

陶瓷载体上。用该反应器处理啤酒废水或生活污水时,能否在较短的时间内自动形成生物活性较好的复合微生物菌群的生物膜,是该反应器能否扩大其应用领域的重要标志。

本实验采用 IAL-CHS 反应器,加入少量活性污泥,在蜂窝陶瓷表面形成活性较好的生物膜处理啤酒废水。啤酒废水主要含有糖类、醇类等有机物,有机物浓度高,虽无毒,但易腐败,排入自然水体要消耗大量的溶解氧,对水体环境造成严重危害。啤酒废水的可生化性好,常用的生物处理方法之一是好氧生物处理。国内外常用的好氧生物处理方法有生物滤池法,普通活性污泥法,接触氧化法等^[7]。其中接触氧化法是比较常见的一种方法。但是,目前国内外在接触氧化法中所采用的填料用得较多的是塑料填料,其在废水处理过程中挂膜时间相对较长^[8]。因此选用新型的生物膜填料,是生物膜法处理废水的发展方向之一。

1 材料与方法

1.1 生物反应器系统

实验所用的 IAL-CHS 反应器系统及废水处理工艺流程如图 1 所示。反应器有效体积约 16 L。反应器内部的蜂窝陶瓷的内表面含有许多微孔,密度约为 1.5 g/cm^3 是一种轻质陶瓷载体。

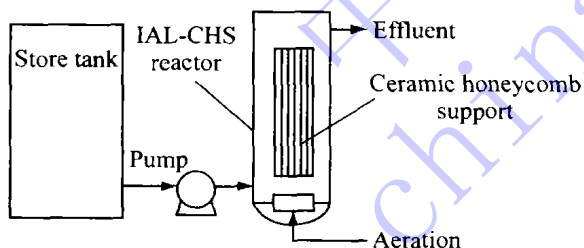


图 1 IAL-CHS 反应器系统

Fig. 1 System of IAL-CHS reactor

1.2 啤酒废水

用市售的啤酒加自来水配制模拟啤酒废水,根据一般啤酒废水的情况,其 COD 控制在 $400 \sim 1\,200 \text{ mg/L}$ 范围。

1.3 污泥接种

实验时加入模拟啤酒废水约 16 L 于反应器内,再接种入 1 L 左右取自啤酒废水处理的曝气池内的活性污泥后曝气。

1.4 批式间歇实验

用模拟的啤酒废水加入活性污泥后曝气 3 d,再开始进行批式间歇处理啤酒废水的实验,实验过程

中,曝气量为 $0.5 \text{ m}^3/\text{h}$ 。每隔 1 h 取样分析废水的 COD 变化情况。待每批废水的 COD 降低到小于 100 mg/L 以下,排放掉反应器内的水,重新加入一批模拟啤酒废水。

1.5 连续流实验

在半连续实验的基础上,进行连续处理啤酒废水的实验。连续进水流量为 2.3 L/h ,其水力停留时间约为 7 h。曝气量仍为 $0.5 \text{ m}^3/\text{h}$ 。每隔 8 h 取样一次,分析 COD 的变化情况。

1.6 废水分析方法

采用江苏电分析仪器有限公司产的 HH-6 型化学耗氧量测定仪测定废水的 COD。

2 实验结果与讨论

2.1 批式间歇处理的实验结果及分析

经过 3 d 曝气可以明显地看到在蜂窝陶瓷表面形成了一层生物膜。此时开始对模拟啤酒废水进行批式间歇的实验,共进行了 5 个批次的实验,实验结果如图 2 所示。从图中可以看出,实验过程中,废水的 COD 呈直线下降,并且浓度越大,其斜率也越大。随着 COD 逐渐升高,COD 降解的速率也逐渐提高。这表明在实验范围内,初始 COD 浓度越高,其下降得越快。

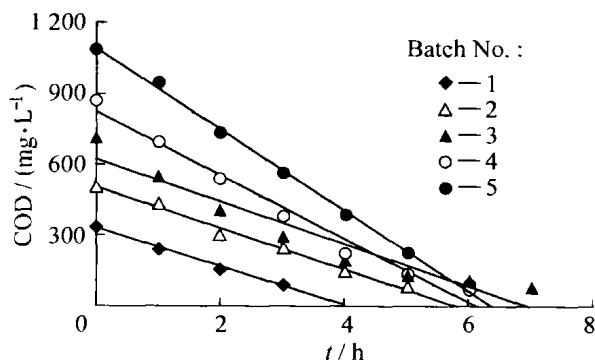


图 2 间歇处理啤酒废水时 COD 的去除

Fig. 2 The COD removal during brewery wastewater treatment in batch

2.2 连续流实验结果及分析

在批式间歇实验结束之后,紧接着进行连续流处理模拟啤酒废水的实验,实验结果如图 3 所示。从图 3 可以看出,进水 COD 浓度逐渐增高,但出水的 COD 仍低于 100 mg/L ,出水 COD 浓度平均为 54.4 mg/L ,说明整个反应器具有较好的效率。如果把整个处理过程划分为 3 个阶段,则从开始到 104 h 为第一阶段,从 112 h 到 216 h 为第二阶段,从 224

h 到 336 h 为第三阶段,对应的进水 COD 平均浓度分别是 487、775、1 066 mg/L,而对应的出水 COD 平均浓度为 82、41、40 mg/L。这 3 个阶段对应的 COD 负荷分别为 1.38、2.52、3.52 kg/(m³·d),稳定运行之后,COD 去除率高达 95.5%。

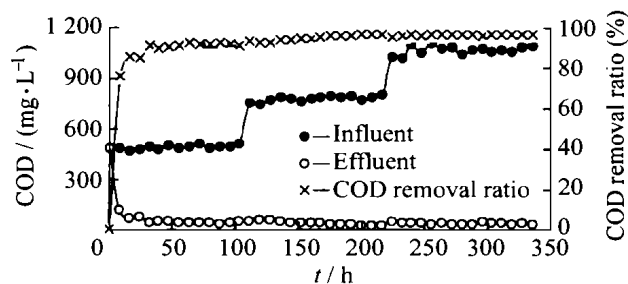


图 3 连续处理啤酒废水时 COD 去除及去除率

Fig. 3 COD removal and removal ratio of brewery wastewater in continuous flow

对于连续处理啤酒废水,由于时间较长,可以认为反应器内的生物膜已处于稳定状态。COD 去除率较高的原因,主要是在陶瓷表面形成的生物膜已适应环境并具有较高的生物活性,从而导致 IAL-CHS 生物反应器具有较高的处理废水能力。相比国内几个啤酒废水处理研究结果^[8~10],本实验 COD 去除率和有机负荷是比较高的。

2.3 蜂窝陶瓷载体内生物膜观察及流态分析

图 4 是蜂窝陶瓷浸没于混有活性污泥的废水后的扫描电子显微镜照片,通过对其微观结构观察,可以发现,陶瓷表面吸附有大量的复合微生物菌群,并可以明显地看出是多种微生物。这说明,在处理啤酒废水时,很容易地形成复合微生物菌群的生物膜。从而进一步证明 IAL-CHS 生物反应器具有较广的用途。

IAL-CHS 反应器中心部分所用的蜂窝载体如图 5 所示,其直径为 95 mm,截面小方孔为 8 mm×8 mm,空隙面积约为 50 cm²。在反应器中部,装有蜂窝陶瓷载体,这部分可视为固定床反应器。实验观察到,气流主要通过中心的蜂窝陶瓷内孔上升,当曝气量为 0.5 m³/h 时,在蜂窝载体上部的流态呈现出湍流状。观察到的液流上升速率在 5~10 cm/s 之间,而经过计算可知,蜂窝陶瓷载体内孔的平均线速度为 2.77 cm/s。因此可以判定,蜂窝陶瓷内的流体流动状态处于湍流区^[11]。由于处于湍流区,因此有助于强化气-液-固之间的传递,并能有效地克服氧传递的限制。用该反应器固定化 *Achromobactersp.* 降

解氯酚和苯酚时,也证明了这一点^[12]。



图 4 陶瓷表面形成的复合微生物菌群

Fig. 4 Multi-microbial pool formed on ceramics

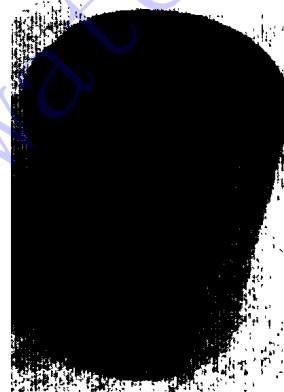


图 5 蜂窝陶瓷载体

Fig. 5 Ceramic honeycomb support

3 讨 论

(1) 用 IAL-CHS 反应器间歇处理啤酒废水时,其 COD 的去除速率随着初始 COD 浓度的增加而增加。

(2) 连续流处理啤酒废水时,在水力停留时间为 7 h,进水 COD 浓度逐渐增加,其 COD 去除率最高达到 95.5%,COD 负荷也逐渐增高,最高达到 3.52 kg/(m³·d)。

(3) 复合的微生物菌群可以在很短的时间内,很容易地生长于蜂窝陶瓷的表面而形成生物膜,同时具有良好的生物活性。蜂窝陶瓷载体内的流动呈现为湍流状态,这有利于氧的传递。

(下转第 397 页)