

# 陕南豆薯淀粉浆液液化和糖化的工艺研究

(1. 陕西理工大学生物科学与工程学院, 陕西汉中 723001; 2. 陕西省食药菌工程技术研究中心, 陕西汉中 723001)

中图分类号: TS201.1      文献标志码: A      文章编号: 1002-1302(2017)13-0165-04

1.2.3.1  $\alpha$ -淀粉酶添加量对液化的影响 取豆薯原浆 5 份(约 25 mL)于烧杯中,在 pH 值为 6.0、温度为 90  $^{\circ}\text{C}$ 、时间

为 90 min 的条件下,比较不同  $\alpha$ -淀粉酶添加量(25、50、75、100、125 U/g)对液化效果的影响。恒温过程中间隔一定时间对豆薯浆进行搅拌(下同)。

1.2.3.2 pH 值对液化的影响 取豆薯原浆 5 份于烧杯中,在  $\alpha$ -淀粉酶添加量为 50 U/g、温度为 90 ℃、时间为 90 min 的条件下,比较不同 pH 值(5.0、5.5、6.0、6.5、7.0)对液化效果的影响。

1.2.3.3 温度对液化的影响 取 5 份豆薯原浆于烧杯中,在 pH 值为 6.0、 $\alpha$ -淀粉酶添加量为 50 U/g、时间为 90 min 的条件下,比较不同温度(80、85、90、95、100 ℃)对液化效果的影响。

1.2.3.4 时间对液化的影响 取 5 份豆薯原浆于烧杯中,在 pH 值为 6.0、 $\alpha$ -淀粉酶添加量为 50 U/g、温度为 95 ℃的条件下,比较不同时间(70、80、90、110、120 min)对液化效果的影响。

1.2.4 液化正交试验设计 在液化单因素试验的基础上,选取  $\alpha$ -淀粉酶添加量、温度、pH 值、时间这 4 个因素作为影响豆薯淀粉液化的工艺条件,设计 4 因素 3 水平的正交试验,如表 1 所示。

表 1 液化试验  $L_9(3^4)$  因素水平

| 水平 | 因素         |        |             |         |
|----|------------|--------|-------------|---------|
|    | A:接种量(U/g) | B:pH 值 | C:糖化时间(min) | D:温度(℃) |
| 1  | 25         | 5.0    | 60          | 90      |
| 2  | 50         | 6.0    | 90          | 95      |
| 3  | 75         | 7.0    | 120         | 100     |

1.2.5 糖化单因素试验设计

1.2.5.1 糖化酶添加量对糖化的影响 将液化后的豆薯浆在 100 ℃下加热 15 min 灭酶,冷却至常温(下同)。取 5 份液化液于烧杯中,在 pH 值为 4.5、温度为 60 ℃、时间为 90 min 的条件下,比较不同糖化酶添加量(100、150、200、250、300 U/g)对糖化效果的影响。

1.2.5.2 pH 值的对糖化的影响 取 5 份液化液于烧杯中,在糖化酶添加量为 200 U/g、温度为 55 ℃、时间为 90 min 的条件下,比较不同 pH 值(3.5、4.0、4.5、5.0、5.5)对糖化效果的影响。

1.2.5.3 温度对糖化的影响 取 5 份液化液于烧杯中,在糖化酶添加量为 200 U/g、pH 值为 4.5、时间为 90 min 的条件下,比较不同温度(50、55、60、65、70 ℃)对糖化效果的影响。

1.2.5.4 时间对糖化的影响 取 5 份液化液于烧杯中,在糖化酶添加量为 200 U/g、pH 值为 4.5、温度为 60 ℃的条件下,比较不同时间(30、60、90、120、150 min)对糖化效果的影响。

1.2.6 糖化正交试验设计 在糖化单因素试验的基础上,选取糖化酶添加量、温度、pH 值、时间这 4 个因素作为影响豆薯淀粉糖化的工艺条件,设计 4 因素 3 水平的正交试验,如表 2 所示。

2 结果与分析

2.1 液化的单因素试验

2.1.1  $\alpha$ -淀粉酶添加量对液化的影响 在 pH 值为 6.0、温度为 90 ℃、时间为 90 min 的条件下进行  $\alpha$ -淀粉酶添加量(25、50、75、100、125 U/g)梯度试验,结果见图 1。

表 2 糖化试验  $L_9(3^4)$  因素水平

| 水平 | 因素         |        |             |         |
|----|------------|--------|-------------|---------|
|    | A:接种量(U/g) | B:pH 值 | C:糖化时间(min) | D:温度(℃) |
| 1  | 200        | 5.5    | 120         | 70      |
| 2  | 150        | 4.5    | 90          | 60      |
| 3  | 100        | 3.5    | 60          | 50      |

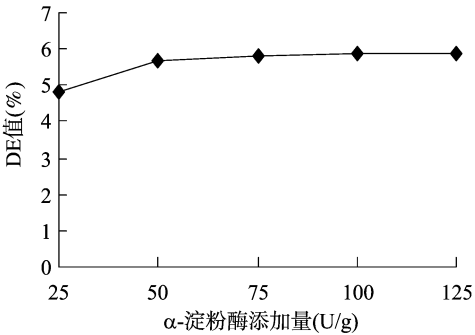


图1  $\alpha$ -淀粉酶添加量对液化的影响

由图 1 可知,随着  $\alpha$ -淀粉酶添加量增加,DE 值迅速升高;但当加酶量大于 50 U/g 时,DE 值基本趋于稳定。这是由于加酶量小于 50 U/g 时,底物质量浓度大于淀粉酶的质量浓度,反应速率受加酶量的影响较大,DE 值随着加酶量的增加而快速增大;加酶量大于 50 U/g 时,随着酶质量浓度逐渐升高,一部分酶分子没有机会和底物接触,致使水解液 DE 值基本不再变化。考虑到成本因素,因此,最佳的  $\alpha$ -淀粉酶添加量为 50 U/g。

2.1.2 pH 值对液化的影响 在  $\alpha$ -淀粉酶添加量为 50 U/g、温度为 90 ℃、时间为 90 min 的条件下进行液化 pH 值(5.0、5.5、6.0、6.5、7.0)梯度试验,结果见图 2。

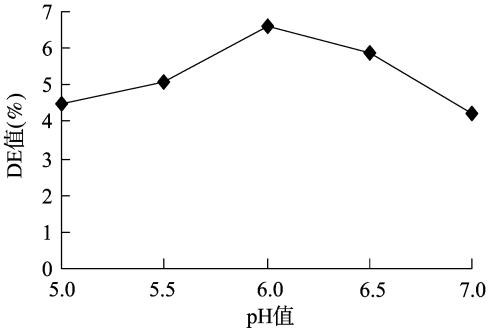


图2 pH 值对液化的影响

由图 2 可知,DE 值随着 pH 值的增大先升高后降低,pH 值在 6.0 达到最高。因为酶的活性部分一般含重要的酸性或碱性基团,不同 pH 值环境下酶的活性部分处于不同的离解状态,从而影响酶分子的构象以及酶与底物的结合力和催化能力<sup>[12-13]</sup>。因此,最佳的液化 pH 值为 6.0。

2.1.3 温度对液化的影响 在  $\alpha$ -淀粉酶添加量为 50 U/g、pH 值为 6.0、时间为 90 min 的条件下进行液化温度(80、85、90、95、100 ℃)梯度试验,结果见图 3。

由图 3 可知,DE 值随着温度的升高先升高后降低,温度为 90 ℃时 DE 值最高,达到 7.52%。液化温度同时影响化学反应速率和酶的活性,当温度小于 90 ℃时,随着温度的升高,

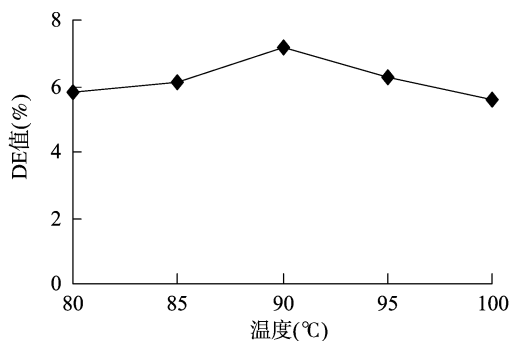


图3 温度对液化的影响

单位时间内酶分子与底物间的有效碰撞次数增加,液化反应速率加快;而当温度超过 90 ℃ 时,随着温度的继续升高,耐高温  $\alpha$ -淀粉酶变性失活,液化反应速率迅速下降。同时作用温度越高,还原糖与氨基酸越容易发生氨基糖反应,还原糖之间也会发生焦糖化反应,造成糖分的直接损失<sup>[14]</sup>。因此,最佳的液化温度为 90 ℃。

**2.1.4 时间对液化的影响** 在  $\alpha$ -淀粉酶添加量为 50 U/g、pH 值为 6.0、温度为 95 ℃ 的条件下进行液化时间(70、80、90、110、120 min)梯度试验,结果见图 4。

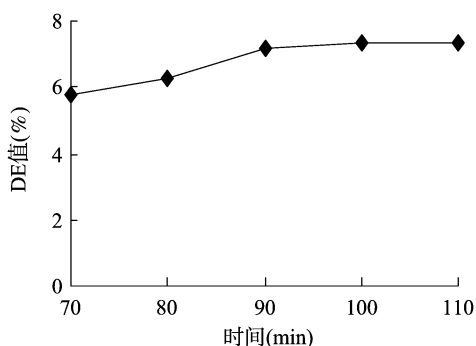


图4 时间对液化的影响

由图 4 可知,随着液化时间的增长,DE 值增加,但逐渐趋于缓慢。原因是耐高温  $\alpha$ -淀粉酶是一种内切酶,从分子内部开始水解淀粉,且仅能水解  $\alpha$ -1,4 糖苷键,对  $\alpha$ -1,6 糖苷键不起作用,但可越过此键,继续水解  $\alpha$ -1,4 糖苷键。由于淀粉中  $\alpha$ -1,6 糖苷键的存在,而影响了酶的水解速度,反应开始时速度很快,而后逐渐变缓<sup>[15-16]</sup>。因此,最佳的液化时间为 90 min。

## 2.2 液化正交试验

表 3 结果表明,各因子的最佳水平组合为  $A_3B_1C_2D_1$ 。极差分析结果表明,各因子对液化影响顺序分别为  $D > C > B > A$ 。所以,最终确定陕南豆薯浆液液化的最佳工艺为加酶量 75 U/g、pH 值 5.0、液化时间 90 min、液化温度 90 ℃。

## 2.3 糖化单因素试验

**2.3.1 糖化酶添加量对糖化的影响** 在 pH 值为 4.5、温度为 60 ℃、时间为 90 min 的条件下进行糖化酶添加量(100、150、200、250、300 U/g)梯度试验,结果见图 5。

由图 5 可知,糖化酶的添加量在 100~200 U/g 时,DE 值随着酶添加量的增加而增加,当超过 200 U/g 时,DE 值趋于不变。因此,最佳的糖化酶添加量为 200 U/g。

**2.3.2 pH 值对糖化的影响** 在糖化酶添加量为 200 U/g、温

表 3 液化  $L_9(3^4)$  正交试验结果

| 试验号   | 因素    |       |       |       | DE 值 (%) |
|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
|       | A     | B     | C     | D     |          |
| 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 4.30     |
| 2     | 1     | 2     | 2     | 2     | 5.45     |
| 3     | 1     | 3     | 3     | 3     | 2.31     |
| 4     | 2     | 1     | 2     | 3     | 4.37     |
| 5     | 2     | 2     | 3     | 1     | 6.08     |
| 6     | 2     | 3     | 1     | 2     | 3.75     |
| 7     | 3     | 1     | 3     | 2     | 6.38     |
| 8     | 3     | 2     | 1     | 3     | 2.96     |
| 9     | 3     | 3     | 2     | 1     | 5.84     |
| $K_1$ | 12.06 | 15.05 | 11.01 | 16.22 |          |
| $K_2$ | 14.20 | 14.49 | 15.66 | 15.58 |          |
| $K_3$ | 15.18 | 11.90 | 14.77 | 9.64  |          |
| $k_1$ | 4.02  | 5.02  | 3.67  | 5.41  |          |
| $k_2$ | 4.73  | 4.83  | 5.22  | 5.19  |          |
| $k_3$ | 5.06  | 3.97  | 4.92  | 3.21  |          |
| R     | 1.04  | 1.05  | 1.55  | 2.20  |          |

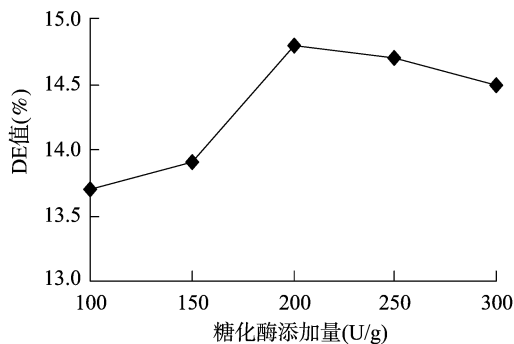


图5 糖化酶添加量对糖化的影响

度为 55 ℃、时间为 90 min 的条件下进行糖化 pH 值(3.5、4.0、4.5、5.0、5.5)梯度试验,结果见图 6。由图 6 可知,随着 pH 值的增大,DE 值先升高后降低,pH 值为 4.5 时 DE 值达到最大,随后迅速下降。原因是糖化酶的最适作用 pH 值为 4.0~4.5,pH 值过大或过小都会导致酶蛋白变性,从而影响酶分子与底物分子的结合和催化,最终影响水解速率。因此,最佳的糖化 pH 值为 4.5。

**2.3.3 温度对糖化的影响** 在糖化酶添加量为 200 U/g、pH 值为 4.5、时间为 90 min 的条件下进行糖化温度(50、55、60、65、70 ℃)梯度试验,结果见图 7。由图 7 可知,DE 值随着温度的升高而升高,当温度达到 60 ℃ 时达到最高,随后,其含量随着温度的上升而下降。这是由于糖化酶最适温度不超过 60 ℃<sup>[17]</sup>,当温度高于 60 ℃ 时,糖化酶失活,DE 值降低。因此,最佳的糖化温度为 60 ℃。

**2.3.4 时间对糖化的影响** 在糖化酶添加量为 200 U/g、pH 值为 4.5、温度为 60 ℃ 的条件下进行糖化时间(30、60、90、120、150 min)梯度试验,结果见图 8。由图 8 可知,随着糖化时间的增加,DE 值也增加,在 120 min 的时候达到最高。这是因为开始时,底物的浓度较高,反应速度受时间的影响较大;随着反应的进行底物浓度逐渐降低,反应速率也随之降低。因此,最佳的糖化时间为 120 min。

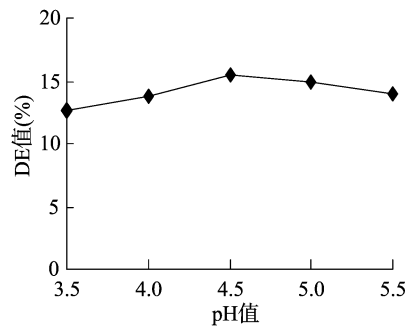


图6 pH 值对糖化的影响

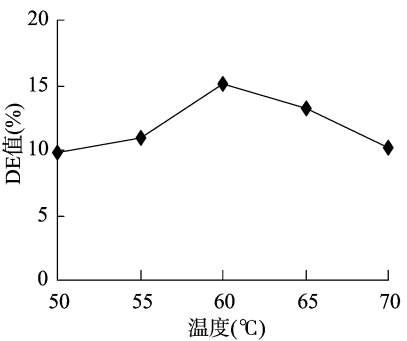


图7 温度对糖化的影响

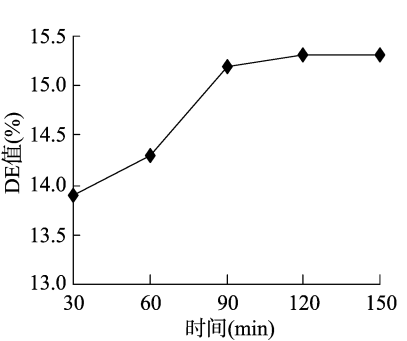


图8 时间对糖化的影响

2.4 糖化正交试验

表 4 结果表明,各因子的最佳水平组合为 A<sub>1</sub>B<sub>2</sub>C<sub>1</sub>D<sub>2</sub>。极差分析结果表明,各因子对糖化影响顺序分别为 C > A > D > B。所以,最终确定陕南豆薯浆液糖化的最佳工艺为接种量为 200 U/g, pH 值为 4.5, 糖化时间为 120 min, 糖化温度为 60 ℃。

表 4 糖化 L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>) 正交试验结果

| 试验号            | 因素    |       |       |       | 还原糖量<br>(%) |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------------|
|                | A     | B     | C     | D     |             |
| 1              | 1     | 1     | 1     | 1     | 14.21       |
| 2              | 1     | 2     | 2     | 2     | 15.74       |
| 3              | 1     | 3     | 3     | 3     | 10.23       |
| 4              | 2     | 1     | 2     | 3     | 12.8        |
| 5              | 2     | 2     | 3     | 1     | 11.25       |
| 6              | 2     | 3     | 1     | 2     | 15.47       |
| 7              | 3     | 1     | 3     | 2     | 9.81        |
| 8              | 3     | 2     | 1     | 3     | 12.14       |
| 9              | 3     | 3     | 2     | 1     | 10.27       |
| K <sub>1</sub> | 40.13 | 36.82 | 41.82 | 35.73 |             |
| K <sub>2</sub> | 39.52 | 39.13 | 38.81 | 41.02 |             |
| K <sub>3</sub> | 32.22 | 41.48 | 31.29 | 33.3  |             |
| k <sub>1</sub> | 13.38 | 12.27 | 13.94 | 11.91 |             |
| k <sub>2</sub> | 13.17 | 13.04 | 12.94 | 13.67 |             |
| k <sub>3</sub> | 10.74 | 13.83 | 10.43 | 11.1  |             |
| R              | 2.64  | 1.56  | 3.51  | 2.57  |             |

3 结论

对陕南豆薯淀粉浆液的液化和糖化工艺进行了研究,最佳的液化工艺为 α-淀粉酶添加量 75 U/g, pH 值 5.0, 液化时间 90 min, 液化温度 90 ℃; 最佳的糖化工艺为糖化酶添加量 200 U/g, pH 值 4.5, 糖化时间 120 min, 糖化温度 60 ℃。在此条件下, DE 值为 16.23%。

近年来,对陕南豆薯淀粉浆液液化和糖化的工艺研究报道甚少,刘轲等通过豆薯糖化液制备技术研究发现,其液化和糖化时间分别长达 120、240 min, DE 值为 11.88%<sup>[18]</sup>。与此相比,陕南豆薯淀粉浆液的液化时间和糖化时间分别缩短 30、120 min, 且 DE 值高出 4.35%, 最终得到的 DE 值符合果酒<sup>[19]</sup>、果醋<sup>[20]</sup>酿造中酒精度和还原糖含量配比的要求。

将豆薯淀粉水解成葡萄糖可供微生物发酵利用,转化成具有较高营养价值的发酵制品,其应用前景十分广阔。豆薯发酵产品的开发,有待进一步研究。

参考文献:

[1] 中国科学院《中国植物志》编辑委员会. 中国植物志:第四十一卷 [M]. 北京:科学出版社,1995:212-213.

[2] 苏雪娇,张秀娟,常维娜,等. 凉薯块茎的营养品质分析[J]. 食品工业科技,2013,19(55):349-351.

[3] 杨文慧,赵兵,高昂,等. 豆薯药学研究概况[J]. 安徽农业科学,2011,39(33):20391-20392.

[4] 陈忠文,西强,王宏飞,等. 豆薯资源的开发利用及发展建议[J]. 园艺与种苗,2014(5):49-51,53.

[5] 任曦竹,王湘,刘君,等. 凉薯果酒发酵条件研究[J]. 饮料工业,2011,14(6):24-27.

[6] 张晓玲,黄白红. 豆薯汁果冻的加工工艺研究[J]. 吉林蔬菜,2010(2):87-88.

[7] 李彦坡,麻成金,黄群. 低糖凉薯果脯的研制[J]. 现代食品科技,2006,22(2):176-178.

[8] 刘轲,刘建华,李方,等. 豆薯片热风干燥动力学研究[J]. 江苏农业科学,2014,42(1):227-229.

[9] 黄群,麻成金,余估,等. 凉薯乳饮料生产工艺及其稳定性研究[J]. 食品科学,2008,29(9):716-718.

[10] 傅伟昌,成红巧,麻成金,等. 凉薯汁饮料生产工艺及经济效益分析[J]. 吉首大学学报(自然科学版),1996,17(4):73-75.

[11] 麻成金,李加兴,姚茂君,等. 全天然复合凉薯汁饮料的研究[J]. 软饮料工业,1996(3):21-22.

[12] 张阳. pH 值及温度对杂色云芝漆酶活性的影响[J]. 资源节约与环保,2015(3):86.

[13] 林剑,郑舒文,孙利芹. 温度和 pH 值对耐高温 α-淀粉酶活力的影响[J]. 中国食品添加剂,2003(5):65-67,53.

[14] 高徐梅,李新生,严新龙,等. 利用美拉德反应降低再造烟叶中的还原糖[J]. 烟草科技,2014(12):52-56.

[15] 石方方,焦国宝,丁长河,等. 耐酸耐高温 α-淀粉酶的研究进展[J]. 中国食品添加剂,2014(4):171-176.

[16] 林必博. 耐高温 α-淀粉酶的研究现状[J]. 河北农业科学,2011,15(2):77-80.

[17] 黎卫强. 糖化酶在食品工业中的应用研究进展[J]. 沿海企业与科技,2010(4):65-66,64.

[18] 刘轲,刘建华,赵林杰,等. 豆薯糖化液制备技术研究[J]. 广东农业科学,2013,40(15):107-110.

[19] 潘训海,刘新露,左勇. 脐橙全果汁酒酿造技术研究[J]. 酿酒科技,2013,5(5):8-10.

[20] 刘聪,程圣恩,孙浩,等. 苹果猕猴桃混合型果醋酿造工艺[J]. 西北农业学报,2011,20(11):202-206.