

鲜面包酵母和活性干酵母的生产

徐浩 康月仙

(中国科学院微生物研究所,北京)

面包酵母的正式译名为啤酒酵母,即 *Saccharomyces cerevisiae*。面包酵母的菌体适用于制面包、馒头,以及部分糕点。

面包酵母的生产是一种大型发酵工业,全世界年产量以百万吨计,价值十亿美元之多。面包酵母的生产也是一个有悠久历史的产业。所谓近代的面包酵母生产至少也该回溯到 1915—1920 年由德国人、匈牙利人和丹麦人发明的批量流加法^[1]。目前,我国的面包酵母生产在大陆上不过 3700 吨,即使加上台湾也不过万吨左右,而按人口比例,我们本该生产数十万吨左右。国内有关面包酵母的中文技术资料较少,笔者将散见在英文及德文出版物或资料中较重要而又具体可信的数据及论述,作一综合,并加以比较及评论。

一、历史回顾和生产基础

在制面包时使用酵母至少可回溯到 6000 年前的埃及。另外,在荷兰 1781 年就有人把酿酒酵母压榨后转用于面包房。真正的面包酵母生产是 1846 年的 Viennes 方法,这是由 Viennes Mautner 所发明的,由 100 公斤大麦中可同时收得 10—12 公斤酵母及 28 升的乙醇。但对于酵母在发面中的作用,是 L. Pasteur 在 1857—1863 年的工作中才阐明的,尤其重要的是巴斯德指出了酵母的好气生长及厌气生长两种类型。在十九世纪八十年代在丹麦的 Carlsberg 实验室, Hansen 氏开始作纯培养物的研究。在 1877 年由丹麦 Ensebius Brunn 开始根据巴斯德的酵母两种生长类型的理论用通气法在同样的 100 公斤大麦中能取得 20—22 公斤酵母及 28 升乙醇。然而最后的改进是在第一次世界大战后,改用糖蜜及无机氮源并进行批量流加的

方法。批量流加法可以说是近代酵母工业的开始。它达到了 100 克己糖可产生 56.7 克绝干酵母的水平。

在工业生产中通常酵母的生产由斜面到市售成品要经过 12 级,除最后一级外其它都不能达到糖的最大转化率,从而在实际生产中 12 级的平均值是由 100 克蔗糖只能产生约 48 克干酵母。

从酵母的生产上看,酵母对碳水化合物的同化作用是使无机氮转变成有机氮的极为有效的手段,也是粮食变成肉、蛋、奶的重要途径之一。从面包酵母的消费上看北欧国家最高,每人每年达 2 公斤,在美国及加拿大达 1.1—1.2 公斤/年。从每人的平均消费量上可以看出,面包酵母的价值不只在直接营养,主要还是在:

(1) 小麦面粉经过发酵制得的面包松软可口,而且在制造食品时减少能耗。

(2) 小麦发酵过程中除去了植酸,从而有利于微量元素,特别是锌的吸收。

(3) 在中国用面包酵母发酵蒸馒头中可省去用碱中和的过程。排除了 Na_2CO_3 对维生素的破坏。更重要的是节约了大批进口碱灰,以全国 20 万吨,每吨 500 元计算,可以节约一亿元。

通常使用的面包酵母中的压榨酵母其最大缺点是含水量高达 70%,即使贮藏在低温中也不过数星期即不能使用。因而农村及小市镇或军用或野外施工队使用时,一般以使用活性干酵母为宜。在活性干酵母制造上,我们已经突破了过去传统的制造方法,找出自己的发酵工艺和方法。由于活性干酵母的生产与压榨酵母

及速效干酵母主要部分基本相同,因此活性干酵母的制造方法实际上也可应用于压榨酵母及速效酵母,特别是碳源的批量流加法更是这样。

下面将用一些经我们验证其为可信的报道进行分析,并着重说明我国过去的工艺与先进技术间的差距。

二、原料问题

本世纪二十年代以前主要是用谷物或麦芽汁培养酵母,以后开始使用糖蜜加无机氮源(或尿素)。但近年来糖蜜的质量、价格、来源都有问题,同时,因我国连年粮食丰收,因此又有人提出用水解糖作为碳源制造面包酵母。

以糖蜜作原料,因甜菜糖蜜生物素含量不足,要以 8:2 的比例搭配甘蔗糖蜜。在以尿素为氮源时尤其要添加更多的生物素(绝干酵母的生物素含量为 0.75—0.25ppm,甘蔗糖蜜和甜菜糖蜜中生物素含量分别为 0.8—0.5 和 0.01—0.02ppm)。

糖蜜中一般应含 50—55% 的可为酵母利用的糖,但近年来所购到的糖蜜难以达到这个水平。有的只在 38% 左右。在糖蜜处理上国内很少使用糖蜜离心机。糖蜜离心机很宜于处理含糖 40% 以下的糖蜜。糖蜜可加热到 90—95℃ 1 小时或 140℃ 灭菌 4 秒,灭菌后离心即可澄清使用。

在国内常常使用的是化学处理法。用此法糖蜜要稀释至约 20% 的糖溶液,即约 28° Bg,用 H_2SO_4 酸化至 pH3,蒸汽加热至 65℃,再加入磷酸 (H_3PO_4) 及 $CaCO_3$,这时实际上即相当于加入过磷酸钙 [$Ca(H_2PO_4)_2$]。加热至沸,静置 1 小时,用 CaO 中和至 pH5.0,再放置 8 小时,倾去清液,处理完毕。这个方法的主要原理根据是不纯物为 $Ca_3(PO_4)_2$ 及 $CaSO_4$ 挟带沉淀,因此加入的磷酸及硫酸和钙均应适量。

从设备投资看,用化学法当然较好,但问题是倾倒时浪费大,而且杀菌温度不能过高,这一点如不严格遵循,就会造成焦化现象,影响酵母得率及质量。

三、流加及通风

对于酵母生产来说,通气量是一个重要因素。通气和碳源的流加有极大的关系,如果培养醪液中的葡萄糖含量达到 5%,则过氧化氢酶的形成会受到完全的抑制,此时即使强烈通风,酵母也会进入酒精发酵的代谢途径。因此要批量流加,以充分发挥通风的效果,使酵母产生大量的生物量 (biomass)。怎样流加糖才能最节省,才能最有效,要靠流加方案,但流加曲线及流加方法在酵母生产厂家中是保密的。我们已根据生长动力学找出了一套流加曲线组,可以保证在不同的发酵期间中,每一瞬间均可保持糖量在最低点,充分发挥通气效果。从而维持产乙醇量在 0.1% 以下。

下面我们再讨论一下通风量的问题:

每生产 1g 绝干酵母要求 1 克氧,亦即要有 $22.4 \div 32 \div 0.21 = 3.4$ 升的空气。(克分子体积 \div 克分子量 \div 空气中含氧% = 每克氧相当的空气升数),在无搅拌的条件下,被鼓入的空气只有 1/5 被转入液体中,所以实际上每生产 1 克酵母要有: $3.4 \times 5 = 17$ 升空气。这个数字,再除以发酵时间,它就是对鼓风机风量要求的基础,实际上如果加上安全系数,通风量要求还要大的多。

下面我们取一个发表的例子说明在 F_0 级发酵中通气量自始至终是递增的,图 1 表示在 F_0 级发酵罐中通气量和时间的关系^[2]。

下面通气量数字引自该书,对数值是我们的分析,可以看出如表对数项下所示,它是一条线性曲线。

由上可知在 F_0 级发酵时,通气量由始至终

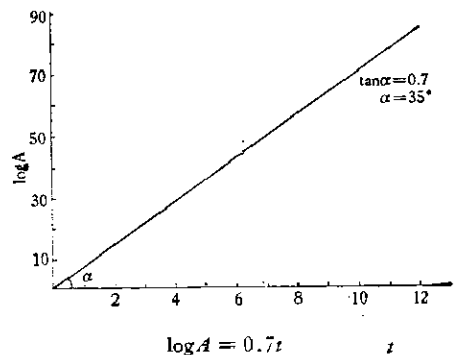


图 1 在 F_0 级发酵罐中通气量和时间的关系^[2]

发酵时间(小时)	通气量	对数
1	1180	3.07
2	1390	3.14
3	1630	3.21
4	1930	3.29
5	2260	3.35
6	2670	3.43
7	3140	3.49
8	3700	3.57
9	4360	3.64
10	5100	3.71
11	6000	3.77
12	7000	3.85

在不断的继续加大。因此若算出发酵终了时鼓风机所能提供的合适的风量,则依上面的斜率,大体上能找出各个时间合适的通气量。当然若有溶氧仪时,可维持溶氧的饱和度的12%,则更为准确。

四、逐级扩大过程

由一个酵母细胞(其重量约为 10^{-10} 克)到一吨细胞(即 10^6 克),显然不能由一次增殖达到(约 10^{16} 倍),当中要经12级扩大。下面我们也用一个已发表的结果加以说明^[2]。

经过由 F_1-F_5 的四级扩大,每级扩大5倍则 F_5 的醪液量应扩大为 F_1 的625倍。即 $a \times 5^4 = 625a_0$ 。由 F_1-F_5 其接种量均为0.5%左右。然后至 F_6 ,亦即面包酵母 F_6 级正式发酵时接种量增至1—1.2%。在 F_6 中,要充分通风,另外要保证按流加曲线控制群体的数量,保证增长倍数,另外通过流加保证在群体衰老期限内使每个细胞充分成熟,以保证保藏稳定性及发酵力。

流程如下:

A. 麦芽汁斜面 → B. 麦芽汁大管(12°Bg) → C. 麦芽汁三角瓶 → D. 12°Bg 糖蜜(占1/2) + 12°Bg 麦芽汁(占1/2) + $(NH_4)_2SO_4$ 。

然后取D全部加入 F_6 。下面的表格是一个例子,但并不一定要把它当做模式来看待。

重要的是,通风和流加碳源是在 F_6 级才发挥其效益。由于流加是按照一定的时间做量的改变,因此使用电子计算机控制是非常方便的。

五、营养盐问题

在无机盐的组成数量中,应该注意下列几点:

(a) 含糖量为50%左右的糖蜜,已经含有约0.6%的可给态氮,即有一部分能作为酵母利用的氮源。但精制糖蜜,即所谓返砂糖蜜,可给态氮含量很低,因此使用时要加大给氮量。

(b) 甜菜糖蜜中生物素含量严重不足已如前所述。但甘蔗糖蜜(包括返砂糖蜜)因原料来自蔗糖,生物素量并不低。甜菜糖蜜如用尿素为氮源,就要补充更多的生物素。

(c) 甜菜糖蜜中缺 Mg^{++} ,有时磷含量亦低。甘蔗糖蜜往往没有上述缺点。

(d) 在添加无机盐时要考虑到制造的成品是什么。例如压榨酵母细胞中含N为8.5%,活性干酵母则为7%。磷以 P_2O_5 计为氮的1/3,镁在细胞中以 MgO 计为0.4%。这些都应成为营养盐配制的出发点。

(e) 在活性干酵母的制造中要求细胞中有高达16%的蕈糖(海藻糖),因此磷酸不能过量,因游离磷酸根不利于蕈糖积累,含N量也要

表1 逐级扩大过程

组别	接种率 (%)	产量 (kg)	终体积 (升)	按醪液体积得率 (%)	增长倍数	通风	原料 (kg)		
							糖蜜	$(NH_4)_2SO_4$	$Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$
F_1	0.55	1	45	2	4	间歇通风	4.5	0.127	0.116
F_2	0.55	3.5	180	1.9	3.5	间歇通风	18	0.513	0.459
F_3	0.35	18	900	2.0	5	间歇通风	90	2.54	2.27
F_4	0.53	86	3400	2.5	4.8	2830l/min	369	10.69	10.28
F_5	0.64	450	13500	3.3	5.2	38300l/min	1449	42.72	41.126

注: 温度30°C, 时间12小时。

低, F_6 级的发酵末期 pH 要在 5 以上, 才有利于累积蕈糖。

六、自动化电脑化

利用我们研究的方法, 由于给出了一些生物反应器所必要的参数, 再配合以一定的传感器, 至少下列部分可以做到自动化与电脑联机控制。

(1) 通风可用电脑控制, 这要利用可靠的溶氧仪作为传感器。摇瓶间歇通气则可用定时继电器自动进行。

(2) 糖的流加, 可依流加曲线电脑控制, 这要利用液体流量计与电脑联用。

(3) 无机盐的流加, 氮流加可在 8 小时内完成, 可用时间继电器联流量计。

(4) 接种及分析配制发酵醪液均可以自动化。

七、酵母质量检查

面包酵母首先要检查的是发酵能力, 在我国目前主要是考虑其总产气率 (GPR), 轻工部对这一项作了标准规定。作者认为此外还应考虑:

(a) 在不同时间点上的产气情况。特别是 GPR 和含 N 量的比率关系。

(b) 面团的持气量即多孔性 (alveograph) 以及面团形成性 (farinograph), 两者之间的关系很重要。这就是要量度面包发起的高度, 以及排气量, 在这方面新仪器有瑞典的 SJA 发酵记录仪^[3]。它能测量出排气及面包持气能力, 但在国内尚未见到使用。

(c) 在活性干酵母中要使蕈糖占 16%, 出芽率 < 5%。二者可用定糖及显微计数方法进行。

(d) 在一定的发酵时间内, 例如 10—13 小时的细胞增长倍数也是该检查的重点之一。应该看到面包酵母的素质与数量是一对相关的指标。定义 $\mu = \ln \frac{P_t}{P_0}$, 即生长率是 t 时间内的生物量对零时的生物量比值的自然对数。在 10 小时发酵时 μ 值应为 0.18。只有达到这一数值, 才能在一定时间内 (例如 10 小时) 增长至

6 倍。只有在此情况下所得的面包酵母才能有最好的素质, 如稳定性、发酵力等。从这个意义上看用单纯的甜菜糖蜜不加添加物肯定是达不到这个指标的。这是因为在甜菜糖蜜中, 虽然可能保证足量的糖份与无机盐, 但由于缺乏生物素 (可能还有硫胺素), 酵母不能达到 0.18 的 μ 值, 从而在一定的时间内就不能产生足够的生物量, 当然可以延长培养时间, 但要影响产品素质, 影响周转时间。这从我国位于不同省份使用不同糖蜜的工厂中的生产就可以看得很清楚。在糖蜜供应日趋紧张, 改用其它含糖原料 (如水解糖) 的呼声日趋高涨的今日, 为了面包酵母的产率及素质就应该更重视添加物的研究。因此当生长率太低达不到增长倍数时, 原来无机盐的配比会打乱, 例如氮或磷太多了, 酵母的稳定性和蕈糖含量会下降。

(e) 糖耗。在 Gay-Lussac 方程式中 ($C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2$), 乙醇的产生在强烈通风时可完全受到抑制。当经过 F_1 — F_2 级的扩大及呼吸酶诱导准备阶段, 进入 F_6 并强烈通风培养时, 菌体产量为每 100kg 糖产生 56.7kg 的绝干酵母。因此糖耗是否合格也是间接检查通风量和流加糖的曲线是否合理的指标。

(f) 发酵酶亦即产酒精的代谢酶系, 是结构酶, 它存在于细胞质中。呼吸酶, 亦即产生菌体的酶系是诱导酶, 它存在于线粒体中, 这也是由 F_1 — F_6 级逐级加强通风的理由, 因此在 F_6 级中消耗氧的能力是一项重要的检查指标。

(g) 发面时酵母通过分泌出的半胱氨酸和谷胱甘肽可切断面筋的 s-s 键, 从而改善面团的结构。因此检查面包酵母时最为可信的仍是大规模的试烘面包。虽然这一方法消耗大而且麻烦, 不能经常进行, 但也不能完全用其它方法所取代。

(h) 在活性干酵母成品检查中用速测法 (即 GPR 合格产品在 49°C 中放 8 天其活力下降小于 50%) 检查是世界各国的通例, 我国亦应进行。

(下转第 182 页)

(上接第 190 页)

参 考 文 献

- [1] Oora, Suomalainen, H. and Viskari, R. B.: in "Economic Microbiology", Vol. 7, Fermented Food, ed. Rose, A. H., pp. 87—146, 1982.
- [2] White, J.: Yeast Technology, Jarrold and Sons, Chap. 5, 1954.
- [3] Reiff, F.: Die Hefen Buns II. Technologie Der Hefen, Verlag Hans Carl Nürnberg, 4. Backhefefabrikation, pp. 501—610, 1962