

# 添加不同粉碎香菇粉对面团发酵特性及面包品质的影响

张月巧<sup>1</sup>, 陈龙<sup>1</sup>, 卢可可<sup>1</sup>, 明建<sup>1,2,3</sup>

(1. 西南大学食品科学学院, 重庆 400715) (2. 西南大学国家食品科学与工程实验教学中心, 重庆 400715)  
(3. 重庆市特色食品工程技术研究中心, 重庆 400715)

**摘要:** 本文研究了四种不同粉碎方式(普通粉碎、剪切超微粉碎、气流超微粉碎和纳米超微粉碎)处理的香菇伞粉和柄粉对面团发酵特性和面包品质的影响。结果表明: 添加不同粉碎处理的香菇粉能增大面团的硬度, 且随添加量的增加而增大, 添加柄粉的面团硬度大于伞粉的面团硬度。添加同一粉碎处理的香菇粉面团粘度随添加量的增加而下降。当香菇粉添加量为 4.0% 时, 与对照面团相比, 面团较硬, 粘弹性较差。综合面团产气量、硬度和粘度变化分析, 纳米超微粉碎香菇伞粉添加量在 1.0% 以内, 发酵 100min 后, 面团的产气量和粘度较高, 硬度较低, 面团品质较好。从面包品质上看, 当添加量不超过 1.0% 时, 添加气流超微粉碎和纳米超微粉碎香菇伞粉的面包水分含量和比容更接近对照面包。添加纳米超微粉碎香菇柄粉的面包亮度适中、色泽较白, 弹性和回复性较好, 硬度和咀嚼性较低。

**关键词:** 香菇粉; 粉碎方式; 面团; 发酵; 面包品质

文章编号: 1673-9078(2016)2-211-220

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.2.032

## Effect of Adding Powdered Mushroom (*Lentinus edodes*) on Dough Performance and Bread Quality

ZHANG Yue-qiao<sup>1</sup>, CHEN Long<sup>1</sup>, LU Ke-ke<sup>1</sup>, MING Jian<sup>1,2,3</sup>

(1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China) (2. National Food Science and Engineering Experimental Teaching Center, Southwest University, Chongqing 400715, China) (3. Chongqing Special Food Programme and Technology Research Center, Chongqing 400715, China)

**Abstract:** Mushroom (*Lentinus edodes*) caps and stems were powdered using four different grinding methods (ordinary grinding, shear-ultrafine grinding, jet-ultrafine grinding, and nano-ultrafine grinding) and added to bread dough. The effects of the powders on dough fermentation characteristics and bread quality were analyzed. The results indicated that powdered mushroom increased the hardness of dough in a dose-dependent manner, where the increase was higher with powdered mushroom stems as compared to caps. Adhesiveness of the dough decreased with the amount of mushroom powder added; at 4.0% the dough was relatively hard with relatively poor viscoelasticity when compared with the control. The results showed that addition of <1% mushroom cap powder obtained by nano-ultrafine grinding, resulted in good quality dough, with relatively low hardness as well as relatively high viscosity and gas production after fermentation for 100 min. On the other hand, the results for bread quality with <1% mushroom cap powder obtained by jet-ultrafine and nano-ultrafine grinding were similar to those with control dough. The bread made with powdered mushroom stem obtained by nano-ultrafine grinding showed moderate brightness, white color, relatively good elasticity and resilience, as well as low hardness and chewiness.

**Key words:** *Lentinus edodes* powder; grinding methods; dough; fermentation; bread quality

香菇 (*Lentinus edodes* (Berk.)sing), 属担子菌纲

收稿日期: 2015-04-24

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(31271825); 国家“863”计划项目(2011AA100805-2); 重庆市科技攻关计划项目(CSTC2011AC1010)

作者简介: 张月巧(1992-), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品化学与营养学

通讯作者: 明建(1972-), 男, 博士, 教授, 研究方向食品化学与营养学

侧耳科真菌, 是世界第二大食用菌, 含有丰富的碳水化合物、蛋白质、氨基酸、膳食纤维、甾体等营养成分<sup>[1]</sup>, 其中总膳食纤维含量是面粉的 6 倍左右<sup>[2]</sup>, 作为“第七营养素”, 膳食纤维具有预防肠道疾病、糖尿病、高血压等生理功能<sup>[3-4]</sup>, 已成为保健食品的研究热点。而目前我国成人日均膳食纤维摄取量为 8~12 g/d, 不足参考摄入量(30.2 g/d)的一半<sup>[5]</sup>。面包作为主流烘

焙食品深受消费者喜爱,将香菇粉作为功能性配料添加到面粉中,不仅可以提高面包的营养价值,还是强化膳食纤维的有效途径。

干香菇(尤其是香菇柄)经超微粉碎后,直径小于 10  $\mu\text{m}$ ,除具有巨大表面积和孔隙率、较好的溶解性和吸附性等优良特性外。还能提高食品加工过程中发酵、酶解的反应速率,有利于机体对营养成分的吸收,从而提高营养素的生物利用率<sup>[6]</sup>。通过对香菇伞和柄的超微粉碎处理,发现随着粉体粒径减小,可溶性膳食纤维含量、蛋白质和多糖溶出率、水溶指数、容积密度等均得到明显提高<sup>[7]</sup>。在面粉中加入超微粉碎香菇粉,不仅可以丰富面粉中营养物质,还可以改变面团结构特征和加工性状。香菇中的膳食纤维能形成稳定的网络结构,使面筋持气性增加,有利于面包醒发和烘烤过程中  $\text{CO}_2$  气体的保持,对面团体系和面包品质也产生影响<sup>[8]</sup>。

本文以四种不同粉碎(普通粉碎、剪切超微粉碎、气流超微粉碎和纳米超微粉碎)处理的香菇伞粉和柄粉为原料,考察香菇粉对面团发酵特性及面包品质的影响,筛选出面团发酵特性最优和面包品质最佳的添加量,为开发高营养价值、高品质香菇面制品提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

小麦面粉: A4, 重庆顶益食品有限公司; 香菇粉: 自制, 制备方法见表 1; 白砂糖: 太古糖业; 食盐: 重庆盐业(集团)有限公司; 玉米油: 益海嘉里(重

庆)粮油有限公司; 高活性干酵母(耐高糖型): 安琪酵母股份有限公司; 全脂奶粉、鸡蛋、黄油均由西安米旗食品有限公司提供。

### 1.2 仪器设备

DHG-9140A 电热恒温鼓风干燥箱: 上海齐欣科学仪器有限公司; JYL-C012 高速粉碎机: 九阳股份有限公司; YSC-701 超微粉碎机: 北京燕山正德机械有限公司; LNJ-120 气流粉碎机: 绵阳流能粉体设备有限公司; CJM-SY-B 高能纳米冲击磨: 秦皇岛市太极环纳米制品有限公司; FA-2004 电子天平: 上海恒平科学仪器有限公司; 排水法测定面团产气量装置(自制); TA-TX2i 物性测定仪: 英国 Stable Micro Systems 公司; JA5002 电子天平: 上海精天电子仪器有限公司; ARM-02 多功能搅拌机: 加拿大雷鸟食品机械有限公司; SRF-FC781N 冷冻柜: 大连三洋饮食设备有限公司; HL-2DW 远红外电热烤箱: 广州番禺成功烘焙设备有限公司; SP-36S 发酵箱: 三麦机械股份有限公司; HH-6 全自动测色色差计: 北京鑫奥依克光电技术有限公司; 其余均为实验室常用设备。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 香菇伞粉和柄粉的制备

鲜香菇经水洗除杂、伞柄分离, 低温烘干(45  $^{\circ}\text{C}$ ~60  $^{\circ}\text{C}$ )至水分约 10%。密封储存于干燥阴凉处, 待用。粉碎方法如下:

#### 1.3.2 试验面团配方

试验面团配方参照 GB/T 14611-2008, 如表 2 所示。

表 1 香菇伞粉和柄粉的制备方法

Table 1 Methods used to prepare *L. edodes* cap and stem powders

粉碎方式	普通粉碎	剪切超微粉碎	气流超微粉碎	纳米超微粉碎
粉碎设备	JYL-C012 高速粉碎机	YSC-701 超微粉碎机	LNJ-120 气流粉碎机	CJM-SY-B 高能纳米冲击磨
设备参数	粉碎 20 min; 过 100 目筛	粉碎 20 min	粉碎 2 h	5~35 $^{\circ}\text{C}$ 变频, 粉碎 6 h
粒径	伞粉	36.09	7.00	0.54
	柄粉	59.60	26.55	7.05

表 2 试验面团配方表

Table 2 Recipe for wheat dough used in this study

项目	面粉	水	即发型酵母	盐	糖	油	香菇粉
面粉总量的百分基数/%	100	适量	1.8	1.5	6.0	3.0	0.5~4.0

注: 加水量可参照面团粉质吸水率<sup>[2]</sup>, 以面团尽可能柔软而不粘手影响操作为原则, 根据面团软硬进行调整。

#### 1.3.3 试验面包制作

面包制作参照“GB/T 14611-2008 面包烘焙品质

试验-直接发酵法”所述方法, 并根据实际情况对面包各成分含量略作调整, 具体成分配方如表 3。

表3 试验面包配方表

Table 3 Recipe for bread used in this study

项目	面粉	蛋水混合物	即发型酵母	盐	糖	黄油	全脂奶粉	香菇粉
面粉总量的百分基数/%	100	65~68	2.5	2.0	8.0	10.0	6.0	0.5~2.0

面包制作工艺流程:

1000 g 混合粉料→面团搅拌调制(当面筋达到 98%时加入黄油)→静止松弛(30℃, 20 min)→醒发(28℃, 相对湿度 85%, 30 min)→搓圆分割(192±2 g/个)→成型醒发(38℃, 相对湿度 85%, 2 h)→烘烤(上火 200℃, 下火 200℃, 10 min; 上火 230℃, 下火 250℃, 30 min)→冷却→成品面包

### 1.3.4 面团体积和产气量测定

参照行业标准 QB1252-91 酵母发酵力测定方法, 自制试验装置(如图 1 所示)。将装置所处环境温度控制在 30±1℃, 每 20 min 记下面团膨胀高度和 D 容器中排水量。面团膨胀高度可经换算得到面团的体积, 用排水法测出 CO<sub>2</sub> 气体的排水量减去面团体积, 即得面团产气量(体积)。

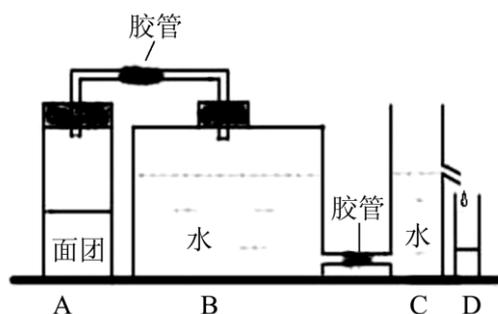


图 1 面团发酵性能的测试装置图

Fig.1 Schematic diagram of the testing device used to measure fermentation performance of wheat dough

### 1.3.5 面团物性测定

采用 TA-XT2i 物性测定仪进行测定, 将揉制好的面团分割成 30 g 的小块, 在 85%湿度和 30℃下发酵 2 h, 每隔 0.5 h 测定一次, 在不同位置重复测定五次, 取平均值。测定参数如下。

测试探头: P36R; 测试计数: 200.00; 测试模式与选择: TPA; 测前速度: 2.00 mm/s; 测试速度: 1.00 mm/s; 测后速度: 10.00 mm/s; 压缩比: 50%; 测试时间: 10.00 s。

### 1.3.6 面包外观特性和物性测定

#### 1.3.6.1 面包水分和比容测定

水分采用“GB 5009.3-2010 食品中水分的测定”中直接干燥法测定。比容采用菜籽置换法测定, 首先将焙烤模具中的面包分割, 取大小适宜的面包(能放入烧杯)称重 W (g), 再取容量大小适宜的烧杯, 用菜籽填满烧杯, 然后倒出菜籽, 将待测面包放入烧杯中, 把菜籽边倒入边震荡直至填满烧杯, 用量筒量取剩余菜籽的

体积 V (mL), 即面包的实测体积。面包的比容 (R) 计算公式如下:  $R (mL/g) = V/W$ 。

#### 1.3.6.2 面包色泽测定

采用 CIE1976 L\*a\*b\* 标准色度系统, 用全自动测色色差计分别测定 L\*、a\*值和 b\*值, 其中 L 值表示亮度; +a\*显示红的趋势, -a\*显示绿的趋势; +b\*显示黄的趋势, -b\*显示蓝的趋势。其中+b\*值是香菇粉呈现的颜色, 香菇粉的添加会造成面包+b\*值上升, 同时-a\*值也不断变化, 因此, 可利用-a\*/b\*值的变化表示其面包芯色泽的变化。

#### 1.3.6.3 面包物性测定

将冷却 1h 后的面包芯切成厚约 25 mm 的片状, 采用 TA-XT2i 物性测定仪进行测定。压缩距离: 10 mm; 其它参数同“1.3.5 面团物性测定”。

### 1.3.7 数据统计与分析

所有试验处理进行三次重复测定, 测定数据以平均值或平均值±标准偏差 ( $\bar{x} \pm SD$ ) 的形式表示。方差分析采用 SPSS17.0 (SAS Institute, NC, USA) 软件的 Duncan 法作多重比较分析, 检验的显著性水平为  $p < 0.05$ , 数据图采用 Origin8.6 软件绘制。

## 2 结果与分析

### 2.1 添加不同粉碎处理香菇粉对面团产气量的影响

添加不同粉碎处理香菇粉对面团产气量的影响如图 2 所示。香菇粉的添加使面团的产气量在发酵后期有所下降, 产气趋势较为稳定。由于蛋白质含量较高<sup>[2]</sup>, 香菇伞粉混合面团的产气量普遍较大。香菇粉添加量的增大使面团的产气量在发酵前期有所增大, 添加量为 4.0%时, 混合面团单位时间内产气量较高。

添加香菇伞粉和柄粉的面团在发酵过程中的产气量变化和对照大致相同, 均呈现先增加后降低的趋势。在发酵前 20 min 内, 不同粉碎香菇粉添加量的面团产气量差异不明显, 面团中的酵母处于生长延滞期<sup>[9]</sup>。在发酵前 100 min 内, 面团产气量与发酵时间呈正相关 ( $P < 0.05$ ), 随发酵时间延长, 产气量迅速上升, 在发酵 80 min~100 min 的时间段内, 产气量达到 200 mL/20 min 左右。酵母利用搅拌操作混入的氧气、面团中  $\alpha$ -淀粉酶、 $\beta$ -淀粉酶等作用下产生的单糖, 开始

迅速繁殖,产生大量 CO<sub>2</sub> 气体<sup>[9]</sup>。随后面团中的单糖和氧气不断被消耗利用,发酵 100 min 后,单位时间的产气量下降。添加不同粉碎处理的香菇粉,对面团产气量的影响也不同。发酵时间在 100 min 内时,添加气流超微粉碎香菇伞、柄粉,面团产气量呈现较高水平,最高达到 196.53 mL/20 min。当发酵时间大于 100 min 时,纳米超微粉碎香菇伞、柄粉的添加更有利于面团产气,产气量最高达到 176.17 mL/20 min。

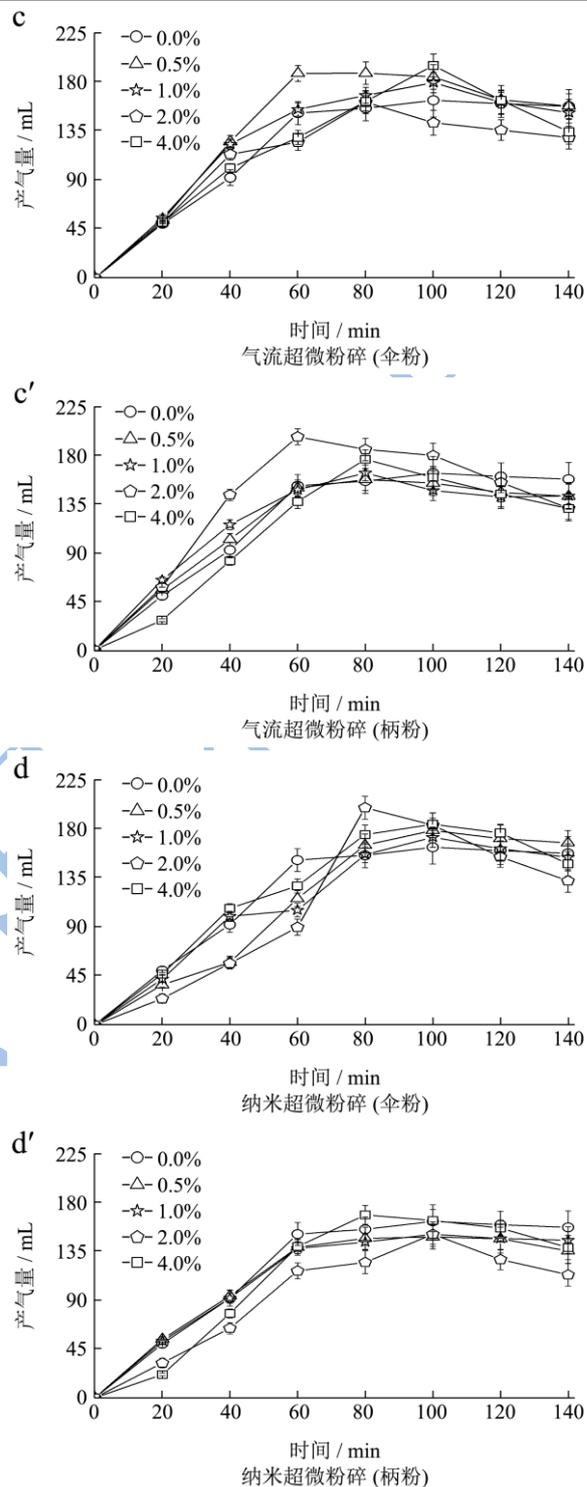
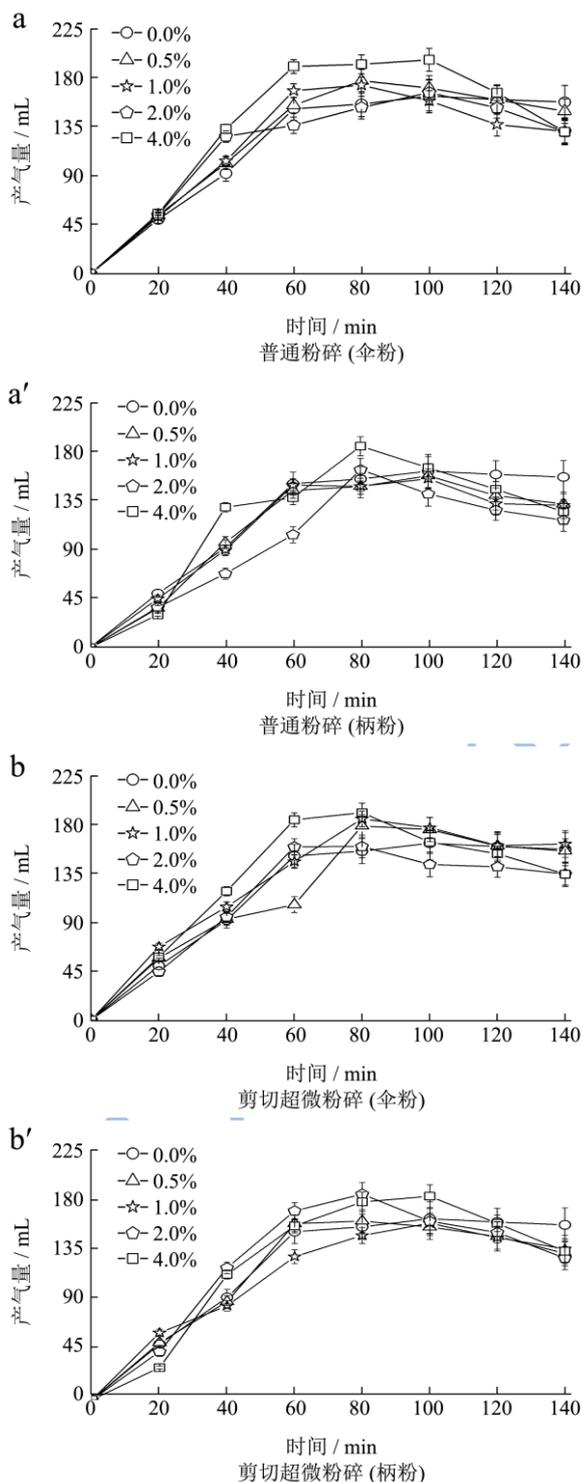


图 2 添加不同粉碎处理香菇粉对面团产气量的影响

Fig.2 Effect of different conditions used to obtain powdered *L. edodes* on gas production by wheat dough

注: 标有字母 A、B、C、D 和 A'、B'、C'、D' 的图分别表示添加香菇伞粉和香菇柄粉的面团产气量变化。

## 2.2 添加不同粉碎处理香菇粉对面团物性的影响

添加不同粉碎处理的香菇伞和柄粉对面团硬度的影响情况如表 4 和表 5 所示。由表可知, 四种粉碎处理的香菇粉(伞粉和柄粉)对面团硬度的影响均随着添加量的增加而增大。添加普通粉碎香菇伞粉的面团硬度在几种不同添加量下均高于同等处理的柄粉, 而添加其他三种超微粉碎香菇伞粉在添加量 0.5% 和

1.0% 时硬度较高, 当添加量增大到 2.0% 和 4.0% 时则普遍低于添加柄粉的面团。说明在一定的范围内不同粉碎香菇粉的添加能增大面团的硬度, 且添加量越大, 面团的硬度越高; 添加柄粉的面团硬度增加幅度大于伞粉。

表 4 添加不同粉碎处理香菇伞粉对面团硬度的影响

Table 4 Effect of adding powdered *L. edodes* caps obtained by different grinding methods, on the hardness of wheat dough

时间/min	空白	普通粉碎				剪切超微粉碎			
		0.5	1.0	2.0	4.0	0.5	1.0	2.0	4.0
0	702.01	1011.30	1101.01	1387.52	1520.01	995.31	1002.82	1123.41	1388.40
30	550.03	878.52	895.63	1257.31	1355.62	883.01	925.31	987.71	1178.10
60	507.72	633.61	679.20	1051.42	1125.31	621.20	778.50	821.50	928.31
90	408.91	451.84	549.20	941.60	1022.63	489.63	563.91	663.84	732.02
120	361.23	371.62	421.31	725.20	886.91	400.51	412.20	529.42	612.42

时间/min	气流超微粉碎				纳米超微粉碎			
	0.5	1.0	2.0	4.0	0.5	1.0	2.0	4.0
0	905.20	1202.20	1098.40	1200.52	915.73	992.30	1108.20	1145.94
30	852.63	922.31	943.01	1022.31	842.40	884.71	902.84	1005.42
60	722.10	863.01	834.51	976.73	710.31	795.53	874.31	904.53
90	594.72	625.73	630.10	796.01	583.83	623.10	669.02	735.10
120	396.41	442.94	536.31	625.21	388.01	400.31	515.62	592.84

和对照相比, 添加不同粉碎处理香菇柄粉增大了面团的硬度, 随发酵时间的延长, 硬度逐渐下降, 随添加量的增大, 硬度普遍上升。这可能是由于香菇伞粉和柄粉的粉质吸水率较高<sup>[2]</sup>, 粒径较小, 填充在面筋网络结构中使硬度增大。由表 4 可知, 普通粉碎香菇伞粉面团的硬度最大。随添加量的增多, 面团硬度增

幅也最大, 说明超微粉碎能减小香菇伞粉的添加对面团硬度的负影响。由表 5 可知, 当添加量为 1.0% 时, 气流超微粉碎面团的硬度较高。添加量为 2.0%、4.0% 时, 剪切超微粉碎面团的硬度较高。说明在一定的范围内添加剪切超微粉碎和气流超微粉碎香菇柄粉对面团硬度有较大影响。

表 5 添加不同粉碎处理香菇柄粉对面团硬度的影响

Table 5 Effect of adding powdered *L. edodes* stems obtained by different grinding methods, on the hardness of wheat dough

时间/min	空白	普通粉碎				剪切超微粉碎			
		0.5	1.0	2.0	4.0	0.5	1.0	2.0	4.0
0	702.01	996.41	1006.20	1223.01	1423.94	922.41	984.61	1303.81	1533.41
30	550.03	861.32	869.73	1075.42	1216.31	816.93	877.63	1130.62	1302.30
60	507.72	621.94	652.51	898.31	971.74	585.41	746.94	929.01	1024.72
90	408.91	449.31	533.82	729.10	832.01	462.72	518.31	714.53	883.01
120	361.23	388.62	413.10	563.21	623.52	425.51	430.82	588.21	646.42

时间/min	气流超微粉碎				纳米超微粉碎			
	0.5	1.0	2.0	4.0	0.5	1.0	2.0	4.0
0	884.30	1130.62	1100.61	1322.83	879.61	926.41	1009.30	1215.30
30	810.10	932.84	983.52	1109.10	810.62	826.10	934.20	1002.51
60	703.41	853.31	911.94	967.21	695.30	756.93	828.83	932.01
90	546.82	603.52	758.21	843.53	549.41	618.51	707.41	811.94
120	420.51	450.94	540.30	596.01	377.02	389.20	510.01	627.10

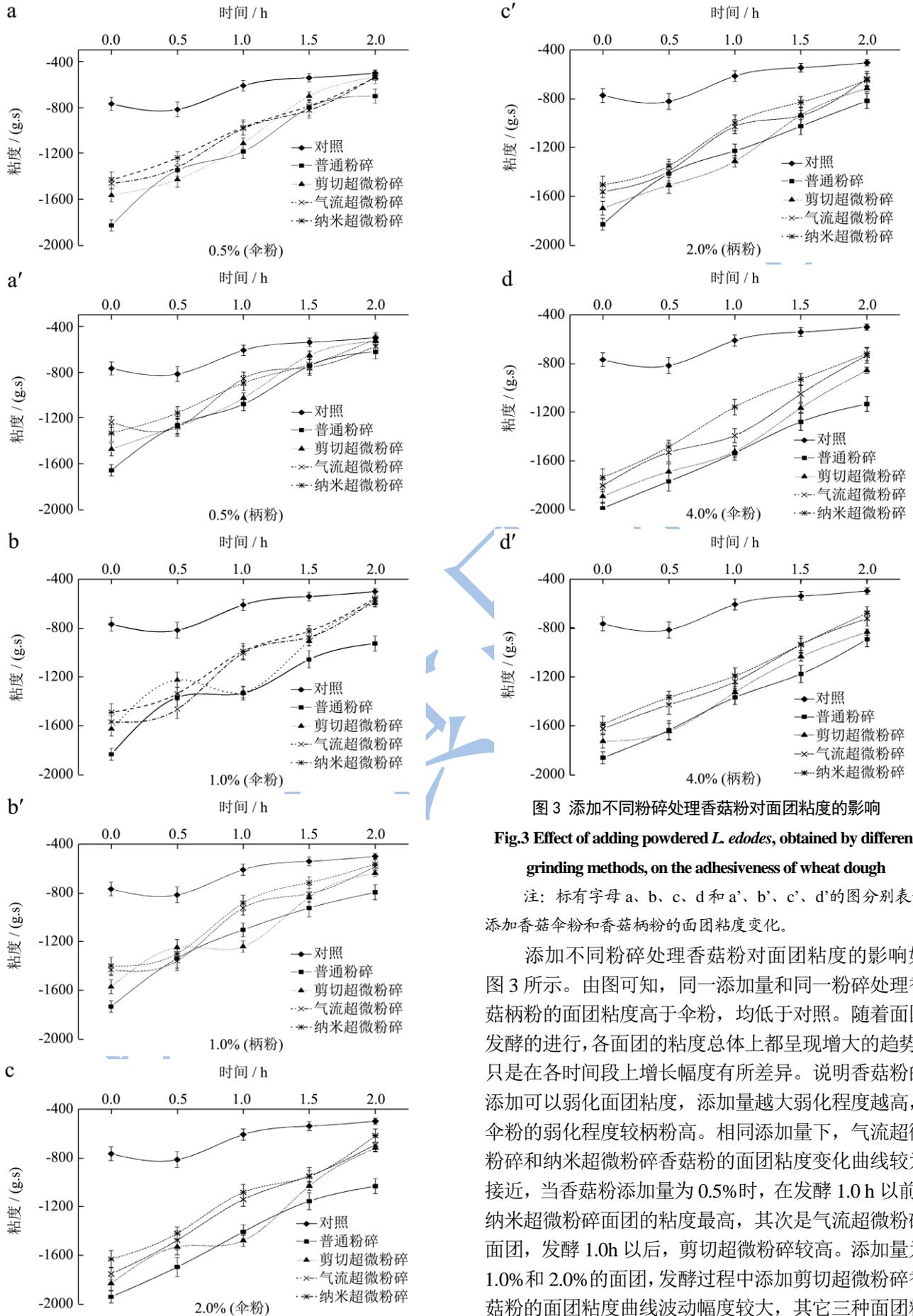


图3 添加不同粉碎处理香菇粉对面团粘度的影响

Fig.3 Effect of adding powdered *L. edodes*, obtained by different grinding methods, on the adhesiveness of wheat dough

注: 标有字母 a、b、c、d 和 a'、b'、c'、d' 的图分别表示添加香菇伞粉和香菇柄粉的面团粘度变化。

添加不同粉碎处理香菇粉对面团粘度的影响如图3所示。由图可知, 同一添加量和同一粉碎处理香菇柄粉的面团粘度高于伞粉, 均低于对照。随着面团发酵的进行, 各面团的粘度总体上呈现增大的趋势, 只是在各时间段上增长幅度有所差异。说明香菇粉的添加可以弱化面团粘度, 添加量越大弱化程度越高, 伞粉的弱化程度较柄粉高。相同添加量下, 气流超微粉碎和纳米超微粉碎香菇粉的面团粘度变化曲线较为接近, 当香菇粉添加量为0.5%时, 在发酵1.0h以前, 纳米超微粉碎面团的粘度最高, 其次是气流超微粉碎面团, 发酵1.0h以后, 剪切超微粉碎较高。添加量为1.0%和2.0%的面团, 发酵过程中添加剪切超微粉碎香菇粉的面团粘度曲线波动幅度较大, 其它三种面团粘

度较高的是添加纳米超微粉碎香菇粉的面团。添加量为 4.00% 时, 香菇粉粒径越小, 面团粘度越大。说明在一定的范围内不同粉碎处理的香菇粉添加可以使面团粘度降低, 香菇粉的粒度越小, 降幅越小。香菇粉的添加量越大, 面团的粘度在同一发酵时期内就越小。

同一粉碎处理香菇粉随添加量的增加, 面团硬度普遍上升, 粘度普遍下降。当面团中香菇粉添加量为 4.0% 时, 硬度 (592.8 g~1533.4 g) 和粘度范围 (-1987.22 g s~-721.08 g s) 与对照的硬度 (361.2 g~702.0 g) 和粘度范围 (-817 g s~-500.7 g s) 偏差最大, 面团较硬, 粘弹性较差, 面包形态发生显著变化。故面包的表现特性和物性测定试验, 只考察以下添加量: 0.0% (对照)、0.5%、1.0%、2.0%。

### 2.3 添加不同粉碎处理香菇粉对面包表现特性和色泽的影响

容显著低于对照 (<5.61 mL/g), 且随着添加量增大而逐渐下降, 当香菇粉添加量超过 1.0% 时, 面包形态发生显著变化。同一添加量、同一粉碎处理的香菇伞粉的面包比容显著高于柄粉, 水分含量显著低于柄粉。

相同添加量下, 添加纳米超微粉碎香菇伞粉的面包比容较大, 添加剪切超微粉碎香菇伞粉、柄粉的面容较小。添加剪切超微粉碎香菇伞粉、柄粉的面包水分含量较高, 添加气流超微粉碎香菇伞粉和普通粉碎柄粉的面包水分含量较低。导致这种结果的主要原因是香菇粉的添加稀释了面团中面筋的浓度, 对面筋网络也有一定的破坏作用, 这使面团在发酵过程中膨胀力和弹性降低, 面包体积变小, 比容下降。也有研究发现, 在面粉中添加其他粉体物质也会减小面包的体积, 添加量越大, 面包体积越小<sup>[10-11]</sup>。香菇粉中的总膳食纤维是面粉中总膳食纤维的 6~7 倍, 高含量的膳食纤维具有滞水作用, 能够使面包中的水分在烘焙时难以蒸出而使面包水分含量升高<sup>[2,12]</sup>。

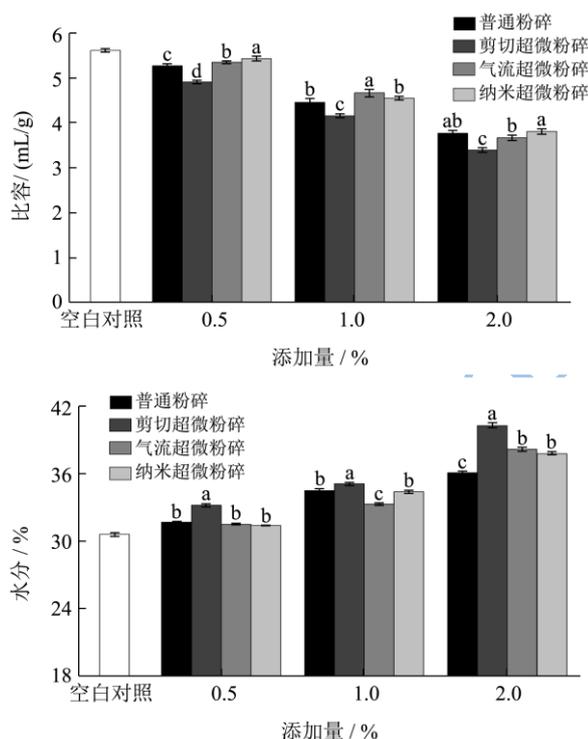


图 4 添加不同粉碎处理香菇伞粉对面包比容和水分的影响

Fig.4 Effect of adding powdered *L. edodes* caps obtained by different grinding methods, on the specific volume and moisture of bread

注: 不同小写字母 (a、b、c、d) 代表同一添加量上比容或水分变化的差异显著性 ( $p < 0.05$ )。

添加不同粉碎处理香菇伞、柄粉对面包比容和水分的影响如图 4 和图 5 所示。由图可知, 添加香菇伞粉、柄粉的面包水分含量显著高于对照面包 ( $>30.6\%$ ,  $P < 0.05$ , 下同), 且随添加量增加而不断上升。面包比

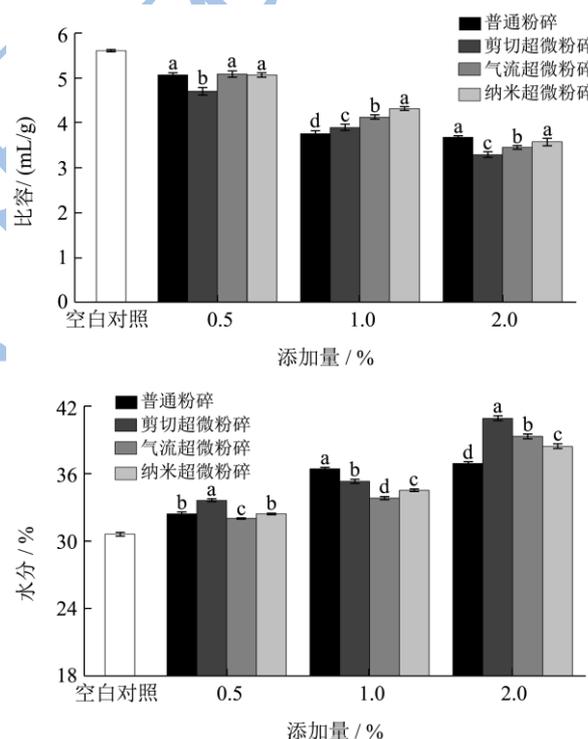


图 5 添加不同粉碎处理香菇柄粉对面包比容和水分的影响

Fig.5 Effect of adding powdered *L. edodes* stems obtained by different grinding methods, on the specific volume and moisture of bread

注: 不同小写字母 (a、b、c、d) 代表同一添加量上比容或水分变化的差异显著性 ( $p < 0.05$ )。

添加不同粉碎处理香菇粉对面包芯色泽的影响如图 6 和图 7 所示。由图可知, 随着添加量的增加, 不同粉碎香菇伞、柄粉的面包 L\*值和 -a\*/b\*值均呈下降趋势。前者亮度 (L\*值) 普遍偏低, -a\*/b\*值普遍

较高。面包色泽变化主要源于香菇粉的自身黄色，导致面包芯色泽整体偏暗，同时与蔗糖相比，香菇干粉中其他类型的糖，使面包容易发生褐变反应<sup>[13]</sup>。

低。由香菇粉体粒径大小不同导致面包芯色泽的变化，可能是粉末在不同粒径大小下的折光效果不同引起。

### 2.4 添加不同粉碎处理香菇粉对面包物性的影响

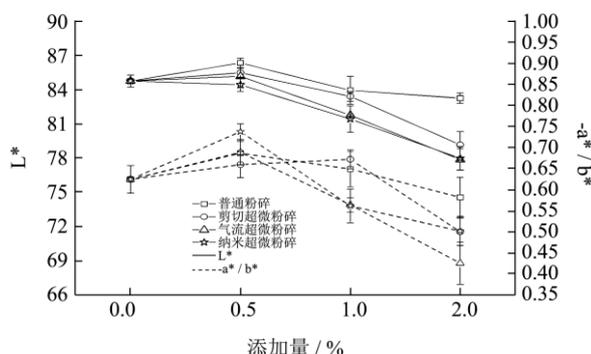


图6 添加不同粉碎处理香菇伞粉对面包芯色泽的影响  
Fig.6 Effect of adding powdered *L. edodes* caps obtained by different grinding methods, on the color of bread

添加量越大，对面包芯色泽的影响越大，但当添加量达到2.0%时，面包的L\*值和-a\*/b\*值显著低于对照，颜色变暗、变黄，面包芯色泽劣变较为严重。添加香菇伞粉的面包L\*值随粉体粒径变小而降低。添加纳米超微粉碎香菇柄粉的面包L\*值较高，添加普通粉碎香菇柄粉的面包L\*值较低。另一方面，面包的-a\*/b\*值随粒径的变化不明显，当添加量为0.5%和1.0%时，四种面包的-a\*/b\*值和对照比较接近。当添加量达到2.0%时，-a\*/b\*值均低于对照，且添加普通粉碎香菇粉的面包-a\*/b\*较高，气流超微粉碎香菇粉的面包较

影响

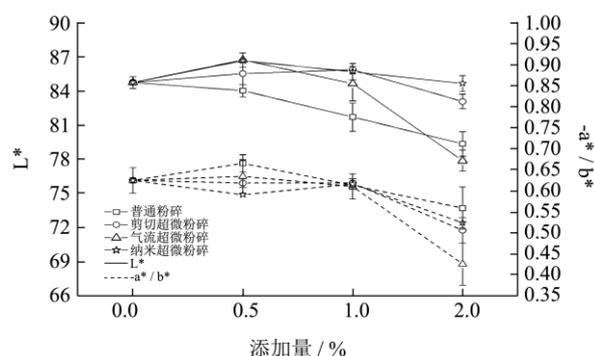


图7 添加不同粉碎处理香菇柄粉对面包芯色泽的影响  
Fig.7 Effect of adding powdered *L. edodes* stems obtained by different grinding methods, on the color of bread

硬度是衡量面包品质的主要指标，咀嚼性与硬度具有较高的相关性<sup>[14]</sup>。若硬度和咀嚼性过大，面包革性太强、口感粗糙；若硬度和咀嚼性过小，则面包绵软、缺乏嚼劲。且面包的弹性和回复性与面包品质呈一定的正相关关系，面包的弹性和回复性越大，面包质地就越柔软、筋道、爽口不黏牙。添加不同粉碎处理香菇粉对面包物性的影响如表6和表7所示。

表6 添加不同粉碎处理香菇伞粉对面包物性的影响

Table 6 Effect of adding powdered *L. edodes* caps obtained by different grinding methods, on the texture of bread

添加量/%	粉碎方式	硬度/g	弹性	咀嚼性/g	回复性
0	对照	94.96±6.11	0.85±0.00	57.56±3.29	0.26±0.01
	普通粉碎	166.41±5.74 <sup>a</sup>	0.85±0.03 <sup>a</sup>	98.67±7.67 <sup>a</sup>	0.26±0.07 <sup>a</sup>
	剪切超微粉碎	163.22±10.43 <sup>a</sup>	0.84±0.01 <sup>a</sup>	82.91±5.97 <sup>b</sup>	0.21±0.01 <sup>a</sup>
	气流超微粉碎	126.67±9.17 <sup>b</sup>	0.86±0.03 <sup>a</sup>	77.74±2.79 <sup>bc</sup>	0.23±0.04 <sup>a</sup>
	纳米超微粉碎	111.60±6.14 <sup>b</sup>	0.84±0.03 <sup>a</sup>	69.09±9.07 <sup>c</sup>	0.23±0.01 <sup>a</sup>
0.5	普通粉碎	188.64±15.76 <sup>a</sup>	0.89±0.02 <sup>a</sup>	108.50±18.88 <sup>a</sup>	0.24±0.07 <sup>a</sup>
	剪切超微粉碎	168.82±5.04 <sup>ab</sup>	0.87±0.00 <sup>a</sup>	107.62±11.31 <sup>a</sup>	0.21±0.01 <sup>a</sup>
	气流超微粉碎	147.21±28.49 <sup>b</sup>	0.89±0.01 <sup>a</sup>	84.33±7.75 <sup>b</sup>	0.23±0.05 <sup>a</sup>
	纳米超微粉碎	142.42±18.73 <sup>b</sup>	0.88±0.01 <sup>a</sup>	80.50±6.88 <sup>b</sup>	0.26±0.02 <sup>a</sup>
1.0	普通粉碎	423.63±13.45 <sup>a</sup>	0.82±0.03 <sup>a</sup>	254.16±20.33 <sup>a</sup>	0.18±0.01 <sup>b</sup>
	剪切超微粉碎	390.64±7.88 <sup>b</sup>	0.76±0.06 <sup>b</sup>	190.95±5.43 <sup>b</sup>	0.16±0.01 <sup>b</sup>
	气流超微粉碎	316.35±12.37 <sup>c</sup>	0.85±0.01 <sup>a</sup>	178.60±16.39 <sup>b</sup>	0.25±0.02 <sup>a</sup>
	纳米超微粉碎	206.33±6.71 <sup>d</sup>	0.87±0.01 <sup>a</sup>	123.84±16.63 <sup>c</sup>	0.28±0.03 <sup>a</sup>

注：不同小写字母代表同一添加量上硬度、弹性、咀嚼性和回复性变化的差异显著性 (p<0.05)。

由表可知，与对照相比，添加香菇伞粉和柄粉的面包弹性、硬度和咀嚼性普遍上升；添加香菇柄粉面包的弹性和回复性较高。当添加量为0.5%和1.0%时，

添加香菇伞粉和柄粉的面包硬度和咀嚼性相差不大，当添加量达到2.0%时，添加伞粉的面包硬度和咀嚼性均比柄粉高。说明香菇柄粉的添加能够改善面包的弹

性和回复性,同时硬度和咀嚼性也较低,面包适口性较好。在同一添加量下,香菇伞粉和柄粉的粒径越小,面包的硬度和咀嚼性越低,说明添加的香菇粉粒径越小,对面包的硬度和咀嚼性的影响就越小。同一粉碎处理的香菇粉添加量越大,硬度和咀嚼性越高,当添加量为 1.0%和 2.0%时,面包的硬度和咀嚼性是对照面包的 1.5~2 倍左右。因此,香菇伞粉和柄粉的适宜添加量不应超过 1%。

对比不同添加量对面包弹性和回复性的影响,香菇伞、柄粉添加量为 1.0%时,面包的弹性和回复性普遍较高。另一方面,粉体粒度大小也是不能忽视的一个因素,当添加量为 0.5%和 1.0%时,不同粉碎处理香菇伞粉面包的弹性和回复性差异不显著 ( $P<0.05$ ),在 2.0%添加量下,气流超微粉碎和纳米超微粉碎伞粉面包弹性和回复性较高。添加香菇柄粉的面包中,纳米超微粉碎香菇柄粉面包的弹性和回复性普遍较高。

表 7 添加不同粉碎处理香菇柄粉对面包物性的影响

Table 7 Effect of adding powdered *L. edodes* stems obtained by different grinding methods, on the texture of bread

添加量/%	粉碎方式	硬度/g	弹性	咀嚼性/g	回复性
0	对照	94.96±6.11	0.85±0.00	57.56±3.29	0.26±0.01
0.5	普通粉碎	172.25±10.11 <sup>a</sup>	0.91±0.01 <sup>a</sup>	117.23±3.37 <sup>a</sup>	0.32±0.03 <sup>ab</sup>
	剪切超微粉碎	148.39±7.28 <sup>b</sup>	0.85±0.02 <sup>c</sup>	91.21±8.42 <sup>b</sup>	0.29±0.01 <sup>b</sup>
	气流超微粉碎	127.71±12.78 <sup>c</sup>	0.89±0.00 <sup>ab</sup>	79.24±5.95 <sup>c</sup>	0.34±0.01 <sup>a</sup>
	纳米超微粉碎	90.79±8.81 <sup>d</sup>	0.88±0.02 <sup>bc</sup>	60.28±3.45 <sup>d</sup>	0.36±0.04 <sup>a</sup>
1.0	普通粉碎	239.72±15.01 <sup>a</sup>	0.90±0.01 <sup>ab</sup>	126.64±8.27 <sup>a</sup>	0.28±0.02 <sup>c</sup>
	剪切超微粉碎	170.88±3.94 <sup>b</sup>	0.92±0.00 <sup>a</sup>	100.91±8.59 <sup>b</sup>	0.32±0.01 <sup>b</sup>
	气流超微粉碎	155.43±7.47 <sup>b</sup>	0.87±0.01 <sup>c</sup>	82.47±7.11 <sup>c</sup>	0.29±0.01 <sup>c</sup>
	纳米超微粉碎	99.09±4.19 <sup>c</sup>	0.89±0.01 <sup>b</sup>	71.97±7.01 <sup>c</sup>	0.38±0.01 <sup>a</sup>
2.0	普通粉碎	303.44±7.89 <sup>a</sup>	0.88±0.01 <sup>a</sup>	140.58±1.82 <sup>a</sup>	0.27±0.00 <sup>b</sup>
	剪切超微粉碎	284.15±5.95 <sup>b</sup>	0.90±0.00 <sup>b</sup>	114.31±6.66 <sup>b</sup>	0.35±0.02 <sup>a</sup>
	气流超微粉碎	167.49±4.31 <sup>c</sup>	0.85±0.01 <sup>c</sup>	101.78±3.35 <sup>c</sup>	0.26±0.01 <sup>b</sup>
	纳米超微粉碎	143.04±4.86 <sup>d</sup>	0.90±0.02 <sup>ab</sup>	96.78±6.44 <sup>c</sup>	0.35±0.02 <sup>a</sup>

注:不同小写字母代表同一添加量上硬度、弹性、咀嚼性和回复性变化的差异显著性 ( $P<0.05$ )。

### 3 结论

3.1 添加不同粉碎处理的香菇粉对面团产气量、物性和面包品质有较大影响。不同粉碎处理的香菇粉添加能增大面团的硬度,且添加量越大,面团硬度越高;添加柄粉的面团硬度增加幅度大于伞粉。同一粉碎处理的香菇粉随添加量的增加,面团硬度普遍上升,粘度普遍下降。当香菇粉添加量为 4.0%时,硬度 (592.8 g~1533.4 g) 和粘度范围 (-1987.22 g s~721.08 g s) 与对照面团的硬度 (361.2 g~702.0 g) 和粘度范围 (-817 g s~500.7 g s) 偏差最大,面团较硬,粘弹性较差,面包形态发生显著变化。发酵时间在 100 min 内时,添加气流超微粉碎香菇伞、柄粉,面团产气量呈现较高水平,最高达到 196.527 mL/20 min。当发酵时间大于 100 min 时,纳米超微粉碎香菇伞、柄粉的添加更有利于面团产气,产气量最高达 176.166 mL/20 min。结合面团产气量、硬度和粘度随香菇干粉粒径的变化综合分析,纳米超微粉碎香菇伞粉添加量在 1.0%以内,在发酵 100 min 以后面团的产气量和粘度较高,硬度较低,面团品质较好。

3.2 从面包的比容和水分含量上看,香菇伞粉和柄粉的添加使面包比容下降,水分含量上升。香菇伞粉面包的变化较小。气流超微粉碎和纳米超微粉碎香菇伞粉的添加能够使面包的水分含量和比容更接近于对照,随添加量上升,水分含量不断上升,比容逐渐下降,考虑到香菇面包的功能性和美观性,添加量以不超过 1.0%为宜。

3.3 从面包色泽和物性上看,香菇粉的添加量较低时,面包芯的色泽与对照差别不是很大,有较好的表现品质。香菇粉面包的硬度和咀嚼性显著高于对照面包,弹性和回复性和对照面包差别不大。香菇粉粒径越小,添加量越低,对面包的物性影响就越小。纳米超微粉碎香菇柄粉的面包亮度较高、色泽较白,弹性和回复性较好,硬度和咀嚼性接近于对照,当添加量达到 1%及以上时,面包的硬度和咀嚼性是对照的 1.5~2 倍,面包芯色泽变暗、变黄,因此添加量不超过 1.0%为宜。

### 参考文献

[1] Jeff Iteku B, Li Shanshan, Peng Xiaoxia, et al. Purification,

- structural elucidation and antitumor activity of a novel mannogalactoglucan from the fruiting bodies of *Lentinus edodes*[J]. *Fitoterapia*, 2013, 84: 338-346
- [2] 张月巧,陈龙,卢可可,等.添加不同粉碎处理香菇粉对面团流变学特性的影响[J]. *食品科学*,2015,36(3): 12-17  
ZHANG Yue-qiao, CHEN Long, LU Ke-ke, et al. Effects of addition of *Lentinus edodes* powders processed by different grinding methods on rheological properties of wheat dough [J]. *Food Science*, 2015, 36(3): 12-17
- [3] Moreno Franco Belen, Leon Latre Montserrat, Andres Esteban Eva Maria, et al. Soluble and insoluble dietary fiber intake and risk factors for metabolic syndrome and cardiovascular disease in middle-aged adults: the AWHs cohort [J]. *Nutrition Hospitalaria*, 2014, 30(6): 1279-1288
- [4] Mehta Nitin; Ahlawat S S, Sharma D P, et al. Novel trends in development of dietary fiber rich meat products-a critical review[J]. *Journal of Food Science and Technology-mysore*, 2015, 52(2): 633-647
- [5] 中国营养学会.中国居民膳食营养素参考摄入量(2013版)[G].北京:科学出版社,2014  
Chinese Nutrition Society. Chinese dietary reference intakes DRIs (2013 Edition) [G]. Beijing: Science Press, 2014
- [6] 郑水林.超微粉体加工技术与应用[M].北京:化学工业出版社, 2005  
ZHENG Shui-lin. Superfine powder processing technology and application [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005
- [7] Zhang Zipei, Song Huige, Peng Zhen, et al. Characterization of stipe and cap powders of mushroom (*Lentinus edodes*) prepared by different grinding methods [J]. *Journal of Food Engineering*, 2012, 109(3):406-413
- [8] 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  
WANG Xiao-yan. Study on the influences of high dietary fiber on fermentation and baking properties and storage characteristic of bread dough [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2012
- [9] 张一.面团发酵过程控制对馒头品质的影响研究[D].长春:吉林大学,2011  
ZHANG Yi, Effect of dough fermentation process control on properties of steamed bread [D]. Changchun: Jilin University, 2011
- [10] Rozylo Renata, Rudy Stanislaw, Krzykowski Andrzej, et al. Effect of adding fresh and freeze-dried buckwheat sourdough on gluten-free bread quality [J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2015, 50(2): 313-322
- [11] Jensen Sidsel, Skibsted Leif H, Kidmose Ulla, et al. Addition of cassava flours in bread-making: sensory and textural evaluation [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2015, 60(1): 292-299
- [12] Sudha M L, Vetrmani R, Leelavathi K. Influence of fiber from different cereals on the rheological characteristics of wheat flour dough and on biscuit quality [J]. *Food Chemistry*, 2007, 100(4):1365-1370
- [13] Ram Ahalya Kosal. Production of spray-dried honey powder and its application in bread [D]. Louisiana State University, 2011
- [14] Fadda Costantino, Maria Santos Eva, Piga Antonio, et al. Innovative traditional italian durum wheat breads: influence of yeast and gluten on performance of sourdough moddizzosu breads [J]. *Cereal Chemistry*, 2010, 87(3): 204-213