

狐臭柴叶发酵面包制作工艺优化与理化指标分析

王艳秋^{1,2}, 阳 娇^{1,2}, 张 琦^{1,2}, 黄海东^{1,2},
吴洪丽^{1,2}, 杨宁线^{1,2}, 张明生^{*1,2}

(1. 贵州大学 生命科学学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 贵州大学 山地植物资源保护与种质创新教育部重点实验室, 贵州 贵阳 550025)

摘要: 为提升狐臭柴(*Premna puberula* Pamb.)资源的综合开发利用,以狐臭柴叶汁、小麦粉、乳酸菌和酵母等原料制作发酵面包。根据狐臭柴叶汁料液比、清酒乳杆菌(*Lactobacillus sakei*-DPC)添加量、酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*-L23)添加量、白砂糖质量分数、烘烤时间、烘烤温度筛选面包制作条件;进一步探究狐臭柴叶汁料液比、菌种添加量、烘烤时间对狐臭柴叶发酵面包的影响,确定最优工艺。结果表明,料液比、菌种添加量、白砂糖质量分数、烘烤时间及温度均影响狐臭柴叶发酵面包的品质;进一步优化得到料液比 1 g:8 mL、清酒乳杆菌 100 mL、酿酒酵母 700 mL、烘烤时间 25 min 为最优工艺,得分 82.59,对该工艺条件下面包的理化指标进行检测,表明狐臭柴叶发酵面包符合国标要求,添加狐臭柴叶汁可以提高活性成分含量和抗氧化能力。该研究为狐臭柴的综合利用提供了技术参考。

关键词: 狐臭柴叶;发酵面包;工艺优化;理化指标

中图分类号:Q 815 文章编号:1673-1689(2023)12-0053-09 DOI:10.12441/spyswjs.20220429005

Production Process Optimization and Physicochemical Analysis of Fermented Bread Made from *Premna puberula* Leaves

WANG Yanqiu^{1,2}, YANG Jiao^{1,2}, ZHANG Qi^{1,2}, HUANG Haidong^{1,2},
WU Hongli^{1,2}, YANG Ningxian^{1,2}, ZHANG mingsheng^{*1,2}

(1. School of Life Sciences, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 2. Key Laboratory of Plant Resources Conservation and Germplasm Innovation in Mountainous Region (Ministry of Education), Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: In order to improve the comprehensive development and utilization of *Premna puberula* Pamb. (*P. puberula*) resources, the fermented bread was produced by the leaves juice of *P. puberula*, wheat flour and strains. The production process of bread was screened according to the solid-to-liquid ratio of *P. puberula* leaves juice, amount of starter culture, amount of white granulated sugar, baking time, and baking temperature. Furthermore, the effects of *P. puberula* leaves juice, the

收稿日期: 2022-04-29 修回日期: 2022-07-01

基金项目: 国家喀斯特石漠化防治工程技术研究中心建设项目(2012FU125X13);贵州省科技计划重大专项项目(黔科合平台人才[2017]5411-06);贵州省中药材现代产业技术体系建设项目(GZCYTX-02);贵州省生物学一流学科建设(2017)009FX1KT02)。

* 通信作者: 张明生(1963—),男,博士,教授,博士研究生导师,主要从事植物生理与分子生物学研究。E-mail:mshzhang@163.com

amount of *Lactobacillus sakei*-DPC addition, the amount of *Saccharomyces cerevisiae*-L23 addition, and baking time on the fermented bread of the *P. puberula* leaves were further studied to determine the optimal production process. The results showed that the solid-to-liquid ratio, *Lactobacillus sakei*, *Saccharomyces cerevisiae*, sugar, baking time, and temperature all affected the quality of fermented bread of *P. puberula* leaves. Furthermore, the optimal process was determined as a solid-to-liquid ratio of 1 g:8 mL, 100 mL of *Lactobacillus sakei*, 700 mL of *Saccharomyces cerevisiae*, and a baking time of 25 min, achieving a score of 82.59. Physicochemical analysis of the bread under these optimized conditions demonstrated that the fermented bread of *P. puberula* leaves met the requirements of the national standard. Besides, the addition of *P. puberula* leaves juice could improve the content of active ingredients and antioxidant capacity. The research could provide technical references for the utilization of *P. puberula* resources.

Keywords: *Premna puberula* leaves, fermented bread, production process, physicochemical indicators

狐臭柴 (*Premna puberula* Pamb.) 为马鞭草科 (Verbenaceae) 豆腐柴属 (*Premna* Linn.) 植物^[1], 其根、茎、叶均可入药, 有清热解毒、消肿止血的功效^[2], 是一种药食兼用植物。狐臭柴叶片中果胶、蛋白质含量较高, 氨基酸、维生素、可溶性糖等配比合理^[3-5], 矿物质丰富, 并含有黄酮和多酚等功能性成分^[6], 具有较高的营养、保健及药用价值, 应用前景十分广阔。贵州是狐臭柴主产地之一, 资源丰富, 每年可采摘叶片 3~4 次, 但其未能得到合理开发利用, 造成了资源浪费。

面包是一种深受人们喜爱的食品, 因蓬松柔软、方便快捷, 逐步成为人们膳食的重要组成部分^[7]。如今市售面包虽样式众多, 但原料较单一, 主要以小麦粉为主, 随着人们生活质量的提升, 对健康、营养、风味食品有了更高的要求^[8-10]。因此, 在面包中加入健康、营养、风味性成分已成为面包产品开发的潮流^[11]。作者以狐臭柴叶为原料制作发酵面包并优化其工艺, 在满足当今人们饮食需求的同时, 也为狐臭柴资源的综合开发利用提供新途径。

1 材料与方法

1.1 实验材料

狐臭柴 (*P. puberula*): 采自贵州省务川仡佬族苗族自治县, 种植于贵州大学科研实验基地; 酿酒酵母 (*Saccharomyces cerevisiae*-L23, 全文简称酵母)、清酒乳杆菌 (*Lactobacillus sakei*-DPC, 全文简称乳酸菌): 贵州大学酿酒与食品工程学院提供。

1.2 仪器设备

M30 和面机: 广东蓝狮电子科技有限公司; K42 电烤箱: 广东格兰仕微波炉电器制造有限公司; L18-Y68 型破壁机: 九阳股份有限公司; H4-20KR 冷冻离心机: 湖南可成仪器设备有限公司; CT3 质构分析仪: 美国 Brookfield 公司。

1.3 方法

1.3.1 狐臭柴叶面包制作

1) 狐臭柴叶汁制备 称取 -20 °C 冰箱保存的 40 g 无虫洞及污物的冻叶, 清水洗净控干, 与纯净水一同加入高速破壁料理机中, 将叶片打至匀浆, 迅速用 200 目过滤袋过滤备用。

2) 发酵用菌泥制备 将菌种接入培养基, 活化两次 (第一次活化 12 h, 第二次活化 8 h) 后培养至对数生长期后期 (菌体浓度大于 1×10^8 CFU/mL), 5 000 r/min 离心 10 min, 用无菌生理盐水洗涤, 离心 2 次得到菌泥^[12]。酵母培养条件: 酵母浸出粉胨葡萄糖培养基 (yeast extract peptone dextrose medium, YPD), 28 °C, 200 r/min, 接种体积分数 1%; 乳酸菌培养条件: MRS 乳酸菌肉汤培养基 (MRS lactic acid bacteria broth medium), 37 °C 静置培养, 接种体积分数 1%。

3) 面包制备 原材料配方为小麦粉 250 g、黄油 20 g、食盐 2.5 g、可食用液体 170 mL。将所有材料 (除食盐和黄油外) 加入和面机, 搅拌 15 min 至出现粗膜; 加入食盐和软化黄油, 搅拌 15 min 至面团出现手套膜; 整形, 密封于 30 °C 下发酵 50 min; 取出排气, 擀卷整形装入模具; 密封于 37 °C 二次发酵

50 min 后焙烤。同时设置对照组(CK),采用市售高活性即发酵母,未添加狐臭柴叶汁与自培养菌种。

1.3.2 面包制作工艺单因素实验 以面包质构、比容和感官评价加权后的综合评分(见 1.3.4)为评定标准。根据预实验选定狐臭柴叶汁料液比(1 g:4 mL、1 g:6 mL、1 g:8 mL、1 g:10 mL、1 g:12 mL),烘烤上/下火温度(120℃/140℃、140℃/160℃、160℃/180℃、180℃/200℃、200℃/220℃),乳酸菌添加量(发酵液菌泥体积 100、300、500、700、900 mL),酵母添加量(发酵液菌泥体积 100、300、500、700、900 mL),白砂糖质量分数(5%、10%、15%、20%、25%,以小麦粉质量计),烘烤时间(20、25、30、35、40 min)进行制作工艺单因素实验。

1.3.3 正交实验优化面包制作工艺 在单因素实验的基础上,选择狐臭柴叶汁料液比、酵母添加量、乳酸菌添加量和烘烤时间 4 个因素进行正交实验,每个实验进行 3 次重复,以综合评分为评价指标。正交实验参数见表 1。

表 1 正交实验因素与水平

Table 1 Orthogonal experiment factors and levels

水平	因素			
	料液比 (g:mL)	乳酸菌添加量/mL	酵母添加量/mL	烘烤时间/ min
1	1:6	100	500	25
2	1:8	300	700	30
3	1:10	500	900	35

1.3.4 面包综合评价 采用综合加权评分法对面包进行评价。根据每个指标的权值加权求和,从而转化为单一指标(综合加权评分值)^[13-14]。经比容测定、质构测定、感官评价,将比容得分、质构参数得分、感官评分分别按照 30%、40%、30%的比重加权得到综合评分。对取值范围和量纲不一样的参数测定结果进行归一化处理,使其数值分布在 0~1,乘 100 后作为该项得分,其中内聚性、弹性和比容为正向指标,硬度和咀嚼性为负向指标。面包比容参考 GB/T 20981—2007 中的小米排阻法^[15]进行测定。面包质构参数用物性测定仪进行测定^[16],测定条件:TA11/1000 圆柱探头,TPA 质构分析模式,目标类型距离 15 mm,触发点负载 5 g,测试速度 1 mm/s,循环 2 次^[17],每组指标平行测定 3 次取平均值。面包感官评价由 14 名经过培训的人员完成,评价人员对

评价内容进行充分了解,明确打分细节,独立给出评价,去掉两个最高分和两个最低分,计算平均分。狐臭柴叶发酵面包的感官评价指标见表 2。

表 2 面包品质感官评价表

Table 2 Sensory evaluation table of bread quality

评分项目	评分细则	得分
色泽	表皮色泽美观,内部颜色均匀,无杂色	18~25
	表皮色泽过深或过浅,内部颜色基本一致,无杂色	11~17
	表皮色泽为褐色到黑色或未上色,内部颜色不均,有杂色	0~10
组织形态	气孔细密均匀,呈长形,孔壁薄呈海绵状	18~25
	气孔较细密,有少量孔洞,有部分沉积	11~17
	气孔大小不一,有明显孔洞,有大量沉积	0~10
气味	面包香味、狐臭柴叶味、酸甜味丰富且和谐,无异味	18~25
	狐臭柴叶味、酸味较重或无,味道不和谐,无异味	11~17
	无面包应有香味,气味不正,有异味	0~10
口感	口感柔和,绵软可口,软硬适中,有韧性	18~25
	口感较硬或较软,口感略干	11~17
	口感很硬或很软,掉渣严重	0~10

1.3.5 面包理化指标测定 水分按照 GB 5009.3—2016 中减压干燥法测定^[18]。酸度按照 GB/T 20981—2007 测定^[19],采用氢氧化钠标准溶液标定^[19]。面包中微生物的测定根据 GB 7099—2015^[20]对菌落总数^[21]、大肠菌群^[22]和霉菌^[23]进行测定。面包中总多酚参照梁丽婷等的方法测定^[24]。面包中总黄酮参考 NY/T 1295—2007 测定^[25]。参考相关文献,分别采用 DPPH 法和 ABTS 法测定面包抗氧化能力^[26],以水溶性维生素 E 作为对照体系,量化抗氧化能力。

$$Q = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$$

式中:Q 为自由基清除率,%;A₀ 为空白管吸光度;A₁ 为样品管吸光度。

1.4 数据处理

使用 Excel 2016 对实验数据归一化处理。用 DPS 2018 LSD 法进行方差分析,P<0.05 为差异显著。使用 GraphPad Prism 7.00 绘图。

2 结果与分析

2.1 不同因素对面包综合品质的影响

2.1.1 料液比对狐臭柴叶面包综合品质的影响

料液比对面包各项参数的影响见表3。随着狐臭柴叶汁比例的降低,面包硬度和咀嚼性的得分先升高后降低,内聚性和弹性没有显著差异,当料液比为1 g:8 mL时,硬度和咀嚼性得分最高,感官评价得分最高。狐臭柴叶汁里富含丰富的果胶,有良好的吸

水性,高比例的狐臭柴叶汁果胶含量较高,可能与面粉争夺水分子,影响面粉的糊化,进而影响到面包质构^[27];而低比例的狐臭柴叶汁因果胶含量较低,对面包质构影响小。狐臭柴叶汁的添加会使面团的拉伸性更好、韧性更强,可能比普通面团更难膨胀,因此比容会相应降低。根据综合评分来看,当料液比为1 g:8 mL时,综合评分最高,因此确定为最优料液比。

表3 料液比对面包各项参数评分的影响

Table 3 Effect of feed-liquid ratio on the score of bread parameters

料液比 (g:mL)	硬度	咀嚼性	内聚性	弹性	比容	感官评分	综合评分
1:4	13.28±15.02 ^d	4.33±6.56 ^b	61.90±17.62 ^a	56.89±6.27 ^a	11.11±11.56 ^c	64.00±3.40 ^c	36.17±2.85 ^d
1:6	56.40±1.77 ^c	59.85±52.21 ^a	38.10±43.64 ^a	40.19±52.81 ^a	40.60±4.12 ^b	68.30±6.11 ^{bc}	52.12±4.91 ^c
1:8	96.98±3.34 ^a	71.64±11.36 ^a	72.62±13.52 ^a	57.82±6.33 ^a	85.86±11.15 ^a	77.50±2.64 ^a	78.91±3.16 ^a
1:10	77.42±2.47 ^b	60.77±24.14 ^a	69.05±27.04 ^a	47.97±24.47 ^a	91.88±7.73 ^a	76.60±2.63 ^a	76.04±4.16 ^a
1:12	43.44±3.09 ^c	31.86±14.47 ^{ab}	57.14±15.57 ^a	58.26±5.72 ^a	87.18±8.00 ^a	69.20±3.33 ^b	65.98±2.10 ^b

注:同列中不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

2.1.2 烘烤温度对狐臭柴叶面包综合品质的影响

烘烤温度对狐臭柴叶面包的各项指标均有影响(见表4)。在质构参数中,随着烘烤温度的升高,面包芯硬度的得分逐渐降低,咀嚼性、内聚性、弹性和比容分值均呈现先升高后降低的趋势。在上/下火温度为120 °C/140 °C时,硬度得分最高,140 °C/160 °C时比

容得分最高。烘烤温度较低时,面包含水量高,质地柔软,但表皮不易上色,香味也有欠缺,面团没有足够的热量膨胀,最终比容偏小;而烘烤温度过高,则会导致面包表皮焦化,出现糊味,面团也会因表皮过早硬化而无法继续膨胀。根据综合评分,烘烤上/下火温度为140 °C/160 °C时最优。

表4 烘烤温度对面包各项参数评分的影响

Table 4 Effect of baking temperature on the score of bread parameters

上/下火温度	硬度	咀嚼性	内聚性	弹性	比容	感官评分	综合评分
120 °C/140 °C	87.52±7.79 ^a	79.80±7.33 ^a	69.33±9.24 ^a	19.52±17.80 ^c	25.72±15.23 ^{bc}	71.60±0.97 ^c	56.36±2.19 ^c
140 °C/160 °C	87.09±12.24 ^a	85.87±15.45 ^a	73.33±6.11 ^a	85.75±12.46 ^a	96.38±3.82 ^a	86.00±2.31 ^a	86.57±3.01 ^a
160 °C/180 °C	76.73±8.72 ^a	50.54±7.66 ^b	89.33±9.24 ^a	86.40±13.48 ^a	70.65±10.37 ^a	74.20±1.48 ^b	74.00±5.87 ^b
180 °C/200 °C	36.61±16.39 ^b	27.48±5.33 ^c	30.67±30.02 ^b	46.49±8.29 ^b	38.04±5.44 ^b	57.60±1.96 ^d	43.54±3.13 ^d
200 °C/220 °C	12.18±10.61 ^c	12.56±18.35 ^c	13.33±16.65 ^b	31.14±16.01 ^{bc}	9.06±12.97 ^c	43.80±1.23 ^c	27.34±1.86 ^c

注:同列中不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

2.1.3 乳酸菌添加量对狐臭柴叶面包综合品质的影响

乳酸菌添加量对狐臭柴叶面包各项参数得分的影响见表5。在质构参数中,面包的硬度和内聚性得分均呈先降低后升高的趋势。比容得分随乳酸菌添加量增多呈先上升后下降的趋势,当乳酸菌添加量为500 mL时,比容得分最高。乳酸菌在一定程

度上能够促进酵母发酵^[28],产生更多的气体,使面包的体积增大、弹性更好、分值更高,但过多的乳酸菌会同时酵母争抢营养物质,面包的比容相应下降,且会使面包入口明显发酸,感官评分降低。根据综合评分情况,当乳酸菌添加量为300 mL时,分值最高。

表 5 乳酸菌添加量对面包各项参数评分的影响

Table 5 Effect of Lactobacillus addition on the score of bread parameters

乳酸菌添加量/mL	硬度	咀嚼性	内聚性	弹性	比容	感官评分	综合评分
100	80.60±18.52 ^a	91.84±7.82 ^a	81.94±15.78 ^a	38.75±35.57 ^b	56.67±3.34 ^b	81.20±3.05 ^a	70.67±6.54 ^a
300	43.31±12.63 ^b	40.54±15.22 ^b	81.94±12.03 ^a	67.01±5.30 ^{ab}	80.00±5.00 ^a	80.80±3.36 ^a	71.52±2.45 ^a
500	15.17±13.19 ^c	59.22±13.93 ^{bc}	13.89±20.55 ^c	56.87±10.73 ^{ab}	94.45±6.94 ^a	75.40±3.41 ^b	65.47±3.06 ^{ab}
700	13.25±7.47 ^c	10.17±6.39 ^d	50.00±7.22 ^b	76.70±1.71 ^a	78.33±1.67 ^a	71.90±2.23 ^b	59.81±2.08 ^b
900	16.26±11.78 ^c	16.67±22.72 ^{cd}	55.56±20.97 ^{ab}	81.66±17.39 ^a	20.00±18.56 ^c	65.80±5.27 ^c	42.52±8.21 ^c

注:同列中不同小写字母表示差异显著($P<0.05$);乳酸菌添加量指乳酸菌发酵液菌泥体积。

2.1.4 酵母添加量对狐臭柴叶面包综合品质的影响

酵母对狐臭柴叶面包各项参数得分的影响见表 6。随着酵母添加量的增加,硬度得分先升高后降低,在酵母添加量为 700 mL 时分值最高。咀嚼性得分先降低后升高,酵母添加量为 900 mL 时,咀嚼性得分最高。内聚性、弹性、比容和感官评价得分均呈先增大后减小的趋势。酵母是面包中必不可少的存在,它为面包提供发酵能力,所产生的二氧化碳能让面包膨胀,支撑起面团的面筋结构,并在烘烤过

程中进一步膨大,促成面包疏松、软糯的口感。对面包而言,同等制作条件下,酵母越多,发酵产气也就越多,面包的比容也就越大,但产气过多,面团的筋膜结构有可能被破坏,进而造成面包塌陷,比容减小。比容大的面包,面包组织之间有更多的细密孔隙,硬度相应变小。在相同温度下发酵相同时间,随着酵母添加量的增加,酵母无氧呼吸增多,产物也会相应增多,产生较强的酸味和酒味,影响感官评分。根据综合评分,选择酵母添加量为 700 mL。

表 6 酵母添加量对面包各项参数得分的影响

Table 6 Effect of yeast addition on the score of bread parameters

酵母添加量/mL	硬度	咀嚼性	内聚性	弹性	比容	感官评分	综合评分
100	50.00±50.00 ^b	64.89±26.17 ^a	43.48±43.48 ^b	27.17±27.18 ^b	17.73±15.93 ^b	65.50±3.60 ^c	43.52±11.84 ^c
300	58.35±1.56 ^{ab}	25.67±22.53 ^b	57.97±6.64 ^{ab}	78.80±2.37 ^a	64.89±26.57 ^a	71.90±4.20 ^b	63.12±9.38 ^b
500	78.71±6.42 ^{ab}	46.38±18.44 ^{ab}	94.20±6.64 ^a	89.50±5.47 ^a	90.07±9.17 ^a	79.10±1.91 ^a	81.63±2.94 ^a
700	95.78±3.82 ^a	81.56±10.20 ^a	84.06±16.46 ^{ab}	72.83±25.48 ^a	91.13±5.45 ^a	77.90±1.79 ^a	84.13±0.52 ^a
900	94.97±8.07 ^a	82.41±23.16 ^a	82.61±15.67 ^{ab}	62.14±13.02 ^a	74.11±3.74 ^a	61.00±3.74 ^d	72.75±0.72 ^{ab}

注:同列中不同小写字母表示差异显著($P<0.05$);酵母添加量指酵母发酵液菌泥体积。

2.1.5 白砂糖质量分数对狐臭柴叶面包综合品质的影响

白砂糖是烘烤食品中较为常用的甜味剂,有甜味纯正、甜度适当、消失迅速等愉快的甜味特征,但是添加过多会让人感到甜腻,而且热量也会超标,因此需要确定白砂糖的适宜添加范围。白砂糖质量分数对面包各项参数得分的影响见表 7。随着白砂糖质量分数的增多,硬度和咀嚼性得分逐渐升高,其余指标均呈先升高后降低的趋势,但弹性差异不明显。白砂糖质量分数为 25% 时,面包硬度和咀嚼性得分最高,即面包硬度最小,咀嚼时最不费力。当质量分数为 15% 时,比容最大,此时感官评价得分也最高。白砂糖的添加一定程度上也会改变面包的质构特征,随着白砂糖的增加,面包的硬度逐渐降低,而咀嚼性随之降低。综合上述指标,选择

质量分数 15% 为白砂糖的适宜添加量,此时综合评分最高。

2.1.6 烘烤时间对狐臭柴叶面包综合品质的影响

随着烘烤时间的增加,面包的硬度和咀嚼性得分逐渐降低,比容得分逐渐升高,内聚性大致呈逐渐降低的趋势,弹性和感官评分先升高后降低,内聚性和弹性基本没有显著差异。当烘烤时间为 20 min 时,硬度和咀嚼性最小,得分最高。相同烘烤温度下,烘烤时间越久,面包内水分越少,面包的比容逐渐增大,硬度和咀嚼性也在增加,得分逐渐降低。而面包烘烤时间不足,会影响其上色,时间过久则会使面包表皮过于厚和硬,进而影响感官评价。综合各方面因素,结合综合评分,选定 30 min 为面包适宜烘烤时间(见表 8)。

表 7 白砂糖质量分数对面包各项参数评分的影响

Table 7 Effect of sugar mass fraction on the score of bread parameters

白砂糖质量 分数/%	硬度	咀嚼性	内聚性	弹性	比容	感官评分	综合评分
5	8.82±8.99 ^c	14.60±16.92 ^b	44.00±10.58 ^{bc}	58.03±17.03 ^a	65.55±5.88 ^b	64.30±2.11 ^c	51.50±1.70 ^c
10	31.70±6.12 ^b	34.71±1.90 ^{ab}	49.33±10.06 ^{abc}	75.78±12.24 ^a	91.11±2.94 ^a	74.30±2.83 ^b	66.55±1.67 ^b
15	47.82±5.69 ^b	39.25±33.87 ^{ab}	66.67±20.53 ^{ab}	69.78±5.03 ^a	95.93±3.57 ^a	84.40±2.80 ^a	76.45±1.30 ^a
20	79.30±17.00 ^a	69.82±27.33 ^a	80.00±18.33 ^a	64.51±55.96 ^a	50.37±2.79 ^c	72.50±2.37 ^b	66.22±10.04 ^b
25	84.86±13.34 ^a	71.01±20.50 ^a	22.67±24.11 ^c	55.40±10.00 ^a	8.89±8.89 ^d	67.40±3.63 ^c	46.28±6.15 ^c

注:同列中不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。

表 8 烘烤时间对面包各项参数评分的影响

Table 8 Effect of baking time on the score of bread parameters

烘烤时间/min	硬度	咀嚼性	内聚性	弹性	比容	感官评分	综合评分
20	84.07±13.86 ^a	78.00±19.21 ^a	72.92±41.61 ^a	38.07±33.37 ^a	6.92±7.62 ^d	72.30±2.58 ^b	51.07±6.24 ^b
25	64.44±7.20 ^b	60.88±7.68 ^{ab}	60.42±15.73 ^{ab}	62.81±47.31 ^a	47.17±11.78 ^c	79.30±2.67 ^a	62.80±3.46 ^a
30	47.65±4.67 ^b	52.16±5.75 ^{bc}	31.25±33.07 ^{ab}	85.33±20.60 ^a	64.78±9.49 ^{bc}	81.30±3.13 ^a	65.47±7.86 ^a
35	26.25±7.96 ^c	29.18±9.43 ^{cd}	39.58±29.54 ^{ab}	76.74±7.41 ^a	70.44±16.27 ^b	79.10±3.48 ^a	62.04±3.03 ^a
40	11.47±9.94 ^c	20.29±17.59 ^d	18.75±16.54 ^b	70.22±15.73 ^a	93.08±10.39 ^a	70.10±1.91 ^b	61.03±5.73 ^{ab}

注:同列中不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。

2.2 正交实验及验证实验

由正交实验结果可知(见表 9),影响面包制作工艺的各因素主次顺序为狐臭柴叶汁料液比>烘烤时间>酵母添加量>乳酸菌添加量。最佳组合是狐臭柴叶汁料液比 1 g:8 mL,乳酸菌添加量 100 mL,酵

母添加量 700 mL,烘烤时间 25 min,此时面包的综合评分最高。采用最优条件进行验证实验,重复 3 次取平均值,得到最终的综合评分为 82.59(见表 10),高于前期实验的分值,说明应用正交实验优化狐臭柴叶发酵面包的工艺可行。

表 9 面包制作工艺正交实验结果

Table 9 Orthogonal test results of bread process

实验号	因素				综合评分
	料液比(g:mL)	乳酸菌添加量/mL	酵母添加量/mL	时间/min	
1	1(1:6)	1(100)	1(500)	1(25)	61.03±15.87 ^{cde}
2	1	2(300)	2(700)	2(30)	54.25±2.92 ^c
3	1	3(500)	3(900)	3(35)	54.80±1.31 ^{de}
4	2(1:8)	1	2	3	77.30±5.33 ^a
5	2	2	3	1	78.53±7.44 ^a
6	2	3	1	2	71.82±2.91 ^{abc}
7	3(1:10)	1	3	2	66.00±4.14 ^{bcd}
8	3	2	1	3	61.17±2.63 ^{cde}
9	3	3	2	1	76.92±5.05 ^{ab}

表 10 最优工艺验证实验单项得分和综合评分

Table 10 Single item analysis score and comprehensive score of optimal process verification test

硬度	咀嚼性	内聚性	弹性	比容	感官评价	综合评分
92.34±4.51	94.07±2.68	41.03±16.01	55.59±6.83	98.95±0.91	82.00±3.13	82.59±2.83

2.3 狐臭柴叶面包理化指标分析

面包理化指标检测结果见表 11。作者所做面包为软式面包,水分质量分数需 $\leq 45\%$,CK 组与最优工艺组均符合规定,且最优工艺组水分质量分数显著高于 CK 组。酸度需 ≤ 6 ,两组均符合要求,乳酸菌在面团的发酵过程中产生有机酸^[28],显著增加了面包的酸度。比容需 ≤ 7 ,在此范围内,比容越大,面包

越松软,最优工艺组的比容显著高于 CK 组,可见所用酵母和乳酸菌混菌发酵的发酵能力优于市售高活性酵母。分析可能是两者共同发酵存在互补机制,酵母菌为乳酸菌提供营养,乳酸菌为酵母菌提供能量^[29]。依照国标对面包中微生物进行检测,菌落总数、大肠菌群和霉菌均未检出。表明优化工艺所制作的面包各项理化指标合格,符合国家标准。

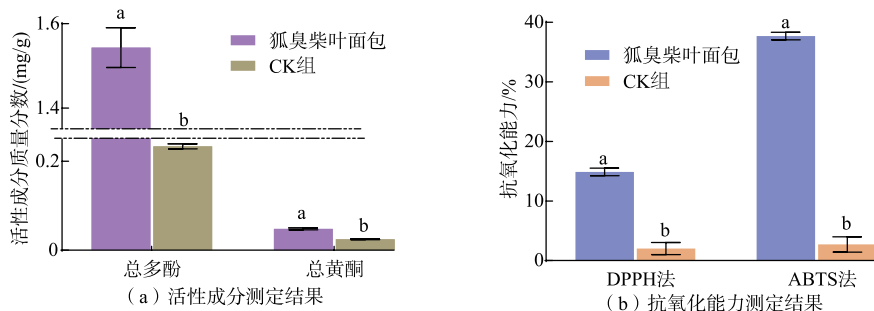
表 11 面包理化指标测定结果

Table 11 Comparison of measurement results of physicochemical indicators of bread

组别	水分质量分数/%	酸度/°T	比容/(mL/g)	菌落浓度/(CFU/g)	大肠菌群浓度/(CFU/g)	霉菌浓度/(CFU/g)
CK 组	35.41±0.01 ^b	1.44±0.10 ^b	3.32±0.03 ^b	—	—	—
最优工艺组	40.31±0.01 ^a	2.49±0.58 ^a	4.26±0.01 ^a	—	—	—

测定总黄酮质量分数的芦丁标准曲线为: $y=0.496x+0.0392$, $R^2=0.9991$;测定总多酚质量分数的没食子酸标准曲线为: $y=0.0075x+0.0676$, $R^2=0.9991$ 。代入标准曲线,结果见图 1,狐臭柴叶面包的总黄酮为 0.05 mg/g、总多酚为 1.54 mg/g,均显著

高于 CK 组(总黄酮 0.02 mg/g、总多酚 0.23 mg/g)。狐臭柴叶本身含有丰富的黄酮和多酚类物质,故狐臭柴叶汁的添加提高了面包中的多酚和黄酮,此外,乳酸菌发酵也能释放出酚类物质,使面包中的多酚进一步提高。



图中不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

图 1 面包功能成分和抗氧化能力对比图

Fig. 1 Comparison chart of functional components and antioxidant capacity of bread

狐臭柴叶面包的抗氧化能力显著高于 CK 组,DPPH 自由基清除能力提高了 6.38 倍,ABTS 自由基清除能力提高了 12.95 倍,说明狐臭柴叶发酵面包拥有更好的抗氧化能力。通过对比发现,狐臭柴叶发酵面包抗氧化能力与活性物质质量分数变化一致,可能由于面包内所含多酚、黄酮等活性物质均有较强的抗氧化能力。此外狐臭柴叶所含果胶等多糖类物质进一步提高了面包的抗氧化活性^[30]。

3 结 语

通过单因素实验探究狐臭柴叶汁料液比、乳酸菌添加量、酵母添加量、白砂糖添加量、烘烤时间、

烘烤温度对面包综合评分的影响,确定各因素的适宜范围,利用正交实验对面包制作工艺进行优化。结果表明,当狐臭柴叶汁料液比为 1 g:8 mL、乳酸菌添加量为 100 mL、酵母菌添加量为 700 mL、烘烤时间为 25 min 时,制作的面包综合评分最高。对照国家标准对狐臭柴叶面包的理化指标进行分析,发现其水分质量分数、酸度、比容以及微生物数目均符合国家标准,且狐臭柴叶面包的活性物质质量分数及抗氧化能力均高于对照组。狐臭柴叶发酵面包的制备充分利用了植物资源,丰富了食品市场,为野生植物产业化发展提供了依据。

参考文献:

- [1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志 - 第三十一卷[M]. 北京: 科学出版社, 1982: 86-87.
- [2] 安传相. 狐臭柴的研究进展[J]. 农技服务, 2018, 35(6): 69-72.
AN C X. Research progress of *Fagopyrum odoratum*[J]. **Agricultural Technology Service**, 2018, 35(6): 69-72. (in Chinese)
- [3] 李扬, 杨宁线, 谢国芳, 等. Plackett-Burman 联用响应面法优化超声波 - 酸法提取狐臭柴果胶工艺[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(13): 210-218.
LI Y, YANG N X, XIE G F, et al. Technology optimization on ultrasonic-acid extracting pectin from *Premna puberula* Pamb by Plackett-Burman combined with response surface methodology[J]. **Food and Fermentation Industries**, 2021, 47(13): 210-218. (in Chinese)
- [4] YANG N X, WANG D P, GENG Y Y, et al. Structure, physicochemical characterisation and properties of pectic polysaccharide from *Premna puberula* Pamb[J]. **Food Hydrocolloids**, 2022, 128: 107550.
- [5] 杨宁线, 阳娇, 王艳秋, 等. 贵州狐臭柴不同部位提取物及其抗氧化活性[J]. 食品与机械, 2021, 37(8): 180-184.
YANG N X, YANG J, WANG Y Q, et al. Flavonoid constituents and antioxidant activities of crude ethanolic extracts from different tissues of *Premna puberula* Pamb. in Guizhou[J]. **Food and Machinery**, 2021, 37(8): 180-184. (in Chinese)
- [6] 马荣琨, 林鑫艳. 紫米保健面包的研制[J]. 食品工业, 2021, 42(10): 5-8.
MA R K, LIN X Y. Development of purple rice health care bread[J]. **The Food Industry**, 2021, 42(10): 5-8. (in Chinese)
- [7] 李来泉, 张子茜. 山药薏米面包制备工艺研究[J]. 粮食与饲料工业, 2021(6): 16-20.
LI L Q, ZHANG Z X. Study on the processing technology of Yam *Coix lacryma-jobi* bread[J]. **Cereal and Feed Industry**, 2021(6): 16-20. (in Chinese)
- [8] ALOTAIBI H N, ANDERSON A K, SIDHU J S. Influence of lutein content of marigold flowers on functional properties of baked pan bread[J]. **Annals of Agricultural Sciences**, 2021, 66(2): 162-168.
- [9] OMEDI J O, HUANG J, HUANG W N, et al. Suitability of pitaya fruit fermented by sourdough LAB strains for bread making: its impact on dough physicochemical, rheo-fermentation properties and antioxidant, antifungal and quality performance of bread[J]. **Heliyon**, 2021, 7(11): e08290.
- [10] 廖珺, 王烨军, 苏有健, 等. 茶多酚对面包纹理结构的影响[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(4): 40-47.
LIAO J, WANG Y J, SU Y J, et al. Effect of tea polyphenols on the texture of bread[J]. **Food Research and Development**, 2022, 43(4): 40-47. (in Chinese)
- [11] 郭东旭, 张康逸, 高玲玲, 等. 乳酸菌发酵酸面团对青麦仁面包品质的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(1): 61-67.
GUO D X, ZHANG K Y, GAO L L, et al. Effect of sourdough fermented by *Lactobacillus* on the quality of green wheat kernel bread[J]. **Science and Technology of Food Industry**, 2021, 42(1): 61-67. (in Chinese)
- [12] 左锋, 毛小雨, 许馨予, 等. 添加萌发绿豆粉对面包品质的影响研究[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(8): 28-34.
ZUO F, MAO X Y, XU X Y, et al. Study on effects of germination mung bean powder on bread quality[J]. **Journal of the Chinese Cereals and Oils Association**, 2020, 35(8): 28-34. (in Chinese)
- [13] 胡晓雁, 李页瑞, 袁佳, 等. 多指标综合评分法优选华蟾素提取液醇沉工艺的研究[J]. 时珍国医国药, 2012, 23(4): 1016-1019.
HU X Y, LI Y R, YUAN J, et al. Optimization of alcohol precipitation process of cinobufacini extract by multi-index comprehensive evaluation method[J]. **Lishizhen Medicine and Materia Medica Research**, 2012, 23(4): 1016-1019. (in Chinese)
- [14] 罗登林, 赵影, 徐宝成, 等. 天然菊粉对面团发酵流变学和面包品质的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(6): 26-31.
LUO D L, ZHAO Y, XU B C, et al. Effect of natural inulin on dough rheological properties and bread quality[J]. **Food Science**, 2018, 39(6): 26-31. (in Chinese)
- [15] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 面包: GB/T 20981—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [16] 武盟, 曹伟超, 程新, 等. 高产 α -半乳糖苷酶乳酸菌发酵对鹰嘴豆酸面团生化特性及其面包烘焙品质的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(10): 146-153.
WU M, CAO W C, CHENG X, et al. Effect of fermentation with high-yield α -galactosidase-producing lactic acid bacteria on biochemical properties and breadmaking characteristics of chickpea sourdough[J]. **Food Science**, 2021, 42(10): 146-153. (in Chinese)

- [17] 王志军,蔡金鑫,虞桢芳,等.天然酵母发酵对面包老化的影响[J].食品与生物技术学报,2018,37(9):924-930.
WANG Z J,CAI J X,YU Y F,et al. Effects of sourdough fermentation on bread staling[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**,2018,37(9):924-930. (in Chinese)
- [18] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准 食品中水分的测定:GB 5009.3—2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [19] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.化学试剂 标准滴定溶液的制备:GB/T 601—2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [20] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准 糕点、面包:GB 7099—2015[S].北京:中国标准出版社,2015.
- [21] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定:GB 4789.2—2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [22] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.食品安全国家标准 食品微生物学检验 大肠菌群计数:GB 4789.3—2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [23] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准 食品微生物学检验 霉菌和酵母计数:GB 4789.15—2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [24] 梁丽婷.乳酸菌发酵猕猴桃及其面包的营养与风味特性研究[D].无锡:江南大学,2021.
- [25] 中华人民共和国农业部.中华人民共和国农业行业标准 荞麦及其制品中总黄酮含量的测定:NY/T 1295—2007[S].北京:中国农业出版社,2007.
- [26] PARK Y S,NAMIESNIK J,VEARASILP K,et al. Bioactive compounds and the antioxidant capacity in new kiwi fruit cultivars [J]. **Food Chemistry**,2014,165:354-361.
- [27] 姜燕,周敏,米热依,等.百香果皮果胶提取工艺及其对面团和面包品质的影响[J].食品研究与开发,2020,41(3):102-107.
JIANG Y,ZHOU M,MI R Y,et al. Extraction of pectin from passion fruit peel and its effect on the dough and bread qualities[J]. **Food Research and Development**,2020,41(3):102-107. (in Chinese)
- [28] 方靖,余权,洗灿标.综述乳酸菌在面包发酵工艺中的应用[J].广东化工,2016,43(16):299-300.
FANG J,YU Q,XIAN C B. Review application of lactic acid bacteria in the bread making[J]. **Guangdong Chemical Industry**,2016,43(16):299-300. (in Chinese)
- [29] 段小果,李博,贺银凤.乳酸菌与酵母菌共生机理的研究进展[J].微生物学通报,2017,44(8):1988-1995.
DUAN X G,LI B,HE Y F. Progress in symbiotic mechanism between lactic acid bacteria and yeast[J]. **Microbiology China**,2017,44(8):1988-1995. (in Chinese)
- [30] WU D T,LIU W,HAN Q H,et al. Extraction optimization,structural characterization,and antioxidant activities of polysaccharides from *Cassia* seed(*Cassia obtusifolia*)[J]. **Molecules**,2019,24(15):2817.