



郭艳艳,李华,朱宣宣. 酶法改性麦麸及其对面粉粉质特性和面团拉伸特性的影响[J]. 轻工学报,2022,37(3):43-49,57.
GUO Y Y, LI H, ZHU X X. Enzymatic modification of wheat bran and its effect on flour farinograph properties and dough extensograph properties[J]. Journal of Light Industry, 2022, 37(3): 43-49, 57.
DOI:10.12187/2022.03.006

酶法改性麦麸及其对面粉粉质特性和面团拉伸特性的影响

郭艳艳,李华,朱宣宣

河南工业大学 粮油食品学院,河南 郑州 450000

摘要:以过80目筛的麦麸为原料,加入纤维素酶对其进行酶法改性,通过单因素试验和正交试验优化改性工艺条件,并将改性后的麦麸添加到面粉中,研究其对面粉粉质特性及面团拉伸特性的影响。结果表明:麦麸酶法改性的最佳工艺条件为纤维素酶添加量1.0%、反应温度65℃、反应时间4.0h、pH值4.0,在此条件下,水溶性膳食纤维(SDF)的提取率为12.59%;随着改性麦麸添加量的增加,面粉的吸水率增加,面团的形成时间和弱化度均增加缓慢,稳定时间、延伸性和拉伸面积均下降,拉伸阻力和拉伸比例均整体呈先增加后下降的趋势;且醒发90min、135min后,添加改性麦麸的面团其拉伸阻力和拉伸比例均增加,分别在添加量4%和8%时达到最大值。

关键词:麦麸改性;膳食纤维;纤维素酶;粉质特性;拉伸特性

中图分类号:TS213.2 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-1553(2022)03-0043-08

0 引言

近年来,伴随我国经济社会的发展,人们的生活和工作方式发生了巨大变化,“富贵病”的人群数量也呈上升趋势,因此,在追求食品色香味俱全的同时,人们开始注重食品的营养与安全^[1]。膳食纤维具有降低血糖、血脂等作用,可预防动脉硬化、糖尿病、高脂血症等疾病^[2-3],被称为继六大营养素之后的“第七大营养素”^[4],高膳食纤维食品已成为现代食品开发的热点。根据溶解性的不同,膳食纤维可以分为两类,即水不溶性纤维素(Insoluble Dietary Fiber, IDF)和水溶性膳食纤维(Soluble Dietary Fiber, SDF)。其中,IDF能够促进肠道蠕动,有效预

防肥胖和便秘^[5];SDF结构比较疏松,含有较多的亲水性因子,水溶性好,有利于肠道菌群发酵,具有较强的吸附葡萄糖、胆固醇等能力,可降低血脂、胆固醇,预防高脂血症、动脉硬化、糖尿病等疾病^[6]。另外,SDF也可以螯合一些香气分子、油脂、胆固醇等,具有较强的清除自由基、有毒有害金属离子的作用,可预防肿瘤、抗氧化等^[7]。作为小麦制粉的加工副产物,麦麸是最丰富的谷物膳食纤维来源之一,世界年产量超 1.5×10^8 t,具有显著的资源优势^[8]。但目前麦麸主要用于畜牧饲料,这无疑是一种极大的资源浪费。

目前,膳食纤维添加对面团的影响已有报道,主要集中在未改性膳食纤维的研究。张艺萱等^[9]研

收稿日期:2021-08-04;修回日期:2022-03-31

基金项目:河南省科技攻关项目(212102110333)

作者简介:郭艳艳(1996—),女,河南省濮阳市人,河南工业大学硕士研究生,主要研究方向为发酵食品加工理论与技术。
E-mail:1317813005@qq.com

通信作者:李华(1978—),女,吉林省白山市人,河南工业大学副教授,博士,主要研究方向为发酵食品加工理论与技术。
E-mail:lixian78101@163.com

究发现,添加质量分数为2%~10%的马铃薯膳食纤维可使面团具有较好的机械稳定性和流变特性;赵双丽等^[10]研究表明,添加竹笋膳食纤维可有效保持面团的硬度、黏度和弹性,面团的弹性模量和黏性模量均呈增大趋势;S. Ma等^[11]研究发现,高麦麸膳食纤维面团的弹性较未添加麦麸的面团显著增加,但同时也增加了面团的不稳定性。膳食纤维中的SDF亲水性好,可提高面团的弹性和黏性,但在不提取出SDF即在不减少麦麸整体成分的前提下,使麦麸中SDF的含量升高,进而探究改性麦麸对面粉和面团特性影响的研究鲜有报道。

鉴于此,本研究拟以麦麸为原料,利用纤维素酶对其进行酶法改性,通过单因素试验和正交试验优化改性工艺条件,并进一步研究改性后的麦麸对面粉粉质特性和面团拉伸特性的影响,以期改善麦麸面团的品质、进而提高小麦麸皮综合利用率提供理论参考和借鉴。

1 材料与方法

1.1 实验材料

麦麸,河南天香面业有限公司产;特一面粉,河南金苑粮油有限公司产;纤维素酶(50 000 U/g),北京索莱宝科技有限公司产;乙醇,新乡市三伟消毒制剂有限公司产。

1.2 主要仪器与设备

SXL-1002型程控箱式电炉,上海精宏实验设备有限公司产;DL-1型电子万用电炉、DZKW-S-4型电热恒温水浴锅,北京市永光明医疗仪器有限公司产;AL204型电子天平,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司产;FB20型pH计,奥豪斯仪器(常州)有限公司产;CLF-10C型粉碎机,浙江创力药材器械厂产;DHG-9075A型电热恒温鼓风干燥箱,上海齐欣科学仪器有限公司产;WZZ-2 s/2ss型自动旋光仪,上海申光仪器仪表有限公司产;SZC-101型脂肪测定仪,上海纤检仪器有限公司产;KND-1型凯氏定氮仪,上海仪电科学仪器股份有限公司产;Farinograph-AT型全自动粉质仪、Extensograph-E型拉伸仪,德国Brabender公司产;SHB-III型循环水式多用真空泵,郑州长城科工贸有限公司产。

1.3 实验方法

1.3.1 麦麸前处理 将麦麸过40目筛,用清水淘洗8~10次去除淀粉和其他水溶性杂质;75℃恒温干燥后用粉碎机磨碎,过80目筛,密封冷藏备用。测得其基本成分(质量分数)为水分5.42%、灰分5.53%、淀粉6.84%、蛋白质19.56%、脂肪3.66%、膳食纤维81.79%。

1.3.2 SDF的提取 将过80目筛的麦麸和滤纸在105℃烘箱中过夜恒重,称取5.0g恒重后的麦麸,加入50mL蒸馏水,混合均匀,用HCl溶液(1mol/L)调节pH值至4.0,加入质量分数为1.0%纤维素酶,于50℃条件下水浴酶解;之后,于100℃条件下灭酶,取出后冷却、抽滤,滤渣用70℃热水洗涤2次;收集的滤液中加入4倍体积的乙醇溶液(体积分数为95%,预热至60℃),醇沉1h后抽滤,滤饼再分别用体积分数为78%、95%的乙醇溶液洗涤2次,于105℃条件下烘干过夜,称重。SDF提取率的计算公式如下:

$$\text{SDF提取率} = \frac{\text{SDF质量}}{\text{膳食纤维总质量}} \times 100\%$$

1.3.3 酶法改性优化 选取纤维素酶添加量(0.2%、0.4%、0.6%、0.8%、1.0%)、反应温度(40℃、45℃、50℃、55℃、60℃、65℃)、反应时间(0.5h、1.0h、2.0h、3.0h、4.0h)、反应pH值(3.5、4.0、4.5、5.0、5.5、6.0)4个因素进行单因素试验,探究这4个因素对SDF提取率的影响,在此基础上,进行 $L_9(3^4)$ 正交试验优化。

1.3.4 面粉粉质特性的测定 按照最佳酶法改性条件制备改性麦麸,将其以0%、4%、8%、12%、16%、20%的添加量加入面粉中,其中改性麦麸添加量为0%的面粉为对照组。利用全自动粉质仪测定粉质曲线,根据所测面粉的水分含量,加入相应质量的面粉,并在20s内迅速加入对应量的水,使面团的 BU 最大稠度在 (500 ± 20) BU范围内^[12]。

1.3.5 面团拉伸特性的测定 在锥形瓶内加入6.0g NaCl,用测粉质特性时的加水量减去2%~3%的水将其溶解,启动全自动粉质仪,用漏斗向揉面钵盖板中间的小孔中加入溶解后的盐水,使其5min后的曲线在 (500 ± 20) BU范围内。将面团从揉面

钵中取出,用剪刀取(150±0.5) g 面团,期间尽量避免不必要的拉拽和切割;将面团在揉团器的方形盒中揉圆,并在搓条器中搓成长条,于温度 30 ℃、湿度 80%的条件下分别醒发 45 min、90 min、135 min 后,采用拉伸仪测定其拉伸特性^[13]。

2 结果与讨论

2.1 单因素试验结果分析

2.1.1 纤维素酶添加量 在反应时间为 2 h、反应温度为 50 ℃、反应 pH 值为 5.0 的条件下,纤维素酶添加量对 SDF 提取率的影响如图 1 所示。由图 1 可以看出,当纤维素酶添加量为 0.2%~0.8%时,SDF 的提取率逐渐增加,在纤维素酶添加量为 0.8%时提取率最高,为 9.18%。这可能是因为随着纤维素酶的作用,部分 IDF 中的氢键断裂降解为分子质量较小的 SDF,使膳食纤维中的 SDF 占比增大^[14]。继续增加纤维素酶添加量,SDF 提取率稍有下降,但变化不明显。这可能是因为纤维素酶已接近饱和,同时 SDF 被纤维素酶降解为难以醇沉的小分子单糖,使 SDF 提取率略有下降。故选择纤维素酶添加量为 0.6%~1.0%进行下一步正交试验。

2.1.2 反应温度 在纤维素酶添加量为 0.8%、反应时间为 2.0 h、反应 pH 值为 5.0 的条件下,反应温度对 SDF 提取率的影响如图 2 所示。由图 2 可以看出,随着反应温度的升高,SDF 提取率呈先增加后减小的趋势,当反应温度为 60 ℃时,SDF 提取率最高,为 11.31%。酶活性与温度有关,反应温度适当升高,酶活性增强,反应速率加快,在 60 ℃时酶活

力最强;之后继续升高温度,酶活性降低,反应速率下降,SDF 提取率也随之降低,这与王旭等^[15]的研究结果一致。故选择反应温度为 55~65 ℃进行下一步正交试验。

2.1.3 反应时间 在纤维素酶添加量为 0.8%、反应温度为 60 ℃、反应 pH 值为 5.0 的条件下,反应时间对 SDF 提取率的影响如图 3 所示。由图 3 可以看出,随着反应时间的增加,SDF 提取率呈先增加后减小的趋势,在反应时间为 3.0 h 时,SDF 提取率最高,为 10.45%,反应时间继续增加,提取率稍有下降,但下降趋势不明显。这可能是因为随着反应时间的延长,纤维素酶与麦麸反应更充分,在 3.0 h 时酶与底物已经完全反应;反应时间超过 3.0 h 后,生成物浓度升高会抑制反应进行,同时,部分 SDF 被酶解成更小分子的单糖,这些单糖无法在一定体积分数的乙醇溶液中发生沉淀^[16]。故选择反应时间为 2.0~4.0 h 进行下一步正交试验。

2.1.4 反应 pH 值 在纤维素酶添加量为 0.8%、反应温度为 60 ℃、反应时间为 3.0 h 的条件下,反应 pH 值对 SDF 提取率的影响如图 4 所示。由图 4 可以看出,随着反应 pH 值的增加,SDF 提取率呈先增加后减小的趋势,在反应 pH 值为 4.0 时,SDF 提取率最高,为 10.35%。这可能是因为纤维素酶活性在 pH 值为 4.0 时最大,底物与纤维素酶反应速率最快;pH 值偏高或偏低均会使酶活性降低,反应受到抑制,反应速率下降。故选择反应 pH 值为 4.0~5.0 进行下一步正交试验。

2.2 正交试验结果分析

正交试验因素和水平见表 1,正交试验结果见

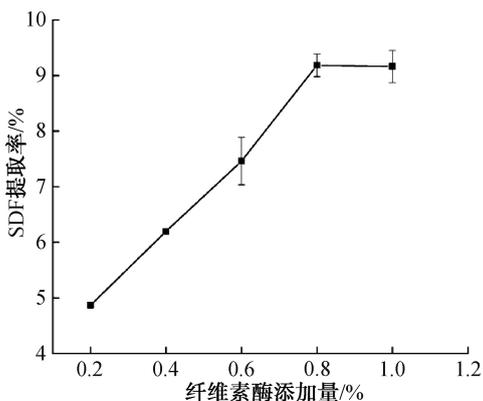


图1 纤维素酶添加量对 SDF 提取率的影响
Fig. 1 Effect of cellulase addition on SDF extraction rate

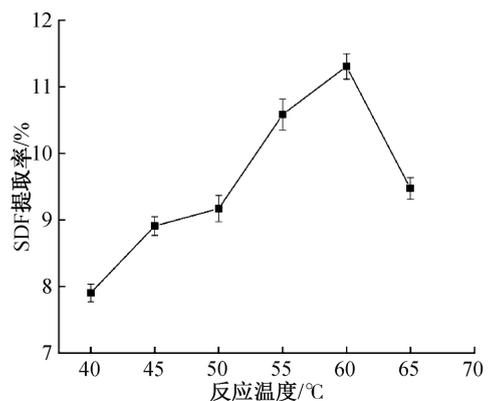


图2 反应温度对 SDF 提取率的影响
Fig. 2 Effect of reaction temperature on SDF extraction rate

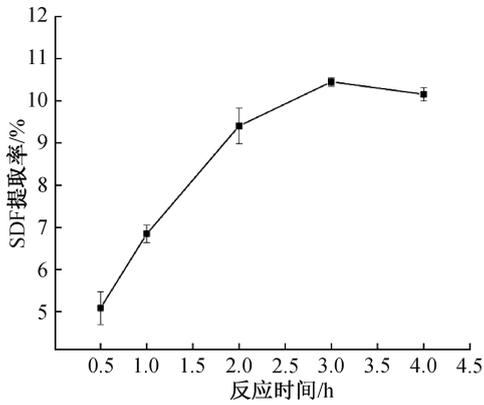


图3 反应时间对SDF提取率的影响

Fig. 3 Effect of reaction time on SDF extraction rate

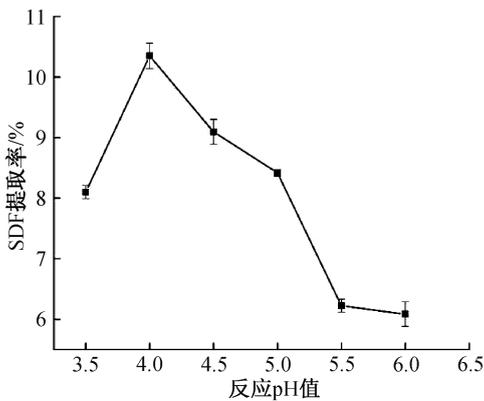


图4 反应pH值对SDF提取率的影响

Fig. 4 Effect of reaction pH on SDF extraction rate

表1 正交试验因素和水平表

Table 1 Orthogonal test factors and levels table

水平	因素			
	纤维素酶添加量(A)/%	反应温度(B)/℃	反应pH值(C)	反应时间(D)/h
1	0.6	55	4.0	2.0
2	0.8	60	4.5	3.0
3	1.0	65	5.0	4.0

表2。由表2可知,4个因素对SDF提取率影响的主次顺序为反应pH值(C)>反应时间(D)>纤维素酶添加量(A)>反应温度(B),其中,反应pH值对提取率影响较大,最佳酶法改性条件组合为A₃B₃C₁D₃,即纤维素酶添加量为1.0%、反应温度为65℃、反应时间为4.0h、反应pH值为4.0。在此条件下进行验证实验,得到SDF的提取率为12.59%,较表2中的9组试验结果均有所提高,且高于张光等^[17]研究中对SDF的提取率(9.23%)。另外,酶法改性前,麦麸中SDF的质量分数为3.02%,经酶法改性后,麦麸中的SDF含量明显升高。

表2 正交试验结果

Table 2 Orthogonal test results

试验号	A	B	C	D	SDF提取率/%
1	1	1	1	1	7.75
2	1	2	2	2	8.95
3	1	3	3	3	8.13
4	2	1	2	3	9.52
5	2	2	3	1	7.40
6	2	3	1	2	10.44
7	3	1	3	2	8.13
8	3	2	1	3	11.25
9	3	3	2	1	9.35
K ₁	24.84	25.39	29.43	24.50	
K ₂	27.36	27.60	27.81	27.51	
K ₃	28.72	27.92	23.66	28.90	
k ₁	8.28	8.46	9.81	8.17	
k ₂	9.12	9.20	9.27	9.17	
k ₃	9.57	9.31	7.89	9.63	
R	1.29	0.84	1.92	1.47	
主次顺序	C>D>A>B				
最优组合	A ₃ B ₃ C ₁ D ₃				

2.3 改性麦麸添加量对面粉粉质特性的影响

粉质特性可反映面粉的吸水速度、面筋强度、面团稳定性、面团的耐搅拌能力等,主要参数包括吸水率、形成时间、稳定时间、弱化度等。其中,吸水率是反映粉质特性的关键因素,吸水率越高,越有利于降低面制品的老化速率;形成时间的长短可反应面筋的强弱,形成时间越短,面筋筋力越强;稳定时间与面团的耐柔性、耐剪切性相关,稳定时间越长,面团耐柔性越好,面团越稳定^[18];弱化度与面团对机械搅拌的耐承受能力相关,弱化度越大,其面筋力越弱,面团越不宜加工且容易塌陷,所制馒头的体积越小^[19]。

改性麦麸添加量对混合粉粉质特性的影响见表3。由表3可知,本研究中面团的形成时间随麦麸添加量的增加而增加,这与赵文华等^[20]的研究结果一致。但在赵文华等^[20]的研究中,随着麦麸添加量(0%~15%)的增加,面团的形成时间增加了2min,而在本研究中,随着改性麦麸添加量的增加,面团的形成时间仅增加了1min,这可能是由于SDF含有较多的亲水基团,吸水性好,改性后的麦麸中SDF含量增加,故相较于添加未改性麦麸的面团,添加改性麦麸的面团形成时间增加得更少。王崇崇等^[21]

将未改性的麦麸加入面团中,研究结果与本研究结果基本一致,但其面团稳定时间随着麦麸添加量的增加快速下降(5.00~2.86 min),而本研究的面团稳定时间随着改性麦麸添加量的增加下降缓慢(5.41~4.05 min)。再者,王崇崇等^[21]研究表明,麦麸添加量为5%的面团其弱化度为124 FU,高于本研究中改性麦麸添加量为20%的面团。这说明改性后的麦麸由于SDF含量增加,对面团稳定时间和弱化度的影响较小,面团的弹性和黏性得到改善,有助于提高面粉的粉质特性。但由于改性后的麦麸仍以IDF为主,麦麸添加量的增加仍会阻碍面筋形成网状结构,致使网状结构松散,分子间作用力降低,导致面团的弱化度升高、粉质指数降低等不稳定性增加^[22],促使面团面筋结构劣化,面团口感下降。

2.4 改性麦麸添加量对面团拉伸特性的影响

面团拉伸特性是指当外力作用于面团时面团发生形变,而当外力消失后所表现出的弹性和塑性。用拉伸仪测定面团的拉伸特性,评价指标包括延伸性、拉伸阻力、拉伸比例和拉伸面积。其中,延伸性可反映面团的黏性和横向延展性^[23];拉伸阻力可反映面团的强度和筋力,拉伸阻力越大,筋力越强;拉伸比例是拉伸阻力与延伸性的比值,拉伸比例越大,延伸性越小,拉伸阻力越大;拉伸面积是拉伸曲线与横轴线所围成的面积,数值越大,面筋的筋力越强,成品品质越好^[24]。

改性麦麸添加量对面团拉伸特性的影响如图5所示。由图5 a)和 d)可以看出,改性麦麸添加量越多,面团的延伸性越差,拉伸面积整体呈下降趋势,这与温纪平等^[25]的研究结果一致。这表明由于改性后的麦麸仍以IDF为主,这些不溶性的膳食纤维

表3 改性麦麸添加量对面粉粉质特性的影响

Table 3 Effect of modified wheat bran addition on farinograph properties of powder

麦麸添加量/%	吸水率/%	形成时间/min	稳定时间/min	弱化度/FU	粉质指数
0	59.0	3.45	5.41	81	75
4	62.8	4.05	4.44	94	69
8	66.4	4.35	4.35	102	62
12	68.4	4.31	4.18	112	60
16	70.7	4.20	4.18	118	62
20	74.1	4.45	4.05	122	59

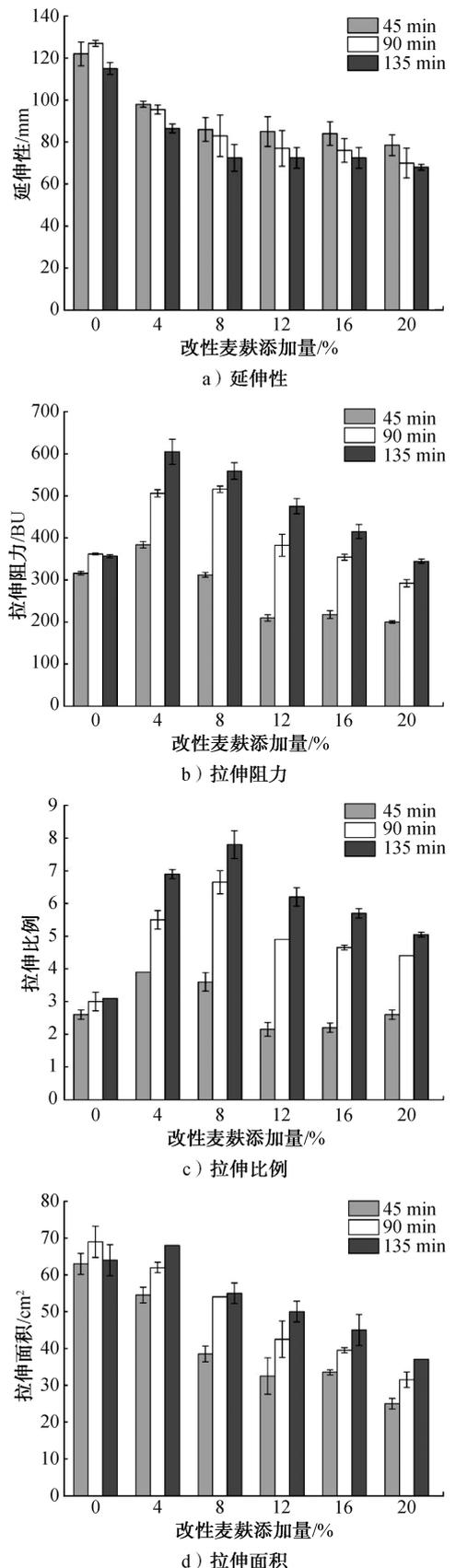


图5 改性麦麸添加量对面团拉伸特性的影响
Fig. 5 Effect of modified wheat bran on the extensograph properties of dough

微粒引入到面团中会使面筋网络结构的形成度变差,蛋白分子间作用力降低,结构松散,导致面团的整体性能变差,面团的黏性和横向延伸性降低。由图5b)和c)可以看出,面团的拉伸阻力和拉伸比例均随着改性麦麸添加量的增加整体呈先增加后下降的趋势,该结果与王玮^[26]的研究结果不同,其研究中面团的拉伸阻力和拉伸比例均随着麦麸添加量的增加逐渐减小,这可能是因为麦麸经酶法改性后,SDF含量增加,亲水性增强,面团的弹性和筋力有所提高,有助于维持面筋网络结构,加强面团持气能力,故起始阶段呈增加的趋势;但改性后的麦麸仍以IDF为主,其表面粗糙且坚硬,随着改性麦麸添加量的增加,在拉伸过程中易产生摩擦,增加面团断裂速度,故过多加入改性麦麸会使面团的拉伸特性变差。

醒发90 min和135 min后,添加改性麦麸的面团的延伸性均下降,而对照组在醒发90 min时延伸性上升。这说明适当延长未添加改性麦麸面团的醒发时间,有助于增强面团的黏性,形成面筋网络,而添加改性麦麸的面团醒发时间越长,面团的黏性越差。然而拉伸阻力、拉伸比例和拉伸面积在醒发90 min、135 min后均有所增加,其中在醒发90 min时增加速度最快,说明适当延长醒发时间,有利于面筋网络的形成,增强面团的弹性和可塑性。由此可知,适当添加改性麦麸和延长醒发时间,可以增加面团的弹性等性能,而加入过多(大于8%)改性麦麸则会破坏面团整体的面筋结构,从而使其稳定性下降。

3 结论

本文以麦麸为原料,用纤维素酶对其进行酶法改性,通过单因素试验和正交试验优化得到的最佳改性工艺条件为纤维素酶添加量1.0%、反应温度65℃、反应时间4.0 h、反应pH值4.0,在此条件下,SDF的提取率为12.59%。由于SDF含有较多的极性基团,亲水性好,改性后麦麸的SDF含量增加,可进一步改善面粉的粉质特性,提高面团的弹性和黏性。延长醒发时间后,不同改性麦麸添加量的面团的抗拉伸能力也均有所改善。但改性麦麸仍以IDF为主,故依然会影响面团特性,即面粉中改性麦麸添

加量越多,面筋网络的形成度越差,进而导致面团的不稳定性明显增强,延伸性下降,拉伸面积减小。本文实验操作工艺简单,可为麦麸在面食中的应用提供新的研究思路。

参考文献:

- [1] WANG Y, HO C T. Dicarbonyl intermediates: A control factor in the maillard reaction [J]. ACS National Meeting Book of Abstracts, 2010, 238: 27-34.
- [2] LI F W, CAO J R, LIU Q, et al. Acceleration of the maillard reaction and achievement of product quality by high pressure pretreatment during black garlic processing [J]. Food Chemistry, 2020, 318: 126517.
- [3] TAVARES W, DONG S, JIN W, et al. Effect of different cooking conditions on the profiles of maillard reaction products and nutrient composition of hairtail (*Thichiurus lepturus*) fillets [J]. Food Research International, 2018, 103: 390-397.
- [4] MACAGNAN F T, SILVA L, HECKTHEUER L H. Dietary fibre: The scientific search for an ideal definition and methodology of analysis, and its physiological importance as a carrier of bioactive compounds [J]. Food Research International, 2016, 85: 144-154.
- [5] 赵海贤,于国萍.干法糖基化改性提高大豆分离蛋白的乳化性[J].食品研究与开发,2012,33(9):7-11.
- [6] HELLWING M, WITTE S, HENLE T. Free and protein-bound maillard reaction products in beer: Method development and a survey of different beer types [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2016, 64(38): 7234-7243.
- [7] HABINSHUTI I, CHEN X, YU J, et al. Antimicrobial, antioxidant and sensory properties of maillard reaction products (MRPs) derived from sun-

- flower, soybean and corn meal hydrolysates [J]. *Lebensmittel Wissenschaft and Technology*, 2019, 101:694-702.
- [8] PRUCKLER M, SIEBENHANDL-EHN S, APPRICH S, et al. Wheat bran-based biorefinery 1: Composition of wheat bran and strategies of functionalization [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2014, 56(2):211-221.
- [9] 张艺萱, 刘伟, 刘倩楠, 等. 马铃薯膳食纤维对小麦面团流变和热机械特性的影响[J]. *食品科技*, 2020, 45(6):168-174.
- [10] 赵双丽, 肖乃勇, 刘兴丽, 等. 竹笋膳食纤维对反复冻融面团加工特性和水分分布的影响[J]. *轻工学报*, 2019, 34(5):20-26.
- [11] MA S, HAN W, LI L, et al. Small and large strain rheology of gluten and gluten-starch doughs containing wheat bran dietary fiber [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2020, 100(1):177-183.
- [12] 国家市场监督管理总局. 粮油检验 小麦粉面团流变学特性测试 粉质仪法: GB/T 14614—2019[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.
- [13] 国家市场监督管理总局. 粮油检验 小麦粉面团流变学特性测试 拉伸仪法: GB/T 14615—2019[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.
- [14] 李小平, 魏朝明, 张薇, 等. 纤维素酶解提高红薯水溶性膳食纤维含量的研究[J]. *食品工业科技*, 2011, 32(11):198-201.
- [15] 王旭, 梁栋, 徐杨, 等. 挤压膨化辅助提取米糠可溶性膳食纤维及其特性研究[J]. *中国粮油学报*, 2017, 32(9):153-159.
- [16] 王磊, 袁芳, 高彦祥. 响应面法优化酶法提取椴柑渣中可溶性膳食纤维工艺[J]. *中国食品学报*, 2014(10):171-178.
- [17] 张光, 吕铭守, 张思琪, 等. 米糠膳食纤维双酶法改性研究[J]. *包装与食品机械*, 2020, 38(5):13-18.
- [18] 张帅. 魔芋胶和沙蒿胶对小麦面团特性的影响及其作用机制研究[D]. 重庆: 西南大学, 2019.
- [19] HAN T, ZHU X F, NAN B X, et al. Effect of extruded starches on the structure, farinograph characteristics and baking behavior of wheat dough [J]. *Food Chemistry*, 2021, 348:129017.
- [20] 赵文华, 魏彩娇, 白瑞平, 等. 麦麸膳食纤维对面团流变学特性及馒头质量的影响[J]. *粮食加工*, 2009, 34(3):16-19.
- [21] 王崇崇, 马森, 王晓曦, 等. 小麦麸皮膳食纤维对冷冻面团及馒头质量的影响研究[J]. *粮食与油脂*, 2017, 30(5):45-49.
- [22] JIN X X, LIN S Y, GAO J, et al. How manipulation of wheat bran by superfine-grinding affects a wide spectrum of dough rheological properties [J]. *Journal of Cereal Science*, 2020, 96:103081.
- [23] WANG N, HOU G G, DUBAT A. Effects of flour particle size on the quality attributes of reconstituted whole-wheat flour and chinese southern-type steamed bread [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2017, 82:147-153.
- [24] SUN R, ZHANG Z M, HU X J, et al. Effect of wheat germ flour addition on wheat flour, dough and Chinese steamed bread properties [J]. *Journal of Cereal Science*, 2015, 64:153-158.
- [25] 温纪平, 王华东, 何丽敏. 热处理麸皮对面团流变学特性的影响[J]. *粮食与油脂*, 2015, 28(10):44-46.
- [26] 王玮. 超微粉碎麸皮的功能特性及应用研究 [D]. 郑州: 河南工业大学, 2016.

Evaluation system of cultivating suitability for the productive strains of *Morchella* mushrooms

LIU Wei¹, CAI Yingli², MA Xiaolong², HE Peixin³

1. Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650201, China;

2. Institute of Vegetable, Wuhan Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430345, China;

3. College of Food and Bioengineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450001, China

Abstract: *Morchella* mushrooms are edible and medicinal mushrooms appreciated worldwide. Since 2012, the scale of morel artificial cultivation has been increasing year after year in China. However, the instability of morel cultivation has been frustrating morel farming. The industrial instability may be closely related to the imperfection of strain evaluation system of cultivating suitability and the resulted implication of poor quality and unstable spawns in practical cultivation. Compared with most mushrooms belonging to Basidiomycota, the ascomycetes of morels own special characteristics in species diversity, deletion of mating type genes, and rapid strain aging, which put forward special request for systematic detection of relevant characteristics in cultivated strains. Based on long-term fundamental research and practical experiences, an IMV evaluation system of cultivating suitability for productive strains of *Morchella* mushrooms, including identity recognition, detection of mating types and assay of vitality, was proposed in this paper. The technological necessity and the detailed procedure were sorted out. Given the application of the evaluation system in field cultivation in two seasons, the potential morel productive strains may be scientifically and systematically screened and assessed to confirm the use of suitable strains in cultivation, which will strengthen the stability of morel cultivation, and thus promote the sustainable and stable development of morel industry.

Key words: *Morchella* mushrooms; strain identification; mating-type gene; strain aging; IMV evaluation system

(责任编辑:杨晓娟)

(上接第 49 页)

Enzymatic modification of wheat bran and its effect on flour farinograph properties and dough extensograph properties

GUO Yanyan, LI Hua, ZHU Xuanxuan

College of Food Science and Technology, He'nan University of Technology, Zhengzhou 450000, China

Abstract: The wheat bran was passed through an 80-mesh sieve, and it was modified enzymatically with cellulase. The modification process conditions were optimized through single factor test and orthogonal test. The modified wheat bran was added to the flour and the farinographical property of the flour and the extensographical properties of the dough were explored. The results showed that the optimal process conditions for the enzymatic modification of wheat bran were cellulase addition 1.0%, reaction temperature 65 °C, reaction time 4.0 h, and pH value 4.0. Under these conditions, the extraction rate of SDF was 12.59%. With the increase of modified wheat bran addition, the water absorption rate of the flour increased, the dough formation time and weakening degree increased slowly, the stabilization time, extensibility and tensile area of the dough decreased, and the tensile resistance and tensile ratio showed a trend of first increasing and then decreasing. After waking 90 and 135 min, the tensile resistance and tensile ratio of the dough increased with the addition of modified wheat bran, reaching the highest values at 4% and 8%, respectively.

Key words: wheat bran modification; dietary fiber; cellulase; farinograph property; extensograph property

(责任编辑:杨晓娟)