

复合生态处理系统颗粒构成差异及其效应分析^{*}

彭剑峰¹ 王宝贞¹ 夏圣骥¹ 王 琳²

(1 哈尔滨工业大学市政环境工程学院, 哈尔滨, 150090; 2 中国海洋大学, 青岛, 266003)

摘 要 研究了复合生态处理系统中不同单元颗粒物的构成差异, 探讨了颗粒构成对其去除机制、粒径分布和去除规律的影响。结果表明, 水环境对系统后端颗粒构成产生的影响明显高于对系统前端的影响。颗粒构成的差异决定无机颗粒沉降, 有机颗粒分解、藻类被捕食、颗粒截滤依次在颗粒物的去除中占主导地位。不同水环境中, 颗粒构成和去除机制的差异导致不同单元颗粒物去除规律的相应变化。

关键词 颗粒物, 复合生态处理系统, 颗粒构成, 藻类。

颗粒物在污水中普遍存在, 它除了本身是一种重要的污染源外, 还能作为载体与许多痕量有毒污染物相互作用, 并在很大程度上决定着污染物在环境中的迁移转化和循环归宿^[1]。因此, 如何有效去除水体中的悬浮颗粒物逐渐成为水处理中关注的对象。

生态塘系统作为一种有效的水处理工艺, 广泛应用于城市污水处理, 但这种系统对颗粒物的去除效果受环境条件的影响较大^[2]。尤其在夏季, 生态塘系统出水中常含有大量的浮游藻类, 这些有机颗粒不仅加剧了受纳水体溶解氧的变化幅度以及有毒蓝藻的含量, 还经常导致“水华”的产生。目前, 国外普遍采用在生态塘后串联过滤单元(如砂滤系统)的工艺来控制出水颗粒物的含量, 而在生态塘后串联特定的生态处理单元(浮萍塘或芦苇湿地等), 通过生物种群及水环境的相互影响来控制水体颗粒物是当前生态塘处理工艺研究的热点^[3]。但对这类复合生态系统处理水体颗粒物的研究仅局限于不同生态单元对颗粒物的去除效果。

本文通过考察不同水环境中颗粒物的构成变化, 进一步探讨颗粒物构成对粒径分布及其去除规律的影响。

1 实验部分

实验地点选择在生态单元形式多样的山东省某复合生态塘湿地处理系统。该系统流程为: 兼性塘(HFPS)→曝气塘(APs)→曝气养鱼塘(AFPs)→鱼塘(FPs)→水生植物塘(HPs)→芦苇湿地(CWs)。

实验从 2001 年到 2003 年, 每周采集水样 2—3 次。样品首先用不锈钢筛($\phi 2\text{mm}$)过滤以去除较大的浮叶植物。溶解性水样使用 Whatman GF/F 0.70 μm 滤膜过滤。

颗粒物的测定使用 Millipore APFF 0.70 μm 滤膜过滤。悬浮物和有机物的测定方法按照 APHA (1995) 的标准。叶绿素 a (Chl-a) 的测定采用分光光度法。水体颗粒物的粒径分布采用 HIA C-Model 9703 激光颗粒计数器进行测定。有机颗粒的含量用总 COD_C 与溶解性 COD_C 的差值表示。

2 结果与讨论

2.1 有机颗粒的归趋分析

在氧化塘和湿地生态处理系统中, 各单元无机颗粒的含量相对稳定, 颗粒物的季节差异主要来源于有机颗粒组成和含量的周期变化^[4]。因而首先对有机颗粒在各处理单元中的归趋进行了分析。

不同单元中有机颗粒的季节变化如图 1 所示。从图 1 可见, 不同季节各单元中有机颗粒的变化规

^{*}“全国第七届水处理化学大会暨学术研讨会”论文(2004 年 9 月 15 日)。

^{*}黑龙江省重大科技攻关项目(GA02C201-01)。

律明显不同：兼性塘对有机颗粒的去除效率高且全年稳定；曝气养鱼塘在春夏季（3—9月）对有机颗粒去除的贡献为负，但冬季（12月）对有机颗粒去除的贡献却远高于其它单元；芦苇湿地在3月对有机颗粒去除的贡献也为负，但随芦苇的生长，芦苇湿地对有机颗粒去除的贡献也逐渐增长。

这种单元间有机颗粒去除的季节差异，主要源于各种有机颗粒不同的归趋模式。在生态处理系统中，有机颗粒的来源途径主要有污水携带、藻类、细菌、沉积物再悬浮和生物残渣，其中各个途径对水体有机颗粒的贡献受单元水环境和位置的影响明显^[5]。例如，在系统前端的兼性塘中有机颗粒主要来源于污水携带，这些有机颗粒易于分解和沉降，即使低温期在厌氧且水力条件稳定的兼性塘中也能有效去除，因而兼性塘全年对有机颗粒去除的贡献较高。而在曝气养鱼塘中，实验显示，3—9月有机颗粒与Chl-a的相关系数较高，该单元有机颗粒的含量主要受浮游藻类的控制。因而在春季藻类生长旺盛期，曝气养鱼塘对有机颗粒的负去除贡献最大，随着浮游动物的迅速生长以及藻类的大量被捕食，有机颗粒的负去除贡献相应降低；12月曝气养鱼塘中污水携带的有机颗粒在水体颗粒物中占主导地位，较长的水力停留时间是该单元有机颗粒去除率远高于其它单元的主要原因。此外，受鱼塘中浮游动物和芦苇湿地中芦苇季节变化的影响，这两个单元有机颗粒的去除规律也周期性变化。

2.2 颗粒物主导去除机制的变化

各种颗粒归趋方式的差异导致各处理单元颗粒的主导去除机制在不同季节遵循不同的变化规律，通过对有机颗粒在颗粒物和有机物中的比重分析（图2），可以在一定程度上了解颗粒物的主导去除机制变化。从图2可以看出，各单元颗粒主导去除机制明显不同。从兼性塘到曝气塘，SCOD/TSS逐渐升高，由于这两个单元中水体颗粒物主要由原污水中所携带的微粒组成，因此，无机颗粒沉降是颗粒的主导去除机制，SCOD/COD逐渐降低说明有机物的去除以悬浮有机颗粒的去除为主。曝气养鱼塘SCOD/TSS下降而SCOD/COD升高，说明有机颗粒的分解/沉降是颗粒物的主导去除机制，且溶解性有机物的去除速率大于颗粒有机物的去除速率。鱼塘中SCOD/TSS和SCOD/COD都降低，这是由于浮游动物对藻类的捕食造成的。在水生植物塘和芦苇湿地中，颗粒通过浮萍根系以及芦苇的截滤去除，其中无机颗粒去除效果较高，因而SCOD/COD减小，SCOD/TSS增高。

此外，从图2还可以看出，高温期（H）和低温期（L）各单元有机颗粒的变化规律接近，但高温期有机颗粒的变化幅度明显高于低温期。这说明在不同季节各单元颗粒的主导去除机制保持稳定，但去除机制受温度影响明显。

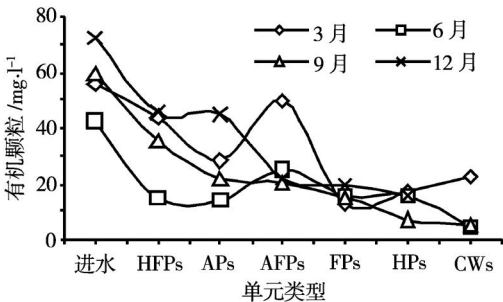


图 1 有机颗粒在不同单元的季节差异

Fig. 1 Seasonal variations of organic particles in different units

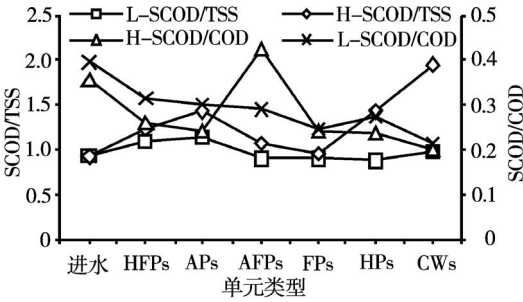


图 2 不同单元 SCOD/TSS, SCOD/COD 比较

Fig. 2 Comparison of SCOD/TSS, SCOD/COD in different units

2.3 颗粒构成对粒径分布的影响

Krishnappan的研究显示，颗粒的粒径分布不仅反应了水体中颗粒组成的变化，同时粒径分布对颗粒的去除速率也有影响^[6]。为了了解各单元颗粒构成差异对粒径分布的影响，实验中对水环境差异较大的兼性塘、曝气养鱼塘和芦苇湿地的颗粒进行粒径分析，实验结果见图3。从图3可见，兼性塘的粒径分布受温度的影响较小；而在曝气养鱼塘和芦苇湿地，高温期大粒径颗粒（>20μm）所占的比重明显高于低温期的比重。此外，从图3还可以看出，高温期系统前端的兼性塘中大粒径颗粒所占的比重明显高于系统后端的曝气养鱼塘和芦苇湿地。

以上现象可以解释为季节变化对各单元颗粒组成的影响不同。兼性塘中的颗粒所含藻类少，受季

节影响小，出水颗粒都以不易沉降的小颗粒为主；而曝气养鱼塘和芦苇湿地中的藻类数量和种类在不同温期差异明显。低温期曝气养鱼塘和芦苇湿地中藻类的数量少，并且以粒径较小的微囊藻（*Microcystis*）和隐杆藻（*Aphanothece*）为优势种群；而高温期这两个单元中藻类种类和数量增长明显，尤其是粒径相对较大的针杆藻（*Synedra*）、新月藻（*Closterium*）和颤藻（*Oscillatoria*）等藻类增长较快，这就导致曝气养鱼塘和芦苇湿地中粒径较大的颗粒比重增加。因而高温期曝气养鱼塘和芦苇湿地中颗粒的粒径分布接近，并且芦苇湿地中大粒径颗粒所占比重高于兼性塘的大颗粒比重。

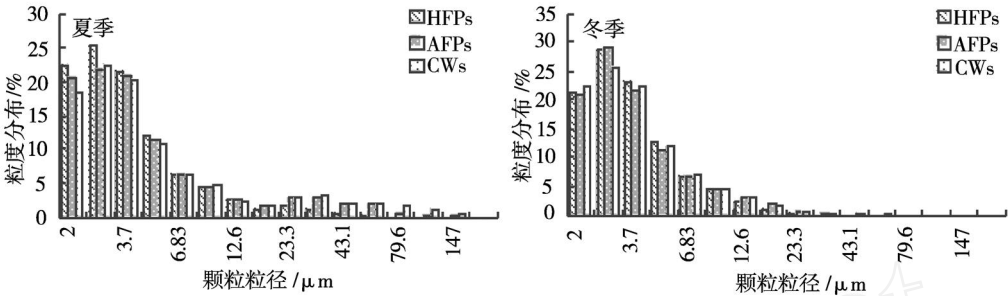


图 3 不同季节各单元颗粒粒径分布的比较

Fig. 3 Comparison of seasonal particle size distributions in different units

2.4 颗粒构成对颗粒物去除规律的影响

不同类型颗粒的去除机制存在差异，随单元间颗粒构成的季节变化，各单元颗粒的去除也相应发生周期性改变。从图 4 可以看出，不同季节各单元对颗粒的去除能力明显不同。1—3 月及 11—12 月，颗粒主要集中在兼性塘中去除，其余单元对颗粒的去除贡献较小。而 4—10 月颗粒在各单元的去除规律相对复杂：其中 3—9 月曝气养鱼塘对颗粒的去除贡献为负，5—8 月鱼塘和芦苇湿地对颗粒物的去除贡献较大。

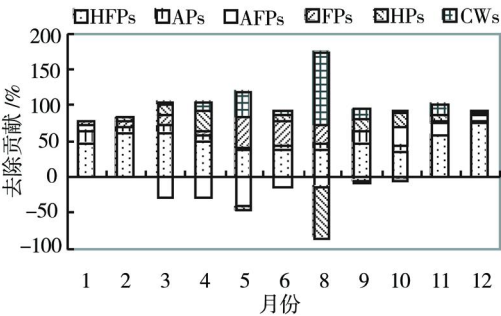


图 4 各单元对颗粒物的月均去除贡献

Fig. 4 Monthly removal contribution for particle of different units

这可以用颗粒构成及去除机制的季节差异来解释。污水中的无机颗粒以及一部分有机颗粒，密度较小，沉降快，在水力条件平稳、水体较深的兼性塘中较易通过沉降和分解而被去除。此外，这两种方式受温度的影响小，在低温期也可保持较快的去除效率。3—9 月曝气养鱼塘的负去除贡献主要来源于浮游藻类的生长，春季是藻类数量最高的时期，这就可以解释 3—5 月曝气养鱼塘的负去除贡献最大。夏季芦苇湿地和鱼塘较高的去除贡献，主要来源于浮游动物对藻类的捕食，以及芦苇根系对悬浮藻类的截滤作用。综上可知，颗粒组成和水环境相互作用导致随水环境的季节性变化，各单元中颗粒的去除规律也相应发生周期性改变。

3 结 论

- (1) 水环境对生态处理系统后端有机颗粒的影响明显大于对系统前端的影响，这导致系统前端颗粒的构成、粒径分布和去除规律相对稳定，而系统后端颗粒的构成和粒径分布随季节而周期性改变。
- (2) 颗粒构成的改变导致不同单元颗粒的主导去除机制不同。在该生态处理系统中，无机颗粒沉降、有机颗粒分解、藻类被捕食，浮萍和芦苇根系的截滤作用依次在颗粒的去除过程中占主导地位。
- (3) 颗粒构成影响各单元对颗粒的去除效果。其中低温期兼性塘对颗粒的去除贡献较大；高温期颗粒的去除规律复杂，鱼塘和芦苇湿地的去除贡献相对较高。

参 考 文 献

[1] 汤鸿霄, 钱易, 文湘华. 水体颗粒物和难降解有机物的特性与控制技术原理 (M). 北京 中国环境科学出版社, 2000

[2] Christian R S, Sabine W, Amulf M, A Combined System of Lagoon and Constructed Wetland for an Effective Wastewater Treatment [J]. *Wat Res* , 2003, 37 (9) 2035—2042

[3] Peter V D S, Asher B, Joost V B et al , Post-Treatment of UASB Reactor Effluent in an Integrated Duckweed and Stabilization Pond System [J]. *Wat Res* , 1999, 33 (3) 615—620

[4] Alam M G M, Jahan N, Thalib L et al , Effects of Environmental Factors on the Seasonally Change of Phytoplankton Populations in a Closed Freshwater pond [J]. *Environment International*, 2001, 27 (5) 363—371

[5] Xiao Y L, Jian J Z, Joseph H W L, Modelling Particle Size Distribution Dynamics in Marine Waters [J]. *Wat Res* , 2004, 38 1305—1317

[6] Krishnappan B G, Marsalek J, Watt W E, Seasonal Size Distributions of Suspended Solids in a Stormwater Management Pond [J]. *Wat Sci Tech* , 1999, 39 (2) 127—134

VARIATIONS IN PARTICULATE COMPOSITION
AND ITS EFFECT ANALYSIS IN MULTI-STAGES
ECOLOGICAL TREATMENT SYSTEM

PENG Jian-feng¹ WANG Bao-zhen¹ XIA Sheng-ji¹ WANG Lin²

(1 School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin, 150090;
2 Ocean University of China, Qingdao, 266003)

ABSTRACT

The variations in particulate composition in different units of a multi - stages ecological treatment system have been investigated in this study. The effects of these variations on removal mechanisms, size distribution and removal rules of different water conditions are studied. Results of this study indicate that the effect of water conditions on particulate composition of the hind part of the system is more sensitive than that of the front. Inorganic particulates deposition, organic particulates decomposition, phytoplankton being eaten and filtration in turn are the major removal mechanisms of different units with the variations of particulate composition. The variations of particulate compositions and their removal mechanisms lead to the particle in different units take on different removal rules.

Keywords: particle, multi-stage ecological treatment system, particulate composition, hydrophytes