

活性污泥中好氧微生物多样性与污泥特性研究

江雪姣¹ 毕乘龙² 吴浩³ 桂锋⁴

1. 安徽卫生健康职业学院；2. 池州建筑工程施工图设计文件审查中心；3. 池州市深水水务有限公司；4. 安徽省池州生态环境监测中心

摘 要: A²/O 活性污泥法是应用最广泛的一种生物处理法处理生活污水。其好氧段原生动物主要有累枝虫、吸管虫、草履虫、盖虫、聚缩虫等，其微生物多样性与体系中溶解氧有一定关系。好氧段活性污泥沉降比 [SV] 与微生物多样性 [H] 存在较强的正相关性， $r=0.8241$ ($p < 0.05$)。

关键词: 活性污泥；微生物多样性；活性污泥沉降比

活性污泥是活性污泥法生物处理废水系统的功能主体^[1]。而活性污泥中的主要组成部分就是微生物。微生物是指一类形体微小、结构简单、肉眼难以直接观察到的低等生物的总称。微生物包括细菌、真菌、病毒、原生动物和某些藻类等。其特点主要有体积小（通常需要借助显微镜才能观察到）、结构简单、种类繁多、繁殖迅速等。活性污泥中微生物包括形体微小的单细胞的细菌、可降解一些复杂有机物的真菌、作为活性污泥性能良好的指示生物原生动物及可吞噬细菌和原生动物的后生动物等^[2]。

好氧微生物是一类在有氧环境中生长繁殖的微生物。通过有氧呼吸获取能量，在适宜的环境中好氧微生物通常生长迅速、繁殖能力强，能高效分解各种有机物。活性污泥中常见的好氧微生物有好氧型细菌及真菌以及好氧型原生动物。

其中动胶菌是活性污泥工艺中常见的重要菌属，是形成絮状活性污泥贡献最大的菌种。动胶菌属属于化能有机营养型需氧菌，如动胶菌 HP3 能够高效地降解溴尿酸等化学有毒物质^[3]。大部分硝化菌（包括亚硝化菌）属好氧性细菌，生活在有氧的水中或砂层中，在氮循环水质净化过程中扮演着重要的角色。如朱鸣^[4]等研究污水中的有机氮被异养菌转换为氨氮，在供氧充足的条件下，氨氮被硝化细菌氧化成亚硝酸盐与硝酸盐。酵母菌是营专性或兼性好氧微生物，酵母菌在处理废水中的应用主要是在温度极低的寒冷废水中对有机物的降解，如孟雪征^[5]等人分离、鉴定了 4 种酵母菌，它们均能在 2℃ 时生长，并能有效地降解有机物。好氧微生物除了以上介绍的几种废水中常见的好氧菌外，还包括其他有益于废水降解的微生物。如肠杆菌科的大肠杆菌、产气杆菌、变形杆菌等；生物膜系统中占优势的黄杆菌属^[6]。

好氧型原生动物则是通过显微镜能观察到的游泳型纤毛虫类（豆形虫属、肾形虫属、草履虫属）等生物，肉足类生物（变形虫类等）及鞭毛类（聚屋滴虫、眼虫、滴虫、豆形虫和粗袋鞭虫等）。这些原生动物在活性污泥等好氧环境中很常见，可作为活性污泥性能良好的指示生物。累枝虫、楯纤虫、裂口虫、钟虫的数量呈增长趋势时，表明出水水质明显变好；同时这些原生及后生动物可以很好维持生态体系平衡，例如草履虫：以细菌等微小生物为食，通过吞食和消化作用参与水体中的物质循环。

本次实验主要分析某市 4 个污水处理厂中好氧段活性污泥中原生、后生动物多样性及活性污泥特性。

1 材料和方法

好氧段污泥：来源于某市四座污水处理厂好氧段

1.1 水质指标测定

1.1.1 化学需氧量（COD）与氨氮（NH₃-N）的测定

化学需氧量（COD）和氨氮（NH₃-N）作为关键水质指标，其检测过程严格依据国家现行的标准测定方法执行。在本研究中，针对 COD 浓度的测定，具体采用重铬酸钾回流法完成；而氨氮（NH₃-N）浓度的测定，则通过纳氏试剂光度法实现，以确保两项指标数据的准确性与规范性。

1.1.2 溶解氧的测定

本研究采用便捷且高效的直接测定方式：借助具备专业检测功能的溶解氧测定仪器，对水体样本进行检测后直接读取数据，以此获取溶解氧的具体数值。

1.2 活性污泥及微生物指标测定

1.2.1 污泥沉降比 SV 的测定

污泥沉降比（SV）作为反映活性污泥沉降性能的

基金项目: 安徽省质量工程项目（2022KCSZ121）；安徽省自然科学基金重点项目（KJ2021A1563）；院级科学研究项目：池州湖泊水生态调研与健康评估—以池州百荷公园为例（KY2024008）。

作者简介: 江雪姣（1987—），女，硕士研究生，讲师，研究方向为微生物多样性研究。

核心指标,本研究采用静置沉淀法测定:取一定量活性污泥泥水混合液,置于专用量筒中,在室温条件下静置30分钟,待泥水混合物完成分层后,读取污泥层占混合液总体积的百分比,以此确定活性污泥的SV值,该方法可直观体现污泥的凝聚沉降能力。

1.2.2 微生物鉴别

鉴定物种时用高倍镜(400倍),参照《微生物监测新技术》^[7]等。

1.2.3 微生物计数

微生物计数需遵循严格的操作规范,具体流程如下:

样本预处理:取活性污泥法曝气池内的混合液,用玻璃棒沿同一方向轻轻搅拌,确保样本均匀无沉淀;若混合液浓度过高(肉眼观察呈浓稠状),则采用无菌水将其稀释为1:1的混合体系,避免因浓度过高影响计数准确性。

滴管标定与样本滴加:选取洁净的橡胶头滴管,先对其滴液体积进行预先标定,用1mL移液管准确移取1mL清水至表面皿,再用待标定滴管将清水完全吸尽,以匀速缓慢滴下并记录总滴数,重复操作3次取平均值,通常该类滴管每滴液体积约为1/20mL。

显微计数与数据记录:将计数板置于显微镜载物台上,采用低倍物镜进行观察计数。计数时无需要求液体完全布满,仅需对充有液体的小方格按顺序逐行统计即可。同时,详细记录不同微生物的活动能力、形态结构等特征;

结果计算与重复验证:根据滴管标定体积及样本稀释比例计算微生物浓度,为减少实验误差,上述计数操作需重复3次,最终取3次结果的平均值作为微生物的最终计数结果。

辅助观察与记录:镜检过程中,同步观察微生物的形态特征及内部结构,结合特征进一步鉴别微生物种类;同时,分类别记录各类微生物(如原生动物、后生动物)的具体数量,建立完整的微生物数量统计台账。

2 结果分析与讨论

2.1 A²/O 原生动物种类

本实验样品来源于以处理城市生活污水为主的四座污水处理厂,其中主要工艺为A²/O。四座生活污水处理厂进水水质范围为COD:208.4~224.6mg/L, NH₃-N:22.74~35.36mg/L, DO:1.98~2.35 mg/L。本次污泥全部取自污水处理中的好氧段。不同微生物在温度、有机负荷、溶解氧、水质情况下其生长状态、种类、数量都有所差异,但4座污水处理厂的工艺基本

都是A²/O,且进水水质范围差别不大。此次观察到的主要的原生动物种类有累枝虫、吸管虫、草履虫、盖虫、聚缩虫等。如图1所示。



图1 累枝虫

2.2 溶解量与活性污泥中原生动物之间的关系

4组污水处理厂溶解氧基本都存在不同程度的波动,但范围基本稳定,其中溶解氧相对比较低的其微生物活性及种类相对较低。其微生物多样性维持在1.5,而溶解氧相对较高的微生物多样性则维持在1.7。说明微生物多样性与溶解氧存在一定关系,其中宗永臣^[8]对A²/O工艺下不同DO对水质处理效果及微生物多样性影响等进行了分析研究,结果显示不同DO对COD、氨氮以及TP去除效率都不同,微生物种类也有所差异。比如TN和NH₃-N去除效果最好的是DO在2.0mg/L时,而COD和TP去除效果最好时DO是1.0 mg/L时;

2.3 活性污泥中污泥沉降比[SV]与微生物多样性[H]之间的关系

通过对A²/O工艺的活性污泥污水处理厂好氧段活性污泥原生动物镜检计数,且对应测定其SV值,结果显示污泥沉降比SV与微生物多样性H呈强正相关性, $r=0.8241$ ($p < 0.05$)。如图2所示。李伟义^[9]研究发现污泥驯化或者优化阶段过程中因为操作条件及进水水质变化使得微生物群落结构发生变化,使得微生物多样性下降。但处于运行阶段也就是污泥处于增长期时微生物多样性相对较好。同时周可新^[10]等人研究了肉食型纤毛虫Shannon-Wiener多样性指数H对出水氨氮及活性污泥特性指数SVI具有较强的指示作用;

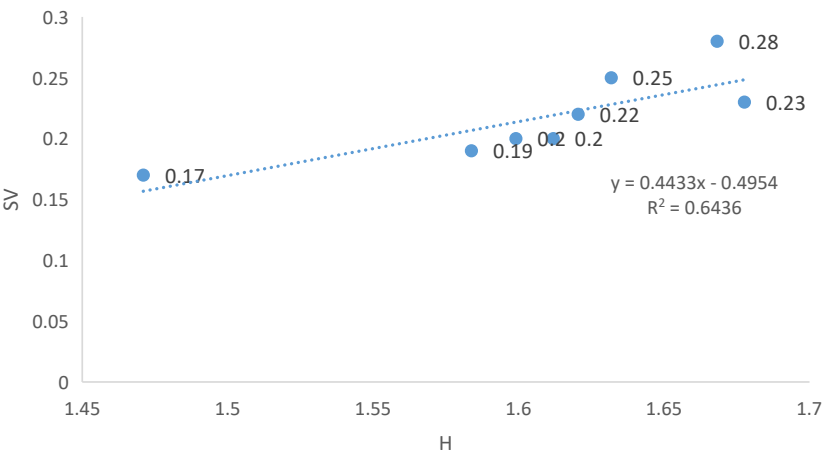


图 2 活性污泥沉降比 [SV] 与微生物多样性 [H] 之间的关系

3 结语

A₂/O 工艺中主要原生动动物有累枝虫、吸管虫、草履虫等。微生物多样性受溶解氧因素有一定影响。溶解氧相对较低时其微生物活性及种类相对较低。活性污泥沉降比 [SV] 与微生物多样性 [H] 之间存在一定的正相关， $r=0.8241$ ($p < 0.05$)。

参考文献：

[1] 洪安安. 活性污泥的主要微生物菌群及研究方法 [J]. 工业水处理, 2009(29):10-14.

[2] 黄仲九. 化学工艺学 (第二版) [M]. 高等教育出版社, 2008:801-813.

[3] 刘志培. 食菌丛毛单胞菌 AN3 菌株降解苯胺代谢途径的研究 [J]. 微生物学报, 1999, 39(5):448-453.

[4] 朱鸣. 硝化细菌包埋固定化及其在废水处理中的应用 (上) [J]. 环境保护, 2001, 15:4-6.

[5] 孟雪征. 用耐低温酵母菌处理寒冷地区生活污水的研究 [J]. 哈尔滨建筑大学学报, 2000, 23(6):70-73.

[6] 梁荣国. 好氧微生物与厌氧微生物处理制浆造纸废水 [J]. 上海制造, 2006, 37(4):60-64.

[7] 沈韫芬. 微型生物监测新技术 [M]. 北京市: 中国建筑工业出版社, 1990.

[8] 宗永臣. 青藏高原环境下 A₂/O 工艺微生物特征及脱氮除磷机理研究 [D]. 西藏大学, 2021.

[9] 李伟义. MBBR+ 多段生物接触氧化处理工业园区废水中试研究 [D]. 石河子大学, 2024.

[10] 周可新, 许木启, 曹宏, 等. 活性污泥系统原生动动物多样性动态及其与运转效能的关系 [J]. 应用与环境生物学报. 2007, 13(6): 840-842.