

不同品种鹰嘴豆淀粉糊与凝胶特性研究*

张涛, 缪铭, 江波

(食品科学与技术国家重点实验室, 江南大学, 江苏无锡, 214122)

摘要 以不同品种的鹰嘴豆 Kabuli 和 Desi 为原料, 采用快速黏度仪、质构仪和流变仪研究淀粉糊与凝胶特性的差异。研究表明: Kabuli 淀粉在糊化过程中的峰值、谷值、最终黏度等特征值均高于 Desi 淀粉, 而降落值、回值及成糊温度却低于 Desi 淀粉。Kabuli 淀粉的品质优于 Desi 淀粉, 但这 2 种鹰嘴豆淀粉糊的糊丝均属于短糊系列。在不同热过程中 Desi 淀粉形成凝胶速度快, 强度大; Kabuli 淀粉的凝胶强度随温度的变化是可逆的。Kabuli 淀粉凝胶破裂强度、弹性模量均小于 Desi 淀粉凝胶。

关键词 鹰嘴豆, 淀粉糊化, 糊丝, 回生, 凝胶, 质构

鹰嘴豆(*Cicer arietinum* L.)是豆科鹰嘴豆属中一年生或越年生草本植物的种子, 作为世界第二大消费豆类, 鹰嘴豆栽培在温暖且干旱地区, 在我国则主要分布在新疆、甘肃、青海等西北地区。根据种子的形态及颜色, 鹰嘴豆一般分为两类 Desi 和 Kabuli^[1~5], 鹰嘴豆具有高含量的淀粉、蛋白质、不饱和脂肪酸、矿物质、维生素等有益人体健康的营养成分^[1,2], 作为食品可直接食用或加工成各种产品, 如豆乳粉、发酵乳、蛋白饮料、赖氨酸强化食品、婴儿食品等。除了开发食品外, 鹰嘴豆在医学上的应用也较为广泛。国外研究报道^[3,4], 鹰嘴豆粉是一种低糖食品, 能预防和治疗糖尿病、心脑血管疾病等慢性疾病。

本研究以不同品种的鹰嘴豆 Kabuli 和 Desi 为原料, 采用碱法得到高纯度的淀粉, 并通过快速黏度仪、质构仪和流变仪测试淀粉糊和凝胶的特性, 为鹰嘴豆淀粉的应用提供理论依据和实践指导。

1 材料与方法

1.1 试验材料

鹰嘴豆 Kabuli 和 Desi 品种, 购自新疆。

1.2 试验仪器和设备

RVA-3D 型快速黏度分析仪(澳大利亚 Newport Scientific 仪器公司); TA-XT2i 质构分析仪(英国 Micro Stable System 公司); AR1000 型动态流变仪(美国 TA 公司)。

1.3 试验方法

1.3.1 淀粉的提取

第一作者: 博士, 讲师。

* 国家自然科学基金重点资助项目(No. 20436020), 江苏省苏州市国际科技合作项目(No. SWH0720)

收稿日期: 2007-06-26, 改回日期: 2007-08-10

挑选饱满的鹰嘴豆, 用 3 g/L 的 Na_2SO_3 溶液在室温下浸泡至软化(便于脱皮), 除皮后加入适量的水于粉碎机粉碎后经胶体磨打浆, 匀浆反复几次加水过滤, 滤液静置 4~5 h 后倾去上清液, 沉淀的淀粉用 0.01 mol/L 的 NaOH 脱蛋白, 然后反复水洗, 40℃ 烘干, 过 100 目筛即得鹰嘴豆淀粉^[6]。

1.3.2 淀粉的糊化特性研究

准确称取 3 g 淀粉(水分含量 14%), 加入 25 mL 蒸馏水, 混合于 RVA 专用铝盒内, 调成一定浓度的淀粉乳。

测定条件^[7]: 50℃ 下保持 1 min; 以 5℃/min 的速度上升到 95℃(9 min); 95℃ 下保持 7 min; 以 6℃/min 下降到 50℃(7.5 min); 50℃ 下保持 4.5 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。测得淀粉糊粘度曲线, 并通过 RVA 专用测试软件 TCW 分析得到 7 个特征参数: 分析峰值(peak)、谷值(trough)、降落值(breakdown)、最终粘度(final visc)、回值(setback)、出峰时间(peak time)及成糊温度(peak temp)。

1.3.3 淀粉糊的拉丝研究

以质量分数 3% 的浓度配备淀粉乳, 于沸水中加热搅拌 20 min, 自然冷却至室温即得。

测试条件^[8]: 测定模式和选项为测定拉伸力, 测定前探头速度 0.1 mm/s, 测定时速度 8.0 mm/s, 测定后速度 8.0 mm/s, 测定距离 40.0 mm, 触发类型自动, 触发力 5.0 g, 探头类型 P50, 数据提取速率 200.00 pps。

1.3.4 淀粉糊回生特性的测定

称取淀粉 1.00 g, 加入 10.0 mL 去离子水, 搅拌均匀后于沸水浴中使淀粉糊化。另称取 4.00 g 淀粉加入糊化后的淀粉糊中, 并补足蒸发掉的水分, 搅拌

均匀。静置 20 min,待水分分布均匀后进行流变特性测试。

将淀粉糊放置在动态流变仪载物台上,启动仪器使平板进入设置间隙,刮去平板外多余淀粉糊,加上盖板,并加上硅油防止水分蒸发。采用动态振荡程序,设置 3 个温度扫描步骤^[9]:从 20℃ 升温到 100℃ 使淀粉体系糊化,然后从 100℃ 降温至 20℃ 让凝胶形成,最后再从 20℃ 升温到 100℃ 考察凝胶的破坏情况,升降温速率均为 5℃/min。

流变仪的模具选用直径为 30 mm 的平板,狭缝间隙设置为 1.0 mm,形变为 2%,角频率为 5 rad/s。

1.3.5 淀粉凝胶的质构分析

按质量分数 6% 配制淀粉乳,于沸水中加热搅拌 20 min 后马上转移到测量杯中(糊高 20 mm),冷却至室温并放置 12 h 即可进行测试。

1.3.5.1 破裂强度测定

测试条件^[4]:测定模式和选项为 T P A,测定前探头速度 1.0 mm/s,测定时速度 1.0 mm/s,测定后速度 1.0 mm/s,测定距离 6.0 mm,探头 2 次测定间隔时间 5.0 s,触发类型自动,触发力 5.0 g,探头类型 P5,数据提取速率 25.00 pps。

1.3.5.2 弹性模量测定

测试条件^[10]:测定模式和选项为测定压缩力,测定前探头速度 1.0 mm/s,测定时速度 1.0 mm/s,测定后速度 1.0 mm/s,测定距离 6.0 mm,触发类型自动,触发力 5.0 g,探头类型 P0.5,数据提取速率 200.00 pps。

2 结果与分析

2.1 淀粉的糊化性质研究

图 1 为不同鹰嘴豆淀粉的 RVA 图谱,表 1 为不同鹰嘴豆淀粉糊化过程中峰值、谷值、最终黏度等特征值。从图 1 和表 1 可知,鹰嘴豆淀粉的成糊温度在 70~75℃ 之间。糊化温度因直链淀粉含量、结晶度和支链淀粉结构等的不同而存在差异。一般来说,直链含量高、结晶度高、支链外链较长的淀粉晶体结构紧密,晶体溶解所需热量大,导致糊化温度较高。由于 Desi 淀粉的直链含量高于 Kabuli 淀粉^[5],其糊化温度(74.4℃)也为比 Kabuli 淀粉(70.65℃)大。当温度高于糊化温度时晶体崩解,淀粉颗粒开始溶胀,粘度突然升高,并逐渐达到峰值。Kabuli 淀粉的粘度明显高于 Desi,这可能是由于在升温过程中 Kabuli 淀粉颗粒膨胀程度大,而 Desi 淀粉膨胀程度小所致。在保温期,吸水溶胀后的淀粉颗粒变软,在高温和机械剪切力的作用下破碎,使黏度下降。降落值反映淀粉的热糊稳定性, Kabuli 淀粉的降落值小,表明其溶胀后的淀粉颗粒强度大,不易破裂,导致其热糊稳定性好。Desi 淀粉降落值相对较大,热糊稳定性较差。回升值反映淀粉冷糊的稳定性和老化趋势,Desi 淀粉的回升值较 Kabuli 淀粉略大,这与它们的直链淀粉的聚合度和支链淀粉的结构有关,直链淀粉聚合度高,支链淀粉外链长的淀粉易于老化,冷糊稳定性差。总之, Kabuli 淀粉的品质优于 Desi 淀粉。

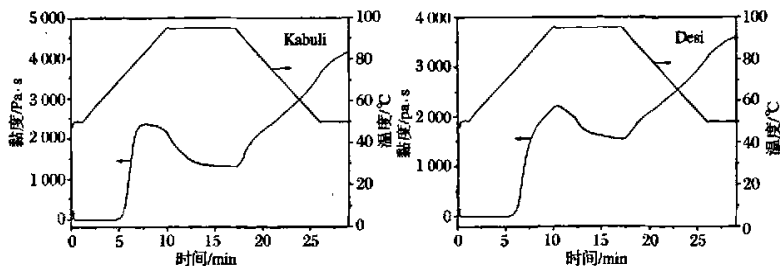


图 1 鹰嘴豆淀粉的 RVA 图谱

表 1 鹰嘴豆淀粉糊化过程中的特征值

品 种	峰值/Pa·s	谷值/Pa·s	降落值/Pa·s	最终黏度/Pa·s	回升值/Pa·s	出峰时间/min	成糊温度/℃
Kabuli	2.269	1.283	0.986	4.136	2.853	7	70.65
Desi	1.145	0.137	1.008	3.596	3.459	7	74.4

2.2 淀粉糊的拉丝性质研究

质构仪测定的淀粉糊糊丝拉伸特性曲线(见图

2),反映探头提拉、下降整个过程感应到的力与时间或距离的关系,并能分析出不同品种淀粉糊丝的断裂

速率、粘韧性质及糊分子内聚情况。由表 2 结果可知, Kabuli 淀粉糊的长度高于 Desi 淀粉, 但是两者均属于短糊系列。最大感应值是探头提拉淀粉糊上升过程出现的最大力; 保留感应值是探头提拉的淀粉糊糊丝断裂后仍然感应的力或重量, 为粘附于探头的剩余的淀粉糊。淀粉糊粘度大的最大感应值和保留值

一般都大。Kabuli 淀粉糊有较大的最大感应值, 说明 Kabuli 淀粉糊与仪器探头的材质有较好的粘结效果; Desi 淀粉有相对小的保留感应值, 说明其淀粉糊有相对强的内聚力, 与仪器探头材质的粘结效果不是很好。

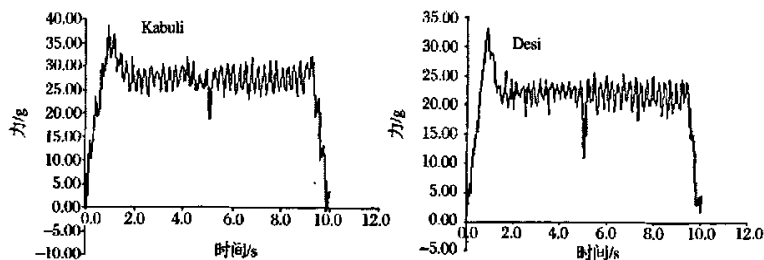


图 2 鹰嘴豆淀粉糊的拉丝曲线

表 2 鹰嘴豆淀粉的糊丝长度

品 种	糊丝断裂点/s	糊丝长度 ¹⁾ /mm	最大感应值/g	保留感应值/g	提升最大拉伸力 增加速率/ $\text{g} \cdot \text{s}^{-1}$	糊丝断裂速率 $/\text{g} \cdot \text{s}^{-1}$
Kabuli	2.40	19.2	39.85	27.82	41.95	-11.46
Desi	1.85	14.8	33.66	22.53	37.40	-10.12

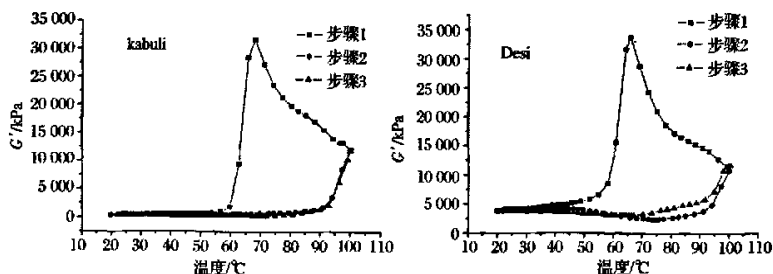
注: 1) 糊丝长度=糊丝断裂点 \times 探头测试速度(8.0 mm/s)

当探头突破触发力开始提拉淀粉糊上升, 感应的力为克服粘液面的表面张力和淀粉糊内部之间的粘结作用力, 随着提拉淀粉糊的增多而增多, 但提升到一定高度达到最大值, 不同淀粉糊样品达到最大值的速率计算结果如表 2 所示。不同种类的鹰嘴豆淀粉糊的提升最大拉伸力增加速率比较接近。在淀粉糊丝的拉伸曲线可见, 糊丝断裂探头感应到的拉力是下降的。由于淀粉糊向下流动可知断裂速率为负值。斜率绝对值越大表明淀粉糊液往下流动的速度越快, 糊丝越容易被拉断, 糊丝的长度一般较小。Kabuli 与 Desi 淀粉斜率绝对值都比较大, 这表明淀粉糊液往下流动的速度越快, 糊丝越容易被拉断, 糊丝的长度较小, 这也进一步验证了两者的淀粉糊是短糊的推测。

2.3 淀粉糊的回生特性研究

图 3 为不同鹰嘴豆淀粉升温糊化、降温冷却和重新升温时淀粉体系储藏模量 G' 的变化图。从图 3 可以看出, 在升温糊化阶段, 随着温度的升高到达一定温度(60~70℃)时, 淀粉体系储藏模量显著升高, 但到达一定高度后又开始快速下降。这是因为随着温

度的升高, 淀粉颗粒吸水膨胀, 到达糊化温度时, 淀粉颗粒大量吸水膨胀, 直链分子从淀粉颗粒中渗析出来形成凝胶包裹淀粉粒, 淀粉体系强度和弹性显著增加, G' 值升高; 随着温度的进一步升高, 膨胀的淀粉粒间的碰撞加剧, 部分淀粉粒破裂。同时直链淀粉链的迁移能力增强, 凝胶网络中的部分氢键断裂, 因此凝胶体系弹性和强度下降, G' 值降低。在随后的降温过程中, 随着温度的降低, 淀粉体系的短期回生开始。双螺旋形成并趋于有序化, 链与链之间的氢键进一步形成; 同时作为填充物的淀粉粒之间的碰撞变缓。淀粉凝胶的网络结构逐步形成, 淀粉凝胶体系的硬度和强度逐步增大, 因此 G' 值逐步升高。重新加热升温, 膨胀水化的淀粉颗粒和直链链间的运动加剧, 淀粉凝胶中部分氢键断裂, 淀粉凝胶网络受到破坏, 淀粉体系的硬度和强度逐步降低, 因此 G' 值逐步下降。当 80℃之前, G' 值的变化幅度比较平缓, 超过 80℃后, G' 值的变化幅度增大, 说明 80℃以上的温度对氢键的破坏比较强烈。这与 Tako 等人^[11]报道直链淀粉分子内和部分分子间的氢键断裂温度在 80~90℃的结论相一致。



步骤 1, 20℃→100℃; 步骤 2, 100℃→20℃; 步骤 3, 20℃→100℃

图 3 鹰嘴豆淀粉在升降温过程中储能模量 G' 的变化图

比较降温 and 重新升温 2 个过程, Kabuli 淀粉凝胶的 G' 值变化是可逆的, 而 Desi 淀粉凝胶的 G' 值变化则是不可逆的。直链淀粉含量越高, 这种不可逆性越强, 因为直链淀粉的短期回生形成的凝胶网络具有一定的耐热性, 重新加热到 100℃ 不能完全破坏其结构。直链淀粉含量高的 Desi 淀粉, 形成较多的交联缠绕, 重新加热到 100℃ 时, 凝胶不能回到原来状态。Kabuli 淀粉凝胶中直链淀粉交联缠绕较少, 因而在升温过程中凝胶又沿着原来的降温过程回复。

2.4 淀粉凝胶质构研究

图 4 是由质构仪 TPA 模式得到的鹰嘴豆淀粉凝胶破裂强度曲线, 它是关于探头感应力与移动位移对应的时间的谱线。当凝胶受压后会逐渐变形, 当压力超过一定的强度后凝胶破裂, 破裂时的压应力为凝胶的破裂强度, 而破裂时探头下压的距离(破裂点位移)反映凝胶的脆性, 一般破裂点位移越大则凝胶的弹性越大(脆性越小)。通过淀粉凝胶的破裂强度分析,

Desi 淀粉凝胶的破裂强度较大, 表明 Desi 淀粉凝胶的脆性大。这主要是由于各淀粉的直链淀粉与支链淀粉的比例各不相同, 直链淀粉含量越大, 凝胶中分子之间相互作用的距离则越小, 相互作用力也就越大, 由此淀粉凝胶的强度越大, 支链淀粉分子的相互缠绕使得淀粉凝胶具有软的结构而不易破坏。

由表 3 可以看出, Kabuli 与 Desi 淀粉凝胶的弹性模量都小于 10^5 N/m^2 , 根据人以弹性模量为指标来评价食物的咀嚼感觉, 当弹性模量超过 10^5 N/m^2 则认为该食物硬度太大^[10], 因此认为 2 种淀粉的凝胶均有适宜的硬度。Kabuli 淀粉凝胶的弹性模量比 Desi 淀粉的小, 主要因为不同的直链淀粉与支链淀粉比例^[12], 决定了淀粉凝胶体系中淀粉与淀粉分子间相互作用的距离与作用力的大小各不相同, Desi 淀粉的直链淀粉含量高, 淀粉分子与淀粉分子间的结合则相对较紧凑些, 分子之间的作用力则相对较大。

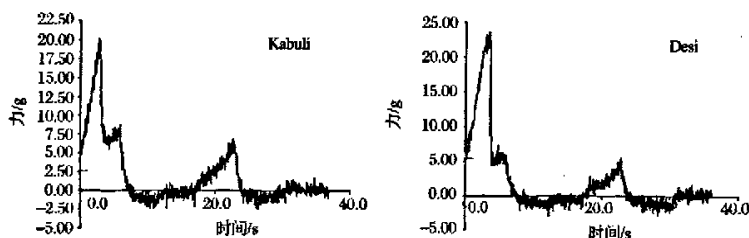


图 4 淀粉凝胶的破裂强度分析曲线图

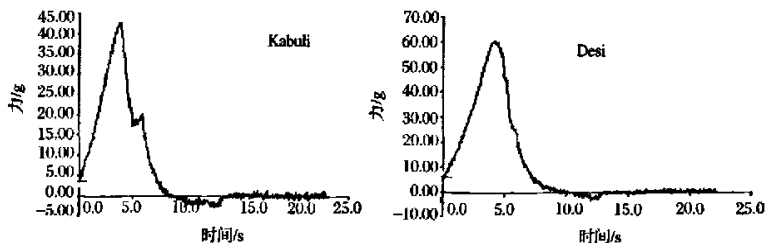


图 5 淀粉凝胶的弹性模量分析曲线图

表3 淀粉凝胶的破裂强度和弹性模量

品 种	破裂点位移 /mm	破裂强度 /g	压缩应力 /g	弹性模量 ¹⁾ /10 ⁵ N·m ⁻²
Kabuli	3.33	20.47	44.15	0.116
Desi	3.64	23.96	61.60	0.162

注:1)弹性模量/ $\text{N} \cdot \text{m}^{-2} = \frac{\text{压缩应力}}{126.680 \times 10^{-6}} \times \frac{20}{6}$

3 结 论

通过快速黏度仪得到的图谱可知鹰嘴豆 Kabuli 淀粉的峰值、谷值、最终黏度均高于 Desi 淀粉,但是降落值、回值及成糊温度低于 Desi 淀粉,这表明 Kabuli 淀粉的品质高于 Desi 淀粉。由质构仪分析淀粉糊的糊丝长度、黏结性、拉伸力的增加速率及糊丝断裂速率可知两种鹰嘴豆淀粉的糊都属于短糊系列。

采用动态流变仪研究不同鹰嘴豆淀粉在不同热过程中凝胶粘弹性的变化,发现 Desi 淀粉形成凝胶速度快,强度大;Kabuli 淀粉的凝胶强度随温度的变化是可逆的。分析淀粉的凝胶质构可知 Kabuli 淀粉凝胶破裂强度、弹性模量均小于 Desi 淀粉凝胶,但两者的硬度都较适宜(低于 $10^5/\text{m}^2$)。

参 考 文 献

- Chavan J K, Kadam S S, Salunkhe D K. Biochemistry and technology of chickpea (*Cicer arietinum* L.) seeds [J]. CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 1986(25): 107~132
- Zhang T, Jiang B, Wang Z. Gelation properties of chickpea protein isolates [J]. Food Hydrocolloids, 2007, 21 (2): 280~286
- Botham R, Cairns P, Morris V J, et al. A physicochemical characterization of chickpea starch resistant to digestion in the human small intestine [J]. Carbohydrate Polymers, 1995 (26): 85~90
- Gohi I, Valentin-Gamazo C. Chickpea flour ingredient slows glycemic response to pasta in healthy volunteers [J]. Food Chemistry, 2003 (81): 511~515
- Saini H S, Knights E J. Chemical constitution of starch and oligosaccharide components of Desi and Kabuli chickpea (*Cicer arietinum* L.) seed types [J]. J Agric Food Chem, 1984, 32(4): 940~944
- Schoch T J, Maywald E C. Preparation and properties of various legume starches [J]. Cereal Chemistry, 1968, 45: 564~573
- American Association of Cereal Chemists, Approved Methods of the AACC, 10th, the Association, St Paul, MN, 2000
- 金万浩. 食品物性学[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1991
- Lii C Y, Shao Y Y, Tseng K H. Gleation mechanism and rheological properties of rice starch [J]. Cereal Chemistry, 1995, 72(4): 393~400
- 惠斯特勒 R L, 贝塞勒 J N, 帕斯卡尔 E F 著, 王维文译. 淀粉的化学与工艺学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1987
- Tako M, Hizukuri S. Evidence for conformation transitions in amylase [J]. J Carbohydr Chem, 1995, 14: 613~622
- Ring S G. Some studies on starch gelation [J]. Starch, 1985, 37(3): 80~83

Paste and Gel Properties of Starches from Different Chickpea Cultivars

Zhang Tao, Miao Ming, Jiang Bo

(State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

ABSTRACT Starch paste and gel properties of Kabuli and Desi chickpea cultivars were studied by rapid visco-analyzer, texture analyzer and dynamic rheometer. The results indicated that values of peak, trough and final viscosity of Kabuli starch were higher than those of Desi starch, but values of breakdown, setback and peak temperature were lower during the course of pasting. The characters of Kabuli starch were better than Desi starch, while they were short thread of starch paste. When heating by different step, Desi starch could gelate quickly and the gel was stronger. The strength changes of Kabuli starch gel with different temperature was reversible. The rupturing capacity and modulus of elasticity of Kabuli starch gelatin were lower than those of Desi starch gelatin.

Key words chickpea, starch gelatinization, paste thread, retrogradation, gel, texture