

燕麦粉对小麦面团特性及饼干品质的影响

李娜, 陈前, 李海峰*, 贺晓光

(宁夏大学 食品与葡萄酒学院, 宁夏 银川 750021)

摘要:为研究添加燕麦粉对面团特性和饼干品质的影响,测定不同添加量燕麦粉面团特性,饼干质构特性、感官评价及营养成分指标。结果表明,与对照组相比,添加燕麦粉的面团硬度增大,黏聚性、黏着性先增大后减小。频率扫描结果符合幂律模型且拟合度良好,随着燕麦粉的添加量增加,混合面团 G' 和 G'' 增大,损耗因子 $\tan\delta$ 减小。燕麦粉添加量在 30% 以下时,对照组的 G' 和 G'' 大于添加燕麦粉的面团,面团变软,延展性增大。燕麦粉添加量大于 30% 时,对照组的 G' 和 G'' 小于添加燕麦粉的面团,说明燕麦粉增加了面团的黏弹性,降低面团流动性。蠕变-回复结果符合伯格模型且拟合度良好。燕麦粉添加量 30% 时, R_c 回复性最大。燕麦饼干的硬度和咀嚼性逐渐增大,弹性降低,燕麦粉添加量在 30% 时感官评分最好。与普通饼干相比,燕麦饼干蛋白质含量、膳食纤维、灰分显著提高,且碱度、水分符合 GB/T 20980—2007《饼干》中的要求。

关键词:燕麦粉;面团;质构特性;流变特性;饼干

Influence of Oat Flour on Dough Properties and Biscuit Quality

LI Na, CHEN Qian, LI Hai-feng*, HE Xiao-guang

(School of Food and Wine, Ningxia University, Yinchuan 750021, Ningxia, China)

Abstract: In order to study the influence of oat flour on the characteristics of dough and biscuit quality, the characteristics of oat flour dough, biscuit texture, sensory evaluation and nutritional index of biscuit were measured. The results showed that compared with the control group, the hardness, cohesiveness and adhesiveness of the dough with oat flour increased first and then decreased. The frequency scanning results conformed to the power law model and had a good fitting degree. As the amount of oatmeal added increased, the mixing dough G' and G'' increased, and the loss factor $\tan\delta$ decreased. When the amount of oat flour was less than 30%, G' and G'' in the control group were greater than the dough with oat powder, and the dough became soft and malleable. When the added amount of oat flour was more than 30%, the G' and G'' of the control group were less than the dough with oat flour, indicated that oat flour increases the viscoelasticity of the dough and reduced the fluidity of the dough. The creep-recovery results were in accordance with The Boggs model and fit well. The maximum R_c recovery was obtained when oat flour was added at 30%. The hardness and chewability of oat biscuit gradually increased, while the elasticity decreased. Sensory scores were best when oat flour was added at 30%. Compared with ordinary biscuits, the protein content, dietary fiber, ash content of oat biscuits were significantly increased, and the alkalinity and moisture were in line with the requirements of GB/T 20980—2007 biscuits.

Key words: oat flour; dough; texture characteristics; rheological properties; biscuits

引文格式:

李娜, 陈前, 李海峰, 等. 燕麦粉对小麦面团特性及饼干品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(1): 134-140.

LI Na, CHEN Qian, LI Haifeng, et al. Influence of Oat Flour on Dough Properties and Biscuit Quality [J]. Food Research and Development, 2021, 42(1): 134-140.

作者简介: 李娜(1994—), 女(汉), 在读硕士研究生, 研究方向: 农产品无损检测与加工。

* 通信作者: 李海峰(1963—), 男, 副教授, 主要从事农产品无损检测方面的教学和科研工作。

燕麦又称莠麦,是饲料及粮食作物,在世界谷物生产中居于第6位^[1]。燕麦作为世界重要谷物,其蛋白质含量居谷类粮食之首,是谷物中最好的全价营养食品之一^[2]。燕麦中含有多酚类物质,在降血脂、延缓衰老等方面有重要作用^[3]。 β -葡聚糖是燕麦中可溶性膳食纤维的主要组成部分,具有调节血糖、调节血压、减轻胃肠道炎症等功能^[4-6]。随着对燕麦食品保健功能的认可,近年来消费者对燕麦食品的消费量逐年上升,同样燕麦的需求量也在不断上升^[7]。但燕麦中缺少面筋蛋白,其中的燕麦蛋白不能形成面筋网络结构,无法赋予燕麦面团类似于小麦面团的黏弹性,加工特性差,因而在一些产品的开发中受到限制^[8]。我国燕麦加工处于初级加工阶段,目前燕麦产品主要为燕麦片、燕麦面包、燕麦粉等产品^[9],燕麦资源并没有获得大幅度开发利用,需加强对燕麦产品的研发,提高燕麦附加值^[10]。

目前,市场上饼干种类多,消费方便,保质期长,受到人们的喜爱。随着现代工业的快速发展,未来饼干市场的发展潜力也是十分巨大^[11]。燕麦是全麦谷物,含有大量营养物质,如蛋白质、可溶性膳食纤维、维生素、多酚等成分,将燕麦粉加入饼干中,增加饼干营养价值,改善饼干口感。

本研究将不同添加量的燕麦粉加入小麦粉中,研究混合粉面团特性及饼干品质的影响,为指导燕麦产品的开发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

燕麦粉:宁夏山逗子杂粮有限公司;小麦粉、复合泡打粉:滨州中裕食品有限公司;玉米油:中粮福临门营销有限公司;白砂糖、黄油、食用盐、奶粉、鸡蛋:市售。

RT-98 超微粉碎机:上海比朗仪器有限公司;ST-A200 振动筛分仪:北京旭鑫仪器设备有限公司;HR-1 Discovery 流变仪:美国 TA 公司;TA-XT plus 质构分析仪:英国 Stable Micro Systems 有限公司;AT 布拉本德粉质仪:德国布拉本德公司;SQP 电子天平:多利斯科学仪器北京有限公司;HO 405 电烘箱、HM 315 打蛋器:青岛汉尚电器有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 面团制备

将燕麦粉按照一定比例(0%、10%、20%、30%、40%、50%)加入小麦粉中(按混粉总计 100 g),采用粉质仪制备面团,加水量为面团达到标准稠度(500 BU)时的吸水率。

1.2.2 面团质构测定

按 1.2.1 制备面团,面团质构测试程序为^[12]:探头 p/35、测前速度 1.00 mm/s、测中速度 1.00 mm/s、测后速度 2 mm/s、位移 20 mm、触发力 5 g,测定面团的硬度、黏着性、黏聚性。

1.2.3 面团流变特性测定

按 1.2.1 方法制备面团,放入保鲜袋中静置 30 min,将面团放置直径为 40 mm 的夹具上,夹具间缝隙设定为 3 000 μ m,切去周围多余面团,并在面团涂抹一层二甲基硅油密封。试验开始前静置 180 s 以消除残余应力。设定程序参考^[13],并加以修改。

动态频率扫描测试条件:恒定温度 25 $^{\circ}$ C,平衡时间 180 s,振荡频率 0.1 Hz~60 Hz,测试面团的弹性模量(G')、黏性模量(G'')和损耗因子($\tan \delta$)随频率的变化。用幂律模型进行描述和拟合,幂律模型方程^[14]如下。

$$G' = K' f^{n'} \quad (1)$$

$$G'' = K'' f^{n''} \quad (2)$$

式中: K' 、 K'' 为稠度指数; n' 、 n'' 为流动性指数; f 为角频率。

蠕变-蠕变回复扫描测试条件:恒定压力 50 Pa 扫描 300 s 后,然后撤掉应力回复 300 s,测定面团的应力随时间的变化。为更好地描述面团的蠕变特性,利用 Burger's 模型对所得曲线进行拟合,方程^[15]如下。

$$\varepsilon(t) = \sigma_0/E_M + \sigma_0(1 - \exp(-t/\tau))/E_K + \sigma_0/\eta \cdot t \quad (3)$$

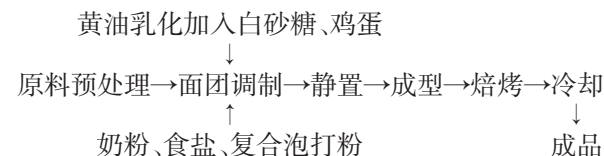
$$R_e = \frac{\varepsilon_T - \varepsilon_V}{\varepsilon_T} \times 100\% \quad (4)$$

式中: ε 为应变,%; σ_0 为应力,Pa; E_M 为 Maxwell 弹簧的弹性模量,Pa; E_K 为 Kelvin-Voigt 弹簧的弹性模量,Pa; τ 为延迟时间,s; t 为加载后的时间,s; η 为 Maxwell 阻尼的黏性系数,Pa·s; ε_T 为总应变; ε_V 为永久应变。

1.2.4 饼干的制作工艺

原料配比(燕麦粉+低筋粉总质量共计 100 g)、10%奶粉、25%黄油、20%白砂糖、50%鸡蛋、1%食用盐、0.6%复合泡打粉。

1.2.4.1 工艺流程



1.2.4.2 操作要点

原料粉预处理:燕麦粉、低筋粉过 40 目筛后备用。乳化:黄油在室温 20 $^{\circ}$ C 下软化加入鸡蛋液并多次加入

白砂糖,用打蛋器搅打至体积蓬松,颜色发白。面团调制:将预先处理好的原辅料依次加入多功能厨师机,加入过程中不断搅拌,原辅料充分融合,使面团具有较强的弹性,时间控制在10 min。静置:将和好的面团用保鲜膜包起来防止水分蒸发,静置10 min。焙烤:将辊压成型的饼干放入烤箱,上火温度为180℃,下火温度150℃,烘烤15 min后取出。

1.3 饼干感官评价表

根据GB/T 7100—2015《食品安全国家标准 饼干》制定饼干感官评分标准,见表1。由20名食品专业学生组成评价小组,对饼干形态(20分)、色泽(20分)、滋味与口感(30分)、组织结构(30分)4个方面进行评分,满分100分。

表1 感官评价表

Table 1 The standard for sensory evaluation of biscuit

项目	评价标准	评分
形态 (20分)	外形完整,薄厚均匀,无裂痕,不起泡,凹底很少	15~20
	外形较完整,薄厚较均匀,不起泡,凹底少	10~14
	外形不完整,有裂缝,凹底非常多	5~9
色泽 (20分)	色泽均匀并且有光泽,呈棕黄色,无过焦,过白现象	15~20
	色泽基本均匀,呈棕黄色,无过焦或过白	10~14
	色泽不均匀,颜色呈焦黑色或过白	5~9
滋味与 口感 (30分)	燕麦特有的香味,不粘牙,口感酥松	25~30
	燕麦特有的香气,酥脆度不足,口感轻微粗糙,略微粘牙	20~24
	燕麦香气不足,口感粗糙,粘牙	15~19
组织形 态(30 分)	断面结构呈细密多孔状,分布均匀,无较大空状	25~30
	断面结构基本呈多孔状,分布均匀	20~24
	断面结构不规则,孔状大小不一,分布不均匀	15~19

1.4 饼干的质构测定

将燕麦饼干放置质构仪载物台上进行质构测试:探头 p/2N、测前速度 1.00 mm/s、测中速度 2.00 mm/s、测后速度 1 mm/s、应变位移 3 mm、触发力 5 g,测定饼干的硬度、咀嚼性、弹性、每组测 5 次,取平均值。

1.5 饼干基本营养成分测定

水分含量测定方法:参照GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》;蛋白质含量测定方法:参照GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》;脂肪含量测定方法:参照GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》;灰分含量的测定方法:参照GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》;膳食纤维的测定方法:参照GB 5009.88—2014《食品安全国家标准 食品中膳食纤维的测定》;碱度测定:参照GB/T 20980—2007《饼干》。每100 g样品中碳水化合物的质量等于100减去其中蛋白质、脂肪、水分、灰分、膳食纤维的质量。

1.6 数据分析

每个样品测试重复3次,数据采用平均值±标准偏差表示,采用软件origin2017、1stopt5.0分析、拟合数据,SPSS22.0软件进行Duncan显著性分析($p<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 燕麦粉对面团质构的影响

燕麦粉的添加量对面团质构的影响见表2。

表2 燕麦粉的添加量对面团质构的影响

Table 2 Effect of oat flour addition on dough texture

燕麦粉添加量/%	硬度/g	黏着性/(g/s)	黏聚性
0	477.03±5.44 ^a	1796.50±13.40 ^d	0.69±0.04 ^b
10	425.52±9.14 ^d	2325.98±12.62 ^a	0.72±0.05 ^{ab}
20	545.39±6.87 ^c	1964.14±13.76 ^b	0.75±0.04 ^a
30	559.94±6.01 ^b	1721.47±14.54 ^c	0.74±0.04 ^a
40	570.23±8.35 ^a	1865.27±16.24 ^c	0.63±0.03 ^c
50	566.44±5.00 ^{ab}	1965.53±12.87 ^b	0.50±0.06 ^d

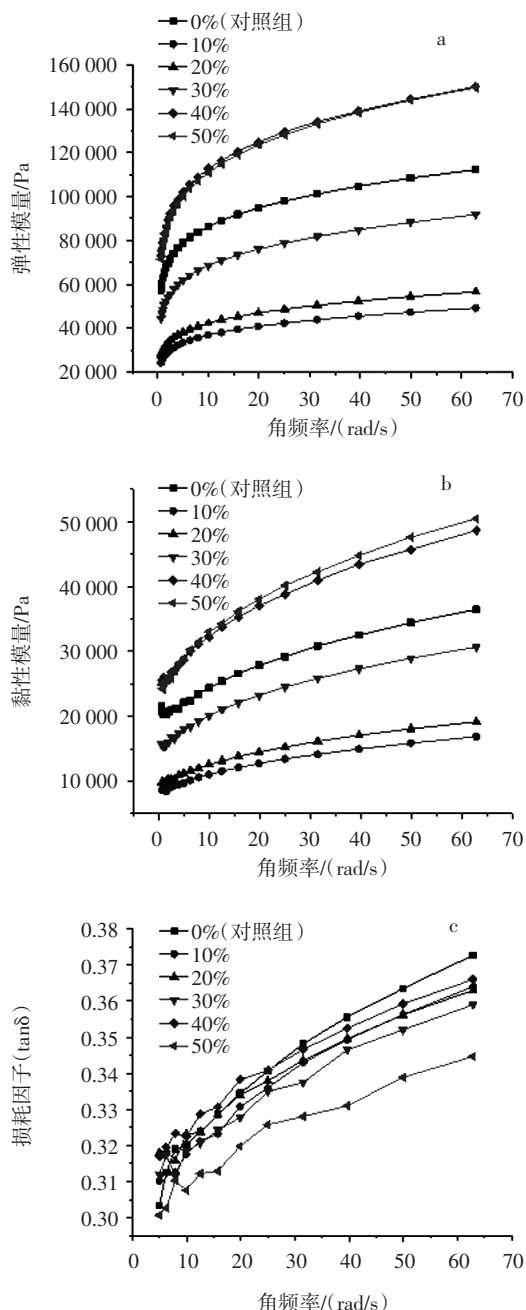
注:同列肩注相同字母表示差异不显著($p>0.05$),肩注不相同字母表示差异显著($p<0.05$)。

硬度、黏着性和黏聚性是面团重要的质构特性指标^[6],可评价面团结合力强度、延展性,从而准确反映出面团品质。硬度是质构仪第一次压缩样品时最大的峰值,在感官上是牙咬碎样品时的力^[7]。由表2可知,与对照组相比,添加燕麦粉使面团硬度增加且趋于稳定,可能是因为燕麦粉中淀粉颗粒形成的无定形空囊越多,吸水量增大,使面团硬度越大。黏着性是质构仪上的探头与样品接触时用以克服两者表面间吸引力所必需做的总功^[8]。随着燕麦粉添加量的增大,面团黏着性变化无规律。随着燕麦粉添加量增大,面团的黏聚性先增大后减小。可能是燕麦粉中淀粉吸水溶胀后形成紧密网状结构,能把淀粉和面筋蛋白牢固的黏合起来,以提高面团黏弹性,有利于增强面团结合力。但燕麦粉添加量大于30%后,黏聚性降低,破坏了面团内部结构,减弱了对外界破坏的抵抗能力。

2.2 面团的动态频率扫描

不同燕麦粉添加量面团频率扫描结果见图1,不同燕麦粉添加量面团频率扫描试验中幂律模型参数见表3。

面团动态频率扫描用于测试样品的弹性模量(G')、黏性模量(G'')以及损耗因子($\tan \delta$)。 G' 代表非耗散组件材料的机械性能并反映其弹性特征^[9]。 G'' 代表材料的黏性流动特性。 $\tan \delta$ 为 G'' 与 G' 比值, $\tan \delta$ 值反映了面团的综合黏弹性, $\tan \delta$ 值小通常代表刚性面团, $\tan \delta$ 值大则代表黏性面团^[20]。由图1可知,添加燕麦粉的面团 $G'>G''$,表明所有面团体系中的弹性 $>$ 黏



a. 弹性模量随角频率变化曲线; b. 黏性模量随角频率变化曲线; c. 损耗因子随角频率变化曲线。

图1 不同燕麦粉添加量面团频率扫描结果

Fig.1 Different oat flour added amount of dough frequency results

表3 不同燕麦粉添加量面团频率扫描试验中幂律模型参数

Table 3 Different oat flour added amount of dough frequency scanning power law model parameters

燕麦粉添加量/%	K'/Pa	n'	R^2_1	K''/Pa	n''	R^2_2
0(对照组)	62 960.00±20.37 ^f	0.138 5±0.02	0.99	18 890.00±25.19 ^f	0.139 8±0.05	0.96
10	81 320.00±22.36 ^e	0.127 8±0.01	0.99	21 740.00±30.44 ^e	0.134 6±0.01	0.98
20	120 500.00±22.00 ^d	0.133 2±0.01	0.99	120 500.00±47.05 ^d	0.147 2±0.03	0.95
30	127 500.00±25.14 ^c	0.118 5±0.01	0.99	27 690.00±40.11 ^c	0.142 1±0.03	0.96
40	140 000.00±28.41 ^b	0.117 3±0.02	0.99	27 650.00±32.41 ^b	0.154 1±0.01	0.97
50	151 600.00±30.42 ^a	0.110 2±0.03	0.99	27 170.00±36.17 ^a	0.145 8±0.02	0.95

注:同列肩注相同字母表示差异不显著($p>0.05$),肩注不相同字母表示差异显著($p<0.05$)。

性。燕麦粉添加量在30%以下时,对照组的 G' 和 G'' 大于添加燕麦粉的面团。原因可能是燕麦不含有面筋蛋白。加入燕麦粉稀释了小麦粉中的面筋蛋白,破坏了小麦粉的面筋网络,导致面团的黏弹性下降。燕麦粉添加量大于30%时,对照组的 G' 和 G'' 小于添加燕麦粉的面团,可能是因为燕麦粉中含有大量的脂肪氧化酶,脂肪经脂肪氧化酶的作用生成氢过氧化物,将面团中面筋蛋白质的巯基氧化成 $-S-S-$,强化了面筋蛋白的三维结构^[21],从而 G' 和 G'' 增大。由图1可知,所有样品损耗因子($\tan \delta$)都小于1。当燕麦粉添加量为50%时, $\tan \delta$ 降到最低。说明燕麦粉中的淀粉在糊化过程中形成了有序化程度较高的连续相,同时与小麦粉中的分子链相互作用,使凝胶的三维网络结构更加稳固^[22],面团体系的弹性比例大,流动性较差,类固性特性更明显。

由表3可知,数据对幂率方程拟合度良好($R^2>0.95$),其中 K' 、 K'' 是稠度指数, n' 、 n'' 是流动特性指数,添加燕麦粉的面团的 K' 大于 K'' , n' 大于 n'' 。随着燕麦粉添加量的增加, K' 、 K'' 呈上升趋势, n' 、 n'' 呈下降趋势,说明混合面团的流动性差,面团硬度变大。

2.3 面团的蠕变-回复

不同燕麦粉添加量面团蠕变与蠕变回复特性曲线见图2,不同燕麦粉添加量面团蠕变曲线 Burgers 模型参数见表4。

蠕变与蠕变回复是指对材料随时间发生缓慢且连续的形变,将此应力除去,在蠕变延伸的相反方向上材料的应变随时间而减小的现象^[23]。同时反映在加工过程中产品在外力作用下的外观特性,也从侧面反映了面团的黏弹性变化^[24]。

由图2可知,第一阶段蠕变过程时,对照组与添加燕麦粉的面团形变表现出较大差别。对照组形变最大。随着燕麦粉的添加量的增加,混合面团的应变减小且趋近稳定,该变化趋势表示混合面团形成的面筋网络结构抵抗外界形变能力变强,面团硬度变大。第二阶段蠕变回复过程的形变先快后慢,最后趋近稳定^[25]。

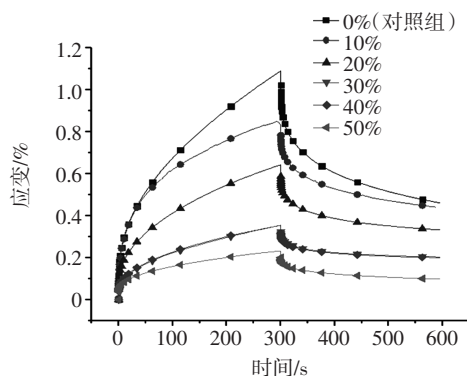


图2 不同燕麦粉添加量面团蠕变与蠕变回复特性曲线

Fig.2 Typical creep-recovery curves of the dough samples with oat flour at different concentrations

表4 不同燕麦粉添加量面团蠕变曲线 Burgers 模型参数

Table 4 Different oat flour added amount of dough creep curve Burgers model parameters

燕麦粉添加量/%	E_M/Pa	E_K/Pa	τ/s	$\eta/(\text{Pa}\cdot\text{s})$	R^2	$R_c/\%$
0(空白)	545.87±10.45 ^f	218.96±15.44 ^e	12.27±0.85	25 355.12±32.98 ^d	0.99	46
10	420.98±14.87 ^e	157.29±7.11 ^f	14.01±1.25	18 030.92±42.74 ^f	0.99	40
20	412.81±25.31 ^d	179.42±4.00 ^d	10.18±1.46	21 640.57±44.15 ^e	0.98	61
30	1 222.26±20.14 ^c	721.83±5.67 ^c	12.06±1.05	101 884.15±50.17 ^c	0.99	68
40	1 976.52±17.21 ^a	1 128.01±26.14 ^a	11.17±0.92	139 203.93±90.52 ^b	0.99	51
50	1 250.62±15.88 ^b	926.42±21.23 ^b	11.60±0.61	168 988.48±100.36 ^a	0.99	50

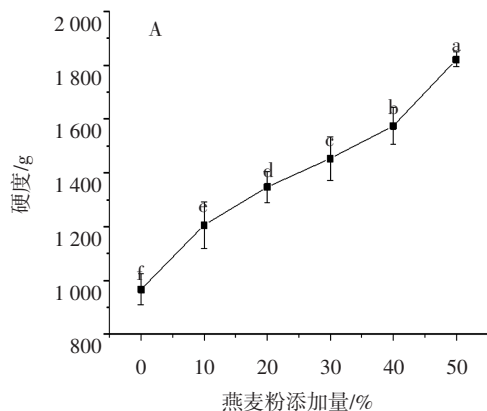
注:同列肩注相同字母表示差异不显著($p>0.05$),肩注不相同字母表示差异显著($p<0.05$)。

最大,说明燕麦粉的添加增加了面团的黏弹性。面团回复率 R_c 先增后减,添加量在 30% 时, R_c 最大。

2.4 燕麦粉的添加量对饼干质构的影响

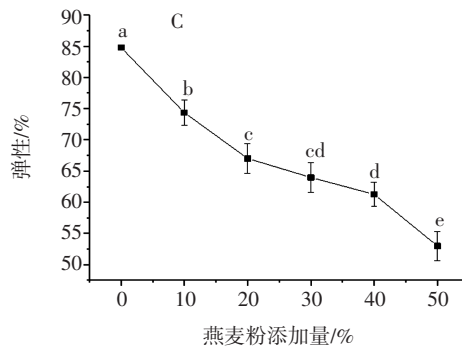
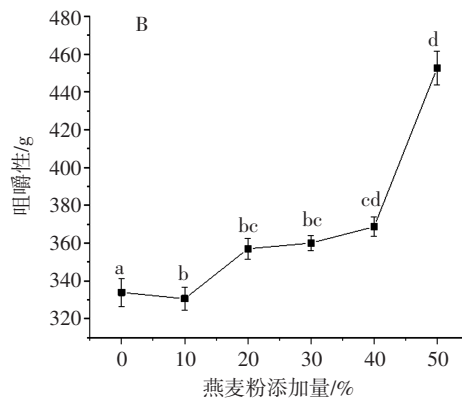
燕麦粉的添加量对饼干质构的影响见图 3。

质构仪作为客观评价食品品质的主要仪器,在食品行业已被广泛应用^[28]。由图 3 可知,随着燕麦粉添加量的增加,饼干硬度显著增大($p<0.05$)。当燕麦粉添加量由 0% 增加至 50% 时,饼干硬度由 967.35 g 显著增加到 1 821.53 g。原因是燕麦粉中含有丰富的膳食纤维且不含面筋蛋白,不利于面团形成面筋结构,使面团的持气性下降,饼干质地变硬。消费者的可咬合硬度范围在 3 000 g 以下,因此本试验所有饼干均在消费者可接受范围内。



随着燕麦粉添加量增大,混合面团回复到最小形变量时间逐渐缩短,松弛后形变量也越接近最初的状态。

从表 4 可以看出试验数据很好地拟合了伯格模型($R^2>0.98$)。 E_M 在 Maxwell 模型中表示弹性模量^[26]。 E_K 在 Kelvin 弹簧中表示弹性模量。 η 表示材料的不可恢复形变,即永久形变,这种不可恢复形变可能是由聚合物中的结晶区结构的破坏或非结晶区的结构重排造成的。它能引起瞬时的蠕变,这个形变在外力撤销时能够立即恢复^[27]。所有面团中 E_K 均大于 E_M ,说明添加燕麦粉增加了面团的黏弹性, τ 呈现减小的趋势,说明添加燕麦粉的面团,蠕变加载阶段的永久形变不断减少,稳定面团结构。燕麦粉添加量在 50%, E_M 、 E_K 、 η 值



A. 硬度随燕麦添加量变化曲线; B. 咀嚼性随燕麦添加量变化曲线; C. 弹性随燕麦添加量变化曲线。不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

图3 燕麦粉的添加量对饼干质构的影响

Fig.3 Effect of different amounts of oat flour on texture properties of biscuits

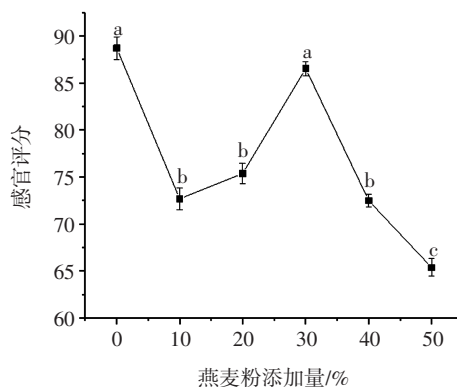
咀嚼性是指将半固体的样品咀嚼成吞咽时的稳定状态所需要的能量^[29]。咀嚼性越小,表示饼干越易被嚼碎,酥松性越好。由图3可知,随着燕麦粉添加量的增加,饼干咀嚼性呈显著增大($p<0.05$),添加量在20%~30%时趋于稳定。添加量大于40%时,显著增大。原因可能是燕麦粉中有较高含量的膳食纤维,结合水之后产生的黏性较大,咀嚼性增大。

弹性是指样品在第一次穿刺过程中变形后“弹回”程度^[30]。由图3可知,与对照组相比,随着燕麦粉添加量的增大,饼干弹性呈显著降低($p<0.05$),原因可能是燕麦粉的加入降低了小麦粉中面筋蛋白的含量,还可能是燕麦粉中大量的 β -葡聚糖,使面团吸收了大量水分,阻碍了面筋网络的形成,导致饼干弹性降低,较低的弹性可使面团更易成型,饼干纹路更清晰。

2.5 燕麦粉的添加量对饼干感官的影响

燕麦粉的添加量对饼干感官的影响见图4。

由图4可知,随着燕麦粉的添加量增大,感官评分先升高后降低,添加量在30%的燕麦饼干融合了燕麦特有麦香味,感官评分最高,且适量燕麦粉,稀释面筋强度,饼干更易成型,饼干口感更酥脆。燕麦粉添加量



不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

图4 燕麦粉的添加量对饼干感官的影响

Fig.4 Effect of different amounts of oat flour on sensory score of biscuit

大于40%时,饼干感官评分下降,原因是添加过多的燕麦粉,使面团延伸性、可塑性下降且硬度增大,饼干存在粘牙现象,这与饼干质构特性结果相符。综合分析,燕麦粉添加量在30%左右为宜。

2.6 燕麦饼干理化指标

饼干的营养成分见表5。

表5 饼干的营养成分

Table 5 Biscuits nutrition facts

g/100 g

饼干	碳水化合物	蛋白质	脂肪	膳食纤维	灰分
普通饼干	63.56±0.18	7.48±0.45	26.36±0.74	1.82±0.38	0.78±0.02
燕麦饼干	57.17±0.28*	9.5±0.53*	27.3±0.84*	4.75±0.19*	1.28±0.05*

注:*与普通饼干相比差异显著($p<0.05$)。

根据优化后的结果,确定燕麦粉添加量30%,测得燕麦饼干碱度为0.15%,水分为3.06%,符合GB/T 20980—2007《饼干》中规定,由表5可知,燕麦饼干中营养成分都有显著性提高,其中蛋白质、灰分和膳食纤维含量比普通饼干分别提高了21.26%、39.06%和61.68%。膳食纤维含量的增加可以增加饱腹感,控制能量摄入,维持正常肠道功能^[31]。碳水化合物降低了10.05%,相比普通饼干,燕麦饼干营养价值更高。

3 结论

通过燕麦粉对小麦面团的特性分析表明,添燕麦粉面团硬度增大,黏聚性、黏着性先增大后减小。燕麦粉添加量大于30%时,燕麦粉稀释了面筋蛋白,破坏了面团内部结构。通过频率扫描可知:幂律方程拟合良好($R^2>95\%$),添加燕麦粉的面团 G' 和 G'' 增大, $\tan\delta$ 逐渐减小,燕麦粉添加量在30%以下时,对照组的弹性和黏性大于添加燕麦粉的面团。燕麦粉添加量大于

30%时,对照组的弹性和黏性小于添加燕麦粉的面团,从而 G' 和 G'' 增大,面团具有半固体偏弹性性质。蠕变与蠕变回复可知:Burgers模型拟合良好($R^2>98\%$),燕麦粉添加量在30%, R_c 最大。

饼干的质构特性及感官评价结果表明,燕麦粉添加量30%最优,燕麦饼干软硬适中、感官评分最高。燕麦饼干中营养成分都有显著性提高,其中蛋白质、灰分和膳食纤维含量比普通饼干分别提高了21.26%、39.06%和61.68%,碳水化合物降低了10.05%,相比普通饼干,燕麦饼干营养价值更高。

参考文献:

- [1] 车甜甜,郑建梅,胡新中.皮燕麦片和裸燕麦片的化学组分及流变学特性比较[J].中国粮油学报,2015,30(12):33-37.
- [2] 宋蕾,钱海峰,王立,等.煮制对酥性饼干中燕麦颗粒质构的影响及工艺优化[J].食品科技,2018,43(11):172-178.
- [3] Pham Van Hung. Phenolic Compounds of Cereals and Their Antioxidant Capacity[J]. Critical reviews in food science and nutrition,

- 2016,56(1):25-35.
- [4] 黄远英, 汪玉芳. 燕麦 β -葡聚糖辅助降血糖功能的研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2019,10(2):369-373.
- [5] 申瑞玲, 程珊珊. 燕麦 β -葡聚糖生理功能研究进展[J]. 食品与机械, 2007,23(6):126-129.
- [6] KAUR S, BHARDWAJ R D, KAPOOR R, et al. Biochemical characterization of oat (*Avena sativa* L.) genotypes with high nutritional potential[J]. LWT, 2019,110:32-39.
- [7] 田志芳, 梁霞, 孟婷婷, 等. 不同燕麦品种的营养与品质性状分析[J]. 农产品加工, 2019(8):57-58.
- [8] 王凤. 燕麦面团的物性改善及其在燕麦面条中的应用[D]. 无锡: 江南大学, 2009.
- [9] 孟蕾. 燕麦食品加工及功能特性研究进展分析[J]. 食品安全导刊, 2018(6):119-120.
- [10] 杜亚军, 田志芳, 周柏玲. 燕麦主食化研究进展[J]. 食品研究与开发, 2017,38(12):211-214.
- [11] 吴泽河. 菊芋饼干加工工艺及品质分析[D]. 绵阳: 西南科技大学, 2018.
- [12] 蔡金鑫. 黄秋葵粉对面团和面包质构特性的影响 [J]. 食品工业科技, 2019,40(3):20-24.
- [13] 吴敏, 潘虹宇, 赵东林, 等. 燕麦茎秆理化组分分析与动态力学特性研究[J]. 农业机械学报, 2018,49(S1):447-455.
- [14] 汪立君, 吴敏, 王勇, 等. 豆渣-玉米粉挤压膨化分散体系流变特性[J]. 农业机械学报, 2012,43(4):119-125.
- [15] 尹冬敏, 吴敏, 李栋. 超微粉碎玉米秸秆微观结构与秸秆-淀粉共混膜蠕变特性[J]. 农业机械学报, 2016,47(S1):297-304.
- [16] 孙娟娟. 微细化与干法糊化对燕麦全粉理化性质及面团加工品质影响的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015.
- [17] LAU M H, TANG J, PAULSON A T. Texture profile and turbidity of gellan/gelatin mixed gels [J]. Food Research International, 2000,33(8):665-671.
- [18] 张园园, 温白娥, 卢宇, 等. 藜麦粉对小麦面团、面包质构特性及品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2017,43(10):197-202.
- [19] 刘俊飞, 汤晓智, 扈战强, 等. 外源添加面筋蛋白对小麦面团热机械学和动态流变学特性的影响研究[J]. 现代食品科技, 2015, 31(2):133-137.
- [20] JAFARI M, KOOCHEKI A, MILANI E. Effect of extrusion cooking on chemical structure, morphology, crystallinity and thermal properties of sorghum flour extrudates[J]. Journal of Cereal Science, 2017, 75: 324-331.
- [21] 张继武, 华平. 黑大豆营养面条的研制[J]. 食品科技, 2010,35(8): 201-203.
- [22] 王宏伟, 王新天, 肖乃勇, 等. 预糊化淀粉对糯米粉糊化、流变性能及微观结构的影响[J]. 中国粮油学报, 2019,34(4):57-62.
- [23] 谢岩黎, 王晨, 郝振宇. 抗性淀粉与小麦粉共混体系黏弹性的研究[J]. 中国粮油学报, 2018,33(2):25-30.
- [24] 杨玉玲. 不同和面方式对面团流变特性和面条品质的影响[D]. 郑州: 河南工业大学, 2018.
- [25] 王玉颜, 刘海波, 杨溶, 等. 淀粉种类对重组粉面团的流变学特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2019,45(3):112-118.
- [26] LI M, LI D, WANG L, et al. Creep behavior of starch-based nanocomposite films with cellulose nanofibrils[J]. Carbohydrate Polymers, 2015,117: 957-963.
- [27] CHANG Y, LI D, WANG L, et al. Effect of gums on the rheological characteristics and microstructure of acid-induced SPI-gum mixed gels[J]. Carbohydrate Polymers, 2014,108: 183-191.
- [28] 胡亚云. 质构仪在食品研究中的应用现状[J]. 食品研究与开发, 2013,34(11):101-104.
- [29] 夏硕, 郑丽君, 申光辉, 等. 高温杀菌对预浸泡豆杆货架期品质变化的影响[J]. 核农学报, 2020(2):298-306.
- [30] 张秋会, 宋莲军, 黄现青, 等. 质构仪在食品分析与检测中的应用[J]. 农产品加工, 2017(24):52-56.
- [31] 凌森, 李朝旭, 杨凯, 等. 膳食纤维在降糖配方乳粉中的应用研究[J]. 中国乳业, 2019(3):67-70.

加工编辑: 张弘

收稿日期: 2020-02-18

奋斗“十四五”，奋进新征程。