

复合菌发酵苦荞麸皮馒头的工艺优化

何 瑞¹ 廖钰婷² 王雪婷¹ 李玉珠¹ Zsolt Zalan³ 杜木英^{1,2,*}

(1.西南大学食品科学学院,重庆 400715;

2.重庆啤酒股份有限公司,重庆 400080;

3.匈牙利国家农业研究与创新中心,布达佩斯 H-1022)

摘要: 选取从酸面团筛选的酵母 YCY5-2 ZKY7-1 及乳酸菌 YCL7-3 ZKL10-4 进行组合发酵苦荞麸皮馒头,以馒头黄酮含量和感官评定分数作为指标,筛选出发酵苦荞麸皮馒头的最适菌种组合。实验采用响应面法对菌株比例,菌株接种量,发酵时间和醒发时间进行了优化。结果表明:最佳组合菌种为 YCY5-2 和 ZKL10-4,苦荞麸皮添加量为 20%,最佳工艺条件为 YCY5-2:ZKL10-4=2:1,菌种添加量为 3%,发酵时间为 5 h、醒发时间 40 min。此条件下苦荞麸皮馒头黄酮含量为(211.33±1.34) mg Rutin/100 g,感官评分为(82.2±2.30)。与安琪酵母发酵的苦荞麸皮馒头的黄酮含量((189.70±3.66) mg Rutin/100 g)感官评价(77.1±1.4)及质构相比可知,复合菌馒头的功能和品质均比安琪酵母的好。结论:复合菌发酵的苦荞麸皮馒头具有开发利用的价值。

关键词: 乳酸菌 酵母菌 苦荞麸皮 馒头 黄酮含量 优化

Optimization of complex bacteria fermentation process for buckwheat bran steamed

HE Rui¹ LIAO Yu-ting² WANG Xue-ting¹ LI Yu-zhu¹ Zsolt Zalan³ DU Mu-ying^{1,2,*}

(1.College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2.Chongqing Brewery Corporation, Chongqing 400080, China;

3.National Agricultural Research and Innovation Center, Budapest H-1022, Hungary)

Abstract: YCY5-2 ZKL7-1 and lactic acid bacteria YCL7-3 ZKL10-4 screening from the yeasts was combined to ferment the buckwheat bran steamed bread. Using flavonoid content and sensory evaluation as the main index, and select the optimum combination strain. Then, the parameters such as bacteria ratio, strain inoculation, fermentation time and proofing time were optimized by response surface methodology. The results showed the best combination strain was YCY5-2 and ZKL10-4, buckwheat bran addition was 20%, the optimum proportion was YCY5-2:ZKL10-4=2:1, the complex bacteria inoculum size was 3%, fermentation time was 5 h, proofing time was 40 min. Under the condition, the flavonoid content in buckwheat bran bread was (211.33±1.34) mg Rutin/100 g, the sensory evaluation was 82.2±2.30. Compared with the flavonoid content ((189.70±3.66) mg Rutin/100 g), the sensory evaluation (77.1±1.4) and textural of Angel Yeast, the combination strain quality was better in general. The buckwheat bran steamed has the potential for further development.

Key words: lactic acid bacteria; yeast; buckwheat bran; steamed bread; flavonoids; optimization

中图分类号: TS213.2

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2017)05-0238-08

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2017.05.037

用传统酸面团发酵的馒头由于独特的口感和风味受到人们的青睐,但是用传统酸面团作为发酵剂实现工业化生产面临着—系列难题,如菌种不稳定,容易污染^[1]。现在市场上大多数利用干酵母生产馒头,但其口感和风味较差,不能满足消费者的要求。目前利用从传统酸面团中筛选出的优势酵母菌和乳酸菌复合发酵馒头成为国内研究的热点^[2-5],乳酸菌和酵母是在酸面团发酵过程中对面团营养价值和风

味提高起主导作用的微生物,他们能分解面团里蛋白质、糖类物质产生肽类、氨基酸、多聚糖、苯乳酸等化合物^[6-7]。此外乳酸菌在发酵过程中还可以改善面团的发酵性能,增加面团的产气和持气性能^[8],具有改善面团质构^[9]和延缓货架期^[10]等的重要作用。为此,研究利用复合菌发酵馒头显得尤为重要。

苦荞麸皮是一种成本低,营养价值高的膳食纤维食品,含有维生素 B₆、天然氨基酸、不饱和脂肪酸、

收稿日期: 2016-08-04

作者简介: 何瑞(1990-),女,硕士研究生,研究方向:食品微生物与发酵工程, E-mail: 18780660951@163.com。

* 通讯作者: 杜木英(1972-),女,博士,副教授,研究方向:食品微生物与发酵工程, E-mail: muyingdu@swu.edu.cn。

基金项目: 重庆市特色食品工程技术研究中心能力提升项目(cstc2014pt-ge8001);中国与匈牙利政府间科技合作项目(国科外字[2013]83号,项目编号(No: 6-30)。

矿物质以及生物类黄酮,苦荞麸皮总黄酮含量约为6%~7%^[11-12]。这些黄酮具有抗自由基活性、调节血糖和血脂代谢紊乱等药理作用。本文将苦荞麸皮作为辅料添加到主食馒头当中,利用从酸面团筛选出来的酿酒酵母 YCY5-2、毕赤酵母 ZKY7-1、植物乳杆菌 YCL7-3 和面包乳杆菌 ZKL10-4 组合发酵苦荞麸皮馒头,筛选出最优发酵组合,并通过响应面法优化荞麸皮馒头发酵的主要工艺条件,旨在增加馒头黄酮含量和营养价值,为市场开发一种适合高血脂、高血糖、高血压等人群食用的新型馒头提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

酿酒酵母 (*Saccharomyces cerevisiae*, GenBank 登录号: KX197410) YCY5-2, 毕赤酵母 (*Pichia kudriavzevii* strain, GenBank 登录号: KX197411) ZKY7-1, 植物乳杆菌 (*Lactobacillus plantarum*, GenBank 登录号: KX197412) YCL7-3 和面包乳杆菌 (*Lactobacillus crustorum*, GenBank 登录号: KX197413) ZKL10-4 从酸面团中筛选鉴定得来; 小麦粉 市售五得利面粉集团有限公司; 苦荞麸皮 四川省西昌市大凉山。

甲醇、亚硫酸钠、三氯化铝、氢氧化钠、琼脂、葡萄糖、MRS 培养基 成都科龙化工试剂厂; 蛋白胨、牛肉膏、酵母膏 北京奥博星生物技术有限公司。

Q10809ROS 型恒温发酵箱 龙涌一达电器厂; R-215 型旋转蒸发仪 瑞士布奇公司; UV-2450S (E) 紫外分光光度计 日本岛津公司; SB25-12 DTD 型超声波清洗仪 宁波新芝生物科技股份有限公司; PB-10 型精密 pH 计 德国 Sartorius 公司; HPX-9052MBE 电热恒温培养箱 上海博讯实业有限公司医疗设备厂。

1.2 实验方法

1.2.1 苦荞麸皮馒头制作 通过预实验以及对何学勇^[13]的方法稍做修改可以得到苦荞麸皮馒头的发酵工艺:称取小麦粉 160 g 和苦荞麸皮粉 40 g,加入 110 g 温度为 30 ℃ 水,再加入复合菌种,然后将混合粉搓揉成面团,至表面光滑无生粉,然后分别放置于 2 L 烧杯中,盖上保鲜膜,置于温度 (38 ± 1) ℃,湿度 85% 的恒温发酵箱中发酵,发酵完后取出加入 40 g 小麦粉和 10 g 苦荞麸皮粉后搓揉成型,再放于温度 (38 ± 1) ℃,湿度 85% 的恒温发酵箱中醒发,醒发完后放置于蒸锅中,蒸 30 min 后取出,室温冷却 10 min。

1.2.2 苦荞麸皮馒头总黄酮含量的测定 苦荞麸皮馒头甲醇提取液的制备,按照许芳溢^[14]的方法进行制备。总黄酮含量的测定采用 NaNO₂-Al(NO₃)₃ 方法测定^[15]。以芦丁含量 (μg/mL) 为标品,样品总黄酮含量用 100 g 干基所含芦丁的当量毫克数表示 (mg Rutin/100 g),所得回归方程为: $y = 0.0118x - 0.017$ ($R^2 = 0.9996$)。

1.2.3 复合菌发酵苦荞麸皮馒头工艺的优化

1.2.3.1 4 株纯种菌株的最优组合 制作面团发酵剂所需要纯种酵母菌和乳酸菌各一株,优势菌种组合共有四种情况:组合 (1) YCY5-2 + YCL7-3; 组合 (2)

YCY5-2 + ZKL10-4; 组合 (3) ZKY7-1 + YCL7-3; 组合 (4) ZKY7-1 + ZKL10-4。按照组合 (1)、(2)、(3)、(4) 组合,以 2:1 的比例 3% (v/v),酵母菌数量级浓度 10⁷ cfu/mL; 乳酸菌 10⁸ cfu/mL 的接种量,20% 的苦荞麸皮添加量,进行馒头发酵, (38 ± 1) ℃,湿度 85% 发酵 5 h,然后搓揉成型,上锅蒸制 40 min,冷却 5 min 后,进行感官评价,并测定总黄酮含量,筛选出最优的菌株组合。

1.2.3.2 苦荞麸皮馒头麸皮添加量的确定 按照上述发酵工艺,用筛选出的组合菌种发酵添加 5%、10%、15%、20%、25% 的苦荞麸皮粉馒头,进行感官评价和黄酮含量测定。

1.2.3.3 复合菌发酵苦荞麸皮馒头单因素实验 按照上述发酵工艺,固定接种量 3%,发酵时间 5 h,醒发时间 40 min,考察用筛选出的组合菌株不同配比 (1:1、2:1、3:2、1:2、2:3) 对苦荞麸皮馒头感官和黄酮含量的影响; 固定复合菌种配比 2:1,发酵时间 5 h,醒发时间 40 min,考察组合菌种添加量 (1.5%、2%、2.5%、3%、3.5%) 对苦荞麸皮馒头感官和黄酮含量的影响; 固定组合菌株接种量 3%,配比 2:1,醒发时间 40 min,考察发酵时间 (3、4、5、6、7 h) 对苦荞麸皮馒头感官和黄酮含量的影响; 固定组合菌株接种量 3%,配比 2:1,发酵时间 5 h,考察醒发时间 (20、30、40、50、60 min) 对苦荞麸皮馒头感官和黄酮含量的影响。

1.2.4 Box-Behnken 的中心组合实验设计 在单因素实验基础上,确定中心组合实验因素与水平,以苦荞麸皮馒头的总黄酮含量和感官评分为响应值,实验及水平编码如表所示。

表 1 响应面设计实验因素水平和编码
Table 1 Independent variables and their levels used in the response surface design

因素	编码水平		
	-1	0	1
X ₁ 菌种比例	1.5:1	2:1	2.5:1
X ₂ 菌种添加量 (%)	2.5	3	3.5
X ₃ 发酵时间 (h)	4	5	6
X ₄ 醒发时间 (min)	30	40	50

注: X₁ 表示酵母菌: 乳酸菌。

1.2.5 苦荞麸皮馒头的感官评定 经实验前培训筛选 10 人,其中女生 6 位,男生 4 位,组成评分小组。在饭后 2 h,按表所示感官评分的标准对苦荞麸皮馒头进行评价。按照许芳溢等人^[14]的评价方法,稍做修改。

1.3 数据分析与处理

利用 Excel2010 和 SPSS 17.0 软件对单因素数据进行分析; 响应面优化采用 Design Expert8.05 软件进行多元回归拟合及工艺参数优化; 每个实验平行测定 3 次。

2 结果与分析

2.1 发酵剂菌种组合筛选结果

从图 1 和图 2 可以看出,组合 (1) YCY5-2 + YCL7-3 的总黄酮含量较低,且在感官评分总体上低

表2 苦荞麸皮馒头感官评分表
Table 2 Criteria for sensory evaluation of buckwheat bran steamed bread

项目	总分 (分)	评价标准 (分)
15	15	挺立、饱满、表面光滑(10~15); 轻微塌陷、表面微皱; 有轻微收缩现象(5~10); 萎缩、扁平、表面有硬块(0~5);
		纵剖面气孔细密而均匀, 呈海绵状(10~15); 纵剖面气孔大小不均, 有少量馒头碎渣(5~10); 纵剖面气孔大小不均,出现大的空穴、 质地粗糙(0~5);
15	15	呈深绿色,颜色分布均匀(7~15); 呈灰绿色,色泽有轻度变化(4~7); 发灰、发暗(0~4);
		咀嚼适口,较柔软,易下咽(7~10); 软硬适中(4~7); 咀嚼干硬,下咽困难(0~4)。
10	10	回弹快,压1/2以上能复原(7~10); 回弹稍差,压1/4以上能复原(4~7); 回弹弱或者不回弹(0~4);
		食时爽口不黏牙、爽口(7~10); 食时稍黏或稍爽口(4~7); 食时黏牙或不爽口(0~4);
15	15	有苦荞特有的香味(8~15); 苦荞香气不浓或基本无异味(4~8); 有不可接受的异味(0~4);
		口味淡香,有发酵香味, 苦味适中(7~10); 稍带香味,苦味较浓(4~7); 无香味且苦味不可接受(0~4);

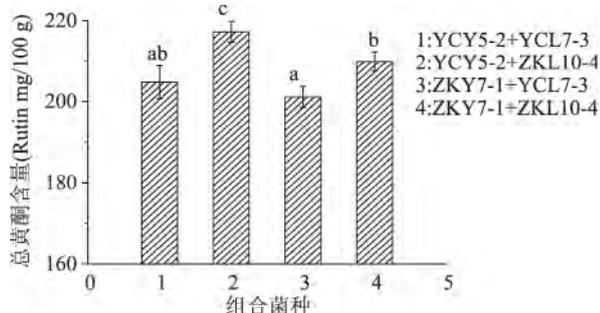


图1 组合菌种发酵苦荞麸皮馒头总黄酮含量
Fig.1 Total flavonoid content in combination strains fermentation on buckwheat bran steamed bread
注: 不同字母表示具有显著性差异 ($p < 0.05$)。
图3、图5、图7、图9、图11、图15同。

于其余组合,同样组合(3) ZKY7-1 + YCL7-3 的总黄酮含量也较低,但在内部结构和色泽上评分较好,组合(4) ZKL7-1 + ZKL10-4 的总黄酮含量比较高,苦味适中,但是苦荞香味不够,而组合(2) YCY5-2 +

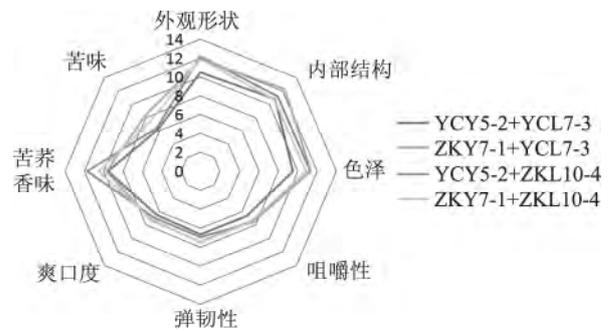


图2 组合菌种发酵苦荞麸皮馒头感官评分
Fig.2 Sensory evaluation of combination strains fermentation on buckwheat bran steamed bread

ZKL10-4 发酵的苦荞麸皮馒头的总黄酮含量较高,苦味较重,但是苦荞香味较明显,色泽、外观形状以及咀嚼度都较好。因此,选择组合(2)作为发酵苦荞麸皮馒头的优良组合发酵剂。

2.2 苦荞麸皮粉添加量的确定

将麸皮作为配料在食品中应用会对产品的品质产生一定的影响,如大量麸皮的添加会使面团比容、质构等特性变差^[16-17],而且苦荞麸皮馒头中的总黄酮含量和感官评分与苦荞麸皮的添加量有关,因此需要通过实验确定苦荞麸皮的添加量。从图3可以看出,随着苦荞麸皮添加量的增加,苦荞麸皮馒头中总黄酮的含量是随之增高的。而从图4得到,随着苦荞麸皮添加量的增加,馒头苦味增浓,弹性降低,内部结构评分降低。综合总黄酮含量和感官评分,选择苦荞麸皮添加量20%。

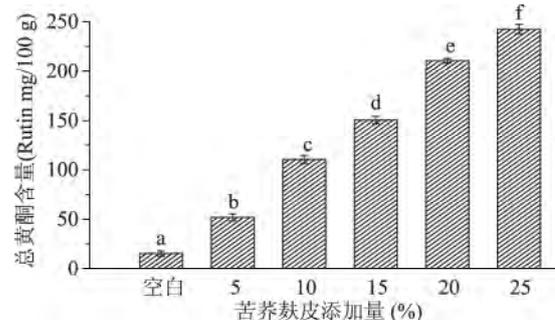


图3 不同苦荞麸皮添加量的总黄酮含量
Fig.3 Total flavonoid content in different bran amount on buckwheat bran steamed bread

2.3 单因素实验

2.3.1 组合2不同菌种对比对苦荞麸皮馒头感官和总黄酮含量的影响 通过图5可以看出,不同的菌种比例对苦荞麸皮馒头总黄酮含量有明显的差异。随着乳酸菌添加量的增加,总黄酮含量有所降低,感官评分也逐渐降低,主要表现在弹性、内部结构和外观形状上。原因是乳酸菌能利用葡萄糖等产生乳酸、乙酸等有机酸,对面团中的酵母菌有抑制作用,使面团发酵不完全,以至于感官评分偏低。综合上图,可以选菌种比例2:1,此时总黄酮含量为(214.67 ± 3.38) mg Rutin/100 g,均明显高于其余菌种配比。

2.3.2 复合菌种添加量对苦荞麸皮馒头感官和总黄酮含量的影响 通过图7和图8可以看出,不同的菌种

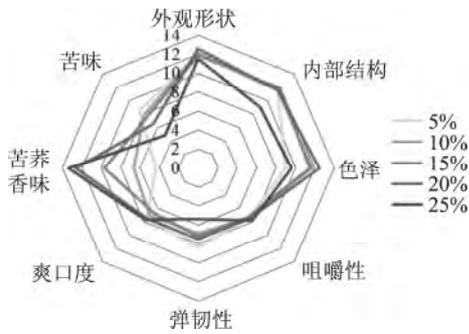


图4 不同苦荞麸皮添加量馒头的感官评分
Fig.4 Sensory evaluation of different bran amount on buckwheat bran steamed bread

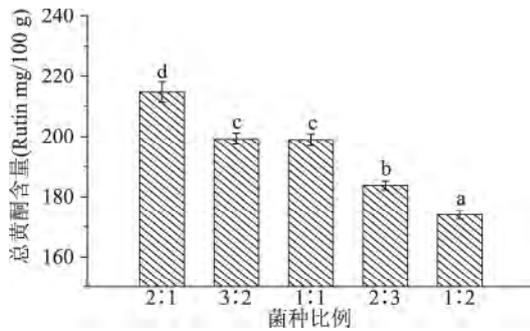


图5 不同菌种比例对总黄酮含量的影响
Fig.5 Effect of different rates on total flavonoid content in buckwheat bran steamed bread
注: 菌种比例表示 YCY5-2:ZKL10-4 图6 同。

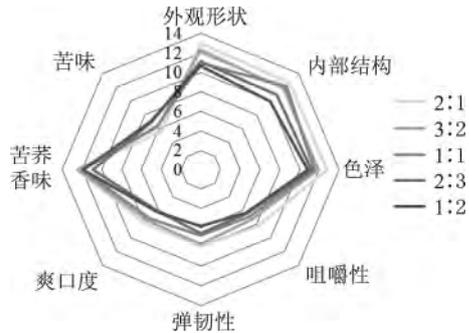


图6 不同菌种比例的感官评分的影响
Fig.6 Effect of different rates on sensory evaluation in buckwheat bran steamed bread

添加量对总黄酮含量和感官评分有一定的影响。其中随着菌种添加量的增加,总黄酮含量是先增加后下降的趋势,在添加量为2.5%的时候达到最大值(211.64 ± 3.58 mg Rutin/100 g);同样随着菌种添加量的增加,总体的感官评分也是先增加后下降的,添加量为3%时感官评分最高(81.9 ± 1.4),随着菌种添加量的增加,适量的酵母菌能很好的起到发酵面团的作用,使其内部结构和外观形状的评分都有所增加,但菌种添加过量,会使面团内部孔洞变大,外表容易塌陷,过多的乳酸菌和酵母菌的相互作用会对面团的质构和营养成分产生不良的影响。在添加量为2.5%时,虽然黄酮含量最高,但感官评分(80.2 ± 1.8)没有3%时高。因此综合考虑,选择菌种添加量为3%。

2.3.3 发酵时间对苦荞麸皮馒头感官和黄酮含量的

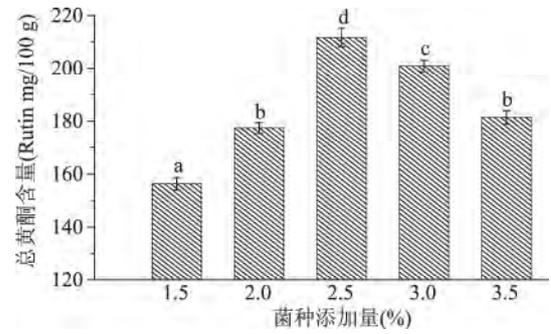


图7 不同菌种添加量总黄酮含量的含量
Fig.7 Effect of different strain additions on total flavonoid content in buckwheat bran steamed bread

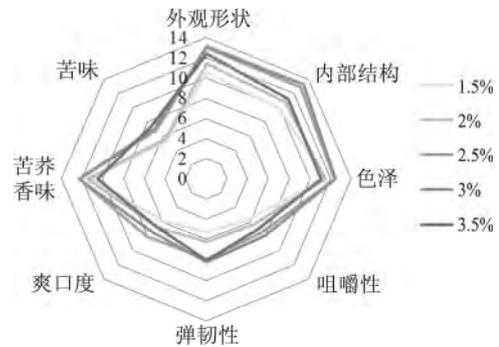


图8 不同菌种添加量对感官评分的影响
Fig.8 Effect of different strain additions on sensory evaluation in buckwheat bran steamed bread

影响。从图9和图10可以看出,不同发酵时间对苦荞麸皮馒头总黄酮含量和感官评分有很大的差异。随着发酵时间的延长,总黄酮含量是先上升后下降的趋势,在发酵时间为5h时达到最高值(212.36 ± 2.18) mg Rutin/100 g;同时感官评分也有着同样的趋势,可以明显看出,发酵时间为3h时,总黄酮含量最低(172.73 ± 3.17 mg Rutin/100 g),同时感官评分也是最低的,这是由于组合菌种是菌体,需要一段时间的适应才能快速繁殖,发酵时间不够,其中的微生物数量不够,其发酵性能也为得到完全发挥,面团容易成为死面,因此整体得分上最低;但发酵时间过长,会使面团中的乳酸菌过量生长,产生大量有机酸,对苦荞麸皮馒头的风味产生一定影响,同时对麸皮中的营养物质造成破坏。综上,可以选择发酵时间为5h。

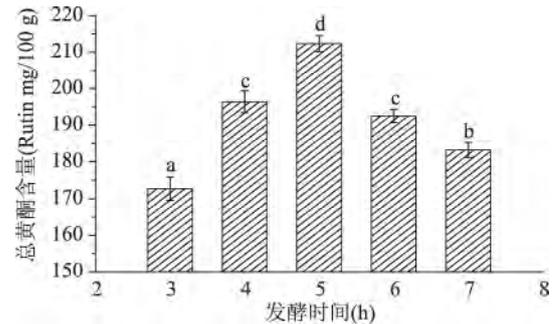


图9 不同的发酵时间对总黄酮含量的影响
Fig.9 Effect of different fermentation time on total flavonoid content in buckwheat bran steamed bread

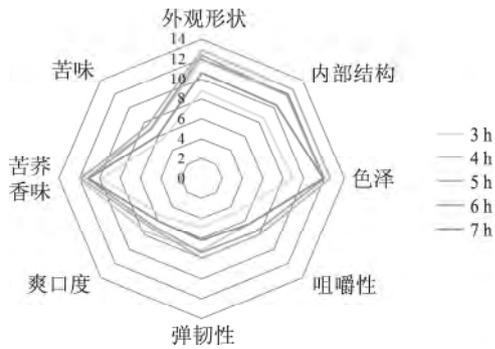


图 10 不同发酵时间对感官评分的影响

Fig.10 Effect of different fermentation time

on sensory evaluation in buckwheat bran steamed bread

2.3.4 醒发时间对苦荞麸皮馒头感官和黄酮含量的影响 从图 11 和图 12 可以看出 不同的醒发时间对苦荞麸皮馒头的总黄酮含量和感官评分的影响差异很大。随着醒发时间的延长,总黄酮含量是先增加后降低的,在醒发时间为 50 min 时含量达到最大值 (206.30 ± 4.44 mg Rutin/100 g);感官评分也是先增加后下降。由于醒发时间对馒头的品质影响较大,醒发时间不足,蒸出来的馒头体积小,内部组织不良;醒发时间过度,馒头酸味大,内部孔洞粗大。因此综上所述,可以选择醒发时间为 40 min。

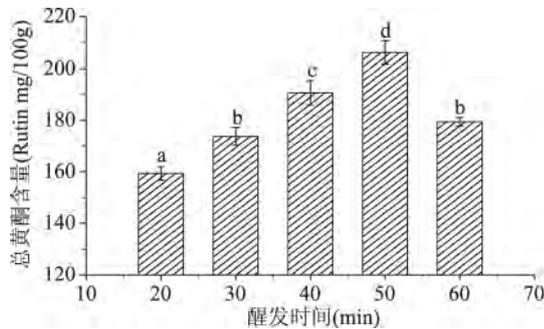


图 11 不同醒发时间对总黄酮含量的影响

Fig.11 Effect of different proofing time

on total flavonoid content in buckwheat bran steamed bread

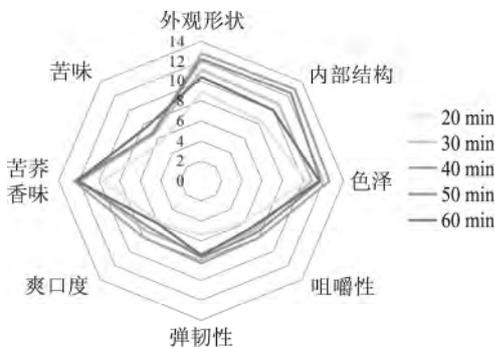


图 12 不同醒发时间对感官评分的影响

Fig.12 Effect of different proofing time

on sensory evaluation in buckwheat bran steamed bread

2.4 复合菌发酵苦荞麸皮馒头工艺参数的响应面优化

2.4.1 响应面设计及结果 在单因素实验的基础上根据 Box-Behnken 中心组合设计原理进行响应面实

验 实验结果见表 3。

表 3 苦荞麸皮馒头的响应面优化实验结果

Table 3 Design and results of the buckwheat bran steamed bread Box-Behnken test

实验号	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	总黄酮含量 [mg Rutin (100 g) ⁻¹]	感官得分
1	0	0	0	0	209.89 ± 3.62	84.5 ± 1.1
2	0	0	0	0	214.48 ± 3.62	85.0 ± 2.1
3	0	1	-1	0	192.48 ± 2.98	70.4 ± 2.6
4	-1	0	0	1	182.06 ± 4.42	75.4 ± 3.9
5	0	0	-1	-1	179.03 ± 2.77	77.0 ± 2.3
6	1	0	0	1	204.85 ± 3.04	69.0 ± 2.2
7	-1	0	-1	0	172.73 ± 2.27	80.6 ± 3.2
8	-1	0	1	0	179.39 ± 2.74	73.8 ± 3.3
9	0	0	0	0	210.33 ± 3.62	86.1 ± 1.9
10	0	0	-1	1	187.03 ± 3.11	73.9 ± 4.5
11	0	0	0	0	212.52 ± 3.62	84.8 ± 1.7
12	-1	1	0	0	173.58 ± 2.36	77.3 ± 1.8
13	0	-1	1	0	180.85 ± 4.12	76.1 ± 2.2
14	0	0	1	1	180.24 ± 1.98	76.8 ± 1.8
15	0	-1	0	-1	177.94 ± 2.57	78.2 ± 2.4
16	1	-1	0	0	192.24 ± 3.44	71.0 ± 2.8
17	-1	0	0	-1	177.46 ± 3.68	79.0 ± 2.1
18	1	0	-1	0	196.48 ± 3.32	70.4 ± 2.0
19	0	-1	-1	0	182.79 ± 2.54	73.4 ± 1.8
20	0	0	1	-1	176.61 ± 4.84	81.2 ± 3.4
21	0	-1	0	1	190.42 ± 3.28	72.0 ± 1.9
22	1	0	0	-1	191.52 ± 2.89	71.3 ± 2.1
23	-1	-1	0	0	190.06 ± 2.97	72.8 ± 2.6
24	1	1	0	0	198.91 ± 1.87	68.0 ± 2.7
25	1	0	1	0	185.57 ± 2.27	72.5 ± 3.2
26	0	0	0	0	213.47 ± 3.62	84.2 ± 2.9
27	0	1	1	0	172.97 ± 2.57	81.9 ± 1.8
28	0	1	0	1	182.67 ± 5.86	77.6 ± 2.4
29	0	1	0	-1	173.21 ± 3.38	71.2 ± 3.1

2.4.2 回归方程的拟合和方差分析 将所得的实验数据用 Design Expert 软件进行多元回归拟合,得到以黄酮含量(Y₁)和感官评分(Y₂)为目标函数的二次多项回归方程, Y₁ = 212.14 + 7.86X₁ - 1.71X₂ - 2.91X₃ + 4.29X₄ + 5.79X₁X₂ - 4.39X₁X₃ + 2.18X₁X₄ - 4.39X₂X₃ - 0.76X₂X₄ - 1.09X₃X₄ - 9.68X₁² - 14.27X₂² - 17.01X₃² - 14.90X₄², Y₂ = 85.0 - 3.06X₁ + 0.24X₂ + 1.3X₃ - 1.10X₄ - 1.88X₁X₂ + 2.22X₁X₃ + 0.32X₁X₄ + 2.20X₂X₃ + 3.15X₂X₄ - 0.33X₃X₄ - 6.98X₁² - 5.88X₂² - 3.62X₃² - 4.29X₄²。

由表 4 可知 2 个数学拟合模型 Y₁ 和 Y₂ 的 R² 值分别为 0.9689 和 0.9282,其值均接近 1,表明模型与实验拟合度较好,结果具有较高的可靠性,可用于分析和预测发酵苦荞麸皮馒头工艺中的黄酮含量和感官评定分数。由回归方程系数显著性检验可知,各因素存在交互作用的影响。有表 4 可知,黄酮含量

表4 回归模型方差分析

Table 4 Variance analysis for the regression model

项目	自由度	黄酮含量/[mg Rutin(100 g) ⁻¹]			感官评定		
		平方和	F 值	p 值	平方和	F 值	p 值
回归模型	14	4349.06	31.19	<0.0001	758.11	12.93	<0.0001
X ₁ 菌种比例	1	740.88	66.44	0.0984	112.24	27.74	0.0001
X ₂ 菌种添加量	1	22.52	3.14	0.0092	2.52	0.17	0.6863
X ₃ 发酵时间	1	0.34	9.10	0.0005	30.72	5.57	0.0333
X ₄ 醒发时间	1	221.02	19.83	0.0038	14.52	3.52	0.0815
X ₁ X ₂	1	133.98	12.01	0.00197	14.06	3.41	0.0859
X ₁ X ₃	1	77.18	6.92	0.2124	19.80	4.81	0.0458
X ₁ X ₄	1	19.05	1.71	0.0197	0.42	0.10	0.7535
X ₂ X ₃	1	93.61	6.92	0.6570	32.49	4.70	0.0479
X ₂ X ₄	1	2.28	0.21	0.5242	39.69	9.63	0.0078
X ₃ X ₄	1	4.77	0.43	<0.0001	0.42	0.10	0.7535
X ₁ ²	1	815.58	54.45	<0.0001	322.17	76.69	<0.0001
X ₂ ²	1	812.13	118.37	<0.0001	205.05	54.42	<0.0001
X ₃ ²	1	1259.24	168.25	<0.0001	73.23	20.59	0.0005
X ₄ ²	1	1753.00	129.17	<0.0001	123.31	29.00	<0.0001
残差	14	156.16			57.68		
失拟项	10	140.42	3.57	0.1159	51.42	2.21	0.4108
纯误差	4	15.74			6.26		
相关系数(R ²)			0.9689			0.9282	

注: p < 0.05 表示差异显著 p < 0.01 表示差异极显著。

模型的一次项 X₂、X₃、X₄ 极显著, X₁ 不显著; 交互项 X₁X₂、X₁X₄ 显著, X₃X₄ 极显著, 其余不显著; 二次项都极显著。感官评定模型的一次项 X₁ 极显著, X₃ 显著, X₂、X₄ 不显著; 交互项 X₂X₄ 极显著, X₁X₄、X₁X₂ 和 X₃X₄ 不显著, 其余均显著; 二次项都极显著。结合 F 值大小, 可知影响麸皮馒头黄酮含量的主效应关系菌种比例 > 醒发时间 > 发酵时间 > 菌种添加量。影响感官评定分数的主效应关系为菌种比例 > 发酵时间 > 醒发时间 > 菌种添加量。

2.4.3 响应面分析及最优条件的确定 根据回归方程作出模型的响应曲面(如图 13, 图 14), 响应面图的曲面性状可以看出影响因素的显著水平, 曲面较陡说明影响显著。图 13, 图 14 直观地反映了任何两因素的交互影响, 以及各因素对 2 个响应值的影响。从图 13 可看出, 除了发酵时间与醒发时间, 菌种比例与菌种添加量和菌种比例与醒发时间交互作用对黄酮含量影响显著外, 其余各因素交互作用不显著。发酵时间与醒发时间的响应面的等高线成椭圆形, 说明它们之间具有非常显著的交互作用, 也反映了这几个因素对于馒头里黄酮含量的影响程度较高。这和表 4 得出的结果一致。

通过回归模型的预测, 得出的最佳工艺条件为:

菌种比例为 2.01: 1, 菌种添加量为 2.99%, 发酵时间为 5.01 h, 醒发时间为 40.32 min, 此时, 苦荞麸皮馒头的总黄酮含量预测值为 212.367 mg/100 g, 感官评分预测值为 84.642。从实际操作方面考虑, 最佳工艺条件修改为: 菌种比例为 2: 1, 菌种添加量为 3%, 发酵时间为 5 h, 醒发时间为 40 min。

为检验响应面分析法的可靠性, 采用上述最优条件进行验证实验, 实际测得的总黄酮含量为 (211.33 ± 1.34) mg Rutin/100 g, 预测值与实测值的相对误差为 0.49%, 而实际测得的感官评分为 (82.2 ± 2.30), 预测值与实测值的相对误差为 2.97%, 两个指标的相对误差都在可取范围之内, 表明模型建立合理, 预测的结果较为准确。

2.5 安琪酵母和复合菌发酵苦荞麸皮馒头质构、黄酮含量及感官评定分析

按安琪酵母的说明书发酵苦荞麸皮馒头, 如表 5 所示, 在质构分析方面, 质地性状定义为硬度、胶粘性、咀嚼性这三个指标的乘积, 压缩张弛性定义为弹性、内聚性、回复性这三个指标的乘积^[18], 通常采用这两个综合指标来对馒头进行全质构分析。其中质地性状与馒头品质呈负相关性, 压缩张弛性与馒头品质呈正相关性, 由表 5 计算可知质地性状大小为:

表5 安琪和复合菌苦荞馒头的全质构分析

Table 5 The texture analysis of buckwheat bran steamed bread from Angel and combination strain

样品	硬度(g)	胶粘性(g)	咀嚼性(g)	回复力	内聚性	弹性
安琪	1472.00 ± 92.96 ^b	1027.33 ± 80.73 ^b	761.83 ± 78.22 ^b	0.51 ± 0.03 ^a	0.68 ± 0.02 ^a	0.76 ± 0.03 ^b
组合菌种	554.33 ± 45.44 ^a	458.67 ± 45.75 ^a	389.67 ± 19.34 ^a	0.50 ± 0.02 ^a	0.83 ± 0.02 ^b	0.58 ± 0.06 ^a

注: 每一列中的字母不同表示在 p < 0.05 范围内有显著性差异。

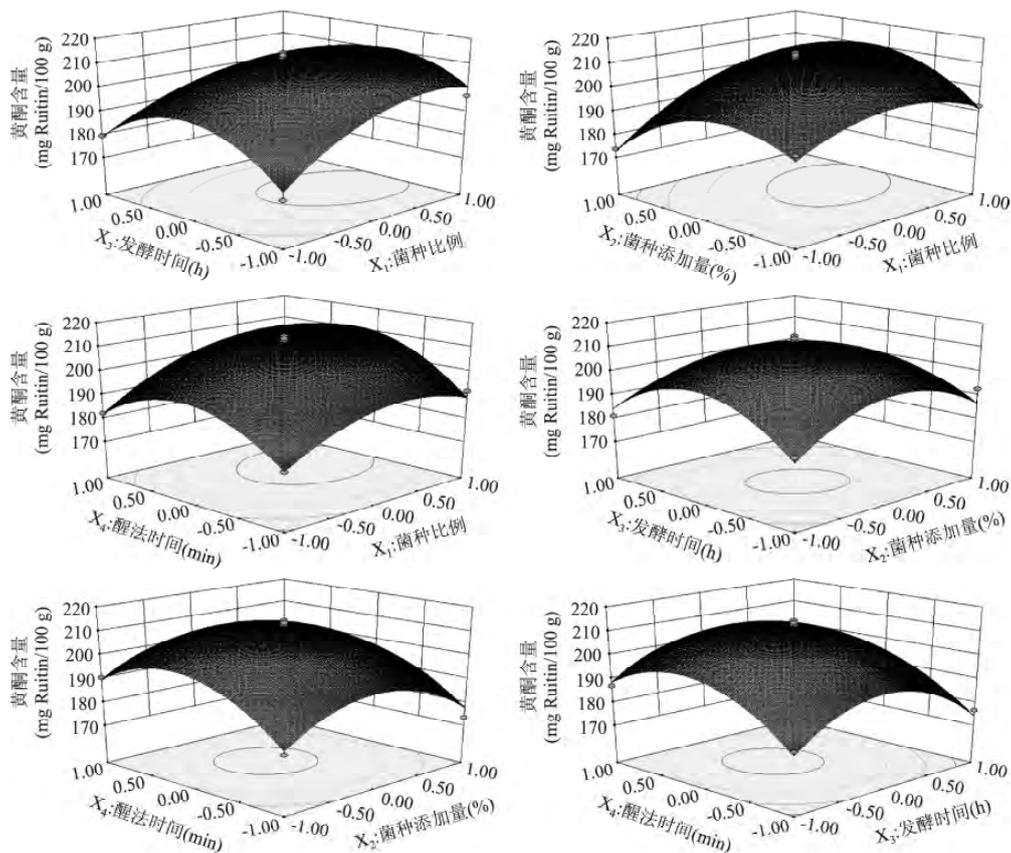


图 13 各因素对黄酮含量影响的响应面

Fig.13 Response surface plots showing the effect of four factors on the flavonoids

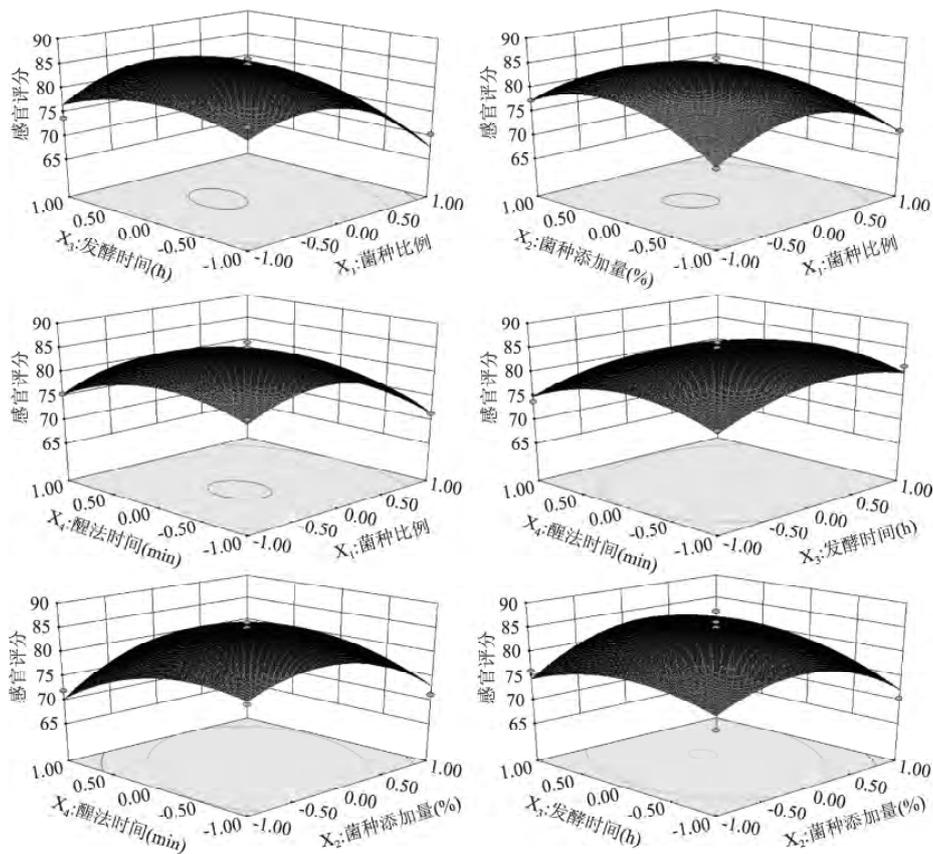


图 14 各因素对感官评定分数影响的响应面

Fig.14 Response surface plots showing the effect of four factors on the sensory evaluation scores

复合菌种 (0.1×10^9) < 安琪 (1.2×10^9) ,压缩张弛性大小为: 复合菌种 (0.262) > 安琪 (0.236) ,说明了复合菌馒头品质总体上比安琪酵母的好,这与图 15 所示的感官评分的结果一致。有图 15 可知安琪酵母馒头的黄酮含量为 (189.70 ± 3.66) mg Rutin/100 ,感官评分 77.1 ± 1.4 ,黄酮含量和感官评分显著低于了复合菌发酵的苦荞麸皮馒头,综上所述可知复合菌馒头感官和功能品质均比安琪的好,品质得到了提升。

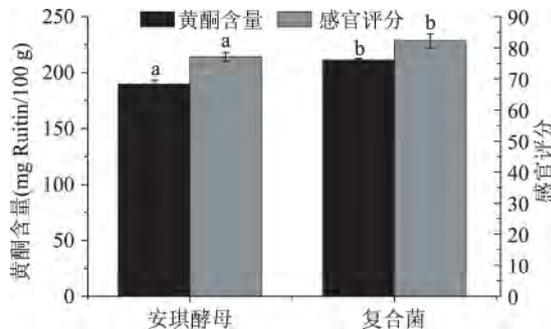


图 15 安琪和复合菌馒头的黄酮含量及感官评分

Fig.15 Sensory evaluation and total flavonoid content in buckwheat bran steamed bread from Angel and combination strain

3 结论

采用了响应面法对复合菌发酵苦荞麸皮馒头的工艺进行了优化,建立了黄酮含量和感官评分回归模型,模型优化的工艺条件是菌种比例为 2:1,菌种添加量为 3%,发酵时间为 5 h,醒发时间为 40 min。此条件下得到的黄酮含量是 (211.33 ± 1.34) mg Rutin/100 g,感官评分 (82.2 ± 2.30) ,与模型预测值相近,说明了该模型的可靠性。

复合菌馒头比单独采用安琪酵母发酵的馒头品质要好,这与复合菌里乳酸菌有一定关系。黄酮含量的提升,可能与乳酸菌发酵对谷物中的内源性酶活性有激活作用有关,酶活性的提高促进了黄酮类物质的合成和释放。

参考文献

[1]杨敬雨,刘长虹.中国传统酵子的工业化[J].食品研究与开发 2007 28(2):164-166.
 [2]胡丽花,苏东民,苏东海,等.混合发酵生产馒头菌种的筛选[J].食品工业科技 2010(11):203-205.
 [3]王金水,杨森,尹艳丽,等.植物乳酸菌 M616 对发酵酸面

团发酵特性的影响[J].现代食品科技 2015 4:14.
 [4]徐莹.乳酸菌和酵母菌混合发酵馒头的工艺优化研究[J].农业机械 2012 21:022.
 [5]李自红,苏东民,苏东海.复合菌种对馒头品质影响研究[J].食品科技 2011 36(4):131-135.
 [6]Ganzie M G, Vermeulen N, Vogel R F. Carbohydrate, peptide and lipid metabolism of lactic acid bacteria in sourdough [J]. Food microbiology 2007 24(2):128-138.
 [7]Van H S, Kralj S, Ozimek L K, et al. Structure - function relationships of glucanase and fructanase enzymes from lactic acid bacteria [J]. Microbiology and Molecular Biology Reviews 2006 70(1):157-176.
 [8]李自红.传统发酵剂微生物的筛选、鉴定及对馒头品质的影响[D].郑州:河南工业大学 2011.
 [9]Arendt E K, Ryan L A M, Dal Bello F. Impact of sourdough on the texture of bread [J]. Food microbiology, 2007, 24(2):165-174.
 [10] Mosharraf L, Kadivear M, Shahedi M. Effect of hydrothermally treated bran on physicochemical, rheological and microstructural characteristics of Sangak bread [J]. Journal of cereal science 2009 49(3):398-404.
 [11]芦淑娟.苦荞种籽抗氧化特性与麸皮膳食纤维研究[D].咸阳:西北农林科技大学 2010.
 [12]中华食品质量网.荞麦加工开发的意义现状建议.2005, 12.
 [13]何学勇,刘长虹,李志建.不同发酵剂制作馒头贮存品质比较[J].食品工业 2013 4:029.
 [14]许芳溢.苦荞芽粉馒头品质及体外模拟消化研究[D].咸阳:西北农林科技大学 2014.
 [15]Guo X D, Wang M, Gao J M, et al. Bioguided fraction of antioxidant activity of ethanol extract from tartary buckwheat bran [J]. Cereal Chemistry 2012 89(6):311-315.
 [16]Noort M W J, Vanhaaster D, Hemery Y, et al. The effect of particle size of wheat bran fractions on bread quality - Evidence for fibre-protein interactions [J]. Journal of Cereal Science 2010 52(1):59-64.
 [17]Škrbic B, Milovac S, Dodig D, et al. Effects of hull-less barley flour and flakes on bread nutritional composition and sensory properties [J]. Food Chemistry 2009 115(3):982-988.
 [18]张国权,叶楠,张桂英,等.馒头品质评价体系构建[J].中国粮油学报 2011 26(7):10-14.

因本刊已被《中国知网》(包括“中国知网”
 优先数字出版库)独家全文收录,所以所付稿酬中
 已包含该网站及光盘应付的稿酬。