

化工环保与安全

污水处理厂排水对受纳水体着生生物膜的影响

赵琛¹, 路达¹, 柏耀辉^{1,2}, 胡万超^{1,2}, 李明¹

(1. 河北大学 化学与环境科学学院, 河北 保定 071000; 2. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085)

摘要: 为了研究污水处理厂排水对受纳河流的影响, 选取了北京市3个污水处理厂进行调查。采用高通量测序分析技术对受纳水体上下游以及污水处理厂排水的着生生物膜微生物群落构成以及水样理化指标进行了分析研究。结果表明: 3个污水处理厂的排水TN、TP、TOC等指标高于受纳水体上游; 污水处理厂排水以及相对应水体的上下游着生生物膜微生物的组成有显著性差异; TN、TP等是导致受纳水体上下游微生物组成不同的主要原因。

关键词: 高通量测序; 着生生物膜; 生物群落

中图分类号: X703.1; X522 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-5979 (2018) 12-0145-04

Influence of effluent from sewage treatment plants on the biofilm of receiving rivers

Zhao Chen¹, Lu Da¹, Bo Yaohui^{1,2}, Hu Wanchao^{1,2}, Li Ming¹

(1. College of Chemistry and Environmental Science, Hebei University, Baoding 071000, China; 2. Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

Abstract: In order to study the effect of sewage treatment plant drainage on the receiving rivers, three sewage treatment plants were selected in Beijing for investigation. High throughput sequencing technique was used for searching the microbial community composition changes from acceptance river's upstream to downstream. The physical and chemical indicators of the receiving river were monitored. The results show that TN, TP and TOC of the three wastewater treatment plants are higher than those of the upstream of the receiving water. There are significant differences in the composition of biofilm microorganisms between the upstream and downstream of the receiving rivers. TN, TP are the main reasons for the different microbial community composition in the upper and lower reaches of the receiving rivers.

Key words: high throughput sequencing; biofilm; microbial community

0 引言

随着城市人口的不断增长以及对日化用品需求量的不断增加, 越来越多的有毒有害的污染物由于不能被传统生物法有效地处理而直接排放到了受纳水体中。同时, 污水处理厂的排水是自然水体的重要补充来源, 但是污水处理厂的排水中污染物会引起一系列的环境问题, 如干扰河流生物的内分泌系统以对河流生物的毒害作用等。有研究表明, 污水处理厂排水会造成鱼类生理及解剖学上的差异, 而这些差异会进一步影响到鱼类生殖、发育、

鱼卵的成活率。目前, 对污水处理厂工艺处理效果以及出水水质的评价大多只是针对污染物的去除率及有限的污染物指标。然而在这些评价体系中, 对排水生态效应评估的研究很少, 这也是当前研究和工程应用中的一个共性问题。近年来, 随着高通量测序技术的不断发展, 其在自然环境微生物生态群落研究中的应用越来越广泛, 这也为本文的研究提供了良好的技术支持。本文研究的生态效应目标受体——着生生物(又称固着生物、周丛生物)在自然水体净化过程中发挥着重要的作用, 同时由于着生生物中还有细菌、真菌等微生物, 而微生物也同

责任编辑: 牛冬静 DOI: 10.19286/j.cnki.cci.2018.12.044

作者简介: 赵琛(1994—), 男, 河北邢台人, 在读硕士研究生。

通讯作者: 路达(1972—), 男, 河南长葛人, E-mail: hdluda@163.com。

引用格式: 赵琛, 路达, 柏耀辉, 等. 污水处理厂排水对受纳水体着生生物膜的影响[J]. 煤炭与化工, 2018, 41(12): 145-148.

样能反映水质情况，因此越来越多的研究注重对整个生物膜的研究。此外着生生物群落系统是长时间水力作用形成的生物膜，相比浮游生物群落（瞬时）更具代表性。

本文以3个不同的污水处理厂[高碑店污水处理厂（简称为GBD），小红门污水处理厂（简称为XHM）以及清河污水处理厂（简称为QH）]为污水处理厂排水研究目标，通过采集对应的污水处理厂接纳水体——通惠河、凉水河、清河的着生生物膜及水样进行研究，以探讨污水处理厂排水对接纳河流造成的影响。

1 材料与方法

1.1 样品采集与处理

为了比较季节性的差异，分别于2017年12月、2018年3月对清水河、凉水河、通惠河进行水样及着生生物膜的采集。每条河流设置7个采样点：上游3个采样点，U0、U1、U2；出水口1个采样点E；下游3个采样点，D1、D2、D3。

水样按照标准方法进行采集，因受到实际情况的制约，生物膜采样点会有所减少。生物膜样品具体采集方法如下：首先用捞网采集相对应河流点位中的石头，放入无菌袋中标记并密封低温保存，回到实验室后，用无菌刮刀刮取石头上附着的生物膜存放于1.5 mL的无菌管中，贮存在-80℃冰箱中，以进行后续实验。

1.2 样品分析

1.2.1 水样物理化学性质分析

对接纳水体及污水处理厂排放口的基础理化指标进行监测分析，主要参考中华人民共和国国家标准及《水和废水监测分析方法（第三版）》。主要指标及方法见表1。

表1 物理化学指标测定方法及标准*
Table1 Determination methods and standards of physical chemical index

测试指标	测试方法
总氮	碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法 (HJ 636—2012)
总磷	钼酸铵分光光度法 (GB 11893- 89)
氨氮	纳氏试剂分光光度法 (HJ 535- 2009)
硝氮	紫外分光光度法
磷酸盐	钼酸铵分光光度法
总有机碳	干式氧化法

注：所有化学指标检测结果取3次检测结果的平均值

1.2.2 着生生物膜 DNA 提取与分析

提取生物膜 DNA 样品，方法按照 DNA 提取试

剂盒（RNeasy Power Soil DNA Elution kit）说明书进行，将提取好的 DNA 样品贮存于-80℃情况下进行保存。

所有样品的高通量测序委托华大基因（BGI）进行，然后参考 Pylro 等人的数据处理 pipeline 进行分析。

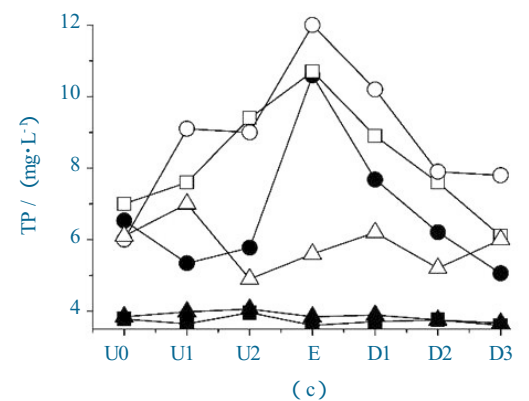
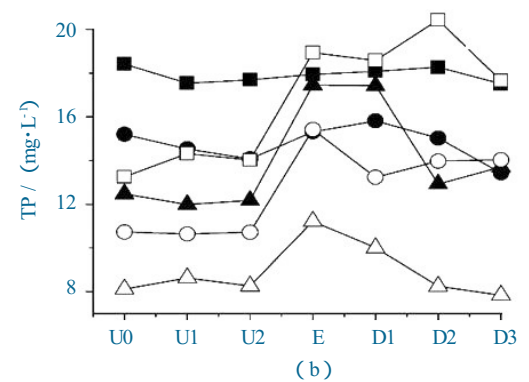
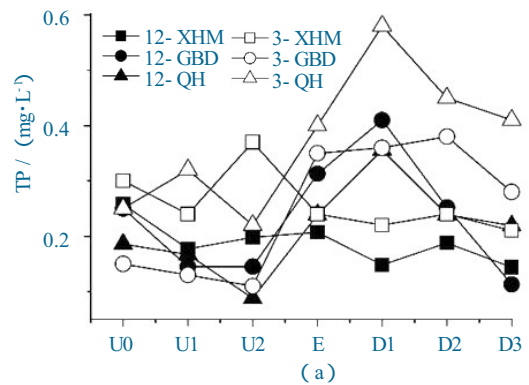
1.3 统计与分析

利用 Qiime、R 语言、OriginPro9 以及 Canoco4.5 对数据进行分析处理。

2 结果与分析

2.1 理化指标

为了对比接纳水体上下游及出水口点位水质理化指标的差异，用 Origin 软件进行绘图。不同接纳水体2次采样各点位主要理化指标如图1所示。



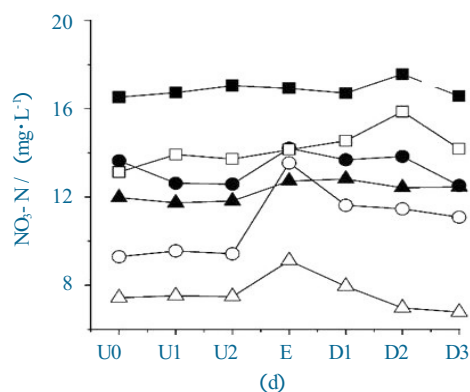


图 1 受纳水体 (XHM, QH, GBD) 各季节水质情况

Fig. 1 Water properties of XHM, GBD and QH in the two sampling periods

由图 1 可知，3 个污水处理厂排水的 TN、TP、TOC、NO₃-N 浓度大多数高于受纳水体上游点位，表明污水处理厂排水会导致受纳水体营养盐及有机物含量的升高，从而可能导致水体着生物膜的群落结构发生变化。

2.2 微生物群落组成及影响因素

为了研究不同受纳水体各点位着生物膜的细菌组成，采用高通量测序技术对着生物膜进行 16S 测序分析，并运用 QIIME 软件对各个样品的 β-多样性进行计算，通过主坐标分析 (PCoA) 利用 Bary-Curtis 距离矩阵来阐明样本间群落组成的差异，最后用 R 语言进行绘图。受纳水体各点位着生物膜群落组成如图 2 所示。

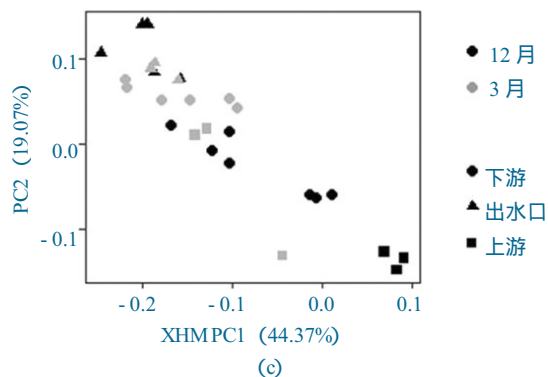
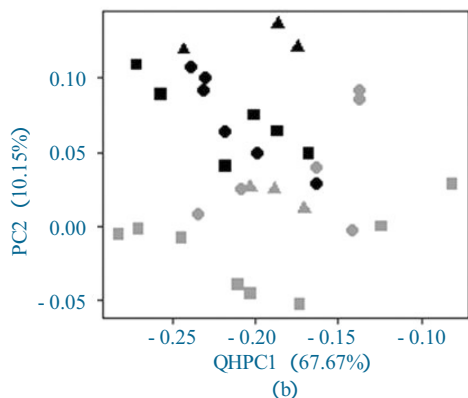
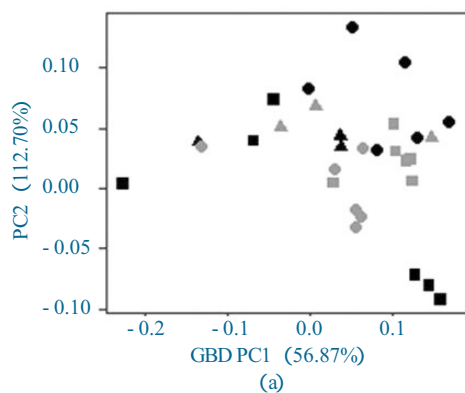


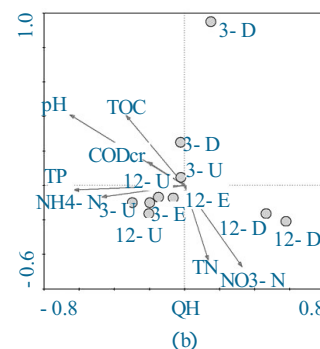
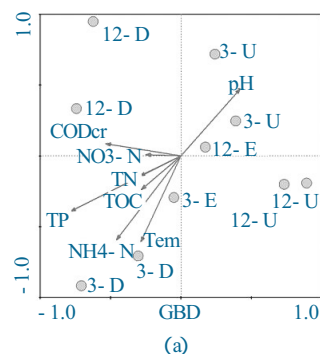
图 2 受纳水体各点位细菌组成主成分坐标分析

Fig. 2 Principal coordinate analysis of different samples in acceptance rivers

由图 2 可知，同一季节同一受纳水体的上下游及出水口点位的着生物膜群落组成有明显差异，表明污水处理厂的出水改变了受纳水体中着生物膜的群落组成。

为了进一步探究具体是哪些水质理化因素导致着生物膜群落结构发生改变，用 Canoco 4.5 对微生物群落组成与水质环境因子进行相关性分析，将每个点位的微生物 OUT 数据作为生物信息输入，最终冗余分析 (RDA)，分析结果如图 3 所示。

由图 3 可知：(1) 除了温度会导致不同样点群落组成的差异外，TP、pH 值以及 NH₄-N 是导致 GBD 受纳水体样品间群落组成差异的主要因素 (图 3a)；(2) pH 值、TOC 以及 NO₃-N 是导致 QH 受纳水体样品间群落组成差异的主要因素 (图 3b)。(3) pH 值、TN 以及 TP 是导致 XHM 受纳水体样品间群落组成差异的主要因素 (图 3c)。



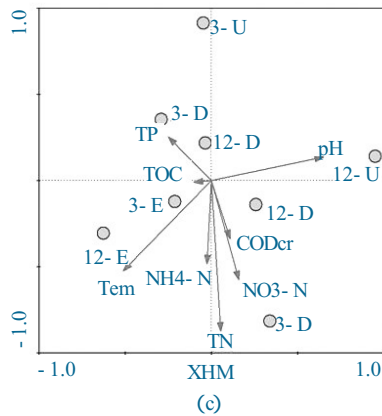


图3 微生物群落结构与环境变量 RDA分析结果

Fig. 3 Redundancy analysis (RDA) of microbial communities

3 结 语

此次研究所选的3个污水处理厂排水TN及TP等营养性指标均高于对应接纳水体上游,从而使得接纳水体下游营养性指标升高。同时这些营养性指

标的升高会明显改变接纳水体上下游着生生物膜群落的组成结构,进而影响着生生物膜在自然水体中的功能。

参考文献:

- [1] Sumpter John P. The ecotoxicology of hormonally active micropollutants [J]. *Water Sci Technol*, 2008, 57 (1): 125 - 130.
- [2] 张海珍, 陆光华. 污水处理厂排水中的环境雌激素对鱼影响的生物标志物研究[J]. *毒理学杂志*, 2009 (1): 78 - 81.
- [3] Eggen, Rik I L, Hollender, 等. Reducing the discharge of micropollutants in the aquatic environment: the benefits of upgrading wastewater treatment plants [J]. *Environ Sci Technol*, 2014, 48 (14): 7 683 - 7 689.
- [4] Liao, Kailingli, Bai Yaohui, Huo Yang, 等. Integrating microbial biomass, composition and function to discern the level of anthropogenic activity in a river ecosystem [J]. *Environment international*, 2018, 116: 147 - 155
- [5] Johansson CH, Janmar L, Backhaus T. Triclosan causes toxic effects to algae in marine biofilms, but does not inhibit the metabolic activity of marine biofilm bacteria. *Marine Pollution Bulletin*, 2014, 84 (1 - 2): 208 - 212.

(上接第141页)

4 结 语

分别开展了红宝石 $\nu_{\text{Al-O-Ruby}}$ 的漫反射红外光谱和漫反射二维红外光谱研究。实验发现: 在 $450 \text{ cm}^{-1} \sim 500 \text{ cm}^{-1}$ 的波数范围内, 红宝石 $\nu_{\text{Al-O-Ruby}}$ 红外吸收波数包括 $472 (\nu_{\text{Al-O-1-Ruby}})$ 、 $468 (\nu_{\text{Al-O-2-Ruby}})$ 、 $462 (\nu_{\text{Al-O-3-Ruby}})$, 而其红外吸收峰变化快慢的顺序为 $468 \text{ cm}^{-1} (\nu_{\text{Al-O-2-Ruby}}) > 472 \text{ cm}^{-1} (\nu_{\text{Al-O-1-Ruby}}) > 462 \text{ cm}^{-1} (\nu_{\text{Al-O-3-Ruby}})$; 在 $400 \sim 450 \text{ cm}^{-1}$ 的波数范围内, 红宝石 $\nu_{\text{Al-O-Ruby}}$ 红外吸收波数包括 $426 (\nu_{\text{Al-O-4-Ruby}})$ 、 $420 (\nu_{\text{Al-O-5-Ruby}})$ 、 $418 (\nu_{\text{Al-O-6-Ruby}})$ 、 $414 (\nu_{\text{Al-O-7-Ruby}})$ 、 $410 (\nu_{\text{Al-O-8-Ruby}})$ 和 $408 \text{ cm}^{-1} (\nu_{\text{Al-O-9-Ruby}})$, 而其红外吸收峰变化快慢顺序为 $418 \text{ cm}^{-1} (\nu_{\text{Al-O-6-Ruby}}) > 414 \text{ cm}^{-1} (\nu_{\text{Al-O-7-Ruby}}) > 420 \text{ cm}^{-1} (\nu_{\text{Al-O-5-Ruby}}) > 426 \text{ cm}^{-1} (\nu_{\text{Al-O-4-Ruby}}) > 410 \text{ cm}^{-1} (\nu_{\text{Al-O-8-Ruby}}) > 408 \text{ cm}^{-1} (\nu_{\text{Al-O-9-Ruby}})$ 。

参考文献:

- [1] 丁 竞, 李子明, 李水平, 等. 山东蓝宝石红外光谱分析及探讨[J]. *计量与测试技术*, 2011, 38 (7): 54 - 55.
- [2] 王双成, 韩素青, 吕冬生, 等. 石墨烯改性再生纤维素纤维制备及特性表征[J]. *成都纺织高等专科学校学报*, 2017, 34 (4): 8 - 11.
- [3] 汤德平. 福建明溪蓝宝石的红外光谱研究[J]. *宝石和宝石学*

杂志, 1999, 18 (4): 386 - 389.

- [4] 郭立鹤, 韩景仪, 罗红宇. 宝石的红外反射光谱及红外光谱鉴定系统[J]. *宝石矿物学杂志*, 2006, 25 (4): 349 - 356.
- [5] 元利剑, 袁心强, 曹妹曼. 宝石的红外反射光谱表征及其应用[J]. *宝石和宝石学杂志*, 2005, 7 (4): 21 - 25.
- [6] 翁诗甫. 傅里叶变换红外光谱分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010: 167 - 169.
- [7] 李 甜, 周二鹏, 于宏伟. 蓝宝石漫反射红外光谱的研究[J]. *煤炭与化工*, 2018, 41 (3): 9 - 15.
- [8] 王宗明, 何欣翔, 孙殿卿. 实用红外光谱学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1990: 290 - 293.
- [9] 刘子玮, 李 园, 刘 闪, 等. 棉纤维变温红外光谱研究[J]. *成都纺织高等专科学校学报*, 2017, 34 (4): 52 - 56.
- [10] 周向东, 陈迎春, 蒲泽佳, 等. 锦纶用耐久性阻燃剂的合成与应用[J]. *成都纺织高等专科学校学报*, 2016, 33 (1): 37 - 41.
- [11] 韩卫荣, 王 欣, 王志刚, 等. 聚丙烯 C-H 弯曲振动二维红外光谱研究[J]. *包装工程*, 2016, (21): 7 - 10.
- [12] 于宏伟, 赵婷婷, 杨晓雪, 等. 杨絮纤维及柳絮纤维的三级红外光谱研究[J]. *成都纺织高等专科学校学报*, 2017, 34 (3): 17 - 24.
- [13] Mackawa H, Ballano G, Toniolo C, et al. Linear and two-dimensional infrared spectroscopic study of the amide and amide modes in fully extended peptide chains[J]. *J Phys Chem B*, 2011, 115 (18): 5 168 - 5 182.
- [14] Noda I. Two-dimensional infrared (2D IR) spectroscopy: theory and applications[J]. *Applied Spectroscopy*, 1990, 44 (4): 550 - 551.