高林林,骆勇,陈紫麟,等.响应面法优化榆黄菇/秀珍菇面包配方及品质分析[J].山西农业大学学报(自然科学版),2024,44(3):89-98.
Gao L L, Luo Y, Chen Z L,et al.Optimization of *Pleurotus citrinopileatus* / *Pleurotus geesteranus* bread formulation and quality analysis using response surface methodology[J].Journal of Shanxi Agricultural University(Natural Science Edition), 2024,44(3):89-98.
doi: 10.13842/j.cnki.issn1671-8151.202310043

响应面法优化榆黄菇/秀珍菇面包配方及品质分析

高林林[1],骆勇[1],陈紫麟[1],魏永真[1],王周利[1*],赵子丹[2*]

(1.西北农林科技大学 食品科学与工程学院,陕西 杨凌 712100;
2.宁夏农产品质量标准与检测技术研究所,宁夏 银川 750000)

摘　要:[目的]榆黄菇和秀珍菇具有丰富的营养价值和保健功能,将食用菌菇粉添加到面包中,可以弥补普通面包营养成分单一的不足,同时赋予面包不同的风味与口感。[方法]以榆黄菇和秀珍菇2种食用菌为原料,以感官评分为指标,基于单因素试验和响应面试验优化面包配方,开发营养丰富的榆黄菇/秀珍菇面包。同时测定其色泽、质构特性、蛋白质含量、酸度、比容、水分等指标。[结果]榆黄菇/秀珍菇面包的最佳工艺配方为以高筋小麦粉为基准,榆黄菇与秀珍菇混合菇粉添加量8.1%、白砂糖添加量17.4%、酵母添加量1.4%、黄油添加量14.7%、食盐添加量1.4%、水添加量55.0%,以此配方生产的榆黄菇/秀珍菇面包具有菇粉的香味、色泽偏红棕色、形态饱满、气孔大小一致,有弹性。与基础面包相比,榆黄菇/秀珍菇面包色泽变暗、偏红棕色;咀嚼性、粘附性、内聚力、回弹力和酸度增加,硬度、弹性在统计学上没有差异。比容、水分和酸度都符合GB/T 20981—2007中对面包的要求。[结论]榆黄菇/秀珍菇面包的外观形态、质构特性和色泽均在消费者所能接受的范围内,且蛋白质含量高于普通面包。本研究为食用菌菇粉面包的产品开发提供了基础的理论与数据支撑,同时也可促进榆黄菇和秀珍菇等食用菌的深加工产品开发。

关键词:榆黄菇; 秀珍菇; 面包; 配方优化; 营养价值
中图分类号:TS213.21　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1671-8151(2024)03-0089-10

榆黄菇含丰富的不饱和脂肪酸、粗蛋白、微量元素、必需氨基酸、多糖等生物活性物质[1-2],具有降低血糖、降低血脂、抗氧化、抗肿瘤等功效[3-4]。史振霞等[5]通过体外试验表明,随着多糖浓度的提高,榆黄蘑多糖的还原能力不断增强。榆黄蘑能有效抑制Lewis肺癌的生长,从而抑制肿瘤生长[6]。研究表明从榆黄菇中提取的浓度6 g·L^{-1}的可溶性蛋白对羟自由基的清除率达到94.5%,表明榆黄菇是良好的抗氧化食品[7]。另外,榆黄菇饮料能够有效降低小鼠血清中的胆固醇含量,对防治高血脂症具有良好效果[8]。秀珍菇含有低脂高比例的蛋白质,富含纤维素、多种微量元素和矿物质,其活性多糖具有抗氧化、抗肿瘤等功效,有效降低炎症、癌症等疾病的患病风险[9-10]。将榆黄菇/秀珍菇的菇粉加入面包中,不仅可以改善面包营养单一的缺点,又可以满足消费者对不同风味面包的追求。在面包中加入各种富含营养和特殊风味的物质,已经是面包等产品开发的趋势[11]。在面包中,添加各种营养成分丰富的配料,如南瓜、香菇、秋葵、豌豆、燕麦、核桃、山药、洋葱等[12],可以赋予面包不同的口感、风味,同时提高面包的营养品质。此外,也有研究显示,为增加食品中的膳食纤维含量,将主要原料小麦粉替换为马铃薯粉、藜麦、荞面、红薯及青麦粉等,对优化饮食结构有益[13]。通过对添加猴头菇粉的面包质量进行分析,发现消费者可以接受添加不超过5%的猴头菇粉生产的面包,同时提高面包的营养成分与含量[14]。前人利用传统的酸面包技术,开发出一种

收稿日期:2023-10-27　　**修回日期**:2024-02-16
基金项目:宁夏农林科学院对外科技合作专项项目(DW-X-2022001-05);宁夏自然科学基金项目(2021AACO3279)
作者简介:高林林(ORCID:0009-0008-0165-5937),硕士,研究方向:农产品加工与食品质量安全检测控制
*通信作者:王周利(ORCID:0000-0003-4970-5338),教授,博士生导师, E-mail:wzl1014@nwsuaf.edu.cn;赵子丹,助理研究员,E-mail:ddhgyjzz@163.com

以杏鲍菇为原料的功能型面包,其加入10%的杏鲍菇粉剂,可使面团的pH值、可滴定酸含量显著提高,成品的外观、颜色、香味、口感及组织形态均比不添加杏鲍菇粉的面包好;通过测定面包中维生素和微量元素含量,发现维生素B_1、B_2、B_3、维生素D、总多酚和β-葡聚糖的含量都有提高[15]。

目前,我国居民对于营养健康型食品的需求越来越高,对其功能成分的研究也越来越重视。尽管食用菌面包在国内的发展还比较缓慢,但未来发展空间大。在面包的制作过程中,加入榆黄菇和秀珍菇等食用菌粉,既可以保留食用菌特有的风味,又可以延缓碳水化合物在体内的分解,降低人体对葡萄糖的吸收,起到减肥的作用。研究和开发新型的食用菌面包,研制出口感好、营养丰富的菌类面包,既可以为消费者提供新的产品选择,也可以促进食品加工产业的发展。本研究将榆黄菇粉和秀珍菇粉作为配料开发榆黄菇/秀珍菇面包,并以面包感官评价为指标,通过响应面优化食用菌菇粉(榆黄菇、秀珍菇)、白砂糖、黄油的添加量等多种因素对榆黄菇/秀珍菇面包品质的影响,并测定榆黄菇/秀珍菇面包的色泽、质构、蛋白质含量、酸度、比容、水分等指标,从而优化榆黄菇/秀珍菇面包配方,旨在为多功能面包的产品开发及食用菌的深加工利用提供理论和数据支撑。

1 材料和方法

1.1 试验材料

秀珍菇和榆黄菇,来源于云南昆明,采购于昆明菌都农业科技有限公司;高筋小麦粉,由益海嘉里食品营销有限公司提供;高糖性高活性干酵母,由河北马利食品有限公司提供;海藻碘精制盐,由陕西省盐业专营公司提供;白砂糖,由西安攀峰顺达商贸有限公司提供;黄油,由山东培元粮油食品有限公司提供。

YB-1000A型高速多功能粉碎机:永康市速峰工贸有限公司;SJ2-933型电烤炉:江苏省三麦食品机械有限公司;M6型多功能搅拌机:青岛汉尚电器有限公司;DHG-9146A型电热恒温鼓风干燥箱:上海精宏试验设备有限公司;TA.XT PLUS/50型物性测定仪:英国STABLEMICVO公司;CS-820分光测色仪:杭州彩谱科技有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 工艺流程

本试验工艺流程如图1所示,具体流程有:

(1)菇粉的制备:使用1200 W微波干燥食用菌,含水量为5%,过100目筛,榆黄菇粉和秀珍菇粉等比混合即为试验所用菇粉。

(2)面团的调制:将菇粉与高筋小麦粉、白砂糖、酵母粉共搅2 min,随后加入黄油、盐和水,持续搅拌均匀。当面团具有一定的弹性和延展性,表面有光泽,用手拉拽面团至薄薄的一层,不会出现断裂的状况,颜色较为均匀时,则表明搅拌完毕[16]。

(3)发酵:将搅拌充分的面团揉至圆形放入发酵箱,温度为28~30 ℃,空气湿度为85%~90%,发酵40 min。面团间保持一定距离,以免发酵后体积增大发生粘连[17]。

(4)醒发:取出发酵充分的面团,用擀面棍进行擀压排气,把面胚放到醒发箱里充分醒发,温度设置为38~42 ℃,直至面团变为原体积的2~3倍,迅速把它放到烤箱里进行烘烤[18]。

(5)焙烤:面包胚放到烤箱中,上层温度设置成180 ℃,下层温度设置成190 ℃(榆黄菇/秀珍菇粉本身颜色较深,故面包表面不是特别需要高温上色),烘烤约20 min。

(6)冷却:在烘烤结束后立即取出,面包的内部温度很高,通过室温自然冷却,使得面包水分蒸发均匀,冷却后进行包装,即为成品。

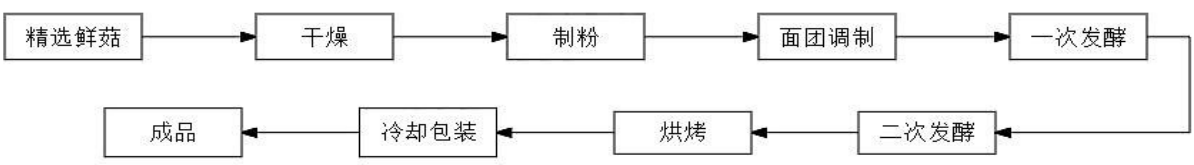

图1 工艺流程图

Fig.1 Process flow diagram

1.2.2　面包品质测定

(1)感官评价

选择10名食品专业人员对榆黄菇/秀珍菇面包的不同感官指标进行打分,包括形态、色泽、滋味与口感、组织结构等,满分50分,具体感官评分依据见表1。

表1　榆黄菇/秀珍菇面包的感官评价表

Table 1　Sensory evaluation table of *P. citrinopileatus* and *P. geesteranus* bread

指标 Index	评分细则 Scoring rubric	分数 Full mark
形态(满分10分)	面包外观完好,没有白点和斑点	8～10
	较完好,表面较光滑,没有明显的白色和斑点	5～7
	面包外形不完整,薄厚不均匀	0～4
色泽(满分10分)	表面颜色为均匀的黄棕色,表面光滑	8～10
	表面颜色为淡黄色或浅褐色,轻微烤焦和变白	5～7
	面包颜色异常,不均匀,无光泽	0～4
滋味与口感(满分15分)	面包绵软,香味明显,具有独特菇粉味	11～15
	面包偏硬,香味不明显	6～10
	坚硬,有异味,菇粉味太重	0～5
组织结构(满分15分)	面包气孔大小一致,呈海绵状纹理	11～15
	面包气孔大小较一致,纹理较清晰	6～10
	面包气孔大小不一致,纹理不清晰	0～5

(2)面包比容的测定

面包的比容采用置换法进行测定[19]。测量面包质量m(g)时,取一个容积稍大于面包体积的容器,将小米装满容器并标记,留少量小米在容器中,其余转移到另一个容器,再将面包称重放入,用小米装满面包与容器之间的缝隙直至与标记平齐;此时,另一个容器中余下的小米体积为面包的体积,记作V(mL)。面包比容S(mL·g^{-1})的计算如下:

$$S=V/m$$

(3)面包瓤的色泽

将面包切为厚度为2 cm的薄片,采用CS-820分光测色仪分别测定面包瓤L*值、a*值、b*值[20]。

(4)面包质构参数的测定

将面包切成厚度为2 cm的薄片,设定质构仪的参数如下:探头类型为TA-AACC 36,目标形变量为40%,测试速度和返回速度均为0.1 cm·s^{-1},循环次数为2.0,负载单元为25 000 g,触发点负载为5.0 g[21]。测定面包的硬度、弹性、咀嚼型、粘度等相关指标。

(5)含水量测定

将面包放入101～105 ℃的干燥箱中加热,然后重复干燥、冷却和称量,直到前后2次质量差不超过2 mg,即为恒重。

(6)酸度的测定

用破碎机将面包粉碎,至破碎细度为95%以上时过孔径为0.425 mm(40目)的CQ16筛,收集粉碎后的试样。称取一定质量的粉碎面包,记为m,移入250 mL容量瓶中,定容摇匀,过滤,将滤液移至三角瓶中,加入酚酞指示剂,用0.1 mol·L^{-1}氢氧化钠标液滴至红色30 s不变色。面包酸度的计算公式下。

$$X=c(V-V_0)1000/m$$

式中,X为面包的酸度,°T;c为氢氧化钠标准液的浓度,mol·L^{-1};V_0为氢氧化钠标准液的初始体积,mL;V为氢氧化钠标准液滴定后的体积,mL;m为称取面包的质量,g。

(7)总蛋白含量的测定

将已混匀的面包试样放入消解管中进行消解,在自动凯氏定氮仪上完成总蛋白质含量的测定。

1.2.3　单因素试验设计

以高筋小麦粉为基准,以感官评分作为评价指标,进行单因素试验,研究菇粉(秀珍菇、榆黄菇1:1混合)、酵母、白砂糖、黄油、水和食盐的用量对面包品质的影响,同时制作不添加菇粉的基础面包作为对照。选用控制变量法,考察菇粉(4.0%、6.0%、8.0%、10.0%、12.0%)、酵母(1.0%、1.2%、1.4%、1.6%、1.8%)、白砂糖(10.0%、12.0%、14.0%、16.0%、18.0%)、黄油(8.0%、10.0%、12.0%、14.0%、16.0%)、水(51.0%、53.0%、55.0%、57.0%、59.0%)和食盐(1.2%、1.4%、1.6%、1.8%、2.0%)的用量对面包感官品质的影响。

1.2.4　响应面试验

在单因素基础上,以感官评分作为评价指标,选择对面包感官品质影响较大的3个因素进行响应面试验。表2为响应面试验因素水平设计表。

表2 响应面试验因素与水平设计

Table 2 Factors and levels of response surface experiment

水平 Level	因素 Factor		
	A 菇粉添加量/% Appending proportions of Mushroom powder	*B* 白砂糖添加量/% Appending proportions of white sugar	*C* 黄油添加量/% Appending proportions of butter
−1	6.0	14.0	12.0
0	8.0	16.0	14.0
1	10.0	18.0	16.0

1.3 统计分析

使用SPSS 20.0进行 Duncan方差分析;使用OriginPro 2021软件作图。

2 结果

2.1 单因素试验结果

单因素试验结果见表3。

菇粉添加量对面包感官品质的影响:榆黄菇/秀珍菇面包的感官评分在菇粉添加量为8.0%时达到最高;进一步加大菇粉添加量,菇粉的颜色较深,有鲜味,味道略带苦味,经过发酵之后,其酸味会有所增强,过量的菇粉会导致面包的苦味和酸味增大,同时还会产生微量的刺激性气味。

酵母添加量对面包感官品质的影响:榆黄菇/秀珍菇面包感官评分随酵母添加量的增加呈现先升高后降低的趋势,面包感官评分在酵母添加量1.4%时最高,过多的酵母使面包略微有酸苦味,并形成刺激性气味,致使面包品质显著降低[22]。酵母添加量少于1.4%时,面团发酵不充分,蓬松度不足,导致面包气孔小,质地偏硬、可接受度降低。

白砂糖添加量对面包感官品质的影响:白砂糖为酵母在面团中生长提供营养成分,白砂糖的加入对面包的组织形态、色泽和风味有很大的影响。随着白砂糖用量的增大,美拉德反应增强,加上榆黄菇粉和秀珍菇粉颜色的叠加,导致面包色泽加深。表3表明,面包的感官评分随白砂糖添加量的增加整体呈现上升的趋势;但当白砂糖用量超过16.0%时,会出现厚重的甜腻感,使得消费者难以接受。白砂糖可以加快美拉德反应和焦糖化反应速率,使面包的表皮色泽更加诱人[23]。白砂糖添加量过少会导致面团发酵不充分、口感差、面包色泽暗淡以及组织结构差[24]。

黄油添加量对面包感官品质的影响:黄油可有效改善面团的柔韧性,改善面包香气[25]。由表3可见,黄油量较少时,面包香气不足,菇粉特殊性风味明显,面包品质较差,随着黄油添加量的增加,面包的表皮变得柔软、细腻,菇粉的特殊性风味得到中和,风味适中,面包富有弹性、坚韧、光滑。当黄油的加入量大于14.0%时,就会出现一种特殊的松软、粘稠、无弹性、形状不美观的现象,入口后充满油腻的口感,可接受度降低。

水添加量对面包感官品质的影响:如表3所示,在水添加量55.0%时面包感官品质较好;当水过少时,面团难成型,随着水添加量的升高,面团在搅拌时成型更容易,所需时间更短,面团形态更圆润、更美观,质地更均匀;当水添加过多,面团水分过高,面包醒发效果变差,在烘烤时面包更易形成硬壳,严重阻碍体积膨大,致使面包蓬松度很低。

食盐添加量对面包感官品质的影响:适量食盐的添加有利于改善面包的品质,具有淡淡的咸味,与白砂糖的甜味进行中和,同时还能增加面筋强度,从而改善口感和增加面包风味;当添加量稍多时,面包咸味过重,严重影响面包的口感。

2.2 响应面试验结果

2.2.1 响应面设计与试验结果

响应面试验设计及感官评分结果见表4。对其数据进行回归分析得出回归模型方程:

$$Y=39.64-0.51A+0.73B+0.69C+0.93AB+0.13AC+0.35BC-1.61A^2-0.65B^2-1.35C^2$$

式中,A、B、C、Y分别表示的是菇粉添加量、白砂糖添加量、黄油添加量、感官评分。

2.2.2 显著性检验及方差分析

回归模型的方差分析见表5,模型的P值小于0.01,模型的决定系数$R^2=0.9539$,由变量引起的感官评分值变异占95.39%,能较好地反映出榆黄菇/秀珍菇面包感官评分与各影响因素之间的关系;失拟项P值$=0.6002>0.05$,回归模型显著的2项条件都得到了证实,说明该模型是可靠的。可对榆黄菇/秀珍菇面包的配方进行预测。其中,A、B、C、AB、A^2、B^2、C^2在$P<0.05$水平上显著,对食用菌面包感官评分有显著影响($P<0.05$)。由F值可知,各因素对榆黄菇/秀珍菇面包感官评分的影响大小顺序为:B(白砂糖添加量)>C(黄油添加量)>A(菇粉添加量)。

表3　不同原料添加量对榆黄菇/秀珍菇面包感官品质的影响

Table 3　Effects of different amounts of raw material on the sensory quality of *P. citrinopileatus*/*P. geesteranus* bread

	不同原料添加量/% Different amount of raw materials	水平1 Level 1	水平2 Level 2	水平3 Level 3	水平4 Level 4	水平5 Level 5
因素1	菇粉	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0
	感官评分	37.87±0.09d	38.79±0.10b	40.67±0.09a	38.41±0.18c	36.17±0.13e
因素2	酵母	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8
	感官评分	38.58±0.15b	39.86±0.12a	40.17±0.14a	39.83±0.26a	38.66±0.21b
因素3	白砂糖	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0
	感官评分	35.68±0.12e	37.49±0.19d	40.00±0.20c	41.22±0.21a	40.61±0.12b
因素4	黄油	8.0	10.0	12.0	14.0	16.0
	感官评分	35.36±0.13e	37.81±0.10d	39.53±0.10b	40.36±0.14a	39.20±0.06c
因素5	水	51.0	53.0	55.0	57.0	59.0
	感官评分	38.37±0.15c	39.26±0.15b	40.49±0.10a	39.17±0.15b	38.33±0.15c
因素6	食盐	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
	感官评分	39.08±0.15b	40.30±0.10a	40.16±0.25a	39.27±0.15b	38.97±0.15b

注:同一列中标示的不同小写字母表示检验结果差异显著性($P<0.05$)

Note: The different lowercase letters marked in the same column indicated the significanct difference at $P<0.05$

表4　响应面试验设计及结果

Table 4　Response surface test design and results

试验号 Test number	*A* 菇粉添加量/% Appending proportions of Mushroom powder	*B* 白砂糖添加量/% Appending proportions of white sugar	*C* 黄油添加量/% Appending proportions of butter	感官评分 Sensory scores
1	6.0	14.0	14.0	38.22±0.32
2	10.0	14.0	14.0	35.55±0.48
3	6.0	18.0	14.0	37.33±0.83
4	10.0	18.0	14.0	38.40±0.77
5	6.0	16.0	12.0	36.80±0.89
6	10.0	16.0	12.0	35.30±0.80
7	6.0	16.0	16.0	37.78±0.67
8	10.0	16.0	16.0	36.80±0.83
9	8.0	14.0	12.0	36.25±0.22
10	8.0	18.0	12.0	37.50±0.56
11	8.0	14.0	16.0	37.06±0.41
12	8.0	18.0	16.0	39.72±0.70
13	8.0	16.0	14.0	40.25±0.48
14	8.0	16.0	14.0	39.30±0.48
15	8.0	16.0	14.0	39.18±0.10
16	8.0	16.0	14.0	39.25±0.43
17	8.0	16.0	14.0	40.20±0.28

2.2.3　双因素的交互作用分析

以 *Y* 感官评分为指标,对 *A* 菇粉添加量、*B* 白砂糖添加量、*C* 黄油添加量3个影响因素进行交互作用分析,结果见图2～图4。菇粉、白砂糖、黄油

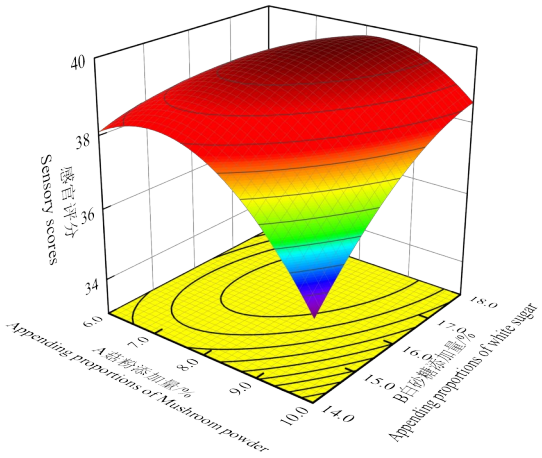

图2　菇粉添加量与白砂糖添加量的交互作用

Fig.2　The interaction between mushroom powder addition and white granulated sugar addition

添加量3种不同因素的交互作用对榆黄菇/秀珍菇面包感官评分的影响。各因素交互的响应面图均为曲面且开口都朝下,说明响应值存在极值[26]。响应面图的坡度越大,表明因素对榆黄菇/秀珍菇面包的感官评分影响越大,坡度越小则影响程度越低。响应面图中投射到底面的等高线越接近椭圆则表示2因素之间有越明显的交互作用,反之接近正圆表示2因素交互作用不明显。通过响应面

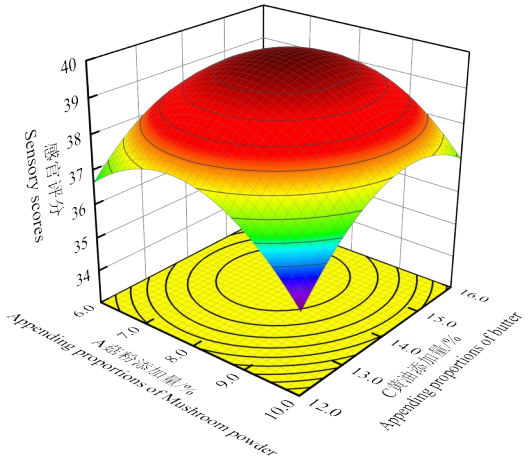

图3 菇粉添加量与黄油添加量的交互作用

Fig.3 The interaction between mushroom powder addition and butter addition

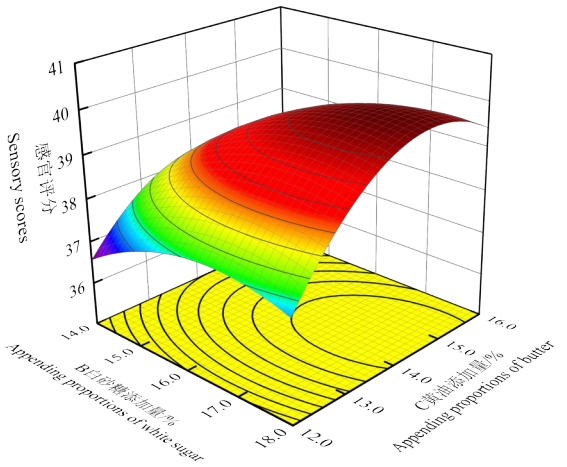

图4 白砂糖添加量与黄油添加量的交互作用

Fig.4 The interaction between the amount of white granulated sugar and butter

图及等高线图表明菇粉用量与白砂糖用量的交互作用对榆黄菇/秀珍菇面包感官评分的影响显著[27],与方差分析的结果一致。

表5 回归模型的方差分析

Table 5 Regression model analysis of variance

方差来源 Source of variance	平方和 Quadratic sum	自由度 Degree of freedom	均方 Mean square	*F*值 *F* value	*P*值 *P* value	显著性 Significance
模型	36.73	9	4.08	16.10	0.000 7	极显著
A	2.08	1	2.08	8.21	0.024 2	显著
B	4.31	1	4.31	16.99	0.004 5	极显著
C	3.80	1	3.80	14.97	0.006 1	极显著
AB	3.50	1	3.50	13.79	0.007 5	极显著
AC	0.068	1	0.068	0.27	0.621 5	
BC	0.50	1	0.50	1.96	0.204 2	
A^2	10.94	1	10.94	43.14	0.000 3	极显著
B^2	1.77	1	1.77	7.00	0.033 1	显著
C^2	7.72	1	7.72	30.46	0.000 9	极显著
残差	1.77	7	0.25			
失拟项	0.61	3	0.20	0.70	0.600 2	不显著
纯误差	1.16	4	0.29			
总误差	38.51	16				
	R^2=0.953 9	R^2_{adj}=0.896 4				

注:$P<0.01$,差异极显著;$P<0.05$,差异显著

Note: $P<0.01$, the difference was extremely significant; $P<0.05$, the difference was significant

2.2.4 验证试验

对榆黄菇/秀珍菇面包进行配方优化后的最佳配方为:榆黄菇与秀珍菇混合菇粉添加量8.1%、白砂糖添加量17.4%、酵母添加量1.4%、黄油添加量14.7%、食盐添加量1.4%、水添加量55.0%,此条件下榆黄菇/秀珍菇面包的理论评分为39.99。利用优化后的榆黄菇/秀珍菇面包最佳工艺配方进行验证试验,感官评分平均值为40.12,与理论感官评分39.99分很接近,说明利用响应面回归方程拟合良好,榆黄菇/秀珍菇面包配方优化工艺参数有较好的可信度。

2.3　榆黄菇与秀珍菇面包的品质

通过对基础面包(不添加菇粉的面包)和最佳配方生产的榆黄菇/秀珍菇面包进行色泽、质构特性、理化指标、营养指标的比较,以验证榆黄菇/秀珍菇面包的是否达到市售要求。

2.3.1　面包色泽对比

榆黄菇/秀珍菇面包与基础面包的色泽对比见表6。与基础面包相比,榆黄菇/秀珍菇面包的亮度值显著降低,红绿值和黄蓝值显著增加,说明添加了榆黄菇/秀珍菇的面包与基础面包在色泽上存在一定差异,面包色泽变暗、偏红棕色。

表6　面包的色泽分析

Table 6　Bread color analysis

面包类型 Bread	亮度值(L*) Luminance value	红绿值(a*) Red－green value	黄蓝值(b*) Yellow blue value	总色差(ΔE*) Total chromatic aberration
基础面包	77.37±1.21	－0.36±0.13	12.30±0.82	
榆黄菇/秀珍菇面包	59.78±1.47*	4.95±0.20*	18.60±0.71*	19.42±0.11

注:*表示与基础面包比较,差异显著($P<0.05$)

Note:* indicated the significant difference compared to whole wheat bread at $P<0.05$

2.3.2　面包质构特性、理化指标、营养指标对比

榆黄菇/秀珍菇面包与基础面包在硬度、咀嚼性、粘附性、弹性等质构指标方面的差异见表7,在水分、酸度、比容和蛋白质含量上的差异如表8所示。在质构方面,榆黄菇/秀珍菇面包的咀嚼性、粘附性、内聚力、回弹力显著高于基础面包,酸度和蛋白质含量略增,可能是因为榆黄菇、秀珍菇中存在更容易结合游离酸的物质以及丰富的蛋白质含量。利用此配方生产的榆黄菇/秀珍菇面包的比容、水分和酸度均符合GB/T 20981-2007中对面包的要求。

表7　面包的质构特性

Table 7　Texture properties of bread

面包类型 Bread	硬度 Hardness	咀嚼性 Chewing property	粘附性 Adhesivity	弹性 Elasticity	内聚力 Cohesion	回弹力 Screen resilience
基础面包	195.90±10.03	66.80±11.77	－36.20±0.64	0.74±0.06	0.46±0.02	0.19±0.00
榆黄菇/秀珍菇面包	212.12±28.97	110.23±4.55*	－48.11±3.13*	0.82±0.01	0.60±0.00*	0.26±0.01*

注:*表示与基础面包比较,差异显著($P<0.05$)

Note:* indicated the significant difference compared to whole wheat bread at $P<0.05$

表8　面包的水分、酸度、比容和蛋白质含量

Table 8　The moisture, acidity, specific volume and protein content of bread

面包类型 Bread	水分/% Moisture content	比容/($mL\cdot g^{-1}$) Specific volume	酸度/T° Acidity	总蛋白质含量/($g\cdot kg^{-1}$) Total protein content
基础面包	29.14±0.73	3.54±0.12	2.85±0.49	76.76±5.89
榆黄菇/秀珍菇面包	28.42±0.52	2.42±0.11*	6.62±0.64*	78.52±6.01

注:*表示与基础面包比较,差异显著($P<0.05$)

Note:*indicated the significant difference compared to whole wheat bread at $P<0.05$

3　讨论

榆黄菇和秀珍菇富含蛋白质、维生素、矿物质等大量人体必需的营养成分,榆黄菇/秀珍菇菇粉的添加有效提高面包的营养品质和赋予面包榆黄菇/秀珍菇的独特香味,对面包的色泽、质构等的影响也均在消费者可接受的范围内。有研究表明,通过比较秀珍菇、银耳、猴头菇这3株食用真菌的抗氧化能力,秀珍菇的抗氧化能力最强,有望成为食品行业最具潜力的天然抗氧化剂之一,其提

取物可作为新型抗炎药物[28]。100 μg·mL^{-1}的榆黄菇多糖能够较好地通过提高糖原含量和葡萄糖消耗量来改善HepG2细胞胰岛素抵抗,具有较好的降血糖生物活性[29]。目前,榆黄菇和秀珍菇等大多数食用菌主要是鲜食或干制,其深加工产品较少,本研究利用微波干燥后的榆黄菇和秀珍菇粉为原料,通过单因素试验和响应面优化试验,对榆黄菇/秀珍菇面包的配方进行了改进与优化,并达到了理想效果。本研究只选择了面包具有代表性的理化性质进行检测,后续可以进行其它品质的检测,如膳食纤维含量,脂肪酸比例等,旨在更全面地分析榆黄菇/秀珍菇菇粉对面包品质的影响。本研究为榆黄菇/秀珍菇食用菌功能性面包的精深加工提供参考依据,同时也为榆黄菇、秀珍菇食用菌的深加工产品开发提供新思路。

4 结论

本研究通过单因素试验和响应面试验,获得榆黄菇与秀珍菇面包最佳配方,以高筋小麦粉为基准,榆黄菇与秀珍菇混合菇粉添加量8.1%、白砂糖添加量17.4%、酵母添加量1.4%、黄油添加量14.7%、食盐添加量1.4%、水添加量55.0%,以此配方制备的面包口感松软、具有独特菇粉味、结构完整、色泽均匀、气孔大小均一。与基础面包相比,榆黄菇/秀珍菇面包色泽变暗、偏红棕色;咀嚼性、粘附性、内聚力、回弹力和酸度略增加,硬度、弹性、水分没有统计学上的差异;比容、水分和酸度均符合GB/T20981-2007中对面包各项指标的要求。

参 考 文 献

[1]熊芳,郑闽江,刘新锐,等. SCAR标记技术鉴别榆黄蘑品种[J]. 基因组学与应用生物学,2010,29(3):593-597.
Xiong F, Zheng M J, Liu X R, et al. Identification of *Pleurotus citrinopileatus* breed variety by using SCAR marker technology [J]. Genomics and Applied Biology, 2010, 29(3): 593-597.

[2]王玥玮,王麒琳,张立娟. 榆黄蘑营养成分及其生物活性的研究进展[J]. 食品研究与开发,2017,38(4):201-203.
Wang Y W, Wang Q L, Zhang L J. Research advance on nutritional ingredient and biological activity of *Pleurotus citrinipileatus* sing[J]. Food Research and Development, 2017, 38(4): 201-203.

[3]陶明煊,王峰,刘俊,等. 金顶侧耳多糖降血糖作用研究[J]. 食品科学,2009,30(15):227-230.
Tao M X, Wang F, Liu J, et al. Hypoglycemic effect of *Pleurotus citrinopileats* polysaccharide[J]. Food Science, 2009, 30(15): 227-230.

[4]宋鸽,包海鹰. 金顶侧耳对饮食性高血脂症小鼠的降血脂作用[J]. 食用菌学报,2013,20(1):84-88.
Song G, Bao H Y. Hypolipidemic effect of *Pleurotus citrinopileatus* extracts on diet-induced hyperlipidemic mice[J]. Acta Edulis Fungi, 2013, 20(1): 84-88.

[5]史振霞,闫训友,杨许丽,等. 液体发酵金顶侧耳多糖体外抗氧化活性的研究[J]. 食品科技,2013,38(3):188-191.
Shi Z X, Yan X Y, Yang X L, et al. Antioxidant activities *in vitro* of *Pleurotus citrinopileat* polysaccharide by liquid fermentation[J]. Food Science and Technology, 2013, 38(3): 188-191.

[6]刘亚庆. 榆黄蘑的抗肿瘤作用及机制研究[D]. 长春:吉林大学,2016.
Liu Y Q. The anti-tumor effect and mechanisms of Pleurotus citrinopileatus [D]. Changchun: Jilin University, 2016.

[7]杨芳,吕玲玲,施溯筠. 榆黄蘑可溶性蛋白的提取及其对羟自由基的清除作用[J]. 延边大学学报(自然科学版),2012,38(2):142-145.
Yang F, Lü L L, Shi S J. Extracting technology of soluble protein of *Pleurotus citrinopileatus* and its antioxidant activities on hydroxyl radicals [J]. Journal of Yanbian University (Natural Science Edition), 2012, 38(2): 142-145.

[8]郑超楠,金在久,施溯筠. 榆黄蘑饮料对小鼠实验性高脂血症的降脂作用[J]. 食品工业科技,2012,33(5):369-371.
Zheng C N, Jin Z J, Shi S J. Lowing-lipid effect of *Pleurotus citrinopileatus* beverage on hyperlipoidemia in mice[J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(5): 369-371.

[9]Jin M H, Xie Y, Xie P L, et al. Physicochemical and functional properties of *Pleurotus* geesteranus proteins[J]. Food Research International, 2022, 162(Pt A): 111978.

[10]Zhang M, Zhu L, Cui S W, et al. Fractionation, partial characterization and bioactivity of water-soluble polysaccharides and polysaccharide-protein complexes from *Pleurotus* geesteranus[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2011, 48(1): 5-12.

[11]张可欣,蒋慧,汤晓娟,等. 复合酶制剂对甜酒酿面包发酵烘焙特性的影响[J]. 食品科学,2018,39(1):16-21.
Zhang K X, Jiang H, Tang X J, et al. Effect of enzyme combinations on baking properties of bread with fermented glutinous rice[J]. Food Science, 2018, 39(1): 16-21.

[12]Piechowiak T, Grzelak-Błaszczyk K, Bonikowski R, et al. Optimization of extraction process of antioxidant compounds from yellow onion skin and their use in functional bread production[J]. LWT - Food Science and Technology, 2020, 117: 108614.

[13]王婷婷,张国治. 面包品质研究进展[J]. 粮食加工,2021,46(4):25-30.
Wang T T, Zhang G Z. Research progress of bread quality [J]. Grain Processing, 2021, 46(4): 25-30.

[14]朱雯,梁建芬. 猴头菇粉在面包中的应用研究[J]. 食品科技,2022,47(8):110-116.

Zhu W, Liang J F. Adaption of *Hericium erinaceus* powder in bread making[J]. Food Science and Technology, 2022, 47(8):110-116.

[15]Cirlincione F, Venturella G, Gargano M L, et al. Functional bread supplemented with *Pleurotus eryngii* powder: a potential new food for human health[J]. International Journal of Gastronomy and Food Science, 2022, 27:100449.

[16]徐莉莉,高云胜,银晓. 猴头菇高品质面包工艺参数优化研究[J]. 粮食与油脂,2021,34(1):35-38.
Xu L L, Gao Y S, Yin X. Study on optimization of process parameters of *Hericium erinaceus* high quality bread[J]. Cereals & Oils, 2021, 34(1):35-38.

[17]王娜,吴娜娜,谭斌,等. 糙米干法和湿法微粉碎对面团及面包品质的影响[J]. 中国食品学报,2020,20(1):166-171.
Wang N, Wu N N, Tan B, et al. Effect of micro-grinding of brown rice flour by dry and wet methods on the quality of dough and bread[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(1):166-171.

[18]钟雅云,吴磊燕,周锦枫,等. 藜麦粉对冷冻面团特性及其面包品质的影响[J]. 现代食品科技,2019,35(12):112-121.
Zhong Y Y, Wu L Y, Zhou J F, et al. Effect of quinoa on the behavior and bread quality of frozen dough[J]. Modern Food Science and Technology, 2019, 35(12):112-121.

[19]吴玉新,张可欣,蒋慧,等. 不同发酵时间甜酒酿面团的超微结构与面包香气特征研究[J]. 食品工业科技,2019,40(2):29-36.
Wu Y X, Zhang K X, Jiang H, et al. Research on ultrastructure of dough and aroma characteristics of bread containing glutinous rice fermented at different fermentation time[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(2):29-36.

[20]庄海宁,高林林,冯涛,等. 猴头菇/香菇β-葡聚糖对面包品质和淀粉消化性的影响[J]. 食品工业科技,2017,38(4):152-157.
Zhuang H N, Gao L L, Feng T, et al. The influence of β-glucan from *Hericium erinaceus* and *Lentinus edodes* on the qualities and *in vitro* starch digestibility of white bread[J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(4):152-157.

[21]Roccia P, Ribotta P D, Pérez G T, et al. Influence of soy protein on rheological properties and water retention capacity of wheat gluten[J]. LWT - Food Science and Technology, 2009, 42(1):358-362.

[22]申亚军. 高品质香菇面包生产工艺研究[J]. 粮食与油脂,2020,33(6):51-53.
Shen Y J. Study on the production process of high quality mushroom bread[J]. Cereals & Oils, 2020, 33(6):51-53.

[23]侯贺丽,杨玲玲,王梦月,等. 鹰嘴豆粉面包的加工工艺优化及品质分析[J]. 食品研究与开发,2022,43(9):48-55.
Hou H L, Yang L L, Wang M Y, et al. Optimization of chickpea powder bread processing technology and quality analysis[J]. Food Research and Development, 2022, 43(9):48-55.

[24]高瑞萍,向思怡,吴振,等. 响应面法优化番茄粉面包制作工艺[J]. 食品工业,2022,43(12):38-43.
Gao R P, Xiang S Y, Wu Z, et al. Optimization of tomato powder bread making process by response surface methodology[J]. The Food Industry, 2022, 43(12):38-43.

[25]刘晓媛,陈秋怡,孙鹤,等. 马铃薯-木瓜面包的研制[J]. 食品安全导刊,2023(11):163-168.
Liu X Y, Chen Q Y, Sun H, et al. Development of potato-papaya bread[J]. China Food Safety Magazine, 2023(11):163-168.

[26]张臣飞,夏秋良,尹乐斌,等. 响应面法优化大豆纤维蔓越莓饼干配方研究[J]. 食品研究与开发,2017,38(3):75-80.
Zhang C F, Xia Q L, Yin L B, et al. The formula optimization of soy bean dregs fiber and cranberry biscuit with response surface methodology[J]. Food Research and Development, 2017, 38(3):75-80.

[27]李扬,陈雅妮. 响应面试验优化羊奶果代餐饼干的加工工艺[J]. 食品工业,2020,41(6):185-188.
Li Y, Chen Y N. Response surface test to optimize the processing technology of *Elaeagnus conferta* roxb. meal cookie[J]. The Food Industry, 2020, 41(6):185-188.

[28]邓艺恒,黄永铭,冯亚栋等.3种食用菌抗氧化抗发炎的对比研究[J].食品工业,2023,44(08):102-106.
Deng Y H, Huang Y M, Feng Y D, et al.Comparative Study on antioxidant and anti-inflammatory effects of three edible fungi[J]. Journal of food industry, 2023, 44(08):102-106.

[29]郝亚利. 榆黄菇菌多糖的提取、结构表征及降血糖活性研究[D]. 天津:天津科技大学,2020.
Hao Y L. Extraction, structural characterization and hypoglycemic activity of polysaccharide from *Pleurotus eryngii*[D]. Tianjin: Tianjin University of Science & Technology, 2020.

Optimization of *Pleurotus citrinopileatus* / *Pleurotus geesteranus* bread formulation and quality analysis using response surface methodology

Gao Linlin[1], Luo Yong[1], Chen Zilin[1], Wei Yongzhen[1], Wang Zhouli[1*], Zhao Zidan[2*]

(*1.College of Food Science and Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100, China; 2.Institute for Agri-food Standards and Testing Technology, Yinchuang 750000, China*)

Abstract: [Objective] *Pleurotus citrinopileatus* and *Pleurotus geesteranus* possess rich nutritional value and health benefits. Adding edible mushroom powder to bread can supplement the insufficient nutritional components of ordinary bread and impart differ-

ent flavors and textures to the bread. have rich nutritional value and health care function. Adding edible mushroom powder to bread can make up for the deficiency of single nutrient composition of ordinary bread, and give bread different flavor and taste. [Methods] Using *P. citrinopileatus* and *P. geesteranus* as raw materials and sensory evaluation as the index, bread formulations were optimized based on single-factor experiments and response surface test to develop nutrient-rich *P. geesteranus* bread. Meanwhile, color, texture characteristics, protein content, acidity, volume ratio, moisture content, and other indicators were measured. [Results] The optimal process formulation for *P. geesteranus* bread was based on high-gluten wheat flour, with 8.1% mixed mushroom powder of *P. citrinopileatus* and *P. geesteranus*, 17.4% granulated sugar, 1.4% yeast, 14.7% butter, 1.4% salt, and 55.0% water. Bread produced with this formulation had the aroma of mushroom powder, reddish brown color, full shape, uniform pore size, and elasticity. Compared with basic bread, *P. citrinopileatus* / *P. geesteranus* bread showed darker color, reddish-brown hue, increased chewiness, adhesiveness, cohesiveness, springiness, and acidity, with no statistically significant differences in hardness and elasticity. Volume ratio, moisture content, and acidity met the requirements of GB/T20981-2007 for bread. [Conclusion] The appearance, texture characteristics, and color of *P. geesteranus* bread were within the acceptable range for consumers, and the protein content was higher than that of ordinary bread. This study provides theoretical and data support for the development of mushroom powder bread products and promotes the deep processing of *P. citrinopileatus*, *P. geesteranus* and other edible fungi products.

Keywords: *Pleurotus citrinopileatus*, *Pleurotus geesteranus*, Bread, Formula optimization, Nutritional value

(编辑:韩志强)