

响应面优化大麦苗粉馒头配方及营养成分分析*

粟立丹,何洁,彭德川,何江红*

(四川旅游学院食品学院,成都 610100)

摘要:为研究开发一款新型大麦苗粉中式面点产品,以大麦苗粉、高筋面粉为主要原料,以感官评价为指标,通过单因素实验确定最佳大麦苗粉添加量、白砂糖添加量、水添加量和酵母添加量。在此基础上,以综合品质评分为指标,利用响应面实验进行配方优化,并对产品进行营养成分分析。结果表明,大麦苗粉馒头的最佳配方为:大麦苗粉添加量 14.00%,水添加量 70.00%,白砂糖添加量 7.50%,酵母添加量 2.00%。通过测定,大麦苗粉馒头的总膳食纤维含量为 7.29 g/100 g,蛋白质含量为 7.18 g/100 g,氨基酸总含量为 6.70 g/100 g。在此条件下,得到的大麦苗粉馒头香气浓郁,色泽翠绿,营养丰富。

关键词:响应面;大麦苗粉;馒头;配方优化;营养成分

中图分类号:TS 213.23

文献标志码:A

文章编号:1007-6395(2022)01-0037-05

大麦苗是禾本科植物大麦的幼苗,大麦苗粉是摘取大麦生长初期 15~30 cm 的嫩芽,经割青、清洗、杀青、干燥及粉碎等工艺制作而成的粉末^[1]。大麦苗粉营养丰富,不仅含有丰富的蛋白质、氨基酸、维生素、矿物质和膳食纤维等营养成分,还富含叶绿素、类黄酮、抗氧化酶等功能性成分^[2]。超氧化歧化酶(SOD)、过氧化氢酶等酶类物质具有清除自由基、分解体内毒素等功能^[3];膳食纤维和黄酮类化合物具有调节血糖、降血脂、抗疲劳及增强机体免疫等功能^[4]。

馒头是以小麦粉、水和酵母经揉面、发酵蒸制而成的面食,是中国的传统主食之一,具有简单易操作、价格低廉、营养健康等优点,深受消费者喜爱^[5]。研究表明,馒头中不含丙烯酰胺等有害成分,与烘焙食品相比具有低脂肪、低热量的营养特点^[6]。随着健康饮食的日益重视,人们对馒头的品质要求日益增高,不仅要求其具有较好的感官品质,还更注重其营养价值。因此,本研究将大麦苗粉应用于馒头的研究中,制成一款大麦苗粉馒头,既可以增加馒头的花色、风味和品种,还可充分利用大麦苗粉中的黄酮、膳食纤维等成分,提高馒头的营养价值,进一步扩大发酵面制品的研究范围,为市场提供一款新型健康的发酵面制品。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

大麦苗粉,江苏摄亚生物科技有限公司;高筋面

*基金项目:四川省教育厅自然科学一般项目(18ZB0436);四川省大学生创新创业训练计划项目(S201911552114)

收稿日期:2021-09-26

作者简介:粟立丹(1989-),女,讲师,硕士研究生,研究方向:食品加工及风味分析。

通讯作者:何江红(1967-),女,教授,本科,研究方向:食品加工。

粉,河北金沙河集团公司;白砂糖,广州福正东海食品有限公司;干酵母,泡打粉,安琪酵母股份有限公司;猪油,展艺集团有限公司。

1.2 仪器与设备

醒发箱,广东格兰仕生活电器商业有限公司;和面机,小熊电器股份有限公司;电磁炉,北京开创同和科技发展有限公司;TMS-Pro 质构仪,北京盈盛恒泰科技有限责任公司;Hauswirt HE-56 电子秤,青岛汉尚电器有限公司;SC-80C 全自动色差仪,北京康光光学仪器有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 基础配方

大麦苗粉馒头的基本配方为:高筋面粉 200 g、猪油 6 g、泡打粉 2 g、大麦苗粉、酵母、水和白砂糖为变量。

1.3.2 工艺流程

大麦苗粉馒头的工艺流程见图 1。



图 1 工艺流程

1.3.3 操作要点

调制面团:将高筋面粉、干酵母(温水融化)、泡打粉、白砂糖、大麦苗粉均匀混合后加猪油,加水调制面团,时间控制在 8 min,调制制成干湿均匀的絮状,不粘手、可握成团。

成型:揉至表面光滑,静置 5 min,面团表面盖上湿毛巾(在 35 °C 的条件下),然后搓条下剂,将面

团搓成直径约3 cm的圆条,用刀分割成长约6 cm馒头坯。

醒发:将切好的馒头坯放置到醒发箱醒发30 min,醒发箱温度38 ℃,相对湿度为70%。

蒸制:大火沸水蒸制12 min,关火后在蒸锅内闷5 min后开盖,取出自然冷却得馒头成品。

1.3.4 单因素实验

在预实验的基础上,以高筋面粉200 g为基准,设计单因素实验,以馒头感官评分为指标,分别研究大麦苗粉添加量(10 g、20 g、30 g、40 g、50 g)、水添加量(120 g、130 g、140 g、150 g、160 g)、白砂糖添加量(5 g、10 g、15 g、20 g、25 g)、干酵母添加量(2 g、3 g、4 g、5 g、6 g)对大麦苗粉馒头品质的影响。

1.3.5 响应面实验

根据单因素实验结果,采用Box-Behnken模型选取大麦苗粉、水、白砂糖、干酵母4个因素中3个主要因素设计响应面实验,以综合品质指数(Y)作为响应值,对大麦苗粉馒头配方进行优化。响应面实验设计因素及参数见表1。

表1 响应面实验设计因素及参数 %

水平	因素		
	大麦苗粉 X_1	水 X_2	白砂糖 X_3
-1	10	65	5
0	15	70	7.5
1	20	75	10

1.4 评价指标测定

1.4.1 比容

馒头的比容按照方程式: $S_v=V/M$ 进行计算,式中: S_v 表示馒头比容,单位为mL/g; M 表示馒头质量,单位为g; V 表示馒头体积,单位为mL。每组测3个平行样,结果取其平均值。

1.4.2 感官评价

参照GB/T 17320-2013《小麦品种品质分类》附录A的实验室馒头评定方法,并略调整,选取10(5男5女)名经过感官评定训练评价员,以馒头外观、色泽、结构、弹韧性、黏性及风味为评定指标,进行感官评价,评定结果取平均分。感官评定标准见表2。

表2 感官评价标准表

项目	分值	评分标准
外观	20	光滑对称、有形状感 16~20分;皱缩扁平 8~15分;有塌陷不对称 0~7分
色泽	20	青绿色、颜色自然均匀 18~20分;暗绿色、黄绿色,色泽均匀 15~17分;色泽深暗,不均匀 0~14分
结构	20	气孔细小而均匀 16~20分;气孔过于细密且结构不均匀 11~15分;有大气孔,结构粗糙 8~11分;边缘与表皮有分离 0~7分
弹韧性	20	回弹快,能复原,可压缩1/2以上,咬劲强弹韧性 15~20分;咬劲弱,无弹性 8~14分;手指按压困难,感觉较硬 0~7分
黏性	10	爽口不粘牙 7~10分;粘牙 0~7分
风味	10	淡青麦香味,无异味 10分;中等 8分;有异味,涩苦味 0~6分

1.4.3 质构分析

将新制备的大麦苗粉馒头冷却后,切成厚2 cm,边长3 cm的长方体,参照程晶晶等^[7]的方法并略作调整,对馒头质构进行测定。测试条件为:探头型号为P/27柱型探头,样品与探头底端距离保持在3~5 cm;测试前速率1 mm/s;测试中速率1 mm/s;测试后速率2 mm/s;两次下压间隔停留时间5 s,形变量50%,触发力5 g。每个样品重复测5次,去掉最高值和最低值后,最终结果取其平均值。

1.4.4 综合品质指数的确定

参照宋璐杉等^[8]的综合评价方法,选取感官、比容和内聚性对成品馒头的品质进行综合性分析。综合品质指数CQI(Comprehensive quality index)的具体评定公式如下:

$$CQI=0.515 \times \text{感官} + 0.275 \times \text{比容} + 0.21 \times \text{内聚性}$$

为使感官、比容和内聚性三个指标具有等效性

和可比性,需对三个指标进行统一化处理。其中:感官为实际感官分值;比容为实际比容 $\times 250/7$;内聚性为实际内聚性 $\times 100$ 。

1.4.5 营养成分分析

参照GB 5009.88-2014《食品安全国家标准 食品中膳食纤维含量的测定》中的测定方法,分别测定馒头空白组及大麦苗粉馒头的总膳食纤维含量。

参照GB 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中的检测方法,分别测定空白组馒头及大麦苗粉馒头的蛋白质含量。

参照GB 5009.124-2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》中的检测方法,分别测定空白组馒头及大麦苗粉馒头的氨基酸含量。

1.5 数据统计分析

数据统计、作图采用Microsoft Excel 2010软件和Origin 8.0软件处理,响应面数据采用Design Ex-

per 8.0 处理,用 SPSS22.0 软件进行相关数据分析。

2 结果与分析

2.1 单因素实验结果

2.1.1 大麦苗粉添加量对馒头感官品质的影响

从图 2 可以看出,大麦苗粉的添加量对馒头的感官评分有明显影响,随着大麦苗粉添加量递增,感官总分先增加后减少。当大麦苗粉添加量达到 15% 时,此时大麦苗粉馒头的色泽最佳,馒头组织细密,富有弹性,滋味口感最好,感官评分也达到最大值。当添加量低于 15% 时,大麦苗粉添加量较少,对馒头的感官品质影响不明显,与传统馒头差别不大。当添加量大于 15% 时,大麦苗粉馒头色泽加深,表面粗糙,硬度增大,开始黏牙,咀嚼性差,感官评分开始下降。因此,大麦苗粉的最适添加量为 15%。

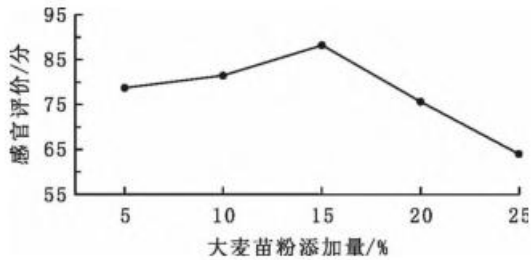


图 2 大麦苗粉添加量对馒头感官的影响

2.1.2 水添加量对馒头感官品质的影响

从图 3 可知,馒头的感官评分随着水的添加量的不同,呈现先增大、后减小的趋势,加水量较少时,各种原料与水混合呈絮状,面团难以搓圆整型,蒸出的馒头表面不平整,馒头干瘪、发硬、不松软及弹性差。而当加水量较大时,面团稀软,粘度大,持气性差,外型不易保持,易塌陷。因此,和面时水的最适添加量为 70%。

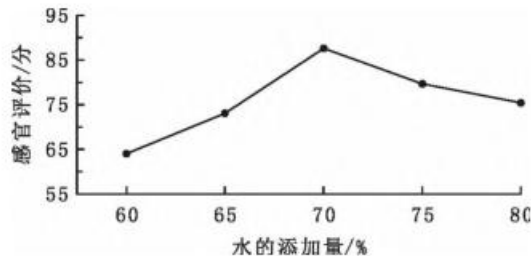


图 3 水添加量对馒头感官品质的影响

2.1.3 白砂糖添加量对馒头感官品质的影响

从图 4 可以看出,随着白砂糖添加量的逐步递增,感官评分先增加、后减少。当白砂糖添加量达到 7.5% 时,此时大麦苗粉馒头在色泽,组织,口感,外形,香气都具有最大值,此时感官总分也达到最大值,当白砂糖添加量低于 7.5%,馒头甜味不够,大麦

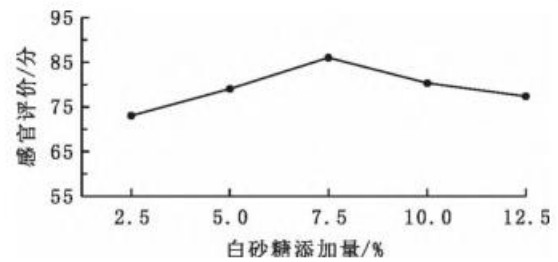


图 4 白砂糖添加量对馒头感官品质的影响

苗粉的青草味过大,滋味不够丰富。当白砂糖添加量高于 7.5% 时,大麦苗粉馒头甜度增加,掩盖了大麦苗的风味,滋味口感也开始下降,感官总分开始减小。因此白砂糖添加量为 7.5%。

2.1.4 酵母添加量对馒头感官品质的影响

从图 5 可以看出,随着酵母添加量的逐步递增,感官评分略有变化。当酵母添加量达到 2% 时,此时大麦苗粉馒头在色泽、组织、口感、外形及香气都具有最大值,此时感官总分也达到最大值,当酵母添加量低于 2%,馒头不够蓬松,发酵香味不突出,滋味不够丰富。当酵母添加量高于 2% 时,大麦苗粉馒头发酵过度,发酵产气、产酸增加,馒头组织过于蓬松,且掩盖了大麦苗的风味,滋味口感也开始下降,感官总分开始减小。因此酵母添加量在 2% 左右最佳。

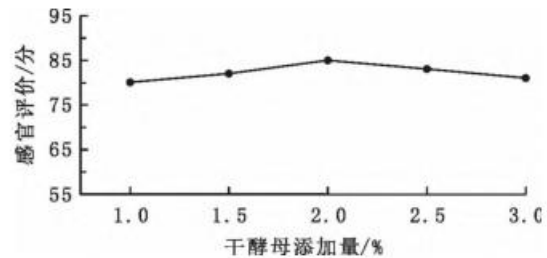


图 5 酵母添加量对馒头感官品质的影响

2.2 响应面实验结果

2.2.1 响应面模型的建立和方差分析

根据单因素实验结果,利用 Box-Behnken 设计实验方案。取综合品质指数 CQI(Y)为响应值,选取大麦苗粉添加量(X_1)、水分添加量(X_2)、白砂糖添加量(X_3)三个因素进行响应面优化实验,完成 3 个因素和 3 个水平共 17 次实验,实验中的析因实验为 12 次,而通过另外 5 次中心点重复实验估计误差^[9]。实验结果见表 3,方差分析见表 4。

运用软件对表 3 中的数据进行二次多元回归拟合分析,得到馒头配方与综合品质指数之间的二次多项回归方程为:

$$Y = 85.4 - 6.85X_1 + 4.00X_2 - 0.85X_3 + 1.13X_1X_2 - 0.96X_1X_3 + 0.76X_2X_3 - 13.24X_1^2 - 10.53X_2^2 - 10.62X_3^2$$

由表 4 可知,对大麦苗粉馒头建立的模型 $P <$

表3 响应面实验设计与结果

实验号	X ₁	X ₂	X ₃	感官	比容	内聚性	综合得分 Y/分
1	0	1	-1	78.0	65.00	50.33	68.62
2	0	0	0	95.0	84.64	61.00	85.01
3	0	0	0	94.8	88.57	61.00	85.99
4	0	1	1	82.1	61.79	46.33	69.00
5	0	0	0	96.0	84.64	61.00	85.53
6	-1	0	1	78.0	62.50	51.67	68.21
7	1	-1	0	57.0	50.71	33.00	50.23
8	1	0	-1	68.0	50.83	40.33	57.47
9	-1	-1	0	71.1	66.31	52.00	65.77
10	0	-1	1	64.3	53.33	43.67	56.95
11	0	0	0	93.0	82.86	59.00	83.07
12	0	0	-1	82.0	60.83	47.67	68.97
13	-1	1	0	85.0	60.36	49.00	70.66
14	1	1	0	74.1	48.45	39.33	59.74
15	0	-1	-1	71.6	55.24	42.67	60.20
16	1	0	1	63.6	47.50	30.33	52.19
17	0	0	0	94.0	92.86	62.00	86.97

表4 回归方程的方差分析

方差来源	平方和	自由度	均值	F值	P值	显著性
模型	2 393.84	9	265.98	147.72	<0.0001	**
X ₁	375.38	1	375.38	208.47	<0.0001	**
X ₂	127.68	1	127.68	70.91	<0.0001	**
X ₃	5.78	1	5.78	3.21	0.1163	
X ₁ X ₂	5.11	1	5.11	2.84	0.0360	*
X ₁ X ₃	3.69	1	3.69	2.05	0.0495	*
X ₂ X ₃	2.28	1	2.28	1.27	0.2976	
X ₁ ²	738.37	1	738.37	410.06	<0.0001	**
X ₂ ²	466.65	1	466.65	259.16	<0.0001	**
X ₃ ²	474.66	1	474.66	263.61	<0.0001	**
残差误差	12.60	7	1.80			
失拟项	3.40	3	1.13	0.49	0.7059	
纯误差	9.20	4	2.30			
所有项	2 406.45	16				
R ²	0.9948					
R ² adj	0.9880					

注:*表示差异显著,P<0.05;**表示差异极显著,P<0.01

0.0001,说明不同实验组别间差异极显著,大麦苗粉添加量(X₁)、水添加量(X₂)、白砂糖添加量(X₃)之间存在显著的线性关系,方法具有较高的可靠性。失拟项差异不显著(P=0.7059>0.05),表明预测值拟合度好,实验误差小。模型拟合系数R²=0.9948,校正拟合系数R²adj=0.9880,表明模型拟合程度较好^[10]。因此该模型适用于大麦苗粉馒头的配方优化。由显著性分析结果可知,一次项X₁、X₂,二次项X₁²、X₂²、X₃²对Y值有极显著影响,交互项X₁X₂、X₁X₃对Y值影

响显著,交互项X₂X₃对Y值影响不显著。进一步分析F值的大小可知,对大麦苗粉馒头综合品质影响程度大小为:大麦苗粉添加量(X₁)>水分添加量(X₂)>白砂糖添加量(X₃)。

2.2.2 最优配方的确定及验证实验

通过软件分析可以得出大麦苗粉馒头的最佳配方为:大麦苗粉添加量13.80%,水添加量70.10%,白砂糖添加量7.40%,在此条件下,综合品质评分可达86.97。考虑实际操作的可行性,验证试验将响应因素值调整为大麦苗粉添加量14.0%,水添加量70.00%,白砂糖添加量7.50%,在此条件下得到大麦苗粉馒头综合品质评分可达(87.19±0.12),平均值与预测值的误差为0.12%。因此说明此响应面实验设计合理,具有现实性。

2.3 大麦苗粉馒头营养成分分析

2.3.1 大麦苗粉对馒头总膳食纤维含量的影响

按照响应面优化后的最佳配方制作大麦苗粉馒头(实验组)和空白对照馒头(对照组),结合文中1.4.5中的方法对2个样品进行总膳食纤维的检测,检测结果为:对照组总膳食纤维含量为4.62 g/100 g,实验组总膳食纤维含量为7.29 g/100 g。由此可见,大麦苗粉馒头总膳食纤维含量远远高于空白对照组,说明大麦苗粉能有效提高馒头中膳食纤维含量,可以促进人体膳食纤维摄入。

2.3.2 大麦苗粉对馒头蛋白质含量的影响

结合文中1.4.5中的方法对实验组和对照组2个样品进行蛋白质含量的检测,检测结果为:对照组蛋白质含量为7.51 g/100 g,实验组蛋白质含量为7.18 g/100 g。由此可见,大麦苗粉的添加对馒头中蛋白质含量无明显影响。

2.3.3 大麦苗粉对馒头氨基酸种类的影响

结合文中1.4.5的方法对实验组和对照组2个样品进行氨基酸含量的检测,检测结果如表5所示。

由表5可知,实验组的氨基酸总量为6.70 g/100 g,对照组的氨基酸总量为6.39 g/100 g,二者氨基酸总量差异不明显。但大麦苗粉的添加对组氨酸、异亮氨酸、缬氨酸、丙氨酸、精氨酸、天门冬氨酸、赖氨酸、甘氨酸、亮氨酸和苏氨酸的含量有一定提升,尤其是赖氨酸含量比对照组增加了46%,赖氨酸为小麦粉的第一限制氨基酸,决定蛋白质的质量,人体缺少赖氨酸会直接影响机体对蛋白质的利用^[11]。因此,在馒头中添加大麦苗粉,补充了小麦粉氨基酸含量缺陷。丰富了馒头氨基酸种类和含量,更好地维持人们的饮食营养平衡,进一步促进人们的身体健康。

表5 大麦苗粉馒头氨基酸含量

氨基酸种类	含量(g/100 g)	
	对照组	实验组
组氨酸	0.11	0.13
酪氨酸	0.20	0.16
异亮氨酸	0.19	0.23
缬氨酸	0.21	0.26
丙氨酸	0.23	0.27
脯氨酸	0.96	0.87
精氨酸	0.23	0.25
天门冬氨酸	0.26	0.35
赖氨酸	0.13	0.19
丝氨酸	0.31	0.32
谷氨酸	2.17	2.13
甘氨酸	0.21	0.25
蛋氨酸	0.13	0.12
亮氨酸	0.54	0.59
苯丙氨酸	0.35	0.38
苏氨酸	0.16	0.20
氨基酸总量	6.39	6.70

3 结论

本研究通过单因素实验和响应面实验,结合综合品质指数评价分析,得到了大麦苗粉馒头的综合品质评分与大麦苗粉添加量、水添加量以及白砂糖添加量的模型。通过馒头配方与综合品质评分之间的二次多项回归方程 $Y = 85.4 - 6.85 X_1 + 4.00 X_2 - 0.85 X_3 + 1.13 X_1 X_2 - 0.96 X_1 X_3 + 0.76 X_2 X_3 - 13.24 X_1^2 - 10.53 X_2^2 - 10.62 X_3^2$,能够较好地预测实验结果。通过响应面优化得到最佳配方为:大麦苗粉添加量14.00%,水添加量70.00%,白砂糖添加量7.50%,各因素对馒头综合品质评分影响程度大小为:大麦苗粉添加量>水分添加量>白砂糖添加量。

与传统馒头相比,在馒头中添加大麦苗粉,对馒

头的品质有一定改善,使产品色泽翠绿,口感清新,香气浓郁,并带有大麦苗特殊的芳香。同时提高了馒头中膳食纤维的含量和氨基酸总含量,对增加消费者每日膳食纤维和氨基酸的摄入量起到一定的促进作用。研究表明,大麦苗粉馒头具有独特的品质特征和食用价值,实验结果开拓了大麦苗粉的应用,丰富了馒头种类,为大麦苗粉馒头的进一步研究和工业生产提供了配方优化和营养分析的理论基础。

参考文献:

- [1] 张明,马超,王崇队,等.不同粉碎粒度对大麦苗粉体品质和加工特性的影响[J].食品科技,2019,44(7):224-228.
- [2] 鲜瑶,张雷,宋戈,等.大麦苗粉营养保健功能的研究进展[J].中国食物与营养,2016,22(11):73-76.
- [3] 张雪,边传周,唐桂芬,等.酵母菌和双歧杆菌发酵对大麦苗SOD及抗氧化活性的影响[J].保鲜与加工,2021,21(4):41-47.
- [4] 鲜瑶,宋戈,廖侠,等.大麦苗粉调节血糖血脂的临床研究[J].营养学报,2017,39(3):307-309.
- [5] 刘晓芳,王岸娜,吴立根.响应面法优化粗杂粮馒头的最优配比研究[J].河南工业大学学报(自然科学版),2021,42(1):42-48.
- [6] 曹伟伟,黄庆德,田光晶,等.脱毒亚麻饼粉对馒头品质的影响[J].现代食品科技,2016(11):190-196.
- [7] 程晶晶,王军.红小豆超微全粉对馒头品质的影响[J].食品研究与开发,2017,38(17):80-84.
- [8] 宋璐杉,钟志欣,贾洪锋,等.葡萄叶粉在馒头中的应用研究[J].粮食与油脂,2019,32(12):73-77.
- [9] 李东红,周大宇,杨晋杰,等.响应面法优化无麸质谷物馒头制备工艺条件及其质构特性研究[J].食品研究与开发,2020,41(24):96-102.
- [10] 李少辉,赵巍,张爱霞,等.响应面优化小米馒头工艺及品质特性相关分析[J].食品科技,2020,45(10):162-168.
- [11] 卢伟,陆宁.大麦苗粉中氨基酸组成及含量[J].食品与机械,2018,34(10):35-39.

Optimization of Steamed Bread Formula with Barley Seedling Powder by Response Surface Methodology and Analysis of Nutritional Components

SU Lidan, HE Jie, PENG Dechuan, HE Jianghong

(College of Food, Sichuan Tourism University, Chengdu 610100, China)

Abstract: In order to research and develop a new type of barley seedling powder Chinese pastry product, the best addition of barley seedling powder, sugar, water and yeast were determined by single factor experiment method, with barley seedling powder and high gluten flour as the main raw materials. The sensory evaluation was carried out for the index marks. On this basis, we got the comprehensive quality score, and the response surface methodology was used to optimize the formula. The work also analyzed the nutritional components of the bread. The results showed that the best formula of steamed bread with barley seedling powder was: barley seedling powder 14.00%, water 70.00%, sugar 7.50%, yeast 2.00%. The amounts of total dietary fiber, protein and amino acid were 7.29 g / 100 g, 7.18 g / 100 g and 6.70 g / 100 g respectively as analyzed in the work. Under these conditions, the steamed bread specifically added with barley seedling powder has the best aroma, green color and rich nutrition.

Key words: response surface methodology, barley seedling powder, steamed bread, formulation optimization, nutrients