

# 预糊化处理对高含量燕麦挂面品质的影响

徐斌<sup>1</sup>, 孙伊琳<sup>1</sup>, 刘淑一<sup>1</sup>, 陈小沛<sup>2</sup>, 姜松<sup>1</sup>, 陈中伟<sup>1</sup>, 孙俊<sup>1</sup>

(1. 江苏大学食品与生物工程学院, 江苏镇江 212013) (2. 江苏三零面粉海安有限公司, 江苏南通 226600)

**摘要:** 为研究燕麦预糊化处理对高含量燕麦挂面品质的影响, 本文采用蒸制、挤压膨化和滚筒干燥对燕麦进行预糊化处理, 分析不同类型与添加量的预糊化燕麦粉对混合粉(燕麦粉总量为 70%)糊化特性及挂面力学特性、蒸煮品质和煮后面条质构特性的影响。结果表明, 随着预糊化粉添加量升高, 混合粉的室温粘度增大; 混合粉的热粘度与蒸制燕麦粉(SOF)添加量成正相关, 与挤压预糊化粉(EOF)和滚筒预糊化粉(DOF)添加量成负相关。SOF 添加量为 70%时, 燕麦挂面品质最好; 而 EOF 和 DOF 添加量为 8.75%时, 挂面品质最好。相比之下, 前者的弹性模量、断裂应力、断裂位移、咀嚼性更大, 黏附性、蒸煮损失率更小。综上, 添加预糊化粉可以改善挂面品质, 采用 SOF 制备的燕麦挂面品质最佳。

**关键词:** 燕麦; 预糊化; 挂面; 力学特性; 蒸煮品质; 质构特性

文章编号: 1673-9078(2019)06-139-144

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.6.018

## Effect of Pregelatinization on the Quality of Noodles with a High Oat Flour Content

XU Bin<sup>1</sup>, SUN Yi-lin<sup>1</sup>, LIU Shu-yi<sup>1</sup>, CHEN Xiao-pei<sup>2</sup>, JIANG Song<sup>1</sup>, CHEN Zhong-wei<sup>1</sup>, SUN Jun<sup>1</sup>

(1.School of Food and Biological Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang, 212013, China)

(2.Jiangsu Sanling Flour Co. Ltd., Nantong, 226600, China)

**Abstract:** In order to investigate the effects of pregelatinized oat flour on the quality of noodles with a high oat flour content, the oat was pregelatinized by steaming, extrusion and drum drying, and then the mechanical properties, cooking quality and texture properties of oat noodles (70% oat flour) containing different types and addition levels of pregelatinized oat flour were analyzed. The results showed that the viscosity of the mixed flour under room temperature increased with the increase of the pregelatinized oat flour addition. The pasting viscosity of the mixed flour was positively correlated with the amount of steamed oat flour (SOF) and negatively correlated with the amount of extruded pregelatinized oat flour (EOF) and drum dried oat flour (DOF). When the addition of SOF was 70%, the noodle quality was high; when the addition of EOF and DOF was 8.75%, the noodle quality was high. In contrast, the elastic modulus, bending stress, fracture displacement and chewiness of the former were greater, and adhesiveness and cooking loss were smaller. In summary, adding pregelatinized oat flour can improve the oat noodles quality, and the oat noodles prepared by SOF have the best quality.

**Key words:** oat; pregelatinization; noodles; mechanical properties; cooking quality; texture

燕麦由于其富含膳食纤维、 $\beta$ -葡聚糖等营养成分, 具有调脂降糖等多种功效<sup>[1,2]</sup>而备受消费者青睐, 其主要产品形式为燕麦片, 燕麦面条相对较少, 且均为低添加量<sup>[3,4]</sup>, 这主要是由于燕麦中不含面筋蛋白, 面团成型困难<sup>[5]</sup>。为提高面团成型性, 谷朊粉、亲水性胶体等改良剂被广泛应用<sup>[5,6]</sup>, 但燕麦粉添加量高于 30%时, 改良剂的效果较差, 而谷物淀粉预糊化技术为燕麦粉加工适应性的改善提供了新方法。

预糊化淀粉可以利用其冷水可溶高粘性, 吸水溶

胀后形成紧密网状结构, 能把淀粉和面筋蛋白牢固的粘合起来, 以提高面团粘弹性<sup>[7]</sup>, 有利于增强面团结合力, 提高面条品质。孙晓静<sup>[8]</sup>研究表明, 添加预糊化荞麦粉可以改善面团流变性能, 增加荞麦面团的黏性, 促进面团成型; Yalcin 等<sup>[9]</sup>在无麸质玉米面条加工特性的研究中指出, 利用预糊化淀粉的凝胶结构代替面筋网络结构可以提高玉米面条的加工品质和食用品质; Yousif 等<sup>[10]</sup>研究表明, 在玉米面条中添加 5%~15%的预糊化玉米淀粉可以提高面条品质。

已有研究表明, 预糊化处理可以改善燕麦粉的加工适应性<sup>[11]</sup>, 添加预糊化燕麦粉可以提高燕麦面带的抗拉能力, 有利于压延成型(另文发表), 但不同类型、不同添加量的预糊化粉会对燕麦挂面品质产生何种影

收稿日期: 2019-01-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31771900)

作者简介: 徐斌(1969-), 男, 教授, 研究方向: 功能性面条加工基础理论研究与营养评价

响缺乏研究。为此,本文采用蒸制、挤压膨化和滚筒干燥对燕麦进行预糊化处理,分析不同预糊化方式和添加量对混合粉(燕麦粉总量为70%)的混合粉糊化特性的影响,并进一步分析燕麦挂面的力学特性、蒸煮品质以及煮后面条质构特性,旨在为含量燕麦挂面的开发提高理论基础。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 试验与amp;仪器

#### 1.1.1 材料与amp;试剂

燕麦籽粒(*Bannister*)采购自桂林西麦生物技术开发有限公司;小麦粉采购自山东永乐食品有限公司;谷朊粉采购自山东冠县瑞祥生物科技有限公司。

#### 1.1.2 主要仪器设备

TA-XT2i 物性仪,英国 Stable Micro System 公司;JHX4-DM 三维混合机,浙江新世纪粉碎设备有限公司;SK-500 真空和面机,江苏自然爱食品有限公司;SK-1240 制面机,成都索拉泰克精密机械有限公司;RVA-Techmaster 快速粘度分析仪,波通瑞华科学仪器(北京)有限公司;SYT-030 智能挂面干燥试验台,中国农业机械化科学研究院。

### 1.2 样品制备方法

#### 1.2.1 燕麦全粉的制备

(1) 燕麦生粉(ROF):将燕麦籽粒粉碎后再经气流粉碎至过150目筛。

(2) 蒸制燕麦全粉(SOF):将燕麦籽粒在105℃条件下蒸制30min,然后压片,置于100℃流化床中干燥2h。再进行粉碎,方法同样品(1)。

(3) 挤压膨化燕麦全粉(EOF):将燕麦籽粒粉碎过60目筛后进行挤压膨化,条件为:转速240r/min、温度185℃、物料含水量24%。最后经气流粉碎至过150目筛。

(4) 滚筒干燥燕麦全粉(DOF):将燕麦籽粒粉碎过60目筛后进行滚筒预糊化,条件为:料液比1:1.5,温度150℃。最后经气流粉碎至过150目筛。

#### 1.2.2 燕麦挂面的制备

按照表1配方(在试验过程中发现EOF和DOF添加量为17.50%时制得的挂面品质较差,但降低添加量后有所改善,但SOF的添加量越低挂面品质越差,因此,EOF和DOF的添加量水平多余SOF)称取各原辅料(总质量为500g),放入三维混合机中预混合10min;将称好的混合粉倒入真空和面机,边搅拌边均匀加入一定量盐水;在真空度为-0.06MPa条件下和

面15min;和好的面絮转移至恒温恒湿箱中,在温度为35℃、相对湿度80%的条件下熟化30min;熟化后的面团用面条机压延至0.80mm时,切丝成面条;置于智能挂面干燥试验台,干燥至水分含量为12%左右;然后切成22cm长的挂面,装入自封袋中,备用。

表1 燕麦全粉-小麦粉混合粉组成比例(%)

Table 1 Composition of oat flour-wheat flour in mixed flour

样品编号	小麦粉	ROF	SOF	EOF	DOF
C	100	/	/	/	/
C1	30	70	/	/	/
S1	30	0	70	/	/
S2	30	35	35	/	/
S3	30	52.50	17.50	/	/
E1	30	0	/	70	/
E2	30	35	/	35	/
E3	30	52.50	/	17.50	/
E4	30	61.25	/	8.75	/
E5	30	65.62	/	4.38	/
D1	30	0	/	/	70
D2	30	35	/	/	35
D3	30	52.50	/	/	17.50
D4	30	61.25	/	/	8.75
D5	30	65.62	/	/	4.38

### 1.3 分析方法

#### 1.3.1 冷粘度(25℃)的测定

在RVA测定仪的专用铝筒中称取4g样品(湿重,按14%的水分含量计算),加入蒸馏水至28g。测定程序为:25℃保持15min,开始10s的转速为960r/min,此后整个测定过程中转速保持160r/min。

#### 1.3.2 混合粉糊化特性的测定

使用快速粘度测定仪参考参照GB/T 14490-2008进行糊化特性测定。设置标准样品量3.0g,标准加水量为25g,以14%湿基计算实际样品量及实际加水量。

#### 1.3.3 干面条力学特性的测定

干面条力学特性的测定方法参考文献<sup>[12]</sup>。

#### 1.3.4 面条蒸煮品质的测定

取20根20cm长的干面条,放入500mL沸水中,开始计时至适当时间每隔5s捞出一根,用玻璃挤压面条,直至白芯刚好消失即为面条的最佳蒸煮时间。捞出煮面将煮面水放在100℃烘箱中蒸发至恒重,面条置于滤纸上,静置5min后,再次称重,按如下公式计算蒸煮损失率和吸水率:

$$\text{蒸煮损失率}(\%) = \frac{\text{面汤干重}}{\text{面条干重}} \times 100\%$$

$$\text{吸水率}(\%) = \frac{\text{煮后面条质量} - \text{干面条质量}}{\text{干面条质量}} \times 100\%$$

### 1.3.5 煮后面条质构特性的测定

取 25 根面条, 以最佳蒸煮时间煮制, 煮完后立即捞出面条, 用蒸馏水冲淋 1 min, 吸去表面多余的水分。TPA 试验的测试参数: 探头 P/50, 测前速度 0.20 mm/s, 测试中速度 0.20 mm/s, 测后速度 1.00 mm/s, 间隔 5 s, 压缩量: 70%, 触发力 5 g, 每个样品重复 8~10 次, 取平均值。

## 1.4 数据统计与分析

采用 Excel 和 SPSS 对数据进行处理和统计分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 混合粉糊化特性分析

#### 2.1.1 冷粘度 (25 °C)

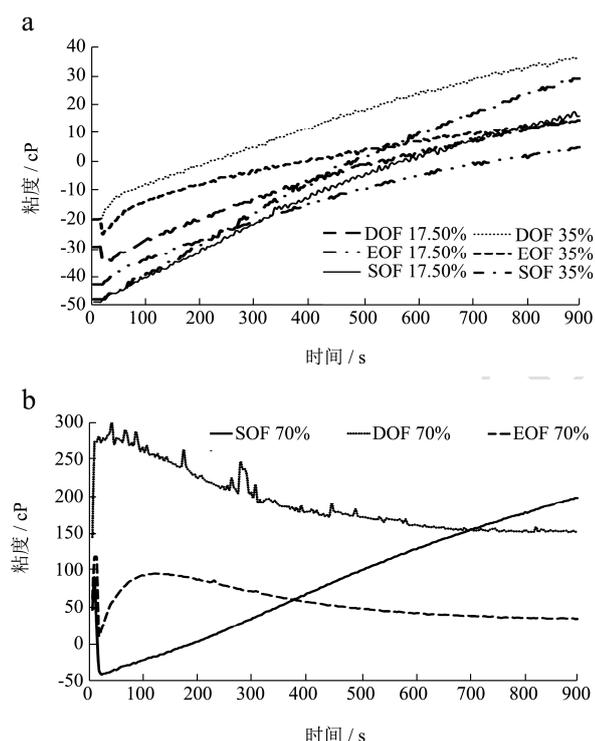


图 1 不同混合粉的室温粘度

Fig.1 The cold viscosity of different mixed flour

分别测定 SOF、EOF、DOF 添加量为 17.50%、35%、70% 时混合粉(燕麦粉总量为 70%, 其余为 ROF) 的冷粘度, 结果如图 1 所示。由图 1 可知, 混合粉的冷粘度随着预糊化粉添加量增加而逐渐升高。由图 1a 可知, 当混合粉中添加 17.50% 和 35% 的 SOF、EOF、DOF 时, 随着测定时间的延长混合粉的冷粘度逐渐增大; 添加量相同时, 添加 SOF 的混合粉冷粘度变化最大。图 1b 显示, 当混合粉中添加 70% 的预糊化燕麦

粉时, 测定起始时添加 DOF 的混合粉粘度最大, 添加 SOF 的最小; 随着测定时间的延长, 含有 EOF 和 DOF 的混合粉粘度呈逐渐减小的趋势, 大约在 10 min 后变化减小, 而含有 SOF 的混合粉粘度在 0~15 min 内一直增大; 15 min 时, 含有 SOF 的混合粉粘度最高, 含有 EOF 的最低。SOF 的制备过程为高温低湿条件, 淀粉并未完全糊化, 加水后搅拌后, 淀粉不断吸水膨胀, 粘度增大; 而 EOF 和 DOF 中的淀粉糊化度较高, 淀粉降解产生糊精等小分子物质, 溶于冷水后, 粘度相对较高, 此外, 挤压膨化会造成谷物粉中可溶性戊聚糖的含量升高<sup>[13,14]</sup>, 水溶性戊聚糖在水中可自由伸展成螺旋状的棒状结构, 提高水溶液的粘度, 这是造成含有 EOF 的混合粉粘度较高的另一个原因。

#### 2.1.2 糊化特性

混合粉中预糊化粉的添加量分别为 70%、35%、17.50% 时, 其糊化特性如表 2 所示。添加 SOF 的混合粉加热后粘度均高于添加 DOF 和 EOF 的混合粉, 且随着添加量升高, 添加 SOF 的混合粉粘度增大, 添加量为 17.50% 时峰值粘度为 4268 cp 而当添加量为 79% 时粘度增加到了 5453 cp, 与添加 DOF 和 EOF 混合粉的粘度呈相反的变化趋势, 随 DOF 添加量增加峰值粘度减少了 965 cp, 随 SOF 添加量增加峰值粘度减少了 1333 cp。这主要是由于处理过程涉及高温、高剪切作用的 EOF 和 DOF 淀粉结构已经破裂, 再次加热, 淀粉并未发生吸水膨胀的行为, 而处理条件相对温和的 SOF 淀粉处于涨而不破状态, 再次加热后淀粉吸水膨胀, 热粘度高于 EOF 和 DOF。此外, 经蒸制处理后燕麦粉中  $\beta$ -葡聚糖含量高于挤压膨化和滚筒干燥处理<sup>[11]</sup>, 这可能也是含有 SOF 的混合粉粘度高于 EOF 和 DOF 的原因。混合粉的峰值粘度随着 SOF 添加量的降低逐渐减小, 而随 EOF 和 DOF 添加量的降低逐渐增大。有研究表明, 面条的硬度和口感与面粉的峰值粘度等糊化特性密切相关, 峰值粘度高的面粉制成的面条在表观状态和粘弹性方面品质较好<sup>[15,16]</sup>。因此, 面条品质可能随 SOF 添加量的升高而升高, 随 EOF 和 DOF 添加量的升高而降低。

衰减与淀粉粒膨胀后的强度有关, 反映混合粉中淀粉在高温下的耐剪切能力, 衰减越小热糊稳定性越好。回生值表示淀粉冷糊粘度的稳定性, 回生值越大, 冷糊稳定性越差, 反映了淀粉冷却过程中淀粉分子的重新缔合结晶状态, 是淀粉老化性质的体现。混合粉的衰减随 SOF 添加量的降低无显著性变化 ( $p>0.05$ ), 而随 EOF 和 DOF 添加量的降低先减小后增大, 但 DOF 添加量为 35% 和 17.50% 之间无显著性差异 ( $p>0.05$ )。随 SOF、EOF 和 DOF 添加量的减小,

混合粉的回生值均逐渐增大, 说明添加预糊化粉后混合粉难以老化。

表 2 不同混合粉的糊化特性

Table 2 The pasting properties of different mixed flour

样品	峰值粘度/cp	最低粘度/cp	衰减值/cp	最终粘度/cp	回生值/cp	峰值时间	糊化温度/℃
S1	5453±122 <sup>a</sup>	4112±138 <sup>a</sup>	1341±83 <sup>a</sup>	5864±121 <sup>a</sup>	1752±176 <sup>cd</sup>	6.64±0.08 <sup>a</sup>	67.45±0.48 <sup>d</sup>
S2	4823±87 <sup>b</sup>	3412±122 <sup>b</sup>	1411±41 <sup>a</sup>	5642±129 <sup>a</sup>	2230±62 <sup>a</sup>	6.73±0.07 <sup>a</sup>	68.80±0.48 <sup>ab</sup>
S3	4268±255 <sup>c</sup>	2887±218 <sup>c</sup>	1381±103 <sup>a</sup>	5217±298 <sup>b</sup>	2330±84 <sup>a</sup>	6.67±0.07 <sup>a</sup>	69.37±0.83 <sup>a</sup>
E1	1240±14 <sup>h</sup>	225±14 <sup>e</sup>	1015±0 <sup>b</sup>	652±23 <sup>f</sup>	427±9 <sup>f</sup>	5.17±0.05 <sup>e</sup>	68.48±0.04 <sup>abc</sup>
E2	1626±178 <sup>g</sup>	855±56 <sup>f</sup>	771±221 <sup>c</sup>	2205±80 <sup>e</sup>	1351±25 <sup>e</sup>	5.91±0.23 <sup>c</sup>	68.03±0.49 <sup>bcd</sup>
E3	2573±207 <sup>e</sup>	1618±192 <sup>e</sup>	955±17 <sup>b</sup>	3509±312 <sup>d</sup>	1891±121 <sup>bc</sup>	6.33±0.07 <sup>b</sup>	69.12±0.49 <sup>a</sup>
D1	2147±120 <sup>f</sup>	818±68 <sup>f</sup>	1329±59 <sup>a</sup>	2435±97 <sup>e</sup>	1617±30 <sup>d</sup>	5.67±0.07 <sup>d</sup>	69.33±0.03 <sup>a</sup>
D2	2524±21 <sup>e</sup>	1574±42 <sup>e</sup>	950±48 <sup>b</sup>	3559±53 <sup>d</sup>	1985±19 <sup>b</sup>	6.31±0.04 <sup>b</sup>	67.68±0.03 <sup>cd</sup>
D3	3112±108 <sup>d</sup>	2063±115 <sup>d</sup>	1049±7 <sup>b</sup>	4252±157 <sup>c</sup>	2189±50 <sup>a</sup>	6.44±0.10 <sup>b</sup>	67.97±0.46 <sup>bcd</sup>

注: 同列不同小写字母表示差异显著( $p < 0.05$ )。

## 2.2 燕麦挂面力学特性分析

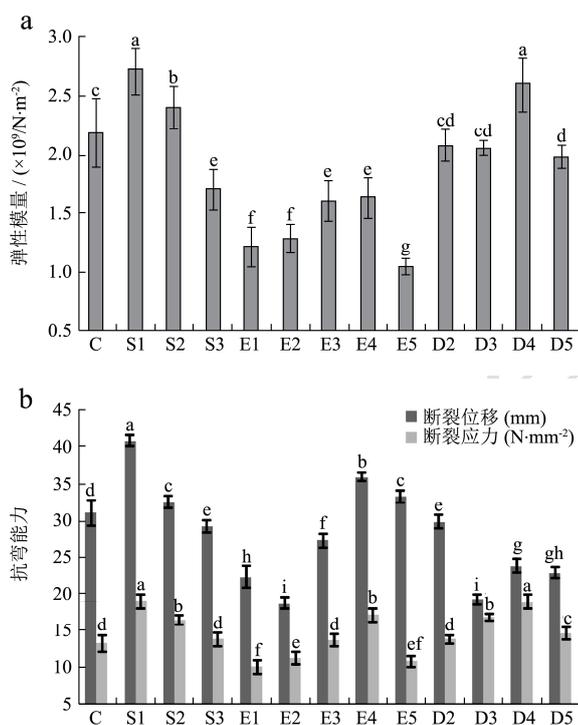


图 2 不同配方挂面的力学特性

Fig.2 The mechanical properties of dry noodles

注: D1 在制作过程中粘辊, 无法制成挂面, 下同; 同一指标不同小写字母表示差异显著( $p < 0.05$ ), 下同。

干面条的力学特性包括抗弯能力和弹性模量, 是用来评价挂面品质的主要质地参数<sup>[17]</sup>。弹性模量是表征固体食品材料弹性变形难易程度的指标, 能够反映原子、离子或分子之间的键合强度, 可以用来衡量物体抵抗弹性变形能力的大小; 弯曲折断率是检测挂面品质的重要理化指标之一, 弹性模量和抗弯能力能够用来反映挂面的弯曲折断能力, 弹性模量数值越大说

明挂面品质越好<sup>[17,18]</sup>。采用不同种类、不同添加量的预糊化粉制备的燕麦挂面, 其力学特性如图 2 所示。图 2 结果显示, 干面条的断裂位移、弹性模量和断裂应力随 SOF 添加量的减小而逐渐降低, 且具有显著性差异 ( $p < 0.05$ ), SOF 添加量为 70% 时干面条的断裂位移、弹性模量和断裂应力分别为 40.80 mm、 $2.73 \times 10^9$  N/m<sup>2</sup> 和 18.97 N/mm<sup>2</sup>; 而随 EOF 和 DOF 添加量的减小先升高后降低, 断裂位移、弹性模量和断裂应力在添加量为 8.75% 时达到最高值, 分别为 35.90 mm、 $2.60 \times 10^9$  N/m<sup>2</sup>、18.93 N/mm<sup>2</sup>; 相比之下, 采用 SOF 制备的燕麦挂面具有较高弹性模量、断裂应力和断裂位移。预糊化淀粉具有冷水可溶且粘度高的特点, 挂面内部的网络结构由淀粉凝胶与淀粉凝胶, 面筋蛋白与面筋蛋白以及淀粉凝胶与面筋蛋白相互作用而形成, 因此, 加入预糊化淀粉能够促进面带形成, 提高挂面品质。但是, 由于 EOF 和 DOF 的吸水性高于 SOF<sup>[11]</sup>, 当其添加量较高时, 与蛋白质竞争吸水, 面筋蛋白的膨胀受到抑制, 无法形成较好的面带网络, 从而造成制得的挂面的易断, 抗弯能力差, 因此, 当 EOF 和 DOF 添加量高于 8.75% 时, 添加量越高干面条的力学特性越差。而 SOF 的吸水性较低, 不会对面筋蛋白吸水膨胀造成负面影响, 因此, 随其添加量升高, 挂面的力学特性越好。此外, DOF 的添加量为 70% 时, 由于 DOF 遇水后有大量水溶性小分子物质溶出, 造成面团粘性过强, 压延时面带粘辊, 无法顺利制得挂面。当挂面中的 EOF 和 DOF 添加量相同时, 添加 EOF 挂面的弹性模量、断裂应力显著小于添加 DOF 挂面 ( $p < 0.05$ ), 但当添加量小于 35% 时, EOF 的断裂位移显著大于 DOF ( $p > 0.05$ ), 说明添加 DOF 的挂面弹性较添加 EOF 挂面好, 但当添加量为 35% 时, 韧性比

添加 EOF 的挂面略差。综上所述, SOF 添加量为 70% 时, 挂面的力学品质最好, 富于弹性、韧性足, 抗弯能力强。

### 2.3 燕麦挂面蒸煮品质分析

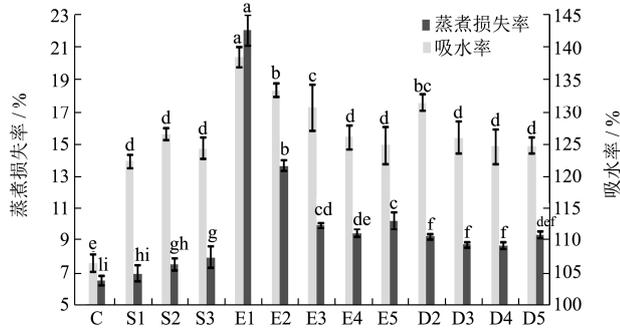


图3 不同配方挂面的蒸煮品质

Fig.3 The cooking quality of noodles

蒸煮损失是指面条在蒸煮过程中, 小分子物质和淀粉颗粒从面筋网络中游离出来, 溶于面汤中而造成的损失<sup>[19]</sup>。一般而言, 具有较低的蒸煮损失率和较高的吸水率的挂面品质较好, 但吸水率过高容易造成面条粘性大, 爽滑性低。采用不同种类、不同添加量的预糊化粉制备燕麦挂面, 其蒸煮损失率和吸水率如图3所示。随 SOF 添加量的降低, 挂面的蒸煮损失率逐

渐增大, 由 6.96% 增加到 7.93%, 吸水率无显著性差异 ( $p>0.05$ ); 随 EOF 添加量的降低, 挂面的蒸煮损失率先减低后升高, 吸水率逐渐降低, 在添加量为 4.78% 时达到最小值 124.83%, 但吸水率在 4.78% 和 8.75% 之间无显著性差异 ( $p>0.05$ ); 随 DOF 添加量的降低, 挂面的蒸煮损失率先降低后升高, 在添加量为 8.75% 最低, 但无显著性差异 ( $p>0.05$ ), 吸水率在低于添加量低于 35% 后无显著性差异 ( $p>0.05$ )。预糊化淀粉可以提高面条内部结构的致密性, 随着 SOF 添加量升高, 抵抗高温水煮对面条内部网络结构的破坏能力逐渐增强, 从而使得挂面的蒸煮损失率降低。EOF 和 DOF 的添加量较高时, 形成的面筋网络结构致密性较差, 在面条煮制过程中包裹淀粉颗粒的能力较低, 并且, EOD 和 DOF 中含有的水溶性小分子物质较多, 因此, 其添加量越低, 面条的干物质流失越少, 蒸煮损失率越低; 但当其添加量低于 8.75% 时, 面团中的预糊化淀粉含量低, 粘性较差, 网络结构疏松, 束缚淀粉颗粒的能力较低, 蒸煮损失率升高。EOF 和 DOF 的持水性高于 SOF, 这是造成添加 EOF 和 DOF 的挂面吸水率高于添加 SOF 挂面的原因, 可能会导致面条的粘性较强。

### 2.4 煮后面条质构特性分析

表3 不同配方挂面的质构特性

Table 3 The texture properties of cooked noodles

样品	硬度/g	黏着性/(g·s)	弹性/%	咀嚼性
C	1182.90±22.59 <sup>a</sup>	91.66±3.72 <sup>f</sup>	88.13±2.42 <sup>a</sup>	553.87±18.58 <sup>a</sup>
S1	1153.92±29.68 <sup>a</sup>	116.69±4.44 <sup>cd</sup>	85.78±0.79 <sup>de</sup>	486.95±8.90 <sup>b</sup>
S2	968.68±31.81 <sup>b</sup>	106.07±1.09 <sup>e</sup>	87.30±0.61 <sup>ab</sup>	462.20±4.67 <sup>c</sup>
S3	947.51±42.30 <sup>bc</sup>	108.56±2.18 <sup>e</sup>	81.35±0.56 <sup>ab</sup>	454.36±5.59 <sup>c</sup>
E1	682.52±28.11 <sup>e</sup>	137.15±1.54 <sup>a</sup>	84.01±0.83 <sup>c</sup>	369.65±6.69 <sup>e</sup>
E2	836.91±21.85 <sup>f</sup>	121.66±1.46 <sup>c</sup>	74.73±0.68 <sup>e</sup>	365.18±20.79 <sup>e</sup>
E3	903.90±31.95 <sup>d</sup>	112.19±1.02 <sup>de</sup>	78.35±0.47 <sup>e</sup>	395.18±29.73 <sup>fg</sup>
E4	981.59±38.63 <sup>b</sup>	115.52±3.79 <sup>d</sup>	84.90±2.93 <sup>d</sup>	455.50±15.96 <sup>bc</sup>
E5	929.10±38.64 <sup>cd</sup>	102.63±9.95 <sup>e</sup>	83.84±3.11 <sup>c</sup>	417.55±46.53 <sup>e</sup>
D2	716.83±36.25 <sup>e</sup>	127.00±1.23 <sup>b</sup>	76.44±0.60 <sup>d</sup>	314.47±5.88 <sup>h</sup>
D3	880.10±23.75 <sup>ef</sup>	121.71±1.03 <sup>c</sup>	87.99±1.93 <sup>a</sup>	438.79±3.21 <sup>d</sup>
D4	923.92±27.29 <sup>cd</sup>	109.10±2.33 <sup>e</sup>	85.47±0.42 <sup>bc</sup>	452.54±9.73 <sup>c</sup>
D5	893.47±25.16 <sup>de</sup>	107.71±4.67 <sup>f</sup>	86.62±0.59 <sup>ab</sup>	417.12±7.17 <sup>f</sup>

注: 同列不同小写字母表示差异显著 ( $p<0.05$ )。

煮后面条的质构特性可以用来预测面条的硬度、爽滑性和弹性等指标, 是除面条颜色以外最为重要的品质, 已普遍应用于挂面的品质评价中, 是较为准确的面条感官品质的仪器评价方法<sup>[20]</sup>。如表3所示, 随 SOF 添加量的降低, 煮后面条的硬度和咀嚼

性逐渐减小, 分别减少了 206.41 g 和 32.59; 随 EOF 和 DOF 添加量的降低, 硬度和咀嚼性表现出先增大后减小的变化趋势, 在添加量为 8.75% 时值最大, 此时 EOF 面条的硬度和咀嚼性为 981.59 g 和 455.50, DOF 面条的硬度 923.92 g、咀嚼性为 452.54。添加

DOF 和 EOF 可以促进面筋形成, 但当其添加量较高时, 面筋蛋白不能充分吸水, 而若要使煮后面条口感劲道、咀嚼性好, 需在面条压延过程中面筋蛋白充分吸水膨胀形成致密的网络结构, 因此, 当 DOF 和 EOF 添加量大于 8.75% 时, 挂面的咀嚼性和硬度降低。而当 DOF 和 EOF 添加量为 4.78% 时, 面团的粘性不足, 黏着性仅为 107.71 g·s 和 102.63 g·s, 内部结合力小, 制得的挂面品质较差。因此, EOF 或 DOF 添加量过高或过低都能造成挂面咀嚼性变差。黏着性表示探头下压时剥离它们所需要的力, 反映面条的爽滑性, 随着预糊化粉添加量升高, 面条的黏着性增强, 这主要是由于预糊化处理会导致淀粉降解, 生成水溶小分子物质, 导致面条在煮制过程中, 会有很多小分子物质溶出, 附着在面条表面, 使其表面粘性增大, 因此, EOF 或 DOF 添加量升高, 面条粘性增大, 爽滑性降低, 口感变差。

### 3 结论

混合粉的室温粘度随着预糊化粉添加量升高而增大, 且添加 SOF 的混合粉粘度高于添加 EOF 和 DOF 的混合粉。混合粉热粘度与 SOF 添加量成正相关, 与 EOF 和 DOF 添加量成负相关, 峰值时间随添加量的增大而减小。添加不同种类不同含量的预糊化粉均可改善挂面品质, 随 SOF 添加量升高, 挂面品质得到提升; 而 EOF 和 DOF 添加量过高或过低会弱化挂面品质, 添加量为 8.75% 时, 挂面品质最好; 相比之下, 由 70% SOF 的弹性模量、断裂应力、断裂位移更高, 咀嚼性更大, 黏附性更小, 蒸煮损失率更低。因此, 预糊化处理可改变混合粉的糊化特性, 提高挂面品质, 采用蒸制燕麦粉制得的 70% 燕麦挂面品质最好。

### 参考文献

[1] 张丽萍, 翟爱华. 燕麦的营养功能特性及综合加工利用[J]. 食品与机械, 2004, 20(2): 55-57.  
ZHANG Li-ping, ZHAI Ai-hua. Function feature and comprehensive processing utility of oats [J]. Food & Machinery, 2004, 20(2): 55-57

[2] 申瑞玲, 程珊珊. 燕麦  $\beta$ -葡聚糖生理功能研究进展[J]. 食品与机械, 2007, 23(6): 126-129  
SHEN Rui-ling, CHENG Shan-shan. Study progress on the physiological functions of oat  $\beta$ -glucan [J]. Food and Machinery, 2007, 23(6): 126-129

[3] Aydin E, Gocmen D. Cooking quality and sensorial properties of noodle supplemented with oat flour [J]. Food

Science and Biotechnology, 2011, 20(2): 507-511

[4] Mitra S, Cato L, James A P, et al. Evaluation of white salted noodles enriched with oat flour [J]. Cereal Chemistry, 2012, 89(2): 117-125

[5] Zhou B L, Zhu F, Shan F, et al. Gluten enhances cooking, textural, and sensory properties of oat noodles [J]. Cereal Chemistry, 2011, 88(3): 228-233

[6] Wang F, Huang W, Kim Y, et al. Effects of transglutaminase on the rheological and noodle-making characteristics of oat dough containing vital wheat gluten or egg albumin [J]. Journal of Cereal Science, 2011, 54(1): 53-59

[7] Anastasiades A, Thanou S, Loulis D, et al. Rheological and physical characterization of pregelatinized maize starches [J]. Journal of Food Engineering, 2002, 52(1): 57-66

[8] 孙晓静. 糊化处理对苦荞面团性质的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016  
SUN Xiao-jing. Effects of gelatinization treatments on properties of tartary buckwheat dough [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2016

[9] Yalcin S, Basman A. Quality characteristics of corn noodles containing gelatinized starch, transglutaminase and gum [J]. Journal of Food Quality, 2008, 31(4): 465-479

[10] Yousif E I, Gadallah M G E, Sorour A M. Physico-chemical and rheological properties of modified corn starches and its effect on noodle quality [J]. Annals of Agricultural Sciences, 2012, 57(1): 19-27

[11] 刘淑一, 赵芳芳, 周小玲, 等. 预糊化对燕麦全粉理化性质的影响[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(9): 56-61  
LIU Shu-yi, ZHAO Fang-fang, ZHOU Xiao-ling, et al. Effect of pre-gelatinization on the physical and chemical properties of whole oat flour [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2017, 32(9): 56-61

[12] 姜松, 刘瑞霞, 陈章耀, 等. 基于压杆屈曲大挠度理论的挂面弯曲折断分析与验证[J]. 中国粮油学报, 2010, 25(8): 117-122  
JIANG Song, LIU Rui-xia, CHEN Zhang-yao, et al. Bending fracture analysis and experimental verification of dry noodles based on large deflection theory of compressive rod buckling [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2010, 25(8): 117-122

[13] Delcour J, Vanhamel S, Hosney R C. Physicochemical and functional-properties of rye nonstarch polysaccharides. 2. Impact of a fraction containing water-soluble pentosans and proteins on gluten-starch loaf volumes[J]. Cereal Chemistry, 1991, 68(1): 72-76

(下转第 138 页)