

# 黑米粉对面团热机械学特性及面包烘焙品质的影响

曹玉华\*,许西环,曹婷

(南京财经大学 食品科学与工程学院,江苏省现代粮食流通与安全协同创新中心,  
江苏高校粮油质量安全控制及深加工重点实验室,江苏 南京,210023)

**摘 要** 将黑米粉添加到小麦粉中,研究了不同比例黑米粉对面团热机械学特性、面包品质和贮藏特性的影响。结果表明,随着黑米粉添加量的增加,面团的 C1 形成时间、稳定时间呈下降趋势,而蛋白质弱化度呈上升趋势;此外黑米粉的添加降低了淀粉的回生值 C5-C4,黑米粉添加量为 15% 时,C5-C4 值降低了 34.0%。焙烤制得的面包比容下降,感官品质下降,硬度增大,面包的弹性先增加后降低,在添加量为 7.5% 时弹性最大,添加量在 5%~10% 均大于对照样品。综合面包比容、色泽、质构与营养而言,黑米粉添加量 7.5% 时制作的面包品质良好。黑米粉的添加对面包的老化有一定的抑制作用。

**关键词** 黑米粉;热机械学特性;面包品质;贮藏特性

黑米具有丰富的营养成分,不仅含有丰富的蛋白质、脂肪、粗纤维、维生素和矿质营养等成分,而且黑米中 8 种必需氨基酸比例搭配合理,种类齐全。黑米中蛋白质的含量比普通的白粳米、白粳米含量高出 20% 以上,8 种必需氨基酸含量高出普通大米 25.96%<sup>[1-2]</sup>。黑米的功能性成分主要集中于黑米花色苷中,黑米花色苷的主要成份是黄酮花色苷类化合物,黑米花色苷具有抗疲劳、抗氧化、抗衰老、降血脂、抑制小鼠动脉粥样硬化、抑制癌细胞的转移等生理功能<sup>[3-5]</sup>。因而将黑米作为功能性食品加工素材已被广泛应用于食品生产,并开发出了很多功能性黑米加工食品<sup>[6]</sup>,受到了广大生产者和消费者的喜爱。黑米以其特有的营养价值和特殊的药理作用成为当今食品和医药工业的研究热点。本研究以不同比例的黑米粉和高筋小麦粉混合配粉,利用 Mixolab 混合仪和质构仪,旨在研究不同添加量黑米粉对混合面团热机械学特性和面包烘焙品质的影响,并分析其变化规律,为黑米粉在发酵制品中的使用提供依据和参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

黑米,市售;面包粉,潍坊风筝面粉有限责任公司;抗坏血酸,国药集团化学试剂有限公司;安琪即发

干酵母、白糖、脱脂奶粉、黄油等均为市售。

### 1.2 仪器与设备

Mixolab 混合实验仪,法国肖邦(Chopin)公司;JX.FM110 型锤式旋风磨粉碎仪,上海嘉定粮油仪器有限公司;JHMZ-200 型和面机、JCXZ 型面团成型机、JXFD8 型醒发箱、JKLZ4 型烤炉,北京东方孚德技术发展公司;TA-XTplus 型物性仪,英国 Instron 公司。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 混合粉的配制

黑米经旋风磨磨粉,按 100 g 面包粉中分别添加 0、2.5、5、7.5、10、12.5、15 g 黑米粉的比例配制成混合粉。

#### 1.3.2 混合面团热机械学特性的测定<sup>[7-8]</sup>

#### 1.3.3 黑米面包的生产

GB/T14611—2008。

#### 1.3.4 面包比容测定

GB/T14611—2008。

烘焙出炉的面包室温冷却 5 min,称重,面包体积采用菜籽替代法测定。面包体积的平均偏差小于等于 15 mL。比容为面包体积与质量之比。

#### 1.3.5 面包硬度和弹性的测定

##### 1.3.5.1 面包切片方法<sup>[9]</sup>

面包封装贮存 18 h 后取出,对面包进行切片,每个面包样品在面包的中间位置切出 2 片 25 mm 厚的面包片作为测试样品。切出的面包片要求厚度均匀。

##### 1.3.5.2 面包质构测定的条件与参数<sup>[10]</sup>

#### 1.3.6 面包感官品质评分标准

第一作者:硕士,副教授(曹玉华副教授为通讯作者,E-mail:tttyuhua@126.com)。

基金项目:江苏高校优势学科建设工程资助项目

收稿日期:2016-05-10,改回日期:2016-06-24

GB/T14611—2008。

### 1.3.7 面包老化实验<sup>[11]</sup>

将所制作的面包,自然冷却后,装入塑料袋中密封,在面包烘焙后每隔 48 h 进行质构测试。

## 2 结果与分析

### 2.1 黑米粉添加量对面团热机械学特性的影响

表 1 不同添加量黑米粉对面团中蛋白组分和淀粉组分热机械学特性的影响

Table 1 Effects of black rice flour on thermomechanical properties of dough protein and starch determined by Mixolab

糙米粉添 加量/%	吸水率/ %	形成时间/ min	稳定时间/ min	蛋白质弱化度 C1 - C2 (N · m)	斜率 $\alpha$	峰值扭矩 C3/(N · m)	蒸煮稳定性 C4/C3	回生值 C5 - C4/(N · m)
0	61.1	1.90 ± 0.025 <sup>c</sup>	9.86 ± 0.030 <sup>c</sup>	0.82 ± 0.012 <sup>a</sup>	-0.002 ± 0.012 <sup>ab</sup>	1.58 ± 0.030 <sup>ab</sup>	0.93 ± 0.023 <sup>c</sup>	0.88 ± 0.025 <sup>ab</sup>
5.0	60.1	1.59 ± 0.060 <sup>b</sup>	9.45 ± 0.175 <sup>bc</sup>	0.81 ± 0.006 <sup>a</sup>	-0.020 ± 0.009 <sup>a</sup>	1.59 ± 0.025 <sup>b</sup>	0.91 ± 0.020 <sup>bc</sup>	0.80 ± 0.070 <sup>ab</sup>
7.5	59.5	1.50 ± 0.080 <sup>b</sup>	9.37 ± 0.200 <sup>bc</sup>	0.88 ± 0.021 <sup>a</sup>	-0.011 ± 0.004 <sup>a</sup>	1.59 ± 0.035 <sup>a</sup>	0.88 ± 0.034 <sup>ab</sup>	0.71 ± 0.006 <sup>b</sup>
10.0	58.5	1.44 ± 0.021 <sup>b</sup>	9.05 ± 0.170 <sup>ab</sup>	0.90 ± 0.015 <sup>ab</sup>	-0.011 ± 0.006 <sup>a</sup>	1.56 ± 0.011 <sup>ab</sup>	0.88 ± 0.015 <sup>bc</sup>	0.71 ± 0.065 <sup>b</sup>
12.5	58.3	1.37 ± 0.075 <sup>a</sup>	8.96 ± 0.127 <sup>ab</sup>	0.88 ± 0.025 <sup>b</sup>	-0.019 ± 0.001 <sup>ab</sup>	1.57 ± 0.012 <sup>a</sup>	0.86 ± 0.017 <sup>a</sup>	0.60 ± 0.064 <sup>a</sup>
15.0	59.6	1.42 ± 0.051 <sup>a</sup>	8.71 ± 0.028 <sup>a</sup>	0.89 ± 0.020 <sup>b</sup>	-0.030 ± 0.004 <sup>b</sup>	1.55 ± 0.015 <sup>ab</sup>	0.85 ± 0.006 <sup>a</sup>	0.58 ± 0.030 <sup>a</sup>

注:在同一列中,不同字母表示显著的差异( $P < 0.05$ )。

由表 1 可知,黑米粉的添加对面团的吸水率、面团的形成时间 C1 和稳定时间有较显著的影响,随着黑米粉添加量的增加,面团的吸水率、面团的形成时间 C1 和稳定时间先下降后上升,但都小于对照样品。说明黑米粉的添加使面团筋力减弱,搅拌耐力下降。通常情况下面粉筋力越强,面团形成时间越长,面团稳定时间越长,在制作面包的操作过程中面团耐搅拌、耐醒发、持气能力越强,面包的烘培效果也越好<sup>[12]</sup>。黑米粉的添加,稀释了小麦粉中的面筋性蛋白,黑米粉添加量在 15.0% 时,面筋持水率稍有回升,这可能与黑米粉中含有一定量的纤维素有关,纤维素具有一定的持水性<sup>[14]</sup>。

弱化度 C1 - C2 表明面团在搅拌过程中的破坏速率,也就是对机械搅拌的承受能力。弱化度越大,面筋越弱,面团越易流变,操作性能差,面包易塌陷<sup>[12]</sup>,由表 2 可知黑米粉的添加使面团的弱化度呈上升的趋势,混合面团的耐搅拌性下降,该变化趋势与  $\alpha$  呈现的结果相似。同样黑米粉的添加使面团的蒸煮稳定性(C4/C3)下降。

回生值 C5 - C4 描述的是淀粉凝胶化的过程,该过程与淀粉分子的老化和重排有关,C5 - C4 值越小就表示淀粉重结晶程度越低。由表 2 可知,随着黑米粉添加量的增加,C5 - C4 值显著减小,与空白组相比,黑米粉添加量为 15% 时,C5 - C4 值降低了 34.0%,说明黑米粉对淀粉回生有一定的抑制作用,其原因可能是随着黑米粉添加比例的增

通过 Mixolab 混合实验仪,可以同时测定混合粉面团揉混过程中蛋白质弱化和淀粉组分的糊化特性。

由试验曲线可得到以下参数<sup>[12-13]</sup>:吸水率(%)、面团形成时间、稳定时间、最小扭矩(C2)、蛋白质弱化度即 C1 - C2 差值、峰值扭矩(C3)、蒸煮稳定性即 C4/C3、回生值为 C5 - C4 差值。

加,黑米混合粉中支链淀粉的含量增加,延缓了淀粉的重结晶。

### 2.2 黑米粉添加量对面包比容的影响

面包比容是评价面包烘烤品质最直观、客观和综合的指标。一般比容越大,面包的品质越好。黑米面包比容的测定结果见表 2。

表 2 不同添加量黑米粉对面包比容的影响

Table 2 Effect of black rice flour on the specific volume of bread

添加量/%	质量/g	体积/mL	比容/(mL · g <sup>-1</sup> )
0	144.45 ± 0.91	640 ± 9	4.43 ± 0.05
5.0	143.23 ± 1.62	610 ± 2	4.32 ± 0.01
7.5	138.79 ± 1.12	560 ± 2	4.03 ± 0.03
10.0	140.41 ± 0.95	545 ± 12	3.88 ± 0.03
12.5	144.93 ± 0.52	465 ± 6	3.21 ± 0.08
15.0	142.60 ± 1.23	450 ± 10	3.16 ± 0.02

由表 2 可知,随着黑米粉添加量的增加,面包的体积和比容逐渐减小。面粉中加入一定量的水,面粉中的麦谷蛋白和麦胶蛋白微粒吸水膨胀,面团在搅拌的过程中,形成了网络结构,随着发酵的进行,面筋形成的气室也随之膨胀,面团体积增大。黑米粉的加入,不同程度上稀释了面筋蛋白,使面筋的形成量降低。POMERANI<sup>[15]</sup>指出纤维物质对面包品质的影响主要是降低了气室气体的保留而不是产气不足所致。黑米的皮层,含有一定量的纤维素,在粉碎过程中不可避免地含有粒度不同的碎片,纤维碎片

一方面稀释了面筋蛋白，更重要的可能划破面筋形成的气壁，从而导致面包的体积减小<sup>[16]</sup>。

2.3 不同黑米粉添加量对面包质构特性的影响  
黑米面包的质构分析,见表3。

表3 不同添加量黑米粉对面包质构的影响  
Table 3 Effect of black rice flour on the texture of bread

黑米粉添加量/%	硬度/g	弹性	黏聚性	胶着性	咀嚼度
0	759.335 ± 7.020	0.928 ± 0.002	0.711 ± 0.001	539.322 ± 0.233	500.361 ± 2.016
5.0	806.019 ± 8.061	0.946 ± 0.003	0.724 ± 0.007	555.921 ± 3.588	551.712 ± 0.431
7.5	900.162 ± 4.964	0.964 ± 0.005	0.704 ± 0.006	633.714 ± 2.871	610.900 ± 4.367
10.0	1 038.500 ± 6.367	0.945 ± 0.000	0.707 ± 0.007	733.378 ± 6.126	693.362 ± 3.276
12.5	1 269.787 ± 4.960	0.896 ± 0.002	0.692 ± 0.002	878.693 ± 2.965	787.309 ± 3.967
15.0	1 304.732 ± 6.750	0.801 ± 0.003	0.657 ± 0.003	943.126 ± 2.414	876.920 ± 2.052

面包硬度的测定结果跟面包感官评定的得分有很大的关系。面包硬度的大小与面包品质的好坏呈现负相关的关系,硬度数值越小,面包品质越好;硬度的数值越大,面包的品质越差。从表4可以看出,黑米粉添加比例对硬度、黏聚性、咀嚼性、胶着性的影响程度较为明显。黑米粉的添加比例越大,硬度、黏聚性、咀嚼性、胶着性数值越大,表示面包的口感越差。可能是由于随着黑米粉比例的增加,湿面筋的含量降低,面筋的弹性和延展性变差,使得面包的气室较小,因而硬度、黏合性及咀嚼性数值变大<sup>[17]</sup>。随着黑米

粉比例的增加,面包的弹性先增加很降低,在添加量为7.5%时,面包的弹性最好,添加量大于7.5%后弹性明显下降,添加量在5%~10%范围内均大于对照样品。这可能是由于少量的黑米纤维素填充在面筋网络中增强了面包的弹性,较多的黑米粉会影响了面筋网络的形成,导致面团发酵后形成的面筋网络结构不完整,被压迫变形后较难回复原状,因此黑米粉的添加量越多,面包的弹性越小<sup>[18]</sup>。

2.4 不同添加量黑米粉对面包感官品质的影响

表4 不同添加量黑米粉对面包感官品质的影响  
Table 4 Effect of black rice flour on the sensory quality of bread

项目	黑米粉添加量/%					
	0	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0
表皮颜色	浅黄色	棕色	棕色	棕色	棕黑色	棕黑色
面包外观	蓬松饱满,光滑平洁	蓬松饱满	体积略小	体积略小且紧实	体积小,比较紧实	体积最小紧实
芯色	黄白	有少量黑米渣	黑米渣适中	有较多的黑米渣	黑米渣很明显	黑米渣很明显
面包纹理结构	柔软,气孔细密	气孔均匀,呈海绵状	气孔细腻均匀	气孔略小,但均匀	气孔略小,不均匀	气孔小,不均匀
面包芯质地	细腻平滑,柔软有弹性	松软适口,气味纯正	柔软,富有弹性	口感筋道,但有粗糙感	略紧实,弹性变差	紧实,弹性差
面包得分	90	88	86	82	78	76

通过品尝和表4结果可以得知,随着黑米粉比例的增加,面包的感官品质逐渐下降,添加5%和7.5%黑米粉,面包的口感、纹理和感官品质等都很好,它不仅保持了面包的原来配方,黑米中的黑色素和较高的矿物元素以及膳食纤维,还强化了营养,更加适宜食用。黑米粉添加量为10%~15%时,面包吃起来很粗糙紧实,面包的体积较小,纹理不规律,食用品质较差。所以黑米粉添加量为5%~7.5%时,制作的面包结构细腻柔软、纹理均匀、香气浓郁,感官评分较高。

王明等研究表明<sup>[19-20]</sup>,面包的感官评价和它本

身的体积、纹理呈正相关,质构仪测定的硬度与感官评价有较强负相关,硬度越低则感官评价价值越高,黏合性、咀嚼性和硬度的数值越小,弹性和回复值越大,面包的品质越好。感官品质与弹性呈正相关,指标值越大,口感越爽口,不黏牙。由质构分析可以看出添加量5%、7.5%时,面包的弹性得到改善,结合营养均衡、经济实惠等角度综合考虑,选用添加7.5%黑米粉与高筋小麦粉来烘焙面包,能够补充高筋小麦粉氨基酸组成的不均衡,使得面包的营养价值得到提升。

2.5 黑米粉面包的贮藏性稳定性

测定黑米粉添加量为 7.5% 混合粉生产的面包在不同贮存期的质构参数,结果见表 5。

面包硬度、弹性的大小可以用来评判面包品质的好坏,也是评价面包老化进程的一个指标。由表 5 可以看出,面包硬度随贮藏时间延长而增加,弹性随贮藏时间延长而下降,说明贮藏过程中面包的品质在下降。添加 7.5% 黑米粉面包硬度增大趋势比空白面包的要小,在贮存前 5 d,7.5% 黑米粉面包的硬度比

空白面包硬度大,第 7 天时,两者的硬度基本相同,第 9 天时,7.5% 黑米粉面包的硬度比空白面包的小。这说明添加黑米粉对面包老化有延缓的作用。7.5% 黑米粉面包弹性变化趋势比空白面包要平缓,空白面包弹性变小的速度更快,面包老化速度更快。这说明添加黑米粉对面包弹性变差有缓解作用,更利于延缓面包老化。

表 5 不同贮藏期间黑米粉面包的硬度和弹性的变化

Table 5 Changes of hardness and elasticity of black rice bread during different storage periods

贮藏时间/d		1	3	5	7	9
硬度	空白面包	728.242	1 340.621	1 664.218	2 313.142	2 912.054
	7.5% 黑米粉面包	863.526	1 573.811	1 901.647	2 324.004	2 714.529
弹性	空白面包	0.938	0.918	0.891	0.871	0.849
	7.5% 黑米粉面包	0.943	0.933	0.920	0.910	0.895

### 3 结论

黑米粉以不同比例与小麦粉混合制作黑米面包,可以增进营养特性和风味特性,但是黑米粉面团的筋力下降,搅拌耐力下降。C5 - C4 值显著减小,黑米粉对淀粉回生有一定的抑制作用。

随着黑米粉添加量的增加,面包的比容逐渐减小,硬度、黏聚性、咀嚼性、胶着性增大。面包的弹性先增加后降低,在添加量为 7.5% 时,面包的弹性最好。面包的感官品质随着添加量的增加而变差。黑米粉的添加对面包的老化有一定的抑制作用。

综合质构分析和面包感官分析,添加量 5%、7.5% 时,面包的弹性得到改善,结合营养均衡、经济实惠等角度综合考虑,选用添加 7.5% 黑米粉与高筋小麦粉来烘焙面包,能够补充高筋小麦粉氨基酸组成的不均衡,使得面包的营养价值得到提升。此时制作的面包结构细腻柔软、纹理均匀、香气浓郁,感官评分较高。

### 参 考 文 献

- [1] 吴素萍,徐桂花. 试论黑米的营养价值及其应用[J]. 食品工业,2004,12(5):10-13.
- [2] 张名位,郭宝江,池建伟,等. 黑米米糠的营养与抗氧化评价及其加工处理的保质效果[J]. 农业工程学,2004,6(20):165-169.
- [3] 李范洙,张先殷,钟邦. 黑米粉添加条件对面团流变性的影响[J]. 延边大学农学学报,2005,27(3):188-195
- [4] NAM S H, KANG M Y. Comparison of inhibitory effect of

rice bran extracts of the colored rice cultivars on carcinogenesis[J]. Korean Soc. Agric. Chem. and Botechnol, 1998,41:78-83.

- [5] YOON H H, PAIK Y S, KIM J B, et al. Identification of anthocyanins from Korean pigmented rice [J]. European Journal of Neuroscience,1999,11(7):2 385-2 396.
- [6] 吴三桥,李新生,闵锁田,等. 黑米红色素系列产品的开发研究[J]. 汉中师范学院报(自然科学),1997,15(2):12-19.
- [7] KIM Y S, HUANG Weining, ZHU Huiyan, et al. Spontaneous sourdough processing of Chinese Northern-style steamed breads and their volatile compounds [J]. Food Chemistry, 2009, 114(2): 685-692.
- [8] 王凤,黄卫宁,刘若诗,等. 采用 Mixolab 和 Rheometer 研究含外源蛋白燕麦面团的热机械学和动态流变学特性[J]. 食品科学,2009,30(13):147-152.
- [9] 董德良,毛根武,杨瑞征,等. 面包质构特性测定方法的研究(Ⅱ)——面包样品放置时间对面包硬度测定值的影响[J]. 粮食储藏,2010(3):31-34.
- [10] 张一. TPA 测试模式在面包品质评价中的应用研究[J]. 吉林工商学院学报,2010(5):48-61.
- [11] 王晓艳. 高膳食纤维对面包面团发酵烘焙及贮藏特性的影响研究[D]. 无锡:江南大学,2012.
- [12] 周剑敏,汤晓智,南娉婷. 香菇粉对小麦面团热机械学和动态流变学特性的影响研究[J]. 中国粮油学报,2014(29):7-10.
- [13] ROSELL C M, COLLAR C, HAROS M. Assessment of hydrocolloid effects on the thermo-mechanical properties of wheat the Mixolab [J]. Food Hydrocolloid,2007,21(3): 452-462.

- [14] 李真,董英,於来婷,等. 大麦全粉对面团特性及面包烘烤品质的影响[J]. 现代食品科技,2015,31(4):197-202.
- [15] POMERANZ Y, SHOGREN M D, FINNEY K F, et al. Fiber in breadmaking-effectings on functional properties [J]. Cereal Chemistry, 1977, 54(1):25-41.
- [16] 战汪涛,董海洲,朱传合,等. 膨化黑米粉对面包品质影响研究[J]. 粮食与油脂,2009(9):22-25
- [17] 冯世德,孙太凡. 玉米粉对小麦面团和馒头质构特性的影响[J]. 食品科学,2013,34(1):101-104.
- [18] 李建林,朱永义. 黑米素面包的开发研究[J]. 粮食与饲料工业,2002(7):46-48.
- [19] 王明,刘建伟,张国栋. 面包质构特性测定方法的研究[J]. 粮食储藏,2013(2):28-31.
- [20] 王华东,温纪平,张慧. 不同比例黑麦粉对黑麦面包品质的影响[J]. 粮食与饲料工业,2015(2):6-9.

## Effects of black rice flour on the thermomechanical properties of dough and quality of bread

CAO Yu-hua<sup>\*</sup>, XU Xi-huan, CAO Ting

(School of Food Science and Engineering, Nanjing University of Finance and Economics, Collaborative Innovation Center for Modern Grain Circulation and Safety/Key, Laboratory of Grains and Oils Quality Control and Processing, Nanjing 210023, China)

**ABSTRACT** The effects of black rice content in wheat flour on thermomechanical properties of the mixed flour dough, as well as the quality and storage stability of bread made by the mixed flour were studied. The results showed that the dough developing time, stable time decreased, the protein weakening increased with the increase of black rice flour addition. The setback time (C5-C4) was also decreased; when black rice flour was 15 %, the setback time (C5-C4) was reduced by 34.0 %. The specific volume and sensory quality of the bread decreased while the hardness increased with addition of black rice flour. The springiness of the bread first increased and then decreased, and reached the maximum at 7.5 %; the springiness of the bread is larger than that of the control sample in the addition ranges of 5 %-10 %. Considering factors of bread specific volume, color, texture and nutrition, the best quality of breads was when 7.5 % black rice flour added. The black rice flour also delayed the bread staling.

**Key words** black rice flour; thermomechanical properties; bread quality; storage stability