

• 研究论文 •

利用膜生物反应器处理农药废水的研究

楚小强, 方 华, 王秀国, 高春明, 庞国辉, 虞云龙*

(浙江大学 农业与生物技术学院 植物保护系, 杭州 310029)

摘 要: 采用一体式膜生物反应器工艺, 以农药生产废水为处理对象, 研究了 pH 值、营养和进水化学需氧量 (COD_{Cr}) 对膜生物反应器处理效果的影响。结果表明, 膜生物反应器对农药废水中的 COD_{Cr} 、农药、浊度和臭等有很好的去除效果, 其对污染物的去除率受 pH 及进水 COD_{Cr} 影响较大, 最佳 pH 为 8.0, 最佳进水 COD_{Cr} 为 1 500 mg/L。营养盐的添加对污染物去除率影响不大, 在低浓度时有一定的促进作用。在最佳操作条件下, 膜生物反应器对农药生产废水中的 COD_{Cr} 、农药总含量、乙草胺、异丙甲草胺、草胺、丙草胺和浊度的去除率分别为 81.9%、94.9%、94.0%、88.6%、99.7%、97.3% 和 100%。

关键词: 膜生物反应器; 农药废水; 酰胺类除草剂

中图分类号: X703.1

文献标志码: A

文章编号: 1008-7303(2008)04-0469-08

Pesticide Wastewater Treatment by a Membrane Bioreactor

CHU Xiao-qiang FANG Hua WANG Xiu-guo GAO Chun-ming

PANG Guo-hui YU Yun-long*

(Department of Plant Protection, College of Agriculture and Biotechnology, Zhejiang University, Hangzhou 310029)

Abstract The pesticide wastewater was treated using the membrane bioreactor (MBR). Experiments were carried out to investigate the effect of pH value, nutrition and influent COD_{Cr} on the performance of MBR. MBR showed high removal efficiency for the removal of COD_{Cr} , pesticide, turbidity and odor in the pesticide wastewater. The pollutant removal efficiency of MBR was significantly affected by pH and influent COD_{Cr} , the optimal conditions were under pH 8.0 and 1 500 mg/L of influent COD_{Cr} . The addition of nutrient salts showed slight effects on the removal efficiency of MBR, slightly stimulating effect was observed under low nutrient concentration. About 81.9%, 94.9%, 94.0%, 88.6%, 99.7%, 97.3% and 100% of COD_{Cr} , total pesticide, acetochlor, metolachlor, butachlor and pretilachlor and turbidity in practical pesticide wastewater were removed through the membrane bioreactor under the optimal operation conditions, respectively.

Key words Membrane Bio-Reactor (MBR); pesticide wastewater; chloroacetanilide

膜生物反应器 (Membrane Bio-Reactor, MBR) 是膜分离技术与生物处理技术有机结合而产生的一种高效污水处理新工艺, 由于其具有出水水质

好、结构紧凑、剩余污泥少等优点而日益受到人们重视^[1~4]。目前膜生物反应器主要用于工业废水、生活污水的处理及中水回用等方面, 对农药生产

收稿日期: 2008-04-25; 修回日期: 2008-08-20.

作者简介: 楚小强 (1982-), 男, 河南洛阳人, 博士研究生, E-mail: csc200000@163.com; * 通讯作者 (Author for correspondence): 虞云龙 (1964-), 浙江义乌人, 教授, 博士生导师, 主要从事农药环境毒理、生物修复及农药废水处理等方面的研究. 联系电话: 0571-86971433

E-mail: ylyu@zju.edu.cn

基金项目: 浙江省科技厅项目 (2005G23054); 浙江省自然科学基金 (Z306260) 资助.

废水处理的研究较少^[5-7]。农药生产废水成分复杂、毒性高,对微生物有很强的毒害作用,是非常难处理的工业废水,同时农药生产废水中不可避免地含有大量的农药。通常对农药废水处理效果的考察仅限于化学需氧量(COD)、生化需氧量(BOD)、悬浮物等常规检测指标,很少考虑到对其中所含农药的去除效果^[8]。笔者采用自行分离的酰胺类除草剂(丁草胺、乙草胺、丙草胺、异丙甲草胺等)的降解菌施氏假单胞菌 *Pseudomonas stutzeri* BD-1菌株为优势菌构建膜生物反应器,以COD和农药去除率为主要指标,考察了其对相应农药生产废水的处理效果,以探索该膜生物反应器实际应用的可行性。

1 材料与方法

1.1 仪器设备与试验装置

1.1.1 主要仪器、试剂及标准品 COD快速测定仪(兰州连华环保科技有限公司);SP-752型紫外可见分光光度计(上海光谱仪器有限公司);Agilent6890气相色谱仪,带7683自动进样器(Agilent);固相萃取仪及Supelclean TM LC-18 SPE小柱,500 mg/3 mL(Supelco);DELTA 320 pH计(Mettler-Toledo)。乙草胺(acetochlor),纯度 $\geq 95\%$,丙草胺(pretilachlor),纯度 $\geq 97.9\%$,丁草胺(butachlor),纯度 $\geq 94\%$ (农业部农药检定所);异丙甲草胺(metolachlor),纯度 $\geq 97.0\%$ (Dr Ehrenstorfer GmbH)。

1.1.2 试验装置 如图1所示。

膜生物反应器由有机玻璃制成,总有效容积为70 L。膜组件为杭州浙大凯华膜技术有限公司的聚丙烯(PP)中空纤维微滤膜,孔径 $0.1\sim 0.2\mu\text{m}$,有效面积为 0.8 m^2 ,设计纯水通量为 $100\sim 120\text{ L}/(\text{h}\cdot\text{m}^2\cdot 0.15\text{ MPa}\cdot 25^\circ\text{C})$ 。反应器底部以穿孔管鼓风曝气,采用抽吸15 min停抽5 min的方式运行,以减少对膜组件的污染。

1.2 反应器运行

1.2.1 反应器启动及活性污泥驯化 活性污泥的培养与驯化采用逐步加量法,接种菌为笔者自行分离的降解菌 *P. stutzeri* BD-1。在反应器启动初期需加入用自来水稀释后的废水(自来水:废水=5:1,体积比),以后逐步提高废水比例直到二者为1:1(相当于进水 COD_{Cr} 为 1500 mg/L 左右)。

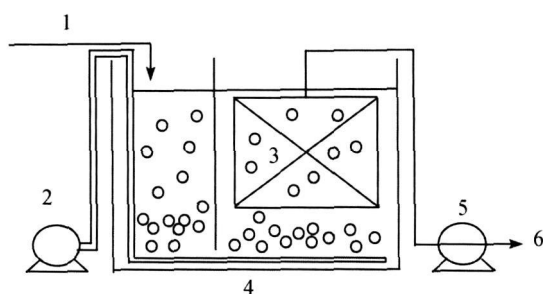


图1 膜生物反应器及试验工艺流程

Fig 1 MBR and technological process of experiment

1. 进水 Influent 2. 曝气泵 Aeration pump 3. 膜组件 Membrane module 4. 生物反应器 Bioreactor 5. 自吸泵 Suction pump 6. 出水 Effluent

1.2.2 膜生物反应器对污染物的去除效果及影响因素 由于农药废水中含有大量有毒及难降解的有机物,笔者选择水力停留时间(HRT)为24 h,在整个运行期间除取样分析外不排泥。经过一个月的运行,当膜生物反应器活性污泥质量浓度达到 3.5 g/L 左右,出水稳定之后,分别考察pH为6、7、8和9的情况下对污染物去除效果的影响,以确定反应器运行的最佳pH值。

由于农药废水毒性高、营养缺乏,笔者向反应器内添加了一定量的自配营养液^[9],其组成为: $\text{MgSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0.20 g/L ; $\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0.01 g/L ; K_2HPO_4 , 0.10 g/L ; $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 0.10 g/L ; CaSO_4 , 0.04 g/L 。考察了在最佳pH和自配营养液添加比例分别为废水:营养液=9:0.9:1、9:2.9:4(体积比)时,膜生物反应器对污染物的去除效果。

此外还考察了不同进水 COD_{Cr} (750、1500、2250和3000 mg/L,即自来水与废水的体积比分别为3:1、1:1、1:3和全部为废水)对污染物去除效果的影响。

1.3 分析方法

1.3.1 常规分析项目及分析方法 常规项目包括进出水的COD、进出水浊度、臭等,均采用标准方法进行分析^[10](表1)。

1.3.2 废水中农药残留分析(SPE-GC- μ -ECD)

样品提取及净化:LC-18小柱依次用5 mL甲醇和5 mL去离子水淋洗。取100 mL水样于烧杯中,与固相萃取仪相连,调整真空度,使水样以 10 mL/min 的速率通过LC-18小柱。待样品全部

表 1 分析项目和分析方法
Table 1 Analytical items and methods

分析项目 Analytical parameter	分析方法 Analytical method	国家标准号 GB number
化学需氧量 COD	重铬酸钾法 Dichromate method	GB 11914- 89
pH 值 pH value	玻璃电极法 Glass electrode method	GB/T 6920- 86
悬浮物 Suspended substance	重量法 Gravimetric method	GB 11901- 89
浊度 Turbidity	分光光度法 Spectrophotometric method	GB 13200- 91
臭 Odour	嗅气味法 Smell method	GB/T 5750. 4- 2006

过柱后,先后用 5 mL 去离子水和 5 mL 乙酸乙酯淋洗小柱,经无水硫酸钠脱水后收集于刻度试管中,用乙酸乙酯定容至 10 mL,待气相色谱检测。

载气 (N₂) 流速 1 mL/min,不分流进样,吹扫时间 0.75 min,进样量: 2 μL。

1.4 废水水质

色谱条件: HP-5 毛细管柱, 30 m × 0.32 mm × 0.25 μm; μ-ECD 检测器。进样口温度 250℃,检测器温度 300℃;程序升温: 初始温度 80℃,保持 0 min, 15℃/min 升至 200℃,保持 10 min。

农药废水取自某农药厂,主要农药成分包括乙草胺、异丙甲草胺、丙草胺和丁草胺等 4 种酰胺类除草剂。废水各项指标见表 2。

表 2 试验所用废水水质
Table 2 Quality of raw water

化学需氧量 COD _{Cr} /(mg/L)	乙草胺 acetochlor /(mg/L)	异丙甲草胺 metolachlor /(mg/L)	丁草胺 butachlor /(mg/L)	丙草胺 pretilachlor /(mg/L)	浊度 Turbidity /(NTU)	pH	臭 Odour
3 033.3	16.9	1.2	4.3	0.8	62.1	8.0	5

2 结果及分析

2.1 农药的添加回收率

向 100 mL 自来水中添加乙草胺等 4 种待测农药的混合标样使其浓度分别为 0.1、1.0 和

10.0 mg/L,每个浓度设 3 次重复,同时做空白对照试验。4 种农药在水中的添加回收率在 81.8% ~ 105.9% 之间,相对标准偏差 (RSD) ≤ 6.6% (表 3),符合农药残留分析要求^[11]。

表 3 乙草胺、异丙甲草胺、丁草胺和丙草胺在水中的平均添加回收率、标准偏差及相对标准偏差

Table 3 The recovery, standard deviation and RSD of acetochlor, metolachlor, butachlor and pretilachlor in the water

农药 Pesticides	添加水平 Fortified level/(mg/L)	回收率 Recovery (% , mean ± SD) *	相对标准偏差 RSD (n = 3)
乙草胺 acetochlor	0.1	102.1 ± 1.4	1.4
	1.0	85.6 ± 1.4	2.0
	10.0	93.0 ± 5.4	6.6
异丙甲草胺 metolachlor	0.1	105.9 ± 0.9	1.3
	1.0	81.8 ± 1.8	1.4
	10.0	88.6 ± 1.2	4.4
丁草胺 butachlor	0.1	99.8 ± 1.7	5.4
	1.0	88.9 ± 1.4	2.4
	10.0	84.6 ± 6.2	6.5
丙草胺 pretilachlor	0.1	98.3 ± 3.9	0.9
	1.0	82.9 ± 5.5	1.7
	10.0	90.5 ± 3.7	4.1

* 平均值 ± 标准偏差; * Mean ± standard deviation of three replications
© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2.2 pH值对污染物去除效果的影响

当 pH 由 6.0 升到 8.0 时,反应器出水 COD_{Cr} 由 408.9 mg/L 降低到 319.4 mg/L, COD_{Cr} 去除率由 72.7% 升高到 78.7%; 当 pH 值由 8.0 升到 9.0 时, COD_{Cr} 去除率则有所下降, 由 78.7% 降低到 77.7% (图 2)。

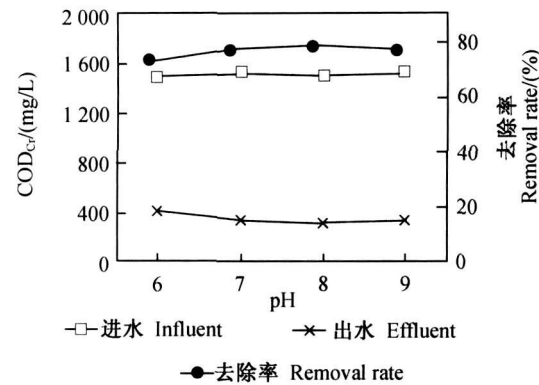


图 2 pH 对废水中 COD_{Cr} 去除效果的影响
Fig 2 The influence of pH on the removal efficiency of COD_{Cr}

pH 值对农药去除效果的影响与对 COD_{Cr} 的有所不同, pH 由 6.0 升到 7.0 时, 4 种农药的平均去除率由 94.2% 升高到 94.8%, 当 pH 由 7.0 升到 9.0 后, 农药的去除率则下降到 92.7%, 低于 6.0 时的 94.2%。单个农药去除效果的变化与总的变

化趋势基本一致, 丁草胺和丙草胺的去除率非常稳定, 均在 97.0% 以上, 乙草胺的稍低, 在 92.0% 以上, 异丙甲草胺的最低, 但也在 88.0% 以上 (图 3)。图 4 和图 5 分别是膜生物反应器进水和出水的色谱图, 可以看出, 该膜生物反应器不仅对乙草胺等 4 种农药有很好的去除效果, 同时对其他污染指标也显示了较好的去除效果。

pH 值是影响反应器对污染物去除效果的重要因素, 它能影响反应器内微生物的生长及酶的活性, pH 的改变会影响微生物种群的相对数量从而影响到反应器对污染物的去除效果, 同时也能影响到污染物的生物有效性^[12-13]。在本试验中, 弱碱性条件 (pH 8.0) 有利于 COD_{Cr} 的去除, 虽然该 pH 值下农药的去除率有所降低, 但是其降低值相对于 COD_{Cr} 的去除量来说是很小的, 因此将 8.0 作为膜生物反应器运行的最佳 pH 值进行下一步研究。

2.3 营养液添加浓度对污染物去除效果的影响

营养液的添加对 COD_{Cr} 的去除有一定的影响, 在 9:1 的添加比例时, 反应器出水 COD_{Cr} 由未添加时的 307.8 mg/L 降低到 271.8 mg/L, COD_{Cr} 去除率由 79.5% 升高到 81.9%。但随着营养液添加比例的提高, 反应器对 COD_{Cr} 的去除效果有所降低, 当添加比例为 9:4 时, 系统对 COD_{Cr} 的去除率为 74.1% (图 6)。

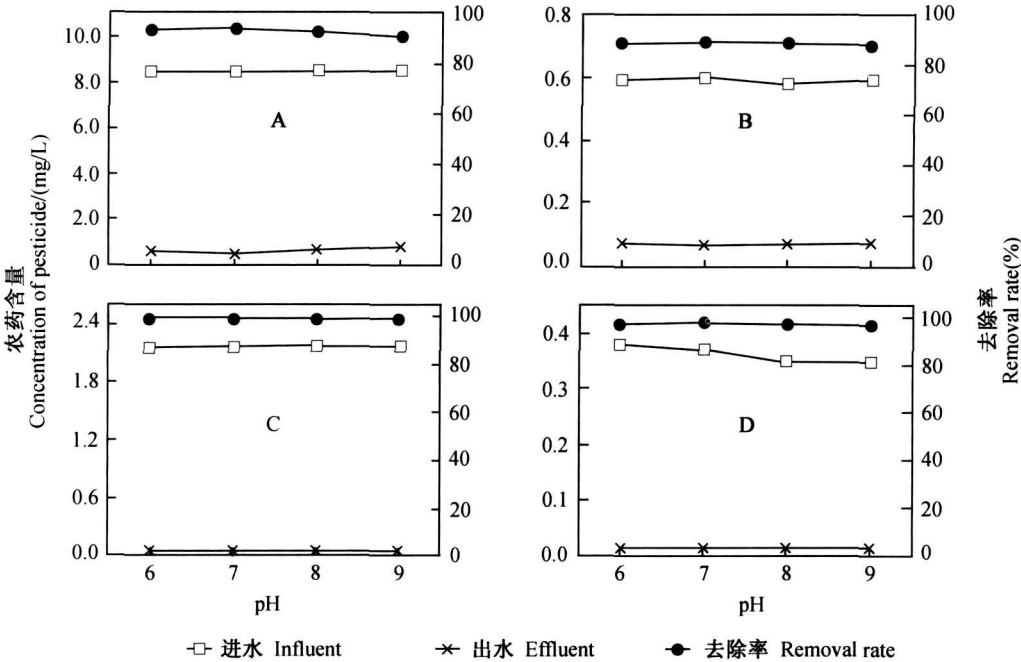


图 3 pH 对废水中乙草胺 (A)、异丙甲草胺 (B)、丁草胺 (C) 和丙草胺 (D) 去除效果的影响
Fig 3 The influence of pH on the removal efficiency of acetochlor (A), metolachlor (B), butachlor (C), and pretilachlor (D)

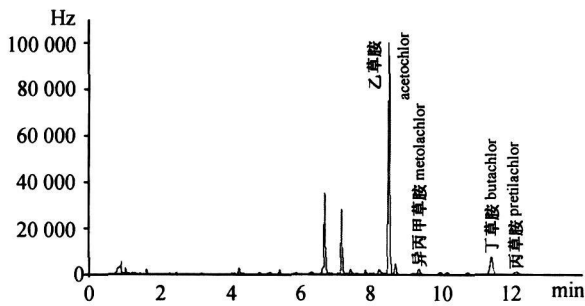


图 4 膜生物反应器进水色谱图

Fig. 4 The influent chromatogram of MBR

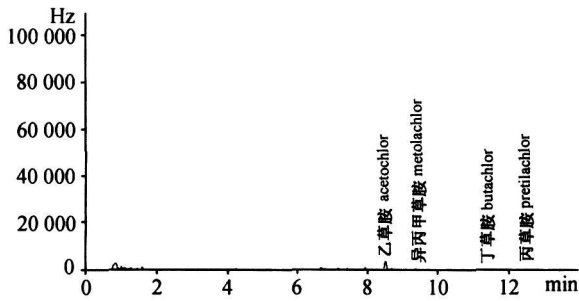


图 5 膜生物反应器出水色谱图

Fig. 5 The effluent chromatogram of MBR

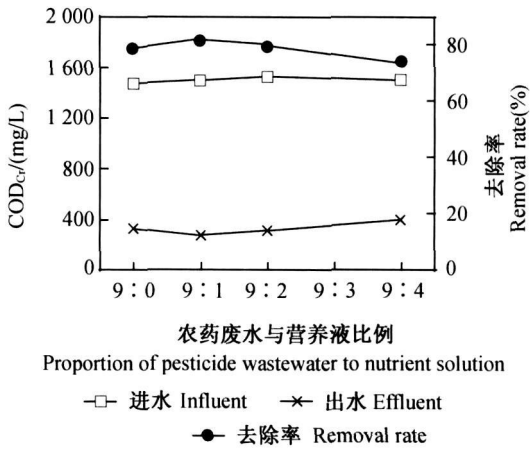


图 6 营养液添加浓度对废水中 COD_{Cr} 去除效果的影响

Fig. 6 The influence of nutrient concentration on the removal efficiency of COD_{Cr}

不同营养液添加浓度对 4 种农药去除效果的影响与对 COD_C 的类似,但不是太明显(图 7)。在 9:1 的添加比例时,农药的平均去除率接近 95.0%,稍高于未添加时的 94.1%。随着营养液添加比例的升高去除效果有所降低,在添加比例为 9:4 时,去除率为 93.7%。营养液对单个农药去除效果的影响与总的趋势大体一致。

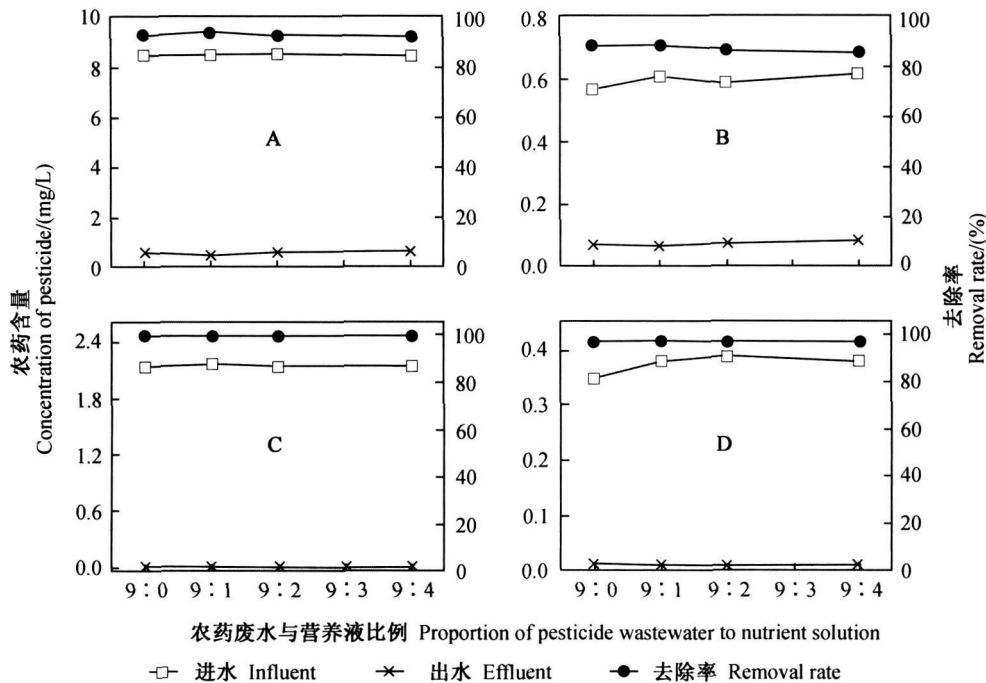


图 7 营养液添加浓度对废水中乙草胺(A)、异丙甲草胺(B)、丁草胺(C)和丙草胺(D)去除效果的影响

Fig. 7 The influence of nutrient on the removal efficiency of acetochlor (A), metolachlor (B), butachlor (C) and pretilachlor (D)

在污水生物处理中,通过添加合适的营养物质可提高活性污泥系统的处理效果,但为了避免使处理水体承受附加的富营养负荷,其投量应以绝对需要量为限^[14-15]。在本试验中,营养液的添加对污染物的去除效果有一定的影响,以 9:1 的比例添加时可促进废水中污染物的降解,这与 Freedman^[16]以及 Jefferson^[17]等的研究一致,他们发现营养物质的添加提高了活性污泥系统对 COD_{Cr} 的去除率。但当营养液添加浓度提高之后,对污染物的去除反而有所抑制,这可能是由于盐浓度过高抑制了微生物的活性从而降低了系统的去除能力。同时过量无机盐的添加也有一定的副作用,如产生大量泡沫,增加出水的电导率、出水无机盐含量以及成本等^[1]。

虽然在本试验中营养液的添加对污染物去除效果影响不大,仅在低浓度时有一定的促进作用,但为了保持反应器中微生物的最大活性及膜生物反应器的高效稳定运行,仍选择 9:1 的营养液添加比例进行下一步试验。

2.4 进水 COD_{Cr} 对污染物去除效果的影响

当反应器进水 COD_{Cr} 由 750 mg/L 左右提高到 1 500 mg/L 时,出水 COD_{Cr} 由 246.9 mg/L 升高到 282.8 mg/L, COD_{Cr} 去除率由 67.4% 升高到 81.4% (图 8)。进水 COD_{Cr} 进一步提高,虽然出水

COD_{Cr} 也有所增加,但 COD_{Cr} 去除率一直维持在 81.0% 左右。

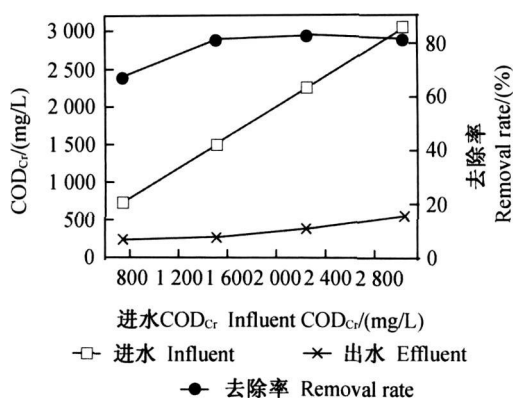


图 8 进水 COD_{Cr} 对废水中 COD_{Cr} 去除效果的影响

Fig 8 The influence of influent COD_{Cr} on the removal efficiency of COD_{Cr}

进水 COD_{Cr} 的变化对农药平均去除率的影响与对 COD_{Cr} 的类似。在进水 COD_{Cr} 较低的情况下,去除率有所降低,但仍在 90.0% 以上,随着 COD_{Cr} 的提高,农药的平均去除率有所提高。对于单个农药来说,受影响比较大的是乙草胺和异丙甲草胺,在进水 COD_{Cr} 较低时其去除率分别为 89.9% 和 75.7%,随着 COD_{Cr} 的提高,去除率很快恢复到正常水平并略有提高;而丁草胺和丙草胺则基本上不受进水 COD_{Cr} 的影响,仍保持较高的去除率 (图 9)。

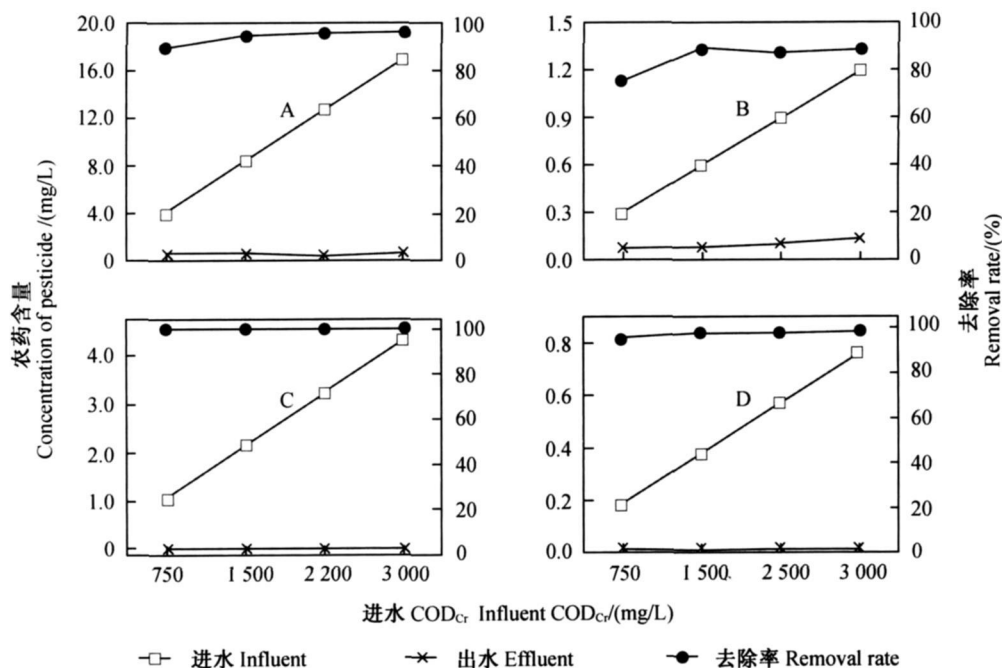


图 9 进水 COD_{Cr} 对废水中乙草胺 (A)、异丙甲草胺 (B)、丁草胺 (C) 和丙草胺 (D) 去除效果的影响

Fig 9 The influence of influent COD_{Cr} on the removal efficiency of ace to chlor (A), meto lach lor (B), butach lor (C) and pretilach lor (D)

在进水 COD_{Cr} 较低时,虽然出水 COD_{Cr} 和农药含量均有所降低,但是系统对污染物的去除率却也有所降低,可能是由于水中微生物所需营养成分减少,导致反应器中微生物大量死亡,影响了系统的去除效果;同时死亡微生物所产生的可溶性有机物未能完全降解,贡献了一部分出水 COD_{Cr} ^[18]。随着进水 COD_{Cr} 的提高,虽然出水 COD_{Cr} 和农药含量略有提高,但系统对 COD_{Cr} 的去除率仍稳定在 81.0% 左右,农药的平均去除率则稳定在 95.0% 左右,当 COD_{Cr} 的冲击消除即系统进水 COD_{Cr} 恢复正常后,系统迅速恢复稳定运行,说明该系统有很好的抗冲击能力。

2.5 膜生物反应器对浊度和臭的去除效果

从图 10 中可以看出,不论反应器进水浊度如何变化,系统对浊度的去除率总是高达 100%。这是由于中空纤维微滤膜的孔径很小(0.1~0.2 μm),从而保证了膜组件对微生物和悬浮物的高效截留作用^[19]。另外,反应器进水有强烈的臭味,臭强度等级为 5,而出水则无任何气味,表明膜生物反应器对臭也有很好的去除效果。

当膜生物反应器用于生活污水处理时,其对 COD_{Cr} 的去除率高达 95%~99%;当其用于工业废水处理时也有很好的去除效果,但由于工业废水水质千差万别,波动性大,成分复杂,因而处理效果差别较大^[3,6,20~22]。在本试验中,反应器对 COD_{Cr} 的去除率在 81.0% 左右,可能是由于水力停留时间过短所致,同时也可能是由于所测农药生产废水中有一部分污染物比较难以去除^[19]。

3 结论

研究了所构建膜生物反应器对农药生产废水中 COD_{Cr} 、农药、浊度等的去除效果,同时研究了 pH 值、营养物质和进水 COD_{Cr} 对系统处理效果的影响。结果表明:

(1)膜生物反应器对污染物的去除效果受 pH 及进水 COD_{Cr} 影响较大,而营养液的添加对污染物的去除影响不大,仅在低浓度时有一定的促进作用。在进水 COD_{Cr} 为 1 500 mg/L 的情况下, HRT 为 24 h,在最佳 pH 值(8.0)和废水与营养液添加比例为 9:1 的情况下,膜生物反应器对废水中 COD_{Cr} 的去除率在 81.0% 左右,对废水中农药的平均去除率在 95.0% 以上,其中对丁草胺的去除率最高,在 99.0% 以上。

(2)当进水 COD_{Cr} 低于正常进水的情况下,反应器虽然有较好的出水水质,但是对污染物的去除率有所降低;而当系统进水 COD_{Cr} 达到 3 000 mg/L 时,反应器对污染物仍然有很高的去除效果,表明系统有一定的抗冲击能力。

(3)该膜生物反应器对浊度的去除效率高达 100%,表明了膜组件对微生物和悬浮物的高效截留作用。

参考文献:

[1] BR K M, SCHOEBERL P, CHAMAM B, et al. Advanced Treatment of Textile Wastewater towards Reuse Using a Membrane Bioreactor [J]. Process Biochem, 2006, 41 (8): 1751-1757

[2] MARROT B, BARRIOS MARTINEZ A, MOULIN P, et al. Industrial Wastewater Treatment in a Membrane Bioreactor [J]. Environ Prog, 2004, 23 (1): 59-68.

[3] NG A N L, K M A S A M in-review of Modeling Studies on Membrane Bioreactor (MBR) Treatment for Municipal Wastewaters [J]. Desalination, 2007, 212 (1-3): 261-281

[4] VISVANATHAN C, AM R B, PARAMESHWARAN K. Membrane Separation Bioreactors for Wastewater Treatment [J]. Crit Rev Env Sci Tec, 2000, 30 (1): 1-48.

[5] SUN Tie-heng (孙铁珩), JIANG Kan (蒋侃), SUN Lin-a (孙丽娜), et al 污水处理和回用技术的应用:中水回用在沈阳的发展前景和存在的问题 [J]. Chin J Appl Ecol (应用生态学报), 2006, 17 (12): 2441-2444

[6] CICEK N. A Review of Membrane Bioreactors and their Potential Application in the Treatment of Agricultural Wastewater [J]. Can Biosyst Eng, 2003, 45 (6): 37-49.

[7] GONZALEZ S, MULLER J, PETROVIC M, et al Biodegradation Studies of Selected Priority Acidic Pesticides and Dichfenac in Different Bioreactors [J]. Environ Pollut, 2006, 144 (3): 926-932

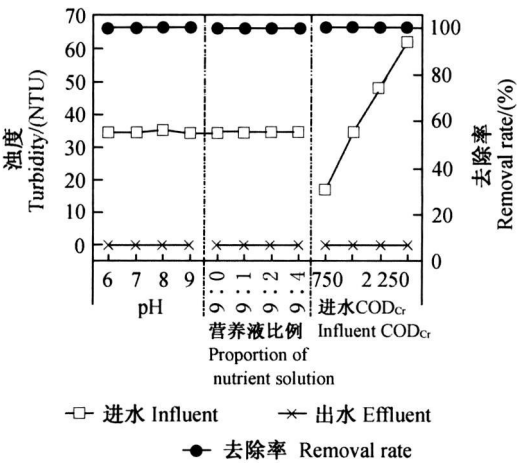


图 10 膜生物反应器对废水中浊度的去除效果
Fig 10 The turbidity removal efficiency of MBR

- [8] CHEN Ming (陈明), CHEN Shao-hua (陈少华), XU Yi-ping (许宜平), et al 厌氧滤池-膜生物反应器处理垃圾渗滤液不同工艺段中有机氯农药残留的分析 [J]. Environ Chem (环境化学), 2004, 23(4): 451-454
- [9] BURGESS JE, QUARM BY J STEPHENSON T. M icronutrient Supplements for Optimisation of the Treatment of Industrial W astewater Using A ctivated Sludge [J]. Water Res, 1999, 33 (18): 3707-3714
- [10] State Environm ent Protection Adm inistration of China (国家环保局). M ethods of Inspecting W ater and W astewater (水和废水监测分析方法) [M]. Beijing (北京): China Environmental Science Press (中国环境科学出版社), 2002
- [11] FAN De-fang (樊德方). The Analysis And Determination of Pesticide Residues(农药残留分析与检测) [M]. Shanghai(上海): Shanghai Science Press(上海科学出版社), 1982
- [12] BURGESS J E, QUARM BY J STEPHENSON T. Role of M icronutrients in A ctivated Sludge-based B iotreatment of Industrial Effluents [J]. Biotechnol Adv, 1999, 17(1): 49-70.
- [13] CETIN FD, S r c G. Effects of Temperature and pH on the Physical Properties of A ctivated Sludge Flocs [J]. Int J Environ Stud, 1989, 34(3): 189-199
- [14] DIEZ M C, CASTILLO G, AGUILAR L, et al Operational Factors and Nutrient Effects on A ctivated Sludge Treatment of Pinus Radiata Kraft M ill W astewater [J]. Bioresource Technol, 2002, 83(2): 131-138.
- [15] JENKINS D. Toward a Comprehensive Model of A ctivated Sludge Bulking and Foaming [J]. Water Sci Technol, 1992, 26 (5): 215-230
- [16] BREEDMAN D L, PAYAUYSA M, KARANFIL T. The Effect of Nutrient Deficiency on Removal of Organic Solvents from Textile M anufacturing W astewater During A ctivated Sludge Treatment [J]. Environ Technol, 2005, 26(2): 179-188.
- [17] JEFFERSON B, BURGESS J E, PICHON A, et al Nutrient Addition to Enhance Biological Treatment of Greywater [J]. Water Res, 2001, 35(11): 2702-2710
- [18] LEE H S, YOON T J, KIM C G. Comment on “Comparison of the Filtration Characteristics between Attached and Suspended M icroorganisms in Submerged Membrane Bioreactor” [J]. Water Res, 2002, 36(19): 4938-4939
- [19] BENITEZ J, RODRIGUEZ A, MALAVER R. Stabilization and Dewatering of W astewater Using Hollow Fiber Membranes [J]. Water Res, 1995, 29(10): 2281-2286
- [20] SHEN Yao-liang (沈耀良), WANG Bao-zhen (王宝贞). New Technologies For Biological W astewater Treatment—Theory and Application (废水生物处理新技术——理论与应用) [M]. Beijing(北京): China Environmental Science Press (中国环境科学出版社), 2006.
- [21] HUANG Xia (黄霞), CAO Bin (曹斌), WEN Xiang-hua (文湘华), et al 膜-生物反应器在我国的研究与应用新进展 [J]. Acta Sci Circumstant (环境科学学报), 2008, 28(3): 416-432
- [22] MOHAMMED T A, BIRMA A H, NOOR M J M M, et al Evaluation of Using Membrane Bioreactor for Treating Municipal W astewater at Different Operating Conditions [J]. Desalination, 2008, 221(1-3): 502-510.

(Ed TANG J)

印楝素 (Azadirachtin)的全合成获得成功!

印楝素 (Azadirachtin) 是 1968 年从印楝 *Azadirachta indica* 中分离得到的对 200 多种昆虫具有很好拒食活性和生长破坏作用的化合物, 对高等动物无毒。由于其结构独特而又复杂, 引起了世界许多合成化学家和农药化学家的兴趣。其中, 自印楝素的分离得到直至其化学结构的确定, 历时 18 年。自 1986 以后, 许多研究组致力于印楝素的全合成工作, 但均未有明显进展。令人振奋的是, 在最新一期出版的欧洲化学杂志 (Chemistry—A European Journal, 2008, 14, 10683-10704) 上, 以 VIP 论文报道了由英国剑桥大学化学系 Steven V. Ley 教授领导的 46 位科学家历经 22 年共同完成的印楝素全合成工作。印楝素全合成的成功对于有机化学家和农药化学家而言都是一件值得庆贺的大事, 开创了天然产物化学、有机合成化学和植物源农药研究的又一个里程碑。诚如作者所言, 他们愿与读者分享 22 年来取得的成功, 更愿意分享他们所遇到的困难、挫折和克服困难的智慧与勇气。

(王明安 供稿)