

# 挤压加工对苦荞粉理化性质的影响

王盼<sup>1,2</sup>, 汪丽萍<sup>1</sup>, 吴卫国<sup>2</sup>, 谭斌<sup>1</sup>

(1. 国家粮食局科学研究院, 北京 100037; 2. 湖南农业大学, 湖南 长沙 410128)

**摘要:**为了阐明挤压加工技术对苦荞粉理化性质的影响,分别研究了不同挤压温度、物料水分和螺杆转速对挤压苦荞粉的吸水性指数、水溶性指数、膨胀势、糊化及凝胶特性的影响规律。结果表明:与未挤压苦荞粉相比,经挤压改性后的苦荞粉在30℃水浴时有更好的吸水性和水溶性;在100℃水浴时的水溶性增大,吸水性减小;膨胀势、糊化特征值及凝胶特征值均明显升高。随挤压温度升高,挤压苦荞粉的峰值粘度、衰减值增大,谷值粘度、回生值降低,制成的凝胶品质更好;随物料水分升高,吸水性指数、膨胀势、各糊化特征值显著增大,水溶性指数明显降低,低物料水分形成的凝胶品质较好;随螺杆转速升高,水溶性指数增大,吸水性指数和峰值粘度、谷值粘度、衰减值稍降低,膨胀势先增大后减小,转速越高的苦荞粉的凝胶品质越好。综合而言,物料水分变化对挤压苦荞粉的各理化性质影响最大。吸水性指数和水溶性指数与糊化特性、凝胶特性都有显著相关性( $P < 0.05$ );膨胀势与糊化特性极显著正相关( $P < 0.01$ ),与凝胶特性没有显著相关性。

**关键词:**挤压;苦荞粉;理化性质

中图分类号:TS 210.1 文献标识码:A 文章编号:1007-7561(2016)03-0006-07

## Effect of extrusion processing on the physicochemical properties of tartary buckwheat flour

WANG Pan<sup>1,2</sup>, WANG Li-ping<sup>1</sup>, WU Wei-guo<sup>2</sup>, TAN Bin<sup>1,2</sup>

(1. Academy of State Administration of Grain, Beijing 100037;

2. Hunan Agricultural University, Changsha Hunan 410128)

**Abstract:** In order to clarify the effect of extrusion processing technology on the physicochemical properties of tartary buckwheat flour, the influence of the different extrusion temperature, material moisture and screw speed to the water absorption index, water solubility index, swelling power, pasting and gel properties of extrusion tartary buckwheat flour was studied. The results showed that: compared to the un-extruded tartary buckwheat flour, the extrusion buckwheat flour at 30℃ water bath has a better water absorption and water solubility, while the water solubility in water bath at 100℃ increased, the water absorption decreased, swelling power, pasting and gel characteristic values increased significantly. With extrusion temperature increase, the water absorption index, water solubility index and swelling power of the extrusion tartary buckwheat flour changed little, but peak viscosity and attenuation value increased, trough viscosity and setback value decreased, the quality of gels become better; with the moisture content increase, the water absorption, swelling power and the pasting characteristic value increased obviously, water solubility reduced significantly, and quality of the gel formation in low moisture content was good; with the screw speed increase, water solubility increased, but the water absorption, peak viscosity, trough viscosity and attenuation value reduced slightly, swelling power increased first and then decreased, and gel quality of the higher screw speed tartary buckwheat flour is better. Overall, the greatest impact on the properties of extrusion buckwheat flour was the material moisture. Water absorption index and water solubility index were significantly correlated with pasting properties and gel properties ( $P < 0.05$ ). The swelling power and pasting properties were significantly positively correlated ( $P < 0.01$ ). and there was no significant correlation between the swelling power and gel properties.

**Key words:** extrusion; tartary buckwheat flour; physicochemical properties

收稿日期:2015-12-15

基金项目:中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(ZX1506)

作者简介:王盼,1991年出生,女,在读硕士。

通讯作者:谭斌,1972年出生,男,博士,研究员。

苦荞含有类黄酮、抗性淀粉等生物活性物质,具有降血压、降血脂、降血清胆固醇和抗氧化等多种生

理功能,是一种集营养、保健、医疗于一体的重要小宗杂粮作物,被称为“食药两用”的粮食珍品<sup>[1]</sup>,因此备受人们的关注,苦荞食品的开发也受到越来越多的重视<sup>[2]</sup>。由于苦荞属于无面筋谷物,使其加工利用受到限制<sup>[3]</sup>。目前国内苦荞面制品的荞麦含量基本在20%~40%之间<sup>[4]</sup>,且口感较差,使得苦荞的功能因子在日常饮食中难以发挥作用。挤压加工技术,作为一种新型的食品加工技术,已成功应用在苦荞面制食品的开发利用中,可使面制品中苦荞含量高达60%以上<sup>[4]</sup>。挤压工艺是集混合、搅拌、破碎、加热、蒸煮、杀菌、膨化及成型等过程为一体的高新技术<sup>[5]</sup>。在挤压加工的整个过程中,谷物的主要组分发生了复杂的理化变化,淀粉糊化和降解,蛋白质重组变性等<sup>[6]</sup>,使食品物料在质构、组织和外观上都发生了很大的变化<sup>[7]</sup>。冉新炎<sup>[8]</sup>等研究发现挤压之后玉米的理化性质得到有效改善。杨庭<sup>[9]</sup>研究表明挤压改性对糙米粉的糊化特性、水化特性、微观结构均有显著影响。徐树来<sup>[10]</sup>研究发现挤压后的米糠主要营养成分均发生了有益的变化,更利于人体的消化吸收和利用。张洁<sup>[11]</sup>等对挤压后荞麦淀粉的形态、组成及糊化特性等进行了分析。目前对挤压苦荞粉性质研究的报道不全面,还未有挤压条件的变化对苦荞粉理化性质影响的研究。深入研究挤压对苦荞粉理化性质的影响,可为高含量苦荞面制品的生产提供指导,对于苦荞食品的开发及利用具有重要意义<sup>[12]</sup>。本实验通过研究不同挤压条件对苦荞粉理化性质的影响规律,旨在为苦荞食品的深加工和改良提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

苦荞米:敖汉旗水彬米业有限公司。

### 1.2 仪器设备

FW-100 高速万能粉碎机:北京中兴伟业仪器有限公司;SLG30-IV 双螺杆挤压实验机:济南赛百诺科技开发有限公司;Allegra 64R 台式离心机:美国贝克曼公司;DGG-9000 型电热恒温鼓风干燥箱:上海森信试验仪器有限公司;Super-3 快速粘度仪(RVA):澳大利亚 Newport 科学分析仪器有限公司;HCJ-6D 水浴恒温磁力搅拌器:常州恒睿仪器设备制造有限公司;BCD-265CR Royalstar 电冰箱:合肥荣事达电冰箱有限公司;TA-XT2 质构仪:英国 Stable Micro Systems 公司。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 挤压苦荞粉的制备

苦荞米经粉碎后在以下不同挤压条件下进行挤压膨化:挤压温度分别为80、120、160℃(物料水分21%,螺杆转速275 r/min);物料水分分别为13%、21%、29%(挤压温度160℃,螺杆转速275 r/min);螺杆转速分别为250、275、300 r/min(物料水分21%,挤压温度160℃),然后粉碎待用。不同挤压温度时挤压机内对应的加工温度设置为(1~4区):30℃~40℃~50℃~80℃;30℃~60℃~90℃~120℃;70℃~100℃~130℃~160℃。

#### 1.3.2 吸水性指数及水溶性指数的测定

参照康竹君<sup>[13]</sup>和 Soojung Heo<sup>[14]</sup>等人的方法,并有一定改进。准确称取过60目的挤压样品1.5 g,放入已知重量的离心管中,加入20 mL蒸馏水,振荡直至膨化物被完全分散,每个样品分别在30℃和100℃各水浴加热30 min,每间隔10 min手摇30 s。然后在4 000 r/min下离心15 min,分离上清液和沉淀物。上清液倾倒入恒重的铝盒中,在105℃的烘箱中蒸发至恒重。水溶性指数(WSI)和吸水性指数(WAI)按如下式计算:

$$WSI = \frac{\text{上清液蒸发后残余物质量}}{\text{样品干基重}}$$

$$WAI = \frac{\text{倾出上清液后沉淀物质量}}{\text{样品干基重}} \times 100\%$$

#### 1.3.3 膨胀势的测定

参照 McCormick<sup>[15]</sup>的方法并稍作修改,具体方法为:称取过60目的样品粉0.25 g于已知重量的15 mL离心管中,加入7 mL蒸馏水混匀,在70℃水浴中振摇4 min,然后在70℃水浴中加热6 min,再移至100℃水浴加热10 min,取出迅速置于20℃下冷却5 min,在4 000 r/min下离心4 min,去上清液,每个处理均重复2次,最后称毛重(g)。

$$\text{膨胀势} = (\text{毛重} - \text{离心管重}) / \text{样品重}$$

#### 1.3.4 糊化特性的测定

用快速粘度仪RVA对挤压苦荞粉的糊化特性进行测定,测定前先用AACC44-19<sup>[16]</sup>法测定出样品的水分含量。称取大约4 g样品置于RVA专用铝杯内,加入25 mL蒸馏水,然后用搅拌桨将样品搅拌分散,放入仪器中进行测定。采用升温/降温循环,糊化测定程序如下:起始温度50℃,保持1 min,在4 min内加热至95℃保温2.5 min,4 min内冷却至50℃,保持2 min。搅拌桨在起始10 s内旋转速度为960 r/min,以后保持160 r/min至结束。

1.3.5 凝胶特性的测定

参照吴卫国<sup>[17]</sup>的方法并稍加修改,样品过60目筛,在烧杯中将苦荞粉调成浓度为15%的乳液,并搅拌均匀,将烧杯置于95℃水浴中加热并用磁力搅拌20 min,趁热将苦荞糊倒进高2 cm的培养皿中,冷却至室温后加上盖,置于4℃冰箱中,贮存24 h后将凝胶倒出,用质构仪TPA测定凝胶的硬度、粘性、弹性、内聚性、耐咀嚼性和回复性。测定条件:P36R型探头;测试前速度:1.00 mm/s;测试速度:1.00 mm/s;测试后速度:1.00 mm/s;压缩形变:50%;感应力:0.1962 N。

1.4 数据处理

试验所得数据均为三次重复试验数据的平均值,采用Excel2007软件进行数据处理,用SPSS v17.0软件进行差异显著性和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 挤压条件对苦荞粉吸水性指数和水溶性指数的影响

吸水性指数表征样品在水中分散吸水的能力;水溶性指数表征样品在水中的溶解能力<sup>[18]</sup>。研究表明样品的吸水性指数和水溶性指数与其制成的面条质构品质相关<sup>[19]</sup>。

2.1.1 挤压温度对苦荞粉吸水性指数和水溶性指数的影响

与未经挤压的苦荞粉相比,挤压使苦荞粉在30℃水浴的吸水性指数和水溶性指数明显较大,这个结论与Serap Ozcan<sup>[20]</sup>和杨庭<sup>[9]</sup>的研究结果一致,这是由于挤压工艺的高温高压及高剪切作用,促使物料中的淀粉发生糊化,大分子组分降解程度显著,形成的水溶性小分子多,因此挤压后在较低温度有比较大的吸水性指数和水溶性指数<sup>[18]</sup>;而100℃水浴时挤压粉较原粉吸水性指数降低,水溶性指数明显增大,可能是由于挤压粉在100℃水浴后进一步糊化完全,糊精数量增加,持水能力又开始下降,溶解度增加<sup>[21]</sup>,所以100℃水浴的挤压苦荞粉吸水性指数比30℃水浴的吸水性指数低,水溶性指数比30℃水浴的明显要高。由图1和图2可看出,随着挤压温度的升高,在30℃水浴的挤压苦荞粉吸水性指数无变化,水溶性指数稍有增大;100℃水浴的吸水性指数和水溶性指数变化均不显著,这说明挤压温度在80~160℃范围内对挤压苦荞粉的吸水性指数和水溶性指数影响不大。

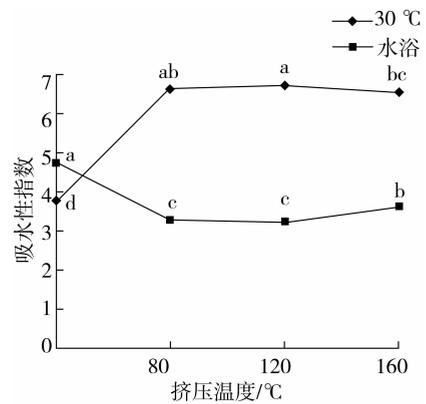


图1 挤压温度对苦荞粉吸水性指数影响

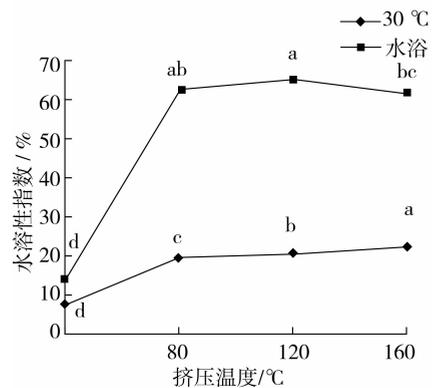


图2 挤压温度对苦荞粉水溶性指数影响

2.1.2 物料水分对苦荞粉吸水性指数和水溶性指数的影响

从图3和图4中可看出,随着物料水分的升高,挤压苦荞粉在30℃的吸水性指数呈先增大后稍减少,这与马萌<sup>[18]</sup>的研究结果一致,在21%水分时吸水性指数最大,这主要是由于物料水分低时,淀粉未能充分糊化,随着水分含量的上升,淀粉糊化度迅速增大,吸水指数随之上升,但当物料水分过高时,不能及时放出的残留水蒸汽凝成水后还会造成样品回生,吸水指数稍微降低<sup>[18]</sup>,而挤压苦荞粉水溶性指数随物料水分的增加呈明显下降趋势。物料水分较

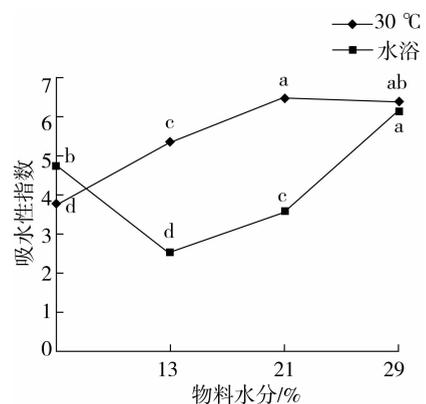


图3 不同物料水分的苦荞粉吸水性指数

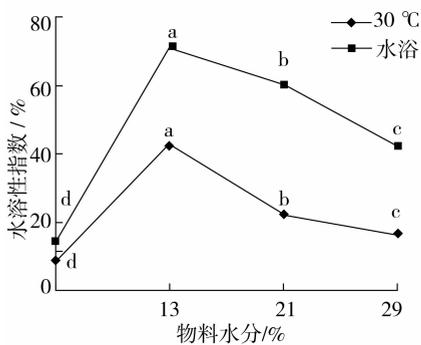


图4 不同物料水分的苦荞粉水溶性指数

高时挤压产生的大分子量淀粉较多,在 100 °C 水浴后淀粉链暴露出来使持水能力增强,导致挤压苦荞粉在 100 °C 的吸水性指数随物料水分的升高呈显著上升趋势,而水溶性指数趋势正好相反。

2.1.3 螺杆转速对苦荞粉吸水性指数和水溶性指数的影响

由图 5 和图 6 可看出,挤压苦荞粉随螺杆转速的升高,在 30 °C 水浴时的吸水性指数变化不大,水溶性指数有增大趋势,可能是由于螺杆转速的升高,螺杆对物料的剪切力增加,苦荞粉内的淀粉分子由大分子变为糊精等更易溶于水的小分子,使水溶性指数上升<sup>[18]</sup>。挤压之后的苦荞粉在 100 °C 水浴的变化趋势与 30 °C 基本相同。

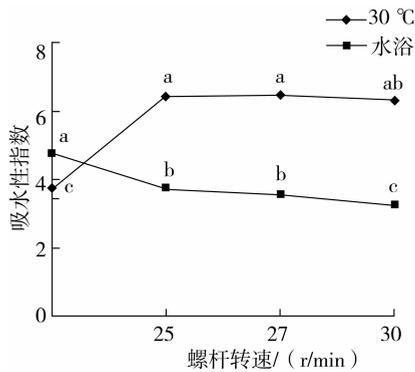


图5 螺杆转速对苦荞粉吸水性指数影响

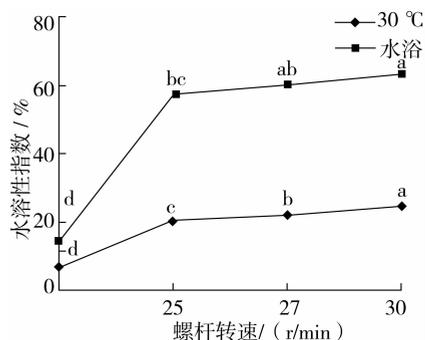


图6 螺杆转速对苦荞粉水溶性指数影响

综合而言,物料水分的变化对 30 °C 和 100 °C 水浴的吸水性指数和水溶性指数的影响趋势均最明显,吸水性指数分别在 5.3 ~ 6.3、2.5 ~ 6 之间,水溶性指数分别在 16% ~ 42%、42% ~ 71% 之间,说明影响最大,其次是螺杆转速,挤压温度的影响最小。

2.2 挤压条件变化对苦荞粉膨胀势的影响

由图 7、图 8、图 9 可看出,与未挤压苦荞粉相比,经过挤压后苦荞粉的膨胀势明显增大,可能是由于挤压后苦荞粉的糊化和降解导致淀粉颗粒膨胀并遭到破坏,受热后淀粉破裂更多,淀粉链暴露出来使结合水能力增强,导致苦荞粉膨胀势增大<sup>[9,22]</sup>。此外,挤压苦荞粉随挤压温度的增大,膨胀势无明显变化。随着物料水分的升高,挤压苦荞粉的膨胀势逐渐升高,从 6.1 升至 8.4,在  $P < 0.05$  水平上有显著性差异。随着螺杆转速的增大,挤压粉膨胀势有先稍增大后稍降低的趋势,250 r/min 与 300 r/min 无显著性差异,在 275 r/min 时最大,其膨胀势为 7.6。膨胀势反映了淀粉在糊化过程中的吸水力和在一定条件下离心后其糊浆的持水力<sup>[23]</sup>,主要由于样品中淀粉发生膨胀<sup>[22]</sup>。姚大年<sup>[24]</sup>等认为,面粉的膨胀势与面条评分呈正相关,能反映面条的蒸煮品质。一般来说,膨胀势高的面粉制成面条光滑且富有弹性<sup>[25]</sup>。

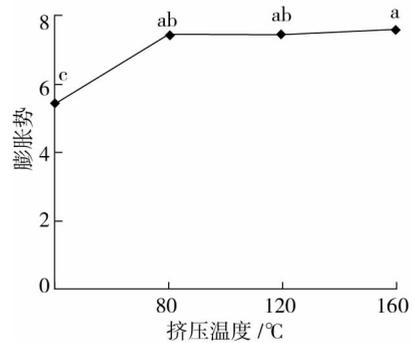


图7 挤压温度对苦荞粉膨胀势影响

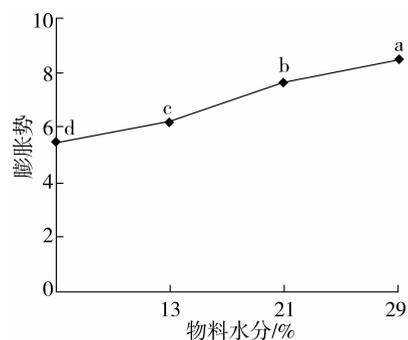


图8 物料水分对苦荞粉膨胀势影响

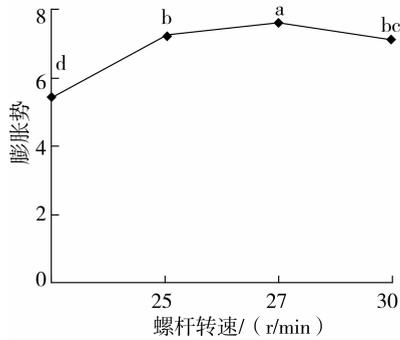


图9 螺杆转速对苦荞粉膨胀势影响

2.3 挤压条件变化对苦荞粉糊化特性的影响

RVA 特征值主要反映的是原料粉中淀粉的糊化性质。本实验虽以苦荞粉为研究对象,但此性质与其

表1 不同挤压条件的挤压苦荞粉 RVA 值

挤压条件	峰值粘度	谷值粘度	衰减值	最终粘度	回生值	峰值时间
未挤压苦荞	86.5 ± 0.7 <sup>e</sup>	78 ± 1.4 <sup>f</sup>	8.5 ± 0.7 <sup>e</sup>	144 ± 2.8 <sup>e</sup>	66 ± 1.4 <sup>d</sup>	7 ± 0 <sup>a</sup>
挤压温度	80 °C	1 871 ± 101 <sup>e</sup>	305 ± 1.4 <sup>d</sup>	1 566 ± 100 <sup>c</sup>	632 ± 6.4 <sup>c</sup>	327 ± 4.9 <sup>b</sup>
	120 °C	2 237 ± 6.4 <sup>b</sup>	344 ± 5.7 <sup>c</sup>	1 893 ± 12 <sup>b</sup>	634 ± 15 <sup>c</sup>	290 ± 9.2 <sup>c</sup>
	160 °C	2 272 ± 190 <sup>b</sup>	376 ± 0 <sup>bc</sup>	1 896 ± 190 <sup>b</sup>	657 ± 0 <sup>bc</sup>	281 ± 0 <sup>c</sup>
物料水分	13%	682 ± 50.9 <sup>d</sup>	193 ± 0 <sup>e</sup>	489 ± 50.9 <sup>d</sup>	448 ± 4.2 <sup>d</sup>	255 ± 4.2 <sup>c</sup>
	21%	2 272 ± 190 <sup>b</sup>	376 ± 0 <sup>bc</sup>	1 896 ± 190 <sup>b</sup>	657 ± 0 <sup>bc</sup>	281 ± 0 <sup>c</sup>
	29%	2 630 ± 83 <sup>a</sup>	896 ± 38 <sup>a</sup>	1 735 ± 121 <sup>bc</sup>	1 414 ± 16 <sup>a</sup>	518 ± 21 <sup>a</sup>
螺杆转速	250 r/min	2 563 ± 146 <sup>a</sup>	401 ± 1.4 <sup>b</sup>	2 162 ± 148 <sup>a</sup>	678 ± 21 <sup>b</sup>	277 ± 19 <sup>c</sup>
	275 r/min	2 272 ± 190 <sup>b</sup>	376 ± 0 <sup>bc</sup>	1 896 ± 190 <sup>b</sup>	657 ± 0 <sup>bc</sup>	281 ± 0 <sup>c</sup>
	300 r/min	2175 ± 110 <sup>b</sup>	351 ± 2.1 <sup>c</sup>	1 825 ± 112 <sup>bc</sup>	632 ± 33 <sup>c</sup>	282 ± 30 <sup>c</sup>

注:表中数据表示平均数 ± 标准偏差,数字旁的字母表示纵列比较的差异显著性(P < 0.05)

挤压苦荞粉的峰值粘度、谷值粘度、衰减值、最终粘度随着挤压温度的升高而增大,回生值和峰值时间随挤压温度的升高而减小,但当温度升至 120 °C 以上时,挤压温度对苦荞粉糊化特性的影响减弱,可能是由于挤压温度达到苦荞粉的糊化温度之上,在物料水分一定的条件下,糊化程度相差不多,导致 RVA 特征值差别不大。

不同物料水分的挤压苦荞粉的各糊化参数值均有显著性差异(P < 0.05),随着物料水分的增加,挤压粉的各糊化参数值均呈逐渐升高的趋势,与杨庭<sup>[9]</sup>的研究结果一致,这是由于物料水分高,可以减少淀粉分子的降解程度,再糊化时相对分子量较大的淀粉产生的黏度值相对较高,而低物料水分情况下则与此相反<sup>[9]</sup>。不同物料水分的挤压粉峰值粘度、谷值粘度、最终粘度和回生值的变化趋势最明显,说明物料水分对挤压苦荞粉的糊化特性影响最大。

与物料水分相比,螺杆转速对糊化特性影响较小,随着螺杆转速的增大,剪切作用增强,使降解作

用加剧,促使挤压苦荞粉的峰值粘度、谷值粘度、衰减值和最终粘度减小,但当转速增至 275 r/min 后对糊化特性的影响较小。

大量研究表明,面条的硬度和口感质量与面粉的 RVA 峰值黏度、谷值黏度和最终黏度等糊化特性密切相关<sup>[22]</sup>。峰值粘度高的淀粉制成的面条在表观状态和粘弹性方面品质较好<sup>[25]</sup>。峰值粘度反应淀粉的吸水率,谷值粘度和衰减值反映原料中的淀粉在高温下耐剪切的能力<sup>[26]</sup>。最终粘度表示室温下淀粉糊的硬度,回生值反映淀粉糊的老化或回生程度,挤压后苦荞粉的淀粉形成凝胶性增强<sup>[11,27]</sup>。由表 1 可看出,与未挤压相比,挤压后使苦荞粉的各糊化特征值均明显升高,说明挤压使苦荞粉预糊化,吸水率增大,再糊化时峰值粘度增大,热稳定性变差,形成凝胶性增强。

表1 不同挤压条件的挤压苦荞粉 RVA 值

挤压条件	峰值粘度	谷值粘度	衰减值	最终粘度	回生值	峰值时间
未挤压苦荞	86.5 ± 0.7 <sup>e</sup>	78 ± 1.4 <sup>f</sup>	8.5 ± 0.7 <sup>e</sup>	144 ± 2.8 <sup>e</sup>	66 ± 1.4 <sup>d</sup>	7 ± 0 <sup>a</sup>
挤压温度	80 °C	1 871 ± 101 <sup>e</sup>	305 ± 1.4 <sup>d</sup>	1 566 ± 100 <sup>c</sup>	632 ± 6.4 <sup>c</sup>	327 ± 4.9 <sup>b</sup>
	120 °C	2 237 ± 6.4 <sup>b</sup>	344 ± 5.7 <sup>c</sup>	1 893 ± 12 <sup>b</sup>	634 ± 15 <sup>c</sup>	290 ± 9.2 <sup>c</sup>
	160 °C	2 272 ± 190 <sup>b</sup>	376 ± 0 <sup>bc</sup>	1 896 ± 190 <sup>b</sup>	657 ± 0 <sup>bc</sup>	281 ± 0 <sup>c</sup>
物料水分	13%	682 ± 50.9 <sup>d</sup>	193 ± 0 <sup>e</sup>	489 ± 50.9 <sup>d</sup>	448 ± 4.2 <sup>d</sup>	255 ± 4.2 <sup>c</sup>
	21%	2 272 ± 190 <sup>b</sup>	376 ± 0 <sup>bc</sup>	1 896 ± 190 <sup>b</sup>	657 ± 0 <sup>bc</sup>	281 ± 0 <sup>c</sup>
	29%	2 630 ± 83 <sup>a</sup>	896 ± 38 <sup>a</sup>	1 735 ± 121 <sup>bc</sup>	1 414 ± 16 <sup>a</sup>	518 ± 21 <sup>a</sup>
螺杆转速	250 r/min	2 563 ± 146 <sup>a</sup>	401 ± 1.4 <sup>b</sup>	2 162 ± 148 <sup>a</sup>	678 ± 21 <sup>b</sup>	277 ± 19 <sup>c</sup>
	275 r/min	2 272 ± 190 <sup>b</sup>	376 ± 0 <sup>bc</sup>	1 896 ± 190 <sup>b</sup>	657 ± 0 <sup>bc</sup>	281 ± 0 <sup>c</sup>
	300 r/min	2175 ± 110 <sup>b</sup>	351 ± 2.1 <sup>c</sup>	1 825 ± 112 <sup>bc</sup>	632 ± 33 <sup>c</sup>	282 ± 30 <sup>c</sup>

注:表中数据表示平均数 ± 标准偏差,数字旁的字母表示纵列比较的差异显著性(P < 0.05)

原料粉在含水体系中加热至一定温度可发生糊化,糊化后形成具有一定弹性和强度的半透明凝胶,凝胶的黏弹性、强度等特性对淀粉质食品的加工、成型性能、口感、速食性能等都有较大影响<sup>[28]</sup>。吴卫国<sup>[17]</sup>等人研究表明原料淀粉凝胶的黏弹性、硬度等特性会直接影响到产品的品质。样品糊的胶凝主要是由于样品中的淀粉糊化后从淀粉粒中渗析出来的直链淀粉,在降温冷却的过程中以双螺旋形式互相缠绕形成凝胶网络,并在部分区域有序化形成微晶<sup>[29]</sup>。一般认为凝胶硬度大、弹性好、咀嚼度高、粘性低的原料粉凝胶品质较好<sup>[30]</sup>。由表 2 可看出,与未挤压相比,由于挤压使淀粉糊化,且降解后更多直链淀粉暴露出,促使挤压后的苦荞粉制成的凝胶硬度、粘性、耐咀嚼性和回复性均有显著的增大,而弹性和内聚性未见明显变化。

2.4 挤压条件变化对苦荞粉凝胶特性的影响

原料粉在含水体系中加热至一定温度可发生糊化,糊化后形成具有一定弹性和强度的半透明凝胶,凝胶的黏弹性、强度等特性对淀粉质食品的加工、成型性能、口感、速食性能等都有较大影响<sup>[28]</sup>。吴卫国<sup>[17]</sup>等人研究表明原料淀粉凝胶的黏弹性、硬度等特性会直接影响到产品的品质。样品糊的胶凝主要是由于样品中的淀粉糊化后从淀粉粒中渗析出来的直链淀粉,在降温冷却的过程中以双螺旋形式互相缠绕形成凝胶网络,并在部分区域有序化形成微晶<sup>[29]</sup>。一般认为凝胶硬度大、弹性好、咀嚼度高、粘性低的原料粉凝胶品质较好<sup>[30]</sup>。由表 2 可看出,与未挤压相比,由于挤压使淀粉糊化,且降解后更多直链淀粉暴露出,促使挤压后的苦荞粉制成的凝胶硬度、粘性、耐咀嚼性和回复性均有显著的增大,而弹性和内聚性未见明显变化。

表2 不同挤压条件的挤压苦荞粉凝胶特性

挤压条件	硬度	粘性	弹性	内聚性	耐咀嚼性	回复性
未挤压苦荞	157 ± 21.4 <sup>e</sup>	-394 ± 76.7 <sup>b</sup>	0.92 ± 0.0 <sup>a</sup>	0.41 ± 0.0 <sup>ab</sup>	58.8 ± 8 <sup>d</sup>	0.03 ± 0.0 <sup>d</sup>
80 °C	479 ± 54.2 <sup>d</sup>	-842 ± 112 <sup>d</sup>	0.85 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.44 ± 0.01 <sup>ab</sup>	177 ± 19 <sup>e</sup>	0.10 ± 0.02 <sup>bc</sup>
120 °C	642 ± 38.4 <sup>c</sup>	-550 ± 41.8 <sup>c</sup>	0.83 ± 0.07 <sup>a</sup>	0.43 ± 0.06 <sup>ab</sup>	231 ± 62.4 <sup>c</sup>	0.10 ± 0.03 <sup>bc</sup>
160 °C	996 ± 139 <sup>b</sup>	-396 ± 80.9 <sup>b</sup>	0.87 ± 0.06 <sup>a</sup>	0.44 ± 0.08 <sup>ab</sup>	374 ± 64.8 <sup>b</sup>	0.11 ± 0.04 <sup>b</sup>
13%	1 328 ± 76.6 <sup>a</sup>	-237 ± 83.5 <sup>a</sup>	0.87 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.45 ± 0.04 <sup>a</sup>	523 ± 88.9 <sup>a</sup>	0.16 ± 0.03 <sup>a</sup>
21%	996 ± 139 <sup>b</sup>	-396 ± 80.9 <sup>b</sup>	0.87 ± 0.06 <sup>a</sup>	0.44 ± 0.08 <sup>ab</sup>	374 ± 64.8 <sup>b</sup>	0.11 ± 0.04 <sup>b</sup>
29%	1 317 ± 120 <sup>a</sup>	-900 ± 75.6 <sup>d</sup>	0.87 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.36 ± 0.01 <sup>b</sup>	412 ± 36.6 <sup>b</sup>	0.07 ± 0.01 <sup>c</sup>
250 r/min	535 ± 30.4 <sup>cd</sup>	-919 ± 52.3 <sup>d</sup>	0.86 ± 0.0 <sup>a</sup>	0.44 ± 0.01 <sup>ab</sup>	201 ± 12.6 <sup>c</sup>	0.09 ± 0 <sup>bc</sup>
275 r/min	996 ± 139 <sup>b</sup>	-396 ± 80.9 <sup>b</sup>	0.87 ± 0.06 <sup>a</sup>	0.44 ± 0.08 <sup>ab</sup>	374 ± 64.8 <sup>b</sup>	0.11 ± 0.04 <sup>b</sup>
300 r/min	1 090 ± 47 <sup>b</sup>	-585 ± 56.5 <sup>c</sup>	0.84 ± 0.09 <sup>a</sup>	0.39 ± 0.06 <sup>ab</sup>	363 ± 97.1 <sup>b</sup>	0.10 ± 0.01 <sup>bc</sup>

注:表中数据表示平均数 ± 标准偏差,数字旁的字母表示纵列比较的差异显著性( $P < 0.05$ )

不同挤压温度得到的苦荞粉凝胶硬度、粘性、耐咀嚼性在  $P < 0.05$  水平上有显著性差异。随着挤压温度的升高,凝胶的硬度和耐咀嚼性逐渐增大,粘性逐渐减小,说明挤压温度越高,苦荞粉中淀粉的大分子降解越多,再糊化后使形成凝胶的粘度值较小。挤压温度达到 160 °C 后的挤压苦荞粉制成的凝胶硬度和耐咀嚼性更大,粘度更小。

不同含水量物料挤压得到的苦荞粉凝胶硬度、粘性、内聚性、耐咀嚼性和回复性均存在显著性差异,说明物料水分对挤压粉凝胶特性的影响最大。随着挤压粉物料水分的增加,凝胶的粘性逐渐增大,内聚性、耐咀嚼性和回复性减小,硬度先减小后增大,这说明物料水分低时增加了原料中淀粉分子的降解程度,使产生粘性值较高的大分子减少,导致粘性降低,而降解成的直链淀粉分子有序化缠绕,形成较紧密的凝胶网络结构<sup>[31]</sup>,使硬度和耐咀嚼性比较大。

不同螺杆转速挤压得到的苦荞粉凝胶硬度、粘性、耐咀嚼性存在显著性差异,其中对粘性的影响较大。随着螺杆转速的增大,凝胶硬度、耐咀嚼性增大,粘性先减小后稍增大。所以螺杆转速大于 275 r/min 时苦荞淀粉的降解程度较大,使制成凝胶的硬度和耐咀嚼性更大,粘性更小。

### 2.5 相关性分析

苦荞粉的吸水性指数、水溶性指数、膨胀势与其糊化特性的相关性如表3,结果表明:30 °C 的吸水性指数与峰值粘度( $r = 0.899$ )、衰减值得( $r = 0.911$ )呈极显著正相关( $P < 0.01$ ),与峰值时间呈极负相显著关性( $r = -0.94$ ,  $P < 0.01$ ),与回生值呈显著正相关( $r = 0.731$ ,  $P < 0.05$ );100 °C 水溶性指数与峰值时间呈极显著负相关( $r = -0.917$ ,  $P < 0.01$ );膨胀势与峰值粘度、谷值粘度、衰减值得、最终粘度、回生

值均呈极显著正相关( $r$  分别为 0.933、0.857、0.858、0.866、0.896,  $P < 0.01$ )。

表3 吸水性指数、水溶性指数、膨胀势与糊化特性的相关系数

性质	峰值粘度	谷值粘度	衰减值得	最终粘度	回生值得	峰值时间
30 °C 吸水性指数	0.899 **	0.554	0.911 **	0.625	0.731 *	-0.904 **
30 °C 水溶性指数	-0.057	-0.133	-0.028	-0.042	0.136	-0.609
100 °C 吸水性指数	0.162	0.673	-0.013	0.588	0.393	0.363
100 °C 水溶性指数	0.453	0.068	0.525	0.178	0.385	-0.917 **
膨胀势	0.933 **	0.857 **	0.858 **	0.886 **	0.896 **	-0.691

注: \* 在 0.05 水平(双侧)上显著相关; \*\* 在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

苦荞粉的吸水性指数、水溶性指数、膨胀势与其凝胶特性的相关性如表4,结果表明:30 °C 的吸水性指数与弹性呈极显著负相关( $r = -0.859$ ,  $P < 0.01$ );30 °C 的水溶性指数与回复性呈极显著正相关( $r = 0.957$ ,  $P < 0.01$ ),与耐咀嚼性呈显著正相关( $r = 0.788$ ,  $P < 0.05$ );100 °C 吸水性指数与内聚性呈显著负相关( $r = -0.809$ ,  $P < 0.05$ );100 °C 水溶性指数与弹性极呈显著负相关( $r = -0.836$ ,  $P < 0.01$ ),与回复性呈极显著正相关( $r = 0.848$ ,  $P < 0.01$ )。

表4 吸水性指数、水溶性指数、膨胀势与凝胶特性的相关系数

性质	硬度	粘性	弹性	内聚性	耐咀嚼性	回复性
30 °C 吸水性指数	0.397	-0.476	-0.859 **	0.082	0.361	0.4
30 °C 水溶性指数	0.665	0.408	-0.392	0.502	0.788 *	0.957 **
100 °C 吸水性指数	0.03	-0.442	0.436	-0.809 *	-0.129	-0.647
100 °C 水溶性指数	0.518	0.019	-0.836 **	0.499	0.596	0.848 **
膨胀势	0.405	-0.659	-0.622	-0.323	0.292	0.072

注: \* 在 0.05 水平(双侧)上显著相关; \*\* 在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

### 3 结论

经挤压膨化后,苦荞粉在 30 ℃ 的吸水性指数和水溶性指数以及 100 ℃ 的水溶性指数均增大,100 ℃ 的吸水性指数减小,膨胀势、糊化特征值及凝胶特征值均明显升高。

随挤压温度升高,峰值粘度、衰减值以及凝胶的硬度和耐咀嚼性增大,谷值粘度、回生值和凝胶的粘性降低;随物料水分升高,吸水性、膨胀势、各糊化特征值及凝胶的粘性增大,水溶性指数及凝胶的内聚性、耐咀嚼性、回复性降低,凝胶的硬度先减小后增大;随螺杆转速升高,水溶性指数和凝胶的硬度、耐咀嚼性增大,吸水性指数和峰值粘度、谷值粘度、衰减值稍降低,膨胀势先增大后减小,凝胶的粘性先减小后增大。相比之下,物料水分对挤压苦荞粉的各理化性质影响最大。

吸水性指数和水溶性指数与糊化特性、凝胶特性均有显著相关性( $P < 0.05$ );膨胀势与糊化特性存在极显著相关性( $P < 0.01$ )。

#### 参考文献:

- [1] 左光明. 苦荞主要营养成分关键利用技术研究[D]. 贵州: 贵州大学, 2009.
- [2] 时政, 韩承华, 黄凯丰. 苦荞种子中淀粉含量的基因型差异研究[J]. 新疆农业大学学报, 2011, 34(2): 107-110.
- [3] 龚丽. 苦荞麦气流膨化及膨化荞麦功能特性研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2011.
- [4] 汪玉明, 高国强. 苦荞麦粉加工工艺研究[J]. 粮油食品科技, 2007, 15(4): 8-9.
- [5] 李锴. 糙米挤压膨化的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2009.
- [6] 刘兴信. 挤压技术在谷物加工中的应用[J]. 粮食与食品工业, 2007, 14(2): 5-10.
- [7] 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.
- [8] 冉新炎, 董海洲, 刘传富, 等. 玉米挤压工艺条件的优化及其理化特性的研究[J]. 中国食品学报, 2011, 11(7): 140-147.
- [9] 杨庭, 朱科学, 谭斌, 等. 挤压改性对糙米理化性质的影响[J]. 食品工业科技, 2014, 35(24): 96-103.
- [10] 徐树来. 挤压加工对米糠主要营养成分影响的研究[J]. 中国粮油学报, 2007, 22(3): 12-16.
- [11] 张洁, 张国权, 罗勤贵. 挤压对荞麦淀粉及其混配淀粉理化性质的影响[J]. 农业机械, 2011, 32: 97-101.
- [12] 刘瑞, 冯佰利, 晁桂梅, 等. 苦荞淀粉颗粒及淀粉糊性质研究[J]. 中国粮油学报, 2014, 29(12): 31-36.
- [13] 康竹君, 陈恺, 李焕荣, 等. 复合米粉挤压膨化制品配方的研究[J]. 中国食品与营养, 2012, 18(6): 26-32.
- [14] Soojung Heo, Soyoun Jeon, Suyong Lee. Utilization of Lentinus edodes mushroom - glucan to enhance the functional properties of gluten-free rice noodles[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2014, 55: 627-631.
- [15] McCormick K M, Panozzo J F, Hong S H. A swelling power test for selecting potential noodle quality wheats[J]. Australian Journal of Agriculture Research, 1991(42): 317-323.
- [16] AACC 44-19, Moisture - Air - Over Method, Drying at 135 ℃ [S].
- [17] 廖卢艳, 吴卫国. 不同淀粉糊化及凝胶特性与粉条品质的关系[J]. 农业工程学报, 2014, 30(15): 332-337.
- [18] 马萌. 菱角粉的理化性质及应用研究[D]. 无锡: 江南大学, 2013.
- [19] Wang N, Warkentin T D. 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: 119-127.
- [20] Ozcan S, Jackson D S. Functionality Behavior Of Raw and Extruded Corn Starch Mixtures[J]. Cereal Chemistry, 2005, 82(2): 223-227.
- [21] 刘丽, 程建军, 杨文鑫, 等. 挤压处理对碎米结构及特性的影响[J]. 食品工业科技, 2013, 34(01): 92-96.
- [22] 梁丽松, 林顺顺, 张柏林, 等. 脱脂、脱蛋白处理对板栗粉膨胀势的影响[J]. 中国农业科学, 2012, 45(18): 3820-3831.
- [23] 周惠明, 李曼, 朱科学, 等. 面粉品质与面条品质的关系探讨[J]. 粮食与食品工业, 2011, 18(6): 19-22.
- [24] 姚大年, 李保云. 小麦品种主要淀粉性状及面条品质预测指标的研究[J]. 中国农业科学, 1999, 32(6): 84-88.
- [25] 张豫辉, 陆启玉. 淀粉及其结构、性质对面条品质影响的研究进展[J]. 粮食与油脂, 2014, 27(12): 20-23.
- [26] 宋志刚, 王建华, 王汉忠. 粉葛淀粉的理化特性[J]. 应用化学, 2006, (09): 974-977.
- [27] 黄峻榕, 许亚伦. 淀粉黏度性质研究最新进展[J]. 食品与机械, 2011(6): 7-11.
- [28] 吕振磊, 李国强, 陈海华. 马铃薯淀粉糊化及凝胶特性研究[J]. 食品与机械, 2010, 26(3): 22-27.
- [29] Faedriksson H, Silverio J, Ersson R. The influence of amylose and amylopectin characteristics on gelatinization and retrogradation properties of different starches[J]. Carbohydrate Polymers, 1998, 35: 110-134.
- [30] 林伟静, 曾志红, 钟葵. 不同品种绿豆的淀粉品质特性研究[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(7): 47-51.
- [31] 丁文平, 蒲萍萍, 丁霄霖. 大米淀粉理化指标对其凝胶特性的影响[J]. 无锡轻工大学学报, 2002, 21(5): 477-481. 