

DOI: 10.12161/j.issn.1005-6521.2024.10.024

甘薯生全粉添加量对馒头制作工艺及品质的影响

蔡沙, 蔡芳, 施建斌, 隋勇, 熊添, 何建军, 陈学玲, 范传会, 梅新*
(湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所, 湖北 武汉 430064)

摘要: 以甘薯-小麦混粉为原料, 探究甘薯生全粉馒头制作配方工艺以及甘薯生全粉添加量对馒头基本成分和物化特性的影响。结果表明, 甘薯馒头制作配方最优工艺为甘薯生全粉添加量 30%、加水量 55%、 α -淀粉酶添加量 0.02%、普鲁兰酶添加量 0.75%, 此时甘薯生全粉馒头感官评分最高为 84.9。随着甘薯生全粉添加量增加, 甘薯馒头淀粉和总膳食纤维含量逐渐增大, 蛋白质含量逐渐减小, 可溶性糖呈不规则变化趋势且变化幅度较小。随着甘薯生全粉添加量增加, 甘薯馒头色度 W_H 值、比容逐渐减小, 硬度和胶黏性逐渐增加, 黏性、回复性、黏聚性和弹性逐渐减小。随着甘薯生全粉添加量增加, 冻藏后复蒸馒头比容逐渐减小, 硬度逐渐增大; 在相同添加量的情况下, 随着冻藏时间的延长, 比容呈逐渐减小的变化趋势, 硬度呈逐渐增大的变化趋势。综上所述, 适当添加甘薯生全粉可制作出品质较好的馒头。

关键词: 甘薯生全粉; 添加量; 制作工艺; 馒头; 物化特性

Effect of Additive Amount of Raw Sweet Potato Flour on the Processing Technology and Quality of Steamed Bread

CAI Sha, CAI Fang, SHI Jianbin, SUI Yong, XIONG Tian, HE Jianjun, CHEN Xueling,
FAN Chuanhui, MEI Xin*

(Research Institute of Agricultural Products Processing and Nuclear-Agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, Hubei, China)

Abstract: In the present study, sweet potato-wheat flour mixture was used as raw material to explore the production technology of steamed bread with raw sweet potato flour and the effect of the additive amount of raw sweet potato flour on the basic composition and physical and chemical properties of steamed bread. Results showed that the optimum processing technology of sweet potato steamed bread was as follows: 30% addition of raw sweet potato flour, water content of 55%, 0.02% α -amylase addition, 0.75% pullulanase addition. Under these conditions, the sensory score of steamed bread was 84.9. With the content of raw sweet potato flour increased, the content of starch and total dietary fiber in sweet potato steamed bread increased gradually, while the content of protein decreased gradually, and the soluble sugar showed an irregular trend with a small fluctuation range. With the content of raw sweet potato flour increased, the color (W_H) and specific volume of sweet potato bread gradually decreased, while hardness and adhesiveness increased. Stickiness, resilience, cohesiveness and elasticity of sweet potato steamed bread decreased gradually. With the increase of raw sweet potato flour content, the specific volume of reheated steamed bread after freezing decreased gradually, while the hardness increased gradually. With the same additive amount, with the extension of freezing time, the specific volume showed a gradually decreasing trend, and the hardness showed a gradually increasing trend. In conclusion, the steamed bread with good quality can be made by appropriate addition of raw sweet potato flour.

Key words: raw sweet potato flour; additive amount; processing technology; steamed bread; physical and chemical properties

作者简介: 蔡沙(1989—), 女(汉), 硕士, 研究方向: 农产品加工与副产物综合利用。

*通信作者: 梅新(1978—), 男(汉), 博士, 研究方向: 农产品加工与副产物综合利用。

引文格式:

蔡沙,蔡芳,施建斌,等.甘薯生全粉添加量对馒头制作工艺及品质的影响[J].食品研究与开发,2024,45(10):181-189.
CAI Sha, CAI Fang, SHI Jianbin, et al. Effect of Additive Amount of Raw Sweet Potato Flour on the Processing Technology and Quality of Steamed Bread[J]. Food Research and Development, 2024, 45(10): 181-189.

甘薯又名红薯,是我国主要粮食作物之一^[1]。甘薯具有较高的营养价值,除淀粉和可溶性糖外,还富含多种维生素、钙、磷、铁等无机盐类,新鲜甘薯还含有较高含量的微量元素以及抗氧化物质(如多酚)^[2-6]。甘薯全粉是由新鲜甘薯干燥磨粉后制得,既保持了甘薯果肉的色泽、风味,又包含了新鲜甘薯中除薯皮以外的全部干物质^[7]。馒头是我国北方地区的主食之一,将甘薯全粉与小麦粉等混合后制作成馒头,既可以提高甘薯的利用率,又可以更有效地发挥甘薯的营养价值^[8]。

马名扬等^[6]研究发现,添加甘薯全粉后,甘薯全粉馒头亮度均降低、色泽均变暗,馒头感官评分随甘薯全粉质量分数的增加逐渐降低。张小村等^[7]研究发现,当甘薯全粉添加量相同时,不同甘薯配粉的馒头品质存在品种差异,有的品种甘薯全粉添加量可以达到15%,有的品种添加量不能高于10%。张凤婕^[8]研究发现,随着甘薯全粉添加量的增加,馒头的比容从2.61 mL/g下降至1.70 mL/g,感官评分从89下降至60, L^* 值也逐渐减小,馒头的硬度、黏着性和咀嚼性逐渐增加,弹性、黏聚性、回复性逐渐变差。结合甘薯全粉添加量对面团特性的分析发现,当甘薯全粉添加量小于30%时,混合面团的加工特性和馒头的品质在可接受范围内,添加量大于30%时馒头的各项品质指标下降明显。

本研究对甘薯全粉馒头的制作配方工艺进行探究,旨在为甘薯全粉在主食制品中的应用提供理论基础,在开发新产品新工艺的同时,还能为甘薯生全粉资源的合理利用提供依据,从而提高甘薯的经济价值。

1 料与方法

1.1 材料与试剂

甘薯生全粉:湖北根聚地农业发展股份有限公司;小麦粉:一加一天然面粉有限公司;酵母:安琪酵母股份有限公司; α -淀粉酶(≥ 300 U/g)、普鲁兰酶($\geq 1\ 000$ npun/g):上海阿拉丁生化科技股份有限公司;面粉增筋剂:河南瑞伦特生物科技有限公司。

1.2 仪器与设备

CF-100A 发酵箱:中山卡士电器有限公司;CS-580A 分光测色仪:杭州彩谱科技有限公司;TA-XTPlus 质构仪:英国 Stable Micro Systems 公司;LGJ-25C 冷冻干燥机:北京四环科学仪器厂有限公司;FEI QUANTA 200 环境扫描电子显微镜(scanning electron micro-

scope, SEM):荷兰 FEI 公司。

1.3 方法

1.3.1 馒头制作工艺流程

称取一定量的甘薯生全粉和小麦粉共 200 g(混合粉),称取一定量的酵母,向酵母中加入适量温水,充分搅拌至混合液无明显颗粒感。将酵母混合液、 α -淀粉酶、普鲁兰酶和面粉增筋剂依次加入混合粉中,反复揉制,直至面团不黏手、不黏盆,表面光滑均匀,无明显白块且富有弹性。于 35 °C、湿度 70% 条件下第一次发酵 1 h。发酵完毕后,揉捏按压将面团中的气体排出直至面团横切面无较大气孔,切割面团,制成馒头坯。于相同条件下进行二次醒发,时间为 20 min,二次醒发后于蒸锅内蒸制 20 min,冷却至室温即可。

1.3.2 单因素试验

通过单因素试验,探讨甘薯生全粉添加量、加水量、酵母添加量、发酵时间、发酵温度、 α -淀粉酶添加量、普鲁兰酶添加量和面粉增筋剂添加量八因素对馒头感官评价的影响,单因素试验因素水平如表 1 所示。

表 1 单因素试验设计
Table 1 Design of single factor experiment

水平	因素							
	甘薯生全粉添加量/%	加水量/%	酵母添加量/%	发酵时间/min	发酵温度/°C	α -淀粉酶添加量/%	普鲁兰酶添加量/%	面粉增筋剂添加量/%
1	10	50	2.0	40	30	0.01	0.5	0.001
2	20	55	2.5	50	35	0.02	1.0	0.002
3	30	60	3.0	60	40	0.03	1.5	0.003
4	40	65	3.5	70	45	0.04	2.0	0.004
5	50	70	4.0	80	50	0.05	2.5	0.005

1.3.3 正交试验

在单因素的基础上,以甘薯生全粉添加量、加水量、 α -淀粉酶添加量和普鲁兰酶添加量为影响甘薯馒头感官评价的主要因素进行四因素三水平正交试验,以期探索出馒头制作最优配方工艺。正交试验因素水平如表 2 所示。

表 2 正交试验设计
Table 2 Orthogonal test design

水平	因素			
	A 甘薯生全粉添加量/%	B 加水量/%	C α -淀粉酶添加量/%	D 普鲁兰酶添加量/%
1	20	55	0.01	0.5
2	30	60	0.02	1.0
3	40	65	0.03	1.5

1.3.4 甘薯生全粉添加量对甘薯生全粉馒头品质影响

1.3.4.1 甘薯生全粉添加量对甘薯生全粉馒头基本成分的影响

分别制作甘薯生全粉添加量为 0%、5%、10%、20%、30%、40%、50% 的馒头,同时按 1.3.3 中最优工艺制作馒头,分别测定蛋白质、淀粉、可溶性糖和总膳食纤维含量。

1.3.4.2 甘薯生全粉添加量对甘薯生全粉馒头物化特性影响

分别制作甘薯生全粉添加量为 0%、5%、10%、20%、30%、40%、50% 的馒头,同时按 1.3.3 中最优工艺制作馒头,分别测定比容、质构、色度、SEM、感官评价。

1.3.4.3 冻藏后复蒸馒头物化特性的变化

分别制作甘薯生全粉添加量为 0%、5%、10%、20%、30%、40% 和 50% 的馒头,同时按 1.3.3 中最优工艺制作馒头,分别冻藏 5、10、15 d 后复蒸,测定比容、质构、色度。

1.3.5 馒头感官评价

将馒头切成数块,选择 10 名同学组成感官评价小组,用描述性的感官评估方法对馒头的感官进行评分,评分结果取 10 名同学的平均值。馒头的感官品质评价标准见表 3。

表 3 感官评价标准

Table 3 Sensory evaluation criteria

项目	分数	评分标准	评分
比容	15	比容 ≥ 2.8	15
		$1.5 < \text{比容} < 2.8$ (比容每下降 0.1 评分扣 1)	3~<15
		比容 ≤ 1.5	<3
表皮状况	5	表面光滑,光泽好	5
		表皮塌陷、皱缩、有凹点、有气泡或烫斑	1~<5
馒头高度	5	高度 ≥ 6.0 cm	5
		$4.0 \text{ cm} < \text{高度} < 6.0 \text{ cm}$ (高度每下降 0.5 cm 评分扣 1)	2~<5
		高度 ≤ 4.0 cm	<2
表面色泽	10	颜色略黄且均匀	8~10
		黄色不明显且分布不均匀	6~<8
		颜色暗淡且分布不均匀	1~<6
内部结构	15	淡淡的纹路,气孔小且均匀	12~15
		气孔大小中等	9~<12
		气孔大而均匀	1~<9
外观形状	10	球形、对称、挺、表面光滑	7~10
		形状大小较均匀	4~<7
		形状大小各异	0~<4
黏性	15	口感好,不黏牙	12~15
		口感较好,略黏牙	9~<12
		口感不好,黏牙	1~<9
气味	5	具有淡淡的甘薯香味,无异味	4~5
		有异味	1~<4
弹性	20	还原性好,耐咀嚼	16~20
		还原性一般	12~<16
		还原性差,不耐咀嚼	1~<12

1.3.6 馒头基本成分测定

馒头蛋白质、总膳食纤维和淀粉含量分别参照 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》、GB 5009.88—2014《食品安全国家标准 食品中膳食纤维的测定》和 GB 5009.9—2016《食品安全国家标准 食品中淀粉的测定》中的方法进行测定。可溶性糖含量采用蒽酮比色法进行测定。

1.3.7 馒头物化特性

1.3.7.1 比容

参照 GB/T 21118—2007《小麦粉馒头》中的方法进行测定。

1.3.7.2 色度

参照蔡沙等^[9]的方法进行测定。

1.3.7.3 质构

参照林江涛等^[10]的方法并适当修改,将冷却的甘薯馒头切成大约 2 cm 厚的均匀馒头片,探头类型: P/36R;测试前、中、后速率分别为 1.0、5.0、5.0 mm/s;压缩率:75%;压缩时间间隔:5.0 s,每组试验做 6 次平行,取其平均值作为最终结果。

1.3.7.4 SEM 分析

馒头经冷冻干燥后进行喷金处理,于电子显微镜下观察馒头内部微观结构。

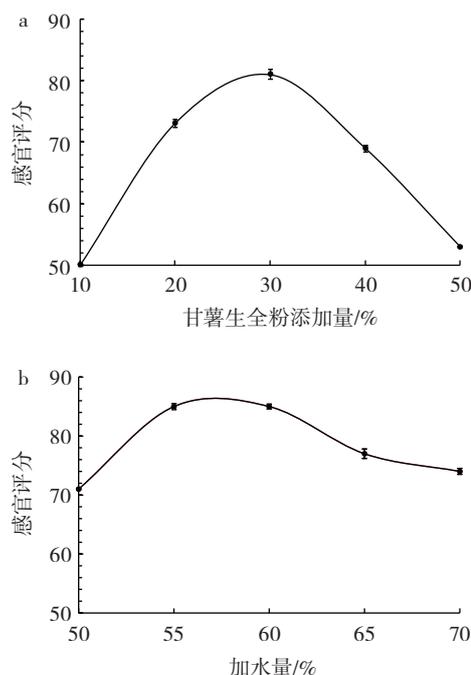
1.4 数据处理

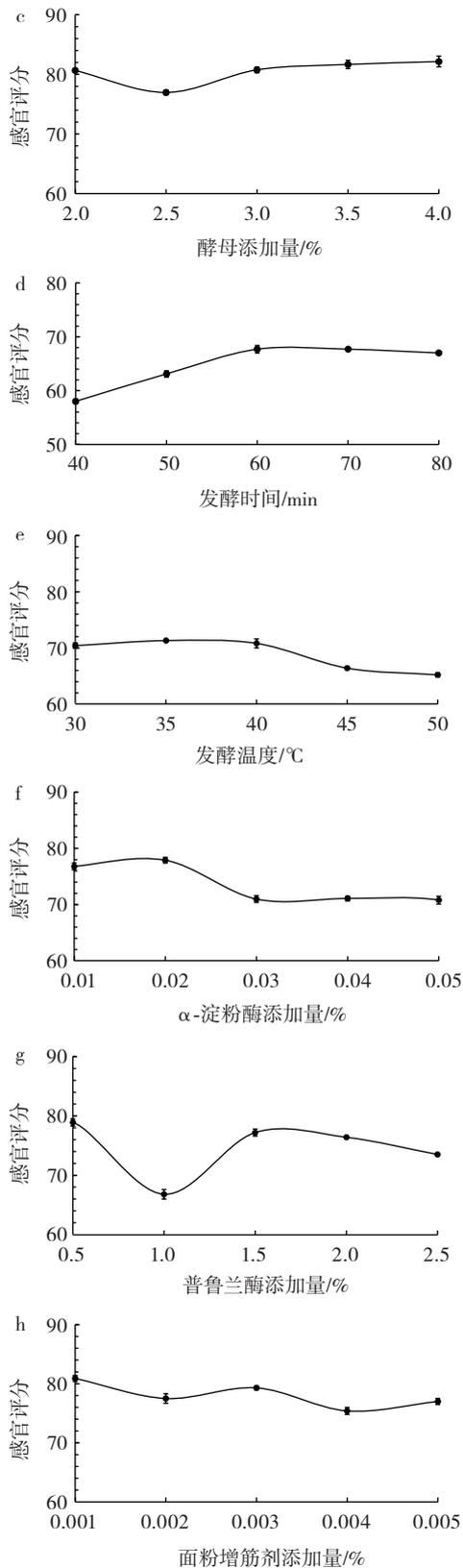
采用 Excel 2021 软件进行数据处理和分析。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

不同单因素对甘薯生全粉馒头感官评价的影响如图 1 所示。





a-h 分别为甘薯生全粉添加量、加水量、酵母添加量、发酵时间、发酵温度、 α -淀粉酶添加量、普鲁兰酶添加量和面粉增筋剂添加量。

图1 不同单因素对甘薯生全粉馒头感官评分的影响

Fig.1 Effects of different single factors on sensory evaluation of steamed bread with raw sweet potato flour

由图 1a 可知,随着甘薯生全粉添加量的增加,感官评分呈先增大后减小的变化趋势,甘薯生全粉添加量为 10%~30% 时,感官评分逐渐增大,从 50 增大至 81;甘薯生全粉添加量大于 30% 时,感官评分逐渐减小,可能是面团中面筋蛋白含量减少,导致馒头出现不易醒发、成型难、口感降低等问题^[11-12],使其感官评分降低。因此,选择甘薯生全粉最佳添加量 20%、30%、40% 进行后续正交试验。

由图 1b 可知,随着加水量的增加,感官评分呈先增大后减小的变化趋势,加水量为 50%~55% 时,感官评分逐渐增大,加水量大于 60% 时,感官评分逐渐减小,这是因为加水量会对馒头的黏稠性有影响,加水量较少时,面筋蛋白质不能够充分吸水膨胀^[7],这会降低面筋的生成率,导致面团干硬、发酵困难、不易成型,影响馒头的口感;加水量较大时,面团会比较黏手,馒头成形较为困难,且面团发酵后容易变形,高度和外观形状会受到影响,面团过软会使成品挺立度差、形状扁塌形且面团柔软黏牙,口感变差^[13]。因此,选择加水量 55%、60%、65% 进行后续正交试验。

由图 1c 可知,随着酵母添加量的增加,感官评分呈先减小后增大的变化趋势,酵母添加量为 4.0% 时,评分最高。这是因为酵母添加量较少时,面团的面筋网络没有形成,馒头表面不光滑、外型差、难以咀嚼,面团不容易发酵;随着酵母添加量的增多,酵母自身产生的二氧化碳气体也增多,使面团膨胀发起,外型更好但馒头香味会变淡,柔韧性会降低,吃起来较为粗糙^[13]。考虑到酵母添加量为 3.0%~4.0% 时的感官评分变化不明显,因此,选择甘薯馒头的酵母最佳添加量为 3.5%。

由图 1d 可知,随着发酵时间的延长,感官评分呈先增大后缓慢减小的变化趋势,发酵时间为 60 min 时感官评分达到最大。这可能是因为发酵时间过短时,面团的面筋网络结构没有形成,馒头较硬且比容小,表面不光滑,馒头较为粘牙,弹性也较差,且发酵产生的香气不足,延长发酵时间可以使馒头的品质更好,但发酵时间过长时,面筋网络的持气性变差,会导致馒头塌陷、皮瓢分离、出现较大的气泡^[14],使馒头的品质降低。因此,发酵最佳时间为 60 min。

由图 1e 可知,随着发酵温度的升高,感官评分呈先缓慢增大后减小的变化趋势,发酵温度为 35 °C 时感官评分最高。这主要是因为发酵温度升高,有利于酵母的生长繁殖,使馒头黏性、弹性较好,且表面光滑耐咀嚼^[15]。但发酵温度过高则会抑制酵母的生长繁殖,减缓发酵速率,使面团不能充分发酵^[16],制成的馒头结构比较差,表皮干硬,口感较差,导致感官评分降低。因此,发酵最佳温度为 35 °C。

由图 1f 可知,随着 α -淀粉酶含量的增加,感官评

分整体呈先缓慢增大后减小的变化趋势,α-淀粉酶添加量为0.02%时,感官评分最高。可能是因为适量的α-淀粉酶可促使面粉中的淀粉部分水解,产生一定量的可发酵糖,促进酵母产气,蒸出来的馒头会更大更松软、品质较好。但α-淀粉酶添加过多时,会产生较多的糖从而抑制酵母的发酵,使馒头的品质降低;同时若淀粉水解程度较高,馒头的内部组织则会发黏,馒头口感会比较差^[17]。因此,选择α-淀粉酶添加量0.01%、0.02%、0.03%进行后续正交试验。

由图1g可知,随着普鲁兰酶添加量的增加,感官评分呈先减小后增大又减小的变化趋势,普鲁兰酶添加量为0.5%时评分最高,普鲁兰酶添加量为1.0%时评分最低。因此,选择普鲁兰酶添加量为0.5%、1.0%、1.5%进行后续正交试验。

由图1h可知,随着面粉增筋剂添加量的增加,感官评分变化幅度较小,面粉增筋剂添加量为0.001%时评分最高,馒头的感官评分受面粉增筋剂的影响不大。因此,面粉增筋剂最佳添加量为0.001%。

2.2 正交试验结果

正交试验与极差分析结果如表4所示。

表4 甘薯馒头制备工艺正交试验结果

Table 4 Orthogonal test results of processing technology of sweet potato steamed bread

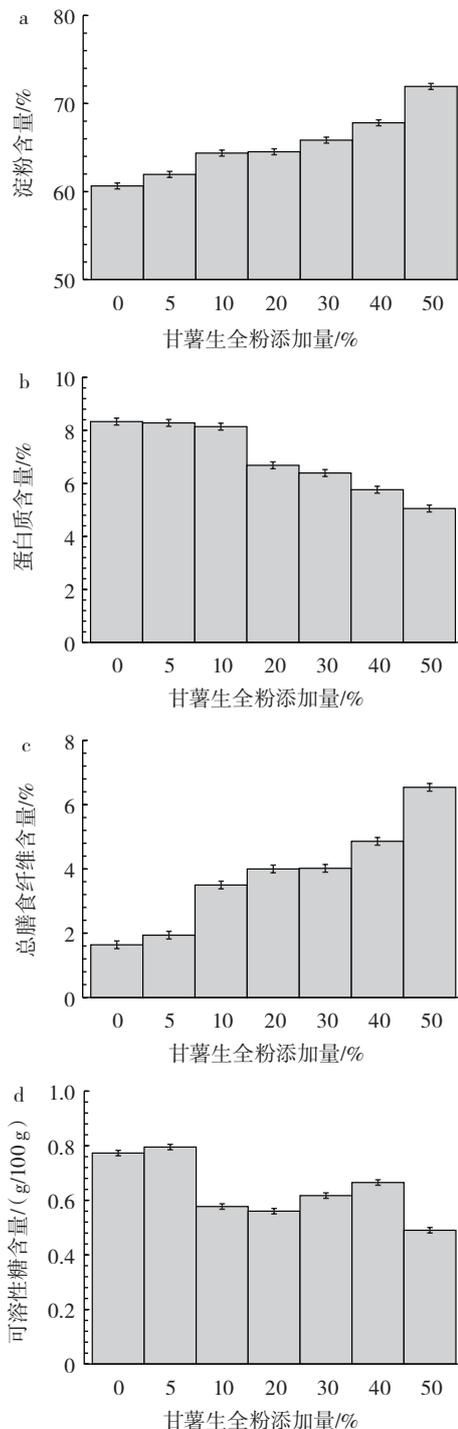
序号	A	B	C	D	评分
1	1	1	1	1	76.6
2	1	2	2	2	80.4
3	1	3	3	3	73.5
4	2	1	2	3	84.9
5	2	2	3	1	79.0
6	2	3	1	2	69.3
7	3	1	3	2	80.0
8	3	2	1	3	77.4
9	3	3	2	1	74.3
K ₁	230.5	241.5	223.3	229.9	
K ₂	233.2	236.8	239.6	229.7	
K ₃	231.7	217.1	232.5	235.8	
R	2.7	24.4	16.3	6.1	

由表4可知,4个因素对甘薯馒头感官评价的影响大小顺序为B>C>D>A,即加水量>α-淀粉酶添加量>普鲁兰酶添加量>甘薯生全粉添加量,各因素理论最优水平组合为A₂B₁C₂D₃,即甘薯生全粉添加量为30%、加水量为55%、α-淀粉酶添加量为0.02%、普鲁兰酶添加量为1.5%。正交试验设计9个处理中实际最优组合也为A₂B₁C₂D₃,即理论最优组合与实际最优组合相同。因此,甘薯馒头制备的最优工艺为甘薯生全粉添加量为30%、加水量为55%、α-淀粉酶添加量为0.02%、普鲁兰酶添加量为1.5%。

2.3 甘薯生全粉添加量对甘薯生全粉馒头品质影响

2.3.1 甘薯生全粉添加量对甘薯生全粉馒头基本成分影响

甘薯生全粉添加量对甘薯生全粉馒头基本成分影响如图2所示。



a~d 分别为淀粉、蛋白质、总膳食纤维、可溶性糖含量。

图2 甘薯生全粉添加量对甘薯生全粉馒头基本成分影响

Fig.2 Effects of additive amount on basic component of steamed bread with raw sweet potato

由图2可知,随着甘薯生全粉添加量的增加,甘薯

生全粉馒头淀粉和总膳食纤维含量逐渐增大,蛋白质含量逐渐减小,可溶性糖含量呈不规律变化趋势且变化幅度较小。这主要是因为甘薯生全粉中淀粉和总膳食纤维含量高于小麦粉,蛋白质含量低于小麦粉,随其添加量的增加,馒头中蛋白质含量减小,淀粉和总膳食纤维含量增加。

2.3.2 甘薯生全粉添加量对甘薯生全粉馒头物化特性影响

L^* 值表示鲜亮明度,黑色为0,白色为100。 W_H 值是反映色度的综合值,该值越大表明被测物质越白亮。 a^* 值表示彩度指数,正数代表偏红色,负数代表偏绿色。 b^* 值表示彩度指数,正数代表黄色,负数代表蓝。甘薯生全粉添加量对甘薯生全粉馒头色度影响如表5所示。

表5 甘薯生全粉添加量对甘薯生全粉馒头色度影响

Table 5 Effects of additive amount on color of raw sweet potato steamed bread

甘薯生全粉添加量/%	L^* 值	a^* 值	b^* 值	W_H 值
0	77.19	-1.07	12.74	73.85
5	74.55	-0.22	15.99	69.94
10	66.88	0.72	16.84	62.84
20	66.48	2.35	22.47	59.58
30	57.85	3.73	22.59	52.03
40	54.00	4.55	22.83	48.45
50	52.90	5.74	23.52	47.04

由表5可知,随着甘薯生全粉添加量增加,甘薯生全粉馒头色度 W_H 值逐渐减小,由于甘薯生全粉呈紫红色,因此随着甘薯生全粉添加量的增加,馒头颜色越来越暗。色度降低的原因有以下两点:一是甘薯生全粉的色泽对馒头色泽产生了影响;二是在馒头制作过程中甘薯组织内部的多酚氧化酶发生酶促褐变造成馒头色泽变暗^[11,18]。

甘薯生全粉添加量对甘薯生全粉馒头质构的影响如表6所示。

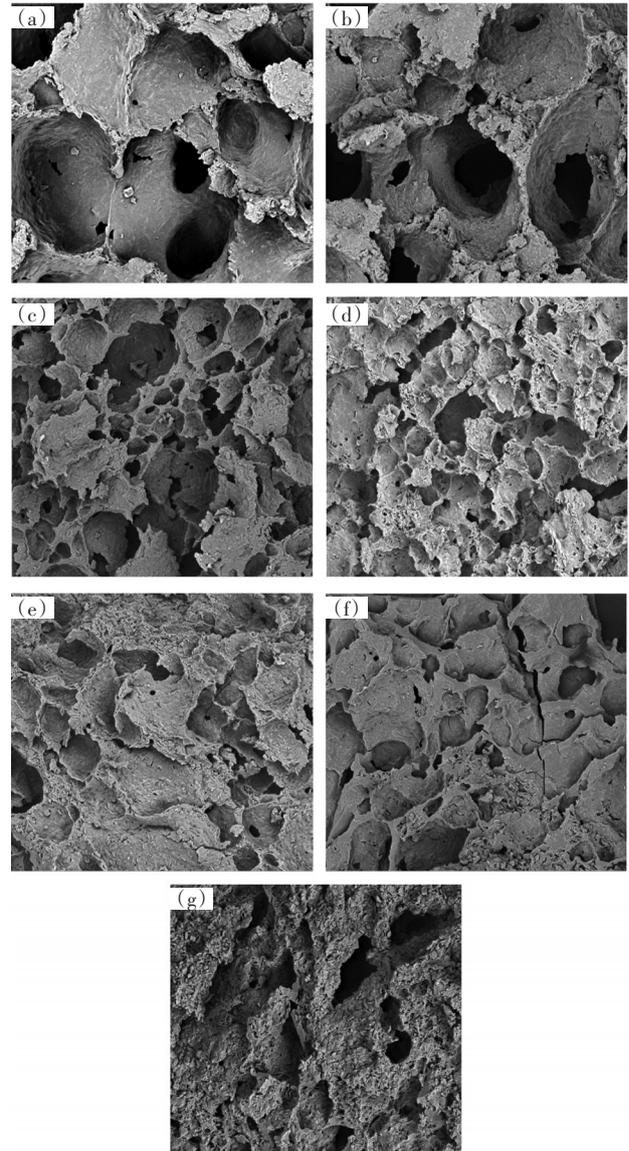
表6 甘薯生全粉添加量对甘薯生全粉馒头质构影响

Table 6 Effects of additive amount on texture of steamed bread with raw sweet potato flour

甘薯生全粉添加量/%	硬度/g	黏性	回复性	黏聚性	弹性	胶黏性/g	比容/(mL/g)
0	1 299.11	-0.65	47.15	0.81	96.73	1 052.14	2.58
5	1 720.85	-0.95	45.16	0.75	91.48	1 623.82	2.51
10	2 618.93	-0.99	44.26	0.77	90.13	1 976.06	2.37
20	3 255.95	-1.90	37.38	0.71	89.13	2 284.98	1.60
30	5 678.54	-3.72	36.38	0.70	89.06	4 142.34	1.31
40	6 326.54	-4.79	35.99	0.70	88.46	4 489.98	1.22
50	7 914.31	-5.66	35.88	0.68	87.41	5 342.89	0.96

由表6可知,随着甘薯生全粉添加量增加,甘薯生全粉馒头硬度和胶黏性逐渐增加,比容、黏性、回复性、黏聚性和弹性逐渐减小。可能是因为甘薯生全粉不含面筋蛋白,不能保持酵母发酵产生的气体^[7],也可能是添加甘薯生全粉会稀释面团中的面筋蛋白,使面筋网络结构的形成受到阻碍,导致面团膨胀不够充分^[19-20],所以使馒头的弹性变差,使制作的馒头硬度、黏着性和咀嚼性增加,弹性和回复性变差。当甘薯生全粉添加量较低时,馒头的口感尚在可接受范围内,过量添加后,馒头的硬度大、口感变差。

甘薯生全粉添加量对甘薯生全粉馒头 SEM 图如图3所示。



a~g 分别为甘薯生全粉添加量 0%、5%、10%、20%、30%、40%、50% 的馒头。

图3 不同甘薯生全粉添加量馒头 SEM 图谱

Fig.3 Effects of additive amount on SEM altas of steamed bread with raw sweet potato flour

由图3可知,随着甘薯生全粉添加量增加,甘薯生全粉馒头中面筋网状结构的空隙变少,同时空隙间的距离也在变小,添加量为0%和5%的甘薯生全粉的馒头(图3a、图3b)中网状结构的空隙大而圆,质地均匀且结构厚实;添加量为10%~40%的甘薯生全粉的馒头(图3c~图3f)中网状结构的空隙明显减小,且结构不如低添加量的厚实;添加量为50%的甘薯生全粉的馒头(图3g)中网状结构表面呈颗粒状,类似于物质聚集在网状结构表面,有许多密集而细小的孔洞。以上微观结构结果与感官和质构试验的结果相符。

2.3.3 冻藏后复蒸馒头物化特性的变化

甘薯生全粉添加量对冻藏后复蒸馒头比容影响如图4所示。

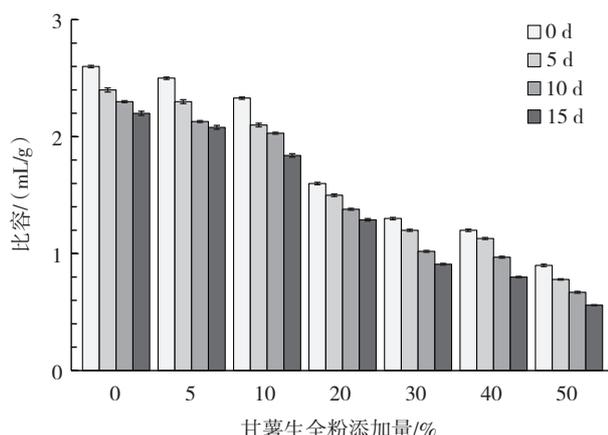


图4 甘薯生全粉添加量对冻藏后复蒸馒头比容影响

Fig.4 Effects of additive amount on specific volume of reheated steamed bread after freezing

由图4可知,随着甘薯生全粉添加量增加,甘薯生全粉馒头的比容逐渐减小,且在相同添加量的情况下,随着冻藏时间的延长,比容也呈逐渐减小的变化趋势。这可能是因为甘薯粉中不含有面筋蛋白,当馒头中添加过多的甘薯生全粉时,会稀释面团中面筋蛋白的网络结构,面团的持气性则会变差,导致馒头组织内部的气孔紧密,使其硬度增大,因此导致了馒头比容减小^[6]。

甘薯生全粉添加量对冻藏后复蒸馒头色度影响如表7所示。

由表7可知,随着甘薯生全粉添加量的增加,甘薯生全粉馒头的色度逐渐减小,同时,当甘薯生全粉添加量相同时,随着冻藏时间的延长,甘薯生全粉馒头的色度也呈逐渐减小的变化趋势。冻藏过程中,随着甘薯生全粉添加量的增加,W_H值呈下降趋势。

甘薯生全粉添加量对冻藏后复蒸馒头质构影响如表8所示。

由表8可知,随着甘薯生全粉添加量增加,甘薯生全粉馒头的硬度逐渐增大,同时,当甘薯生全粉添加量

表7 甘薯生全粉添加量对冻藏后复蒸馒头色度影响

Table 7 Effects of additive amount on color of reheated steamed bread after freezing

冻藏时间/d	甘薯生全粉添加量/%	L*值	a*值	b*值	W _H 值	
5	0	83.68	-0.54	12.73	79.30	
	5	77.26	0.13	15.74	72.34	
	10	76.54	0.80	17.54	70.69	
	20	68.47	2.72	22.27	61.30	
	30	57.22	3.70	22.30	51.61	
	40	54.14	4.62	22.88	48.54	
	50	48.70	5.57	23.50	43.30	
	10	0	81.60	-0.54	12.81	77.57
		5	76.50	0.18	15.11	72.06
		10	75.27	0.78	17.18	69.88
20		66.52	2.42	22.17	59.77	
30		55.43	3.89	22.21	50.05	
15	0	81.53	-0.45	13.22	77.28	
	5	75.47	0.30	15.56	70.95	
	10	74.41	0.77	16.74	69.41	
	20	65.17	2.71	21.61	58.92	
	30	55.06	3.69	22.33	49.68	
	40	49.72	4.80	23.71	44.20	
	50	45.37	5.43	24.36	39.94	

表8 甘薯生全粉添加量对冻藏后复蒸馒头质构影响

Table 8 Effects of additive amount on texture of reheated steamed bread after freezing

冻藏时间/d	甘薯生全粉添加量/%	硬度/g	黏性	回复性	黏聚性	弹性	胶黏性/g	
5	0	5 204.04	-2.41	39.11	0.73	90.77	3 786.49	
	5	5 823.74	-2.97	37.33	0.68	89.79	3 910.95	
	10	7 722.02	-3.06	34.95	0.63	85.03	6 009.69	
	20	13 461.67	-5.10	33.89	0.60	84.58	8 341.78	
	30	17 424.51	-8.73	31.45	0.55	83.90	9 805.87	
	40	18 195.75	-11.20	30.88	0.54	81.47	9 920.86	
	50	20 245.29	-18.93	28.03	0.50	74.98	12 038.94	
	10	0	6 441.11	-3.07	34.47	0.72	89.29	3 995.75
		5	7 508.83	-3.93	32.30	0.67	87.90	4 975.11
		10	10 576.75	-5.80	31.80	0.62	83.95	6 528.38
20		15 028.00	-7.96	30.62	0.59	82.12	8 873.69	
30		20 695.64	-9.66	29.34	0.51	80.22	10 047.79	
15	0	21 479.02	-22.54	27.40	0.50	78.78	10 232.53	
	5	22 084.32	-26.44	25.54	0.49	72.01	15 698.91	
	10	7 768.44	-3.20	33.61	0.71	87.30	4 134.07	
	5	8 357.05	-2.10	35.08	0.66	86.77	5 235.17	
	10	11 625.94	-6.30	30.26	0.61	80.95	6 973.72	
	20	16 453.61	-11.72	28.52	0.56	79.15	9 975.67	
	30	21 112.92	-16.26	22.16	0.50	77.82	11 597.88	
	40	22 681.63	-27.79	20.69	0.45	75.43	12 522.83	
	50	24 259.50	-36.27	16.15	0.39	70.68	17 807.51	

相同时,随着冻藏时间的延长,甘薯生全粉馒头的硬度也呈逐渐增大的变化趋势。冻藏过程中,随着甘薯生全粉添加量的增加,硬度呈逐渐增大的变化趋势。随着甘薯生全粉添加量增加,甘薯生全粉馒头的弹性逐渐减小,同时,当甘薯生全粉添加量相同时,随着冻藏时间的延长,甘薯生全粉馒头的弹性也呈逐渐减小的变化趋势。冻藏过程中,随着甘薯生全粉添加量的增加,弹性呈逐渐减小的变化趋势。

3 结论

通过单因素试验和正交试验对影响甘薯馒头感官评价的指标(甘薯生全粉添加量、加水量、 α -淀粉酶添加量和普鲁兰酶添加量)进行优化,结果表明,当甘薯生全粉添加量30%、加水量55%、 α -淀粉酶添加量0.02%、普鲁兰酶添加量0.75%时,在此工艺条件下,甘薯馒头感官评分最高,甘薯生全粉馒头外形美观、香气浓烈、口感好。

随着甘薯生全粉添加量增加,甘薯生全粉馒头淀粉和总膳食纤维含量逐渐增大,蛋白质含量逐渐减小,可溶性糖呈不规律变化趋势且变化幅度较小。同时,甘薯生全粉馒头色度、比容逐渐减小,硬度和胶黏性逐渐增加,黏性、回复性、黏聚性和弹性逐渐减小。

随着甘薯生全粉添加量增加,冻藏后复蒸馒头比容逐渐减小,且在相同添加量的情况下,随着冻藏时间的延长,比容也呈逐渐减小的变化趋势。同时,冻藏后复蒸馒头的硬度逐渐增大,且当甘薯生全粉添加量相同时,随着冻藏时间的延长,甘薯生全粉馒头的硬度也呈逐渐增大的变化趋势。

参考文献:

- [1] 季蕾蕾, 木泰华, 孙红男. 不同干燥方式对甘薯叶片水分迁移、微观结构、色泽及复水性能影响的比较[J]. 食品科学, 2020, 41(11): 90-96.
JI Leilei, MU Taihua, SUN Hongnan. Comparative effect of different drying processes on mass migration, microstructure, color and rehydration property of sweet potato leaves[J]. Food Science, 2020, 41(11): 90-96.
- [2] 赵祥瑞, 刘丽萍, 张家祥, 等. 基于气相色谱-离子迁移谱联用技术分析甘薯块根不同组分对甘薯特征风味剂香气的贡献[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(12): 236-243.
ZHAO Xiangying, LIU Liping, ZHANG Jiaxiang, et al. Contribution of different components of sweet potato to the characteristic aroma of flavoring agents using GC-IMS[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(12): 236-243.
- [3] 明玥, 梁志宏. 甘薯的功能性成分及其开发利用途径[J]. 食品科学, 2020, 45(11): 174-179.
MING Yue, LIANG Zhihong. Functional components and development and utilization pathways of sweet potato[J]. Food Science and Technology, 2020, 45(11): 174-179.
- [4] 白洁, 彭义交, 刘丽莎, 等. 薯类原料膨化特性及其膨化品质特性[J]. 食品科学, 2018, 39(15): 48-53.
BAI Jie, PENG Yijiao, LIU Lisha, et al. Extrusion properties and quality properties of different potato materials[J]. Food Science, 2018, 39(15): 48-53.
- [5] 王礼群, 刘硕, 杨春贤, 等. 鲜切甘薯不同部位褐变机理差异[J]. 食品科学, 2018, 39(1): 285-290.
WANG Liqun, LIU Shuo, YANG Chunxian, et al. Mechanism of browning in different parts of fresh-cut sweet potato[J]. Food Science, 2018, 39(1): 285-290.
- [6] 马名扬, 关二旗, 卞科, 等. 甘薯全粉对面团性质及馒头品质的影响[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2016, 37(3): 31-36.
MA Mingyang, GUAN Erqi, BIAN Ke, et al. Effects of sweet potato flour on dough properties and steamed bread qualities[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2016, 37(3): 31-36.
- [7] 张小村, 孔凡美, 姜小燕, 等. 不同品种甘薯与小麦配粉对粉质及馒头品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(5): 23-29.
ZHANG Xiaocun, KONG Fanmei, JIANG Xiaoyan, et al. Effects of different sweet potato flour on wheat flour quality and steamed bread quality[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2020, 35(5): 23-29.
- [8] 张凤婕. 高添加量甘薯全粉馒头的研制[D]. 淄博: 山东理工大学, 2019.
ZHANG Fengjie. Production of steamed bread with sweet potato while flavor with high addition content[D]. Zibo: Shandong University of Technology, 2019.
- [9] 蔡沙, 蔡芳, 何建军, 等. 马铃薯全粉剂量效应对面团特性以及馒头品质作用分析[J]. 现代食品科技, 2020, 36(12): 213-219, 273.
CAI Sha, CAI Fang, HE Jianjun, et al. Analysis of potato flour dosage on the characteristics of dough and the quality of steamed bread [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(12): 213-219, 273.
- [10] 林江涛, 孙灵灵, 黄美琳, 等. 小麦粉受热对面团流变学特性及馒头品质的影响[J]. 现代食品科技, 2021, 37(10): 162-170.
LIN Jiangtao, SUN Lingling, HUANG Meilin, et al. Effects of heat treatment of wheat flour on dough rheological properties and steamed bread quality[J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(10): 162-170.
- [11] 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, 41(6): 1-5.
ZHANG Fengjie, ZHANG Tianyu, CAO Yanfei, et al. The effects of mashed sweet potato on rheological quality of dough and quality of steamed bread[J]. Food Research and Development, 2020, 41(6): 1-5.
- [12] 马栎, 唐海霞. 甘薯全粉馒头加工工艺的优化研究[J]. 粮食科技与经济, 2020, 45(10): 124-127.
MA Li, TANG Haixia. Optimization of the processing technology of sweet potato flour steamed bread[J]. Grain Science and Technology and Economy, 2020, 45(10): 124-127.
- [13] 罗文, 陈实, 张松. 紫薯馒头制作工艺研究[J]. 四川旅游学院学报, 2016(4): 23-26.
LUO Wen, CHEN Shi, ZHANG Song. Research into processing techniques of purple potato steamed bread[J]. Journal of Sichuan Tourism University, 2016(4): 23-26.
- [14] 蔡沙, 隋勇, 施建斌, 等. 马铃薯馒头的制备工艺研究[J]. 食品工业, 2018, 39(9): 140-143.
CAI Sha, SUI Yong, SHI Jianbin, et al. Study on preparation of potato steamed bread[J]. The Food Industry, 2018, 39(9): 140-143.
- [15] 徐忠, 王胜男, 孙月, 等. 马铃薯全粉馒头的研制[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版), 2018, 34(2): 231-237, 256.

- XU Zhong, WANG Shengnan, SUN Yue, et al. Development of potato flour steamed bread[J]. Journal of Harbin University of Commerce (Natural Sciences Edition), 2018, 34(2): 231-237, 256.
- [16] 李逸鹤, 马栎, 嵇稚雯, 等. 小麦胚紫薯复合馒头的研究[J]. 食品研究与开发, 2014, 35(24): 84-87.
- LI Yihe, MA Li, JI Zhiwen, et al. Study on the processing technology of steamed bread with purple sweet potato and wheat germ[J]. Food Research and Development, 2014, 35(24): 84-87.
- [17] 张首玉, 曾洁, 孙俊良. α -淀粉酶对馒头品质的影响及抑制回生的机理研究[J]. 食品工业, 2014, 35(3): 31-33.
- ZHANG Shouyu, ZENG Jie, SUN Junliang. Effect of α -amylase on qualities of steamed bread and its inhibition mechanism to retrogradation[J]. The Food Industry, 2014, 35(3): 31-33.
- [18] 张凤婕, 张天语, 曹燕飞, 等. 甘薯全粉对小麦面团及馒头品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(15): 11-16, 39.
- ZHANG Fengjie, ZHANG Tianyu, CAO Yanfei, et al. Effect of sweet potato powder on quality of wheat dough and steamed bread [J]. Food Research and Development, 2020, 41(15): 11-16, 39.
- [19] MONTHE O C, GROSMIRE L, NGUIMBOU R M, et al. Rheological and textural properties of gluten-free doughs and breads based on fermented cassava, sweet potato and sorghum mixed flours[J]. LWT-Food Science and Technology, 2019, 101: 575-582.
- [20] 张天语. 紫马铃薯全粉馒头的研制及营养特性分析[D]. 淄博: 山东理工大学, 2019.
- ZHANG Tianyu. Development and nutritional characteristics analysis of purple potato steamed bread[D]. Zibo: Shandong University of Technology, 2019.

加工编辑: 张岩蔚
收稿日期: 2023-01-30

(上接第 149 页)

- [14] SONG Z W, DU H, ZHANG M H, et al. *Schizosaccharomyces pombe* can reduce acetic acid produced by *Baijiu* spontaneous fermentation microbiota[J]. Microorganisms, 2019, 7(12): 606.
- [15] 杨小冲, 陈忠军, 赵洁, 等. 耐高酒精野生酵母菌株的筛选及其特性研究[J]. 中国酿造, 2017, 36(8): 67-71.
- YANG Xiaochong, CHEN Zhongjun, ZHAO Jie, et al. Screening of wild yeast strain with high alcohol tolerant and its performance study[J]. China Brewing, 2017, 36(8): 67-71.
- [16] 任津莹, 马艳蕊, 刘港, 等. 一种新型产乙酸乙酯酿酒酵母菌株的构建[J]. 中国酿造, 2020, 39(8): 162-169.
- REN Jinying, MA Yanrui, LIU Gang, et al. Construction of a novel ethyl acetate-producing *Saccharomyces cerevisiae*[J]. China Brewing, 2020, 39(8): 162-169.
- [17] GARAVAGLIA J, DE CASSIA DE SOUZA SCHNEIDER R, CAMARGO MENDES S D, et al. Evaluation of *Zygosaccharomyces bailii* BCV 08 as a co-starter in wine fermentation for the improvement of ethyl esters production[J]. Microbiological Research, 2015, 173: 59-65.
- [18] 王荣钰, 赵金松, 苏占元, 等. 酱香型白酒关键酱香风味物质研究现状[J]. 酿酒科技, 2020(6): 81-86.
- WANG Rongyu, ZHAO Jinsong, SU Zhanyuan, et al. Research status of key flavoring compounds of Jiangxiang Baijiu[J]. Liquor-Making Science & Technology, 2020(6): 81-86.
- [19] 卢君, 山其木格, 唐平, 等. 耐酸酵母菌株的筛选及其在酱香白酒酿造过程中的应用研究[J]. 酿酒科技, 2019(10): 106-111.
- LU Jun, SHAN Qimuge, TANG Ping, et al. Screening of acid-tolerant yeast strains and their application in the production of Jiangxiang Baijiu[J]. Liquor - Making Science & Technology, 2019(10): 106-111.
- [20] 林良才, 白茹, 高滢, 等. 高耐性库德里阿兹威氏毕赤酵母的筛选及应用[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(3): 60-67.
- LIN Liangcai, BAI Ru, GAO Ying, et al. Screening of a robust high-tolerance *Pichia kudriavzevii* strain and its application in Baijiu fermentation[J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(3): 60-67.

责任编辑: 王艳
收稿日期: 2023-04-21