

# 加酸挤压膨化玉米粉工艺条件及其品质影响研究

刘传富,张绪霞,董海洲,许丽娜,周 轩

(山东农业大学食品科学与工程学院,山东泰安,271018)

**摘 要** 以玉米为原料,酸为处理试剂,采用挤压膨化的方法,研究了酸剂、物料含水量、酸液浓度、膨化温度、螺杆转速对挤压膨化玉米粉还原糖含量的影响。确定了加酸挤压膨化玉米粉的工艺参数为:HCl为处理试剂、物料含水量27%、酸液浓度0.027 mol/L、膨化温度145℃、螺杆转速250 r/min。在该工艺条件下膨化与未加酸相比,还原糖、水溶性成分含量分别提高51.4%、23.5%, $\alpha$ -化度提高14.8%,粗纤维下降88.12%。

**关键词** 加酸,挤压膨化,还原糖

挤压膨化加工技术是集混合、搅拌、破碎、加热、蒸煮、杀菌、膨化及成型等一体的高新技术。现已在酱油、黄酒、白酒、淀粉糖、豆酱、啤酒等<sup>[1~4]</sup>方面进行了大量研究,有些已实现工业化生产。在乙醇生产中,挤压膨化取代蒸煮液化可缩短发酵周期,提高原料出酒率和淀粉利用率<sup>[5]</sup>。如何提高挤压膨化玉米粉质量,进一步提高原料的利用率,为酶的作用提供有利的条件,从而提高乙醇生产经济效益仍是当前研究的重点问题。在淀粉水解中,酸可作为催化剂,淀粉在酸性条件下经糊化、溶解,进而葡萄糖苷链裂解形成各种聚合度的糖类混合物<sup>[6]</sup>。如能将酸解和挤压膨化技术两者有机结合,可以更好的提高膨化玉米粉品质,必将为挤压膨化技术在乙醇生产中的应用提供新的理论依据。

本研究采用挤压膨化的方法,以酸作为玉米原料处理试剂,对加酸挤压膨化玉米粉工艺条件及其品质进行了详细的研究。

## 1 材料与方 法

### 1.1 主要材料

玉米:市购脱胚玉米,含水量13.5%、淀粉63.4%、蛋白质9.2%、脂肪0.92%,粉碎,过60目筛。

### 1.2 主要设备

DS56-X型双螺杆膨化机;济南赛信机械有限公司。

### 1.3 玉米的膨化工艺

脱胚玉米→清理去杂→粉碎→过筛(60)目→加酸调粉→挤压膨化

## 1.4 试验内容

### 1.4.1 酸添加剂的确定

试验设置亚硫酸、乙酸、草酸、硫酸和盐酸5个水平。

### 1.4.2 加酸挤压膨化玉米粉工艺条件的确定

物料含水量对膨化玉米还原糖含量的影响,试验设置20%、24%、26%、和28%5个水平。还原糖含量为考核指标。

酸液浓度(以物料含水量计算)对膨化玉米还原糖含量的影响,试验设置0.010、0.015、0.020、0.025和0.030 mol/L5个水平。

膨化温度对膨化玉米还原糖含量的影响,试验设置120、130、140、150和160℃5个水平。

螺杆转速对膨化玉米还原糖含量的影响,试验设置150、180、210、240和270 r/min5个水平。

以上试验在研究某一种因素对膨化玉米还原糖含量的影响时,其他因素均保持在同一种水平上。还原糖含量为考核指标。

加酸挤压膨化玉米粉工艺条件的优化试验,在单因素试验的基础上,以物料含水量、酸液浓度、膨化温度、螺杆转速进行多因素试验。还原糖含量为考核指标。

## 1.5 分析方法<sup>[7]</sup>

还原糖的测定:斐林试剂热滴定法;糊化度的测定:酸水解法;蛋白质的测定:凯氏定氮法;脂肪测定:索氏抽提法;粗纤维的测定:酸洗涤法。

## 2 结果与分析

### 2.1 酸添加剂的确定

准确称取5份玉米粉,每份2500 g,分别置于调粉机中搅拌,在搅拌过程中喷入不同的酸溶液,使调粉后的物料含水量为24%、酸液浓度0.020 mol/L

第一作者:大学毕业,实验师(董海洲教授为通讯作者)。

收稿日期:2007-05-21,改回日期:2007-07-09

L,在温度 150℃、螺杆转速 210 r / min 的条件下挤压膨化,结果如表 1 所示。

表 1 酸添加剂对膨化玉米粉还原糖含量的影响

| 添加剂     | CK   | 亚硫酸  | 乙酸    | 草酸    | 硫酸    | 盐酸    |
|---------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| 还原糖 / % | 5.79 | 6.26 | 6.57  | 7.10  | 7.23  | 7.41  |
| 提高率 / % | —    | 8.12 | 13.47 | 22.63 | 24.87 | 27.98 |

从表 1 可以看出,玉米粉挤压膨化时添加酸可有效提高还原糖的含量,不同种类的酸对膨化玉米粉作用效果存在较大差异,添加亚硫酸还原糖含量提高 8.12%,作用较小,添加盐酸还原糖含量提高 27.98%,含量最高,效果最好。这可能是在玉米粉挤压膨化时在  $H^+$  的作用下,提高了淀粉的糊化程度和淀粉糖苷键的断裂,从而还原糖的含量增加;在同一浓度下酸水解能力越强,还原糖的含量越高。因此,在本试验条件下选择盐酸作为酸添加剂。

## 2.2 加酸挤压膨化玉米粉工艺条件的确定

### 2.2.1 物料含水量对膨化玉米还原糖含量的影响

准确的称取 5 份玉米粉,每份 2 500 g,分别置于调粉机中搅拌,在搅拌过程中喷入盐酸溶液,使物料中酸液浓度为 0.020 mol / L,在温度 150℃、螺杆转速 210 r / min 的条件下膨化。结果如表 2 所示。

表 2 物料含水量对膨化玉米还原糖含量的影响

| 含水量 / % | 20   | 22   | 24   | 26   | 28   |
|---------|------|------|------|------|------|
| 还原糖 / % | 6.80 | 6.98 | 7.41 | 7.78 | 7.35 |

从表 2 中可以看出,物料含水量为 26% 时,还原糖含量最高。这可能是由于含水量太低时,酸液不能充分的均匀分布,造成淀粉水解不充分,含水量过高,不利于淀粉的降解。因此,在本试验条件下最适宜的物料含水量为 26%。

### 2.2.2 酸浓度对膨化玉米还原糖含量的影响

准确的称取 5 份玉米粉,每份 2 500 g,分别置于调粉机中搅拌,在搅拌过程中喷入不同浓度盐酸溶液。使物料含水量 26%,在温度 150℃、螺杆转速 210 r / min 的条件下膨化。结果如表 3 所示。

表 3 盐酸浓度对膨化玉米还原糖含量的影响

| 浓度 / mol / L | 0.010 | 0.015 | 0.020 | 0.025 | 0.030 |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 还原糖 / %      | 7.10  | 7.35  | 7.78  | 8.10  | 8.19  |

从表 3 可以看出,在本试验条件下随着盐酸浓度的增加,还原糖含量明显的增加。这说明酸浓度越大,越能增强淀粉的水解作用<sup>[8]</sup>。但是浓度过高(超过 0.030 mol / L),膨化时有刺鼻气味。因此,确定酸液浓度为 0.025 mol / L。

### 2.2.3 膨化温度对膨化玉米还原糖含量的影响

准确的称取 5 份玉米粉,每份约 2 500 g,分别置于调粉机中搅拌,在搅拌过程中喷入 HCl 溶液,使调粉后物料中含水量为 26%,酸液浓度为 0.025 mol / L。固定螺杆转速 210 r / min,在设定的温度下进行膨化。结果如表 4 所示。

表 4 温度对膨化玉米还原糖含量的影响

| 温度 / °C | 120  | 130  | 140  | 150  | 160  |
|---------|------|------|------|------|------|
| 还原糖 / % | 7.21 | 7.42 | 7.60 | 8.10 | 7.68 |

从表 4 可以看出,在物料加酸的条件下,挤压膨化温度为 120~150℃ 时,随着膨化温度的升高,还原糖含量有明显上升趋势,但膨化温度超过 150℃ 时,还原糖含量又开始下降。这可能是由于膨化温度较低时,物料中的淀粉不能充分的熔融而降解、水解,温度过高时被水解的淀粉糖发生逆糖化,或单糖发生降解,引起不良反应<sup>[6]</sup>而影响还原糖的生成。因此,在本试验条件下,最适宜的膨化温度为 150℃。

### 2.2.4 螺杆转速对膨化玉米还原糖含量的影响

准确的称取 5 份玉米粉,每份 2 500 g,分别置于调粉机中搅拌,在搅拌过程中喷入盐酸溶液,使调粉后物料含水量为 26%,酸液浓度为 0.025 mol/L,固定膨化温度 150℃,在设定的螺杆转速下进行膨化,结果如表 5 所示。

表 5 转速对膨化玉米还原糖含量的影响

| 转速 / r · min <sup>-1</sup> | 150  | 180  | 210  | 240  | 270  |
|----------------------------|------|------|------|------|------|
| 还原糖 / %                    | 6.31 | 7.58 | 8.10 | 8.39 | 8.31 |

从表 5 可以看出,在物料加酸的条件下,在螺杆转速 150 ~ 240 r / min 范围内,还原糖含量随着螺杆转速的升高而升高,当转速为 240 r / min 时,还原糖含量达到最大值(8.39%),但螺杆转速超过 240 r / min 时,还原糖含量又开始下降。这可能是由于在适宜的螺杆转速下,物料中的淀粉能够充分水解;如转速较低,在高压、高温条件下单糖可能发生了分解反应或者逆糖化反应,从而降低了还原糖含量;而在较高转速时,由于物料在机桶内化学作用时间缩短,物料中的淀粉不能充分降解、水解就被挤压出来,因此,本实验条件下最适宜的螺杆转速为 240 r / min。

### 2.2.5 加酸挤压膨化玉米粉工艺条件的优化试验

在单因素试验的基础上,以物料的含水量、酸液浓度、膨化温度和螺杆转速进行多因素试验。因素水平见表 6,试验结果见表 7。

表6 因素水平表

| 水平 | 物料含水量/<br>量/(%) (A) | 酸液浓度/<br>/mol·L <sup>-1</sup> (B) | 膨化温度/<br>/℃ (C) | 螺杆转速/<br>r·min <sup>-1</sup> (D) |
|----|---------------------|-----------------------------------|-----------------|----------------------------------|
| 1  | 25                  | 0.023                             | 145             | 230                              |
| 2  | 26                  | 0.025                             | 150             | 240                              |
| 3  | 27                  | 0.027                             | 155             | 250                              |

表7 正交试验结果

| 试验号            | A    | B    | C    | D    | 还原糖/% |
|----------------|------|------|------|------|-------|
| 1              | 1    | 1    | 1    | 1    | 7.50  |
| 2              | 1    | 2    | 2    | 2    | 7.94  |
| 3              | 1    | 3    | 3    | 3    | 8.60  |
| 4              | 2    | 1    | 2    | 3    | 7.49  |
| 5              | 2    | 2    | 3    | 1    | 7.87  |
| 6              | 2    | 3    | 1    | 2    | 8.78  |
| 7              | 3    | 1    | 3    | 2    | 7.55  |
| 8              | 3    | 2    | 1    | 3    | 8.22  |
| 9              | 3    | 3    | 2    | 1    | 8.75  |
| K <sub>1</sub> | 8.01 | 7.51 | 8.17 | 8.04 |       |
| K <sub>2</sub> | 8.05 | 8.01 | 8.06 | 8.09 |       |
| K <sub>3</sub> | 8.17 | 8.71 | 7.64 | 8.10 |       |
| R              | 0.16 | 1.2  | 0.53 | 0.06 |       |

从表7可以看出,影响加酸膨化玉米粉的主要因素是酸液的浓度,其次是膨化温度和物料含水量,螺杆转速影响最小,最适工艺条件是A<sub>3</sub>B<sub>3</sub>C<sub>1</sub>D<sub>3</sub>,即物料含水量27%、酸液浓度0.027mol/L、膨化温度145℃、螺杆转速250 r/min,经验证还原糖含量为8.95%。

### 2.3 加酸挤压膨化对膨化玉米粉品质的影响

固定物料含水量27%、膨化温度145℃、螺杆转速250 r/min。加酸(盐酸,酸液浓度0.027mol/L)和未加酸对玉米挤压膨化品质的影响见表8。

表8 加酸和未加酸对玉米挤压膨化品质的影响

| 参数(干基)  | 玉米粉   | 未加酸   | 加酸    |
|---------|-------|-------|-------|
| 膨化倍数    | 1     | 9.27  | 9.28  |
| 蛋白质/%   | 9.2   | 9.01  | 8.85  |
| 脂肪/%    | 0.92  | 0.78  | 0.77  |
| 还原糖/%   | 2.15  | 5.91  | 8.95  |
| 水溶性成分/% | 3.25  | 31.5  | 38.9  |
| α-化度    | 12.71 | 85.78 | 98.50 |
| 粗纤维/%   | 6.93  | 5.47  | 2.11  |

从表8可以看出,加酸挤压膨化和未加酸挤压膨化的相比,蛋白质、脂肪含量有所下降,还原糖、水溶性成分、α-化度显著提高,分别提高51.4%、23.5%、14.8%,粗纤维下降88.12%。这有助于在乙醇生产过程中为酶的作用提供有利的条件,更好的提高原料的利用率,降低成本。

## 3 结 论

(1)影响加酸膨化玉米粉的主要因素是酸液浓度,其次是膨化温度和物料含水量,螺杆转速影响最小,最佳工艺条件:物料含水量27%、酸液浓度0.027mol/L、膨化温度145℃、螺杆转速250 r/min。

(2)加酸挤压膨化和未加酸挤压膨化的相比,蛋白质、脂肪含量有所下降,还原糖、水溶性成分、α-化度,分别提高51.4%、23.5%、14.8%,粗纤维下降88.12%。

## 参 考 文 献

- 1 袁洪岭. 膨化技术在饲料工业中的应用进展[J]. 西部粮油科技, 1998, 23(2): 46~48
- 2 杨铭铎. 谷物膨化机理的研究[J]. 食品与发酵工业, 1988, 14(4): 7~16
- 3 张裕中. 食品挤压加工技术与应用[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1998. 192~196
- 4 申德超, 孟 阳, 周 欣, 等. 膨化带胚玉米作啤酒辅料的试验研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(1): 132~135
- 5 张绪霞, 董海洲, 许丽娜, 等. 挤压膨化技术在乙醇生产中的应用[J]. 食品与发酵工业, 2006, 32(12): 81~83
- 6 李新华, 董海洲. 粮油加工学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2002. 183~185
- 7 黄伟坤. 食品检验与分析[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1995. 792~731
- 8 董海洲, 邵宁华. 农产品加工[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1997. 209~210

## Study on the Process and Its Quality of Maize Extrusion Products by Acid Aid

Liu Chuanfu, Zhang Xuxia, Dong Haizhou, Xu Lina, Zhou Xuan

(College of Food Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China)

**ABSTRACT** Use maize without germ as raw material and acid as a disposal reagent, the effect of reducing sugar content on acid reagent, moisture of material, acid density, extrusion temperature and speed of screw were studied. The optimal parameters was obtained as follows: hydrochloric acid as disposal reagent, moisture of material 27%, acid density 0.027 mol/L, extrusion temperature 145℃, speed of screw 250 r/min. These process parameters increased reducing sugar, water soluble content by 51.4% and 23.5%, gelatization degree by 14.8%, reduced crude fiber content by 88.12%.

**Key word** acid, extrusion, reducing sugar