

蛋白组分对籼米粉糊化特性的影响机理探讨

易翠平, 杨有望, 高文明

(健康谷物制品研究所, 长沙理工大学化学与生物工程学院, 湖南长沙 410114)

摘要: 通过逐一去除蛋白组分的方法研究了蛋白组分对籼米粉糊化特性的影响, 并分析了影响这些变化的蛋白结构基础。RVA 和 DSC 分析结果表明, 不同组分的蛋白在去除之后, 峰值粘度、热糊粘度和最终粘度均有不同程度的升高, 崩解值、回生值及糊化温度均有不同程度的降低。SDS-PAGE 和显微结构分析表明, 各组分对糊化特性的影响机理应有差异: 谷蛋白通过与纤维素类物质的紧密结合, 在糊化过程中阻碍淀粉粒的溶胀; 醇溶蛋白可能是通过蛋白体自身的溶胀与淀粉相互作用而影响; 清、球蛋白通过活性蛋白对大米成分的水解或合成等改变而影响; 淀粉粒结合蛋白则可能对大米的基础糊化特性影响较大。与分离重组法比较, 逐一去除蛋白组分的方法因为蛋白组分之间的相互作用影响较大, 对糊化特性的影响与分离重组法略有差异。

关键词: 籼米; 蛋白质; 糊化特性; 蛋白亚基; 显微结构

文章编号: 1673-9078(2016)07-97-102

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.7.016

Protein Fractions on Pasting Properties of Non-waxy Rice Flour

YI Cui-ping, YANG You-wang, GAO Wen-ming

(Institute of Healthy Cereal Product, School of Chemistry and Biological Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410114, China)

Abstract: Protein fractions on pasting properties of non-waxy rice flour were investigated through the fraction removed method, as well as the protein structures were analyzed. The results of RVA and DSC indicated that the peak viscosity, hot paste viscosity and final viscosity increased in different degree after the treatment, while the breakdown, setback and paste temperature decreased. The results of SDS-PAGE and microstructure analysis demonstrated that the mechanisms of pasting property affected by protein fractions were distinct: because binding to cellulose tightly glutelin lead to repel the swelling of starch granule, prolamin absorb water to swell and interact with starch, albumin and globulin hydrolyze or synthesize the rice component through bioactive constituents such as enzyme, starch granule associated protein affect the intrinsic pasting property of non-waxy rice flour. Compared with isolate and reconstitute method, the fraction removed method have more protein interaction, which lead to the diversity of the pasting value.

Key words: Non-waxy rice; Protein; Pasting properties; Protein subunit; Microstructure

籼米作为一种淀粉含量占 70~80% 的高淀粉食品原料, 一般被认为糊化、凝胶等基本性质主要由直链淀粉的含量和支链淀粉的精细结构决定^[1~2]。近年来, 越来越多的研究报道, 作为第二大组分的蛋白质, 对籼米及其加工产品的糊化特性亦有很大影响^[3~4]: 蛋白质的总量影响籼米粉、籼米淀粉及米饭等米制品的峰值粘度, 蛋白质含量越高, 峰值粘度越低^[5~7]; 蛋白质组分的含量、结构和相互作用对米粉糊化特性影响亦很大^[8~10], 添加清蛋白的大米淀粉糊化参数均有增加^[10], 而球蛋白的添加则出现和前者相反的现象、糊化参数降低^[8], 醇溶蛋白导致破损值显著增加($p < 0.05$)^[9], 而谷蛋白引起糊化温度升高、粘度参数降低^[8]; 当球蛋白和谷蛋白两种组分同时添加到大米淀粉中时,

收稿日期: 2015-08-25

基金项目: 国家自然科学基金青年基金 (31301404)

作者简介: 易翠平 (1973-) 女, 教授, 研究方向: 粮食、油脂与植物蛋白工程

糊化参数的结果则取决于两种组分的浓度及清蛋白和醇溶蛋白的出现及比例^[8]。我们在前期研究中亦得出来源于球蛋白的 17 ku 和谷蛋白的 33 ku 的亚基与籼米粉糊化特性相关性较大的结论^[5]。但这些研究主要是采用将蛋白逐一提取出来后再添加到不同的大米淀粉中的分离重组的方法, 这种方法虽然可以客观评价单一蛋白组分对籼米粉糊化特性的作用, 但是忽略了籼米籽粒中自身存在的各种成分之间、包括不同蛋白组分之间的相互作用。因此, 本研究拟采用逐一去除蛋白组分的方法, 以从籼米作为一个整体的角度考察蛋白组分及其相互作用对籼米粉糊化特性的影响, 并分析其可能的影响机理。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

籼米: 农香 18, 购自湖南省农丰种业公司。浓盐

酸、甲基红、聚丙烯酰胺、氢氧化钠、R250 等为国药分析纯, 低分子量标准蛋白: 上海楷洋生物技术有限公司。

LTJM-2008 精米机: 台州市路桥京奥粮用器材厂; Super-4 快速粘度测定仪: Newport scientific 公司; DYY-5 稳压稳流电泳仪: 北京市六一仪器厂; DYCZ-24 双垂直蛋白电泳槽: 北京市六一仪器厂; Q2000 差示扫描量热分析仪: 美国 TA 公司; CM1950 冷冻切片机: 德国徕卡公司; DM4000 B LED 显微镜: 德国徕卡公司; DK-2000-L 型电热恒温水浴锅: 天津市泰斯特仪器有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 脱脂粳米粉的制备

每次取 200 g 粳稻用精米机脱壳 3 次, 每次 15 s, 之后将米粒用高速万能粉碎机粉碎并过 100 目筛, 用石油醚按 1:4 料液比静置脱脂 12 h, 风干备用。

1.2.2 蛋白组分的去除及样品制备

将脱脂粳米粉在常温下, 用去离子水、5% NaCl、100% 异丙醇、0.05 mol/L NaOH 去除清蛋白(Albumin)、球蛋白(Globulin)、醇溶蛋白(Prolamin)和谷蛋白(Glutelin), 取去除一种或者几种蛋白组分的粳米粉作为试验样品测定糊化特性等各项指标。

1.2.3 糊化特性的测定

采用快速粘度测定仪(RVA)测定: 称取样品 3.0 g (干基), 加入蒸馏水 25 mL, 制备测试样品。在搅拌过程中, 罐内温度变化如下: 50 °C 保持 1 min; 以 12 °C/min 速率上升到 95 °C (3.75 min); 95 °C 保持 2.5 min, 以 12 °C/min 降到 50 °C (3.75 min); 50 °C 保持 1.4 min。搅拌器在起始 10 s 内转动速度为 960 r/min, 之后保持在 160 r/min。得到米粉的糊化特性曲线, 其中峰值黏度(Peak Viscosity, PV)、热糊黏度(Hot paste viscosity, HV)、崩解值(Breakdown, BD)、最终黏度(Final Viscosity, FV)、回生值(Setback, SB)、糊化温度(Pasting temperature, PT)是代表样品 RVA 谱差异的重要参数, RVA 图谱用 Thermal Cycle for Windows 软件分析。

1.2.4 差示扫描量热分析

用差示扫描量热仪(DSC)测定去除不同蛋白组分米粉的热特性, 主要步骤如下: 称取样品 2.5 mg, 加入 5.0 μL 的去离子水, 密封后置于冰箱(4 °C)平衡 12 h, 测前回温 1 h, 放入仪器中开始测定, 以空盘做对照, 升温速率为 10.0 °C/min, 温度范围为 30 °C~100 °C, 得到试样的热效应曲线, 参数包括淀粉糊化时的热焓(ΔT)变化、起始温度(T₀)、峰值温度(T_p)及终

止温度(T_c)。

1.2.5 SDS-PAGE 电泳

采用不连续分离系统, 分离胶浓度为 12%, 浓缩胶浓度为 4.0%, 板胶厚度 1.5 mm, 进样量 15 μL。电泳开始时, 以 10 mA 的电流强度跑完浓缩胶(1 h), 再将电流强度调至 20 mA, 至样品带迁移到距离胶板底部 1 cm 左右停止电泳(4 h)。上样缓冲液是 0.5 mol/L Tris-HCl, pH 6.8, 0.1% SDS, 5% β-巯基乙醇, 10% 甘油和 1% 溴酚蓝, R250 染色约 4 h, 脱色至条带清晰。

蛋白纯度鉴定: 电泳胶用 ScnImage 软件进行灰度扫描, 根据谱带的灰度和面积计算蛋白亚基的纯度。

1.2.6 显微结构分析

采用组织切片的方法: 样品 0.25 g+2 mL 水, 90 °C 浴搅拌 10 min, 2,000 r/min 离心 2 min, 取沉淀在 -16 °C 低温恒冷, 切片成 3 μm 厚, 置于载玻片上, Lugols 碘染色 30 s, 流水漂洗, 甘油封片, 用显微镜观察不同样品中主要成分的形态结构, 软件 LAS V4.1 处理图片。

1.2.7 数据处理

所有数据均为 3 次实验的平均值, 采用 SPSS 软件进行显著性分析, $p < 0.05$ 为差异显著。

2 结果与分析

2.1 蛋白组分对粳米粉糊化特性的影响

不同蛋白组分及蛋白组分的组合对粳米粉糊化特性的影响不同(图 1)。对于峰值粘度而言, 粳米粉最低($p < 0.01$), 其次是去球蛋白、去醇溶蛋白和去清蛋白组($p < 0.05$), 去谷蛋白及去清、谷蛋白组最高($p < 0.01$), 而去除球蛋白和醇溶蛋白组在同时去除 2-3 种组分的米粉中峰值粘度相对较低($p < 0.01$)。说明粳米粉的峰值粘度受蛋白质的影响, 蛋白含量越高、组分越齐全, 粳米粉的峰值粘度越低; 其中谷蛋白作为粳米粉中含量最多的蛋白组分, 对峰值粘度的影响最大; 去除球蛋白和醇溶蛋白后、留在粳米粉中的实际上是清蛋白和谷蛋白, 其峰值粘度相对较低说明清蛋白和谷蛋白的相互作用比其它几组大。

蛋白组分对热糊粘度的影响与峰值粘度基本一致。对最终粘度的影响则在去除 2-3 种组分的米粉中显示出较大的差异: 去清、谷蛋白组的粘度极显著高于其它组($p < 0.01$); 去清、球蛋白组次之($p < 0.01$); 去清、醇溶蛋白, 去球、醇溶蛋白和去清、球、醇溶蛋白这三组之间差异不显著($p > 0.05$)。

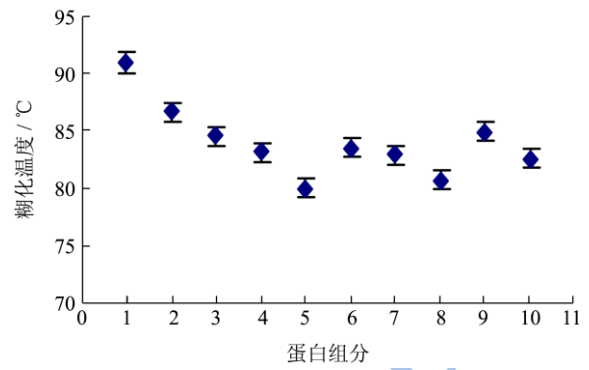
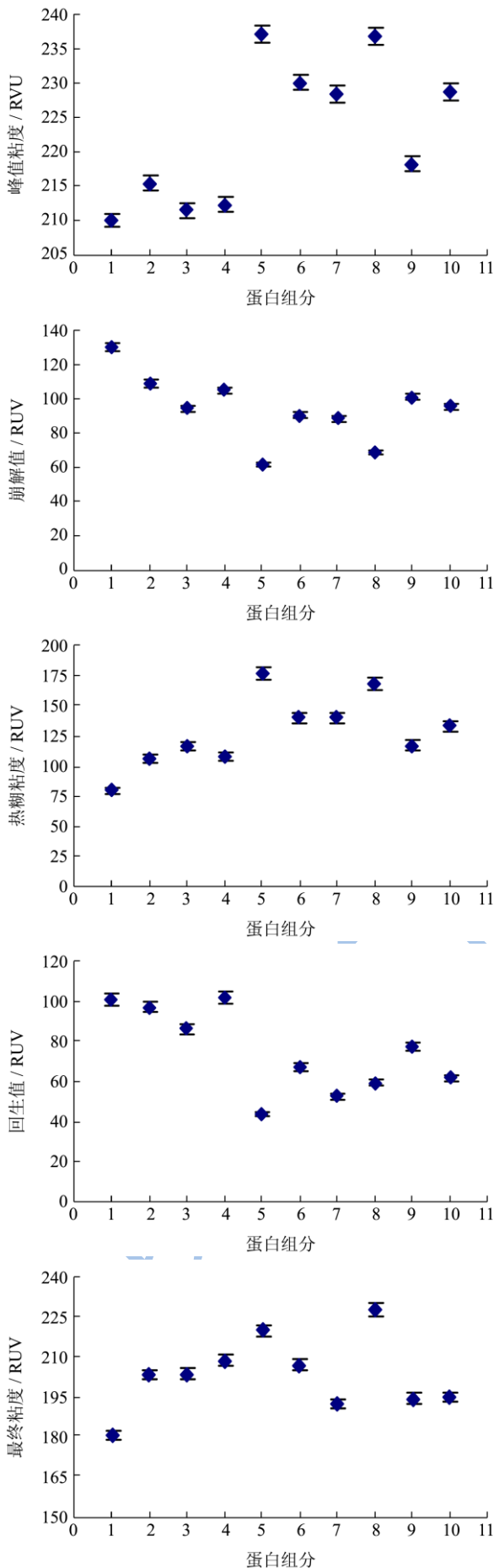


图1 蛋白组分对籼米粉糊化特性的影响

Fig.1 Protein fraction on the pasting of non-waxy rice flour

注：蛋白组分分别为1.籼米粉，2.去清蛋白，3.去球蛋白，4.去醇溶蛋白，5.去谷蛋白，6.去清、球蛋白，7.去清、醇溶蛋白，8.去清、谷蛋白，9.去球、醇溶蛋白，10.去清、球、醇溶蛋白。

崩解值中，籼米粉极显著高于其它各组 ($p < 0.01$)，其次是去清蛋白组、去醇溶蛋白组 ($p < 0.01$)，去谷蛋白与去清、谷蛋白组极显著低于其它各组 ($p < 0.01$)。说明蛋白组分去除以后，籼米粉易崩解，其中以谷蛋白对崩解值的影响最大。

回生值中，去醇溶蛋白、去清蛋白组与籼米粉没有显著差异 ($p > 0.05$)；去球蛋白组显著低于籼米粉 ($p < 0.05$)；去谷蛋白组极显著低于籼米粉 ($p < 0.01$)；去球、醇溶蛋白组显著高于去清、球蛋白组，去清、醇溶蛋白组与去清、球、醇溶蛋白组 ($p < 0.01$)。说明球蛋白和谷蛋白可以降低籼米粉的回生值。

糊化温度中，籼米粉的最高 ($p < 0.01$)，去清蛋白、去球蛋白、去醇溶蛋白、去谷蛋白组依次递减；去清、球蛋白，去清、醇溶蛋白与去清、球、醇溶蛋白三组差别不大 ($p > 0.05$)；去清、谷蛋白组显著低于前三组 ($p < 0.05$)、与去谷蛋白组基本一致；去球、醇溶蛋白组显著高于前三组 ($p < 0.05$)，居于去球蛋白与去醇溶蛋白组之间。说明谷蛋白依然是影响糊化温度最重要的组分。

2.2 蛋白组分对籼米粉热特性的影响

蛋白质对大米粉的热特性有较大的影响^[9]，但蛋白组分对籼米粉的影响如何尚无研究报道。本研究结果表明，蛋白组分对籼米粉糊化温度及焓变均有极显著影响 ($p < 0.01$)：籼米粉的糊化峰值温度极显著高于其它各组 ($p < 0.01$)；其次是去球蛋白，去清、球蛋白，去球、醇溶蛋白，去清、球、醇溶蛋白四组 ($p < 0.01$)；再次是去清蛋白，去醇溶蛋白，去谷蛋白，去清、醇溶蛋白，去清、谷蛋白四组 ($p < 0.01$)；糊化的起始温度和终止温度情况与峰值温度变化趋势基本一致。说

明蛋白组分和蛋白总量对于籼米粉的糊化温度影响是
比较大的, 组分越齐全籼米粉的糊化温度越高, 其中

去除球蛋白的籼米粉糊化温度偏高, 其它各组没有明
显差别。

表 1 蛋白组分对籼米粉热特性的影响

Table 1 Protein fraction on the thermal properties of non-waxy rice flour

	起始温度/°C	峰值温度/°C	终止温度/°C	焓变/(J/g)
籼米粉	73.87±0.05 ^a	77.23±0.09 ^a	83.87±0.38 ^a	0.68±0.06 ^a
去清蛋白籼米粉	61.44±0.52 ^c	64.66±0.56 ^c	68.09±0.85 ^d	0.23±0.02 ^c
去球蛋白籼米粉	68.59±0.17 ^b	71.71±0.23 ^b	74.96±0.13 ^c	0.24±0.06 ^c
去醇溶蛋白籼米粉	62.37±0.30 ^c	65.71±0.57 ^c	69.59±1.55 ^d	0.21±0.06 ^c
去谷蛋白籼米粉	60.89±0.15 ^d	64.66±0.25 ^c	69.36±0.48 ^d	0.34±0.02 ^b
去清、球蛋白籼米粉	69.74±0.64 ^b	72.98±0.73 ^b	77.07±0.91 ^b	0.27±0.05 ^c
去清、醇溶蛋白籼米粉	60.86±0.13 ^d	64.58±0.30 ^c	68.99±0.13 ^d	0.35±0.12 ^b
去清、谷蛋白籼米粉	61.27±0.24 ^c	64.86±0.13 ^c	69.89±0.58 ^d	0.40±0.03 ^b
去球、醇溶蛋白籼米粉	68.72±0.57 ^b	71.26±0.21 ^b	74.33±0.33 ^c	0.24±0.04 ^c
去清、球、醇溶蛋白籼米粉	69.26±0.55 ^b	72.11±0.62 ^b	76.36±1.01 ^b	0.23±0.05 ^c

籼米粉的焓变值亦极显著高于其它各组
($p<0.01$); 其次是去清、谷蛋白, 去清、醇溶蛋白和
去谷蛋白三组 ($p<0.01$); 再次是去清蛋白, 去球蛋白,
去醇溶蛋白, 去清、球蛋白, 去球、醇溶蛋白, 和去
清、球、醇溶蛋白六组 ($p<0.01$)。说明蛋白组分和蛋
白总量对于籼米粉的焓变影响亦很大, 组分越齐全籼
米粉的焓变值越高, 其中去除谷蛋白的籼米粉焓变值
偏高, 其它各组没有明显差别。

球蛋白组变化基本一致。

2.3 不同蛋白组分的分子亚基分析

为分析蛋白组分导致籼米粉糊化特性变化结果
的原因, 我们采用 SDS-PAGE 法对蛋白组分的分子亚
基分别进行了分析 (图 2), 并通过 ScnImage 软件计
算出不同蛋白亚基的相对百分含量 (表 2)。结果表明,
变化比较大的两组是: 去谷蛋白和去清、谷蛋白两组
的分子亚基均只含有 60 ku 的分子亚基, 这两组均不
含谷蛋白; 去球蛋白, 去清、球蛋白, 去球、醇溶蛋
白, 去清、球、醇溶蛋白组的 22 ku、15 ku 亚基消失,
这四组均不含球蛋白; 其它各组间虽然亦有所变化、
基本上是比例上的调整, 分子亚基的组成与去谷蛋白、

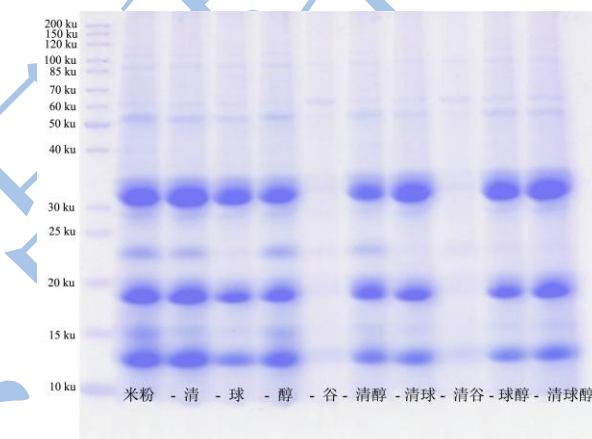


图 2 籼米蛋白组分 SDS-PAGE 图

Fig.2 Image of SDS-PAGE from non-waxy rice protein fraction

注: 图中简称分别代表 米粉: 籼米粉, -清: 去清蛋白
籼米粉, -球: 去球蛋白籼米粉, -醇: 去醇溶蛋白籼米粉, -谷:
去谷蛋白籼米粉, -清球: 去清、球蛋白籼米粉, -清醇: 去清、
醇溶蛋白籼米粉, -清谷: 去清、谷蛋白籼米粉, -球醇: 去球、
醇溶蛋白籼米粉, -清球醇: 去清、球、醇溶蛋白籼米粉。

表 2 根据 SDS-PAGE 图计算所得籼米蛋白亚基含量

Table 2 Subunit content in non-waxy rice protein fraction calculated from SDS-PAGE image

样品	亚基含量/%							
	89 ku	60 ku	54 ku	33 ku	22 ku	17 ku	15 ku	12 ku
籼米粉	0.23	0.05	1.70	34.58	7.35	29.79	2.64	23.37
去清蛋白籼米粉	0.20	0.21	1.55	36.36	4.91	29.59	0.82	25.74
去球蛋白籼米粉	0.31	0.13	0.76	45.50		31.19		21.21
去醇溶蛋白籼米粉	0.32	0.14	2.64	35.63	7.18	26.55	1.76	22.44
去谷蛋白籼米粉		2.26						

转下页

接上页

去清、醇溶蛋白粳米粉	0.05	1.48	1.62	36.54	4.39	32.11	21.87
去清、球蛋白粳米粉	0.15	0.22	0.81	45.39		30.75	21.70
去清、谷蛋白粳米粉		1.58					
去球、醇溶蛋白粳米粉	0.28	0.34	1.43	47.25		30.06	19.49
去清、球、醇溶蛋白粳米粉	0.18	0.30	0.80	43.84		32.57	20.97

2.4 不同蛋白组分的显微结构分析

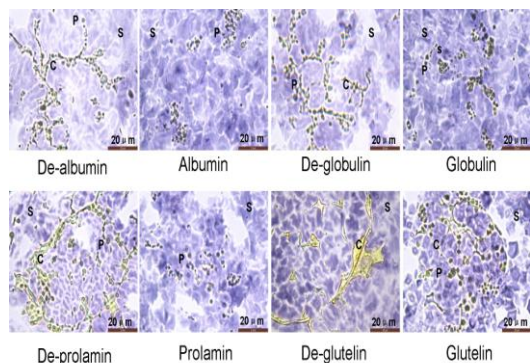


图3 粳米蛋白组分显微结构图

Fig.3 Microstructure of protein fraction from non-waxy rice

注: P-蛋白质, S-淀粉, C-纤维素等。

除了分子亚基外,蛋白组分的存在状态及其与粳米其它成分的相互作用对粳米粉的糊化特性亦有较大的影响,因此我们采用组织切片-显微镜拍照的方法观察了不同样品的显微结构(图3)。结果表明,清蛋白、球蛋白和醇溶蛋白一般以蛋白体的形式存在,其中球蛋白的蛋白体比清蛋白和醇溶蛋白略微偏大、且聚集度较高;谷蛋白,以及含谷蛋白的样品:去清蛋白、去球蛋白、去醇溶蛋白三组均发现蛋白体和纤维素类物质紧密结合在一起;去谷蛋白组清晰的显示出纤维素类物质的结构。

3 结论

3.1 近十几年来,胚乳总蛋白对大米的糊化特性有影响的结论基本达成学界共识^[3-5,11],但具体影响机理尚无定论。

3.2 谷蛋白作为含量最高的蛋白组分,影响淀粉的糊化特性已毋庸置疑^[5,8,12-13]。Baxter et al.推测可能是谷蛋白同时与直链淀粉、支链淀粉键合,或者通过 N-或 O-键与直链淀粉和支链淀粉键合抑制淀粉的吸水而引起淀粉糊化粘度和崩解粘度的下降^[8]。但我们通过不同蛋白组分的显微结构分析(图3),发现谷蛋白与粳米粉中的纤维素类物质结合很紧密,这与研究报道大米中的蛋白质常常和细胞壁、细胞膜等成分结合在一起的结果一致^[14-15]。Kishimoto et al. (1999) 曾指出大米谷蛋白碱性亚基的羧基端含有 N-或 O-相连的

二糖侧链^[16],因此我们认为谷蛋白正是通过这个侧链与纤维素相连,在糊化过程中阻碍淀粉粒的溶胀,降低糊化粘度、升高崩解值和糊化温度,而去除后会得到相反的结果(图1,表1)。

3.3 醇溶蛋白作为第二大蛋白组分,去除以后峰值粘度、热糊粘度和最终粘度都有不同程度的升高,崩解值、回生值和糊化温度降低(图1、表1)。Han and Hamaker(2001)提出崩解值和溶胀淀粉粒的破裂有关^[2],说明这种糊化特性的出现可能是作为贮藏蛋白的醇溶蛋白在淀粉溶胀过程中形成的结构使淀粉粒易于吸水溶胀而产生的结果,这与 Baxter et al.(2004)发现添加醇溶蛋白会导致崩解值升高,糊化粘度降低的结果基本一致^[7]。

3.4 清蛋白和球蛋白作为活性蛋白,在大米蛋白组分中的含量分别为 2.9~9.9%、6.6~11.0%^[5]。这两种蛋白组分的去除均导致峰值粘度、热糊粘度和最终粘度不同程度的升高,其中峰值粘度清蛋白高于球蛋白、热糊粘度球蛋白高于清蛋白、最终粘度则两种蛋白组分基本一致;对崩解值、回生值和糊化温度的影响均呈下降趋势,球蛋白低于清蛋白(图1,表1)。说明两种蛋白组分对于粳米粉糊化特性的影响不一定单纯只是因为蛋白含量的不同。基于蛋白酶对米粉糊化特性有影响的研究结果^[3-4],我们认为清蛋白和球蛋白除了作为蛋白体与淀粉发生相互作用外,其中的蛋白酶、淀粉酶、纤维素酶等活性成分可能会对粳米粉中的成分产生水解等生化作用而影响其特性。这与 Baxter et al.(2010)推测清蛋白作为水溶性蛋白,与水相互作用,通过氢键和可溶性直链淀粉及展开的支链淀粉末端在凝胶中形成三维网络结构对淀粉粒的吸水溶胀形成障碍,导致糊化温度和崩解粘度的上升研究结果不同^[10]。同时,研究报道清蛋白和球蛋白对糊化粘度的影响相反,本研究这种差异并不明显,可能是本研究采用的蛋白组分去除法中,去除了清蛋白还有球蛋白、醇溶蛋白、谷蛋白,去除了球蛋白后还有清蛋白、醇溶蛋白、谷蛋白,这些蛋白组分之间亦有较强的相互作用^[6],影响了样品的糊化特性。

3.5 此外,在蛋白组分尤其是谷蛋白去除后,60 ku 的蛋白亚基显得非常瞩目(表2),它在所有的蛋白组分中均含有,因此会影响不同品种粳米粉的基本糊化

特性。研究报道,这种蛋白结合在米粉淀粉粒的表面或内部,被称为淀粉粒结合蛋白(starch granule associated protein)^[17],虽然在本次研究中针对某一种特定的粳米品种无法对照其具体作用,其中的淀粉粒结合淀粉合成酶(starch granule bound starch synthase, GBSS)蛋白对米粉的粘度和崩解值的影响已引起人们的关注^[12-13],具体对粳米的糊化及加工性能如何影响,则需进一步研究。

参考文献

- [1] 余世锋,杨秀春, Menager, L.等.直链淀粉、蛋白质及脂类对大米粉热特性的影响[J].食品与发酵工业,2009,35(4):37-42
YU Shi-feng, YANG Xiu-chun, MENAGER L, et al. Effects of amylose, protein and lipid on the thermal properties of rice flour [J]. Food and Fermentation Industry, 2009, 35(4): 37-42
- [2] Han X Z, and Hamaker B R. Amylopectin fine structure and rice starch paste breakdown [J]. J. Cereal. Sci., 2001, 34: 279-284
- [3] Derycke V, Veraverbeke W S, Vandeputte G E, et al. Impact of proteins on pasting and cooking properties of nonparboiled and parboiled rice [J]. Cereal Chem., 2008, 82: 468-474
- [4] Xie L H, Chen N, Duan B W, et al. Impact of proteins on pasting and cooking properties of waxy and non-waxy rice [J]. J. Cereal Sci., 2008, 47: 372-379
- [5] Yi C P, Gao W M, Zhong C M, et al. The effect of alkaline soluble proteins on pasting properties of non-waxy rice [J]. Cereal Chem., 2014, 91(5): 502-507
- [6] Tan Y, Corke H. Factor analysis of physicochemical properties of 63 rice varieties [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2002, 82: 745-752.
- [7] Lyon B G, Champagne E T, Vinyard B T, et al. Sensory and instrumental relationships of texture of cooked rice from selected cultivars and postharvest handling practices [J]. Cereal Chem., 2000, 77: 64-69
- [8] Baxter G, Blanchard C, Zhao J. Effects of glutelin and globulin on the physicochemical properties of rice starch and flour [J]. J. Cereal. Sci., 2014, 60(2): 414-420
- [9] Baxter G, Blanchard C, Zhao J. Effects of prolamin on the textural and pasting properties of rice flour and starch [J]. J. Cereal. Sci., 2004. 40(3): 205-211
- [10] Baxter G, Zhao J, Blanchard C. Albumin significantly affects the pasting and textural characteristics of rice flour [J]. Cereal Chem., 2010, 87(3): 250-255
- [11] Martin M, Fitzgerald M A. Proteins in rice grains influence cooking properties [J]. J. Cereal Sci., 2002, 36(3): 285-294
- [12] Chrastil J. Correlations between the physicochemical and functional properties of rice [J]. J. Agric. Food Chem., 1992, 40: 1683-1686
- [13] Hamaker B R, Griffin V K, Moldenhauer K A. Potential influence of a starch granule-associated protein on cooked rice stickiness [J]. J. Food Sci., 1991, 56(5): 1327-1346
- [14] Zheng Y, Wang Z. Protein accumulation in aleurone cells, sub-aleurone cells and the center starch endosperm of cereals [J]. Plant Cell Rep. , 2014, 33: 1607-1615
- [15] Masatsugu T, Takumi N, Yasuyuki H, et al. Changes in histological tissue structure and textural characteristics of rice grain during cooking process [J]. Food Structure, 2014, 1(2): 164-170
- [16] Kishimoto T, Watanabe M, Mitsui T, et al. Glutelin basic subunits have a mammalian mucin-type o-linked disaccharide side chain [J]. Arch. Biochem. Biophys, 1999, 370-277
- [17] Baldwin P M. Starch-granule associated proteins and polypeptides: a review [J]. Starch/Stärke, 2001, 53(10), 475-503