

全籽粒小麦工业微粉碎工艺对全麦粉加工特性的影响

刘芯羽¹, 刘泽龙^{1,2,*}, 杜昱蒙^{1,3,4}, 任晨刚^{1,3,4}, 任国宝^{1,3,4}, 王满意^{1,3,4}

(1. 中粮营养健康研究院, 北京 102209; 2. 北京工商大学 食品与健康学院, 北京 100048; 3. 营养健康与食品安全北京市重点实验室, 北京 102209; 4. 老年营养食品研究北京市工程实验室, 北京 102209)

摘要: 使用工业冲击磨对全籽粒小麦进行微粉碎获得全麦粉。研究不同粒度和储藏温度对全麦粉面筋特性和面团流变学特性的影响。结果表明, 全麦粉粉碎粒度与湿面筋含量和粉力[室温样品(22 ± 1) °C]呈正相关, 与吸水率呈负相关。中等粒度全麦粉面团形成/稳定时间最长、弱化度较低, 粉质质量指数最优, 拉伸阻力最大。全麦粉的粒度控制也将有助于优化产品流变学特性。相比室温样品, 冷藏样品[(4 ± 1) °C]的面筋指数、面团形成/稳定时间、拉伸阻力均显著降低, 并且冷藏保存对于细粒度样品的粉质特性影响较大。

关键词: 全籽粒小麦; 工业微粉碎; 面筋特性; 面团流变学特性

Influence of Industrial Fine Grinding of Whole Grain Wheat on Processing Characteristics of the Whole Wheat Flour

LIU Xin-yu¹, LIU Ze-long^{1,2,*}, DU Yu-meng^{1,3,4}, REN Chen-gang^{1,3,4}, REN Guo-bao^{1,3,4}, WANG Man-yi^{1,3,4}

(1. COFCO Nutrition and Health Research Institute, Beijing 102209, China; 2. School of Food and Health, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China; 3. Beijing Key Laboratory of Nutrition Health and Food Safety, Beijing 102209, China; 4. Beijing Engineering Laboratory of Geriatric Nutrition Foods, Beijing 102209, China)

Abstract: Whole grain wheat was finely pulverized using an industrial impact mill to obtain whole wheat flour. The effects of different particle sizes and storage temperatures on gluten properties and dough rheological properties of the whole wheat flours were studied. The results showed that the particle size of whole wheat flour was positively correlated with wet gluten content and extensigraphic area [for the samples stored at room temperature, (22 ± 1) °C], and negatively correlated with water absorption. The flours with particle size at medium level displayed the longest dough development/stability time, low degree of softening, optimal farinograph quality number, and highest tensile resistance. The particle size control of whole wheat flour should probably promote optimization of the dough rheological properties. Compared with the samples stored at room temperature, the gluten index, dough development/stability time, and resistance to extension of the refrigerated samples [(4 ± 1) °C] were significantly lower, and the refrigerated storage had a greater impact on farinographical properties of the samples with particle size at lower level.

Key words: whole grain wheat; industrial fine grinding; gluten properties; dough rheological properties

引文格式:

刘芯羽, 刘泽龙, 杜昱蒙, 等. 全籽粒小麦工业微粉碎工艺对全麦粉加工特性的影响[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(18): 35-39

LIU Xinyu, LIU Zelong, DU Yumeng, et al. Influence of Industrial Fine Grinding of Whole Grain Wheat on Processing Characteristics of the Whole Wheat Flour[J]. Food Research and Development, 2020, 41(18): 35-39

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD0401002)

作者简介: 刘芯羽(1994—), 女(汉), 硕士, 研究方向: 谷物加工与产品开发。

* 通信作者: 刘泽龙(1983—), 男(汉), 教授, 博士, 研究方向: 粮油加工与资源利用。

全麦粉是重要的全谷物类食品之一,它保留了小麦籽粒几乎全部的麸皮和胚芽,并且膳食纤维、维生素、矿物质以及烷基间苯二酚等含量显著高于普通小麦粉^[1]。麸皮和胚芽是全麦粉主要的营养物质来源,小麦胚约 10 % 的脂肪中 80 % 是不饱和脂肪酸,其中 50 % 以上是亚油酸。全麦粉中的膳食纤维则能被肠道有益细菌利用产生短链脂肪酸并降低 pH 值,抑制腐生菌的生长,减少致癌物质产生。小麦膳食纤维还能够产生饱腹感,并缩短食物通过消化器官的时间,降低葡萄糖的吸收,减缓淀粉水解,增加粪便容积,降低肠内压等。因此,经常食用全麦粉有预防肥胖、保护肠道健康等效果^[2-3],还能有效降低患心脑血管疾病等慢性病的风险^[4]。随着科学普及,消费者对于全谷物类食品的关注在逐步提升。已知制粉所保留的小麦完整度与产品营养成分保留量正向相关^[5-6]。常见的全麦粉加工方式有两种:一种是目前国内常采用的回添法,该方法将小麦的麸皮、胚与胚乳分离,粉碎并稳定化后按比例回添到小麦粉中,该种全麦粉的稳定性较高。另一种是全小麦籽粒粉碎法,该方法将未去除麸皮和胚的完整小麦直接粉碎得到全麦粉,这种全麦粉保留了小麦籽粒几乎全部的营养成分^[7-10]。

面团的结构性质特别是流变学特征,在很大程度上会影响全麦制品的品质。由于是否含有麦麸是全麦粉与小麦粉组成的主要区别,根据研究报道,经过回添稳定化处理的麸皮、胚芽和次粉后的全麦粉,相比普通小麦粉,会增加面团吸水量,降低面团稳定时间和拉伸能力。而全麦粉的粒度达到超微范围时,粉质均匀,面团加工指标的变化更加规律^[11-12]。此外,麸皮部分的尺寸也会对面团加工特性产生影响。根据报道,随着麸皮粒度增加,面团形成时间和稳定时间会随之降低^[13-14]。但是,在目前全麦粉面团特性的研究中,大部分全麦粉是通过实验室制备获得,而国内对工业制备的全籽粒粉碎全麦粉及其面团特性的研究相对较少。在小麦全籽粒宏量连续制取的过程中,装备与过程控制等方面与实验室自制会产生差异,从而可能影响产品的加工应用特性。

本研究通过对全籽粒小麦进行工业微粉碎获得不同粒度的全麦粉样品,并对不同温度下保存的全麦粉的加工特性进行对比研究,旨在为完善全麦粉的全籽粒粉碎加工工艺提供参考。

1 材料及方法

1.1 试验材料

优质白麦:中粮面业(德州)有限公司;无水乙醇、

乙醇(95 %)、邻苯二甲酸氢钾、酚酞(99 %)、浓硫酸、氢氧化钠、丙酮、石油醚(沸程 30 ℃~60 ℃)、氯化钠(均为分析纯):国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

试验冲击磨(CR1000):山东精华工程设备有限公司;气引式粉碎机(FDV):祐麒机械有限公司;全自动旋风磨(M3100):波通瑞华科学仪器(北京);面筋质量数量测定仪[面筋仪(Glutomatic-2200)、离心机(Centrifuge 2015)]:瑞典 Perten 仪器公司;电子粉质仪(Farinograph AT 自动型)、电子拉伸仪(Extensograph-E):德国 Brabender 仪器公司;数字瓶口滴定器(Titrette):德国普兰德公司;凯氏定氮仪(8400):丹麦福斯分析仪器公司;激光粒度仪(Mastersizer 3000):英国马尔文公司;医用台式离心机(TDZ5-WS):长沙平凡仪器仪表有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 全麦粉制备

将原料小麦投入进料仓,由喂料器送入试验专用工业冲击磨中,通过控制主机、分级器、风机频率等参数,获得粒度从高到低的 3 种全麦粉 1 号、2 号和 3 号样品。样品分别在室温[(22±1) ℃]和冷藏[(4±1) ℃]下保存 70 d 后进行加工特性的测试。其中,1 号粒径最大(D90:302.5 μm),2 号样品粒径适中(D90:147 μm),3 号样品粒径最小(D90:123.5 μm)。上述小麦原料在冷藏 70 d 后另外使用以下两种实验室设备进行制粉:(1)气引式粉碎机:匀速进料,粉碎过程电流不超过 4 A,获得全麦粉 4 号,其粒径 D90 约为 115 μm;(2)全自动旋风磨:匀速进料,小麦粉过筛后,进入收集装置,获得全麦粉 5 号,其粒径 D90 约为 320 μm。而后测定面筋指标并与工业微粉碎样品进行对比。

全麦粉样品的水分、蛋白含量和脂肪酸值见表 1。

表 1 全麦粉样品的水分、蛋白含量与脂肪酸值

Table 1 Moisture content, protein content and fatty acid value of the whole wheat flours

样品	水分/ (g/100 g)	蛋白质/ (g/100 g)	脂肪酸值/(mg KOH/100 g)	
			室温储藏	冷藏
小麦原料	11.6±0.0	15.1±0.1	36.8±0.3(新鲜)	37.6±0.5
全麦粉 1 号	10.7±0.0	15.3±0.1	144.6±1.1	100.5±0.7
全麦粉 2 号	10.1±0.0	14.8±0.5	158.4±1.2	99.9±1.3
全麦粉 3 号	9.4±0.0	14.8±0.0	167.0±0.4	107.6±0.3
全麦粉 4 号	9.7±0.0	14.8±0.1	—	35.6±0.3
全麦粉 5 号	10.3±0.1	14.5±0.0	—	30.4±1.1

注:蛋白以干基计,—表示此项不适用。

1.3.2 粒径测试

使用马尔文 Mastersizer 3000 激光粒度仪,采用干

法粒径测试系统。参数为气压:2 bar;进样速度:65 %;折射率:1.59;颗粒密度:1.05 g/m³;背景测量持续时间:10 s;样品测量持续时间:20 s;背景稳定时间:120 s。

1.3.3 常规理化指标检测方法

水分:GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》。

蛋白质:GB 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》。

脂肪酸值:GB/T 15684-2015《谷物碾磨制品 脂肪酸值的测定》。

1.3.4 全麦粉主要加工特性指标的测定

湿面筋测定:根据 GB/T 5506.2-2008《小麦和小麦粉 面筋含量 第2部分:仪器法测定湿面筋》并使用筛孔孔径为 840 μm 的聚酰胺筛进行测定。每个样品测定两次,每次两个平行(每组平行试验绝对差值不大于 1 g/100 g),取双试验两个测定结果算平均值。

面筋指数测定:根据 LS/T 6102-1995《小麦粉湿面筋质量测定法-面筋指数法》进行测定。每个样品每次测定两个平行,本测试中双试验误差不大于 15 个单位,或取 3 次试验的平均值。

粉质特性测定:根据 GB/T 14614-2019《粮油检验 小麦粉面团流变学特性测试 粉质仪法》进行测定。每个样品测定两次,取两个测定结果算平均值。

拉伸特性测定:根据 GB/T 14615-2019《粮油检验 小麦粉面团流变学特性测试 拉伸仪法》进行测定。每个样品测定两次,每次两个平行,取双试验两个测定结果算平均值。

1.4 统计与分析

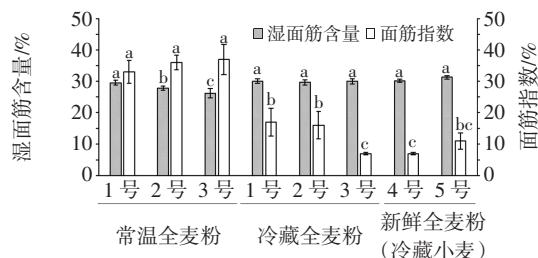
所有试验数据以平均值±标准差表示。采用 Excel 对数据进行处理,并采用 SPSS 22.0 进行数据统计分析,指标均值比较采用单因素方差分析,多重比较采用 Tukey HSD 法,置信度为 95%($p < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 湿面筋和面筋指数

面团的流变学特性主要由面筋引起。湿面筋含量,特别是面筋指数是鉴定小麦粉品质优劣的重要指标之一^[5],而全麦粉中的麸皮和胚芽会稀释面筋并降低面筋含量^[16]。全麦粉的湿面筋含量及面筋指数见图 1。

由图 1 可知,全麦粉样品的湿面筋含量约在 27 %~32 %。室温保存的全麦粉随着粒度的减小,湿面筋含量显著减小($p < 0.05$),其中,1 号样品的湿面筋含量最高。冷藏保存的全麦粉随着粒度减小湿面筋含量无明显差异($p > 0.05$),并且其湿面筋含量总体上高于室温



同一指标下的样品间差异显著性水平用字母标记,无相同字母的数据之间有显著性差异($p < 0.05$)。

图 1 全麦粉的湿面筋含量及面筋指数

Fig.1 Wet gluten content and gluten index of the whole wheat flours

样品。由于室温条件下的长期储存会增加小麦蛋白的降解与可溶性,而储藏温度的降低会减少面筋蛋白自由巯基的氧化交联和蛋白功能性,从而能更好的保留蛋白性能^[17]。小麦在冷藏后所获得的全麦粉(4 号和 5 号),其湿面筋含量与冷藏保存样品无显著差异($p > 0.05$)。

面筋指数大小与面筋筋力强弱成正比,一般强筋力大于 75 %,弱筋力小于 30 %^[18]。室温保存下,1 号~3 号样品的面筋指数在中等筋力范围随粒度减小逐渐增加,但不显著($p > 0.05$)。相比室温样品,冷藏全麦粉的面筋指数从不低于 33 %减少到 7 %~17 %,而 4 号和 5 号样品的面筋指数也在这个范围内。冷藏全麦粉与现磨全麦粉样品筋力偏弱的现象相似,并且两者的面筋指数与全麦粉粒度均呈现出一定的正相关性。室温条件下,随着样品粒度减小,面筋指数呈现增加趋势。这与之前麸皮回添的报道结果相吻合,说明粗粒度麸皮更容易影响面筋网络形成,减弱面筋筋力^[13]。但本研究中室温样品间面筋指数的差异并不显著($p > 0.05$)。冷藏样品的面筋指数总体上明显低于室温样品($p < 0.05$)。已知面筋和面团的强度与弹性性能主要由高分子量谷蛋白亚基(high molecular weight glutenin subunit, HMW-GS)和低分子量谷蛋白亚基(low molecular weight glutenin subunit, LMW-GS)共同形成二硫键交联的蛋白聚集网络所提供。面筋蛋白的谷氨酰胺残基含量高,也会形成大量分子内和分子间氢键,并通过形成分子间氢键提供黏弹性。在低温保存条件下,巯基/二硫键交换以及氢键等低能级分子间键的断裂与形成都会受到影响,影响了全麦粉的后熟^[18-20]。从样品的脂肪酸含量(表 1)推测冷藏的相关样品反应水平应该更低。此外,粒度最低的 3 号样品的面筋指数显著低于其他粒度的样品($p < 0.05$)。由于高粉碎强度对面筋蛋白可能产生较大机械损伤,并且小麦麸的混入也会引起麦谷蛋白的解聚。所以,根据结果判断上述

因素对小麦面筋质量的影响应该无法在冷藏条件下通过后熟作用得到恢复^[21]。

2.2 粉质特性分析

粉质曲线可以表征面团的耐揉和特性,评价被测面粉的内在质量。全麦粉粒度和储藏温度对其粉质特性的影响见表2。

表2 全麦粉粒度和储藏温度对其粉质特性的影响
Table 2 Effect of particle size and storage temperature on
farinographical properties of whole wheat flour

全麦粉 样品	吸水率/%	形成时间/ min	稳定时间/ min	弱化度/ FU	粉质质 量指数
室温	1号 70.0±0.0 ^d	5.26±0.46 ^{ab}	7.69±0.56 ^{ab}	87±7 ^a	102±6 ^{ab}
	2号 71.0±0.4 ^c	5.58±0.54 ^a	8.90±0.90 ^a	71±13 ^{ab}	115±11 ^a
	3号 71.8±0.6 ^b	5.41±0.38 ^a	8.62±1.04 ^a	64±9 ^b	112±9 ^a
冷藏	1号 70.0±0.2 ^d	4.30±0.22 ^b	7.68±0.39 ^{ab}	66±1 ^b	100±4 ^{ab}
	2号 71.1±0.3 ^c	4.82±0.30 ^{ab}	7.87±0.66 ^a	62±5 ^b	104±8 ^{ab}
	3号 73.4±0.5 ^a	4.34±0.19 ^b	5.96±0.41 ^b	66±2 ^b	86±4 ^b

注:表格中数据间的显著性水平用字母标记,每列中不同字母的数据之间有显著性差异($p<0.05$)。

根据表2所示,随着全麦粉粒度的减小,吸水率明显增加($p<0.05$)。已知面粉的吸水量与原始水分、面筋蛋白含量、损伤淀粉含量有关。破损淀粉和面筋含量越高,面粉的吸水率也越大^[22-23]。这与本研究中破损淀粉与湿面筋(图1)的结果相吻合。

面团形成时间反映面粉的筋力,两者间呈正相关。对于普通小麦粉来说,一般形成时间1.0 min~2.0 min的软麦粉适宜做饼干和糕点。形成时间在4.0 min以上硬麦粉适合生产面包粉等高筋粉。稳定时间反映面团耐受机械的能力,也是评价面团内在质量的重要指标^[21]。本研究中全麦粉的形成时间在4.30 min~5.58 min,稳定时间在5.96 min~8.90 min。冷藏样品的上述两项指标整体上短于室温样品。其中,室温保存的1号全麦粉样品面团形成时间和稳定时间均短于2号和3号全麦粉样品,但差异不显著。弱化度反映面团在搅拌过程中的破坏速度和对机械搅拌的承受能力,也代表

着面筋的强度。前者(1号)的弱化度最大,综合说明其面筋强度较弱,这也进一步验证了面筋指数的测定结果。无论是室温保存还是冷藏保存,2号样品形成时间和稳定时间最长,弱化度较低,粉质质量指数最优,说明中等粒度可以更好的保证全麦面团的韧性和耐搅拌性^[13]。此外,在冷藏样品中,3号样品的形成时间、稳定时间都是显著偏低的($p<0.05$),并且粉质质量指数也最低。这与面筋测试结果相符,冷藏的细粒度全麦粉样品筋力与强度下降明显。中粒度样品在不同温度的样品组别中,均拥有最大的粉质质量指数。以上说明全麦粉的粒度控制将有助于优化产品的粉质特性,而冷藏保存对于细粒度样品的面筋性能影响较大。

2.3 拉伸特性分析

拉伸曲线主要用于评价面团的抗拉阻力和延伸度等特性。它反映了麦谷蛋白网络强度和抗延伸阻力,以及由麦胶蛋白贡献的流动性和延伸所需要的黏合力^[22,24]。拉伸曲线面积反应“粉力”大小。全麦粉粒度和储藏温度对其拉伸特性的影响见表3。

由表3可见,所有样品的粉力、最大拉伸阻力在同一样品45 min~135 min的醒发过程中呈现递增的趋势,延伸度则呈现递减的趋势。其中,室温样品粉力随粉碎粒度的降低基本呈现递减趋势。而冷藏样品中2号中等粒度样品的粉力普遍高于1号和3号样品,且在135 min醒发后具有显著差异($p<0.05$)。

最大拉伸阻力表示面团的强度和筋力,并呈正相关。两种温度下保存的样品,在不同的醒发时间下都是2号样品的拉伸阻力最大。这与粉质仪测定结果相符,2号样品在两种保存温度下均表现出较高的面团强度和筋力。冷藏样品的拉伸阻力均明显低于室温保存的相同样品($p<0.05$),说明其面团强度和筋力下降。延伸度表示面团的延展性和可塑性。拉伸长度大,面团的延展性好,抗拉阻力小。拉伸阻力随发酵时间增幅明显的面团更适合长时间发酵,而延伸度较好的面团相对柔软,发酵时间短^[22]。本研究中,对于在不同

表3 全麦粉粒度和储藏温度对其拉伸特性的影响

Table 3 Effect of particle size and storage temperature on extensographical properties of whole wheat flour

全麦粉样品		拉伸曲线面积/cm ²			最大拉伸阻力/BU			延伸度/mm		
		45 min	90 min	135 min	45 min	90 min	135 min	45 min	90 min	135 min
室温	1号	30±2 ^a	35±6 ^a	40±8 ^a	143±12 ^a	195±27 ^{ab}	242±29 ^b	139±3 ^{ab}	119±5 ^b	113±10 ^{bc}
	2号	27±2 ^{ab}	35±2 ^a	38±2 ^a	143±9 ^a	224±12 ^a	287±6 ^a	120±4 ^b	108±5 ^b	95±3 ^c
	3号	24±4 ^{ab}	32±2 ^a	34±2 ^a	118±11 ^b	171±13 ^b	208±15 ^b	128±10 ^b	122±6 ^b	112±3 ^{bc}
冷藏	1号	16±3 ^c	19±3 ^c	23±3 ^b	89±9 ^c	103±8 ^c	118±4 ^c	136±22 ^{ab}	118±10 ^b	124±13 ^b
	2号	21±2 ^{bc}	28±2 ^{ab}	35±3 ^a	92±7 ^c	118±4 ^c	155±16 ^c	159±8 ^a	147±9 ^a	145±6 ^a
	3号	16±1 ^c	20±1 ^{bc}	23±2 ^b	86±2 ^c	107±4 ^c	129±7 ^c	126±10 ^b	121±10 ^b	116±5 ^b

注:表格中数据间差异的显著性水平用字母标记,每列中不同字母的数据之间有显著性差异($p<0.05$)。

醒发时间下的同一样品,延伸度的变化与拉伸阻力呈现出相反的变化趋势。对于室温样品,在相同醒发时间下均以2号样品的延伸度最低,但样品间差异并不显著($p > 0.05$)。2号样品的面团强度和筋力更好,在发酵、揉团和成型时可以体现出良好的性能。但在冷藏样品中,2号样品的面团延伸度最大,且明显高于其他样品($p < 0.05$),该样品面团会比较柔软,发酵时间短。由表3可知,该样品的高粉力值是拉伸阻力和延伸度共同贡献的结果。对比室温和冷藏样品时发现,冷藏样品的面团力学指标基本上均显著低于室温样品。这也进一步说明冷藏保存全麦粉会对其面筋性能产生负面影响,并且产品的加工特性与粉碎强度密切相关。

3 结论

全麦粉在室温保存下湿面筋含量与其粉碎粒度呈正相关,而冷藏条件下上述相关性不显著。冷藏保存样品面筋指数显著低于室温样品。全麦粉粒度与吸水率呈负相关,与粉力(室温样品)呈正相关。冷藏保存全麦粉样品的面团形成时间、稳定时间以及拉伸阻力均小于室温保存样品。中等粒度全麦粉的面团形成/稳定时间最长、弱化度较低,粉质质量指数最优,拉伸阻力最大。全麦粉的粒度控制助于优化产品的流变学特性。相比室温保存,冷藏保存使样品的面团力学指标显著降低,且对于细粒度样品的面团粉质特性影响较大。

参考文献:

- [1] 汪丽萍,谭斌,田晓红,等. 国内外市场上全麦粉的品质分析研究[J]. 粮食科技与经济, 2012, 37(6): 19-21
- [2] 龚凌霄,李怡,余婷,等. 全麦粉对体外肠道菌群的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(6): 131-136
- [3] Brouns F, Hemery Y, Price R, et al. Wheat Aleurone: Separation, Composition, Health Aspects, and Potential Food Use [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2012, 52(6): 553-568
- [4] Slavin J. Why whole grains are protective: biological mechanisms[J]. The Proceedings of the Nutrition Society, 2003, 62(1): 129-134
- [5] 张盈月,徐希旺,施怡,等. 全麦粉营养成分分析评价[J]. 江苏农业学报, 2018, 34(4): 921-926
- [6] 陈红,杜瑞,高瑞,等. 全麦粉营养特性及其制品的研究进展[J]. 河南科学, 2019, 37(10): 1607-1613
- [7] 朱晓月,黄志远,马记红,等. 全麦粉营养及生产工艺探讨[J]. 粮食加工, 2014, 39(1): 12-14
- [8] 陈佳佳,谢天,任晨刚,等. 全麦粉在国内食品工业中的应用状况和前景[J]. 粮食与饲料工业, 2018(7): 4-8
- [9] 刘壮,孙英. 全麦粉生产与稳定化国内外研究进展[J]. 食品科技, 2012, 37(5): 133-135
- [10] 汪丽萍,吴飞鸣,田晓红,等. 全麦粉的国内外研究进展[J]. 粮食与食品工业, 2013, 20(4): 4-8
- [11] 刘艳香,汪丽萍,田晓红,等. 稳定化全麦粉及其馒头加工品质评价研究[J]. 粮油食品科技, 2013, 21(6): 1-5
- [12] 汪丽萍,刘艳香,田晓红,等. 稳定化全麦粉面团的粉质和拉伸特性研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(4): 80-83
- [13] 曾维鹏,赵仁勇,任国宝,等. 麸皮粒度及添加量对全麦粉品质影响[J]. 粮食与油脂, 2017, 30(4): 76-79
- [14] 熊礼橙,牛猛,张宾佳,等. 麦麸粒径对全麦面团流变学特性的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(2): 98-103, 110
- [15] 王恕. 从湿面筋含量和面筋指数来评价中国河南和法国小麦面筋[J]. 中国粮油学报, 1999 (6): 5-7
- [16] 刘宏,汪丽萍,刘明,等. 稳定化全麦粉的品质评价[J]. 食品与机械, 2012, 28(2): 6-8, 235
- [17] Wilkes M, Copeland L. Storage of Wheat Grains at Elevated Temperatures Increases Solubilization of Glutenin Subunits [J]. Cereal Chemistry, 2008, 85(3): 335-338
- [18] 耿丽娜,潘多玉,刘光梅,等. 面筋指数对面制品的影响及对生产的指导作用[J]. 面粉通讯, 2005(6): 44-48
- [19] Yada R Y. Proteins in Food Processing [M]. Boca Raton: Woodhead Publishing, 2004: 176-196
- [20] Belton P S. Mini Review: On the Elasticity of Wheat Gluten[J]. Journal of Cereal Science, 1999, 29(2): 103-107
- [21] Ma S, Han W, Li L, et al. The thermal stability, structural changeability, and aggregability of glutenin and gliadin proteins induced by wheat bran dietary fiber[J]. Food & function, 2019, 10(1): 172-179
- [22] 刘志伟,何宁,赵阳,等. 粉质仪和拉伸仪在面粉生产中的应用[J]. 农业科技与装备, 2008(5): 47-49
- [23] 关二旗,庞锦玥,卞科. 研磨强度对小麦粉品质特性影响的研究进展[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2019, 40(5): 126-131
- [24] Boita E R F, Oro T, Bressiani J, et al. Rheological properties of wheat flour dough and pan bread with wheat bran[J]. Journal of Cereal Science, 2016, 71: 177-182

收稿日期:2020-04-02