

文章编号: 1673-1689(2010)03-0370-06

20 种中国蚕豆淀粉的物理特性与糊化回生特性

谭斌, 谭洪卓, 田晓红, 刘明

(国家粮食局 科学研究院, 北京 100037)

摘要: 以中国不同蚕豆主产区的 20 种蚕豆为研究对象, 探索蚕豆原料的加工适用性。测定 20 种蚕豆淀粉的物理特性、升降温过程中的粘度变化、凝胶强度和冷藏稳定性等。20 种蚕豆淀粉的物理特性和糊化回生特性因地域产地和品种不同而差异很大。平均持水力为 97.97%; 膨润力和溶解度在 50 ℃以后随着温度的增加而剧增; 冻藏缩水率、透光率分别以云南凤豆、曲靖小粒蚕淀粉糊最高。20 种的蚕豆淀粉在 60.25~73.08 ℃时开始糊化; 峰粘度、保持强度、回生值、凝胶强度分别以保山大白蚕、浙江青皮蚕豆、大白黑脐蚕、崇礼蚕豆淀粉为最高。通鲜 2 号蚕豆淀粉凝胶在冷藏循环中表现出最低的缩水率。

关键词: 蚕豆淀粉; 物理特性; 糊化; 回生

中图分类号: TS 235.3

文献标识码: A

Physical, Gelatinized and Retrograded Properties of Starches from Twenty Broad Bean Varieties in China

TAN Bin, TAN Hong-zhuo, TIAN Xiao-hong, LIU Ming

(Academy of State Administration of Grain, Beijing 100037, China)

Abstract: Our research were focused on physical, gelatinized and retrograded properties of starches from twenty broad bean varieties in China in order to provide a theory foundation on their processing suitability. We determined several physical parameters, the viscosity variety under up- and down- temperatures, the strength of broad bean gels and cooling stability of broad bean starch systems. The physical, gelatinized and retrograded properties of starches from twenty broad bean varieties in China were distinctly different with different cultivated areas or varieties. The average WBC of starches from twenty broad bean varieties was 97.97%. Swelling power and solubility of broad bean starches increased markedly with increasing temperature over 50 ℃. The highest freeze-thaw syneresis ratio and light transmittance of broad beans starches were YNFD and QJXLC, respectively. The onset gelatinized temperature of these broad bean starches was 60.25~73.08 ℃. The highest peak viscosities, holding strength, setback, gel strength of broad beans starches were BSDBC, ZJQPCD, DBHQC, CLCD, respectively. The cooling syneresis ratio of TX2 starch gel was the lowest among all broad bean starches.

Key words: broad bean starch, physical property, gelatinization, retrogradation

收稿日期: 2009-06-30

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划重点项目(2006BAD02B01)。

作者简介: 谭斌(1972-), 男, 湖南衡东人, 工学博士, 副研究员, 主要从事粮食资源开发与利用。Email: tb@chi-nagrain.org

中国是世界上蚕豆栽培面积最大、总产量最多的国家,也是除大豆和花生之外我国目前种植面积和产量最多的食用豆类作物^[1],目前我国蚕豆加工品质特性方面的应用基础薄弱,制约了蚕豆资源的深度开发利用。淀粉是蚕豆籽粒中含量最丰富的一类碳水化合物,占籽粒质量的40%~50%左右,其直链淀粉含量高,占淀粉总量的37%~47%^[2]。蚕豆还含有多种对人体有益的生理活性物质,如类黄酮、原花色素、活性蛋白、活性肽及巢菜碱苷等,有降低胆固醇与血脂,改善血糖控制与防止过饱等作用^[3]。对于蚕豆的研究主要集中在抗营养因子^[4]、蛋白质^[5]、生理活性物质^[3,6]等方面,对蚕豆淀粉的特性也有少量报道^[7]。蚕豆淀粉的物理特性和糊化回生特性是影响其淀粉基食品品质的重要因素,为探索我国蚕豆资源的深加工适用性,作者从全国蚕豆主产区云南、浙江、江苏、福建、河北、辽宁、甘肃、青海等地采集的非常有代表性的20个蚕豆品种,测定其物理特性指标,分析品种之间的差异;测定升降温过程中蚕豆淀粉乳体系的粘度变化,以考察体系糊化和短期回生特性;测定蚕豆淀粉的凝胶强度和冷藏稳定性,以考察蚕豆淀粉的长期回生特性,为蚕豆淀粉基食品的开发利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

采用的原料为2007年7~10月从我国蚕豆主产区云南、浙江、江苏、福建、河北、辽宁、甘肃、青海等地采集的非常有代表性的蚕豆品种20个,编号、品种名称和产地分别为:1、绿叶蚕豆(云南昆明),2、大白黑脐蚕(云南昆明),3、大白白脐蚕(云南昆明),4、落叶蚕豆(云南曲靖),5、曲靖小粒蚕豆(云南曲靖),6、云南凤豆(云南曲靖),7、保山大白蚕(云南保山),8、保山透心绿(云南保山),9、慈溪大粒1号(浙江慈溪),10、上虞田鸡青(浙江上虞),11、通鲜1号(江苏南通),12、通鲜2号(江苏南通),13、启豆2号(江苏启东),14、淮安大蚕豆(江苏淮安),15、早生615(福建福州),16、崇礼蚕豆(河北张家口),17、浙江青皮蚕豆(辽宁沈阳),18、平凉蚕豆(甘肃平凉),19、青海马牙(青海湟源),20、青海10号(青海湟源)。

1.2 主要仪器

电子分析天平:梅特勒托利多公司产品;电热恒温鼓风干燥箱:上海森信实验仪器有限公司产品;样品磨:天津泰斯特公司产品;低速离心机:上海安亭科学仪器厂产品;SHZ-22型恒温水浴振荡

器:江苏太仓医疗器械厂产品;BD-100LT型可调温冰箱:青岛海尔特种电冰柜有限公司产品;Super-3型快速粘度仪(RVA):澳大利亚Newport科学分析仪器有限公司产品;TA-Xt Plus质构仪:英国Stable Micro Systems公司产品。

1.3 实验方法

1.3.1 蚕豆淀粉物理特性的测定

1) 蚕豆淀粉的提取 参照文献[7]的方法进行。

2) 蚕豆淀粉的持水性 参照文献[7]的方法并稍作改进。分别准确称取20种蚕豆淀粉样品各0.50 g(干基),放入15 mL试管中,加入7.5 mL蒸馏水,搅拌1 h,离心,倒出上清液,称量湿淀粉的质量。淀粉持水性=(湿淀粉质量-干淀粉质量)/干淀粉的质量×100%。

3) 蚕豆淀粉溶解度和膨润力测定 参照文献[8]的方法进行。

4) 蚕豆淀粉糊的冻融稳定性 参照文献[8]的方法进行。

5) 蚕豆淀粉糊透光率的测定 参照文献[9]的方法进行。分别准确称取20种蚕豆淀粉样品各0.2 g,入试管,加蒸馏水20 mL,配成质量浓度为1 g/dL的淀粉乳,入沸水中加热糊化30 min,冷却,在650 nm波长下测定其透光率。

1.3.2 淀粉糊的糊化回生特性测定

1) RVA测定蚕豆淀粉的糊化与短期回生行为 通过快速粘度仪测定升降温过程中20种蚕豆淀粉的粘度变化来考察其糊化和短期回生特性,采用ICC标准方法NO.162(1995)进行。具体测定步骤见文献^[8]。

2) 蚕豆淀粉的回生行为测定 质构仪测定20种蚕豆淀粉的凝胶硬度参照文献[8]的方法进行;蚕豆淀粉糊冷藏缩水率的测定参照Chen等^[10]的方法并加以改进。质量浓度为5 g/dL的20种蚕豆淀粉悬浮液,在沸水中加热20 min。在4℃下分别存放1、2、3、4、5 d,离心(3 000 r/min, 20 min),去渗漏水,称重。冷藏缩水率(%)=(缩水质量/原淀粉糊质量)×100%。

1.4 数据分析

采用SPSS10.1对相关数据进行平均值、标准偏差的计算和多重比较,除非特别的说明,所有数据都是3次测试的平均值。

2 结果分析

2.1 蚕豆淀粉的物理特性

2.1.1 蚕豆淀粉的持水力 20种蚕豆淀粉的持水

力情况见图 1。从图 1 可以看出, 20 种蚕豆淀粉的持水力在 89.43% ~ 106.48% 之间, 平均为 97.97%, 变幅为 4.33%。蚕豆淀粉的持水力平均水平略高于绿豆淀粉(96.5%), 但远远低于甘薯淀粉的平均持水力(138.0%)^[8]。持水力超过 100% 以上的有绿叶蚕豆、大白白脐蚕、曲靖小粒蚕豆、通鲜 1 号、通鲜 2 号、青海 10 号。持水力较低的有慈溪大粒

1 号、上虞田鸡青、淮安大蚕豆、浙江青皮蚕豆、青海马牙蚕豆淀粉。若淀粉颗粒中直链淀粉和支链淀粉分子失去交联将导致高持水力^[11]。在淀粉链之间大量羟基结合形成的氢键和共价键将降低淀粉持水力^[12]。持水力的差异还在于淀粉之间水和位点的有效程度的不同^[13]。

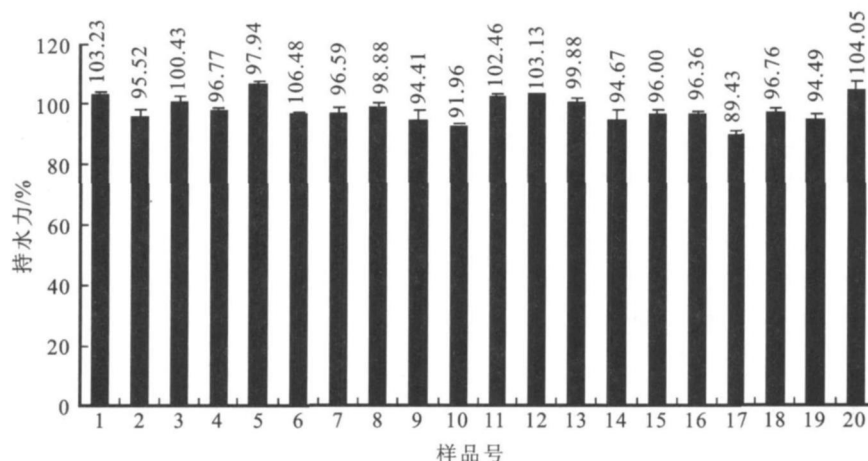


图 1 20 种蚕豆淀粉的持水力(样品编号见 1.1 实验材料)

Fig. 1 Water binding capacity of starches from twenty broad bean varieties

2.1.2 蚕豆淀粉的膨润力和溶解度 淀粉的膨润力与溶解度表明颗粒内部的相互结合能力和持水能力^[14]。20 种蚕豆淀粉的膨润力和溶解度在不同的温度下有不同的表现, 但总体规律是: 在 30 ~ 50 °C 时都较低(膨润力平均在 2.64% 和 2.67%, 溶解度平均在 1.49% 和 1.56%), 50 °C 以后随着温度的增加, 膨润力和溶解度剧增(平均分别为 10.18% 和 11.72%), 到 90 °C 时, 膨润力平均达到 18.42%, 溶解度平均达到 16.13%。20 种蚕豆淀粉在这些不同温度段的膨润力高于绿豆淀粉, 但低于甘薯淀粉; 而在这些不同温度段的溶解度均低于绿豆淀粉和甘薯淀粉的溶解度^[8]。膨润力受颗粒内部化学键交联的程度、直链淀粉含量和非碳水化合物物质如脂质、磷等的影响。淀粉膨润力与溶解度不同与淀粉颗粒的形态学结构有关^[15-16]。一般说来, 淀粉的溶解度和膨润模式是基本一致的, 作者研究的结果符合这一规律。但蚕豆淀粉的膨润力与溶解度因品种、产地不同而有较大差异。

2.1.3 蚕豆淀粉凝胶的冻融稳定性 冻融稳定性在一定程度上反映淀粉基食品在冷冻加工工序中的缩水程度。在冻-融经历 4 个循环过程中, 20 种蚕豆淀粉凝胶的冻融稳定性在不同的循环周期后有不同的表现, 总体来说, 随着冻-融次数的增加, 蚕豆淀粉凝胶的缩水率逐渐增加。20 种蚕豆淀粉

中, 以凤豆和通鲜 1 号的缩水率最高, 青海 10 号和青海马牙最低。在第一个冻-融循环后, 20 种蚕豆淀粉凝胶的平均缩水率达到 16.47%, 变幅为 5.12%; 第二个循环后, 略有上升, 平均为 17.69%, 变幅为 4.82%; 经历第三个冻融循环后, 这些蚕豆淀粉凝胶的缩水率迅速上升至平均为 20.02% 的水平(变幅为 5.44%); 在第四个冻融循环后, 蚕豆淀粉凝胶的缩水率仍然上升较快, 达到 22.06%, 变幅为 5.61%。在冻-融循环过程中的缩水反映了支链淀粉与直链淀粉的相互作用。理论上, 随着冻-融循环次数的增加, 在淀粉相中由于支链淀粉的回生而导致相分离程度增加。事实上, 在冻藏状态下, 几乎所有的淀粉都很难回生, 只有在冻-融过程中支链淀粉才回生。Chen 等人^[10]研究发现, 在经历第一个冻融循环后, 甘薯淀粉凝胶变成像海绵一样的多孔结构, 而本研究中蚕豆淀粉凝胶没有此现象。随着冻融循环次数的增加, 水的渗漏增加, 蚕豆直链淀粉形成的双螺旋促进了更坚实凝胶的形成。

2.1.4 蚕豆淀粉糊的透光率 淀粉糊的透光率一定程度上反映淀粉基食品的透明度。20 种蚕豆淀粉糊在 640 nm 的透光率见图 2。曲靖小粒蚕豆淀粉糊的透光率最高(87.50%), 其次是云南凤豆、大白黑脐蚕、大白白脐蚕、启豆 2 号淀粉糊, 其透光率都

在80%以上;而通鲜2号和淮安大蚕豆淀粉糊的透光率最低,都在70%以下。20种蚕豆淀粉糊的透光率平均值在75.31%,变幅为6.10%。关于不同品种淀粉糊透光率不同的现象,不同的研究者有不同的解释,Singh等人^[9]对5种土豆淀粉糊的透光

值进行测定时发现品种不同而有异,大颗粒淀粉有较高的透明度,小颗粒淀粉则透明度较低。Sandhu等人^[17]认为低透明度是归因于渗漏的直链淀粉和支链淀粉链之间的相互作用形成了结晶区,而导致大量光的散射和发射。

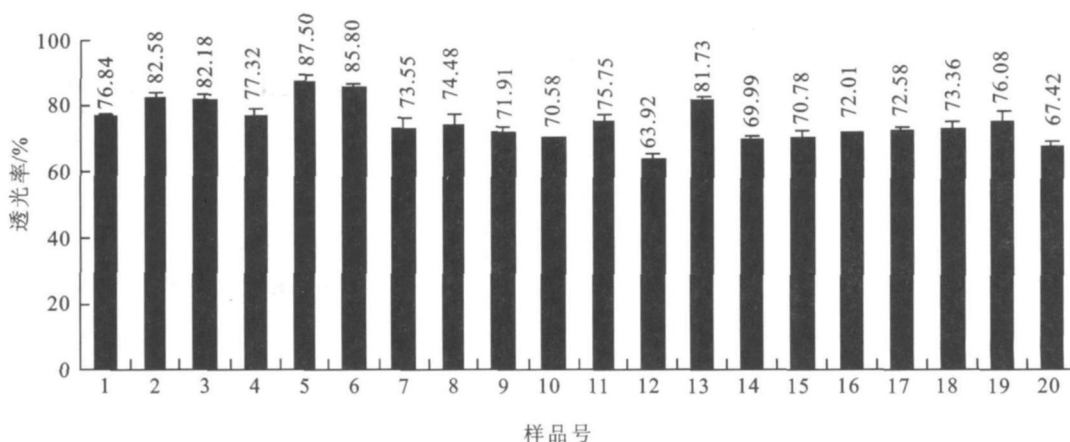


图2 20种蚕豆淀粉糊的透光率(样品编号见1.1实验材料)

Fig. 2 Light transmittance of starch pastes from twenty broad bean varieties

2.2 蚕豆淀粉的糊化回生特性

2.2.1 蚕豆淀粉糊化与短期回生时的粘度特性

不同品种蚕豆淀粉的RVA谱一般表现为A型,都具有较高的峰粘度和一定的崩解值,且最终粘度高于峰粘度。不同蚕豆品种的RVA谱差异明显,主要表现在各个粘滞性特征值上。在RVA曲线上,不同品种的蚕豆淀粉在60.25~73.08℃时开始糊化,糊化起始温度平均值为69.11℃,极差3.95℃;较低的品种有浙江青皮蚕豆、慈溪大粒1号和早生615;糊化起始温度较高的品种有云南凤豆、通鲜1号和启豆2号。品种之间糊化温度的差异与其淀粉结构和淀粉中其他成分的稳定性有关,并反映能量的消耗。

峰粘度反映了淀粉结合水的能力,与最终产品的质量有关,可作为一个指标来说明混合熟化机的粘性负载。不同品种蚕豆淀粉的峰粘度在2509~2884 RVU之间,平均值为3963 RVU,极差343 RVU。其中曲靖小粒蚕豆、启豆2号较低;保山大白蚕、通鲜2号和上虞田鸡青较高。不同品种蚕豆淀粉的保持强度在2438~4798 RVU之间,平均值为2624 RVU,极差151 RVU。其中启豆2号、大白黑脐蚕、青海马牙蚕豆、曲靖小粒蚕豆和甘肃平凉蚕豆较低;浙江青皮蚕豆、慈溪大粒1号和上虞田鸡青较高。不同品种蚕豆淀粉的衰减度在

883~1914 RVU之间,平均值为1339 RVU,极差229 RVU。其中启豆2号、甘肃平凉蚕豆和曲靖小粒蚕豆较低;保山大白蚕、通鲜2号和上虞田鸡青较高。不同品种蚕豆淀粉的最终粘度在4722~6341 RVU之间,平均值为5547 RVU,极差629 RVU。其中崇礼蚕豆、通鲜2号和上虞田鸡青较低;大白白脐蚕和保山大白蚕较高。不同品种蚕豆淀粉的回生值在1893~3817 RVU之间,平均值为2924 RVU,极差701 RVU。其中通鲜2号和上虞田鸡青较低;大白黑脐蚕和大白白脐蚕较高。

2.2.2 蚕豆淀粉的回生行为 蚕豆淀粉的回生决定粉丝的稳定性和沸水煮的耐受能力。在回生过程中,冷却的淀粉凝胶重新回到有序地状态。早期的研究发现直链淀粉结晶以回生的B-型模式来保持粉丝的完好结构,因而能经受高温沸水煮^[18]。Miyazaki等人^[19]用凝胶硬度和缩水百分率来表示淀粉回生程度。作者也借鉴这两个指标从另一方面来考察不同品种蚕豆淀粉的回生情况。图3为不同品种蚕豆淀粉凝胶回生后的硬度参数。20种蚕豆淀粉凝胶强度平均为0.57 kg,变幅为0.11%。其中崇礼蚕豆(0.71 kg)和大白黑脐蚕(0.70 kg)凝胶强度最高,青海马牙(0.34 kg)最低,其次是慈溪大粒1号、上虞田鸡青、启豆2号、早生615、平凉蚕豆。

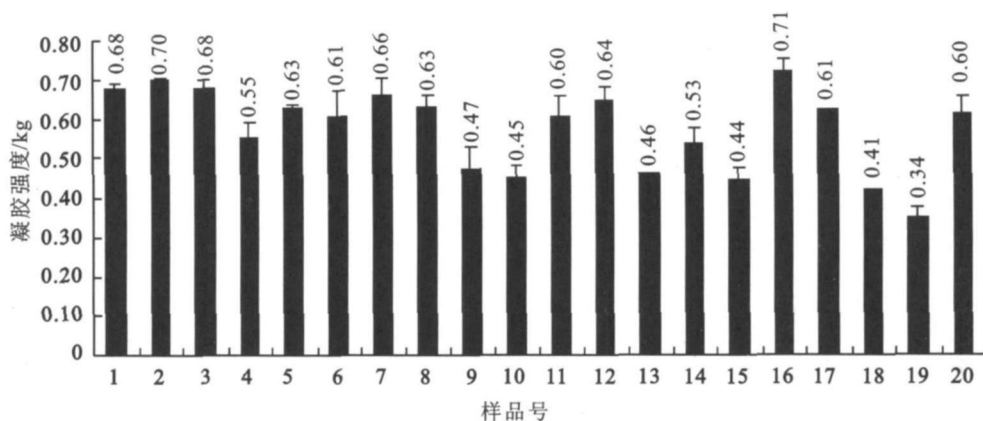


图3 20种蚕豆淀粉凝胶的强度(样品编号见1.1实验材料)

Fig.3 Strength of starch gels from twenty broad bean varieties

尽管冻融稳定性也能表明淀粉的回生趋势,但在冻-融循环过程中蚕豆淀粉糊的缩水和在4℃下冷藏时的缩水规律并不十分一致。随着冷藏时间的延长,20种蚕豆淀粉凝胶的缩水率迅速增加,增加速度大于冻藏缩水率。冷藏的第一天,20种蚕豆淀粉凝胶的缩水率平均为9.63%,变幅为2.23%,高于同时期的冻藏缩水率;冷藏第二、三天,平均分别达到12.60%(变幅为3.59%)和16.22%(变幅为4.81%);到第四、五天,缩水进一步迅速增加,平均达到21.72%(变幅为2.28%)和23.43%(变幅为2.23%)。在20种蚕豆淀粉凝胶中,只有通鲜2号在第1~5天的冷藏循环中一直表现出最低的缩水率,其他蚕豆淀粉凝胶在不同的冷藏时间段,其缩水率的高低都不一样。淀粉凝胶是亚稳态或非平衡态体系,因此在储藏期间要经历结构的改变。对于蚕豆淀粉而言,凝胶在冷藏过程中水的渗漏量略小于反复冻融过程中的渗漏量,这与^[8]对甘薯淀粉和绿豆淀粉的冷藏缩水率和冻融稳定性的考察结果是不太一致的,说明不同的淀粉,其物理特性差异的确很大。

3 讨论

20种蚕豆淀粉的物理特性和糊化回生特性因地域产地不同而差异很大,如云南、江苏、青海的蚕豆淀粉有相对较高的持水力,而浙江的蚕豆淀粉品种则表现出相对较高的峰粘度、保持强度和衰减度。而同一地域的蚕豆淀粉特性也会因品种不同而不尽相同,如青海蚕豆中,马牙和10号的持水力相差就很大,而冻融稳定性又都很低。同样对于江苏的蚕豆品种,通鲜2号、淮安大蚕豆和启豆2号淀粉糊的透光率差异也很大。值得提出的是:20种蚕豆淀粉的特性虽然各不相同,就某一指标而言,也并非越高越好,或越低越好,而要根据加工的需求

来确定。如蒸煮、淀粉提取等加工需要浸泡蚕豆,希望其淀粉的持水力越高越好,这样能吸收和保持能多的水分于子叶组织中,便于熟化或淀粉和蛋白质的分离。如通过蒸煮加工的蚕豆食品,希望凝胶强度较低合适,使得蚕豆制品软硬适中,口感良好;太高导致蚕豆很难煮熟,或煮后硬度大,回生快;太低虽然容易熟化,但也容易因蒸煮时间稍微过度而软烂。又如将蚕豆淀粉加工成粉丝,希望淀粉的RVA参数衰减度越大越好,其干粉丝颜色和煮后粉丝颜色越白,粉丝透明度越高,粉丝的可接受性和综合评分越高。当然影响蚕豆粉丝品质的这些淀粉物理特性指标很多,甚至很多特性指标在相互干扰和决定粉丝的品质,这需要通过后期的进一步研究来得到答案,系统的加工适宜性分析见另文报道。

4 结 语

1) 20种蚕豆淀粉的物理特性 20种蚕豆淀粉的持水力在89.43%~106.48%之间,平均为97.97%,超过100%以上的有绿叶蚕豆等。20种蚕豆淀粉的膨润力和溶解度在30~50℃时都较低,50℃以后随着温度的增加,膨润力和溶解度剧增,到90℃时,膨润力平均达到18.42%,溶解度平均达到16.13%。冻藏缩水率最高的是凤豆和通鲜1号,最低的是青海10号和青海马牙。透光率最高的是曲靖小粒蚕豆淀粉糊;最低的是通鲜2号和淮安大蚕豆淀粉糊。

2) 20种蚕豆淀粉的糊化回生特性 不同品种的蚕豆淀粉在60.25~73.08℃时开始糊化。糊化起始温度较低品种有浙江青皮蚕豆等;较高的有云南凤豆等。峰粘度以曲靖小粒蚕豆等较低,保山大白蚕等较高。保持强度以启豆2号和大白黑脐蚕等较低,浙江青皮蚕豆和上虞田鸡青等较高。衰

减度以启豆 2 号和曲靖小粒蚕豆等较低, 保山大白蚕和通鲜 2 号等较高。最终粘度以崇礼蚕豆、通鲜 2 号和上虞田鸡青较低; 大白白脐蚕和保山大白蚕较高。回生值以通鲜 2 号和上虞田鸡青较低; 大白黑脐蚕和大白白脐蚕较高。20 种蚕豆淀粉凝胶强

度平均为 0.57 kg, 其中崇礼蚕豆和大白黑脐蚕凝胶强度最高, 青海马牙最低。在 20 种蚕豆淀粉凝胶中, 只有通鲜 2 号在第 1~5 天的冷藏循环中一直表现出最低的缩水率, 其他蚕豆淀粉凝胶在不同的冷藏时间段, 其缩水率的高低都不同。

参考文献(References):

- [1] 叶茵. 中国蚕豆学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002.
- [2] 谭洪卓, 谭斌, 田晓红, 等. 20 种中国蚕豆的化学组成、物理特性及其相互关系[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(12): 153–166.
- TAN Hong-zhu, TAN Bin, TIAN Xiao-hong, et al. The chemico-physical properties and their relationship of broad beans from twenty varieties in China[J]. **Journal of the Chinese Cereals and Oils Association**, 2009, 24(12): 153–166. (in Chinese)
- [3] 李雪琴, 裘爱泳. 蚕豆生理活性物质研究进展[J]. 粮食与油脂. 2002(7): 34–35.
- LI Xue-qin, QIU Ai-yong. Study progress of physiological active materials in broad bean in China[J]. **Journal of Cereals and Oils**, 2002(7): 34–35. (in Chinese)
- [4] 夏明忠. 蚕豆抗营养因子研究[J]. 西昌学院学报: 自然科学版, 2005, 19(2): 1–5.
- XIA Ming-zhong. Study on anti-nutrition factors in broad beans[J]. **Journal of Xichang College: Natural Science Edition**, 2005, 19(2): 1–5. (in Chinese)
- [5] Okada Y, Okada M. Scavenging effect of water soluble proteins in broad beans on free radicals and active oxygen species [J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 1998, 46: 401–406.
- [6] Landry J. and Delhaye S. Tryptophan contents of pea and broad bean seeds as a function of nitrogen content[J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 1997, 45: 3855–3858.
- [7] 潘元风, 唐书泽, 谭斌. 4 种不同品种蚕豆淀粉理化性质分析[J]. 食品与发酵工业. 2007, 33(5): 17–20.
- PAN Yuan-feng, TANG Shu-ze, TAN Bin. Physicochemical properties of starch from four cultivars faba bean in China [J]. **Food and Fermentation Industries**, 2007, 33(5): 17–20. (in Chinese)
- [8] 谭洪卓. 甘薯淀粉流变学、热力学特性和分子结构研究及其在粉丝生产中的应用[D]. 无锡: 江南大学, 2007.
- [9] Singh, N, Singh J, Sodhi N S. Morphological, thermal, rheological and noodle-making properties of potato and corn starch[J]. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 2002, 82: 1376–1383.
- [10] Chen Z, Schols H A, Voragen A G J. Physicochemical properties of starches obtained from three varieties Chinese sweet potatoes[J]. **Journal of Food Science**, 2003, 68(2): 431–437.
- [11] Soni P L, Sharma H W, Bisen S S, et al. Unique physicochemical properties of sal (*Shorea robusta*) starch[J]. **Starch/Stärke**, 1987, 23: 8–11.
- [12] Hoover R, Sosulski F. Effect of cross linking on functional properties of legume starches[J]. **Starch/Stärke**, 1986, 38: 149–155.
- [13] Wotton M, Bamuniarachchi A. Water binding capacity of commercial produced native and modified starches[J]. **Starch/Stärke**, 1978, 33: 159–161.
- [14] Lee Y E, Osman E M. Correlation of morphological changes of rice starch granules with rheological properties during heating in excess water[J]. **Journal of Korean Agricultural Chemical Society**, 1991, 34: 379–385.
- [15] Singh N, Singh J, Sodhi N S. Morphological, thermal, rheological and noodle-making properties of potato and corn starch[J]. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 2002, 82: 1376–1383.
- [16] Kaur S, Kaler R S S, Aamarपाली. Effect of starch on the rheology of molasses[J]. **Journal of Food Engineering**, 2002, 55: 319–322.
- [17] Sandhu K S, Singh N, Kaur M. Characteristics of the different corn types and their grain fractions: physicochemical, thermal, morphological, and rheological properties of starches[J]. **Journal of Food Engineering**, 2004, 64: 119–127.
- [18] Mestres C, Colonna P, Buleon A. Characterization of starch networks within rice flour noodles and mung bean starch vermicelli[J]. **Journal of Food Science**, 1988, 53: 1809–1812.
- [19] Miyazaki K I, Kumamoto T N, Kagoshima K K, Kumamoto O Y. Retrogradation of sweetpotato starch[J]. **Starch/Stärke**, 2000, 52: 13–17.

(责任编辑: 朱明)