大米谷蛋白对大米淀粉理化特性的影响

卢薇[1]，夏宁[2]，王金梅[1]，杨晓泉[1]
（1. 华南理工大学轻工与食品学院，广东广州 510640）（2. 广西大学轻工与食品工程学院，广西南宁 530004）

摘要：本文研究了低变性大米谷蛋白的添加对大米淀粉的持水、糊化、流变与质构特性的影响。结果表明，大米谷蛋白的添加（0~20%）会逐渐降低大米淀粉的持水能力，延迟其水化过程。淀粉的黏度特性曲线、糊化晗值、峰值黏度、崩解值和回生值随谷蛋白添加量的增加而逐渐降低，但起始糊化温度和峰值温度无明显变化。流变数据证实，蛋白添加量为 0~10%时，淀粉-蛋白复合物的剪切应力和表观粘度随添加量增加而增加，当谷蛋白添加量为 20%时，复合物的剪切应力和表观粘度迅速减小，大米淀粉的糊化特性和凝胶特性发生明显弱化。

关键词：大米淀粉；大米谷蛋白；糊化特性；流变特性；质构特性

文章篇号：1673-9078(2012)12-1632-1635

Effect of Rice Glutelin Addition on Physicochemical Properties of Rice Starch

LU Wei[1], XIA Ning[2], WANG Jin-mei[1], YANG Xiao-quan[1]
(1.College of Light Industry and Food Sciences, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)
(2.Department of Light Industry and Food Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: Effects of native rice glutelin addition on the physicochemical properties of rice starch were investigated, including water-holding capacity, pasting property, rheological property, and textural property. The addition of native rice glutelin decreased the water-holding capacity and hydration of rice starch. The gelatinization, peak viscosity, breakdown and setback of rice starch were reduced without the changes in the gelatinization temperature and peak temperature, when the addition of rice glutelin was increased. The apparent viscosity and shear force of rice starch gradually increased with increasing rice glutelin from the addition of 0% to 10%. The pasting and gel formation capacities of rice starch were weaken when the addition was 20%, as evidenced by the decrease in the textural property.

Key words: rice starch; rice glutelin; pasting property; rheological property; textural property

作为居民膳食的主要组成部分，大米含有约 80%的淀粉及约 8%的蛋白质[1]。这些主要成分在很大程度上决定了大米的营养和糊化、流变、质构等理化性质，影响着大米的品质。其中大米淀粉具有异于其他淀粉的营养和流变性质，如低过敏性、香味柔和、易糊化、质构柔滑、易涂抹[2]。目前，大米淀粉的理化性质已被广泛研究，一些学者认为大米的糊化和质构等特性主要来自于淀粉的贡献[3]。

最近，学者添加了包括大豆蛋白、卵清蛋白、乳清蛋白和醇溶蛋白在内的外源蛋白质至米粉和大米淀粉中，发现蛋白质在大米的糊化和质构特性方面也发挥了重要的作用[4~6]。因此，明确大米中主要的贮藏蛋白-谷蛋白对其淀粉理化性质的影响具有重要意义，可以为大米淀粉的实际应用提供理论基础。如何得到高纯度的低变性大米淀粉和蛋白成为阐明这一问题的关键。

大米淀粉和蛋白主要以淀粉-蛋白聚集体的形式存在于米胚乳细胞中，难以彻底分离[1]。目前，最常采用碱法制备大米淀粉和蛋白[7~9]，即利用碱液浸泡大米，弱化淀粉与蛋白的组织结构，使蛋白溶出，达到分离效果。然而，这一过程会产生大量碱性废液，极易造成环境污染。大米蛋白在提取过程中受到极端 pH 的影响，会发生变性，影响其结构和理化性质。针对这些问题，Guraya 等[10]采用微射流高压均质法无损地分离了高纯度的大米淀粉。本课题组改进了这一方法，采用高压均质微射流结合酶法技术，在获得高纯度大米淀粉的同时，选择性地提取了高纯度、低变性的大米谷蛋白[11,12]。本文通过外源添加的方法研究了低变性大米谷蛋白的添加对大米淀粉的持水、糊化、流变与质构等理化特性的影响。

收稿日期：2012-08-05
基金项目：国家自然科学基金重点项目(31130124)
作者简介：卢薇（1989-），女，硕士研究生，主要从事植物蛋白加工与利用
通讯作者：杨晓泉，男，教授，博士生导师，主要从事植物蛋白加工与利用

1 材料与方法

1.1 材料与设备

材料：碎籼米：购于广东白燕粮油公司，粉碎 60 目备用；淀粉酶 α-amylase (35000 U/mL)，糖化酶 (5000 U/mL)，丹麦诺维信公司。其他试剂均为分析纯。

主要仪器：中试型胶体磨，德国IKA公司；M2110EH微射流纳米均质机，美国Microfluidics公司；CR22G冷冻离心机，日本Hitachi公司；Rapid N Cube 快速定氮仪；Micro-doughlab微量粉质仪，瑞典波通瑞华科学仪器有限公司；Viscograph-E布拉班德粘度仪，德国Brabender公司；TA·XT2i/5质构仪，英国SMS公司；RS600哈克旋转流变仪，德国HAAKE公司。

1.2 实验方法

1.2.1 低变性大米谷蛋白与淀粉的制备[12]

室温下将碎米粉按 1:5 (*m/V*)比例浸没于去离子水中过夜，倒入胶体磨湿法磨浆 30 min 后至 120 目筛网过滤。将过滤后的米浆倒入高压微射流均质机内，100 MPa 压力下均质 2 次，分别收集浸泡过程、胶体磨处理及均质处理后的碎米乳液，离心 (8000 ×g, 20 min, 20 ℃) 后沉淀部分由于淀粉和蛋白密度的差异分成两层，收集下层的淀粉层（淀粉纯度为 92.29%）及上层的蛋白层。为了提高蛋白纯度，采用低温淀粉酶、糖化酶酶解处理蛋白层获得高纯度的大米蛋白（蛋白含量为 87.89%）。大米淀粉与蛋白用于后续实验。

1.2.2 碎米淀粉粉质曲线的测定

将大米谷蛋白按0、5、10、15、20%的比例分别添加到大米淀粉中，混合均匀待用。另取已过60目筛的大米粉备用，作为对照样品。称取4.0 g淀粉和谷蛋白混合样品置于粉质仪搅拌槽中，输入预期的吸水率为86%，启动仪器，获得样品在混揉过程中扭矩随时间变化的曲线。同时计算出样品的最大峰值阻力(Peak resistance)、形成时间(Development time)、阻力稳定值(Stability value)，阻力单位为FU。

1.2.3 淀粉糊化曲线的测定（AACC方法）

按照AACC方法[13]，略加改动。准确称取预混均匀的淀粉和蛋白复合物，加入适量蒸馏水，配置6% (*m/m*)的样品混合液100 g，倒入快速黏度分析仪的测量杯中待用。测量参数如下：初温，30 ℃；以7.5 ℃/min 的速率升温到95 ℃；95 ℃下保持5 min；再以7.5 ℃/min下降到50 ℃；50 ℃下保持5 min。搅拌器转动速度为160 r/min。得到样品在加热升温、保温与降温过程中的时间黏度曲线，同时计算出样品的起使糊化温度(Onset temperature)、峰值温度(Peak temperature)、峰值黏度(Peak viscosity)、崩解值(Break down)、回升值(Set back)，黏度单位为BU。

1.2.4 淀粉流变特性的测定

配置2% (*m/V*)的样品混合液，搅拌均匀，沸水浴加热糊化5 min。采用哈克RS600型流变仪测定糊化后的蛋白–淀粉混合溶液的应力随剪切速率和粘度的变化。测量参数如下：转子为直径35 mm的不锈钢平行板转子(pp35Ti)，间距设定为1 mm，剪切速率为0.1~200 s^{-1}，持续时间180 s，测定温度20 ℃。每个样品重复测定3次，结果取平均值。

1.2.5 淀粉凝胶质构特性的测定

将测定完淀粉糊化曲线的淀粉糊取出、4 ℃室温静置冷却12 h成凝胶，采用质构仪测定其质构特性。测量参数如下：运行模式 Texture Profile Analysis (TPA)；探头，P/5探头，测前速度1.0 mm/s，测试速度1.0 mm/s，测后速度1.0 mm/s，探头两次测定间隔时间3.0 s，数据采集速率200 ppt/s，测定距离为凝胶厚度的30%，触发类型为自动，触发力1.0 g。得到样品在两次下压过程中的时间-力曲线。

2 结果与讨论

2.1 大米谷蛋白的添加对大米淀粉持水特性的影响

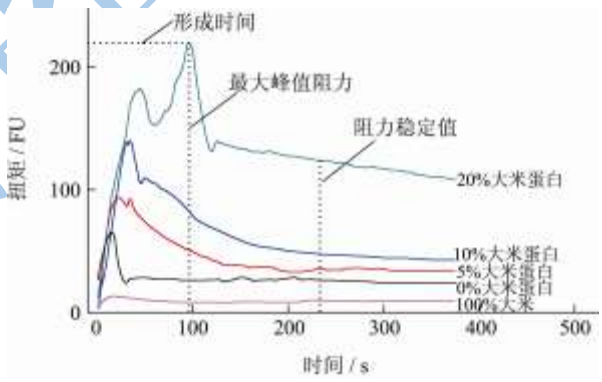


图 1 大米谷蛋白的添加对大米淀粉粉质曲线的影响

Fig.1 Effect of rice glutelin addition on the farinograph profile of rice starch

粉质仪一般被应用在小麦面粉内在质量的评价上，用于表征面团的耐揉性和相关特性。从粉质曲线上可得出面团的最大峰值阻力、形成时间、阻力稳定值等多项指标。本实验利用该仪器测定粉质曲线来反映大米蛋白与淀粉在水合过程中的相互作用，见图 1。在混揉过程中，样品受到的阻力随时间增加逐渐达到最大值，随后下降渐趋于稳定。其中样品达到最大峰值阻力和到达该值所需要的时间（形成时间）随蛋白添加量的增加而增加。峰值阻力越大，表明复合物在吸水膨胀过程中达到均匀状态需要的力越大；形成时间越长，表示复合物吸水膨胀的时间较长，较难形成均一的复合物。同样，在复合物的揉和过程，达到最

大峰值阻力后，粉质曲线会趋于一个阻力稳定值，且该值与峰值阻力和形成时间有类似的变化趋势。可能的原因是由于复合物中的蛋白吸水膨胀形成团聚物，并与吸水后的淀粉浆夹杂在一起形成很大的夹杂物，若要使夹杂物形成均一复合物的力就越大，在曲线上则表现为峰值阻力的增加，蛋白含量越大，夹杂物含量相应越大，峰值阻力不断增加。另外，复合物中的蛋白可能会夺去淀粉水化所需的水分，使得淀粉形成均匀水化物的时间延长，最终影响均匀复合物的形成时间。

2.2 大米谷蛋白的添加对大米淀粉糊化特性的影响

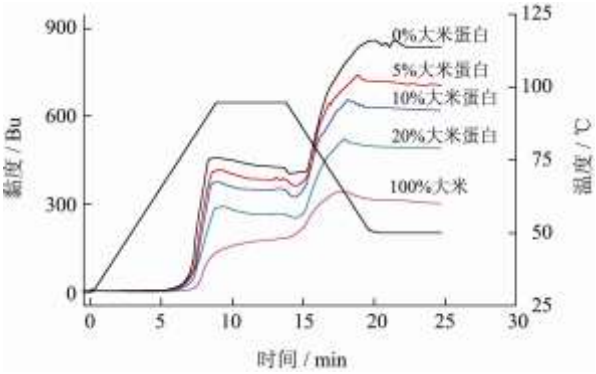


图 2 大米谷蛋白的添加对大米淀粉糊黏度曲线的影响

Fig.2 Effect of rice glutelin addition on the pasting property of rice starch

表 1 不同添加量的大米蛋白与淀粉复合物的糊化特性参数

Table 1 Effect of rice protein addition on the pasting property of rice starch

样品	糊化温度/℃	峰值温度/℃	峰值黏度/BU	崩解值/BU	回升值/BU
0%大米蛋白	77.7	95.0	835	33	331
5%大米蛋白	77.6	96.5	706	28	294
10%大米蛋白	79.5	96.8	620	27	280
20%大米蛋白	78.1	96.7	491	26	244
100%大米	88.3	94.9	301	1	161

不同蛋白添加量的蛋白与淀粉复合物的黏度曲线见图 2，糊化特性具体见表 1。由图 2 可看出，在升温、保温和降温过程中，淀粉与蛋白复合物均经历了黏度的上升、降落和回升等过程；同时，伴随着复合物中大米蛋白含量的增加，淀粉的黏度特性曲线呈现明显降低的趋势，且曲线值均高于 100%大米样品的黏度值。

由复合物的糊化特性可知（表 1），除 100%大米样品外，不同蛋白添加量对复合样品的糊化起始温度和峰值温度影响不明显；但复合物的峰值黏度、崩解值和回升值则随蛋白含量的增大而减小。目前，大米淀粉与蛋白的相互作用机制未见明确报道。在蛋白质含量高的大米中，由于米粒结构紧密，淀粉粒间的空隙小，导致吸水速度慢，吸水量少，从而影响淀粉的充分糊化，使得淀粉凝胶的强度降低。由此可推测，在大米淀粉中添加不同量的蛋白，一方面由于蛋白中富含高分子量的蛋白聚集体，吸收膨胀率较低，抑制了淀粉颗粒的膨胀糊化，造成峰值黏度的下降；另一方面蛋白添加量的增加，相应地减少了复合物中淀粉的含量，使得糊化过程中黏度整体下降。表 1 还可看出，随着蛋白添加量的增加，大米淀粉的回升值逐渐下降，说明添加蛋白可能会抑制或延缓淀粉的凝沉，提高淀粉的储藏稳定性。但淀粉糊化过程中的崩解值在添加蛋白后同样降低，且添加量为 5~20%时没有明显变化，表明淀粉的热稳定性是降低的，但降低的比例在低添加量时变化不大。

2.3 大米谷蛋白的添加对大米淀粉流变特性的影响

不同蛋白添加量的大米蛋白与淀粉复合物的剪切应力与表观黏度的变化见图 3、图 4 所示。由图 3 可观察到，所有样品的流变曲线呈现剪切应力随剪切速率呈指数增长的趋势，且不同程度地凸向剪切应力轴的曲线，由此可判断出样品均属于非牛顿流体。在剪切速率最初的 0~25 s^{-1} 的范围内，剪切应力急剧增加，随后增加幅度趋于平缓，表明样品具有假塑性流体特征。当剪切速率相同时，剪切应力随着蛋白添加量的增加而发生不同的变化，即当蛋白添加量由 0%增加到 10%时，剪切应力相应增加，且高于 100%大米样品的应力值。随着蛋白添加量的继续增加，剪切应力反而下降，当蛋白添加量为 20%时，复合物的应力曲线低于 100%大米样品的应力曲线。

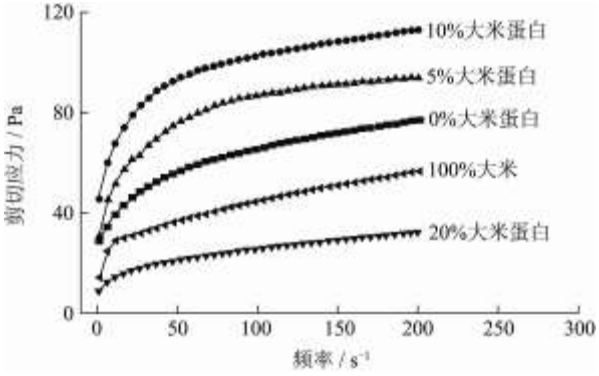


图 3 大米谷蛋白的添加对大米淀粉糊剪切应力的影响

Fig.3 Effect of rice glutelin addition on the shear stress of rice starch

由图 4 亦可以观察到添加不同含量的大米蛋白与淀粉复合物的表观黏度与剪切速率图。所有样品的表观黏度在低剪切速率时急剧下降，然后逐渐趋向平缓，说明样品存在假塑性流体的剪切稀化现象。当蛋白添加量从 0%增加到 10%时，表观黏度随添加量的增加相

应增加，之后，随着蛋白添加量进一步增加，表观黏度逐渐下降，当添加量增大到 20%时，复合物的黏度值低于 100%大米样品的黏度值。以上趋势与剪切应力变化一致（见图 3）。

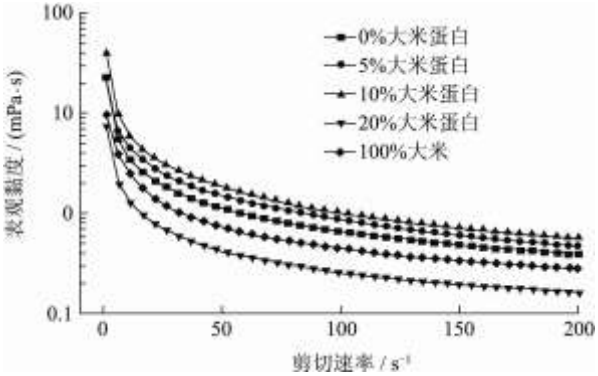


图 4 大米谷蛋白的添加对大米淀粉糊表观黏度的影响

Fig.4 Effect of rice glutelin addition on the viscosity property of rice starch

黏度和应力随着剪切速率增加或降低的原因在于：在初始剪切阶段，糊化淀粉样品中的淀粉分子间互相缠绕的分子链阻碍了流体的相互运动，造成应力的急剧增加与黏度的下降；当剪切速率继续增加到某一数值后，淀粉分子缠绕的分子链有被拉直的趋向，流层间的剪切应力和表观粘度就维持在一个常数。随着大米淀粉中蛋白添加量的增加，复合物中的蛋白发生吸水溶胀，增加了蛋白与淀粉之间的相互作用力，从而提高了样品的剪切应力。随着蛋白添加量进一步增加达到20%，样品的剪切应力降低，这是由于复合物中淀粉的绝对量降低较大。

2.4 大米谷蛋白的添加对大米淀粉凝胶特性的影响

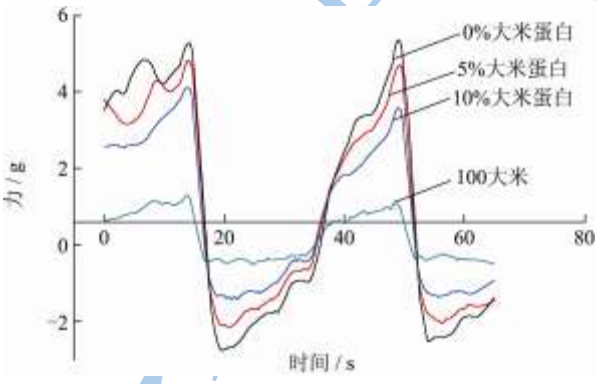


图 5 大米谷蛋白的添加对大米淀粉凝胶质构特性的影响

Fig.5 Effect of rice glutelin addition on the textural property of rice starch

图 5 为添加不同量的大米蛋白与淀粉复合物的凝胶质构特性图谱。由图 5 可知，大米淀粉形成的凝胶强度整体较低，并随着复合物中蛋白含量的增加，TPA 曲线整体下降，当添加量提高到 20%之后，凝胶破碎的力已经小于仪器的最低检测限。表明蛋白的添加会弱化大米淀粉凝胶的形成。

3 结论

大米谷蛋白的添加会增大粉质曲线中的最大峰值阻力和形成时间，说明蛋白的添加降低了淀粉的持水能力。蛋白的添加抑制了淀粉颗粒的膨胀糊化，黏度特性曲线呈现明显降低的趋势，造成峰值黏度的逐渐下降。同时，大米淀粉的糊化晗值、峰值黏度、崩解值和回生值也受谷蛋白添加量的影响较大，随着添加量增加逐渐降低。所有样品均表现出假塑性流体的剪切稀化现象，低蛋白添加量下（0~10%），糊化液的表观黏度与剪切应力随添加量的增加相应提高，蛋白添加量为 20%时，黏度与剪切力反而下降，弱化了大米淀粉凝胶的形成。

参考文献

[1] Marshall WG, Wordsworth JI. Rice Science and Technology [M]. NewYork: Marcel ekker Inc, 1994

[2] Schoch TJ. Starch Chemistry and Technology [M]. New York: Academic Press Inc, 1967

[3] Vandeputte GE, Derycke V, Geeroms J, et al. Rice starches II. Structural aspects provide insight into swelling and pasting properties [J]. Journal of Cereal Science, 2003, 37: 1-7

[4] Baxter G, Zhao J, Blanchard C. Albumin significantly affects pasting and textural characteristics of rice flour [J]. Cereal Chemistry, 2010, 87(3): 250-255

[5] Baxter G, Blanchard C, Zhao J. Effects of prolamin on the textural and pasting properties of rice flour and starch [J]. Journal of Cereal Science, 2004, 40: 205-211

[6] Marco C, Rosell CM. Effect of different protein isolates and transglutaminase on rice flour properties [J]. Journal of Food Engineering, 2008, 84: 132-139

[7] 易翠平,姚惠源.高纯度大米蛋白和淀粉的分离提取[J].食品与机械,2004,20:18-21

[8] Yamamoto K, Sawada S, Onogaki T. Properties of rice starch prepared by alkali method with various conditions [J]. Denpun Kagaku, 1973, 20: 99-102

[9] 万娟,陈嘉东,钟国才,等.碱法提取籼碎米中大米蛋白工艺的研究[J].现代食品科技,2009,25:1073-1075

[10] Guraya HS, James C. Deagglomeration of rice starch-protein aggregates by high-pressure homogenization [J]. Starch-Starke, 2002, 54: 108-116

[11] 王章存,聂卉,康延玲.酶法提取大米蛋白研究进展[J].现代食品科技,2006,22:255-258

[12] Xia N, Wang JM, Gong Q, et al. Characterization and *in vitro*

digestibility of rice protein prepared by enzyme-assisted microfluidization: Comparison to alkaline extraction [J]. Journal of Cereal Science, 2012, http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2012.06.008

[13] AACC. AACC method76-30A [M]. St Paul: American Association of Cereal Chemists, 1984

现代食品科技