

小麦粉受热对面团流变学特性及馒头品质的影响

林江涛*, 孙灵灵, 黄美琳, 谷玉娟

(河南工业大学粮油食品学院, 河南郑州 450000)

摘要: 小麦粉在加工过程中受到热的影响, 其品质及面制品品质发生变化。该研究主要研究小麦粉受热后面团流变学特性及馒头品质变化。采用干热处理方式, 在 60~90 °C 条件下分别对小麦粉处理 10~50 s, 测定面团糊化、粉质和拉伸特性及馒头色泽、质构等。结果表明: 与原粉相比, 受热后小麦粉的峰值黏度降低 7.01%、最低黏度降低 9.44%、最终黏度降低 5.58%、衰减值增加 10.25%、回生值增加 8.38%、面团拉伸曲线面积降低 19.74%、延展性降低 12.77%, 随着时间的延长, 拉伸阻力呈先升高后降低趋势。处理温度和时间对小麦粉的形成时间无显著性影响, 随着处理温度的升高, 稳定时间降低 10.74%、弱化度增加 9.90%。受热后馒头的宽高比和比容分别增加 17.81% 和 22.22%、色泽变差、硬度降低 62.25%、粘性降低 75.64%、咀嚼性降低 63.46%。综上所述小麦粉适度受热可以改善馒头的品质。

关键词: 小麦粉; 受热; 面团流变学特性; 馒头

文章编号: 1673-9078(2021)10-162-170

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.10.0070

Effects of Heat Treatment of Wheat Flour on Dough Rheological Properties and Steamed Bread Quality

LIN Jiang-tao*, SUN Ling-ling, HUANG Mei-lin, GU Yu-juan

(College of Food Science and Technology, Henan University of Technology, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: The quality of wheat flour and its derived products undergoes changes due to the influence by heating during processing. In this study, the changes in dough rheological properties and steamed bread quality after the heat treatment of wheat flour was heated were examined. Wheat flour was dry heated at 60 ~ 90°C for 10 ~ 50 s, before the analyses of the gelatinization, silty and tensile properties of the dough as well as the color and texture of the steamed bread. The results showed that the heated wheat flour had a decreased peak viscosity (by 7.01%), reduced minimum viscosity (by 9.44%), and decreased final viscosity (by 5.58%), increased attenuation value (by 10.25%), increased regeneration value (by 8.38%), and decreased tensile curve area (by 19.74%), and decrease ductility (by 12.77%), compared with the original wheat flour. With the extension of time, the tensile resistance increased firstly and then decreased. The formation time of wheat flour was insignificantly affected by the treatment temperature and time. The stabilization time decreased by 10.74% and the degree of weakening increased by 9.90%, with the increase of treatment temperature. After the heating of wheat flour, the ratio of width to height and specific volume of the steamed bread increased by 17.81% and 22.22%, respectively, with its color becoming worse, along with decreases in hardness (by 62.25%), viscosity (by 75.64%) and chew ability (by 63.46%). In summary, moderate heating of wheat flour can improve the quality of derived steamed bread.

Key words: wheat flour; heating; rheological properties of dough; steamed bread

引文格式:

林江涛,孙灵灵,黄美琳,等.小麦粉受热对面团流变学特性及馒头品质的影响[J].现代食品科技,2021,37(10):162-170

LIN Jiang-tao, SUN Ling-ling, HUANG Mei-lin, et al. Effects of heat treatment of wheat flour on dough rheological properties and steamed bread quality [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(10): 162-170

小麦粉是面制食品的重要原料, 在储藏和加工过程中会受到热的影响, 淀粉的部分糊化和蛋白质的部

收稿日期: 2021-01-20

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0401001); 河南省科技厅重大专项(141100110900)

作者简介: 林江涛(1973-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 谷物加工技术与品质, E-mail: 2362285424@qq.com

分变性导致小麦粉品质发生变化, 从而影响面制品的加工品质和食用品质^[1,2]。小麦粉受热方式包括主动受热和被动受热, 小麦粉热处理是一种主动让小麦粉受热的方式, 它是主动对小麦粉进行加热处理, 以改善其品质, 提高使用价值。不同学者对不同的热处理方法和热处理改善小麦粉品质的机理进行了研究。在不同的热处理方式下, 小麦面筋强度的变化趋势也不会

同。适当的热处理可以增强面筋强度,但处理过度时面筋强度就会被弱化。李怡林^[3]通过分析两种不同的热处理方式对小麦粉品质的影响,发现微波处理对小麦粉水分、白度、水溶性蛋白质的影响比较大,而水浴处理对脂肪酸含量的影响比较大。M.L.Sudha 等^[4]对全麦粉进行干热和湿热处理,发现干热处理全麦粉的降落数值比湿热处理的高,且皆高于原粉。李东森等人^[5]运用流化床在不同温度和不同时间条件下对面粉进行热处理,发现与原粉相比处理后面粉降落数值随着温度的增加和时间的延长呈明显下降趋势。适当的热处理使面团的弹性模量增强,黏性模量下降^[6]。Hormodok 等^[7]发现添加干热处理面粉的面条,内聚性、咀嚼性和拉伸性显著性提高。Bean 等^[8]发现在 71 °C 下对小麦粉热处理 4~5 d 和 Chesterton 等^[9]发现在 130 °C 下对面包粉处理 15 min,蛋糕的质构、色泽、感官等品质最好。

小麦粉在储藏中的受热是可以避免的,但在加工过程中尤其是小麦粉在输送和运输时的受热是难以避免的。当输送距离远、空气升温,过热的管道与空气会引起小麦粉蛋白质变性,改变小麦粉的流变学特性,使小麦粉失去食用价值^[10,11]。小麦粉在加工过程中被动受热时小麦粉水分含量降低,并随着处理温度和时间增加,清蛋白和球蛋白含量降低,醇溶蛋白和麦谷蛋白含量呈先升高后降低趋势;游离巯基和二硫键含量发生显著性变化。适当的热处理使面团的坚实度和粘弹性增大,并对最终面制品也会产生一定影响^[12]。

目前对小麦粉进行主动热处理的研究较多,但对小麦粉在加工过程中被动受热的研究还是较少。该文拟采用滚筒式电磁炒货机模拟工厂管道输送小麦粉环境,对小麦粉进行干热处理,研究小麦粉受热对面团流变学特性及馒头品质的影响。

1 材料与方法

1.1 材料

中筋小麦粉,河南天香面业有限公司生产。

1.2 仪器与设备

DCCZ 3-4 型微型电磁炒货机,许昌智工机械制造有限公司;FA2204B 型电子天平,上海越平科学仪器(苏州)制造有限公司;RVA-TM 型快速黏度分析仪,瑞典 PERTEN 公司;810152 自动型粉质仪,德国 Brabender 公司;860704 电子型拉伸仪、TA-XT Plus 质构仪,德国 Stable Micro Systems 公司;CR-410 色彩色差计,日本柯尼卡美能达公司。

1.3 实验方法

1.3.1 不同受热程度小麦粉样品制备

采用滚筒式电磁炒货机分别在 60、70、80、90 °C 时对小麦粉处理 10、20、30、40、50 s,处理功率为 1.8 kW,转速为 36 r/min。

面团的制备:参考 GB/T 35991-2018 制备面团。

馒头的制备:根据 GB/T 35991-2018 方法制作馒头。

1.3.2 测定方法

(1)糊化特性的测定:采用 GB/T 24853-2010 快速黏度法。

(2)粉质特性的测定:采用 GB/T 14614-2019 粉质仪法。

(3)拉伸特性的测定:采用 GB/T 14615-2019 拉伸仪法。

(4)馒头质构特性测定:采用 TA-XT Plus 质构仪,探头为 P/36,测定参数:测前、测中、测后速度分别为 3.0、1.0、1.0 mm/s;压缩比为 50%;时间间隔:5.0 s。馒头厚度约 12 mm,选取中间三片进行测定。

(5)馒头比容和宽高比的测定:用小米置换法测量体积,计算比容。使用游标卡尺测量馒头的宽和高,计算宽高比。

(6)馒头色泽的测定:采用色差计对馒头片色泽进行测定,测定值分别为 L*、a*和 b*。

1.3.3 数据处理

采用 Origin 8.5 进行图表绘制,采用 SPSS 软件对数据进行分析。每次实验重复 3 次,采用平均值±标准差表示。

2 结果与分析

2.1 小麦粉受热对糊化特性的影响

糊化特性可以评价和检验小麦及小麦粉基础品质,影响馒头、面条、面包等面制品品质^[13-15]。峰值黏度指加热使试样开始糊化至冷却前达到的最大黏度值,最终黏度表示面粉样品经熟化后再冷却形成黏糊或凝胶的能力。衰减值反映在加热过程中淀粉颗粒结构的稳定性,衰减值越大,说明淀粉结构越不稳定。表 1 显示不同受热条件下小麦粉的糊化特性,随着温度的升高、时间的增加,受热后小麦粉的峰值黏度、最低黏度、衰减值、最终黏度和回生值,总体呈先升高后下降的趋势。热处理引起蛋白二级结构交联及构象的变化会影响麦醇溶蛋白、球蛋白以及清蛋白,适

度的热处理促进面粉中淀粉与蛋白反应,从而使得小麦粉的糊化特性改变,其黏度增加^[16]。在 90 °C 条件下对小麦粉处理 90 s 时,小麦粉峰值黏度最低,与未处理的小麦粉相比小麦粉的峰值黏度降低 7.01%,峰值黏度降低可能是由于淀粉受到热处理破坏而导致膨

胀能力的下降^[17]。同时王伟玲^[18]和李明菲^[19]通过热处理对小麦粉进行研究,发现与未处理的小麦粉相比,热处理降低了小麦粉的糊化温度,这与本文研究结果一致。与原粉相比,受热后小麦粉的最低黏度降低 9.44%、最终黏度降低 5.58%。

表 1 不同受热条件下小麦粉糊化特性的变化

Table 1 Changes in pasting properties of wheat flour under different heating conditions

处理温度/°C	处理时间/s	峰值黏度/cp	最低黏度/cp	衰减值/cp	最终黏度/cp	回生值/cp
原粉	0	2995±34 ^a	2234±30 ^a	761±12 ^{cde}	3474±35 ^a	1241±123 ^{bcde}
	10	2838±12 ^{bcdef}	2077±54 ^{bcd}	732±6 ^{def}	3319±12 ^{cdef}	1201±19 ^e
	20	2833±54 ^{bcdef}	2096±26 ^{bcd}	737±28 ^{def}	3322±14 ^{cdef}	1226±15 ^{cde}
	30	2898±18 ^b	2134±16 ^{abcd}	764±2 ^{bcde}	3378±15 ^{bcd}	1244±1 ^{bcde}
	40	2862±26 ^{bcde}	2023±20 ^d	839±6 ^a	3368±37 ^{bcd}	1345±17 ^a
60	50	2854±28 ^{bcdef}	2094±60 ^{bcd}	718±18 ^{def}	3356±37 ^{bcde}	1191±47 ^e
	10	2886±4 ^{bc}	2141±58 ^{adc}	732±6 ^{def}	3409±17 ^b	1236±7 ^{bcde}
	20	2886±15 ^{bc}	2154±20 ^{ad}	732±5 ^{def}	3377±4 ^{bcd}	1244±16 ^{cde}
	30	2898±3 ^b	2075±7 ^{bcd}	823±5 ^{ab}	3408±7 ^b	1333±0 ^a
	40	2874±8 ^{bcd}	2127±40 ^{abcd}	756±39 ^{cde}	3381±22 ^{bc}	1263±25 ^{abcde}
70	50	2873±3 ^{bcd}	2147±7 ^{abc}	726±10 ^{def}	3337±6 ^{cdef}	1190±13 ^e
	10	2920±30 ^b	2154±9 ^{ab}	748±21 ^{def}	3388±41 ^{bc}	1234±32 ^{bcde}
	20	2887±34 ^{bc}	2075±74 ^{bcd}	813±40 ^{abc}	3389±21 ^{bc}	1314±53 ^{ab}
	30	2816±27 ^{cdef}	2129±5 ^{abcd}	687±22 ^f	3328±12 ^{cdef}	1199±7 ^e
	40	2804±3 ^{def}	2078±4 ^{bcd}	726±7 ^{def}	3296±6 ^{ef}	1218±10 ^{cde}
80	50	2793±23.5 ^{ef}	2017±29 ^d	776±6 ^{bcd}	3307±4 ^{def}	1290±25 ^{abcd}
	10	2853±12 ^{bcdef}	2128±46 ^{abcd}	688±7 ^f	3373±22 ^{bcd}	1201±13 ^e
	20	2787±22 ^f	2033±9 ^{cd}	754±31 ^{cde}	3280±29 ^f	1247±38 ^{bcde}
	30	2841±28 ^{bcdef}	2068±54 ^{bcd}	773±26 ^{bcd}	3365±10 ^{bcde}	1297±45 ^{abc}
	40	2803±10 ^{def}	2099±6 ^{bcd}	705±5 ^{ef}	3309±5 ^{def}	1211±11 ^{de}
90	50	2785±20 ^f	2061±35 ^{bcd}	688±10 ^f	3295±22 ^{ef}	1196±19 ^e

注: 同列不同字母表示样品间有显著性差异 ($p < 0.05$)。下表同。

2.2 小麦粉受热对粉质特性的影响

粉质曲线表征面团的耐搅拌特性,可提供量化指标来评价小麦粉的质量。小麦粉与水混合后,在适当揉混作用下,形成具有黏弹性的面团^[19]。不同受热条件下小麦粉粉质特性如表 2 所示。形成时间是指开始加水直到面团稠度达到最大时所需要的揉混时间,表示小麦粉的筋力强弱。不同处理温度和处理时间下的样品间形成时间无显著性差异,面团形成时间与面筋含量有关,形成时间短,表明面筋含量低。稳定时间是指粉质曲线首次达到 500 FU 线与离开 500 FU 线所需的时间差值,表示小麦粉形成面团时耐机械搅拌的能力,稳定时间长说明面团韧性和操作性能好,面筋强度大。在受热温度 60 °C、70 °C、80 °C 条件下处理 10 s 时稳定时间均高于原粉,但整体无显著性差异。

当处理温度和时间增加时面团稳定性降低,这可能与醇溶蛋白、谷蛋白和醇/谷蛋白比例有关^[20,21]。处理温度升高后小麦粉弱化度增大,在 90 °C 条件下处理 10 s 时,达到最大值。弱化度代表面团对机械搅拌的承受能力,也代表面筋强度。弱化度增大,表明面筋强度变弱,面团的操作性能和稳定性下降。对面粉适度热处理,可以增加面团稳定性;但处理过度时,破坏了面粉中的淀粉颗粒,蛋白质聚集增加过度从而使面团稳定性降低。

2.3 小麦粉受热对拉伸特性的影响

拉伸特性是指面团的延展性和拉伸阻力,反映面团弹性和延展性^[22]。表 3、4、5 分别为不同受热条件下小麦粉醒发 45 min、90 min、135 min 时的拉伸特性变化。由表 3 可知,醒发 45 min 时,受热后小麦粉面

团拉伸曲线面积均低于原粉,说明受热后小麦粉面团从拉伸到拉断为止所需总能量降低,面团筋力变弱。除 60 °C 处理 20 s 外,受热后样品的延伸性均低于原粉,延展性降低,可能是由于淀粉-蛋白相互作用增强所导致^[18]。同时王伟玲^[23]的研究结果表明适当的热处理使面团的延展性降低,这与本文的研究结果一致。面团的强度和筋力可以用面团拉伸阻力表示。在 60 °C、70 °C 时,随着受热时间的延长拉伸阻力呈先降低后升高的趋势;在 80 °C、90 °C 时,随着时间的增加拉伸阻力呈先升高后降低的趋势;在 10、20、30 s 时随着温度升高拉伸阻力呈先升高后下降的趋势,可能是由于热处理使淀粉和蛋白质结构发生轻微改变,且面团中的分子链交联更加紧密,从而使拉伸阻力的增加,但当热处理过度时淀粉结构遭到破坏,蛋白质过度聚集,从而使拉伸阻力降低^[23]。在 40、50 s 时,拉伸阻力无显著性变化。在 10、20、30 s 时,随着温度的升高,最大拉伸阻力先增大后减小。受热后小麦粉的面团最大拉伸阻力均低于原粉,说明原粉的面团筋力高于受热后小麦粉面团。

由表 4 可知,当面团醒发 90 min 时,受热后小麦

粉面团拉伸面积均低于原粉,说明原粉的筋力强度高于热处理过的小麦粉。随着处理温度的升高,面团延伸性下降,延展性降低可能是低分子量蛋白质逐渐聚集成高分子量所蛋白质导致的^[23]。延伸性代表面团的拉伸性和可塑性,延伸性下降表示小麦粉品质降低。随着时间的增加,面团拉伸阻力总体呈先升高后下降的趋势;随着温度的增加,面团拉伸阻力总体呈先下降后上升的趋势,拉伸阻力大时面团较硬。随着处理温度和时间增大,最大拉伸阻力先增加后下降,表明面团筋力先升高后降低。60 °C 处理 20、50 s 时、70 °C 处理 20 s 时,处理后小麦粉面团拉伸比例较小。

拉伸曲线可以反映麦谷蛋白赋予面团的强度和延展阻力。由表 5 可知,醒发 135 min 时,受热后小麦粉面团样品间的拉伸曲线面积、延展性无明显变化,说明面团筋力变化不大。拉伸阻力和拉伸面积随着温度和时间增加,总体先升高后降低,这与王伟玲^[18]的研究结果一致。干热处理使淀粉和蛋白质结构发生轻微变化,面团中分子链紧密交联,面团拉伸阻力增加,但处理过度则破坏了淀粉结构,蛋白质过度聚集,从而拉伸阻力降低。

表 2 不同受热条件下小麦粉粉质特性的变化

Table 2 Changes in farinograph properties of wheat flour under different heating conditions

处理温度/°C	处理时间/s	形成时间/min	稳定时间/min	弱化度 BU
原粉	0	4.84±0.43 ^{ab}	8.03±0.07 ^{abc}	84.75±2.01 ^{ab}
60	10	4.84±0.19 ^{ab}	8.29±0.02 ^a	82.02±0.99 ^{ab}
	20	4.91±0.01 ^{ab}	7.83±0.15 ^{abc}	83.16±2.13 ^{ab}
	30	4.24±0.11 ^c	7.48±0.06 ^{cd}	80.95±2.37 ^{ab}
	40	5.38±0.24 ^a	8.13±0.02 ^{ab}	83.06±1.07 ^{ab}
	50	4.58±0.03 ^{bc}	7.86±0.19 ^{abc}	80.12±2.03 ^b
70	10	5.17±0.37 ^{ab}	8.13±0.08 ^{ab}	80.80±2.01 ^{ab}
	20	4.65±0.13 ^{bc}	7.64±0.13 ^{bcd}	86.18±0.01 ^{ab}
	30	5.03±0.24 ^{ab}	7.58±0.12 ^{bcd}	87.70±0.98 ^{ab}
	40	4.98±0.13 ^{ab}	7.94±0.31 ^{abc}	80.06±2.02 ^b
	50	4.77±0.00 ^{abc}	7.56±0.23 ^{bcd}	84.20±4.07 ^{ab}
80	10	4.99±0.28 ^{ab}	8.14±0.34 ^{ab}	81.89±1.34 ^{ab}
	20	5.03±0.00 ^{ab}	7.70±0.03 ^{abcd}	86.07±3.16 ^{ab}
	30	4.76±0.07 ^{abc}	7.81±0.34 ^{abc}	86.90±3.08 ^{ab}
	40	5.12±0.05 ^{ab}	7.52±0.08 ^{bcd}	86.33±1.26 ^{ab}
	50	4.99±0.21 ^{ab}	7.51±0.24 ^{bcd}	86.20±1.15 ^{ab}
90	10	5.03±0.03 ^{ab}	7.40±0.10 ^{cd}	89.32±1.04 ^a
	20	4.89±0.04 ^{ab}	7.11±0.18 ^d	87.50±2.16 ^{ab}
	30	5.03±0.15 ^{ab}	7.95±0.32 ^{abc}	84.42±5.31 ^{ab}
	40	4.99±0.02 ^{ab}	7.50±0.70 ^{bcd}	85.11±3.23 ^{ab}
	50	4.93±0.10 ^{ab}	7.41±0.16 ^{cd}	85.03±5.34 ^{ab}

表 3 不同受热条件下小麦粉拉伸特性的变化 (醒发 45 min)

Table 3 Changes in extensograph properties of wheat flour under different heating conditions (fermentation 45 min)

处理温度/°C	处理时间/s	拉伸曲线面积/cm ²	拉伸阻力/BU	延展性/mm	最大拉伸阻力/BU
原粉	0	70±2 ^a	280±2 ^{abcd}	144±7 ^{ab}	353±2 ^a
	10	65±2 ^{abcd}	266±1 ^{de}	139±2 ^{abc}	335±5 ^{abc}
	20	64±0 ^{abcd}	250±3 ^e	148±4 ^a	312±4 ^{de}
	30	64±1 ^{abcd}	274±7 ^{bcd}	136±2 ^{bcd}	339±12 ^{abc}
	40	66±3 ^{ab}	284±4 ^{abcd}	136±3 ^{bcd}	348±9 ^{ab}
60	50	66±2 ^{abc}	279±6 ^{abcd}	139±3 ^{abc}	336±3 ^{abc}
	10	66±1 ^{ab}	290±4 ^{abc}	135±1 ^{bcd}	351±7 ^{ab}
	20	58±1 ^d	252±1 ^e	137±1 ^{bcd}	308±4 ^e
	30	68±1 ^{ab}	282±12 ^{abcd}	141±3 ^{abc}	345±15 ^{ab}
	40	64±2.5 ^{abcd}	282±7.5 ^{abcd}	133±2 ^{cd}	342±7 ^{abc}
70	50	63±3 ^{abcd}	276±3 ^{abcd}	136±5 ^{bcd}	332±8 ^{abcd}
	10	62±5 ^{bcd}	272±7 ^{cd}	133±5 ^{cd}	329±12 ^{bcde}
	20	64±0 ^{abcd}	295±3 ^a	131±1 ^{cd}	350±4 ^{ab}
	30	67±1 ^{ab}	293±9 ^{ab}	136±0 ^{bcd}	354±4 ^a
	40	62±0 ^{bcd}	284±5 ^{abcd}	132±2 ^{cd}	334±4 ^{abc}
80	50	63±1 ^{abcd}	288±3 ^{abc}	132±1 ^{cd}	342±6 ^{abc}
	10	63±3 ^{abcd}	276±4 ^{abcd}	134±7 ^{bcd}	337±0 ^{abc}
	20	66±0 ^{abc}	288±13 ^{abc}	139±3 ^{abcd}	346±9 ^{ab}
	30	61±4 ^{bcd}	286±6 ^{abcd}	128.00±4 ^d	340±6 ^{abc}
	40	60±1 ^{cd}	274±2 ^{bcd}	132±2 ^{cd}	322±3 ^{cde}
90	50	65±0 ^{abcd}	290±5 ^{abc}	132±1 ^{cd}	349±1 ^{ab}

表 4 不同受热条件下小麦粉拉伸特性的变化 (醒发 90 min)

Table 4 Changes in extensograph properties of wheat flour under different heating conditions (fermentation 90 min)

处理温度/°C	处理时间/s	拉伸曲线面积/cm ²	拉伸阻力/BU	延展性/mm	最大拉伸阻力/BU
原粉	0	76±2 ^a	320±0 ^{abcd}	141±6 ^{ab}	392±5 ^{ab}
	10	66±2 ^{def}	294±8 ^{def}	133±3 ^{abcd}	356±13 ^{cdef}
	20	73±0 ^{abc}	294±3 ^{def}	144±5 ^a	371±2 ^{bcd}
	30	67±2 ^{def}	309±22 ^{bcde}	131±1 ^{bcd}	371±19 ^{bcd}
	40	71±2 ^{abcd}	328±11 ^{abc}	132±2 ^{abcd}	388±17 ^{ab}
60	50	66±2 ^{def}	279±6 ^f	139±3 ^{abcd}	336±3 ^f
	10	69±2 ^{bcde}	310±10 ^{bcde}	137±3 ^{abcd}	374±6 ^{bcd}
	20	70±1 ^{bcde}	296±7 ^{def}	139±2 ^{abcd}	364±7 ^{bcdef}
	30	66±3 ^{def}	294±3 ^{def}	135±2 ^{abc}	351±2 ^{def}
	40	67±1 ^{def}	304±12 ^{cdef}	132±0 ^{cd}	368±3 ^{bcde}
70	50	65±1 ^{ef}	306±2 ^{bcdef}	128±7 ^{bcd}	365±1 ^{bcdef}
	10	66±2 ^{def}	306±8 ^{bcdef}	129±5 ^{bcd}	369±9 ^{bcde}
	20	68±2 ^{cde}	326±9 ^{abc}	130±4 ^{cd}	384±9 ^{bc}
	30	74±2 ^{abc}	332±8 ^{ab}	137±2 ^{abcd}	387±13 ^{ab}
	40	74±3 ^{ab}	346±7 ^a	130±3 ^{bcd}	415±3 ^a
80	50	66±2 ^{def}	324±6 ^{abc}	123±5 ^d	384±10 ^{bc}

转下页

接上页

90	10	68±1 ^{cde}	320±2 ^{abcd}	130±6 ^{abcd}	377±4 ^{bcd}
	20	68±0 ^{cde}	332±2 ^{ab}	125±6 ^{cd}	393±5 ^{ab}
	30	61±4 ^f	286±6 ^{ef}	128±4 ^{cd}	340±6 ^{ef}
	40	68±2 ^{cde}	324±4 ^{abc}	127±2 ^{cd}	391±15 ^{ab}
	50	65±0 ^{ef}	290±5 ^{ef}	132±1 ^{cd}	349±1 ^{def}

表 5 不同受热条件下小麦粉拉伸特性的变化 (醒发 135 min)

Table 5 Changes in extensograph properties of wheat flour under different heating conditions (fermentation 135 min)

处理温度/℃	处理时间/s	拉伸曲线面积/cm ²	拉伸阻力/BU	延展性/mm	最大拉伸阻力/BU
原粉	0	68±1 ^a	309±8 ^{bcd}	132±4 ^{abc}	382±6 ^{abc}
	10	62±2 ^a	286±4 ^c	131±2 ^{abc}	342±7 ^c
	20	65±6 ^a	292±4 ^{de}	133±7 ^{abc}	358±16 ^{bc}
	30	65±3 ^a	307±6 ^{bcd}	129±2 ^{abc}	361±22 ^{bc}
	40	68±1 ^a	314±17 ^{bcd}	131±2 ^{abc}	375±11 ^{abc}
60	50	69±2 ^a	314±3 ^{bcd}	138±5 ^a	372±4 ^{abc}
	10	67±6 ^a	334±17 ^{ab}	124±4 ^{bc}	387±27 ^{abc}
	20	64±2 ^a	314±14 ^{bcd}	126±3 ^{bc}	363±20 ^{bc}
	30	63±1 ^a	300±11 ^{cde}	129±2 ^{abc}	351±11 ^{bc}
	40	69±0 ^a	324±8 ^{abcd}	128±4 ^{abc}	392±12 ^{ab}
70	50	70±4 ^a	328±11 ^{abc}	130±1 ^{abc}	391±21 ^{abc}
	10	67±3 ^a	322±7 ^{abcd}	127±2 ^{abc}	385±15 ^{abc}
	20	63±2 ^a	310±3 ^{bcd}	129±6 ^{abc}	365±1 ^{abc}
	30	66±2 ^a	327±5 ^{abc}	126±0 ^{bc}	376±11 ^{abc}
	40	70±3 ^a	354±15 ^a	124±1 ^{bc}	413±16 ^a
80	50	69±3 ^a	338±4 ^{ab}	126±3 ^{abc}	401±9 ^{ab}
	10	70±3 ^a	318±13 ^{bcd}	135±1 ^{ab}	382±15 ^{abc}
	20	67±6 ^a	318±15 ^{bcd}	127±4 ^{abc}	381±21 ^{abc}
	30	63±3 ^a	317±2 ^{bcd}	123±2 ^c	376±15 ^{abc}
	40	72±4 ^a	332±3 ^{abc}	132±6 ^{abc}	396±5 ^{bc}
90	50	67±0 ^a	332±7 ^{abc}	127±4 ^{abc}	382±13 ^{abc}

2.4 小麦粉受热对馒头品质特性的影响

2.4.1 小麦粉受热对馒头宽高比和比容的影响

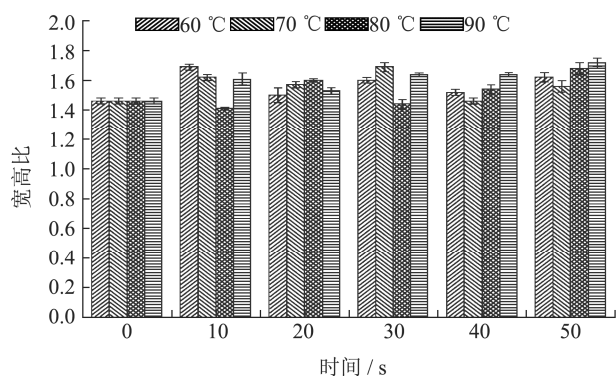


图 1 不同受热条件下小麦粉馒头宽高比的变化

Fig.1 Changes in width to height ratio of wheat flour steamed buns under different heating conditions

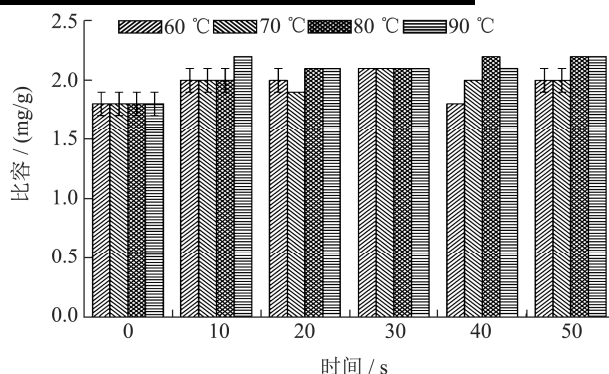


图 2 不同受热条件下小麦粉馒头比容的变化

Fig.2 Changes in specific volume of wheat flour steamed buns under different heating conditions

小麦粉受热对馒头宽高比和比容的影响如图 1、2 所示, 除 80 °C 条件下处理 10、30 s 时, 馒头的宽高比小于原粉, 其他受热条件下的小麦粉馒头相比于原

粉都有塌陷现象,可能与面团的吸水率较大有关^[24,25]。馒头的体积与直链淀粉和支链淀粉的含量有关,馒头的比容受质量与体积影响。受热后小麦粉馒头的比容与原粉相比增加 22.22%,说明小麦粉适度受热对馒头比容有一定改善作用。

2.4.2 小麦粉受热对馒头色泽的影响

通过色差仪测定馒头色泽,其中 L*表示明暗度(黑白),a*表示红绿色,b*表示黄蓝色。不同受热条

件下小麦粉制成馒头的色泽变化如表 6 所示,除 90 °C 处理 20、50 s 外,小麦粉馒头的 L*值均低于原粉,说明馒头色泽变暗,这与尚珊研究发现热处理使糯麦面包的 L*下降结果一致^[26]。处理后的小麦粉馒头的 a*值均减小且低于原粉,而 b*值均增大且高于原粉,表明馒头色泽发黄,这可能与小麦粉受热后的蛋白质和湿面筋含量变化有关^[25]。综合 L*值、a*值和 b*值,受热后小麦粉制成馒头的色泽变差。

表 6 不同受热条件下小麦粉馒头色泽的变化

Table 6 Changes in steamed bread color of wheat flour under different heating conditions

处理温度/°C	处理时间/s	L*	a*	b*
原粉	0	86.15±0.14 ^{abcde}	-1.65±0.02 ^a	19.12±0.17 ^m
	10	85.49±0.11 ^{fg}	-1.67±0.02 ^{ab}	19.91±0.14 ^k
	20	85.67±0.14 ^{defg}	-1.70±0.02 ^{abcd}	19.57±0.09 ^j
	30	85.77±0.17 ^{cdefg}	-1.72±0.01 ^{bcd}	20.20±0.03 ^{ghijk}
	40	86.05±0.33 ^{bcdef}	-1.69±0.00 ^{abc}	19.92±0.02 ^k
60	50	85.98±0.04 ^{bcdefg}	-1.74±0.01 ^d	20.76±0.08 ^{bcd}
	10	85.53±0.09 ^{efg}	-1.80±0.02 ^{ce}	20.31±0.08 ^{efghijc}
	20	85.37±0.03 ^g	-1.74±0.01 ^d	20.55±0.28 ^{cdef}
	30	84.64±0.23 ^h	-1.70±0.01 ^{abcd}	21.07±0.16 ^{ab}
	40	85.74±0.18 ^{cdefg}	-1.76±0.02 ^{cde}	20.23±0.23 ^{efghijk}
70	50	85.94±0.10 ^{bcdefg}	-1.80±0.00 ^e	20.18±0.15 ^{hijk}
	10	85.93±0.24 ^{bcdefg}	-1.72±0.04 ^{bcd}	20.06±0.00 ^{jk}
	20	85.73±0.33 ^{cdefg}	-1.73±0.02 ^{bcd}	20.45±0.11 ^{defghi}
	30	86.02±0.25 ^{bcdef}	-1.74±0.02 ^{cd}	20.53±0.06 ^{defg}
	40	86.30±0.19 ^{abc}	-1.73±0.01 ^{bcd}	20.31±0.06 ^{efghij}
80	50	86.20±0.13 ^{abcd}	-1.75±0.07 ^{cde}	21.06±0.26 ^{ab}
	10	84.68±0.36 ^h	-1.70±0.03 ^{abcd}	20.86±0.05 ^{abc}
	20	86.50±0.29 ^{ab}	-1.72±0.04 ^{abcd}	20.14±0.18 ^{ijk}
	30	85.63±0.31 ^{defg}	-1.70±0.05 ^{abcd}	20.64±0.17 ^{cde}
	40	85.68±0.25 ^{cdefg}	-1.67±0.00 ^{ab}	20.50±0.04 ^{defgh}
90	50	86.72±0.62 ^a	-1.71±0.01 ^{abcd}	21.16±0.16 ^a

表 7 不同受热条件下小麦粉馒头质构的变化

Table 7 Changes in steamed bread texture characteristics of wheat flour under different heating conditions

处理温度/°C	处理时间/s	硬度/g	粘性	胶着性	咀嚼性
原粉	0	4657.48±50.65 ^b	27.92±2.93 ^b	3587.91±25.39 ^b	3348.61±4.49 ^a
	10	4112.47±40.27 ^c	12.50±0.42 ^{fg}	3132.52±106.48 ^c	3078.10±127.79 ^b
	20	5009.61±61.1 ^a	22.82±0.06 ^c	3812.45±41.01 ^a	3591.09±50.36 ^c
	30	3832.61±148.84 ^d	9.03±0.04 ^h	2962.57±96.85 ^d	2795.39±100.12 ^d
	40	2546.79±104.24 ^e	7.30±0.6 ^h	2074.27±69.2 ^e	1954.23±60.17 ^f
60	50	2736.76±105.1 ^f	6.80±0.12 ^h	2225.50±83.07 ^f	1888.52±66.15 ^f
	10	2600.48±84.99 ^{fg}	36.72±2.54 ^a	2113.31±71.84 ^{fg}	1984.87±51.66 ^f
	20	3210.62±115.95 ^e	23.07±1.15 ^c	2594.21±26.73 ^e	2398.66±85.64 ^e
	30	2249.30±71.45 ^h	8.23±0.41 ^h	2090.72±132.4 ^{fg}	1711.29±60.62 ^g

转下页

接上页					
	40	2085.79±87.99 ^{hij}	15.96±0.69 ^{de}	1892.47±99.54 ^h	1644.89±49.56 ^h
	50	2032.01±84.23 ^{ijk}	9.72±0.72 ^{gh}	1704.79±67.2 ^{ji}	1579.07±60.42 ^h
	10	2522.51±31.05 ^e	17.29±1.17 ^{de}	2069.11±21.93 ^g	1920.69±37.22 ^f
	20	1954.88±69.43 ^{kl}	18.82±0.92 ^d	1629.28±60.13 ^j	1527.03±49.28 ^h
80	30	1802.12±88.61 ^m	9.40±0.64 ^{gh}	1653.41±68.87 ^j	1541.06±55.09 ^h
	40	2206.65±34.43 ^{hi}	26.75±1.24 ^b	1820.09±25.68 ^{hi}	1635.27±61.07 ^{gh}
	50	1884.46±129.91 ^{klm}	9.85±0.36 ^{gh}	1100.98±48.35 ^l	1295.26±60.19 ^{ji}
	10	2088.09±24.76 ^{hij}	21.80±0.54 ^c	1766.71±82.02 ^{hij}	1585.19±33.05 ^{gh}
	20	2075.48±66.41 ^{hij}	36.11±1.03 ^a	1737.38±55.18 ^{ji}	1600.22±34.61 ^{gh}
90	30	1922.66±89.32 ^{klm}	14.29±1.1 ^{ef}	1367.82±86.07 ^k	1223.55±32.33 ^j
	40	2040.87±93.87 ^{ijk}	23.62±1.2 ^c	1720.21±88.06 ^{ji}	1590.79±79.63 ^{gh}
	50	1758.33±77.78 ^m	10.04±0.12 ^{gh}	1468.57±57.2 ^k	1393.21±50.29 ^j

2.4.3 小麦粉受热对馒头质构的影响

当硬度大时,馒头过硬缺少松软的特征,口感偏差。表7为小麦粉受热对馒头质构的影响结果。由表7可知,除60℃处理20s外,受热后小麦粉馒头的硬度均低于原粉,最大降低幅度为62.25%,说明受热后的小麦粉制成的馒头结构强度降低,在感官上用牙咬碎馒头所需的力较小。受热后小麦粉馒头的粘性相比原粉降低75.64%,而在70℃处理10s、90℃处理20s时,馒头粘性高于原粉。处理时间短时馒头粘性较高,于探头接触时用来克服两者表面间吸引力所需要的总功大。除60℃处理20s外,馒头的胶着性、咀嚼性均低于原粉,处理温度高、时间长的馒头胶着性、咀嚼性更小,同时尚珊^[26]研究表明热处理时间越长,糯麦面包的胶着性和咀嚼性越低,这与本文的研究结果一致。

3 结论

本文采用干热处理方式,对小麦粉在不同温度和不同时间条件下进行处理,测定小麦粉的流变学特性及其馒头品质的变化。实验结果表明随着温度的升高,受热后的小麦粉峰值黏度、最低黏度、衰减值、最终黏度和回生值,总体先升高后下降。随着受热温度升高、时间延长,小麦粉稳定时间、面团稳定性、耐揉性和耐破坏程度降低,弱化度增加。面团醒发45、90min时,原粉的面团筋力最强,醒发135min时,各个样品之间面团筋力变化不大。受热后小麦粉的馒头宽高比和比容增加,随着温度的升高、时间的延长,馒头的色泽变差。受热后小麦粉馒头的硬度降低,处理温度高、时间长的馒头、咀嚼性更小。

参考文献

[1] Scherf K A, Koehler P, Wieser H. Gluten and wheat

sensitivities - an overview [J]. Journal of Cereal Ence, 2016, 67(7): 2-11

[2] Keppler S, Bakalis S, Leadley C E, et al. Evaluation of dry heat treatment of soft wheat flour for the production of high ratio cakes [J]. Food Research International, 2018, 107(2): 360-370

[3] 李怡林,周继成,赵思明.热处理对小麦粉品质的影响[J].粮食与饲料工业,2008,12:13-14,19

LI Yi-lin, ZHOU Ji-cheng, ZHAO Si-ming. The influence of heat treatment on the quality of wheat flour [J]. Cereal & Feed Industry, 2008, 12: 13-14, 19

[4] Sudha M L, Soumya C, Prabhasankar P. Use of dry-moist heat effects to improve the functionality, immunogenicity of whole wheat flour and its application in bread making [J]. Journal of Cereal Science, 2016, 69: 313-320

[5] 李东森,胡毓元,杜衡,等.热处理面粉在裹粉中的应用研究[J].食品工业,2016,37(10):4-7

LI Dong-sen, HU Yu-yuan, DU Heng, et al. Application of heat treatment flour in batter flour [J]. The Food Industry, 2016, 37(10): 4-7

[6] 张颜颜,郑学玲,李利民,等.热处理及不同浓度食盐对生鲜面条品质及货架期的影响[J].食品工业科技,2020,41(10): 13-18

ZHANG Yan-yan, ZHENG Xue-ling, LI Li-min, et al. Effect of heat treatment and different concentration salt addition on the quality and shelf-life of fresh noodles [J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(10): 13-18

[7] Hormodok R, Noomhorm A. Hydrothermal treatments of rice starch for improvement of rice noodle quality [J]. LWT - Food Science and Technology, 2007, 40(10): 1723-1731

[8] Bean M M, Hanamoto M M. Process for improving baking properties of unbleached cake flour: US, 05/768917 [P].

- 1979-06-05[2020-12-23]. Free Patents Online
- [9] Chesterton A K S, Wilson D I, Sadd P A, et al. A novel laboratory scale method for studying heat treatment of cake flour [J]. *Journal of Food Engineering*, 2015, 144(7): 36-44
- [10] 沈军,梁万礼,邹恩坤.循环冷却水系统在面粉正压输送中的应用[J].*现代面粉工业*,2017,31(2):8-10
SHEN Jun, LIANG Wan-li, ZOU En-kun. Application of circulating cooling water system in positive pressure conveying of flour [J]. *Modern Flour Milling Industry*, 2017, 31(2): 8-10
- [11] 唐建松.一项低温散装面粉输送技术[J].*现代面粉工业*, 2016,30(6):10-11
TANG Jian-song. A low temperature bulk flour conveying technology [J]. *Modern Flour Milling Industry*, 2016, 30(6): 10-11
- [12] 林江涛,黄美琳,苏东民.受热对小麦粉品质及其面团特性的影响[J].*食品与发酵工业*,2020,46(6):54-59
LIN Jiang-tao, HUANG Mei-lin, SU Dong-min. Effect of heat on the quality of wheat flour and dough [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(6): 54-59
- [13] CHEN Jian-sheng, DENG Zhi-ying, WU Peng, et al. Effect of gluten on pasting properties of wheat starch [J]. *Agricultural Sciences in China*, 2010, 9(12): 1836-1844
- [14] 张强涛,王凤成,郝令军,等.不同类型小麦粉糊化特性的研究与分析[J].*现代面粉工业*,2013,27(2):26-31
ZHANG Qiang-tao, WANG Feng-cheng, HAO Ling-jun, et al. Study and analysis of gelatinization characteristics of different types of wheat flour [J]. *Modern Flour Milling Industry*, 2013, 27(2): 26-31
- [15] 刘强,田建珍,李佳佳.小麦粉粒度对其糊化特性影响的研究[J].*现代面粉工业*,2012,26(6):16-20
LIU Qiang, TIAN Jian-zhen, LI Jia-jia. Study on the effect of grain size on gelatinization properties of wheat flour [J]. *Modern Flour Milling Industry*, 2012, 26(6): 16-20
- [16] Qiu C, Cao J, Xiong L, et al. Differences in physicochemical, morphological, and structural properties between rice and rice flour modified by dry heat treatment [J]. *Starch-Starke*, 2015, 67: 756-764
- [17] Bucsellà B, Takács Á, Vizer V, et al. Comparison of the effects of different heat treatment processes on rheological properties of cake and bread wheat flours [J]. *Food Chemistry*, 2016, 190(6): 990-996
- [18] 王伟玲.干热加工对小麦粉的性质影响及其机制探讨[D].合肥:合肥工业大学,2020
WANG Wei-ling. Properties of dry-heated wheat flour and its mechanism [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2020
- [19] 李明菲.不同热处理方式对小麦粉特性影响研究[D].郑州:河南工业大学,2016
LI Ming-fei. Study on the effects of different heat treatment on wheat flour characteristics [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2016
- [20] Barak S, Mudgil D, Khatkar B S. Relationship of gliadin and glutenin proteins with dough rheology, flour pasting and bread making performance of wheat varieties [J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2013, 51(1): 211-217
- [21] Barak S, Mudgil D, Khatkar B. Effect of compositional variation of gluten proteins and rheological characteristics of wheat flour on the textural quality of white salted noodles [J]. *International Journal of Food Properties*, 2012, 17(4): 731-740
- [22] 巴瑞新,于素萍,风丽英,等.小麦粉流变学特性品质指标间的关系研究[J].*现代面粉工业*,2019,27(6):81-85
BA Rui-xin, YU Su-ping, FENG Li-ying, et al. Study on the relationship between rheological properties and quality indexes of wheat flour [J]. *Modern Flour Milling Industry*, 2019, 27(6): 81-85
- [23] 王伟玲,钟昔阳,潘燕,等.干热处理对小麦粉热力学特性与面团流变学性质影响[J].*食品科技*,2020,45(5):134-142
WANG Wei-ling, ZHONG Xi-yang, PAN Yan, et al. Effect of dry heat treatment on thermodynamic properties of wheat flour and rheological properties of dough [J]. *Food Science and Technology*, 2020, 45(5): 134-142
- [24] 彭义峰,刘彦军.浅谈影响馒头发酵的因素[J].*粮食加工*, 2015,40(1):50-51,60
PENG Yi-feng, LIU Yan-jun. Discussion on the fermentation factors of steamed bread [J]. *Grain Processing*, 2015, 40(1): 50-51, 60
- [25] 陈志成.面粉质量和粒度对主食馒头品质影响机理的研究[J].*粮食加工*,2007,32(5):19-22
CHEN Zhi-cheng. Study on the effect mechanism of flour quality and grain size on the quality of staple food steamed bread [J]. *Grain Processing*, 2007, 32(5): 19-22
- [26] 尚珊.热处理糯麦粉及其在面包面团体系中的研究与应用[D].无锡:江南大学,2013
SHANG Shan. Study of heat-mediated waxy flour and its functionality in dough and bread systems [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2013