

韧化处理对甘薯淀粉分子结构的影响

李光磊,陈梦雪,曾洁,李刚,孙俊良
(河南科技学院食品学院,河南新乡 453003)

摘要:采用颗粒形貌观察、红外光谱扫描、淀粉粒度分析等方法研究了不同韧化时间、韧化温度和含水量等韧化作用条件对甘薯淀粉分子结构的影响。结果表明,韧化处理后的甘薯淀粉颗粒边缘有明显破损现象,颗粒表面结构发生了改变。不同韧化温度处理后,甘薯淀粉颗粒中位径、小颗粒淀粉体积分数和红外结晶指数随着韧化处理温度的升高而显著增加,处理温度 50 ℃ 时,中位径增加了 0.1 μm,红外结晶指数由 1.44 增加到了 1.75。不同韧化时间处理后,淀粉颗粒中位径随着韧化时间的延长而略有增加,红外结晶指数相比原淀粉增加了 26.39%。不同水分含量韧化处理后,淀粉颗粒中位径没有显著变化,水分含量在 85% 时红外结晶指数由原来的 1.44 升高为 1.79。韧化处理导致甘薯淀粉颗粒平均粒径、结晶度增加,这对增加食品中慢消化淀粉比例,提高食品营养品质具有重要的意义。

关键词:甘薯淀粉,韧化处理,淀粉分子结构

Effect of annealing treatment on molecular structure of sweet potato starch

LI Guang-lei, CHEN Meng-xue, ZENG Jie, LI Gang, SUN Jun-liang

(Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, China)

Abstract: Effects of annealing with different annealed time, annealed temperature and moisture content on the starch molecular structure of sweet potato starch were investigated by modern instrument analytical methods including particle morphology observation, starch size distribution analysis, and infrared spectrum scanning. The results showed that the granular shape of sweet potato starch was slightly deformed and there were obviously breakage on the surface of the starch granules after the annealing treatment. The inversed particle size (D50), the volume fraction of small starch particles and the infrared crystalline indices of sweet potato starch were increased by annealing with the increasing of temprature. The infrared crystalline indices was increased from 1.44 to 1.75, and D50 was increased by 0.1 μm when the annealed temperature was 50 ℃. By annealing with different times, the infrared crystalline indices was increased by 26.39% compared with the native sweet potato starch and D50 had a slightly increasing. Annealing with different moisture content had no effect on the inversed starch particle size, and the infrared crystalline indices was increased from 1.44 to 1.79 when the moisture content was 85%. Annealing leads to elevation of the average particle size and crystallinity of sweet potato starch. It is important for making tailor-made carbohydrate foods with rich slowly digestible starch (SDS), and improving the nutritional property of food.

Key words: sweet potato starch; annealing; starch molecular structure

中图分类号: TS236.9

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2016)17-0106-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2016.17.012

我国是世界上最大的甘薯生产国,2013 年我国甘薯种植面积为 352 万 hm^2 , 占世界甘薯种植面积的 42.72%, 我国甘薯总产量为 7909 万 t, 占世界甘薯总产量的 71.41% (FAO)。我国甘薯产量在我国位居第 4, 仅次于水稻、小麦和玉米^[1]。随着科技的进步和研究的深入, 甘薯淀粉的应用取得了很大进步, 甘薯淀粉经过一定处理后可以加工成药片黏合剂^[2], 研究发现以淀粉酶或海藻糖合成酶对甘薯淀粉进行适当的处理可制得麦芽糖或海藻糖^[3]等。

韧化过程通常是指在过量水分 (>65%) 或平衡

水分 (40%~55%), 温度高于玻璃化温度 (T_g) 低于糊化起始温度 (T_0) 的条件下 (40~55 ℃) 对淀粉进行的热处理过程^[4]。也有研究发现当对玉米淀粉进行高压处理时, 可以在 25 ℃ 下对其进行韧化处理^[5]。韧化是改善淀粉加工性能、改变淀粉基品质特性的一种淀粉物理变性方式, 是淀粉颗粒在水热作用下淀粉内部结构物理重组的过程。韧化处理只涉及水和热, 没有化学试剂参与, 而且淀粉性质改变较为明显。淀粉在韧化处理时虽然水分充足但温度低于原淀粉的糊化温度, 所以理论上这种方式处理淀粉不

收稿日期: 2016-03-18

作者简介: 李光磊 (1970-), 男, 博士, 副教授, 硕士生导师, 研究方向: 淀粉科学与技术, E-mail: lg170_hist@163.com。

基金项目: 河南省高校科技创新团队支持计划 (13IRTSTHN006); 河南科技学院自然科学重大培育项目 (2013ZD04)。

会导致淀粉糊化^[6]。目前国家大力提倡绿色食品加工,因此糊化处理是一种行之有效的淀粉改良方法,值得大力推广。淀粉的糊化处理作为淀粉热处理的一部分,也是淀粉非化学改性研究的一个重要领域。德国研究者 Sair 在 20 世纪 60 年代对糊化处理进行了研究。随之,国外出现大量有关糊化处理的文献报道,包括小麦淀粉、玉米淀粉、大麦淀粉^[7]、马铃薯淀粉^[8]等,结果表明,糊化处理对淀粉颗粒表面结构没有太大的影响,经糊化处理过的淀粉在光学和电子显微镜下观察,与原淀粉形态基本保持一致。但是,糊化处理能改变淀粉纳米颗粒的形貌、晶体的组成方式和大小^[9]。研究发现糊化处理可以使淀粉内部结构重组,提高了淀粉颗粒的结晶性^[10-13],这为通过热处理提高淀粉中慢消化淀粉含量、提高食品营养品质奠定基础。

本文以甘薯淀粉为原料,以糊化处理温度、处理时间和水分含量为实验因素,研究糊化处理对甘薯淀粉颗粒形貌、粒度分布以及红外结晶特性等分子结构的影响,旨在明确糊化处理对甘薯淀粉分子结构的影响规律,以期对糊化处理在淀粉改性中的应用起指导作用。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

甘薯淀粉 食品级,上海塞翁福农业发展有限公司;实验中所用试剂均为分析纯。

Quanta 200 扫描电子显微镜 美国 FEI 公司; BT-9300H 激光粒度分布仪 丹东百特仪器有限公司;BRUKER TENSOR 27 红外光谱仪 德国布鲁克公司;SHA-C 水浴恒温振荡器 金坛市杰瑞尔电器有限公司;DHA-9140A 型电热恒温鼓风干燥箱 上海三发科学仪器有限公司;Model PHS-3C PH Meter 上海盛磁仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 甘薯淀粉的糊化处理 称取一定量的淀粉样品置于锥形瓶中,加入适量蒸馏水,调整水分含量至设计水平,震荡混匀。随后将锥形瓶置于震荡水浴锅中,按实验设计的时间和温度进行糊化处理,震荡速度 100 r/min。待糊化处理完毕后于 3000 r/min 下离心 10 min,弃去上清液,将沉淀淀粉用蒸馏水清洗 2 次,置于鼓风干燥箱内 40 °C 烘干,过筛,收集样品。

1.2.2 淀粉颗粒形貌观察 将糊化处理后的淀粉样品进行干燥处理,在红外灯下用双面胶将样品固定在样品台上,然后喷金(厚约 10 nm),测试时将样品置于扫描电子显微镜中,加速电压为 20 kv,3000 倍下观察淀粉的颗粒形态。

1.2.3 淀粉颗粒粒度分布测定 称取一定量的淀粉置于激光粒度分析仪的样品池中,以蒸馏水为分散剂,开启超声波振荡,使淀粉颗粒分散均匀。当遮光率达到 15%~18% 时,测定粒度范围及分布,实验平行测定三次,取平均值。淀粉颗粒折射率为 1.53,分散剂折射率为 1.33。

1.2.4 淀粉红外扫描图谱分析 红外扫描图谱采用

KBr 压片法,具体过程为:称取约 0.008 g 的样品,在红外灯的照射下,置于玛瑙研钵中研磨直至研磨均匀为止,再与 0.8 g 左右干燥的 KBr 粉末充分混合,继续研磨均匀。将研磨好的淀粉样品和 KBr 的混合物粉末倒在硫酸纸上灌注于压模中,抽真空,缓慢除去压力,放入到样品架上,置于红外谱仪内全波段扫描,绘出红外光谱图。

由于淀粉是一种多晶高聚物,在红外光谱图上具有特定的结晶敏感吸收带,其强度与结晶度有关,结晶度增加,结晶区强度增大,结晶度下降,无定形区强度增大。因此利用晶带可以测定结晶聚合物的结晶度。淀粉红外结晶指数^[14]计算公式为:

$$N-O'KI = \frac{\log(T_{1158}^{-1})}{\log(T_{2931}^{-1})}$$

式中: N-O'KI 表示红外结晶指数; T_{1158} 表示 1158 cm^{-1} 处 C-O-C 伸缩振动吸收峰的透光率; T_{2931} 表示 2931 cm^{-1} 处 C-CH₂-C 伸缩振动吸收峰的透光率。

1.2.5 数据处理及分析 实验数据采用 PASW Statistics18 统计分析软件进行统计处理,采用 Originpro8.1 对数据作图。

2 结果与讨论

2.1 糊化处理对甘薯淀粉颗粒形貌的影响

以含水量为 65% (wt%, 下同)、时间为 24 h、温度为 45 °C 为固定参数,经过糊化处理考察对甘薯淀粉颗粒形貌的影响,如图 1 所示。

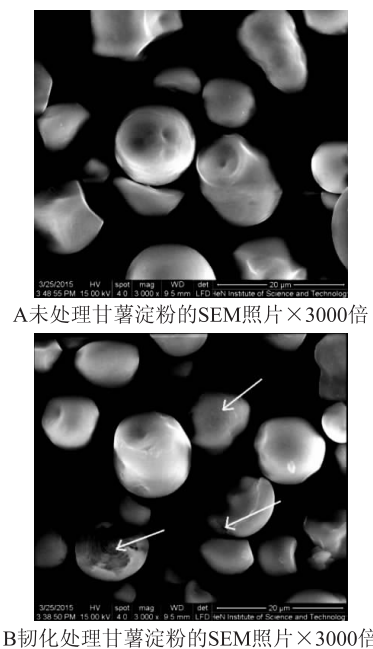


图 1 糊化处理对甘薯淀粉颗粒形貌的影响
Fig.1 Effect of annealing treatment on sweet potato starch granule surface

甘薯原淀粉颗粒形态呈圆形、椭圆形或多角形,此外还有多边形等。淀粉颗粒表面光滑,颗粒表面孔径小,无裂纹,颗粒大小不一并且差别较大,大粒呈卵形且有的带有凹陷或皱纹,小粒圆形。糊化处理后的甘薯淀粉颗粒边缘有明显的破损现象,淀粉

表1 不同初化处理温度对甘薯淀粉粒度分布特征的影响

Table 1 Effect of annealing treatment temperature on the granular size distribution of sweet potato starch

样品	粒径范围(μm)	中位径(μm)	体积分数(%)		
			小颗粒 ($< 10 \mu\text{m}$)	中等颗粒 ($10\sim 30 \mu\text{m}$)	大颗粒 ($> 30 \mu\text{m}$)
甘薯淀粉	0.402~40.15	14.79 \pm 0.02 ^a	23.82	71.87	4.31
35 $^{\circ}\text{C}$	0.402~40.15	14.85 \pm 0.02 ^b	24.45	71.03	4.52
40 $^{\circ}\text{C}$	0.402~40.15	14.85 \pm 0.03 ^b	24.51	71.27	4.22
45 $^{\circ}\text{C}$	0.402~40.15	14.89 \pm 0.01 ^c	24.58	71.13	4.29
50 $^{\circ}\text{C}$	0.402~40.15	14.89 \pm 0.02 ^c	24.62	70.81	4.57
55 $^{\circ}\text{C}$	0.402~40.15	14.86 \pm 0.01 ^{bc}	24.29	70.62	4.69

注:同列数据,字母相同表示两者差异不显著($p > 0.05$),不同表示差异显著($p < 0.05$),表3~表6同。

表2 不同初化处理时间对甘薯淀粉粒度分布特征的影响

Table 2 Effect of annealing treatment time on the granular size distribution of sweet potato starch

样品	粒径范围(μm)	中位径(μm)	体积分数(%)		
			小颗粒 ($< 10 \mu\text{m}$)	中等颗粒 ($10\sim 30 \mu\text{m}$)	大颗粒 ($> 30 \mu\text{m}$)
甘薯淀粉	0.402~40.15	14.79 \pm 0.02 ^a	23.82	71.87	4.31
12 h	0.402~40.15	14.88 \pm 0.02 ^b	24.45	71.08	4.47
24 h	0.402~40.15	14.88 \pm 0.01 ^b	24.58	71.13	4.29
36 h	0.402~40.15	14.89 \pm 0.01 ^b	24.62	71.00	4.38
48 h	0.402~40.15	14.89 \pm 0.02 ^b	24.62	70.92	4.46
60 h	0.402~40.15	14.90 \pm 0.02 ^b	24.63	70.76	4.61

颗粒表面的凹坑增多,说明初化处理时某些内源性淀粉酶利用了附着在甘薯淀粉颗粒表面的直链淀粉分子,导致甘薯淀粉的颗粒表面结构发生了改变。关于初化处理对淀粉颗粒形貌的影响不同研究者得出的结论尚有争议,Jayakody 等^[4]用扫描电子显微镜(SEM)观察初化处理小麦、燕麦、扁豆、大麦和马铃薯淀粉后,淀粉颗粒的大小和形状与原淀粉形态基本一致,而 Thais 等^[14]对普通玉米和蜡质玉米的研究,初化处理后的玉米淀粉颗粒表面孔隙的数量和孔径增加,普通玉米淀粉颗粒形貌变化比较明显。

2.2 初化处理对甘薯淀粉颗粒粒度分布的影响

2.2.1 不同初化处理温度对甘薯淀粉颗粒粒度分布的影响 以水分含量为 65%,处理时间为 24 h 为固定参数,设计处理温度分别 35、40、45、50、55 $^{\circ}\text{C}$ 五个水平,研究不同的初化处理温度对淀粉颗粒分布的影响,如表 1 所示。

由表 1 可以看出,甘薯淀粉中位径 D50 的测定值平均为 14.79 μm ,粒径小于 10 μm 的小颗粒淀粉占总颗粒的 23.82%。甘薯淀粉经不同初化温度处理后与原淀粉比较,淀粉的颗粒粒径范围没有变化,中位径和小颗粒淀粉体积分数随着初化处理温度的升高而明显增加,到处理温度为 50 $^{\circ}\text{C}$ 时,中位径增加了 0.1 μm ,小颗粒淀粉体积分数提高了 3.36%。初化处理过程中随着初化温度的升高,淀粉颗粒发生轻微的可逆润胀,虽然干燥后恢复原状,但淀粉颗粒中与无定形部分的极性基团相结合的水分很难被去除掉,造成甘薯淀粉颗粒中位径增加,同时初化处理过程中淀粉内部结构得以重组,造成淀粉颗粒发

生变化,小颗粒淀粉体积分数增加。

2.2.2 不同初化处理时间对甘薯淀粉颗粒粒度分布的影响 以水分含量为 65%,处理温度 45 $^{\circ}\text{C}$ 为固定参数,设计处理时间分别 12、24、36、48、60 h 五个水平,研究不同的初化处理时间对淀粉颗粒分布的影响,如表 2 所示。

由表 2 可知,随着初化处理时间的延长,甘薯淀粉的粒径范围都在 0.402~40.15 μm 之间,中位径虽然也随着初化时间的延长而增加,但增加幅度不显著,从初化时间 12 h 到 60 h,中位径只增加了 0.02 μm 。小颗粒淀粉体积分数略有增加。

2.2.3 不同含水量初化处理后对甘薯淀粉颗粒粒度分布的影响 以初化处理温度为 45 $^{\circ}\text{C}$,处理时间为 24 h 为固定参数,水分含量设计分别为 45%、55%、65%、75%、85% 五个水平,研究不同的水分含量对淀粉颗粒分布的影响,如表 3 所示。

由表 3 可以看出,通过不同含水量的初化处理后,含水量从 45% 到 75% 时甘薯淀粉的中位径基本没有什么变化,说明水分含量对甘薯淀粉初化处理后的平均粒径基本没有影响。含水量达到 85% 时,由于淀粉分子链流动性增强,造成淀粉颗粒表面塌陷和边缘破损现象严重,因此出现平均粒径减小的现象。

2.3 初化处理对甘薯淀粉红外吸收光谱的影响

2.3.1 不同初化温度处理对甘薯淀粉红外光谱的影响 以初化处理的水分含量为 65%,处理时间为 24 h 为固定参数,设计处理温度分别为 35、40、45、50、55 $^{\circ}\text{C}$ 五个水平,研究不同的处理温度对淀粉红外光谱的影响,如图 2,表 4 所示。

表3 不同含水量初化处理对甘薯淀粉粒度分布特征的影响

Table 3 Effect of sample moisture content on the granular size distribution of sweet potato starch

样品	粒径范围(μm)	中位径(μm)	体积分数(%)		
			小颗粒 (< 10 μm)	中等颗粒 (10~30 μm)	大颗粒 (> 30 μm)
甘薯淀粉	0.402~40.15	14.79 ± 0.02 ^a	23.82	71.87	4.31
45%	0.402~40.15	14.88 ± 0.01 ^b	24.41	71.18	4.41
55%	0.402~40.15	14.88 ± 0.02 ^b	24.50	71.23	4.27
65%	0.402~40.15	14.89 ± 0.01 ^b	24.58	71.13	4.29
75%	0.402~40.15	14.89 ± 0.01 ^b	24.61	71.15	4.24
85%	0.402~40.15	14.82 ± 0.02 ^c	24.54	70.98	4.48

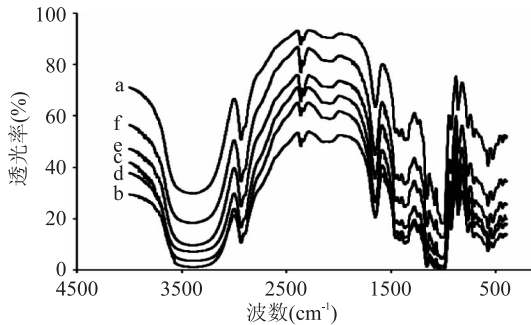


图2 不同初化处理温度对甘薯淀粉红外吸收图谱的影响

Fig.2 Effect of annealing treatment temperature on the FTIR spectrum of sweet potato starch

注:a-原淀粉;b-35 °C;c-40 °C;d-45 °C;e-50 °C;f-55 °C。

表4 不同初化处理温度对甘薯淀粉结晶指数的影响

Table 4 Effect of annealing treatment temperature on the crystallinity index of sweet potato starch

样品	T _{λ1158} (%)	T _{λ2931} (%)	N-O'KI
原淀粉	37.77	50.83	1.44 ± 0.02 ^a
35 °C	3.35	11.60	1.58 ± 0.01 ^b
40 °C	2.40	10.60	1.66 ± 0.01 ^c
45 °C	5.20	17.60	1.70 ± 0.02 ^d
50 °C	8.72	24.81	1.75 ± 0.02 ^e
55 °C	17.19	34.59	1.66 ± 0.01 ^e

甘薯淀粉的红外吸收光谱可以划分成4个主要的区域:800 cm⁻¹以下(葡萄糖吡喃糖环骨架模式振动区域),800~1500 cm⁻¹(指纹区),2800~3000 cm⁻¹(C-H伸缩区域),和3000~3600 cm⁻¹(O-H伸缩区域)。因此3405 cm⁻¹附近为淀粉分子中多羟基的O-H键的伸缩振动峰,2930 cm⁻¹附近的峰为亚甲基-CH₂的伸缩振动峰,1097 cm⁻¹附近为C-O的伸缩振动峰。由图2可知,与甘薯原淀粉相比,不同温度初化处理后的红外光谱基本没有发生变化,没有新的吸收峰产生。说明甘薯淀粉经不同温度初处理后并未破坏原淀粉的基本结构。由表4可以看出,随着初化处理温度的升高,淀粉红外结晶指数也随之增加,到50 °C时红外结晶指数由1.44增加到了1.75。经过不同温度初处理后甘薯淀粉颗粒内部支链淀粉的无序末端更紧密的纠缠到一起,加强了淀粉颗粒内部无定形区和结晶区淀粉分子链之间的相互作用,使无定形区的有序性增加,结晶指数因此

升高,且随着初化温度越高,淀粉颗粒中支链淀粉的无序末端排列紧密性越高。初化处理温度达到55 °C时,可能由于部分易糊化淀粉颗粒在初化处理过程中溶胀,因此淀粉结晶性反而下降。

2.3.2 不同初化时间处理对甘薯淀粉红外光谱的影响 以水分含量为65%,处理温度为45 °C,设计处理时间分别为12、24、36、48、60 h五个水平,研究不同的处理时间对淀粉红外图谱的影响,如图3,表5所示。

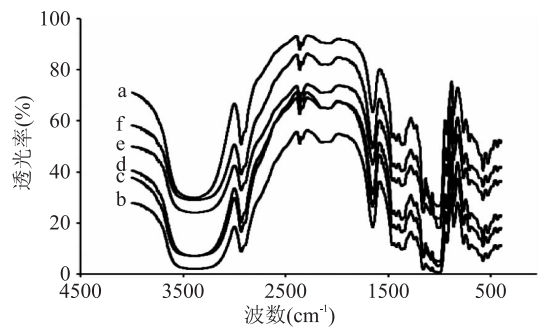


图3 不同初化处理时间对甘薯淀粉红外吸收图谱的影响

Fig.3 Effect of annealing treatment time on the FTIR spectrum of sweet potato starch

注:a-原淀粉;b-12 h;c-24 h;d-36 h;e-48 h;f-60 h。

表5 不同初化处理时间对甘薯淀粉结晶指数的影响

Table 5 Effect of annealing treatment time on the crystallinity index of sweet potato starch

样品	T _{λ1158} (%)	T _{λ2931} (%)	N-O'KI
原淀粉	37.77	50.83	1.44 ± 0.02 ^a
12 h	37.77	50.83	1.59 ± 0.02 ^b
24 h	1.88	8.25	1.69 ± 0.01 ^c
36 h	5.10	17.26	1.76 ± 0.01 ^d
48 h	6.55	21.31	1.80 ± 0.02 ^e
60 h	18.19	38.71	1.82 ± 0.02 ^e

随着初化处理时间的延长,淀粉红外结晶指数随之增加,初化处理60 h时,红外结晶指数相比原淀粉增加了26.39%。通过初化处理淀粉内部结构得以重组,随着初化时间的延长,淀粉颗粒的晶体结构的有序化程度逐渐增加,结晶性显著增加。

2.3.3 不同含水量初化处理后对甘薯淀粉红外光谱的影响 以初化处理温度为45 °C,处理时间为24 h,设计水分含量分别为45%、55%、65%、75%、85%五

个水平,研究不同的水分含量对淀粉红外光谱的影响,如图4,表6所示。

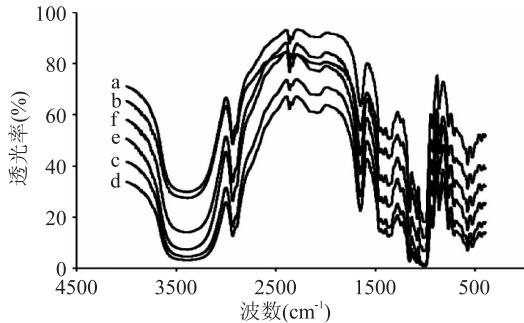


图4 不同含水量初化处理对甘薯淀粉红外吸收图谱的影响

Fig.4 Effect of sample moisture content on the FTIR spectrum of sweet potato starch

注:a-原淀粉;b-45%;c-55%;d-65%;e-75%;f-85%。

表6 不同含水量初化处理对甘薯淀粉结晶指数的影响

Table 6 Effect of sample moisture content on the crystallinity index of sweet potato starch

样品	$T_{\lambda 1158}(\%)$	$T_{\lambda 2931}(\%)$	N-O'KI
原淀粉	37.77	50.83	1.44 ± 0.02^a
45%	24.00	40.49	1.57 ± 0.01^b
55%	4.76	15.47	1.63 ± 0.01^c
65%	2.80	12.40	1.71 ± 0.02^d
75%	8.16	24.16	1.76 ± 0.01^e
85%	12.85	31.86	1.79 ± 0.02^f

甘薯淀粉经不同含水量初化处理后没有出现新的吸收峰或某个特征峰的消失,表明初化处理淀粉前后没有产生新的基团。由表6可以看出,经过不同含水量初化处理淀粉的结晶指数都高于原淀粉,且随着含水量的增加而增加。淀粉颗粒内部无定形区和结晶区淀粉分子链羟基之间通过氢键缔合,具有较强的亲水性,随着水分含量的增加,淀粉分子链之间的可移动性增强,导致淀粉颗粒中更多微晶结构的形成,红外结晶指数增加,其中水分含量在85%时结晶指数由原来的1.44升高为1.79。

3 结论

初化处理后的甘薯淀粉颗粒边缘有明显的破损现象,表面凹坑增多,甘薯淀粉的颗粒表面结构发生了改变。

甘薯淀粉经初化处理,淀粉颗粒中位径和小颗粒淀粉体积分数增加,颗粒粒径范围没有变化。甘薯淀粉颗粒中位径随着初化处理温度的升高而显著增加,随着初化时间和含水量增加,淀粉颗粒中位径没有显著变化。

甘薯淀粉经初化处理,随着初化温度、时间以及含水量的增加,淀粉红外结晶指数显著增加,说明初化处理加强了淀粉颗粒内部的结晶性,红外吸收光谱没有发生明显变化。

甘薯淀粉经初化处理后,与甘薯原淀粉相比其颗粒粒径和结晶度更加完善,有利于慢消化淀粉形成,提高食品营养品质,为改善甘薯淀粉功能特性、

拓展甘薯淀粉的应用前景提供基础。

参考文献

- [1]王丽,王辉,段丽丽,等.甘薯与薯仔品质评价模型建立[J].食品安全质量检测学报,2015,6(3):803-809.
- [2]Odeku O A.Potentials of tropical starches as pharmaceutical excipients:A review[J].Starch Starke,2013,65(1-2):89-106.
- [3]Chou H H, Chang S W, Lee G C, et al.Site - directed mutagenesis improves the thermostability of a recombinant *picophilus torridus* trehalose synthase and efficiency for the production of trehalose from sweet potato starch [J].Food Chemistry,2010,119(3):1017-1022.
- [4]Jayakody L, Hoover R.Effect of annealing on the molecular structure and physicochemical properties of starches from different botanical origins - A review [J].Carbohydrate Polymers,2008,74(3):691-703.
- [5]Kweonm,S,Levineh.Role of glassy and crystalline transitions in the responses of corn starches to heat and high pressure treatments:prediction of solute-induced barostability from solute - in - duced thermo stability [J].Carbohydrate Polymers,2008,72(2):293-299.
- [6]Elessandra da R Z, Alvaro R G.Impact of heat - moisture treatment and annealing in starches:A review [J].Carbohydrates Polymers,2011,83(2):317-328.
- [7]Wadugern, H, Vasanthant et al.Effect of annealing on the structure and physicochemical properties of barley starches of varying amylase content [J].Food Research International,2006,39(1):59-77.
- [7]Wadugern, H, Vasanthant.The effect of annealing on the physico - chemical properties of wheat, oat, potato and lentil starches [J].Journal of Food Biochemistry,1994,17(5):303-325.
- [8]SHI Ai - Min, WANG Li - Jun, LI Dong, et al.The effect of annealing and cryoprotectants on the properties of vacuum - freeze dried starch nanoparticles [J].Carbohydrate Polymers,2012,88(4):1334-1341.
- [9]Zhang Li - Ming, ZUO Bei - Mei, WU Pei - Long, et al.Ultrasound effects on the acetylation of dioscorea starch isolated from dioscorea zingiberensis CH Wright [J].Chemical Engineering and Processing,2012,54:29-36.
- [10]刘成梅,杨晓会,钟业俊,等.初化及湿热处理对大米淀粉理化特性和微观结构的影响 [J].食品工业科技,2016,37(5):49-53.
- [11]伍婧,李宗军,李珂,等.初化处理对淀粉品质特性的影响及应用研究进展 [J].中国粮油学报,2015,30(9):139-146.
- [12]杜双奎,王华,赵佳,等.初化处理对不同玉米淀粉理化特性的影响 [J].食品科学,2012,33(9):78-81.
- [13]韩立宏.淀粉初化研究进展 [J].食品工业科技,2011,32(11):531-534.
- [14]Thais S R, Suélen G F, Jay - lin J, et al.Effect of annealing on the semicrystalline structure of normal and waxy corn starches [J].Food Hydrocolloids,2012,29(1):93-99.