

酵母菌处理系统中氮缺乏引起的污泥膨胀控制

韩云, 杨清香, 杨敏, 张昱, 郑少奎(中国科学院生态环境研究中心环境水质学国家重点实验室, 北京 100085,)

摘要: 研究了酵母菌处理色拉油加工废水系统中投加氮源对处理效果的影响及对污泥膨胀的恢复作用。批量实验结果表明: ①添加氮源有助于提高去除效果, 碳氮比(COD/N)为 50/1 ~ 20/1 的条件下, 油去除率最高, 达 90% 以上; ②添加氮源能够改善污泥沉降性, COD/N 比为 50/1、20/1 时污泥沉降性明显优于 100/1、200/1 和不加氮的条件。连续试验中按 COD/N 为 20/1 添加氮源, 污泥体积指数(SVI)稳定在 100 ~ 200, 油和 COD 去除率分别达 95% 和 90% 以上。氮缺乏色拉油加工废水中添加氮源是控制污泥膨胀的有效方法之一。

关键词: 酵母菌; 色拉油加工废水; COD/N; 污泥膨胀

中图分类号: X792 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2003)04-05-0068

Bulking Controls Induced by Nitrogen Insufficiency in Yeast System

Han Yun, Yang Qingxiang, Yang Min, Zhang Yu, Zheng Shaokui(State Key Laboratory of Environmental Aquatic Chemistry, Research Center for Eco-Environmental Sciences, CAS, Beijing 100085, China)

Abstract: The effect of nitrogen addition to salad oil manufacturing wastewater system was studied. The results of batch experiments demonstrated: ①addition of nitrogen was helpful to improve oil removal, and the oil removal rate was above 90% when COD/N value was between 50/1 and 20/1; ②addition of nitrogen improved the sludge settleability, which was much better under COD/N value of 50/1 and 20/1. In the continuous experiment, the value of sludge volume index(SVI) was between 100 and 200, and the removal rates of oil and COD were above 95% and 90%, respectively when the COD/N ratio was kept at value of 20/1. Nitrogen addition to salad oil manufacturing wastewater system is an effective method for preventing or controlling sludge bulking.

Keywords: yeast; salad oil manufacturing wastewater; COD/N; sludge bulking

色拉油加工废水的主要有机污染物为油份, 其中 80% 以上为脂肪酸。碳氮比非常高是色拉油加工废水的另一显著特征。对于含油废水目前常采用的处理方法是酸化除油后再进行生物处理。该方法工艺复杂, 成本高, 而且油泥的后处理也是一个难题^[1]。本实验室在利用酵母菌对色拉油加工废水进行直接生物处理方面已经取得了一定成果: ①分离筛选出了 5 株酵母菌, 分别是: 深红酵母 (*Rhodotorula rubra*), 热带假丝酵母 (*Candida tropicalis*), 博伊丁假丝酵母 (*Candida boidinii ramirez*), 产朊假丝酵母 (*Candida utilis*), 皮状丝孢酵母 (*Trichosporon cutaneum*)^[2]; ②连续处理实验初期除油率达 95% 以上, COD 去除率达 90%^[3]。但系统长期运行会出现污泥膨胀现象, 经研究发现这与丝状菌大量繁殖和 *Trichosporon Cut-*

neum 真菌丝形成有关^[4]。处理过程中反应器中出现的大量真菌丝可以通过投加丙酸钠和次氯酸钠进行抑制, 但通过投加这些化学药剂抑制丝状菌生长的方法存在一定缺点。丙酸钠在污泥膨胀发生时可用来抑制丝状菌, 改善沉降性, 然而由于成本的原因, 在曝气池中一直添加丙酸钠的做法可能行不通^[5]。在活性污泥工艺中, 次氯酸钠是一种常用的污泥膨胀抑制剂, 但其在抑制丝状菌生长的同时, 有可能削弱其它正常生长微生物的活性, 甚至将其杀死, 导致处理效果恶化, 使用时应当慎重^[5]。从色拉油加工废水水质的角度考虑, 污泥膨胀还与碳氮营养严

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50078053)
作者简介: 韩云(1979~), 女, 在读硕士生。
收稿日期: 2002-07-30; 修订日期: 2002-10-28

重不足有关.如果能够通过投加氮源改善污泥沉降性,不仅可以控制污泥膨胀造成的恶性后果,而且有利于促进微生物生长及提高油去除率.向酵母菌处理色拉油加工废水系统中添加氮源,不存在费用增高的问题,因为系统排出的剩余酵母菌本身是一种单细胞蛋白^[2],它所创造的经济效益将远远大于运行及投加的氮源的费用.

针对酵母菌处理色拉油加工废水系统长期运行出现的污泥膨胀问题,本文系统研究了添加 N 营养源对处理效果和污泥沉降性的影响.

1 材料与方法

1.1 分析方法或仪器

COD:CTL-12 型化学需氧量速测仪(承德华通环保仪器厂);油:重量法^[6];NH₄⁺-N:水杨酸-次氯酸盐光度法^[6].

1.2 酵母污泥的培养

无菌条件下将筛选得到的酵母菌接入到 YPD 培养基中振荡培养(150 mL 培养基/500 mL 三角瓶),3d 后将菌液接至稀释 10 倍(相应 COD 浓度为 13 000 mg/L)的 30 L 废水中曝气培养,废水中预先加入 (NH₄)₂SO₄、KH₂PO₄ 和丙酸钠(质量浓度)分别为 0.4%、0.04%和 0.25%,随时检测培养池 pH 值变化(保持 pH 在 5 左右).每培养 23h 后静置 1h,倾去 1/3~1/2 的上清液,补充已调节好 pH 并已加入 N、P 的新鲜废水,逐步降低废水稀释倍数使培养池中废水 COD 浓度最终控制在 30 000 mg/L 左右.

1.3 投加 N 源批量试验

选取 5 种不同 COD/N 值,投加氮源,研究氮源投加对处理效果的影响.本实验投加氮源为 (NH₄)₂SO₄.投加量依次为:①不加氮;② COD/N 为 200/1;③ COD/N 为 100/1;④ COD/N 为 50/1;⑤ COD/N 为 20/1.试验在 4 个容积为 2L 的有机玻璃柱型容器中进行,容器置于 25℃ 恒温水浴中,设计污泥负荷(COD·MLSS)为 3.0 kg/(kg·d),反应共进行 24h.采用空气压缩机和曝气设备供氧,并使用转子气体流量计保持各容器中气量一致.测定项目为 MLSS、油去除率以及铵态氮吸收量.

1.4 污泥沉降曲线测定

投加氮源试验进行 24h 后,取不同 COD/N 条件下的处理混合液 100 mL 于 100 mL 量筒中,每 2~5 min 测定一次污泥体积指数(sludge volume index, SVI),绘制污泥沉降曲线.

1.5 连续小试污泥膨胀控制试验

试验共运行了 44d,从第 8 天污泥发生膨胀后开始氮源添加试验,污泥负荷(COD·MLSS)控制在 1.5~2.5 kg/(kg·d),溶解氧控制在 1.5~4 mg/L 之间.按照 20(COD)/1(N)向系统中投加氮源[(NH₄)₂SO₄].每天排出沉淀池中的剩余污泥.前 20 天,进水 COD 和油含量分别稳定于 9000 mg/L 和 2300 mg/L 左右,从第 20 天起进水浓度升高 1 倍左右,即分别为 14000 mg/L 和 4000 mg/L 左右.实验中主要的操作运行条件见表 1.测定项目:SVI、MLSS、COD 及油去除率.

2 结果与讨论

2.1 氮投加对酵母菌生长的影响

表 1 连续试验处理操作条件

Table 1 Operation conditions in the continuous experiment

时间	污泥(COD·MLSS) 负荷/kg·(kg·d) ⁻¹	污泥(油·MLSS) 负荷/kg·(kg·d) ⁻¹	进水流量 /L·d ⁻¹	MLSS /mg·L ⁻¹	进水 COD /mg·L ⁻¹	进水油 /mg·L ⁻¹
前 20 天	1.5~2.5	0.3~0.7	8~12	3000~6000	9000~11000	2200~3000
后 24 天	1.5~2.5	0.3~0.7	8~12	6000~9000	11000~14000	3500~4400

Sawyer^[7]等人提出生物废水处理中 BOD/N/P 的最佳比值为 100/5/1,这一结论主要适用于普通活性污泥处理系统,而对本研究所采

用的以酵母菌为主要微生物的生物处理系统,最适 BOD/N/P 比值的相关报道并不多,而且本实验主要是研究控制污泥膨胀的最佳氮源添

加量.因此选取 5 种不同 COD/N 值,研究氮投加量对去除效果和沉降性的影响.本实验室所用的色拉油加工废水 BOD₅ 和 COD_{Cr}之间的定量关系为 BOD₅/COD_{Cr} = 0.47^[8].

图 1 为悬浮固体浓度(MLSS)变化情况,可以看出投加不同比例氮源后,MLSS 增长均较快,生长 24h 后基本上都达到 4 000 mg/L.而不加氮源时,污泥量增长缓慢,24h 后仅由 800 mg/L 增加到 1 700 mg/L.水质分析结果表明,该废水中的 N 处于极端贫乏状态,BOD₅/TN 仅为 440/1,高于废水处理中氮的极端限制状态 297/1^[4],而在生物处理中,N 是合成微生物主要物质——蛋白质所必不可少的.不加 N 源的情况下,由于 N 严重缺乏,酵母菌不能充分增殖;添加 N 源可以促进其新陈代谢及生长.

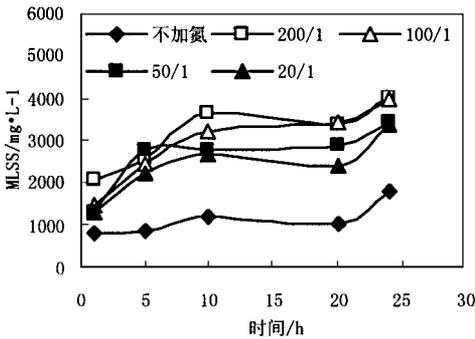


图 1 COD/N 对酵母菌生长的影响

Fig.1 Effects of COD/N on yeast proliferation

2.2 COD/N 对处理效果的影响

从表 2 中很容易看出,投加氮后油去除率较不加氮有了明显提高,并且随着氮投加量的增加,油去除率也相应提高.COD/N 为 100/1、50/1 和 20/1 的 3 种条件下,油去除率均达到 90%以上.

表 2 不同 COD/N 条件下的油去除率(24h)

Table 2 Removal rate of oil under various COD/N

COD/N	不加氮	200/1	100/1	50/1	20/1
油去除率/%	81.4	88.4	91.8	91.9	93.8

图 2 为 100/1、50/1 和 20/1 的 3 种不同 COD/N 条件下,油去除率随时间增加的变化情

况.从图 2 可以看出,这 3 种条件下,反应结束时油的去除率差别不大,但 10h 内油去除速率有着明显差别,氮投加量越大,油去除速率越高.

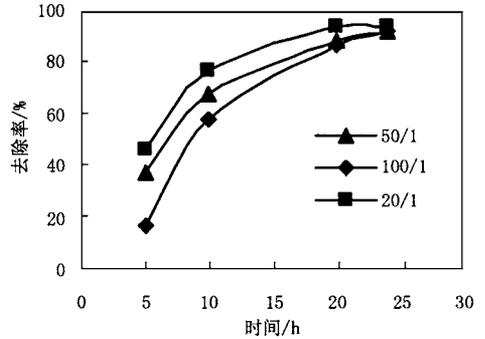


图 2 COD/N 对油去除率的影响

Fig.2 Effects of COD/N on removal rate of oil

2.3 氮吸收实验

N 是微生物新陈代谢必不可少的物质.微生物对 N 的利用与有机物的降解有关,进水有机物浓度越高,微生物对 N 的需求越大,如果进水中 N 含量不能满足微生物需要,则微生物对有机物的降解和对 N 的利用都会发生变化.因此氮吸收情况可以间接反映废水中有机物降解情况.本实验通过改变 COD/N,研究氮的吸收情况.酵母菌处理色拉油废水系统中氮的主要存在形式是 NH₄⁺-N,所以用 NH₄⁺-N 变化量表示氮的吸收情况,结果如图 3 所示.

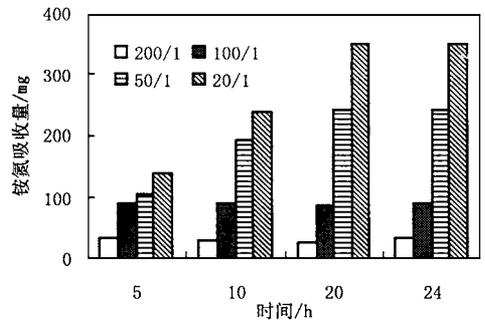


图 3 不同 COD/N 的氮吸收量

Fig.3 The amounts of absorbed ammonia under various COD/N

由图 3 可见,随着反应体系中氮源投加量的增加,酵母菌对 NH₄⁺-N 的吸收量也明显增

加.在不加 N 源的情况下,体系中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度很低, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的吸收几乎为 0(图 3 中未标明).在 COD/N 为 200/1、100/1 的 2 种条件下,5h 内 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 吸收量分别为 34 mg 和 90 mg,5h 以后 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 吸收没有增加.此时体系中剩余 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量分别只有 10 mg 和 20 mg,酵母菌不能继续利用如此少量的 N 源.当 COD/N 为 50/1 和 20/1 时, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 吸收在前 20h 持续增加,20h 后不再增加.可能是此时体系中 COD/N 以及其他营养物质进一步失调,从而引起酵母菌继续生长受阻.

以上结果表明, COD/N 为 50/1 ~ 20/1 之间时,酵母菌能够有效利用废水中的氮源,间接反映出该条件下,酵母菌活性比其它条件高,油去除率也较高.

2.4 COD/N 对污泥沉降性的影响

从图 4 的污泥沉降曲线可以看出添加氮源能够改善污泥沉降性,并且随着氮源添加量的增加,污泥沉降性提高. COD/N 为 50/1、20/1 的沉降曲线效果最好,且两者差别不大,不加氮源的沉降曲线效果最差.这可能是由于氮源缺乏时,微生物不能充分利用碳源合成细胞物质,过量的碳源被转化为一种高度亲水型化合物——多糖类胞外贮存物,该物质粘度很大,影响污泥沉降性^[9].实验结束时,测得不加氮 SVI 值为 336,污泥沉降性极差; COD/N 为 200/1、100/1 时, SVI 值在 100 左右,沉降性一般; COD/N 比 50/1、20/1 时 SVI 值小于 50,沉降性非常好.

2.5 连续小试污泥膨胀控制试验

酵母菌处理色拉油加工废水连续试验中,初期除油率达 95% 以上, COD 去除率达 90% 以上,但系统长期运行会出现污泥膨胀现象,因其具有严重影响系统出水水质,增加处理系统负荷乃至导致系统难以控制等恶性后果.本试验试图通过向连续运行系统中添加氮源来恢复膨胀的污泥.从批量试验得出: C/N 为 50/1 和 20/1 的条件下,污泥沉降性良好.但由于连续试验的复杂性,处理过程中受影响因素及不可控因素更多,试验过程中为了保证系统稳定性,按照 COD/N 为 20/1 添加氮源.

当连续处理氮缺乏色拉油加工废水 8d 后(此期间未加氮源),出现污泥膨胀现象,开始添加氮源.由图 5 可见,添加氮源 5d 后, SVI 从最高值 366 开始逐渐下降,经 9d 后下降到最低 106,之后 SVI 值又有所升高,但一直控制在 200 以下.本试验从污泥膨胀开始恢复到试验结束共进行了 31d,膨胀污泥的 SVI 值逐渐降低并长时间稳定在 100 ~ 200 之间,通过向系统中添加氮源,污泥膨胀得到了一定控制.

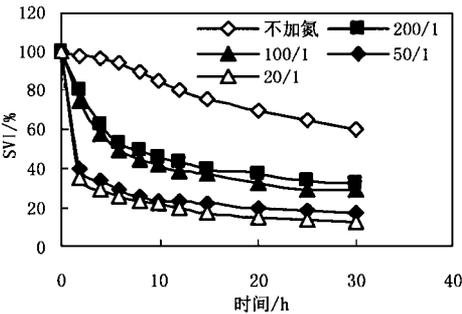


图 4 不同氮投加的污泥沉降曲线
Fig. 4 Variation of SVI in cultivation tank

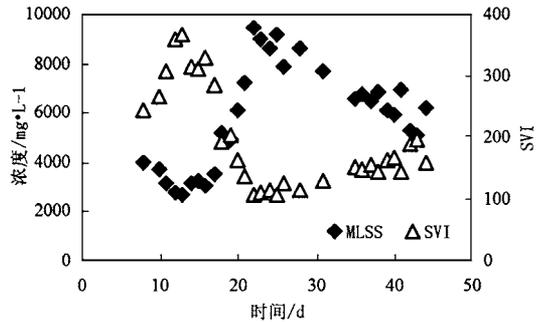


图 5 连续试验中 MLSS 和 SVI 变化
Fig. 5 Variation of MLSS and SVI in the continuous experiment

试验进行到第 19 天,因曝气池内污泥开始急剧增长,污泥负荷(COD·MLSS) 低于 1.5 kg/(kg·d),出水变浑浊,此时一部分酵母菌从系统中流失,但从 COD 和油的去除率来看(图 6),出水变浑浊对两者的去除影响并不大, COD 去除率基本维持在 90% 以上,油去除率达 95% 以上.出水变浑浊而去除率基本不变的原因可能

是流失的菌多为死菌,它们的流失不影响系统去除效果.

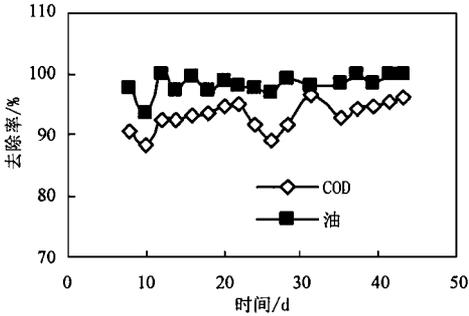


图 6 连续试验中 COD 及油去除率

Fig. 6 Removal rates of COD and oil in the continuous experiment

因此,连续实验出现污泥膨胀后按照 20/1 (COD/N) 投加氮源,污泥沉降性在一定程度上得到改善,污泥膨胀过程中 COD 和油的去除率始终保持较高水平.但是,氮源补充并不能彻底解决污泥沉降性差的问题,有关这一方面的研究还需要进行深入探讨.

3 结论

(1) 批量试验结果表明:按照 COD/N 为 50/1、20/1 添加氮源,污泥沉降性最好.同时油去除率及氮吸收较其它条件有所提高.

(2) 连续实验出现污泥膨胀后按照 20/1 (COD/N) 投加氮源,污泥沉降性得到一定程度的改善,SVI 值从最高点 366 下降并长期稳定

在 100~200;污泥膨胀过程中 COD 和油的去除率始终保持较高水平.

参考文献:

- 1 Enan W Low et al. Reducing production of excess biomass during waste water treatment. *Wat. Res.*, 1999, **33**(5): 1119~1132.
- 2 郑少奎,杨敏,杨清香等.自然选育酵母菌对不同废水处理及资源化研究. *上海环境科学*, 2001, **20**(11): 525~529.
- 3 Zheng SK, Yang M, Lv WZ et al. Study on sludge expansion during treatment of salad oil manufacturing wastewater by yeast. *Environmental Technology*, 2001, **22**(5): 533~542.
- 4 吕文洲,杨敏,郑少奎等.酵母菌处理系统中丝状菌性膨胀诱因及控制研究. *环境科学学报*, 2001, **21**(增刊): 59~64.
- 5 郑少奎.酵母菌处理技术在色拉油加工废水中的应用研究.中国科学院生态环境研究中心博士论文, 2001. 76~77.
- 6 国家环保局编委会.水和废水检测分析方法(第三版).北京:中国环境科学出版社, 1998.
- 7 佟玉衡主编.实用废水处理技术.北京:化学工业出版社, 1998. 165~166.
- 8 吕文洲.酵母菌处理高浓度色拉油加工废水的研究.西北农林科技大学硕士论文, 2001. 32.
- 9 王凯军,许晓鸣.丝状污泥膨胀理论分析. *中国给水排水*, 2001, **17**(3): 66~69.
- 10 杨清香,杨敏,郑少奎等.酵母菌对味精生产中离交尾液的处理初探. *环境科学*, 2001, **22**(6): 44~48.
- 11 高春娣,彭永臻,王淑莹等.氮缺乏引起的非丝状菌活性污泥膨胀. *环境科学*, 2001, **22**(6): 61~65.
- 12 郑少奎,杨敏,刘芳.利用酵母菌处理色拉油加工废水连续小试初探. *中国环境科学*, 2001, **21**(4): 374~380.