

# 响应面优化小米馒头工艺及品质特性相关分析

李少辉<sup>1</sup>, 赵 巍<sup>1</sup>, 张爱霞<sup>1</sup>, 李朋亮<sup>1</sup>, 张佳丽<sup>1</sup>, 王运亭<sup>1</sup>, 孙立永<sup>2\*</sup>, 刘敬科<sup>1\*</sup>  
(1.河北省农林科学院谷子研究所, 国家谷子改良中心, 河北省杂粮研究实验室, 河北石家庄 050035; 2.河北省协同创新中心, 河北石家庄 050000)

**摘要:** 为提高小米馒头品质质量, 利用响应面分析法对其生产工艺进行了优化。在单因素试验的基础上, 选取酵母添加量、发酵时间和发酵温度进行了3因素3水平的Box-Behnken中心组合设计研究, 以馒头感官总评分为响应值, 通过Design Expert 8.0.6软件响应面分析法确定了小米馒头的最佳生产工艺。结果表明, 各因素对小米馒头品质的影响顺序为发酵时间>酵母添加量>发酵温度, 所得最佳工艺参数为酵母添加量1.1%、发酵时间45 min和发酵温度29 °C。另外, 相关性分析显示在不同条件对馒头品质质构特性、比容及色度参数L\*、a\*、b\*产生影响中, 感官评分与馒头硬度、弹性、胶黏性、咀嚼性呈极显著正相关, 与b\*呈显著负相关。此研究为小米馒头的生产提供理论依据。

**关键词:** 小米馒头; 响应面分析; 品质; 感官评价; 相关性分析

中图分类号: TS 213.21 文献标志码: A 文章编号: 1005-9989(2020)10-0162-06

DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2020.10.027

## Optimization of Millet Steamed Bread Processing by Response Surface Method and Its Quality Characteristics Correlation Analysis

LI Shaohui<sup>1</sup>, ZHAO Wei<sup>1</sup>, ZHANG Aixia<sup>1</sup>, LI Pengliang<sup>1</sup>, ZHANG Jiali<sup>1</sup>,  
WANG Yunting<sup>1</sup>, SUN Liyong<sup>2\*</sup>, LIU Jingke<sup>1\*</sup>

(1. Institute of Millet Crops, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, National Foxtail Millet Improvement Center, Minor Cereal Crops Laboratory of Hebei Province, Shijiazhuang 050035, China; 2. Hebei Collaborative Innovation Center, Shijiazhuang 050000, China)

**Abstract:** The process has been optimized based on response surface method to improve the quality of millet steamed bread. Experimental factors and their levels were determined through single factor method tests. The center combination experimental design of Box-Behnken has been applied to investigate the

收稿日期: 2020-05-21

\*通信作者

基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项资金项目(CARS-06-13.5-A29); 河北省科技支撑计划项目(19227129D); 河北省农林科学院创新工程课题(2019-2-2); 石家庄市科学技术研究与发展计划项目(201170032A)。

作者简介: 李少辉(1986—), 男, 河北高邑人, 硕士, 助理研究员, 研究方向为谷物化学及加工技术。

supplementation level of yeast, the time of fermentation, the temperature of fermentation varying in 3 levels on the sensory score of steamed bread. The optimum combination was obtained by software Design Expert 8.0.6 through response surface analysis. Experimental results showed the affecting order of 3 factors on sensory score was the time of fermentation, the temperature of fermentation and the supplementation level of yeast. The optimum parameters were the quantity of yeast containing 1.1%, the time of fermentation 45 min and fermentation temperature 29 °C. In addition, correlation analysis showed that under different conditions affecting the quality texture characteristics, specific volume and color parameters  $L^*$ ,  $a^*$  and  $b^*$  of steamed bread, sensory score was highly and positively correlated with hardness, springiness, gumminess, chewiness and negatively correlated with  $b^*$  of steamed bread. This study provided data for the production of millet steamed bread.

**Key words:** millet steamed bread; response surface analysis; quality characteristics; sensory evaluation; correlation analysis

馒头是中国传统发酵主食，是中华民族饮食文化的象征<sup>[1]</sup>。在北方的面食消费饮食中，馒头占1/2以上，其在全国面制品中亦占有举足轻重的地位<sup>[2]</sup>。在经济水平和健康营养理念双双提升的现代化社会，馒头的制作与原料营养配制也随之提高，出现了加入荞麦<sup>[3]</sup>、藜麦<sup>[4]</sup>、燕麦<sup>[5]</sup>和小米<sup>[6]</sup>等杂粮粉以平衡营养的产品。

小米富含维生素、氨基酸等多种营养元素且均衡，其作物谷子为中国特色杂粮，抗旱耐瘠，易于管理，在我国华北、西北、东北等地区均有栽培<sup>[7]</sup>。目前小米多以原粮形式供人们初级消费，深加工产品较少。随着杂粮主食产品的发展，以小米馒头为代表的产品呼之欲出，这既延长了谷子的产业链，又满足了人们的膳食营养需求。馒头品质是其消费的关键，已有学者在馒头品质评价和馒头质量的研究中发现小米馒头在30%添加量时有较好的感官评价<sup>[8]</sup>，但试验表明添加量及面团的发酵时间和温度都会影响馒头的感官品质<sup>[9-10]</sup>，要提高馒头的感官品评总分，必须协调好馒头体积、比容与外观、结构、弹韧性间的相互关系<sup>[11]</sup>。可见馒头的品质与多种因素相关，有必要进行系统深入研究。

鉴于目前专门针对小米馒头工艺优化和加工品质的报道较少，文章将以添加小米粉的馒头为研究对象，对不同的发酵时间、酵母添加量、发酵温度进行响应面优化实验，并检验其对馒头质构特性、比容和色度等品质参数的影响，以期为小米馒头的产业化研究与生产提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 主要材料与试剂

特制一级麦芯粉：金沙河面业集团有限责任公司；高活性干酵母：安琪酵母股份有限公司；冀谷37谷子：河北省农林科学院谷子研究所。

### 1.2 主要仪器与设备

TMS-Pro质构仪：美国FTC公司；IKA MF10粉碎机：德国IKA集团；标准检验筛(100目)：浙江上虞市华丰五金仪器有限公司；AG285电子天平：梅特勒-托利多上海仪器有限公司；恒温培养箱：美国PERCIVAL科技公司；KENWOOD和面机：英国凯伍德集团公司；双层复底蒸锅、电磁炉：美的集团公司。

### 1.3 试验方法

1.3.1 馒头的制作方法 将冀谷37谷子脱壳并粉碎过筛，筛出80目米粉，按30%的比例添加，与小麦面粉混匀。取混合好的面粉300 g，在室温条件下，加入水150 mL、适量酵母，放入和面机，先用最低档和匀，再用一档和面10 min至面团均匀。然后将柔和均匀的光滑面团放入一定温度的培养箱发酵若干分钟。醒发后平均分为6份用模具制成圆形。再将其放入锅中蒸30 min，馒头出锅后，冷却1 h，将冷却的馒头进行比容、色度、质构测定。

1.3.2 馒头比容和色度测定 用体积置换法测量比容(体积/质量, mL/g)，以D65光源和10°视场对馒头色度进行测定，由 $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 表示(其中 $+a^*$ 表示红色， $-a^*$ 表示绿色， $+b^*$ 表示黄色， $-b^*$ 表示蓝色， $L^*$ 表示明度)。

1.3.3 馒头质构测定 MS-Pro质构仪TPA测试使用的量程为500 N；测试探头：75 mm压盘式探头；馒头的TPA测试的操作模式：压力测定；测试速率：30 mm/min；压缩形变量：30%；触发类型设

置: Auto; 起点触发力: 0.5 N; 数据采集频率: 100 Hz。从TPA实验得参数值: 硬度、黏附性、内聚性、弹性、胶黏性、咀嚼性。

1.3.4 馒头评价标准与方法 参考温继平等<sup>[12]</sup>的方法制定感官评价标准, 稍有改动, 具体见表1。蒸制好的馒头在室温下放置45 min, 组织有相关感官品评经验的专业人员据表1进行感官品评(3男3女)。

表1 馒头感官品评标准打分表

项目	满分	评价标准	得分
表面色泽	15	色泽浅淡、大致呈现淡黄色, 颜色均匀12~15分; 色泽较深, 大致呈现暗黄色8~12分; 色泽深、大致呈黄棕色, 且颜色不均匀6~8分。	
表面结构	10	表面均一光滑7~10分; 皱缩、塌陷、有气泡、略有凹点或大烫斑3~7分; 严重皱缩、塌陷、有烫斑、孔洞2~6分。	
外观形状	15	对称、挺拔、有球形感10~15分; 扁平或不对称6~9分	
内部结构	15	气孔细密均匀12~15分; 气孔过于细密但均匀, 结构相对粗糙8~12分; 有大气孔、结构很粗糙5~8分。	
弹性	15	回弹快、能复原、可压缩1/2以上12~15分; 手指按压回弹弱或不回弹8~12分; 有大气孔、结构很粗糙5~11分; 手指按压困难, 感觉较硬5~8分。	
韧性	15	咬劲强12~15分; 咬劲弱且掉渣或咀嚼干硬, 无弹性7~11分。	
黏性	10	爽口不黏牙8~10分; 稍黏或黏3~7分。	
气味	5	具米香味5分; 基本无异味3~4分; 有异味1~3分。	
总分	100		

1.3.5 响应面试验设计 分别以小米馒头加工中不同的发酵温度、发酵时间及酵母添加量进行单因素试验, 考察以上单因素对小米馒头感官品质的影响。根据Box-Behnken的中心组合试验设计原理, 在各单因素试验基础上, 以馒头感官品评总分为响应值, 利用Design Expert 8.0.6软件设计3因素3水平试验, 相应编码如表2所示。

表2 试验因素及水平编码表

因素	水平		
	-1	0	1
发酵时间/min A	30	60	90
酵母添加量/% B	0.3	0.9	1.5
发酵温度/°C C	25	30	35

1.3.6 数据处理 运用Design Expert 8.0.6进行响应面分析; 利用SPSS 17软件进行数据统计并进行方差分析(ANOVA)和Pearson相关性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 单因素试验

2.1.1 发酵时间对小米馒头品质的影响 在酵母添加量为0.9%、发酵温度为30 °C的条件下, 考察发酵时间对小米馒头感官评分的影响。由图1(a)可知, 馒头感官品评得分随着发酵时间的增加, 呈现先上升后下降的趋势。发酵时间低于60 min, 酵母菌产气不足, 馒头不蓬松; 时间过长, 酵母菌产气过量, 馒头易有酸味, 感官评分降低; 发酵时间60 min时, 馒头口感好, 感官评分高, 因此是最适宜的发酵时间。

2.1.2 酵母添加量对小米馒头品质的影响 在发酵

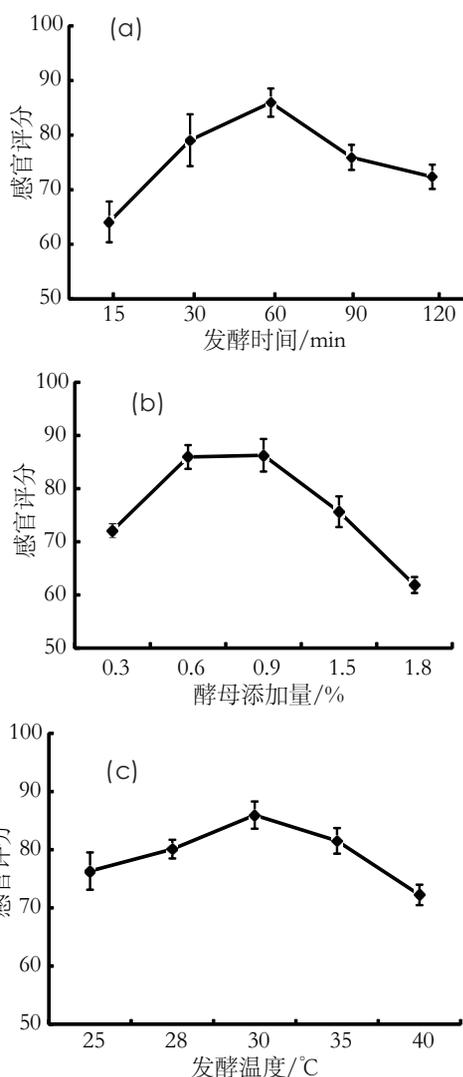


图1 单因素发酵条件对小米馒头感官品质的影响

时间为60 min, 发酵温度为30 ℃, 考察酵母添加量在0.3%~1.8%对小米馒头感官评分的影响。由图1(b)可知, 馒头感官品评得分随着酵母添加量的增加, 呈现先上升后下降的趋势。当酵母添加量较少时, 小米馒头发酵不足, 口感干硬; 但当酵母添加量超过0.9%时, 面团发酵过度, 馒头易产生大的孔洞, 因此选取0.9%为合适酵母添加量。

2.1.3 发酵温度对小米馒头品质的影响 当发酵时间为60 min, 酵母添加量为0.9%时, 在25~40 ℃考察发酵温度对小米馒头感官评分的影响。由图1(c)可知, 馒头感官品评总分随着发酵温度的增加, 呈现先增后减的趋势。发酵温度太低, 会影响馒头风味, 感官评分偏低; 发酵温度高于35 ℃, 会导致酵母生长受影响, 使馒头感官品质下降。发酵温度为30 ℃时, 是最适宜的馒头发酵温度。

## 2.2 响应面设计与工艺条件的优化

表3 Box-Behnken试验设计及结果

试验号	因素			预测感官分值	实际感官评分
	A	B	C		
1	0	1	1	71.13	69.58±3.62
2	1	0	-1	73.13	71.48±2.04
3	-1	0	1	83.63	82.52±5.65
4	-1	1	0	80.00	78.98±3.38
5	0	0	0	84.40	86.28±2.71
6	1	-1	0	66.00	66.70±2.96
7	0	0	0	84.40	86.63±2.12
8	0	-1	1	77.38	77.80±2.82
9	-1	-1	0	78.75	76.27±4.25
10	0	0	0	84.40	83.93±0.41
11	0	0	0	84.40	84.43±2.32
12	0	1	-1	83.63	83.10±4.58
13	0	-1	-1	66.88	67.62±3.24
14	-1	0	-1	80.38	82.10±6.10
15	1	0	1	70.63	68.93±3.62
16	0	0	0	84.40	81.63±3.78
17	1	1	0	75.25	78.17±5.08

基于2.1的单因素试验结果, 采用Design Expert 8.0.6软件, 进行1.3.5的响应面试验, 结果见表3。然后再以馒头感官评分对所得数据进行回归分析, 得到非线性回归方程感官品评总分 $X=76.28-1.82A-5.70B+1.19C+0.94AB-$

$0.99AC+0.075BC+2.49A^2-2.99B^2+0.24C^2$ 。对模型进行显著性检验, 结果见表4。由表4可知, 该回归模型 $F=9.82$ ,  $P=0.0032$ ,  $P<0.01$ , 模型回归显著; 失拟项 $P=0.1812$ ,  $P>0.05$ , 失拟项不显著。同时, 该回归模型的总决定系数 $R^2=0.9266$ , 调整决定系数 $R^2_{adj}=0.8323$ , 在可接受范围内。

对表4进行分析可知, F值越大, 表明对试验感官品评指标影响越大, 亦即越具有重要性。所以, 3因素的主次顺序为: 发酵时间>酵母添加量>发酵温度。由P值也可知, A、B、BC、 $A^2$ 、 $B^2$ 、 $C^2$ 因素对响应值的影响显著( $P<0.05$ ), 也说明感官评价与这3个因素间的线性关系并不简单。

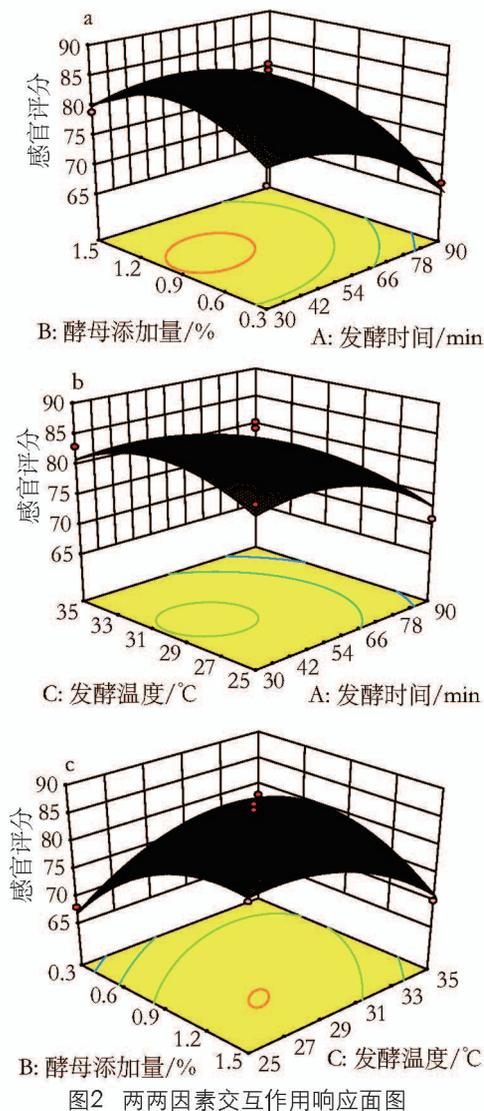
表4 回归模型方差分析

项目	平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
模型	656.05	9	72.89	9.82	0.0032	**
A	153.13	1	153.13	20.63	0.0027	**
B	55.13	1	55.13	7.42	0.0295	*
C	2	1	2	0.26	0.6197	
AB	16	1	16	2.15	0.1855	
AC	2.25	1	2.25	0.30	0.5990	
BC	132.25	1	132.25	17.82	0.0039	**
$A^2$	65.69	1	65.69	8.85	0.0207	*
$B^2$	125.06	1	125.06	16.85	0.0045	**
$C^2$	74.27	1	74.27	10.01	0.0158	*
残差	51.95	7	7.42			
失拟项	34.75	3	11.58	2.69	0.1812	
纯误差	17.2	4	4.3			
总离差	708	16				
$R^2=0.9266$		$R^2_{adj}=0.8323$				

注: \*\*表示极显著( $P<0.01$ ), \*表示显著( $0.01<P<0.05$ )。

## 2.3 响应面分析

图2(a)表示酵母添加量和发酵时间对馒头感官评分交互作用, 感官评分随酵母添加量的增大, 呈先升高后下降趋势, 两因素交互作用不显著。图4(b)表示发酵温度和发酵时间对馒头感官评分交互作用, 感官品评总随着发酵温度的上升, 呈现快速上升随后缓慢下降的趋势, 两因素交互作用不显著。图4(c)表示发酵温度和酵母添加量对馒头感官评分交互作用, 感官总分随着酵母添加量增加和温度的升高变化有一定的幅度, 酵母添加量和发酵温度交互作用显著。



## 2.4 最佳工艺条件检验

通过试验及软件预测, 得到发酵时间45 min、酵母添加量1.05%和发酵温度29 °C是小米馒头的最佳工艺, 并预测感官评分为85.81分。以参数修正条件为发酵时间45 min、酵母添加量1.1%及发酵温度29 °C验证可靠性, 实际测得的感官总分平均值为 $83 \pm 1.34$ 分, 与预测值基本相符, 证实了该方程的实用性和准确性。

## 2.5 不同工艺条件对馒头品质相关分析

表5为各工艺条件下的馒头品质特征参数。馒头的硬度是馒头重要的感官特征指标, 反映馒头的品质, 关乎消费者的感官评价。馒头硬度一般与馒头的品质呈负相关<sup>[13-14]</sup>, 馒头硬度的增加可能降低产品的质构品质, 并进一步影响弹性、咀嚼性。内聚性代表馒头结构的内部收缩力, 内聚力越强, 值越大。馒头的弹性是馒头柔软度的侧面反映, 取决于面筋蛋白含量和馒头的持气性<sup>[15]</sup>, 咀嚼性反映对具有一定硬度食物咀嚼成可吞咽状态所需的能量, 和硬度、弹性等呈一定的相关性<sup>[10,14]</sup>。比容是馒头蓬松程度的指标, 可反映馒头的持气能力, 一般情况下添加小米面粉会降低馒头比容, 在本实验中仅编号4和13的馒头比容较低。

色度能反映物质颜色的色调和饱和度, 是判断食品色泽变化的一项重要感官性依据<sup>[16]</sup>。不同的工艺条件会影响馒头色度, 其色度变化又会直

表5 不同工艺条件对小米馒头品质特征的影响

编号	硬度/N	黏附性/(N·mm)	内聚性	弹性	胶黏性/N	咀嚼性/mJ	L*	a*	b*	比容/(mL/g)
1	44.50±2.61	0.02±0.00	0.69±0.01	10.27±0.12	30.59±1.26	314.07±10.98	79.13±0.46	-1.97±0.10	40.60±0.88	1.97±0.07
2	47.71±0.82	0.04±0.02	0.69±0.00	10.39±0.07	32.98±0.48	342.64±6.82	78.77±0.29	-1.79±0.09	39.72±0.59	1.61±0.01
3	61.92±5.17	0.04±0.02	0.59±0.02	10.98±0.47	36.28±3.52	399.23±55.77	80.52±1.08	-2.30±0.25	42.05±0.79	1.78±0.14
4	46.79±5.42	0.02±0.00	0.67±0.01	10.18±0.57	31.47±3.70	321.63±54.36	77.42±2.13	-1.65±0.20	40.02±1.41	1.72±0.05
5	46.24±2.06	0.06±0.02	0.70±0.03	11.16±0.20	32.46±2.65	362.12±27.02	79.46±0.70	-2.21±0.21	40.75±0.43	1.82±0.08
6	51.17±0.96	0.17±0.01	0.69±0.01	11.01±0.20	35.29±0.97	388.72±13.01	79.19±0.88	-1.94±0.15	38.79±0.37	1.46±0.04
7	47.31±1.27	0.05±0.02	0.71±0.02	11.17±0.28	33.78±1.92	376.92±12.05	79.46±0.70	-2.21±0.21	40.75±0.43	1.82±0.08
8	58.23±1.16	0.07±0.02	0.67±0.00	11.15±0.11	38.76±0.81	432.18±10.78	79.57±1.13	-2.25±0.11	35.56±5.06	1.71±0.06
9	64.98±3.03	0.08±0.04	0.66±0.01	11.11±0.13	42.80±1.31	475.56±8.87	73.32±0.80	1.59±0.54	28.19±1.6	1.99±0.14
10	45.65±1.34	0.07±0.00	0.69±0.01	11.29±0.13	31.56±1.49	356.44±20.72	79.33±0.45	-2.16±0.11	39.99±0.61	1.82±0.08
11	47.61±1.03	0.05±0.02	0.72±0.02	11.10±0.23	34.23±1.57	379.76±9.84	79.46±0.70	-2.21±0.21	40.75±0.43	1.82±0.08
12	43.41±1.53	0.06±0.04	0.68±0.02	9.78±0.29	29.63±1.71	289.51±8.58	79.39±0.64	-2.23±0.18	42.54±0.51	1.88±0.06
13	58.46±2.41	0.12±0.04	0.66±0.01	11.25±0.07	38.35±1.93	431.33±24.15	80.89±0.95	-2.46±0.13	39.87±0.22	1.49±0.04
14	50.37±1.26	0.03±0.00	0.67±0.01	11.30±0.04	33.76±1.12	381.44±13.43	72.36±0.72	2.17±0.18	27.65±0.99	1.74±0.04
15	43.28±0.83	0.27±0.08	0.68±0.00	10.69±0.21	29.56±0.52	315.88±5.45	80.00±0.44	-1.84±0.07	40.15±0.62	1.86±0.03
16	47.02±1.03	0.06±0.02	0.71±0.02	11.23±0.23	33.32±1.57	374.08±9.84	79.46±0.70	-2.21±0.21	40.75±0.43	1.82±0.08
17	43.76±0.46	0.05±0.03	0.67±0.00	10.14±0.16	29.49±0.36	299.02±4.03	80.24±0.71	-1.70±0.11	40.93±0.70	1.94±0.06

表6 感官品评与小米馒头品质特征相关分析

指标	感官评分	硬度	黏附性	内聚性	弹性	胶黏性	咀嚼性	L*	a*	b*	比重
感官评分	1										
硬度	0.706**	1									
黏附性	0.165	-0.023	1								
内聚性	-0.208	-0.630**	0.032	1							
弹性	0.705**	0.469	0.141	0.062	1						
胶黏性	0.758**	0.938**	-0.004	-0.325	0.586*	1					
咀嚼性	0.808**	0.888**	0.040	-0.245	0.763**	0.971**	1				
L*	-0.441	-0.250	0.239	-0.014	-0.220	-0.332	-0.330	1			
a*	0.424	0.303	-0.122	-0.152	0.184	0.328	0.318	-0.937**	1		
b*	-0.587*	-0.495*	0.046	0.141	-0.375	-0.567*	-0.564*	0.881**	-0.922**	1	
比重	-0.076	-0.252	-0.309	0.194	-0.029	-0.223	-0.184	-0.505*	0.504*	-0.322	1

注: \*\*表示极显著( $P < 0.01$ ), \*表示显著( $0.01 < P < 0.05$ )。

接影响感官判断,甚至决定其产品是否被消费者所接受,通过色度各参数可深入对馒头色度进行科学评价。在色度参数中L\*值反映了馒头样品的明亮程度,可能与馒头中淀粉含量及晶型相关<sup>[17]</sup>,而a\*的增大,可能对馒头的颜色产生偏红的影响。王丽华<sup>[18]</sup>研究发现小米面粉中含有较多的铁元素和锗元素,这些元素的积累使米色偏红。b\*的变化则与黄色素有关<sup>[7]</sup>。

由表6可知,馒头的感官评分与馒头硬度、弹性、胶黏性、咀嚼性呈极显著正相关,和b\*呈显著负相关。这与馒头感官品评打分表中色泽、结构、弹性、韧性、黏性等指标密切联系,感官评价主观性较强,但却不能被仪器所替代,这些指标的联系是科学仪器与主观感官评价的互补互利的体现。质构指标中硬度与咀嚼性和内聚性呈显著性正相关和负相关,说明馒头硬度越小,内聚性和咀嚼性越好,这与苏静静等<sup>[19]</sup>和吴澎等<sup>[20]</sup>的研究基本一致。L\*与a\*、b\*分别呈极显著负相关和正相关,说明偏红的色泽会对馒头亮度产生负面影响,而偏黄会对亮度产生正面影响。

### 3 结论

通过单因素试验和Box-Behnken中心组合设计原理,运用响应面分析法对小米馒头工艺进行优化,以酵母添加量、发酵时间、发酵温度这3个因素对馒头感官评价得分进行了回归模型的拟合。模型分析显示发酵时间是影响馒头感官评分的最关键因素,各因素对馒头感官总分的影响顺序为:发酵时间>酵母添加量>发酵温度。当发酵时间45 min、酵母添加量1.1%、发酵温度29℃时为

最佳工艺参数。通过相关分析显示,馒头感官评价总分与馒头品质参数硬度、弹性、胶黏性、咀嚼性和b\*呈显著相关。

#### 参考文献:

- [1] 李里特.中国传统发酵面制品创新与面食现代化[J].粮食与食品工业,2009,16(5):1-3.
- [2] 范玉顶,李斯深,孙海艳,等.HMW-GS与北方手工馒头加工品质关系的研究[J].作物学报,2005(01):97-101.
- [3] XU F Y, GAO Q H, MA Y J, et al. Comparison of Tartary Buckwheat Flour and Sprouts Steamed Bread in Quality and Antioxidant Property[J]. Journal of Food Quality, 2014,37(5).
- [4] 陈银焕,杨修仕,郭慧敏,等.不同品种藜麦粉对馒头品质及抗氧化活性的影响[J].食品与发酵工业,2020,46(02):157-164.
- [5] 程晶晶,王军,金茜雅,等.燕麦超微全粉对馒头品质的影响[J].食品工业科技,2017,38(01):116-120.
- [6] 魏春红,李春辉,鹿保鑫,等.不同粒度小米粉性质及对馒头品质的影响[J].粮食与油脂,2017,30(07):65-68.
- [7] YANG Y B, JIA G Q, DENG L G, et al. Genetic variation of yellow pigment and its components in foxtail millet (*Setaria italica* (L.) P. Beauv.) from different eco-regions in China[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2017, 16(11):2459-2469.
- [8] 张爱霞,刘敬科,赵巍,等.小米馒头质构分析和品质评价[J].食品科技,2017,42(06):156-161.
- [9] 孙祥祥,刘长虹,张萌,等.响应面法优化酵母生产工艺研究[J].食品研究与开发,2018,39(22):112-117.
- [10] 范会平,李瑞,郑学玲,等.酵母对冷冻面团发酵特性及馒头品质的影响[J].农业工程学报,2016,32(20):298-305.
- [11] 范玉顶,李斯深,孙海艳,等.小麦品质性状与北方手工馒头品质指标关系的研究[J].中国粮油学报,2005,(02):16-20,25.

# 小米品种特性与米发糕品质特性的相关性研究

张桂英<sup>1</sup>, 杜文娟<sup>1</sup>, 王玲<sup>2</sup>, 姜龙波<sup>1</sup>, 张国权<sup>3</sup>, 袁峰<sup>1</sup>, 刘丽<sup>1</sup>, 张文兴<sup>1\*</sup>  
(1.山西农业科学院谷子研究所, 山西 长治 046011; 2.山西医科大学, 山西 太原 030001; 3.西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 对6种小米的营养特性和糊化特性及其米发糕的感官特性和质构特性进行了研究, 并对二者之间的相关性进行分析, 探究小米发糕原料的量化指标。结果表明: 6个小米品种的直链淀粉含量为15.73%~21.19%, 蛋白质含量为10.02%~12.84%, 脂肪含量为2.08%~3.49%。直链淀粉含量与黏聚性、回复性均呈显著负相关, 脂肪含量与黏聚性、回复性呈显著负相关, 糊化温度与弹性和回复性呈显著正相关, 口感与质构弹性、黏聚性和回复性呈显著相关, 回复性与感官弹性呈显著正相关。因此, 直链淀粉含量、脂肪、糊化温度对发糕成品品质影响较大。发糕质构参数与感官品质存在显著的相关性, 可以用部分质构参数代替感官评定。

**关键词:** 小米; 发糕; 感官评价; 质构特性; 相关性

中图分类号: TS 213.3

文献标志码: A

文章编号: 1005-9989(2020)10-0168-06

DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2020.10.028

## Correlation Between Variety Characteristic of Different Millet and Quality Properties of Steamed Millet Sponge Cake

收稿日期: 2020-05-20

\*通信作者

基金项目: 山西省农业科学院农业科技创新研究课题(YCX2018207); 山西省应用基础研究项目青年科技研究基金项目(201801D221320)。

作者简介: 张桂英(1983—), 女, 硕士, 助理研究员, 研究方向为谷子加工。

- [12] 温纪平, 王大一, 卞科. 响应面法优化酵子老面馒头生产工艺研究[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(03): 118-123.
- [13] 王军, 程晶晶, 王周利, 等. 黑小豆超微全粉对面团流变学特性及馒头品质的影响[J]. 中国食品学报, 2019, 19(01): 103-110.
- [14] 王晓曦, 范玲, 马森, 等. 麦麸酚基木聚糖对发酵面团特性和馒头品质的影响[J]. 农业工程学报, 2015, 31(17): 302-307.
- [15] 戚浩或, 陈洁, 汪礼洋, 等. 黑米馒头特性的研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2016, 37(2), 50-54.
- [16] 薛丹, 欧阳一非, 高海燕, 等. 方便面感官品质特性与面条质构、色泽指标的关系研究[J]. 食品工业科技, 2010, (4): 97-99.
- [17] 郑刚, 胡小松, 李全宏, 等. 用色度仪和质构仪对高蛋白挂面色泽和质地的研究[J]. 食品工业科技, 2006, (10): 99-102.
- [18] 王丽华. 红米的微量元素测定与糙米色素基因的定位[D]. 雅安: 四川农业大学, 2007.
- [19] 苏静静, 姜小苓, 胡喜贵, 等. 影响馒头品质的相关指标分析[J]. 麦类作物学报, 2014, 34(06): 860-867.
- [20] 吴澎, 陈建省, 白云俊, 等. 小麦DH群体馒头主要品质性状之间的相关分析[J]. 中国粮油学报, 2010, 25(06): 9-14.