

文章编号:1673-1689(2009)05-0616-07

不同淀粉原料及前处理方法对 β -环糊精生产的影响

杨钟超, 顾正彪*, 程力, 洪雁

(食品科学与技术国家重点实验室, 江南大学, 江苏 无锡 214122)

摘要: 为了获得 β -环糊精生产的高转化率, 通过对不同淀粉的比较, 得出玉米淀粉具有较高的经济适用性; 通过对不同前处理方法得到的淀粉生产 β -环糊精转化率的比较, 得出影响转化率的几个因素, 分别是淀粉颗粒大小、淀粉的晶体结构的破坏程度和小分子糖的抑制作用; 并得出将糊化淀粉作为底物最有利于环化反应的进行, 但由于高粘度却无法工业化生产; 通过研究, 确定了一种新型的前处理方法, 即将质量分数7%玉米淀粉浆在85℃下保温1 h, 水浴摇床中65℃200 r/min转化24 h, 获得了29.86%的高转化率, 克服了大规模生产中糊化淀粉粘度过高无法搅拌均匀和酶解处理后的淀粉中小分子糖抑制作用的问题。

关键词: 环糊精葡萄糖基转移酶; β -环糊精; 转化率; 前处理

中图分类号: TS 236.9

文献标识码: A

Effect of Different Starch and Preliminary Treatment on β -Cyclodextrin Production

YANG Zhong-chao, GU Zheng-biao*, CHENG Li, HONG Yan

(State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: In order to further increase the β -cyclodextrin production yield, different kinds of starch and preliminary treatment were investigated and compared. Among of them, corn starch was suitable for production. Furthermore, the effects of the size of starch, the damage extent of crystalline structure and the inhabitation of micromolecular sugar was investigated, and the results predict that CGTase was suitable for preferred gelatinized starch, but do not be used in industry production due to the fact that high viscosity. then a novel predisposal method was suggested and described as follows: heated at 85℃ for 1h, agitation for 24 h at the constant temperature of 65℃. With the optimum conditions, a highest transformation yield achieved at 29.86%. The developed method was avoiding the problem of high conglutination caused by gelatinized starch and the micromolecular sugar caused by enzymed starch.

Key words: cyclodextrin glycosyltransferase, β -cyclodextrin, conversion rate, preprocess

环糊精(cyclodextrin, 简称CD), 又称为环聚葡萄糖、Schardinger 糊精等, 是由环糊精葡萄糖基转

移酶(Cyclodextrin Glucosyltransferase, CGTase)作用于淀粉或相关物质而成的环状聚合物^[1], 在

收稿日期: 2008-09-11

基金项目: 国家 863 计划项目(2006AA10Z335)。

* 通讯作者: 顾正彪(1965-), 男, 江苏阜宁人, 工学博士, 教授, 博士生导师, 主要从事淀粉化学研究。Email: foodstarch@yahoo.com.cn

1891年首先由Villiers分离出来,并在1904年由Shardinger鉴定为环状低聚糖^[2],它是由6、7和8个 α -1,4糖苷键连接的D-吡喃葡萄糖残基^[3]组成,根据葡萄糖残基数它们分别称为 α 、 β 和 γ -CD。 α -CD的分子内表面呈疏水性,外表面呈亲水性,这种独特的分子结构可以使它通过范德华力、疏水作用力以及主客体分子之间的空间匹配效应,与一些电荷、极性、结构、性质相匹配的客体分子或基团形成超分子包合物,改变这些物质的物理和化学性能,进而能被大量地应用于医药、食品、日用消费品及化工等领域^[2-5],其中 β -环糊精的应用最为广泛。

现在对环糊精的研究多侧重在应用方面,对生产领域的研究很少。由于常规生产方法转化率很低,目前国内生产通常采用添加络合剂的方法来增加环糊精的转化率,对无络合剂方法生产国内未见相关报道。作者研究了几种预处理玉米淀粉来提高 β -环糊精转化率的方法。结果表明淀粉颗粒大小、淀粉的晶体结构的破坏程度和小分子糖的抑制作用是影响 β -环糊精转化率的重要因素,并得出淀粉糊化后生产环糊精的转化率最高,但由于糊化淀粉带来的高粘度,在实际生产中往往无法采用这种方法。通过在85℃保温一段时间后达到使淀粉颗粒溶胀目的,提高淀粉的转化率,可以在实际生产中应用。

1 材料与方 法

1.1 实验材料与仪器

环糊精葡萄糖基转移酶:由企业提供; β -环糊精标准品:Sigma公司产品;玉米淀粉:诸城兴贸玉米开发有限公司产品;马铃薯淀粉:宁夏固原六盘山淀粉公司产品;木薯淀粉:广西武鸣淀粉厂产品;其它试剂均为分析纯。

UV2000型分光光度计:尤尼科公司产品;DSHZ-300多用水浴恒温振荡器:江苏太仓试验设备厂产品;WL-200三元振动筛分机:新乡市未来机械设备有限公司产品;APV1000试验用高压均质机:上海张堰轻工机械厂产品;JYD-650L超声波细胞破碎机:上海立信仪器有限公司产品;NJL07-3实验专用微波炉:中国南京杰全微波设备有限公司产品;RJ-LD-IIB离心机:无锡市瑞江分析仪器有限公司产品;BT-1600型图像颗粒分析系统:丹东市百特仪器有限公司产品。

1.2 实验方法

1.2.1 环糊精的制备方法

1)传统工艺制备环糊精 在250 mL三角瓶中

用去离子水配成质量分数7%淀粉的悬浮液100 g,糊化,加入12.5 U/g淀粉 α -淀粉酶(酶活:5 000 U/mL),95℃下液化10 min,将pH值降到3保持10 min灭酶,再将pH值调回8.5,添加环糊精葡萄糖基转移酶酶液0.035 U/g淀粉(酶活:28.49 U/mL),在水浴摇床中65℃200 r/min转化,24 h后加热灭酶活,5 000 r/min离心20 min后测定 β -环糊精的含量。

2)以不同种类的淀粉制备环糊精 参照方法(1)分别将玉米、马铃薯、木薯淀粉作为原料生产并测定 β -环糊精的含量。

3)以不同粒径的淀粉制备环糊精 用筛分机筛分出不同颗粒大小的淀粉,用图像颗粒分析系统测定淀粉粒径,将不同粒径的淀粉分别用甘氨酸缓冲液(pH 8.5)配成含质量分数7%淀粉溶液的悬浮液置于250 mL三角瓶中,添加环糊精葡萄糖基转移酶酶液0.035 U/g淀粉,在水浴摇床中65℃200 r/min转化,24 h后加热灭酶活,5 000 r/min离心20 min后测定 β -环糊精的含量。

4)以生淀粉直接制备环糊精 在250 mL三角瓶中配置质量分数7%玉米淀粉的甘氨酸缓冲液(pH 8.5)。添加环糊精葡萄糖基转移酶0.035 U/g淀粉,65℃水浴摇床中200 r/min搅拌24 h,过滤去除未反应的淀粉后取滤液加热灭酶活,5 000 r/min离心20 min后,测定 β -环糊精含量。

5)超声波处理 取质量分数为7%的玉米淀粉浆置于超声波细胞粉碎机中,用600 W功率^[6]分别作用1 min到5 min再按方法(4)的转化方法进行转化,并测定 β -环糊精含量。

6)微波处理 将含质量分数7%玉米淀粉的甘氨酸缓冲液(pH 8.5)置于微波炉中50、60、70、80、90℃,700 W条件下分别加热4 min。冷却后按方法(4)的转化方法进行转化并测定 β -环糊精含量。

7)糊化淀粉制备环糊精 将玉米淀粉用甘氨酸缓冲液(pH 8.5)配成质量分数7%溶液后,糊化,之后按方法(4)的转化方法进行转化并测定 β -环糊精含量。

8)酶解处理 将玉米淀粉用去离子水配成质量分数7%溶液后,糊化后加入 α -淀粉酶,95℃下液化不同时间,测定其DE值,将pH降到3保温10 min灭酶,将pH调回8.5,按方法(4)的转化方法进行转化并测定 β -环糊精含量。

9)温和热处理 将含质量分数7%玉米淀粉的甘氨酸缓冲液(pH 8.5)分别置于65℃到85℃下保温一段时间,保温过程中用搅拌器不断搅拌,冷

却至 65 ℃ 后按方法(4)的转化方法进行转化并测定 β -环糊精含量。

1.2.2 测定方法

1) β -环糊精的测定 分光光度计法^[9]。

2) 环糊精葡萄糖基转移酶活的测定。用 0.2 mol/L 甘氨酸缓冲液(pH 8.5)配质量分数 4% 的可溶性淀粉溶液,糊化,取 1 mL 糊化好的淀粉溶液,加入 0.1 mL 的酶液,振荡,在 40 ℃ 下反应 10 min,然后煮沸灭活。同时以加入预先失活的酶液为对照组,按照方法(1)测定。一个酶活性单位定义为每分钟形成 1 mmol β -环糊精的酶量。

3) 还原糖(DE 值)的测定 参照 GB 5009.7-85 还原糖的测定方法。

4) 粘度的测定 取预处理后的样品放置于 Brookfield 中测定,温度为样品进行预处理时的温度,转速为 100 r/min。

2 结果与讨论

2.1 不同种类淀粉生产 β -环糊精转化率的比较

由图 1 所示,3 种淀粉生产 β -环糊精转化率中,木薯淀粉最高 19.98%,马铃薯淀粉和玉米淀粉分别为 18.26% 和 17.97%。考虑到工业化生产的成本因素,马铃薯淀粉和木薯淀粉的价格都较昂贵,但转化率提高并不明显。所以作者选用玉米淀粉作为原料生产环糊精。

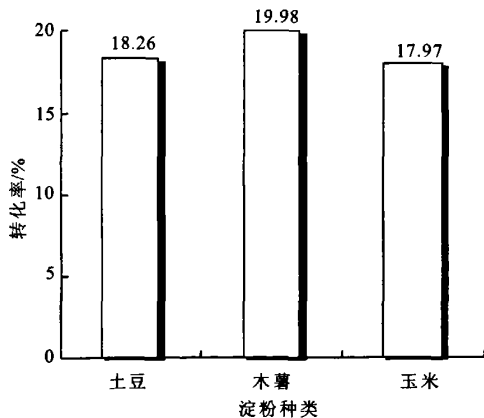


图 1 不同种类淀粉生产 β -环糊精转化率

Fig.1 Amount of β -CD produced by different kinds of starch

2.2 不同粒径的玉米淀粉生产 β -环糊精转化率的比较

由图 2 和表 1 可见,样品 1 淀粉转化得到的 β -环糊精转化率最低(3.0%);样品 2 淀粉转化得到的 β -环糊精转化率为 3.6%,与未经筛分过的的淀

粉转化率(3.8%)相近;样品 3 淀粉转化成 β -环糊精转化率(4.8%)高于未经处理过的原淀粉的转化率。从以上结果分析得出,淀粉颗粒越小转化率越高。主要是由于随着淀粉颗粒的减小,比表面积增加,酶作用面积加大,与底物发生作用的几率增大,因此转化率得到提高。有研究^[7]称在显微镜下观察结果显示,在低于糊化温度下酶解淀粉时,首先是淀粉颗粒表面形成一些凹陷,接着酶会继续作用这些凹陷处,随着水解的继续进行,淀粉会被侵蚀成像海绵一样的空间结构。水解一定程度的小颗粒淀粉表面变得粗糙,水解作用是从淀粉颗粒整个表面进行的。这种粗糙的表面与大颗粒淀粉被侵蚀后依然光滑的表面有很大的不同。这也是造成大小颗粒不同的淀粉生产 β -环糊精转化率不同的原因。

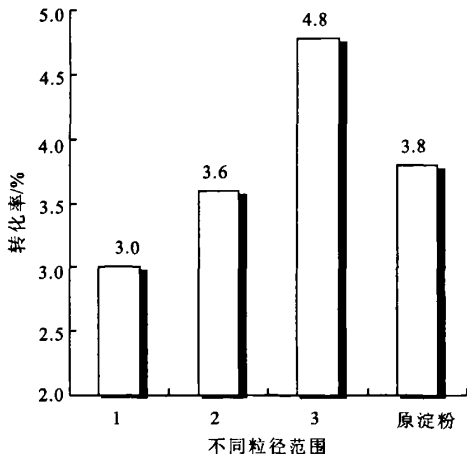


图 2 不同粒径的淀粉生产 β -环糊精的转化率

Fig.2 Amount of β -CD produced by different starch size

表 1 淀粉颗粒大小比较

Tab.1 Comparison of the starch size

样品	淀粉颗粒 粒径/ μm	转化率 /%
1	12~30 占 72.1%	3.00
2	10~25 占 75.9%	3.60
3	8~23 占 70.2%	4.80
原淀粉	5~30	3.80

2.3 生淀粉和酶解淀粉生产 β -环糊精转化率的比较

图 3 为生淀粉生产和传统工艺生产 β -环糊精的转化率的比较,由图中可以看出,酶解(DE=4.1)过后的淀粉转化率(17.79%)大大高于生淀粉(3.8%)。环糊精葡萄糖基转移酶是一种可以作用于生淀粉的酶,但是作用效率过低。

淀粉颗粒包含结晶区和无定形区,结晶区主要由支链淀粉分子以双螺旋结构形成,结构较为致密,不易被外力和化学试剂作用;无定形区主要由直链淀粉分子以松散的结构形成,容易受到外力和化学试剂作用^[8]。生淀粉由于存在结晶区,酶较难作用,故转化率很低。传统工艺生产的过程中,淀粉经过了糊化和酶解,淀粉颗粒结构被破坏,颗粒内部分子间氢键被破坏,淀粉分子与水分子之间形成氢键,颗粒吸水膨胀,分子从颗粒内部游离出来,淀粉颗粒的结晶结构逐渐消失^[8]。随着结晶结构的消失,酶作用的效率就大大增加,最终使转化率得到提高。

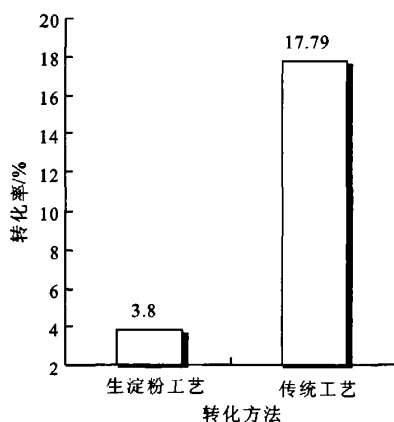


图3 生淀粉工艺和传统工艺生产 β -环糊精的转化率

Fig. 3 Amount of β -CD produced by raw starch and tradition method

要提高淀粉的转化率需要提高酶的作用效率,从图2和图3综合考虑可以看出,酶作用效率可以通过减小淀粉颗粒增加淀粉的比表面积和破坏淀粉颗粒结构和结晶区来提高。作者采用均质、超声波、酶解、微波和糊化的方法来达到破坏淀粉颗粒和破坏淀粉结晶结构的目的。

2.4 几种前处理方法生产 β -环糊精转化率的比较

2.4.1 超声波处理 图4为超声波处理后淀粉生成 β -环糊精的转化率,从图中可以看出超声波处理后的淀粉转化率比原淀粉要提高,由于超声波通过使淀粉颗粒内部气泡破碎来破坏淀粉颗粒^[6]。随着超声时间的增加,淀粉颗粒表面的凹陷和小孔数量增加,淀粉的偏光十字与原淀粉偏光十字相比,变得模糊甚至消失,相对分子质量降低,达到了破坏淀粉结构的作用,转化率也随之提高。在长时间的超声波处理后,其相对分子质量趋于一个固定值,分布在一个相对窄的范围^[10-11]。

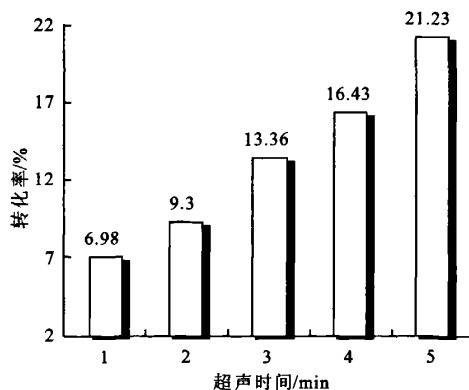


图4 超声波处理时间对生产 β -环糊精转化率的影响

Fig. 4 Amount of β -CD produced by the ultrasonic method

2.4.2 微波处理 图5为微波处理后的淀粉生成 β -环糊精的转化率,由图中可以看出当微波处理温度达到80℃时, β -环糊精转化率已经达到26.4%,远远高于生淀粉的转化率。当处理温度达到90℃时,转化率为28.87%,接近淀粉糊化时的转化率。微波处理能降低淀粉的结晶性^[12-14]。所以微波与原淀粉相比可以显著提高 β -环糊精的转化率。

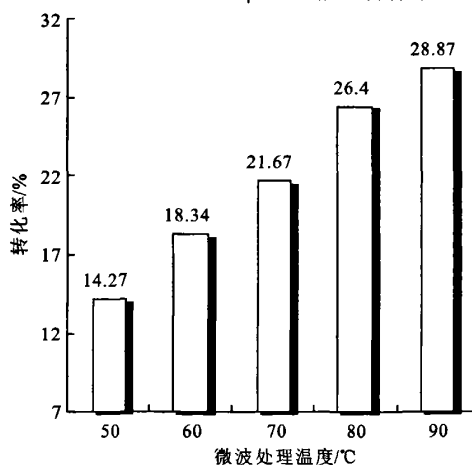


图5 微波处理温度对生产 β -环糊精转化率的影响

Fig. 5 Amount of β -CD produced by the microwave method

2.4.3 糊化处理 糊化处理后 β -环糊精转化率为32.70%。远远高于生淀粉和传统酶解工艺生产 β -环糊精的转化率,糊化破坏了淀粉颗粒的结晶结构,淀粉颗粒溶胀,颗粒结构也被破坏。相比原淀粉转化率有很大的提高,原淀粉由于存在致密的结晶区,酶无法与其反应,生产所得的 β -环糊精含量很低。与传统工艺相比糊化处理过后的 β -环糊精转化率有很大的提高,虽然传统工艺中淀粉也经过糊化的过程,但转化率却没有单纯糊化淀粉生产 β -

环糊精转化率的高,对这一现象在 2.4.4 中进行了细致的分析。

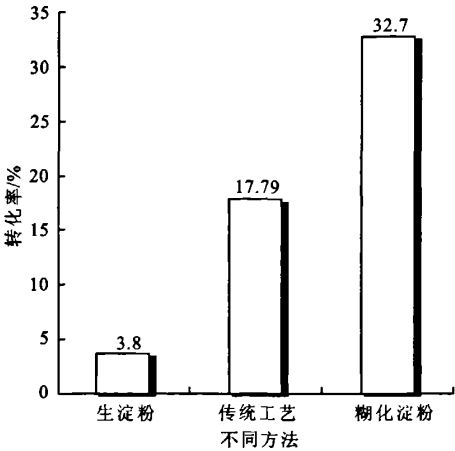


图 6 不同方法对生产 β -环糊精的影响

Fig. 6 Amount of β -CD produced by different methods

2.4.4 影响转化率的因素 从上面的数据可以看出,超声波、微波和糊化都可以一定程度的提高转化率,高于传统工艺用酶解生产的转化率。

传统工艺在酶解过程中产生了大量的小分子糖,对环化反应有抑制作用^[15],转化率并不理想,从图 7 可以看出在 DE 值为 4.1 时,转化率为 18.94%,DE 值为 5.3 时转化率为 12.38%,随着 DE 的增加转化率呈下降的趋势,当 DE 值为 8.3 时转化率为 9.02%,远远低于 18.94%。淀粉通过水解变成不同相对分子质量的麦芽糊精,水解过程中淀粉颗粒变小,结晶结构被破坏,与生淀粉相比转化率得到了提高。但是在酶解的进行中,DE 值增加,小分子糖的含量不断增加,生产的转化率呈下降趋势。

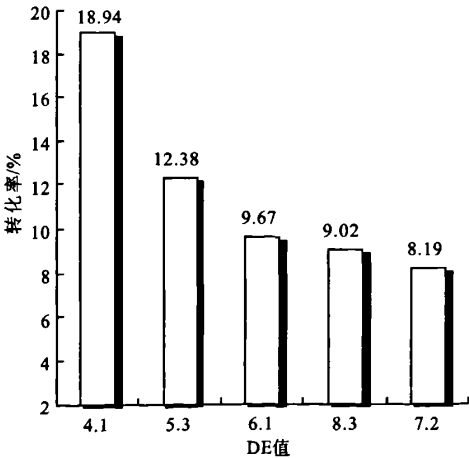


图 7 酶解对生产 β -环糊精转化率的影响

Fig. 7 Amount of β -CD produced by the hydrolyze method

为了验证小分子糖对环化反应的抑制作用,作者应用了测定酶活的方法。在测定酶活的反应底物可溶性淀粉中加入小分子糖,通过观察酶活的变化,来判断小分子糖对反应所起的作用。

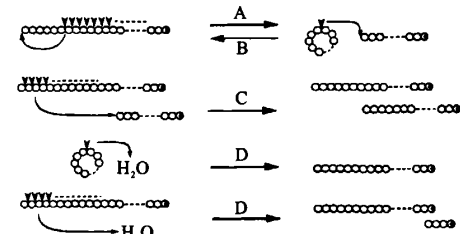
具体实验为在保证可溶性淀粉浓度不变的条件下,在反应液中加入不同量的小分子糖,然后测定酶活。由表 2 可已看出葡萄糖和麦芽糖对酶进行环化反应影响很明显,当糖占底物质量分数的 50%后,酶活降低很大,环化反应进行效率大大降低。

表 2 小分子糖对酶进行环化反应活性的影响

Tab. 2 Effect of micromolecular sugar on cyclization

糖质量分数/%	酶活 / %	
	葡萄糖	麦芽糖
0	100.00	100.00
20	70.09	63.10
33	52.10	49.70
43	42.80	40.70
50	36.10	32.70

图 8^[16]是环糊精葡萄糖基转移酶作用淀粉生成环糊精的机理。由图可以看出该酶催化 4 种反应的进行,随着底物成分的不断变化,反应向不同的方向进行。环化作用是向生成环糊精的方向进行。歧化作用与环化作用互为反作用,小分子糖的存在促进此反应的进行,使环化反应作用减弱,实验中麦芽糊精 DE 值增大后,小分子糖含量也大大增加,故转化率呈下降趋势。偶联作用是不同链段之间糖基的转移。水解作用是将长链断的淀粉切割成多糖。



A 反应是环化作用;B 反应是歧化作用;C 反应是偶联作用;D 反应是水解作用

图 8 环糊精葡萄糖基转移酶反应机理

Fig. 8 Reaction mechanism of CGTase

表 3 对所使用的处理方法进行了总结,可以看出超声波、微波和酶解都可以一定程度的提高转化率。但是在实际工业应用中超声波和微波的成本都比较高,又由于酶解产生的小分子糖对环化反应的抑制作用,酶解所获得的转化率并不理想。糊化

淀粉所获得的转化率最高,高达 32.7%。但是由于糊化淀粉带来的高粘度是使糊化的方法在工业上比较难以实现。表 3 中还反应出影响转化率的几个因素,除了颗粒大小,颗粒的结晶程度外还有小分子糖。

工业上为了克服糊化淀粉带来的高粘度,在实际生产上通常采用酶解的前处理方法来生产环糊精,但是由于小分子糖的存在使得转化率较低,需要通过添加络合剂来提高转化率。络合剂的添加一方面增加了成本,另一方面限制了环糊精使用。随着生产技术的发展,需求的增加和对产品质量要求的提高,国际上开始考虑采用不添加络合剂的方法生产环糊精,日本已经率先开始生产^[8]。为了寻找一种不添加络合剂生产环糊精的高效方法,作者采用了一种新型的前处理方法。

表 3 不同方法的比较

Tab. 3 Comparison of different methods

处理 方法	最大 转化率/%	颗粒破坏 程度	结晶 结构	小分子 糖
生淀粉	3.80	无	完整	无
过筛	4.80	无(颗粒小)	完整	无
糊化	32.70	大	破坏	无
超声波	21.23	较大	破坏	无
微波	28.87	大	破坏	无
酶解	15.94	大	破坏	有

2.5 温和热处理方法

生产环糊精理想的底物状态是不存在小分子糖,同时具有糊化淀粉的性质,即淀粉颗粒结构中结晶区被破坏,且粘度较低。

温和热处理是一种在 85 ℃ 的条件下对淀粉浆进行加热(1 h)的方法,处理一定时间后淀粉颗粒溶胀,结晶结构消失。由图 9 可以看出,经过温和热处理后,淀粉生产 β -环糊精的转化率达到 29.86%,和糊化淀粉的转化率基本相同,远远高于传统的酶解工艺和生淀粉生产的转化率。且经本方法处理后粘度较糊化淀粉低,使用 Brookfield 分别对温和热处理后和糊化之后的淀粉在 85 ℃ 和 100 ℃ 下测定粘度结果见表 4。温和热处理的淀粉粘度为 125 mPa·s,低于糊化淀粉 381 mPa·s 的粘度。该方法的优点为较高的转化率、低粘度,在模拟工业化生产时,当淀粉质量分数达到 20% 时依然可以搅拌均匀,克服了糊化淀粉无法工业化生产的缺点。

在没有添加络合剂的条件下,质量分数 20% 的

淀粉溶液生产 β -环糊精转化率为 21.60%,比相同浓度条件下酶解的工艺转化率(13.21%)提高很多,且不存在络合剂残留所带来的应用和环境问题,是一种环保、高效的方法。

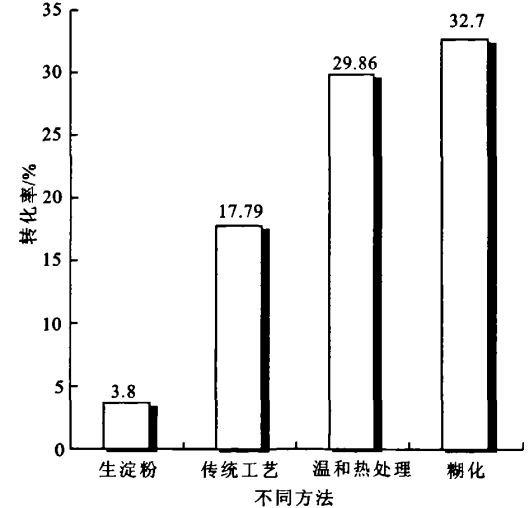


图 9 温和热处理对生产 β -环糊精转化率的影响

Fig. 9 Amount of β -CD produced by the method of moderately heat-treated

表 4 不同处理方式淀粉粘度

Tab. 4 Viscosity of starch of different method

处理方式	质量分数/%	粘度/(mPa·s)
糊化	7	381
温和热处理	7	125

3 结 语

选用玉米淀粉为原料,采用了筛分、糊化、超声波、微波和酶解的前处理方法以期获得理想的 β -环糊精转化率,实验得出糊化淀粉的转化率最高 32.70%(但存在粘度高的问题)。通过不同的处理方式所获得 β -环糊精转化率及不同处理方式对淀粉的破坏作用的研究,得出获得了影响反应因素。从筛分淀粉生产 β -环糊精的转化率大小,酶解淀粉转化率远远高于生淀粉转化率及糊化淀粉的转化率高于酶解淀粉的转化率可以得出淀粉颗粒的大小,晶体结构的破坏及小分子糖对环化反应的抑制作用对反应的进行有很大的影响,并进行了相关的验证实验。为了满足工业化大生产的要求,作者根据研究结果,确定了一种温和热处理的新方法,质量分数 7% 淀粉乳在 85 ℃ 下保温 1 h,后在水浴锅中 65 ℃ 200 r/min 转化 24 h,获得了较高的转化

率 29.86%,同时具有低粘度的特点,克服了糊化淀粉粘度无法工业化生产的缺点,对 β -环糊精工业化生产有一定的指导意义。

参考文献(References):

- [1] Villiers A. Fermentation de fécule par le ferment buytrique[J]. *Compt Rend*, 1891, 112:536.
- [2] Lajos Szente, Jozsef Szejtli. Cyclodextrins as food ingredients[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2004, 15: 137—142.
- [3] Freudenberg K, Cramer F. Die konstitution der schardinger dextrin alpha, betadextrin, und gamma. Z[J]. *Naturforsch B*, 1948, 3:464.
- [4] French D, Rundle R E. The molecular weights of the Schardinger alpha and beta dextrins[J]. *J Am Chem Soc*, 1942, 64: 1651.
- [5] 李里特, 孙艳. 生淀粉生产环糊精的研究[J]. *食品与发酵工业*, 2006, 26(4):21—24.
LI Li-te, SUN Yan. Production of cyclodextrins directly from raw starch[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2006, 26(4):21—24. (in Chinese)
- [6] MaGregor A W, Balance D L. Hydrolysis of large and small starch Granules from normal and waxy bareley cultivars by al-phaa-my-lases from barley malt[J]. *Cereal Chem*, 1980, 57:397—402.
- [7] 赵勇青, 何小维. 淀粉颗粒的结晶性及非晶化方法[J]. *现代化工*, 2007, 27(11):67—69.
ZHAO Yong-qing, HE Xiao-wei, HUANG Qiang, et al. Crystallinity properties of starch granule and non-crystallization methods for it[J]. *Modern Chemical Industry*, 2007, 27(11):67—69. (in Chinese)
- [8] 金征宇, 顾正彪, 董群义, 等. 碳水化合物化学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [9] 张志森, 杨式斌. 高压均质机理分析与探讨[J]. *包装与食品机械*, 2001, 19(1):14—16.
ZHANG Zhi-sen, YAN Shi-bin. The theoretical analysis and discussion of high pressure homogenizing[J]. *Packaging and Food Machinery*, 2001, 19(1):14—16. (in Chinese)
- [10] 雷娜. 超声波对淀粉超分子结构及反应性能的影响[D]. 广州: 华南理工大学, 2001.
- [11] Gunaratne A, Hoover R. Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches[J]. *Carbohydrate Polymer*, 2002, (49):425—437.
- [12] 罗志刚. 微波对马铃薯淀粉性质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2007, 33(6):50—52.
LUO Zhi-gan. Effect of microwave radiation on the properties of potato starches[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2007, 33(6):50—52. (in Chinese)
- [13] 段善海, 徐大庆. 物理法在淀粉改性中的进展[J]. *食品科学*, 2007, 28(03):361—366.
DUAN Shan-hai, XU Da-qing. Review on advance of modified starch based on physical methods[J]. *Food Science*, 2007, 28(03):361—366. (in Chinese)
- [14] Qingsheng Qi, Xiaoyan She, Tomohiro Endo, et al. Effect of reaction temperature on the transglycosylation reactions catalyzed by the cyclodextrin glucanotransferase from *Bacillus macerans* for the synthesis of large-ring cyclodextrins[J]. *Tetrahedron*, 2004, 60:799—806.
- [15] 童林荟. 环糊精化学-基础与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2001.

(责任编辑: 朱明)