

挤压膨化技术在乙醇生产中的应用

张绪霞 董海洲 许丽娜 侯汉学 刘传富

(山东农业大学食品科学与工程学院,泰安,271018)

摘 要 采用挤压膨化技术代替传统乙醇发酵生产中的蒸煮液化阶段,对挤压膨化工艺参数进行了系统探讨。通过 $L_{16}(4^4)$ 正交实验确定了其适宜工艺参数:挤压机模孔直径 11 mm,挤出物料温度 170℃,物料含水量 24%,挤压机螺杆转速 200 r/min。在该工艺条件下,其乙醇体积分数提高了 0.32%,原料出酒率比传统乙醇发酵生产工艺提高了 1.06%,发酵时间缩短 8 h。

关键词 挤压膨化,乙醇,蒸煮液化

挤压膨化是一种高温短时处理原料的方法,该技术最早源于塑料工业,在 1930 年代末,应用于方便食品生产中。到 1960 年代,挤压膨化技术就已应用于酿造行业^[1],现已在酱油、黄酒、白酒、淀粉糖^[2]、豆酱^[3]、啤酒^[4]等方面得到了大量研究,有些已实现了工业化生产,但在乙醇行业的应用却少见报道。本研究从挤压膨化对乙醇发酵周期、原料出酒率、淀粉利用率以及生产成本等方面的影响进行研究,旨在为乙醇生产提供理论基础。

1 材料与方 法

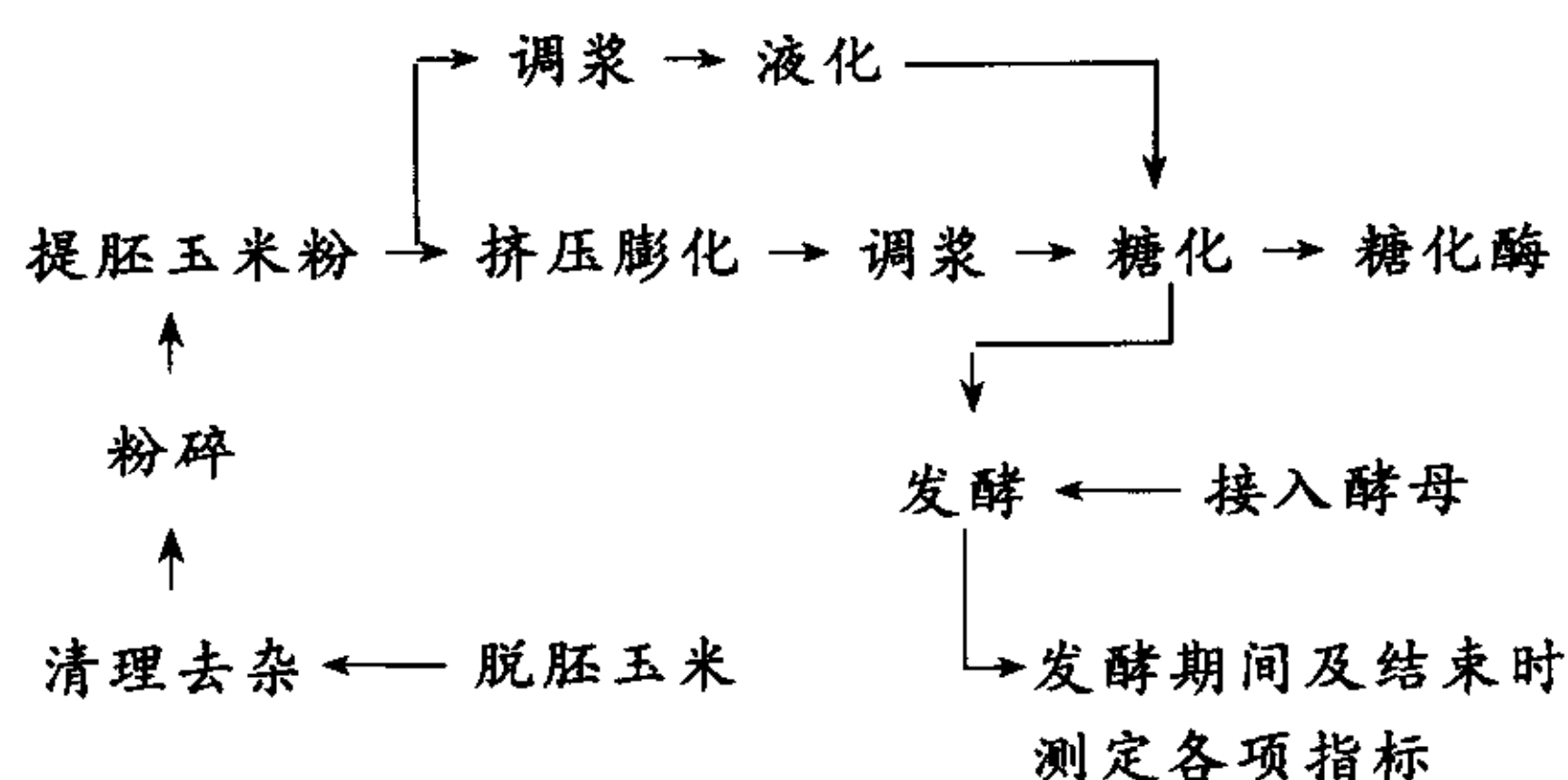
1.1 实验材料

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%。液化酶:酶活力 35 000 U/mL,NOVO 公司生产。糖化酶:酶活力 2 000 U/g,无锡酶制剂厂生产。菌种:安琪耐高温酒用活性干酵母,湖北安琪酵母股份有限公司生产。

1.2 实验仪器

DS56-X 型双螺杆膨化机(济南赛信机械有限公司);LRH-250A 生化培养箱(广东省医疗器械厂);KDN-04A 定氮仪(上海新嘉电子有限公司);DZKW 电子恒温水浴锅(北京永光明医疗仪器厂)。

1.3 工艺流程



1.4 实验方法

1.4.1 原料的挤压膨化处理

取玉米粉过 60 目筛,挤压模孔直径分别为 10 mm、11 mm 和 12 mm,挤出温度分别为 105℃、150℃ 和 190℃,物料含水量分别为 20%、22% 和 24%,螺杆转速分别为 150 r/min、175 r/min 和 200 r/min。3 个条件下进行实验处理,样品分别编号为 1、2、3。

1.4.2 发酵实验

对酵母进行活化,分别取已处理的样品 100 g,以料水比 1:3(g/mL)调浆,液化酶量 12 u/g(原料),95℃ 液化 1 h;糖化酶 140 u/g(原料),60℃ 糖化 1 h;其中对挤压膨化试样 2、3 省去蒸煮液化工艺以及液化酶的使用,30℃ 发酵 60 h,测定各项指标。

1.4.3 通过正交实验确定挤压膨化的适宜参数

以挤出物料的糊化度为考察指标,选择挤压模孔直径、挤出物料温度、物料含水量、挤压机螺杆转速,作为挤压工艺参数研究对象,采用 $L_{16}(4^4)$ 正交试验考察以上 4 因素对物料糊化度的影响。

1.4.4 对比实验

将获得的挤压膨化工艺参数处理的试样 1 与传统工艺处理的试样 2 做发酵实验,综合考察 2 者发酵周期、原料出酒率、淀粉利用率等各项指标,分别做 3 批次试验。

1.5 分析方法

水分测定:105℃ 烘箱法,GB5479-1985;残糖及还原糖测定:斐林试剂热滴定法^[5];淀粉测定:酶水解法^[6];糊化度测定:酶水解法^[5];蛋白质含量测定:凯氏定氮法^[6];粗脂肪测定:GB2906-1982。

乙醇体积分数测定:蒸馏比重法。取 100 mL 成熟发酵液于蒸馏瓶中,加 100 mL 蒸馏水,然后加热蒸馏出 100 mL 溶液,利用乙醇比重计(标温 20℃)测定其乙醇体积分数。

第一作者:硕士研究生(董海洲教授为本文通讯作者)。

收稿日期:2006-08-21,改回日期:2006-08-28

$$\text{原料出酒率}/\% = \frac{\text{乙醇产量}}{\text{原料质量}} \times 100$$

$$\text{淀粉利用率}/\% = \frac{\text{实际出酒率}}{\text{理论出酒率}} \times 100$$

2 结果与分析

2.1 发酵试验

试验中以经挤压膨化处理的物料和未经挤压膨化处理的物料为试样,将脱胚玉米粉过 60 目筛。对原料的挤压膨化处理水平如表 1 所示。

表 1 样品挤压膨化处理水平表

样品	挤压模孔 直径/mm	挤出物料 温度/℃	物料含水量 /%	挤压机螺杆 转速/r·min
试样 1	10	105	20	150
试样 2	11	150	22	175
试样 3	12	190	24	200

以经过挤压膨化处理的试样 1、2、3 与未经过挤压膨化处理的试样 4 各取 100 g,进行发酵实验,测定各项指标,平行做 3 次实验,取平均值,如表 2 所示。

表 2 挤压膨化脱胚玉米进行乙醇发酵生产的可行性试验

项目	试样 1	试样 2	试样 3	试样 4
料水比/g·mL ⁻¹	1:3	1:3	1:3	1:3
液化酶量/u·g ⁻¹ (原料)	12	—	—	12
液化温度/℃	95	—	—	95
液化时间/h	1.0	/	/	1.0
糖化酶量/u·g ⁻¹ (原料)	140	140	140	140
糖化时间/h	1.0	1.0	1.0	1.0
糖化温度/℃	60	60	60	60
还原糖量/%	9.212	9.020	9.120	7.865
酵母量/%	0.3	0.3	0.3	0.3
发酵温度/℃	30	30	30	30
发酵时间/h	60	60	60	60
乙醇体积分数/%	11.28	11.22	11.25	10.95
总残糖量/%	1.18	1.21	1.20	1.25
原料出酒率/%	37.36	37.16	37.26	36.27

由表 2 可知,经挤压膨化处理的试样 2、3 省去蒸煮液化阶段后与未挤压膨化试样 4 在同样的条件下糖化、发酵,经 60 h 发酵后试样 2、3 的乙醇体积分数明显高于试样 4,且其发酵前醪液中还原糖含量明显高于试样 4,这可能是与玉米粉在挤压膨化过程中淀粉发生糊化、降解等作用有关,这些变化都有利于微生物发酵利用,故其乙醇含量和还原糖量都高于试样 4。而经过挤压膨化处理的试样 1 在经过蒸煮液化阶段和液化酶的使用后,其最终乙醇含量和发酵前醪液中还原糖含量与试样 2、3 的差距基本不大,这可能是因为经过挤压膨化,原料中的淀粉已经充分糊化、部分降解已经起到了蒸煮液化的作用所致。据报道^[7]

玉米在挤压膨化过程中淀粉经挤压膨化处理后,其糊化度能达 90% 以上,而传统蒸煮液化工工艺糊化度仅为 85% 左右。由此可见,采用挤压膨化技术代替蒸煮液化阶段是完全可行的,如果对接压参数进行优化,完全有可能获得更好的效果。

2.2 通过正交实验确定挤压膨化参数

以挤出物料的糊化度为考察指标,选择 4 个因素,即挤压机模孔直径、挤出物料温度、物料含水量、挤压机螺杆转速,作为挤压膨化工艺参数研究对象,采用 L₁₆(4⁴)正交实验考察以上 4 因素对物料糊化度的影响。

表 3 正交实验因素水平表

水平	因素			
	挤压模孔 直径(A)/mm	挤出物料 温度(B)/℃	物料含 水量(C)/%	挤压机螺杆 转速(D)/r·min ⁻¹
1	10	130	20	150
2	11	150	22	175
3	12	170	24	200
4	13	190	25	225

表 4 试验结果

实验 序号	因素				糊化度/%
	A	B	C	D	
1	1	1	1	1	85.86
2	1	2	2	2	89.75
3	1	3	3	3	95.86
4	1	4	4	4	93.70
5	2	1	2	3	91.34
6	2	2	1	4	92.67
7	2	3	4	1	94.54
8	2	4	3	2	97.34
9	3	1	3	4	95.43
10	3	2	4	3	94.85
11	3	3	1	2	93.56
12	3	4	2	1	86.85
13	4	1	3	2	89.85
14	4	2	4	1	92.62
15	4	3	2	4	93.13
16	4	4	1	3	94.24
K ₁ /4	91.29	90.62	91.58	89.96	
K ₂ /4	93.97	92.47	90.26	92.63	
K ₃ /4	92.67	94.27	94.62	94.07	
K ₄ /4	92.46	93.03	93.93	93.73	
R	2.68	3.65	4.36	4.11	

由极差分析可知,对膨化脱胚玉米糊化度影响大小为:物料含水量>挤压机螺杆转速>挤出物料温度>挤压机模孔直径,最佳工艺条件为:A₂B₃C₃D₃,即挤压机模孔直径 11 mm,挤出物料温度 170℃,物料含水量 24%,挤压机螺杆转速 200 r/min。

2.3 对比实验

以获得的挤压膨化最佳工艺参数处理试样 1 与传统工艺处理试样 2,做对比发酵实验,综合考察 2 者发酵周期、原料出酒率、淀粉利用率等各项指标,分

别做 3 批次实验。实验结果取平均值如表 5 所示。

表 5 实验结果¹⁾

测定指标	结果
乙醇体积分数 1/%	11.37
乙醇体积分数 2/%	11.05
残余还原糖 1/%	0.23
残余还原糖 2/%	0.68
糊化度 1/%	98.42
糊化度 2/%	85.78
残总糖 1/%	1.056
残总糖 2/%	1.16
原料出酒率 1/%	37.66
原料出酒率 2/%	36.60
淀粉利用率 1/%	92.22
淀粉利用率 2/%	90.42

注:1)淀粉理论出酒率为 56.78%。

由表 5 可以看出,挤压膨化处理的物料实验结果优越于传统的蒸煮液化处理的物料,经挤压膨化的试样 1 较未挤压膨化的试样 2 乙醇体积分数提高 0.32%,原料出酒率提高 1.06%,淀粉利用率提高 1.8%,总残糖量下降 0.124%。该结果表明,在工艺参数设计合理的情况下,用挤压膨化技术是完全可以取代传统的蒸煮液化工艺。2 者发酵时间及总糖结果对比如图 1 所示。

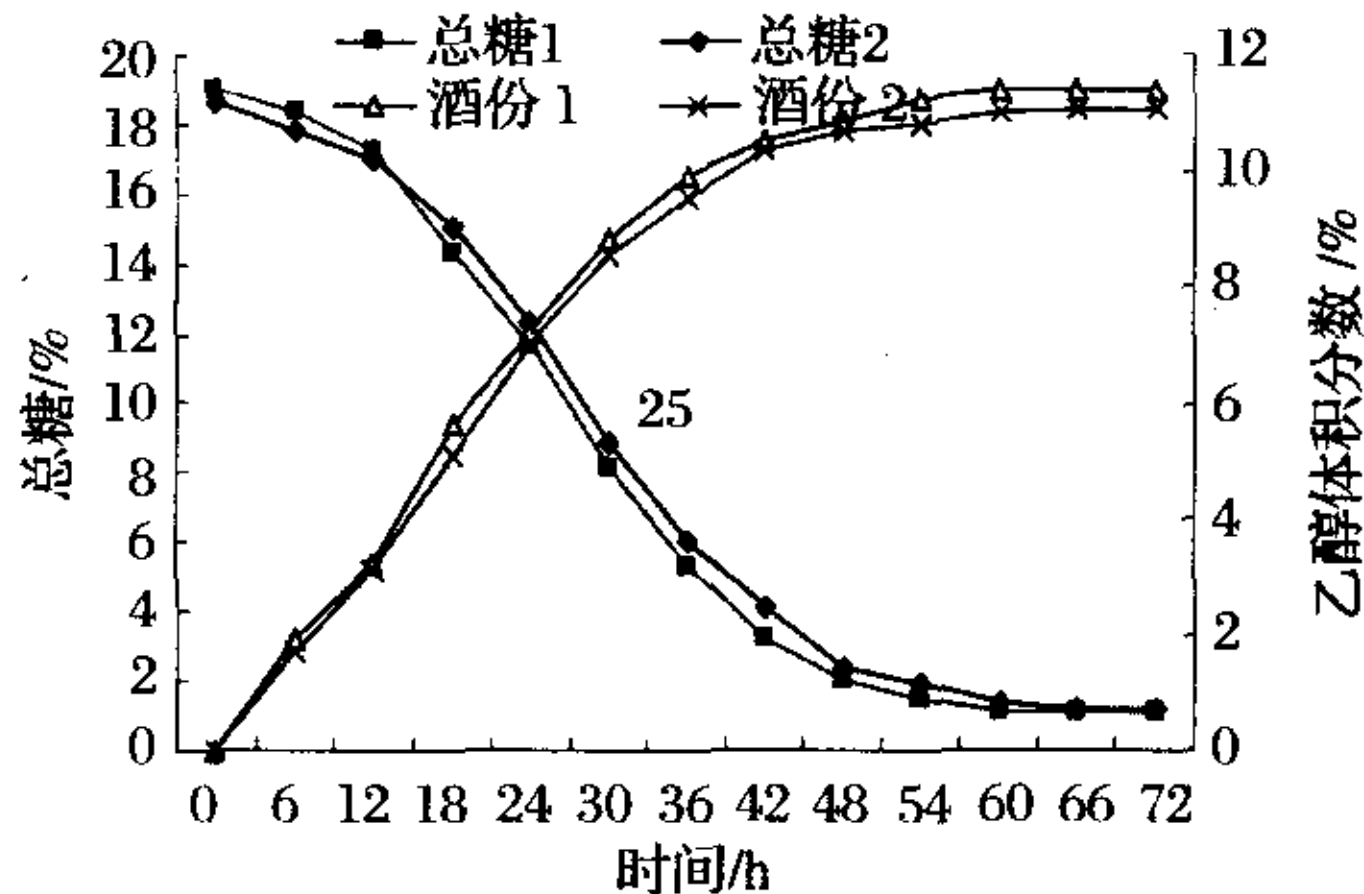


图 1 试样 1、2 试验结果对比图

由图 1 可以看出,试样 1 发酵前总糖量较高且下降明显其乙醇体积分数上升较试样 2 明显,试样 1 的发酵结束时间为 56 h,试样 2 的发酵结束时间为 64 h,

经挤压膨化的试样较未挤压膨化的试样发酵时间缩短 8 h。综合表 5 的分析,这可能是因为物料经挤压膨化后,其中淀粉糊化、降解使还原糖含量增加,以及其营养成分发生变化,更易于酵母生长。所以经挤压膨化的物料发酵时间较快。

2.4 经济效益分析

通过计算得到,挤压膨化原料生产 1 t 乙醇比未挤压膨化的原料可节约粮食 77 kg,提高乙醇产量 0.0261 t,增加收入 120 元(以现价 4 600 元/t 计)。折算发酵成本比传统发酵法可降低成本 110 元/t(乙醇),即降低成本 2.4%。同时将发酵周期缩短了 8 h。

3 结 论

(1) 挤压膨化技术取代传统的蒸煮液化是完全可行的,挤压膨化的适宜参数为挤压机模孔直径 11 mm,挤出物料温 170℃,废物料含水量 24%,挤压机螺杆转速 200 r/min。

(2) 挤压膨化原料比未经此处理的传统生产方法生产乙醇每吨可节约粮食 77 kg,降低成本 110 元/t(乙醇),即降低成本 2.4%,将发酵周期缩短了 8 h。

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 黄伟坤. 食品检验与分析[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1995. 792~731
- 6 王叔淳. 食品卫生检验技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 1988. 151~169
- 7 申德超. 膨化玉米作啤酒辅料的可行性试验研究[J]. 农业工程学报, 1996, 12(3): 196~198

Study on the Application of Extrusion in Ethanol Production

Zhang Xuxia Dong Haizhou Xu Lina Hou Hanxue Liu Chuanfu

(College of Food science and Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China)

ABSTRACT In this paper the extrusion process substituting traditional cooking and liquefaction process of ethanol production with maize without germ was studied. The process parameters of the extension were researched through $L_{16}(4^4)$ orthogonal experiment. The optimum parameters of extrusion was obtained as follows: diameter of die nozzle is $\phi=11\text{mm}$, extrusion temperature $T=170^\circ\text{C}$, moisture of material $W=24\%$, speed of screw $N=200\text{ r/min}$. These process parameters increased alcohol content by 0.32% (v/v) and output rate of raw materials by 1.06%. Meanwhile it remarkably shorted the fermentation time for 8h. The result is meaningful for the production practices.

Key words extrusion, alcohol, cooking and liquefaction