

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2023.03.007

雷英杰, 于孝民, 任元元, 等. 玉米淀粉糖化反应影响因素研究[J]. 粮油食品科技, 2023, 31(3): 48-54.

LEI Y J, YU X M, REN Y Y, et al. Study on the influencing factors of corn starch saccharification reaction[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2023, 31(3): 48-54.

# 玉米淀粉糖化反应影响因素研究

雷英杰<sup>1</sup>, 于孝民<sup>2</sup>, 任元元<sup>1</sup>, 邹德君<sup>2</sup>, 孟资宽<sup>1</sup>, 邹育<sup>1</sup>, 李宇航<sup>1</sup>

(1. 四川省食品发酵工业研究设计院有限公司, 四川 成都 611130;

2. 中粮生化(成都)有限公司, 四川 成都 611130)

**摘要:**目前在玉米淀粉糖工业生产过程中,糖化反应阶段存在初始淀粉乳浓度低、反应时间长、酶解效果不佳、最终产物得率较低、杂糖成分较多等问题。针对以上现象,以40%浓度淀粉乳作为原料对糖化反应阶段的温度、pH值、加酶量等参数进行研究,以正交设计得出最佳糖化条件。同时分析糖化底物葡萄糖当量(DE值)对糖化反应及糖化产物组成的影响。结果表明,影响糖化反应的因素主次为pH>加酶量>底物DE值,糖化酶最佳反应的条件为温度60℃,pH值为4.5,加酶量200U/g,底物DE值为15。该条件下糖化液黏度适中,更有利于酶解反应的进行,最终产物DE值可达95%以上,葡萄糖含量(DX值)最高可达96.86%,且杂糖含量仅为1.30%。研究结论能够为玉米淀粉糖工业化生产提升产物得率、降低成本消耗提供理论参考。

**关键词:**淀粉糖;糖化工艺;酶解;黏度;产物得率

中图分类号:TS245.5;S-3 文献标识码:A 文章编号:1007-7561(2023)03-0048-07

## Study on the Influencing Factors of Corn Starch Saccharification Reaction

LEI Ying-jie<sup>1</sup>, YU Xiao-ming<sup>2</sup>, REN Yuan-yuan<sup>1</sup>, ZOU De-jun<sup>2</sup>,  
MENG Zi-kuan<sup>1</sup>, ZOU Yu<sup>1</sup>, LI Yu-hang<sup>1</sup>

(1. Sichuan Food Fermentation Industry Research and Design Institute Co., Ltd., Chengdu, Sichuan 611130, China; 2. Cofco Biochemical (Chengdu) Co., LTD, Chengdu, Sichuan 611130, China)

**Abstract:** At present, in the industrial production process of corn starch sugar, there are some problems in the saccharification reaction stage, such as low initial starch milk concentration, long reaction time, poor enzymatic hydrolysis effect, low yield of final product, and more miscellaneous sugar components. Aiming at the above phenomena, the optimal saccharification conditions were obtained by orthogonal design with the parameters of the saccharification reaction stage, such as temperature, pH value, and the amount of enzyme added by using starch milk with 40% concentration as raw material. At the same time, the effect of DE value of glycosylated substrate on the glycosylation reaction and the composition of glycosylated products was analyzed. The results showed that the main factors affecting the glycosylation reaction were pH > enzyme amount > substrate DE value. The optimum conditions for the reaction of glycosylase were temperature 60 °C, pH 4.5, enzyme dosage 200 U/g and substrate DE 15. Under this condition, the viscosity of the

收稿日期: 2023-01-28

基金项目: 四川粮油加工关键技术及产品开发(2020YFN0148)

Supported by: The Key Technology and Product Development of Grain and Oil Processing in Sichuan(No.2020YFN0148)

作者简介: 雷英杰, 男, 1997年出生, 硕士, 研究方向为粮油加工。E-mail: 782402942@qq.com.

saccharification solution was moderate, which was more conducive to the enzymolysis reaction. The DE value of the final product could reach 95% and the glucose content (DX value) could reach 96.86%. Meanwhile, the content of other components was only 1.30%. The conclusion of this study can provide theoretical reference for the industrial production of corn starch sugar to improve product yield and reduce cost.

**Key words:** starch sugar; saccharification process; enzymatic hydrolysis; viscosity; yield of product

近年来随着淀粉糖行业技术发展,产量的提高以及物料消耗的下降,使得淀粉制糖的成本大幅下降,淀粉糖市场逐步扩大,成为食糖市场的重要补充<sup>[1]</sup>。玉米由于种植面积广,产量高、价格低、淀粉含量高,成为淀粉糖生产企业的首选原料<sup>[2-3]</sup>。糖化工艺是生产玉米淀粉制糖工艺中的极为重要的环节,糖化是淀粉经淀粉酶水解成小分子的糊精后在葡萄糖淀粉酶的作用下进一步水解成单糖的过程,对最终产物的成分和品质起着决定性作用<sup>[4]</sup>。目前淀粉糖糖化工艺还存在着糖化速率慢和最终得率低、糖化液组成成分复杂且不稳定等问题<sup>[5]</sup>。

针对以上问题,国内外学者展开了诸多研究,荀娟<sup>[6]</sup>等协同使用  $\alpha$ -淀粉酶、 $\beta$ -淀粉酶和极限糊精酶建立复合酶系,有助于提高淀粉水解速率和提升糖化效率,最终发酵性糖的淀粉比例提升了 20%左右。吴瑶<sup>[7]</sup>等通过单因素实验优化果葡糖浆工艺,综合考量了糖化过程中酶添加量、糖化 pH 值、糖化时间和温度等参数,最优条件下糖化液的 DE 值达到了 99.3%。同时采用以挤出-酶解复合法工艺,进行玉米淀粉原料的预处理,以糖化液的葡萄糖当量 (DE) 值为考核指标,能够节省时间,减少酶用量,提升最终出品率。葛建<sup>[8]</sup>等研究了不同 DE 值糖化底物对糖化反应的影响,结果表明物料的黏度与 DE 值存在极大关联,DE 值过低会增加糖化反应的难度,太高则会延长糖化时间或增加糖化酶的消耗。

通过以上诸多研究表明糖化液底物 DE 值、糖化温度、糖化 pH 值以及加酶量与糖化最终产物有着密切联系。为减少玉米淀粉糖化产物杂糖含量,提高生产率,本研究对玉米淀粉糖化阶段的不同影响因素 (糖化 pH 值、糖化温度、加酶量、底物 DE 值) 对糖化效率的影响情况进行探究,测定不同条件下糖化液 DE 值的动态变化,

并对最终糖化产物糖谱组成进行分析检测,计算玉米淀粉糖得率及副产物含量以确定最佳条件。该研究有利于提高玉米淀粉糖规模化的生产效率,为提高产品质量提供了理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 实验材料

玉米淀粉: 山东恒仁工贸有限公司; 耐高温  $\alpha$ -淀粉酶 (酶活力 50 000 U/g): 河南万邦实业有限公司; 糖化酶 (酶活力 50 000 U/g): 山东谷康生物工程有限公司; 葡萄糖、麦芽糖、麦芽三糖、麦芽四糖标准品: 德国 Dr. Ehrenstorfer Gm bH 公司; 氢氧化钠 (分析纯)、盐酸 (分析纯): 成都科龙化工试剂厂。

### 1.2 仪器与设备

电热恒温水浴锅: 天津市泰斯特仪器有限公司; TechMaster 型快速黏度分析仪: RVA 波通瑞华科学仪器 (瑞典) 公司; GB204 型分析天平: 德国赛多利斯仪器有限公司; PHS-3C pH 计: 上海仪电科学仪器有限公司; Agilent 1200 型高效液相色谱仪: 美国安捷伦科技公司。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 原料处理与制备方法

玉米淀粉制糖工艺流程: 玉米淀粉调浆→液化反应→调节底物 DE 值→糖化反应→脱色压滤→糖液。其中糖化过程中 pH 值、加酶量、底物 DE 值等因素会直接影响糖化效率。原料处理操作参考柯旭清<sup>[9]</sup>的方法并略作修改,使用玉米淀粉及蒸馏水按质量分数配制 40% 浓度淀粉混合液,调节 pH 值至 6.0~6.5,添加适量耐高温  $\alpha$ -淀粉酶,加热至最适温度。通过控制反应时间来调节液化反应后底物 DE 值,以便进行后续糖化反应。

#### 1.3.2 DE 值的测定

采用 GB/T 2242.1—2008《淀粉水解产品还原

力和葡萄糖当量测定》中费林试剂法进行 DE 值的测定。在使用费林溶液前,利用标准葡萄糖溶液来定容,实验结果测定三次,取平均值。

### 1.3.3 酶活性的测定

酶活性的测定采用 GB 1886.174—2016《食品安全国家标准食品添加剂食品工业用酶制剂》中的方法,测定不同温度下(40、50、55、60、65、70、75 °C)糖化酶活性变化情况。其中 1 mL 酶液或 1 g 酶粉在 40 °C、pH 4.6 的条件下,1 h 水解可溶性淀粉产生 1 mg 葡萄糖,即为一个酶活力单位,以 U/mL(或 U/g)表示。

### 1.3.4 pH 值对糖化反应的影响

测定糖化时间 60 h 内,不同糖化 pH 3.5、4.0、4.5、5.0、5.5 下,最终糖化 DE 值的变化情况,每 6 h 测定三次,结果取平均值。

### 1.3.5 酶添加量对糖化值的影响

在最适酶反应温度条件及 pH 条件下,设置酶添加量为 100、150、200、250 U/g,研究糖化 60 h 内,糖化 DE 值的变化情况,每 6 h 测定三次,结果取平均值。

### 1.3.6 糖化初始 DE 值对糖化反应的影响

在最适 pH、酶添加量条件下测定糖化底物初始 DE 值分别为 10、12、15、18、20 的糖化原料液在糖化时间 60 h 内产物 DE 值的变化情况,每 6 h 测定三次,结果取平均值。

### 1.3.7 糖化正交优化实验

根据 1.3.3~1.3.6 实验结果确定参数范围,选取糖化 pH 值、加酶量、底物 DE 值三个因素,将糖化后产物 DE 值作为糖化效果参考指标进行  $L_9(3^4)$  的 3 因素 3 水平正交设计,因素水平见表 1。

表 1 糖化工艺正交实验因素水平表

Table.1 Horizontal coding table of factors in orthogonal experiments of saccharification

因子	A	B	C
水平	pH 值	加酶量/(U/g)	底物 DE 值
1	4.0	150	12
2	4.5	200	15
3	5.0	250	18

### 1.3.8 糖化液黏度的测定

参考刘安妮<sup>[10]</sup>、王立丹<sup>[11]</sup>等的方法并略作修改,测定了 DE 值分别为 10、12、15、18、20 的

糖化原料液在最优条件下的黏度变化。升温程序为:在 60 °C 下保温 1.5 min,随后升温至 95 °C,升温所需时间为 6 min,在 95 °C 下保温 5.5 min,随后降温至 50 °C,降温所需时间为 2.5 min,转速设定为 250 rpm。

### 1.3.9 糖化产物组成分析

采用高效液相色谱法分析糖化产物中的糖谱,流动相为乙腈和水的混合物。对最优糖化参数下糖化液组成进行分析,参考李文钊<sup>[12]</sup>的方法并略作修改,使用 HPLC 检测每个样品中的糖分组成及含量。液相色谱参数设置:Kromasil 氨基柱(250 mm×4.6 mm),流动相比乙腈:水=65:35(V/V);流速 1 mL/min;柱温 30 °C;进样量 10  $\mu$ L;检测器:示差折光检测器 Chromater-5450。

## 1.4 数据分析

利用 SPSS 23.0 进行数据处理,Origin 2021 进行绘图分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 糖化酶最适温度的确定

淀粉酶作为生物制剂,能够加速促进淀粉水解反应的进行,其催化速率与反应温度有着密切联系,低温下酶活性较低,温度过高容易导致酶失活。在糖化反应中,将温度控制在最适范围内有利于减少糖化时间和减少酶消耗量<sup>[13]</sup>。图 1 是糖化酶活力随温度变化趋势图,随着温度的逐渐升高,酶活性呈正相关增长,60 °C 时酶活性最强,达到 95.80%。温度过高会破坏酶蛋白结构,造成酶活性快速下降,温度达到 70 °C 之后,酶活性只有初始的 25% 不到,75 °C 后淀粉酶基本失活。

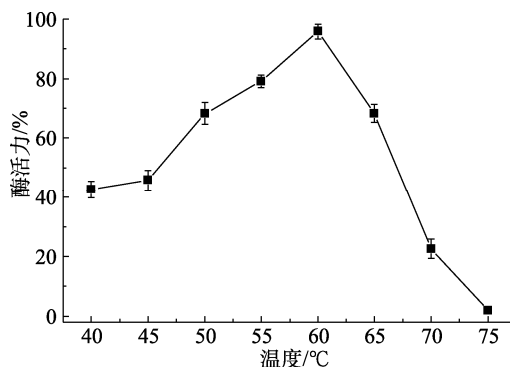


图 1 温度对糖化酶活性的影响

Fig.1 Effect of temperature on the activity of glycosylase

这与王博<sup>[14]</sup>、项超<sup>[15]</sup>等的研究结论一致, 温度高于酶的最适温度之后, 酶活性大幅降低直至失活, 且该过程不可逆。因此, 以 60 °C 作为最适反应温度, 有利于糖化反应的进行。

## 2.2 pH 对糖化值的影响

在温度 60 °C, 糖化液初始 DE 值 15, 糖化酶添加量为 250 U/g 的条件下进行最适 pH 值优化实验。同温度一样, 反应环境 pH 值关系着酶的活性及酶与底物亲和力的大小。不同 pH 值下在整个糖化反应阶段 DE 值的变化情况及趋势如图 2 所示。pH 值 4.5 条件下在最初 6 h 内糖化值上升最为迅速, 随着反应时间延长糖化产物 DE 值逐渐趋于稳定, 最终糖液 DE 值为 95.6。pH 为 3.5 条件下, 糖化效率过慢, 在 48 h 之后糖化液 DE 值才趋于最高点, DE 值仅为 84.3。这说明 pH 过低的酸性环境, 大幅降低糖化酶的酶解速度及效率, 这与李娜<sup>[16]</sup>的研究结论一致。相较之下, pH 4.5 条件下, 整个糖化反应效率都维持在较高水平, 最为适宜。

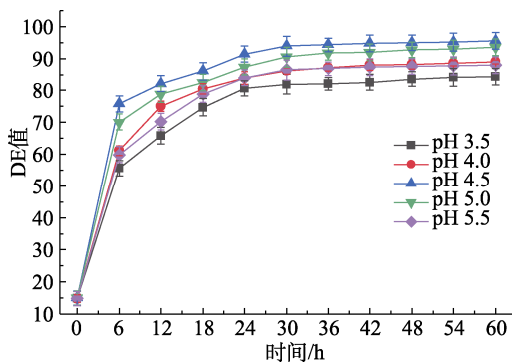


图 2 pH 对糖化 DE 值的影响

Fig.2 Effect of pH on the DE value of saccharification

## 2.3 加酶量对糖化值的影响

加酶量直接影响糖化周期的长短, 在前期研究结论的基础上, 在以 60 °C 反应温度, pH 值为 4.5, 底物初始 DE 值 15 为最适条件下, 研究了不同加酶量下, 糖化产物 DE 值随糖化时间的动态变化情况。如图 3 所示, 加酶量为 50 U/g、100 U/g 时, DE 值上升缓慢, 糖化时间长, 且糖化终点 DE 值仅为 82.1 和 87.4, 说明糖化反应不够充分, 加酶量过低。随着酶添加量的上升, 酶添加量 200 U/g、250 U/g 在糖化效果最佳, 糖化 18 h 后

底物 DE 值已达平衡状态, 且两组差别不大, 最终糖化值均能够达到 95.5 左右。提高酶添加量能够在一定程度上加快酶反应的速度, 如图反应前 6 h 内, 反应速率与酶添加量成正比, 但酶的复合反应也会加剧, 最终影响得率, 且会加大工业生产中成本。因此综合考虑, 在不影响最终产物 DE 值的情况下选择加酶量为 200 U/g 为宜。

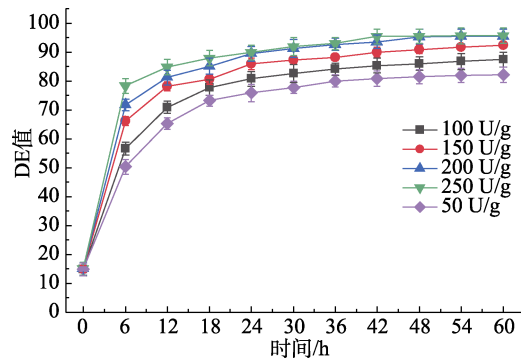


图 3 加酶量对糖化 DE 值的影响

Fig.3 Effect of enzyme addition amount on the saccharification DE value

## 2.4 糖化底物最适 DE 值的确定

为探究不同糖化原料初始 DE 值对糖化过程及产物的影响, 本研究对 5 个不同 DE 值 (10、12、15、18、20) 的糖化底物在糖化时间 60 h 的产物 DE 值变化进行了相关测定。在整个糖化过程中, 5 个实验组的糖液 DE 值变化如图 4 所示。反应进行 12 h 前, 初始 DE 值越高, 上升速率越快, 各组在 36 h 后, DE 值逐渐趋于稳定。DE 10 和 DE 12 组最终产物葡萄糖当量最低, 为 85.3 和 87.5, DE 15 和 DE 18 组最高, 分别为 95.2 和 93.3。

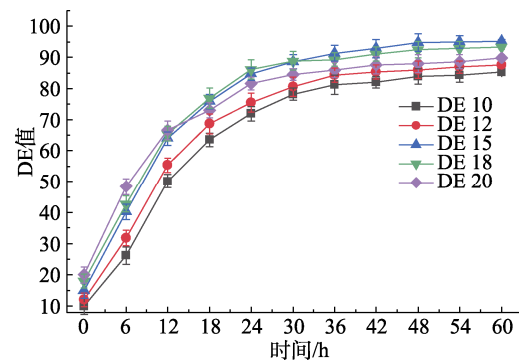


图 4 糖化底物 DE 值对糖化的影响

Fig.4 Effect of DE value of glycosylation substrate on the glycosylation

因此可以说明，糖化底物初始 DE 值，在 15~18 范围内为宜，在 DE 15 时最佳，有利于酶和底物的结合。这可能是由于不同原料黏度引起的，DE 值过大，糖化液中原料分子较小，不利于糖化酶与底物形成络合结构，从而影响催化效率。

### 2.5 糖化参数优化分析

根据之前实验结果，选择 pH 值、加酶量、底物 DE 值三个参数进行正交实验，结果如下表 2 所示。通过极差分析看出，对于糖化工艺来说，影响糖化反应的各因素大小依次为：pH 值 (A) > 酶添加量 (B) > 底物初始 DE 值 (C)，通过 k 值比较正交实验得到最理想工艺条件为：A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>C<sub>2</sub>，即在 pH 4.5，酶添加量为 250 U/g，底物初始 DE 值为 15 的条件下，糖化反应最充分，产物 DE 值最高，这与之前测定得出的结果一致，在最优条件下糖化产物 DE 值能够达到 95 以上。除此之外调 pH 时，尽量控制在上限处，有利于减少离交的负荷，减少酸用量从而节约成本，还能避免最后糖化酸度值偏低影响糖化产物液质量。

表 2 糖化正交结果与分析

Table.2 Orthogonal results and analysis of saccharification				
实验号	A pH 值	B 加酶量/(U/g)	C 底物 DE 值	产物 DE 值
1	1	1	1	84.3
2	1	2	2	87.4
3	1	3	3	85.1
4	2	1	2	87.6
5	2	2	3	91.7
6	2	3	1	89.5
7	3	1	3	85.3
8	3	2	1	86.9
9	3	3	2	90.0
k1	85.7	85.7	86.9	
k2	89.6	88.7	88.3	
k3	87.4	88.2	87.4	
R	3.9	3.0	1.4	
因素主次	A>B>C			
最优组合	A <sub>2</sub> B <sub>2</sub> C <sub>2</sub>			

### 2.6 糖化产物黏度分析

在玉米淀粉糖的工业生产中，通常把液化反应后的底物 DE 值通常控制在 12~18，这是由于此时糖液黏度方便糖化反应的进行。为研究糖化反应优化后对产物黏度影响，本研究测定了 5 个不

同 DE 值 (10、12、15、18、20) 底物最适条件下糖化黏度变化如图 5 所示。结果表明初始 DE 值与糖液黏度呈负相关，DE 10 组初始黏度达到 486 cp，而 DE 20 组仅为 103 cp，高 DE 值底物到达平衡的糖化时间越短。这是因为初始 DE 值高，糖液的黏度低，糖化酶与底物的碰撞几率增大，能够提升糖化效率。但 DE 值太高，会在液化阶段产生很多难于被糖化酶水解的超短链分子糖。而低 DE 值糖液在糖化时，由于体系黏度较高，水分流动性更差，有较强的凝沉性，因此酶解的效率不佳，加大糖化难度，各项产物的得率也会受影响<sup>[17]</sup>。图中 DE 值为 15~18 的糖化液在糖化时，反应体系黏度均适中，能够较快到达黏度平衡点，说明正交优化结果较为理想。

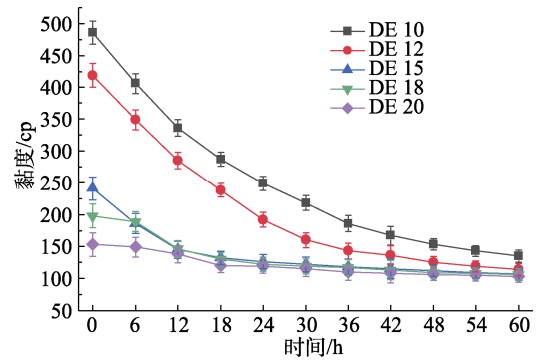


图 5 糖化底物 DE 值对糖化的影响

Fig.5 Effect of DE value of glycosylation substrate on the glycosylation

### 2.7 糖化产物组成分析

为验证不同 DE 值糖化原料反应过程中，是否会对最终产物的得率和组成造成影响，在最佳糖化条件下对 5 个实验组最终产物进行了组成分析，结果如下表 3 所示。糖化液中的产物组成包括有葡萄糖、麦芽糖、麦芽三糖以及麦芽四糖，四糖以上的寡糖与其他杂糖用其他表示。从组成上看，各组葡萄糖含量 DX 值均在 90% 以上，DE 10 和 DE 12 组 DX 值仅为 91.89% 和 92.50%，DE 15 组 DX 值最高为 96.86%。较低 DE 值的底物经糖化后速率较慢，杂糖生成率较高，组成多样性更加复杂。此外，随着底物浓度的增加，葡萄糖和麦芽糖的得率变化差异不大，但是杂糖等其他物质含量下降。与此前结果综合分析，这可能是因为

表 3 糖化底物 DE 值对产物组成的影响

Table.3 Effect of DE value of glycosylated substrate on product composition

底物 DE 值	糖化得率				
	葡萄糖	麦芽糖	麦芽三糖	麦芽四糖及以上	其他
DE10	91.89±0.39	3.49±0.12	0.67±0.01	0.98±0.04	3.23±0.12
DE 12	92.50±0.45	3.24±0.06	0.43±0.03	0.73±0.03	2.19±0.10
DE 15	96.86±0.22	2.79±0.18	0.29±0.02	0.28±0.03	1.30±0.06
DE 18	96.50±0.16	2.53±0.23	0.17±0.02	0.34±0.03	1.22±0.04
DE 20	95.73±0.49	2.13±0.20	0.21±0.01	0.30±0.02	0.85±0.03

不同 DE 值糖化液黏度影响了酶化效果。综上对比分析后, DE 值 15 糖化液最终产物中的杂糖物质含量较少, 产物得率最高。根据国内外研究结论, 赵骏捷<sup>[18]</sup>等对糖化酶系和工艺进行优化后, 糖化产物 DE 值可达 88 以上, 而目前工业化制糖中, 常以 35%左右的初始淀粉乳作为原料, 产品 DX 值平均在 90%左右, 通过本实验优化, 原料浓度可以提升到 40%, 产物 DE 值可达 95 以上, 同时减少了杂糖成分的产生, 最终 DX 值可达 96.86%, 因此说明糖化条件优化效果良好。

### 3 结论

本文以 40%浓度初始淀粉乳为原料, 对玉米淀粉制糖糖化反应阶段不同影响因素对糖化效率的影响进行了研究, 同时对最终糖化产物进行了分析。糖化反应正交优化结果表明: 影响糖化反应的因素主次为: pH 值>酶添加量>底物 DE 值, 最佳糖化条件组合为,  $A_2B_2C_2$ , 即温度 60 °C, 糖化 pH 为 4.5, 加酶量为 200 U/g, 原料底物 DE 值为 15, 此时糖化液黏度适中, 更有利于酶解反应的充分进行, 适合用作反应底物。在对糖化最终产物组成分析后发现, 低 DE 值的反应底物不仅反应速度较慢, 糖化产物转化率也较低。DE 值 15 的底物最终产物得率最高, DX 值达到 96.86%, 且生成的杂糖较少, 糖化反应优化效果良好, 高于国内目前工业化制糖生产平均水平。

### 参考文献:

[1] 姚宇晨, 徐光辉, 杨钊, 等. 淀粉糖行业发展趋势分析及展望[J]. 农产品加工, 2021, 11(21): 77-82.  
 YAO Y C, XU G H, YANG Z, et al. Development trend analysis and prospect of starch sugar industry[J]. Agricultural product processing, 2021, 11(21): 77-82.

[2] 佟毅. 中国玉米淀粉与淀粉糖工业技术发展历程与展望[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(17): 294-298.  
 TONG Y. Development and prospect of corn starch and starch sugar industry technology in China[J]. Food and fermentation industry, 2019, 45(17): 294-298.

[3] JOHNSOON R, PADMAJA G, MOORTHY S N. Comparative production of glucose and high fructose syrup from cassava and sweet potato roots by direct conversion techniques[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2009, (10): 616-620.

[4] 黄彩平. 玉米淀粉糖生产工艺改进策略分析[J]. 现代食品, 2021, 8: 45-46.  
 HUANG C P. Analysis on Improvement strategy of corn starch sugar production technology[J]. Modern food, 2021, 8: 45-46.

[5] CONG C, LÜ C Y, FAN H, et al. Response surface optimization of saccharification process for liquefied corn starch by simultaneous extrusion and enzymatic hydrolysis[J]. Food Science, 2015, 63(2): 233-237.

[6] 荀娟, 管斌, 李珊, 等. 麦芽糖化过程中淀粉酶酶系和酶活水平对糖化产物影响的研究[J]. 中国酿造, 2009, 3: 86-89.  
 XUN J, GUAN B, LI S, et al. Study on the effect of amylase system and activity level on the glycation products in maltose process[J]. Chinese brewing, 2009, 3: 86-89.

[7] 吴瑶, 曹龙奎. 碎米淀粉制备果葡糖浆工艺优化[J]. 农产品加工(学刊), 2013, 7(14): 31-35.  
 WU Y, CAO L K. Optimization of preparation of fructus glucosus from broken rice starch[J]. Agricultural Products Processing (Journal), 2013, 7(14): 31-35.

[8] 葛建. 玉米淀粉乳双酶法高效糖化工艺研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2020, 26-30.  
 GE J. Study on high efficiency saccharification of corn starch milk by double enzyme method[D]. Nanchang: Nanchang University, 2020, 26-30.

[9] 柯旭清. 双酶法玉米淀粉糖化反应的影响因素研究[J]. 粮食与油脂, 2019, 32(2): 63-66.  
 KE X Q. Study on influencing factors of saccharification of corn starch by double enzyme method[J]. Grain and oil, 2019, 32(2): 63-66.

[10] 刘安妮, 丁子元, 曹雪, 等. 复合酶系高浓度玉米淀粉乳液化工艺的研究[J]. 当代化工, 2019, 48(5): 1069-1073.  
 LIU A N, DING Z Y, CAO X, et al. Study on emulsion

- technology of high concentration corn starch complex enzyme [J]. Contemporary chemical industry, 2019, 48(5): 1069-1073.
- [11] 王立丹, 朱晓敏, 洪昌业, 等. 玉米淀粉糖的特性测定及其在馒头中的应用[J]. 中国粮油学报, 2018, 33(9): 42-47.  
WANG L D, ZHU XM, HONG C Y, et al. Characterization of corn starch sugar and its application in steamed bread[J]. Chinese Journal of Grain and Oils, 2018, 33(9): 42-47.
- [12] 李文钊, 盛永吉, 皮冬伟, 等. 淀粉糖生产线糖化液组分变化和关系研究[J]. 当代化工, 2022, 51(9): 2183-2188.  
LI W Z, SHENG Y J, PI D W, et al. Study on the composition change and relationship of saccharification liquid in starch sugar production line[J]. Contemporary chemical industry, 2022, 51(9): 2183-2188.
- [13] 崔凤娥. 玉米淀粉酶法制备低聚异麦芽糖的研究[D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2015, 21-26.  
CUI F E. Preparation of isomaltose by maize amylase method [D]. Jinan: Qilu University of Technology, 2015, 21-26.
- [14] 王博. 玉米淀粉糖生产工艺改进研究[J]. 黑龙江科技信息, 2016, (23): 106.  
WANG B. Study on improvement of corn starch sugar production technology[J]. Heilongjiang Science and Technology Information, 2016, (23): 106.
- [15] 项超, 沈升法, 吴列洪, 等. 甘薯块根淀粉酶特性及糖化效应研究[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(5): 56-61.  
XIANG C, SHEN S F, WU L H, et al. Study on amylase characteristics and saccharification effect of sweet potato root tuber[J]. Chinese Journal of Grain and Oils, 2021, 36(5): 56-61.
- [16] 李娜. 玉米淀粉糖生产工艺改进研究[D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2014, 27-28.  
LI N. Study on improvement of corn starch sugar production technology[D]. Jinan: Qilu University of Technology, 2014, 27-28.
- [17] 杨倩雯. 高浓度底物条件下酶法生产麦芽糖浆工艺的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2017, 14-18.  
YANG J W. Study on enzymatic production of malt syrup under high concentration substrate[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2017, 14-18.
- [18] 赵骏捷. 高效液化糖化高浓度玉米淀粉关键酶系的优化[D]. 长春: 吉林大学, 2015, 42-47.  
ZHAO J J. Optimization of key enzymes in high concentration corn starch liquefaction saccharification[D]. Changchun: Jilin University, 2015, 42-47. 完