

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2019.06.003

# 基于挤压蒸煮的荞麦粉加工品质改良及其机制研究

## Improvement and mechanism of processing quality of buckwheat flour based on extrusion cooking

张文蕾<sup>1</sup> 李清清<sup>2</sup> 姜松<sup>2</sup> 陈中伟<sup>2</sup>

ZHANG Wen-lei<sup>1</sup> LI Qing-qing<sup>2</sup> JIANG Song<sup>2</sup> CHEN Zhong-wei<sup>2</sup>

杨庆余<sup>1</sup> 肖志刚<sup>1</sup> 徐斌<sup>1,2</sup>

YANG Qing-yu<sup>1</sup> XIAO Zhi-gang<sup>1</sup> XU Bin<sup>2</sup>

(1. 沈阳师范大学粮食学院, 辽宁 沈阳 110034; 2. 江苏大学食品与生物工程学院, 江苏 镇江 212013)

(1. College of Grain Science and Technology, Shenyang Normal University, Shenyang, Liaoning 110034, China;

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

**摘要:**文章分析了挤压蒸煮对荞麦粉室温黏度和凝胶特性的影响,并利用体积排阻色谱测定了淀粉的分子量分布,探讨预糊化处理改善荞麦粉凝胶特性的机制;基于面带质地评价方法,优化预糊化荞麦粉在 50% 荞麦挂面中的添加比例。结果表明:荞麦粉经挤压蒸煮后,常温水中可形成凝胶;室温黏度显著增加;在主区温度 200 °C,水分含量 18%,螺杆转速 220 r/min 的条件下,所得预糊化荞麦粉中聚合度(DP)为 6~50 的支链淀粉分子最多,且此时凝胶强度最大。当预糊化荞麦粉添加量为 10% 时,面带抗拉能力最佳,黏附能力适中。由此可见,预糊化荞麦粉中特定链长的支链淀粉分子(DP 6~50)与凝胶品质呈正相关;50% 荞麦挂面中添加适量预糊化粉可显著改善挂面的加工性能。

**关键词:**荞麦;挤压蒸煮;精细结构;凝胶特性;加工品质

**Abstract:** In this study, buckwheat flour was used as raw material to analyze the effect of extrusion cooking on its room temperature viscosity and gel properties. The molecular weight distribution of starch was analyzed by size exclusion chromatography, and the mechanism of pregelatinizing to improve the gel

properties of buckwheat flour was discussed. Finally, based on the texture evaluation method of dough sheet, the proportion of pregelatinized buckwheat flour in 50% buckwheat noodles was optimized. The results showed that the buckwheat flour can form a gel in cold water without heating after extrusion cooking, and the viscosity of pregelatinized powder significantly increased at room temperature. The pregelatinized buckwheat flour has the most amylopectin chain length of DP 6~50 and the strongest gel strength, under the processing conditions of a main zone temperature of 200 °C, a moisture content of 18%, and a screw speed of 220 r/min. When the amount of pregelatinized buckwheat flour was 10%, the dough sheet was the excellent in tensile strength with acceptable adhesiveness. In summary, the specific amylopectin chain length of DP 6~50 in pregelatinized starch was positively correlated with the gel strength of pregelatinized buckwheat flour. Adding an appropriate amount of pregelatinized powder to 50% buckwheat noodles can significantly improve the processing performance of noodles.

**Keywords:** buckwheat; extrusion cooking; fine structure; gel property; processing quality

**基金项目:**国家“十三五”重点研发计划(编号:2018YFD0401004); 沈阳市科技计划项目(编号:Z18-5-019);江苏省自然科学基金(编号:BK20160511)

**作者简介:**张文蕾,女,沈阳师范大学在读硕士研究生。

**通信作者:**肖志刚(1972—),男,沈阳师范大学教授,博导,博士。

E-mail: xiaozhigang1103@163.com

徐斌(1969—),男,江苏大学教授,博导,博士。

E-mail: food\_oil@126.com

**收稿日期:**2018-12-11

荞麦主食品种繁多,具有强身健体、防治未病的功效<sup>[1]</sup>。但荞麦中面筋蛋白含量低<sup>[2]</sup>,面团粘结力弱,限制了其在工业化面制主食中的应用。当高含量添加到面条中时,在煮制过程中面条易出现断条、蒸煮损失率高<sup>[3]</sup>等现象。

预糊化淀粉常被应用于杂粮挂面加工品质的改良,而挤压蒸煮技术作为一种常见的原料预糊化处理,具有高效、可连续化等优势,可用于荞麦挂面的工业化生

产。研究表明,预糊化处理可以改善原料粉的吸水性指数和糊化特性<sup>[4-5]</sup>,同时提高荞麦粉的凝胶品质<sup>[6]19-20</sup>(具有高品质凝胶特性的预糊化粉能够弥补面筋蛋白的不足,保证高添加量杂粮面制品的加工性能);添加预糊化荞麦粉可以改善面团流变性能<sup>[7]</sup>,增加荞麦面团的黏性,促进面团成型,同时提高面团抗拉能力<sup>[8]</sup>;减少高添加杂粮面条断头率,缩短蒸煮时间。上述研究主要集中在挤压工艺参数对预糊化粉理化性质的影响以及对面团、面条品质的改善上,而关于挤压蒸煮对杂粮粉加工适应性的改良机理不明确。

本试验拟采用挤压蒸煮对荞麦粉进行加工适应性改良,分析不同挤压参数下所得预糊化荞麦粉的加工特性,通过淀粉的精细结构分析,解释其对面条加工特性的改善机理;同时优化预糊化荞麦粉在50%荞麦挂面中的添加比例,为预糊化粉在高添加荞麦挂面中的应用提供理论参考。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与试剂

荞麦粉:普通荞麦,山西雁门清高食业有限责任公司;

小麦粉:广东佛山金禾面业有限公司;

总淀粉、直链淀粉试剂盒、糖化酶(3 260 U/mL):美格兹密国际爱尔兰有限公司;

中性蛋白酶:酶活 $\geq 3.5$  U/mg,西格玛化学试剂有限公司;

DMSO:色谱纯,德国默克集团(Merck KgaA);

溴化锂:99%,阿拉丁试剂有限公司;

Tricine 缓冲液: $\geq 99\%$ ,西格玛化学试剂有限公司。

### 1.2 仪器与设备

双螺杆挤压机:FNHE36-24型,湖南富马科食品工程技术有限公司;

体积排阻色谱:1100型,英国安捷伦科技公司;

物性仪:TA-XT Plus型,英国 Stable Micro System 公司;

快速黏度分析仪:Tech-master型,波通瑞华科学仪器(北京)有限公司;

三维混合机:JHX4-DM型,浙江新世纪机械制造有限公司;

真空和面机:500微型,江苏自然爱食品有限公司;

制面机:SK-1240型,成都索拉泰克精密机械有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 样品的制备

(1) 预糊化荞麦粉的制备:采用双螺杆挤压机对荞麦粉进行预糊化处理,具体加工参数如表1。

(2) 面带、面片的制备:参照刘淑<sup>[9]36-37</sup>的方法,按照表2配方称取各原辅料(500 g)。

表1 荞麦粉挤压加工参数

Table 1 The processing parameters of extrusion for buckwheat

样品名称	物料水分/%	挤压温度/℃	螺杆转速/(r·min <sup>-1</sup> )
S	/	/	/
T1	22	120	220
T2	22	160	220
T3	22	200	220
W1	18	200	220
W2	22	200	220
W3	26	200	220
R1	22	160	180
R2	22	160	220
R3	22	160	260

表2 预糊化荞麦粉-小麦粉混合面团配方

Table 2 The formula of pre-gelatinized buckwheat flour-wheat flour mixed dough %

样品名称	面团水分	小麦粉	荞麦生粉	预糊化荞麦粉
S <sub>1-1</sub>	35	50	50	/
S <sub>1-2</sub>	36	50	50	/
S <sub>1-3</sub>	37	50	50	/
E <sub>1-1</sub>	34	50	45	5
E <sub>1-2</sub>	35	50	45	5
E <sub>1-3</sub>	36	50	45	5
E <sub>2-1</sub>	34	50	40	10
E <sub>2-2</sub>	35	50	40	10
E <sub>2-3</sub>	36	50	40	10
E <sub>3-1</sub>	35	50	35	15
E <sub>3-2</sub>	36	50	35	15
E <sub>3-3</sub>	37	50	35	15

#### 1.3.2 基本成分测定

(1) 水分含量:按 AACC 44-15A 执行。

(2) 总淀粉含量:按 AACC 76-13 执行。

(3) 直链淀粉含量:按 Megazyme 试剂盒的方法执行。

(4) 膳食纤维含量:按 AACC 32-07 执行。

1.3.3 淀粉精细结构测定 淀粉经异淀粉酶脱分支后,链长分布测定参考 Li 等<sup>[10]</sup>的方法进行。试验数据的处理参照 Castro 等<sup>[11]</sup>的方法。

#### 1.3.4 预糊化荞麦粉加工特性测定

(1) 凝胶特性:参考 GB 6783—2013 并略作改进。待测样品(干基)配成 0.12 g/mL 的溶液,搅拌均匀后倒入

标准凝胶杯中,保持高度一致;4℃冰箱中放置 24 h,采用质地分析仪进行穿刺试验。测试模式:Return to start;参数:探头 P/0.5,测试速度 1.00 mm/s,下压距离 10 mm,触发力 5 g。结果以凝胶强度(4 mm 处的力)表示。

(2) 室温黏度(25℃):采用快速黏度测定仪,参照 Majzoubi 等<sup>[12]</sup>的方法进行测定。

1.3.5 面带质地测定 参考刘淑一<sup>[9]38-39</sup>的方法。试验结果以抗拉能力、黏附能力表示。

1.3.6 数据统计与分析方法 采用 Excel 进行数据处理,用 SPSS 中的 One-Way ANOVA 程序进行方差分析, Duncan 法进行多重比较,以 95% 置信水平(P<0.05)来说明数据间差异显著性。

## 2 结果与讨论

### 2.1 挤压蒸煮对荞麦粉基本成分的影响

由表 3 可知,荞麦粉经挤压蒸煮后,总淀粉含量降低 0.4%~36.0%,直链淀粉含量降低 13%~24%,粗脂肪含量降低 79%~86%。荞麦粉在挤压过程中,随着挤压温度的增加,总淀粉含量降低,直链淀粉无显著变化,粗脂肪含量无大幅变化;随着水分的增加,总淀粉先降低后增加,直链淀粉无显著变化,粗脂肪含量先不变化后增加;随着螺杆转速的增加,总淀粉、直链淀粉、粗脂肪含量均无显著变化。

物料在挤压腔中螺杆、螺旋的推动下,淀粉分子发生糊化,部分淀粉被降解为葡萄糖、麦芽糖等小分子物质,导致挤压预糊化处理后总淀粉含量减少,与前人<sup>[6]16</sup>结论一致。有研究<sup>[13]</sup>表明挤压对淀粉的降解作用主要发生在支链淀粉部分的 α-1,6 糖苷键位置,类似于普鲁兰酶的作用,少数发生在直链淀粉部分<sup>[14]</sup>。挤压蒸煮处理能够促进脂肪发生部分水解,生成单甘油和游离脂肪酸,这两种产物与直链淀粉、蛋白质形成复合物,从而大幅降低挤出

表 3 预糊化荞麦粉基本成分分析<sup>†</sup>

Table 3 The ingredients of raw and pre-gelatinized buckwheat flour (n=3) %

样品编号	总淀粉	直链淀粉	粗脂肪
S	75.9±4.4 <sup>a</sup>	22.6±1.3 <sup>a</sup>	2.8±0.1 <sup>a</sup>
T1	72.5±3.5 <sup>ab</sup>	18.7±0.5 <sup>bc</sup>	0.4±0.0 <sup>de</sup>
T2	72.2±0.9 <sup>ab</sup>	18.2±0.2 <sup>bc</sup>	0.5±0.0 <sup>bc</sup>
T3	48.7±1.9 <sup>c</sup>	19.6±0.5 <sup>b</sup>	0.4±0.0 <sup>ef</sup>
W1	65.5±1.4 <sup>b</sup>	18.7±0.4 <sup>bc</sup>	0.4±0.0 <sup>f</sup>
W2	48.7±1.9 <sup>c</sup>	19.6±0.5 <sup>b</sup>	0.4±0.0 <sup>ef</sup>
W3	75.6±5.2 <sup>a</sup>	18.9±1.0 <sup>bc</sup>	0.5±0.0 <sup>cd</sup>
R1	72.3±2.6 <sup>ab</sup>	18.7±0.2 <sup>bc</sup>	0.6±0.0 <sup>b</sup>
R2	72.2±0.9 <sup>ab</sup>	18.2±0.2 <sup>bc</sup>	0.5±0.0 <sup>bc</sup>
R3	73.9±2.9 <sup>a</sup>	17.2±0.1 <sup>c</sup>	0.5±0.0 <sup>c</sup>

<sup>†</sup> 同列字母不同表示差异显著(P<0.05)。

物中游离粗脂肪含量,与前人<sup>[15]</sup>结论一致。

随着挤压温度的增加,物料在腔体内所受作用力增大,更容易被高剪切所降解,导致 T3 淀粉含量降低,达 36%。在挤压过程中水分起到润滑<sup>[16]</sup>和促进糊化的作用,随着水分的增加,淀粉完全糊化,更有利于被降解;但在水分过高时,物料在腔体内所受作用力降低,淀粉的降解减弱,导致淀粉含量随水分的升高先减少后增加。同时可能是挤压蒸煮主要作用于支链淀粉部位,改变挤压温度、水分、螺杆转速等挤压工艺参数对荞麦粉的直链淀粉含量影响较小。

### 2.2 挤压蒸煮对荞麦淀粉精细结构的影响

由图 1 可以看出,荞麦淀粉的 SEC 图谱出现 3 个峰,其中前 2 个峰为支链淀粉,后 1 个峰为直链淀粉。未经处理的荞麦支链淀粉的链长分布为 DP 1~70,其中短支链淀粉的最高峰位于 DP 5~6 处,长支链淀粉的最高峰

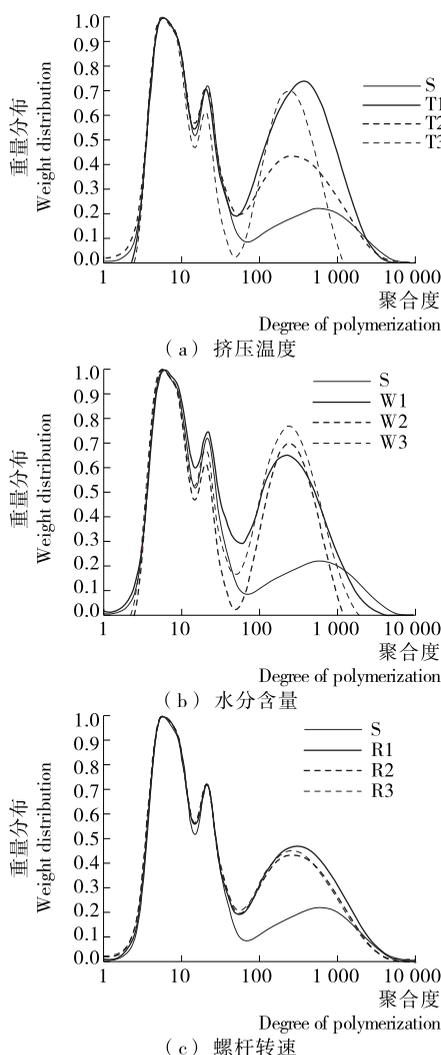


图 1 脱分支预糊化荞麦淀粉的链长分布

Figure 1 Distribution of chain length of debranching pre-gelatinized buckwheat starch (n=3)

位于 DP 20 左右;直链淀粉的链长分布范围为 DP 71~10 000,最高峰位于 DP 571。经过挤压处理后,支链淀粉的链长分布范围缩小为 DP 1~50,最高峰的位置未发生变化,DP 6~50 的支链淀粉含量降低,而 W1 样品无显著变化;直链淀粉的长链部分减少。经过预糊化处理后,DP 51~10 000 的直链淀粉含量增加,可能是原料中总淀粉以及支链淀粉的降解,导致生成的小分子糖在样品制备过程中被洗去,同时由于挤压类似于普鲁兰酶的作用,支链淀粉的主链部分转化为直链淀粉,从而导致 DP 51~10 000 的直链淀粉含量增加。

由图 1 和表 4 可知,随着挤压温度的增加,直链淀粉的链长缩短,T3 时直链淀粉降解明显,DP 1 200~10 000 的链长缺失;随着温度的增加,支链淀粉的链长也发生降解,DP 6~50 的支链淀粉含量降低;随着水分的增加,直链淀粉 DP 5~60 的链长部分降低,在 W2 时直链淀粉降解最显著,主要由于充足的水分使样品充分糊化,其在外力作用下更容易被降解,而当水分过高时,会起到润滑作用,从而降低了对淀粉的作用;随着螺杆转速的增加,直、支链淀粉链长分布未发生明显变化。

因此,荞麦粉经挤压蒸煮后,淀粉团粒破裂,直、支链淀粉发生不同程的降解,部分处理条件下,DP 1 200~10 000 的直链淀粉与 DP 50~70 的支链淀粉缺失;同时 DP 6~50 的支链淀粉也发生不同程度的降解,W1 条件下的降解作用较小。

### 2.3 挤压蒸煮对荞麦粉加工特性的影响

2.3.1 凝胶特性 使用穿刺试验测定不同挤压蒸煮参数下预糊化荞麦粉凝胶的质构特性,结果如图 2 所示。随着挤压温度增加,挤出物凝胶强度显著增大;随着挤压水分从 18% 升高到 22%,挤出物的凝胶强度显著降低,在

表 4 脱分支预糊化荞麦淀粉的结构特征参数<sup>†</sup>

Table 4 Structural characteristic parameters of de-branching pregelatinized buckwheat starch ( $n=3$ ) %

样品编号	DP 6~50(支链淀粉)	DP 51~10 000(直链淀粉)
S	22.0±1.2 <sup>a</sup>	26.0±1.4 <sup>c</sup>
T1	15.3±1.2 <sup>g</sup>	51.5±0.7 <sup>a</sup>
T2	19.5±0.1 <sup>cd</sup>	39.0±0.0 <sup>b</sup>
T3	17.8±0.0 <sup>ef</sup>	30.0±0.0 <sup>c</sup>
W1	21.2±0.1 <sup>ab</sup>	42.5±2.1 <sup>b</sup>
W2	17.8±0.0 <sup>ef</sup>	30.0±0.0 <sup>c</sup>
W3	16.3±0.2 <sup>fg</sup>	45.5±1.4 <sup>b</sup>
R1	18.3±0.5 <sup>de</sup>	44.5±0.7 <sup>b</sup>
R2	19.5±0.1 <sup>cd</sup>	39.0±0.0 <sup>b</sup>
R3	20.3±0.2 <sup>bc</sup>	39.5±0.7 <sup>b</sup>

<sup>†</sup> 同列字母不同表示差异显著( $P<0.05$ )。

26% 又有显著升高的趋势;随着螺杆转速增加,挤出物的凝胶强度增加,但变化不显著。

挤压预糊化过程中,物料在高温、高压、高剪切作用下,淀粉颗粒溶胀,直链淀粉分子从团粒中渗出,规则的胶束结构被破坏,最终淀粉解体。直链淀粉的析出是淀粉凝胶形成的必要条件之一<sup>[17]</sup>。其中,直链淀粉以双螺旋形式互相缠绕,形成凝胶网络<sup>[18]</sup>,而支链淀粉作为分散相充填于网络结构当中。

随着温度的升高,淀粉的降解作用增大,长直链淀粉减少(DP 1 200~10 000 链长缺失),适宜形成凝胶的直链淀粉含量增加,同时 DP 6~50 链长的增加,分散相的结构更加紧密,凝胶强度增加。低水分下,剪切作用增加,但可能是淀粉的不完全糊化,对其降解程度降低,其 DP 6~50 的链长部分显著大于高水分下的淀粉;同时由于蛋白质在高水分条件下加热发生变性,产生絮状沉淀或形成凝胶结构,使 W1 的凝胶强度增强。随着螺杆转速的增加,淀粉的链长未显著变化,其凝胶强度无显著变化。因

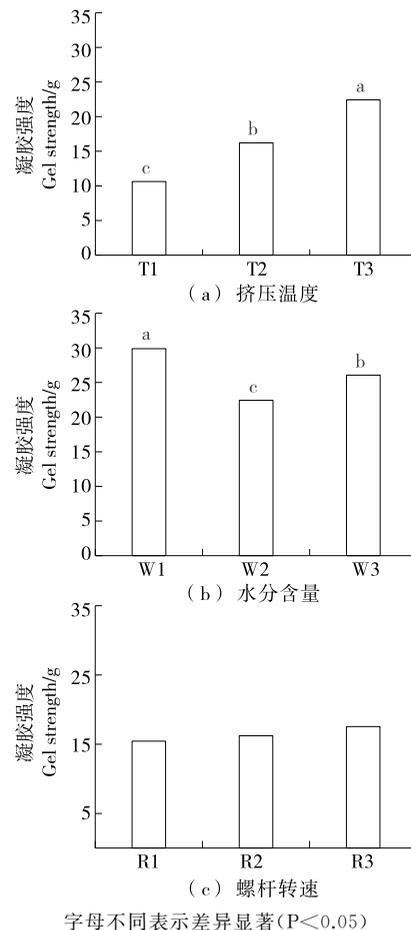
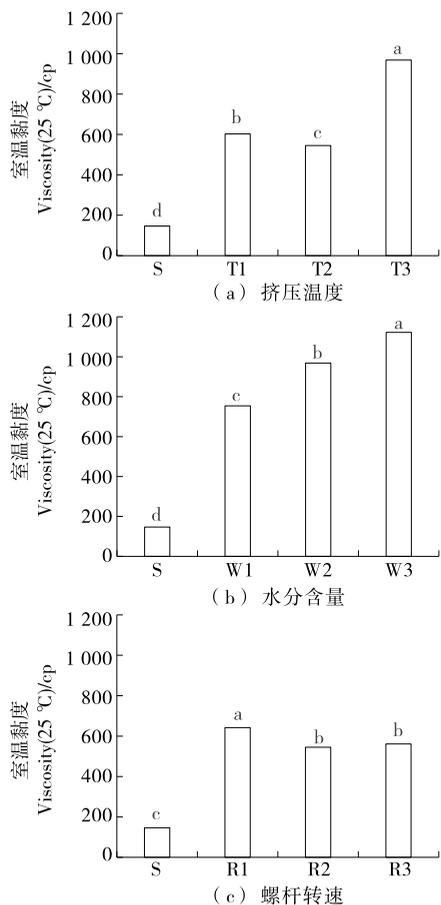


图 2 挤压加工参数对预糊化荞麦粉凝胶特性的影响  
Figure 2 Effects of extrusion processing parameters on gel properties of pre-gelatinized buckwheat ( $n=3$ )

此,可以发现淀粉凝胶的形成,不仅与直链淀粉的含量有关,还需要特定链长的支链与直链淀粉。挤压导致淀粉分子降解,产生了适宜淀粉凝胶形成的特定链长,其中 DP 6~50 的链长与淀粉的凝胶强度呈正相关。W1 中 DP 6~50 的支链淀粉含量较高,以及直链淀粉适宜程度的降解,使其具有较高的凝胶强度,更有利于挂面加工品质的提高。

**2.3.2 室温黏度** 采用 RVA 测定不同预糊化处理条件下荞麦预糊化粉的室温黏度,结果如图 3 所示。经预糊化处理后,荞麦粉的室温黏度显著提高。这是由于挤压机内强大的剪切作用以及高温使荞麦粉中淀粉的团粒结构被破坏,暴露更多的游离羟基,在冷水中易与水结合而使淀粉分子膨胀,形成具有一定黏度的均匀乳液<sup>[19]</sup>。同时荞麦粉中含有 4.7% 的膳食纤维,挤压会使其中可溶性戊聚糖的含量升高<sup>[20-21]</sup>,水溶性戊聚糖在水中可自由伸展成螺旋状的棒状结构,可提高水溶液的黏度。

由图 3(a)所示,随着挤压温度升高,荞麦粉的室温黏



字母不同表示差异显著(P<0.05)

图 3 挤压加工参数对预糊化荞麦粉室温黏度的影响  
Figure 3 Effects of extrusion processing parameters on viscosity of pre-gelatinized buckwheat at 25 °C (n=3)

度刚开始变化不明显,而后显著升高。这是由于温度升高,荞麦粉中水溶性戊聚糖含量升高,从而导致水溶液中黏度增大。

由图 3(b)所示,随着水分含量升高,荞麦粉的室温黏度显著增加。这是由于水分增加,剪切作用减弱,对淀粉团粒的破坏程度降低,淀粉吸水程度增大,从而使得预糊化粉的室温黏度增加<sup>[22]</sup>。

由图 3(c)所示,螺杆转速为 180~220 r/min 时,荞麦粉室温黏度显著降低,之后变化不显著。随着螺杆转速的增加,溶胀的淀粉颗粒受到的剪切降解作用越强烈,但当转速过高时,物料在机筒内所受剪切作用的时间缩短,淀粉团粒破坏程度降低,导致样品的黏度上升。

**2.4 50%荞麦粉的面带质地分析**

在高添加杂粮挂面的加工中,淀粉形成的凝胶强度越强,加工品质越好。因此选择在 W1 条件下生产的预糊化荞麦粉,进行面带的质地分析。首先基于面带质地评价优化面带的水分含量;然后在最适水分条件下,研究不同添加量对面带质地的影响,寻找其在 50% 荞麦挂面中的最适添加量。

**2.4.1 面带水分含量优化** 由表 5 可知,随着水分的增加,面带的抗拉能力先增大后变小,黏附能力逐渐增加。这是由于面团是一个极其复杂的体系。一方面,面团是一个多组分的体系。在面团形成过程中,随着机械搅拌的作用,面团体系中水分与其他组分发生复杂的相互作用,因此水分对面制品的质构特性具有很大的影响<sup>[23]</sup>。面带的抗拉能力可以表征面团内部结合力的大小。当面团水分含量较低时,面筋蛋白由于吸水不足,无法形成良好的面筋组织,导致面带抗拉能力降低;随着水分含量的增加,面筋蛋白吸水逐渐充分,形成致密的面筋网络结构,此时面带抗拉能力达到最大;但面团水分含量过高时,面筋易发生水化,导致面团内部分子间作用力变弱,面带抗拉能力降低。因此,面带的抗拉能力随面团水分含量先增大后减小。另一方面,面团是一个具有黏弹性的胶体及流变学体系。面带的黏附能力可以表征面团的表面黏度,黏附能力越大,面片与接触面剥离时所做的功也越大,易造成面带粘辊。面带的黏附能力随水分含量的增大而增大,是因为水分含量会影响面团中水分的分布<sup>[24]</sup>,进而破坏面带中面筋与淀粉凝胶间网络结构的稳定性。当和面加水量不足时面带松散不易成型,加水量过多时面带易发黏,面团水分过高或过低均会影响挂面加工品质。

在面带黏附适中情况下,面带抗拉能力可以表征面带加工性能。综合考虑,对于 S1、E1、E2、E3 的面团最适含水量为 36%,35%,35%,36%。

**2.4.2 面带质地分析** 从表 5 可知,在面带抗拉能力达到最大时的水分条件下,随着预糊化荞麦粉添加量的增

加,面带的抗拉能力先增大后减小,面带的黏附能力逐渐增大。这是由于预糊化荞麦粉添加量低时,其形成的凝胶作用较弱,不足以将原料黏结在一起;当含量过多时,稀释了面筋蛋白的含量,导致抗拉能力下降。荞麦粉经过挤压处理后,淀粉破裂,分子发生降解,产生的小分子物质使面带的黏附能力增加。

因此,在预糊化荞麦粉添加量为10%,面团水分含量为36%时,面带的抗拉能力最佳,黏附能力适中,最适合制作50%添加量的荞麦挂面。

表5 预糊化荞麦粉—小麦粉混合面带质地分析<sup>†</sup>

Table 5 Texture of pre-gelatinized buckwheat flour-wheat flour mixed dough sheet ( $n=3$ )

样品编号	面团水分/%	抗拉能力/g	黏附能力/(g·s)
S <sub>1-1</sub>	35	160.76±14.30 <sup>g</sup>	94.54±36.54 <sup>i</sup>
S <sub>1-2</sub>	36	229.76±17.79 <sup>e</sup>	531.78±104.42 <sup>efg</sup>
S <sub>1-3</sub>	37	218.07±15.96 <sup>e</sup>	795.21±168.45 <sup>cd</sup>
E <sub>1-1</sub>	34	195.71±9.47 <sup>f</sup>	157.27±55.02 <sup>hi</sup>
E <sub>1-2</sub>	35	260.28±6.37 <sup>d</sup>	320.75±69.66 <sup>gh</sup>
E <sub>1-3</sub>	36	226.05±15.54 <sup>e</sup>	623.79±164.98 <sup>def</sup>
E <sub>2-1</sub>	34	319.62±17.89 <sup>b</sup>	180.48±20.98 <sup>hi</sup>
E <sub>2-2</sub>	35	341.95±16.26 <sup>a</sup>	654.04±77.62 <sup>cde</sup>
E <sub>2-3</sub>	36	345.59±10.43 <sup>a</sup>	1 127.24±193.56 <sup>b</sup>
E <sub>3-1</sub>	35	316.76±12.94 <sup>b</sup>	418.81±84.49 <sup>fg</sup>
E <sub>3-2</sub>	36	322.90±14.62 <sup>b</sup>	870.47±71.90 <sup>c</sup>
E <sub>3-3</sub>	37	277.05±17.50 <sup>c</sup>	2 900.13±591.27 <sup>a</sup>

<sup>†</sup> 同列字母不同表示差异显著( $P<0.05$ )。

### 3 结论

本试验将荞麦粉进行挤压蒸煮后,其常温水中可形成凝胶,室温下黏度增大。在主区温度200℃,水分含量18%,螺杆转速220 r/min的条件下,预糊化淀粉中特定链长的支链淀粉分子(DP 6~50)最多,且凝胶品质改善最为明显。当预糊化荞麦粉添加量为10%时,面带抗拉能力最佳,黏附能力适中,更有利于50%荞麦挂面的压延加工。因此,预糊化荞麦淀粉中特定链长的支链淀粉分子(DP 6~50)与其凝胶强度呈正相关,且适度添加可提高50%荞麦挂面的加工性能。下一步研究将从预糊化粉的凝胶品质与其加工挂面品质建立联系的角度出发,进一步验证预糊化粉凝胶特性作为其改善挂面品质的主要评判指标,从而完善预糊化处理改善荞麦粉加工挂面品质的机制,同时为研究者快速选取高品质预糊化粉提供新的思路。

#### 参考文献

[1] 王世霞,李笑蕊,俞婷婷,等.不同品种苦荞麦营养及功能成分对比分析[J].食品与机械,2016,32(7):5-9.

- [2] 杜双奎,李志西,于修焯.荞麦蛋白研究进展[J].食品科学,2004,25(10):409-414.
- [3] 宋莲军,赵秋艳,乔明武,等.高含量荞麦面条的品质改良研究[J].粮食与饲料工业,2008(2):28-29.
- [4] WANG Ning, WARKENTIN T D, VANDENBERG B, et al. Physicochemical properties of starches from various pea and lentil varieties, and characteristics of their noodles prepared by high temperature extrusion[J]. Food Research International, 2014, 55(55): 119-127.
- [5] 王盼,汪丽萍,吴卫国,等.挤压加工对苦荞粉理化性质的影响[J].粮油食品科技,2016,24(3):6-12.
- [6] 王盼.挤压改性对苦荞挂面品质的影响及机理研究[D].长沙:湖南农业大学,2016.
- [7] 孙晓静.糊化处理对苦荞面团性质的影响[D].咸阳:西北农林科技大学,2016:33.
- [8] 周星杰.添加挤压糊化苦荞粉对小麦面团性质的影响[D].咸阳:西北农林科技大学,2017:45-46.
- [9] 刘淑一.预糊化对燕麦全粉性质及高含量燕麦挂面品质的影响[D].镇江:江苏大学,2017.
- [10] SYAHARIZA Z A, SAR S, HASJIM J, et al. The importance of amylose and amylopectin fine structures for starch digestibility in cooked rice grains [J]. Food Chemistry, 2013, 136(2): 742-749.
- [11] JEFFREY V Castro, CÉLINE Dumas, HERBERT Chiou, et al. Mechanistic Information from Analysis of Molecular Weight Distributions of Starch [J]. Biomacromolecules, 2005, 6(4): 2 248-2 259.
- [12] MAJZOUBI M, KAVEH Z, FARAHNAKY A. Effect of acetic acid on physical properties of pregelatinized wheat and corn starch gels[J]. Food Chemistry, 2016, 196: 720-725.
- [13] LIU Yun-fei, CHEN Jun, LUO Shun-jing, et al. Physicochemical and structural properties of pregelatinized starch prepared by improved extrusion cooking technology [J]. Carbohydrate Polymers, 2017, 175: 265-272.
- [14] LIU Wei-chen, HALLEY P J, GILBERT R G. Mechanism of Degradation of Starch, a Highly Branched Polymer, during Extrusion[J]. Macromolecules, 2010, 43(6): 2 855-2 864.
- [15] 杜双奎,魏益民,张波.挤压膨化过程中物料组分的变化分析[J].中国粮油学报,2005,20(3):39-43.
- [16] 张颖,姜启兴,许艳顺,等.挤压加工对谷物早餐粉膳食纤维成分和物理性质的影响[J].食品与机械,2014,30(3):19-24.
- [17] WHISTLER R L, BEMILLER J N, PASCHALL E F. Starch: Chemistry and technology[M].北京:化学工业出版社,1984:233.
- [18] FREDRIKSSON H, SILVERIO J, ANDERSSON R, et al. The influence of amylose and amylopectin characteristics on gelatinization and retrogradation properties of different starches[J]. Carbohydrate Polymers, 1998, 35(3/4): 119-134.

(下转第29页)

但 AKEH 如何在体内消化吸收和代谢,以及 DPP-IV 抑制肽的降血糖机制有待进一步的研究。

### 参考文献

- [1] 徐庆海. 2 型糖尿病的药物治疗研究进展[J]. 医疗装备, 2017, 30(4): 191-192.
- [2] 韦少恒. 胰岛素治疗糖尿病的研究进展[J]. 中外医学研究, 2015(13): 160-162.
- [3] NONGONIERMA A B, FITZGERALD R J. Structure activity relationship modeling of milk protein-derived peptides with dipeptidyl peptidase IV (DPP-IV) inhibitory activity[J]. Peptides, 2016, 79: 1-7.
- [4] 李明杰. 南极大磷虾多肽制备工艺优化、脱氟及其体外活性的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012: 2-7.
- [5] GUPTA A, ALAUBAIDY H A, MOHAMMED B I. Glucose dependent insulinotropic polypeptide and dipeptidyl peptidase inhibitors: Their roles in management of type 2 diabetes mellitus[J]. Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews, 2016, 10(2): S170-S175.
- [6] 吉薇, 章超桦, 吉宏武. 响应面法优化南极磷虾酶法制备 DPP-IV 抑制肽工艺条件的研究[J]. 广东海洋大学学报, 2016, 36(6): 1-7.
- [7] LIU X B, HARADA N, YAMANE S, et al. Effects of long-term dipeptidyl peptidase-IV inhibition on body composition and glucose tolerance in high fat diet-fed mice[J]. Life Sciences, 2009, 84(25): 876-881.
- [8] GONÇALVES A, MARQUES C, LEAL E, et al. Dipeptidyl peptidase-IV inhibition prevents blood-retinal barrier breakdown, inflammation and neuronal cell death in the retina of type 1 diabetic rats[J]. Biochimica Et Biophysica Acta, 2014, 1842: 1454-1463.
- [9] NEWMAN M, VERDILE G, MARTINS R N, et al. Zebrafish as a tool in Alzheimer's disease research [J]. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Basis of Disease, 2011, 1812(3): 346-352.
- [10] ELO B, VILLANO C M, GOVORKO D, et al. Larval zebrafish as a model for glucose metabolism: expression of phosphoenolpyruvatecarboxykinase as a marker for exposure to anti-diabetic compounds [J]. Journal of Molecular Endocrinology, 2007, 38(4): 433-440.
- [11] 朱晓宇, 刘洪翠, 俞航萍, 等. 神香苏合丸防治心血管疾病的实验研究[J]. 浙江理工大学学报: 自然科学版, 2016, 35(4): 630-635.
- [12] 戴文聪, 刘莉, 王坤元, 等. 急性酒精性脂肪肝斑马鱼模型的建立[J]. 临床肝胆病杂志, 2013, 29(4): 286-289.
- [13] SHARMA P, SHARMA S, PATIAL V, et al. Zebrafish (*Danio rerio*): A potential model for nephroprotective drug screening[J]. Clinical Queries Nephrology, 2014, 3(2/3/4): 97-105.
- [14] GLEESON M, CONNAUGHTON V, ARNESON L S. Induction of hyperglycaemia in zebrafish (*Danio rerio*) leads to morphological changes in the retina[J]. Acta Diabetol, 2007, 44(3): 157-163.
- [15] CAPIOTTI K M, JUNIOR R A, KIST L W, et al. Persistent impaired glucose metabolism in a zebrafish hyperglycemia model[J]. Comparative Biochemistry & Physiology Part B: Biochemistry & Molecular Biology, 2014, 171(1): 58-65.
- [16] OLSEN A S, JR S M, Intine R V. Limb regeneration is impaired in an adult zebrafish model of diabetes mellitus[J]. Wound Repair & Regeneration, 2010, 18(5): 532-542.
- [17] 王泽民. 高糖高脂导致的斑马鱼血管病变[D]. 济南: 山东大学, 2014.
- [18] 张迪, 吉薇, 吉宏武, 等. 响应面法优化南极磷虾酶解液的脱氟工艺[J]. 南方农业学报, 2016, 47(7): 1187-1192.
- [19] SCHMITTGEN T D, LIVAK K J. Analyzing real-time PCR data by the comparative CT method[J]. Nature Protocols, 2008, 3(3): 1101-1108.
- [20] HUANG S L, HUNG C C, JAO C L, et al. Porcine skin gelatin hydrolysate as a dipeptidyl peptidase IV inhibitor improves glycemic control in streptozotocin-induced diabetic rats[J]. Journal of Functional Foods, 2014, 11(2): 235-242.
- [21] PAPASANI M R, ROBISON B D, HARDY R W, et al. Early developmental expression of two insulins in zebrafish (*Danio rerio*) [J]. Physiological Genomics, 2006, 27(1): 79-85.
- [22] 刘雪峰, 李磊, 闫文亮, 等. 杏仁多肽的降血糖活性研究[J]. 内蒙古农业大学学报: 自然科学版, 2010, 31(2): 204-208.

(上接第 23 页)

- [19] 吕莹果, 郭玉, 高学梅. 预糊化淀粉制备、性质及其在食品工业中应用[J]. 粮食与油脂, 2012, 25(7): 47-49.
- [20] DELCOUR J A, VANHAMEL S, HOSENEY R C. Physicochemical and functional properties of rye nonstarch polysaccharides II: Impact of a fraction containing water-soluble pentosans and proteins on gluten-starch loaf volumes[J]. Cereal Chemistry, 1991, 68(1): 72-76.
- [21] 王金华, FERAL Temelli Thava Vansanthan. 双螺杆挤压工艺对大麦面粉中水溶性戊聚糖含量的影响[J]. 食品科学, 2002(7): 79-83.
- [22] MAJZOBI M, RADI M, FARAHNAKY A, et al. Physicochemical properties of pre-gelatinized wheat starch produced by a twin drum drier[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2011, 13(2): 193-202.
- [23] 黄卫宁, 贾春利, 李先玉, 等. 食品(面团)体系表面胶粘性流变学机理及其表征[J]. 食品与生物技术学报, 2006, 25(2): 120-126.
- [24] 范玲, 王晓曦, 马森, 等. 损伤淀粉及加水量与面团水分分布特性的关系研究[J]. 粮食与油脂, 2016, 29(2): 33-37.