

① 393-396, 402

啤酒生产中麦汁发酵过程的实验室模拟

Ⅱ 麦汁(主)发酵过程的热跟踪监测

TS262.5

董岁明, 赵宏安, 钟广学, 申洁如

(西北大学分析科学研究所, 陕西 西安 710069)

摘要:利用 DDC-I 型补偿式数字精密量热系统和专门设计的 CCU-I 型量热单元, 对啤酒生产中在控温下麦汁发酵过程进行了实验模拟, 获得了过程的热谱图, 并对葡萄糖液进行了相同的发酵过程的热监控, 对比和分析了二者的热谱图, 从量热的角度验证了文献中关于酵母对糖发酵的作用历程的认识。另外, 对影响发酵的主要因素进行了试验研究, 并在选定的通气速率条件下进行了相同的发酵试验, 为改进啤酒生产工艺, 提高啤酒质量和产量提供了实验依据。

关键词:麦汁发酵; 啤酒酿造; 补偿式热量计

中图分类号: O641.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-274X (1999)05-0393-04

啤酒, 实验室模拟, 热监测

1 实验部分

1.1 药品材料及仪器

1.1.1 药品材料 麦芽汁、酵母、豆芽汁、碘、硫代硫酸钠、可溶性淀粉、高锰酸钾(西安化学试剂厂), 重铬酸钾基准试剂(北京化工厂)。

1.1.2 仪器 DDC-I 型精密量热系统, 自制。

1.2 麦汁主发酵过程的热跟踪监测及温度控制

1.2.1 发酵液制备 用已充分饱和氧气的麦汁, 接种酵母后放入 20℃ 培养箱中使酵母充分繁殖, 达旺盛生长时取上面清液冷藏备用。

1.2.2 麦汁发酵过程的热跟踪 调节恒温浴温度为所需温度, 于量热单元及连通的大发酵罐内分别加入约 20 mL 及 400 mL 无菌麦汁, 并将备用酵母清液注入进样管中。然后, 将量热计及大罐放入同一恒温浴中, 待系统和环境平衡后, 启动记录, 记录一段时间, 观察到热平衡后, 将进样管中的酵母清液注入发酵容器, 同时于大发酵罐中也加入相当量的酵母清液。在实验过程中, 每隔一定时间对发酵液进行醇和糖的分析。分别用两种酵母在 12℃, 15℃ 和 25℃ 对麦汁的发酵过程进行了跟踪监测, 记录得到的热谱图如图 1, 图 2。图中箭头所示处为加入酵母

的时间。上方部分为发酵过程的热功率-时间图线, 下方为过程中发酵系统与环境温差, 图上方部分的热谱图为实际记录的图线, 其中的方框部分 a 和 b 特别放大示出。

图 1 和图 2 为分别用酵母 1 和酵母 2 于 12℃ 发酵所得的热谱图(15℃ 和 25℃ 未附), 每一温度的热谱曲线的变化也是很平行的, 结果的重复性良好(见图 3); 各温度的热谱曲线的变化也是很平等的, 说明实验的测试结果是可信的。对各温度的发酵液终了时的主要成分及发酵过程的总热效应进行的计算, 见表 1, 表 2。

从表 1 知最终发酵液中可发酵糖及醇含量与实际生产中规定值较为接近。这说明在高于啤酒生产温度(如 25℃), 麦汁发酵仍能进行, 不影响产品质量, 且发酵速度明显加快, 只是双乙酰含量稍高些。

1.2.3 葡萄糖液发酵和通入少量 O₂ 的麦汁发酵

为说明本实验的热谱图和进行对比, 以葡萄糖溶于豆芽汁中的溶液为发酵液, 加入酵母在不同温度进行相同的发酵实验。同时, 为了探索通少量 O₂ 对发酵的影响, 进行了通 O₂ 实验, 并在 12℃, 15℃, 25℃ 分别记录了它们的热谱图, 发现与用麦汁作发酵液和末通 O₂ 图谱基本一致, 只是用葡萄糖液和给麦汁中通入少量 O₂ 在相同条件下发酵时间缩短

收稿日期: 1998-12-10

作者简介: 董岁明(1963-), 男, 陕西西安人, 现为西安工程学院讲师, 从事热化学研究。

了(葡萄糖液发酵及通 O₂ 发酵的谱图略)。

表 1 各发酵液在发酵终止时的主要组分分析

Tab. 1 The main component analysis in the final fermentation solution

温度/℃	基质	酵母	时间/h	可发酵糖/kg·dm ⁻³	乙醇 w/%	双乙酰/10 ⁻⁶	起始 pH	终止 pH	有无通氧
12	麦汁	酵母 1	64	3.875	2.398	3.01	5.42	4.47	/
12	麦汁	酵母 1	48	4.631	2.201	/	5.42	4.35	通
12	葡萄糖	酵母 1	48	3.212	3.229	/	5.89	4.56	/
12	麦汁	酵母 2	48	4.976	1.849	/	5.42	4.38	/
15	麦汁	酵母 1	56	3.624	2.525	2.84	5.42	4.45	/
15	麦汁	酵母 1	48	3.852	2.449	/	5.42	4.40	通
15	葡萄糖	酵母 1	48	1.872	3.463	/	5.89	4.70	/
15	麦汁	酵母 2	50	4.156	2.257	/	5.42	4.45	/
25	麦汁	酵母 1	48	1.745	3.463	2.36	5.42	4.53	/
25	麦汁	酵母 1	48	1.246	3.714	/	5.42	4.34	通
25	葡萄糖	酵母 1	48	痕迹	3.801	/	5.89	4.51	/
25	麦汁	酵母 2	48	2.370	3.177	/	5.42	4.48	/

表 2 发酵系统在不同时间的总热效应

Tab. 2 The total heats of the fermentation in each period

温度/℃	基质	酵母	时间/h	φ/J	时间/h	φ/J	时间/h	φ/J	时间/h	φ/J	时间/h	φ/J	是否通氧
12	麦汁	酵母 1	24	138.44	36	207.66	42	242.27	48	276.88	64	369.18	/
12	麦汁	酵母 1	24	142.45	36	213.68	42	249.29	48	284.91	/	/	有
12	葡萄糖	酵母 1	24	170.54	36	255.82	42	298.15	48	341.09	/	/	/
12	麦汁	酵母 2	24	135.43	36	203.15	42	237.01	48	270.86	/	/	/
15	麦汁	酵母 1	24	184.59	36	276.88	42	323.03	48	369.18	56	430.71	/
15	麦汁	酵母 1	24	192.61	36	288.92	42	340.82	48	385.23	/	/	有
15	葡萄糖	酵母 1	24	245.78	36	302.68	42	431.58	48	491.57	/	/	/
15	麦汁	酵母 2	24	179.57	36	269.36	42	312.50	48	359.15	/	/	/
25	麦汁	酵母 1	24	317.01	36	475.52	42	554.77	48	634.02	/	/	/
25	葡萄糖	酵母 1	24	443.41	36	665.12	42	776.85	48	674.15	/	/	/
25	麦汁	酵母 1	24	337.07	36	490.56	42	572.33	48	886.83	/	/	有
25	麦汁	酵母 2	24	302.97	36	454.45	42	537.21	48	605.93	/	/	/

2 结果及分析讨论

2.1 实验结果及处理

由实验分析数据绘制出的总糖含量随时间变化

曲线见图 4,各图中曲线变化的趋势与文献[1]中相同,表明在量热单元中进行的过程实质是麦汁发酵过程的模拟,量热单元实质上为一发酵器。25℃(图 4)的曲线变化趋势与文献[1]中的对照表明麦汁的发酵确已基本完成,而 12℃及 15℃发酵约 60 h 的数据说明发酵尚未最终完成。

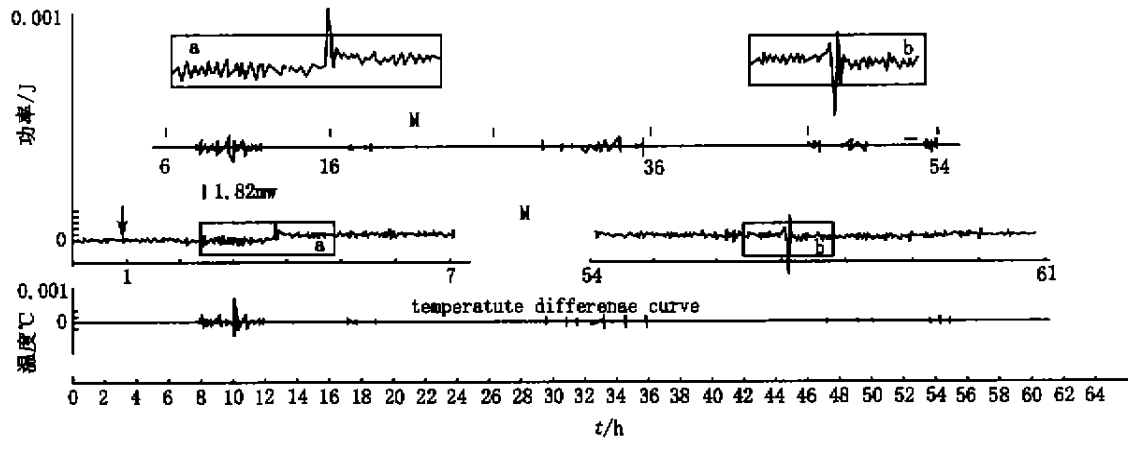


图 1 12°C麦汁发酵的热谱图 (酵母 1)
Fig. 1 The thermogram of wort fermentation at 12°C (Yeast one)

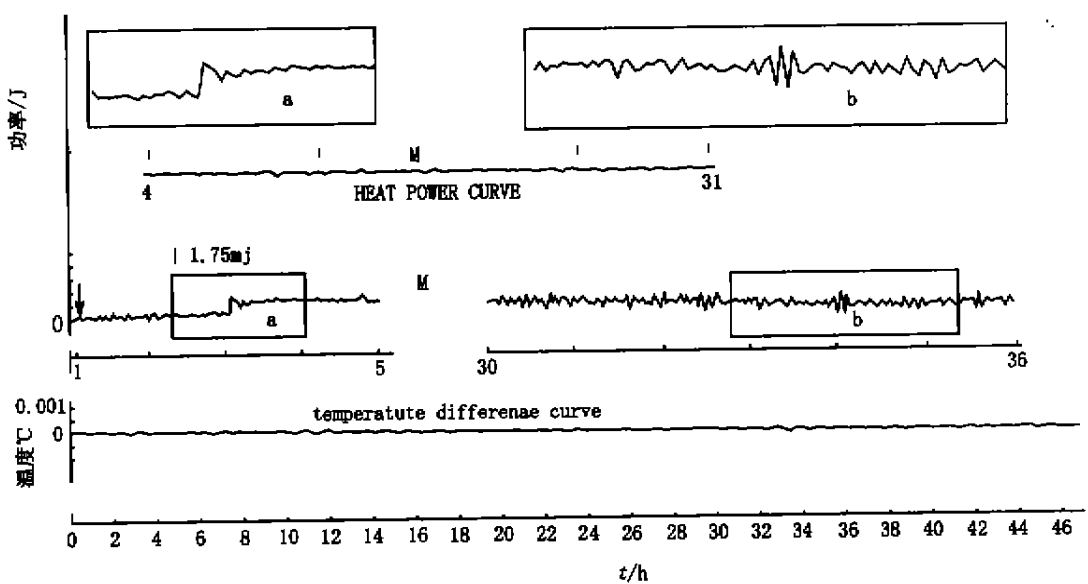


图 2 12°C麦汁发酵的热谱图 (酵母 2)
Fig. 2 The thernogramn of wort fermentation at 12°C (Yeast two)

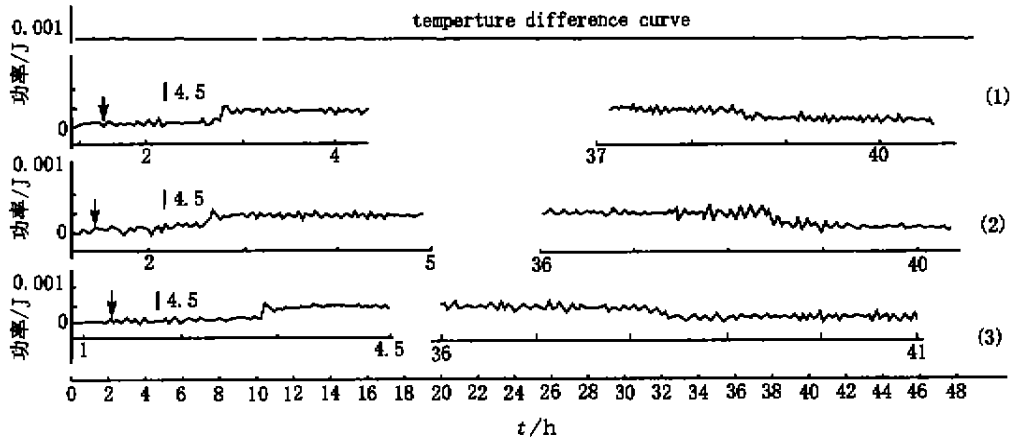


图 3 25°C麦汁发酵的热谱图(重复性示例) (酵母 1)
Fig. 3 The thermograms of wort fermentation at 25°C (repeat examples) (Yeast one)

麦汁通 O_2 发酵及葡萄糖液发酵试验的分析和计算结果也列于表 1, 表 2 中。

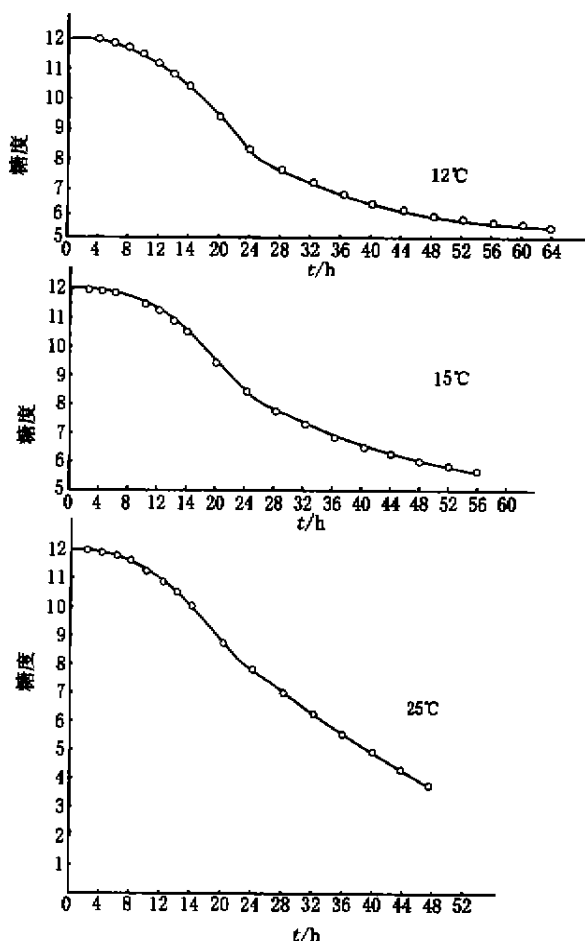


图 4 各温度(12℃, 15℃, 25℃)时发酵液中总糖含量随时间变化曲线

Fig. 4 The change curve of total sugar in the fermentation solutions at 12℃, 15℃, 25℃

2.2 结果分析及讨论

(1) 对照麦汁通 O_2 与不通 O_2 发酵的结果可看到, 在选定适宜通 O_2 速率的情况下, 通 O_2 不影响啤酒产品的质量。

(2) 从热谱图看到, 麦汁发酵过程的初始阶段均有一个延迟期, 表现为: 只有稍微偏离基线向上的热功率起伏, 随后热功率开始较快升高, 在此阶段的各个时刻发酵中的糖量减少和总热效应较快增大(表 2)。如此经历一段时间后, $P-t$ 曲线的变化又减缓, 出现为只是稍偏离水平基线的平缓段, 上述 $P-t$ 曲线的变化, 应是麦汁发酵的生物化学过程的反映, 而这些生化过程都伴有热效应。

参考文献:

[1] 大连轻工业学院, 无锡轻工业学院, 酿造酒工艺学[M]. 北京: 轻工业出版社, 1992. 105.

(下转第 402 页)

结合麦汁发酵的 $P-t$ 图, 微生物在生长过程中都有一个特征的停滞期^[2], 反映在生长的热谱图上出现一个延迟期, 因此麦汁发酵的 $P-t$ 图的延迟期, 主要应是对应于酵母清液加入后酵母生长繁殖的停滞期。随后麦汁中少量单糖先进入酵母细胞直接发酵, 最后才主要是麦芽三糖进入酵母细胞, 分解为单糖后发酵, 因此, 反映在这个阶段曲线热功率先稍快增加, 最后由于发酵液中剩余的可发酵糖变少, 也可能由于酵母已大部分消耗, 产物乙醇的增加部分也拟制了酵母的继续繁殖, 这样使得发酵速率(因而热功率)明显下降, 使热谱图线变为平缓。葡萄糖发酵的 $P-t$ 图线的变化和同温度麦汁发酵相类似。只是在酵母生长的延迟期后, 热功率上升稍快, 总发酵完成需时稍短, 在发酵过程到各时间的总热效应稍大, 这显然是由于发酵中的糖分只是葡萄糖, 因而发酵速度(热功率)显然较快。从以上对麦汁发酵及葡萄糖发酵的 $P-t$ 图的对照分析表明, 本工作从量热的角度支持了对啤酒麦汁发酵历程的认识, 即首先是单糖(葡萄糖和果糖)先直接发酵, 多糖需经转化为单糖再发酵的历程。

(3) 另外也应提到, 对多糖发酵, 威尔许堆脱认为^[3]麦芽糖和蔗糖这些双糖可直接被酵母发酵而无须先水解为单糖, 而尼尔生则认为发酵是从单糖开始。现今较普遍的是支持尼尔生的看法, 本工作中的实验结果也支持这一历程。

(4) 本工作的实验结果表明, 在本实验的发酵条件下, 相同麦汁采用优质酵母 1 可提高发酵温度, 从而缩短主发酵完成的时间, 而不影响产品质量。这些结果提示, 使用较优质的酵母(除改善啤酒风味外), 可以提高发酵温度, 这有利于啤酒生产。

(5) 考虑到对一些粘度较大的生物体系, 采用适当通气的搅拌方式, 可以防止酵母沉积和在管壁上的粘附。本工作在选定条件下对麦汁发酵进行了通氧试验, 得到较好的结果, 重复性良好。

综上所述, 对用于实验的、专门设计的量热单元, 作适当的修改后, 也可用于啤酒麦芽发酵的全过程模拟跟踪和监控。本工作结果表明, 用 DDC- I 型补偿数字精密量热系统实现了用量热法对一个化工生产过程的模拟和监控, 这是一次较为成功的尝试, 此法可推广应用于其他化工过程的模拟。

The study of growing regulation of sulfate-reducing bacteria

ZHANG Xiao-li¹, LIU Hai-hong¹, CHEN Kai-xun¹,
GUO Sheng-wu², CHEN Zhi-xin²

(1. Department of Chemical Engineering, Northwest University, Xi'an 710069, China;

2. Tubler Goods Research Center, Xi'an 710065, China)

Abstract: *D. desulfuricans* screened from oil flooding water were studied, the results showed: (1) The SRB strain had the ability of oxygen-resisting about 4.5 mg/L dissolved oxygen concentration, but can't grow with 9.0 mg/L dissolved oxygen concentration, it was not obligate anaerobes but annex anaerobes; (2) It can grow both in liquid and deposit while NaCl content was below 0.818%, and can grow only in deposit from 0.972 to 2.28%, and can't grow when NaCl content was over 2.45%; (3) The increasing of Fe²⁺ concentration was better for the SRB growing, and it can't grow when Fe²⁺ concentration was below 13~15 mg/L; high iron ion content has no depressing effect on SRB; (4) In anoxic condition its appropriate growing pH range was between 6.5~7.5, and about 7.5 was its optimum pH value. In oxygenic condition the SRB can also grow between 8.0~8.5.

Key words: Sulfate-reducing bacteria (SRB); culture of SRB; microbial corrosion; oil well flooding water

(上接第 396 页)

[2] 大连轻工业学院, 无锡轻工业学院. 酿造酒工艺学[M]. 北京: 轻工业出版社, 1992. 94.

[3] 管教仪. 啤酒工业手册[Z]. 北京: 轻工业出版社, 1986. 454.

(编辑 时亚丽)

The lab simulation of the industrial wort fermentation in beer-brewing

I. Heat effect monitoring and following of the wort fermentation process

DONG Sui-ming, ZHAO Hong-an, ZHONG Guang-xue, SHEN Jie-ru

(Institute of Analytical Science, Northwest University, Xi'an 710069, China)

Abstract: A DDC- I type Digital compensation calorimetric system with the specially designed calorimetric vessel (see pt. I) was used in the simulation experiments of the industrial wort fermentation through heat compensation. Heat effects during the fermentation process were continually and automatically monitored and recorded, and the total heat effects were calculated from the thermograms at regular time intervals. Analogous fermentations were carried out with glucose solutions at the same sugar concentration as that of the wort; and a comparison of their thermograms gave, from the angle of heat monitoring, a verification of the reported mechanism of wort fermentation. conditional tests for wort fermentation were made with the same calorimetric procedures by changing temperatures, sources of yeast solutions, etc, that was known as the dominating factors. To test the agitation effect, experiments were also conducted by bubbling gas through the liquid media at the selected gas flow rates (see pt. I) and valuable results were obtained.

Key words: wort fermentation; beer-brewing compensation calorimeter; lab simulation of industrial fermentation process