

发酵糙米糕的制作工艺研究

仰思颖¹, 蔡群¹, 吴凤凤^{*1}, 曹菲菲¹, 杨雪松¹, 徐学明^{1,2}

(1. 江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214122; 2. 食品科学与技术国家重点实验室, 江南大学, 江苏 无锡 214122)

摘要: 本文以粳型糙米为原料, 研究发酵糙米糕的制作工艺。单因素试验结果表明: 乳酸菌前发酵阶段对发酵糙米糕风味影响较大, 糙米浆中添加 1.2% 的乳酸菌在 28 ℃ 发酵 4 h, 米糕风味较好。而酵母添加量、混合发酵温度和混合发酵时间对发酵糙米糕质构品质影响显著。正交试验结果表明: 以硬度最小、粘附性最低、弹性最大为考核指标筛选出后发酵阶段三种最优发酵组合, 分别为 A₂B₃C₃、A₃B₃C₃、A₂B₁C₃。对正交试验结果进行感官分析得出最佳发酵条件为: 糙米浆中添加 1.2% 的乳酸菌在 28 ℃ 下发酵 4 h, 再加入 2.5% 的酵母在 32 ℃ 发酵 2 h。

关键词: 糙米; 发酵; 工艺; 品质评价

中图分类号: TS 213.3 文章编号: 1673-1689(2019)04-0030-09 DOI: 10.3969/j.issn. 1673-1689.2019.04.005

Study on Processing Technology of Fermented Brown Rice Steam Sponge Cake

YANG Siying¹, CAI Qun¹, WU Fengfeng^{*1}, CAO Feifei¹, YANG Xuesong¹, XU Xueming^{1,2}

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: To study the processing technology of fermented brown rice steam sponge cake, using indica brown rice as raw material. The results of single factor experiment showed that the early period fermented by lactic acid bacteria mainly affected the flavor, the fermented brown rice steam sponge cake taste best when the brown rice flour fermented for 4 h at 28 ℃ by lactic acid bacteria. while the yeast addition volume and the mixed fermentation temperature and time affected texture quality significantly. Orthogonal experiment results showed that the best three fermentation conditions according to the lower hardness and adhesiveness and higher springiness respectively were A₂B₃C₃, A₃B₃C₃ and A₂B₁C₃. The results of sensory analysis on the basis of orthogonal experiment showed the optimum fermentation is adding 1.2% of the lactic acid bacteria fermented in 28 ℃ for 2 h, and next adding 2.5% of yeast fermented in 32 ℃ for 2 h.

Keywords: brown rice, fermentation, processing technology, quality evaluation

收稿日期: 2016-07-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(31501523); 江苏省自然科学基金项目(BK20140148); 粮食公益性行业科研专项(201513003)。

* 通信作者: 吴凤凤(1984—), 女, 工学博士, 副教授, 硕士研究生导师, 主要从事食品组分与物性研究。E-mail: fengfeng.6666@163.com

引用本文: 仰思颖, 蔡群, 吴凤凤, 等. 发酵糙米糕的制作工艺研究[J]. 食品与生物技术学报, 2019, 38(04): 30-38.

糙米是一种营养丰富的全谷物食品,是稻谷除去外壳保留皮层、糊粉层和胚而成的大米。糙米相比较于白米而言含有更多的蛋白质、脂质、膳食纤维、矿物质和维生素等营养物质,而且糙米的麸层和胚乳中含有 γ -氨基丁酸、二十八烷醇和谷维素等生物活性物质^[1-2],对人体健康,尤其对糖尿病患者来说非常有益^[3]。但是糙米由于其外面的纤维导致蒸煮性能和食用品质差,作为主食难以被人们接受,使其实际消费量很低,营养价值得不到很好的利用^[4]。而将糙米粉碎,破坏其纤维结构能显著提高其蒸煮效率和消化吸收率。

大米发糕是一种深受中国南方城市喜爱的传统食品,一般是以粳米为原料,通过浸泡、磨浆、发酵等工序之后经蒸汽蒸熟,成品表面光滑,内部具有蜂窝状结构,质地松软,酸甜可口,并具有发酵米制品的特殊香气。研究表明,米制品自然发酵过程中的微生物群主要为乳酸菌、酵母菌和霉菌,霉菌一般漂浮于发酵液表面,所以对发酵起主要作用的是乳酸菌和酵母菌^[5]。发酵米制品含有乳酸、游离植酸和氨基酸等具有保健功能的生物活性物质^[6]。

本试验以糙米粉为原料,米发糕为载体,市售酵母和乳酸菌为发酵剂,对发酵糙米糕的制作工艺和发酵过程进行了研究。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

材料:糙米(万胜优1号,粳型),市售;安琪酵母、伊士特乳酸菌粉,安琪酵母股份有限公司提供;白砂糖,太古股份有限公司提供。

仪器:粉碎机,北京燕山正德机械设备有限公司产品;电热鼓风干燥箱,重庆万达仪器有限公司产品;恒温箱,宁波东南仪器有限公司产品;TA-XT plus型质构仪,英国STABLE MICROSYSTEMS公司产品;分析天平,梅特勒仪器(上海)有限公司产品。

1.2 试验方法

1.2.1 发酵糙米糕的基本工艺 糙米→清洗→干燥→粉碎→过筛→调浆→发酵→倒模醒发→蒸煮成品。操作步骤:取适量糙米洗净,低温烘干至水分含量为14%左右,粉碎后过80目或者100目筛。以粉水比1:0.9混匀加入乳酸菌单独发酵,该阶段为乳酸菌前发酵阶段;再加入酵母混合发酵,此为混合发酵阶段。发酵完成后倒入模具中醒发15 min,

大气汽蒸15 min,取出冷却,即得发酵糙米糕。

1.2.2 单因素试验 预试验结果发现糙米浆中乳酸菌的添加对糙米糕风味影响较大,对其质构几乎没有影响。而酵母的添加对糙米糕的质构和风味均有显著影响。因此设计单因素试验,以感官、质构、风味等作为主要评价指标,研究乳酸菌添加量、乳酸菌前发酵时间、乳酸菌前发酵温度、酵母添加量、混合发酵温度、混合发酵时间等工艺参数对发酵糙米糕品质的影响。

1.2.3 正交试验 针对单因素试验结果,选取对发酵糙米糕质构影响最大的几个因素(酵母添加量、混合发酵温度、混合发酵时间),进行正交试验,确定最佳发酵工艺条件。

1.2.4 质构特性测定 将蒸煮好的发酵糙米糕冷却30 min后,切成直径55 mm、高1.5 cm、重35 g的大小,用TA-XT plus进行质构测定。测定参数为:P/25R探头,TPA模式,校正高度25 mm,测前速度3 mm/s,测中速度1 mm/s,测后速度2 mm/s,应变位移40%,引发力5 g,获取速度200 PPS,取6次测定的平均值^[7]。

1.2.5 风味成分分析 SPME提取香气成分:精密量取发糕样品5 g移入20 mL的顶空瓶中,用PTFE/硅橡胶隔垫密封压紧,于60℃磁力搅拌器上加热平衡15 min后,使用CAR/DVB/PDMS 3层复合萃取头顶空吸附40 min(一直保持60℃水浴),然后将萃取头插入GC进样口,解析5 min。平行3次^[8]。

气相色谱条件:色谱柱为HP-5MS 5% Phenyl Methyl Silox(30 m×250 μ m×0.25 μ m);进样口温度为250℃,检测器温度为250℃,载气为氦气,流速0.8 mL/min,不分流;升温程序:50℃保温1 min,以5℃/min升到240℃,保温1 min^[9-10]。

质谱条件:电子轰击(electron impact, EI)离子源,电子能量70 eV,离子源温度280℃,四级杆温度150℃。

1.2.6 pH测定 取10 g发酵米浆样品,加入90 mL去离子水混匀,以5 000 r/min转速离心10 min,用pH计测上清液pH值。

1.2.7 感官评价 选用十人评分法,由10位有经验的实验室人员组成评价小组,对米发糕的香气、滋味、结构、粘性、弹性、软硬度进行感官评分,具体标准见表1。

表 1 米发糕感官评分标准

Table 1 Scoring criteria for sensory quality of brown rice steam sponge cake

项目	评分细则
比容 (10 分)	满分为 2 mL/g, 每少 0.1 扣 1 分
香气 (15 分)	a.有糙米发酵的特殊香味,13.1~15.0 分;b.有发酵香味,气味较淡,10.1~13.0 分;c.无香味和异味,7.1~10.0 分;d.香味不纯正,有酸味或异味,1.0~7.0 分
滋味 (20 分)	a.有发酵米香味,酸甜适中,无糠味,滋味愉悦,17.1~20.0 分;b.有发酵米香味,酸味淡,无糠味,13.1~17.0 分;c.无发酵米香,无糠味,9.1~13.0 分;d.有糠味、苦味或其他不良风味,1.0~9.0 分
组织结构 (20 分)	a.气孔细密均匀,无明显孔洞和坚实部分,15.1~20.0 分;b.气孔大而不均或气孔小且坚实,10.1~15.0 分;c.气孔或大或小,不均匀,1.0~10.0 分
粘性 (15 分)	a.口感清爽,有粘性,不粘牙,12.1~15.0 分;b.有粘性,基本不粘牙,9.1~12.0 分;c.发粘,粘牙糊嘴,粘手或粘附其他与之接触的表面,1.0~9.0 分
弹性 (10 分)	a.按下恢复快,7.1~10.0 分;b.按下恢复性一般,5.1~7.0 分;c.按下恢复性差,1.0~5.0 分
软硬度 (10 分)	a.质地柔软,软硬适中,7.1~10.0 分;b.稍硬或稍软,5.1~7.0 分;c.特别坚硬或软塌,1.0~5.0 分

表 2 乳酸菌粉添加质量分数对发酵糙米糕感官评分的影响($\bar{x} \pm s$)Table 2 Effect of lactic acid volume on the sensory quality of brown rice steam sponge cake($\bar{x} \pm s$)

乳酸菌粉 添加质量分数/%	比容	香气	滋味	结构	粘性	弹性	软硬度	总分
0.3	6.13±0.03	10.50±0.50	13.83±1.04	14.33±1.04	13.00±0.50	6.33±0.29	5.27±0.25	69.39±1.94
0.6	6.07±0.02	10.83±0.76	16.00±1.32	13.33±0.76	12.83±0.29	6.17±0.29	6.50±0.50	71.57±2.27
0.9	5.61±0.02	13.00±0.50	15.67±0.29	14.17±0.76	12.83±1.26	7.50±0.50	8.00±0.50	76.78±1.59
1.2	6.21±0.03	14.00±0.50	16.33±0.58	16.00±0.50	13.33±0.76	7.83±0.29	8.17±0.29	81.87±1.55
1.5	6.12±0.01	10.83±0.76	15.00±1.00	13.67±0.76	10.50±1.50	8.33±0.29	7.75±0.25	72.21±2.43

2.1.2 乳酸菌前发酵时间对发酵糙米糕风味的影响 在米浆中加入质量分数 1.2%的乳酸菌粉后,在 28 ℃条件下单独发酵 0、4、8、16 h 再加入质量分数 2%的酵母混合发酵 2 h 后制成米糕,用 GC-MS 对米糕的风味进行分析,结果如表 3 所示。

GC-MS 检测出总的风味物质种类为 26 种,乳酸菌前发酵时间为 0 h 时,检测到的风味物质为 21 种。主要为醇类、酸类、酯类以及醛酮类。其中醇类是重要的呈香物质,酸类是与醇类反应生成酯类的前驱物,醛酮类物质是结合态香气物质种类最多的一类化合物^[2]。从表 3 中可以看出大部分风味物质的相对含量在发酵 0 h 和 4 h 出现明显的差别。前发酵时间为 4 h 时,风味物质的相对含量出现大幅度增长,1-己醇含量从 0.48% 变成 1.19%,达到最大值,

2.1.8 数据处理方法 实验数据以平均值加标准偏差的形式表示,采用 Origin9.0 软件作图,SPSS19.0 软件进行方差分析。

2 结果与讨论

2.1 单因素试验结果与分析

2.1.1 乳酸菌添加质量分数对发酵糙米糕感官品质的影响 乳酸菌粉以 0.3%、0.6%、0.9%、1.2%、1.5%的比例加入发酵米浆,28 ℃发酵 4 h 后,加入 2%的酵母继续发酵 2 h,制作成发酵糙米糕后进行感官评价。乳酸菌添加质量分数与发酵糙米糕感官品质的关系见表 2,结果表明当乳酸菌粉添加质量分数为 1.2%时,发酵糙米糕的感官评分最高。原因是乳酸菌添加质量分数较少时,发酵作用不显著,产生的小分子糖少,酸味不明显,同时产生的氨基酸、酯类等风味物质少^[11],对风味影响小。而当乳酸菌添加质量分数太大,产生的乳酸过多,酸味重味道不愉悦。当乳酸菌粉添加质量分数为 1.2%时,感官评分最高。

乙偶姻从 0.1% 变成 4.71%;4 h 之后除去少量风味物质相对含量出现下降的情况,比如乙醇在单独发酵 4 h 时达到最大值 30.28%,己醛相对含量达到 0.64%,之后含量逐渐减少,大部分风味物质相对含量虽然也有增长,但是增长幅度大大减小,只有少量风味物质相对含量增长明显,但是从发酵时间考虑时间间隔却长很多,所以,综合考虑乳酸菌单独发酵时间为 4 h。

2.1.3 乳酸菌前发酵温度对发酵糙米浆 pH 的影响 根据以上试验结果,在米浆中加入质量分数 1.2%乳酸菌粉发酵 4 h,发酵温度分别选择 20、24、28、32、36、40 ℃,测定发酵液的酸度,确定乳酸菌最佳发酵温度。从表 4 可以看出 pH 值变化的总体趋势是随发酵温度升高而降低,温度越高乳酸菌生物活性越

大,产生乳酸越多,当发酵温度为 28 ℃时,发酵糙米糕酸甜适中,口感最好。

表 3 乳酸菌发酵不同时间发酵糙米糕风味的 GC-MS 分析
Table 3 Composition of volatile flavor compounds in different brown rice sponge cake by GC-MS

分类 序号	保留 时间 RT/min	化合物	相对含量/%			
			0 h	4 h	8 h	16 h
醇类						
1	2.65	乙醇	17.31	30.28	28.68	24.84
2	10.86	1-己醇	0.48	1.19	0.71	0.66
3	13.30	1-辛烯-3-醇	0.10	0.20	0.16	0.20
4	15.86	1-辛醇	0.07	0.15	0.13	0.13
5	18.23	1-壬醇	0.19	0.37	0.42	0.56
6	23.69	苯乙醇	2.86	4.90	6.35	4.14
酸类						
1	13.50	醋酸	0.47	1.31	1.43	2.42
2	16.26	异丁酸	0.06	0.14	0.20	0.25
3	22.38	己酸	0.17	0.44	0.44	0.63
酯类						
1	2.30	乙酸乙酯	0.10	0.16	0.13	0.14
2	7.94	己酸乙酯	0	0.28	0.40	0
3	10.39	庚酸乙酯	0	0	0	0.14
4	12.89	辛酸乙酯	0.20	0.41	0.59	0.86
酮类						
1	3.16	2,3-丁二酮	0.06	0.14	0.11	0.19
2	10.52	6-甲基-5-庚烯-2-酮	0.04	0.15	0.09	0.14
3	9.25	乙偶姻	0.10	4.71	4.38	4.82
醛类						
1	1.58	乙醛	0.49	0.84	0.78	1.25
2	1.89	异丁醛	0	0.10	0.08	0.08
3	4.69	己醛	0.23	0.64	0.32	0.42
4	6.82	庚醛	0.15	0.25	0.22	0.25
5	11.88	壬醛	0.90	1.62	1.67	2.47
6	12.76	反-2-辛烯醛	0	0.07	0.08	0.11
7	14.45	癸醛	0	0.24	0.14	0.27
8	15.11	苯甲醛	0.06	0.17	0.20	0.97
呋喃						
1	7.89	2-戊基呋喃	0.07	0.18	0.40	0.24

表 4 不同温度发酵糙米浆的 pH 值

Table 4 Effect of fermentation temperature on pH of rice milk

温度/℃	pH
20	6.43±0.03
24	6.29±0.01
28	5.93±0.02
32	6.04±0.11
36	5.55±0.03
40	5.56±0.09

2.1.4 酵母添加质量分数对发酵糙米糕质构的影响 将酵母加入完成乳酸前发酵阶段的米浆中,添加质量分数为 0.5%、1.0%、1.5%、2.0%、2.5%、3.0%。

发酵 2 h 后制作成米糕测定其质构特性。如图 1 所示,随着酵母添加质量分数的增加,发酵糙米糕硬度和粘附性先减小后增大,弹性和凝聚力先增大后减小。当酵母菌数量较少时,无法形成足够的 CO₂ 来支撑米糕的气孔结构,米糕质构紧实。随着酵母量的增加,米糕内部气孔逐渐增大,质构变疏松。当酵母量过大则会使米糕内部气孔大而数量少,质构变差^[13]。

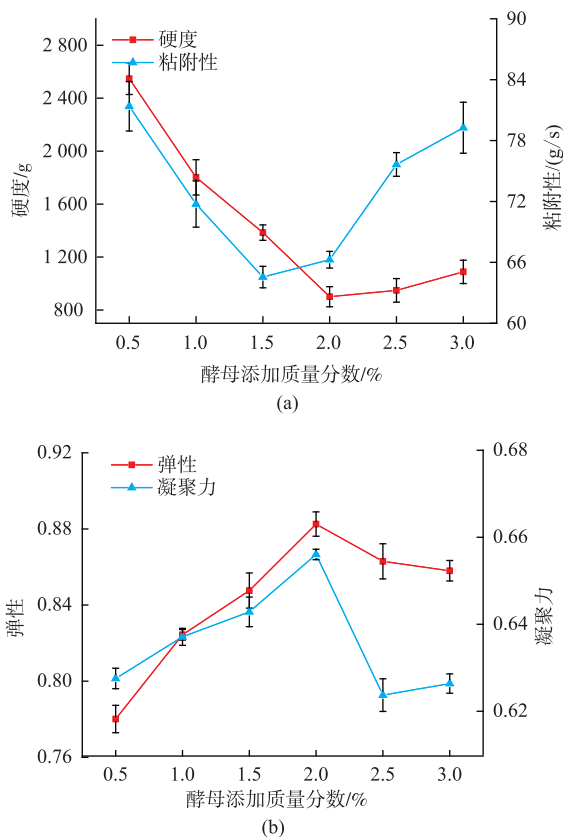


图 1 酵母添加量对发酵糙米糕质构特性的影响

Fig. 1 Effect of yeast addition on the textural properties of brown rice steam sponge cake

2.1.5 混合发酵温度对发酵糙米糕质构的影响 混合发酵阶段固定酵母添加质量分数为 2%, 分别在 20、24、28、32、36、40 ℃混合发酵 2 h, 制作成米糕后测定其质构特性。实验数据经分析后结果如图 2 所示,随着发酵温度的升高,发酵糙米糕的硬度和粘附性的总体趋势表现为先下降后上升,弹性和凝聚力的趋势正好相反为先上升后下降。一般情况下,粘度值较大的米糕表现为粘牙甚至糊嘴,弹性值的高低决定了米糕是否爽口,凝聚力较大的米糕相对有嚼劲而凝聚力小的米糕软烂口感不好。发酵

温度过低,微生物生长缓慢;发酵温度过高,破坏微生物本身结构而失去活性^[14]。温度过高或过低都不利于酵母生长,使得 CO₂ 量不足,米糕硬度增大、弹性减小难咀嚼。发酵温度为 32 ℃时,有利于酵母生长,硬度和粘附性达到各自的最小值,弹性和凝聚力达到各自的最大值。

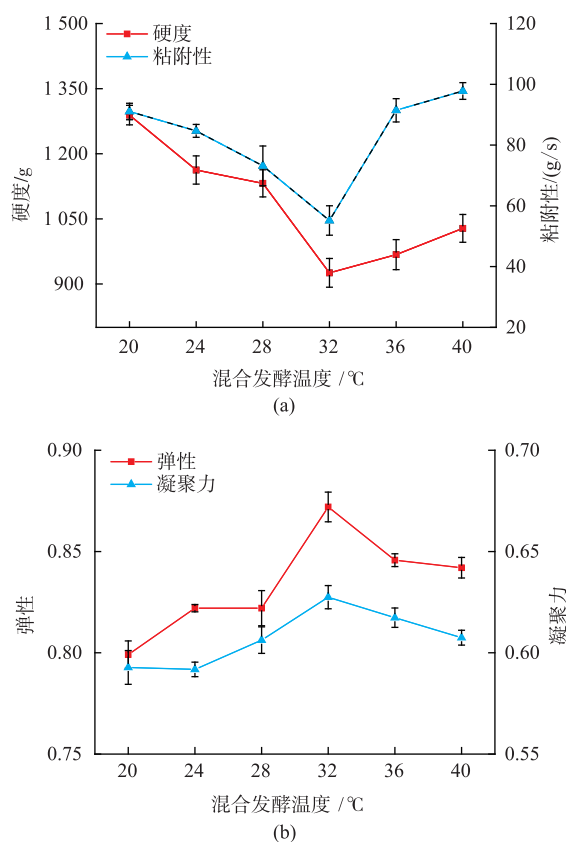


图 2 混合发酵温度对发酵糙米糕质构特性的影响

Fig. 2 Effect of fermentation temperature on the textural properties of brown rice steam sponge cake

2.1.6 混合发酵时间对发酵糙米糕质构的影响

固定其他发酵条件同上,混合发酵时间分别为1、1.5、2、2.5、3、4 h。从图 3 可以看出随着发酵时间的延长,米糕硬度逐渐减小,粘度值先减小后增大,弹性和凝聚力总体变化趋势为先增大后减小,在发酵 2.5 h 时出现最大值。主要原因可能是发酵时间短酵母产气不足,随着发酵时间延长酵母和乳酸菌对淀粉、蛋白质、脂肪的利用程度加大,小分子物质含量增加^[15],米糕的凝胶性变强^[16],内聚力增大,硬度和粘附性减小。随发酵时间继续延长,米糕的气孔结构更加疏松,持气性变差,弹性和凝聚力下降,粘附

性增大。

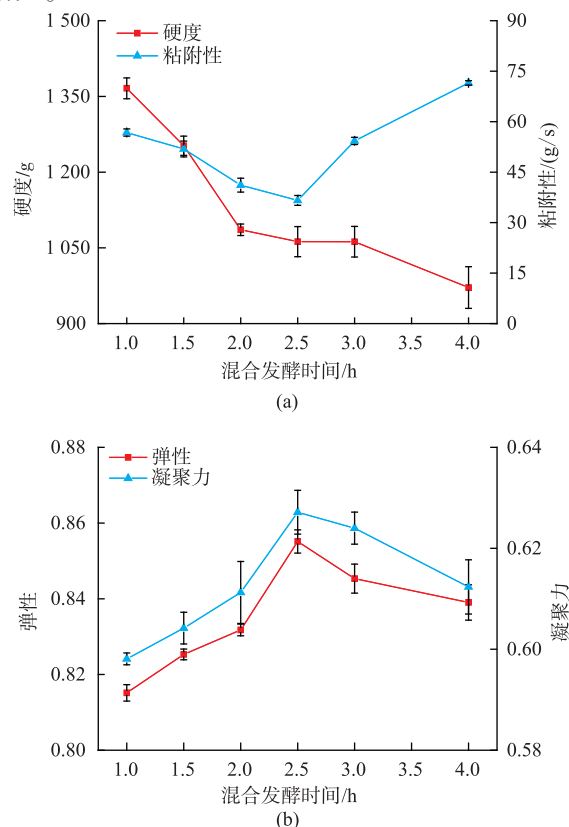


图 3 混合发酵时间对发酵糙米糕质构特性的影响

Fig. 3 Effect of fermentation time on the textural properties of brown rice steam sponge cake

2.2 正交试验结果与分析

根据单因素试验结果,以混合发酵温度、混合发酵时间、酵母添加量为因素,硬度、粘附性和弹性为指标设计正交试验。表 5 为正交试验因素和水平,表 6 为正交试验结果。

表 5 正交试验因素水平表

Table 5 Factors and levels of orthogonal experiment

水平	A	B	C
1	28	2	1.5
2	32	2.5	2
3	36	3	2.5

对表 6 进行单变量线性模型分析,表 7 结果显示酵母添加质量分数对硬度影响极显著,混合发酵温度和混合发酵时间对硬度影响不显著。各因素影响的大小顺序为酵母添加质量分数>混合发酵温度>混合发酵时间。根据图 4 可以看出硬度最小值的组合是 32 ℃发酵 3 h,酵母添加质量分数为 2.5%。

表 6 正交试验结果
Table 6 Results of orthogonal test

实验号	A	B	C	指标		
				硬度/g	粘附性/(g/s)	弹性
1	1	1	1	1 570.88±33.30	66.63±11.73	0.79±0.01
2	1	2	2	1 091.03±34.02	45.93±9.23	0.82±0.01
3	1	3	3	817.04±20.35	27.24±0.60	0.82±0.02
4	2	1	2	861.95±37.64	64.32±7.06	0.86±0.02
5	2	2	3	1 244.83±14.12	39.65±8.43	0.80±0.02
6	2	3	1	1 146.58±37.10	32.46±1.03	0.82±0.01
7	3	1	3	939.68±20.18	57.84±8.95	0.83±0.01
8	3	2	1	1 054.43±39.98	19.37±1.22	0.82±0.01
9	3	3	2	1 312.35±11.77	30.07±7.44	0.81±0.01

表 7 硬度主体间效应的检验
Table 7 Test of inter subjective effect of hardness

源	Ⅲ型平方和	df	均方	F	P	显著性
硬度模型	1 050 095.513 ^a	6	175 015.919	10.908	<0.001	**
截距	33 598 618.21	1	33 598 618.211	2 094.092	<0.001	**
混合发酵温度	27 647.91	2	13 823.955	0.862	0.438	
混合发酵时间	7 435.73	2	3 717.866	0.232	0.795	
酵母添加质量分数	1 015 011.87	2	507 505.935	31.631	<0.001	**
误差	320 889.54	20	16 044.477			
总计	34 969 603.27	27				
校正的总计	1 370 985.056	26				

注:a. $R^2=0.766$ (调整 $R^2=0.696$), $P<0.05$ 差异显著*; $P<0.01$ 差异极显著**; $P>0.05$ 差异不显著

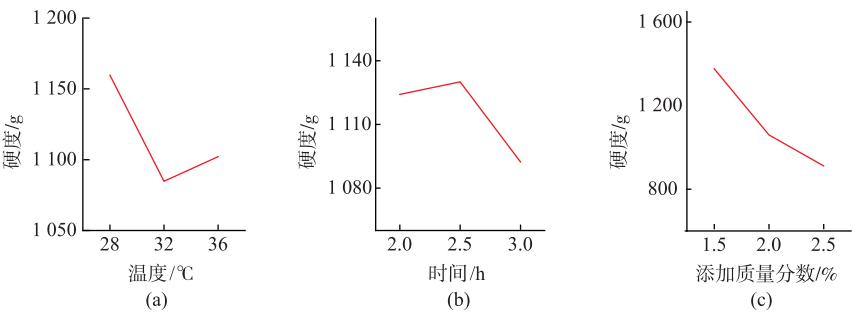


图 4 硬度估算边际均值
Fig. 4 Marginal mean value of hardness

表 8 表明混合发酵温度和酵母添加量对粘附性影响显著,混合发酵时间对粘附性影响极显著。从图 5 可以看出,其中对粘附性的影响大小顺序为混合发酵时间>混合发酵温度>酵母添加质量分数。根据粘附性的估算边际均值可知,酵母添加质量分数为 2.5%,在 36℃下发酵 3 h 制作的米糕粘附性

最小。

表 9 所示为弹性主体间效应的检验,可以看出酵母添加质量分数对弹性影响极显著,混合发酵温度和混合发酵时间对弹性影响不显著。各因素对弹性影响大小顺序为酵母添加质量分数>混合发酵时间>混合发酵温度,图 6 显示弹性最大值的发酵条

表 8 粘附性主体间效应的检验

Table 8 Test of inter subjective effect of adhesiveness

源	Ⅲ型平方和	df	均方	F	P	显著性
粘附性模型	67 56.496 ^a	6	1 126.083	18.495	<0.001	**
截距	49 029.069	1	49 029.069	805.257	<0.001	**
混合发酵温度	639.729	2	319.865	5.253	0.015	*
混合发酵时间	5 687.958	2	2 843.979	46.710	<0.001	**
酵母添加质量分数	428.809	2	214.405	3.521	0.049	*
误差	1 217.725	20	60.886			
总计	57 003.290	27				
校正的总计	7 974.221	26				

注：a. $R^2=0.847$ (调整 $R^2=0.801$), $P<0.05$ 差异显著 *; $P<0.01$ 差异极显著 **; $P>0.05$ 差异不显著

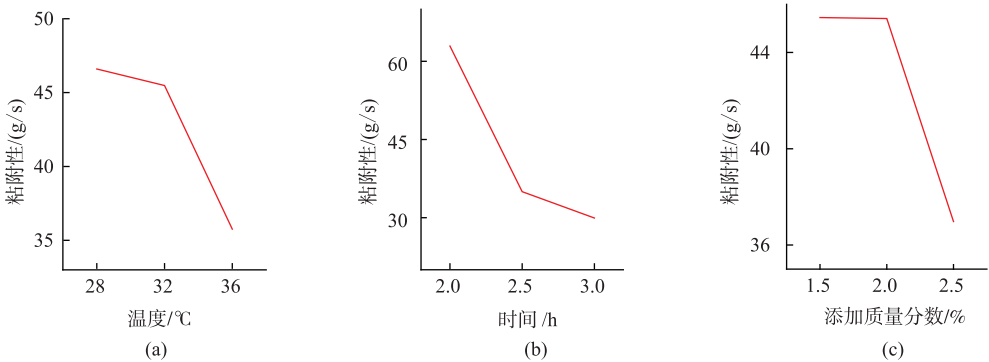


图 5 粘附性估算边际均值

Fig. 5 Marginal mean value of adhesiveness

表 9 弹性主体间效应的检验

Table 9 Test of inter subjective effect of springiness

源	Ⅲ型平方和	df	均方	F	P	显著性
弹性模型	0.009 ^a	6	0.002	6.685	0.001	**
截距	18.065	1	18.065	78 411.237	<0.001	**
混合发酵温度	0.001	2	0.001	2.959	0.075	
混合发酵时间	0.001	2	0.001	3.180	0.063	
酵母添加质量分数	0.006	2	0.003	13.916	<0.001	**
误差	0.005	20	0.000			
总计	18.079	27				
校正的总计	0.014	26				

注：a. $R^2=0.667$ (调整 $R^2=0.567$), $P<0.05$ 差异显著 *; $P<0.01$ 差异极显著 **; $P>0.05$ 差异不显著

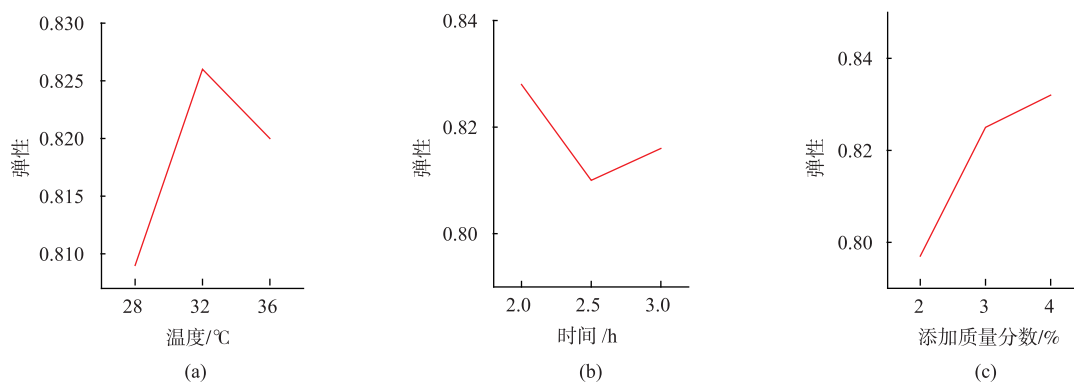


图6 弹性估算边际均值

Fig. 6 Marginal mean value of springness

件为酵母添加量 2.5%,在 32 ℃混合发酵 2 h。

2.3 感官评价结果与分析

根据以上试验结果选出 3 组最佳组合,分别为 $A_2B_3C_3$ 、 $A_3B_3C_3$ 、 $A_2B_1C_3$, 对这 3 组发酵条件下制作的发酵糙米糕进行感官分析,结果如表 10 所示,第 2

组比容稍大于其他 2 组,但是第 3 组的香气、滋味和组织结构以及弹性的评分明显高于 1、2 组,综合评分在 3 组里最高。所以确定 $A_2B_1C_3$ 为最佳试验组合,即酵母添加质量分数为 2.5%,发酵温度为 32 ℃发酵 2 h。

表 10 3 组发酵糙米糕感官评分对比

Table 10 Three groups of fermented brown rice cakes sensory score comparison

序号	比容	香气	滋味	组织结构	粘性	弹性	软硬度	总分
1	7.17	11.0	14.50	13.17	11.83	9.67	8.83	76.17
2	8.33	10.33	14.67	15.33	13.67	10.17	8.83	81.33
3	7.23	13.33	17.17	16.83	12.83	12.17	8.33	87.90

3 结 语

本试验用乳酸菌和酵母发酵糙米浆,制作发酵糙米糕。以主要风味成分、质构特性和感官品质为评价指标,设计单因素试验选择发酵基本条件并通过正交试验优化发酵过程,最终确定最佳发酵工艺

条件如下:米浆中加入质量分数 1.2%的乳酸菌在 28 ℃发酵 4 h 完成乳酸菌前发酵过程,后发酵过程酵母添加质量分数为 2.5%,发酵温度为 32 ℃,发酵时间为 2 h。此条件下制作的发酵糙米糕各项指标评分最高。

参考文献:

- [1] OHTSUBO K I, SUZUKI K, YASUI Y, et al. Bio-functional components in the processed pre-germinated brown rice by a twin-screw extruder[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2005, 18(4): 303-316.
- [2] ZHANG X, WANG L, CHENG M, et al. Influence of ultrasonic enzyme treatment on the cooking and eating quality of brown rice [J]. *Journal of Cereal Science*, 2015, 63: 140-146.
- [3] ZHANG G, MALIK V S, PAN A, et al. Substituting brown rice for white rice to lower diabetes risk: a focus-group study in Chinese adults[J]. *Journal of the American Dietetic Association*, 2010, 110(8): 1216-1221.
- [4] WANG Z, ICHIKAWA S, KOZU H, et al. Direct observation and evaluation of cooked white and brown rice digestion by gastric digestion simulator provided with peristaltic function[J]. *Food Research International*, 2015, 71: 16-22.
- [5] ZHOU Xianqing, LI Yajun, ZHANG Yurong. Study progress for effect of fermentation on the quality of rice flour and its products

- [J]. **Cereal & Feed Industry**, 2010(3): 14-17. (in Chinese)
- [6] ZHANG Liping, LI Zhijiang, CAO Longkui, et al. Study on the techniques of rice bran leaven and quality analysis[J]. **Academic Periodical of Farm Products Processing**, 2005(Z2): 154-157. (in Chinese)
- [7] RASHIDI A, HADINEZHAD M, RAJABZADEH N, et al. Frozen baguette bread dough II. Textural and sensory characteristics of baked product[J]. **Journal of Cereal Science**, 2016, 70: 9-15.
- [8] XIONG Qing, FAN Lu, BAO Fangfang, et al. Flavor formation and characteristics of fermented rice cake [J]. **Food Science**, 2011 (24): 232-236. (in Chinese)
- [9] HU Ting, WANG Yufang, WEN Ya, et al. Influence of strengthening fermentation and traditional fermentation on rice cake flavor [J]. **Journal of the Chinese Cereals and Oils Association**, 2013(9): 1-5. (in Chinese)
- [10] AI Dui, ZHANG Fuxin, YU Lingling, et al. Optimization of head space solid phase micro-extraction conditions for volatile components in goat milk[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2015(1): 40-46. (in Chinese)
- [11] YUAN Hui, BAI Yunfeng, WU Yuanfeng, et al. A study on fermented acid rice milk prepared with germination brown rice[J]. **Journal of the Chinese Cereals and Oils Association**, 2009(7): 14-17. (in Chinese)
- [12] ZHU Weian, WU Qun, LI Jiming, et al. Isolation and analysis of bound aroma compounds in different raw brewing materials[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2015(5): 456-462. (in Chinese)
- [13] GUO Lei, LIU Xiaocui, SHEN Shuo, et al. A study on production process of fermented rice cake[J]. **Cereal & Feed Industry**, 2010(7): 26-28. (in Chinese)
- [14] 杨韵. 发酵米糕加工工艺及贮藏期间品质变化研究[D]. 湖南: 湖南农业大学, 2014.
- [15] SONGSERMPONG P K A S. Optimization of fermentation process on the GABA content and quality of fermented rice flour and dry fermented rice noodles[J]. **Journal of Food Processing and Preservation**, 2015, 39: 1183-1191.
- [16] 李亚军. 发酵大米粉及其淀粉特性研究[D]. 河南: 河南工业大学, 2010.

会 议 消 息

会议名称: 第十届全国环境化学大会”通知(第一轮)

会议时间: 2019年8月15~19日, 天津

主办单位: 中国化学会环境化学专业委员会、中国环境科学学会环境化学分会

承办单位: 南开大学

会议主题: 聚力污染防治攻坚战, 引领环境科学新时代

会议主要议题: 样品前处理与环境分析化学、环境监测技术与设备、生物气溶胶、环境微生物生态等

论文提交: 大会拟选一些论文在《环境化学》期刊上以专辑形式优先发表。希望在《环境化学》上发表的论文作者, 需同时向期刊编辑部提交论文全文。向期刊投稿时请在备注中注明“第十届全国环境化学大会论文”, 以便我们区分。(《环境化学》网址: <http://hjhx.rcees.ac.cn>)

会议网站及微网站: <http://www.ncec2019.com>

会议专用邮箱: pco@ncec2019.com

联系人:

康慧敏 E-mail: kanghuimin@nankai.edu.cn

刘晓玲 E-mail: liuxiaoling513@nankai.edu.cn

汪磊 E-mail: wang2007@nankai.edu.cn

通讯地址: 天津市南开大学津南校区环境科学与工程学院

邮编: 300350

电话: 022-23501117 (康慧敏)