

酒精蒸馏废水回用模式与 回用极限的探讨

陈德兆

(发酵工程系)

摘要 对酒精蒸馏废水的回用模式和回用极限进行了探讨和数学推导,发现在配料水全部用废水的情况下,回用极限基本上与回用方法无关,回用方法不同只影响是否废水能全部回用。结果认为 SCP 培养二次废水回用法及其改良法为解决酒精蒸馏废水问题的最佳模式。

关键词 二次废水; 废水回用; 回用极限

目前我国酒精发酵工业年产酒精约 $36 \times 10^5 \text{t}$, 然而年排放蒸馏废糟水却高达约 $54 \times 10^6 \text{t}$, 按废糟水中总固形物浓度 5% 计, 即年排放污染物以固体计约 $27 \times 10^5 \text{t}$, 对环境造成极大的污染。然而这些所谓污染物, 可以被动物、微生物利用, 可以直接作为饲料转化为菌体生产单细胞蛋白或转化为沼气生产能源。因此, 可以选用这些微生物菌种, 既用以降低废水污染负荷, 又产生对人类有用的产品, 即“变废为宝”。常见的“变废为宝”工艺技术路线有: 厌氧法、酒糟固液分离法、SCP 培养法和 DDGS 法。以上方法除了 DDGS 法外, 都不同程度地存在着二次废水问题。但 DDGS 法技术投资大, 耗能大, 设备复杂, 根据我国国情该法一时难于推广应用。因此, 目前还没有解决酒精废水的较好办法。

1 废水回用模式的分析

1.1 粗滤液直接回用模式

采用无蒸煮或低温蒸煮酒精发酵工艺, 用滚筒筛进行固液分离酒精废糟水粗滤液可直接回用 15 次以上, 基本上不影响酒精发酵, 这似乎表明酒精粗滤液直接回用技术可以最终解决酒精厂废水排放问题。然而从物料平衡可以得知, 若粗滤液能全部回用, 则必然是因从酒糟带走大量的废液所致。尽管酒糟中的废水最后作为饲料被利用, 但相当于更多的废水被用作为饲料用水, 因此从这一角度来说, 实际上并没有真正完全解决污染问题。

收稿日期: 1993-12-23

1.2 二次废水回用模式

利用酒精废水生产单细胞蛋白(SCP)的技术已非常成功,但同样存在着二次废水的处理问题。我们已经发现单用粗滤液直接回用法就可以得到比较好的处理酒精蒸馏废糟水的结果,若将固液分离后的废水先经 SCP 培养,再进行回用,也许可以得到更好的结果。然而,由于 SCP 生产技术目前尚未大规模推广应用,所以难以做进一步工作。因此作者只能根据一些假设和工厂实际情况进行半理论半经验性的推导。

2 二次废水回用的物料衡算

2.1 粗滤液直接回用

用山芋干作为原料,酒精厂全厂物料概算结果见表 1。工厂的实际生产数据基本相近,所以可以根据表 1 结果,并全部以蒸馏废糟水量作为基准进行推导计算,有下式:

$$S = 64.6\% \times F$$
$$S = 63.6\% \times W$$

式中

F, S, W ——分别为发酵醪量、配料水量和废糟水量

表 2 为徐州酿酒总厂山芋干原料酒精蒸馏废糟水的成分分析部分结果。一般废糟水中总固形物含量为 5%左右,其中悬浮固形物浓度为 2%左右。用纱布过滤废糟水,滤液中总固形物含量为 3%左右。可以认为滤液中总固形物均为可溶性固形物。

表 1 酒精厂全厂物料概算结果

项 目	生产 1t 96% (v) 酒精 (kg)	年产 10×10^3 t 96% (v) 酒精 (t/d)
食用酒精	980.4	32.68
工业酒精	19.6	0.65
原料(山芋干)	2729.4	90.98
配料水	8188.2	272.94
成熟发酵醪	12672	422.4
蒸馏废糟水	12878	429.26
直接加热蒸汽	2236	74.53

表 2 酒精废糟水成分分析结果(mg/L)

项 目	蒸馏废糟水	废糟水滤液
固形物	51972	29500
灰分	6604	4972
COD	52660	33586
BOD ₅	—	17430
BOD ₃	23300	—
悬浮物	21492	—

用滚筒筛进行固液分离,估计粗滤液中总固形物浓度为 4%,所分离的滤渣(即固形物)中含水量为 88%以上。由此可知,虽只分离 1%的悬浮固形物,却从滤渣带走大量的水分。所以滤液量为:

$$L = y_{lw} \times W$$

式中

W, L ——分别为废糟水、粗滤液量

y_{lw} ——粗滤液与废糟水量的比值

y_{lw} 值显然与滤渣的含水量有关,现设含水量为 90%,则 y_{lw} 值为 90%,即粗滤液量比配料水

量多 $26.4\% \times W$ 。因此,若用固液分离——粗滤液直接回用法可以做到废水全部回用,则一定是过滤损失太大或是从滤渣带走太多的废水所至。

2.2 SCP 培养二次废水回用

用废水生产 SCP 时,菌体浓度通常是 8g/L 。用于代替鱼粉的 SCP 粗蛋白含量应大于 45% ,即要求废水中悬浮固形物的浓度小于 4.5g/L 。用卧螺分离机完全可以达到此要求,但考虑到清液中悬浮固形物浓度越低,电耗越高,我们控制废水中悬浮固形物的浓度为 4g/L ,如此得到的酒糟含水量为 $85\% \sim 89\%$,再用该废水进行 SCP 培养。培养醪经碟式酵母离心机分离,SCP 浓度为 12g/L 左右,其含水量约为 $85\% \sim 88\%$;所分离的清液(即二次废水)中,悬浮固形物浓度可以认为是零。经卧螺机分离后清液的量和经酵母离心机分离后的二次废水量分别为:

$$Q = 87.7\% \times W$$

$$R = 91.1\% \times Q = 87.7\% \times 91.1\% \times W = 80\% \times W$$

式中

W, Q, R ——分别为废糟水、清液和二次废水量

由上计算可知,二次废水量仍比配料水量多约 $16.4\% \times W$,但考虑到整个过程的损失,可以认为已做到了废水的全部回用。

2.3 二次废水回用方法的改良

根据物料衡算可知,酒精蒸馏时加热蒸汽量为成熟发酵醪量的 17.6% ,工厂实际生产数据约为 20% 。所以可以设想如果酒精蒸馏时采用间接蒸汽加热,则不仅可以做到酒精厂废水全部回用,而且还可以添加部分新水。由表 1 可知,配料水量 S 为 $82.9\% \times W$,大于二次废水量。考虑整个过程的损失,所加新水量还会更大。然而在对于含有大量固形物的成熟发酵醪,肯定难于用直接蒸汽进行酒精蒸馏。解决上述问题的办法之一就是先进行固液分离,再进行酒精蒸馏。有关此工艺路线,尚待做许多研究工作。

问题是,假设二次废水可以全部回用,那么二次废水中的有害物质会不会逐步积累影响酒精发酵? 如果影响的话,回用极限究竟为多少次?

3 回用极限的论证

为简化问题,只考虑对酒精酵母的抑制作用,可以假设将回用的废水中主要含如表 3 所示的几种成分。对于第一次酒精发酵的废水,主要含成分 A, B, C, D, E 和 F, 其中 B 和 C 为原料经过蒸煮等处理后最终酒精酵母仍不能利用,且对酒精酵母有抑制的废水成分,这些成分的数量与蒸煮等处理方法有关。

3.1 粗滤液直接回用模式的回用次数

对于粗滤液直接回用模式,影响回用次数的成分是 B, C, E 和 F。假设每次回用对酒精发酵结果毫无影响,当回用到一定次数时,对酒精酵母有害的物质才突然起作用。设开始时的各成分的浓度为 C_{i0} , 回用 N 次后的浓度为 C_{iN} , 则有:

$$C_{iN} = C_{i0}(1 + y_{sw} - q)^N$$

式中

q ——补加的新水量和废糟水量之比

$y_{s,w}$ ——配料水量和废槽水量之比

表 3 废水中的几种主要成分

成分	酵母的可利用性		对酒精酵母 的抑制作用	备 注
	酒精酵母	SCP 菌种		
A	—	—	—	某些无机、 有机物质
B	—	—	+	
C	—	+	+	某些无机、 有机物质
D	+	—	—	
E	—	—	+	酒精酵母 的代谢产物
F	—	+	+	
G	—	—	+	SCP 菌种 的代谢产物
H	+	—	—	

注：+ 表示有正作用(可利用、有抑制作用等)
— 表示无作用(不可利用、无抑制作用等)

据报道,用粗滤液直接回用法,可以做到全部回用,即相对与废槽水量的损失率为 26.4%。并发现回用 15 次,基本上不影响酒精发酵。并认为 15 次为回用极限,则有:

$$C_{iN} = C_{i0} (1 + 63.6\%)^{15}$$
$$C_{iN} = 1610 \times C_{i0}$$

即对酒精酵母有害的物质,允许增加 1610 倍。

3.2 SCP 二次废水回用模式的回用极限次数

对于 SCP 二次废水回用模式,影响回用次数的成分是 B,C,E,F 和 G,由于 SCP 菌种利用的是酒精酵母尚未利用的和其代谢产生的物质,本来浓度就很低,所以相对与其它成分来说,G 的量可以忽略不计。又由于 SCP 菌种和酒精酵母的代谢源不同,成分 C 和 E 绝大部分可以被 SCP 菌种利用。因此,开始时二次废水中的有害物浓度有所下降,而降低的程度与成分 B 与 C 等的比例有关,即与原料的处理方法有关。回用次数总是大于 15 次。假设有害物浓度为粗滤液的一半,达到同样的有害物质极限浓度所增加的倍数为 3220。若同样二次废水全部回用,即损失率为 16.4%时,回用的极限次数为:

$$N = \lg 3220 / \lg (1 + 63.6\%) = 16.4$$

考虑与粗滤液直接回用法同样的损失率,则需加新水量比为 10%,由此推得极限次数为:

$$N = \lg 3220 / \lg (1 + 63.6\% - 10\%) = 18.8$$

3.3 二次废水回用改良模式的回用极限次数

由于改变了工艺流程,开始时的有害物浓度就不一样。根据物料衡算可知,浓度增加值为原来的 21%,即允许有害物浓度增加 2661 倍。若废水全部回用,则回用极限次数为:

$$N = \lg 2661 / \lg (1 + 82.9\% - 2.9\%) = 13.4$$

考虑 16.4%的损失,即回用时还需加部分新水,则回用极限次数为:

$$N = \lg 2661 / \lg (1 + 80\% - 16.4\%) = 16$$

4 结 论

考虑酒精废水的回用模式,由推导可知,只要配料水全部用处理后的废水,那么回用极

限次数基本上与回用方法无关。问题集中在处理后废水量是否大于配料用水量,即废水是不是能真正做到全部回用。所以,就目前国内的情况来说,酒精蒸馏废糟水处理的最佳模式是“固液分离——SCP 培养二次废水回用法”或其改良法。但是,以上二种方法需要进一步到工厂实践验证,特别是后者尚需做大量工作。然而工艺路线的改变也许对提高蒸馏塔效率和酒精质量大有好处。

参 考 文 献

- 1 沈振寰. 酒精工业. 1991,(2):10
- 2 章克昌等. 无锡轻工业学院学报,1987,(1):18
- 3 无锡轻工业学院. 酒精废水生产单细胞蛋白技术研究报告(鉴定会材料). 1990

Re-use Models and Re-use Limitation of Using Alcohol Distiller's Waste Water

Chen Dezhaoh

(Dept. of Fermen. Eng)

Abstract The re-use models and the re-use limit of alcohol distiller's waste water were studied mathematically. It was found that the re-use way had scarcely effect on the re-use limit and only effect whether the waste water could be totally re-used or not. The result shows that the re-use of secondary waste water produced by SCP process was the better approach to treatment of alcohol distiller's waster water.

Key-words Secondary waste water; Re-use of waste water; Re-use limit