

酵母浸粉刺激以木薯为原料的丁醇生产的 发酵相转型^{*}

郑钧屏 李志刚 李鑫 李乐 史仲平^{**}

(江南大学生物工程学院工业生物技术教育部重点实验室 无锡 214122)

摘要 在7L静态厌氧发酵罐下,使用“非粮”作物木薯替代玉米淀粉开展丁醇发酵。无论是传统发酵还是油醇萃取发酵,木薯粉丁醇发酵的性能均远不及以玉米淀粉为原料时的水平,主要体现在发酵产酸相向溶剂生产相的转型严重延迟或无法转型、发酵时间长、丁醇生产效率低。实验结果表明,当发酵相转型延迟出现后,添加2.5g/L的酵母浸粉,可以刺激丁酸/乙酸向丁醇/丙酮的转化、转型延迟时间缩短10~30h左右。在此条件下,传统和萃取发酵方式下的丁醇总产量分别达到12.95g/L和29.81g/L,丁醇生产效率与使用玉米淀粉为原料时基本持平。

关键词 丁醇 发酵 酵母浸粉 木薯 玉米淀粉

中图分类号 Q935

丁醇发酵一般是利用丙酮丁醇梭菌(*Clostridium acetobutylicum*)在严格厌氧条件下进行的,其主要产物为丁醇、丙酮和乙醇,比例约为6:3:1^[1],简称AB或ABE发酵^[2]。丁醇作为一种替代石油的绿色可再生能源,是一种极具潜力的新型液体生物燃料。

目前,粮食、能源安全和低碳经济问题是全世界所关注的三大主题。使用可再生的生物质资源替代化石能源可以减少CO₂的排放、促进低碳经济的实现。在我国,玉米一直是丁醇发酵生产的主要原料。但是,由于可耕地的减少、人口剧增,使用玉米等粮食作物进行清洁、可再生的能源生产就与粮食安全问题产生了矛盾。为同时保证粮食和能源安全、实现低碳经济,“非粮”生物质资源,因其“不与人争粮、不与粮争地”的特征就被推上了发展清洁、可再生能源的前沿。木薯是一种高产的“非粮”生物质作物,它可以在热带、亚热带湿润但土地贫瘠、无法耕作粮食作物的地区生长,且亩产量高。木薯的块根含30%的淀粉,木薯干含有70%的淀粉,被誉为“淀粉之王”。我国木薯种植已初具规模,加工技术比较成熟,经多方论证,我国政府已确定

木薯为生物质能作物之一,并大力扶持发展^[3]。

选用木薯为原料生产丁醇既符合基本国策,又具备比较稳定的来源,还可以推动南方贫困农村山区的经济发展。有关研究报道指出,薯类原料氮源含量低是导致丁醇发酵无法正常进行的主要原因^[4]。我们在7L静态发酵罐中,以“非粮”木薯为原料进行丙酮丁醇发酵,通过外加氮源研究探索用木薯替代玉米进行丁醇发酵的可行性,并为其工业化提供参考。

1 材料与方法

1.1 菌种

本实验室保藏的丙酮丁醇梭状芽孢杆菌(*Clostridium acetobutylicum* ATCC824),适宜发酵淀粉质原料^[5],在5%(w/v)的玉米醪培养基中培养成孢子液,4℃冰箱保存。活化方法按文献[6]的方法。

1.2 培养基配制方法

1.2.1 玉米培养基 玉米粉用40目筛过筛。传统发酵和油醇萃取发酵分别使用15%(w/v)和30%(w/v)的玉米粉。蒸馏水配料,添加液化酶(8U/g淀粉,沸水浴中液化45min),糖化酶(130U/g淀粉,62℃下糖化60min)制备。pH自然,121℃灭菌20min。

1.2.2 木薯培养基 磨成粉的木薯用40目筛过筛。

收稿日期:2011-08-03 修回日期:2011-09-21

^{*} 国家自然科学基金(20976072)、国家“973”计划(2007CB714303)资助项目

^{**} 通讯作者,电子信箱:zps@jiangnan.edu.cn

传统和油醇萃取发酵分别使用 15% (w/v) 和 20% (w/v) 的木薯粉。制备方法同玉米培养基。

1.3 试剂和仪器

木薯由河南天冠企业集团有限公司提供, 玉米粉使用市售产品。耐高温液态 α -淀粉酶 (20 000 U/ml) 和糖化酶 (130 000 U/ml), 购自无锡杰能科生物工程有限公司。油醇购于无锡华东化学试剂有限公司。其它试剂均为分析纯。

生物传感器 (SBA-40B, 山东科学院) 用于测定葡萄糖浓度; 7L 静态厌氧玻璃发酵罐由上海保兴生物设备工程有限公司按设计要求专门订做。pH、氧化还原 (ORP) 电极, 以及电极数据显示器购于瑞士 METTLER TOLEDO 公司。MP-10C 恒温循环水浴槽购于上海一恒仪器有限公司。发酵溶剂测量仪器同前期研究报道^[7]。

1.4 方法

1.4.1 发酵方法 玉米粉和木薯粉发酵方法相同。为了保证发酵罐内的厌氧环境, 接种前向装有培养基的发酵罐持续通氮气 15min。恒温循环水浴槽的热水泵入罐内的螺旋蛇管, 可以在静态条件下将发酵温度控制在 37℃。调节培养基初始 pH 于 6.0, 再将种菌接入 (接种量 10%)。油醇 (已知最高效的原位丁醇萃取剂) 萃取发酵时, 接种后以油水比 1:1 的比例 (v/v) 将油醇 (添入前通氮气 15min 除去油中的溶解氧) 添入。尿素添加量为初始淀粉浓度的 1%^[3], 单独灭菌、接种前加入。酵母浸粉接入量为 2.5g/L-发酵液, 灭菌后按需要在发酵过程中通过蠕动泵打入发酵液内。

1.4.2 发酵溶剂的测定 同前期研究报道^[7]。

1.4.3 发酵产气的测定 用压力调节阀调控罐压。发酵开始后, 用“量筒排水置换法”^[7]定时测量发酵产气。

1.4.4 氢气的测定 先用装有 6mol/L NaOH 的气体洗瓶充分吸收产气中的 CO₂, 再用“量筒排水置换法”^[7]测量剩余气体的量。

1.4.5 总糖和还原糖的测定 总糖: 淀粉在浓酸作用下形成糊精, 继续水解成麦芽糖, 之后进一步水解成葡萄糖。取 1ml 玉米醪培养基或发酵液、10ml 的 HCl (2mol/L) 于比色管中, 沸水浴 45min 至淀粉完全水解 (用碘液检测)。滴加 NaOH (6mol/L) 调节 pH 于 7 左右。稀释适当倍数后使用生物传感器测定葡萄糖的浓度。

还原糖: 直接取发酵液上清、稀释适当倍数后, 使用生物传感器测定葡萄糖浓度。

1.4.6 pH 和 ORP 的测定 使用配置于发酵罐上的 pH 和 ORP 电极在线测定。

2 结果与讨论

2.1 分别以玉米和木薯为原料, 丁醇传统发酵和萃取发酵的性能比较

丁醇发酵过程中大量产气 (主要是 CO₂ 和 H₂), 是典型的生长耦联型发酵。丁醇发酵一般分成两个阶段 (相): 第一阶段为产酸相, 丁酸和乙酸生成, pH 下降; 第二阶段为产溶剂相, 生成的丁酸和乙酸被逐步消耗, 丁醇和丙酮开始生成积累, pH 逐步回升。由于发酵中存在固体淀粉颗粒, 细胞浓度无法测定, 只能依靠测定发酵产气来判断菌体的生长状况和溶剂的生产情况。丁醇发酵的溶剂产物, 特别是主产物丁醇, 是典型的最终代谢抑制产物。油醇对丁醇的分配系数约为 4, 对丙酮的分配系数只有 0.3。由于油醇对丁醇的这种高度萃取选择性, 所以在萃取发酵中选择油醇为萃取剂, 这样可以大幅缓解丁醇的抑制作用、提高丁醇发酵生产强度, 也为深入研究丁醇发酵的机制机理创造了有利条件。图 1 和图 2 分别是传统和萃取发酵的发酵时间曲线。其中, a 为玉米发酵, b 为木薯发酵 (无氮源外加)。

如图 1 和图 2 所示, 与使用玉米淀粉时的发酵产气相比, 木薯粉发酵产气量和产气速度均小于玉米粉发酵的产气量。特别是木薯萃取发酵的总产气量仅有 34L/L-broth, 是玉米发酵总产气量的 39%。图 1 和图 2 的结果显示, 使用玉米粉进行传统和萃取发酵时, pH 探底之后马上开始回升、发酵迅速从产酸相向溶剂生产相转型; 而使用木薯粉进行传统和萃取发酵时, pH 探底之后并不马上回升, 而是在底位上分别徘徊了约 18h 和 40h 才开始回升, 产酸相向溶剂生产相的转型大幅滞后。这一结果从图 3 也可以得到体现: 使用木薯为原料时, 首先, 产酸速度缓慢, 丁酸和乙酸达到各自最高值的时间比较长; 更加重要的是, 丁酸和乙酸在积累到其最高水平后, 消耗下降速度缓慢。与使用玉米粉为原料相比, 使用木薯时发酵从产酸相向溶剂生产相的转型延迟、耗时长, 传统发酵和萃取发酵的相转型延迟时间分别长达 18h 和 40h。如图 1 所示, 传统木薯和玉米发酵的最终丁醇总产量分别为 11.8g/L 和 11.63 g/L, 总糖利用率分别为 45.1% 和 55.4%。虽然

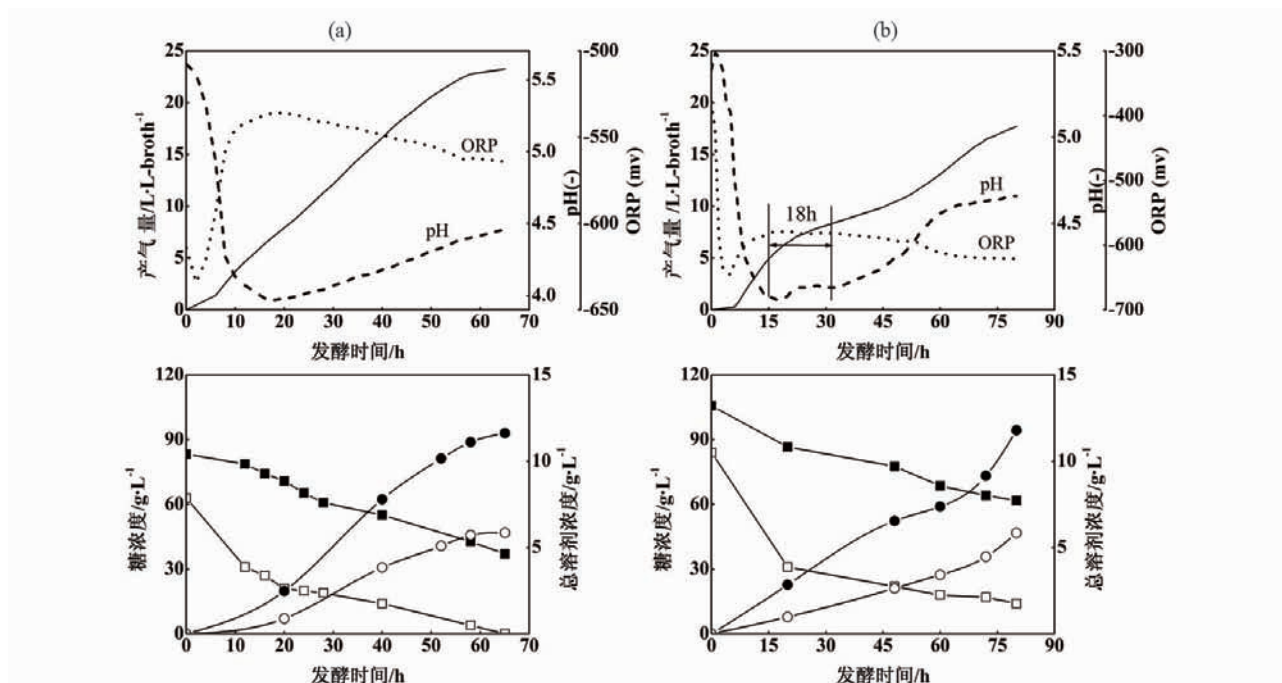


图1 以玉米和木薯为原料时,传统丁醇发酵的 pH、ORP、产气、溶剂和糖浓度的变化曲线

Fig. 1 The time curves of pH, ORP, gas production, solvents and sugars concentrations in traditional AB fermentations when using corn or cassava as the raw material

(a) AB fermentation using corn (b) AB fermentation using cassava —: Gas production;: pH;: ORP; ■: Total sugar concentration; □: Reducing sugar concentration; ●: Total butanol concentration; ○: Total acetone concentration

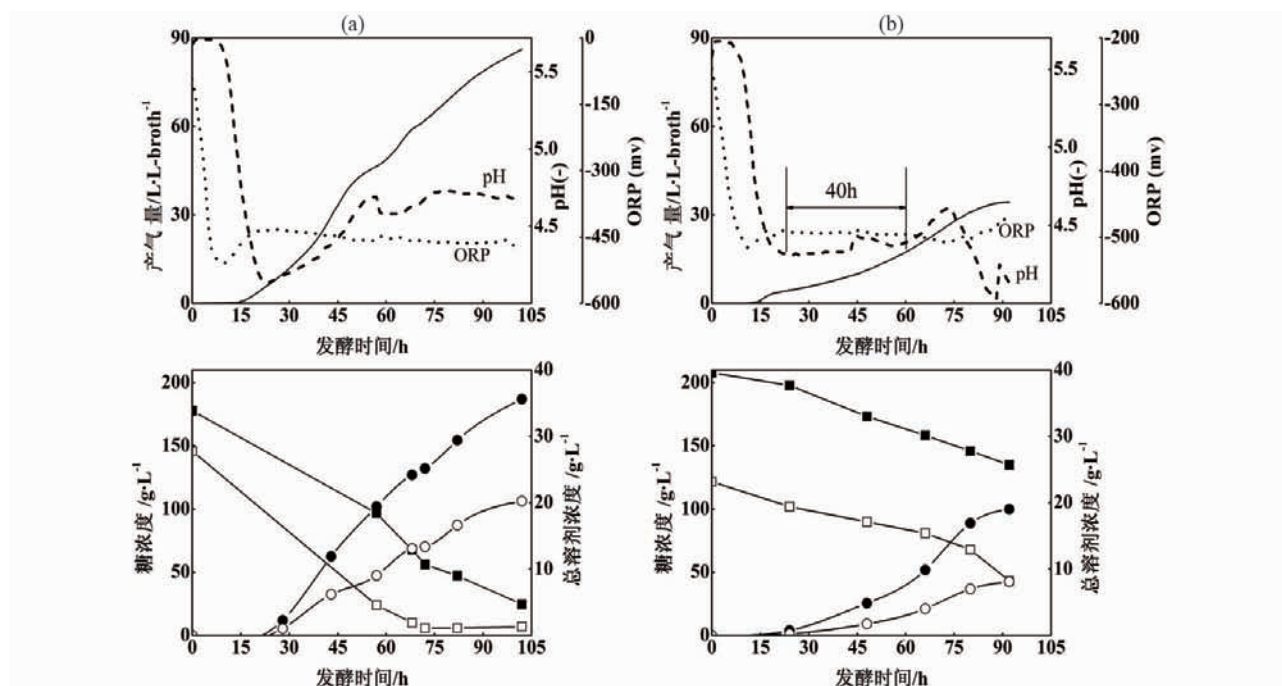


图2 以玉米和木薯为原料时,油醇萃取丁醇发酵的 pH、ORP、产气、溶剂和糖浓度的变化曲线

Fig. 2 The time curves of pH, ORP, gas production, solvents and sugars concentrations in extractive AB fermentations when using corn or cassava as the raw material

(a) AB extractive fermentation using corn (b) AB extractive fermentation using cassava —: Gas production;: pH;: ORP; ■: Total sugar concentration; □: Reducing sugar concentration; ●: Total butanol concentration; ○: Total acetone concentration

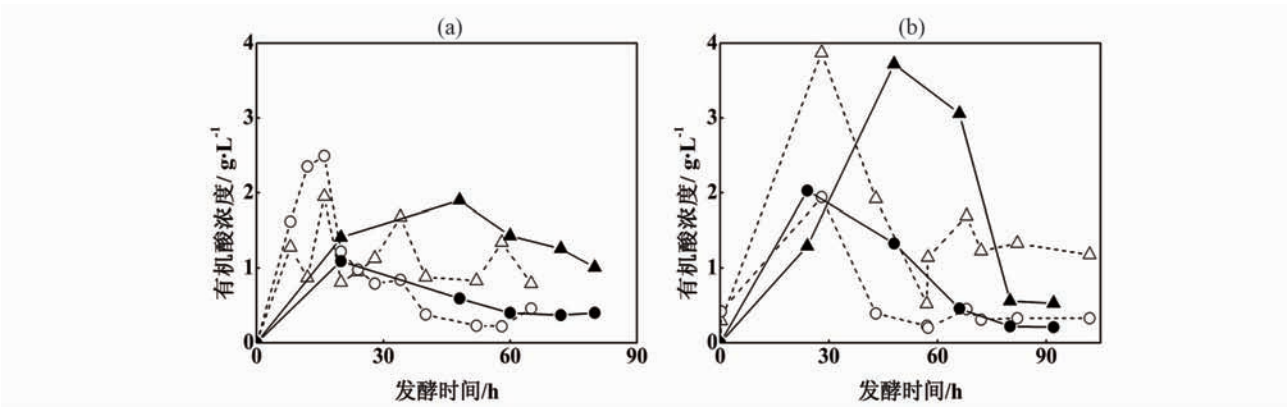


图3 以玉米和木薯为原料时,传统发酵和油醇萃取发酵中丁酸和乙酸浓度的变化曲线
Fig. 3 The time curves of butyrate and acetate concentrations in traditional and extractive AB fermentations when using corn and cassava as the raw material

(a) Traditional fermentation (b) Extractive fermentation using oleyl alcohol Open symbols: Corn fermentation; Closed symbols: Cassava fermentation. ●/○: Butyrate; ▲/△: Acetate

木薯发酵时的丁醇总产量与玉米发酵时基本持平,但发酵时间增加 20h 以上,丁醇生产效率明显下降。木薯萃取发酵的最终丁醇总产量或总浓度〔(水相丁醇量 + 油醇相丁醇量)/发酵液相体积〕仅为 19.04g/L,只有玉米萃取发酵时丁醇总产量的 53.5%,丁醇生产效率的下降幅度更为明显。

2.2 木薯发酵生产丁醇中外加尿素为氮源刺激有机酸快速合成

使用木薯为原料进行丁醇发酵时,发酵初期产酸缓慢,特别是产酸相向溶剂生产相的转型严重滞后,发酵时间长、丁醇生产效率低。研究结果发现,木薯粉蛋白质和脂肪含量分别为 2.6% (w/ w) 和 0.8% (w/ w),远小于玉米粉的 12.5% (w/ w) 和 4.5% (w/ w) 的水

平^[4]。木薯中氮源含量低、碳氮比不协调,可能是导致发酵初期产酸缓慢、发酵转型不顺利的主要原因。木薯培养基的外加氮源可以是有机氮也可以是无机氮,据有关文献报道^[4],尿素比氨水和氯化铵更有利于溶剂的生产。因此,选取尿素作为补充氮源,接种前加入培养基中。

图 4 的结果表明:当添加 1% 尿素(与初始淀粉含量之比)于油醇萃取发酵培养基中后,发酵约 20h 时,pH 基本降到最低点,丁酸和乙酸迅速积累,发酵产酸大幅提前。但是,此后丁酸和乙酸无法消耗,其浓度居高不下。发酵 29h 后,产气极其缓慢、丁醇总产量仅有 2.96g/L。上述结果表明,在此条件下发酵停滞于产酸期而无法向溶剂生产期正常转型。

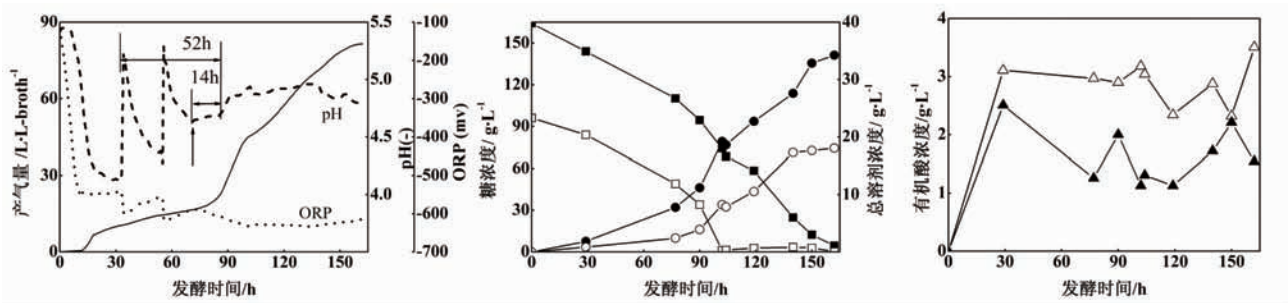


图4 以木薯为原料、萃取发酵开始时添加尿素条件下的 pH、产气、溶剂/有机酸/糖浓度的变化曲线
Fig. 4 The time curves of pH, gas production, solvents/organic acids/sugars concentrations in extractive AB fermentation when using cassava with initial urea supplement

—: Gas production;: pH;: ORP; ■: Total sugar concentration; □: Reducing sugar concentration; ●: Total butanol concentration; ○: Total acetone concentrations; ▲: Butyrate; △: Acetate; Arrow: Addition of 2.5 g/L yeast extract

有文献报道^[8]指出, pH 过低会影响发酵顺利由产酸期转入产溶剂期。与此同时, 丁醇合成需要 H_2 作为还原力, pH 过低会加大 CO_2 在发酵液中的溶解度, 进而降低 H_2 的溶解度, 有可能会影响到发酵由产酸向产溶剂的转型。为此, 在发酵 35h 和 55h, pH 探底(下降到大约 4.1~4.3)之后, 两次强行添加氨水将 pH 上调到 5.2 左右。但氨水添加后 pH 仍然继续下降, 发酵转型的趋势或征兆并没有出现。在发酵 70h(图 4 中箭头所示)时强行加入酵母浸粉浓缩液, 使发酵液中的酵母浸粉浓度达到 2.5g/L。这时, pH 不再下降, 在经历了约 14h 的延迟后, pH 和产气迅速回升, 发酵顺利地转型到溶剂生产期。发酵约 150h 后, 丁醇总产量达 34.25g/L, 与玉米萃取发酵时的总丁醇产量 35.61g/L 基本持平。但是, 由于试图通过调节 pH 和添加酵母浸粉浓缩液来促使发酵转型, 导致发酵迟延和滞后, 总发

酵时间增加了 52h。丁醇生产效率只有使用玉米粉发酵时的 62%。本次发酵实验中, 总糖利用率达到 97%, 高于玉米萃取发酵时的糖利用率(86%), 还原糖基本上全部耗尽。图 4 的结果初步显示, 在发酵开始时添加尿素虽然可以加快发酵初期的有机酸积累速度, 但却无法促进发酵从产酸相向溶剂生产相的转型。只有在发酵产气出现停滞, 添入适量的酵母浸粉才可以促进或刺激发酵由产酸期向溶剂生产期的转型, 最终提高目标溶剂的产量。

2.3 木薯发酵生产丁醇过程中添加酵母浸粉刺激丁醇合成

图 5 是以木薯粉为原料, 发酵开始前添加 1% 尿素下的传统和萃取丁醇发酵的时间曲线。两种发酵条件下, 观察到 pH 在谷底徘徊不动, 产气停滞 10~20h, 开始向发酵液一次性添加酵母浸粉浓缩液(图 5 箭头

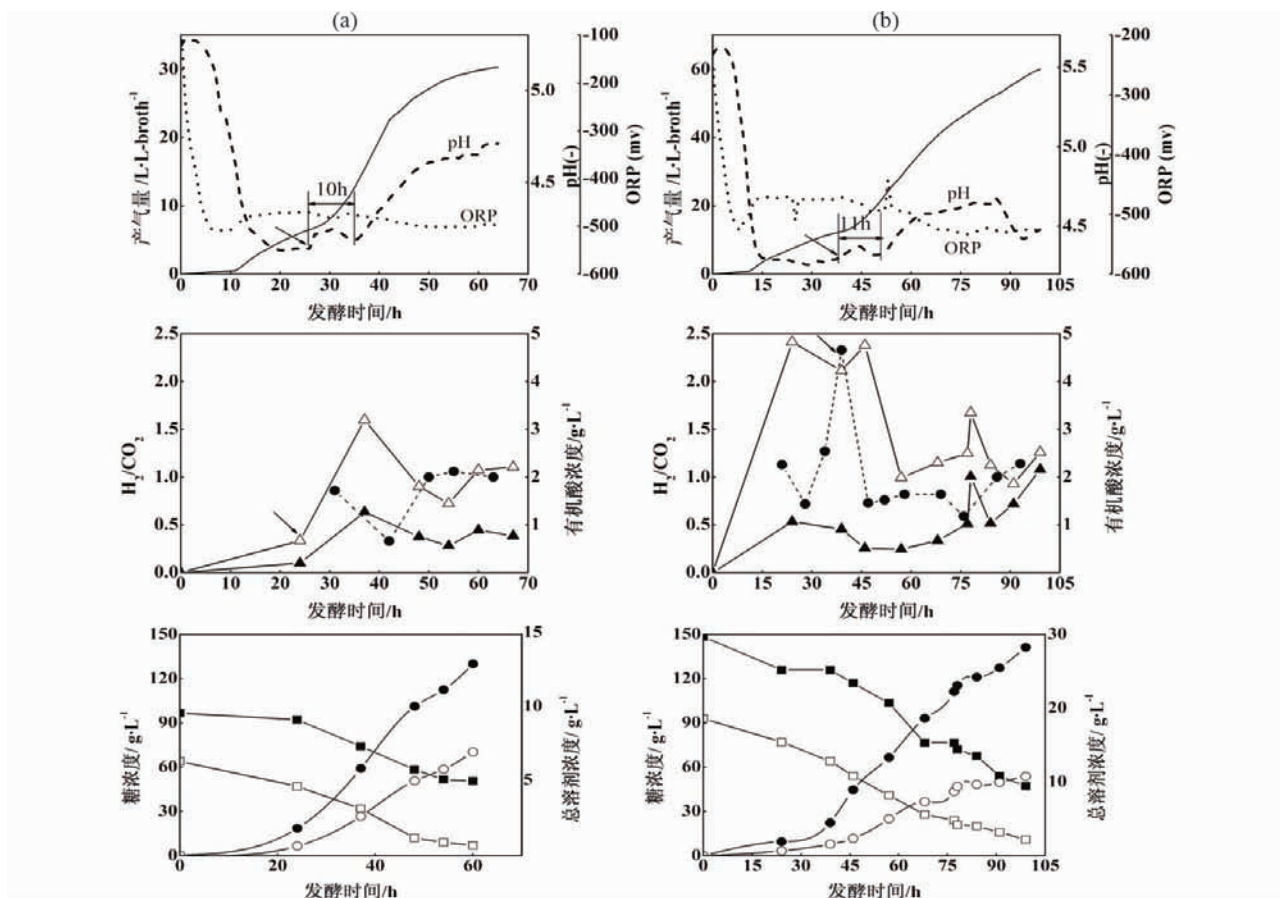


图 5 以木薯为原料、传统和萃取发酵中适时添加酵母浸粉下的 pH、产气、溶剂/有机酸/糖浓度的变化曲线
Fig. 5 The time curves of pH, gas production, solvents/organic acids/sugars concentrations in traditional and extractive AB fermentations when using cassava with adequate yeast extract addition during the runs

(a) Traditional fermentation (b) Extractive fermentation using oleyl alcohol Arrows: Yeast extract addition time

—: Gas production;: pH;: ORP; ●: Total butanol concentration or H_2/CO_2 ratio in the gas; ○: Total acetone concentration; ▲: Butyrate; △: Acetate; ■: Total sugar concentration; □: Reducing sugar concentration

所示),使发酵液中的酵母浸粉浓度达到 2.5g/L 左右。如图 5 所示,加入酵母浸粉后,产气和 pH 在经历了 10~11h 的延迟后,均开始显著上升,有机酸开始消耗、浓度下降,表明发酵开始从产酸相向溶剂生产相转型。丁醇合成需要消耗大量的还原力 NADH 和 H₂(图 6),添入酵母浸粉后产气中的 H₂/CO₂ 比率迅速降低,H₂被大量利用来合成丁醇,传统和萃取发酵的丁醇主生产期分别出现在 30~40h 和 40~70h 左右。在此条件下,传统和萃取发酵结束时的丁醇总产量分别达到 12.95 g/L (60h) 和 29.81 g/L (99h),总糖利用率为 47.7% 和 68.2%,与初始不添加尿素和酵母浸粉的木薯发酵相比,发酵性能显著提高。

在丁醇发酵开始前添加 1% 的尿素可以使丁酸和乙酸快速积累,发酵产酸大幅提前。但是,初始单单添加尿素将使发酵停滞于产酸期而无法继续进行下去,溶剂产量非常低,必须要在发酵过程中适时添加酵母浸粉,促进发酵从产酸相向溶剂生产相转型,才能使丁醇发酵持续进行下去(图 4)。从原理上讲,在发酵开始

前同时添加尿素和酵母浸粉也应该取得同样的效果,提高发酵性能。为此,开展了在发酵开始前同时添加尿素和酵母浸粉的传统丁醇发酵实验。但是在此条件下,pH 降低到最低点后产气基本停止,无法完成发酵从产酸相向溶剂生产相的转型。发酵 22 h,向发酵液中添加酵母浸粉浓缩液已经不起任何作用,发酵在 46h 结束,丁醇总产量仅停留在 1.27g/L 的极低水平(数据未给出)。

表 1 总结比较了使用不同发酵原料和不同发酵操作条件下的丁醇发酵性能。无论是传统发酵还是油醇萃取发酵,单纯使用木薯培养基进行丁醇生产都存在着以下的先天不足:发酵时间长或者丁醇总浓度低下。在木薯培养基中添加尿素、同时在产酸期结束后迅速加入酵母浸粉浓缩液,可以加快发酵从产酸相向溶剂生产相的转型。与使用玉米粉的丁醇发酵相比,木薯传统发酵的性能指标基本持平还略有提高;油醇萃取发酵的丁醇生产效率达到玉米粉发酵的 86% 左右,总糖利用率也有大幅提高。

表 1 不同发酵原料、不同发酵操作条件下的丁醇发酵性能比较
Table 1 AB fermentation performance when using different raw materials and operation modes

批次	发酵时间 /h	最终浓剂浓度						总糖利用率/%
		水相/g · L ⁻¹		油相/g · L ⁻¹		总产量/g · L-broth ⁻¹		
		丁醇	丙酮	丁醇	丙酮	丁醇	丙酮	
T1	65	11.63	5.86	0.00	0.00	11.63	5.86	55.40
T2	80	11.80	5.85	0.00	0.00	11.80	5.85	41.50
T3	70	12.43	5.74	0.00	0.00	12.43	5.74	51.00
T4	60	12.95	6.98	0.00	0.00	12.95	6.98	47.70
E1	102	8.19	15.02	27.68	5.35	35.87	20.37	86.10
E2	92	3.54	5.61	15.50	2.52	19.04	8.13	35.10
E3	162	8.04	13.42	27.37	4.61	35.38	18.03	97.30
E4	99	6.60	8.01	23.21	2.75	29.81	10.76	68.20

T: Traditional fermentation; E: Extractive fermentation with oleyl alcohol as the extractant
1: Control (corn powders as the fermentation material); 2: Cassava fermentation (cassava powders as the fermentation material); 3: Cassava fermentation with initial urea addition; 4: Cassava fermentation with initial urea addition and yeast extract addition during fermentation course

3 讨论

丙酮丁醇梭菌 *Clostridium acetobutylicum* 具有完整的淀粉水解酶和糖化酶的酶系,它首先利用自身的淀粉水解/糖化酶系将淀粉分解成还原糖-葡萄糖,然后继续进行葡萄糖的代谢和转化。丁醇发酵代谢途径(图 6)表明,丁醇发酵先是在产酸期将还原糖转化为丁酸和乙酸。随着发酵的进行,丁酸和乙酸在乙酰乙酰辅酶 A 转移酶(CoAT)的作用下又重新转化为乙酰辅酶 A 和丁酰辅酶 A,开始了溶剂产物(丁醇/丙酮)的合成。在乙酰乙酰辅酶 A 节点处,溶剂合成开始“分流”:主代谢流在还

原力 NADH 和 H₂、以及其他多个 NADH 依存型辅酶的作用下,生成主产物丁醇。我们推测:添入酵母浸粉后,胞内乙酰乙酰辅酶 A 转移酶(CoAT)的活性得到激活,通过消耗中间代谢产物丁酸/乙酸,以及 EMP 途径(葡萄糖→丙酮酸)所产生的 H₂,进入到了溶剂(丁醇/丙酮)生产的主路,完成了产酸相向溶剂生产相的转型。上述推测可以从添入酵母浸粉后丁酸/乙酸的快速消耗以及 H₂/CO₂ 比率急剧降低的事实(丁酸/乙酸浓度下降,产生的 H₂被大量消耗,图 5)得到佐证。遗憾的是,由于培养基中存在大量固体颗粒,发酵液只有到了发酵最后期才能变得相对澄清,收集添入酵母浸粉前后的梭菌细胞非常困

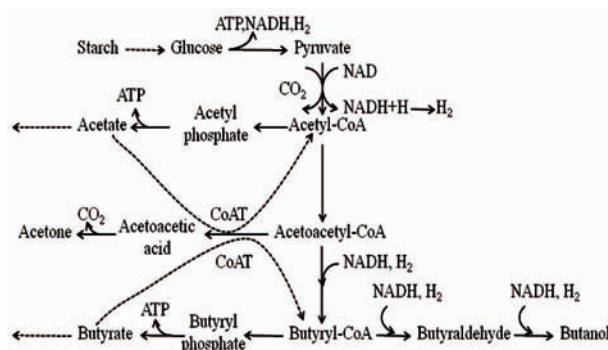


图6 添加酵母浸粉刺激木薯丁醇发酵生产的
理论推测和代谢图

Fig. 6 Theoretical interpretation and metabolic paths of
enhanced AB fermentation using cassava associated with
yeast extract addition

CoAT: Acetoacetyl-CoA transferase

难,而本梭菌又无法在葡萄糖清液培养基上正常生长,因此,有关添入酵母浸粉前后 CoAT 酶被激活的确凿数据还无法得到。今后将研究探讨在此条件下 CoAT 酶活的具体测定方法,并对以上推测进行最直接的验证。综上所述,研究探讨了使用木薯替代玉米进行丁醇发酵的可行性,为利用“非粮”原料木薯替代玉米进行工业规模丁醇发酵提供了基础数据和参考。

参考文献

- [1] Zhu S, Wu C. Production of butanol in extractive fermentation system. Chem Eng, 1992, 30(6):12-14.
- [2] Ezeji T C, Qureshi N, Blaschek H P. Acetone butanol ethanol (ABE) production from concentrated substrate: reduction in substrate inhibition by fed-batch technique and product inhibition by gas stripping. Appl Microbiol Biotechnol, 2004, 63(6): 653-658.
- [3] 黄洁, 李开绵, 叶剑秋, 等. 中国木薯产业化发展研究与对策. 中国农学通报, 2006, 22(5): 421-426.
Huang J, Li K M, Ye J Q, et al. Chin Agric Sci Bull, 2006, 22(5): 421-426.
- [4] 沈兆兵, 杜风光, 史吉平, 等. 薯类发酵生产丙酮丁醇及其工艺优化. 化工进展, 2008, 27(增刊): 134-136.
Shen Z B, Du F G, Shi J P, et al. Chem Ind Eng Pro, 2008, 27(Suppl): 134-136.
- [5] Durre P. New insights and novel developments in clostridial acetone/butanol/isopropanol fermentation. Appl Microbiol Biotechnol, 1998, 49: 639-648.
- [6] 孙志浩, 王舒, 吴燕. 固定化细胞连续发酵玉米粉生产丙酮丁醇的初步研究. 工业微生物, 1987, 17(6): 18-22.
Sun Z H, Wang S, Wu Y. Ind Microbiol, 1987, 17(6): 18-22.
- [7] 张龙云, 杨影, 史仲平. 丁醇萃取发酵耦联生产改良型生物柴油过程的性能优化. 生物工程学报, 2008, 24(11): 1943-1948.
Zhang L Y, Yang Y, Shi Z P. Chin J Biotechnol, 2008, 24(11): 1943-1948.
- [8] Hubert Bahl, Wolfram Andersch, Konstantin Braun, et al. Effect of pH and butyrate concentration on the production of acetone and butanol by *Clostridium acetobutylicum* grown in continuous culture. Appl Microbiol Biotechnol, 1982, 14: 17-20.

Yeast Extract Stimulates the Phase-shift in Cassava Based Bio-butanol Production

ZHENG Jun-ping LI Zhi-gang LI Xin LI Le SHI Zhong-ping

(The Key Laboratory of Industrial Biotechnology, Ministry of Education, School of Biotechnology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract Cassava is very attractive in bio-butanol production for its natures of cheap, high productivity, and no competition with the foods for arable land. Cassava was used as the raw material to produce bio-butanol in a 7L static/anaerobic fermentor. The results indicated that, performance of cassava-based bio-butanol production was much lower than that of corn-based production in both traditional and extractive fermentations. The major problems include severe delay or complete failure in phases shifting from acidogenic phase into solventogenic phase, long fermentation time and low butanol productivity. The experimental results showed that adding 2.5g/L yeast extract when phases-shifting delay appeared, could stimulate solvents conversion from organic acids and shorten the phase-shifting time for about 10-30 hours. Under this condition and with traditional and extractive fermentation mode, final butanol concentration reached 12.95g/L and 29.81g/L respectively, and butanol productivity almost approached the equivalent levels when using corn as fermentation source.

Key words Butanol Fermentation Yeast extract Cassava Corn