藜麦-小麦粉的流变学特性及其面条研制

梁霞[1,2]，孟婷婷[1,2]，周柏玲[1,2]，田志芳[1]，任元[2]
（1.山西省农业科学院农产品加工研究所，特色农产品加工山西省重点实验室，山西太原 030031）
（2.农业部黄土高原作物基因与种质创制重点实验室，山西太原 030031）

摘要：将藜麦粉以 0%-30%的比例替代高筋小麦粉，研究藜麦粉替代对小麦粉品质特性及面条品质的影响。结果表明：随着藜麦粉替代量的增加，面粉峰值粘度降低 47.73%、湿面筋含量降低 42.52%、沉降值降低 53.32%、稳定时间降低 56.07%、弱化度升高 84.62%，面粉加工品质下降。混合面粉中谷氨酸、脯氨酸含量降低，其余 16 中氨基酸含量上升，赖氨酸、组氨酸含量分别升高 73.33%及 80.00%，最为显著（p<0.05）。赖氨酸、异亮氨酸占总氨基酸比例为 10.94%、12.67%，逐渐接近联合国粮农组织推荐比例。面条感官评价结果显示，15%藜麦粉替代量在降低对照小麦粉面条弹性、硬度、韧性的同时，使面条具有了藜麦的风味与色泽，面条表面光滑、软硬适中，口感较好。混合面粉品质特性与面条感官评价指标的相关性研究显示，湿面筋含量、沉降值、形成时间、稳定时间、延伸度、最大拉伸阻力与面条总分呈极显著正相关，弱化度与面条总分呈极显著负相关，上述指标均与食味呈极显著负相关。该研究可为藜麦粉在面条制品中的应用提供理论依据。

关键词：藜麦粉；品质特性；面条；质构特性；感官评价
文章篇号：1673-9078(2020)07-184-192 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.7.1153

Rheological Properties of Quinoa-wheat Flour and Development of its Noodles

LIANG Xia[1,2], MENG Ting-ting[1,2], ZHOU Bai-ling[1,2], TIAN Zhi-fang[1], REN Yuan[2]
(1.Institute of Agro-Food Science & Technology, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Shanxi Key Laboratory of Special Agricultural Products Processing,Taiyuan 030031 China) (2.Key Laboratory of Crop Gene Resources & Germplasm Enhancement on Loess Plateau, Ministry of Agriculture, Taiyuan 030031, China)

Abstract: The effect of quinoa flour substitution on wheat flour quality and noodle quality was investigated. The results showed that with the increase of quinoa flour substitution, the peak viscosity of flour decreased by 47.73%, wet gluten content decreased by 42.52%, sedimentation value decreased by 53.32%, stabilization time decreased by 56.07%, weakening degree increased by 84.62% and flour processing quality decreased. The contents of glutamic acid and proline in the mixed flour decreased, and the contents of the other 16 amino acids increased. The contents of lysine and histidine increased (p<0.05) by 73.33% and 80.00%, respectively. Lysine and isoleucine accounted for 10.94% and 12.67% of the total amino acids, which were close to the proportion recommended by FAO. The results of noodle sensory evaluation showed that 15% quinoa flour substitution could reduce the elasticity, hardness and toughness of the control wheat flour noodle. Under 15% quinoa flour substitution, the noodle had the flavor and color of quinoa, their surface was smooth, soft and hard moderate, and the taste was good. The results showed that the content of wet gluten, sedimentation value, formation time, stability time, elongation and maximum tensile resistance were positively correlated with the total score of noodles, while the weakening degree was negatively correlated with the total score of noodles, and all of the above indexes were negatively correlated with the taste. Results of this work can provide theoretical basis for the application of quinoa flour in noodle products.

引文格式：
梁霞,孟婷婷,周柏玲,等.藜麦-小麦粉的流变学特性及其面条研制[J].现代食品科技,2020,36(7):184-192
LIANG Xia, MENG Ting-ting, ZHOU Bai-ling, et al. Rheological properties of quinoa-wheat flour and development of its noodles [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(7): 184-192

收稿日期：2019-11-25
基金项目：国家重点研发计划项目（2017YFD0401201）；山西省农业科学院科技创新项目（YCX2018D2T06）；山西省农业科学院“农谷”研发专项（YCX2017D2202）。
作者简介：梁霞（1970-），女，副研究员，研究方向：农产品主食化加工技术

Key words: quinoa flour; quality characteristics; noodles; texture characteristics; sensory evaluation

藜麦原产于南美洲安第斯山脉地区，现今在我国甘肃、山西、青海、内蒙古等 18 个省、市、自治区种植推广[1]。藜麦口感独特，无麸质，富含蛋白质、矿物质、氨基酸、多酚类、多糖类化合物，具有均衡补充营养、减肥、调节免疫和内分泌、辅助治疗等功效[2-5]，被联合国粮农组织正式推荐为最适宜人类的全营养食品[6]。藜麦具有一些谷类作物特性，但是它不属于禾谷类作物，是一种假谷类作物[2]。国外研究发现藜麦可以替代大米粉或玉米粉作为麸质过敏人群的食品[7]；藜麦叶也可以被添加到面包中以代替部分面粉，其感官评分以及抗氧化测试结果都达到令人满意的效果[8]；一种藜麦风味的牛乳具有较高的蛋白含量和较低的升糖指数[9]。目前我国已成为除南美洲安第斯山区、美国之外全球第三大藜麦种植地区[10]。国内市场上藜麦产品以藜麦米为主，藜麦酒、藜麦醋等产品也逐渐被开发。

藜麦在面制品中的应用也逐步开展，张园园[11]研究指出藜麦粉添加量为 15%时面包质构特性较好；刘胜男[12]研究指出藜麦粉添加量 5%~15%时馒头感官综合评价最高；何兴芬等[13]研究指出藜麦粉添加量 25%、谷朊粉用量 3%、食盐用量 2%时面条口感最佳，这些论文在藜麦粉对小麦粉流变学特性及产品品质的影响等方面进行了研究。藜麦粉对小麦粉氨基酸含量及各组分比例的影响、混合面粉品质特性对面条感官评价相关性的研究尚未见报道。分析、研究面粉品质对面条质量的影响，可为完善面条制作工艺标准化、为建立面粉品质与面条质量的关系提供参考[14]。藜麦是全营养食品，面食是我国居民喜爱的主食制品，将藜麦应用于主食制品加工，将扩展藜麦在食品加工中的应用范围，提高其附加值。本文研究的目的在于为藜麦面条制品生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 原料和试剂

藜麦粉：青藜 1 号，由静乐县田园农业综合开发有限公司提供，细度为 100 目；小麦粉：白象高筋小麦粉，广东白燕粮油食业有限公司；蒸馏水，实验室自制。

1.2 仪器与设备

880110 磨粉机，德国 Brabender 公司；Whiteness Checker NW-1 色差仪，日本电色工业株式会社；Brabender GmbH & Co.KG 粘度仪，德国 Brabender 公司；Farinograhp-AT810152 粉质仪，德国 Brabender 公司；EXTENSOGRAPH-E8 607 04 拉伸仪，德国 Brabender 公司；S-433D 全自动氨基酸分析仪，德国塞卡姆科学仪器有限公司；880511/297 576 沉降值仪，德国 Brabender 公司；GM2200 面筋仪，瑞士 Perter 公司；TA-XA PLUS 质构仪，英国 Stable Micro System Ltd。

1.3 藜麦粉替代量的确定

通常小麦高筋粉适宜制作面包、中筋粉适宜制作面条。本试验以藜麦粉替代部分小麦高筋粉制作面条，试图寻找一个合适的替代量，使得面条在筋度降低的同时藜麦风味得以提升，从而获得最佳口感。藜麦粉在小麦高筋粉中的替代比例为 0%、5%、10%、15%、20%、25%、30%。由预实验得知，继续增大添加量，面片酥软，面条易断。

1.4 面粉理化指标测定

色度测定参照 CIELAB 法；灰分测定参照国家标准测定 GB/T 5009.4-2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》；粗蛋白测定参照 GB/T 31578-2015《粮油检验 粮食及制品中粗蛋白测定 杜马斯燃烧法》；粗纤维测定参照 GB/T5009.10-2003《食品中粗纤维的测定方法》；粗纤维测定参照 GB/T 5009.10-2003《食品中粗纤维的测定方法》；沉降值测定参照 SB/T 21119-2007《小麦 沉降指数测定法 Zeleny 试验》；氨基酸含量参照 GB 5009.124-2016《食品中氨基酸的测定》。

1.5 面团热机械学特性指标测

淀粉粘度指标参照 GB/T 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》测定；粉质指标参照 GB/T 14614-2019《小麦粉面团流变学特性测试粉质仪法》测定；拉伸指标参照 GB/T 14615-2019《小麦粉面团流变学特性测试拉伸仪法》测定，重复试验 3 次，取平均值。

1.6 面条制作和感官评价

面条制作方法及评价方法参照叶一力[15]。具体方法为：准确称取藜麦粉和小麦粉混合粉 200 g，加入该种面粉粉质仪所测吸水率约 55%的蒸馏水，加水量可视面粉情况酌情调整。用和面机搅拌 4 min，此时的

料胚是不含干粉的松散颗粒；用电动面条机在压辊轧距第一档处压片、合片，反复 3 次，将压好的面片放于自封袋静置 20 min，之后分别在压面机第二档、第三档、第四档压辊间距上各压 1 次，用切刀切成宽度 2.0 mm、厚度 1.0 mm 的细长面条，再切成长度为 220 mm 的面条放入自封袋中备用。面条感官评价参照 SB/T 10137-93《面条用小麦粉》，由 5~6 位事先经过训练对品尝有经验的人员进行评定，每次评价只选取一个指标进行。

表 1 藜麦面条感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation standard of quinoa noodles

项目	特征	标准/分
色泽/（10 分）	色泽均匀一致，呈浅绿色，有光泽	8.0~10
	色泽较均匀，呈浅灰色或暗绿色，光泽暗淡	5~8
	色泽不均匀，呈浅灰色或暗绿色，无光泽	1~5
表观状态/（10 分）	光滑，规则	8~10
	较光滑，较规则	5~8
	粗糙，变形	1~5
适口性/（20 分）	硬度适中	16~20
	较硬或较软	10~16
	过硬或过软	1~10
韧性/（25 分）	有咬劲、有弹性	21~25
	咬劲或弹性一般	15~21
	咬劲或弹性不足	1~15
粘性/（25 分）	爽口、不粘牙	21~25
	较爽口、稍粘牙	15~21
	不爽口、粘牙	1~15
光滑性/（5 分）	非常光滑	4~5
	比较光滑	3~4
	比较粗糙	1~3
食味/（5 分）	有明显藜麦香味	4~5
	藜麦香味不明显	3~4
	无藜麦香味	1~3
总分	100	

1.7 面条蒸煮特性测定

1.7.1 面条吸水率

参照 Zhou[16]的方法，取 20 g（G_1）面条，放入煮沸的蒸馏水中煮至白芯消失，捞出后均匀摊开于滤纸上，静置 2 min，称重（G_2），计算面条吸水率。

吸水率（%）=（G_2-G_1）×100/G_1

1.7.2 面条蒸煮损失率

参照张剑等[17]的方法，将 1.7.1 所剩的面汤放至室温后，倒入 500 mL 的容量瓶中，用蒸馏水冲洗盛面汤的容器数次，将冲洗的水一并转人容量瓶中，定容至 500 mL 并混合均匀，吸取 25 mL 面汤放入 250 mL 已恒重（G3）的烧杯中，置于 105 ℃烘箱内烘干至衡重(G_4)；同时再称取 20 g 鲜面条放入已衡重(G5)托盘中，置于 105 ℃烘箱内烘干至衡重（G6）。

$$蒸煮损失率(\%) = 20\times\frac{G_4-G_3}{G_6-G_5}\times100\%$$

1.8 面条 TPA 特性测定

将 22 cm 面条切成 8 cm 长度，取 3 根 8 cm 的面条在蒸馏水中煮沸 2 min，捞出后用流动的蒸馏水冲淋 10 s，放在滤纸上吸去水分后平行放置于载物台上，面条间行距 0.8 cm。使用 P/75 探头，测前速度 2.00 mm/sec，测中速度 1.00 mm/sec，测后速度 1.00 mm/sec，应变 75%，时间 5.00 sec，触发力 5.0 g。共进行 6 次平行试验，去掉最大值、最小值，求平均值。

1.9 面条剪切特性测定

面条前处理同 1.8。使用 A/LKB-F 切刀，下降速度 0.17 mm/sec，测后速度 10.00 mm/sec，位移 4.8 mm。

共进行 6 次平行试验，去掉最大值、最小值，求平均值。

1.10 面条拉伸特性测定

取 1 根 22 cm 长的面条在蒸馏水中煮沸 2 min，捞出后用流动的蒸馏水冲淋 10 s，放在滤纸上吸去水分后缠绕固定于 2 根探测棒上。使用 A/SDR 探头，测前速度 1.00 mm/sec，测中速度 3.00 mm/sec，测后速度 10.00 mm/sec，触发力 5.0 g。共进行 6 次平行试验，去掉最大值、最小值，求平均值。

1.11 数据处理

数据应用SPSS 18.0和Excel进行统计分析。其中，显著性分析采用 LSD（L）检验。

2 结果与讨论

2.1 藜麦粉替代对小麦粉理化特性的影响

表 2 藜麦粉替代对小麦粉理化特性的影响

Table 2 Effect of quinoa flour substitution on physical and chemical properties of wheat flour

指标	藜麦粉替代量/%						
	0	5	10	15	20	25	30
L*	90.70±0.05^{a}	84.10±0.10^{b}	80.00±0.02^{c}	79.30±0.03^{d}	78.80±0.10^{e}	77.40±0.05^{f}	76.90±0.06^{g}
a*	2.70±0.03^{f}	3.60±0.08^{e}	4.50±0.05^{d}	4.70±0.04^{c}	5.00±0.01^{b}	5.10±0.04^{a}	5.30±0.10^{a}
b*	7.40±0.06^{g}	8.70±0.12^{f}	9.60±0.12^{e}	10.00±0.05^{d}	10.30±0.08^{c}	10.60±0.14^{b}	10.90±0.05^{a}
蛋白质/%	13.85±0.12^{d}	13.90±0.04^{d}	14.11±0.05^{c}	14.26±0.04^{b}	14.43±0.12^{b}	14.75±0.06^{a}	14.94±0.06^{a}
粗纤维/%	1.00±0.04^{f}	1.04±0.06^{e}	1.15±0.05^{d}	1.17±0.02^{c}	1.20±0.03^{b}	1.21±0.11^{b}	1.23±0.07^{a}
灰分/%	0.62±0.05^{g}	0.64±0.07^{f}	0.69±0.10^{e}	0.72±0.09^{d}	0.77±0.05^{c}	0.80±0.05^{b}	0.85±0.04^{a}
淀粉/%	62.41±0.16^{a}	62.10±0.10^{b}	61.66±0.07^{c}	61.38±0.12^{d}	61.54±0.10^{d}	60.81±0.25^{f}	60.05±0.12^{g}
湿面筋含量/%	33.47±0.14^{a}	32.54±0.21^{b}	31.18±0.15^{c}	28.97±0.09^{d}	26.03±0.13^{e}	22.96±0.05^{f}	19.24±0.08^{g}
沉降值/mL	46.83±0.12^{a}	44.34±0.16^{b}	40.60±0.04^{c}	37.52±0.02^{d}	33.65±0.11^{e}	26.04±0.09^{f}	21.86±0.04^{g}

注：同行不同字母表示差异显著（p<0.05）。

随着藜麦粉添加量的增大，面粉亮度 L*降低，色泽 a*（红色）、b*（黄色）升高，面粉颜色趋于绿色，样品间差异显著。面粉色泽的变化会导致面条色泽加深，趋于绿色。面粉粗纤维及灰分含量分别上升 23.00%、37.10%，这是由于藜麦粉中膳食纤维及矿物质含量较高所致[18]，纤维及灰分会直接影响面粉的加工特性和内在品质[19]。湿面筋含量和沉降值是衡量面粉筋度的重要指标，这两项指标分别降低 42.52%、53.32%，说明藜麦粉的加入稀释了小麦粉面筋蛋白，减弱了面团形成稳固网络结构的能力，面粉加工品质变差。LS/T3202-93 要求制作面条的面粉湿面筋含量≧26%，藜麦粉替代量大于 20%时不适宜制作面条。

2.2 藜麦粉替代对小麦粉氨基酸组分的影响

随着藜麦粉替代量的增加，面粉中谷氨酸、脯氨酸含量降低，其余 16 种氨基酸含量升高。藜麦富含其它谷物中普遍缺乏的第一限制性氨基酸赖氨酸[20]，混合面粉中赖氨酸含量上升 73.33%、组氨酸含量上升 80.00%，面粉营养特性得到提升[21]。30%混合面粉中赖氨酸、异亮氨酸占总氨基酸的比例为 10.94%、12.67%，逐渐接近联合国粮农组织推荐 12.50%及 12.90%的比例，其余组分或偏离推荐比例或变化不显著。

表 3 藜麦粉替代对小麦粉氨基酸组分的影响

Table 3 Effect of quinoa flour substitution on amino acid composition of wheat flour

指标	藜麦粉替代量/%						
	0	5	10	15	20	25	30
赖氨酸/%	0.30±0.01^{f}	0.31±0.01^{f}	0.33±0.00^{e}	0.35±0.02^{d}	0.40±0.01^{c}	0.47±0.02^{b}	0.52±0.02^{a}
色氨酸/%	0.09±0.01^{b}	0.09±0.3^{b}	0.11±0.03^{a}	0.10±0.02^{ab}	0.10±0.00^{ab}	0.12±0.05^{a}	0.11±0.01^{a}
苯丙氨酸/%	0.72±0.02^{c}	0.72±0.03^{c}	0.70±0.05^{d}	0.71±0.04^{d}	0.73±0.01^{c}	0.75±0.02^{b}	0.78±0.05^{a}
蛋氨酸/%	0.12±0.00^{c}	0.11±0.01^{d}	0.14±0.01^{b}	0.13±0.02^{b}	0.14±0.01^{a}	0.14±0.02^{a}	0.15±0.03^{a}
苏氨酸/%	0.44±0.01^{e}	0.44±0.02^{e}	0.45±0.00^{d}	0.46±0.04^{d}	0.50±0.02^{c}	0.55±0.03^{b}	0.58±0.05^{a}

转下页

接上页

异亮氨酸/%	0.58±0.03^{b}	0.54±0.02^{c}	0.52±0.03^{d}	0.55±0.01^{c}	0.52±0.05^{d}	0.57±0.02^{b}	0.60±0.06^{a}
亮氨酸/%	0.82±0.01^{g}	0.84±0.05^{f}	0.89±0.03^{e}	0.93±0.10^{d}	1.10±0.04^{c}	1.16±0.01^{b}	1.28±0.05^{a}
缬氨酸/%	0.70±0.05^{e}	0.71±0.02^{d}	0.72±0.01^{d}	0.75±0.01^{c}	0.66±0.02^{f}	0.78±0.01^{b}	0.82±0.05^{a}
天冬氨酸/%	0.64±0.03^{g}	0.67±0.01^{f}	0.70±0.01^{e}	0.72±0.05^{d}	0.79±0.08^{c}	0.81±0.10^{b}	0.86±0.03^{a}
丝氨酸/%	0.66±0.05^{d}	0.67±0.02^{d}	0.65±0.02^{e}	0.71±0.01^{c}	0.73±0.02^{b}	0.74±0.06^{b}	0.78±0.10^{a}
谷氨酸/%	5.40±0.15^{a}	5.22±0.20^{b}	4.83±0.19^{c}	4.60±0.12^{d}	4.25±0.10^{e}	3.79±0.06^{f}	3.38±0.14^{g}
脯氨酸/%	0.99±0.10^{a}	0.96±0.05^{b}	0.90±0.06^{c}	0.85±0.04^{d}	0.84±0.10^{d}	0.84±0.08^{d}	0.80±0.05^{e}
甘氨酸/%	0.51±0.02^{f}	0.56±0.04^{e}	0.63±0.01^{d}	0.68±0.06^{c}	0.71±0.10^{b}	0.73±0.22^{a}	0.72±0.15^{a}
丙氨酸/%	0.43±0.04^{d}	0.42±0.04^{d}	0.45±0.06^{c}	0.44±0.07^{c}	0.44±0.10^{c}	0.50±0.05^{b}	0.55±0.05^{a}
胱氨酸/%	0.18±0.01^{b}	0.19±0.01^{a}	0.16±0.00^{c}	0.17±0.02^{b}	0.18±0.05^{b}	0.16±0.01^{c}	0.20±0.02^{a}
酪氨酸/%	0.14±0.00^{b}	0.14±0.02^{b}	0.15±0.01^{a}	0.16±0.05^{a}	0.14±0.01^{b}	0.15±0.04^{a}	0.15±0.02^{a}
组氨酸/%	0.25±0.05^{e}	0.26±0.06^{e}	0.33±0.02^{d}	0.39±0.01^{c}	0.42±0.08^{b}	0.44±0.04^{a}	0.45±0.05^{a}
精氨酸/%	0.30±0.04^{f}	0.33±0.01^{f}	0.41±0.01^{e}	0.47±0.05^{d}	0.55±0.10^{c}	0.61±0.11^{b}	0.68±0.08^{a}
总量/%	13.3±0.25^{b}	13.18±0.33^{b}	13.07±0.20^{c}	13.17±0.25^{b}	13.20±0.15^{b}	12.31±0.16^{a}	13.41±0.22^{a}

注：同行不同字母表示差异显著（p<0.05）。

表 4 藜麦粉替代对人体必需氨基酸比例的影响

Table 4 Effect of quinoa meal substitution on the proportion of essential amino acids in human body

指标		各组分占总氨基酸比例/%							
		亮氨酸	异亮氨酸	缬氨酸	赖氨酸	苏氨酸	蛋氨酸	苯丙氨酸	色氨酸
藜麦粉替代量/%	0	22.06	15.32	18.54	7.90	11.60	3.27	19.05	2.48
	5.0	22.35	14.72	19.25	8.13	11.51	3.14	18.43	2.64
	10.0	23.13	13.56	18.77	8.87	11.70	3.67	18.16	2.86
	15.0	24.70	13.60	19.94	8.84	12.11	3.38	18.71	2.85
	20.0	26.55	12.59	15.9	9.63	12.09	3.44	17.69	2.44
	25.0	25.47	12.98	18.04	10.50	11.64	3.20	16.73	2.22
	30.0	26.84	12.67	17.23	10.94	12.15	3.12	16.30	2.39
联合国粮农组织规定比例		17.20	12.90	14.10	12.50	10.00	10.70	19.50	3.10

表 5 藜麦粉替代对小麦面团热机械学特性的影响

Table 5 Effect of quinoa flour substitution on the thermo mechanical properties of wheat dough

指标		藜麦粉替代量/%						
		0	5	10	15	20	25	30
起始糊化温度/℃		80.00±0.37^{a}	73.70±0.25^{f}	74.10±0.34^{e}	74.40±0.45^{e}	75.40±0.26^{d}	76.50±0.30^{c}	77.20±0.28^{b}
峰值粘度/BU		176±3.23^{a}	157±2.55^{b}	120±2.69^{c}	116±3.10^{d}	114±3.33^{d}	107±2.78^{e}	93±2.90^{f}
最终粘度/BU		291±4.68^{a}	255±3.92^{b}	203±3.44^{c}	200±4.01^{d}	197±3.69^{e}	192±3.72^{f}	185±3.28^{g}
崩解值/BU		41±0.25^{a}	39±0.33^{b}	37±0.21^{c}	33±0.36^{d}	31±0.19^{e}	27±0.37^{f}	25±0.25^{g}
回生值/BU		176±4.01^{a}	146±3.55^{b}	114±2.48^{c}	111±3.13^{d}	109±3.45^{e}	95±1.87^{f}	86±2.10^{g}
吸水率%		57.30±0.64^{e}	57.90±0.55^{e}	62.20±0.64^{d}	63.30±0.40^{c}	64.10±0.35^{b}	64.50±0.52^{b}	65.40±0.48^{a}
形成时间/min		7.00±0.42^{d}	7.30±0.59^{b}	8.20±0.55^{a}	7.40±0.34^{c}	7.10±0.33^{d}	6.70±0.45^{e}	6.50±0.30^{f}
稳定时间/min		10.70±0.12^{a}	8.40±0.25^{b}	6.70±0.33^{c}	6.90±0.24^{d}	6.30±0.30^{e}	6.00±0.15^{f}	4.70±0.20^{g}
弱化度/FU		65±1.52^{g}	70±2.11^{f}	87±1.65^{e}	90±1.44^{d}	101±2.25^{c}	114±1.67^{b}	120±1.40^{a}
拉伸能量/cm^2	45 min	221±8.70^{a}	205±6.66^{b}	173±5.48^{c}	165±5.59^{d}	150±7.04^{e}	130±6.32^{f}	125±5.09^{g}
	90 min	238±7.22^{a}	210±6.31^{b}	200±6.45^{c}	179±5.88^{d}	162±4.26^{e}	152±6.00^{f}	142±5.27^{g}
	135 min	185±3.25^{a}	166±2.44^{b}	136±3.16^{c}	138±4.05^{d}	130±3.27^{e}	126±2.88^{f}	113±3.73^{g}

转下页

接上页

延伸度/mm	45 min	152±2.17^{b}	160±3.09^{a}	151±2.50^{b}	150±2.44^{c}	147±3.28^{d}	141±2.60^{e}	133±2.89^{f}
	90 min	127±0.86a	128±0.75a	123±0.98b	120±1.12c	112±1.04d	111±0.67d	103±0.73d
	135 min	110±2.50^{a}	107±2.31^{b}	105±1.86^{c}	104±2.14^{c}	100±2.67^{d}	98±1.55^{e}	96±1.78^{f}
拉伸阻力/EU	45 min	632±5.41^{c}	654±6.33^{b}	660±4.97^{a}	573±5.88^{e}	586±5.10^{d}	560±6.27^{f}	523±6.16^{g}
	90 min	876±10.02^{f}	926±10.70^{e}	1000±12.34^{c}	1109±14.94^{b}	1150±17.63^{a}	1010±10.86^{b}	974±12.25^{d}
	135 min	924±8.45^{g}	930±6.58^{f}	1000±7.09^{d}	1145±8.58^{b}	1248±6.34^{a}	1117±7.17^{c}	988±6.94^{e}
最大拉伸阻力/EU	45 min	755±12.40^{f}	868±10.56^{d}	932±11.60^{c}	960±10.77^{b}	987±8.91^{a}	859±11.64^{e}	704±12.30^{g}
	90 min	901±9.91^{g}	916±8.77^{f}	1000±11.12^{e}	1177±12.06^{b}	1301±7.88^{a}	1126±9.06^{d}	1167±10.59^{c}
	135 min	947±12.65^{g}	985±14.33^{f}	1000±10.54^{e}	1155±11.70^{d}	1321±13.00^{a}	1217±12.35^{b}	1196±14.47^{c}

注：同行不同字母表示差异显著（p<0.05）。

2.3 藜麦粉替代对小麦面团热机械学特性的影响

张园园[11]研究指出藜麦粉替代量 5%与对照相比、20%与 25%相比，粉质特性变化不显著。本研究结果显示，随着藜麦粉替代量的增加，面团吸水率升高 14.14%，稳定时间下降 56.07%，弱化度升高 84.62%，形成时间在替代量 10%之前上升 17.2%、之后下降 20.72%。刘胜男[12]研究指出藜麦粉替代量 5%时弱化度降低，本研究结果显示，随着藜麦粉替代量的增大，弱化度呈显著上升趋势。藜麦粉不含面筋蛋白使面团网络面筋结构稳定性下降，面团筋力减弱、加工性变差[22]。对小麦高筋粉来说，适当程度降低面团筋度可使得面条硬度、韧性降低，有利于提升口感。

随着藜麦粉替代量的增加，面团拉伸能量显著降低，同一替代量醒面 90 min 拉伸能量高于 45 min、135 min 时间段；面团延伸度显著下降，同一添加量醒面 45 min 面团延伸度高于 90 min、135 min 时间段；拉伸阻力及最大拉伸阻力均是先增后减，在藜麦粉替代量 20%、醒面 135 min 时达到最大，不同于张园园[11]研究显示拉伸阻力及最大拉伸阻力均呈下降趋势

随着藜麦粉替代量的增加，面粉糊化温度降低 3.50%、峰值粘度降低 47.73%、最终粘度降低 36.42%。糊化温度表征淀粉糊化的难易程度，与面条的色泽、硬度、黏弹性等呈正相关[23]。郑学玲等[25]研究指出峰值粘度降低可能是由于藜麦粉中支链淀粉含量较高所致[24],面条品质变差。随着藜麦粉替代量的增加面粉崩解值、回生值降低，说明藜麦淀粉热稳定性提高、抗老化性能较强，与焦梦月[26]、于跃等[27]研究结果一致。

综合分析藜麦粉替代小麦粉糊化、粉质、拉伸特性可得出随着替代量的增加，面粉加工品质逐渐劣化。

2.4 面条蒸煮特性及感官评价

表 6 面条蒸煮特性及感官评价

Table 6 Noodle cooking characteristics and sensory evaluation

藜麦粉替代量/%	面条蒸煮损失率%	面条吸水率%	面条感官评价							
			色泽/10 分	表观状态/10 分	软硬度/20 分	韧性/25 分	粘性/25 分	光滑性/5 分	食味/5 分	总分/100 分
0.0	5.44±0.25^{f}	89.21±0.38^{f}	7.20	8.80	16.00	22.50	20.70	4.80	1.00	81.0
5.0	5.48±0.11^{f}	89.45±0.45^{f}	7.50	8.70	17.30	21.70	21.40	4.60	1.30	82.5
10.0	5.62±0.20^{e}	90.11±0.66^{e}	7.80	8.40	17.80	22.10	21.70	4.30	3.00	85.1
15.0	6.44±0.14^{d}	91.47±0.24^{d}	8.10	7.80	18.50	23.50	21.00	4.20	3.40	86.5
20.0	7.79±0.08^{c}	92.25±0.60^{c}	8.30	7.00	15.60	22.40	19.10	4.00	3.90	79.9
25.0	8.44±0.15^{b}	96.57±0.55^{b}	7.50	6.50	14.30	19.50	16.60	3.50	4.20	72.1
30.0	8.73±0.10^{a}	101.96±0.71^{a}	5.70	5.40	11.10	15.60	15.20	3.10	4.50	60.6

注：同列不同字母表示差异显著（p<0.05）。

面条煮后鲜重主要受面筋强度及部分淀粉糊化特性的影响[28]，添加了藜麦粉的面条蒸煮损失率上升 37.69%，是由于面粉筋力下降导致面团网络结构减弱了对淀粉粒的束缚作用，使蒸煮过程中淀粉容易溶出。面条吸水率增加 14.29%，可能是由于藜麦粉中膳食纤维含量较高及蛋白组分与小麦粉不同所致，面条的吸水率与面条耐煮性呈负相关[28]。感官评价结果显示，随着藜麦粉替代量的增加，面条藜麦风味增强，色泽

由米白色逐渐趋于绿色，光泽度、光滑性下降。对照小麦粉面条口感偏硬，柔韧性不足。藜麦粉替代量达到15%时，面条呈浅绿色，表面有光泽，硬度、粘性及弹性适中。继续增大添加量，面条变软、黏弹性变差，当藜麦粉替代量达到25%时，面条硬度显著下降，变得粘牙、不爽口。15%藜麦粉替代量面条得分最高，这是由于15%替代量在适当降低面条硬度、韧性的同时使面条具有了藜麦特有的风味与色泽，因而获得较好口感。何兴芬等[13]研究指出藜麦粉添加量25%、谷朊粉用量3%、食盐用量2%时面条口感最佳，本研究显示在不使用添加剂的情况下，15%藜麦粉添加量面条口感最佳。

2.5 面条质构特性

表7 面条质构特性

Table 7 Texture characteristics of noodles

藜麦粉添加量/%	TPA试验					剪切试验		拉伸试验	
	挤压硬度/g	弹性	黏聚性/gs	回复性	咀嚼度	剪切硬度/g	韧性/gs	最大拉伸力/g	拉伸距离/mm
0.0	2070±14.32^{a}	0.91±0.08^{a}	0.80±0.07^{a}	0.76±0.10^{a}	1439±8.5^{a}	335±8.50^{b}	753±10.65^{b}	37.50±0.66^{a}	72.90±1.80^{a}
5.0	2021±11.38^{b}	0.90±0.04^{a}	0.78±0.09^{b}	0.75±0.04^{a}	1417±11.3^{b}	342±4.79^{a}	761±6.82^{a}	37.80±0.74^{a}	70.10±1.37^{b}
10.0	1955±10.80^{c}	0.88±0.12^{b}	0.77±0.11^{b}	0.69±0.05^{b}	1361±7.1^{c}	323±3.96^{c}	742±12.27^{c}	35.90±0.31^{b}	65.60±0.95^{c}
15.0	1833±16.45^{d}	0.85±0.05^{c}	0.75±0.20^{c}	0.66±0.05^{c}	1333±8.7^{d}	306±7.33^{d}	736±7.55^{d}	33.40±0.44^{c}	61.20±0.74^{d}
20.0	1728±7.93^{e}	0.82±0.01^{d}	0.75±0.03^{c}	0.65±0.12^{c}	1299±6.6^{e}	278±6.53^{e}	724±9.91^{e}	28.50±0.53^{d}	53.70±1.07^{e}
25.0	1710±13.24^{f}	0.80±0.21^{e}	0.74±0.14^{d}	0.58±0.11^{d}	1270±11.0^{f}	243±6.40^{f}	588±4.76^{f}	24.00±0.45^{e}	50.00±0.48^{f}
30.0	1701±20.25^{g}	0.80±0.16^{e}	0.74±0.05^{d}	0.54±0.04^{e}	1265±12.7^{g}	204±5.86^{g}	496±3.68^{g}	22.30±0.32^{f}	45.40±1.30^{g}

注：同行不同字母表示差异显著（p<0.05）。

TPA试验结果显示，随着藜麦替代量的增加，面条挤压硬度17.83%、弹性下降12.09%、黏聚性下降7.50%、回复性28.95%、咀嚼度下降12.09%。剪切试验结果显示，5%藜麦面条的剪切硬度及韧性分别高于对照，之后随着藜麦粉替代量的增加，面条剪切硬度下降40.35%、韧性下降34.82%。拉伸试验结果显示，面条最大拉伸力及拉伸距离在藜麦粉替代量5%时高于对照，之后随着藜麦粉替代量的增加，最大拉伸力下降40.53%、最大拉伸距离下降41.01%。藜麦粉的加入削弱了面团内部网络面筋稳定性，导致面条质构特性总体劣化，而一定程度的劣化在降低面条硬度、韧性的同时，可获得风味，口感方面的提升。

2.6 藜麦粉替代小麦面粉品质特性与面条感官评价指标的相关性

表8 藜麦粉替代小麦面粉品质特性与面条感官评价指标的相关性

Table 8 Correlation between quality characteristics of wheat flour replaced by quinoa flour and sensory evaluation indexes of noodles

指标	色泽	表观状态	软硬度	韧性	粘性	光滑性	食味	总分
湿面筋含量	-0.402*	0.994**	0.170	0.816**	0.905**	0.947**	-0.935**	0.631**
沉降值	-0.383*	0.984**	0.168	0.850**	0.920**	0.956**	-0.984**	0.654**
吸水量	0.712**	-0849**	0.296	-0.541**	-0.664**	-0.849**	-0.951**	-0.258
形成时间	0.079	0.660**	0.581**	0.651**	0.703**	0.493*	-0.478*	0.662**
稳定时间	-0.634**	0.784**	0.690**	0.529**	0.595**	0.782**	-0.849**	0.536**
弱化度	-0.524**	-0.940**	0.015	-0.755**	-0.839**	-0.957**	0.953**	-0.518**
拉伸能量	-0.612**	0.906**	-0.131	0.697**	0.780**	0.871**	-0.932**	0.410*
延伸度	-0.233	0.918**	0.265	0.797**	0.890**	0.841**	-0.779*	0.665**
最大拉伸阻力	0.759**	0.280	0.951**	0.611**	0.544**	0.581**	-0.472*	0.845**
峰值粘度	-0.653**	0.830**	-0.272	0.574**	0.660**	0.830**	-0.893**	0.280

注：*表示显著相关，**表示极显著相关。

面粉品质是影响面条感官、色泽、表观状态、粘性、弹性和总评分的主要因素[12]。混合粉的湿面筋含量、沉降值与面条感官评价总分呈极显著正相关，这两项指标下降，面条表观状态、韧性、粘性、光滑性变差。面团形成时间、稳定时间与面条表观状态、软硬度、韧性、粘性、光滑性及感官评价总分呈极显著正相关，形成时间、稳定时间降低降低，面条的光泽度、光滑性、硬度、弹性、爽口性变差。弱化度与面

条表观状态、韧性、粘性、光滑性及感官评价总分呈极显著负相关，弱化度升高，面条总分降低。延伸度、最大拉伸阻力与面条表观状态、韧性、粘性及光滑性及感官评价总分呈极显著正相关，延伸度及最大拉伸降低，面条的色泽、光滑性、弹性、爽口性变差。面团吸水量与峰值粘度对面条部分指标有影响，与面条总分相关性不显著。上述指标与食味均呈极显著负相关，说明藜麦粉的添加在弱化面条品质的同时增强了面条风味。

3 结论

3.1 以0%~30%藜麦粉替代小麦高筋粉，混合面粉湿面筋含量、沉降值、稳定时间、峰值粘度降低，弱化度升高，面粉加工品质下降。面粉中赖氨酸、组氨酸含量显著升高，必须氨基酸中赖氨酸、异亮氨酸含量逐渐接近联合国粮农组织推荐比例，加入藜麦粉后，面粉营养特性得到增强。藜麦粉替代部分小麦粉面条蒸煮特性逐渐变差；质构特性中挤压硬度、弹性、黏聚性、回复性、咀嚼度均呈下降趋；感官评价总分在藜麦粉添加量15%达到最高。这是由于15%替代量在减弱小麦高筋粉面条硬度、弹性的同时，增强了藜麦特有的风味，因而获得较好的口感。混合面粉品质特与面条感官评价指标的相关性显示，湿面筋含量、沉降值、形成时间、稳定时间、延伸度、最大拉伸阻力与面条总分呈极显著正相关，弱化度与面条总分呈极显著负相关，上述指标与食味呈极显著负相关。

3.2 研究藜麦-小麦混合面粉品质特性及其加工适应性，可为开发藜麦面制品提供依据，加速藜麦深加工产品开发，如半干面、糕点、冲调粉等，对提高藜麦附加值、带动产业多元化发展有积极作用。

参考文献

[1] 任贵兴,杨修仕,么杨.中国藜麦产业现状[J].作物杂志,2015,5:1-5
REN Gui-xing, YANG Xiu-shi, YAO Yang. Current situation of quinoa industry in China [J]. Crops, 2015, 5: 1-5

[2] 胡一晨,赵钢,秦培友,等.藜麦活性成分研究进展[J].作物学报,2018,44(11):1579-1591
HU Yi-chen, ZHAO Gang, QING Pei-you, et al. Research progress on bioactive components of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) [J]. Acta Agronomica Sinica, 2018, 44(11): 1579-1591

[3] 王晨静,赵习武,陆国权,等.藜麦特性及开发利用研究进展[J].浙江农林大学学报,2014,31(2):296-301
WANG Chen-jing, ZHAO Xi-wu, LU Guo-quan, et al. A review of characteristics and utilization of *Chenopodium quinoa* [J]. Journal of Zhejiang A & F University, 2014, 31(2): 296-301

[4] 任妍婧,谢薇,江帆,等.藜麦粉营养成分及抗氧化活性研究[J].中国粮油学报,2019,34(3):15-18
REN Yan-jing, XIE Wei, JIANG-Fan, et al. Comparison on nutritional components and antioxidant activities of quinoa flour [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2019, 34(3): 15-18

[5] Stikic R, Glamoclija D, Demin M, et al. Agronomical and nutritional evaluation of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.) as an ingredient in bread formulations [J]. Journal of Cereal Science, 2012, 55(2): 132-138

[6] Proinpa R W. Quinoa: an Ancient Crop to Contribute to World Food Security [M]. Santiago:Regional Office for Latin America and the Caribbean, 2011: 7-12

[7] Elgeti D, Nordlohne S D, Foste M, et al. Volume and texture improvement of gluten-free bread using quinoa white flour [J]. Journal of Cereal Science, 2014, 59(59): 41-47

[8] Gawlik-Dziki U, Dziki D, Swieca M, et al. Bread enriched with *Chenopodium quinoa* leaves powder-the procedures for assessing the fortification efficiency [J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 62(2): 1226-1234

[9] Pineli L D L D O, Botelho R, Zandonadi R P, et al. Low glycemic index and increased protein content in a novel quinoa milk [J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 63(2): 1261-1267

[10] 廖晶.基于山西藜麦包装的设计研究[D].武汉:湖北工业大学,2018
LIAO Jing. Research of the Shanxi quinoa packaging design based [D]. Wuhan: Hubei University of Technology, 2018

[11] 张园园.藜麦-小麦混粉面团流变学特性及藜麦面包工艺优化[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2017
ZHANG YUAN-Yuan. Quinao-wheat mixed flour dough rheological properties and the process optimization of quinoa bread [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2017

[12] 刘胜男,范刘敏,张嵘,等.藜麦粉对面团粉质特性与馒头品质的影响[J].轻工报,2018,33(6):63-70
LIU Sheng-nan, FANG Liu-min, ZHANG Rong, et al. Effect of buckwheat flour on dough rheological properties and steamed bun quality [J]. Journal of Light Industry, 2018, 33(6): 63-70

[13] 何兴芬,杨富民,张学梅,等.不同加工条件对藜麦面条质构特性的影响[J].包装与食品机械,2019,37(2):12-18

HEN Xing-fang, YANG Fu-min, ZHANG Xue-mei, et al. Effects of different processing conditions on texture properties of quinoa noodles [J]. Packaging and Food Machinery, 2019, 37(2): 12-18

[14] 张波,魏益民,李韦谨.影响面条感官质量的因素分析[J].中国农业科学,2012,45(12):2447-2454
ZHANG Bo, WEI Yi-min, LI Wei-jin. Comparison of factors influencing noodle sensory qualities [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2012, 45(12): 2447-2454

[15] 叶一力,何中虎,张艳.不同加水量对中国白面条品质性状的影响[J].中国农业科学,2010,43(4):795-804
YE Yi-li, HE Zhong-hu, ZHANG Yan. Effects of different water addition levels on chinese white noodle quality [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(4): 795-804

[16] Zhou Bailing. gluten enhances cooking, eextural, and sensory properties of oat noodles [J]. Cereal Chem, 2011, 88(3): 228-233

[17] 张剑,李梦琴,龚向哲,等.小麦品质性状与鲜湿面条品质指标关系的研究[J].中国粮油学报,2008,23(2):20-24
ZHANG Jian, LI Meng-qin, GONG Xiang-zhe, et al. Relationship between wheat flour traits and quality indexes of fresh-wet noodles [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2008, 23(2): 20-24

[18] 申瑞玲,张文杰,董吉林,等.藜麦的主要营养成分、矿物元素及植物化学物质含量测定[J].郑州轻工业学院学报,2015,11(30):17-21
SHEN Rui-lin, ZHANG Wen-jie, DONG Ji-lin, et al. Determination of main nutritional component, mineral element and phytochemical in *Chenopodium quinoa* Willd [J]. Journal of Zhenzhou University of Light Industry, 2015, 11(30): 17-21

[19] 王永吉.小麦灰分形成及其与加工品质的关系[D].扬州:扬州大学,2005
WANG Yong-ji. Formation of ash and its relation with processing quality in wheat [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2005

[20] Scanlin L, Lewisk A. Quinoa as a Sustainable Protein Source: Production, Nutrition, and Processing [M]. Sustainable Protein Sources, Pittsburgh: Academic Press, 2017: 223-238

[21] 申瑞玲,张文杰,董吉林,等.藜麦的营养成分、健康促进作用及其在食品工业中的应用[J].中国粮油学报,2016,31(9):150-155
SHEN Rui-ling, ZHANG Wen-jie, DONG Ji-lin, et al. Nutritional components，health-promoting effects of quinoa (*Chenopodium quinoa*) and its application in the food industry [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2016, 31(9): 150-155

[22] 罗登林,陈瑞红,刘娟,等.短链菊粉对中筋粉面团流变学特性的影响[J].中国粮油学报,2015,30(6):1-4
LUO Den-lin, CHEN Rui-hong, LIU Juan, et al. Effect of short-chain inulin on the rheological properties of plain flour dough [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2015, 30(6): 1-4

[23] 陈东升,C.Kiribuchi-Otobe,徐兆华,等.Waxy 蛋白缺失对小麦淀粉特性和中国鲜面条品质的影响[J].中国农业科学,2005,38(5):865-873
CHEN Dong-sheng, C.Kiribuchi-Otobe, XU Zhao-hua, et al. Effect of Wx-A1, Wx-B1 and Wx-D1 protein on starch properties and chinese fresh noodle quality [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2005, 38(5): 865-873

[24] 孔露,孔茂竹,余佳熹,等.藜麦淀粉消化特性与理化特性研究[J].食品科技,2019,44(4):285-289
KONG Lu, KONG Mao-zhu, YU Jia-xi, et al. Digestibility and physicochemical properties of quinoa starch [J]. Food Science and Technology, 2019, 44(4): 285-289

[25] 郑学玲,尚加英,张杰.面粉糊化特性与面条品质关系的研究[J].河南工业大学学报,2010,31(6):1-5
ZHENG Xue-lin, SHANG Jia-ying, ZHANG Jie. Relationship between gelatinization properties of wheat flour and noodle quality [J]. Journal of Henan University of Technology, 2010, 31(6): 1-5

[26] 焦梦月.藜麦淀粉特性、结构及其对Ⅰ型糖尿病小鼠的影响[D].保定:河北农业大学,2019
JIAO Meng-yue. Characteristics and structure of quinoa starch and its effect on type i diabetic mice [D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2019

[27] 于跃,顾音佳.藜麦的营养物质及生物活性成分研究进展[J].粮食与油脂,2019,32(5):4-6
YU Yue, GU Yin-jia. Research progress on nutrients and bioactive components of quino [J]. Grain and Oil, 2019, 32(5): 4-6

[28] 张艳,闫俊,肖永贵.中国鲜面条耐煮特性及评价指标[J].作物学报,2012
ZHANG Yan, YAN-Jun, XIAO Yong-gui. Characteristics and evaluation parameters associated with cooking quality of Chinese fresh noodle [J]. Acta Agronomica Sinica, 2012, 38(11): 2078-2085