

## 螺杆转速与加水量对方便粥品质的影响

王 晨, 吴卫国, 赵俊杰, 宋雪耐, 廖卢艳, 王 燕\*

(湖南农业大学食品科学技术学院 长沙 410128)

**摘要** 分别控制加水量、螺杆转速生产挤压膨化方便粥,通过测定方便粥的理化性质、感官品质、质构特性等,分析不同控制条件对方便粥品质影响。结果表明:随着螺杆转速的提高,水溶性指数(WSI)、吸水性指数(WAI)和感官品质更佳,方便粥的硬度、胶黏性、咀嚼度下降;随着加水量的增加,WAI、WSI、感官品质下降,硬度、胶黏性、咀嚼度上升。螺杆转速与 WSI、WAI 和感官品质呈显著正相关关系,与质构特性呈显著负相关关系;加水量与 WSI、WAI 和感官品质呈显著负相关关系,与质构特性呈显著正相关关系。高螺杆转速与低加水量均有利于提高方便粥品质。当螺杆转速为 250 r/min、加水量为 15% 时,采用挤压工艺生产的方便粥品质效果最好。

**关键词** 挤压工艺;方便粥;理化性质;感官品质;质构特性

**文章编号** 1009-7848(2023)08-0296-10 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2023.08.030

粥以谷物为原料,经加水熬煮,温暖肠胃,营养丰富,老少皆宜,且易被人体消化吸收,同时也是中国传统的食品,深受人们喜爱<sup>[1]</sup>。随着人民的生活水平提高与当今食品工业的发展,常规熬煮的加工方法已无法满足人们对于当下快节奏生活的需求。食用前只需稍加处理或不需处理即可食用的方便粥渐走入人们的视野<sup>[2]</sup>。大量研究表明,不同处理工艺及处理条件会相应改善粥的品质。黄小雨等<sup>[3]</sup>研究发现,快速冻结(-80℃)下冷冻方便粥与鲜煮米粥的色度值无显著差异,冻结温度与复热后水分含量成负相关关系,与固形物含量成正相关。白洁等<sup>[4]</sup>研究发现,气流膨化处理会影响方便粥中的蛋白质、淀粉等分子构型,进而改善方便粥品质,缩短复水时间。吴练军<sup>[5]</sup>研究发现,利用热风干燥处理技术,使原料内部出现大量的微小孔道,能使原料迅速脱水,利于缩短糊化及蒸煮时间,提高粥的品质。

挤压膨化技术是一种集混合、搅拌、加热、熟化、杀菌、膨化及成型为一体的创新技术,具有操作简单、效率高、连续性强、无污染、对原料利用率高、营养成分流失较少等优点<sup>[6-8]</sup>。作为一项新型食品加工技术,在大多方面都可以加以应用。有研究表明,挤压膨化处理提高了灭酶率,降低了脂肪酸

含量,稳定化效果显著能延长谷物的贮藏期<sup>[9-11]</sup>;挤压膨化处理能极大地保留营养价值<sup>[12]</sup>,提高产品中抗氧化物质含量<sup>[13-14]</sup>,影响抗氧化性<sup>[15-17]</sup>,同时既能保留谷物制品风味<sup>[18-19]</sup>,又能影响产品的风味<sup>[20]</sup>。目前,关于挤压膨化技术的研究多集中于对原料的改性,探究对其氧化活性及风味的影响方面,而对方便粥的研究较少。基于前期的试验研究<sup>[21]</sup>,本文选择探究加水量和螺杆转速两个挤压工艺条件对生产方便粥品质的影响,通过测定水溶性指数(WSI)、吸水性指数(WAI)、糊化度、感官品质、质构特性等指标进行评价,为方便粥的开发与应用提供理论支持。

### 1 材料与方法

#### 1.1 试验材料

混合原料粉<sup>[22]</sup>(大米 50%、大豆蛋白粉 14%、藜麦 20%、燕麦 5%、黑豆 5%、黑米 6%),购于张家口万全区燕豚食品有限公司;糖化酶(酶活 $\geq$ 100 000 U/mL),购于上海瑞永生物科技有限公司;其它试剂均为分析纯级。

#### 1.2 主要仪器与设备

FWHE36-24 双螺杆挤压机,富马科公司;TA.XT. plus 质构仪,英国 Stable Micro System 公司;NR10QC 色差仪,三恩驰科技有限公司;SU8010 扫描式电子显微镜,日立公司;101-3 型电热恒温鼓风干燥箱,上海路达实验仪器有限公司;HX-C

收稿日期:2022-08-29

基金项目:湖南省重点领域研发项目(2019NK2131)

第一作者:王晨,男,硕士

通信作者:王燕 E-mail: 693675748@qq.com

旋涡混合器,江苏金怡仪器科技有限公司。

### 1.3 方法

1.3.1 方便粥的制备 基于前期的研究结果<sup>[21]</sup>,综合考虑方便粥的成型、色泽、口感等因素后,本试验中加水量分别为15%,18%,21%,24%,27%;螺杆转速分别为190,205,220,235,250 r/min。

1.3.2 方便粥理化指标的测定 将挤压成型后的方便粥粉碎并过80目备用。

1.3.2.1 方便粥 WSI 与 WAI 的测定 参照 Kantrong 等<sup>[23]</sup>的方法,稍作调整。精确称取质量为2.0 g 粉碎过筛后样品( $M_0$ ),加入到洁净干燥的离心管  $M_1$  中,加入蒸馏水 20 mL,用旋涡混合器剧烈振荡 30 s,使其完全分散,于 30 °C 的水浴锅中进行 30 min 水浴加热,然后进行离心,在 4 000 r/min 的条件下样品离心 20 min。离心后将上清液倒入已知净重为  $M_2$  的洁净蒸发皿中,标号后放入 105 °C 的烘箱干燥,记烘干恒重的蒸发皿重量为  $M_3$ ,称量倒出上清液后离心管的重量  $M_4$ 。分别按式(1)和(2)计算 WSI 和 WAI。

$$\text{WSI}(\%) = \frac{M_3 - M_2}{M_0} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{WAI}(\%) = \frac{M_4 - M_1}{M_0} \times 100 \quad (2)$$

1.3.2.2 方便粥糊化度的测定 参考吴昊<sup>[24]</sup>的方法。精确称取 1.0 g 粉碎过筛后样品,分别放入 2 个锥形瓶中( $W_1$ 、 $W_2$ ),另取锥形瓶  $W_0$ ,不加样品作

空白对照。于 3 个锥形瓶中分别加入 50 mL 蒸馏水,轻轻振荡至充分混合,将  $W_1$  锥形瓶在电炉上保持微沸糊化 20 min,不要让其烧干并不断摇晃,然后冷却至室温。在 3 个锥形瓶中分别加入稀释的糖化酶 5 mL,充分混匀,50 °C 恒温水浴 1 h,及时取出加入 2 mL 盐酸(1 mol/L)终止反应,将反应物定容至 100 mL,过滤备用。移取滤液各 10 mL 分别放入 3 个标记碘量瓶中,并且加入 10 mL 碘液(0.05 mol/L)及 18 mL 氢氧化钠(0.1 mol/L)溶液,盖塞,在暗处放置 15 min,然后迅速加入 2 mL 硫酸,用硫代硫酸钠(0.1 mol/L)溶液滴定至无色,记录硫代硫酸钠消耗的体积。糊化度按式(3)计算。

$$\text{糊化度}(\%) = \frac{W_0 - W_2}{W_0 - W_1} \times 100 \quad (3)$$

式中, $W_0$ ——空白对照组消耗硫代硫酸钠的体积,mL; $W_1$ ——电炉糊化后样品消耗硫代硫酸钠的体积,mL; $W_2$ ——不经电炉糊化的样品消耗硫代硫酸钠的体积,mL。

1.3.3 方便粥感官品质的测定 由 5 人组成品尝小组进行感官评价。冲泡前观察方便粥表面的色泽、孔洞大小及密度;冲泡后观察粥的复水情况,入口咀嚼 5~8 s,感觉是否粘口、细腻、爽滑,慢慢感受粥的风味和口感,对上述感官进行打分。感官评价表指标见表 1。

表 1 方便粥感官评定标准

Table 1 Sensory evaluation standard of instant porridge

指标	分数/分	判定标准
冲泡前	色泽	10 粥粒颜色均一(8~10分);颜色不均一,略有异色(5~7分);明显异色(0~4分)
	表观现状	20 表面存在适量小孔,无裂缝(14~20分);粥粒存在少量大孔,表面轻微裂(8~13分);粥粒无固定形状,粒型难辨(0~7分)
冲泡后	气味	10 具有天然浓郁的香味(8~10分);香味较淡(5~7分);无香味或有明显异味(0~4分)
	分散性	10 粥粒分散均匀,无结块(8~10分);少量结块(5~7分);较多结块(0~4分)
	复水性	15 粥粒适度膨大,复水时间短(10~15分);复水时间略长(5~9分);复水时间过长,粥粒软烂(0~4分)
	适口性	20 黏稠适宜,口感细腻,不粘牙(14~20分);黏稠,口感略有粗糙,粘牙(8~13分);黏稠严重,口感粗糙,米粒粘牙严重(0~7分)
	爽滑性	15 粥爽滑(8~15分);爽滑程度略差(5~7分);爽滑程度差(0~4分)

1.3.4 方便粥质构特性的测定 根据 Zhou 等<sup>[25]</sup>的方法,稍作调整测定方便粥质构特性。采用 P/

36R 探头。参数设定:形变量 50%,速度 20 mm/s,起始力 5.0 g。

1.3.5 方便粥色泽的测定 使用色差仪测定样品的色泽。

1.3.6 方便粥微观结构分析 参照 Philipp 等<sup>[26]</sup>的方法稍作调整。选取颗粒饱满、形状规则的粥粒样品,粉碎过 80 目筛;用高真空镀膜机在样品表明喷金 1 min,在扫描电镜下以 500 倍的放大倍率观察拍照。

1.3.7 数据处理 每个试验至少重复 3 次。采用 SPSS 25.0 统计软件进行数据处理分析(显著性水平为  $P<0.05$ )。用 Origin 9.0 软件进行作图。

## 2 结果与讨论

### 2.1 螺杆转速与加水量对方便粥理化性质的影响

图 1a~1d 分别显示挤压工艺中加水量与螺杆转速对方便粥理化性质的影响。理化性质由糊化度、WSI、WAI 组成。图 1a 中随着加水量的增加,WSI 与 WAI 均逐渐下降,而糊化度则在加水量为

24%时候出现峰值。WSI 与淀粉的降解程度有关,溶解性的变化直接反应了分子降解或破坏程度,WAI 则反映了淀粉吸水溶胀能力<sup>[27]</sup>,代表着淀粉凝胶化程度。随着加水量的增加,逐渐增加了原料在腔内的润滑度,进而降低了摩擦力和剪切力,缩短了原料粉在腔内停留的时间,减弱了淀粉分子间的破坏作用,膨化不完全,淀粉的降解度与凝胶能力逐渐下降,WSI、WAI 逐渐下降。图 1b 中随着加水量的不断增加,淀粉与水分子结合程度逐渐升高,导致糊化度也逐渐升高,而同时水也是一种高效润滑剂,当达到一定加水量时,原料与腔体、螺杆之间的产生的热量减少,原料粉在腔内停留时间也缩短,进而导致糊化度降低<sup>[28-29]</sup>。

图 1c 中随着螺杆转速的增加,WSI、WAI 均逐渐增加,而糊化度在 220 r/min 出现峰值。随着螺杆转速的增加,原料粉在机筒内受到的摩擦力和剪切力逐渐增大,使得原料粉中淀粉、蛋白质等物质在高温、高压下与水瞬时发生反应,产生更多

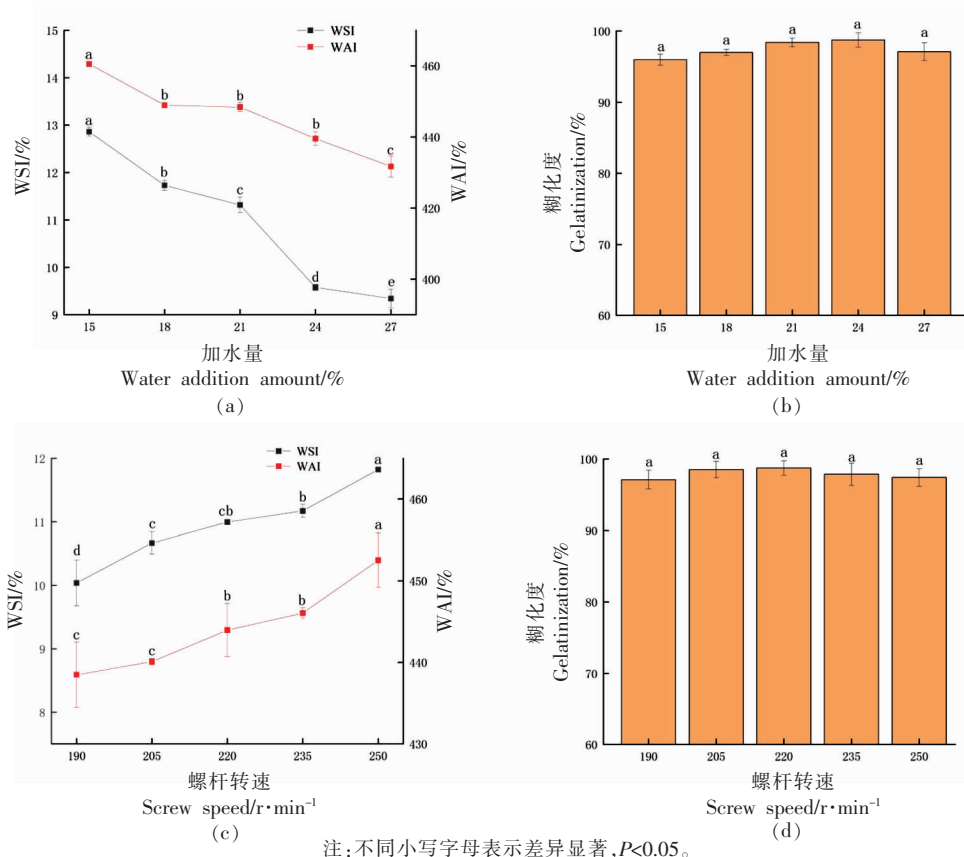


图 1 螺杆转速与加水量对方便粥理化性质的影响

Fig.1 Effects of screw speed and water addition amount on physicochemical properties of instant porridge

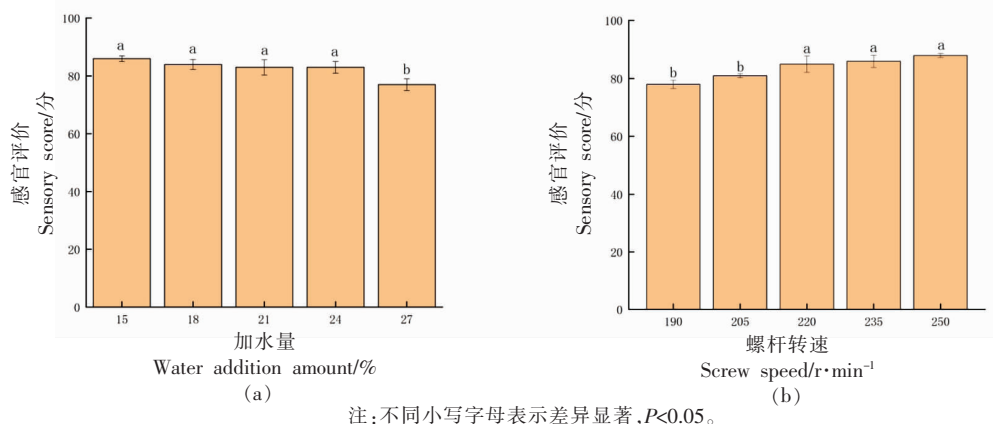
的亲水基团<sup>[15]</sup>,增强了与水的结合能力<sup>[30]</sup>。另外有研究表明,随着螺杆转速增加,淀粉中大部分支链被分解,因此可溶性成分含量增加<sup>[31]</sup>。Hagenimana 等<sup>[32]</sup>还发现,挤压增加了淀粉糊化和糊精化的程度,同样会导致 WSI 的增加。高温、高螺杆转速使物料产生糊化现象,使淀粉分子间距增大,削弱淀粉分子间氢键的连接作用使淀粉分子内部大量亲水基团暴露,提高其 WAI<sup>[33]</sup>。提高螺杆转速能增加螺杆之间的剪切力,从而利于淀粉分解更有利于糊化,但在较高转速条件下,极大地缩短了物料在腔体停留的时间,减少了单位原料粉吸收的热能,所以如图 1d 所示,糊化度在高螺杆转速下呈下降趋势<sup>[34]</sup>。

## 2.2 螺杆转速与加水量对方便粥感官品质的影响

图 2a 和 2b 分别为挤压工艺中加水量与螺杆

转速对方便粥感官品质的影响。在图 2a、表 2(加水量)中,随着加水量的增加感官评价逐渐降低,其中表观现状、适口性、爽滑性也逐渐降低。原因可能是加水量的上升,导致样品膨胀度减小,粥粒的体积密度增大,导致口感偏硬,咀嚼性变差。另外随着加水量的增加,物料在机筒内停留时间减少,使得物料所受剪切作用减弱,进而水溶性物质减少,这与理化测定的结果一致。说明加水量对感官品质有影响。

图 2b 中,随着螺杆转速的增加,感官评价逐渐上升,其中表观现状、适口性、爽滑性也逐渐上升。螺杆转速增加,在逐渐提高的剪切力作用下,表观气孔孔径细小且分布均匀,淀粉膨化速率也逐渐提高,水溶性物质含量增加,以致感官评价上升。



注:不同小写字母表示差异显著, $P < 0.05$ 。

图 2 螺杆转速与加水量对方便粥感官品质的影响

Fig.2 Effects of screw speed and water addition amount on sensory quality of instant porridge

表 2 螺杆转速与加水量对方便粥感官品质的影响

Table 2 Effects of screw speed and water addition amount on sensory quality of instant porridge

		表观现状	适口性	爽滑性
螺杆转速/ $r \cdot \text{min}^{-1}$	190	$14.0 \pm 1.0^a$	$13.0 \pm 2.0^a$	$10.0 \pm 1.7^a$
	205	$14.0 \pm 1.73^a$	$14.0 \pm 0.0^a$	$11.0 \pm 2.7^a$
	220	$15.0 \pm 2.0^a$	$15.0 \pm 1.7^a$	$12.0 \pm 2.0^a$
	235	$15.0 \pm 1.0^a$	$15.0 \pm 1.0^a$	$13.0 \pm 2.0^a$
	250	$16.0 \pm 2.0^a$	$16.0 \pm 2.0^a$	$13.0 \pm 3.0^a$
加水量/%	15	$17.3 \pm 1.2^a$	$16.3 \pm 1.2^a$	$14.0 \pm 2.7^a$
	18	$16.0 \pm 1.0^{ab}$	$15.0 \pm 2.7^a$	$13.0 \pm 0.0^a$
	21	$15.0 \pm 1.7^{abc}$	$14.0 \pm 1.0^{ab}$	$12.0 \pm 2.0^a$
	24	$13.0 \pm 2.0^{bc}$	$13.0 \pm 2.0^{ab}$	$12.0 \pm 1.7^a$
	27	$12.0 \pm 2.7^c$	$11.0 \pm 1.7^b$	$11.0 \pm 2.7^a$

注:不同小写字母代表组内差异显著( $P < 0.05$ )。

### 2.3 螺杆转速与加水量对方便粥质构特性的影响

方便粥质构特性见表3。螺杆转速对方便粥的硬度、胶黏性、咀嚼度和回复性影响显著( $P < 0.05$ ),方便粥的硬度、胶黏性、咀嚼度随着螺杆转速增加而降低。这是因为在高剪切力作用下,分子间作用力逐渐破坏,部分物质发生局部降解,高螺杆转速同时会产生较高的模口成型压力<sup>[35]</sup>,因内外压差过大,样品挤出时水分瞬间气化,改变了方便粥的内部结构,因此使方便粥的硬度、胶黏性、咀嚼度和回复性下降。

加水量对方便粥的硬度、胶黏性、咀嚼度影响

显著( $P < 0.05$ ),对回复性影响不显著( $P > 0.05$ ),方便粥的硬度、胶黏性、咀嚼度随着水量的增加而增加。机筒内高温、高剪切力导致物料挤出时当中大部分水分迅速气化,加大了挤出物料的膨化度<sup>[33]</sup>。加水量的增加,减弱了腔内压力,减弱了气化程度,膨化度降低,物料含水量的增加也会导致物料黏度增大<sup>[36]</sup>,最终方便粥在冲泡后,硬度、咀嚼度和胶黏性逐渐提高。蒋华彬等<sup>[37]</sup>也发现,水量的增多会提升粥的硬度、咀嚼度和胶黏性。加水量对回复性影响不大,说明加水量不影响方便粥的回复性。

表3 螺杆转速与加水量对方便粥质构特性的影响

Table 3 Effects of screw speed and water addition amount on texture characteristics of instant porridge

		硬度	胶黏性	咀嚼度	回复性
螺杆转速/ $r \cdot \min^{-1}$	190	735.900 ± 142.598 <sup>a</sup>	468.600 ± 79.543 <sup>a</sup>	419.900 ± 74.913 <sup>a</sup>	0.290 ± 0.015 <sup>ab</sup>
	205	618.100 ± 100.339 <sup>ab</sup>	412.000 ± 67.162 <sup>ab</sup>	362.900 ± 75.039 <sup>ab</sup>	0.310 ± 0.014 <sup>a</sup>
	220	579.100 ± 103.191 <sup>b</sup>	379.700 ± 72.791 <sup>ab</sup>	345.500 ± 73.656 <sup>ab</sup>	0.300 ± 0.020 <sup>ab</sup>
	235	527.700 ± 3.008 <sup>bc</sup>	352.900 ± 14.899 <sup>bc</sup>	324.000 ± 35.077 <sup>bc</sup>	0.320 ± 0.025 <sup>a</sup>
	250	426.100 ± 33.655 <sup>c</sup>	272.600 ± 25.286 <sup>c</sup>	239.900 ± 22.195 <sup>c</sup>	0.280 ± 0.014 <sup>b</sup>
加水量/%	15	413.500 ± 31.534 <sup>d</sup>	258.400 ± 24.277 <sup>d</sup>	222.800 ± 32.777 <sup>d</sup>	0.290 ± 0.022 <sup>a</sup>
	18	487.100 ± 46.249 <sup>cd</sup>	314.900 ± 37.658 <sup>cd</sup>	285.400 ± 32.723 <sup>cd</sup>	0.300 ± 0.018 <sup>a</sup>
	21	579.100 ± 103.191 <sup>bc</sup>	379.700 ± 72.791 <sup>bc</sup>	345.500 ± 73.656 <sup>bc</sup>	0.300 ± 0.020 <sup>a</sup>
	24	705.100 ± 116.429 <sup>b</sup>	438.300 ± 63.164 <sup>b</sup>	379.200 ± 46.381 <sup>b</sup>	0.290 ± 0.021 <sup>a</sup>
	27	859.700 ± 117.512 <sup>a</sup>	546.200 ± 73.521 <sup>a</sup>	484.700 ± 63.114 <sup>a</sup>	0.310 ± 0.011 <sup>a</sup>

注:不同小写字母代表组内差异显著( $P < 0.05$ )。

### 2.4 螺杆转速与加水量对方便粥色差的影响

方便粥的色泽对消费者来说起着重要作用,主要是受原料本身基质和制备工艺条件的影响。 $L^*$ 值表示白度,数值越大,试样越白越亮; $a^*$ 值表示红绿值,数值越大试样愈红; $b^*$ 值代表黄蓝值,

数值越大,试样越黄<sup>[38]</sup>。从表4可看出,随着螺杆转速的增加,方便粥白亮度整体成上升趋势,整体逐渐变黄。加水量的增加,白亮度先增后降,黄蓝值逐渐减小。这可能是与原料自身基质相关。

表4 螺杆转速与加水量对方便粥色差的影响

Table 4 Effects of screw speed and water addition amount on color difference of instant porridge

		$L^*$	$a^*$	$b^*$
螺杆转速/ $r \cdot \min^{-1}$	190	51.500 ± 0.133 <sup>d</sup>	3.400 ± 0.026 <sup>b</sup>	8.500 ± 0.025 <sup>d</sup>
	205	50.900 ± 0.026 <sup>c</sup>	3.300 ± 0.021 <sup>c</sup>	8.300 ± 0.026 <sup>c</sup>
	220	52.000 ± 0.045 <sup>c</sup>	3.500 ± 0.035 <sup>a</sup>	8.600 ± 0.021 <sup>b</sup>
	235	53.300 ± 0.071 <sup>b</sup>	3.400 ± 0.012 <sup>c</sup>	8.600 ± 0.035 <sup>c</sup>
	250	53.400 ± 0.020 <sup>a</sup>	3.400 ± 0.015 <sup>b</sup>	9.000 ± 0.031 <sup>a</sup>
加水量/%	15	53.300 ± 0.265 <sup>b</sup>	3.800 ± 0.066 <sup>a</sup>	9.700 ± 0.117 <sup>a</sup>
	18	56.500 ± 0.059 <sup>a</sup>	3.600 ± 0.015 <sup>b</sup>	9.100 ± 0.044 <sup>b</sup>
	21	52.200 ± 0.081 <sup>c</sup>	3.600 ± 0.030 <sup>b</sup>	8.800 ± 0.052 <sup>c</sup>
	24	50.100 ± 0.075 <sup>d</sup>	3.800 ± 0.017 <sup>a</sup>	8.500 ± 0.010 <sup>d</sup>
	27	50.000 ± 0.106 <sup>d</sup>	3.500 ± 0.023 <sup>c</sup>	8.400 ± 0.040 <sup>d</sup>

注:不同小写字母代表组内差异显著( $P < 0.05$ )。

## 2.5 螺杆转速与加水量对方便粥微观结构的影响

挤压产品的微观照片客观展示了颗粒大小、淀粉凝胶化与结构等信息<sup>[27]</sup>。由图 3a~3c 所示,螺杆转速高、低影响着淀粉、蛋白质等分子大小与凝胶化程度。随着螺杆转速的提升,物料所受剪切力升高,淀粉和蛋白质等大分子物质在高剪切的环境下发生结构的解离,同时提升了凝胶化程度。从图 3a~3c 中可以看出,被破坏的大分子物质其产物随着螺杆转速增加而缩小,可溶性物质增加,这

与 WSI 对应,游离颗粒之间结合程度也随着螺杆转速增加而变得愈发贴合。Sandrin 等<sup>[39]</sup>同样发现类似的研究结果。

由图 3d~3f 所示,加水量同样对淀粉、蛋白质分子大小与凝胶化程度有影响。水作为一种高效的润滑剂,随着加水量的增加,逐渐降低螺杆的剪切作用,增强了润滑作用,致使挤压物料不充分,降低了凝胶化程度。淀粉、蛋白质等粒度随着水量的增加而逐渐加大,游离颗粒之间的结合程度也逐渐下降。

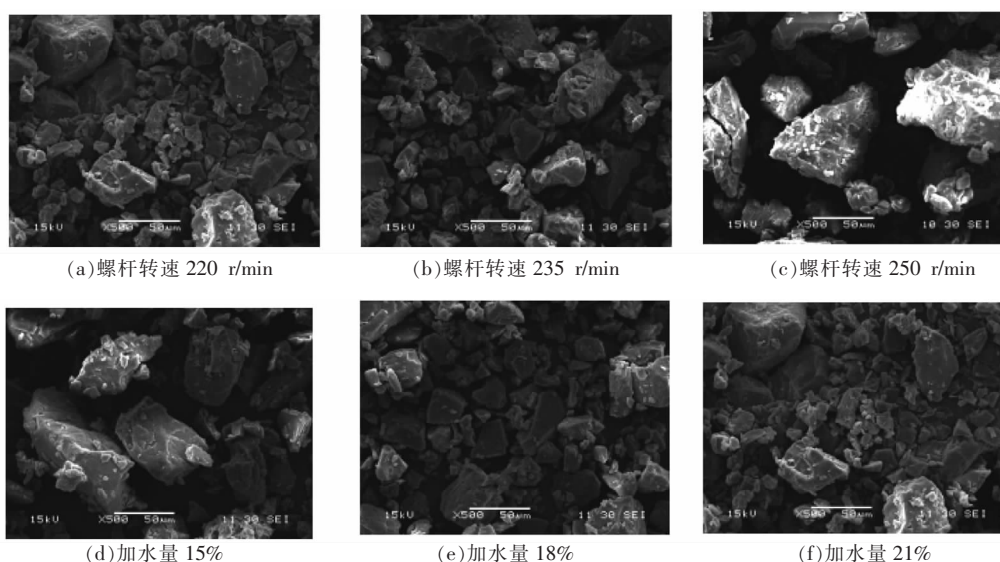


图 3 螺杆转速与加水量对方便粥的微观结构

Fig.3 Effects of screw speed and water addition amount on micro-structure of instant porridge

## 2.6 螺杆转速与方便粥品质的相关性分析

由表 5 可知,螺杆转速与硬度、胶黏性、咀嚼度、回复性呈极显著负相关关系,与糊化度呈负相关,与表观现状、WAI 呈显著正相关关系,与适口性、爽滑性、WSI 呈极显著正相关关系;表观现状与质构特性呈显著负相关关系,适口性与质构特性呈极显著负相关关系,爽滑性与质构特性中回复性呈极显著负相关关系,与硬度、胶黏性、咀嚼度呈显著负相关关系;WAI 与质构特性均呈显著负相关关系,与感官品质中表观现状呈极显著正相关关系,与适口性和爽滑性呈显著正相关关系;WSI 与质构特性中硬度、胶黏性和咀嚼度呈极显著负相关关系,与回复性呈显著负相关关系,与适口性呈极显著正相关关系,与表观现状和爽滑性

呈显著正相关关系。由此可见,高螺杆转速会降低方便粥的质构特性,但同时也会提升方便粥的感官品质,对理化性质则影响不一。另外可看出,方便粥的感官品质可通过质构特性、WAI、WSI 反映出来。

## 2.7 加水量与方便粥品质的相关性分析

由表 6 可知,加水量与硬度、胶黏性、咀嚼度呈极显著正相关关系,与回复性呈显著正相关关系,与感官品质呈极显著负相关关系,与糊化度呈正相关关系,与 WSI、WAI 呈极显著负相关关系;表观现状和适口性与硬度、胶黏性、咀嚼度呈极显著负相关关系,与回复性呈显著负相关关系;爽滑性与硬度和回复性呈显著负相关关系,与胶黏性和咀嚼度呈极显著负相关关系;糊化度与质构特

表5 螺杆转速与方便粥品质的相关性

Table 5 Correlation between screw speed and quality of instant porridge

	螺杆转速	硬度	胶黏性	咀嚼度	回复性	表观现状	适口性	爽滑性	糊化度	WSI	WAI
螺杆转速	1	-0.981**	-0.982**	-0.963**	-0.998**	0.945*	0.971**	0.970**	-0.023	0.968**	0.956*
硬度		1	0.989**	0.984**	0.977**	-0.925*	-0.990**	-0.943*	-0.109	-0.992**	-0.920*
胶黏性			1	0.997**	0.969**	-0.949*	-0.972**	-0.914*	0.031	-0.993**	-0.954*
咀嚼度				1	0.947*	-0.938*	-0.965**	-0.883*	0.016	-0.994**	-0.939*
回复性					1	-0.931*	-0.969**	-0.984**	-0.014	-0.958*	-0.941*
表观现状						1	0.943*	0.871	-0.132	0.911*	0.991**
适口性							1	0.942*	0.157	0.969**	0.924*
爽滑性								1	0.116	0.907*	0.880*
糊化度									1	0.050	-0.222
WSI										1	0.913*
WAI											1

注:\*. 在 0.05 级别(双尾)相关性显著;\*\* 在 0.01 级别(双尾)相关性极显著。

性呈正相关关系,与感官品质呈负相关关系;WSI 与硬度呈极显著负相关关系,与胶黏性、咀嚼度和回复性呈显著负相关关系,与表观现状呈极显著正相关关系,与适口性和爽滑性呈显著正相关关系;WAI 与质构特性呈极显著负相关关系,与表观

现状和适口性呈极显著正相关关系,与爽滑性呈显著正相关关系。由此可看出,高加水量会提高质构特性,同时降低感官品质,对理化性质影响不一。

表6 加水量与方便粥品质的相关性

Table 6 Correlation between water addition amount and quality of instant porridge

	加水量	硬度	胶黏性	咀嚼度	回复性	表观现状	适口性	爽滑性	糊化度	WSI	WAI
加水量	1	0.989**	0.992**	0.987**	0.956*	-0.991**	-0.986**	-0.971**	0.563	-0.976**	-0.977**
硬度		1	0.997**	0.988**	0.937*	-0.990**	-0.996**	-0.943*	0.443	-0.960**	-0.970**
胶黏性			1	0.997**	0.948*	-0.983**	-0.999**	-0.964**	0.462	-0.953*	-0.972**
咀嚼度				1	0.956*	-0.969**	-0.997**	-0.977**	0.461	-0.937*	-0.971**
回复性					1	-0.936*	-0.948*	-0.949*	0.511	-0.943*	-0.991**
表观现状						1	0.978**	0.931*	-0.532	0.988**	0.971**
适口性							1	0.958*	-0.424	0.944*	0.972**
爽滑性								1	-0.593	0.910*	0.942*
糊化度									1	-0.603	-0.489
WSI										1	0.972**
WAI											1

注:\*. 在 0.05 级别(双尾)相关性显著;\*\* 在 0.01 级别(双尾)相关性极显著。

### 3 结论

从方便粥的理化性质、感官品质,方便粥的质构特性等方面分析挤压工艺中螺杆转速和加水量对方便粥品质的影响。结果表明,螺杆转速的增加,方便粥的 WSI 和 WAI 逐渐升高。随着转速的增加,对方便粥的感官品质也有较好的改善。从质构特性看,高螺杆转速会降低方便粥的硬度、胶黏

性、咀嚼度和回复性。加水量的增加,会降低方便粥的 WSI 和 WAI。随着加水量的增加,对方便粥的感官产生负面影响。从质构特性看,高加水量会增加其硬度、胶黏性、咀嚼度和回复性。从相关性分析中可看出,质构特性与感官品质呈显著或极显著负相关,WSI 和 WAI 与感官品质呈显著或极显著正相关,因此质构特性与 WSI、WAI 都能较好

地反映感官品质。综合以上结果,螺杆转速的增加对方便粥感官、理化品质有着明显改善作用,加水量的增加对方便粥感官品质、理化性质有着明显不良作用,其中螺杆转速 250 r/min,加水量 15% 的改善效果最好。本研究为后续研究挤压工艺改善速食方便粥品质提供理论依据,也为其在实际生产中的应用提供参考。

### 参 考 文 献

- [1] 刘树立,王春艳,王华.我国方便食品的现状与发展趋势[J].中国食品添加剂,2007(2):131-135.  
LIU S L, WANG C Y, WANG H. The present situation and development tendency of convenience food in our country[J]. China Food Additives, 2007(2): 131-135.
- [2] 修茹燕.富含花色苷的发芽黑米速食粥及体外抗氧化研究[D].福州:福建农林大学,2016.  
XIU R Y. Study on the anthocyanin-enriched germinated instant black porridge and anti-oxidation *in vitro*[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2016.
- [3] 黄小雨,信思悦,曹桢,等.冻结速率对冷冻五谷方便粥品质的影响[J].食品与发酵工业,2020,46(24):182-189.  
HUANG X Y, XIN S Y, CAO Z, et al. Effect of freezing rate on the quality of frozen grain congee[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(24): 182-189.
- [4] 白洁,蒋华彬,张小飞,等.基于变异系数法对气流膨化处理马铃薯方便粥品质的评价[J].食品科学,2021,42(15):81-88.  
BAI J, JIANG H B, ZHANG X F, et al. Quality evaluation of instant potato congee treated by air puffing based on variation coefficients[J]. Food Science, 2021, 42(15): 81-88.
- [5] 吴练军.方便杂粮粥配方设计及其工艺优化[D].重庆:西南大学,2018.  
WU L J. Formulation design and technique optimization of convenient grain porridge[D]. Chongqing: Southwest University, 2018.
- [6] BRENNAN C, BRENNAN M, DERBYSHIRE E, et al. Effects of extrusion on the poly phenols, vitamins and antioxidant activity of foods[J]. Trends in Food Science and Technology, 2011, 22(10): 570-575.
- [7] 李范洙,金铁,张先,等.物料含水量和机筒温度对双螺杆挤压人参制品褐变效果的影响[J].食品科学,2010,31(20):170-172.  
LI F Z, JIN T, ZHANG X, et al. Effects of water content and temperature on browning of ginseng products prepared by twin-screw extrusion[J]. Food Science, 2010, 31(20): 170-172.
- [8] XU E B, PAN X W, WU Z Z, et al. Response surface methodology for evaluation and optimization of process parameter and antioxidant capacity of rice flour modified by enzymatic extrusion[J]. Food Chemistry, 2016, 212: 146-154.
- [9] 张弘,温纪平,刘帅,等.小麦胚芽挤压膨化工艺研究[J].食品科技,2021,46(12):148-154.  
ZHANG H, WEN J P, LIU S, et al. Extrusion technology of wheat germ [J]. Food Science and Technology, 2021, 46(12): 148-154.
- [10] 靳灿灿,温纪平,朱慧雪.小麦糊粉层粉的挤压稳定化处理条件优化[J].河南工业大学学报(自然科学版),2021,42(1):15-21.  
JI C C, WEN J P, ZHU H X. Optimization of extrusion and stabilization treatment conditions for wheat aleurone layer[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2021, 42(1): 15-21.
- [11] 陈岚,何东,王宏,等.采用不同稳定方法对米糠中主要营养成分影响的研究进展[J].粮食与饲料工业,2021(6):27-30.  
CHEN L, HE D, WANG H, et al. Research progress on the effects of different stabilization methods on the main nutrients in rice bran[J]. Cereal and Food Industry, 2021(6): 27-30.
- [12] JUBETE A L, WIJNGAARD H, ARENDT E K, et al. Polyphenol composition and *in vitro* antioxidant activity of amaranth, quinoa buckwheat and wheat as affected by sprouting and baking[J]. Food Chemistry, 2009, 119(2): 770-778.
- [13] 薛丽洁,马丽苹,焦昆鹏,等.挤压对山药中非淀粉多糖理化性质和生物活性的影响[J].中国食品添加剂,2022,33(1):164-172.  
XUE L J, MA L P, JIAO K P, et al. Effect of extrusion on physicochemical properties and biological activity of non-starch polysaccharides from Chinese yam[J]. China Food Additives, 2022, 33(1): 164-172.



- [14] RAMOS-ENRÍQUEZ J R, RAMÍREZ-WONG B, ROBLES-SÁNCHEZ R M, et al. Effect of extrusion conditions and the optimization of phenolic compound content and antioxidant activity of wheat bran using response surface methodology [J]. *Plant Foods for Human Nutrition*, 2018, 73(3): 228-234.
- [15] 吴凡, 金舟, 洪秀娟, 等. 挤压对小麦麸皮抗氧化活性和可溶性酚酸含量的影响[J]. *食品科技*, 2021, 46(2): 135-141, 150.
- WU F, JIN Z, HONG X J, et al. Effect of extrusion process on antioxidant capacity and soluble phenolic acid content of wheat bran[J]. *Food Science and Technology*, 2021, 46(2): 135-141, 150.
- [16] TIWARI U, CUMMINS E, SULLIVAN P, et al. Probabilistic methodology for assessing changes in the level and molecular weight of barley  $\beta$ -glucan during bread baking [J]. *Food Chemistry*, 2011, 124(4): 1567-1576.
- [17] 许庆鹏, 姜秀杰, 周荣荣, 等. 挤压豌豆蛋白肽酶解工艺优化及抗氧化性研究[J]. *食品科技*, 2021, 46(8): 155-161.
- XU Q P, JIANG X J, ZHOU R R, et al. Optimization of enzymatic hydrolysis and antioxidant activity of pea protein peptide by extrusion[J]. *Food Science and Technology*, 2021, 46(8): 155-161.
- [18] XIAN Q H, LIN L, ZHEN L G, et al. Volatile compounds, affecting factors and evaluation methods for rice aroma: A review[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2020, 97: 136-146.
- [19] HEINIO R L, NOORT M W J, KATINA K, et al. Sensory characteristics of wholegrain and bran-rich cereal foods - A review[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2016, 47: 25-38.
- [20] 曹佳兴, 许柠, 汪丽萍, 等. 挤压膨化温度对麸皮回填法制备的全麦挂面风味成分的影响[J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2021, 42(6): 71-79, 133.
- CAO J X, XU N, WANG L P, et al. Effect of extrusion temperatures on flavor components of whole wheat noodles prepared by bran backfilling method [J]. *Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition)*, 2021, 42(6): 71-79, 133.
- [21] 王晨. 挤压膨化复合方便粥研制及品质特性研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2022.
- WANG C. Development and quality characteristics of extruded compound instant porridge [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2022.
- [22] 王晨, 王燕, 吴卫国, 等. 双螺杆挤压复合方便粥配方优化及品质分析[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(5): 245-254.
- WANG C, WANG Y, WU W G, et al. Formula optimization and quality analysis of double screw extrusion compound instant porridge[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(5): 245-254.
- [23] KANTRONG H, CHARUNUCH C, LIMSANGOUAN N. Influence of process parameters on physical properties and specific mechanical energy of healthy mushroom-rice snacks and optimization of extrusion process parameters using response surface methodology[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2018, 55(9): 3462-3472.
- [24] 吴昊. 应用挤压膨化技术生产老年杂粮营养餐的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨商业大学, 2011.
- WU H. Application of extrusion technology to produce nutritious food of older[D]. Harbin: Harbin University of Commerce, 2011.
- [25] ZHOU Y, CAO H, HOU M, et al. Effect of konjac glucomannan on physical and sensory properties of noodles made from low-protein wheat flour [J]. *Food Research International*, 2013, 51(2): 879-885.
- [26] PHILIPP C, OEY I, SILCOCK P, et al. Impact of protein content on physical and microstructural properties of extruded rice starch-pea protein snacks[J]. *Journal of Food Engineering*, 2017, 212: 165-173.
- [27] DALBHAGAT C G, MAHATO D K, MISHRA H N. Effect of extrusion processing on physicochemical, functional and nutritional characteristics of rice and rice-based products: A review [J]. *Trends in Food Science and Technology*, 2019, 85: 226-240.
- [28] GUHA M, ALIS Z, BHATTACHARYA S. Twin-screw extrusion of rice flour without a die: Effect of barrel temperature and screw speed on extrusion and extrudate characteristics [J]. *Journal of Food Engineering*, 1997, 32(3): 251-267.
- [29] SEKER M. Residence time distributions of starch with high moisture content in a single-screw extruder[J]. *Journal of Food Engineering*, 2005, 67(3): 317-324.
- [30] 马永轩, 张名位, 魏振承, 等. 挤压膨化对大米和糙米理化与营养特性的影响[J]. *食品研究与开发*, 2017, 38(12): 9-12.

- MA Y X, ZHANG M W, WEI Z C, et al. Effects of extrusion on physicochemical and nutritional property of rice and brown rice[J]. *Food Research and Development*, 2017, 38(12): 9-12.
- [31] 谢天, 孙洪蕊, 康立宁, 等. 双螺杆挤压对玉米重组米理化特性及品质特性的影响[J]. *食品科学*, 2019, 40(17): 183-189.
- XIE T, SUN H R, KANG L N, et al. Effects of twin-screw extrusion on physicochemical properties and quality characteristics of corn flour[J]. *Food Science*, 2019, 40(17): 183-189.
- [32] HAGENIMANA A, DING X, FANG T. Evaluation of rice flour modified by extrusioncooking[J]. *Journal of Cereal Science*, 2006, 43(1): 38-46.
- [33] LIU C M, ZHANG Y J, LIU W, et al. Preparation, physicochemical and texture properties of texturized rice produce by improved extrusion cooking technology[J]. *Journal of Cereal Science*, 2011, 54(3): 473-480.
- [34] ZHANG M, BAI X, ZHANG Z. Extrusion process improves the functionality of soluble dietary fiber in oat bran[J]. *Journal of Cereal Science*, 2011, 54: 98-103.
- [35] 张康逸, 康志敏, 万景瑞, 等. 双螺杆挤压加工米粉的操作参数对产品理化品质的影响[J]. *农产品加工(学刊)*, 2013(1): 82-86.
- ZHANG K Y, KANG Z M, WAN J R, et al. Effect of twin-screw extrusion operation parameters on physico-chemical quality in rice noodle production[J]. *Academic Periodical of Farm Products Processing*, 2013(1): 82-86.
- [36] PANSAWAT N, JANGCHUD K, JANGCHUD A, et al. Effects of extrusion conditions on secondary extrusion variables and physical properties of fish, rice-based snacks[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2008, 41(4): 632-641.
- [37] 蒋华彬, 白洁, 张小飞, 等. 挤压变量对马铃薯方便粥品质特性的影响[J]. *食品科技*, 2021, 46(1): 178-184.
- JIANG H B, BAI J, ZHANG X F, et al. Effects of extrusion variables on the quality properties of potato instant porridge[J]. *Food Science and Technology*, 2021, 46(1): 178-184.
- [38] 张明皓, 贾鑫, 闫文佳, 等. 小麦阿拉伯木聚糖对鲜湿面条品质的影响[J]. *中国食品学报*, 2022, 22(2): 233-240.
- ZHANG M H, JIA X, YAN W J, et al. Effects of wheat bran arabinoxylan on the properties of fresh wet noodles[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2022, 22(2): 233-240.
- [39] SANDRIN R, CAON T, ZIBETTI A W, et al. Effect of extrusion temperature and screw speed on properties of oat and rice flour extrudates[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2018, 98(9): 3427-3436.

## Influence of Screw Speed and Water Addition Amount on the Quality of Instant Porridge

Wang Chen, Wu Weiguo, Zhao Junjie, Song Xuenai, Liao Luyan, Wang Yan\*  
(School of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128)

**Abstract** Extruded instant porridge is produced by controlling the amount of water added and the speed of screw separately. By measuring the physical and chemical properties, sensory quality and texture characteristics of instant porridge, the influence of different control conditions on the quality of instant porridge were analyzed. The results showed that with the increase of screw speed, the water solubility index (WSI), water absorption index (WAI) and sensory quality increased, while the hardness, viscosity, chewiness and resilience of instant porridge decreased. With the increase of water addition, WAI, WSI and sensory quality decreased, which resulted of hardness, stickiness, chewiness and resilience increased. Screw speed was positively correlated with WSI, WAI and sensory quality, and negatively correlated with texture characteristics. Water addition amount was negatively correlated with WSI, WAI and sensory quality, and positively correlated with texture characteristics. High screw speed and low water addition amount were beneficial to improve the quality of instant porridge. The screw speed of 250 r/min and water addition amount of 15% had the best effect on the quality of extruded instant porridge.

**Keywords** extrusion process; instant porridge; physicochemical properties; sensory qualities; textural properties