

# 利用微型生物指示评价污水处理厂运行的研究进展

郑雅楠<sup>1</sup> 王淑莹<sup>1</sup> 郭建华<sup>2</sup> 黄惠珺<sup>1</sup> 孙治荣<sup>1</sup> 彭永臻<sup>1\*</sup>

(1. 北京工业大学环境与能源学院 北京 100124)

(2. 哈尔滨工业大学市政环境工程学院 哈尔滨 150090)

**摘要:** 目前基于理化指标和出水水质来调控污水处理厂运行工况存在一定滞后性, 且建立的控制策略不利于系统长期稳定地运行。活性污泥工艺运行状态对微型生物的种群结构具有显著影响, 可利用微型生物种群结构来指示和评价污水处理厂运行, 且有利于建立面向种群优化的控制系统。在介绍微型生物分类、鉴定、计数的基础上详细阐述了微型生物种群结构与污水处理厂运行状态的相关性与内在联系, 力求为今后利用微型生物种群结构特性来指示、评价污水处理厂的运行奠定基础, 并对此方面的研究方向进行了展望。

**关键词:** 微型生物种群结构, 原生动物, 后生动物, 生物指示, 评价

## Trends in the Use of Protozoan and Metazoan in the Indication and Assessment of WWTP Operation

ZHENG Ya-Nan<sup>1</sup> WANG Shu-Ying<sup>1</sup> GUO Jian-Hua<sup>2</sup>  
HUANG Hui-Jun<sup>1</sup> SUN Zhi-Rong<sup>1</sup> PENG Yong-Zhen<sup>1\*</sup>

(1. College of Environment and Energy Sources, Beijing Institute of Technology, Beijing 100022)

(2. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090)

**Abstract:** Control strategy developed on physical and chemical variables or the effluent characteristics has lag effects and is not benefit to the stable operation of Wastewater Treatment Plant(WWTP) in long-term. Since operation variables of activated sludge process have distinct effects on the microfauna communities (here defined as protozoan and metazoan), their community structure can be used to indicate and assess the WWTP operation performance. Based on the classifying, identifying and counting of protozoan and metazoan, the relationship between microfauna community structure and operation performance of WWTP was discussed in detail, which might be used to indicate and assess the WWTP and be benefited to build control system oriented sludge population optimization. In addition, some new research directions were proposed in this review.

**Keywords:** Microfauna communities, Protozoan, Metazoan, Biological indicator, Assessment

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)项目(No. 2006AA06Z319); 国家自然科学基金项目(No. 50778005); 北京市自然科学基金项目(No. 8062006); 新加坡环境与水工业协会创新发展项目(No. EDB S07/1-53974092); 北京工业大学研究生科技基金(No. ykj-2007-2043)

\*通讯作者: Tel: 010-67392627; E-mail: pyz@bjut.edu.cn

收稿日期: 2008-05-06; 接受日期: 2008-07-10

污水处理厂主要基于活性污泥的理化指标和出水水质指标来判断运行状态、调整运行工况,而根据上述指标进行调控存在相当的滞后性。活性污泥是污水处理的生物主体,其种群结构和特性与处理效果直接相关。如果运行工况和环境因素对活性污泥种群产生负面影响,某些水质指标在短期内并不会发生显著变化,因此难以引起调控人员的关注。然而一段时间后,活性污泥种群将产生不良迁移,处理效果也会随之恶化。此时调整运行参数,要恢复活性污泥种群的良性状态需要相当一段时间,在这段时间内处理效果势必会受到影响。关于活性污泥中的微型生物的研究对解决这一难题具有关键性作用。由于微型生物中大部分以游离细菌为食,故其种类、数量与游离细菌数量有紧密联系,而游离细菌数量受工艺运行参数的影响非常显著<sup>[1,2]</sup>,因此活性污泥法工况条件对微型生物的种群结构具有重要影响。建立起微型生物种群结构与污水处理厂运行状态的联系,通过观察微型生物的种类、数量、活性的变化,即可在一定程度上预先判断出工艺运行状况和污泥活性以及未来的发展趋势,从而能够及时调整工艺参数,大大减小仅仅通过理化分析调控运行的滞后效应<sup>[3-5]</sup>。此外,通过找出污水运行工况与微型生物种群结构的关系,并建立面向种群优化的控制系统,有利于污水处理厂长期稳定和高效的运行。

## 1 活性污泥中微型生物的分类、鉴定和计数

### 1.1 微型生物的分类

本文中微型生物主要指原生动物和微型后生动物,主要有2种分类方法:根据五界学说分类<sup>[6]</sup>和按照指示性作用分类<sup>[7]</sup>。Eikelboom<sup>[7]</sup>遴选出了具有指示性作用的微型生物,包含原生动物中的3大类群:1) 纤毛虫,包括固着类纤毛虫、爬行类纤毛虫、游泳类纤毛虫 2) 鞭毛虫 3) 变形虫,及后生动物中的:轮虫、线虫、节肢动物、蠕虫。在活性污泥的微型生物中,纤毛虫原生动物居于优势<sup>[1,3,8,9]</sup>,其次是鞭毛虫、变形虫(主要指表壳虫),及少量后生动物。根据纤毛虫与菌胶团关系的不同,纤毛虫主要分为固着、爬行、游泳型3类, Martin-Cereced M<sup>[10]</sup>在这3类的基础上,又增加了临时与菌胶团相关联的一类纤毛虫,称之为“游泳-爬行类纤毛虫”。其中

固着类纤毛虫是数量最多,最有代表性的群组<sup>[10]</sup>。固着类纤毛虫中的钟虫属(主要包括沟钟虫、小口钟虫)、累枝虫属,爬行类纤毛虫中的吸管虫、盖虫以及游泳类纤毛虫中的纤虫、游仆虫尤为常见<sup>[4,8-10]</sup>。

### 1.2 微型生物的鉴定和计数

对微型生物进行正确的鉴定和计数是进行数据分析、进而指导污水厂运行的基础。目前主要有2类方法:1) 人工借助显微镜和已知图谱进行比对,人工计数<sup>[11-13]</sup>。该方法为广大研究人员普遍采用,并且沿用至今<sup>[1,3,8,14-16]</sup>。其优点是,技术上起点较低,熟悉常见种属的形态并能够熟练操作显微镜即可。缺点是,结果受主观影响较大,且效率不高。2) 运用图像分析技术,进行半自动化分析和计数。随着图像分析技术的发展,图像分析技术开始被引入微型生物的鉴定、计数。首先,分析目标微型生物的形态学参数,如面积、周长、凹度及是否存在纤毛、柄等,并运用判别式分析、神经网络和判别树多元统计分析技术对形态学描述符进行分析,以便于对目标微型生物进行归类和鉴定。该方法对非固着类原生动物及后生动物的鉴定效果非常好,而对固着类原生动物的鉴定效果不太理想<sup>[17,18]</sup>。人工计数过程中,对游动型微型生物的计数比较困难,而利用图像分析的自动计数方法在解决这一问题方面显现出了优势。姜维义<sup>[19]</sup>等人利用 VC++ 编制自动计数程序,统计间隔 1S~2S 拍摄的同一视野图像中的原生动物个数,精密度能够满足研究需要。在自动鉴定、计数研究方面取得突破,需要对微型生物形态学进行更加深入的研究和分析。不同国家,不同地域的同种微生物的形态参数也有所区别,我国在借鉴国外先进研究方法的同时,重点应加强对本国微型生物形态参数的研究。广泛开发适用于各类游泳型微型生物自动计数程序,是自动计数技术另一研究重点。运用图像分析技术自动计数在效率上显然优于人工计数方法,且客观可靠,然而由于起点较高、对操作人员要求更多,普及难度较大。因此虽然人工方法存在诸多不足,在短期内仍会作为微型生物研究的主要手段。

## 2 微型生物的种群结构与工况条件之间的关系

活性污泥法污水处理生态系统主要由菌胶团、丝状菌、游离细菌、原生动物及微型后生动物(本文

称为微型生物)等组成。菌胶团是污水处理系统中去除污染物的主体,从功能上可以分为硝化菌、反硝化菌、聚磷菌、聚糖菌等。丝状菌与菌胶团竞争溶解氧和营养元素等底物,影响污泥沉降性能。游离细菌属食物链上较低级生物,为微型生物所捕食。微型生物属于食物链上较高级生物,其种群结构主要与游离细菌数量有关,游离细菌的数量与运行工况直接相关。微型生物的种类和数量相对于游离细菌而言更易于观察和统计,当遭遇工况参数改变所造成的冲击时,能迅速观察到微型生物的种群结构发生变化。微型生物种群的迁移主要体现为优势种属的改变和丰度的变化<sup>[20]</sup>。出现频率、丰度、多样性是考察微型生物种群结构时应当着力关注的方面。

## 2.1 分析微型生物种群结构与工况条件之间关系的方法

考察微型生物与工况条件之间的关系,目前最为普遍的做法是在经过长期实验积累大量数据的基础上,遴选出一些代表性的微型生物和工况条件,首先进行多元回归分析(Multiple regression analysis),求取各参数间的 Pearson 相关系数,继而进行主成分分析(Principal component analysis)或是因子分析(Factor analysis),考察引起微型生物种群结构发生变化的主要因素,主成分分析是用来减少被分析变量的非常有效的手段<sup>[3,4,10,11,16,21-24]</sup>。在研究中所采用的分析软件主要包括: Minitab、Statistica Package(5.0、6.0)、SPSS 11.5 版统计软件包。工况条件不仅会影响微型生物的丰度,还会影响微型生物的多样性程度,因此,也有研究人员对微型生物多样性指数与工况条件进行多元回归分析,计算相关系数<sup>[1,3]</sup>。

## 2.2 微型生物常见种属对于运行工况的指示性作用

考察微型生物对于运行工况的指示性作用有两种思路: 1) 以个种的数量、多样性、活性作为指示指标; 2) 以种群综合状态作为指示指标。对微型生物种群结构与运行工况、环境因素之间的关系的研究成果进行总结和归纳,得到了微型生物种群结构与运行工况的关系表(表 1)。

值得注意的是,不同研究人员对于优质出水和劣质出水的标志型微型生物的归类结果并不完全一致,在某些个种上存在争议。Tyagi 认为优质出水的

标志性微型生物有钟虫、纤虫、吸管虫、累枝虫、表壳虫、盖虫、lironotus; 变形虫的大量存在通常与出水水质恶化有关<sup>[9]</sup>。Esteban 认为表壳虫丰度较高对应于低负荷、长 SRT、高 DO, 指示硝化完全<sup>[32]</sup>。与 Tyagi、Esteban 的结论一致, Zhou Kexin 同样认为表壳虫同时与 SVI、出水 TN、SS 呈负相关, 是污泥系统状态良好的指示性生物, 但其研究结果同时显示盖虫属与出水 BOD<sub>5</sub>、SS 呈正相关, 是劣质出水的指示生物<sup>[4]</sup>, 与 Manodi 的研究结果相印证。Madoni 将优质出水指示性关键群组归纳为: 爬行类、固着型纤毛虫、有壳变形虫(以表壳虫属为主); 劣质出水关键群组包括: 小型鞭毛虫, 游泳型纤毛虫中的细菌性纤毛虫, 缘毛目纤毛虫中的小口钟虫、盖虫属<sup>[25,28]</sup>。Esteban 研究发现小口钟虫在低 DO, 低 MLSS, 高负荷, 高 SVI 时可大量存在, 是出水水质恶化的指示性生物<sup>[30]</sup>。有学者认为沟钟虫和褶累枝虫对环境的适应性很强, 因此不宜作为指示性生物<sup>[25]</sup>。关于个别种属指示性的争议可能与样品数据的范围与个种最佳指示值的关系有关, 总体而言, 固着型、爬行类纤毛虫的丰度较高以及轮虫等后生动物的出现是优质出水的标志, 而大量的游泳型纤毛虫和鞭毛虫是水质不良的指示性生物。多数研究人员主要对微型生物数量进行了考量, 关于微型生物多样性的统计分析则未受到应有的重视。鉴于微型生物多样性指数与运行工况同样存在较强相关性, 今后研究中应加强多样性分析。

污水处理厂的运行工况明显影响微型生物的种群结构, 微型生物的种群结构能间接地反映污水处理厂的运行状况。不同种属微型生物丰度、活性与运行参数的相关关系, 对建立面向微型生物种群优化的控制系统具有重要的意义。在以后的污水处理厂运行中, 可通过对工艺的优化设计和过程控制, 淘洗掉指示不良运行状况所对应的微型生物种群, 选择性地保留指示沉淀性能好、处理效果好的微型生物, 实现活性污泥污水处理系统中微型生物的种群优化。

## 2.3 工艺类型对活性污泥中微型生物种群结构的影响

Liu Juan<sup>[27]</sup>等调查了北京不同工艺类型城市污水处理厂的工艺原理和系统运行状况对原生动物种群结构的影响, 指出原生动物种群结构与工艺类型密切相关, 并提出原生动物种群结构主要由工艺类

| 表 1 微型生物种群结构与运行工况的关系                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Table 1 The relationship between microfauna community structure and operation performance |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 运行工况<br>Operation performance                                                             | 微型生物种群结构与运行工况的关系<br>The relation ship between microfauna community structure and operation performance                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 污泥浓度<br>Mixed Liquor Suspended Solids(MLSS) (mg/L)                                        | 1) 纤毛虫约占 MLSS 的 5% <sup>[25]</sup> , 通常为 10 <sup>6</sup> ind/L, 低于 10 <sup>4</sup> ind/L 时表明净化能力不足 <sup>[25,26]</sup><br>2) 高 MLSS: 爬行类纤毛虫(如吸管虫、盖虫)、固着类纤毛虫占优势; 低 MLSS: 小口钟虫、盖虫 <sup>[9,10,24]</sup>                                                                                                                                                                                                   |
| 污泥沉降性<br>Settling ability                                                                 | 1) 低 SV30: 游泳类纤毛虫多样性指数高 <sup>[3]</sup><br>2) 高 SVI: 小口钟虫、游泳类纤毛虫 <sup>[27]</sup> 、肉食类原生动物如薄漫游虫 <sup>[4,10,23]</sup> 、裂口虫 <sup>[10]</sup> 丰度高<br>3) 低 SVI: 腔轮虫 <sup>[28]</sup> 、爬行类、固着型纤毛虫、有壳变形虫(特别是半圆表壳虫)丰度高 <sup>[9,25]</sup> ;                                                                                                                                                                       |
| 污泥负荷<br>Sludge load(F/M)<br>(kg BOD <sub>5</sub> /(kg MLSS·d))                            | 1) 低 F/M(低于 0.2 kgBOD <sub>5</sub> /(kgMLSS·d)): 爬行类纤毛虫(如吸管虫、盖虫)、固着型纤毛虫 <sup>[9,23,25]</sup> 、透明鞘居虫、小轮毛虫 <sup>[29]</sup> 丰度高<br>2) 高 F/M: 小口钟虫、有肋纤虫、鞭毛虫、变形虫数量多 <sup>[29]</sup>                                                                                                                                                                                                                        |
| 污泥龄<br>Sludge retention time(SRT) (d)                                                     | 1) SRT>10 d: 原生动物数量低, 爬行类纤毛虫中吸管虫属 <sup>[23]</sup> 、有壳变形虫 <sup>[25]</sup> 、后生动物中轮虫、蠕虫 <sup>[9,30]</sup> 居优势<br>2) SRT<6 d: 小型原生动物(包括鞭毛虫、变形虫和游泳型纤毛虫)普遍存在 <sup>[10,25]</sup>                                                                                                                                                                                                                             |
| 溶解氧<br>Dissolved Oxygen(DO) (mg/L)                                                        | 1) 高 DO: 游仆虫、盖虫、有壳变形虫丰度高, 沟钟虫虫体活跃 <sup>[9,23,31]</sup><br>2) 低 DO: 小口钟虫、独缩虫居优势, 沟钟虫呈收缩状 <sup>[9,23,25,31]</sup> , 变形虫对低 DO 非常敏感 <sup>[27]</sup>                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 温度<br>Temperature (°C)                                                                    | 1) 低温: 大多数微型生物的丰度较高<br>2) 高温: 有壳变形虫丰度高 <sup>[31]</sup> , 肉足虫多样性指数高 <sup>[3]</sup><br>3) 游泳类纤毛虫中的纤虫对水温不敏感, 四季中丰度变化不大 <sup>[3]</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 出水 BOD <sub>5</sub><br>Effluent BOD <sub>5</sub> (mg/L)                                   | 1) 高出水 BOD <sub>5</sub> : 游泳类纤毛虫丰度高 <sup>[3,10]</sup><br>2) 低出水 BOD <sub>5</sub> : 固着型纤毛虫(尤其是沟钟虫)、集盖虫、表壳虫、轮虫占优势 <sup>[3,4,10,23]</sup><br>3) 出水 BOD <sub>5</sub> 与小口钟虫、Opercularia microdiscus 的丰度是否相关尚有争议 <sup>[23,25]</sup> 。某种纤毛虫丰度范围越高, 该丰度范围与理化参数间的关系越稳定, 称该范围为最佳指示值。出水 BOD <sub>5</sub> 和纤毛虫丰度间的相关系数的正负取决于样品数据的范围, 如果出水水质参数在纤毛虫最佳指示值之上或之下, 系数就有可能为正或为负, 其他理化参数与纤毛虫丰度间的关系也可能如此 <sup>[31]</sup> 。 |
| 硝化效果<br>Nitrification efficiency                                                          | 1) 硝化效果好: 游仆虫、有壳变形虫 <sup>[9,22,25]</sup> 、毛板壳虫 <sup>[10,24]</sup> 、爬行类纤毛虫 <sup>[3]</sup> 、固着类纤毛虫 <sup>[27]</sup> 丰度高, 固着类、爬行类纤毛虫、后生动物多样性指数高 <sup>[3]</sup><br>2) 硝化效果差: 小口钟虫 <sup>[24]</sup> 、游泳型纤毛虫 <sup>[32]</sup> 丰度高, 鞭毛虫多样性指数高 <sup>[3]</sup><br>3) 盖虫丰度与硝化效果相关关系的研究结果存在争议 <sup>[9,25]</sup> , 可能与样品数据范围与盖虫的最佳指示范围的关系相关                                                                          |
| 出水总氮<br>Effluent Total Nitrogen(TN) (mg/L)                                                | 1) 出水总氮浓度高: 固着类纤毛虫多样性指数高 <sup>[3]</sup><br>2) 出水总氮浓度低: 半圆表壳虫丰度低 <sup>[4]</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 出水总磷<br>Effluent Total Phosphorus(TP) (mg/L)                                              | 肉足虫丰度和爬行类纤毛虫的多样性指数与出水总磷呈正相关 <sup>[1]</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 出水悬浮固体浓度<br>Effluent Suspended Solids(SS) (mg/L)                                          | 1) 出水 SS 高: 集盖虫丰度和游泳类纤毛虫多样性指数高 <sup>[1,3,4]</sup><br>2) 出水 SS 低: 轮虫、半圆表壳虫的丰度高 <sup>[1,3,4]</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 毒性物质<br>Toxic compound                                                                    | 1) 由于纤毛虫为真核细胞生物, 在生物学方面已经有所研究, 实现操作相对容易, 世代期短, 且分布广, 生态特征显著, 在食物网中能量流和电子循环中起重要作用, 因此它们可以被作为理想的毒性物质预警指示生物 <sup>[20]</sup> 。<br>2) 高浓度的铜离子会对微生物种群和污泥效率产生重大影响, 且均会自行恢复, 但生物积累却不可避免 <sup>[20]</sup> 。<br>3) 低浓度的铜对 COD 的去除效率和一些种属的生长有促进作用 <sup>[20]</sup> 。                                                                                                                                               |

型和原理所决定, 其次才受运行工况的影响。原生动物的种群结构除了受工艺类型、原理的影响, 与

原水水质特性以及运行工况(尤其是污泥停留时间、污泥负荷)等密切相关。这些因素均对微型生物的种群结构构成影响, 究竟何种因素居于主导, 尚需进

一步深入研究。目前微型生物种群结构与运行工况间关系的相关研究主要局限于传统活性污泥法和 A/O 工艺<sup>[1,3]</sup>, 另有部分研究人员研究了其他工艺类型, 如延时曝气、SBR 工艺中微型生物分布的特点, 总体而言, 国内外针对多种新型城市污水处理工艺

的相关研究尚较为少见。由此, 进一步细化微生物种群结构与工况参数之间关系的研究, 应针对不同工艺原理, 分别进行探讨。

延时曝气工艺污水处理厂的混合液中微生物的密度很低<sup>[9]</sup>, 这可能是由于原生动物对进水负荷和低 DO 非常敏感。

在 SBR 工艺中研究微生物种群分布时发现, 在驯化阶段, 微生物种群的组成和演替与传统活性污泥法驯化阶段类似, 同时原生动物在 SBR 系统中种属的丰度和组成表现出特征性和循环型的变化, 与传统活性污泥法一样具有指示性作用<sup>[32,33]</sup>。

## 2.4 根据微生物种群结构, 预测水质参数

微生物种群结构对预测水质参数具有重要意义。首先, 针对既无足够实验设备又无技术人员进行传统分析的水厂, 通过对污泥混合液进行镜检, 结合简单的 SVI, MLSS 检测, 即可控制水厂运行。其次, 某些水质参数的测定耗时较长(如  $BOD_5$ ), 使得根据测定结果调控水厂运行的方式存在较强的滞后性。根据镜检结果, 实时分析和控制, 更有利于提高污水处理效率。

早在 1970 年 Curds 即建立了预测月均 BOD 的方法, 将 BOD 划分为四个范围, 镜检记录出水水质位于各个范围内原生动物的种类, 记录每个个种与各范围 BOD 对应的相关度(转化为点数), 对每个 BOD 范围的点数进行加和, 总点数最高所对应的 BOD 范围即为预测 BOD 范围<sup>[34]</sup>。Curds 所记录的个种与每个范围 BOD 的相关度可以推广使用, 适用于其他水厂。AL-Shahwani<sup>[35]</sup> 用统计专业软件 Minitab 进行多元回归分析, 选择重要的原生动物作为指示性生物和水厂运行、处理情况数据进行相关性分析。根据镜检得到的每种原生动物的浓度(ind/mL)以及每种原生动物对应的回归系数, 即可预测出水 BOD 值, 同样的方法可以运用于预测其他参数, 例如污泥龄(SRT)。在实际运行中污泥龄是动态变化的, 因此根据排泥量进行计算所获得的泥龄并非真实的污泥龄。而通过建立微生物对 SRT 的预测方程式<sup>[35]</sup>, 可以较为准确地获得真实泥龄, 调控运行, 获得稳定的处理效果。该方法的主要缺点是在使用前必须对水厂进行 12 个月的监测, 某一水厂的回归系数和相关系数不适用于其他水厂。陈声贵<sup>[1,3]</sup>等用同样的方法建立的方程所要求的微生物的种类较少, 约需鉴定 10 种左右微生物。周可

新的方程要求鉴定的微生物种类更有限<sup>[16]</sup>。

Manodi 所建立的考察 SBI (Sludge Biological Index)的方法主要考察关键群组对常规理化参数和运行参数的不同敏感度, 用微生物的丰度和多样性统计数据作为量化指标, 使得研究人员能够通过传统计数手段确定污泥的生物质量<sup>[25]</sup>。该方法中的重要环节是进行微生物的分类计数, 如若能与高效的图像分析计数方法相结合, 势必能够极大地提高分析效率。

## 3 展望

### 3.1 微生物种群结构与运行工况间的关系有待深入系统研究

国外对于微生物指示性作用相关研究开展较早, 积累了一定研究成果, 国内在该方面起步较晚, 然而即使是在国外, 也尚未真正将微生物种群结构监测作为日常污水处理厂运行的监测内容, 从而指导污水处理厂的运行。国内外的研究结果多以对大型污水处理厂长期调查的统计结果体现<sup>[27]</sup>。由于大型污水处理厂的运行和管理灵活性不够, 只能较为被动地研究已知工况条件和种群结构间的相关性, 难以进行主动变更工况条件进而观察微生物种群结构变化的实验。因此, 为了更加深入地了解活性污泥法工况条件与微生物种群结构之间的关系, 应更多地开展实验室范围的小试研究, 主动变更运行参数, 考察污泥负荷、溶解氧等单一因素或若干因素的变化对微生物种群结构的影响, 并与大型污水处理厂的调研结果相结合, 验证和修正过去的结论, 为真正实现利用微生物的指示性作用协助指导污水处理厂的日常运行积累数据和经验。

### 3.2 开展微生物种群结构发生不良迁移时的应对策略研究

按照微生物种群结构与运行工况间的关系, 根据其种群结构的变化即可得知运行工况的变化趋势, 建立针对不良变化趋势的应对机制, 遏制该恶化趋势, 使得微生物种群结构恢复到良性状态, 是研究的根本目的。有些工况参数的恶化有较长的积蓄期, 如污泥发生恶性膨胀之前往往会有一段时间 SVI 未显异常, 因此充分发挥微生物的预警作用, 及早应对, 方能避免工况参数发生严重恶化, 利于维持出水水质的稳定。

### 3.3 加强数字图像分析与统计技术的应用

统计学和计算机技术的发展使得相关性考察和因子分析方法变得更加方便,大力增加分析因子(如种属)在后期数据分析上不会带来太大的障碍。然而,过多的因子为初期数据采集(如计数)带来了难题,虽然提高了预测精度,但是难以实际应用。数字图像分析技术效率高,结果客观可靠,如何加强其在微型生物鉴定和计数中的应用,进一步提高其自动化程度,并降低操作门槛,是重要研究内容。目前以人工鉴定计数为主的条件下,如何在满足精度要求的同时,设法简化需鉴定和计数的种属,取得精度和易操作性之间的平衡是进一步研究的重要课题。

### 3.4 将新型的微生物生态学研究手段引入微型生物种群结构研究

微生物生态学主要研究微生物群体结构和数量组成,其研究方法理应适用于微型生物种群结构的研究。分子生物学技术在微生物生态学中的应用已成为研究热点,由此建立了分子生态学,其优越性在于更能揭示微生物多样性的真实水平<sup>[36]</sup>。分子生物学技术与微型生物种群结构研究相结合的研究成果较为罕见,探索新型微生物生态学技术手段在微型生物种群分布研究方向的应用,能够为微型生物的鉴定和计数提供新方法,值得关注。

### 3.5 在多种工艺中开展微型生物种属与工艺运行状态的关系研究

目前所进行的相关研究主要集中于传统活性污泥法工艺中,在其他工艺如 SBR 工艺中少有涉及。不同工艺有其特有的工况条件,相应地,不同情况下优势种属微生物及微型生物多样性信息会有所差异。因此加强不同工艺中相关关系的研究,增强研究成果的针对性也是研究工作的重要方面。

### 3.6 开展微型生物在毒性评价方面的研究

随着我国工业的迅速发展,污水处理厂进水成分愈加复杂,不时会遭遇高毒性污水冲击,对整个活性污泥系统将造成严重影响。为保证污水处理系统的稳定运行,可利用微型生物对毒性物质敏感且易于检测的特点,采用微型生物作为测试生物,监测进水中毒物含量是否超出活性污泥微生物承受标准,一旦入水毒性物质浓度超标,可引入调节池或事故池进行处理,以保障后续系统运行。另外,由于我国淡水资源极为有限,大力发展淡水的循环利用是缓解供需矛盾的途径,而由于污水原水成分愈加

复杂,要达到安全排放,在去除有机污染物及营养物质的同时,保证有毒有害物质浓度达标也非常重要。传统毒物学的化验通常较慢,且劳动强度很大,当许多有毒物质共同存在时,逐一分析化验几乎不可行。国外已开展采用原生动物作为测试生物,进行 ATP 浓度、ACP 活性及 MTT 法检测,评价水质毒性的研究<sup>[20]</sup>,国内相关研究则较为少见。出于对未来用水安全的考虑,需尽早强化污水毒性评价机制。采用微型生物作为测试生物,相比于鱼类等测试生物成本和劳动强度更低,应在水质毒性评价中重点予以考虑。

## 参 考 文 献

- [1] Chen SG, Xu MQ, Cao H, *et al.* The activated-sludge fauna and performance of five sewage treatment plants in Beijing, China. *European Journal of Protistology*, 2004, **40**(2): 147–152.
- [2] 王春丽, 刘 慧, 米海蓉. 指示生物测评污水厂净化能力的研究. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版), 2006, **22**(4): 34–36.
- [3] 陈声贵, 许木启, 曹 宏, 等. 活性污泥微型动物种群动态与水质净化效能的关系. 动物学报, 2003, **49**(6): 775–786.
- [4] Zhou KX, Xu MQ, Dai JY, *et al.* The microfauna communities and operational monitoring of an activated sludge plant in China. *European Journal of Protistology*, 2006, **42**(4): 291–295.
- [5] 周可新, 许木启, 曹 宏. 活性污泥微型动物群落结构优化的可控途径研究. 环境污染治理技术与设备, 2004, **5**(5): 18–20.
- [6] Levine ND, Corliss JO, Cox FE, *et al.* A newly revised classification of the protozoa. *J Protozool*, 1980, **27**(1): 37–58.
- [7] Eikelboom DH. Process control of activated sludge plants by microscopic investigation. London(UK): *IWA Publishing*, 2000, pp.85–88.
- [8] Curds CR, Cockburn A. Protozoa in biological sewage-treatment processes--I. A survey of the protozoan fauna of British percolating filters and activated-sludge plants. *Water Research*, 1970, **4**(3): 225–228.
- [9] Tyagi VK, Subramanian S, Kazmi AA, *et al.* Microbial community in conventional and extended aeration activated sludge plants in India. *Ecological Indicators*, 2008, **8**(5): 550–554.
- [10] Martin-Cereceda M, Serrano S, Guinea A. A comparative study of ciliated protozoa communities in activated-sludge plants. *FEMS Microbiology Ecology*, 1996, **21**(4):

- 267–276.
- [11] Al-Shahwani SM, Horan NJ. The use of protozoa to indicate changes in the performance of activated sludge plants. *Water Research*, 1991, **25**(6): 633–638.
- [12] 郭 峰, 张 军, 李文芳, 等. 一种简便实用的原生动物分离和计数方法. 同济大学学报(医学版), 2001, **22**(4): 73–74.
- [13] 熊金林. 不同营养水平湖泊浮游生物和底栖动物群落多样性的研究. 华中科技大学博士学位论文, 2005.
- [14] 沈韞芬, 章宗涉. 微型生物监测新技术. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990, pp.511–524
- [15] Kudo RR. Protozoology. Springfield, Illinois: Charles C. Thomas Publisher, 1966, p.1174.
- [16] 周可新, 许木启, 曹 宏. 用微型动物预测保定鲁岗污水处理厂活性污泥系统理化参数. 动物学杂志, 2007, **4**(24): 57–59.
- [17] Ginoris YP, Amaral AL, Nicolau A, *et al.* Development of an image analysis procedure for identifying protozoa and metazoa typical of activated sludge system. *Water Research*, 2007, **41**(12): 2581–2589.
- [18] Ginoris YP, Amaral AL, Nicolau A, *et al.* *Analytica Chimica Acta*, 2007, **595**(1-2): 160–169.
- [19] 姜维义, 於 韬, 顾福康. 基于图像处理的原生动物自动计数方法及其实现. 实验室研究与探索, 2007, **26**(4): 24–28.
- [20] Ana N, Nicolina D, Manuel M, *et al.* Trends in the use of protozoa in the assessment of wastewater treatment. *Research in Microbiology*, 2006, **152**(7): 621–630.
- [21] 陈东景, 马安青, 徐中民. 因子分析法在水质评价中的应用. 水文, 2002, **22**(3): 29–31.
- [22] 丁国际, 李 军. SBR 工艺中原生动物肉足虫的硝化指示作用. 环境工程, 2006, **24**(3): 13–15.
- [23] Lee SJ, Basu S, Tyler CW, *et al.* Ciliate populations as bio-indicators at Deer Island Treatment Plant. *Advances in Environmental Research*, 2004, **8**(3-4): 371–378.
- [24] Madoni P, Davoli D, Chierici E. Comparative analysis of the activated sludge microfauna in several sewage treatment works. *Water Research*, 1993, **27**(9): 1485–1491.
- [25] Madoni P Paolo. A sludge biotic index (SBI) for the evaluation of the biological performance of activated sludge plants based on the microfauna analysis. *Water Research*, 1994, **28**(1): 67–75.
- [26] Curds CR. Ecological Aspects of Used Water Treatment. London (UK): Academic Press, 1975, pp.203–268.
- [27] Liu J, Yang M, Qi R, *et al.* Comparative study of protozoan communities in full-scale MWTPs in Beijing related to treatment processes. *Water Research*, 2008, **42**(8-9): 1907–1918.
- [28] Fiałkowska E, Pajdak-Stós A. The role of Lecane rotifers in activated sludge bulking control. *Water Research*, 2008, **42**(10-11): 2483–2490.
- [29] Salvadó H, Gracia MP, Amigó JM. Capability of ciliated protozoa as indicators of effluent quality in activated sludge plants. *Water Research*, 1995, **29**(4): 1041–1050.
- [30] 肖作义, 范荣华, 王子瑞. 活性污泥性状和生物相的观察与指导. 环境科学与技术, 2006, **29**(S1): 123–124.
- [31] Esteban G, Téllez C, Bautista LM. Dynamics of ciliated protozoa communities in activated-sludge process. *Water Research*, 1991, **25**(8): 967–972.
- [32] Cybis LF, Horan NJ. Protozoan and metazoan populations in sequencing batch reactors operated for nitrification and/or denitrification. *Water Science and Technology*, 1997, **35**(1): 81–86.
- [33] 孔秀琴, 兰建伟, 何乐萍. 活性污泥培养及运行过程中的微生物指示作用. 郑州大学学报(工学版), 2006, **27**(1): 113–116.
- [34] Curds CR, Cockburn A. Protozoa in biological sewage-treatment processes--II. Protozoa as indicators in the activated-sludge process. *Water Research*, 1970, **4**(3): 237–249.
- [35] Al-Shahwani SM, Horan NJ. The use of protozoa to indicate changes in the performance of activated sludge plants. *Water Research*, 1991, **25**(6): 633–638.
- [36] 张 庆. 硝基苯甲酸类废水污泥驯化及其微生物群落结构研究. 西南农业大学硕士学位论文, 2004.

## 新辟栏目介绍

### 生物实验室

将原来“技术与方法”栏目改为“生物实验室”。刊发的文章主要侧重于从实验室科研人员的角度, 深度报道使用某种仪器设备进行实验后所获得的最新结果, 交流由此衍生出的新技术新方法。希望此栏目能够成为架起实验室与实验室, 以及实验室与仪器生产商之间联系的桥梁。