

球磨处理对豌豆淀粉结构及理化性质的影响

王立东^{1,2}, 刘婷婷¹, 寇 芳¹

(1. 黑龙江八一农垦大学 国家杂粮工程技术研究中心, 大庆 163319;

2. 东北农业大学食品学院, 哈尔滨 150030)

摘要:为探究球磨研磨处理对豌豆淀粉结构及性质的影响,采用扫描电镜、激光粒度分析仪、X-射线衍射仪、傅立叶红外光谱仪、差示扫描量热仪、快速黏度分析仪等分析手段研究经研磨处理后豌豆淀粉颗粒形貌、晶体结构和理化性质。结果表明,淀粉颗粒形貌由光滑的多角形变为表面粗糙的不规则形状,处理后豌豆淀粉粒度增大,粒度中位径达到 23.28 μm ,偏光十字消失;淀粉颗粒结晶结构被破坏,由多晶态向无定形态转变,呈现非晶化状态;研磨过程淀粉无新的基团产生,淀粉颗粒由有序结构向无序化结构转变;热焓值、糊化温度均显著降低,热糊稳定性好,处理后豌豆淀粉具有较好的热糊稳定性和冷糊力学稳定性。

关键词:球磨处理; 豌豆淀粉; 结构; 理化性质

淀粉是一种可再生资源,广泛应用于食品、化工、建材等行业。但是原淀粉的性质往往不能满足具体的要求,因此需要对淀粉进行适当的改性以提高淀粉的加工适应性。常用的变性淀粉有酸变性淀粉、氧化淀粉、预糊化淀粉、交联淀粉、酯化淀粉等^[1]。目前球磨作为一种新的淀粉改性手段还处于研究起步阶段^[2]。与其它改性方法相比,球磨法工艺简单,不需要污水处理,具有成本低,对环境污染小等优点^[3],是淀粉深加工的一种新思路、新方法,它对淀粉性质的改良、新产品的开发和新用途的开拓将产生推动作用^[4]。

豌豆是世界广泛种植的食用豆类之一,其产量在豆科类植物中排第四,年产量达 1000 多万吨,在欧洲和北美的最大用途是用来做复合饲料,在亚洲和南美主要用于人类食用^[5~7]。豌豆淀粉主要用于纺织、轻化、医药等工业中,在食品中由于其功能性较差而很少使用,主要是用来替代绿豆淀粉加工粉丝和粉皮等。近来,全世界对豌豆淀粉的研究越来越多。为了扩大豌豆淀粉的用途,特别是在食品工业中的应用,需要对豌豆淀粉的组成、结构和物理化学性质有全面的了解。因此,本研究以光滑豌豆淀粉的原料,以球磨研磨法来制备豌豆淀粉,通过扫描电子显微镜、激光粒度分析、X 射线衍射法、红外光谱分析、差式扫描量热计、快速黏度分析仪等分析手段讨论其形态、晶体结构、热特性及糊化特性等的变化。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

豌豆淀粉由山东烟台双塔食品股份有限公司提供,为食品级豌豆淀粉,水分含量 10.5%;其它试剂均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

QM-ISP2 型行星式球磨机,南京大学仪器厂;S-3400N 扫描电镜(SEM),日本 HITACHI 公司;X'Pert PRO X-射线衍射仪,荷兰帕纳科公司;Nicolet 6700 傅里叶变换红外光谱仪,美国 Thermo Fisher Scientific 公司;Bettersize 2000 激光粒度分布仪,丹东市百特仪器有限公司;RVA4500 快速粘度分析仪,

10.14028/j.cnki.1003-3726.2016.011.008

收稿:2016-05-20;修回:2016-08-04;

基金项目:2015 国家星火计划项目(2015GA670008);黑龙江省科技厅科技特派员项目(GC15B503);大庆市指导性科技计划项目(S2dfy-2015-53);

作者简介:王立东(1978—),男,助理研究员,在读博士研究生,研究方向为粮食精深加工技术研究。E-mail:wanglidong-521@163.com.

瑞典 Perten 公司;DSC1 型差示扫描量热仪,瑞士梅特勒-托利多仪器有限公司;AR2140 型分析天平,瑞士梅特勒-托利多仪器有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 球磨研磨豌豆淀粉的制备 通过前期实验的优化,得到最佳豌豆淀粉球磨研磨参数。称取豌豆淀粉 500g,置于干燥箱中 55℃ 下干燥 6h,得到水分含量为 6.53% 的豌豆淀粉,用自封袋密封,置于干燥器中保存。采用行星式球磨机,陶瓷罐进行研磨,设定球磨罐填料率为 25%,球磨机转速为 480r/min,研磨时间 6h,球料比为 6:1,制备得到研磨豌豆淀粉,样品密封保存,并及时分析。

1.3.2 颗粒形貌与粒度分析 扫描电子显微镜(SEM)观察颗粒形貌:取适量的淀粉样品,将其分散于导电双面胶上,将双面胶黏贴于载物台上,在真空条件下对载物台进行镀金处理,然后将其放入扫描电子显微镜中观察,于适当放大倍数拍摄样品颗粒形貌,以便于观察淀粉颗粒形貌变化情况,加速电压为 15kV。

偏光显微镜观察偏光十字:将质量分数为 1% 的淀粉乳滴于载玻片上,于偏振光下观察和拍摄淀粉颗粒偏光十字的变化情况。

淀粉颗粒分布:在超声波作用下以乙醇作为溶剂均匀分散淀粉后,将其倒入粒度分析仪中测定粒度分布和粒度大小。

1.3.3 X 射线衍射(XRD)分析 测试条件:衍射角 2θ , $4^\circ \sim 37^\circ$;步长, 0.02° ;扫描速度, $8^\circ/\text{min}$;积分时间, 0.2min;靶型, Cu;管压、管流, 40kV、30mA;狭缝, DS 1° , SS 1° , RS 0.3mm;滤波片, Ni。

1.3.4 红外光谱(FT-IR)分析 称取 5mg 左右干燥至恒重的淀粉样品,与 500mg 左右溴化钾粉末混合均匀,研磨 10min 后过筛($2\mu\text{m}$),将晒好的混合粉末压成片,通过红外光谱分析仪进行测试,参比选用空白溴化钾片,波长的扫描范围为 $400\text{cm}^{-1} \sim 4000\text{cm}^{-1}$ [8]。

1.3.5 热特性分析(DSC) 称取淀粉样品 3.0mg(干基)于铝盘中,并以 1:3 的比例加入去离子水,密封后平衡 24h,以水作为参比,加热范围为 $20^\circ\text{C} \sim 120^\circ\text{C}$,加热速率 $10^\circ\text{C}/\text{min}$ 。相变参数分别用起始温度(t_0)、峰值温度(t_p)、最终温度(t_c)和焓变(ΔH)表示[9]。

1.3.6 糊化特性分析(RVA) 测试过程的温度采用 Std 1 升温程序进行。称取淀粉 3g,加入蒸馏水 25mL,制备测试样品。在搅拌过程中,罐内温度变化如下: 50°C 下保持 1min;在 3min 42s 内上升到 95°C ; 95°C 下保持 2.5min;在 3min 48s 内将温度降到 50°C 后并下保持 2min。搅拌器在起始 10s 内转动速度为 960r/min,之后保持在 160r/min。

1.3.7 数据处理 采用 Graphpad Prism 6.0 软件进行数据整理,测定重复次数 $n=3$ 。

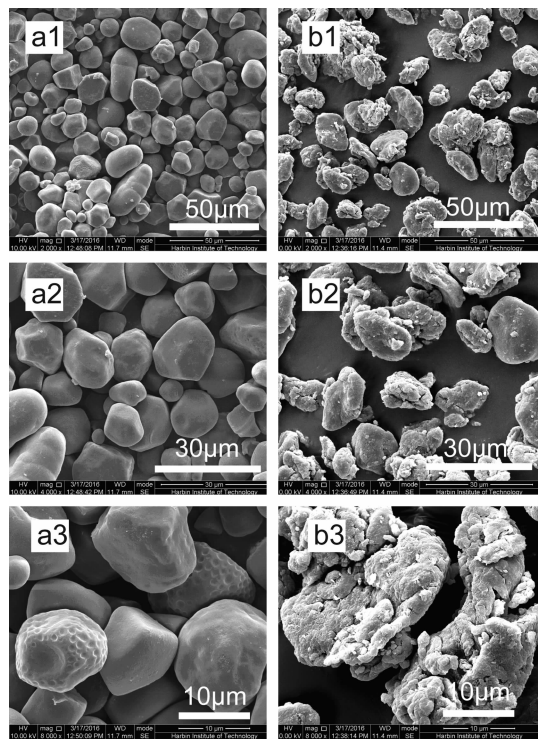
2 结果与分析

2.1 颗粒形态与粒度分布

球磨研磨前后的颗粒形貌和粒度的变化见图 1 和表 1,图 1 中 a1、a2、a3 分别为同一原料豌豆淀粉在放大 $\times 2000$ 、 $\times 4000$ 、 $\times 8000$ 条件下的观察效果,b1、b2、b3 为研磨处理后同一豌豆淀粉的在 $\times 2000$ 、 $\times 4000$ 、 $\times 8000$ 条件下的观察效果。

由图 1 可见,原料豌豆淀粉的颗粒呈多角形或圆形,表面光滑,有通向淀粉颗粒内部的小气孔,存在部分微小颗粒。球磨处理后,淀粉颗粒因受到机械力的作用,淀粉颗粒表面变得粗糙不光滑,出现裂痕、缝隙和凹陷等形貌状态,淀粉颗粒粒度变大。主要是由于在机械力的作用下,淀粉颗粒在摩擦、碰撞、冲击及剪切力的作用下,淀粉颗粒发生脆性断裂,随着时间的延长,当颗粒到达一定的细度时,体系自由能减小,范德华力显著增大,相邻质点接触区引发质点局部的塑性变性和相互渗透,使质点间开始附着聚集,导致颗粒粒径增大而比表面积减小,淀粉颗粒不在发生脆性断裂而是发生塑形变性。

天然淀粉颗粒属于球晶体系,在偏光显微镜下具有双折射性,在淀粉颗粒的脐点处有交叉的偏光十字,一旦淀粉颗粒内部分子链有序排列的结晶结构受到破坏,偏光十字也就会立即消失。由图 2 可见,原

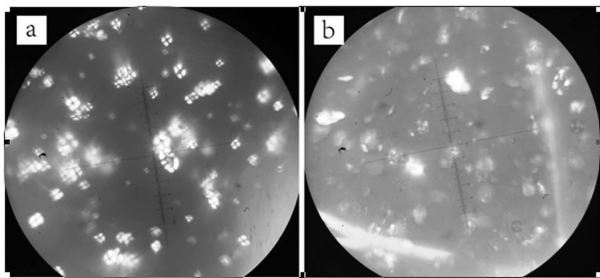


a1、a2、a3:原料豌豆淀粉;b1、b2、b3:球磨豌豆淀粉

图 1 豌豆淀粉处理前后 SEM 图谱

Figure 1 SEM of pre-and post-treatment pea starch

料豌豆淀粉颗粒呈现良好的偏光十字,而球磨处理后的豌豆淀粉由于受到球磨机械力破坏作用,淀粉颗粒发生形变,颗粒膨胀,甚至颗粒表面破裂,结晶结构受到破坏,淀粉由结晶态向非晶态转变,偏光十字消失。



a:原料豌豆淀粉;b:球磨豌豆淀粉

图 2 豌豆淀粉处理前后偏光显微镜图谱

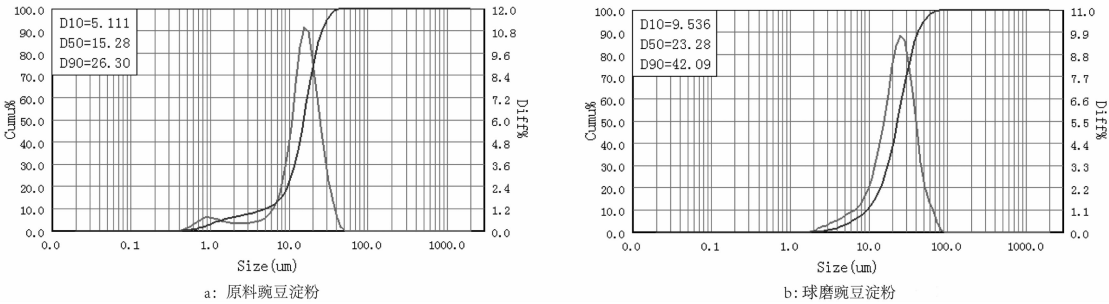
Figure 2 POM of pre-and post-treatment pea starch

球磨豌豆淀粉的中位径(D_{50})和颗粒分布情况如表 1 和图 3 所示。原豌豆淀粉的粒径分布曲线为一尖峰,说明其粒径分布较窄,颗粒比较集中,约 50%主要集中在 $10\mu\text{m}\sim 20\mu\text{m}$ 范围内,中位径(D_{50})为 $15.28\mu\text{m}$,粒径超过 $45\mu\text{m}$ 的非常少;而球磨豌豆淀粉的粒径分布曲线峰宽变宽,其粒径主要分布在 $10\mu\text{m}\sim 45\mu\text{m}$ 范围内,颗粒粒度变大,粒径在 $2\mu\text{m}$ 以下的几乎没有,粒径在 $45.0\mu\text{m}\sim 75.0\mu\text{m}$ 的达到 7.43%,中位径(D_{50})增大到 $23.28\mu\text{m}$ 。这是因为在球磨研磨初期,研磨球的摩擦、碰撞、冲击和剪切作用使得淀粉颗粒出现脆性断裂,同时淀粉颗粒由脆性断裂向韧性破裂方向转变,引起能量弛豫现象,导致淀粉颗粒表面活性能增高;随着应变程度急剧增加,淀粉体系出现“閮效应”,引起淀粉颗粒内

部淀粉链柔性增加;晶格损坏导致颗粒内部结晶层逐渐变薄;引起结晶层发生断层流动现象,最终导致淀粉颗粒发生形变,淀粉颗粒粒径向大颗粒尺寸方向移动;颗粒较小的淀粉颗粒膨胀,导致小颗粒粒径组份比例降低,与此同时淀粉颗粒尺寸增加,颗粒粒径整体向尺寸增大的方向移动,粒径分布变得均匀而广泛^[11]。

表 1 淀粉颗粒粒度分布
Table 1 Size distribution of starch granule

样品	淀粉颗粒的粒度分布/%								D50/ μm
	0.2~0.5	0.5~1.0	1.0~2.0	2.0~5.0	5.0~10.0	10.0~20.0	20.0~45.0	45.0~75.0	
原豌豆淀粉	0.10	2.91	3.28	3.57	11.7	51.95	26.32	0.17	15.28
球磨豌豆淀粉	0	0	0.05	3.22	7.56	27.82	53.6	7.43	23.28



横坐标为粒径/μm,纵坐标左边为粒度累计分布/%,右边为粒度频度分布/%

图 3 豌豆淀粉处理前后粒度分析图谱

Figure 3 Grading analysis of pre-and post-treatment pea starch

2.2 X 射线衍射分析

X 射线衍射技术是分析淀粉颗粒晶体性状的有效手段之一。淀粉中晶粒线度大、晶形完整及长程有序的区域在 XRD 曲线上表现出尖峰衍射特征,称为结晶区;而那些处于短程有序、长程无序的区域在 XRD 曲线上表现出明显的弥散衍射特征,称为无定型区(即非晶区)。

球磨豌豆淀粉的 XRD 曲线如图 4 所示,原料豌豆淀粉分别在 2θ 为 15°、17°、18°和 23°处出现明显强的衍射峰,20°处一处较弱的衍射峰,17°和 18°处为相连的双峰。根据文献报道,豌豆淀粉为典型的 C 型晶体,其 XRD 波谱特征表现为 2θ 5.6°附近有 B-型晶体的特征峰,而在 2θ 23°附近表现为 A-型晶体的单峰^[12]。当水分的存在时,2θ 5.6°处峰则出现,而在部分干燥或干燥样品中此宽峰可能会消失^[13]。研究表明,植物的生理条件 and 环境因素(温度、光照等)可显著影响淀粉颗粒结晶结构^[14]。淀粉经过球磨处理后,淀粉没有尖锐的衍射峰,呈现弥散峰特征,淀粉颗粒晶体结构受到破坏,豌豆淀粉颗粒呈现非晶化状态,由有序的晶体结构转变为无序的无定型结构。主要是因为随着研磨时间的延长,淀粉颗粒不再发生脆性断裂,而是发生塑性变形,使晶格点阵中的粒子排列失去周期性,形成了晶格缺陷,主要是位错形式的缺陷。这时,有序的晶体结构被机械力破坏而形成非晶态层,且随着细磨的进行而变厚,并发生部分团聚,最后导致整个颗粒结构的无定形化。由于晶格变形,使晶格常数发生了变化,因此得不到理想的 X 射线衍射图,而是衍射峰弥散宽化,强度减弱。

2.3 红外光谱分析

淀粉经过球磨研磨处理后,淀粉颗粒的分子特征的变化可以通过傅立叶红外光谱进行表征。同时,还可以通过谱图检测淀粉是否有新的基团生成。原豌豆淀粉和球磨豌豆淀粉的红外光谱如图 5 所示。

由图 5 中可以看出,与原豌豆淀粉相比,球磨豌豆淀粉的特征吸收峰无新的特征峰出现。说明球磨

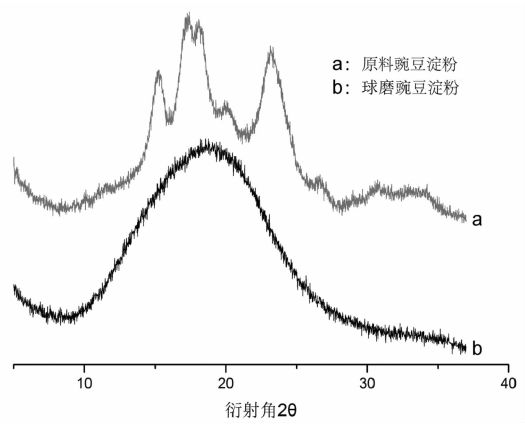
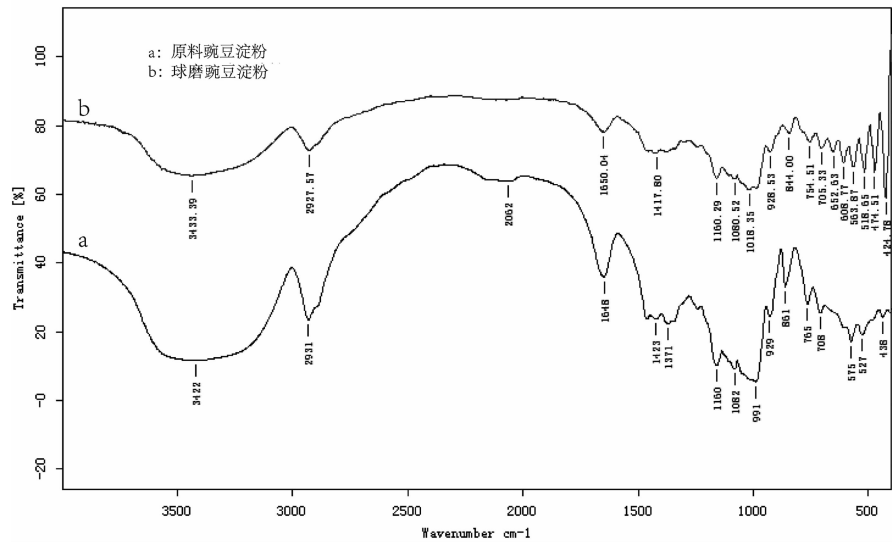


图 4 球磨豌豆淀粉的 XRD 曲线

Figure 4 XRD of pre-and post-treatment pea starch



横坐标为波数/cm⁻¹,纵坐标为透射率/%

图 5 球磨豌豆淀粉的 FT-IR 曲线

Figure 5 FT-IR of pre-and post-treatment pea starch

研磨处理不能产生新的基团。原料豌豆淀粉在 3422cm⁻¹、2931cm⁻¹和 1648cm⁻¹处附近的吸收峰为 O—H 缔合氢键后的伸缩振动峰、C—H 键伸缩振动峰和结合水的特征吸收峰,其中在 3422cm⁻¹和 2931cm⁻¹两处吸收峰变窄、强度变大,说明机械活化作用使淀粉分子的缔合氢键断裂,羟基数量增加。在 1160cm⁻¹处对应的是 C—O—C 的伸缩振动,1080cm⁻¹附近的振动则是 C—O 的伸缩振动和 C—C 的骨架振动的复合表现;1047cm⁻¹附近的红外吸收是淀粉结晶区的结构特征,对应于淀粉聚集态结构中的有序结构;1018cm⁻¹附近的红外吸收则是淀粉无定形区的结构特征,对应于淀粉大分子的无规线团结构;929cm⁻¹附近的吸收峰为葡萄糖环的振动吸收峰^[15,16]。球磨豌豆淀粉的红外光谱表明,表征有序结构的特征分 1047cm⁻¹消失,而在 1018cm⁻¹处出现一个变宽的特征峰,这些结果表明了淀粉颗粒中有序结构消失,而无序结构增多。

因此,经傅立叶红外光谱检测分析,球磨豌豆淀粉中并无新的基团产生,部分特征峰强度降低,淀粉颗粒由有序结构向无序化结构转变,最终形成无定形状态的淀粉,说明淀粉在机械活化过程中强烈的机械力作用破坏了淀粉颗粒的结晶结构,使之趋向无定形化。

2.4 热特性分析

从图 6 中可以看出,原料豌豆淀粉在 $20^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$ 范围内存在一个明显的吸收峰,该吸收峰的热焓值约为 20.58J/g ,糊化起始温度为 61.24°C ,糊化峰值温度为 66.11°C ,糊化终止点温度为 72.62°C 。而淀粉经过球磨处理后,热焓值降低至 1.35J/g ,糊化起始温度为 49.82°C ,糊化峰值温度为 54.68°C ,糊化终止点温度为 64.88°C 。相比较可以得出,经过球磨处理后,豌豆淀粉的热焓值、各峰值温度均存在降低现象。原豌豆淀粉颗粒是由无定型区与结晶区连结,在其发生水合/溶胀的同时伴随着微晶的融化,因而产生了吸收峰,糊化温度较高。而球磨豌豆淀粉糊化温度和热焓值显著下降,说明淀粉颗粒内部分子链有序排列程度下降,热焓值与淀粉颗粒结晶结构呈正相关,结晶度下降则热焓值降低,但实际上热焓值更能代表淀粉链中双螺旋结构数量的多少,球磨处理后豌豆淀粉的热焓值大幅度降低表明了淀粉分子链上的双螺旋结构已经消失^[17]。球磨研磨后豌豆淀粉的热特性参数降低,表明此时淀粉颗粒已经处于无定形状态。

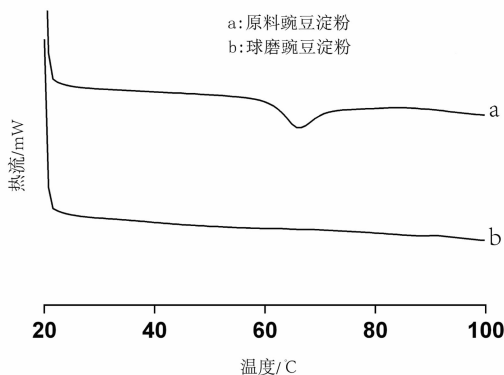


图 6 球磨豌豆淀粉的 DSC 曲线

Figure 6 DSC of pre-and post-treatment pea starch

2.5 糊化特性分析

RVA 曲线是一定质量浓度的淀粉溶液在加热、高温、冷却的过程中,其黏滞性发生一系列变化的过程曲线。 ν_P 代表淀粉溶液在加温过程中因微晶束熔融形成胶体网络时的最高黏度值, ν_T 代表保温过程中淀粉从凝胶状态变为溶胶状态出现稀懈现象时最低黏度值, ν_F 代表代表淀粉分子重新缔合出现凝胶现象时黏度回升后的最终值, ν_B 为 ν_P 与 ν_T 的差值, ν_S 为 ν_F 和 ν_T 的差值^[18,19]。图 7 所示为原豌豆淀粉与球磨豌豆淀粉的 RVA 曲线。从图 7 中可以看出,原豌豆淀粉与球磨豌豆淀粉的 ν_P 值分别为 5656cP 、 258cP , ν_T 值分别为 3188cP 、 142cP , ν_F 值分别为 5137cP 、 309cP ,各黏度值均显著降低,这是由于球磨处理后的淀粉颗粒结晶度低、颗粒破裂程度大,形成淀粉糊的流动阻力下降所导致。原料豌豆淀粉的 ν_B 值为 2468cP ,球磨豌豆淀粉 ν_B 值为 116cP ,为原料淀粉的 $1/21$ 倍,说明球磨豌豆淀粉的热糊稳定性明显优于原淀粉;原料豌豆淀粉的 ν_S 值为 1949cP ,球磨豌豆淀粉 ν_S 值为 167cP ,为原料淀粉的 $1/12$ 倍,说明处理后淀粉更不易老化、回生,提高淀粉颗粒的冷糊稳定性。因此,经过球磨研磨处理后,使得豌豆淀粉的黏度均低于原淀粉,更适用于应用到高浓低黏的体系中,且研磨豌豆淀粉的热糊稳定性和冷糊力学稳定性都优于原淀粉。

3 结论

豌豆淀粉经过球磨研磨处理后,其颗粒形貌和粒度发生明显变化,淀粉颗粒由光滑的多角形变成不规则形状,表面粗糙,具有一定的裂痕、缝隙和凹陷;处理后球磨豌豆淀粉的偏光十字完全消失,说明晶体结构受到破坏;淀粉颗粒粒度变大,中位径由 $15.28\mu\text{m}$ 增大到 $23.28\mu\text{m}$,粒径主要分布范围在 $10 \sim 45\mu\text{m}$

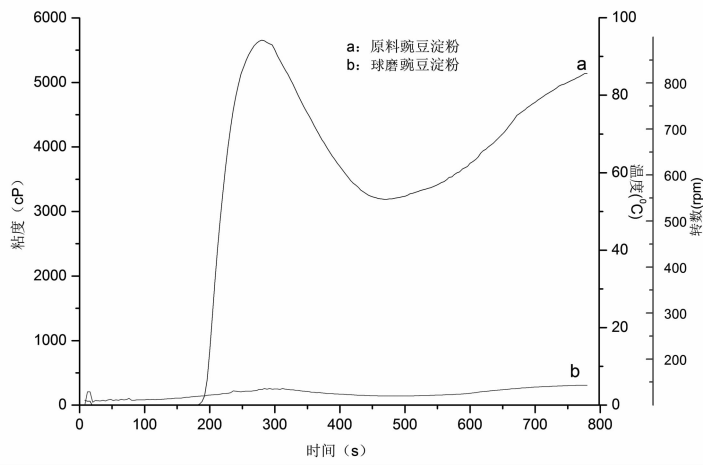


图 7 球磨豌豆淀粉的 RVA 曲线

Figure 7 RVA of pre-and post-treatment pea starch

范围内。豌豆淀粉为典型的 C 型晶体结构,球磨研磨处理后淀粉呈弥散峰特征,进一步证实晶体结构受到破坏。经红外光谱检测分析,球磨豌豆淀粉中并无新的基团产生,部分特征峰强度降低,淀粉颗粒由有序结构向无序化结构转变,最终形成无定形状态的淀粉。球磨淀粉其热力学性质表现为热焓值降低至 1.35J/g,糊化起始温度为 49.82℃,糊化峰值温度为 54.68℃,糊化终止点温度为 64.88℃,表明此时淀粉颗粒已经处于无定形状态。处理后淀粉的糊化特征表现为豌豆淀粉的黏度均低于原淀粉,更适用于应用到高浓低黏的体系中,且球磨豌豆淀粉的热糊稳定性和冷糊力学稳定性都优于原淀粉。

4 讨论

Boldyrev^[11]认为粉体在球磨过程中能被活化必须满足两个条件:一是粉体的颗粒粒度必须小于韧-脆转变粒径,如果粒度达不到要求,粉体则先经历断裂破碎,这一时期可看作是活化的诱发期;二是活化作用力必须大于颗粒的内部应力(与颗粒大小有关),如果作用力太弱,活化则不可能,但当作用力提高到一定程度后,就会产生活化现象,这种现象称之为“临界效应”。综合以上实验结果和根据相关的聚合物机械降解理论^[21,22]分析,豌豆淀粉在球磨中的机械活化过程大致可分为两个阶段:第一阶段在球磨粉碎初期,豌豆淀粉颗粒在反复强烈的球磨介质之间及磨介质与淀粉颗粒之间所产生的冲击、剪切、摩擦力的作用下,引起颗粒破裂、细化,颗粒中相邻原子键断裂,缔合氢键遭到破坏,相应地晶体结晶程度衰退,晶体结构产生缺陷并引起晶格位移。此时一些细小的颗粒表面很自然地被激活,从而引起团聚,表观粒度增大。总体表现为淀粉颗粒粒径增大,粒度分布曲线变宽,结晶度下降;第二阶段主要发生研磨后期,当研磨达到一定时间后且淀粉颗粒达到一定细度后,淀粉颗粒的强度、硬度增加,难以粉碎,此时颗粒不再发生脆性破坏,而是发生塑性变形,使晶格点阵中的粒子排列失去周期性,形成了晶格缺陷,有序的晶体结构被机械力破坏而形成非晶态层,且随着研磨的进行而变厚,并发生团聚,最后导致整个颗粒结构的无定形化。

参考文献:

[1] 邓宇. 淀粉化学品及其应用. 北京: 化学工业出版社, 2002.
[2] 黄祖强, 胡华宇, 童张法. 食品与机械, 2006, 22(1): 50~52.
[3] 陈玲, 温其标, 叶建东. 粮食与饲料工业, 1999(12): 41~43.
[4] CHE L M L, WANG L J, et al. Int J Food Prop, 2007, 10(3): 527~536.
[5] 李兆丰, 顾正彪, 洪雁. 食品与发酵工业, 2003, 29(10): 70~73.

- [6] 郝小燕, 麻浩. 粮油食品科技, 2007, 15(3): 11~14.
- [7] 洪雁, 顾正彪. 食品与发酵工业, 2006, 32(1): 28~32.
- [8] Fang J M, Fowler P A, Tomkinson J, et al. Carbohydr Polym, 2002, 47(3): 245~252.
- [9] Huang Z Q, Lu J P, Li X H, et al. Carbohydr Polym, 2007, 68(1): 128~135.
- [10] Yao N, Paez A V, White P J. J Agric Food Chem, 2009, 57(5): 2040~2048.
- [11] Boldyrev V V, Pavlov S V, Goldberg E L. Int J Miner Process, 1996, 44(45): 181~185.
- [12] Wei C X, Qin F L, Zhou W D. J Agric Food Chem, 2010, 58: 11946~11954.
- [13] Cai J, Cai C, Man J, et al. Carbohydrate Polymers, 2014, 102: 799~807.
- [14] Zhang B J, Li X X, Liu J, et al. Food Hydrocolloids, 2013, 31(1): 68~73.
- [15] Tester R F, Karkalas J, Qi X. J Cereal Sci, 2004, 39(8): 151~165.
- [16] 吴航, 冉祥海, 张坤玉, 等. 高等学校化学学报, 2006, 27(4): 775~777.
- [17] Yoneya T, Ishibashi K, Hironaka K, et al. Carbohydr Polym, 2003, 53(4): 447~457.
- [18] Viturawong Y, Achayuthakan P, Supphantharika M. Food Chem, 2008, 111(1): 106~114.
- [19] Juhsz R, Salg A. Starch, 2008, 60(2): 70~78.
- [20] 武军, 李和平. 高分子物理及化学. 北京: 中国轻工业出版社, 2001.
- [21] 何本桥, 张玉红, 肖卫东. 高分子材料科学与工程, 2001, 17(1): 25~29.

Structure and Physicochemical Properties of Pea Starch by Ball-milling Treatment

WANG Li-dong^{1,2}, LIU Ting-ting¹, KOU Fang¹

(1. *National Coarse Cereals Engineering Research Center, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China*; 2. *Food Science College, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China*)

Abstract: The structure and physicochemical properties of pea starch by ball milling were studied in this paper. The granular morphology, crystal texture and physicochemical properties of it were further characterized using scanning electron microscopy, laser particle size analyzer, X-ray diffractometry, infrared spectrometer, differential scanning calorimetry, rapid visco analyzer. The results show that micronized pea starch granular is changed from smooth polygon to rough irregular shape, its median diameter is increased 23.28 μm , its polarized light is disappeared. The crystal structure of pea starch is changed from polycrystalline to amorphous and is no new groups produced. Enthalpy and gelatinization point all is decreased and has a better viscosity stability. Its hot paste stability and mechanical stability are better than those of native pea starch.

Key words: Ball-milling treatment; Pea starch; Structure; Physicochemical properties