

Degradation Process of the Purple Sweet Potato Amylase

Dongfeng Zhao, Shulan Yu, Xuezheng Li, and Yunguo Qi

Weifang Vocational College, Weifang, Shandong 261031

Abstract. Using fresh purple sweet potato as research material, the different factors affecting the enzymatic liquefied and saccharified of the purple sweet potato starch were studied. After single factor tests, the orthogonal design were performed to determine the optimum conditions through enzymolysis process. The results indicate that the optimum conditions of the liquefaction of the purple sweet potato starch are PH of 6.0, alpha-amylase dosage of 12 U/g, temperature of 60°C, action time of 55min and the optimum conditions of the saccharification of the purple sweet potato starch are PH of 4.0, saccharifying-enzyme dosage of 200U/g, temperature of 60°C, action time of 160min. Under the conditions, the soluble solids content in liquefied hydrolysate from fresh purple sweet potato can reach 8.7%, and the dextrose equivalent value of saccharified hydrolysate from fresh purple sweet potato can be up to 96%.

Keywords: Purple sweet potato; Liquefaction; Saccharification; Process

紫甘薯淀粉酶法降解工艺

赵东风, 于淑兰, 李雪贞, 齐云国

(潍坊职业学院, 山东 潍坊 261031)

摘要: 以鲜紫甘薯作为研究材料, 研究了不同因素对紫甘薯淀粉酶法液化和糖化过程的影响。研究方法是先进行单因素试验, 再采用正交试验设计方法确定了酶解的最佳工艺条件。结果表明, 紫甘薯中淀粉的最佳液化工艺条件为: pH 值为 6.0、 α -淀粉酶用量为 12 U/g、温度 60°C、作用时间为 55min。最佳糖化工艺条件为: pH 值为 4.0、糖化酶用量为 200 U/g、温度 60°C、作用时间为 160min。在该工艺条件下, 鲜紫甘薯液化的水解液中可溶性固形物含量达到 8.7%, 糖化的水解液中 DE 值达到 96%。

关键词: 紫甘薯; 液化; 糖化; 工艺

引言

紫甘薯又称紫薯, 为旋花科草本植物。紫甘薯由于含有大量花青素而使薯肉呈紫色。紫甘薯除含有淀粉、蛋白质、脂肪酸、氨基酸及多种维生素等营养物质外, 还含有人体需要的钙、锌、铁、铜、锰、硒等多种天然矿物质, 具有很高的食用和药用价值[1]。紫甘薯花青素是一种抗氧化剂, 能够清除人体自由基。花青素是目前发现的防治疾病、维护人类健康最安全、最直接、最有效的自由基清除剂[2, 3]。据文献报道, 花青素清除自由基的能力是维生素 C 的 20 倍、维生素 E 的 50 倍。紫甘薯具有提高人体免疫力、软化血管、增强人体血管壁弹性、降血压、降血脂的功能。紫甘薯能够起到补钙、健身、美容等保健作用。除此之外, 紫甘薯还具有抗肿瘤、预防高血压及心血管疾病等药用功能[4, 5]。由此可见, 紫甘薯是一类集营养、保健和色素于一体的药食同源的天然食物, 具有很高的开发利用价值。近几年来, 国内外对紫甘薯的研究逐渐增多, 例如: 甘薯花青素的提取及其抑菌效果分析[6]、紫甘薯饮料制备工艺研究[7]、紫甘薯葡萄酒酿造工艺研究[8]等。但是, 目前对鲜紫甘薯利用生物酶法液化及糖化工艺研究的报道还相对较少。本研究旨在利用生物酶解的方

法，将鲜紫甘薯中的淀粉水解为还原糖，从而为紫甘薯深加工提供参考。

1 材料和方法

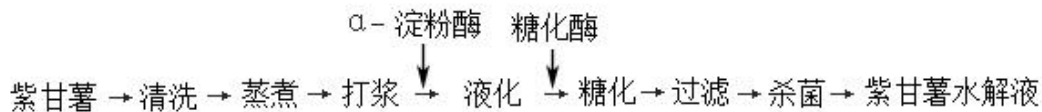
1.1 材料与仪器

鲜紫甘薯：市售； α -淀粉酶（酶活力为 3000u/g）、糖化酶[9]（酶活力为 100000u/g），均有湖南鸿鹰祥生物工程有限公司提供；其他试剂均为分析纯。

FA2004 型电子分析天平，上海恒平科学仪器有限公司；糖度计（上海天垒仪器仪表有限公司）；755B 紫外可见分光光度计，上海菁华科技仪器有限公司；DK-S14 型电热恒温水浴锅，上海森信实验仪器有限公司；酸度计；打浆机；离心机（4000r/min）；不锈钢锅等。

1.2 试验方法

1.2.1 工艺流程



1.2.2 操作要点

1.2.2.1 鲜紫甘薯处理

选择无病斑、无伤痕的鲜紫甘薯，清洗干净。将紫甘薯在温度 100℃ 条件下蒸煮 15min，按 1:2 的料水比打浆，加入 0.2% 的 CaCl_2 得到紫甘薯浆。

1.2.2.2 液化试验

对影响液化的主要因素： α -淀粉酶添加量、pH、温度、时间等进行单因素试验，

以可溶性固形物含量为指标，得到紫甘薯液化的单因素优化条件。再根据液化单因素试验结果，设计液化正交试验，优化液化的工艺条件。

1.2.2.3 糖化试验

对影响糖化的主要因素：糖化酶添加量、pH、温度、时间等进行单因素试验，以 DE 值为指标，得到紫甘薯糖化的单因素优化条件。再根据糖化单因素试验结果，设计糖化正交试验，优化糖化的工艺条件。

1.2.2.4 杀菌

将糖化的紫甘薯液过滤后，在温度 85℃ 条件下杀菌 15min，得到紫甘薯酶解液。

1.2.3 分析测定方法

可溶性固形物含量测定采取折光法；还原糖含量的测定采取菲林试剂法^[10]；酸度测定采取酸度计法。淀粉的糖化程度用 DE 值表示， $\text{DE 值} = \frac{\text{糖化液中还原糖（以葡萄糖计）含量}}{\text{糖化液中干物质含量}} \times 100\%$ 。

2 结果与分析

2.1 液化单因素试验

2.1.1 α -淀粉酶用量对液化效果的影响

将打浆后的紫甘薯浆在 pH 值 6.0、温度 60℃、时间 40min 的条件下， α -淀粉酶用量对液化的影响见图 1。

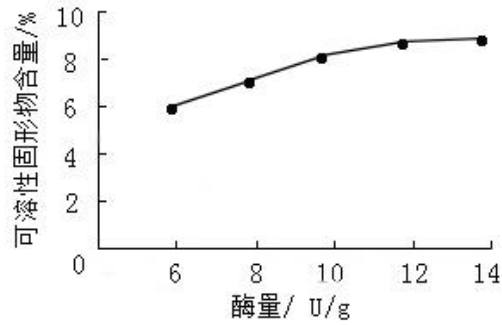


图 1 α -淀粉酶用量对液化效果的影响

由图 1 可知：当 α -淀粉酶用量低于 12U / g 时，可溶性固形物含量随酶量的增加而增加，酶量达到 12U / g 时，可溶性固形物含量最高，液化效果最好。

2.1.2 温度对液化效果的影响

在酶用量 12U / g、pH 值 6.0、时间 40min 的条件下，温度对液化的影响见图 2。

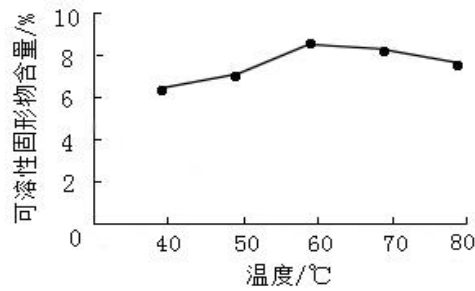


图 2 温度对液化效果的影响

由图 2 可知，随着温度的升高，可溶性固形物含量逐渐增加，当温度升高到 60℃时，可溶性固形物含量最高，再升高温度，可溶性固形物含量逐渐降低。因此，液化的温度范围为 55℃~65℃。

2.1.3 pH 对液化效果的影响

在酶用量 12U / g、温度 60℃、时间 40min 的条件下，pH 值对液化的影响见图 3。

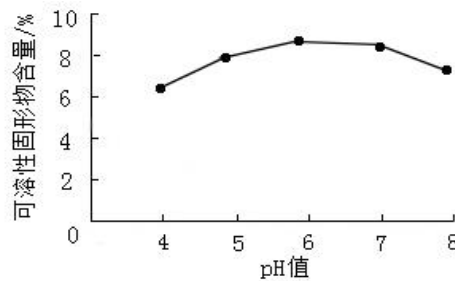


图 3 pH 值对液化效果的影响

由图 3 可知，pH 值低于 6.0 时，可溶性固形物含量随着 pH 的升高而增加，pH 值高于 6.0 时，可溶性固形物含量随着 pH 的升高而减少，因此，液化的 pH 值范围为 5.5~6.5。

2.1.4 时间对液化效果的影响

在酶用量 12U / g、温度 60℃、pH 值 6.0 的条件下，时间对液化的影响见图 4。

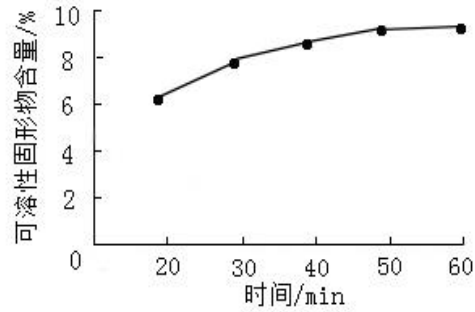


图4 液化时间对液化效果的影响

由图 4 可知，随着液化时间的延长，可溶性固形物含量逐渐增加，当时间超过 50min 时，可溶性固形物含量增加缓慢，因此，液化的最佳时间为 50min。

2.2 液化正交试验

根据液化单因素试验结果，对溶液 pH、 α -淀粉酶用量、温度和时间等因素，选用 L9 (34) 正交试验。正交试验设计见表 1，试验结果见表 2。

表 1 液化正交试验设计

水平	因 素			
	α -淀粉酶用量/ (U/g)	温度/℃	pH	时间/min
1	10	55	5.5	45
2	12	60	6.0	50
3	14	65	6.5	55

表 2 液化正交试验结果

配方	因 素				可溶性固形物/%
	α -淀粉酶用量/ (U/g)	温度/℃	pH	时间/min	
1	1 (10)	1 (55)	1 (5.5)	1 (45)	6.2
2	1	2 (60)	2 (6.0)	2 (50)	7.6
3	1	3 (65)	3 (6.5)	3 (55)	6.2
4	2 (12)	1	2	3	8.3
5	2	2	3	1	8.7
6	2	3	1	2	7.5
7	3 (14)	1	3	2	6.5
8	3	2	1	3	7.4
9	3	3	2	1	6.4
K ₁	20.0	21.0	21.1	21.3	
K ₂	24.5	23.7	22.3	21.6	
K ₃	20.3	20.1	21.4	21.9	
k ₁	6.7	7.0	7.0	7.1	
k ₂	8.2	7.9	7.4	7.2	
k ₃	6.8	6.7	7.1	7.3	
R	1.5	1.2	0.4	0.2	

从表 2 可以看出， α -淀粉酶对紫甘薯液化影响最大的因素是酶用量，其次是温度和 pH 值，影响最小的

是作用时间。根据极差分析结果，确定紫甘薯液化最优工艺条件为： α -淀粉酶用量为 12 U/g、温度 60℃、pH 值为 6.0、作用时间为 55min。

2.3 糖化单因素试验

2.3.1 糖化酶用量对糖化效果的影响

将经过液化的紫甘薯液，在温度 60℃，pH 为 4.5，时间 160min 的条件下，糖化酶用量对糖化的影响见图 5。

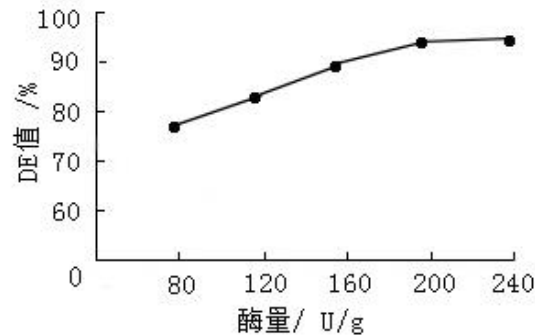


图 5 糖化酶用量对糖化效果的影响

由图 5 可知，当糖化酶的用量低于 200U / g 时，DE 值随糖化酶用量的增加而显著增大，当酶用量超过 200U / g 时，DE 值变化不大，因此，糖化酶的用量在 160 U / g~240 U / g 的范围较好。

2.3.2 温度对糖化效果的影响

在糖化酶用量为 200 U / g，pH 为 4.5，时间 160min 的条件下，温度对糖化的影响见图 6。

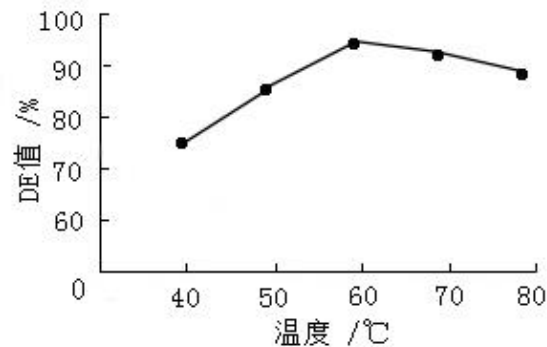


图 6 温度对糖化效果的影响

由图 6 可知，在温度低于 60℃时，DE 值随着温度的升高而增大，当温度大于 60℃后，DE 值迅速减小。因此，糖化温度范围在 55℃~60℃。

2.3.3 pH 对糖化效果的影响

在糖化酶用量为 200 U / g，温度 60℃，时间 160min 的条件下，pH 值对糖化的影响见图 7。

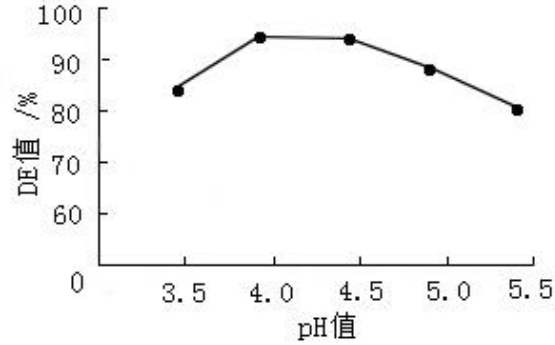


图7 pH对糖化效果的影响

由图7可知，在pH值在3.5~4.0时，DE值随pH的升高而显著增大，当pH值在4.0~4.5时，DE值随pH的升高缓慢减小，当pH值超过4.5时，DE值下降较快，因此，糖化酶最适pH值范围为4.0~4.5。

2.3.4 时间对糖化效果的影响

在糖化酶用量为200 U/g，温度60℃，pH值为4.5的条件下，时间对糖化的影响见图8。

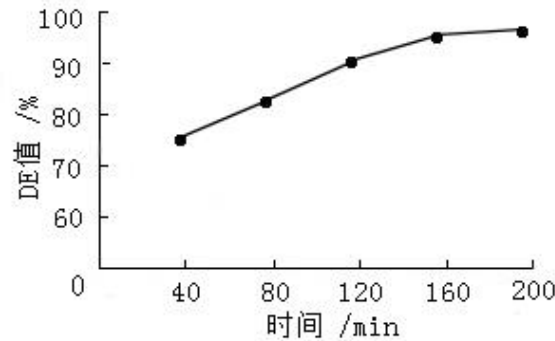


图8 时间对糖化效果的影响

由图8可知，时间小于160 min，DE值随时间延长而增大，时间大于160 min，DE值增大不明显，因此，紫甘薯适宜的糖化时间为160 min。

2.4 糖化正交试验

根据糖化单因素试验结果，对糖化液的pH、糖化酶用量、温度和时间等因素，选用L9(3⁴)正交试验。正交试验设计见表3，试验结果见表4。

表3 糖化正交试验设计

水平	因 素			
	加酶量/ (U/g)	温度/℃	pH	时间/min
1	160	55	3.5	120
2	200	60	4.0	160
3	240	65	4.5	200

表 4 糖化正交试验结果

配 方	因 素				DE 值/%
	加酶量/ (U/g)	温度/°C	pH	时间/min	
1	1 (160)	1 (55)	1 (3.5)	1 (120)	81.4
2	1	2 (60)	2 (4.0)	2 (160)	89.2
3	1	3 (65)	3 (4.5)	3 (200)	82.5
4	2 (200)	1	2	3	92.6
5	2	2	3	1	96.0
6	2	3	1	2	92.1
7	3 (240)	1	3	2	83.7
8	3	2	1	3	87.8
9	3	3	2	1	84.9
K ₁	253.1	257.7	261.3	262.3	
K ₂	280.7	273.0	266.7	265.0	
K ₃	256.4	259.5	262.2	262.9	
k ₁	84.4	85.9	87.1	87.4	
k ₂	93.6	91.0	88.9	88.3	
k ₃	85.5	86.5	87.4	87.6	
R	9.2	5.1	1.8	0.9	

从表 4 可以看出,对紫甘薯糖化影响最大的因素是糖化酶用量,其次是温度和 pH 值,影响最小的是作用时间。根据极差分析结果,确定紫甘薯糖化的最优工艺条件为:糖化酶用量为 200 U/g、温度 60°C、pH 值为 4.0、作用时间为 160min。

3 结论

通过试验,确定了鲜紫甘薯中淀粉的最佳液化工艺条件为:α-淀粉酶用量为 12 U/g、温度 60°C、pH 值为 6.0、作用时间为 55min,在该条件下,可溶性固形物含量达到 8.7%。最佳糖化工艺条件为:糖化酶用量为 200 U/g、温度 60°C、pH 值为 4.0、作用时间为 160min,在该条件下,DE 值达到 96%。结果表明,利用生物酶法降解紫甘薯淀粉,其反应条件温和,紫甘薯淀粉的糖化程度高,可为紫甘薯的深加工打下良好基础。

4 致谢

基金项目名称:山东省科技厅星火计划项目(2012XH06004)。

4 Acknowledgement

Fund Project Name: Shandong Provincial Science and Technology Department Spark Program (2012XH06004)

参考文献;

- [1] Xie F, Burklew CE, Yang Y, Liu M, Xiao P, Zhang B, Qiu D. De novo sequencing and a comprehensive analysis of purple sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) transcriptome. *Planta*. 2012 Jul; 236(1): 101-13.
- [2] Pedro AC, Moreira F, Granato D, Rosso ND. Extraction of bioactive compounds and free radical scavenging activity of purple basil (*Ocimum basilicum* L.) leaf extracts as affected by temperature and time. *An Acad Bras Cienc*. 2016 May 13; 88(2): 1055-68.
- [3] Wang S, Pan D, Lv X, Song X, Qiu Z, Huang C, Huang R, Chen W. Proteomic approach reveals that starch degradation contributes to anthocyanin accumulation in tuberous root of purple sweet potato. *J Proteomics*. 2016 Jun 30; 143:298-305.
- [4] Sun C, Fan S, Wang X, Lu J, Zhang Z, Wu D, Shan Q, Zheng Y. Purple sweet potato color inhibits endothelial premature senescence by blocking the NLRP3 inflammasome. *J Nutr Biochem*. 2015 Oct; 26(10): 1029-40.
- [5] 孔芳, 高勇. 紫甘薯的营养保健功能及研究进展[J]. *安徽农学通报*, 2013, (5): 11-13
- [6] 古荣鑫, 胡花丽, 刘雨辰. 紫甘薯花青素提取工艺及抑菌活性的研究[J]. *山东农业科学*, 2012, 44(4): 107-113
- [7] 母丽萍, 雷激, 李博等. 紫甘薯饮料制备工艺研究[J]. *食品科学*, 2010, 31(20): 513-517
- [8] 史经略, 张安宁等. 紫甘薯葡萄酒酿造工艺研究[J]. *中国酿造*, 2011, 30(7): 158-162
- [9] Sauer J, Sigurskjold BW, Christensen U, Frandsen TP, Mirgorodskaya E, Harrison M, Roepstorff P, Svensson B. Glucoamylase: structure/function relationships, and
- [10] 张惟杰. 糖复合物生化研究技术. 第二版[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2006

References

- [1] Xie F, Burklew CE, Yang Y, Liu M, Xiao P, Zhang B, Qiu D. De novo sequencing and a comprehensive analysis of purple sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) transcriptome. *Planta*. 2012 Jul; 236(1): 101-13.
- [2] Pedro AC, Moreira F, Granato D, Rosso ND. Extraction of bioactive compounds and free radical scavenging activity of purple basil (*Ocimum basilicum* L.) leaf extracts as affected by temperature and time. *An Acad Bras Cienc*. 2016 May 13; 88(2): 1055-68.
- [3] Wang S, Pan D, Lv X, Song X, Qiu Z, Huang C, Huang R, Chen W. Proteomic approach reveals that starch degradation contributes to anthocyanin accumulation in tuberous root of purple sweet potato. *J Proteomics*. 2016 Jun 30; 143:298-305.
- [4] Sun C, Fan S, Wang X, Lu J, Zhang Z, Wu D, Shan Q, Zheng Y. Purple sweet potato color inhibits endothelial premature senescence by blocking the NLRP3 inflammasome. *J Nutr Biochem*. 2015 Oct; 26(10): 1029-40.
- [5] Kong Fang, Gao Yong. Nutrition and Health Care Function of Purple Sweet Potato and its Research Progress [J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2013, (5): 11-13
- [6] Gu Rongxin, Hu Huali, Liu Yuchen. Research on Extraction Process of Purple Sweet Potato Anthocyanins and Antibacterial Activity [J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2012, 44(4): 107-113
- [7] Mu Liping, Lei Ji, Li Bo, etc. Study on Preparation of Purple Sweet Potato Beverage [J]. *Food Science*, 2010, 31(20): 513-517
- [8] Shi Jinglv, Zhang Anning, etc. Study on Brewing Technology of Purple Sweet Potato Wine [J]. *China Brewing*, 2011, 30(7): 158-162
- [9] Zhang Weijie. Studies on Biochemical Technology of Glycoconjugates. The Second Edition [M]. Hangzhou: Zhejiang University Press, 2006