

富含抗性淀粉稻米淀粉特性研究

林 静¹ 孙宝霞² 方先文¹ 王艳平¹ 张所兵¹ 汪迎节¹

(1. 江苏省农业科学院 粮食作物研究所, 江苏省种质资源保护与利用研究中心, 江苏省优质水稻工程技术研究中心, 国家水稻改良中心南京分中心, 江苏 南京 210014; 2. 江苏省海安县雅周镇农业服务中心, 江苏 海安 226641)

摘要: 为了比较高低抗性淀粉含量水稻种质间淀粉主要特性差异, 利用江苏省农科院水稻品种资源项目组筛选出的抗性淀粉含量有极显著差异的水稻种质, 比较分析了 RVA 特征值和淀粉晶体热力学差异。结果表明, 抗性淀粉含量较高的 3 个水稻材料崩解值较低, 而消减值较高; 抗性淀粉含量较小的 3 个水稻材料崩解值较高, 而消减值较低。高低抗性淀粉含量水稻种质间 RVA 特征值和淀粉晶体热力学有较大的差异, 可为高抗性淀粉含量功能性水稻品种育种提供新的选育指标。

关键词: 水稻; 抗性淀粉; RVA 特征值; 淀粉晶体热力学

中图分类号: S511.01 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7091(2013)01-0058-04

Starch Properties of Rice Enriched with Resistant Starch

LIN Jing¹ SUN Bao-xia² FANG Xian-wen¹ WANG Yan-ping¹ ZHANG Suo-bing¹ WANG Ying-jie¹

(1. Institute of Food Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Jiangsu High Quality Rice R & D Center, Nanjing Branch of China National Center for Rice Improvement, Research Center for Protection and Utilization of Agricultural Germplasm Resource in Jiangsu Province, Nanjing 210014, China;

2. Yazhou Place Industry Service Center in Jiangsu Province, Haian 226641, China)

Abstract: Compared the starch properties characters of RVA properties and differential scanning calorimeter (DSC) between rice germplasm with significant differences in resistant starch, which selected by our laboratory. The result showed three high resistant starch content rice materials with lower break down viscosity and higher set back viscosity, which low resistant starch content rice materials with higher break down viscosity and lower set back viscosity. Big difference of characters of RVA properties and differential scanning calorimeter (DSC) between rice germplasm with significant differences in resistant starch. Therefore, it could be used as a breeding index of high resistant starch content rice.

Key words: Rice; Resistant starch; RVA; DSC

20 世纪 80 年代, 英国生理学家 Englyst 利用酶-重力法对膳食纤维进行定量分析时, 在不溶性膳食纤维中发现有淀粉成分, 并首次将这部分淀粉定义为抗消化淀粉, 简称抗性淀粉 (Resistant starch, RS) [1]。1996 年欧洲抗性淀粉协会 (EURESTA) 对 RS 作了更明确的定义: 在健康个体的小肠中不能被吸收的淀粉或淀粉降解产物 [2]。抗性淀粉具有与水溶性膳食纤维类似的生理功效, 能够降低餐后血糖和胰岛素水平, 增加组织对胰岛素的敏感性, 降低血脂、血胆固醇。同时, 抗性淀粉能被大肠中的微生物所发酵或部分发酵, 产生较多的挥发性短链脂肪

酸, 如乙酸、丙酸和丁酸, 能抑制癌细胞的生长, 有利于肠道健康 [3-9]。联合国粮农组织和世界卫生组织在 1998 年联合国出版的《人类营养中碳水化合物专家论坛》一书中指出, “抗性淀粉的发现及其研究进展, 是近年来碳水化合物与健康关系的研究中一项最重要的成果”。因此, 抗性淀粉受到了营养学家和生理学家的普遍关注, 成为功能性食品的研究热点。

稻米胚乳中含 70% ~ 80% 的淀粉, 在三大粮食作物中淀粉含量最高。稻米淀粉适口性好, 是我国的传统主食。作为亚太地区的主食, 稻米中抗性淀

收稿日期: 2012-12-06

基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金 (CX(11)1020)

作者简介: 林 静 (1981-), 女, 江苏海安人, 助理研究员, 硕士, 主要从事水稻品种资源研究。孙宝霞为同等贡献作者。

粉含量很低, 熟米饭中抗性淀粉含量一般低于 1%, 冷米饭中抗性淀粉含量也仅为 1.0%~2.1%。国内外研究前期主要集中于抗性淀粉的功能性试验以及含量测定上, 通过动物试验研究抗性淀粉与血糖浓度、胰岛素分泌的关系, 以及发酵产生短链脂肪酸等与人类健康有关的研究, 通过离体模拟胃肠消化测定抗性淀粉的含量^[10-13]。近来国内外有关抗性淀粉的研究开始倾向于食品加工应用, 研究了加工方法、工艺对抗性淀粉形成的影响^[14-16]。但目前抗性淀粉功能产品价格昂贵, 开发的抗性淀粉产品仅作为辅食在特殊人群中食用, 遗传改良方面的研究报道较少。近 2~3 年来抗性淀粉引起了国内外水稻育种者的关注, 高抗性淀粉含量水稻资源发掘及品种改良是目前研究的热点之一。

江苏省农科院水稻品种资源项目组从水稻资源中筛选出 3 个富含抗性淀粉的水稻资源, 为富含抗性淀粉稻米的遗传研究和主食产品的开发提供了素材。鉴于此, 我们对富含抗性淀粉的水稻资源淀粉特性作了初步研究, 为高抗性淀粉含量功能性水稻品种育种提供选育指标。

1 材料和方法

1.1 试验材料

用于本试验的材料包括 3 个富含抗性淀粉水稻材料章外花谷、白白谷和扎西玛, 以及 3 个高直链淀粉含量, 但抗性淀粉含量与普通稻米相差不大的水稻材料冬大白、低脚花螺和半截芒。所有试验材料于 2011 年种植于江苏省农科院试验田内, 按常规种植, 收获晾干后收集存放于江苏省农科院种质资源研究中心备用。

1.2 样品处理与制备

样品按农业部部颁标准 NY147-88 的方法碾磨后获得糙米、精米。利用旋风式磨粉机高速粉碎得到精米粉, 过筛, 充分干燥后密封保存备用。

1.3 方法

1.3.1 米粉中抗性淀粉含量测定 准确称取 0.1 g 精米粉, 按照 Megazyme 抗性淀粉测定试剂盒方法, 加入胰腺 α -淀粉酶, 37 °C 水浴振荡消化 16 h 后, 测定抗性淀粉含量。

1.3.2 黏度测定 测定按 AACCC (American Association of Cereal Chemist) 规程 (1995 61-02) 要求, 测定稻米 RVA 特性。准确称取 3.0 g 含水量在 14% 的精米粉, 加入 25 mL 蒸馏水。测定过程中, 加热过程是从 50 °C 开始以每分钟增加 5 °C 至 95 °C, 然后在 95 °C 保温 2.7 min, 冷却过程是从 95 °C 开始以每分钟降低

5 °C 至 50 °C, 然后在 50 °C 保温 2 min。搅拌器初始 10 s 内转速为 960 r/min, 之后维持在 160 r/min。

RVA 谱特征值主要包括开始糊化温度 (Pasting temp)、最高黏度 (Peak viscosity)、热浆黏度 (Hot paste viscosity)、冷胶黏度 (Cool paste viscosity)、崩解值 (Break down viscosity, 最高黏度 - 热浆黏度)、粘滞峰消减值 (Set back viscosity, 冷胶黏度 - 最高黏度)、回复值 (Consistence viscosity, 冷胶黏度 - 热浆黏度)。

1.3.3 差示扫描量热仪 (DSC) 测定淀粉热特性

DSC 测试条件: 准确称取 5 mg 淀粉样品放入已称好质量的铝质样品池, 立即将样品池压紧密封, 称重后放入仪器内进行测定。测定条件: 升温速率 10 °C/min, 从 -25 ~ 200 °C, 通氮气速率 20 mL/min。描绘各样品的糊化吸热曲线, 测定淀粉样品的峰起始温度 T_0 、峰值温度 T_p 、峰结束温度 T_e 和糊化热焓 ΔH 。

2 结果与分析

2.1 高直链淀粉稻米抗性淀粉含量

根据国际水稻研究所将稻米直链淀粉含量分成糯性 (<2.0%)、极低含量型 (3%~9%)、低含量型 (9%~20%)、中等含量型 (20%~25%) 和高含量型 (>25%)。由表 1 可知, 本试验中 6 个水稻材料直链淀粉含量均属于高含量型, 但抗性淀粉含量有差异。章外花谷、白白谷和扎西玛的稻米抗性淀粉含量较高, 分别为 3.98%、4.03%、4.24%。冬大白、低脚花螺和半截芒的稻米抗性淀粉含量与普通稻米相差不大, 分别为 0.76%、0.94%、1.3%。

表 1 高直链淀粉稻米中抗性淀粉含量的比较

Tab.1 The resistant starch in high amylose starch rice %

水稻材料 Rice material	直链淀粉含量 Amylose starch content	抗性淀粉含量 Resistant starch content
章外花谷 Zhangwaihuagu	26.2	3.98
白白谷 Baibaigu	27.4	4.03
扎西玛 Zhaxima	27.9	4.24
冬大白 Dongdabai	27.5	0.76
低脚花螺 Dijiaohualuo	26.1	0.94
半截芒 Banjiemang	25.2	1.30

2.2 不同抗性淀粉含量稻米的淀粉黏度

从表 2 中可知, RVA 测定结果中, 最高黏度、热浆黏度、冷胶黏度、糊化时间以及糊化温度 6 个水稻材料之间的差异不大, 但崩解值和消减值差异较大, 并且抗性淀粉含量较高的 3 个水稻材料崩解值较小, 而消减值较大; 抗性淀粉含量较小的 3 个水稻材料崩解值较大, 而消减值较小。

表 2 各稻米淀粉样品 RVA 谱特征值

Tab.2 RVA profile characteristics of rice with different resistant starch

水稻材料 Rice material	最高黏度值 Peak viscosity	热浆黏度值 Hot viscosity	崩解值 Breakdown	冷胶黏度值 Final viscosity	消减值 Setback	糊化时间 /min Peak time	糊化温度/℃ Pasting temperature
章外花谷 Zhangwaihuagu	2 318	1 749	569	3 526	1 208	6.13	78.4
白白谷 Baibaigu	3 362	2 465	897	4 759	1 397	6.33	81.5
扎西玛 Zhaxima	2 895	2 131	764	3 822	927	5.93	78.5
冬大白 Dongdabai	2 950	1 839	1 111	3 481	531	5.80	79.3
低脚花螺 Dijiaohualuo	3 156	1 759	1 397	3 563	407	5.53	79.1
半截芒 Banjiemang	3 943	2 567	1 376	4 309	366	5.87	76.7

2.3 不同抗性淀粉含量稻米的淀粉热特性

淀粉具有半结晶的颗粒结构,经热水处理会发生糊化现象,有序的晶体相向无序的非晶体相转化,在此过程中伴随有能量的变化。来源不同的淀粉与水作用过程中热力学性质各有差异,这些差异可以用 DSC 检测。从表 3 中可知,各稻米淀粉样品 DSC

吸热峰特征温度及糊化热焓存在差异。抗性淀粉含量高的章外花谷、白白谷和扎西玛相变起始温度、相变峰值温度和相变结束温度都相对滞后,同时糊化热焓也相对较高;抗性淀粉含量低的冬大白、低脚花螺和半截芒相变起始温度、相变峰值温度和相变结束温度都相对提前,同时糊化热焓也相对较低。

表 3 各稻米淀粉样品 DSC 吸热峰特征温度及糊化热效应

Tab.3 Heat-absorbing peak characteristic temperature and gelatinization enthalpy of different rice starch

水稻材料 Rice material	相变起始温度/℃ T_o	相变峰值温度/℃ T_p	相变结束温度/℃ T_c	糊化热焓/(J/g) ΔH
章外花谷 Zhangwaihuagu	54.77	97.72	103.98	220.85
白白谷 Baibaigu	72.78	95.47	107.77	291.41
扎西玛 Zhaxima	58.09	92.18	104.94	208.19
冬大白 Dongdabai	51.94	78.54	88.85	122.57
低脚花螺 Dijiaohualuo	50.56	88.77	94.19	101.89
半截芒 Banjiemang	46.17	87.36	95.86	180.04

3 讨论

综观人们对抗性淀粉的研究,初步确定直链淀粉参与了抗性淀粉结晶区和无定形区的形成^[17]。国际水稻研究所品质与营养研究中心曾对不同突变体及亲本和普通水稻材料的淀粉结构进行了分析,研究了抗性淀粉与直链淀粉、支链淀粉的关系,结果表明抗性淀粉不仅与直链淀粉相关,与支链淀粉也有密切关系^[18]。焦桂爱等^[19]对水稻抗性淀粉突变体抗性淀粉结构进行了比较分析,结果发现,突变体 RS111,其抗性淀粉主要来源于直链淀粉;而突变体 AE,其抗性淀粉中很大一部分来源于支链淀粉。赵力超等^[20]对慈姑抗性淀粉的理化特性进行研究时发现,与原淀粉相比,制备的慈姑抗性淀粉粗品其直链淀粉含量变化不大,且不同抗性淀粉含量粗品之间的直链淀粉含量差异也很小。作者猜测可能是因为慈姑抗性淀粉含量主要由直链淀粉的聚合度大小决定,受直链淀粉含量的影响反而较小。本研究中 6 个水稻材料直链淀粉含量均属于高含量型,但抗性淀粉含量有差异,他们之间直链淀粉聚合度、支链淀粉链长及链分布是否存在差异,在抗性淀粉形成

过程中是否有特定酶催化,具体原因还需进一步从淀粉整体结构的改变入手,借助分子生物学技术,研究高低抗性淀粉水稻材料在基因位点上的差异。

Jane 等^[21-22]研究表明,直链淀粉含量和支链淀粉长链的比率是影响淀粉糊化特征的主要因子。直链淀粉含量和支链淀粉长链的比率越高,淀粉粒越不易充分糊化,同时最高黏度和崩解值都较低;RVA 崩解值小,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。反之则利于淀粉粒的糊化,最高黏度和崩解值较高。本研究中 6 个水稻材料直链淀粉含量均属于高含量型,但抗性淀粉含量有差异。RVA 测定显示,抗性淀粉含量较高的 3 个水稻材料崩解值较小,而消减值较大;抗性淀粉含量较小的 3 个水稻材料崩解值较大,而消减值较小。消减值大,与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。

DCS 测定主要反映淀粉与水在加热过程中吸热变化,糊化焓变与断裂淀粉颗粒结构所需的能量相关,糊化温度反映了淀粉有序结构消失的温度范围。Noda^[23]指出,凝胶温度的决定因素为结晶区域的分

子构型与支链淀粉的短链紧密相关,而非仅仅取决于结晶区的比例,在对 51 个品种的马铃薯和 21 个品种的荞麦淀粉研究后发现,低的 T_o 、 T_p 、 T_c 反映了淀粉中存在大量的短链支链淀粉分子。朱辉明等^[24] 对高抗性淀粉粳稻新品系的支链淀粉链长分布特性进行研究后发现,高抗性淀粉水稻品系降糖稻 1 号短链部分所占相对比率,尤其在聚合度为 5~12 之间所占的相对比率明显低于抗性淀粉含量低的金丰水稻品种,聚合度超过 13 以后则相反。即高抗性淀粉水稻品系降糖稻 1 号除含有较高的直链淀粉含量外,还含有较高比率的长链支链淀粉,较易形成链-链氢键,从而使得降糖稻 1 号含有较高的抗性淀粉含量,其淀粉颗粒具有较高的热稳定性。本研究中 6 个高含量型直链淀粉水稻材料,抗性淀粉含量高的章外花谷、白白谷和扎西玛具有较高的热稳定性,间接说明了直链淀粉差异不大的水稻材料具有不同抗性淀粉含量的内在原因。同时也为高抗性淀粉含量功能性水稻品种育种提供了新的选育指标。

参考文献:

- [1] Englyst H, Wiggins H S, Cummings J H. Determination of the non-starch polysaccharides in plant foods by gas-liquid chromatography of constituent sugars as alditol acetates [J]. *Analyst*, 1980, 107: 307–318.
- [2] Baghurst R A. Dietary fiber, nonstarch polysaccharide and resistant starch [J]. *Food Australia*, 1996, 48(3): 1–35.
- [3] Rahen A, Tagliabue A, Niels J C *et al.* Resistant starch: the effect on postprandial glycemia, hormonal response, and satiety [J]. *Am J Clin Nutr*, 1994, 60: 544–551.
- [4] Cheng H H, Lai M H. Fermentation of resistant rice starch produces propionate reducing serum and hepatic cholesterol in rats [J]. *J Nutr*, 2000, 130: 1991–1995.
- [5] Annison G, Illman R J, Topping D L. Acetylated, propionylated or butyrylated starches raise large bowel short-chain fatty acids preferentially when fed to rats [J]. *J Nutr*, 2003, 133: 3523–3528.
- [6] Coudray C, Demigne C, Rayssiguier Y. Effects of dietary fibers on magnesium absorption in animals and humans [J]. *J Nutr*, 2003, 133: 1–4.
- [7] Wong J M W, Souza R, Kendall C W C. Colonic health: fermentation and short chain fatty acids [J]. *J Clin Gastroenterol*, 2006, 40: 235–243.
- [8] Zeng H W, Briske-Anderson M. Prolonged butyrate treatment inhibits the migration and invasion potential of HT1080 tumor cells [J]. *J Nutr*, 2005, 135: 291–295.
- [9] Williams E A, Coxhead J M, Mathers J C. Anti-cancer effects of butyrate: use of micro-array technology to investigate mechanisms [J]. *Proceedings of the Nutrition Society*, 2003, 6: 107–115.
- [10] Eggum B O, Juliano B O, Perze C M. The resistant starch undigestible energy and undigestible protein contents of raw and cooked milled rice [J]. *J Cereal Sci*, 1993, 18: 159–170.
- [11] Patricia M R, Franco M L, Elizabete W M. Measurement and characterization of dietary starches [J]. *J Food Comp Anal*, 2002, 15: 367–377.
- [12] Crosby G A. Resistant starch makes better carbs [J]. *Funct Foods & Nutraceuticals*, 2003, 6: 34–36.
- [13] Kim W K, Chung M K, Kang N E *et al.* Effect of resistant starch from corn or rice on glucose control, colonic events and blood lipid concentrations in streptozotocin-induced diabetic rats [J]. *J Nutr Biochem*, 2003, 14: 166–172.
- [14] 衣杰荣, 姚惠源. 温度对抗性淀粉形成的影响 [J]. *粮食与饲料工业*, 2001, 8: 37–38.
- [15] Brown I L. Applications and uses of resistant starch [J]. *J Assoc Off Anal Chem Inter*, 2004, 87(3): 727–732.
- [16] Hu P S, Zhao H J, Duan Z Y *et al.* Starch digestibility and the estimated glycemic score of different types of rice differing in amylose contents [J]. *J Cereal Sci*, 2004, 40: 231–237.
- [17] 杨光, 丁霄霖. 抗性淀粉分子量分布研究 [J]. *中国粮油学报*, 2000, 15(15): 37–40.
- [18] Fitzgerald M, Blanchard C. Understanding Amylose Structure, What it controls and what controls it. Rice CRC Final Research Report [R]. [2005–08–18]. <http://hdl.handle.net/2123/123>.
- [19] 焦桂爱, 唐绍清, 罗炬等. 水稻抗性淀粉突变体抗性淀粉结构的比较研究 [J]. *中国水稻科学*, 2006, 20(6): 645–648.
- [20] 赵力超, 杜征, 刘欣等. 慈姑抗性淀粉的理化特性研究 [J]. *食品科学*, 2010, 31(17): 55–59.
- [21] Jane J L, Chen J F. Effect of amylose molecular size and amylopectin branch chain length on paste properties of starch [J]. *Cereal Chemistry*, 1992, 69(1): 60–65.
- [22] Jane J L, Chen Y Y, Lee L F *et al.* Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch [J]. *Cereal Chemistry*, 1999, 76(5): 629–637.
- [23] Noda T, Takahata Y, Sato T *et al.* Relationships between chain length distribution of amylopectin and gelatinization properties within the same botanical origin for sweet potato and buckwheat [J]. *Carbohydrate Polymers*, 1998, 37(2): 153–158.
- [24] 朱辉明, 白建江, 王慧等. 高抗性淀粉粳稻新品系稻米淀粉特性 [J]. *中国农学通报*, 2010, 26(14): 108–112.