

大米淀粉与大豆粉比例对糊化特性及物性学性质的影响

庞志花, 刘萍, 曹金诺, 刘新旗, 陈存社*

(中国食品风味与营养健康创新中心 北京工商大学 北京 100048)

摘要 将大米淀粉(RS)和 大豆粉(S)按不同比例混合,对混合体系进行糊化特性、颗粒特性、流变及摩擦学特性分析。结果表明:S 抑制淀粉的糊化,导致糊化温度升高。随着 S 浓度的增加,混合物的糊化温度由 85.55 ℃提高到了 94.5 ℃,峰值黏度由 1 461 cp 下降到 25 cp,衰减值由 741 cp 下降到 2 cp,回生值由 1 028 cp 下降到 13 cp,并且 RS 和 S 混合糊化后粒径增大,抑制淀粉凝胶的形成。所有样品均表现出剪切稀释行为,加入大豆粉会产生较低的黏度、屈服应力和稠度系数。在滑动速度 < 10 mm/s 时,除 RS/SP 9/1 外,RS 和 S 的混合使摩擦系数有所增大。

关键词 大米淀粉; 大豆粉; 糊化; 流变; 摩擦

文章编号 1009-7848(2023)09-0053-07 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2023.09.006

谷物在煮制熟化过程中主要发生淀粉的糊化与蛋白的变性,其中淀粉的糊化过程是影响谷物品质的主要因素,有助于形成独特的营养和质地特性^[1],而且淀粉糊化后黏度增加,可用作黏结剂、增稠剂等,对改善食品的组织结构及风味等具有重要作用,在食品工业有着广泛的应用^[2]。大米淀粉具有许多独特的性质,当期糊化能够产生温和的味道,并且具有良好的光滑、奶油状和涂抹特性。大米淀粉还具有多种理想特性的独特组合,包括易消化性、质地光滑和味道清淡,这使其适用于婴儿食品和医药产品^[3-4]。大豆作为重要的植物蛋白来源,富含人体必需的 8 种氨基酸^[5],不含胆固醇,营养价值高^[6]。大豆中的蛋白含量相对较高,心脑血管疾病患者完全可用其取代动物蛋白^[7]。将大豆蛋白与大米淀粉混合,可以实现营养上的互补,同时可能构建具有特定物性特征结构的食品体系。

食品的物性学参数是口腔感官特征量化的重要途径^[8-9]。食品口腔加工从起初的力学主导逐渐转变为摩擦学和流变学主导。其中反映粉碎咀嚼阶段食品品质的质构力学参数可量化食品质地^[10-12]。流变学用于模拟食品进入口腔初期的咀嚼过程,即外界给予食物一定的剪切力,通过其抗剪切力的变化来模拟食品的感官性质。其中一个重要的

参数是黏度,黏度是舌头与上颚接触时食品粘连残留的体现^[13]。摩擦学是一个用来量化食品质地的新兴学科,其与口腔处理的吞咽阶段的相关性仍在探索中。其摩擦包括舌尖和上颚的摩擦,食物颗粒和口腔表面的摩擦,食物颗粒对于口腔内部的黏附作用^[14-15]。摩擦学与流变学相辅相成,共同描述食品的口腔加工过程。

淀粉和蛋白质混合使食品物性学特征发生一定程度的改变。大米淀粉的糊化性质和质构特性与产品品质关系密切^[16]。在大米中添加水不溶性蛋白质(谷蛋白和球蛋白)可以控制大米淀粉的糊化和质地特性^[17]。Lim 等^[18]研究了由商品大豆蛋白和改性玉米淀粉制成的浆体的糊化和流变行为,添加大豆蛋白提高了淀粉/HFCS(高果糖玉米糖浆)糊的糊化温度和总黏度,这种趋势与固体含量增加和大豆球蛋白的自聚集有关。有研究通过挤压加工大米、豆类混合物或大米、大豆分离蛋白(SPI),以改善大米产品的理化性质^[19-20]。本文研究大米淀粉和 大豆粉制备的复合体系,分析其糊化特性、颗粒特性、流变学特性及摩擦学特征,为淀粉、大豆蛋白混合食品体系的构建提供数据支持。

1 材料与 方法

1.1 材料与试剂

大米、大豆,京东天地粮人;乙醇、氢氧化钠等试剂均为分析纯级,国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

流变仪(DHR-1),美国 TA 仪器公司;激光衍

收稿日期: 2022-09-22

第一作者: 庞志花,女,博士生,副教授

通信作者: 陈存社 E-mail: chencs@th.btbu.edu.cn

射粒度仪(SALD-2300),日本岛津;快速黏度分析仪(RVA),Newport公司;电子天平(AR1502CN),奥豪斯仪器(上海)有限公司;高速万能粉碎机(FW100),天津市泰斯特仪器有限公司;标准检验筛(80目),浙江上虞市公路仪器厂;HH系列数显恒温水浴锅(XMTD203),金坛市科析仪器有限公司;电子搅拌器(EURO-ST 40 D S025),德国I-KA公司;胶带1527-2(3M),美国医疗器械公司。

1.3 方法

1.3.1 大米淀粉与大豆粉的制备 取适量大米破碎、过筛(80目)制得大米粉。将大米粉以料液比1:2置于0.3% NaOH中,搅拌浸泡4h。将浸泡后的液体4000 r/min离心15 min,去上清去黄色部分。调pH 6.5~7.0,4000 r/min离心15 min,去上清,重复3次。将沉淀置于乙醇溶液中,与离心收集的沉淀1:1混合,静置2h,4000 r/min离心15 min,去上清;调pH 6.5~7.0,4000 r/min离心15 min,去上清,去暗沉,重复3次。取沉淀45℃烘箱干燥8h,破碎,过80目筛,备用。取适量大豆破碎、过筛(80目)制得大豆粉。

1.3.2 样品的制备 将大米淀粉(RS)、大豆粉(S)分别按10:0,9:1,8:2,7:3,6:4,5:5,4:6,3:7,2:8,1:9,0:10的配比进行复配并混合均匀^[21]。分别取10g样品于烧杯中,加入100 mL 50℃蒸馏水,置于磁力搅拌加热器上加热,升温程序50~95℃,30 min。制备完成后冷却样品至室温,备测。

1.3.3 糊化特性的检测 将大米淀粉与大豆粉复配,混合均匀,备用。按照美国谷物化学师协会(American Association Cereal Chemists, AACC)规定方法检测样品水分含量。取3.0g混合物,使用快速黏度分析仪(RVA)测定混合物的RVA糊化参数,用TCW配套软件分析。混合物含水量约14%,上样量3.0g,蒸馏水25 mL,检测程序如表1。

1.3.4 颗粒特性的检测 用SALD-3000激光衍射粒度仪测定凝胶中凝固物的粒度分布。将预处理所得样品用蒸馏水稀释10倍,在细胞匀浆机中匀浆10s,混匀,立即取适量样品于流通池内连续测量。粒子折射率设为1.5,精准率为0.001。每个样品做两个重复,每个重复3个平行。

1.3.5 流变学特性的检测 使用TA流变仪测定剪切扫描数据。测试条件:温度37℃,4 mm、2°不

表1 RVA程序设定

Table 1 RVA program settings

时间	类别	设定值
00:00:00	温度	50℃
00:00:00	转速	960 r/min
00:00:00	转速	160 r/min
00:01:00	温度	50℃
00:04:42	温度	95℃
00:07:12	温度	95℃
11:11:00	温度	50℃
00:13:00	测试结束	

锈钢锥板探头,锥板与底座的距离(Gap)为57 μm,剪切速率0~100 s⁻¹。将样品置于底板上,设置Gap值59 μm,修边,调整Gap为57 μm,检测。每个样品做两个重复,每个重复3个平行。

使用流变仪分析软件对剪切扫描曲线进行数据分析。其中下流动的曲线用Hershele-Bulkley模型($\sigma = \sigma_0 + K\gamma^n$)进行拟合,取参数 σ 、 σ_0 、 K 、 γ 、 n ,其中 σ 为剪切应力、 σ_0 为屈服应力、 K 为稠度指数、 γ 为剪切速率以及 n 为流动行为指数。另取参数上行线和下行线所包围的面积(ΔA),以及剪切速率在50 s⁻¹时的表观黏度 η_{50} 。

1.3.6 摩擦学特性的检测 使用平板摩擦流变仪测量谷物的摩擦曲线,使用3M传输孔外科胶带1527-2模拟口腔舌头^[22]。为模拟口腔加工过程,对样品施加2 N的法向力^[23]。上样时将胶带剪成方形,平整的粘贴于底座上,多余部分粘于底座外侧。每次测量结束后更换胶带,清理底座。测试条件:温度37℃,应力2 N(即压力27.83 kPa),样品量1.5 mL,转速0.01~100 s⁻¹。每个样品做两个重复,每个重复3个平行。

1.3.7 数据处理 使用SPSS Statistics软件对试验数据进行差异性和显著性分析,用Origin 8.5.1、Excel软件作图。

2 结果与分析

2.1 糊化特性

图1为大米淀粉与大豆粉混合物的RVA糊化曲线。可以看出两者混合物的糊化曲线较大米淀粉的糊化曲线整体下移,且随大豆粉比例的增加,下移加大。从表2也可以看出,与纯淀粉相比,

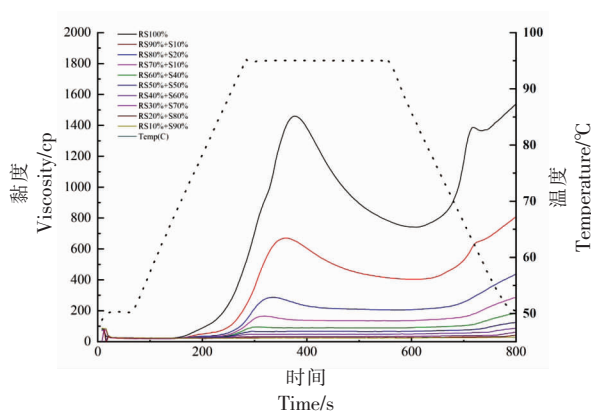


图 1 大米淀粉与大豆粉混合体系的 RVA 糊化曲线
Fig.1 RVA gelatinization curve of rice starch and soybean meal mixed system

各 RVA 参数均随大豆粉浓度的增加发生明显的变化。添加大豆粉提高了糊化温度,降低了糊化黏度,这种影响总体上取决于蛋白浓度升高,也可能是由于淀粉含量降低。目前,普遍认为蛋白质对淀

粉糊化特性具有抑制作用^[24-25],大豆粉中蛋白质的存在可能限制水分子与淀粉颗粒的接触,从而提高糊化温度。Baxter 等^[26]也报道在大米淀粉中添加谷蛋白会导致糊化温度升高。RS/S 混合体系黏度较低,表明体系黏度主要由淀粉决定,淀粉含量越低,体系黏度越低。此外,大豆蛋白还能抑制淀粉颗粒的溶胀,从而降低淀粉颗粒的峰值黏度^[27]。上述结果表明,添加大豆粉对大米淀粉的糊化有一定的抑制作用。蛋白质/蛋白质水解物通过在淀粉周围形成物理屏障,并可以利用水分子来延缓淀粉糊化过程。一方面,分子质量及带电荷数较高的蛋白质/蛋白质水解物具有很大的比表面积及结合力,可以更好地与淀粉结合或形成包裹,附着在淀粉颗粒表面^[28-29]。另一方面,亲水/疏水氨基酸残基可对淀粉颗粒糊化、吸水膨胀产生影响,从而最终影响混合体系的糊化特性^[26]。

表 2 大米淀粉与大豆粉混合体系 RVA 糊化参数

Table 2 RVA gelatinization parameters of rice starch and soybean meal mixed system

	糊化温度/°C	峰值黏度/cp	峰值时间/min	最低黏度/cp	最终黏度/cp	衰减值/cp	回升值/cp
RS/S 10/0	85.55 ± 1.2 ^a	1 461 ± 2 ^e	6.30 ± 0.05 ⁱ	720 ± 6 ^e	1 769 ± 37 ^e	741 ± 4 ^f	1 028 ± 42 ^e
RS/S 9/1	92.1 ± 0.04 ^b	670 ± 50 ⁱ	6.00 ± 0.05 ^h	403 ± 25 ⁱ	978 ± 34 ⁱ	267 ± 25 ^e	575 ± 11 ⁱ
RS/S 8/2	94.5 ± 0.04 ^c	287 ± 16 ^h	5.60 ± 0.05 ^g	205 ± 15 ^h	516 ± 39 ^h	82 ± 1 ^d	311 ± 14 ^h
RS/S 7/3	-	166 ± 4 ^g	5.33 ± 0.05 ^f	134 ± 9 ^g	348 ± 15 ^e	32 ± 2.5 ^c	214 ± 6 ^e
RS/S 6/4	-	95 ± 5 ^f	5.07 ± 0.09 ^e	89 ± 5 ^f	222 ± 19 ^f	6 ± 0 ^b	133 ± 14 ^f
RS/S 5/5	-	67 ± 4 ^e	4.87 ± 0.05 ^d	65 ± 5 ^e	149 ± 15 ^e	2 ± 1 ^a	84 ± 10 ^e
RS/S 4/6	-	48 ± 3 ^d	4.80 ± 0.05 ^d	47 ± 3 ^d	101 ± 9 ^d	1 ± 0 ^a	54 ± 6 ^d
RS/S 3/7	-	33 ± 1 ^c	4.00 ± 0.17 ^c	32 ± 1 ^c	70 ± 4 ^c	1 ± 0 ^a	38 ± 3 ^c
RS/S 2/8	-	27 ± 1 ^b	3.00 ± 0.09 ^b	25 ± 2 ^b	50 ± 3 ^b	2 ± 1 ^a	25 ± 1 ^b
RS/S 1/9	-	25 ± 1 ^a	1.27 ± 0.05 ^a	23 ± 1 ^a	36 ± 2 ^a	2 ± 0 ^a	13 ± 2 ^a
RS/S 0/10	-	-	-	-	-	-	-

注:每组数据只进行行列比较,不进行横向比较;标注不同字母代表数据间存在显著差异, $P < 0.05$ 。

2.2 颗粒特性

淀粉在热作用下发生糊化,黏度增加,更易吸附周围溶液中的分子,因此糊化程度是影响颗粒大小的因素^[30]。蛋白质在 95 °C 水溶液中发生热变性,变性后次级键被破坏,蛋白质分子从原来有序卷曲的紧密结构变为无序松散的伸展状结构,原来处于分子内部的疏水基团大量暴露在分子表面,而亲水基团在表面的分布相对减少,使蛋白质颗粒不能与水相溶而失去水膜,很容易引起分子

间相互碰撞而聚集沉淀,从而造成颗粒增大,因此蛋白的变性程度是影响混合体系颗粒大小的因素之一^[31-32]。大米淀粉与大豆粉混合体系粒径如图 2 所示,粒径主要累积、分布在 3 个区域 5, 15, 162 μm 。混合体系的粒径随大豆粉占比增加,蛋白质含量同时增加,粒径向大粒径方向移动。淀粉的糊化特性是淀粉性质的体现,淀粉凝胶的三维网状结构的形成是在淀粉膨胀融出的直链淀粉中交联形成的^[33]。混合体系中淀粉的粒径分布可表征凝

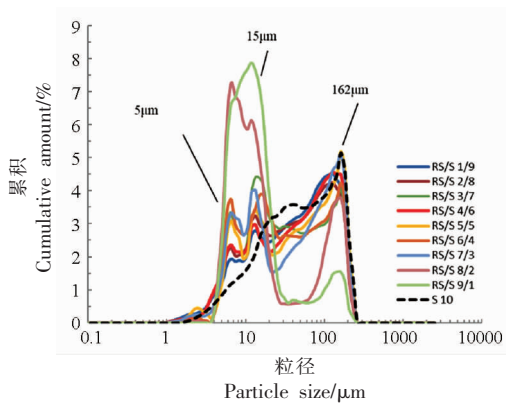


图2 大米淀粉与大豆粉混合体系粒径

Fig.2 Particle size of rice starch and soybean meal mixed system

胶形成的难易程度,粒径越大凝胶越不易形成,同时体系越不稳定^[34]。粒径结果表明,随着大豆粉的添加,混合体系粒径增大,导致凝胶不易形成,说明添加大豆粉抑制淀粉凝胶的形成。

2.3 流变学特性

大米淀粉(RS)与大豆粉(S)混合物的表观黏

度随剪切速率的增加而减小。选用 Hershel-buckley 模型对剪切扫描曲线的下行线进行拟合,结果表明拟合程度较高,所得流变学参数见表3。随着剪切速率的增加,样品黏度降低,为典型的假塑性或剪切变稀流体。纯淀粉糊的黏度最高,蛋白质的存在使大米淀粉的流动行为发生明显的变化。S对RS/S混合物黏度的影响取决于添加浓度。从表3也可以看出,RS/S 10/0诱发的屈服应力最大,说明触发样品流动所需剪切应力最大。黏度系数(K)和表观黏度(η_{50})在RS/S 10/0时最高。流动指数(n)是衡量剪切稀化流体与牛顿流动的偏差。一般来说,淀粉含量超过50%的样品比淀粉比例较低的样品显示出较低的数值,表明混合体系的假塑性更好。此外,计算了滞回线(ΔA)的面积, ΔA 可以表征混合体系网络结构的破坏和重建。淀粉比例越高的样品 ΔA 值越高,说明这些混合体系在剪应力作用下结构被破坏,剪切后难以重构成连贯的网络结构。

表3 大米淀粉与大豆混合体系的流变学参数

Table 3 Rheological parameters of rice starch and soybean meal mixed system

样品	滞后环面积 ΔA	屈服应力	稠度系数	流动行为指数	黏度
	1/s·Pa	Pa	kPa·s ⁿ	n	η_{50}
RS/S 0/10	114 ± 6 ^d	0.04 ± 0.00 ^a	0.06 ± 0.02 ^a	0.82 ± 0.01 ^e	0.020 ± 0.00 ^{ab}
RS/S 1/9	14 ± 1 ^a	0.03 ± 0.00 ^a	0.02 ± 0.00 ^a	0.77 ± 0.03 ^e	0.013 ± 0.001 ^a
RS/S 2/8	19 ± 1 ^a	0.06 ± 0.02 ^a	0.04 ± 0.01 ^a	0.71 ± 0.04 ^{de}	0.019 ± 0.003 ^{ab}
RS/S 3/7	37 ± 3 ^{abc}	0.10 ± 0.06 ^a	0.06 ± 0.02 ^a	0.69 ± 0.05 ^{cd}	0.027 ± 0.002 ^{ab}
RS/S 4/6	35 ± 2 ^{ab}	0.08 ± 0.01 ^a	0.09 ± 0.00 ^a	0.66 ± 0.01 ^{bcd}	0.031 ± 0.001 ^b
RS/S 5/5	60 ± 3 ^c	0.33 ± 0.03 ^b	0.20 ± 0.01 ^b	0.65 ± 0.01 ^{bcd}	0.096 ± 0.002 ^c
RS/S 6/4	46 ± 2 ^{bc}	0.30 ± 0.05 ^b	0.24 ± 0.01 ^b	0.63 ± 0.02 ^{bc}	0.072 ± 0.003 ^c
RS/S 7/3	104 ± 3 ^d	0.81 ± 0.05 ^c	0.55 ± 0.01 ^c	0.59 ± 0.00 ^{ab}	0.150 ± 0.002 ^d
RS/S 8/2	152 ± 8 ^e	1.42 ± 0.03 ^d	1.01 ± 0.08 ^d	0.55 ± 0.01 ^a	0.237 ± 0.003 ^e
RS/S 9/1	953 ± 24 ^f	4.08 ± 0.14 ^e	1.68 ± 0.01 ^e	0.51 ± 0.00 ^{ab}	0.631 ± 0.016 ^f
RS/S 10/0	1 384.75 ± 59 ^g	14.48 ± 0.42 ^g	4.03 ± 0.16 ^g	0.68 ± 0.00 ^g	1.43 ± 0.04 ^g

注:每组数据只做纵列比较,不做横向比较;标注不同字母代表数据间存在显著差异, $P < 0.05$ 。

2.4 摩擦学特性

口腔摩擦学用于表征口服加工过程中某些食品的特性,口腔摩擦阻力直接影响感官特性,如光滑度、乳脂度^[35]。图3显示大米淀粉和豆粉混合体系的摩擦系数(μ)与夹带速度(mm/s)的关系。纯大米淀粉体系与大豆粉混合体系显示出完全不同的摩擦曲线。RS/S 10/0显示典型的Stribeck曲

线,在初始滑动速度下,摩擦系数 μ 随着速度的增加而增加,当滑动速度达1 mm/s时,摩擦系数停止增加,这个区域被称为边界区。随着滑动速度的进一步增加,颗粒被夹带到表面并形成润滑薄膜,被称为混合区。摩擦力随着滑动速度的增加而降低,在这种状态下,黏度有助于润滑膜的形成。更高的滑动速度显示出 μ 的增加,这个区域被称为

流体力层区,其中流体力学膜完全形成,两个接触面被很好地分开,摩擦力与样品黏度成正相关,并随滑动速度的增加而增加。在整个速度范围,RS/S 0/10 显示平坦的摩擦曲线,摩擦力比 RS/S 10/0 高。当滑动速度低于 0.3 mm/s 时,观察到短暂的摩擦力增加。在进一步增加速度时,摩擦力没有明显的变化。从图 3 可以看出大多数含淀粉的样品显示了边界、混合和流体力层区。将淀粉和大豆粉组合在一起产生的摩擦比单独的大米淀粉更大,然而在滑动速度为 $< 10 \text{ mm/s}$ 时,RS/S 1/9 比纯大米淀粉产生的摩擦小。这可能表明两种成分间存在一定的相互作用,导致摩擦增大。RRS/S 7:3 显示比纯淀粉体系更晚的流体动力层区,RS/S 5/5 在与其它混合体系摩擦曲线趋势一致的情况下,摩擦系数整体高于其它混合体系。

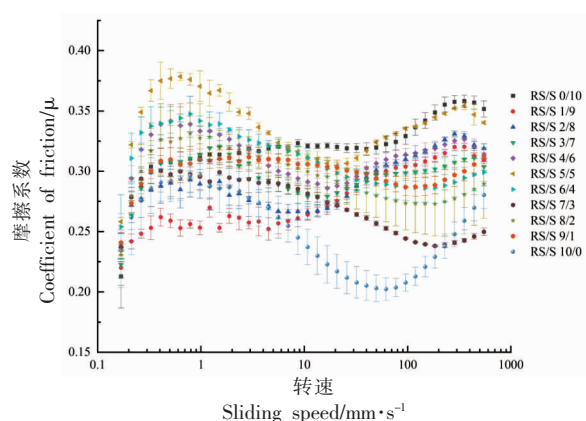


图 3 大米淀粉与大豆粉混合体系的摩擦曲线

Fig.3 Friction curve of rice starch and soybean meal mixed system

3 结论

添加大豆粉对大米淀粉的糊化变性有一定的抑制作用。大米淀粉/大豆粉混合体系的糊化性能受两种组分配比的影响较大。淀粉比例越高,混合体系糊化后黏度越高。大豆粉比例越高,混合体系糊化后黏度越低。根据颗粒特性,添加大豆粉导致混合体系粒径增加,抑制大米淀粉的凝胶化。摩擦学结果表明,大米淀粉和大豆蛋白具有明显不同的润滑性能。摩擦曲线也证实两种聚合物之间的关联或相互作用,在滑动速度 $< 10 \text{ mm/s}$ 时,RS/S 1/9 比纯大米淀粉产生的摩擦更小,随着大豆粉的加入使体系的摩擦系数升高,当 RS/S 5/5 时,摩

擦系数整体最高。

参 考 文 献

- [1] LI E P, CAO P P, CAO W, et al. Relations between starch fine molecular structures with gelatinization property under different moisture content[J]. Carbohydrate Polymers, 2022, 278: 118955.
- [2] 周梦露, 钱晓洁, 孙冰华, 等. 蛋白质及其水解物对谷物淀粉糊化、回生及消化性的影响研究进展[J]. 中国粮油学报, 2022, 37(2): 180-187.
- [3] ZHOU M L, QIAN X J, SUN B H, et al. Effect of protein and its hydrolysates on gelatinization, retrogradation and digestibility of cereal starch[J]. Chinese Journal of Cereals and Oils, 2022, 37(2): 180-187.
- [4] BAXTER G, BLANCHARD C, ZHAO J. Effects of glutelin and globulin on the physicochemical properties of rice starch and flour[J]. Journal of Cereal Science, 2014, 60(2): 414-420.
- [5] WANI A A, SINGH P, SHAH M A, et al. Rice starch diversity: Effects on structural, morphological, thermal, and physicochemical properties—a review[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2012, 11(5): 417-36.
- [6] 赵国萍, 李迎秋. 大豆球蛋白碱性亚基的分离纯化、特性及应用研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2016(5): 164-167.
- [7] ZHAO G P, LI Y Q. Research progress on purification, characteristics and application of basic subunit glycinin[J]. China Food Additives, 2016(5): 164-167.
- [8] 丁小林. 大豆食品的营养价值与功能特性[J]. 食品研究与开发, 2004(6): 100-102.
- [9] DING X L. The nutrition value and physiology functions of soybean food[J]. Food Research and Development, 2004(6): 100-102.
- [10] 肖秀芝. 膳食纤维的功能及开发研究[J]. 山西食品工业, 2003(4): 11-12, 17.
- [11] XIAO X Z. Research on the function and development of dietary fiber[J]. Shanxi Food Industry, 2003(4): 11-12, 17.
- [12] KOZIOLEK M, CARRIÈRE F, PORTER C. Lipids in the stomach – implications for the evaluation of food effects on oral drug absorption[J]. Pharmaceuti-

- cal Research, 2018, 35(3): 55.
- [9] PANDA S, CHEN J, BENJAMIN O. Development of model mouth for food oral processing studies: Present challenges and scopes[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2020, 66: 102524.
- [10] CHEN J S. Food oral processing: Mechanisms and implications of food oral destruction[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2015, 45(2): 222-228.
- [11] FOEGEDING E A, STIEGER M, VAN DE VELDE F. Moving from molecules, to structure, to texture perception[J]. *Food Hydrocolloids*, 2017, 68: 31-42.
- [12] DE WIJK R A, PRINZ J F. The role of friction in perceived oral texture[J]. *Food Quality and Preference*, 2005, 16(2): 121-129.
- [13] ZHU Y, BHANDARI B, PRAKASH S. Triborheometry behaviour and gel strength of κ -carrageenan and gelatin solutions at concentrations, pH and ionic conditions used in dairy products[J]. *Food Hydrocolloids*, 2018, 84: 292-302.
- [14] SARKAR A, KROP E M. Marrying oral tribology to sensory perception: A systematic review[J]. *Curr Opin Food Sci*, 2019, 27(C): 64-73.
- [15] UPADHYAY R, CHEN J. Smoothness as a tactile percept: Correlating 'oral' tribology with sensory measurements [J]. *Food Hydrocolloids*, 2019, 87: 38-47.
- [16] 刘军平, 禹凯博, 孙悦芳, 等. 均质及大米蛋白对大米淀粉糊化和质构特性的影响[J]. *中国粮油学报*, 2020, 35(1): 1-6.
- LIU J P, YU K B, SUN Y F, et al. Effect of homogenization and rice protein on the pasting and textural properties of rice starch[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2020, 35(1): 1-6.
- [17] CHEN B, ZHANG B, LI M N, et al. Effects of glutenin and gliadin modified by protein-glutaminase on pasting, rheological properties and microstructure of potato starch[J]. *Food Chem*, 2018, 253: 148-55.
- [18] LIM H S, NARSIMHAN G. Pasting and rheological behavior of soy protein-based pudding[J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2006, 39(4): 344-350.
- [19] DELGADO-LICON E, AYALA A L, ROCHA-GUZMAN N E, et al. Influence of extrusion on the bioactive compounds and the antioxidant capacity of the bean/corn mixtures [J]. *Int J Food Sci Nutr*, 2009, 60(6): 522-532.
- [20] MARCOA C, ROSELL C M. Effect of different protein isolates and transglutaminase on rice flour properties [J]. *Journal of Food Engineering*, 2008, 84(1): 132-139.
- [21] SUN Q J, SUN C X, XIONG L, et al. Functional and pasting properties of pea starch and peanut protein isolate blends [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2014, 101(1): 1134-1139.
- [22] NGUYEN P, BHANDARI B, PRAKASH S. Tribological method to measure lubricating properties of dairy products [J]. *Journal of Food Engineering*, 2016, 168(1): 27-34.
- [23] JOYNER MELITO H S, PERNELL C W, DAUBERT C R. Impact of formulation and saliva on acid milk gel friction behavior[J]. *J Food Sci*, 2014, 79(5): E867-80.
- [24] 张森. 豆类蛋白对荞麦淀粉理化性质的影响及应用研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2020.
- ZHANG M. Effects of legume protein on the physicochemical properties of buckwheat starch and its application[D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2020.
- [25] 刘成龙, 史彩燕, 武乔乔, 等. 蛋白质对玉米淀粉理化特性的影响[J]. *齐鲁工业大学学报*, 2018, 32(6): 29-33.
- LIU C L, SHI C Y, WU Q Q, et al. Effect of protein on physicochemical properties of corn starch [J]. *Journal of Qilu University of Technology*, 2018, 32(6): 29-33.
- [26] BAXTER G, BLANCHARD C, ZHAO J. Effects of glutelin and globulin on the physicochemical properties of rice starch and flour [J]. *Journal of Cereal Science*, 2014, 60(2): 414-420.
- [27] SINGH N, SINGH J, KAUR L, et al. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources [J]. *Food Chemistry*, 2003, 81(2): 219-231.
- [28] 罗舜菁, 李燕, 杨榕, 等. 氨基酸对大米淀粉糊化和流变性质的影响[J]. *食品科学*, 2017, 38(15): 178-182.
- LUO S J, LI Y, YANG R, et al. Effects of amino acids on pasting and rheological properties of rice starch [J]. *Food Science*, 2017, 38(15): 178-182.
- [29] NARCISO J O, BRENNAN C. Whey and pea pro-

- tein fortification of rice starches: Effects on protein and starch digestibility and starch pasting properties [J]. *Starch - Stärke*, 2018, 70(9/10): 414-420.
- [30] LOBATO-CALLEROS C, HERNANDEZ-JAIMES C, CHAVEZ-ESQUIVEL G, et al. Effect of lime concentration on gelatinized maize starch dispersions properties[J]. *Food Chemistry*, 2015, 172: 353-360.
- [31] 汪立君, 李里特, 张晓峰, 等. 利用 DSC 对大豆蛋白质热变性的研究[J]. *中国农业大学学报*, 2001, 6(6): 93-96.
- WANG L J, LI L T, ZHANG X F, et al. Study on soybean protein heating denaturation by DSC[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2001, 6(6): 93-96.
- [32] 许彩虹. 大豆球蛋白糖基化接枝改性及其热聚集行为研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2010.
- XU C H. Research on the glycosylation and thermal aggregation of soybean globulin-polysaccharide [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2010.
- [33] CARRILLO-NAVAS H, ROSA A, ECHEVERRIA J C, et al. Gelatinized starch dispersions under small constant shear stress applications: Strain instabilities, chaotic behaviour and fractality[J]. *Food Hydrocolloids*, 2014, 41: 241-249.
- [34] TIAN H, YAOHUI H U, HANSONG Y U, et al. Moisture distribution and texture properties of transglutaminase-induced soybean protein isolate gels[J]. *Food Science*, 2018, 39(5): 20-25.
- [35] WIJK R A D, PRINZ J F. The role of friction in perceived oral texture[J]. *Food Quality and Preference*, 2004, 16(2): 121-129.

Effect of Intermixing Ratio of Rice Starch and Soybean Flour on Their Pasting Characteristics and Physical Properties

Pang Zhihua, Liu Ping, Cao Jinnuo, Liu Xinqi, Chen Cunshe*

(China Food Flavor and Nutrition Health Innovation Center, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048)

Abstract Rice starch (RS) and soybean flour (S) were mixed in different proportions, and the mixed system was analyzed for pasting characteristics, particle characteristics, rheology and tribological properties. S inhibited starch pasting, leading to an increase in the pasting temperature. As the concentration of S increased, the pasting temperature of the mixtures increased from 85.55 °C to 94.5 °C, the peak viscosity decreased from 1 461 cp to 25 cp, the decay value from 741 cp to 2 cp, and the regrowth value from 1 028 cp to 13 cp. And the particle size increased after RS and S mixed pasting, which inhibited the formation of starch gel. All samples exhibited shear dilution behavior, and the addition of soybean flour produced lower viscosity, yield stress, and consistency coefficient. At a sliding speed of < 10 mm/s, the combination of RS and S increased the friction coefficient, except for RS/S 9/1.

Keywords rice starch; soybean meal; pasting; rheology; tribology