6] 王林,黄韬睿,李维. 正交试验优化紫薯豌豆凉粉制备工艺与物性评价[J]. 食品工业,2021,42(2):126-129.
- [7] 王林. 豌豆凉粉配方工艺优化研究[J]. 保鲜与加工,2021,21(3):111-117.
- [8] SHEVKANI K, SINGH N, BAJAJ R, et al. Wheat starch

- production, structure, functionality and applications a review[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2016, 52(1): 38–58.
- [9] 王林. 基于模糊数学法与 D -最优混料设计优化青瓜紫薯川北凉粉配方[J]. *美食研究*, 2020, 37(3): 59–63.
- [10] MARTIN M L, ZELEZNAK K J, HOSENEY R C. A mechanism of bread firming. I. role of starch swelling[J]. *Cereal Chemistry*, 1991, 68: 498.
- [11] 姚远, 丁霄霖, 吴加根. 淀粉回生研究进展(I)回生机理、回生测定方法及淀粉种类对回生的影响. *中国粮油学报*, 1999, 14(2): 24–31.
- [12] 刘琨毅, 王琪, 韩利艳, 等. 宜宾燃面预制调味料配方优化及挥发性风味成分分析[J]. *美食研究*, 2023, 40(1): 60–65.
- [13] 薛伟, 曹仲文, 陆可佳. 基于模糊数学和响应面优化鸡骨架鲫鱼汤研究[J]. *美食研究*, 2021, 38(4): 54–60.
- [14] 洪洋, 何贵玲, 王翠霞, 等. 豌豆凉粉传统工艺改良与物性品质评价[J]. *食品工业科技*, 2010, 31(3): 287–289.
- [15] 吴津蓉, 杨海燕, 姜泳. 明胶、卡拉胶及变性淀粉凝胶性能对比研究[J]. *农产品加工(学刊)*, 2012(2): 41–47.
- [16] 王帅棋, 李裕. 卡拉胶凝胶性能及应用的研究进展[J]. *当代化工研究*, 2020, 75(22): 125–126.
- [17] 魏衍尚, 宁利敏, 姚忠, 等. 卡拉胶多糖的分子修饰: 卡拉胶酶和硫酸化酶的研究进展[J]. *食品与生物技术学报*, 2022, 41(10): 17–36.
- [18] 胡强, 孟岳成. 淀粉糊化和回生的研究[J]. *食品研究与开发*, 2004(5): 63–66.
- [19] 蔡庆, 范雪荣, 王强, 等. 乳化剂对淀粉浆料糊化和流变特性的影响[J]. *棉纺织技术*, 2016, 44(2): 19–23.
- [20] 程雯. β -淀粉酶对小麦淀粉结构特性、糊化性质及回生性质的影响研究[D]. 无锡: 江南大学, 2022: 24–28.

Preparation and anti-ageing of potato quinoa jelly

HE Lian¹, SONG Jiayu², HUANG Zhenni¹, QIAO Mingfeng³,
ZHU Nan¹, LIN Dan¹, YANG Cui¹

(1. College of Food Science and Technology, Sichuan Tourism University, Chengdu, Sichuan 610100, China;

2. College of Food Science, Sichuan Agricultural University, Chengdu, Sichuan 625014, China;

3. Cuisine Science Key Laboratory of Sichuan Province, Sichuan Tourism University, Chengdu, Sichuan 610100, China)

Abstract: To investigate the optimal anti-aging scheme for potato-quinoa jelly preparation, the Box-Behnken design-response surface methodology was applied to optimize the potato-quinoa jelly ratio using the mass ratio of potato-quinoa flour, carrageenan dose, mass ratio of potato-quinoa flour to water, and steaming time as dependent variables based on single factor tests. Furthermore, the amount of emulsifier, edible gum and enzyme were set as variables to investigate the anti-ageing of potato-quinoa jelly. The results showed that based on 100 g flour (potato starch 90 g, quinoa flour 10 g), water 600 g, carrageenan 1.0 g, cooking time 5.5 min, anti-ageing agent sucrose fatty acid ester 1.061 g, xanthan gum 0.407 g and β -amylase 3.263 mg, the total sensory score of the jelly was 85.21 and the gel strength was 683.26 g. The product could be stored for 13 d, which was 8 d longer than the control with no anti-ageing agent at 4 °C. The products had a unique flavor of quinoa and higher protein.

Key words: potato-quinoa jelly; optimal formula; anti-ageing; response surface method

(责任编辑: 赵 勇 曹文磊)