

研究简报

气流超微粉碎对马铃薯淀粉颗粒形貌及理化性质的影响

杨盈盈¹, 侯 越¹, 王立东^{1,2,3}, 郎双静^{1,4*}

(1. 黑龙江八一农垦大学食品学院, 大庆 163319; 2. 黑龙江八一农垦大学国家杂粮工程技术研究中心, 大庆 163319; 3. 黑龙江省教育厅谷物副产物综合利用重点实验室, 大庆 163319; 4. 北大荒现代农业产业技术省级培育协同创新中心, 大庆 163319)

摘要:为探讨气流超微粉碎对马铃薯淀粉颗粒形貌及理化性质的影响,以马铃薯淀粉为原料,利用流化床气流粉碎机在不同分级转速条件下制备超微粉,采用扫描电子显微镜、激光粒度分析仪、X射线衍射仪、快速黏度分析仪、差示扫描量热仪等研究气流超微粉碎对马铃薯淀粉颗粒形貌、颗粒大小及分布、晶体结构、糊化特性、热力学特性、溶解度、膨胀度和冻融稳定性等性质的影响。结果表明,马铃薯淀粉经气流超微粉碎后,淀粉颗粒表面粗糙且有棱角和裂纹,颗粒形状变的不规则,粒度减小且尺寸分布不均,在分级转速 3000r/min 时颗粒平均粒径由 39.75 μm 减小至 13.38 μm ;粉碎后淀粉粉体松装密度和振实密度降低,压缩度增大;粉碎没有改变淀粉的晶体结构,但结晶度降低;粉碎降低了淀粉糊的衰减黏度和回生黏度,淀粉的热糊及冷糊稳定性较好,降低了淀粉糊化温度和热吸收焓,提高了淀粉溶解度和膨胀度,改变了淀粉冻融稳定性。研究结果为淀粉干法物理改性技术研究和马铃薯淀粉深加工与高值化利用提供理论依据及参考。

关键词:气流粉碎; 马铃薯淀粉; 颗粒形貌; 理化特性

淀粉是由直链淀粉和支链淀粉两种葡聚糖聚合而成的一种天然高聚物,在自然界中来源广泛,被广泛应用于食品、医药和化工等领域^[1,2]。天然淀粉种类繁多,如谷物淀粉、豆类淀粉和薯类淀粉等,不同种类淀粉在结构和功能特性方面存在差异^[3]。马铃薯淀粉在我国产量丰富,价格低廉、口感温和,其粘接性、糊化、流变和质构等功能特性优于其它淀粉,被广泛应用于食品、医药、造纸等领域^[4]。鉴于天然淀粉多晶结构体系,其原淀粉应用存在局限性,如溶解性能差、加工性能差、加工产品质量不稳定等,限制其应用,需进行改性处理以适应生产需要^[5]。常用的改性方法有化学改性、物理改性和生物改性等^[6]。针对目前马铃薯淀粉化学改性成本高、试剂残留,生化改性反应时间长、过程复杂,挤压、微波或湿热处理等物理改性能耗大、易产生局部过热等缺点,需探寻一种绿色环保、经济高效的马铃薯淀粉改性技术。

气流粉碎是制备超微粉体的有效手段之一,该技术是将干燥、净化后压缩气体通过喷嘴产生高速气流,在粉碎腔内带动颗粒高速运动,使颗粒受到冲击碰撞、摩擦、剪切等作用而被粉碎,被粉碎颗粒随气流分级。气流粉碎作为机械力粉碎的一种方式,在粉碎过程中能够产生机械力化学反应,并产生机械力化学现象,使粉碎物料的物理化学性质和结构发生变化,提高其反应活性,从而激发和加速产生的化学反应^[7,8]。气流粉碎具有生产工艺简单、生产过程无污染、产品纯度高、产品粉碎效果好等优点被广泛应用于冶金、化工等领域^[9]。近几年,气流粉碎技术被应用于食品加工领域,Protonotariou 等^[10]、Vouris 等^[11]和 Lazaridou 等^[12]研究了气流粉碎对小麦粉理化和功能特性、面团特性及加工面包品质的影响;

10.14028/j.cnki.1003-3726.2021.07.005

收稿:2020-04-14;修回:2021-01-21;

基金项目:黑龙江省大学生创新创业训练计划项目(202010223047),黑龙江八一农垦大学科技项目(XDB201812),黑龙江农垦局科技项目(2019HKQNJTG0022);

作者简介:杨盈盈(1997-),女,黑龙江八一农垦大学食品学院在读本科生。E-mail:82639227@qq.com;

* 通讯联系人:郎双静(1980-),女,工程师,硕士研究生,研究方向为农产品精深加工及食品质量安全。E-mail:wanglidong-521@163.com.

Antonios 等^[13]研究了气流粉碎对大麦粉、黑麦粉的颗粒大小、形貌、理化性质的影响;Syahrizal 等^[14]研究了气流粉碎对脱脂大豆粉理化性质及感官特性影响;Lee 等^[15]研究了气流粉碎对发芽糙米理化、糊化及体外消化性质的影响。然而,以淀粉为原料,进行气流超微粉碎处理的研究报道较少,在气流粉碎淀粉方面,本课题组前期完成了气流粉碎技术对不同链/支比玉米淀粉粉碎的研究,获得淀粉颗粒粒径、形貌、结构和功能特性变化的微细化淀粉,利于不同链/支比玉米淀粉在工业中的应用^[16~18]。

因此,本研究以马铃薯淀粉为研究对象,利用流化床气流粉机在不同分级转速条件下制备超微粉,采用扫描电子显微镜、激光粒度分析仪、快速黏度分析仪、差示扫描量热仪等研究气流超微粉碎处理对马铃薯淀粉颗粒形貌、颗粒大小及分布、淀粉糊黏度、热力学特性、溶解度、膨胀度和冻融稳定性等性质的影响,为淀粉干法物理改性技术研究和拓展淀粉资源的理论研究及深度开发利用提供理论与实践指导。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

马铃薯淀粉由黑龙江裕雪淀粉有限公司提供,为食品级淀粉,水分含量为 14.86%,直连淀粉含量为 21.23%;其它试剂均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

主要仪器:LHL 型流化床式气流粉碎机,山东潍坊正远粉体工程设备有限公司。

S-3400N 扫描电镜(SEM),日本 HITACHI 公司;Bettersize 2000 激光粒度分布仪,丹东市百特仪器有限公司;RVA4500 快速黏度分析仪,瑞典 Perten 公司;DSC800 型差示扫描量热仪,美国 PerkinElmer 公司;AR2140 型分析天平,瑞士梅特勒-托利多仪器有限公司;TG16-WS 离心机,长沙湘仪离心机仪器有限公司;TU-1800 紫外可见分光光度计,北京谱析通用仪器有限责任公司;DGG-9053 电热鼓风干燥箱,上海森信实验仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 气流粉碎微细化马铃薯淀粉的制备 气流粉碎微细化马铃薯淀粉制备采用 Wang 等^[19]方法并适当修改。实验采用中试型流化床气流粉碎设备,设有 3 个喷嘴,喷嘴间平面角度为 120°。操作参数设定为:淀粉进料量恒定为 2000g,洁净压缩空气为粉碎介质,恒定压力为 0.7MPa,在分级机转速分别设定为 1800r/min、2400r/min、3000r/min、3600r/min 和 3900r/min 条件下收集粉碎淀粉样品并密封贮存备用。

1.3.2 淀粉颗粒形貌分析 采用扫描电子显微镜(Scanning electron microscope, SEM)观察淀粉颗粒形貌,测试条件参照王立东等^[17]方法:取适量淀粉样品分散于导电双面胶上,在真空条件下进行镀金处理,加速电压为 15kV。

1.3.3 淀粉颗粒大小及分布 采用激光粒度仪(Laser particle analyzer, LPA)测定淀粉颗粒大小及分布,测试条件参照王立东等^[17]方法:以去离子水为分散溶剂,粒度仪折射率和吸收率分别设定为 1.520 和 0.001。淀粉颗粒大小采用 D_{10} 、 D_{50} 、 D_{90} 来分析。

1.3.4 淀粉粉体松装密度、振实密度及压缩度测定 淀粉粉体松装密度和振实密度测定参照 Syahrizal 等^[14]方法,压缩度测定参照 Shah 等^[20]方法。

1.3.5 淀粉晶体结构分析 采用 X-射线衍射(X-ray diffraction, XRD)对淀粉进行晶体结构分析,测定方法参照 Wang^[16]等方法。检测条件为:特征射线为 CuK α ,管压 40kV,电流 100mA,测量角度 2θ 在 4~60°,步长 0.02°,扫描速度 4°/min,根据衍射峰的强度计算结晶度。

1.3.6 淀粉糊化特性分析 采用快速黏度分析仪(Rapid visco analysis, RVA)测定淀粉的糊化特性,测定方法参照 Wang^[19]等方法,测试过程采用 Std1 升温程序。

1.3.7 淀粉热力学特性分析 采用差示扫描量热仪(Differential scanning calorimeter, DSC)测定淀粉

加热过程中热相变的变化。测定方法参照 Huang 等^[21]方法并适当修改:称取马铃薯淀粉样品 6.0mg (干基)于铝盘中,并以 1:3 的比例加入去离子水,密封平衡 24h,以水作为参比,加热范围为 20~120℃,加热速率 10℃/min。

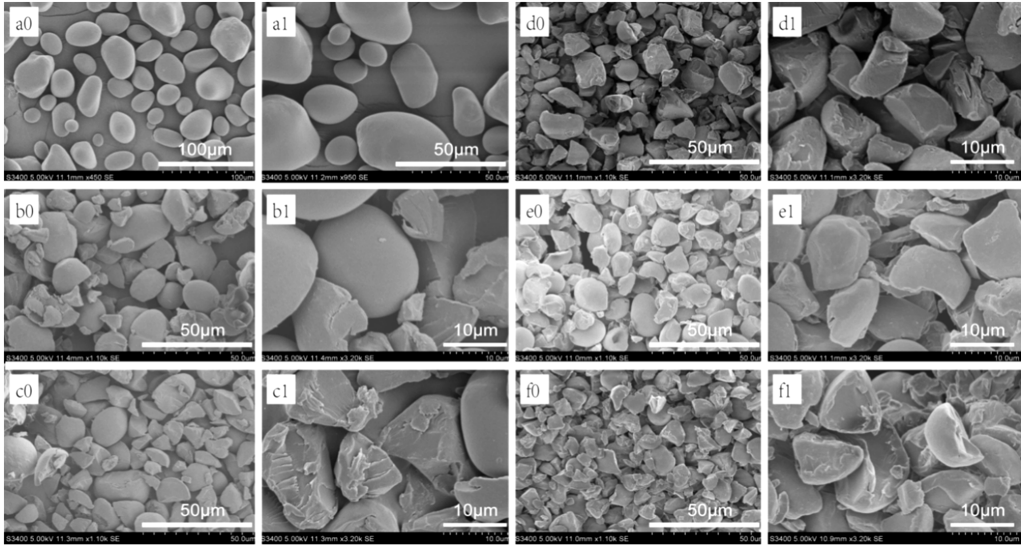
1.3.8 淀粉溶解度和膨胀度测定 溶解度(Water solubility index, WSI)和膨胀度(Swelling capacity, SC)测定参照 Wang 等^[19]方法。

1.3.9 数据处理 采用 Originlab8.5 软件进行绘图,采用 SPSS、Minitab 软件进行数据处理和统计分析。本试验所有测定数据均做 3 次平行试验($n=3$),试验结果取平均值和标准差(Mean±SD)。

2 结果与分析

2.1 淀粉颗粒形貌

气流粉碎不同分级转速条件下马铃薯淀粉扫描电镜图谱如图 1 所示。可以看出,马铃薯原淀粉颗粒呈卵圆形或球形,粒形完整且表面光滑。经过气流粉碎处理后,淀粉颗粒粒形减小,形状变得不规则,且颗粒表面粗糙,并有许多棱角和裂纹,随着分级转速的增加,粒形逐渐减小且无规则。在低转速条件下,仍有部分淀粉颗粒保持完整粒形,分级转速增大到 3000r/min 时,颗粒粒形较小且相对规则,随着分级转速进一步增大,颗粒更为规则完整,但微小颗粒数量增多。



注:a:原淀粉,b-f:分级转速为 1800,2400,3000,3600 和 3900r/min 时超微粉碎淀粉;0~1:不同放大倍数超微粉碎淀粉。

图 1 气流粉碎不同分级转速条件下马铃薯淀粉 SEM 图谱

Figure 1 SEM of potato starch samples treated by jet milling at different classifier speeds

2.2 淀粉颗粒大小及分布

气流粉碎不同分级转速条件下马铃薯淀粉颗粒大小及分布如表 1 和图 2 所示。原马铃薯淀粉颗粒粒径相对较大,颗粒平均径 D_{50} 值为 $(39.75\pm0.04)\mu\text{m}$,其 90%颗粒小于 $(66.76\pm0.03)\mu\text{m}$,10%颗粒小于 $(18.65\pm0.02)\mu\text{m}$ 。经过气流粉碎处理后,淀粉颗粒粒径显著减小,且随着分级转速的增加呈先减小后增大趋势,在 3000r/min 条件下粒径最小,中位径 D_{50} 值为 $(13.38\pm0.05)\mu\text{m}$,且 90%颗粒小于 $(21.27\pm0.01)\mu\text{m}$,10%颗粒小于 $(5.99\pm0.02)\mu\text{m}$,出现许多细小颗粒。其可能是在低转速条件下,淀粉颗粒发生有效碰撞概率较小,粒径相对较大,随着分级转速的增加,淀粉颗粒在固定容积粉碎腔内的动能增大,增加了有效碰撞、剪切、摩擦概率,导致颗粒粒径减小,当达到较高转速后,粒径减小缓慢,并出现微粉颗粒,这些微粉颗粒与小颗粒淀粉发生团聚现象,导致淀粉颗粒的粒径出现增大现象,此结果与淀粉颗粒形貌变化现象一致。但此结果与课题组前期研究气流粉碎玉米淀粉粒径变化现象相反,随着分级转

速增加,粒径逐渐减小,未出现团聚现象^[16]。淀粉颗粒粉碎后粒径减小,伴随产生颗粒比表面积增大,在 3000r/min 条件下,颗粒比表面积增大 2.42 倍,比表面积增加有利于增加淀粉颗粒表面活性。

表 1 气流粉碎不同分级转速条件下马铃薯淀粉粒度大小

分级转速/(r/min)	$D_{10}/\mu\text{m}$	$D_{50}/\mu\text{m}$	$D_{90}/\mu\text{m}$	$S_w/(\text{m}^2/\text{g})$
0	$18.65\pm0.02^{\text{a}}$	$39.75\pm0.04^{\text{a}}$	$66.76\pm0.03^{\text{a}}$	$0.12\pm0.05^{\text{a}}$
1800	$12.40\pm0.06^{\text{b}}$	$19.60\pm0.07^{\text{b}}$	$28.40\pm0.02^{\text{b}}$	$0.18\pm0.03^{\text{b}}$
2400	$10.47\pm0.07^{\text{c}}$	$18.85\pm0.04^{\text{c}}$	$24.47\pm0.06^{\text{c}}$	$0.21\pm0.09^{\text{c}}$
3000	$5.99\pm0.05^{\text{d}}$	$13.38\pm0.05^{\text{d}}$	$21.27\pm0.01^{\text{d}}$	$0.29\pm0.03^{\text{d}}$
3600	$5.47\pm0.02^{\text{e}}$	$14.64\pm0.04^{\text{e}}$	$22.90\pm0.04^{\text{e}}$	$0.26\pm0.02^{\text{e}}$
3900	$5.47\pm0.01^{\text{e}}$	$15.03\pm0.03^{\text{f}}$	$23.14\pm0.06^{\text{f}}$	$0.26\pm0.04^{\text{e}}$

注： D_{50} :中位径; D_{10} :细端粒径,粒径分布中占比为 10%所对应的粒径; D_{90} :粗端粒径,粒径分布中占比为 90%所对应的粒径; S_w :比表面积;同列中 a-f 肩字母不同表示差异显著($p<0.05$)。

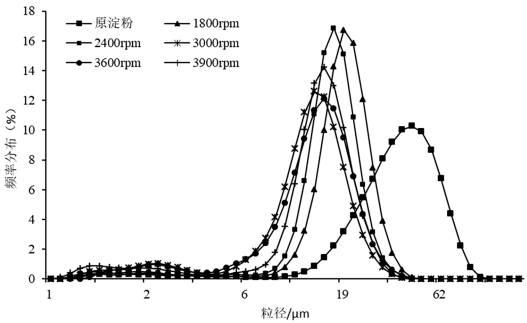


图 2 气流粉碎不同分级转速条件下马铃薯淀粉粒度分布

Figure 2 Particle size distribution of potato starch samples treated by jet milling at different classifier speeds

原马铃薯淀粉粒度分布主要呈单峰分布,峰值位置对应的粒径值较大。气流粉碎处理后,粒度呈双峰分布,出现大粒度峰和小粒度峰,其中大粒度峰峰值位置对应的频率分布较大,且随着分级转速的增加,粒度分布向粒径减小的方向移动。

2.3 淀粉粉体松装密度、振实密度及压缩度

气流粉碎不同分级转速条件下马铃薯淀粉松装密度、振实密度及压缩度结果如表 2 所示。可以看出,原马铃薯淀粉松装密度和振实密度较大,气流粉碎后,粉体松装密度和振实密度均降低,且随着分级转速增大而逐渐减小。粉体压缩度随着分级转速的增大而增大,而粉体压缩度能够反映粉体流动能力,说明粉碎处理对粉体流动性影响较大。

表 2 气流粉碎不同分级转速条件下马铃薯淀粉松装密度、振实密度及压缩度

分级转速/(r·min ⁻¹)	松装密度/(g·mL ⁻¹)	振实密度/(g·mL ⁻¹)	压缩度/%
0	$0.68\pm0.03^{\text{a}}$	$0.93\pm0.01^{\text{a}}$	$36.76\pm0.04^{\text{f}}$
1800	$0.65\pm0.02^{\text{b}}$	$0.90\pm0.03^{\text{b}}$	$38.46\pm0.01^{\text{e}}$
2400	$0.63\pm0.05^{\text{c}}$	$0.88\pm0.04^{\text{c}}$	$39.68\pm0.05^{\text{d}}$
3000	$0.61\pm0.02^{\text{d}}$	$0.86\pm0.04^{\text{d}}$	$40.98\pm0.03^{\text{c}}$
3600	$0.57\pm0.01^{\text{e}}$	$0.81\pm0.02^{\text{e}}$	$42.11\pm0.02^{\text{b}}$
3900	$0.51\pm0.02^{\text{f}}$	$0.73\pm0.02^{\text{f}}$	$43.13\pm0.01^{\text{a}}$

注:同列中 a-f 肩字母不同表示差异显著($p<0.05$)。

2.4 淀粉晶体结构

气流粉碎前后马铃薯淀粉晶体结构及相对结晶度的变化如图 3 和表 3 所示。从图 3 可以看出,马铃薯原淀粉呈典型的“B”型结构,分别在衍射角 2θ 为 5.5° 、 14.8° 、 17° 、 19.3° 、 22° 和 24° 位置观察到明显特征峰。气流粉碎处理后,淀粉衍射峰保持“B”型晶体结构不变,没有出现新的特征峰,但衍射强度发生明显降低。由表 3 可以看出,马铃薯淀粉结晶度随着粉碎分级转速的增加而减小,由原淀粉的 54.79% 降低至 4.93%。从衍射图谱和结晶度的变化可知,马铃薯淀粉在粉碎过程中遭受强烈机械力作用,引起分子内部局部晶格畸变错位和晶面扭转滑移,淀粉内部结晶结构由多晶态转向无定形态发生转变,非晶区增加^[25],从而导致结晶度的变化。

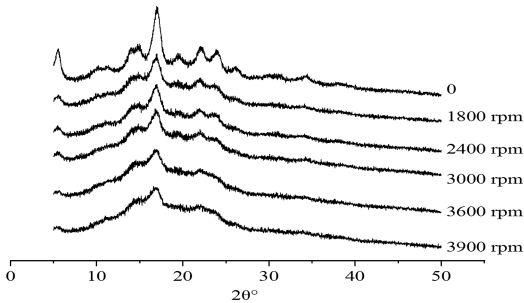


图 3 马铃薯淀粉 X 射线衍射图谱
Figure 3 XRD curves of the native and jet-milled potato starch

表 3 马铃薯淀粉的相对结晶度 (%)

Table 3 Relative crystallinity of the untreated and micronized potato starch						
分级转速/($r\cdot\min^{-1}$)	0	1800	2400	3000	3600	3900
结晶度/%	54.78 ± 0.39^a	30.49 ± 0.62^b	28.53 ± 0.47^b	7.36 ± 0.83^c	5.57 ± 0.41^d	4.93 ± 0.75^d

2.5 淀粉糊化特性

气流粉碎不同分级转速条件下马铃薯淀粉糊化特征参数如表 4 所示。可以看出,原马铃薯淀粉各特征黏度值较大,气流粉碎处理后,不同微细化淀粉的 PV、TV、FV、BD 和 SB 值随着分级转速的增加而明显下降。其中在 3900r/min 时,其 PV、TV、FV 值分别为 3942cP、2140cP 和 2387cP,较原淀粉分别降低了 62.6%、45.7% 和 52.9%;BD 和 SB 值为 1802cP 和 247cP,较原淀粉分别降低了 72.7% 和 78.1%。说明气流粉碎对马铃薯淀粉糊化特性影响显著,使得淀粉糊的黏度明显下降。衰减黏度(BD)代表热糊稳定性,回生黏度(SB)代表冷糊稳定性,其数值的降低说明粉碎后淀粉糊的冷、热糊稳定性优于原淀粉。此糊化特性的变化与 Wang 等^[19]气流粉碎玉米淀粉和 Bustos 等^[22]球磨研磨木薯淀粉的结果一致。

表 4 气流粉碎不同分级转速条件下马铃薯淀粉糊化特征参数

Table 4 Viscosity measurements of potato starch samples treated by jet milling at different classifier speeds					
分级转速/($r\cdot\min^{-1}$)	PV/cP	TV/cP	FV/cP	BD/cP	SB/cP
0	10545 ± 12^a	3940 ± 11^a	5070 ± 9^a	6605 ± 18^a	1130 ± 15^a
1800	10157 ± 8^b	3813 ± 14^b	4654 ± 11^b	6344 ± 12^b	841 ± 12^b
2400	9384 ± 14^c	3469 ± 8^c	4195 ± 6^c	5915 ± 11^c	726 ± 14^c
3000	6979 ± 18^d	2847 ± 7^d	3499 ± 12^d	4132 ± 14^d	652 ± 11^d
3600	5189 ± 10^e	2207 ± 13^e	2660 ± 16^e	2982 ± 13^e	453 ± 9^e
3900	3942 ± 9^f	2140 ± 16^f	2387 ± 11^f	1802 ± 8^f	247 ± 13^f

注:峰值黏度:PV,谷值黏度:TV,最终黏度:FV,BD=PV-TV;衰减黏度,SB=FV-TV;回生黏度;同列中 a-f 肩字母不同表示差异显著($p<0.05$)。

2.6 淀粉热力学特性

气流粉碎不同分级转速条件下马铃薯淀粉热力学特征参数如表 5 所示。可以看出,原马铃薯淀粉糊化温度较高,热焓值较大。气流粉碎处理后,各温度特征参数值随分级转速的增加而降低,在 3900r/min 时,微细化淀粉糊的起始温度、糊化温度降低至 53.77℃和 60.56℃,热焓值较原淀粉降低 51.2%。气流粉碎处理改变了马铃薯淀粉的糊化温度和热焓值,其原因是由于淀粉粒度减小,颗粒晶体结构受到破坏,淀粉易糊化且所需能量下降。

表 5 气流粉碎不同分级转速条件下马铃薯淀粉热力学特征参数

Table 5 Thermal measurements of potato starch samples treated by jet milling at different classifier speeds				
分级转速/(r·min ⁻¹)	T _o /℃	T _p /℃	T _c /℃	ΔH/(J·g ⁻¹)
0	63.04±0.13 ^a	67.45±0.05 ^a	84.75±0.09 ^a	19.19±0.03 ^a
1800	59.01±0.04 ^b	64.85±0.13 ^b	79.86±0.14 ^b	16.09±0.10 ^b
2400	56.83±0.06 ^c	64.14±0.06 ^b	77.51±0.03 ^c	14.50±0.07 ^c
3000	55.28±0.08 ^d	63.88±0.08 ^c	75.46±0.07 ^d	13.44±0.05 ^d
3600	54.18±0.02 ^e	60.67±0.12 ^d	73.76±0.05 ^e	10.03±0.09 ^e
3900	53.77±0.11 ^e	60.56±0.05 ^e	72.32±0.15 ^f	9.36±0.12 ^f

注:T_o为起始温度,T_p为峰值温度,T_c为终止温度,ΔH为热焓值;同列中 a-f 肩字母不同表示差异显著(*p*<0.05)。

2.7 淀粉溶解度和膨胀度

气流粉碎不同分级转速条件下马铃薯淀粉的溶解度和膨胀度如图 4、图 5 所示。由图 4 可以看出,原马铃薯淀粉在低温(20℃)条件下溶解度较低,属冷水不溶性淀粉,随着溶液温度升高,原淀粉溶解度逐渐增大。气流粉碎处理后,不同微细化马铃薯淀粉的溶解度均随分级转速的升高而增大,说明随着粉体粒度的减小,淀粉溶解度增大,其低温条件下(20℃)溶解度增加 3.1 倍。由图 5 可以看出,随着温度升高,淀粉膨胀度逐渐加大,在同一温度条件下,膨胀度随着分级转速的增加而增大,其原因是粉碎使淀粉颗粒晶体结构受到破坏,水分子更易于进入淀粉颗粒内部的无定形区,从而促进淀粉润胀^[23]。此结果与刘天一等^[6]玉米淀粉经球磨粉碎后淀粉颗粒溶解度和膨胀度变化趋势一致。

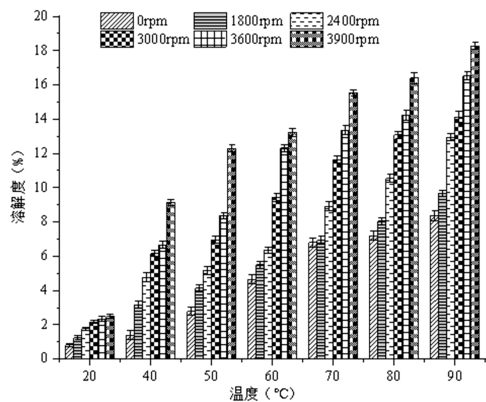


图 4 气流粉碎不同分级转速条件下马铃薯淀粉的溶解度

Figure 4 Solubility of potato starch samples treated by jet milling at different classifier speeds

2.8 淀粉冻融稳定性

气流粉碎不同分级转速条件下马铃薯淀粉的冻融稳定性如图 6 所示。析水率为冻融稳定性的判定指标,析水率与冻融稳定性成负相关,析水率越小,冻融稳定性越好^[24]。可以看出,原马铃薯淀粉的析水率较低,冻融稳定性较好,气流粉碎后,随着分级转速的增加析水率增大,冻融稳定性降低,说明气流粉碎

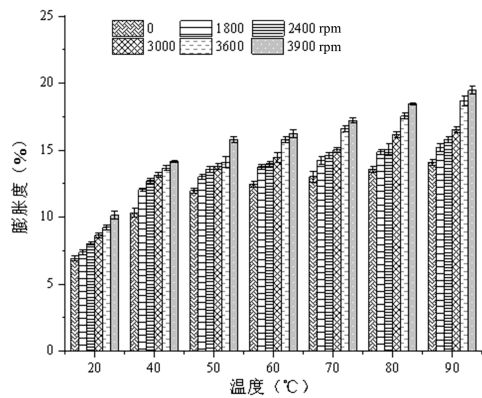


图 5 气流粉碎不同分级转速条件下马铃薯淀粉的膨胀度

Figure 5 Swelling of potato starch samples treated by jet milling at different classifier speeds

作用使马铃薯淀粉的冻融稳定性下降。其原因是粉碎处理破坏淀粉晶体结构,分子链发生断裂,分子间氢键作用减弱,水分子易析出,此结果与 Huang 等^[21]球磨粉碎的微细化玉米淀粉的结果一致。

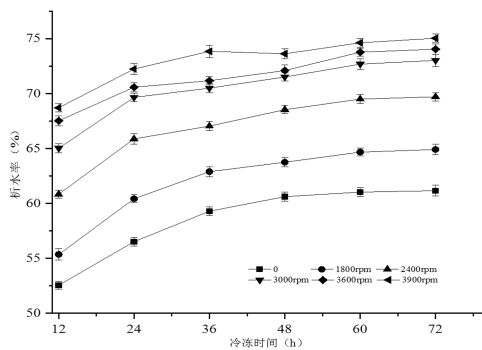


图 6 气流粉碎不同分级转速条件下马铃薯淀粉的冻融稳定性

Figure 6 Freeze-thaw stability of potato starch samples treated by jet milling at different classifier speeds

3 结论

将气流超微粉碎技术用于马铃薯淀粉的微细化处理,随着分级转速的增加,淀粉颗粒大小呈现先减小后增大趋势,在 3000r/min 条件下微细化淀粉颗粒最小, D_{50} 值为 $13.38\mu\text{m}$,淀粉颗粒比表面积增大,粒度分布不均且向粒径减小的方向移动,粉体松装密度和振实密度降低,压缩度增大,粉体的流动性变差;粉碎没有改变淀粉的晶体结构,但结晶度由原淀粉的 54.79%降低至 4.93%;颗粒表面变的粗糙,有棱角和裂纹,颗粒形状不规则;气流粉碎降低了马铃薯淀粉糊的衰减黏度和回生黏度,淀粉的热糊及冷糊稳定性较好;降低了淀粉的糊化温度和热吸收焓,提高了淀粉在低温条件下的溶解性和膨胀度,使淀粉的冻融稳定性变差;不同分级转速条件获得的微细化淀粉其颗粒形貌和理化特性存在差异。

参考文献:

[1] 孙彦明. 淀粉微细化处理对其糊化特性研究. 北京:中国农业大学硕士学位论文, 2005.
[2] 李海普, 李彬, 欧阳明, 等. 食品科学, 2010, 31(11):273~277.
[3] 刘微. OSA 淀粉的结构特征与乳化性质的相关性分析. 无锡:江南大学博士学位论文, 2019.
[4] 陈金凤, 汪月, 马云翔, 等. 食品与发酵工业, 2020, 46(5):121~127.
[5] 刘珂. 热处理、交联反应对马铃薯淀粉性质的对比研究. 广州:华南理工大学硕士学位论文, 2019.
[6] 刘天一. 笼状玉米淀粉的制备及结构与性能研究. 哈尔滨:哈尔滨工业大学博士学位论文, 2014.

- [7] 王立东, 侯越, 刘诗琳, 等. 食品科学, 2020, 41(1):86~93.
- [8] 李凤生, 刘宏英, 陈静, 等. 北京: 科学出版社, 2010.
- [9] 曹绪章. 中国粉体技术, 2015, 21(3):93~95, 99.
- [10] Protonotariou S, Drakos A, Evageliou V, et al. J Food Eng, 2014, 134:24~29.
- [11] Vouris D G, Lazaridou A, Mandala I G, et al. Lwt~Food Sci Technol, 2018, 92:540~547.
- [12] Lazaridou A, Vouris D G, Zoumpoulakis P, et al. Food Hydrocolloid, 2018, 80:111~121.
- [13] Antonios D, Georgios K, Vasiliki E. Food Chem, 2017, 215:326~332.
- [14] Muttakin S, Kim M S, Lee D N. Food Chem, 2015, 187:106~111.
- [15] Lee Y T, Shim M J, Goh H K, Mok C, Puligundla P. Food Chem, 2019, 282:164~168..
- [16] 王立东, 肖志刚. 农业工程学报, 2016, 32(24):276~281.
- [17] 王立东, 寇芳, 刘婷婷. 高分子通报, 2017, 1:104~111.
- [18] 王立东, 肖志刚, 齐鹏志. 东北农业大学学报, 2017, 48(12):221~228.
- [19] Wang L, Wang P, Saleh A S M, et al. Starch Starke, 2018, 70(11):659~665..
- [20] Shah R B, Tawakkul M A, Khan M A. AAPS PharmSciTech, 2008, 9(1):250~258.
- [21] Huang Z Q, Lu J P, Li X H, et al. Carbohydr Polym, 2007, 68(1):128~135.
- [22] Martínez~Bustos F, López~Soto M, San Martín~Martínez E, et al. J Food Eng, 2005, 78(4):265~274.
- [23] 王梦嘉, 叶晓汀, 吴金鸿, 等. 粮油食品科技, 2016, 26(5):19~23.
- [24] Fredrisson H, Sliverio J, Andersson R, et al. Carbohydr Polym, 1998, 35(3~4):119~134.
- [25] 牛凯. 碾轧对淀粉结构、性质的影响及其机械力化学效应的研究. 泰安: 山东农业大学硕士学位论文, 2017.

Influence of Jet Milling on Granule Morphology and Physicochemical Properties of Potato Starch

YANG Ying-ying¹, HOU Yue¹, WANG Li-dong^{1,2, 3}, LANG Shuang-jing^{1,4*}

(1. College of Food Science, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China ;

2. Department of National Coarse Cereals Engineering Research Center, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China ; 3. Key laboratory of Comprehensive Utilization of Grain By-Products of Heilongjiang Provincial Department of Education, Daqing 163319, China ;

4. Heilongjiang Province Cultivating Collaborative Innovation Center for The Beidahuang Modern Agricultural Industry Technology, Daqing 163319, China)

Abstract: The granule morphology and its physicochemical properties of potato starch were studied after superfine grinding with a fluidized bed jet mill. The granule morphology, particle size and distribution, powder density and compressibility, pasting and thermal properties, solubility, swelling power and freeze-thaw stability were characterized using granularity analysis, scanning electron microscopy (SEM), X-ray diffraction (XRD), rapid viscosity analyzer (RVA) and differential scanning calorimetry (DSC). It was found that through the jet milling superfine grinding processing, the shape of potato starch granules changed from smooth polyhedron to rough, angles and cracks. The particle shape becomes irregular, the particle size decreases and the size distribution is uneven. Micronized powders prepared at $3000\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ had an average particle from 39.75 to $13.38\mu\text{m}$. The bulk density and tap density decreased with increased classifier frequency, and the compressibility of all the starch samples decreased. Jet milling did not change the crystal structure of the starch, but the crystallinity decreased. Jet milling reduces the attenuating viscosity and recovering viscosity of starch paste, the hot and cold paste stability of starch are better. And the gelatinization temperature, heat absorption enthalpy and freeze-thaw stability of starch are reduced, but the solubility and expansion degree of starch are improved. This study provided theoretical basis and technical support for improving the content and processing technology of potato starch, respectively.

Key words: Jet milling; Potato starch; Granule morphology; Physicochemical properties