

木薯粉液化醪过滤液酒精发酵的研究

祝帆,伍时华,黄翠姬,赵东铃,易弋

(广西工学院,广西柳州 545006)

摘要: 在木薯粉浓醪酒精发酵中,为了降低醪液的粘度并提高连续发酵液的流动性,按不同料水比对木薯粉进行调浆,液化后将液化醪进行过滤,并洗涤滤渣,测定过滤前后的粘度变化及糖回收率,再对滤液进行酒精发酵试验。结果表明,过滤后醪液粘度大幅度降低,料水比为1:2.9时的糖回收率最高,达99.3%,滤液发酵效率比全渣发酵效率平均提高4.4%。

关键词: 木薯粉; 酒精发酵; 粘度; 过滤

中图分类号:TS262.2;TS261.4;TS261.2 文献标识码:A 文章编号:1001-9286(2013)02-0054-03

Research on Alcohol Fermentation from Filtrated Liquid of Cassava Liquefied Mash

ZHU Fan, WU Shihua, HUANG Cuiji, ZHAO Dongling and YI Yi

(Guangxi University of Technology, Liuzhou, Guangxi 545006, China)

Abstract: In order to reduce the viscosity of fermentation broth in high-gravity alcohol fermentation from cassava, the hydrolyzed cassava was filtered and the residue was washed by water. The change of viscosity before and after the filtration were measured, and the recovery rate of sugar was investigated. Then the filter was fermented to produce alcohol. The results showed that the viscosity was greatly reduced after the filtration. The recovery rate of sugar reached 99.3 % as the ratio of material and water was 1:2.9. The fermentation efficiency of the filtrate improved by 4.4 % on average than that not treated by filtration.

Key words: cassava; alcohol fermentation; viscosity; filtration

木薯是世界三大薯类之一,具有产量高、抗逆性强、不与粮食争地的特点,其块根含25%~30%的淀粉,被公认为是一种极具潜力的酒精生产原料^[1]。从20世纪90年代开始我国形成了木薯酒精加工业,以鲜木薯和木薯干片为原料生产食用酒精和工业酒精。木薯燃料酒精的产业化可以降低石油危机的威胁,减少环境污染,具有极大的战略意义和社会效益^[2]。

在众多的酒精发酵新技术中,高浓醪发酵技术因具有耗能少、设备利用率高及生产成本低等优点,被认为是具有极大应用价值的酒精发酵技术^[3]。利用木薯粉进行浓醪酒精发酵,由于糖浓度以及固形物含量高,会对酒精酵母产生一定的渗透压抑制作用^[4,5]。此外,随着醪液浓度的增加,发酵液的粘度迅速增加,会对多罐连续发酵中物料流动造成极大影响,也对醪液的搅拌、加热与冷却造成很大的困难^[6]。

本实验拟采取对木薯液化醪过滤的方法,在尽可能减少糖损失的情况下,降低发酵醪液粘度和减少醪液中

固形物含量,以提高连续发酵的流动性。

1 材料与方法

1.1 材料

木薯粉,市售,含淀粉67.5%;酒精高产 *Saccharomyces cerevisiae* GGFS16 由广西工学院发酵工程研究室选育并保存;耐高温 α -淀粉酶(20000 U/mL)和糖化酶(100000 U/mL)由山东隆大生物工程有限公司提供。

1.2 实验方法

1.2.1 粘度比较

取100 g木薯粉,分别按料水比1:1.4、1:1.7、1:2.0、1:2.3、1:2.6、1:2.9,将木薯粉和60℃自来水于500 mL三角瓶中混合调浆,按10 U/g木薯粉的量添加耐高温 α -淀粉酶,95℃液化2 h,液化后用普通涤纶滤布对液化液进行过滤,并使用100 mL的60℃自来水对滤渣洗涤2次,将洗渣液加入滤液中,得到混合液,分别测定过滤前后及混合液的粘度。

基金项目:广西科学研究与技术开发项目(桂科攻0782003-2)资助;广西柳州市科学研究与技术开发计划项目(2007021102)资助。

收稿日期:2012-09-11

作者简介:祝帆(1986-),男,河北石家庄人,硕士研究生。

通讯作者:伍时华, tjwsh9801@tom.com。

优先数字出版时间:2012-10-19;地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/52.1051.TS.20121019.0837.001.html>。

1.2.2 糖回收率测定

按 1.2.1 中的方法对不同料水比的木薯粉浆进行液化、过滤和洗涤。分别测定滤液、洗渣液的体积及滤渣的总质量,并分别对滤液、洗渣液及滤渣取样,测定其中的糖浓度,计算不同料水比醪液过滤后的糖回收率。

1.2.3 酒精发酵

1.2.3.1 全渣酒精发酵

取 100 g 木薯粉, 分别按 1:2.0、1:2.3 及 1:2.6 的料水比调浆,于 95 ℃ 液化 2 h 后,于灭菌锅中 115 ℃ 灭菌 30 min,自然冷却至 60 ℃ 后添加 H₂SO₄ 调节 pH4.5,加入营养盐至终浓度为 CaCl₂ 0.2 g/L、MgSO₄·7H₂O 0.45 g/L、KH₂PO₄ 1.5 g/L、NH₄Cl 0.6 g/L,再按 150 U/g 木薯粉的量加入糖化酶,自然降温至 33 ℃ 后,按发酵液体积的 10% 加入种子液体,放入恒温摇床,33 ℃ 发酵。加入种子液后立即取样测定初始总糖。发酵过程中每 4 h 测定 1 次 CO₂ 失重,当失重小于 0.1 g 即认为发酵结束,发酵结束后测定酒精度、残总糖和残还原糖,并计算发酵效率。设计平行实验 2 组,结果取平均值。

1.2.3.2 滤液酒精发酵

取 400 g 木薯粉, 按 1.2.3.1 中的方法对木薯粉进行调浆、液化,液化液经滤布过滤,取 2 个 500 mL 三角瓶分别装入滤液 300 mL 进行发酵。发酵方法同上,结果取平均值。

1.2.3.3 混合液酒精发酵

按 1.2.3.2 中的方法对木薯粉进行调浆、液化,液化液经滤布过滤后,使用 100 mL 的 60 ℃ 自来水对滤渣洗涤 2 次,将洗渣液加入滤液中,得到混合液,取 2 个 500 mL 三角瓶分别装入混合液 300 mL 进行发酵。发酵方法同 1.2.3.1,结果取平均值。

1.2.4 检测方法

还原糖和总糖使用裴林试剂法^[7]测定。

酒精度测定:在蒸馏瓶中加入 100 mL 发酵液和 100 mL 蒸馏水,加热蒸馏出 100 mL 溶液,使用酒精比重计测定溶液中的酒精度,同时测定溶液的温度,将测得的酒精度换算为 20 ℃ 时的酒精度。

理论发酵酒精浓度 = 初始总糖浓度 × 0.511/0.789;

发酵效率 = 实测发酵酒精度 / 理论发酵酒精度 × 100%^[8];

糖回收率 = (滤液总糖 + 洗渣液总糖) / (滤液总糖 + 洗渣液总糖 + 滤渣总糖);

粘度使用 NDJ-7 型旋转式粘度计测定。

2 结果与分析

2.1 粘度测定

按 1.2.1 所述方法分别测定液化醪、滤液、混合液的粘度,试验结果见表 1。

表1 不同料水比下过滤前后的粘度 (10⁻³Pa·s)

项目	料水比					
	1:1.4	1:1.7	1:2.0	1:2.3	1:2.6	1:2.9
液化醪粘度	4700	650	35	23	13	8
滤液粘度	30	21	4.6	4.2	4.2	4.1
混合液粘度	3.6	3.5	3.2	3	3	2.9

从表 1 可以看出,木薯醪液在过滤以后,其粘度有非常明显的降低。越浓的醪液,过滤后粘度降低越明显。随着醪液中水的比例增加,醪液粘度越来越低,料水比为 1:2.9 的醪液粘度已经与过滤后粘度相差不大。由于滤液粘度已经很低,加入洗渣液后的混合液粘度降低的幅度已经较小,对实际生产中增加流动性的意义并不大。可以推断,醪液经过滤后粘度明显降低,对后续发酵的流动性和热传导效率有极大的提高。

2.2 总糖回收率

按 1.2.2 所述,测定滤液、洗渣液及滤渣中的总糖,并计算总糖回收率,试验结果见表 2。

从表 2 可以看出,随着料水比的增加,总糖回收率逐渐增加。料水比为 1:1.4 和 1:1.7 时,由于木薯粉液化液的粘度过大,不易过滤,滤渣中含糖较多,糖回收率仅为 87.3% 和 95.6%;料水比大于 1:2.0 时,滤渣中的糖浓度已经小于 2%,滤渣质量也明显减小,回收率增至 98% 以上;料水比为 1:2.9 时,虽然总糖回收率达到了 99.2%,但液化液的粘度已经很低,总糖含量也过低,失去了通过过滤降低液化液粘度的必要。因此,选取 1:2.0、1:2.3 及 1:2.6 料水比的滤液进行酒精发酵试验研究。

实际操作中,过滤器具(如滤布以及液化容器)上还残留一部分的糖,因此滤液、洗渣液及滤渣中的总糖要少于初始木薯粉。实际生产中的过滤工艺是连续的,过滤器具上残留的糖会进入下一次的过滤,并没有损失,因此,

表2 总糖回收率

料水比	滤液		一次洗渣液		二次洗渣液		滤渣		总糖回收率 (%)
	糖浓度 (g/100 mL)	体积 (mL)	糖浓度 (g/100mL)	体积 (mL)	糖浓度 (g/100 mL)	体积 (mL)	糖浓度 (g/100 g)	质量 (g)	
1:1.4	29.88	72	22.94	83	16.31	103	3.56	232.4	87.3
1:1.7	28.75	135	15.63	106	6.75	109	2.73	108.0	95.6
1:2.0	26.88	183	12.25	105	4.13	104	1.57	75.0	98.3
1:2.3	26.50	205	9.88	98	3.13	103	1.51	63.3	98.6
1:2.6	23.75	248	6.44	98	2.25	102	1.43	55.0	98.8
1:2.9	23.0	272	5.26	95	1.94	102	1.08	47.3	99.2

本实验在计算总糖回收率时仅考虑了洗涤后滤渣中残留的糖。

2.3 酒精发酵试验结果

根据 1.2.3 的方法,对 1:2.0、1:2.3 和 1:2.6 3 种料水比下的全渣、滤液和混合液酒精发酵进行了对比,结果见表 3~表 5。

表3 全渣发酵试验结果

项目	料水比		
	1:2.0	1:2.3	1:2.6
初始总糖(g/100 mL)	25.375	22.125	19.875
残还原糖(g/100 mL)	0.5	0.4	0.3
残总糖(g/100 mL)	1.55	1.55	1.5
酒精度(%vol)	13.1	11.7	10.8
发酵效率(%)	79.7	81.6	83.9

表4 滤液发酵试验结果

项目	料水比		
	1:2.0	1:2.3	1:2.6
初始总糖(g/100 mL)	23.875	22	19.625
残还原糖(g/100 mL)	0.4	0.4	0.3
残总糖(g/100 mL)	1.4	1.3	1.3
酒精度(%vol)	13.1	12.3	11.1
发酵效率(%)	84.7	86.3	87.3

表5 混合液发酵试验结果

项目	料水比		
	1:2.0	1:2.3	1:2.6
初始总糖(g/100 mL)	13.25	12.375	11.125
残还原糖(g/100 mL)	0.4	0.3	0.3
残总糖(g/100 mL)	1.45	1.4	1.4
酒精度(%vol)	6.7	6.4	5.8
发酵效率(%)	78.1	79.9	80.4

从表 3~表 5 可以看出,同一料水比下全渣和滤液的初始总糖含量变化不大。发酵效率方面为滤液发酵要略优于全渣发酵,平均提高了 4.4%,说明滤液发酵有利用发酵的进行,这可能是由于过滤后的发酵液粘度低,杂质少,有利于酵母与溶液中的养分充分接触。混合液虽然回收了滤渣中的糖分,但由于加入了大量的水,使糖浓度偏低,不适合于浓醪酒精发酵,而且由于糖浓度偏低,酵母需要利用较大比例的糖用于自身生长,因此,混合液的发酵效率也不高。在全渣和滤液发酵中,随着总糖浓度的降低,发酵效率逐渐增高,说明高浓度的糖会对酵母有一定的渗透压抑制,发酵后期较高浓度的酒精也会对酵母细胞产生一定的毒害作用。

此外,在实验中还发现发酵试验中不同料水比下的滤液及混合液的糖浓度均要略低于糖回收率试验,这可能跟过滤时醪液的体积有关。发酵试验中使用了 400 g 木薯粉进行调浆,一次性过滤,分装发酵,这使得过滤时醪液及滤渣的体积明显增加。随着滤渣体积的增加,更容易吸附液体中的糖分,因此降低了滤液及混合液中的糖

含量。

3 讨论

通过对木薯液化醪的过滤,极大降低了醪液粘度。对滤液进行酒精发酵,在与全渣发酵液初始总糖相近的情况下,发酵效率平均提高了 4.4%,由此可见,发酵液粘度的降低也有利于发酵效率的提高。因此,采用过滤后的滤液进行酒精发酵是木薯粉浓醪酒精发酵中提高醪液流动性的一种可行工艺。

在总糖回收率的实验中,将滤渣中的糖进行了洗涤,在料水比 1:2.0 的条件下得到 98.5% 的总糖回收率。若仅以滤液中的糖计算总糖回收率,根据表 2,可计算出当料液比为 1:2.0、1:2.3、1:2.6 下的总糖回收率仅为 72.8%、79.7% 和 86.2%,说明洗渣液中的这部分糖所占比例还是比较大的。考虑到洗渣液中糖的利用,将洗渣液与滤液混合后进行发酵。但由于洗渣液糖浓度低,造成发酵液总糖浓度偏低,大部分糖被酵母细胞用于生长繁殖,用于产酒精的糖含量相对降低,导致发酵效率不高。在今后的实验中考虑将洗渣液用于下批次调浆,以达到糖的回收利用的目的。滤渣中虽然也含有一定的糖粉,无法在发酵中利用,但由于滤渣经压榨后水分含量已不高,可参考糖厂生产滤泥生物肥的方法^[9],通过生产饲料或肥料对滤渣进行回收利用。

酒精发酵是一个厌氧代谢过程,但酵母菌的生长繁殖需要氧气。此次酒精发酵试验是在 500 mL 三角瓶中进行,由于前期通氧不足,导致发酵效率普遍不高,在接下来的实验中,将在 10 L 发酵罐中进行。如此,前期通氧操作将会更加方便,各参数监控也会更加容易,以便为中试提供更多的试验数据。

参考文献:

- [1] 章克昌.酒精与蒸馏酒工艺[M].北京:中国轻工业出版社,1995.
- [2] 薛万伟,党选举,李鑫.木薯酒精发酵工艺的研究[J].酿酒,2005,32(4):39-40.
- [3] 池振明.高浓度酒精发酵技术的研究进展[J].食品与发酵工业,1995(4):80-84.
- [4] 黄宇彤.酒精浓醪发酵菌种选育及发酵条件的优化[D].天津:天津科技大学,2002.
- [5] McCaig R, McKee J, Pifisterer EA, et al. Very high gravity brewing-laboratory and pilot plant trials[J].J.Am.Soc.Brew.Chem.,1992,50(1):18-26.
- [6] 肖冬光,许葵,李瑞青.酒精浓醪发酵生产工艺的优化[J].酿酒科技,2004(6):40-42.
- [7] 王福荣.酿酒分析与检测[M].北京:化学工业出版社,2005.
- [8] 易弋,容元平,程谦伟,等 5 人.木薯粉浓醪酒精同步糖化发酵 5L-100L 放大试验[J].中国酿造,2011(3):85-87.
- [9] 张跃彬,高正卿.蔗糖副产物滤泥、糖蜜酒精废醪液的开发利用[J].中国糖料,2009(1):63-64.