

挤压膨化玉米粉对小麦粉面团特性 及馒头质构特性的影响

石晶红, 朱效兵, 郭淑文, 李云玲

(河套学院农学系, 内蒙古巴彦淖尔 015000)

摘要: 对比研究不同添加量的挤压膨化玉米粉和玉米粉对小麦面团粉质特性、糊化特性以及对馒头质构特性的影响。结果表明: 挤压膨化玉米粉添加量增加到 25% 时, 面团吸水率升高 6.72%、稳定时间下降 82.64%、蛋白质弱化度升高 60.78%、形成时间下降 88.37%、峰值黏度降低 55.60%、低谷黏度降低 60.91%、最终黏度降低 58.41%、崩解值降低 34.07%、回生值降低 50.43%; 膨化玉米粉添加量为 10% 时, 馒头的弹性、内聚性和回复性最大, 硬度显著的低于对照 ($p < 0.05$), 馒头的口感柔软、筋道, 爽口不黏牙, 品质最好。玉米粉添加量、面团的粉质特性、糊化特性与馒头的质构特性显著相关, 可通过混合粉面团的粉质特性和糊化特性对馒头的质构特性进行预测。与玉米粉相比, 挤压膨化玉米粉能够提高面团的吸水率, 增强小麦粉的热稳定性, 延缓面团的老化, 改善了馒头的品质。

关键词: 挤压膨化; 玉米粉; 粉质特性; 糊化特性; 馒头质构特性; 相关性

文章编号: 1673-9078(2021)03-187-193

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.3.0767

The Effect of Extruded Corn Flour on Wheat Dough Characteristics and Texture Characteristics of Steamed Bread

SHI Jing-hong, ZHU Xiao-bing, GUO Shu-wen, LI Yun-ling

(Agronomy Inner Department of Hetao College, Bayannur 015000, China)

Abstract: The effects of different addition amounts of extruded corn meal and corn meal on the farinograph characteristics, gelatinization characteristics of wheat dough and the texture characteristics of steamed bread were compared and studied. The results showed that the addition of extruded corn flour was increased to 25%, the water absorption of the dough was increased by 6.72%, the stabilization time was decreased by 82.64%, the protein weakening degree was increased by 60.78%, the formation time was decreased by 88.37%, the peak viscosity was decreased by 55.60%, and the trough viscosity was decreased by 60.91%, the final viscosity was decreased by 58.41%, the disintegration value was decreased by 34.07%, and the regeneration value was decreased by 50.43%. When the addition of extruded corn meal was 10%, the elasticity, cohesion and recovery of steamed bread were the largest, and the hardness was significantly lower than that of the control ($p < 0.05$), and steamed bread had the best quality with soft taste, smooth texture, refreshing taste and non stick teeth. The added amount of corn meal, the farinograph characteristics and the gelatinization characteristics of the dough were significantly related to the texture characteristics of steamed bread, and the texture characteristics of steamed bread could be predicted by the farinograph characteristics and gelatinization properties of the mixed flour dough. Compared with corn meal, extruded corn meal could increase the water absorption of the dough, enhance the thermal stability of wheat flour, delay the aging of the dough, and improve the quality of steamed bread.

Key words: extrusion; corn flour; farinograph characteristics; gelatinization characteristics; texture characteristics of steamed bread; correlation

引文格式:

石晶红,朱效兵,郭淑文,等.挤压膨化玉米粉对小麦粉面团特性及馒头质构特性的影响[J].现代食品科技,2021,37(3):187-193

SHI Jing-hong, ZHU Xiao-bing, GUO Shu-wen, et al. The effect of extruded corn flour on wheat dough characteristics and texture characteristics of steamed bread [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(3): 187-193

收稿日期: 2020-08-17

基金项目: 河套学院重点项目 (HYZZ201928)

作者简介: 石晶红 (1979-), 女, 副教授, 研究方向: 营养与食品安全

玉米是世界上公认的黄金作物, 作为杂粮因其营养丰富常被加入到传统主食中。由于玉米不含面筋蛋白, 加工过程中难以形成面筋网状结构, 粘弹性欠佳,

柔韧性差,造成玉米粉食用口感粗糙,品质较差^[1],使得玉米粉在面制品中利用率偏低。要提高玉米的利用率就需要对玉米进行改性,通常采用物理、化学和生物的方法来改变玉米粉的理化性质。挤压膨化技术是一种集混合、搅拌、破碎、加热、蒸煮、杀菌、膨化及成型于一体的高温短时的加工方法,被称为21世纪食品加工领域的高新技术之一^[2]。已有研究表明,膨化后的玉米淀粉具有冷黏性^[3],可以使面团性质提高^[4]。刘书航^[5]研究了膨化玉米粉对小麦粉糊化特性、冷黏性及面团黏性特征的影响,未研究其对小麦粉粉质特性和成品品质的影响。刘卫光^[6]研究了膨化玉米粉对油条面团流变学特性、微观结构及油条品质的影响,未与玉米粉进行对比研究。刘婷婷^[7]仅研究了膨化玉米粉对面包品质的影响。以玉米粉和挤压膨化玉米粉为原料,对比研究其对小麦粉粉质特性、糊化特性以及对馒头质构特性的影响尚未见报道。挤压膨化原料粉可显著改善面团及最终产品的品质,不同原料粉的性质不同,对面团的影响也不同。即使是同一种原料,由于操作参数不同挤出物产品特性也有所不同。本试验拟将玉米粉和挤压膨化玉米粉分别添加到小麦粉中,分析其对小麦面团粉质特性、糊化特性以及对馒头质构特性的影响,不仅可以了解玉米粉挤压膨化前后对小麦粉加工品质的影响,还可为挤压膨化玉米粉在传统发酵面制品上的应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 原料

河套雪多用途小麦粉(湿面筋质量分数29.3%),内蒙古恒丰食品工业股份有限公司。玉米粉,山东省滕州市兴龙食品有限公司。膨化玉米粉,由玉米粉挤压膨化,经烘干、粉碎,过80目筛得到膨化玉米粉。挤压膨化参数:三区温度分别为I区50℃,II区120℃,III区150℃,螺杆转速为180 r/min(24 Hz),喂料转速112.5 r/min(15 Hz),旋切刀转速67.5 r/min(9 Hz)。

1.2 仪器与设备

JP-300B 高速多功能食品粉碎机,永康市久品工贸有限公司; Mixolab 混合实验仪,法国肖邦公司; Tecmaster 型快速粘度分析仪(RVA),澳大利亚NewportScientific 仪器公司; ALC-110.4 精密电子天平,赛多利斯科学仪器(北京)有限公司; BD(E2)型热风循环烘箱, Binder 仪器公司; DS32-IIA 双螺杆挤压机,中国济南赛信机械有限公司; TX-XT Plus 质

构仪, Stable Micro Systems, Scarsdale, NY, USA; 和面机,广州市宏阳铸造有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 营养成分的测定

水分测定:参照 GB/T 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》;灰分测定:参照 GB/T 5009.4-2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》;蛋白质测定:参照 GB/T 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》;脂肪测定:参照 GB/T 5009.6-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》;淀粉测定:参照 GB/T 5009.9-2016《食品安全国家标准 食品中淀粉的测定》;膳食纤维的测定:参照 GB 5009.88-2014《食品安全国家标准 食品中膳食纤维的测定》。

1.3.2 小麦粉粉质特性的测定

将玉米粉和小麦粉混合均匀,配成玉米粉添加量分别为0%、5%、10%、15%、20%、25%的混合粉,采用 Mixolab 混合实验仪测定混合粉吸水率、形成时间、稳定时间、蛋白质弱化度等指标^[8,9]。

1.3.3 小麦粉糊化特性的测定

将玉米粉和小麦粉混合均匀,配成玉米粉添加量分别为0%、5%、10%、15%、20%、25%的混合粉,采用快速黏度分析仪(RVA),依照 AACC76-21 的方法测定^[10]。

1.3.4 馒头的制作工艺

将称量好的原辅料搅拌均匀后,加30℃的温水和面,用和面机和面15 min,然后将面团放入温度为30℃、湿度为70%的发酵箱中发酵。取出发酵好的面团,反复揉面团,揉制成型后静置15 min。将经过醒发的馒头坯放入蒸煮锅中,待水煮沸后,蒸25 min即可。

1.3.5 馒头质构特性的测定

采用质构仪测定馒头的各个指标。试验前将冷却好的馒头切成厚度20 mm的均匀薄片,采用P32压盘式探头。测试条件:测前速度为2.00 mm/s,测试速度为5.00 mm/s;测后速度为5.00 mm/s;压缩程度为50%,触发力5 g,压缩间隔时间为5 s。

1.3.6 数据处理

利用 SPSS 13.0 对所得到的数据进行方差分析及相关分析。

2 结果与讨论

2.1 玉米粉的营养成分及含量

表1 玉米粉营养成分及含量 (g/100 g)

Table 1 Nutritional components and content of corn flour

种类	水分	蛋白质	脂肪	淀粉	膳食纤维	灰分
玉米粉	12.80±0.15 ^a	8.17±0.06 ^a	3.71±0.09 ^a	70.50±0.38 ^a	3.52±0.23 ^b	1.30±0.03 ^a
膨化玉米粉	7.47±0.10 ^b	7.03±0.11 ^b	2.53±0.03 ^b	65.60±0.33 ^b	5.62±0.18 ^a	1.41±0.12 ^a

注: 不同小写字母表示数据间差异显著 ($p < 0.05$), 相同小写字母表示数据间差异不显著, 下同。

表2 玉米粉对小麦粉粉质特性的影响

Table 2 The effect of corn flour on the farinograph characteristics of wheat flour

样品	添加量/%	吸水率/%	形成时间/min	稳定时间/min	C1-C2 (蛋白质弱化度) /Nm
对照	0.0	62.03±0.00 ^d	5.59±0.39 ^a	8.93±0.21 ^a	0.51±0.00 ^d
玉米粉	5.0	61.90±0.00 ^d	3.86±0.09 ^b	7.76±0.10 ^b	0.63±0.02 ^c
	10.0	61.73±0.06 ^d	1.67±0.04 ^e	6.23±0.06 ^c	0.64±0.01 ^c
	15.0	60.97±0.06 ^e	1.06±0.04 ^f	5.83±0.10 ^c	0.66±0.01 ^c
	20.0	59.90±0.10 ^f	0.79±0.05 ^g	4.56±0.24 ^e	0.70±0.02 ^b
	25.0	59.47±0.11 ^f	0.78±0.06 ^g	3.56±0.23 ^g	0.71±0.01 ^b
膨化玉米粉	5.0	63.60±0.11 ^c	3.57±0.04 ^c	5.12±0.10 ^d	0.65±0.02 ^c
	10.0	63.90±0.00 ^c	2.17±0.05 ^d	4.06±0.15 ^f	0.73±0.03 ^b
	15.0	64.93±0.00 ^b	1.11±0.07 ^f	3.55±0.20 ^g	0.73±0.03 ^b
	20.0	66.20±0.00 ^a	0.91±0.05 ^f	2.21±0.21 ^h	0.80±0.02 ^a
	25.0	66.20±0.00 ^a	0.65±0.02 ^g	1.55±0.25 ⁱ	0.82±0.01 ^a

由表1可知,玉米粉经过挤压膨化处理,水分、蛋白质、脂肪和淀粉含量分别下降5.33、1.14、1.18、4.90 g,膳食纤维含量增加2.10 g,灰分含量基本保持不变。挤压膨化后玉米粉水分含量下降,是因为挤压膨化过程中的高温使水分迅速蒸发导致的。在高温、高压、高剪切力作用下,蛋白质变性且高级结构被破坏,部分降解为低分子量的胨、肽及氨基酸,并与还原糖发生美拉德反应;淀粉发生不可逆的 α 化作用降解生成麦芽糊精和小分子寡糖^[11];脂肪部分水解而生成的甘油和游离脂肪酸会与淀粉和蛋白质生成淀粉-脂质复合物和蛋白质-脂质复合物,还有部分脂肪作为润滑剂随水蒸气的汽化而挥发,因此造成蛋白质、脂肪和淀粉含量的减少。膳食纤维含量增加与毋修远^[12]等人的研究结果一致,有关膳食纤维含量的变化国内外文献报道存在一定的差异,但一致认为挤压膨化后产品可溶性膳食纤维含量增加,这主要是因为高温、高压、高剪切的作用使不溶性的纤维素大分子间的化学键断裂,分子发生裂解及极性变化所致。

2.2 挤压膨化玉米粉对小麦粉粉质特性的影响

由表2可知,膨化玉米粉添加量增加到25%时,面团吸水率升高6.72%,稳定时间下降82.64%,蛋白质弱化度升高60.78%,形成时间下降88.37%。膨化

玉米粉面团的吸水率显著增大 ($p < 0.05$),与玉米粉呈现出的逐渐减小的趋势相反。这可能是挤压膨化过程中破损淀粉含量增加,淀粉吸水糊化,导致面团的吸水率变大;也可能是玉米经过挤压膨化加工后,质地疏松、体积变大,使其具有很强的吸水力,从而使吸水率变大。与对照相比,添加玉米粉后面团吸水率随添加量的增加呈下降趋势,可能是玉米粉中蛋白吸水能力比面筋蛋白差导致的,也可能是玉米粉的吸水率相对较低造成的。

稳定时间越长面团的韧性越好,面筋强度越大^[13]。与对照相比,添加玉米粉使面团的形成时间、稳定时间减小,蛋白质弱化度增大,这与张庆霞^[14]、刘卫光等人的研究结果一致。这是由于玉米粉不含有面筋蛋白,随着玉米粉添加量的增大,面团中面筋蛋白含量下降,破坏了面筋蛋白的网络结构,不仅降低了面团稳定性,还可使混合粉能快速形成面团,导致面团形成时间和稳定时间下降,蛋白质弱化度增加。当添加量相同时,挤压膨化玉米粉对面团的稳定时间和蛋白弱化度的影响显著的大于玉米粉,可能是玉米粉在高温、高压及强大的机械剪切力的作用下物料组分发生了变化,使其对面筋网络结构的破坏作用较大^[15]。当玉米粉添加量为20%,膨化玉米粉为15%时,面团干硬、粗糙,和面时较难成型,故玉米粉添加量不宜超过20%,膨化玉米粉不宜超过15%。

2.3 挤压膨化玉米粉对小麦粉糊化特性的影响

由表 3 可知, 膨化玉米粉添加量增加到 25% 时, 峰值黏度降低 55.60%、低谷黏度降低 60.91%、最终黏度降低 58.41%; 随着玉米粉添加量的增加, 峰值黏度降低 8.43%、低谷黏度降低 8.82%、最终黏度升高 1.28%。与玉米粉相比, 挤压膨化玉米粉可显著的降低淀粉的黏度 ($p < 0.05$), 这一结果与 Martinez^[16]、Patil^[17] 的研究一致。这是由于挤压过程中的高压高剪切作用使玉米粉糊化, 并将淀粉颗粒由先前的大分子物质降解为小分子物质, 使得所得产品黏度变低^[18]。也可能是在挤压膨化过程中使玉米粉颗粒破碎呈片状结构, 在糊化过程中, 膨化玉米粉的加入减少了淀粉颗粒的穿插缠绕现象, 致使糊化黏度降低^[19]。

刘书航研究指出玉米粉高添加量 (10%、15%) 使玉米-小麦粉的回生值显著增加 ($p < 0.05$), 但混合粉的衰减值无显著性差异 ($p > 0.05$)。本研究结果显示,

随着玉米粉添加量的增大, 回生值和崩解值显著增大 ($p > 0.05$)。可能是玉米淀粉糊化后与水结合能力弱, 使小麦淀粉糊的热稳定性变差。与玉米粉相比, 挤压膨化玉米粉的加入使混合粉的崩解值、回生值显著减小 ($p < 0.05$), 这与刘书航研究一致。随着膨化玉米粉添加量的增加, 崩解值降低 34.07%、回生值降低 50.43%。崩解值越小, 表示淀粉糊的热稳定性越好, 说明挤压膨化玉米粉的加入使小分子颗粒间的结合更加紧密, 在吸水膨胀过程中小分子颗粒不容易胀破^[20], 改善了小麦粉的热稳定性, 使其抗剪切力和耐搅拌力增强^[21]。回生值与淀粉的重新排列有关, 回生值越高, 淀粉越容易老化。挤压膨化混合粉的回生值显著降低, 是由于玉米粉在挤压膨化处理过程中淀粉链断裂, 导致其在糊化降温过程中重新排列缔合的能力减弱。可见, 添加挤压膨化玉米粉能抑制淀粉老化, 延长产品的货架期。

表 3 玉米粉对小麦粉糊化特性的影响

Table 3 The effect of corn flour on gelatinization characteristics of wheat flour

样品	添加量/%	峰值黏度/cp	低谷黏度/cp	崩解值/cp	最终黏度/cp	回生值/cp	糊化时间/min	糊化温度/℃
对照	0.0	1303.33±6.81 ^a	880.67±6.81 ^a	406.00±1.73 ^e	1720.67±2.08 ^c	843.33±6.53 ^d	5.90±0.03 ^a	87.80±0.05 ^b
	5.0	1289.67±2.52 ^{ab}	862.33±3.06 ^{ab}	419.00±2.00 ^d	1726.33±3.08 ^{bc}	863.00±4.00 ^{cd}	5.83±0.03 ^b	87.75±0.05 ^b
	10.0	1281.33±2.75 ^b	842.33±5.04 ^b	431.00±4.36 ^c	1731.00±7.81 ^b	895.33±4.04 ^c	5.78±0.04 ^{bc}	87.75±0.05 ^b
	15.0	1274.00±4.58 ^b	819.00±3.00 ^{bc}	458.33±3.06 ^b	1735.00±3.00 ^b	921.00±4.00 ^b	5.74±0.02 ^c	87.30±0.05 ^b
	20.0	1268.67±2.89 ^b	803.00±4.58 ^c	472.33±7.02 ^a	1742.00±2.00 ^a	939.00±6.56 ^{ab}	5.66±0.03 ^d	86.85±0.10 ^c
	25.0	1234.33±15.86 ^c	774.67±5.13 ^{cd}	478.67±2.52 ^a	1732.67±3.51 ^b	956.00±4.58 ^a	5.61±0.02 ^d	86.45±0.10 ^c
膨化玉米粉	5.0	1172.67±3.51 ^d	757.00±21.38 ^d	402.33±4.93 ^e	1550.00±9.54 ^d	776.33±10.02 ^e	5.80±0.00 ^b	88.53±0.02 ^a
	10.0	999.33±23.86 ^c	630.67±20.43 ^e	368.67±4.16 ^f	1281.00±5.29 ^e	667.00±14.00 ^f	5.51±0.03 ^e	87.83±0.03 ^b
	15.0	937.00±8.66 ^f	610.67±15.04 ^e	333.00±5.29 ^g	1232.33±3.58 ^f	635.00±7.81 ^f	5.51±0.03 ^e	87.73±0.13 ^b
	20.0	806.00±8.19 ^g	520.00±8.66 ^f	292.67±10.50 ^h	1047.67±6.51 ^g	534.33±9.07 ^g	5.35±0.04 ^f	87.82±0.03 ^b
	25.0	578.67±6.66 ^h	344.33±43.09 ^g	267.67±8.62 ⁱ	715.67±5.86 ⁱ	418.00±39.95 ^h	5.22±0.04 ^g	87.83±0.03 ^b

表 4 玉米粉对馒头质构特性的影响

Table 4 The effect of corn flour on texture characteristics of steamed bread

样品	添加量/%	硬度/g	弹性	内聚性	胶着性/g	咀嚼性/g	回复性
对照	0.0	3436.77±132.86 ^e	0.97±0.01 ^b	0.88±0.01 ^b	2874.47±190.78 ^e	2635.25±117.44 ^{de}	0.46±0.01 ^d
	5.0	3597.09±40.69 ^d	0.96±0.01 ^{bc}	0.84±0.01 ^c	3183.92±82.64 ^d	2913.87±62.58 ^{cd}	0.48±0.00 ^c
	10.0	3803.62±40.73 ^c	0.96±0.01 ^{bc}	0.81±0.01 ^d	3253.27±46.16 ^d	3059.63±56.22 ^c	0.46±0.01 ^d
	15.0	3949.79±58.78 ^c	0.95±0.01 ^{cd}	0.80±0.01 ^d	3564.40±18.15 ^c	3387.92±27.47 ^b	0.43±0.00 ^e
	20.0	4637.69±78.20 ^b	0.94±0.01 ^e	0.81±0.03 ^d	3900.00±23.80 ^b	3489.46±54.60 ^b	0.41±0.01 ^f
	25.0	5443.35±51.19 ^a	0.92±0.01 ^d	0.77±0.01 ^e	4597.78±149.68 ^a	3678.14±35.49 ^a	0.41±0.01 ^f
膨化玉米粉	5.0	2552.59±41.79 ^d	0.97±0.00 ^b	0.91±0.01 ^a	2299.37±86.53 ^g	2221.18±88.92 ^f	0.53±0.01 ^a
	10.0	2889.43±58.65 ^c	1.00±0.00 ^a	0.92±0.00 ^a	2741.56±246.60 ^e	2706.61±180.87 ^d	0.52±0.01 ^{ab}
	15.0	2964.57±73.67 ^f	0.96±0.00 ^b	0.89±0.01 ^b	2673.25±116.13 ^{ef}	2527.90±99.66 ^e	0.51±0.01 ^b
	20.0	3317.56±97.61 ^e	0.95±0.00 ^c	0.87±0.01 ^b	3016.95±52.41 ^e	2851.26±123.22 ^d	0.51±0.01 ^b
	25.0	3554.90±111.65 ^{de}	0.94±0.01 ^d	0.85±0.01 ^c	3178.92±37.52 ^{de}	3061.19±54.01 ^c	0.49±0.00 ^c

表5 玉米-小麦粉面团特性与馒头质构特性的相关性

Table 5 Correlation between the dough characteristics of corn-wheat flour and the texture characteristics of steamed bread

参数	硬度	弹性	内聚性	胶着性	咀嚼性	回复性
添加量	0.945**	-0.822**	-0.747**	0.945**	0.978**	-0.969**
形成时间	-0.671*	0.542*	0.658*	-0.668*	-0.850**	0.873**
稳定时间	-0.941**	0.819**	0.708**	-0.918**	-0.944**	0.943**
吸水率	-0.952**	0.850**	0.645*	-0.941**	-0.954**	0.939**
C1-C2	0.870**	-0.739**	-0.660*	0.840**	0.861**	-0.863**
峰值黏度	-0.948**	0.828**	0.779**	-0.960**	-0.867**	0.826**
低谷黏度	-0.946**	0.810**	0.726**	-0.955**	-0.977**	0.940**
崩解值	0.865**	-0.727**	-0.705**	0.876**	0.969**	-0.958**
最终黏度	0.355	-0.227	-0.190	0.336	0.405	-0.453
回生值	0.891**	-0.767**	-0.706**	0.890**	0.970**	-0.965**
糊化时间	-0.931**	0.754**	0.623*	-0.921**	-0.925**	0.904**
糊化温度	-0.957**	0.837**	0.719**	-0.969**	-0.949**	0.917**

注: *: 在0.05水平上显著相关; **: 在0.01水平上极显著相关。

表6 挤压膨化玉米-小麦粉面团特性与馒头质构特性的相关性

Table 6 Correlation between the dough characteristics of extruded corn meal-wheat flour and the texture characteristics of steamed bread

参数	硬度	弹性	内聚性	胶着性	咀嚼性	回复性
添加量	0.970**	-0.708**	-0.927**	0.888**	0.856**	-0.866**
形成时间	-0.889**	0.519*	0.794**	-0.827**	-0.800**	0.785**
稳定时间	-0.963**	0.670*	0.896**	-0.916**	-0.879**	0.824**
吸水率	0.696*	-0.055	-0.452	0.748**	0.779**	-0.556*
C1-C2	0.938**	-0.515*	-0.786**	0.896**	0.864**	-0.717**
峰值黏度	-0.969**	0.658*	0.907*	-0.911**	-0.898**	0.904**
低谷黏度	-0.967**	0.630*	0.870**	-0.905**	-0.909**	0.895**
崩解值	-0.978**	0.699*	0.910**	-0.885**	-0.861**	0.866**
最终黏度	-0.968**	0.630*	0.888**	-0.909**	-0.904**	0.894**
回生值	-0.982**	0.649*	0.885**	-0.912**	-0.907**	0.880**
糊化时间	-0.958**	0.521*	0.800**	-0.944**	-0.935**	0.861**
糊化温度	-0.665*	0.057	0.422	-0.667*	-0.676*	0.575*

2.4 挤压膨化玉米粉对馒头质构特性的影响

冯世德^[22]的研究指出玉米粉添加量在 15~20 g 时,与对照组相比,馒头硬度无显著差异;弹性增加,且差异显著;内聚性、咀嚼性及黏附性变化不显著。本研究结果显示,随着玉米粉添加量的增加,馒头硬度增加 58.41%、弹性下降 5.15%、内聚性下降 12.50%、回复性下降 10.87%、咀嚼性增加 39.58%。可见,添加玉米粉对馒头质构特性影响很大。馒头的品质逐渐下降,这可能是由于玉米粉中不含面筋蛋白,缺乏粘弹性,影响了面团的弹性和延展性;也可能是玉米粉中的蛋白质影响了面筋结构中的二硫键的形成,破坏了面团的微观结构,使得馒头的弹性减

小,硬度增加^[23]。

馒头的弹性、内聚性在膨化玉米粉添加量为 10% 时最大,且显著的高于对照 ($p<0.05$),之后随添加量的增大弹性和内聚性分别下降 3.09%、3.41%。硬度、胶着性和咀嚼性在膨化玉米粉添加量为 20% 时与对照无显著差异,而回复性在膨化玉米粉添加量为 25% 时,仍显著的高于对照 ($p<0.05$)。当添加量相同时,挤压膨化玉米粉馒头的质构特性显著的优于玉米粉馒头 ($p<0.05$)。硬度数值越大,馒头品质越差,而弹性值与成品的品质成正相关,在小麦粉中添加适量膨化玉米粉可以降低馒头的硬度,与刘婷婷和刘卫光的研究结果类似。这可能与膨化玉米粉的持水性增大有关,膨化玉米粉的持水性可延缓淀粉的老化,减小馒头的

硬度,同时增大了馒头的弹性和回复性;过量的膨化玉米粉使面筋蛋白含量降低,不利于面筋结构的形成,馒头内部气孔大而粗糙,使其硬度增大,回复性降低,馒头的质构特性变差。

当添加量相同时,挤压膨化玉米粉馒头黄色较深,Marti等^[24]认为高温加热是产品色泽变深的主要原因。这主要是由于玉米粉在挤压膨化过程中,淀粉类物质在高温的作用下发生糊化和降解,与物料中的蛋白质发生美拉德反应,导致玉米粉的颜色变深。此外,挤压过程中发生美拉德反应,不仅促进淀粉-脂质复合物和蛋白质-脂质复合物生成,还可降低脂肪氧化的速度和程度,从而改善产品口感,延长食品货架期^[11]。

2.5 相关性分析

由表5可知,与除最终黏度外,馒头的质构特性与玉米-小麦混合粉面团的其他参数存在显著的相关性($p<0.05$),其中内聚性的相关性较差;玉米粉的添加量与硬度、胶着性、咀嚼性呈极显著的正相关($p<0.01$),与弹性、内聚性和回复性呈极显著的负相关($p<0.01$)。

由表6可知,除馒头的弹性、内聚性与吸水率、糊化温度无相关性外,馒头的质构特性与挤压膨化玉米-小麦混合粉面团的其他参数存在显著的相关性($p<0.05$),其中硬度的相关性最高,弹性的相关性较差;硬度、胶着性和咀嚼性与形成时间、稳定时间及糊化特性呈显著的负相关($p<0.05$),而弹性、内聚性和回复性与其呈显著的正相关($p<0.05$),所呈现的规律与玉米粉不一致。挤压膨化玉米粉的添加量与硬度、胶着性、咀嚼性呈极显著的正相关($p<0.01$),与弹性、内聚性和回复性呈极显著的负相关($p<0.01$),所呈现的规律与玉米粉一致。

3 结论

3.1 在小麦粉中加入玉米粉和挤压膨化玉米粉,可对面团的粉质特性和糊化特性以及馒头的质构特性产生不同程度的影响。与玉米粉相比,挤压膨化玉米粉不仅能够显著提高面团的吸水率,增加蛋白质的弱化度,缩短稳定时间,降低小麦粉糊化黏度、崩解值和回生值,还能够显著提高馒头的弹性、回复性和内聚性,降低馒头的硬度、胶着性和咀嚼性。挤压膨化玉米粉添加量为10%时,馒头的弹性、内聚性和回复性最大,硬度显著的低于对照组,馒头的口感柔软、筋道,爽口不黏牙,品质最好。与玉米粉相比,挤压膨化玉米粉不仅可以改善小麦粉的热稳定性,延缓面团的老化,也可改善馒头的品质。

3.2 玉米粉添加量、混合粉的粉质特性、糊化特性与

馒头的质构特性显著相关。与玉米混合粉不同,挤压膨化玉米混合粉的最终黏度与馒头的质构特性存在显著的相关性。可通过混合粉的粉质特性、糊化特性对馒头的质构特性进行预测。研究挤压膨化玉米粉对小麦粉面团特性及馒头质构特性的影响,可为挤压膨化玉米粉在发酵制品中的应用提供依据。此外,不同挤压膨化工艺下的挤压膨化玉米粉对小麦粉加工品质的影响,还有待于进一步研究。

参考文献

- [1] 姜南,修琳,刘景圣.改性玉米粉面条品质特性研究[J].食品科学技术学报,2014,32(1):22-26
JIANG Nan, XIU Lin, LIU Jing-sheng. Study on quality characteristics of modified corn flour noodle [J]. Journal of Food Science and Technology, 2014, 32(1): 22-26
- [2] Jafari M, Koocheki A, Milani E. Physicochemical and sensory properties of extruded sorghum-wheat composite bread [J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2018, 12(1): 370-377
- [3] Izydorezyk M S, Jacobs M, Dexter J E. Distribution and structural variation of nonstarch polysaccharides in milling fractions of hull-less barley with variable amylose content [J]. Cereal Chemistry, 2003, 80(6): 645-653
- [4] Naeem H A, Darvey N L, Gras P W, et al. Mixing properties, baking potential, and functionality changes in storage proteins during dough development of triticale-wheat flour blends [J]. Cereal Chemistry, 2002, 79(3): 332-339
- [5] 刘书航,陈洁,许飞.膨化玉米粉对面粉糊化特性及面团流变特性的影响[J].河南工业大学学报(自然科学版),2020, 41(2):58-65
LIU Shu-hang, CHEN Jie, XU Fei. Effects of extruded corn flour on the gelatinization properties of wheat flour and dough rheological properties [J]. Rheological Properties Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2020, 41(2): 58-65
- [6] 刘卫光,高杰,胡喜萍,等.挤压膨化玉米粉对油条加工品质影响研究[J].食品科技,2018,43(9):215-221
LIU Wei-guang, GAO Jie, HU Xi-ping, et al. Effect of addition of extruded corn flour to wheat flour on the quality of fried dough sticks [J]. Food Science and Technology, 2018, 43(9): 215-221
- [7] 刘婷婷,刘健影,徐玉娟,等.膨化玉米粉在面包生产中的应用[J].食品工业,2014,35(1):98-101
LIU Ting-ting, LIU Jian-ying, XU Yu-juan, et al. The application of puffed cornflour in bread production [J]. The

- Food Industry, 2014, 35(1): 98-101
- [8] Švec I, Hrušková M. The mixolab parameters of composite wheat/hemp flour and their relation to quality features [J]. LWT - Food Science and Technology, 2015, 60(1): 623-629
- [9] Torbica A, Draovi M, Tomi J, et al. Utilization of mixolab for assessment of durum wheat quality dependent on climatic factors [J]. Journal of Cereal Science, 2016, 69: 344-350
- [10] American Association of Cereal Chemists Approved Methods of the AACC [S]. Method, 76-21
- [11] 王立,杨懿,钱海峰,等.不同加工方式对淀粉性质的影响[J].食品与生物技术学报,2017,34(2):225-235
WANG Li, YANG Yi, QIAN Hai-feng, et al. Effects of different processing methods on starch properties [J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2017, 34(2): 225-235
- [12] 毋修远,徐超,谢新华,等.青稞棒挤压膨化工艺优化及其品质特性的研究[J].食品研究与开发,2018,39(17):47-53
WU Xiu-yuan, XU Chao, XIE Xin-hua, et al. Optimization of extrusion process of barley flour bar and its influence on quality and processing characteristics [J]. Food Research and Development, 2018, 39(17): 47-53
- [13] 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: 990-996
- [14] 张庆霞.玉米-小麦混合粉面团流变学特性、面条品质及两者相关性[J].食品工业科技,2019,40(22):73-76,81
ZHANG Qing-xia. The rheological properties of dough, the quality of noodles of corn-wheat blended flour and their correlation. [J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(22): 73-76, 81
- [15] LIU Xing-li, MU Tai-hua, SUN Hong-nan, et al. Influence of potato flour on dough rheological properties and quality of steamed bread [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2016, 15(11): 2666-2676
- [16] Martínez M, Oliete B, Gomez M. Effect of the addition of extruded wheat flours on dough rheology and bread quality [J]. Journal of Cereal Science, 2013, 57(3): 424-429
- [17] Patil S S, Rudra S G, Varghese E, et al. Effect of extruded finger millet (*Eleusine coracana* L) on textural properties and sensory acceptability of composite bread [J]. Food Bioscience, 2016, 14: 62-69
- [18] 刘兴丽,赵双丽,靳艳军,等.挤压膨化紫薯粉对小麦面团糊化特性和热机械学特性的影响[J].食品科学,2019,40(15):106-111
LIU Xing-li, ZHAO Shuang-li, JIN Yan-jun, et al. Effect of extruded purple sweet potato flour on the pasting and thermomechanical properties of wheat dough [J]. Food Science, 2019, 40(15): 106-111
- [19] Liu Y, Chen J, Luo S, et al. Physicochemical and structural properties of pre-gelatinized starch prepared by improved extrusion cooking technology [J]. Carbohydrate Polymers, 2017, 175: 265-272
- [20] Lu Z H, Seetharaman K. H-1 Nuclear magnetic resonance (NMR) and differential scanning calorimetry (DSC) studies of water mobility in dough systems containing barley flour [J]. Cereal Chemistry, 2013, 90(2): 120-126
- [21] Yildiz Ö, Toker O S, Yüksel F, et al. Pasting properties of buckwheat, rice and maize flours and textural properties of their gels: effect of ascorbic acid concentration [J]. Quality Assurance and Safety of Crops & Foods, 2017, 9(3): 313-321
- [22] 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
FENG Shi-de, SUN Tai-fan. Effect of corn flour on textural properties of wheat dough and Chinese steamed bread [J]. Food Science, 2013, 34(1): 101-104
- [23] Goesaert H, Brijs K, Veraverbeke W S, et al. Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality [J]. Trends in Food Science & Technology, 2005, 16(1): 12-30
- [24] Marti A, Caramanico R, Bottega G, et al. Cooking behavior of rice pasta: effect of thermal treatments and extrusion conditions [J]. LWT - Food Science and Technology, 2013, 54(1): 229-235