

紫淮山全粉对面团流变特性 及面条质构特性的影响

李 燕¹, 邹金浩¹, 郭时印¹, 苏小军^{1,2}, 廖卢艳¹, 王 锋¹, 李清明^{1,*}

(1. 生物质醇类燃料湖南省工程实验室, 湖南农业大学食品科学与技术学院, 湖南长沙 410128;

2. 湖南省植物功能成分利用协同创新中心, 湖南长沙 410128)

摘 要: 研究不同紫淮山全粉添加量对面粉粉质特性、糊化特性、面团拉伸特性和面条品质的影响。结果表明, 随着紫淮山全粉添加量的增加, 面粉的吸水率上升。面团的形成时间在添加量为 15% 时达到最大值, 为 5.3 min, 增加了 39.5%。面团稳定时间在添加量为 10% 时达到最小值, 为 3.5 min, 减少了 40.7%。紫淮山全粉的添加使拉伸能量、延伸度下降。面团在 45、90、135 min 醒发时间下的延伸度均在添加量为 25% 时达到最小值。添加紫淮山全粉能降低糊化温度、面粉黏度和回生值, 且最终黏度和回生值均在添加量为 25% 时达到最小值, 但崩解值在添加量为 25% 时达到最大值。面条的硬度、胶黏性、咀嚼性、回复性均在紫淮山全粉的添加量为 15% 时达到最大值, 但紫淮山全粉的添加对面条的弹性无显著性 ($p > 0.05$) 影响。面条的 L^* 值随紫淮山全粉添加量的增加呈显著 ($p < 0.05$) 下降趋势, 添加量低于 15% 时, 紫淮山面条的感官评分较高。紫淮山全粉对面粉粉质特性、糊化特性、面团拉伸特性和面条感官品质均有较大影响, 紫淮山全粉的最高添加量以 15% 为宜。本研究结果可为紫淮山全粉的应用提供理论参考。

关键词: 紫淮山全粉, 面团, 流变学特性, 面条, 质构特性

Effect of Purple Yam Flour on Rheological Properties of Dough and Texture Attributions of Noodles

LI Yan¹, ZOU Jin-hao¹, GUO Shi-yin¹, SU Xiao-jun^{1,2}, LIAO Lu-yan¹, WANG Feng¹, LI Qing-ming^{1,*}

(1. Hunan Engineering Laboratory for Alcohol Fuels from Biomass, College of Food Science
and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;

2. Hunan Collaborative Innovation Center for Utilization of Botanical Functional Ingredients, Changsha 410128, China)

Abstract: Objective: Affections of purple yam flour addition on farinogram quality, pasting properties, tensile properties of dough, quality of noodles. The results showed that water absorption rate was increased with increasing content of purple yam flour. The formation time 5.3 min of the dough was maximum with the addition of 15%, which increased 39.5%. When the addition of purple yam flour was 10%, the dough stability time was 3.5 min, decreased by 40.7%. The addition of purple yam flour decreased dough stretching energy and extensibility. The extensibility of the dough with the addition of 25% reached the minimum when proofing time were at 45, 90 and 135 min. Adding purple yam flour could bring down the pasting temperature, viscosity and setback. The final viscosity and setback reached the minimum at the addition of 25%, while the breakdown was maximum. The hardness, gumminess, chewiness, resilience of the noodles reached the maximum at 15% of the addition of purple yam flour, but the addition of purple yam flour had no significant ($p > 0.05$) effect on the springiness of the noodles. With the increase of the purple yam flour, L^* value of the noodles was significantly ($p < 0.05$) decreased. And the score of sensory evaluation was higher when addition of purple yam flour was 15%. The purple yam flour addition had significantly farinogram quality, pasting properties, tensile properties of dough, quality of noodles. The optimum addition of purple yam flour was 15%. This study could provide some theoretical basis for the processing of yam purple flours.

Key words: purple yam flour; dough; rheological properties; noodle; texture attributes

中图分类号: TS215 文献标识码: A 文章编号: 1002-0306(2019)02-0041-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2019.02.008

引文格式: 李燕, 邹金浩, 郭时印, 等. 紫淮山全粉对面团流变特性及面条质构特性的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(2): 41-46.

紫淮山, 属薯蓣科薯蓣属, 在我国浙江、湖南、广西、广东、江西、云南、福建、台湾等地^[1]均有种植, 是

收稿日期: 2018-04-27

作者简介: 李燕(1995-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工与安全, E-mail: Akuraly@163.com。

* 通讯作者: 李清明(1973-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 农产品深加工, E-mail: liqmemail@163.com。

基金项目: 湖南省教育厅重点项目(16A100); 湖南省重点研发计划项目(2016NK2113)。

一种药食兼备的蔬菜,具有较高的食用和药用价值。紫淮山富含淀粉、蛋白质、多种氨基酸、矿物元素、多糖、薯蓣皂苷、多酚、尿囊素和天然花青素等多种营养成分,营养价值比普通山药高 20 多倍,有健脾养胃、滋肺益肾、利肝止泻之功效,因而又被称为“紫人参”^[2-4]。紫淮山全粉由紫淮山经去皮、切片、干燥和粉碎制成,能够保留紫淮山全部营养成分,具有营养丰富、易于贮运和食用方便等优点。将紫淮山制成全粉,不仅可以解决其不耐贮运的产业发展困难,还可以为食品工业提供健康营养的加工原料。紫淮山全粉的淀粉和蛋白质含量与小麦粉接近,但缺乏面筋蛋白,以纯紫淮山全粉生产面条存在成型难、易开裂和口感差等问题^[5]。将淮山全粉与小麦粉混合使用,不仅可以提高紫淮山全粉加工性能,还可以实现营养互补,提高面条的营养价值。

目前,国内对淮山面条方面的研究主要集中在配方和工艺的优化研究,面团流变特性方面的研究报道很少^[6-8]。张贞贞^[9]研究了不同干燥方法制备的山药粉及其主要成分对面粉特性及面条品质的影响。Li 等^[10]研究发现,随着淮山含量的增加,淮山粉和小麦粉混合粉的峰值黏度上升。关于紫淮山面条的研究报道较少^[11],紫淮山全粉对面团流变特性的研究国内暂未见报道。

本文研究紫淮山全粉对小麦面团粉质特性、拉伸特性、糊化性质和面条品质的影响,以期为紫淮山全粉在面制品中的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

紫淮山全粉 由湖南紫玉农业有限公司提供,紫淮山干片,含水量为 8.9%,产自湖南邵阳,紫淮山干片粉碎后过 100 目筛,用真空包装袋包装后置于干燥器中备用;特一粉 淮北市华瑞面粉有限公司。

JFZD 型电子粉质仪 北京东方孚德技术发展中心;JMLD150 型电子拉伸仪 北京东方孚德技术发展中心;RVA-S/N2112681 快速黏度分析仪 瑞典 perten 仪器有限公司;TA.XT.plus 质构仪 英国 stable micro systems;CR-400 色彩色差计 柯尼卡美能达公司;压面机 佛山市顺德区陈村镇俊凌厨具电器厂;家用压面机 永康市海鸥电器有限公司;TP-1200A 电子天平 湘仪天平仪器设备有限公司;BS224S 分析天平 赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;800Y 高速多功能粉碎机 永康市铂欧五金制品有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 混合粉的配制 分别用 0%、5%、10%、15%、20% 和 25% 的紫淮山全粉替代相应比例的小麦面粉,混合均匀。

1.2.2 混合粉粉质特性的测定 根据 GB/T 14614-2006/ISO5530-1:1997《小麦粉 面团的物理特性吸水性和流变学特性的测定 粉质仪法》,利用粉质仪进行测定。称取 300 g 配制的混合粉,加入适量蒸馏水在和面钵中揉和,当面团的最高稠度达 (500 ± 20) FU 时,按记录仪记录的粉质曲线得到吸水率、形成时

间、稳定时间、弱化度、粉质指数。重复 3 次。

1.2.3 面团拉伸特性的测定 根据 GB/T 14615-2006/ISO 5530-2:1997《小麦粉 面团的物理特性吸水性和流变学特性的测定 拉伸仪法》,利用拉伸仪进行测定。按照粉质仪测定的最佳吸水率,称取 300 g 配制的混合粉、蒸馏水、 (6.0 ± 0.1) g 氯化钠加入粉质仪和面钵中,揉面 5 min 后取出,准确称取 2 个 150 g 的面团,在拉伸仪中进行揉圆,再经成型器搓滚成条,将其放入 25 ℃ 左右的醒发室中依次醒发 45、90、135 min。取出面团在拉伸台上测试面团的拉伸特性。由仪器记录的拉伸曲线得到醒发时间为 45、90、135 min 时的拉伸能量、延伸度、拉伸阻力、最大拉伸阻力、拉伸比、最大拉伸比。重复 3 次。

1.2.4 面粉的糊化性质测定 称取 (3.50 ± 0.01) g 配制的混合粉(按 14% 湿基计算),转移到样品筒中,量取 25.0 mL 蒸馏水加入样品筒中,将搅拌器置于样品筒中,上下快速搅动 10 次,使样品分散,置于快速粘度分析仪中。采用 GB 24853-2010《小麦、黑麦及其粉类和淀粉糊化特性测定快速粘度仪法》标准程序 1 的温度模式,即 RVA 初始温度为 50 ℃,保持 1 min,然后以 12 ℃/min 升高至 95 ℃,保持在 95 ℃ 2.5 min,再以 12 ℃/min 降至 50 ℃,保持 2 min,根据 RVA 的曲线,分别获得峰值黏度、谷值黏度、最终黏度、回生值、崩解值和糊化温度等参数。重复 3 次。

1.2.5 面条的制作 称取混合粉 500 g,置于不锈钢盆当中,加入相应量的蒸馏水。加水量根据粉质仪测得的混合粉吸水率计算得到,0% 紫淮山全粉时加水 150.5 mL,25% 紫淮山全粉时加水 158 mL。手工和面 15 min,面团呈手握成团一捏则散的状态,盖上两层湿纱布,熟化 20 min。熟化后的面团用压面机压成 1 mm 厚的面片,将湿面条切割成 20 cm 长,在室温条件下晾干 72 h,得到试样面条,将试样面条用保鲜自封袋包装后置于干燥器中备用。

1.2.6 面条最佳烹煮时间的测定 取 30 根面条,投入装有 500 mL 沸腾蒸馏水的铝锅中煮制,保持水沸腾状态,并立即开始计时。从 3 min 开始,每隔 10 s 取出三根面条,用两块透明玻璃压开,观察面条中间的白芯变化。当白芯刚刚消失时,为面条的最佳烹煮时间。

1.2.7 面条质构的测定 取 50 根面条,放入装有沸水的铝锅中并立即计时,保持水沸腾状态煮制到最佳烹煮时间后取出,用蒸馏水冲洗 30 s,然后沥干水分。取 5 根面条并排放在测试台上,用 P100 探头在 TPA 模式下,测试前速率 5.0 mm/s,测试速率 1.0 mm/s,测试后速率 1.0 mm/s;形变量为 50%;时间间隔 1 s;感应力 Auto-5g。重复 6 次。

1.2.8 面条色泽的测定 将不同紫淮山全粉添加量的面条样品各随机抽取 50 g,用粉碎机粉碎磨粉,过 100 目筛备用。采用 CR-400 色彩色差计进行测定,以不加紫淮山全粉的样品作为对照。面条测得的 L^* 值越大,表示干面条的色泽越白, a^* 值代表红绿度,值越大表示面条色泽越红, b^* 值代表黄蓝度,值越大表示面条色泽越黄。 $\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 +$

表1 紫淮山面条的感官评定标准
Table 1 Sensory evaluation standard of the purple yam noodles

评定项目	评价标准	评分(分)
色泽	面条色泽略带浅紫色 8~10 分;面条色泽一般,4~8 分;面条发暗,1~4 分	10
外观状态	面条结构细密光滑,8~10 分;中间为 4~8 分;表面粗糙、膨胀、变形,1~4 分	10
适口性	力度适中,17~20 分;稍偏硬或软,12~17 分;太硬或太软,1~12 分	20
韧性	有嚼劲,富有弹性,21~25 分;一般 15~21 分;咬劲差,弹性不足,1~15 分	25
粘弹性	咀嚼时爽口不粘牙,21~25 分;较爽口,稍粘牙,15~21;不爽口,发粘,10~15 分	25
光滑性	光滑,4~5 分;中间,3~4 分;光滑程度差,1~3 分	5
食味	具有淮山香味,4~5 分;基本无异味,3~4 分;有异味,1~3 分	5

(Δb)²]^{1/2},值越小表示与未添加紫淮山全粉的面条色泽越接近。重复 6 次。

1.2.9 面条的感官评价 取成品面条若干,放入装有沸水的铝锅中并立即计时,保持水沸腾状态煮制到最佳烹煮时间后用漏勺捞出,淋水 30 s,室温下放置 1 min,对煮制后的面条进行感官评价,感官评价小组成员为 10 人,面条的评分项目及分值分配参考 LS/T 3202-1993 制订,具体见表 1。

1.2.10 数据分析与处理 采用 SPSS 20.0 软件的 Duncan's 模块中的方差分析 (analysis of variance, ANOVA) 对数据进行差异显著性分析,所有数据以 $\bar{X} \pm SD$ 表示。

2 结果与分析

2.1 不同添加量紫淮山全粉对混合粉粉质特性的影响

粉质特性能够反应面团在形成过程当中的流变学特性,由表 2 可见,随着紫淮山全粉添加量的增加,混合粉的吸水率呈显著上升的趋势($p < 0.05$),当紫淮山全粉的添加量为 25% 时,面团的吸水率由未添加时的 60.2% 升至 63.2%。面团吸水率与淀粉和蛋白质的组成及破损淀粉的含量有关^[12]。紫淮山全粉的添加导致面团的吸水率增大,可能是由于淮山全粉含有丰富的黏液质,吸水性强所致^[13],吸水率的提高有利于后期加工产品的成形与保鲜。张娟^[14]也报道了山药粉在混合粉中的比例增加时,混合面团的吸水率明显增加。面团形成时间呈先上升后下降的趋势,在添加量为 15% 时达到最大值。面团的形成时间与面粉的吸水速度有关,面粉吸水速度快则面团形成时间短,反之,面粉的吸水速度慢,面团的形成时间就长。面团稳定时间呈先下降后缓慢上升的趋势,添加量为 15%、20%、25% 时,无显著性差异

($p > 0.05$)。在添加量为 5%~20% 的范围内,面团的稳定时间均比未添加时短,可能是因为紫淮山全粉的添加降低了混合粉中面筋蛋白的含量,面筋蛋白被稀释,从而破坏了面筋蛋白的网状结构,降低了面筋蛋白网络结构的强度,造成其在机械力作用下稳定性变差,致使稳定时间缩短^[15-16]。添加紫淮山全粉的面团弱化度均比未添加紫淮山粉的面团弱化度高,且差异显著($p < 0.05$)。弱化度表现了面团对机械搅拌产生的剪切力的耐受程度,弱化度越大,表示面筋的质量越差^[17],添加紫淮山全粉破坏了面团的连续性,使之不易形成稳定的网状结构,从而使面团的弱化度增大,说明紫淮山全粉有减弱面筋强度的作用,使面团不易加工。刘崇万等^[18]研究发现,随着菊粉添加量的增加,面团的弱化度显著下降。添加紫淮山全粉后,粉质指数呈先下降后上升的趋势,添加量为 15%、20%、25% 时无显著差异($p > 0.05$)。

2.2 不同添加量紫淮山全粉对面团拉伸特性的影响

不同添加量的紫淮山全粉对混合面团醒发 45、90、135 min 后的拉伸能量、延伸度、拉伸阻力、最大拉伸阻力、拉伸比、最大拉伸比的影响分别见表 3。由表 3 可以看出,当醒发时间 45、90、135 min 时,随着紫淮山全粉添加量的增加,面团的拉伸能量整体呈下降趋势。一般拉伸能量越大,面团筋力越强,反之,拉伸能量越小,面团筋力越弱。这说明添加紫淮山全粉降低了混合面团的筋力。当醒发时间 45、90、135 min 时,面团的延伸度随紫淮山全粉添加量的上升呈下降趋势。面团的延伸度表征面团延展特性和可塑性,面粉中麦醇溶蛋白赋予面筋良好的延伸性,而麦谷蛋白赋予面筋良好的弹性^[19]。紫淮山全粉的添加使面团的延伸度下降,则是由于麦醇溶蛋白相对含量减少而降低。丁瑞琴^[20]研究发现,添加甘薯粉会使甘薯-小麦混合粉面团的延伸度和拉伸能

表2 紫淮山全粉对混合粉粉质特性的影响
Table 2 Effect of purple yam flour on farinograph properties of mixed flour

紫淮山全粉(%)	吸水率(%)	形成时间(min)	稳定时间(min)	弱化度(FU)	粉质指数
0	60.2 ± 0.00 ^e	3.8 ± 0.23 ^c	5.9 ± 0.31 ^a	77 ± 0.58 ^f	83 ± 1.73 ^a
5	61.4 ± 0.06 ^d	4.4 ± 0.15 ^b	4.2 ± 0.06 ^b	174 ± 3.79 ^a	57 ± 2.52 ^c
10	62.4 ± 0.12 ^c	4.3 ± 0.10 ^b	3.5 ± 0.06 ^c	156 ± 4.36 ^b	59 ± 1.53 ^c
15	62.7 ± 0.06 ^b	5.3 ± 0.06 ^a	5.4 ± 0.06 ^a	141 ± 1.53 ^c	69 ± 1.15 ^b
20	63.2 ± 0.12 ^a	1.9 ± 0.12 ^c	5.5 ± 0.23 ^a	118 ± 4.93 ^d	69 ± 2.65 ^b
25	63.2 ± 0.31 ^a	2.5 ± 0.31 ^d	5.9 ± 0.50 ^a	103 ± 7.37 ^e	73 ± 7.55 ^b

注:同列不同字母表示差异显著($p < 0.05$)。表 3~表 7 同。

表3 紫淮山全粉对面团拉伸特性的影响
Table 3 Effect of purple yam flour on extensograms properties of wheat dough

醒发时间 (min)	紫淮山 添加量(%)	拉伸能量 (cm ²)	延伸度 (mm)	拉伸阻力 (EU)	最大拉伸阻力 (EU)	拉伸比	最大拉伸比
45	0	81 ± 4.36 ^a	151 ± 6.11 ^a	305 ± 4.62 ^{bc}	404 ± 12.67 ^a	2.0 ± 0.058 ^c	2.7 ± 0.100 ^{bcd}
	5	62 ± 2.00 ^b	124 ± 6.35 ^b	350 ± 26.54 ^{ab}	363 ± 27.57 ^a	2.8 ± 0.306 ^{bc}	3.0 ± 0.351 ^{bc}
	10	40 ± 8.74 ^c	121 ± 7.57 ^{bc}	243 ± 67.36 ^c	244 ± 67.83 ^b	2.1 ± 0.702 ^c	2.0 ± 0.850 ^d
	15	40 ± 4.04 ^c	113 ± 2.31 ^c	262 ± 26.15 ^c	264 ± 25.16 ^b	2.3 ± 0.265 ^c	2.3 ± 0.265 ^{cd}
	20	57 ± 4.93 ^b	111 ± 4.16 ^c	397 ± 48.26 ^a	398 ± 48.14 ^a	3.6 ± 0.557 ^{ab}	3.6 ± 0.557 ^{ab}
	25	46 ± 4.51 ^c	93 ± 2.31 ^d	383 ± 44.24 ^a	390 ± 41.07 ^a	4.2 ± 0.451 ^a	4.2 ± 0.451 ^a
90	0	88 ± 4.36 ^a	152 ± 3.52 ^a	338 ± 13.20 ^c	439 ± 20.13 ^b	2.2 ± 0.100 ^d	2.9 ± 0.057 ^d
	5	78 ± 3.21 ^b	114 ± 3.79 ^b	494 ± 24.78 ^{ab}	524 ± 20.31 ^a	4.4 ± 0.306 ^{abc}	4.7 ± 0.306 ^{ab}
	10	64 ± 6.66 ^c	115 ± 4.62 ^b	427 ± 56.50 ^b	434 ± 60.89 ^b	3.8 ± 0.651 ^c	3.8 ± 0.651 ^c
	15	60 ± 1.53 ^{cd}	107 ± 9.45 ^b	452 ± 36.71 ^{ab}	455 ± 39.00 ^b	4.3 ± 0.723 ^{bc}	4.3 ± 0.723 ^b
	20	61 ± 3.79 ^{cd}	98 ± 0.58 ^c	504 ± 26.06 ^a	505 ± 26.63 ^a	5.1 ± 0.289 ^{ab}	5.1 ± 0.289 ^a
	25	55 ± 4.16 ^c	93 ± 3.61 ^c	483 ± 42.44 ^{ab}	487 ± 38.97 ^{ab}	5.2 ± 0.458 ^a	5.2 ± 0.404 ^a
135	0	91 ± 3.06 ^a	144 ± 3.42 ^a	370 ± 7.55 ^b	480 ± 7.64 ^a	2.6 ± 0.100 ^e	3.4 ± 0.153 ^c
	5	80 ± 4.04 ^b	116 ± 2.89 ^b	500 ± 21.83 ^a	538 ± 20.50 ^a	4.3 ± 1.732 ^b	4.6 ± 0.231 ^b
	10	69 ± 6.08 ^c	109 ± 2.31 ^b	497 ± 40.07 ^a	512 ± 44.30 ^a	4.5 ± 0.306 ^b	4.7 ± 0.404 ^b
	15	62 ± 3.06 ^{cd}	108 ± 10.02 ^b	495 ± 38.28 ^a	501 ± 38.59 ^a	4.8 ± 0.458 ^b	4.9 ± 0.458 ^b
	20	61 ± 4.16 ^d	97 ± 4.16 ^c	526 ± 31.56 ^a	526 ± 31.56 ^a	5.5 ± 0.231 ^a	5.5 ± 0.231 ^a
	25	51 ± 2.31 ^e	88 ± 2.89 ^d	476 ± 57.67 ^a	483 ± 29.55 ^a	5.4 ± 0.265 ^a	5.5 ± 0.265 ^a

量下降。张园园等^[21]报道了添加藜麦粉会降低藜麦-小麦混合面团的延伸度和拉伸能量。在相同紫淮山全粉添加量不同发酵时间下,随着发酵时间的延长,拉伸阻力增大。这是由于面粉中的蛋白质充分吸收水分,使面团能形成更好的面筋网络,从而增大拉伸阻力^[22]。拉伸比例是拉伸阻力与延伸度的比值,反映面团抗拉伸与延伸性之间的平衡关系。随着紫淮山全粉添加量的增加,拉伸比例呈上升趋势,且醒发时间越长,影响越大。

2.3 不同添加量紫淮山全粉对面粉糊化性质的影响

淀粉糊化特性是反映淀粉品质的重要指标,其与面条品质之间存在着相关性,对面条的品质起重要作用。从表4可以看出,随着紫淮山全粉添加量的增加,糊化温度呈先下降后上升趋势,从总的变化趋势来看,添加紫淮山全粉能降低糊化温度。糊化温度越小,淀粉越易吸水、膨胀、糊化。峰值黏度、谷值黏度均随紫淮山全粉添加量的增加呈先下降后上升的趋势,分别在添加量为10%、15%时达到最小值。最终黏度和回生值均随紫淮山全粉添加量的增加呈下降趋势。单姗等^[23]研究发现,添加紫薯全粉使紫薯-小麦混合粉的糊化黏度下降,回生值减小。

表4 紫淮山全粉对面粉糊化性质的影响
Table 4 Effects of purple yam flour on pasting properties of mixed flour

紫淮山全粉(%)	糊化温度(℃)	峰值黏度(cp)	谷值黏度(cp)	最终黏度(cp)	回生值(cp)	崩解值(cp)
0	70.58 ± 1.29 ^a	1688 ± 14.2 ^a	1024 ± 3.2 ^a	2053 ± 47.1 ^a	1028 ± 48.2 ^a	663 ± 15.9 ^f
5	69.68 ± 0.51 ^{ab}	1356 ± 14.0 ^d	557 ± 14.0 ^b	1362 ± 31.5 ^b	805 ± 37.7 ^b	799 ± 0.0 ^e
10	68.87 ± 0.45 ^{ab}	1276 ± 18.1 ^f	422 ± 6.1 ^d	1029 ± 43.0 ^c	607 ± 6.9 ^c	854 ± 16.5 ^d
15	68.33 ± 0.03 ^c	1319 ± 9.5 ^e	395 ± 1.0 ^e	879 ± 3.6 ^d	484 ± 2.6 ^d	924 ± 9.0 ^c
20	68.60 ± 0.48 ^{bc}	1423 ± 8.7 ^e	415 ± 1.5 ^d	861 ± 9.2 ^d	449 ± 4.0 ^{de}	1010 ± 10.4 ^b
25	69.18 ± 0.03 ^{bc}	1508 ± 7.5 ^b	437 ± 7.0 ^c	857 ± 2.9 ^d	421 ± 7.6 ^e	1071 ± 3.8 ^a

回生值反应淀粉的成胶能力和回生程度。回生值越大,表明产品的老化速率越快,货架期也就越短^[24-25]。添加紫淮山全粉后,回生值显著降低,说明紫淮山全粉能够阻碍糊化后的淀粉分子重新聚合,抑制了淀粉的老化,减缓淀粉回生过程^[26-27],有利于延长紫淮山面条的保质期^[28]。崩解值与膨胀后淀粉粒的刚性有关,反映淀粉糊的热稳定性,崩解值越大,则淀粉糊稳定性越差。随着紫淮山全粉添加量的增加,崩解值呈显著增大的趋势($p < 0.05$),说明添加紫淮山全粉会降低混合粉糊的热稳定性。

2.4 不同添加量紫淮山全粉对面条质构特性的影响

由表5可见,紫淮山全粉对面条的弹性无显著性影响($p > 0.05$),对硬度、粘附性等TPA指标均有明显影响。添加紫淮山全粉(5%~25%)后,随着紫淮山全粉添加量的增加,面条的硬度、胶黏性、咀嚼性、回复性均呈先上升后下降的趋势,且在添加量为15%时达到最大值。紫淮山全粉的添加量超过10%后的面条硬度与添加量为0%时的面条硬度之间存在显著性的差异($p < 0.05$),其原因可能是添加的紫淮山全粉阻碍了面筋蛋白网络的形成,降低了面团

表5 紫淮山全粉对面条质构特性的影响
Table 5 Effects of purple yam flour on texture of noodles

紫淮山全粉 (%)	硬度 (g)	粘附性 (g·s)	弹性	内聚性	胶黏性 (g)	咀嚼性 (g)	回复性
0	5649.37 ± 202.40 ^b	245.65 ± 34.12 ^a	0.929 ± 0.007 ^a	0.894 ± 0.009 ^a	5052.85 ± 208.63 ^c	4691.77 ± 181.91 ^c	0.742 ± 0.027 ^b
5	5138.35 ± 239.59 ^c	181.73 ± 41.49 ^b	0.939 ± 0.101 ^a	0.859 ± 0.007 ^c	4413.29 ± 206.74 ^d	4142.50 ± 165.17 ^d	0.690 ± 0.129 ^c
10	6484.50 ± 212.23 ^b	179.25 ± 10.68 ^b	0.936 ± 0.004 ^a	0.885 ± 0.004 ^{ab}	5735.23 ± 175.25 ^b	5367.44 ± 181.20 ^b	0.755 ± 0.194 ^{ab}
15	7487.96 ± 146.97 ^a	203.08 ± 25.63 ^b	0.939 ± 0.005 ^a	0.882 ± 0.006 ^b	6603.94 ± 152.00 ^a	6198.51 ± 158.85 ^a	0.777 ± 0.172 ^a
20	7402.57 ± 235.83 ^a	193.41 ± 49.11 ^b	0.939 ± 0.005 ^a	0.880 ± 0.009 ^b	6513.07 ± 191.00 ^a	6117.76 ± 203.42 ^a	0.770 ± 0.235 ^{ab}
25	7445.13 ± 307.45 ^a	157.48 ± 33.50 ^b	0.930 ± 0.003 ^a	0.885 ± 0.009 ^{ab}	6591.53 ± 325.42 ^a	6126.76 ± 283.67 ^a	0.738 ± 0.227 ^b

表6 紫淮山全粉对面条色泽的影响
Table 6 Effects of purple yam flour on color of noodles

紫淮山全粉 (%)	<i>L</i> [*]	<i>a</i> [*]	<i>b</i> [*]	Δ <i>E</i>
0	73.87 ± 0.59 ^a	-2.28 ± 0.07 ^f	7.98 ± 0.26 ^d	/
5	70.47 ± 0.52 ^b	-1.48 ± 0.03 ^e	7.00 ± 0.09 ^e	3.63 ± 0.51 ^e
10	68.77 ± 0.36 ^c	-1.14 ± 0.04 ^d	7.48 ± 0.15 ^e	5.25 ± 0.35 ^d
15	67.61 ± 0.15 ^d	-0.99 ± 0.03 ^e	8.26 ± 0.06 ^b	6.40 ± 0.15 ^c
20	66.41 ± 0.83 ^c	-0.88 ± 0.02 ^b	9.46 ± 0.13 ^a	7.73 ± 0.09 ^b
25	65.84 ± 0.52 ^f	-0.68 ± 0.02 ^a	9.29 ± 0.07 ^a	8.30 ± 0.05 ^a

表7 紫淮山面条的感官评定结果(分)
Table 7 Sensory evaluation quality of the purple yam noodles(score)

紫淮山全粉 (%)	色泽	表观状态	适口性	韧性	粘弹性	光滑性	食味	总分
0	8.0 ± 0.67 ^a	8.5 ± 0.53 ^a	17.8 ± 0.79 ^{ab}	22.7 ± 1.16 ^a	23.0 ± 0.82 ^a	4.7 ± 0.48 ^a	3.6 ± 0.52 ^b	88.3 ± 2.16 ^a
5	8.6 ± 0.52 ^a	8.3 ± 0.48 ^{ab}	17.5 ± 0.85 ^{ab}	22.0 ± 1.05 ^{ab}	22.9 ± 0.99 ^a	4.4 ± 0.52 ^a	4.2 ± 0.63 ^a	87.9 ± 1.29 ^a
10	8.4 ± 0.52 ^a	8.1 ± 0.57 ^{ab}	18.0 ± 0.82 ^a	22.5 ± 1.08 ^a	22.4 ± 0.97 ^a	4.4 ± 0.52 ^a	4.3 ± 0.48 ^a	88.1 ± 1.37 ^a
15	8.3 ± 0.48 ^a	7.9 ± 0.57 ^b	18.1 ± 0.86 ^a	22.4 ± 1.35 ^{ab}	21.2 ± 1.14 ^b	3.96 ± 0.32 ^b	4.3 ± 0.67 ^a	86.1 ± 1.52 ^b
20	7.1 ± 0.74 ^b	7.3 ± 0.67 ^c	17.6 ± 1.07 ^{ab}	22.0 ± 1.05 ^{ab}	21.1 ± 1.20 ^b	3.5 ± 0.53 ^b	3.4 ± 0.52 ^b	82.0 ± 2.2 ^c
25	6.7 ± 0.95 ^b	7.1 ± 0.74 ^d	17.1 ± 0.74 ^b	21.4 ± 0.84 ^b	19.4 ± 1.35 ^c	3.5 ± 0.53 ^b	3.4 ± 0.52 ^b	78.6 ± 2.8 ^d

的延伸性,导致面团的硬度增大^[29]。王乐^[30]研究也发现,随着马铃薯全粉添加量的增加,面条的硬度增大。

2.5 不同添加量紫淮山全粉对面条色泽的影响

由表6可知,随着紫淮山全粉添加量的增加,面条色度*L*^{*}值显著降低(*p* < 0.05)。面条的*L*^{*}值下降,是由于紫淮山全粉中花色苷的颜色使面条整体色泽变暗。仇干等^[31]研究发现,添加紫马铃薯全粉使马铃薯-小麦混合粉的*L*^{*}下降,色泽变差。面条的*a*^{*}值和Δ*E*均随紫淮山全粉添加量的增加而显著上升(*p* < 0.05)。紫淮山全粉的添加量达到15%后,面条的*b*^{*}值大于对照组,面条色泽逐渐变黄。

2.6 不同添加量紫淮山全粉对面条感官评价的影响

紫淮山全粉的添加量为5%~15%时,面条的色泽评分高于未添加紫淮山全粉时的色泽评分,且无显著差异(*p* > 0.05),但添加量超过20%时,下降显著(*p* < 0.05),添加量过多使面条色泽发暗是评分下降的主要原因。面条食味的评分随添加量的增加呈先上升后下降的趋势,添加量低于15%时,面条具有一定的淮山清香,添加量达到20%时则气味过浓而影响评分。紫淮山全粉的添加量不超过15%时,感官品质较好。

3 结论

随着紫淮山全粉添加量的增加,面团的吸水率呈上升趋势,形成时间呈先上升后下降趋势,稳定时间呈先下降后缓慢上升趋势。面团的拉伸能量和延伸度随着紫淮山全粉的添加呈下降趋势,拉伸比和最大拉伸比增大。混合粉的糊化温度、峰值粘度、谷值黏度均呈先下降后上升趋势,且比未添加紫淮山全粉时低,最终黏度、回生值则呈下降趋势,崩解值呈显著上升趋势(*p* < 0.05)。面条的*L*^{*}值随着紫淮山全粉添加量的增加显著降低(*p* < 0.05)。面条的硬度、胶黏性、咀嚼性、回复性均呈先上升后下降的趋势,在添加量为15%时达到最大值。紫淮山全粉的添加量未超过15%时,面条的感官品质较好。综合考虑,紫淮山全粉添加到小麦粉中制作面条时,添加量以不超过15%为宜。

参考文献

[1] 宋曙辉,刘庞源,王文琪,等.不同产地紫山药营养和功能成分分析[J].营养学报,2012,34(1):92-93.
[2] 王彦平,田春丽,孙瑞琳,等.紫山药的营养保健功能及开发利用研究进展[J].食品研究与开发,2017,38(1):200-203.
[3] 倪伟超,徐兵兵,李彪,等.紫山药的营养保健价值及产品

开发[J].中国野生植物资源,2016,35(4):67-71.

[4]倪勤学,高前欣,霍艳荣,等.紫山药色素的提取工艺及抗氧化性能研究[J].天然产物的开发与利用,2012,24:229-233.

[5]赵晋晋.怀山全粉理化特性及怀山—小麦复合粉面条配方优化研究[D].福州:福建农林大学,2014.

[6]谢荣辉.山药挂面的研制[J].现代食品科技,2008,24(6):561-562.

[7]张敏,童华荣,张丽平,等.鲜山药挂面配方及优化研究[J].中国粮油学报,2006,21(1):63-67.

[8]王丽霞,林光威,孙辰晨.山药营养面条的研制[J].农产品加工(学刊),2012(11):183-185.

[9]张贞贞.山药及主要组分对面粉特性及面条品质的影响[D].郑州:河南工业大学,2014.

[10]Li P H, Huang C C, Yang M Y, et al. Textural and sensory properties of salted noodles containing purple yam flour[J]. Food Research International, 2012, 47(2):223-228.

[11]李冬梅.紫淮山紫薯营养面条的研制[J].食品研究与开发,2014,11(36):46-49.

[12]王晓曦,王忠诚,曹维让,等.小麦破损淀粉含量与面团流变学特性及降落数值的关系[J].郑州工程学院学报,2001,22(3):53-57.

[13]张娇娇.山药粘液质的性质及酶解制粉工艺的研究[D].无锡:江南大学,2014.

[14]张娟.山药营养保健挂面的研制[D].杨凌:西北农林科技大学,2008.

[15]孔晓雪,王爱,丁其娟,等.高膳食纤维面团粉质特性与面包烘焙特性的研究[J].食品科学,2013,34(17):111-115.

[16]Aleksandra T, Miroslav H, Tamara D. Rheological, textural and sensory properties of gluten-free bread formulations based on rice and buckwheat flour[J]. Food Hydrocolloids, 2010, 24(6):626-632.

[17]陈芳芳,于文滔,刘少伟,等.紫薯粉对面团粉质特性和

质构特性的影响[J].食品工业,2014,35(5):170-174.

[18]刘崇万,刘世娟,徐振秋,等.菊粉对面团流变学特性及无糖酥性饼干烘焙品质的影响[J].食品工业,2016,37(7):11-15.

[19]刘钟栋.面粉品质改良技术及应用[M].北京:中国轻工业出版社,2005:82-88.

[20]丁瑞琴.甘薯粉面团流变学性质及面条工艺的研究[D].福州:福建农林大学,2009.

[21]张国园,卢宇,阿荣,等.藜麦粉对小麦面团流变学特性的影响[J].食品科技,2016,41(6):159-163.

[22]王小媛,王文静,丁俊豪,等.红枣粉对小麦面团特性以及微观结构的影响[J].食品工业科技,2018,39(9):28-32.

[23]单珊.紫薯-小麦混合粉的性质及面条品质研究[D].无锡:江南大学,2012.

[24]姜小苓,李小军,冯素伟,等.蛋白质和淀粉对面团流变学特性和淀粉糊化特性的影响[J].食品科学,2014,35(1):44-49.

[25]吕振磊,李国强,陈海华.马铃薯淀粉糊化及凝胶特性研究[J].食品与机械,2010,26(3):22-27.

[26]陈书攀,何国庆,谢卫忠,等.菊粉对面团流变性及面条质构的影响[J].中国食品学报,2014,14(7):170-175.

[27]刘传富,郭玉秋,代养勇,等.木薯醋酸酯淀粉对面团及挂面力学特性的影响[J].现代食品科技,2016,32(6):233-238.

[28]杨文建,俞杰,孙勇,等.添加金针菇粉、茶树菇粉对面团流变学特性的影响[J].食品科学,2014,35(23):43-47.

[29]冯世德,孙太凡.玉米粉对小麦面团和馒头质构特性的影响[J].食品科学,2013,34(1):101-104.

[30]王乐.马铃薯面团特性及面条品质研究[D].西安:陕西科技大学,2017.

[31]仇干,胥心,邓云.紫马铃薯全粉-小麦粉混粉的理化特性研究[J].食品研究与开发,2017,38(3):15-19.

(上接第40页)

[17]朱玉安,刘友明,张秋亮,等.加热方式对鱼糜制品特性的影响[J].食品科学,2011,32(3):107-110.

[18]涂晓琴.豆渣对白鲢鱼糜凝胶特性及冻融稳定性的影响[D].武汉:华中农业大学,2013.

[19]张莉莉,张涛,姜晓明,等.水分状态对鱼糜凝胶高温处理热稳定性的影响[J].食品发酵工业,2013,39(2):56-61.

[20]李来好.海藻膳食纤维的提取、毒理和功能特性的研究[D].青岛:中国海洋大学,2005.

[21]Macc R, Yen C H, Alexander M. Evaluation of alkaline electrolyzed water to replace traditional phosphate enhancement solutions: Effects on water holding capacity, tenderness, and sensory characteristics[J]. Meat Science, 2017, 123:211-218.

[22]López-López I, Cofrades S, Yakan A, et al. Frozen storage characteristics of low-salt and low-fat beef patties as affected by Wakame addition and replacing pork backfat with olive oil-in-water emulsion[J]. Meat Science, 2010, 43:1244-1254.

[23]Kim H W, Danika K M, Yong J L. Effects of soy hull pectin and insoluble fiber on physic chemical and oxidative

characteristics of fresh and frozen/thawed beef patties[J]. Meat Science, 2016, 117:63-67.

[24]陈培基,李来好,李刘冬,等.二种褐藻膳食纤维的功能活化及其生理功能的比较[J].食品科学,2005,26(1):226-230.

[25]王珍.热加工方式对燕麦全谷可溶性膳食纤维理化及功能特性影响研究[D].郑州:郑州轻工业学院,2016.

[26]吴涛,茅林春,冯武.壳聚糖对白鲢鱼丸热凝胶特性及脂质氧化的影响[J].湖北农业科学,2011,50(2):368-372.

[27]俞微微.计算猪肉、牛肉和鳕鱼的热物理性质的经验公式[J].大连水产学院学报,2000,15(1):50-54.

[28]AbuDagga Y, Kolbe E. Thermophysical properties of surimi paste at cooking temperatures[J]. Journal of Food Engineering, 1997, 32:325-337.

[29]Belibagli K B. Thermophysical properties of silver hake and mackerel surimi at cooking temperatures[J]. Journal of Food Engineering, 2003, 60(4):439-448.