

# 大麦粉改善生鲜湿面的品质特性

姬生鑫<sup>1</sup>, 李真<sup>1,2</sup>, 索标<sup>1,2</sup>

(1. 河南农业大学食品科学技术学院, 河南郑州 450002) (2. 农业部大宗粮食加工重点实验室, 河南郑州 450002)

**摘要:** 通过添加不同比例的大麦粉(10%~60%)配成大麦-小麦混合粉, 研究大麦-小麦混合粉的糊化特性和面团的流变学特性以及生鲜湿面的色泽、蒸煮损失率、断条率、质构特性。结果表明, 当大麦粉添加量 30%时混合粉的峰值黏度、崩解值、最终黏度和回生值升高幅度最大, 升幅分别为 50 cP、42 cP、39.66 cP、31.67 cP; 生鲜湿面的硬度、内聚性和回复性分别升高了 23.77%、6.85%、8.64%; 拉断力和拉伸距离分别降低了 13.80%、70.22%; 在大麦粉添加量 40%时, 生鲜湿面的蒸煮损失率和断条率分别提高了 37.36%、10.83%。随大麦粉的添加比例升高, 面团弹性模量、黏性模量增大,  $\tan\delta$  值降低; 面片的亮度显著下降。综合考虑, 大麦全粉添加比例小于 30%时, 混合粉仍具有较好的加工特性, 生鲜湿面的整体品质可被接受, 更高比例的加入会导致生鲜湿面蒸煮损失率和硬度显著升高。

**关键词:** 大麦粉; 生鲜湿面; 蒸煮损失率; 质构特性; 糊化特性

文章编号: 1673-9078(2020)03-196-204

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.3.026

## Improvement of Quality of Wet-fresh Noodles by Barley Flour

Ji Sheng-xin<sup>1</sup>, Li Zhen<sup>1,2</sup>, Suo Biao<sup>1,2</sup>

(1. College of Food Science and Technology, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

(2. Key Laboratory of Staple Grain Processing, Ministry of Agriculture, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** To study the paste properties of barley-wheat mixed flour and the rheological properties of dough as well as the color, loss of cooking, broken rate, textural properties of wet-fresh noodles, different proportion of barley flour (10%~60%) were mixed into wheat flour. The results showed that adding barley flour at 30% caused the greatest rise in the peak viscosity, breakdown, final viscosity, setback of mixed flour, with the increase of 50 cP, 42 cP, 39.66 cP and 31.67 cP, respectively; The hardness, Cohesiveness and resilience of wet-fresh noodles increased by 23.77%, 6.85% and 8.64%, respectively; The breaking force and stretching distance were reduced by 13.80% and 70.22%, respectively; When the content of barley flour was 40%, the cooking loss rate and the broken rate of wet-fresh noodles were increased by 37.36% and 10.83%, respectively. As the proportion of barley flour increased, the elastic modulus and the viscous modulus of dough were increased, while the  $\tan\delta$  value was decreased. The brightness of dough sheet decreased significantly. Taken together, the mixed flour still had good processing properties and the overall quality of wet-fresh noodles was acceptable when whole-barley flour addition ratio was less than 30%, higher proportion of the addition would significant increase the loss of cooking and the hardness of the wet-fresh noodles.

**Key words:** barley flour; wet-fresh noodles; loss of cooking; textural properties; paste properties

引文格式:

姬生鑫, 李真, 索标. 大麦粉改善生鲜湿面的品质特性[J]. 现代食品科技, 2020, 36(3): 196-204

Ji Sheng-xin, Li Zhen, Suo Biao, et al. Improvement of quality of wet-fresh noodles by barley flour [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(3): 196-204

面条作为大多数亚洲国家的主食, 具有食用方便、种类丰富、物美价廉等特点, 占据广阔的消费市场。

收稿日期: 2019-09-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(31601506); 河南省高等学校重点科研项目(16A550011); 河南农业大学博士科研启动基金项目(30601015)

作者简介: 姬生鑫(1997-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 谷物加工及大米制品品质控制

通讯作者: 李真(1983-), 女, 博士, 讲师, 研究方向: 谷物加工及大米制品品质控制

生鲜湿面是面条的初始形态, 其天然的风味和口感而一直受到人们的喜爱<sup>[1]</sup>。随着人们饮食品质的上升, 消费观念的改变, 口感上的美味已经满足不了大众的要求, 人们更注重营养化、健康化的饮食。因此, 在面条中有必要实施营养强化, 使之从充饥型食品向营养化和健康化食品转换。

大麦(*Hordeum vulgare* L.)是可溶性和不溶性膳食纤维的公认来源, 特别是 $\beta$ -葡聚糖, 具有有益的生理功能(降血浆胆固醇、改善脂质代谢、降低血糖指

数等)<sup>[2,3]</sup>。据美国食品药品监督管理局(FDA)指出每天摄入大麦和燕麦中 $\geq 3$  g的可溶性膳食纤维( $\beta$ -葡聚糖)有助于降低总胆固醇和低密度脂蛋白胆固醇,从而降低患心脏病的风险<sup>[4,5]</sup>。大麦中还存在一些植物化学物质有抗氧化能力,可能对于某些类型的癌症、心血管疾病和退化性疾病有一定的抑制作用<sup>[6]</sup>。所以越来越多的研究将大麦等杂粮粉部分或完全代替小麦粉来制备功能性食品<sup>[7]</sup>。大麦从古代就已被人类食用,但其用于创造新型大麦食品的潜力尚未得到充分发掘<sup>[8]</sup>,开发大麦食品具有广阔前景。

近年来,各种杂粮面制品发展较快,调节了人们的膳食结构。国内外把荞麦<sup>[9]</sup>、高粱<sup>[10]</sup>、青稞<sup>[11]</sup>、藜麦<sup>[12]</sup>、燕麦<sup>[13]</sup>、黑麦<sup>[14]</sup>等杂粮和小麦粉复合已慢慢应用于馒头、面包、饼干、面条等面制品中。国内外对大麦的研究主要集中在面包等发酵面制品中,而对非发酵面制品如面条的研究还相对较少。李真等<sup>[15]</sup>研究添加10%~60%大麦粉对面包烘烤品质的研究,发现添加大麦粉超过30%之后会出现面包品质劣化的问题。Ereifej等<sup>[16]</sup>也指出添加大麦面粉达30%制备的大麦面包具有可接受的感官品质,但是进一步加入大麦粉会降低面包的感官特性。Dhingra等<sup>[17]</sup>报道大豆粉(全脂和脱脂)和大麦粉可以单独或组合添加至面包粉中,含量分别为10%和15%,而感官特征没有任何显著变化。祝莹等<sup>[18]</sup>通过以20%~80%的大麦全粉替代低筋小麦粉制作饼干。温纪平等<sup>[19]</sup>通过大麦粉(10%~40%)和谷朊粉的结合研制大麦面条,确定大麦粉添加量小于30%,谷朊粉添加量控制在2%~3%做出的面条可被接受。丁捷等<sup>[20]</sup>探讨不同青稞与麦芯粉比例对速冻面条品质的影响,青稞粉与麦芯粉比例为1:6时,速冻面条品质最佳。Lee等<sup>[21]</sup>将20%大麦粉替代小麦粉制作面条,重点研究添加大麦粉后,面条中的 $\beta$ -葡聚糖含量及抗氧化效果。

迄今为止国内外把大麦粉添加到生鲜湿面中的研究依然较少,且国内对大麦的关注度远低于其他杂粮。本文主要以生鲜湿面为对象,研究不同替换比例大麦粉对混合粉糊化特性和面团流变特性及对生鲜湿面蒸煮特性、质构特性、色泽影响等角度出发,确定大麦粉在生鲜湿面中的适宜添加量,旨在为大麦粉在面制品中应用提供可靠的理论依据,也为后期高比例大麦面条品质的改良与研发奠定基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 主要试验材料

小麦粉(不含任何添加剂),克明面业股份有限

公司;大麦(扬饲麦3号),盐城市双增农化科技有限公司。

### 1.2 主要仪器与设备

TA.XTPlus质构仪,英国Stable Micro System公司;CR-5色差仪,深圳市天有利标准光源有限公司;RVA4500快速黏度分析仪,波通瑞华科学仪器(北京)有限公司;DHR-2流变仪,美国TA公司;电动压面机,永康市五瑞工贸有限公司;DFY-500摇摆式高速粉碎机,温岭市林大机械有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 大麦粉的制备

大麦经脱壳、清洗、烘干、粉碎、过80目筛制成大麦粉,-18℃藏备用。

#### 1.3.2 混合粉的制备

分别以10%、20%、30%、40%、50%、60%的大麦粉替代相应比例的小麦粉,混合均匀。以不添加大麦粉的小麦粉作为空白对照组。

#### 1.3.3 小麦粉及大麦粉基本理化指标的测定

灰分测定:按GB/T 5009.4-2010标准执行,马弗炉法;水分测定:快速水分测定仪;粗脂肪含量测定:按GB/T 14772-2008标准执行,索氏抽提法;粗蛋白含量测定:按GB/T 5009.5-2010标准执行,凯氏定氮法。

#### 1.3.4 混合粉糊化特性的测定

根据陈书攀方法<sup>[22]</sup>略作修改,试验中取3 g混合粉(含14%的湿基含水量),25 g蒸馏水,用搅拌桨快速搅拌,使样品均匀分散在水相中,无生粉存在,置于仪器中,驱动测试程序,开始测定。测定程序为:初始温度为50℃保持1 min,然后以12℃/min升到95℃在95℃保持2.5 min,再以12℃/min降到50℃保持2 min,整个测定过程为13 min。

#### 1.3.5 面团流变特性的测定

参照George等<sup>[23]</sup>的方法略作修改,取10 g混合粉加入74%的蒸馏水,和面5 min,将面团置于流变仪载物台中间,选用40 mm平板探头,使夹具调置2 mm,修边以消除测试过程中多余面团对结果的影响,加矿物油密封,静置5 min以消除残余应力,先进行应力扫描来确定黏弹性范围,之后再频率扫描获得面团的流变学特性。测试条件:温度为25℃0.1%的应变,扫描频率0.1~10 Hz。

#### 1.3.6 生鲜湿面的制作工艺

参照任立焕等<sup>[24]</sup>的方法略作修改,取100 g混合粉放入和面盆内,空白组加入混合粉质量35%的蒸馏

水,随着大麦粉添加比例的增加,蒸馏水以 2% 的梯度上升。将蒸馏水均匀的加入面粉中,和面 5 min,使之形成松散的面絮状,用保鲜膜盖实盆口,静置 20 min,将熟化后的面絮用小型压面机进行 13 道反复压延,进一步促进面筋网络的形成,最后切制成规格为 3 mm 宽,1.5 mm 厚的生鲜湿面。

### 1.3.7 生鲜面片色泽的测定

参照 Lamberts 等<sup>[25]</sup>方法略作修改,把压延后的面带有圆形模具制成直径为 57 mm 的圆形面片,放入自封袋中,使用全自动色差仪进行测定,重复测 8 次。然后将圆形面片分别置于 4 °C 冰箱和 25 °C 恒温培养箱中保存 24 h 后再测定面片色泽。褐变计算公式如下:

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

式中:  $\Delta L^* = L^*(0 \text{ h}) - L^*(24 \text{ h})$ ;  $\Delta a^* = a^*(24 \text{ h}) - a^*(0 \text{ h})$ ;  $\Delta b^* = b^*(24 \text{ h}) - b^*(0 \text{ h})$

白度计算公式如下:

$$W = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}} \quad (2)$$

### 1.3.8 生鲜湿面熟断条率及蒸煮特性的测定

参照 LS/T 3212-2014,分别测定生鲜湿面最佳蒸煮时间、蒸煮损失率和断条率。

### 1.3.9 生鲜湿面质构特性的测定

#### 1.3.9.1 生鲜湿面 TPA 指标的测定

参照王灵昭等方法<sup>[26]</sup>。采用 P50 探头在压缩模式下考察大麦粉对生鲜湿面质构特性的影响。参数设置:测前速度 2.0 mm/s;测试速度 0.8 mm/s;测后速度 0.8 mm/s;两次时间间隔 1 s;压缩比 75%;触发力 5 g。

(1) 生面条 TPA 质构的测定:取三根 10 cm 的生鲜湿面置于载物板上,三根面条之间留有一定间隙并平行于载物台侧边,每个样品重复 6 次,去除可疑值后求平均值。

(2) 熟面条 TPA 质构的测定:用 500 mL 沸水蒸煮 20 根 22 cm 的生鲜湿面,煮到最佳蒸煮时间,取出放于冷水中冷却 1 min,然后把熟面条平铺于托盘里沥干水分,TPA 测试过程参照生面条测定方法。

#### 1.3.9.2 生鲜湿面拉伸特性的测定

参照姜海燕等方法<sup>[27]</sup>对生鲜湿面拉伸特性的测定。

## 1.4 数据处理

每个试验至少重复 3 次,结果表示为:平均值±标准差。采用 SPSS 16.0 和 Excel 2016 进行数据处理和相关性分析,用 Origin 8.5 进行图像分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 大麦粉和小麦粉的基本指标

表 1 大麦粉和小麦粉主要成分含量

Table 1 The main components of barley and wheat flour

项目	水分含量/%	粗蛋白含量/%	粗脂肪含量/%	灰分/%	湿面筋含量/%
小麦粉	13.46±0.36 <sup>a</sup>	10.11±0.25 <sup>b</sup>	0.79±0.05 <sup>b</sup>	0.46±0.01 <sup>b</sup>	31.67±0.01
大麦粉	8.71±0.33 <sup>b</sup>	12.21±0.11 <sup>a</sup>	2.40±0.02 <sup>a</sup>	1.71±0.04 <sup>a</sup>	0

注:同列均值有相同字母上标者表示不存在显著性差异 ( $p>0.05$ ),下表 6~9 同。

由表 1 可知,试验所用大麦粉和小麦粉水分含量、粗蛋白含量、粗脂肪含量、灰分和湿面筋含量分别为 8.71%、12.21%、2.40%、1.71% 和 0%,小麦粉依次为 13.46%、10.11%、0.79%、0.46% 和 31.67%。大麦粉的粗蛋白质含量显著高于小麦粉,脂肪含量大约是小麦粉的 3 倍,灰分含量大约是小麦粉的 3.7 倍,刘宏<sup>[28]</sup>研究表明随着麸皮和胚芽的加入粗蛋白、粗脂肪和灰分都显著上升。所以主要原因可能在于本试验所采用的大麦粉,是由大麦籽粒经粗脱皮后磨粉而得的全大麦粉,其含有大量的麸皮和完整的胚芽,而小麦粉是市售精加工小麦面粉,因此大麦粉中脂肪含量、灰分含量均显著高于小麦粉。大麦粉由于自身蛋白质组成及连接方式的限制无法形成具有网络结构的面筋蛋白,因此全大麦粉基本洗不出面筋,其湿面筋含量记为 0%,这也是为何全大麦粉不能像小麦粉一样形成具有黏弹

性的面筋网络结构的重要原因之一,因此大麦粉需与小麦粉以一定的比例混合使用才可以用于一些面制品的制备。

### 2.2 大麦粉对混合粉糊化特性的影响

面粉糊化特性与面条品质高低相关,是评价面条品质好坏的重要指标<sup>[29]</sup>。由表 2 可知,当大麦粉添加量为 30% 时,其峰值黏度、崩解值、最终黏度和回生值升高幅度最大,升幅分别为 50 cP、42 cP、39.66 cP、31.67 cP。混合粉峰值黏度升高可能是因为由于大麦全粉中富含  $\beta$ -葡聚糖,大麦中  $\beta$ -葡聚糖是由  $\beta$ -D-吡喃葡萄糖基分子通过形成  $\beta$ - (→3) 或  $\beta$ - (1→4) 键组成的黏性多糖,使得  $\beta$ -葡聚糖具有高黏性,因此大麦粉的添加增加了混合粉的黏度。崩解值表示淀粉的耐剪切程度,崩解值越大,耐剪切性越差。混合粉崩解值

升高其主要原因可能在于：一方面大麦粉的添加使淀粉颗粒在加热过程中不稳定，其耐剪切性越来越差；另一方面，大麦粉中含有大量的β-葡聚糖，和水形成高黏度凝胶，体系的黏度增大，附着在淀粉颗粒上的剪切力变大，对淀粉颗粒的破坏作用增强<sup>[30,31]</sup>。回生

值主要反映了淀粉重新结晶的程度，由表2可知，随大麦粉添加量的增大，混合粉回生值逐渐增大，表明大麦粉添加量越大，混合粉中的淀粉越容易发生老化，越不利于生鲜湿面的贮藏。

表2 大麦粉添加量对混合粉糊化特性的影响

Table 2 Effects of barley flour addition on pasting properties of mixed flour

大麦粉添加量/%	峰值黏度/cP	谷值黏度/cP	崩解值/cP	最终黏度/cP	回生值/cP
0	1022.67±13.50 <sup>f</sup>	686.67±21.01 <sup>a</sup>	336.00±18.52 <sup>e</sup>	1527.67±16.17 <sup>f</sup>	841.00±11.14 <sup>g</sup>
10	1046.33±12.06 <sup>ef</sup>	711.67±4.16 <sup>a</sup>	334.67±11.37 <sup>ef</sup>	1562.33±7.57 <sup>e</sup>	850.67±6.11 <sup>fg</sup>
20	1067.33±12.10 <sup>de</sup>	711.67±8.50 <sup>a</sup>	355.67±5.03 <sup>def</sup>	1575.67±12.50 <sup>de</sup>	864.00±6.00 <sup>ef</sup>
30	1117.33±25.32 <sup>c</sup>	719.67±7.51 <sup>a</sup>	397.67±18.50 <sup>c</sup>	1615.33±24.01 <sup>bc</sup>	895.67±17.04 <sup>d</sup>
40	1132.00±17.78 <sup>bc</sup>	707.00±16.46 <sup>a</sup>	425.00±3.61 <sup>b</sup>	1605.33±23.71 <sup>cd</sup>	898.33±10.12 <sup>cd</sup>
50	1158.00±18.68 <sup>ab</sup>	706.67±9.07 <sup>a</sup>	451.33±10.02 <sup>a</sup>	1638.33±23.16 <sup>ab</sup>	931.67±14.19 <sup>b</sup>
60	1168.33±8.08 <sup>a</sup>	699.33±6.81 <sup>a</sup>	469.00±13.45 <sup>a</sup>	1655.33±4.16 <sup>a</sup>	956.00±9.64 <sup>a</sup>

### 2.3 大麦粉对生鲜湿面流变特性的影响

图1表示添加不同比例的大麦粉对面团流变特性的影响。由图1可知，面团的弹性模量(G')和黏性模量(G'')均随着频率增加呈显著增加的趋势，损耗角正切呈先降低后升高的趋势。小麦粉中加入大麦粉，面团的G'和G''随着大麦粉添加量的增加逐步升高，且损耗角正切值tanδ均小于1，该结果与黄连燕<sup>[32]</sup>研究结果相似。与空白组相比发现10%添加量的大麦粉G'和G''变化不大，但是随着大麦粉添加量增加粘弹性模量显著升高。G'与G''随着频率增加而上升，所以表现出典型的弱凝胶动态流变图谱<sup>[33]</sup>。随着大麦粉的加入使得混合粉中膳食纤维含量增大，膳食纤维与面筋蛋白的竞争性吸水作用会引起面团黏弹性基质的润滑作用降低，膳食纤维还可能会充当前面团黏弹性基质的填充物，从而导致面团粘弹性模量增加，也可能是因为随着大麦粉添加导致β-葡聚糖的含量较高，从而使面团体系的粘度增大<sup>[13]</sup>。由图1可知，相比于空白组，随着大麦粉添加量超过10%时损耗角正切值一直在变小，且损耗角正切值tanδ均小于1，表明体系的弹性比例越大，流动性越差，体系组分中高聚物数量越多或聚合度越大<sup>[34]</sup>。

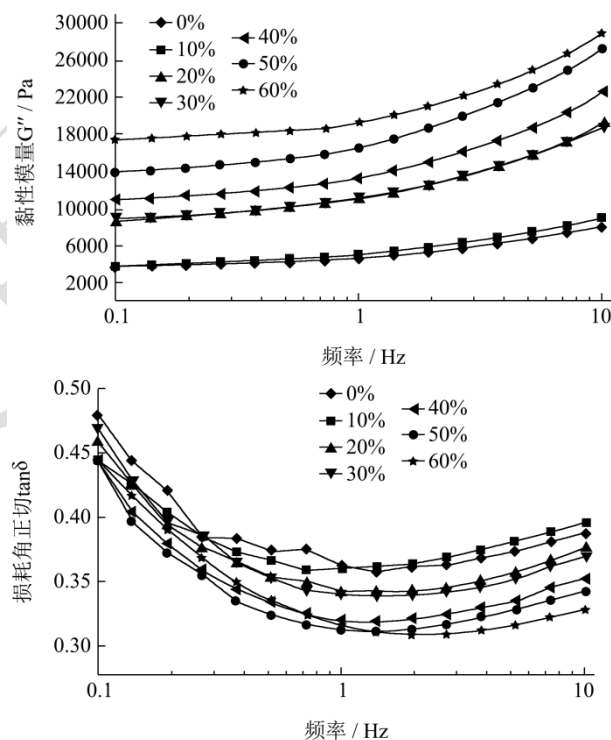
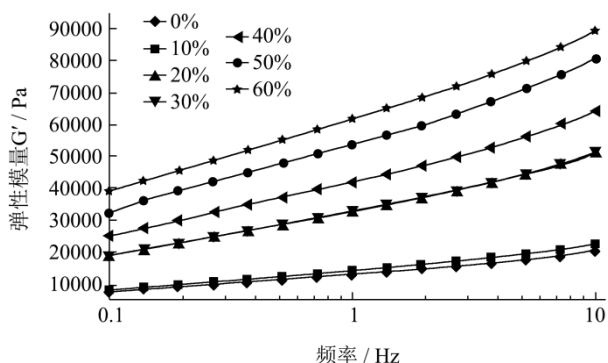


图1 大麦粉不同添加量对面团流变特性的影响

Fig.1 Effect of different addition amount of barley flour on rheological properties of dough

### 2.4 大麦粉对面片色泽的影响

由表3、表4和表5可知，对于刚制备0h的生鲜湿面，大麦粉添加量为20%时，与空白相比L\*值显著性减小(p<0.05)，a\*值和b\*值显著性增大(p<0.05)，说明生鲜湿面亮度显著降低，也有淡黄色向黄色转变的趋势，并且生鲜湿面的白度显著降低，一方面可能是因为大麦中蛋白含量很高，所以随着混合比例越大蛋白含量越高。有研究表明面粉蛋白质含量与生鲜湿



面亮度值呈负相关<sup>[35]</sup>, 具有较高蛋白质含量的面粉比低蛋白质含量的面粉制备的生鲜湿面更暗。另一方面可能是因为试验中制备大麦粉的大麦为粗脱大麦, 只脱去外壳, 含有大量麸皮, 麸皮的大量存在严重影响着生鲜湿面的亮度<sup>[36]</sup>。不过, STAUFFRE 等<sup>[37]</sup>认为,

以谷物为基础的产品的棕色被认为是一种健康的替代品, 可以替代白色、精制和营养不良的产品。因此, 添加大麦粉后生鲜湿面颜色虽然变暗, 但更容易被追求健康的人们接受。

表3 大麦粉添加量对面片色泽的影响 (4 °C)

Table 3 Effects of barley flour addition on color of dough sheet

大麦粉添加量/%	0 h			24 h			ΔE*
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	
0	80.33±0.25 <sup>a</sup>	0.87±0.02 <sup>g</sup>	14.65±0.52 <sup>g</sup>	75.56±0.47 <sup>a</sup>	0.93±0.08 <sup>g</sup>	14.17±0.38 <sup>de</sup>	4.83±0.34 <sup>d</sup>
10	75.37±0.44 <sup>b</sup>	1.58±0.12 <sup>f</sup>	14.75±0.28 <sup>fg</sup>	70.25±0.54 <sup>b</sup>	2.06±0.10 <sup>f</sup>	14.08±0.41 <sup>e</sup>	5.21±0.83 <sup>cd</sup>
20	74.05±0.44 <sup>c</sup>	2.38±0.12 <sup>e</sup>	15.26±0.34 <sup>def</sup>	67.04±0.77 <sup>c</sup>	2.86±0.13 <sup>e</sup>	14.83±0.40 <sup>bc</sup>	7.07±0.90 <sup>b</sup>
30	72.88±0.36 <sup>d</sup>	2.59±0.06 <sup>d</sup>	15.14±0.28 <sup>efg</sup>	65.08±0.17 <sup>d</sup>	3.43±0.18 <sup>d</sup>	14.82±0.40 <sup>c</sup>	7.86±0.47 <sup>a</sup>
40	70.41±0.47 <sup>e</sup>	3.13±0.09 <sup>c</sup>	15.77±0.39 <sup>c</sup>	62.92±0.36 <sup>e</sup>	3.98±0.06 <sup>c</sup>	15.65±0.37 <sup>a</sup>	7.56±0.75 <sup>ab</sup>
50	68.63±0.54 <sup>f</sup>	3.47±0.25 <sup>bc</sup>	15.84±1.04 <sup>bc</sup>	61.41±0.51 <sup>f</sup>	4.31±0.17 <sup>b</sup>	15.46±0.27 <sup>a</sup>	7.37±0.71 <sup>ab</sup>
60	66.63±0.45 <sup>g</sup>	3.92±0.06 <sup>a</sup>	16.47±0.19 <sup>a</sup>	59.29±0.34 <sup>g</sup>	4.59±0.09 <sup>a</sup>	15.56±0.27 <sup>a</sup>	7.44±0.60 <sup>ab</sup>

注: (1) 同列均值有相同字母上标者表示不存在显著性差异 ( $p>0.05$ ); (2) 贮藏条件: 4 °C 存放 24 h。表 4 同。

表4 大麦粉添加量对面片色泽的影响 (25 °C)

Table 4 Effects of barley flour addition on color of dough sheet

大麦粉添加量/%	0 h			24 h			ΔE*
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	
0	83.51±0.29 <sup>a</sup>	0.93±0.08 <sup>g</sup>	13.13±0.47 <sup>e</sup>	73.21±0.66 <sup>a</sup>	1.40±0.23 <sup>f</sup>	13.41±1.91 <sup>f</sup>	10.48±0.86 <sup>bcd</sup>
10	76.47±0.39 <sup>b</sup>	1.45±0.09 <sup>f</sup>	14.53±0.29 <sup>bc</sup>	66.04±0.55 <sup>b</sup>	2.10±0.25 <sup>e</sup>	14.16±0.98 <sup>ef</sup>	10.50±0.81 <sup>abcd</sup>
20	74.16±0.53 <sup>c</sup>	2.13±0.11 <sup>e</sup>	13.96±0.87 <sup>d</sup>	64.36±0.61 <sup>c</sup>	2.81±0.35 <sup>d</sup>	15.48±1.18 <sup>cd</sup>	10.02±0.49 <sup>cd</sup>
30	71.92±0.33 <sup>d</sup>	2.56±0.07 <sup>d</sup>	14.99±0.47 <sup>abc</sup>	62.06±0.56 <sup>d</sup>	3.07±0.26 <sup>c</sup>	14.96±1.27 <sup>de</sup>	10.02±0.83 <sup>d</sup>
40	71.08±0.47 <sup>e</sup>	2.85±0.06 <sup>c</sup>	14.61±0.30 <sup>b</sup>	60.31±1.05 <sup>e</sup>	3.93±0.35 <sup>b</sup>	15.57±1.39 <sup>bcd</sup>	10.94±1.10 <sup>ab</sup>
50	70.40±0.42 <sup>f</sup>	3.11±0.13 <sup>b</sup>	14.91±0.44 <sup>abc</sup>	59.24±0.55 <sup>f</sup>	4.34±0.14 <sup>a</sup>	16.46±0.77 <sup>abc</sup>	11.36±0.79 <sup>a</sup>
60	68.43±0.66 <sup>g</sup>	3.35±0.13 <sup>a</sup>	15.21±0.67 <sup>a</sup>	57.80±0.66 <sup>g</sup>	4.49±0.11 <sup>a</sup>	16.83±0.59 <sup>a</sup>	10.84±1.13 <sup>abcd</sup>

表5 大麦粉添加量对面片白度的影响

Table 5 Effects of barley flour addition on the whiteness of dough sheet

大麦粉添加量/%	4 °C		25 °C	
	0 h	24 h	0 h	24 h
	0	75.45±0.11 <sup>a</sup>	71.73±0.21 <sup>a</sup>	78.90±0.07 <sup>a</sup>
10	71.25±0.23 <sup>b</sup>	67.02±0.31 <sup>b</sup>	72.30±0.17 <sup>b</sup>	63.13±0.12 <sup>b</sup>
20	69.80±0.20 <sup>c</sup>	63.74±0.53 <sup>c</sup>	70.54±0.05 <sup>c</sup>	61.03±0.07 <sup>c</sup>
30	68.83±0.17 <sup>d</sup>	61.91±0.02 <sup>d</sup>	68.06±0.06 <sup>d</sup>	59.09±0.04 <sup>d</sup>
40	66.32±0.22 <sup>e</sup>	59.54±0.16 <sup>e</sup>	67.47±0.28 <sup>e</sup>	57.16±0.44 <sup>e</sup>
50	64.67±0.02 <sup>f</sup>	58.20±0.35 <sup>f</sup>	66.71±0.16 <sup>f</sup>	55.82±0.21 <sup>f</sup>
60	62.58±0.48 <sup>g</sup>	56.18±0.21 <sup>g</sup>	64.79±0.29 <sup>g</sup>	54.34±0.38 <sup>g</sup>

注: (1) 同列均值有相同字母上标者表示不存在显著性差异 ( $p>0.05$ ); (2) 贮藏条件: 4 °C 存放 24 h, 25 °C 存放 24 h。

在 4 °C 条件下贮藏 24 h, 发现大麦粉 20% 添加量 ΔE\* 升高幅度和白度降低幅度最大。可能是因为大麦全粉中含有麸皮和胚芽, 其中多酚氧化酶、脂肪氧合酶等的含量增加, 加上酚类及脂肪等氧化底物的含量也随之增加, 因此更易发生褐变、脂肪酸败变质等劣

变反应<sup>[38]</sup>。然而在 25 °C 贮藏 24 h 发现不同添加量 ΔE\* 均大于 6.0, 并且随着大麦粉的添加量增加 ΔE\* 没有显著性差异。可能是因为贮藏温度太高褐变程度太大, 因此不同添加量的大麦粉之间没有显著性差异。生鲜湿面在 4 °C 贮藏 24 h 相比于 25 °C 贮藏其褐变程度降

低和白度升高。

## 2.5 大麦粉对生鲜湿面蒸煮特性的影响

表 6 大麦粉添加量对生鲜湿面蒸煮损失和断条率的影响

Table 6 Effect of barley flour addition on cooking and broken

rate loss of noodle		
大麦粉添加量/%	蒸煮损失率/%	断条率/%
0	6.05±0.12 <sup>bc</sup>	0.00±0.00 <sup>c</sup>
10	5.40±0.09 <sup>c</sup>	3.33±1.44 <sup>de</sup>
20	5.99±1.02 <sup>c</sup>	5.83±1.44 <sup>cde</sup>
30	6.63±0.91 <sup>bc</sup>	7.50±2.50 <sup>cd</sup>
40	8.31±1.32 <sup>a</sup>	10.83±2.89 <sup>bc</sup>
50	7.42±0.31 <sup>ab</sup>	16.67±1.44 <sup>b</sup>
60	8.67±0.51 <sup>a</sup>	50.83±7.64 <sup>a</sup>

蒸煮损失是评价面条产品质量的重要指标之一<sup>[39]</sup>。如表 6 所示,相对于空白组来说大麦粉添加量为 10%、20%的面条蒸煮损失率和断条率有降低趋势,但差异性不显著 ( $p>0.05$ ), 可能是因为大麦粉中存在着水溶性半纤维素、戊聚糖、水溶性胶质等水溶性黏性物, 这些物质在吸水后具有良好的黏性, 有代替面筋的效果<sup>[19]</sup>。但是当大麦粉添加量为 40%时, 相比于空白组蒸煮损失率和断条率显著性提高了 37.36%、10.83%, 一方面是因为大麦粉的添加“稀释”了面团中

的面筋蛋白, 淀粉不能被紧密地包裹在面筋网络结构中, 从而无法形成连续而紧密的面筋网络结构<sup>[40]</sup>; 另一方面可能与大麦粉中大量存在的  $\beta$ -葡聚糖有关, 其强吸水性使得它与蛋白“抢夺”游离水分子, 导致面筋水化严重不足, 无法形成强韧的网络结构, 结构比较松散, 因此, 当大麦粉添加量大于 30%时, 蒸煮过程中流失在面汤中的固形物随之增多, 断条率也显著升高, 从而降低了面条的品质。

## 2.6 大麦粉对生鲜湿面质构特性的影响

TPA 测定的指标与感官评定的韧性、适口性、黏性和总体可接受度有较好的相关性, 其中硬度、咀嚼性能很好地反映面条的硬度、筋道感<sup>[41]</sup>。质构特性是评价面条品质和决定消费者接受度的最关键特性。由表 7 可以知, 当大麦粉添加量达到 30%时与空白相比生面条硬度、内聚性和回复性分别升高了 23.77%、6.85%、8.64%, 但对于弹性没有显著性差异 ( $p<0.05$ ), 可能因为大麦粉加入后很难形成面筋蛋白, 以及大麦粉中的  $\beta$ -葡聚糖和面筋蛋白争夺水分, 面筋蛋白不能充分吸水溶胀导致面条变硬。内聚性反映了在咀嚼过程中面条结构破坏的程度, 内聚性越大, 表明面条结构紧实, 富有嚼劲<sup>[42]</sup>。

表 7 大麦粉添加量对生面条质构的影响

Table 7 Effects of barley flour addition on noodles texture

大麦粉添加量/%	硬度/g	内聚性	弹性	咀嚼性/g	回复性
0	14698.81±570.21 <sup>f</sup>	0.496±0.019 <sup>g</sup>	0.46±0.01 <sup>b</sup>	3469.60±311.75 <sup>f</sup>	0.3585±0.02 <sup>g</sup>
10	15924.47±701.45 <sup>e</sup>	0.529±0.007 <sup>f</sup>	0.49±0.02 <sup>ab</sup>	4227.72±249.70 <sup>ef</sup>	0.3940±0.01 <sup>df</sup>
20	18045.68±938.17 <sup>d</sup>	0.549±0.007 <sup>cd</sup>	0.52±0.03 <sup>ab</sup>	5115.48±233.77 <sup>cd</sup>	0.4063±0.01 <sup>cef</sup>
30	18193.06±234.17 <sup>cd</sup>	0.530±0.004 <sup>ef</sup>	0.52±0.02 <sup>ab</sup>	4605.54±310.62 <sup>de</sup>	0.3895±0.01 <sup>d</sup>
40	18883.61±532.76 <sup>bcd</sup>	0.537±0.005 <sup>def</sup>	0.52±0.04 <sup>ab</sup>	5142.75±221.33 <sup>bcd</sup>	0.3943±0.00 <sup>cdf</sup>
50	19815.77±341.48 <sup>a</sup>	0.559±0.007 <sup>bc</sup>	0.56±0.06 <sup>ab</sup>	6407.04±702.06 <sup>abcde</sup>	0.4150±0.01 <sup>bc</sup>
60	19730.46±471.91 <sup>ab</sup>	0.611±0.006 <sup>a</sup>	0.56±0.01 <sup>a</sup>	6626.52±418.28 <sup>a</sup>	0.4585±0.01 <sup>a</sup>

表 8 大麦粉添加量对熟面条质构的影响

Table 8 Effects of barley flour addition on cooked noodles texture

大麦粉添加量/%	硬度/g	内聚性	弹性	咀嚼性/g	回复性
0	6183.63±173.23 <sup>d</sup>	0.709±0.017 <sup>a</sup>	0.568±0.082 <sup>d</sup>	2480.73±290.66 <sup>f</sup>	0.3368±0.02 <sup>a</sup>
10	5465.13±415.38 <sup>e</sup>	0.656±0.016 <sup>bc</sup>	0.728±0.056 <sup>bc</sup>	2606.51±282.28 <sup>ef</sup>	0.3155±0.01 <sup>bc</sup>
20	6650.15±369.14 <sup>cd</sup>	0.652±0.022 <sup>c</sup>	0.669±0.089 <sup>cd</sup>	2897.51±426.66 <sup>def</sup>	0.3110±0.01 <sup>c</sup>
30	8280.75±926.97 <sup>b</sup>	0.605±0.039 <sup>def</sup>	0.726±0.090 <sup>bc</sup>	3632.82±621.97 <sup>c</sup>	0.2883±0.01 <sup>def</sup>
40	9124.11±341.91 <sup>a</sup>	0.599±0.032 <sup>ef</sup>	0.838±0.112 <sup>ab</sup>	4558.99±489.39 <sup>a</sup>	0.2863±0.01 <sup>ef</sup>
50	9159.05±244.11 <sup>a</sup>	0.594±0.002 <sup>fg</sup>	0.877±0.053 <sup>a</sup>	4773.56±374.67 <sup>a</sup>	0.2828±0.00 <sup>fg</sup>
60	9174.20±423.06 <sup>a</sup>	0.559±0.030 <sup>g</sup>	0.722±0.068 <sup>bc</sup>	3697.78±407.82 <sup>bc</sup>	0.2658±0.01 <sup>g</sup>

由表 7 和表 8 可知, 面条熟制后, 大麦粉对熟面条的硬度和咀嚼性的影响与生面条相似, 但相比于生

面条其内聚性和回复性显著性降低, 可能是因为面条经过蒸煮, 淀粉颗粒糊化, 体系中淀粉和面筋蛋白结

合的能力下降,使得熟面条品质变差。李真<sup>[15]</sup>研究表明在大麦和小麦混合粉中添加谷朊粉可以有效地增加混合粉的湿面筋含量。

## 2.7 大麦粉对生鲜湿面拉伸特性的影响

面条的拉伸性能受面筋网络连接强度和和水化能力的影响<sup>[43]</sup>。由表 9 可知,与空白组相比,大麦粉添加

量在 30% 时,生面条的拉断力和拉伸距离分别降低了 13.80%、70.22%,表明生鲜湿面的延展性变差,脆性增大,面条很容易拉断。可能是因为一方面大麦粉自身蛋白特性的限制,不易形成面筋蛋白,体系中面筋蛋白含量低<sup>[40]</sup>,另一方面,可能是和面过程中  $\beta$ -葡聚糖吸收水分影响着面筋蛋白的形成与扩展,从而导致蛋白质分子之间连接松散。

表 9 大麦粉添加量对生鲜湿面拉伸特性的影响

Table 9 Effects of barley flour addition on tensile properties of fresh wet noodle

大麦粉添加量/%	生面条		熟面条	
	拉断力/g	拉伸距离/mm	拉断力/g	拉伸距离/mm
0	30.76±0.92 <sup>a</sup>	30.30±5.67 <sup>a</sup>	29.58±0.24 <sup>d</sup>	42.94±7.30 <sup>a</sup>
10	28.10±0.56 <sup>bc</sup>	23.38±5.59 <sup>b</sup>	31.57±0.76 <sup>c</sup>	38.33±7.44 <sup>ab</sup>
20	27.72±0.29 <sup>cd</sup>	23.06±6.51 <sup>b</sup>	31.60±1.12 <sup>bc</sup>	36.31±4.97 <sup>ab</sup>
30	27.03±0.49 <sup>d</sup>	17.80±3.83 <sup>bc</sup>	35.77±0.66 <sup>a</sup>	35.41±7.16 <sup>ab</sup>
40	23.90±0.68 <sup>ef</sup>	15.33±1.11 <sup>cd</sup>	36.56±0.71 <sup>a</sup>	31.35±3.50 <sup>bc</sup>
50	23.74±0.36 <sup>f</sup>	13.04±3.80 <sup>cd</sup>	36.61±0.61 <sup>a</sup>	25.10±5.86 <sup>c</sup>
60	20.00±0.85 <sup>g</sup>	9.24±0.98 <sup>d</sup>	-	-

由表 9 可知,与空白组相比,大麦粉添加量在 30% 时熟面条的拉断力提高了 20.93%,可能是因为大麦粉中存在着水溶性半纤维素、戊聚糖、水溶性胶质等水溶性黏性物,这些物质在吸水后具有良好的黏性<sup>[35]</sup>,因此拉断力变大。但是当大麦粉添加量大于 30% 时,与空白组相比,拉伸距离随大麦粉添加量的增加显著减小 ( $p < 0.05$ ),熟面条延展性变差。大麦粉添加量达 60% 时,熟生鲜湿面断条严重,拉伸试验已无法测试。

## 3 结论

本试验得出大麦粉的添加能显著影响生鲜湿面的品质。大麦-小麦混合粉的峰值黏度、崩解值、回生值都随着大麦粉的加入而逐渐增大,体系的回生值增大,淀粉易老化,缩短了产品的货架期;面团的弹性模量和黏性模量均随着大麦粉添加比例的增加而显著升高;随着大麦粉添加比例的增大,生鲜湿面表面光滑感下降、表观变差、色泽变暗、白度显著性降低。与空白组相比,当大麦粉添加量大于 30% 时,生鲜湿面的蒸煮损失率显著性增大,蒸煮过程中易浑汤;生鲜湿面的硬度和咀嚼性随大麦粉添加量的增加显著性增大,拉断力和拉伸距离降低,使得生鲜湿面延展性变差,易于拉断,质构特性变差;结合生鲜湿面的蒸煮损失率和质构特性分析结果可以看出,当大麦粉替代比例小于 30% 时,混合粉具有较好的加工特性,但当大麦粉的替代比例大于 30% 时,生鲜湿面的蒸煮损失率和硬度显著升高,导致生鲜湿面的品质明显劣变。

因此当大麦粉添加量控制在 30% 以下,生鲜湿面的整体品质可被接受。

## 参考文献

- [1] Cai J. Preservation of fresh noodles by irradiation [J]. Radiation Physics & Chemistry, 1998, 52(52): 35-38
- [2] Pejcz E, Czaja A, Wojciechowicz-Budzisz A, et al. The potential of naked barley sourdough to improve the quality and dietary fibre content of barley enriched wheat bread [J]. Journal of Cereal Science, 2017, 77: 97-101
- [3] Hallfrischj, Scholfield D J, Behall K M. Blood pressure reduced by whole grain diet containing barley or whole wheat and brown rice in moderately hypercholesterolemic men [J]. Nutrition Research, 2003, 23(12): 1631-1642
- [4] Aoe S, Ichinose Y, Kohyama N, et al. Effects of high  $\beta$ -glucan barley on visceral fat obesity in Japanese individuals: A randomized, double-blind study [J]. Nutrition, 2017, 42: 1-6.
- [5] De Paula R, Abdel-Aal E S M, Messia M C, et al. Effect of processing on the beta-glucan physicochemical properties in barley and semolina pasta [J]. Journal of Cereal Science, 2017, 75: 124-131
- [6] Moza J, Gujral H S. Starch digestibility and bioactivity of high altitude hullless barley [J]. Food Chemistry, 2016, 194: 561-568
- [7] Gujral H S, Sharma B, Khatri M. Influence of replacing wheat bran with barley bran on dough rheology, digestibility

- and retrogradation behavior of chapatti [J]. Food Chemistry, 2018, 240: 1154-1160
- [8] Sullivan P, Arendt E, Gallagher E. The increasing use of barley and barley by-products in the production of healthier baked goods [J]. Trends in Food Science & Technology, 2013, 29(2): 124-134
- [9] 田海娟,朱珠,高筠鹏,等.荞麦粉对面团特性及面包品质的影响[J].粮食与油脂,2018,31(12):25-27  
TIAN Hai-juan, ZHU Zhu, GAO Jun-peng, et al. Effect of buckwheat flour on dough properties and bread quality [J]. Journal of Cereals and Oils, 2018, 31(12): 25-27
- [10] Schober T J, Bean S R, Boyle D L. Gluten-free sorghum bread improved by sourdough fermentation: biochemical, rheological, and microstructural background [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(13): 5137-5146
- [11] 张慧娟,黄莲燕,王静,等.青稞添加量对面团热机械学性质及馒头品质的影响[J].中国食品学报,2016,4:104-112  
ZHANG Hui-juan, HUANG Lian-yan, WANG Jing, et al. Effects of hull-less barley on the thermomechanical property of dough and the properties of steam bread [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2016, 4: 104-112
- [12] 张园园,温白娥,卢宇,等.藜麦粉对小麦面团、面包质构特性及品质的影响[J].食品与发酵工业,2017,43(10):197-202  
ZHANG Yuan-yuan, WEN Bai-e, LU Yu, et al. Effect of quinoa flour on the quality and texture of wheat dough and bread [J]. Food and Fermentation Industries, 2017, 43(10): 197-202
- [13] 王杰琼,钱海峰,王立,等.燕麦全粉对面团特性及馒头品质的影响[J].食品与发酵工业,2016,42(3):42-49  
WANG Jie-qiong, QIAN Hai-feng, WANG Li, et al. Effect of whole-oat flour on dough properties and quality of steamed bread [J]. Food and Fermentation Industries, 2016, 42(3): 42-49
- [14] Dvořáková P, Burešová I, Kráčmar S, et al. Baking quality of wheat-rye mixtures [J]. Mendel Net, 2011, 2011: 568-578
- [15] 李真.大麦粉对面团特性与面包烘烤品质的影响及其改良剂研究[D].镇江:江苏大学,2014  
LI Zhen. Effect of barley flour on dough properties and bread quality and its improver study [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2014
- [16] Ereifej K I, Al-Mahasneh M A, Rababah T M. Effect of barley flour on quality of balady bread [J]. International Journal of Food Properties, 2006, 9(1): 39-49
- [17] Dhingra S, Jood S. Organoleptic and nutritional evaluation of wheat breads supplemented with soybean and barley flour [J]. Food Chemistry, 2002, 77(4): 479-488
- [18] 祝莹,孙鑫娟,赵延胜,等.大麦粉对面团特性及薄脆饼干品质的影响[J].现代食品科技,2019,35(3):33-37,160  
ZHU Ying, SUN Xin-juan, ZHAO Yan-sheng, et al. Influence of barley flour on dough properties and cracker quality [J]. Modern Food Science & Technology, 2019, 35(3): 33-37, 160
- [19] 温纪平,郭祯祥,赵仁勇,等.大麦面条的研制[J].郑州工程学院学报,2003,1:54-57  
WEN Ji-ping, GUO Zhen-xiang, ZHAO Ren-yong, et al. Study on preparation of barley noodle [J]. Journal of Zhengzhou Institute of Technology, 2003, 1: 54-57
- [20] 丁捷,唐艳,黄益前,等.青稞粉对速冻面条品质的影响[J].粮油食品科技,2016,24(4):27-32  
DING Jie, TANG Yan, HUANG Yi-qian, et al. Effect of highland barley flour on the quality of quick-frozen noodles [J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2016, 24(4): 27-32
- [21] Lee M J, Kim K S, Kim Y K, et al. Quality characteristics and antioxidant activity of noodle containing whole flour of Korean hull-less barley cultivars [J]. Korean Journal of Crop Science, 2013, 58(4): 459-467
- [22] 陈书攀,何国庆,谢卫忠等.菊粉对面团流变性 & 面条质构的影响[J].中国食品学报,2014,7:170-175  
CHEN Shu-pan, HE Guo-qing, XIE Wei-zhong, et al. Effect of inulin addition on rheological properties of wheat flour dough and noodle quality [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2014, 7: 170-175
- [23] Inglett G E, Chen D, Liu S X, et al. Pasting and rheological properties of oat products dry-blended with ground chia seeds [J]. LWT-Food Science and Technology, 2014, 55(1): 148-156
- [24] 任立焕,赵江,刘子圆,等.不同改良剂对马铃薯面条品质的影响[J].粮食与油脂,2017,30(9):35-38  
REN Li-huan, ZHAO Jiang, LIU Zi-yuan, et al. Effects of different modifiers on the quality of potato noodles [J]. Cereals & Oils, 2017, 30(9): 35-38
- [25] Lamberts L, De Bie E, Derycke V, et al. Effect of processing conditions on color change of brown and milled parboiled rice [J]. Cereal Chemistry, 2006, 83(1): 80-85
- [26] 王灵昭,陆启玉,袁传光.用质构仪评价面条质地品质的研究[J].郑州工程学院学报,2003,3:29-33,49  
WANG Ling-zhao, LU Qi-yu, YUAN Chuan-guang. Study on the assessment for noodle texture with texture analyser [J].



- Journal of Zhengzhou Institute of Technology, 2003, 3: 29-33, 49
- [27] 姜海燕,章绍兵,牛巧娟,等.谷氨酰胺转氨酶对燕麦熟面条质构及蒸煮特性的影响[J].食品科技,2015,40(3):186-190  
JIANG Hai-yan, ZHANG Shao-bing, NIU Qiao-juan, et al. Effect of transglutaminase on the cooked oat noodles textural and cooking property [J]. Food Science and Technology, 2015, 40(3): 186-190
- [28] 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  
LIU Hong, WANG Li-ping, LIU Ming, et al. Study on quality evaluation of stabilized whole-wheat flour [J]. Food & Machinery, 2012, 28(02): 6-8, 235
- [29] 赵登登,周文化.面粉的糊化特性与鲜湿面条品质的关系[J].食品与机械,2013,6:26-29  
ZHAO Deng-deng, ZHOU Wen-hua. Relationship between pasting properties of flour and quality of fresh wet noodle [J]. Food & Machinery, 2013, 6: 26-29
- [30] 李渊,周惠明,郭晓娜,等.大麦  $\beta$ -葡聚糖对小麦粉糊化性质和流变学性质的影响[J].食品与机械,2016,32(4):1-4  
LI Yuan, ZHOU Hui-ming, GUO Xiao-na, et al. Effects of barley  $\beta$ -glucan on pasting and rheological properties of wheat flour [J]. Food & Machinery, 2016, 32(4): 1-4
- [31] Satrapai S, Suphantharika M. Influence of spent brewer's yeast  $\beta$ -glucan on gelatinization and retrogradation of rice starch [J]. Carbohydrate Polymers, 2007, 67(4): 500-510
- [32] 黄莲燕,王红娜,张小爽,等.燕麦麸皮添加量对面团流变特性及面筋蛋白结构的影响[J].食品工业科技,2018,39(6): 71-76,91  
HUANG Lian-yan, WANG Hong-na, ZHANG Xiao-shuang, et al. Effects of oat bran addition amount on the dough rheological properties and gluten structures [J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(6): 71-76, 91
- [33] Ptaszek A, Berski W, Ptaszek P, et al. Viscoelastic properties of waxy maize starch and selected non-starch hydrocolloids gels [J]. Carbohydrate Polymers, 2009, 76(4): 567-577
- [34] 刘俊飞,汤晓智,扈战强,等.外源添加面筋蛋白对小麦面团热机械学和动态流变学特性的影响研究[J].现代食品科技,2015,2:133-137,273  
LIU Jun-fei, TANG Xiao-zhi, HU Zhan-qiang, et al. Effect of added exogenous wheat gluten on thermomechanical and dynamic rheological properties of wheat flour dough [J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 2: 133-137, 273
- [35] Miskelly D M. Flour components affecting paste and noodle colour [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1984, 35(4): 463-471
- [36] 王永巍.几种杂粮配粉对湿面条品质影响的研究[J].河南科技,2014,22:51-53  
WANG Yong-wei. Study on the influence of several kinds of grain powder on the quality of wet noodles [J]. Henan Science and Technology, 2014, 22: 51-53
- [37] Stauffer J E. Color is right [J]. Cereal Foods World, 2003, 48(4): 215-216
- [38] 李曼.生鲜面制品的品质劣变机制及调控研究[D].无锡:江南大学,2014  
LI Man. Deterioration mechanism of fresh noodles and the regulation technology thereof [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2014
- [39] Li M, Luo L J, Zhu K X, et al. Effect of vacuum mixing on the quality characteristics of fresh noodles [J]. Journal of Food Engineering, 2012, 110(4): 525-531
- [40] 李渊,周惠明,郭晓娜,等.大麦  $\beta$ -葡聚糖对小麦粉糊化性质和流变学性质的影响[J].食品与机械,2016,32(4):1-4  
LI Yuan, ZHOU Hui-ming, GUO Xiao-na, et al. Effects of barley  $\beta$ -glucan on pasting and rheological properties of wheat flour [J]. Food & Machinery, 2016, 32(4): 1-4
- [41] 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,2005,5:865-873  
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, 5: 865-873
- [42] Jang H L, Bae I Y, Lee H G. *In vitro* starch digestibility of noodles with various cereal flours and hydrocolloids [J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 63(1): 122-128
- [43] Bonnand-Ducasse M, Valle G, Lefebvre, et al. Effect of wheat dietary fibres on bread dough development and rheological properties [J]. Journal of Cereal Science, 2010, 52(2): 200-206