

响应面分析法优化黑小麦 全麦面包工艺配方研究

孙元琳¹, 陕方², 宋俞³, 张陇清¹, 熊鹏飞¹

(1. 运城学院 生命科学系, 山西 运城 044000;

2. 山西省农科院 农产品综合利用研究所, 山西 太原 030031;

3. 山西省农科院 棉花研究所, 山西 运城 044000)

摘要: 以面包比容和感官评分为评价指标, 采用单因素试验分析了黑小麦全麦粉、水、酵母、蔗糖添加量对面包品质的影响。通过响应面设计对黑小麦全麦面包的工艺配方进行优化, 确定其最佳工艺配方。实验结果表明: 以混合粉为基重, 黑小麦全麦粉添加量为 23%, 水 52%, 酵母 1.3%, 蔗糖 21%。采用优化工艺配方制作的全麦面包比容为 5.21 cm³/g, 综合评分为 85.37。与普通面包相比, 黑小麦全麦面包风味独特、质地柔软、老化速率明显降低, 面包货架期延长, 外观性状和内在品质均得到较大程度的改善。

关键词: 黑小麦; 全麦面包工艺配方; 响应面分析法

中图分类号: TS213.2 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.2095-476X.2013.05.002

Optimization of process formula of wholemeal bread made of black-grained wheat by response surface analysis

SUN Yuan-lin¹, SHAN Fang², SONG Yu³, ZHANG Long-qing¹, XIONG Peng-fei¹

(1. Department of Life Science, Yuncheng University, Yuncheng 044000, China;

2. Institute of Farm Products Comprehensive Utilization, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030031, China;

3. Cotton Research Institute, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Yuncheng 044000, China)

Abstract: The process formula of wholemeal bread by mixing black-grained whole-wheat flour with bread flour was studied. Using specific volume of bread, sensory quality scores as evaluation indexes, the effect of black-grained whole-wheat flour, water, yeast, sugar proportion on the quality of bread were investigated by single-factor experiments, and the process formula was optimized by response surface analysis (RSA). The optimum formula was as follows: 23% black-grained wholemeal flour, 52% water, 1.3% yeast and 21% sugar. The bread made at the optimum conditions exhibited the specific volume of 5.21 cm³/g and sensory quality score of 85.37. Compared with the ordinary bread, the wholemeal bread had good taste and soft texture with reduced staling rate and prolonged shelf life and its appearance properties and inherent quality improved greatly.

收稿日期: 2013-08-03

基金项目: 国家自然科学基金项目(31101244); 山西省自然科学基金项目(2012011031—1); 山西省高校优秀青年学术带头人项目; 山西省高校大学生创新创业训练项目(2013340); 运城学院院级产学研合作项目(CY—2012013)

作者简介: 孙元琳(1971—), 女, 山西省运城市人, 运城学院教授, 博士, 主要研究方向为谷物资源综合利用与开发。

Key words: black-grained wheat; process formula of wholemeal bread; response surface analysis

0 引言

黑小麦是禾本科一年生栽培谷物,其籽粒可呈紫色、蓝色、紫黑色、深褐色或接近于黑色^[1].黑小麦属于优质特色谷物资源,具有独特的营养和保健功能,主要用于制作馒头、面包、麦片、挂面等传统食品,已成为一类重要的黑色食品资源^[2].

长期以来,我国消费者主要以精米、白面制品作为主食,对谷物营养与健康方面的关注较少.随着营养相关的慢性疾病高发,人们的健康意识不断增强,越来越多的消费者开始注重营养平衡与合理膳食.

近年来,全麦粉、糙米等全谷物食品发展迅速,这对世界粮食消费方式的变革与发展产生了深远影响^[3-4].全谷物食品富含膳食纤维、维生素、矿物质、类胡萝卜素、酚酸等功能成分,这些生物活性物质主要富集于籽粒的外皮层,通过协同增效作用产生多种营养功效^[5].

研究表明^[6-8],长期摄入全谷物食品对II型糖尿病、肥胖、心血管疾病以及结肠癌等慢性疾病具有预防作用.因此,开发黑小麦全麦食品,对改善膳食结构、预防慢性代谢性疾病、推动特色谷物资源的开发利用有着极其重要的意义.

本文将黑小麦全麦粉与面包专用粉配粉后制作黑小麦全麦面包,以面包比容和感官评分为评价标准,运用响应面分析法对其工艺配方进行优化,以期在黑小麦特色谷物资源的有效增值和综合利用提供理论依据.

1 实验

1.1 试剂与仪器

黑小麦,产自山西省运城市;面包专用粉,山东菏泽华瑞食品有限公司产;即发干酵母,哈尔滨马利酵母有限公司产;高效面包蓬松改良剂,上海歆意食品配料有限公司产;白砂糖、精制盐,市售.

HS30A型双动力和面机,FX-10型面包醒发箱,广东恒联食品机械有限公司产;电热食品烤炉,南方机械有限公司产;FA1004B型电子天平,上海精密科学仪器有限公司产.

1.2 实验方法

1.2.1 面包制作工艺

原辅料称量、混匀→调制面团→发酵(30℃,相对湿度RH=80%,1h)→分割(每个面团500g)、滚圆→整形、装模→醒发(35℃,RH=80%,40min)→烘烤(18min,温度:上火180℃、下火190℃)→脱模→冷却→成品

1.2.2 指标测定 面包比容/($\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$)测定:面包体积采用菜籽置换法,面包比容=体积/质量.

面包感官评定:参照中国农科院《面包烘焙品质评分标准》.面包在室温下冷却1h后,由8位食品专业学生对面包进行面包感官质量评定,结果取平均值.总分100分,评分指标为:面包体积35分,表面色泽5分,表皮质地与面包形状5分,面包心色泽5分,平滑度10分,纹理结构25分,弹性10分,口感5分.

面包综合评分:总分100分,其中面包比容占15%(总分15分),比容6.0 mL/g为满分,比容每少0.1 mL/g扣0.5分;感官评分占85%(总分85分),由面包感官评定分数乘以0.85.

面包老化实验:将所制作的面包自然冷却后,装入塑料袋中密封,分别测定面包在贮存1d,2d,3d,4d,5d时面包心的水分.

面包水分测定:依据GB/T 5009.3-2003,采用105℃恒重干燥法.

1.2.3 单因素试验 以面包专用粉和黑小麦全麦粉的总质量为基重,保持改良剂0.8%和盐1.0%的比例不变,以面包比容和感官评分为指标,分别考察不同比例的黑小麦全麦粉、水、酵母粉、蔗糖等因素对黑小麦全麦面包品质的影响,具体单因素试验设计见表1.

表1 黑小麦全麦粉面包制作单因素试验 %

因素	水平	工艺配方
全麦粉比例	15, 20, 25, 30, 35	水52, 酵母粉1.2, 蔗糖20
水比例	46, 48, 50, 52, 54	全麦粉20, 酵母粉1.2, 蔗糖20
酵母粉比例	0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6	全麦粉20, 水52, 蔗糖20
蔗糖比例	16, 18, 20, 22, 24	全麦粉20, 水52, 酵母粉1.2

1.2.4 响应面试验设计 在单因素试验的基础上,选取黑小麦全麦粉、酵母粉、水、蔗糖4个因素,以面

包综合评分为响应值,采用响应面分析法对黑小麦全麦面包工艺配方进行4因素3水平中心组合试验,利用Design-Expert软件进行数据处理和回归分析。

2 结果与讨论

2.1 单因素试验结果

2.1.1 黑小麦全麦粉添加量对面包品质的影响

黑小麦全麦粉添加量对黑小麦全麦面包品质的影响结果见图1。

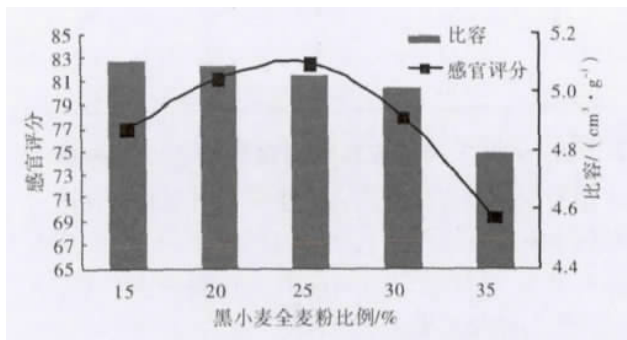


图1 黑小麦全麦粉添加量对黑小麦全麦面包品质的影响

由图1可知,随着黑小麦全麦粉添加比例的增加,全麦面包的比容呈逐渐减小的趋势。这是由于黑小麦粉为中等筋力小麦,添加到高筋面包粉中会使混合粉筋力减弱的缘故。此外,随着全麦面粉添加量的增加,面团中麸屑含量增多,在调面过程中弱化了面团筋力^[9],面团持气力减弱,无法充分膨胀,导致面包在焙烤过程中不能形成蓬松的结构,进而影响了产品的比容。虽然比容略有下降,但由于使用了改良剂,当全麦粉添加量在15%~30%时,成品的比容下降趋势很小。图1显示,加入适量的黑小麦全麦粉不但不影响面包的感官品质,还能在一定程度上增加其风味口感。这是由于全麦粉中的麸皮具有较强的吸水性,促进了面包的持水力,使产品质地更加柔软;但添加量>30%时,面团麸皮含量过多,面团持气力减弱,使面包内部出现大的孔洞,表皮粗糙塌陷,内部的纹理结构变粗糙,感官评分有所下降。因添加比例在20%~30%时,黑小麦全麦面包的口感较好,且体积较好,所以后续响应面试验采用全麦粉添加量为20%、25%和30%这3个水平。

2.1.2 酵母粉添加量对黑小麦全麦面包品质的影响 酵母添加量对全麦面包品质的影响结果见图2。

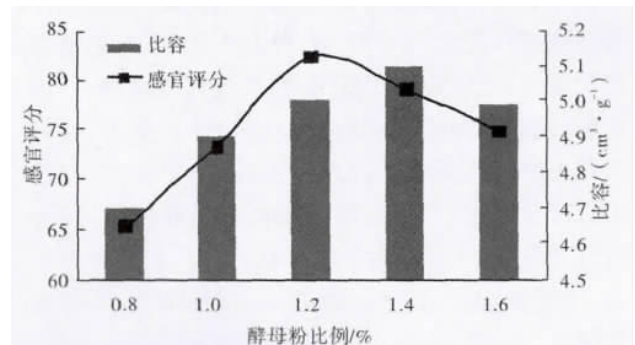


图2 酵母添加量对黑小麦全麦面包品质的影响

由图2可以看出,随着酵母添加量的增加,全麦面包的感官品质和比容均呈现先上升后下降的趋势。酵母的用量对面包的口感及体积起着重要的作用。若添加量过少,则面包发酵效果差,内部质地密实,体积较小;若添加量过多,面团产气量增多,面团内的气孔壁膜迅速变薄,当酵母的产气过程与面团的面筋网络形成过程不能同步时,会导致面团成熟过度,持气性变劣,轻者面包内部的组织纹理会出现孔洞,重者导致成品面包表面开裂、塌陷,外观体积呈下降趋势,且添加量过多,会有较浓的面包酵母味,影响口感。只有当酵母添加量适当时,酵母的产气与面团的持气力同时达到最大时,烘焙的面包弹性最大,同时其内部组织、体积及表皮颜色最理想。图2显示酵母添加量为1.2%~1.6%时,全麦面包的感官评分和比容较为理想。因此,后续响应面试验采用酵母添加量为1.2%、1.4%和1.6%这3个水平。

2.1.3 加水量对黑小麦全麦面包品质的影响 加水量对黑小麦全麦面包品质的影响结果见图3。

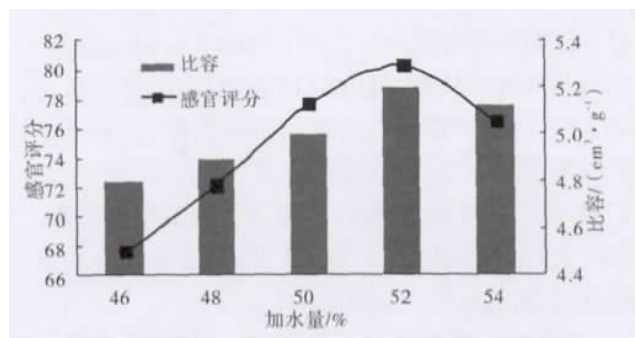


图3 加水量对黑小麦全麦面包品质的影响

由图3可知,随着水量的增加,黑小麦全麦面包的感官评分和比容呈先上升再下降的趋势.这是由于面团筋的形成是一个吸水溶胀的水化过程^[10].若加水量过少,面团发硬,面筋形成不足,且酵母没有适宜的环境进行发酵,不利于产气,从而使面包体积减小;适量的加水量,促使面团筋力增强,并产生较好的发酵和产气效果,使面包体积膨大,并具有理想的内部质地和纹理;若加水量过多,面团膜的强度变得过于柔软,面筋蛋白容易遭到破坏,持气能力下降,导致面包比容降低,同时,面筋弹性变差,内部组织产生较大的孔洞,使感官品质有所下降.

试验结果表明,加水量与混合面粉的质量比在50%~54%时,黑小麦全麦面包的感官品质和比容较好.因此,后续响应面试验确定加水量为50%,52%和54%这3个水平.

2.1.4 蔗糖添加量对黑小麦全麦面包品质的影响

蔗糖添加量对黑小麦全麦面包品质的影响结果见图4.

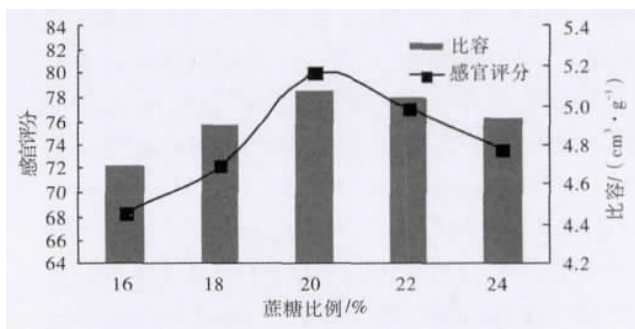


图4 蔗糖添加量对黑小麦全麦面包品质的影响

由图4可知,随着蔗糖添加量的增加,全麦面包的感官评分和比容均呈现先上升后下降的趋势.这是因为蔗糖作为酵母营养物质的来源,能够促进酵母发酵产气,提高面团气体保持力,并使面包表面呈现理想的棕褐色,产生好的风味.此外,蔗糖还可以强化水分的保持,抑制面包水分蒸发,使面包质地柔软.但糖含量过高会抑制酵母发酵,使发酵速度减慢,抑制了面团筋的形成,面筋得不到充分扩展,使产品体积小、组织粗糙.同时,添加量过多,会使全麦面包口感过甜甚至发腻,表皮易粘连和塌陷,造成面包感官评分和比容下降.

图4显示砂糖添加量为20%~24%时,感官评分和比容较为理想.因此后续响应面试验确定砂糖

添加量为20%、22%和24%这3个水平.

2.2 最佳工艺条件的确定

2.2.1 试验因素和水平的选取 综合以上单因素试验分析结果,选取黑小麦全麦粉添加量(A)、酵母添加量(B)、水添加量(C)、蔗糖添加量(D)这4个因素,对黑小麦全麦面包工艺配方进行4因素3水平中心组合试验,试验因素及水平见表2.

表2 响应面分析因素和水平表

水平	因素			
	A	B	C	D
-1	20	1.2	50	20
0	25	1.4	52	22
1	30	1.6	54	24

2.2.2 多元二次响应面回归模型的建立与分析

采用响应面分析方法研究上述4个因素的交互作用对黑小麦全麦面包工艺配方的影响.以A、B、C、D为自变量,综合评分作为响应值进行响应面分析,试验设计与结果见表3.

2.2.3 模型的建立及显著性检验 利用 Design-Expert 软件对表3试验数据进行多元回归拟合,得到各因子对响应值的二次多项回归模型为

$$Y = 83.13 + 3.39A + 1.18B + 0.77C - 0.62D - 1.45AB - 1.40AC - 0.15AD - 0.64BC - 0.96BD + 1.46CD - 4.25A^2 - 0.92B^2 - 0.73C^2 - 0.61D^2$$

对回归模型作显著检验和方差分析,结果见表4.该模型的 $F = 9.96$, $P < 0.0001$,说明模型回归效果极显著.模型的相关系数 $R^2 = 0.9029$,表明模型与试验拟合较好,自变量与响应值之间关系显著,该二次方程模型可靠,可用其分析、预测黑小麦全麦面包的工艺配方.

由表4可知,各因素对黑小麦全麦面包感官质量影响的主次顺序为:黑小麦全麦粉添加量 > 酵母量 > 加水量 > 蔗糖量. A、B 对黑小麦全麦面包的感官质量有着显著影响, A-B、A-C、C-D 交互项的影响显著 ($P < 0.05$). A^2 对感官质量的影响达到极显著水平.

利用 Design-Expert 软件对试验数据进行多元回归拟合,通过响应面分析可求得最佳参数以及各参数之间的相互作用.通过软件分析,得到黑小麦全麦面包的最佳工艺配方为:以混合粉为基重,黑小麦全麦粉添加量 23.21%,水 52.04%,酵母

1.33% ,蔗糖 20.86% . 在此条件下 ,黑小麦全麦面包比容为 $5.3 \text{ cm}^3/\text{g}$,综合评分为 86.51. 考虑到实际可操作性 ,将优化参数修正为: 黑小麦全麦粉添加量 23% ,水 52% ,酵母 1.3% ,蔗糖 21% . 按此优化配方制作的黑小麦全麦面包比容为 $5.21 \text{ cm}^3/\text{g}$,综合评分为 85.37. 这与预测值基本一致 ,进一步验证了回归模型的可靠性 ,可用于指导生产实践.

2.3 面包贮藏期间的水分变化

面包在贮存过程中 ,面包心的水分会向面包表面迁移 ,使面包心水分散失 ,这是导致面包老化的重要因素之一 . 比较了采用优化工艺配方制作的黑小麦全麦面包与普通面包在贮存过程中面包心水分的变化趋势 ,结果如图 5 所示.

表 3 响应面分析试验设计与结果

序号	A	B	C	D	综合评分
1	-1	0	0	-1	81.24
2	0	0	0	0	74.92
3	0	0	-1	-1	78.76
4	0	0	0	0	73.45
5	-1	-1	0	0	84.46
6	1	-1	0	0	68.47
7	-1	1	0	0	81.47
8	0	0	1	1	73.58
9	0	-1	1	0	76.02
10	0	0	1	-1	83.23
11	0	1	0	-1	80.34
12	1	0	0	-1	77.45
13	0	0	-1	1	73.18
14	1	0	-1	0	69.34
15	0	-1	0	-1	70.62
16	0	1	1	0	84.45
17	-1	0	1	0	80.67
18	1	0	1	0	74.45
19	1	0	0	1	68.69
20	0	-1	0	1	71.42
21	0	1	0	1	76.54
22	0	0	0	0	80.65
23	1	1	0	0	72.04
24	0	0	0	0	84.77
25	0	0	0	0	80.32
26	-1	0	0	1	77.63
27	-1	0	-1	0	65.64
28	0	-1	-1	0	68.74
29	0	1	-1	0	70.26

表 4 响应面二次回归方程的方差分析

来源	平方和	自由度	均方	F 值	显著性 P
模型	950.75	14	67.91	9.96	<0.000 1
A	275.07	1	275.07	40.34	<0.000 1
B	33.54	1	33.54	4.92	0.042 4
C	14.09	1	14.09	2.07	0.171 1
D	9.36	1	9.36	1.37	0.259 5
A-B	33.55	1	33.55	4.92	0.042 4
A-C	31.28	1	31.28	4.59	0.049 0
A-D	0.34	1	0.34	0.050	0.826 5
B-C	6.59	1	6.59	0.97	0.341 1
B-D	14.73	1	14.73	2.16	0.162 3
C-D	34.08	1	34.08	5.00	0.041 0
A ²	495.21	1	495.21	72.63	<0.000 1
B ²	22.98	1	22.98	3.37	0.086 3
C ²	14.48	1	14.48	2.12	0.165 7
D ²	10.05	1	10.05	1.47	0.243 5
残差	102.27	15	6.82		
失拟	62.09	10	6.21	0.77	0.660 4
纯误差	40.18	5	8.04		

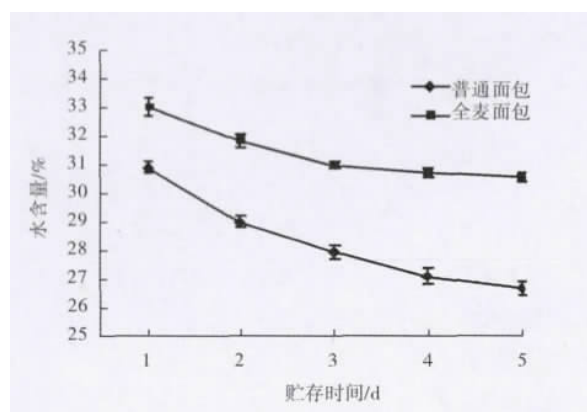


图 5 黑小麦全麦面包在贮存期间的水分含量变化

图 5 显示 2 种面包面包心的水分含量在贮存过程中均逐渐降低 ,说明随着贮存时间延长 ,面包会逐渐失水、老化 . 但在贮存期间全麦面包水分含量始终高于普通面包 ,且失水速率低于普通面包 ,表明其持水力较强 ,能有效延缓面包老化 ,延长面包货架期 . 这主要得益于全麦粉中的膳食纤维能提高面包持水性 ,抑制面包心水分的散失 ,使其质地柔软、老化速率下降^[11].

此外 ,采用优化工艺配方制作的黑小麦全麦面包在表面状态、外观形状、内部质地结构等方面均

有明显改善,面包表皮色泽鲜亮,风味独特,内部组织呈均匀的蜂窝状,且柔软、富有弹性。

3 结论

本文以面包比容和感官评分为评价指标,通过单因素和响应面优化试验确定了黑小麦全麦面包的最佳工艺配方为:以混合粉为基重,黑小麦全麦粉添加量 23%,水 52%,酵母 1.3%,蔗糖 21%。采用优化工艺配方制作的全麦面包比容为 $5.21 \text{ cm}^3/\text{g}$,综合评分为 85.37,品质得到了明显改善。

面包贮存过程中面包心水分含量变化趋势表明:相比普通面包,黑小麦全麦面包具有较强的持水力,老化速率明显降低,面包货架期延长。

参考文献:

- [1] 孙善澄,刘少翔. 黑粒高营养小麦种植与加工利用[M]. 北京:金盾出版社,2003.
- [2] 胡秋辉,陈历程,吴莉莉,等. 黑小麦营养成分分析及其深加工制品前景展望[J]. 食品科学,2001,22(12):50.
- [3] 王瑞元. 大力推进全谷物营养健康食品的发展[J]. 现代面粉工业,2011,25(4):1.
- [4] 屈凌波. 谷物营养与全谷物食品的研究开发[J]. 粮食与食品工业,2011,18(5):7.
- [5] 谭斌,谭洪卓,刘明,等. 全谷物食品的国内外发展现状与趋势[J]. 中国食物与营养,2009(9):4.
- [6] Dongowski G, Huth M, Gebhardt E, et al. Dietary fiber-rich barley products beneficial affected the intestinal tract of rats[J]. The Journal of Nutrition, 2002, 132: 3704.
- [7] Mellen P B, Walsh T F, Herrington D M, et al. Whole grain intake and cardiovascular disease: a meta-analysis[J]. Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases, 2008, 18: 283.
- [8] Andersson U, Rosen L, Ostman E, et al. Metabolic effects of whole grain wheat and whole grain rye in the C57BL/6J mouse[J]. Nutrition, 2010, 26: 230.
- [9] Hu G H, Huang S H, Cao S W, et al. Effect of enrichment with hemicellulose from rice bran on chemical and functional properties of bread[J]. Food Chem, 2009, 115(3):839.
- [10] Wang J, Rosella C M, Benedito de Barber C. Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality[J]. Food Chem, 2002, 79(2):221.
- [11] 郑学玲,李利民,姚惠源,等. 小麦麸皮及面粉戊聚糖对面团特性及面包烘焙品质影响的比较研究[J]. 中国粮油学报,2005,20(2):21.