

湿热处理对不同晶型淀粉理化性质及消化性的影响

高群玉, 叶莹, 王琳

(华南理工大学轻工与食品学院, 广东广州 510640)

摘要: 采用三种不同晶型淀粉即玉米淀粉(A型)、马铃薯淀粉(B型)、豌豆淀粉(C型)为原料,在水分含量为25%、温度120℃条件下湿热处理13h,研究湿热处理对不同晶型淀粉的理化性质及消化性的影响。研究表明,与原淀粉相比,经湿热处理的三种淀粉的结晶结构均发生了改变,玉米淀粉由A型变为了A+V型,马铃薯淀粉和豌豆淀粉分别由B型和C型变为了A型;三种淀粉颗粒表面均出现了不同程度的破损;三种淀粉的部分颗粒的偏光十字的中心强度有所减弱;三种淀粉样品的糊化温度均升高,但A型和B型淀粉的焓值降低,而C型淀粉的焓值升高;三种淀粉的抗性组分含量均有所升高,抗消化性显著增强,其中C型淀粉变化最明显。

关键词: 玉米淀粉; 马铃薯淀粉; 豌豆淀粉; 湿热处理; 理化性质; 消化性

文章编号: 1673-9078(2015)3-60-65

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.3.011

Effect of Heat-moisture Treatment on the Physicochemical Properties and Digestibility of Starches with Different Crystal Structures

GAO Qun-yu, YE Ying, WANG Lin

(College of Light Industry and Food Sciences, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: In this study, three types of starch, each with a different crystal structure [corn starch (A-type), potato starch (B-type) and pea starch (C-type)] were treated using heat at 120℃ for 13 h in the presence of 25% moisture content. The effect of heat-moisture treatment was studied in terms of physicochemical properties and digestibility of starch. The results showed that, compared with native starch, the crystal structures of all three starches changed after heat-moisture treatment. The original A-type structure of corn starch changed to (A+V)-type, while both, B- and C-type structures present in potato and pea starches changed to A-type. The starch granules showed different degrees of damage on the surface, while some showed a decrease in the central intensity of the Maltese cross. The temperature required for gelatinization increased and the enthalpy values decreased in A- and B-type starches but increased in C-type. The content of resistant starch component was elevated and the anti-peptic activity was significantly enhanced. The changes in C-type starch were observed as most significant.

Key words: corn starch; potato starch; pea starch; heat-moisture treatment; physicochemical property; digestibility

淀粉是葡萄糖的高聚体,广泛存在于大多数高等植物的叶、根、茎、球茎、果实和花粉等器官中。根据天然淀粉的X-射线衍射图谱上衍射峰分布特点,可将淀粉的晶型结构分为A、B、C和V四种晶型^[1]。常见的玉米淀粉、马铃薯淀粉和豌豆淀粉分别属于典型的A、B、C型淀粉。

淀粉改性的一般方法有物理法、化学交联法、生物酶法。湿热反应是一种安全的物理改性方法,指的是在水分含量小于35%的条件下,在低于糊化温度但高于玻璃化转变温度范围内处理淀粉的方法^[2]。近年

收稿日期: 2014-07-18

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(31230057); 广东省部产学研(2012B091100291)

作者简介: 高群玉(1965-),女,博士,教授,主要从事谷物科学、淀粉改性及碳水化合物科学的教学与科研工作

来,国内外学者对湿热处理的研究非常活跃。徐忠等(2005)以玉米淀粉、小麦淀粉、马铃薯淀粉为原料,研究发现,湿热处理对不同晶型的淀粉的颗粒形貌、结晶结构、黏度、膨胀度等性质的影响存在较大差异^[3]; Wittawat等(2011)研究了湿热处理大米淀粉、玉米淀粉和马铃薯淀粉对其微观结构及理化性质的影响,发现湿热处理对不同晶型淀粉的各种理化性质的影响不同^[4]; Varatharajan等(2010)研究湿热处理对马铃薯淀粉和蜡质马铃薯淀粉的影响时发现,湿热处理改变了原淀粉的空间结构、晶型和结晶度、黏度、直链淀粉含量等理化性质^[5]。

湿热处理是一种安全无污染的制备方法,国内外几年来关于湿热处理淀粉对其理化性质的研究逐渐增多,但对于湿热处理不同晶型淀粉对其理化性质及消化性的影响的研究鲜见报道。本实验以玉米淀粉(A

型)、马铃薯淀粉(B型)、豌豆淀粉(C型)为原料,采用现代分析方法研究湿热处理对三种不同晶型淀粉的理化性质及消化性的影响,分析湿热处理制备抗消化淀粉的可行性,并为抗消化淀粉的生产及选材提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料和设备

玉米淀粉,中粮生化能源(公主岭)有限公司;马铃薯淀粉,宁夏固原雪冠淀粉有限责任公司;豌豆淀粉,烟台东方蛋白科技有限公司;猪胰 α -淀粉酶(P7545)、淀粉葡萄糖苷酶(A7095),Sigma-Aldrich(-上海)贸易有限公司;GOPOD试剂盒,爱尔兰Megazyme公司;实验中用到的其他试剂或药品均为分析纯。

DSC8000 差示扫描量热仪,美国PERKIN-ELMER公司;D8 ADVANCEX射线衍射分析仪,德国Bruker公司;TM3000扫描电子显微镜,日本HITACHI公司;HH-2数显恒温水浴锅,江苏金坛市富华仪器有限公司;SHA-CA恒温振荡器,常州澳华仪器有限公司;722可见光分光光度计,上海第三分析仪器厂;BX51多功能光学显微镜,日本Olympus公司;KH-200湿热反应釜,西安太康生物科技有限公司;JB-2恒温磁力搅拌器,上海雷磁新径仪器有限公司;XW-80A涡旋混合器,上海精科实业有限公司。

1.2 湿热淀粉样品制备

分别称取玉米淀粉、马铃薯淀粉和豌豆淀粉各50g(干基),加蒸馏水至水分含量为25%,放入密闭耐高温不锈钢湿热反应釜中,室温平衡水分24h。然后将平衡好的淀粉放入120℃的烘箱中反应13h,待其自然冷却后洗涤、烘干、粉碎过100目筛后得湿热淀粉样品。

1.3 样品的性质测定

1.3.1 结晶特性分析

将淀粉样品在相对湿度为100%的条件下平衡水分24h,然后进行X-射线衍射分析。测定条件:靶型:Cu;扫描范围为4~60°;扫描速度为12°/min;管压为40kV,管流为40mA;扫描步长为0.04°。相对结晶度的计算参照陈翠兰等的方法^[6]。

1.3.2 淀粉颗粒形态分析

将适量待测样品用导电双面胶固定于载物台上,

在真空条件下进行镀金处理,然后将样品台放入扫描电子显微镜中观察,并拍摄具有代表性的样品颗粒形貌照片。

1.3.3 偏光特性分析

选择不同湿热淀粉样品,加蒸馏水配成5%的淀粉乳,加一滴于载玻片上,盖上盖玻片,放入显微镜载物台上,选择适当的放大倍数和光亮度,在偏振光下观察并拍摄淀粉颗粒形态,与原淀粉进行比较,比较湿热前后淀粉偏光十字的变化情况。

1.3.4 糊化特性分析

称取3mg淀粉(干基)样品于样品盘中,加入7 μ L水配成30%的淀粉乳,立即将样品盘压紧并密封,于室温下平衡4h,用空白样品池作参照,通氮气,采用差示扫描量热仪进行测定。扫描温度范围为30℃~130℃,扫描速率为5℃/min。通入氮气的速率是20mL/min。分别记录 T_0 (起始温度)、 T_p (峰值温度)、 T_c (终止温度)及焓值(ΔH)的变化情况。

1.3.5 Englyst法^[7]淀粉各组分含量分析

制备混酶:称取3.0g猪胰 α -淀粉酶于50mL离心管中,加入10mL0.1mol/L的乙酸钠缓冲液和磁力搅拌棒,混匀后以4000r/min离心10min。最后往上清液中加入1.0mL淀粉葡萄糖苷酶,即为混酶。

体外消化:称取0.3g(干基)淀粉样品于COD管中,加入7.5mLpH5.2的0.1mol/L乙酸钠缓冲液,混匀后置于95℃水浴中均匀糊化30min。立即放入37℃水浴中平衡温度,然后加入5粒玻璃珠和0.75mL混酶,在37℃水浴中以160r/min振荡反应。在20min和120min分别取出0.5mL上清液并加入20mL95%乙醇灭酶,然后采用葡萄糖氧化酶(GOPOD)法测定葡萄糖含量。淀粉各组分含量的计算式如下:

$$RSD/\% = (G_{20} - FG) \times 0.9 / W$$

$$RSD/\% = (G_{120} - G_{20}) \times 0.9 / W$$

$$RSD/\% = 1 - (RSD + SDS) / W$$

注:RDS-快消化淀粉,20min内水解的淀粉;SDS-慢消化淀粉,20~120min内水解的淀粉;RS-抗性淀粉,120min内仍不能水解的淀粉; G_{20} -酶解20min后产生的葡萄糖含量/mg;FG-酶解前游离葡萄糖含量/mg; G_{120} -酶解120min后产生的葡萄糖含量/mg。

1.3.6 Englyst法^[7]测消化性

称取0.3g(干基)淀粉样品于COD管中,加入7.5mLpH5.2的0.1mol/L乙酸钠缓冲液,混匀后置于95℃水浴中均匀糊化30min。立即放入37℃水浴中平衡温度,然后加入5粒玻璃珠和0.75mL混酶,在37℃水浴中以160r/min振荡反应。在0.5h、1h、1.5h、2h、2.5h、3h、4h、5h分别取出0.5mL上清液

并加入 20 mL 95% 乙醇灭酶，然后采用葡萄糖氧化酶 (GOPOD) 法测定葡萄糖含量。然后计算水解率并作水解率-时间曲线，水解率计算公式如下：

$$\eta = \Delta A_{\text{样}} / \Delta A_{\text{标}} \times 100 \times 3.3 \times 0.9 / W \times 100\%$$

注： $\Delta A_{\text{样}}$ 样品吸光度值； $\Delta A_{\text{标}}$ 标准葡萄糖溶液吸光度值；

W-样品干基质量/mg。

1.3.7 数据分析处理

各组数据均为 3 次重复测定求平均值，并采用 origin 8.0 作图。

2 结果与分析

2.1 结晶特性

利用 origin 8.0 软件和陈翠兰的方法^[6]分析图 1

表 1 X 射线衍射结果分析

Table 1 X-Ray diffraction analysis results

淀粉样品	衍射峰位置/°	晶型	相对结晶度/%
玉米淀粉	15.0、17.1、18.1、23.5	A	27.81
湿热玉米淀粉	7.5、13.0、15.2、17.0、18.0、19.8、22.8	A+V	27.10
马铃薯淀粉	5.6、17.1、22.2、24.0	B	31.12
湿热马铃薯淀粉	15.1、17.1、18.0、22.9	A	29.10
豌豆淀粉	5.5、15.2、17.2、17.9、23.1	C	28.41
湿热豌豆淀粉	15.2、17.2、18.1、23.1	A	38.42

由表 1 可知，湿热处理后，三种晶型淀粉的晶型均发生了改变，其相对结晶度也发生了不同的变化。武俊超等研究豌豆淀粉同样发现湿热处理后豌豆淀粉的晶型由 C 型转化为 A 型，并认为同直链淀粉与直链淀粉、直链淀粉与支链淀粉间的相互作用有关^[8]。Zavareze 等也认为湿热处理能使淀粉在一定的水分和较高温度下控制分子的流动^[9]。赵佳在较低温度下湿热处理马铃薯淀粉，发现它们的晶型有从 B 型向 A 型转变的趋势^[10]。此外，结合三种淀粉的偏光十字等性质变化来看，其晶型及结晶度的改变可能与淀粉分子空间双螺旋结构的解旋及重组有关。已有研究表明，A 型淀粉呈棒状且直链淀粉含量更高，较 B 型淀粉更易形成紧密结构^[11]。所以湿热处理可能会提高 B 型和 C 型淀粉的稳定性，而 A 型淀粉可能也会由于 V 型成分的出现而导致稳定性也有所提高。

2.2 颗粒形态

由图 2 可看出，玉米淀粉 (A 型) 颗粒呈现不规则的多边形，马铃薯淀粉 (B 型) 颗粒呈现圆形或椭圆形，豌豆淀粉 (C 型) 颗粒多呈现梭形或椭圆形。经湿热处理后，三种淀粉部分颗粒表面均出现破损，其中玉米淀粉部分颗粒表面还出现了凹坑。徐忠等研

得出结果如下表 1。

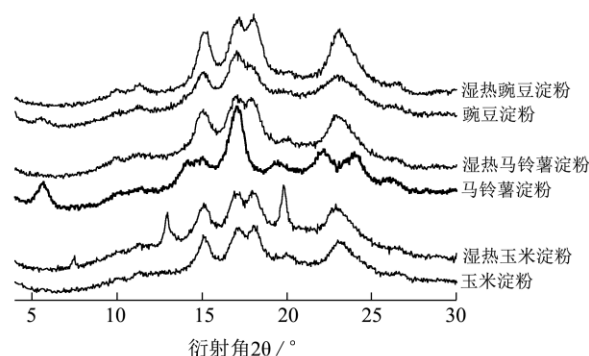


图 1 原淀粉及湿热处理后的淀粉样品的 X 射线衍射图

Fig.1 X-ray diffraction patterns of native and heat-moisture treated (HMT) starch

究也发现了湿热处理使玉米淀粉表面出现凹坑，而马铃薯淀粉部分颗粒表面出现破损^[3]。雷俊华等研究湿热处理豌豆淀粉时也有相同发现^[12]。

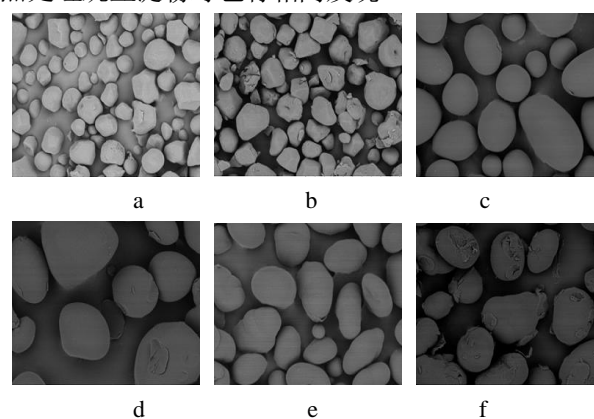


图 2 原淀粉和湿热处理后的淀粉样品的颗粒形态

Fig.2 Particle morphology of native and HMT starch

注：a.玉米淀粉×1500, b.湿热玉米淀粉×1500, c.马铃薯淀粉×1500, d.湿热马铃薯淀粉×1500, e.豌豆淀粉×1500, f.湿热豌豆淀粉×1500。

2.3 偏光特性

由图 3 看出，马铃薯淀粉 (B 型) 的偏光十字最为清晰且多为斜十字，湿热处理后，部分颗粒的十字

中心出现空洞；玉米淀粉（A型）的偏光十字比较清晰且几乎都是正十字，湿热处理后，部分颗粒的十字中心强度有所减弱；豌豆淀粉（C型）的偏光十字不太清晰，但仍能看出位于颗粒中心位置，湿热处理后，十字中心强度进一步减弱。Chung 等研究了湿热处理对豆类淀粉的影响，发现湿热处理后豆类淀粉的偏光十字中心出现空洞^[13]。高群玉等研究玉米淀粉时同样发现湿热处理后偏光十字中心部位强度减弱^[14]。这是由于淀粉颗粒双折射的强度由淀粉颗粒半径大小和螺旋结构决定^[8]。A、B、C 三种晶型淀粉经湿热处理后双螺旋结构可能发生解旋或重组。

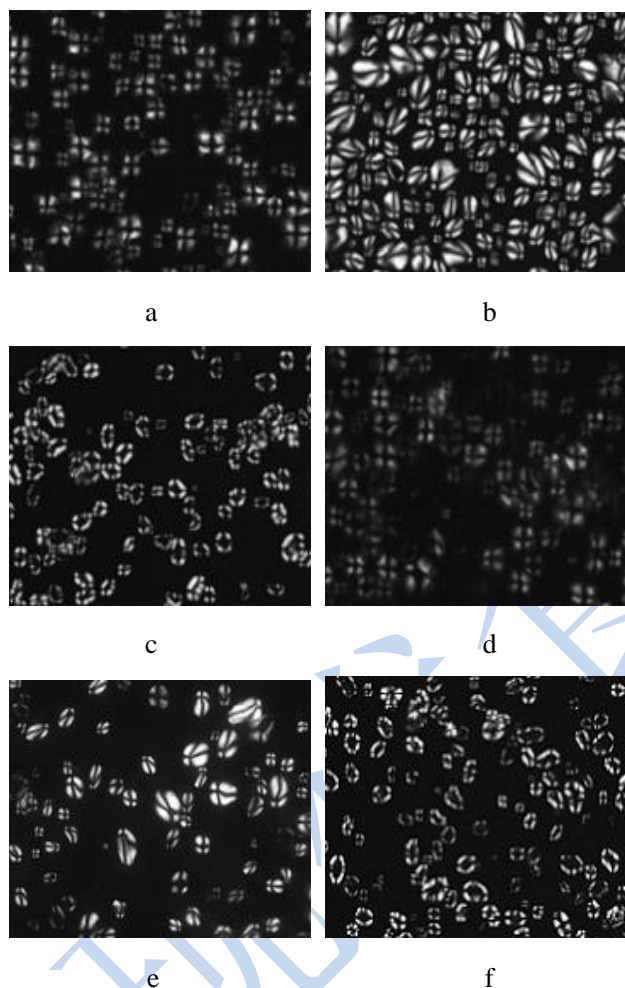


图3 原淀粉和湿热处理后的淀粉样品的偏光显微照片

Fig.3 Polarized light microscopy of native and HMT starch

注：a：玉米淀粉×500，b.马铃薯淀粉×200，c.豌豆淀粉×200，d.湿热玉米淀粉×500，e.湿热马铃薯淀粉×200，f. 湿热豌豆淀粉×200。

2.4 糊化特性

由表 2 看出，B 型淀粉的起糊温度和糊化焓最小，其热稳定性也最差，经湿热处理后，糊化温度升高，

同时糊化焓降低；C 型淀粉热稳定性较强，湿热处理后，糊化温度显著升高，同时糊化焓升高；A 型淀粉热稳定性最强，湿热处理后，糊化温度显著升高且幅度较大，同时糊化焓降低。Chung 等也发现了湿热处理玉米淀粉和豌豆淀粉后两者糊化温度升高和糊化焓降低^[15]。Adebowale 等同样发现湿热处理增加了油麻藤豆淀粉的糊化温度，并认为湿热处理使直链淀粉与直链淀粉相互作用，从而降低了淀粉无定形区的流动性^[16]。一般认为，淀粉的结晶度高者，热稳定性强，在 DSC 曲线上的糊化焓也大^[17]。Cooke 等研究认为 ΔH 与淀粉结晶层分子排序状态及双螺旋结构有关^[18]。这也进一步证明了湿热处理会导致 A 型和 B 型淀粉的相对结晶度下降及 C 型淀粉的相对结晶度增加。

表 2 原淀粉和处理后的淀粉样品的热特性参数

Table 2 Thermal parameters of native and HMT starches

淀粉样品	$T_0/^\circ\text{C}$	$T_p/^\circ\text{C}$	$T_c/^\circ\text{C}$	$T_c-T_0/^\circ\text{C}$	$\Delta H/(\text{J/g})$
玉米淀粉	65.84	72.59	78.29	12.45	10.12
湿热玉米淀粉	82.33	86.06	89.49	7.16	2.31
马铃薯淀粉	62.32	68.10	72.12	9.80	8.45
湿热马铃薯淀粉	88.93	93.07	96.45	7.52	2.44
豌豆淀粉	64.13	72.11	82.66	18.53	10.07
湿热豌豆淀粉	95.45	103.08	111.82	16.37	15.21

2.5 淀粉各组分含量

表 3 原淀粉和湿热处理后的淀粉样品中各组分含量

Table 3 Content of each component of native and HMT starch

组分含量	RDS/%	SDS/%	RS/%
玉米淀粉	63.74	32.75	3.50
湿热玉米淀粉	62.86	28.64	8.50
马铃薯淀粉	84.43	12.85	2.72
湿热马铃薯淀粉	67.96	25.89	6.15
豌豆淀粉	77.57	17.65	4.78
湿热豌豆淀粉	64.82	15.40	19.78

由表 3 结果可知，经湿热处理后，三种晶型淀粉抗性淀粉组分含量均有所增加，其中豌豆淀粉（C 型）的抗性成分增加最明显，可能主要与湿热豌豆淀粉的晶型改变及相对结晶度增加有关。孟庆虹等也认为抗性淀粉的形成与结晶重组有关^[19]。由表 3 还可看出，B 型淀粉的慢消化组分明显增加，A 型和 C 型淀粉的慢消化组分有所降低。Chung 等研究同样发现，湿热处理增加了玉米淀粉和豌豆淀粉的抗性淀粉含量同时也降低了其慢消化淀粉含量^[15]。

2.6 消化特性

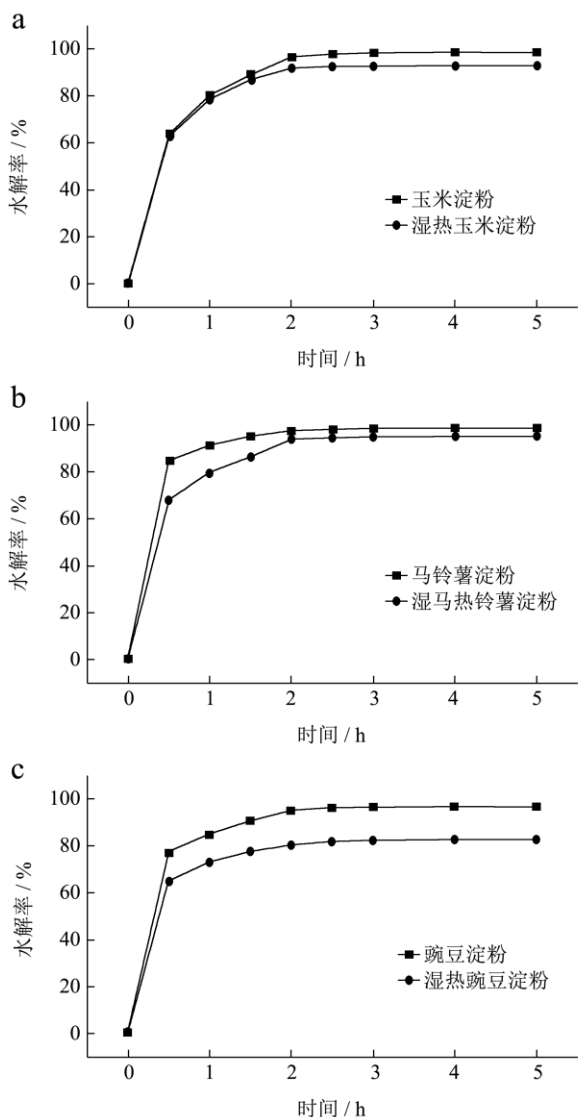


图4 原淀粉和湿热处理后的淀粉样品的消化曲线

Fig.4 Digestion curves of native and HMT starch

注：a.玉米淀粉湿热处理前后消化曲线，b.马铃薯淀粉湿热处理前后消化曲线，c.豌豆淀粉湿热处理前后消化曲线。

由图4结果知，各淀粉样品在前2h内水解较快，随着反应的进行速率减慢，3h后消化基本停止。湿热处理后，三种晶型淀粉的消化性均有所降低，其中C型淀粉变化最明显。Hoover等研究发现，马铃薯淀粉经湿热处理后对酶敏感性下降^[20]。经过湿热处理，马铃薯淀粉和豌豆淀粉的晶型分别由B型和C型转变为A型，而A型淀粉呈棒状且直链淀粉含量更高，更易形成紧密结构，这可能是导致湿热豌豆淀粉、湿热马铃薯淀粉的抗消化性增强的主要原因。玉米淀粉由A型转化为A+V型，V型结晶成分的出现可能有利于提高淀粉分子的紧密程度进而增强玉米淀粉抗消化。此外，三种淀粉的抗性淀粉含量的增加也有利于降低其消化性^[14]。

3 结论

研究发现，湿热处理对三种晶型淀粉的理化性质及消化性的影响体现在如下方面：

3.1 晶型均发生了改变，其中玉米淀粉由A型变为A+V型，马铃薯淀粉由B型变为A型，豌豆淀粉由C型变为A型；

3.2 三种晶型淀粉的部分颗粒表面均出现破损，其中玉米淀粉部分颗粒表面还出现了凹坑；

3.3 B型淀粉部分颗粒的偏光十字中心出现空洞，A型和C型淀粉的十字中心强度有所减弱；

3.4 三种晶型淀粉的糊化温度均显著提高，其中豌豆淀粉（C型）升高最明显，A型和B型淀粉的糊化焓降低，而C型淀粉的糊化焓升高；

3.5 三种晶型淀粉的抗性组分含量均有所增加，其中豌豆淀粉（C型）提高最为明显，A型和C型淀粉的慢消化组分含量减少，B型淀粉的慢消化组分含量增加；

3.6 三种晶型淀粉的抗消化性均有所增强，其中豌豆淀粉（C型）变化最明显。

由此可见，C型的豌豆淀粉最适合生产抗消化性淀粉，但同时存在着热加工困难的不足。

参考文献

- [1] Zhang Genyi, Venkatacham M, Hamaker B R. Structure basis for the slow digestion property of native cereal starches [J]. *Biomacromolecules*, 2006, 7(11): 3259-3266
- [2] Sair L. Heat-moisture treatment of starch [J]. *Cereal Chemistry*, 1967, 44: 8-26
- [3] 徐忠, 缪铭, 王鹏, 等. 湿热处理对不同淀粉颗粒结构及性质的影响[J]. *哈尔滨商业大学学报(自然科学版)*, 2005, 21(5): 649-653
- [4] XU Zhong, MIU Ming, WANG Peng, et al. Effects of heat-moisture treatment on granule structure and physicochemical properties of different starches [J]. *Journal of Harbin University of Commerce (Natural Sciences Edition)*, 2005, 21(5): 649-653
- [5] Wittawat J, Chureerat P, Vilai R, et al. Microstructural and physicochemical properties of heat-moisture treated waxy and normal starches [J]. *Food Engineering*, 2011, 104(2): 246-258
- [6] Varatharajan V, Hoover R, Liu Qiang, et al. The impact of heat-moisture treatment on the molecular structure and physicochemical properties of normal and waxy potato

- starches [J]. Carbohydrate Polymers, 2010, 81(2): 466-475
- [6] 陈翠兰,张本山,陈福泉.淀粉结晶度计算的新方法[J].食品科学,2011,32(9):68-71
CHENG Cui-lan, ZHANG Ben-shan. A novel methods for calculating starch crystallinity [J]. Food Science, 2011, 32(9): 68-71
- [7] Englyst H N, Kingman S M, Cummings J H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions [J]. European Journal of Clinical Nutrition, 1992, 46: S33-S50
- [8] 武俊超,高群玉,梁楚琴.采用不同方法制备豌豆抗性淀粉及其性质研究[J].食品与发酵工业,2011,37(9):119-123
WU Jun-chao, GAO Qun-yu, LIANG Chu-qin. Study on properties of pea resistant starches with different methods [J]. Food and Fermentation Industries, 2011, 37(9): 119-123
- [9] Zavareze E R, Dias A R G. Impact of heat-moisture treatment and annealing in starches: a review [J]. Carbohydrate Polymers, 2011, 83(2): 317-328
- [10] 赵佳.水-热处理对淀粉理化性质的影响[D].西北农林科技大学学报,2012
ZHAO Jia. Effects of hydrothermal on the physicochemical properties of starches [D]. Northwest A & F University, 2012
- [11] 刘佳,陈玲,李琳,等.小麦 A,B 淀粉凝胶质构特性与分子结构的关系[J].高校化学工程学报,2012,25(6):1033-1038
LIU Jia, CHEN Ling, LI Lin, et al. Relationship between texture properties and molecular structure of a,b-type wheat starch [J]. Journal of Chemical Engineering of Chinese Universities, 2012, 25(6): 1033-1038
- [12] 雷俊华,郑琳,武俊超,等.湿热处理制备豌豆抗性淀粉及其性质研究[J].食品工业科技,2013,34(20):149-152
LEI Jun-hua, ZHENG Lin, WU Jun-chao. Study on heat-moisture treatment on preparation and properties of pea resistant starches [J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(20): 149-152
- [13] Chung H J, Liu Q, Hoover R. Effect of single and dual hydrothermal treatments on the crystalline structure, thermal properties, and nutritional fractions of pea, lentil, and navy bean starches [J]. Food Research International, 2010, 43(2): 501-508
- [14] 高群玉,武俊超,李素玲.湿热处理对不同直链含量的玉米淀粉性质的影响[J].华南理工大学学报(自然科学版),2011, 39(9):1-6
GAO Qun-yu, WU Jun-chao, LI Su-ling. Effects of heat-treatment on properties of corn starches with different amylose contents [J]. Journal of South China University of Technology (Natural Sciences Edition), 2011, 39(9): 1-6
- [15] Chung H J, Liu Qiang, Hoover R. Impact of annealing and heat-moisture treatment on rapidly digestible, slowly digestible and resistant starch levels in native and gelatinized corn, pea and lentil starches [J]. Carbohydrate Polymers, 2009, 75(3): 436-447
- [16] Adebowale K O, Lawal O S. Microstructure, physicochemical properties and retrogradation behaviour of mucuna bean (mucuna pruriens) starch on heat-moisture treatments [J]. Food Hydrocolloids, 2003, 17(3): 265-272
- [17] 赵凯,张守文,方桂珍,等.湿热处理对马铃薯淀粉颗粒特性的影响[J].食品与发酵工业,2006,32(6):8-10
ZHAO Kai, ZHANG Shou-wen, FANG Gui-zheng, et al. Effects of heat-moist treatment on the granule property of potato starch [J]. Food and Fermentation Industries, 2006, 32(6): 8-10
- [18] Cooke D, Gidley M J. Loss of crystalline and molecular order during starch gelatinization: origin of the enthalpic transition [J]. Carbohydrate Research, 1992, 227: 103-112
- [19] 孟庆虹,张守文,赵凯,等.玉米抗性淀粉形成过程的研究[J].食品工业科技,2006,27(4):97-100
MENG Qing-hong, ZHANG Shou-wen, ZHAO Kai, et al. Study on the formation of corn resistant starch [J]. Science and Technology of Food Industry, 2006, 27(4): 97-100
- [20] Hoover R, Vasanthan T. The flow properties of native, heat-moisture treated and annealed starches from wheat, oat, potato and lentil [J]. Food Biochemistry, 1994, 18(2): 67-82