

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2023.01.010

曹燕飞, 李思齐, 郝鑫, 等. 马铃薯生浆馒头的加工工艺研究[J]. 粮油食品科技, 2023, 31(1): 77-83.

CAO Y F, LI S Q, HAO X, et al. Research on processing technology of potato pulp steamed bread[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2023, 31(1): 77-83.

马铃薯生浆馒头的加工工艺研究

曹燕飞^{1,3}, 李思齐¹, 郝鑫¹, 鲁梅¹, 周陆红², 赵升鹏¹, 李宏军³✉

(1. 潍坊工程职业学院 应用化学与食品药品学院, 山东 青州 262500;

2. 潍坊市农业科学院, 山东 潍坊 261071;

3. 山东理工大学 农业工程与食品科学学院, 山东 淄博 255000)

摘要: 采用马铃薯生浆和小麦粉为原料制作馒头, 对马铃薯生浆馒头加工工艺进行研究。在以比容和质构的结果基础上, 以馒头比容为评价指标, 利用响应面分析法对30%马铃薯生浆馒头的加工工艺进行优化。结果表明: 马铃薯生浆馒头的最佳工艺参数为酵母添加量1.1%、发酵时间70 min、压面次数12次、发酵温度35℃、醒发时间19 min。该条件下制作的馒头比容为2.34 mL/g, 相比于未优化的30%马铃薯生浆馒头(2.02 mL/g), 工艺优化后馒头的比容明显提高。

关键词: 马铃薯生浆; 馒头; 工艺优化; 比容; 质构

中图分类号: TS213.2 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2023)01-0077-07

Research on Processing Technology of Potato Pulp Steamed Bread

CAO Yan-fei^{1,3}, LI Si-qi¹, HAO Xin¹, LU Mei¹, ZHOU Lu-hong², ZHAO Sheng-peng¹, LI Hong-jun³✉

(1. School of Applied Chemistry and Food and Medicine, Weifang Engineering Vocational College, Qingzhou, Shandong 262500, China;

2. Weifang academy of agricultural sciences, Weifang, Shandong 261071, China;

3. School of Agricultural Engineering and Food Science, Shandong University of Technology, Zibo, Shandong 255000, China)

Abstract: Potato pulp and wheat flour were used as raw materials to make steamed bread, and the optimum technological formula of potato pulp steamed bread was studied. Based on the results of single factor with specific volume and texture as indicators, response surface test was used to evaluate the quality of 30% potato pulp steamed bread by using specific volume as inspection index. The results showed that the optimal process parameters of potato pulp steamed bread were as follows: yeast addition 1.1%, fermentation time 70 min, sheeting time 12, fermentation temperature 35℃ and proofing time 19 min. The specific volume of steamed bread was 2.34 mL/g under the optimum condition, and optimized steamed bread was significantly improved when comparing with control group (2.02 mL/g).

Key words: potato pulp; steamed bread; process optimization; specific volume; texture

收稿日期: 2021-11-15

基金项目: 科技部“十三五”国家重点研发计划重点专项(2016YFD0401303)

Supported by: National Key Research and Development Program of China (No. 2016YFD0401303)

作者简介: 曹燕飞, 女, 1993年出生, 博士, 讲师, 研究方向为农产品加工技术。E-mail: cyfhxy@126.com.

通讯作者: 李宏军, 男, 1968年出生, 博士, 教授, 研究方向为食品科学。E-mail: Hongjunli1351@hotmail.com.

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)又称为土豆、山药蛋、洋芋等,是继小麦、水稻、玉米的第四大粮食作物,目前有 150 多个国家和地区种植,其栽培面积达 2 000 多万 $\text{hm}^{2[1]}$ 。马铃薯具有丰富的营养价值,富含淀粉、蛋白质、维生素、矿物质、膳食纤维和多酚等抗氧化物质,享有“植物之王”“地下苹果”“第二面包”等美称^[2-3]。马铃薯的蛋白质属于完全蛋白质,含赖氨酸、酪氨酸、苏氨酸等 8 种必需氨基酸,其中赖氨酸的含量要高于谷物,与其他的谷物粮食作物搭配摄入时可以提高人体摄入蛋白质全面性^[4-5]。马铃薯还具有预防动脉粥样化、抗衰老、补气益血、增强血管的弹性、预防胃肠道疾病的功能特性^[6-7]。

马铃薯具有丰富的营养价值及功能特性对居民膳食营养水平有很大的改善。为充分发挥马铃薯在居民的膳食、营养、产业结构等方面的作用,国家农业部于 2015 年提出推进马铃薯主食产业开发,2020 年我国会有超出 50% 的马铃薯作为主食进行消费^[8]。因此,越来越多的研究者将不同比例的马铃薯全粉添加到小麦粉中制作马铃薯主食^[9-11],但由于马铃薯全粉的成本高,以此为原料能提升马铃薯主食的生产成本,阻碍了它的大规模利用,因此急需降低马铃薯主食成本的原料^[12-13]。

本文以马铃薯生浆作为马铃薯馒头的原料,通过对其加工工艺进行优化,确定马铃薯生浆馒头最佳的工艺参数。通过研究不同酵母添加量、发酵温度、发酵时间、压面次数、醒发时间对馒头品质的影响,并以比容为考察指标通过响应面法优化 30% 马铃薯生浆馒头的最佳工艺参数,从而改善马铃薯生浆馒头的品质。

1 材料与方 法

1.1 实验材料

中筋小麦粉(水分含量 11.1%,蛋白质含量 9.5%):淄博市云海面粉厂;高活性干酵母:安琪酵母股份有限公司;食品级抗坏血酸:郑州康本生物科技有限公司。

2019 年收获季节的新鲜、健康和完整的马铃薯(品种:希森 6 号):希森马铃薯产业集团有限公司。马铃薯生浆是将马铃薯经清洗、去皮后,

于破碎机中打浆 2 min 同时加入 0.2% 抗坏血酸(w/w)。获得的马铃薯生浆的水分、蛋白质分别为 80.8% 和 1.8%。马铃薯生浆在使用前将水分调整到 81%。

1.2 仪器与设备

BRF-18C 醒发箱:广州展卓商用设备制造有限公司;M400 破碎机:中山市帝赞电器有限公司;MT140 压面机:枣阳巨鑫机械有限公司;TA.XT.plus 型质构仪:英国 Stable Micro Systems 公司;多功能电热锅:山东锅老大有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 马铃薯生浆馒头的制备

30% 马铃薯生浆馒头的配方如下:90 g 马铃薯生浆,210 g 小麦粉,适量的酵母和 60 mL 水。将所有成分进行混合并揉制 3 min 形成面团。然后将面团置于温度 32 °C 和相对湿度 80% 的醒发箱中进行发酵。将发酵面团进行 7 次压面;然后将其分成平均重量为 100 g 的面团。将面团揉制成圆型馒头坯,在 32 °C 和 80% 相对湿度的醒发箱中醒发 15 min 后,将馒头坯置于蒸锅中蒸制 20 min。将该工艺条件下制作的馒头作为对照组。指标分析之前,将馒头在室温条件冷却 1 h。

1.3.2 单因素实验

保持发酵时间(60 min)、发酵温度(32 °C)、压面次数(7)、醒发时间(15 min)不变,考查酵母添加量(0.6%、0.8%、1.0%、1.2%、1.4%)对馒头品质的影响。

保持酵母添加量(1.0%)、发酵温度(32 °C)、压面次数(7)、醒发时间(15 min)不变,考查发酵时间(30、50、70、90、110 min)对馒头品质的影响。

保持酵母添加量(1.0%)、发酵时间(70 min)、压面次数(7)、醒发时间(15 min)不变,考查发酵温度(27、30、33、36、39 °C)对馒头品质的影响。

保持酵母添加量(1.0%)、发酵时间(70 min)、发酵温度(33 °C)、醒发时间(15 min)不变,考查压面次数(5、8、11、14、17)对馒头品质的影响。

保持酵母添加量(1.0%)、发酵时间(70 min)、发酵温度(33 °C)、压面次数(11)不变,考查醒发时间(10、15、20、25、30 min)对馒头品质的影响。

1.3.3 响应面实验

根据单因素的实验结果,采用 Central Composite Design (CCD) 中心组合实验,选择酵母添加量、发酵时间、发酵温度、压面次数和醒发时间为实验因素,以馒头比容为指标,采用五因素五水平二次旋转正交组合进行实验。因素水平编码表如表 1 所示。

表 1 实验因素水平及编码表
Table 1 Experiment factors and levels table

水平	因素				
	A/%	B/min	C/°C	D	E/min
2	0.70	50	30	5	10
1	0.85	60	32	8	15
0	1.00	70	34	11	20
-1	1.15	80	36	14	25
-2	1.30	90	38	17	30

注: A, 酵母添加量; B, 发酵时间; C, 发酵温度; D, 压面次数; E, 醒发时间。

Note: A, Yeast addition; B, Fermentation time; C, Fermentation temperature; D, Sheeting time; E, Proofing time.

1.3.4 馒头品质的测定

馒头的比容根据张凤婕^[14]等描述的小米置换法测定。比容以 mL/g 表示。

馒头的质构特性包括弹性、内聚力和回复性测定采用配备 5 kg 称重传感器的 TA-XT2i 质构分析仪。沿馒头中心处切下两片 2 cm 的馒头进行测试。具体测试条件及参数设置如下: 使用 P/36 探头, 模式为 TPA; 测试速度为 1 mm/s, 测试前速度为 1 mm/s, 测试后速度为 2 mm/s, 压缩程度为 50%。

1.4 数据分析

统计分析采用 SPSS 软件进行 One-way ANOVA 以及 Duncan 检验, $P < 0.05$ 表示相同指标中不同的字母意味着差异显著; 响应面图与回归方程采用 Design-Expert 8.0 软件进行分析, $P < 0.01$ 表示极显著影响, $P < 0.05$ 表示显著影响。

2 结果与分析

2.1 单因素实验结果分析

2.1.1 酵母添加量对馒头品质的影响

由表 2 得出, 酵母添加量的增加使馒头的比容、内聚力、弹性以及回复性都先增加后减少, 这表明酵母添加量过少或过多都不利于馒头的品质。酵母含量较少时减少面团的产气量从而导致馒头的比容小, 而酵母添加过多时会导致面团发酵过度, 使面团中面筋网络的持气性变差, 造成馒头易塌陷或收缩, 从而影响馒头的整体品质。从表中发现 1.0% 的酵母添加量, 馒头的比容大、质构特性较好^[15]。

表 2 酵母添加量对马铃薯生浆馒头品质的影响
Table 2 Effect of yeast addition on quality properties of potato pulp steamed bread

酵母添加量/%	比容/(mL/g)	弹性	内聚力	回复性
0.6	1.64±0.05 ^c	0.80±0.00 ^b	0.71±0.00 ^a	0.26±0.00 ^b
0.8	1.84±0.06 ^b	0.84±0.01 ^b	0.72±0.01 ^a	0.28±0.01 ^b
1.0	2.15±0.03 ^a	0.89±0.03 ^a	0.70±0.01 ^{ab}	0.33±0.00 ^a
1.2	2.02±0.06 ^a	0.87±0.00 ^a	0.68±0.00 ^{bc}	0.31±0.01 ^a
1.4	1.72±0.02 ^{bc}	0.85±0.01 ^a	0.67±0.00 ^c	0.30±0.01 ^a

注: 同一列中不同字母表示有显著性差异 ($P < 0.05$)。

Note: Different letters in the same column indicate significant differences ($P < 0.05$).

2.1.2 发酵时间对馒头品质的影响

由表 3 所知, 馒头的比容、弹性、内聚力以及回复性都随着发酵时间的增加而出现先增加后减少的现象。发酵时间主要是通过面团发酵过程中酵母的产气量以及引起的化学变化来影响馒头

表 3 发酵时间对马铃薯生浆馒头品质的影响
Table 3 Effect of fermentation time on quality properties of potato pulp steamed bread

发酵时间/min	比容/(mL/g)	弹性	内聚力	回复性
30	1.73±0.02 ^c	0.84±0.01 ^c	0.70±0.02 ^b	0.28±0.02 ^b
50	1.84±0.03 ^b	0.89±0.02 ^{ab}	0.71±0.01 ^{ab}	0.32±0.02 ^a
70	2.17±0.05 ^a	0.91±0.01 ^a	0.73±0.02 ^b	0.36±0.01 ^a
90	1.86±0.04 ^b	0.89±0.01 ^{ab}	0.72±0.01 ^{ab}	0.34±0.01 ^a
110	1.80±0.06 ^{bc}	0.88±0.02 ^b	0.71±0.01 ^{ab}	0.33±0.01 ^a

注: 同一列中不同字母表示有显著性差异 ($P < 0.05$)。

Note: Different letters in the same column indicate significant differences ($P < 0.05$).

的品质^[16]。发酵时间过短会导致酵母产气能力不足,难以形成疏松多孔的结构,会使馒头比容以及质构特性较小。然而发酵过度会使面筋过度延伸影响面团的持气性,导致馒头塌陷并产生酸性气味,导致馒头品质下降^[17]。发酵时间在 70 min 左右时,馒头各项指标达到最大值。

2.1.3 发酵温度对馒头品质的影响

由表 4 可知馒头的比容、弹性、回复性随着发酵温度的升高表现出先增加后减少的趋势。所有馒头的内聚力没有显著的差异 ($P>0.05$)。较低的发 酵温度会导致酵母的生长速度缓慢,使面团中产生较少的气体使其难以形成疏松多孔的面筋网络结构,从而使馒头的比容、弹性及回复性较小。然而发酵温度较高时,同样由于酵母的生长繁殖受到限制会影响面筋结构的形成,导致降低馒头的品质^[18]。发酵温度在 33 °C 左右时或许适合酵母生长繁殖而提高馒头品质。

表 4 发酵温度对马铃薯生浆馒头品质的影响

Table 4 Effect of fermentation temperature on quality properties of potato pulp steamed bread

发酵温度/°C	比容/(mL/g)	弹性	内聚力	回复性
27	1.75±0.03 ^c	0.86±0.01 ^{bc}	0.70±0.02 ^a	0.29±0.00 ^c
30	2.10±0.02 ^a	0.90±0.01 ^{ab}	0.71±0.02 ^a	0.31±0.01 ^{bc}
33	2.14±0.06 ^a	0.91±0.00 ^a	0.69±0.01 ^a	0.35±0.01 ^a
36	1.89±0.03 ^b	0.90±0.01 ^b	0.70±0.03 ^a	0.33±0.01 ^{ab}
39	1.82±0.07 ^{bc}	0.87±0.01 ^{bc}	0.71±0.01 ^a	0.32±0.01 ^{bc}

注:同一列中不同字母表示有显著性差异 ($P<0.05$)。

Note: Different letters in the same column indicate significant differences ($P<0.05$).

2.1.4 压面次数对馒头品质的影响

如表 5 所示,随着压面次数的增加,馒头的比容、弹性、回复性均先增加后减少。原因可能是面团经过适当地压延,会有助于麦醇溶蛋白和麦谷蛋白的结构分布,使面团在醒发过程中面筋网络得以伸展而使馒头结构细腻,弹性、内聚力、回复性以及比容增加。然而面团过度压延会造成面筋网络结构的破坏,从而导致馒头的比容以及质构特性的降低^[19]。压面次数在 11 次时,馒头各项指标达到最大值。

表 5 压面次数对马铃薯生浆馒头品质的影响

Table 5 Effect of sheeting time on quality properties of potato pulp steamed bread

压面次数	比容/(mL/g)	弹性	内聚力	回复性
5	1.79±0.02 ^c	0.82±0.01 ^b	0.68±0.01 ^{bc}	0.26±0.00 ^d
8	2.04±0.42 ^b	0.83±0.02 ^b	0.69±0.01 ^b	0.28±0.00 ^{cd}
11	2.20±0.02 ^a	0.90±0.02 ^a	0.73±0.01 ^a	0.32±0.01 ^a
14	2.17±0.04 ^a	0.87±0.01 ^a	0.68±0.01 ^{bc}	0.30±0.01 ^{ab}
17	2.05±0.04 ^b	0.83±0.01 ^b	0.66±0.01 ^c	0.29±0.00 ^{bc}

注:同一列中不同字母表示有显著性差异 ($P<0.05$)。

Note: Different letters in the same column indicate significant differences ($P<0.05$).

2.1.5 醒发时间对馒头品质的影响

由表 6 可知,馒头品质随着醒发时间的增加呈现先增加后减少的趋势。当醒发时间在 20 min 左右时,馒头的比容、弹性最大。较短的醒发时间会减少馒头坯内部的酵母产气量,使面筋网络结构没有充分延伸而导致馒头弹性较差、体积较小。而过度的醒发时间会使酵母过度产气,会破坏面筋结构使馒头坯的持气性降低,从而造成馒头出现塌陷,体积较小,内部结构不均匀。

表 6 醒发时间对马铃薯生浆馒头品质的影响

Table 6 Effect of proofing time on quality properties of potato pulp steamed bread

醒发时间/min	比容/(mL/g)	弹性	内聚力	回复性
10	1.97±0.02 ^c	0.83±0.01 ^d	0.71±0.00 ^c	0.31±0.01 ^b
15	2.17±0.02 ^b	0.89±0.00 ^c	0.76±0.01 ^a	0.31±0.00 ^b
20	2.26±0.02 ^a	0.92±0.01 ^a	0.72±0.01 ^{bc}	0.34±0.01 ^a
25	2.24±0.02 ^a	0.91±0.01 ^{ab}	0.73±0.00 ^b	0.33±0.00 ^a
30	2.19±0.02 ^b	0.90±0.00 ^{bc}	0.74±0.01 ^{ab}	0.32±0.01 ^{ab}

注:同一列中不同字母表示有显著性差异 ($P<0.05$)。

Note: Different letters in the same column indicate significant differences ($P<0.05$).

2.2 响应面优化实验

对酵母添加量 (A)、发酵时间 (B)、发酵温度 (C)、压面次数 (D)、醒发时间 (E) 进行五因素五水平的响应面实验,以馒头比容为考察指标,实验数据见表 7。方差分析结果见表 8。

回归模型显著 ($P<0.05$),表明回归模型的自变量和因变量之间的显著相关。回归方程的模型显著,失拟项不显著 ($P=0.83>0.05$), $R^2=0.90$,这表明回归方程合理可行,并且实验的可信度高。

其中因素 D 对比容有显著的影响 ($P<0.05$), 二次项 A^2 、 B^2 和 C^2 对结果极显著以及 D^2 和 E^2 对馒头比容极其显著, 交互项 BE 对馒头的比容有显著的影响。由 F 值可知, 在馒头工艺条件内各因素对比容的影响依次是 D (压面次数) $>A$ (酵母添加量) 或 E (醒发时间) $>B$ (发酵时间) $>C$ (发酵温度)。

表 7 响应面实验安排与结果

Table 7 Response surface test arrangement and results

实验号	A	B	C	D	E	Y_1
1	1	1	1	1	1	2.02±0.11 ^{efghi}
2	1	1	1	-1	-1	2.11±0.13 ^{efghi}
3	1	1	-1	1	-1	2.12±0.06 ^{cdefg}
4	1	1	-1	-1	1	1.99±0.09 ^{fghi}
5	1	-1	1	1	-1	2.15±0.11 ^{bcdef}
6	1	-1	1	-1	1	2.00±0.11 ^{fghi}
7	1	-1	-1	1	1	2.10±0.12 ^{defgh}
8	1	-1	-1	-1	-1	1.97±0.07 ^{ghi}
9	-1	1	1	1	-1	2.09±0.09 ^{defgh}
10	-1	1	1	-1	1	1.80±0.11 ^j
11	-1	1	-1	1	1	2.07±0.02 ^{defghi}
12	-1	1	-1	-1	-1	2.04±0.50 ^{defghi}
13	-1	-1	1	1	1	2.07±0.02 ^{defghi}
14	-1	-1	1	-1	-1	1.94±0.11 ^{hij}
15	-1	-1	-1	1	-1	2.00±0.06 ^{fghi}
16	-1	-1	-1	-1	1	2.07±0.08 ^{defghi}
17	2	0	0	0	0	2.16±0.02 ^{bcdef}
18	-2	0	0	0	0	2.08±0.04 ^{defghi}
19	0	2	0	0	0	2.04±0.05 ^{defghi}
20	0	-2	0	0	0	2.15±0.09 ^{bcdef}
21	0	0	2	0	0	2.17±0.05 ^{bcde}
22	0	0	-2	0	0	2.05±0.12 ^{defghi}
23	0	0	0	2	0	2.11±0.05 ^{cdefg}
24	0	0	0	-2	0	2.01±0.06 ^{efghi}
25	0	0	0	0	2	1.92±0.15 ^{ij}
26	0	0	0	0	-2	2.05±0.04 ^{defghi}
27	0	0	0	0	0	2.26±0.09 ^{abc}
28	0	0	0	0	0	2.40±0.03 ^a
29	0	0	0	0	0	2.19±0.14 ^{bcd}
30	0	0	0	0	0	2.19±0.03 ^{bcd}
31	0	0	0	0	0	2.30±0.02 ^{ab}
32	0	0	0	0	0	2.28±0.05 ^{ab}

注: 同一列中不同字母表示有显著性差异 ($P<0.05$)。

A: 酵母添加量 (%); B: 发酵时间 (min); C: 发酵温度 ($^{\circ}\text{C}$); D: 压面次数; E: 醒发时间 (min); Y_1 : 比容 (mL/g)。

Note: Different letters in the same column indicate significant differences ($P<0.05$). A: Yeast addition (%); B: Fermentation time (min); C: Fermentation temperature ($^{\circ}\text{C}$); D: Sheeting time; E: Proofing time (min); Y_1 : Specific volume (mL/g).

表 8 比容的回归模型方差分析

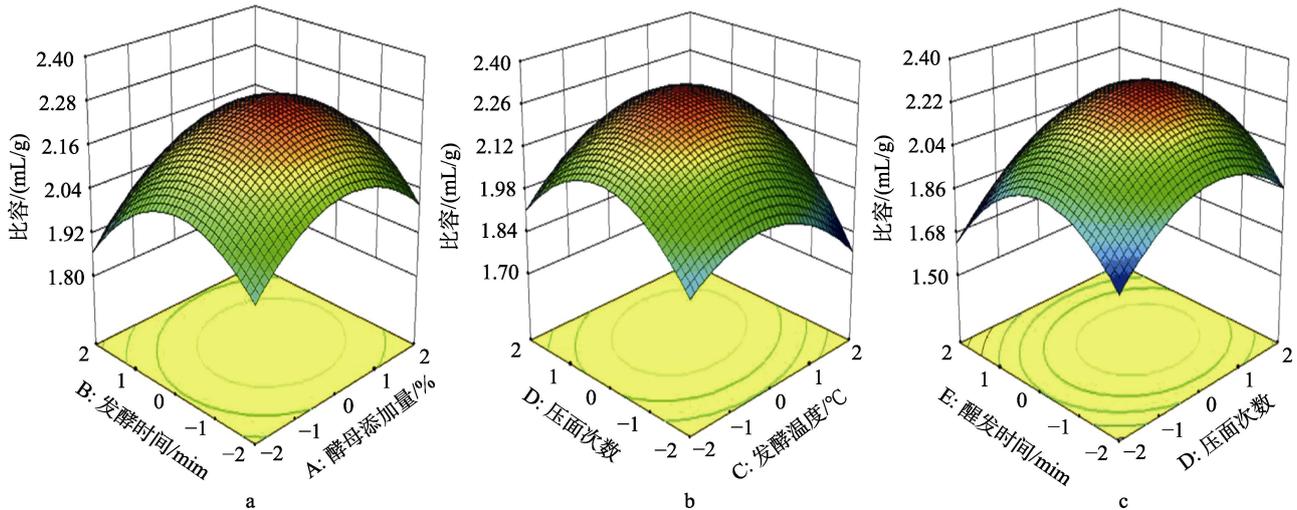
Table 8 Regression model analysis of variance of specific volume

来源	平方和	自由度	均方	F 值	P>F	显著性
模型	0.40	20	0.02	4.73	0.01	*
A	0.01	1	0.01	2.87	0.12	
B	0.00	1	0.00	0.77	0.40	
C	0.00	1	0.00	0.04	0.85	
D	0.03	1	0.03	7.63	0.02	*
E	0.01	1	0.01	2.87	0.12	
AB	0.00	1	0.00	0.15	0.71	
AC	0.01	1	0.01	2.13	0.17	
AD	0.00	1	0.00	0.05	0.82	
AE	0.00	1	0.00	0.48	0.50	
BC	0.00	1	0.00	0.72	0.42	
BD	0.00	1	0.00	0.01	0.94	
BE	0.03	1	0.03	6.44	0.03	*
CD	0.00	1	0.00	1.00	0.34	
CE	0.02	1	0.02	3.69	0.08	
DE	0.00	1	0.00	0.15	0.71	
A^2	0.04	1	0.04	8.89	0.01	**
B^2	0.05	1	0.05	12.26	0.01	**
C^2	0.04	1	0.04	10.17	0.01	**
D^2	0.08	1	0.08	18.79	0.00	***
E^2	0.15	1	0.15	34.76	0.00	***
残差	0.05	11	0.00			
失拟项	0.02	6	0.00	0.43	0.83	
净误差	0.03	5	0.01			
总和	0.45	31				
R^2	0.90					

注: *表示 $P<0.05$, 显著; **表示 $P<0.01$, 极显著; ***表示 $P<0.001$, 极其显著。

Note: * indicates $P<0.05$, significant; ** indicates $P<0.01$, very significant; *** indicates $P<0.001$, extremely significant.

图 1a 是发酵温度为 34°C 、压面次数为 11、醒发时间 20 min 时, 酵母添加量与发酵时间对马铃薯生浆馒头比容影响的响应曲面图。从图中可以发现, 当酵母添加量一定时, 马铃薯生浆馒头的比容随着发酵时间的增加呈先上升然后下降的趋势; 当发酵时间不变时, 马铃薯生浆馒头的比容随着酵母添加量的增加先上升后下降。图 1b 是酵母添加量为 1.0%、发酵时间为 70 min、醒发时间 20 min 时, 发酵温度与压面次数对馒头比容影响的响应曲面图。从图中发现, 当发酵温度不



a, 发酵时间与酵母添加量的响应面; b, 压面次数与发酵温度的响应面; c, 醒发时间与压面次数的响应面
 a, Response surface of fermentation time and yeast addition; b, Response surface of sheeting time and fermentation temperature;
 Response surface of proofing time and sheeting time

图 1 工艺参数对比容影响的响应曲面

Fig.1 Response surface of the effect of process parameters on specific volume

变时, 馒头的比容随着压面次数的不断增加呈先上升后下降的趋势; 当压面次数不变时, 馒头的比容会随着发酵温度的增加先上升后下降。图 1c 是酵母添加量为 1.0%、发酵温度为 34 °C、发酵时间为 70 min 时, 醒发时间与压面次数对馒头比容影响的响应曲面图。从图中发现, 当压面次数一定时, 馒头的比容随着醒发时间的增加先上升后下降; 当醒发时间一定时, 馒头的比容随着压面次数的增加呈先增大后减少的趋势。

采用 Design-Expert 软件分析了 30% 马铃薯生浆馒头的最优工艺参数: 酵母添加量为 1.1%、发酵温度为 35 °C、发酵时间为 70 min、压面次数为 12、醒发时间为 19 min, 模型预测馒头比容为 2.28 mL/g。在最优参数条件下进行验证实验, 测得馒头比容平均值为 2.34 mL/g, 误差小于 5%, 表明响应面优化 30% 马铃薯生浆馒头加工工艺具有较高的可靠性 (表 9)。并且, 与未优化的 30% 马铃薯生浆馒头 (2.02 mL/g) 相比较, 工艺优化后馒头比容显著提高。

表 9 两组馒头比容特性的比较

Table 9 Comparison of specific volume characteristics between two groups of steamed bread

指标	优化馒头	对照馒头
比容	2.34±0.05 ^a	2.02±0.03 ^b

注: 同一行中不同字母表示有显著性差异 ($P < 0.05$)。

Note: Different letters in the sameline indicate significant differences ($P < 0.05$).

3 结论

采用 30% 马铃薯生浆和 70% 中筋小麦粉为原料制作马铃薯生浆馒头, 在单因素实验结果的基础上, 结合馒头比容确定了马铃薯生浆馒头的最佳工艺参数, 即酵母添加量为 1.1%、压面次数 12、发酵时间 70 min、发酵温度 35 °C、醒发时间 19 min。在此工艺条件下马铃薯生浆馒头品质较好, 具有特有的薯香味。由于马铃薯的价格比马铃薯全粉低, 是马铃薯主食制品的理想原料。因此, 马铃薯生浆馒头研究在一定程度上为马铃薯主食化发展提供参考。

参考文献:

- [1] 李俊, 关郁芳, 王辉, 等. 马铃薯泥面条加工工艺研究[J]. 食品科技, 2018, 43(4): 153-158.
LI J, GUAN Y, WANG H, et al. Processing technology of mashed potato noodles[J]. Food Technology, 2018, 43(4): 153-158.
- [2] 方秀丽, 常柳, 段晓亮, 等. 马铃薯泥对面团及面包品质的影响[J]. 粮油食品科技, 2020, 28(2): 73-78.
FANG X, CHANG L, DUAN X, et al. The effects of potato mud on the dough and the quality of bread[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2020, 28(2): 73-78.
- [3] ARUN K B, CHANDRAN J, DHANYA R, et al. A comparative evaluation of antioxidant and antidiabetic potential of peel from young and matured potato[J]. Food Bioscience, 2015, 9(4): 36-46.

- [4] BÁRTOVÁ V, BÁRTA J, BRABCOVÁ A, et al. Amino acid composition and nutritional value of four cultivated South American potato species[J]. *Journal of Food Composition & Analysis*, 2015, 40: 78-85.
- [5] 张沐诗, 严生德, 刘兵, 等. 马铃薯全泥面包制作技术[J]. *青海农技推广*, 2017, 2: 46-47.
ZHANG M, YAN S, LIU B, et al. Making technology of potato whole mud bread[J]. *Qinghai Agro-Technology Extension*, 2017, 2: 46-47.
- [6] 卫萍, 游向荣, 张雅媛, 等. 马铃薯薯泥添加量对马铃薯干米粉品质的影响[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(23): 77-81.
WEI P, YOU X, ZHANG Y, et al. Study on influences of proportion of potato mud on the quality of dry potato rice noodle[J]. *Food Research and Development*, 2019, 40(23): 77-81.
- [7] FURRER A, CLADIS D P, KURILICH A, et al. Changes in phenolic content of commercial potato varieties through industrial processing and fresh preparation[J]. *Food Chemistry*, 2017, 218: 47-55.
- [8] 曾凡逵, 许丹, 刘刚. 马铃薯营养综述[J]. *中国马铃薯*, 2015, 29(4): 233-243.
ZENG F, XU D, LIU G. Potato nutrition: A critical review[J]. *Chinese Potato Journal*, 2015, 29(4): 233-243.
- [9] 赵晶, 郝金伟, 时东杰, 等. 马铃薯全粉面包加工工艺的研究[J]. *中国食品添加剂*, 2019, 30(1): 99-107.
ZHAO J, HAO J, SHI D, et al. Study on the processing of potato bread[J]. *China Food Additives*, 2019, 30(1): 99-107.
- [10] 陈朝军, 李俊, 刘嘉, 等. 马铃薯全粉馒头质构特性与感官评价的相关性[J]. *保鲜与加工*, 2018, 18(5): 85-90.
CEHN C, LI J, LIU J, et al. Relationship between textural characteristics and sensory evaluation of potato whole flour steam bread[J]. *Storage and Process*, 2018, 18(5): 85-90.
- [11] 曾希珂, 章丽琳, 刘竞峰, 等. 马铃薯全粉添加量对小麦粉及其挂面品质特性的影响[J]. *食品与机械*, 2017, 8: 163-166.
ZENG X, ZHANG L, LIU J, et al. Effect of different content of potato granule on the quality of flour and dried noodle mixed with potato and wheat[J]. *Food & Machinery*, 2017, 8: 163-166.
- [12] 王金秋, 武舜臣. 马铃薯主粮化战略的动力, 障碍与前景[J]. *农业经济*, 2018, 4: 18-20.
WANG J, WU S. Power, obstacle and prospect of potato staple food strategy[J]. *Agricultural Economy*, 2018, 4: 18-20.
- [13] 刘倩楠, 石晓芳, 李冲, 等. 马铃薯泥吐司面包的工艺优化[J]. *食品与发酵科技*, 2019, 55: 27-31.
LIU Q, SHI X, LI C, et al. Process optimization of mashed potato toast[J]. *Food and Fermentation Sciences & Technology*, 2019, 55: 27-31.
- [14] 张凤婕, 张天语, 曹燕飞, 等. 甘薯泥对面团流变特性及馒头品质的影响[J]. *食品研究与开发*, 2020, 6: 1-5.
ZHANG F J, ZHANG T Y, CAO Y F, et al. The effects of mashed sweet potato on rheological quality of dough and quality of steamed bread[J]. *Food Research and Development*, 2020, 6: 1-5.
- [15] 王慧, 王鑫. 茶树菇粉馒头的加工工艺研究[J]. *食用菌*, 2021, 43(5): 69-72.
WANG H, WANG X. Study on processing technology of steamed bun with *Agrocybe cylindracea* powder[J]. *Edible Fungi*, 2021, 43(5): 69-72.
- [16] 石聚领, 王栋梁, 范会平, 等. 枣渣馒头的研制[J]. *农产品加工*, 2015, 14: 18-21.
SHI J, WANG D, FAN H, et al. Processing of the zizyphus jujuba mill steamed-bread[J]. *Agricultural products processing*, 2015, 14: 18-21.
- [17] 冷进松, 孙国玉, 王磊鑫, 等. Minitab 联用正交设计优化马铃薯粉蒸烤馒头工艺[J]. *食品研究与开发*, 2015, 36(22): 106-113.
LENG J, SUN G, WANG L, et al. Process optimization of Potato flour steamed and baked bread by minitab combined with orthogonal test[J]. *Food Research and Development*, 2015, 36(22): 106-113.
- [18] 常冬冬, 刘长虹, 李志建, 等. 酸面团发酵和餛面对馒头品质的影响[J]. *中国食品添加剂*, 2013, 6: 145-152.
CHANG D, LIU C, LI Z, et al. Effect of sourdough fermentation and dry flour adding on the quality of steamed bread[J]. *China Food Additives*, 2013, 6: 145-152.
- [19] 张凤婕, 张天语, 曹燕飞, 等. 响应面法优化甘薯泥馒头加工工艺[J]. *粮油食品科技*, 2020, 28: 47-52.
ZHANG F, ZHANG T, CAO Y, et al. Optimization of processing technology of sweet potato puree steamed bread by response surface method[J]. *Science and Technology of Cereals, Oils and Foods*, 2020, 28: 47-52. 完
- 备注: 本文的彩色图表可从本刊官网 (<http://lyspkj.ijournal.cn>), 中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。