

白腐菌发酵麦麸纤维的产物对面条品质的影响

蒋诗雨, 李力, 郑学玲*

(河南工业大学 粮油食品学院, 河南 郑州 450001)

摘要: 使用白腐菌发酵麦麸纤维, 并将发酵产物添加到面粉中, 研究发酵产物的添加对面絮粒度、面片流变、面片色度及面条蒸煮和质构的影响。结果表明: 添加白腐菌发酵麦麸纤维的产物后, 小粒径面絮($d < 1.5$ mm)的质量百分比升高; 面条的最佳煮制时间没有显著差异; 蒸煮损失率降低; 拉伸距离降低; 黏合性、咀嚼性和回复性降低。添加发酵3 d的产物与添加发酵7 d的产物相比, 面絮粒径没有显著差异; 添加发酵3 d的产物, 面片的弹性相对升高; 添加发酵7 d的产物后, 面片的亮度值升高, 弹性相对降低。

关键词: 白腐菌; 发酵; 麦麸纤维; 产物; 面条品质

Effect of White Rot Fungi Fermentation Product of Wheat Bran Fiber on Noodle Quality

JIANG Shi-yu, LI Li, ZHENG Xue-ling*

(School of Food Science and Technology, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, Henan, China)

Abstract: White rot fungi were used to ferment wheat bran fiber, and the fermentation product were added to flour. The effects of the addition of fermentation product on the particle size of the dough pieces, the rheological properties and the brightness of dough, the properties of noodle cooking and texture were investigated. The results showed that after the product of wheat bran fiber fermented by white rot fungi were added to flour, the mass percentage of small dough pieces ($d < 1.5$ mm) increased progressively; the optimal cooking time of noodles had no significant difference; the cooking loss rate decreased; the stretching distance decreased; and the adhesion, chewiness and resilience decreased. There was no significant difference in the particle size of the dough pieces between those mixed with the 3 day fermentation product and those mixed with the 7 day fermentation product; the elasticity of the dough sheet was relatively higher when the 3 day fermentation product was added; and the brightness value of the dough sheet was higher and the elasticity was relatively lower when the 7-day fermentation product was added.

Key words: white rot fungi; fermentation; wheat bran fiber; product; noodle quality

引文格式:

蒋诗雨, 李力, 郑学玲. 白腐菌发酵麦麸纤维的产物对面条品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(2): 1-6

JIANG Shiyu, LI Li, ZHENG Xueling. Effect of White Rot Fungi Fermentation Product of Wheat Bran Fiber on Noodle Quality [J]. Food Research and Development, 2020, 41(2): 1-6

麦麸作为小麦加工过程中的副产物, 不仅含有丰

富的维生素、矿物质、低聚糖和麦麸蛋白等营养物质, 而且也是膳食纤维的重要来源。许多研究表明, 食用充足的膳食纤维有助于改善肠道健康, 降低血脂、胆固醇和患冠心病的风险^[1-2]。但是现在麦麸多用于酿酒、饲料等传统加工, 较少用于深加工和高附加值产品, 这使得麦麸资源利用程度较低^[3]。酶解后的麦麸, 膳食纤维含量能够达到 90.43 %^[4], 因此将酶解后的麦

基金项目: 国家自然科学基金项目(U1704118); 河南省小麦产业技术体系专项资金资助项目(S2010-01-G06)

作者简介: 蒋诗雨(1994—), 女(汉), 在读硕士, 研究方向: 谷物化学与品质。

* 通信作者: 郑学玲(1972—), 女(汉), 教授, 研究方向: 谷物化学与品质。

麸称为麦麸纤维。

白腐菌是迄今为止最有效、最主要的木质素降解微生物,它产生的木质素分解酶系(木质素过氧化物酶、锰过氧化物酶和漆酶)能将纤维素、半纤维素、木质素有效转化为 CO_2 和 H_2O ^[6]。有研究发现白腐菌的菌丝能够凭借其降解木质素的能力穿透木材^[6];使用虫拟蜡菌(*Ceriporiopsis subvermispora*)处理山毛榉后发酵乙醇的得率提高了1.6倍^[7]。这些研究都表明白腐菌具有降解木质纤维素的能力。本文使用白腐菌发酵麦麸纤维,并将发酵产物添加至面粉中,研究发酵产物的添加对面絮粒度、面片流变、面片色度及面条蒸煮和质构的影响。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 材料

神象特一粉:郑州海嘉食品有限公司;麦麸:河南中鹤有限公司;白腐菌:中国科学院微生物研究所。

1.1.2 试剂

α -淀粉酶(酶活40 000 U/g)、碱性蛋白酶(酶活 $\geq 200\ 000$ U/g):北京索莱宝科技公司;马铃薯葡萄糖琼脂培养基(PDA)、酵母膏:北京奥博星生物技术有限责任公司;乙酸乙酯、氢氧化钠:天津市天力化学试剂有限公司;葡萄糖、磷酸二氢钾、磷酸氢二钾、硫酸亚铁、硫酸镁、氯化钙:天津科密欧化学试剂有限公司;盐酸、硫酸铵:洛阳昊华化学试剂有限公司;维生素 B_1 :华中药业股份有限公司;土霉素:南京极致水族用品有限公司;所有试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

HAAKE RS6000 哈克流变仪:德国 Thermo Fisher Haake 公司;Satake mini color grader MICGIA 便携式测色仪:日本佐竹公司;TA-XT 质构仪:英国 Stable MicroSystems 公司;JHMZ 针式和面机、JMTD 面条机:北京东方孚德试验仪器有限责任公司;JP-1500B 多功能粉碎机:永康市久品工贸有限公司;101A-2 电热鼓风干燥箱:上海试验仪器厂;SHZ-D(Ⅲ)循环水式真空泵:巩义市予华仪器有限责任公司;JMS-50DX 胶体磨:廊坊市盛通机械有限公司;DM0412S 低速离心机:大龙兴创实验仪器北京有限公司;HZQ-X100 振荡培养摇床:苏州培英实验设备有限公司;SW-CJ 超净工作台:上海树立仪器仪表有限公司;HWS 智能恒温恒湿箱:浙江爱雪制冷电器有限公司。

1.3 培养基

固体培养基(g/100 mL):马铃薯葡萄糖琼脂培养

基(PDA) 3.7, KH_2PO_4 0.25, MgSO_4 0.15, V_{B_1} 0.05, 土霉素 0.02。

液体培养基(g/100 mL):葡萄糖 2.0, 酵母膏 0.2, KH_2PO_4 0.25, MgSO_4 0.15, V_{B_1} 0.05, 土霉素 0.02。

麦麸纤维降解培养基(g/100 mL):麦麸纤维 5.0, K_2HPO_4 0.1, KH_2PO_4 0.1, MgSO_4 0.02, FeSO_4 0.005, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.2, MnSO_4 0.002, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.01。

1.4 试验方法

1.4.1 麦麸纤维的制备

使用高速万能粉碎机将麦麸磨碎,过40目筛网;将麦麸与蒸馏水按质量比为1:10的比例混合,使用胶体磨粉碎25 min;干燥后调节加水量为1:10(质量比),95℃蒸煮30 min;降温到50℃左右,使用盐酸将pH值调至5.6,并加热到95℃;然后添加淀粉酶(1.5%)并搅拌30 min;降温至50℃左右,使用NaOH将pH值调至9.0,搅拌均匀;然后添加碱性蛋白酶(3%)并搅拌2 h,加热到100℃灭酶;用蒸馏水清洗数遍,直至洗涤液不浑浊;放入烘箱中,60℃直至烘干。

1.4.2 白腐菌的培养

将购买的菌株接种至固体斜面培养基,置于27℃培养箱中培养。长出单菌落后,挑选单菌落接种至液体培养基,置于27℃,180 r/min 摇床上培养7 d。取2 mL 菌液4 000 r/min 离心10 min,弃去上清,用无菌水洗涤菌体3次,再用2 mL 无菌水重悬菌体,接种至100 mL 麦麸纤维降解培养基,置于27℃,180 r/min 摇床上培养。

1.4.3 麦麸纤维发酵产物的提取

取发酵3 d和7 d后的麦麸纤维培养液,5 000 r/min 离心20 min 取上清,加入2倍体积的乙酸乙酯萃取,萃取3次后合并萃取液,加入5 mL 蒸馏水,使用真空旋转蒸发仪在35℃,100 r/min 条件下浓缩萃取液至5 mL。

1.4.4 基本组分的测定

水分含量测定具体参照GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》;灰分含量测定参照GB 5009.4-2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》;白度的测定:使用WGB-2008A 智能白度测定仪。

1.4.5 生面条的制作

面条的制作方法参照LS/T 3202-1993《面条用小麦粉》并略有改动。

称取100 g 面粉→和面(用蒸馏水将面粉含水量调至35%,针式和面机和面7 min)→面絮醒发20 min→压片(压辊间距2 mm 处合片再压片5次,将面片对折,从3 mm 开始继续压片,将面片逐渐压薄至1 mm,

共压片6道)→将面片切成2.0 mm宽的面条备用。

1.4.6 面条的品质测定

1.4.6.1 面絮的制备与分级

面絮的制备与分级具体参照文献[8],面絮制备:称取100 g面粉,将面粉含水量调至35%^[9-11],和面3 min后,将和面针和器壁上的粉刮下,再和面4 min,不经醒发立即筛分。面絮筛分:选择筛网的孔径分别为0.336、0.75、1.5、2、3、4 mm^[12],筛分速度为50 r/min,筛分时间为60 s。试验可得到7种不同粒径的面絮,分别是 $d<0.336$ mm、 0.336 mm $<d<0.75$ mm、 0.75 mm $<d<1.5$ mm、 1.5 mm $<d<2$ mm、 2 mm $<d<3$ mm、 3 mm $<d<4$ mm,称取各个粒径范围的面絮质量,计算质量百分比作为试验结果。

1.4.6.2 面片色度测定

用铝盒按压5个面片,叠放在一起,使用便携式色度计测定面片的色度(CGV*),亮度(L*),红绿值(a*),黄蓝值(b*)。

1.4.6.3 面片流变测定

在线性黏弹区域内,使用哈克流变仪进行频率扫描试验,测定面片的弹性模量、黏性模量及损耗因子随频率的变化规律。使用P35TiL转子,两板夹距1 mm;平板直径35 mm;温度25℃;固定应变0.5%;频率变化范围0.1 Hz~10 Hz。

1.4.6.4 面条蒸煮特性测定

面条最佳煮制时间的测定:取20根长度约22 cm左右的面条置于500 mL沸水中煮制,从60 s开始,每隔5 s捞出一根面条,用载玻片切开面条,观察面条断口是否出现白芯,当面条断口不再出现白芯时即为最佳煮制时间。

面条干物质吸水率和蒸煮损失率的测定:取20根面条,称重记为 m_1 ,置于500 mL沸水中,煮至最佳煮制时间,迅速捞出,置于200 mL冷水中冷却30 s后,将面条捞出置于滤纸上静置,充分吸收面条表面的水分,称重,记为 m_2 。将200 mL冷水和煮面的水转移到烧杯中,电炉加热至剩余少许水后,置于105℃烘箱中烘干至恒重,记为 m_3 。

$$\text{干物质吸水率}/\% = \frac{(m_2 - m_1)}{m_1 \times (1 - W)} \times 100$$

$$\text{蒸煮损失率}/\% = \frac{(m_3 - m_0)}{m_1 \times (1 - W)} \times 100$$

式中: W 为面条煮前的水分含量,%; m_0 为烧杯的重量,g; m_1 为面条煮前的质量,g; m_2 为面条煮后的质量,g; m_3 为面汤烘干后的质量,g。

1.4.6.5 面条的感官特性测定

选取40根面条,1 000 mL沸水煮3 min,将面条捞

出置于凉水中30 s,捞出分盘。立即进行感官评价。感官评价小组由6名经过训练的人员组成,评分细则具体参照LS/T 3202-1993《面条用小麦粉》。

1.4.6.6 面条质构特性的测定

取20根面条,置于500 mL沸水中保持沸腾状态煮3 min,将面条捞出置于冷水中30 s后捞出,进行面条质构特性测定。

面条质构分析(texture profile analysis,TPA)试验:质构仪选用Code HDP/PFS探头,测试参数设定为测试模式:Measure Force in Compression;测前速度:2.0 mm/s;测中速度:0.8 mm/s;测后速度:0.8 mm/s;压缩程度:75%;负载类型:Auto-5 g;两次压缩之间的时间间隔:5 s。以硬度、黏附性、内聚性、弹性、黏结性、回复性和咀嚼性作为TPA的试验分析参数。

面条拉伸试验:选用Code A/SPR探头,测试参数设定为测试模式:Measure Force in Compression;测前速度:2.0 mm/s;测中速度:2.0 mm/s;测后速度:10 mm/s;负载类型:Auto-5 g。

1.4.7 数据处理

每次试验至少重复2次,结果表示为:平均值±标准偏差。采用SPSS 20.0和Excel 2010进行数据处理和相关性分析,用Origin 8.5进行图像分析。

2 结果与分析

2.1 神象特一粉基本指标

神象特一粉基本指标:水分13.76%,灰分0.73%,白度75.8。

2.2 麦麸纤维发酵产物的添加对面条品质的影响

2.2.1 对面絮粒度的影响

面絮以一种颗粒汇聚的形式存在,颗粒大小不一。形成面絮时,水分不足以渗透到小麦粉颗粒内部,使小麦粉颗粒通过表面部分水化相互聚集成絮状颗粒,而面粉内部并未充分水化,类似面团的黏弹性网络结构未形成。未做任何处理的面粉,蛋白质和淀粉粒包裹在一起,加水 and 和面后,蛋白质形成一个连续的、不定向的基质群,主要是面筋扩展适宜的松散絮状物^[13-15],所以面絮能够反应面条的品质。将白腐菌发酵5 g麦麸纤维的产物添加到神象特一粉中,与未添加产物的样品做对比,不同粒径的面絮所占的质量百分比如表1所示。

由表1可知,添加白腐菌发酵麦麸纤维的产物后,粒径 $d<0.336$ mm的面絮质量百分比降低,粒径 0.336 mm $\leq d<0.75$ mm和 0.75 mm $\leq d<1.5$ mm的面絮质量百分比增加,且都有显著差异。有研究表明,吸水率与小粒径

表1 白腐菌发酵麦麸纤维产物的添加对面絮粒度的影响

Table 1 Effect of the addition of wheat bran fiber product fermented by white rot fungi on dough pieces particle size

样品名称	$d < 0.336 \text{ mm}$	$0.336 \text{ mm} \leq d < 0.75 \text{ mm}$	$0.75 \text{ mm} \leq d < 1.5 \text{ mm}$	$1.5 \text{ mm} \leq d < 2 \text{ mm}$	$2 \text{ mm} \leq d < 3 \text{ mm}$	$3 \text{ mm} \leq d < 4 \text{ mm}$	$d \geq 4 \text{ mm}$
原粉(神象特一粉)	3.52 ± 0.35^a	5.06 ± 0.84^b	8.92 ± 0.31^b	19.01 ± 0.64^a	43.83 ± 0.85^a	19.33 ± 0.60^a	0.34 ± 0.02^b
100 g 原粉+发酵 3 d 产物	0.35 ± 0.07^b	17.91 ± 1.72^a	50.52 ± 0.02^a	17.87 ± 1.65^a	7.29 ± 0.11^b	4.05 ± 0.13^b	2.03 ± 0.06^a
100 g 原粉+发酵 7 d 产物	0.39 ± 0.24^b	17.89 ± 0.83^a	50.43 ± 0.79^a	18.40 ± 0.30^a	7.07 ± 0.10^b	3.82 ± 0.06^b	2.01 ± 0.42^a

注:同一列内不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

面絮含量呈正相关,吸水率又与蛋白质质量呈正相关,而面筋指数由蛋白质质量决定,所以小粒径面絮质量百分比的增加有利于提高面条的品质^[16]。总体来说,使用原粉、100 g 原粉+发酵 3 d 产物、100 g 原粉+发酵 7 d 产物制作的面絮,在粒径 $d < 1.5 \text{ mm}$ 范围内的质量百分比分别为 17.5%、68.78% 和 68.71%,添加发酵产物后,小粒径面絮的质量百分比明显升高,且添加 3 d 发酵产物的小粒径面絮质量百分比最高,说明添加发酵产物可能会改善面条的品质。但是添加发酵 3 d 产物与添加发酵 7 d 产物制作的面絮,在不同粒径范

围内的质量百分比没有显著差异。

2.2.2 对面片色泽的影响

面片是面条加工的物质基础,面片的性质直接影响着面条的品质。面片色泽是评价面条品质的一项重要指标,面粉的灰分、蛋白含量、颗粒大小及多酚氧化酶的活性都会对面片色泽产生一定的影响^[11,17-19]。有研究表明,面粉蛋白质含量与面片亮度值呈负相关^[19]。将白腐菌发酵 5 g 麦麸纤维的产物添加到神象特一粉中,与未添加产物的样品做对比,面片色泽结果如表 2 所示。

表2 白腐菌发酵麦麸纤维产物的添加对面片色泽的影响

Table 2 Effect of the addition of wheat bran fiber product fermented by white rot fungi on the color of dough sheet

样品名称	CGV [*]	L [*]	a [*]	b [*]
原粉(神象特一粉)	19.75 ± 0.18^b	89.83 ± 0.12^b	1.37 ± 0.06^a	18.57 ± 0.10^a
100 g 原粉+5 g 发酵 3 d 产物	21.72 ± 0.08^a	88.80 ± 0.00^c	1.30 ± 0.00^b	17.43 ± 0.00^b
100 g 原粉+5 g 发酵 7 d 产物	17.02 ± 0.09^c	91.23 ± 0.06^a	1.27 ± 0.00^b	16.73 ± 0.06^c

注:同一列内不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

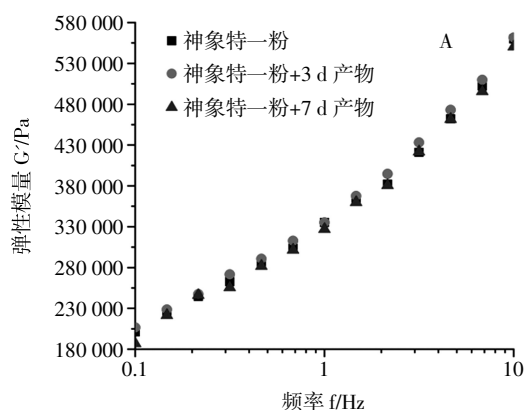
由表 2 可知,添加白腐菌发酵麦麸纤维的产物后,随着发酵时间的延长,面片的色度值先升高后降低,亮度值先降低后升高,红绿值和黄蓝值逐渐降低。添加发酵 7 d 的产物制作的面片,色度值降低,亮度值升高,改善了面片的色泽。

2.2.3 对面片流变学特性的影响

动态流变学是用来测定面团黏弹性的重要工具之一^[20],是指在交变力的作用下,样品所表现的力学相应规律^[21],即通过测定面团模量的变化来反映面团的黏弹性。储能模量 G' 代表物体弹性本质,损耗模量 G'' 反应物体受力时阻碍其流动的特性,损耗因子为 G''/G' ($\tan \delta$)。有研究表明面团的黏弹性在机械加工性能、工艺条件和成品品质方面作用显著^[22]。面片的频率扫描结果见图 1。

由图 1 可知,面片的储能模量 G' 和损耗模量 G'' 均随频率的增加逐渐增加,损耗因子 $\tan \delta$ 呈先减小后增大的趋势。添加白腐菌发酵麦麸纤维的产物后,面

片的储能模量和损耗模量变化不明显,但由图 1C 可以看出,添加发酵 3 d 的产物后,面片的损耗因子降低,由于损耗因子为 G''/G' ($\tan \delta$),所以弹性模量增加的速度比黏性模量快,面片的弹性相对升高。添加发酵 7 d 的产物后,面片的损耗因子升高,并且高于原面片的损耗因子,说明黏性模量增加的速度比弹性模量



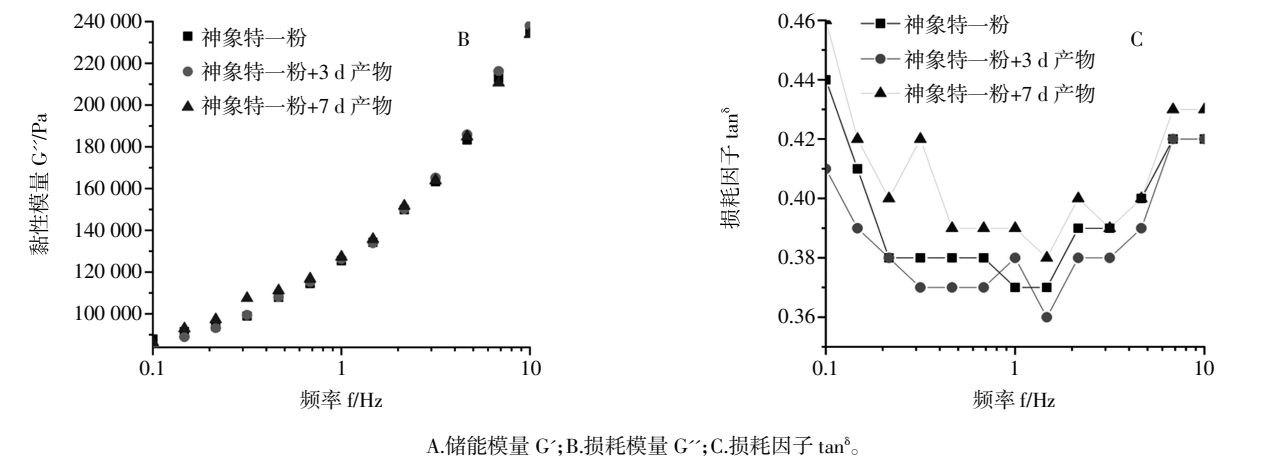


图1 面片的频率扫描
Fig.1 Frequency sweep of dough sheet

快,面片的弹性相对降低。

2.2.4 对面条蒸煮品质及感官评价的影响

面条的吸水率及干物质损失率能够客观的反应面条的品质。具有较好蒸煮品质的面条一般具有较高

的干物质吸水率、较低的干物质损失率和最佳煮制时间^[23]。将白腐菌发酵5 g 麦麸纤维的产物添加到神象特一粉中,与未添加产物的样品做对比,面条的蒸煮特性及感官评价的结果见表3。

表3 白腐菌发酵麦麸纤维产物的添加对面条的蒸煮特性及感官评价的影响

面条的蒸煮特性	最佳煮制时间/s	干物质吸水率/%	蒸煮损失率/%	感官评价
原粉(神象特一粉)	197.50±3.54 ^a	148.53±3.98 ^a	5.66±0.39 ^a	74.6±0.89 ^a
100 g 原粉+发酵3 d 产物	197.50±3.54 ^a	148.41±0.59 ^a	5.33±0.16 ^a	73.40±0.55 ^b
100 g 原粉+发酵7 d 产物	192.50±3.54 ^a	138.98±1.39 ^b	5.48±0.21 ^a	73.00±0.71 ^b

注:同一列内不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

由表3可知,添加白腐菌发酵麦麸纤维的产物后,面条的最佳煮制时间没有显著差异。随着发酵时间的增加,干物质吸水率逐渐降低;蒸煮损失率先降低后升高,但都低于使用原粉制作的面条。面条蒸煮过程中,支链淀粉双螺旋结构被破坏,直链淀粉从颗粒中浸出,一个稳固的蛋白质凝胶淀粉基质的形成可以降低蒸煮损失率。说明添加发酵产物后,可能形成了更加稳固的蛋白质凝胶淀粉机制。添加白腐菌发酵麦麸纤维的产物后,感官评价差别不大,其中,100 g 原粉+发酵3 d 产物与100 g 原粉+发酵7 d 产物制作的面

条,感官评价没有显著差异。

2.2.5 对面条质构拉伸特性的影响

面条的质构特性可以反映熟面条的品质。有研究表明:熟面条的质构参数可以代替感官来评价面条的硬度、弹性和筋道感等指标^[24]。筋道感与硬度、黏合性、咀嚼性和回复性呈高度正相关;滑口感与硬度、咀嚼性、黏附性和弹性呈负相关^[25]。将白腐菌发酵5 g 麦麸纤维的产物添加到神象特一粉中,与未添加产物的样品做对比,面条的质构和拉伸结果分别见表4和表5。

由表4可知,添加白腐菌发酵麦麸纤维的产物后,

表4 白腐菌发酵麦麸纤维产物的添加对面条的质构特性的影响

样品名称	硬度/g	黏附性/gs	弹性	黏结性	黏合性/g	咀嚼性/g	回复性
原粉(神象特一粉)	6 514.16±250.72 ^a	209.68±28.50 ^a	0.93±0.01 ^a	0.66±0.02 ^a	4 322.00±283.20 ^a	4 017.21±306.25 ^a	0.37±0.01 ^a
100 g 原粉+降解3 d 产物	5 838.53±449.51 ^a	144.62±43.86 ^a	0.94±0.01 ^a	0.68±0.02 ^a	3 951.81±166.29 ^a	3 731.37±186.94 ^a	0.36±0.00 ^{ab}
100 g 原粉+降解7 d 产物	5 968.87±159.92 ^a	151.58±6.13 ^a	0.90±0.01 ^b	0.66±0.02 ^a	3 916.49±11.04 ^a	3 517.45±22.94 ^a	0.35±0.00 ^b

注:同一列内不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

表 5 白腐菌发酵麦麸纤维产物的添加对面条拉伸特性的影响

Table 5 Effect of the addition of wheat bran fiber product fermented by white rot fungi on the tensile properties of noodles

样品名称	拉断力/N	拉伸距离/mm	功/(g·s)
原粉(神象特一粉)	12.34±0.78 ^a	79.72±0.50 ^a	348.33±11.17 ^a
100 g 原粉+降解 3 d 产物	13.60±0.29 ^a	55.89±0.82 ^c	247.34±1.62 ^b
100 g 原粉+降解 7 d 产物	12.52±0.02 ^a	61.25±1.26 ^b	266.27±6.46 ^b

注:同一列内不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

随着发酵时间的增加,面条的硬度和黏附性先降低后增加,但都没有显著差异;弹性和黏结性先增加后降低,其中弹性变化的结果与面片流变学的结果相一致;黏合性、咀嚼性和回复性逐渐降低。

由表 5 可知,添加白腐菌发酵麦麸纤维的产物后,随着发酵时间的增加,面条的拉断力先增加后降低,且都高于原面条的拉断力,但没有显著差异;拉伸距离先降低后增加,且都低于原面条的拉伸距离,具有显著差异。

3 结论

添加白腐菌发酵麦麸纤维的产物对面絮粒度、面片流变、面片色度及面条蒸煮和质构都产生一定程度的影响。添加白腐菌发酵麦麸纤维的产物后,小粒径面絮($d<1.5\text{ mm}$)的质量百分比升高;面条的煮制时间没有显著差异;蒸煮损失率降低;拉伸距离降低;黏合性、咀嚼性和回复性降低。添加发酵 3 d 的产物与添加发酵 7 d 的产物相比,面絮粒径没有显著差异;添加发酵 3 d 的产物,面片的弹性相对升高;添加发酵 7 d 的产物,面片的亮度值升高,改善了面片的色泽,弹性相对降低。

参考文献:

- [1] Chase K, Reicks M, Jones J M. Applying the theory of planned behavior to promotion of whole-grain foods by dietitians[J]. Journal of the American Dietetic Association, 2003, 103(12):1639-1642
- [2] Slavin J L. Dietary fiber and body weight[J]. Nutrition, 2005, 21(3): 411-418
- [3] 屠洁,刘冠卉,李前龙. 麦麸皮提取物对 α -葡萄糖苷酶的抑制活性研究[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(8): 44-47
- [4] Wen H, Ma S, Li L, et al. Influence of wheat starch on the structural changes and size distribution of gluten induced by adding wheat bran dietary fiber[J]. Starch-Stärke, 2018, 9/10(70): 1700302
- [5] Ander P. The cellobiose-oxidizing enzymes CBQ and CbO as related to lignin and cellulose degradation—a review[J]. Fems Microbiology Reviews, 2010, 13(2/3): 297-311
- [6] Bumpus J A, Aust S D. Biodegradation of environmental pollutants

- by the white rot fungus Phanerochaete chrysosporium: Involvement of the lignin degrading system[J]. Bioessays, 2010, 6(4): 166-170
- [7] Itoh H, Wada M Y, Kuwahara M, et al. Bioorganosolve pretreatments for simultaneous saccharification and fermentation of beech wood by ethanolysis and white rot fungi[J]. Journal of Biotechnology, 2003, 103(3):273-280
- [8] 荆鹏,郑学玲,卞科,等. 面絮粒度分布对面条品质影响研究[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(11): 20-26
- [9] 叶一力,何中虎,张艳. 不同加水量对中国白面条品质性状的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(4): 795-804
- [10] Ye Y, Zhang Y, Yan J, et al. Effects of Flour Extraction Rate, Added Water, and Salt on Color and Texture of Chinese White Noodles[J]. Cereal Chemistry, 2009, 86(4): 477-485
- [11] Hatcher D W, Symons S J, Kruger J E. Measurement of the Time-Dependent Appearance of Discolored Spots in Alkaline Noodles by Image Analysis[J]. Cereal Chemistry, 1999, 76(76): 189-194
- [12] Yu H, Jia S, Dai Y. Accumulation of Exopolysaccharides in Liquid Suspension Culture of Nostoc flagelliforme Cells[J]. Applied Biochemistry and Biotechnology, 2010, 160(2): 552-560
- [13] 杨铭铎,曲彤旭. 谷朊粉对非油炸方便面专用粉品质影响的研究[J]. 现代食品科技, 2007, 23(3): 23-26
- [14] Huang S, Yun S H, Quail K, et al. Establishment of Flour Quality Guidelines for Northern Style Chinese Steamed Bread[J]. Journal of Cereal Science, 1996, 24(2): 179-185
- [15] 刘锐,卢洋洋,邢亚楠,等. 双轴卧式和面机的和面效果及其对面条质量的影响[J]. 农业工程学报, 2013, 29(21): 264-270
- [16] 荆鹏,郑学玲,刘翀,等. 面条制作中面絮特性与面团流变学特性的关系研究[J]. 现代食品科技, 2014(9): 73-78
- [17] Bhattacharya M, Luo Q, Corke H. Time-Dependent Changes in Dough Color in Hexaploid Wheat Landraces Differing in Polyphenol Oxidase Activity[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1999, 47(9): 3579-3585
- [18] Marsh D R, Galliard T. Measurement of polyphenol oxidase activity in wheat-milling fractions[J]. Journal of Cereal Science, 1986, 4(3): 241-248
- [19] Miskelly D M. Flour components affecting paste and noodle colour[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1984, 35(4): 463-471
- [20] Hao C C, Wang L J, Li D, et al. Influence of alfalfa powder concentration and granularity on rheological properties of alfalfa-wheat dough[J]. Journal of Food Engineering, 2008, 89(2): 137-141
- [21] 陈洁,郭泽钺,刘贵珍,等. 超声波处理木薯淀粉对其流变特性的影响[J]. 福建农林大学学报(自然版), 2013, 42(1): 86-92
- [22] Bollaín C, Collar C. Dough viscoelastic response of hydrocolloid/enzyme/surfactant blends assessed by uni- and bi-axial extension measurements[J]. Food Hydrocolloids, 2004, 18(3): 499-507
- [23] Zhou Y, Cao H, Hou M, et al. Effect of konjac glucomannan on physical and sensory properties of noodles made from low-protein wheat flour[J]. Food Research International, 2013, 51(2): 879-885
- [24] 王灵昭,陆启玉,袁传光. 用质构仪评价面条质地品质的研究[J]. 郑州工程学院学报, 2003, 24(3): 29-33
- [25] 陆启玉. 小麦面粉中主要组分对面条特性影响的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2010

收稿日期:2019-05-16