

# 泔水油脂回收及发酵生产乙醇工艺研究

戴德慧,胡伟莲

(浙江科技学院 生物与化学工程学院,杭州 310023)

**摘要:** 对泔水废油脂回收及发酵生产燃料乙醇的工艺条件进行了研究。结果表明:泔水废油脂最佳回收方法为将泔水与玉米粉配料后,经  $\alpha$ -淀粉酶及  $\beta$ -淀粉酶双酶化处理后,其油脂提取率可达 91.2%。与静置提油相比,其油脂提取率增加了 4.1 倍;泔水酒精发酵的最佳工艺条件为糖化时间 35 min,泔水与玉米粉的配比 28 : 25,发酵时间 72 h,初始 pH4.0,添加 0.05% 的纤维素酶和 0.1% 的糖化酶能有效提高酒精的产量。

**关键词:** 泔水;燃料乙醇;发酵;酿酒酵母

中图分类号: TQ223.122;X799.3

文献标志码: A

文章编号: 1671-8798(2011)06-0477-05

## Study on oil recovery and alcohol fermentation technology with hogwash fat

DAI De-hui, HU Wei-lian

(1. School of Biological and Chemical Engineering, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023, China)

**Abstract:** The recovery condition of hogwash fat and alcohol fermentation technology of it was studied. The optimum recovery condition was that fat was extracted after hogwash and corn meal medium treated by double enzymes ( $\alpha$ -Amylase and  $\beta$ -Amylase) and standing some hours. Oil extraction rate is up to 91.2%, which is 4.1 times than standing extraction technology. The optimum technology condition of hogwash alcohol fermentation that saccharifying time is 35 min, the ratio of hogwash to corn meal is 28 to 25, fermentation time is 72 h, original pH is 4.0, cellulase is 0.05% and glucoamylase is 0.1%.

**Key words:** hogwash fat; fuel alcohol; fermentation; *Saccharomyces cerevisiae*

泔水是指人们在饭店、单位食堂等处废弃的餐厨物。泔水因含有大量营养物质,极易腐烂变质、污染环境、传播病菌<sup>[1-2]</sup>。据不完全统计,仅全国 100 多个大中型中心城市餐饮业,每天产生的泔水量就接近

收稿日期: 2011-07-04

基金项目: 杭州市科技计划项目(20081533F10)

作者简介: 戴德慧(1976—),男,江西省上饶人,副教授,博士,主要从事生物工程的教学与研究。

300 多万吨。由于不能正确处理,给人们的生产生活带来一系列负面影响,并造成严重的环境污染<sup>[3]</sup>。目前,国内外对城市泔水的处置方法有填埋法、焚烧法、制肥法、生产饲料技术等。这些处理方法虽能解决部分泔水的污染问题,但都有局限性,未能最大化资源利用泔水。如填埋法占地面积大,二次污染严重,臭味四处飘散,并且由于泔水营养丰富,填埋显然是一种资源的浪费。焚烧法建设投资和运行费用较高,且垃圾在焚烧时会产生二噁英等有害气体,同时由于泔水较高的含水量,单位质量的热值较低,不能满足垃圾焚烧发电的热值要求<sup>[4]</sup>。因此,寻找一种行之有效的餐厨垃圾处理方法有着极其重要的意义。笔者对泔水的废油脂提取及酒精发酵工艺进行了研究,以期为泔水资源最大化再生利用开辟新的途径。

1 材料与方法

1.1 菌种

酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae* TS0811)为本实验室选育菌种。

1.2 主要原料

泔水,采自杭州市西湖区大型餐饮店;玉米粉,市售;液化酶( $\alpha$ -淀粉酶)、糖化酶( $\beta$ -淀粉酶),杭州食品酿造有限公司提供;纤维素酶(绿色木酶),上海伯奥生物科技有限公司生产。

1.3 主要培养基

斜面培养基:麦芽浸粉 2%,葡萄糖 1%,琼脂 2%;种子培养基:葡萄糖 2%,酵母膏 1%,蛋白胨 1%;发酵培养基:将采取的泔水混匀后,挑除骨头、牙签等杂物后,打浆制成糊状,加入一定比例的玉米粉,经液化、糖化后,灭菌冷却后待用。

1.4 理化分析方法

粗脂肪的测定方法见参考文献[5];酒精度的测定方法见参考文献[6];发酵液残存的还原糖测定方法见参考文献[7]。

1.5 废油脂的回收工艺研究

1.5.1 静置提油

取 200 g 已匀浆泔水,加入 50 mL 水,搅匀静置过夜,吸取上层含油液体测其油脂含量。

1.5.2 离心提油

取 200 g 已匀浆泔水,加入 50 mL 水,在转速分别为 3 000 r/min 和 4 000 r/min 的条件下离心 10、20、25、30、35 min,吸取上层含油液体测定油脂含量。

1.5.3 高温离心提油

各取 200 g 已匀浆泔水,分别加入 50 mL 水,同时加热至 60、70、80、90、100 ℃,4 000 r/min 离心 25 min,吸取上层含油液体测定油脂含量。

1.5.4 双酶化提油

取 200 g 已匀浆泔水,加入一定量的玉米粉和水,配制成不同浓度的泔水发酵培养基,按酶制剂说明书加入 $\alpha$ -淀粉酶,置于 85 ℃液化至碘液不变色,然后加入 $\beta$ -淀粉酶,糖化 40 min,静置 3 h 后,吸取上层含油液体测定油脂含量。

1.6 最适糖化时间研究

取 200 g 已匀浆泔水,加入 125 g 玉米粉和水 200 mL,液化完全后,按说明书用量加入 $\beta$ -淀粉酶,糖化 30 min 后,每 5 min 取样 1 mL,测定其还原糖含量,从而确定最佳的糖化时间。

1.7 泔水发酵生产燃料酒精的条件优化

1.7.1 原料配比对酒精发酵的影响

按料水比 1:2 进行配料,原料配比见表 1,按 10%的接种量接种经扩大培养的酵母液体种子。32 ℃静止培养 72 h,测其酒精度、残糖含量。

1.7.2 发酵时间对酒精发酵的影响

按 10% 的接种量接种经扩大培养的酵母液体种子。32 ℃ 静止培养 120 h,每隔 24 h 测其酒精度和残糖的含量。

1.7.3 发酵温度对酒精发酵的影响

按 10% 的接种量接种经扩大培养的酵母液体种子。分别置于 28、30、32、34、36 ℃ 温度条件下静止培养 72 h,测其酒精度和残糖含量。

1.7.4 初始 pH 值对酒精发酵的影响

将发酵培养基调整至初始 pH 值为 3.0、4.0、5.0、6.0、7.0、8.0,接入 10% 的接种量接种经扩大培养的酵母液体种子。置于 32 ℃ 温度条件下静止培养 72 h,测其酒精度和残糖含量。

1.7.5 纤维素酶添加量对酒精发酵的影响

在上述最佳条件下配制发酵培养基,灭菌并冷却至 40 ℃ 后,在培养基中分别加入 0.01%、0.03%、0.05%、0.07% 的纤维素酶,同时按 10% 的接种量接入已扩大培养的种子,置于 32 ℃ 的培养箱中,培养 72 h,测其酒精度及残糖含量。

1.7.6 糖化酶添加量对酒精发酵的影响

在上述最佳条件下配制发酵培养基,灭菌并冷却至 40 ℃ 后,分别加入 0.05%、0.10%、0.15%、0.20%、0.25% 已活化的糖化酶,同时按 10% 的接种量接入已扩大培养的种子,置于 32 ℃ 的培养箱中,培养 72 h,测其酒精度及残糖含量。

2 结果与分析

2.1 废油脂最佳回收工艺

泔水中含有大量的油脂,其含量约占泔水干物质 30%。这部分物质基本不被酿酒酵母利用,分散在培养基中还会影响酿酒酵母的生长及酒精发酵。同时,泔水的废油脂可以作为生物柴油加工的原料。对几种废油脂提取工艺进行了对比,其结果见图 1。由图 1 可以看出,泔水醪液静置脱油工艺废油脂提取率较低,仅能提取总油脂的 22.08%。离心、升温均可提高油脂提取效率,加热至 100 ℃ 并于 4 000 r/min 条件下离心 25 min,其废油脂提取率可达 95% 以上。但加热、离心能耗较大,难以工业化,将泔水与玉米粉配料成培养基后,再通过双酶法糖化,泔水的黏度降低,油脂易从泔水中逸出,经静置后其油脂提取率可达 91.2%。该方法简单易行,可以作为工业化提取油脂的最佳方法。

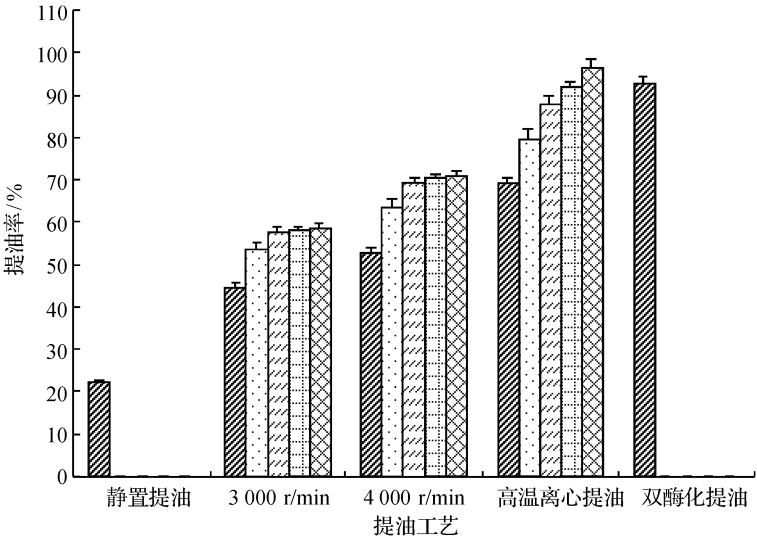
2.2 糖化时间对发酵泔水还原糖的影响

发酵培养基经液化后,加入一定量的糖化酶,以培养基中还原糖最高时为 100,其相对还原糖含量随时间的变化结果见图 2。从图 2 中看到,当泔水发酵培养基糖化 35 min 左右时,还原糖含量达到最高,当超过 35 min 后,还原糖

表 1 泔水发酵培养基不同的原料配比

Main components ratio of hogwash fermentation media					%
组号	A	B	C	D	E
玉米粉	22	25	28	31	33
泔水醪液	55	40	25	10	0
水	23	35	47	57	67

注:本实验所采用的泔水的水分含量为 79.5%。



注:图中 3 000 r/min 和 4 000 r/min 各柱依次为离心 10、20、25、30、35 min;高温离心提油为 4 000 r/min,各柱依次为加热至 60、70、80、90、100 ℃。

图 1 提油工艺对废油脂提取的影响

Fig. 1 Effect of oil extraction technology on extraction of hogwash fat

含量随酶解时间增加略有所降低。其原因可能为分解后的葡萄糖发生复合反应产生不能被发酵利用的龙胆二糖及异麦芽糖等。

2.3 泔水发酵培养基的原料比对酒精发酵的影响

按料水比 1 : 2 进行配料,原料比对泔水酒精发酵的影响结果见图 3。从图 3 可知,在一定的范围内,增加玉米粉添加量可以增加酒精的产量,但玉米粉添加量超过 28%后,酒精产量有所下降,残糖含量同时增加。这是由于基质浓度对酵母的发酵存在很大的抑制作用,使菌体的生长与发酵完全受到抑制,从而导致残糖浓度的升高。

2.4 发酵时间对酒精发酵的影响

发酵时间对泔水发酵酒精度和还原糖的影响结果见图 4。从图 4 可知,随着发酵时间的延长,酒精的生产量也随着增高,当发酵时间为 72 h 时,酒精度达到最高。随后,由于高浓度酒精对酵母的生长影响及培养基中可发酵利用糖浓度的降低,酵母的生长和发酵均受到抑制,酒精度开始下降。

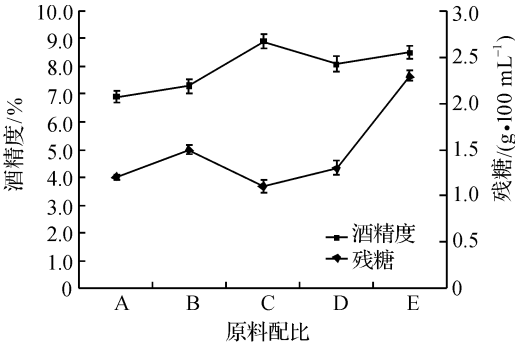


图 3 原料比对泔水酒精发酵的影响  
Fig.3 Effect of raw material ratio on hogwash alcohol fermentation

2.5 初始 pH 值对酒精发酵的影响

不同初始 pH 值下发酵泔水得到的酒精度和还原糖含量结果见图 5。酵母菌细胞的活度与发酵初始 pH 值有关,太低的 pH 值会增加酵母细胞排除质子能量的消耗,降低细胞活度和酶活及酵母对基质的利用速率,而较高的 pH 值又会抑制酵母的生长和代谢<sup>[8]</sup>。从图 5 可知,在初始 pH 值为 4.0 时,发酵得到的酒精度最高,残糖含量也最低。所以得到最佳初始 pH 值为 4.0。

2.6 纤维素酶添加量对酒精发酵的影响

纤维素酶添加量对酒精发酵的影响结果见图 6。在糖化过程中添加适量的纤维素酶,一方面能将泔水及玉米粉中的部分纤维素水解成可发酵性糖供酵母利用,从而提高酒精得率。另一方面它能破坏原料细胞壁结构,促进淀粉、蛋白质等有效成分溶出,对提高酒精产量有积极的辅助作用<sup>[9]</sup>。由图 6 可知,添加 0.05%的纤维素酶能有效提高酒精的产量。

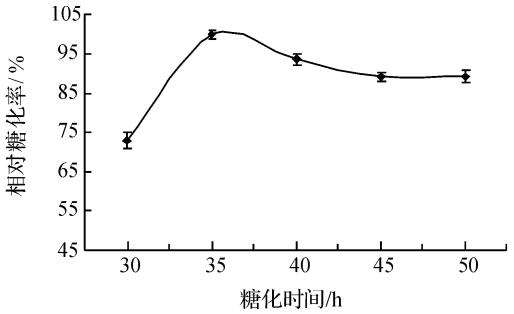


图 2 糖化时间对泔水发酵培养基中还原糖的影响  
Fig.2 Effect of saccharifying time on reducing sugar of hogwash fermentation media

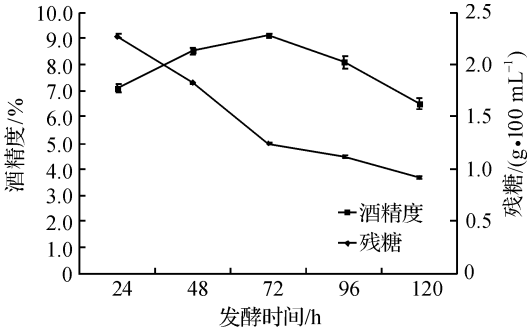


图 4 发酵时间对泔水酒精发酵的影响  
Fig.4 Effect of culture time on hogwash alcohol fermentation

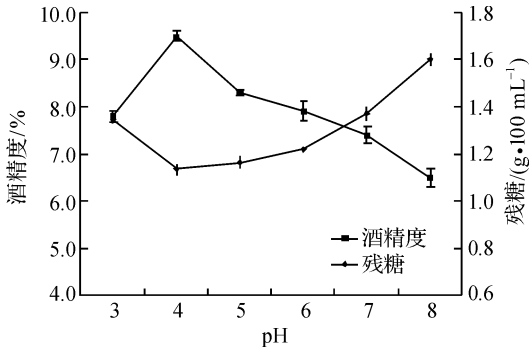


图 5 初始 pH 对泔水酒精发酵的影响  
Fig.5 Effect of pH on hogwash alcohol fermentation

2.7 糖化酶添加量对酒精发酵的影响

糖化酶添加量对酒精发酵的影响结果见图 7。由图 7 可知,在发酵过程中添加少量的糖化酶能提高酒精的产量。添加 0.1% 的糖化酶时,酒精发酵产量显著提高,与未加糖化酶相比,提高了 25% 以上。这可能是前期糖化过程中未降解的糊精分子继续被糖化酶作用降解成可发酵的葡萄糖,增加了基质中的可发酵糖的总量,使酒精得率大大提高。

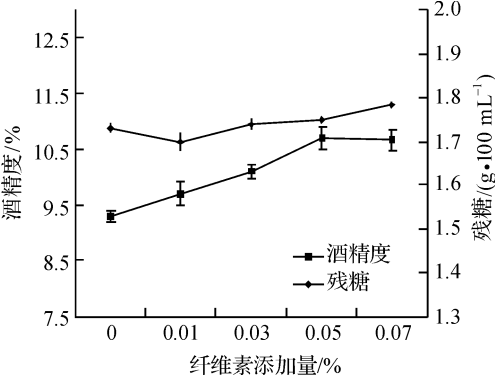


图 6 纤维素酶对泔水酒精发酵的影响

Fig. 6 Effect of cellulase on hogwash alcohol fermentation

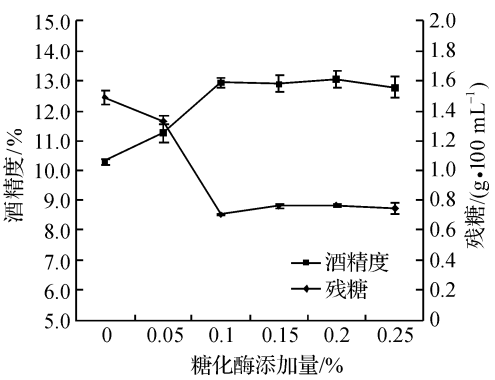


图 7 糖化酶对泔水酒精发酵的影响

Fig. 7 Effect of glucoamylase on hogwash alcohol fermentation

3 讨 论

泔水中含有淀粉等糖类物质,经过液化、糖化后,可以转化为酒精。但由于泔水中水分含量较高(约占 80%),淀粉的总量较低,直接利用泔水发酵其酒精产量只有 3% 左右。目前,利用玉米粉发酵生产酒精是酒精发酵的主要方法,但需要添加大量的水及一些氮源等。将泔水与玉米粉配料后进行酒精发酵,不仅可以减少玉米粉发酵过程中水及氮源的用量,而且可以有效地资源化处理泔水,增加酒精的产量。泔水除了能被利用的糖类外,还含有大量不能被利用的油脂(其含量约占泔水干物质 30%)。通过前期的实验表明,除油后的泔水的酒精产量与未除油的产量相比,要提高 14% 以上,泔水中的油脂被提取以后能作为工业油脂及生物柴油的原料。

泔水酒精发酵后,经过蒸馏后的酒渣含有大量的蛋白质,可以直接烘干作为蛋白饲料,也可以加入一些乳酸菌及产朊假丝酵母等继续发酵生产微生物生态饲料。

参考文献:

[1] TSAI S H, LIU C P, YANG S S. Microbial conversion of food wastes for biofertilizer production with thermophilic lipolytic microbes[J]. Renewable Energy, 2007, 32(6): 904-915.

[2] BATTISTONIA P, FATONEB F, PASSACANTANDOA D, et al. Application of food waste disposers and alternate cycles process in small-decentralized towns: A case study[J]. Water Research, 2007, 41(4): 893-903.

[3] 戴德慧,陈贵才,黄光荣,等. 泔水发酵生产蛋白饲料的菌种选育研究[J]. 中国畜牧杂志, 2008, 44(15): 39-41.

[4] 王星敏,郑旭煦,吕靖. 餐饮废渣资源化开发与利用[J]. 重庆工商大学学报, 2007, 24(3): 280-283.

[5] 侯曼玲. 食品分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.

[6] 章克昌. 酒精与蒸馏酒工艺学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1995.

[7] 天津轻工业学院. 工业发酵分析[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1997.

[8] 周广麒,余伟民. 马铃薯酒精发酵工艺的研究[J]. 中国发酵, 2008, 185(8): 36-38.

[9] 司笑丁. 纤维素酶在酒精生产中的应用探讨[J]. 酿酒科技, 2004(6): 61-62.