

# 应用不同材料过滤去除海河蓝藻水华研究

周绪申<sup>1</sup>, 李慧峰<sup>2</sup>, 罗阳<sup>1</sup>, 林超<sup>1</sup>, 张左立<sup>3</sup>, 赵立虹<sup>3</sup>

(1.水利部海河水利委员会, 天津 300170; 2.天津大学建筑工程学院, 天津 300072;  
3.天津碧波环境资源开发有限公司, 天津 300170)

**摘要:** 于2012年7月海河蓝藻爆发期间,对水体藻类群落组成进行了分析,对生活中常见材料过滤除藻能力进行了研究。结果表明海河蓝藻爆发期间共发现藻类5门42种,藻类细胞密度达 $1.89 \times 10^8$ 个/L,其中蓝藻门的铜绿微囊藻为本次藻类爆发的优势种类。所选过滤材料处理藻细胞密度和叶绿素a效率超过80%的有3种,分别为:脱脂棉、快速滤纸和腈纶。蓝藻去除效率超过80%的材料有5种,其中脱脂棉的处理效果最佳,处理效率达96.02%,群体和体积较大蓝藻大部分能被过滤去除。过滤材料过滤藻类速率由快到慢依次为:海绵4层>植物秸秆纤维>尼龙擦洗布>纱布16层>腈纶>25号浮游生物网>细铜丝网>脱脂棉>无纺布4层>快速滤纸。

**关键词:** 藻类爆发; 浮游植物; 海河; 过滤除藻

中图分类号: X2

文献标识码: B

文章编号: 1674-4829(2012)06-0005-04

## Study on Removal of Blue-green Algae from Haihe River by Several Filter Materials

ZHOU Xu-shen<sup>1</sup>, LI Hui-feng<sup>2</sup>, LUO Yang<sup>1</sup>, LIN Chao<sup>1</sup>, ZHANG Zuo-li<sup>3</sup>, ZHAO Li-hong<sup>3</sup>

(1. Haihe River Water Conservancy Committee, Ministry of Water Resource, Tianjin 300170, China; 2. School of Civil Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China; 3. Tianjin Bibo Environmental Resources Development Co., Ltd., Tianjin 300170, China)

**Abstract:** Algae bloom broke out in Haihe River in July 2012. Algal community was analyzed during that time and several common materials were experimented on algae removal by direct filtration apparatus. The results showed that 42 species belonging to 5 phyta of phytoplankton were identified. Algae cell density was up to  $1.89 \times 10^8$  / L and *Microcystis aeruginosa* belonging to Cyanophyta was dominant species. The algae removal efficiency (cell density and chlorophyll a) of cotton, rapid filter paper and acrylic was over 80%. The blue-green algae removal efficiency of five kinds of materials was over 80%, in which cotton was the best filter (96.02%). Most of the blue-green algae with group or larger volume were easier to be filtered by the materials. The rate of filtering algae from fast to slow is as follows: sponge > plant stalk fiber > nylon scrubbing cloth > gauze > Acrylic > # 25 plankton net > copper mesh > cotton > non-woven fabric > Quick filter paper.

**Key words:** Algal blooms; Phytoplankton; Haihe River; Filter algacide

## 0 引言

近年来,由于自然和人为因素的影响,排入河湖的氮、磷等营养物质不断增加,致水体富营养化状况加剧<sup>[1]</sup>,进而导致各地水体蓝藻频繁爆发,由此引发的水质及环境问题引起社会各界的广泛关注<sup>[2-3]</sup>。藻华的爆发对水生生态可造成灾害性的破坏,水源地

藻华的爆发更会直接威胁饮用水安全<sup>[4]</sup>,不少学者对蓝藻爆发从不同角度进行了深入的研究与探讨,同时针对目前我国对蓝藻爆发的处理技术有一些研究<sup>[5-6]</sup>,主要有以下几种方法,物理方法,如打捞、曝气、隔离法;化学方法,如高锰酸钾氧化剂、石灰石、黏土、灭藻剂等<sup>[7]</sup>;生物除藻法,如放养鲢鱼<sup>[8]</sup>;生物-生态修复技术,如利用人工湿地、生物浮岛技术。上述方法各有利弊,物理、化学方法适合应急处置蓝藻爆发,物理除藻耗费较多的人力物力,投加药剂对水体会产生相应污染,生物除藻法产生负面影响较小,但效果缓慢,周期较长,不利于应急除藻<sup>[9]</sup>。

海河不仅具排涝泄洪、景观等重要作用,同时也

收稿日期:2012-10-10

基金项目:水利部公益性行业科研专项经费项目(201101018);国家自然科学基金合作专项(S2013GR0244);新世纪优秀人才支持计划基金项目(NCET-09-0586)。

作者简介:周绪申(1982-),男,山东莒县人,硕士,工程师,从事水质分析评价工作。

通讯作者:林超, E-mail:linchao@hwcc.gov.cn.

为天津市的备用饮用水源地。2012 年 6 月中旬至 7 月初,海河天津市内从解放桥至海津大桥段水面上出现大面积水华爆发,几乎将水面完全覆盖,且有腥臭味,浮沫和水面漂浮死鱼现象。研究小组对水华爆发严重的水域进行了藻类样品采集和分析,主要从应急处理藻类的物理过滤方法为切入点,应用日常生活中不同材质的过滤材料进行水体中藻类处理能力实验,为除藻的应急技术的研发提供一些理论依据,既为寻求经济、适用、便捷的过滤处置材料,也为将来本区域应对措施和处置蓝藻爆发技术做铺垫。

表 1 滤料性能参数

过滤材料	快速滤纸	细铜丝网	海绵	脱脂棉	腈纶	无纺布	植物秸秆纤维	纱布	25 号浮游生物网	尼龙擦洗布
孔径/ $\mu\text{m}$	80 ~ 120	1.42 ~ 1.97	100 ~ 1 600	-	26.3 ~ 33.7	12.4 ~ 18.7	-	28.3 ~ 35.5	59 ~ 71	-

## 1.2 实验方法

藻类定性样品用 25 号浮游生物网,在水下 0.15 m 处作“∞”字型拖曳 3 min,入样品瓶后加 3 mL 福尔马林固定;藻类定量样品则取 1 L 水样于样品瓶中,加 15 mL 鲁哥氏液固定,带回实验室静置后分析。藻类种类鉴定以显微镜测进行,定性样品分类主要依据形态学分类方法,种类鉴定参照文献<sup>[11-12]</sup>;定量样品带回实验室静置后浓缩,以浮游生物计数框对其进行计数,根据浓缩倍数计算藻细胞密度;过滤除藻前后藻细胞密度均以镜检计数方法测定。叶绿素 a 用 BBE Fluoro Probe 分析仪测定。

过滤实验装置主要为自行设计,外加工而成。原水水箱及贮水箱采用 PE 塑料材质,2 个水箱尺寸相同,长×宽×高为 0.5 m×0.5 m×0.5 m,水箱容积为 0.125 m<sup>3</sup>。过滤柱采用公称直径为 200 mm PE 塑料管,高度为 30 cm。滤料填充高度为 5 cm,溢流口至进水口距离为 5 cm,实验流程见图 1。

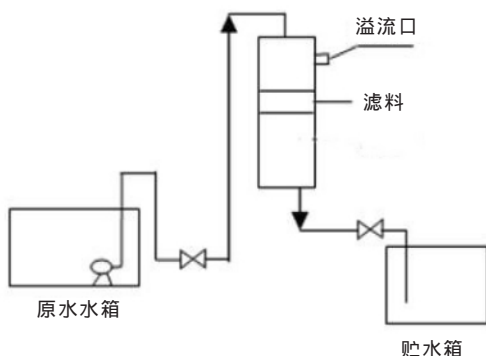


图 1 实验流程装置

## 1 实验材料和方法

### 1.1 实验材料

试验原水于 2012 年 7 月 3 日上午取自海河蓝藻爆发地刘庄浮桥至光华桥段河水,在实验室进行过滤除藻实验及其它参数分析。

本实验滤料采用实验室常用及日常生活中常见的材料,包括快速滤纸、孔径 45  $\mu\text{m}$  细铜丝网、海绵、脱脂棉、腈纶、无纺布、植物秸秆纤维、纱布、25 号浮游生物网、尼龙擦洗布,过滤材料孔径主要参照材料说明和显微镜测量,过滤材料孔径见表 1。

水样置于实验装置中的原水水箱,以蠕动泵将水样注入过滤柱,在实验过程中,保持蠕动泵的流量相同,同时使过滤柱的水位维持在溢流口处,使实验过程中过滤柱的水头保持一致,测定贮水箱中藻类去除程度。

## 2 实验结果

### 2.1 原水藻类组成分析

通过藻类种类鉴定,海河共发现藻类 5 门 42 种。其中蓝藻门 13 种,占调查种类数的 30.95%,绿藻门 22 种,占调查种类的 52.38%,硅藻门 4 种,甲藻门和隐藻门种类较少,分别为 2 种和 1 种。藻类细胞密度为  $1.89 \times 10^8$  个/L,各门藻类细胞密度组成比例见图 2。其中蓝藻门细胞密度为  $1.72 \times 10^8$  个/L,占藻类细胞密度的 91.27%,为海河藻类细胞密度的优势类群,其次为绿藻门和硅藻门,细胞密度分别为  $9.65 \times 10^6$  个/L 和  $5.38 \times 10^6$  个/L,分别占藻类细胞

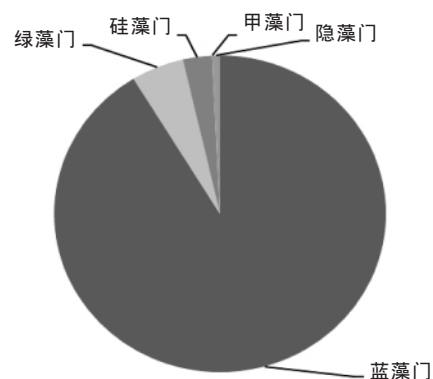


图 2 海河藻类各门组成比例

密度的 5.11% 和 2.85%，甲藻门和隐藻门细胞密度较小，均未超过藻类细胞密度的 1%。铜绿微囊藻细胞密度为  $1.34 \times 10^8$  个/L，占总细胞密度 70.86%，为本次藻类爆发的优势种类，其次为巨颤藻和螺旋颤藻，细胞密度分别为  $1.65 \times 10^7$  个/L 和  $9 \times 10^6$  个/L，分别占细胞密度的 8.75% 和 4.77%，其余种类均未超过细胞密度的 5%。

## 2.2 藻类过滤效率分析

过滤除藻细胞密度和叶绿素 a 效率见表 2。

表 2 不同材料过滤除藻处理效率比对

过滤材料	细胞密度		叶绿素 a	
	处理后 $/10^6(\text{个} \cdot \text{L}^{-1})$	处理效率 /%	处理后 $/(\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	处理效率 /%
快速滤纸	19.88	89.5	24.9	86.9
细铜丝网	53.48	71.7	62.15	67.4
海绵 4 层	46.2	75.6	63.22	66.9
脱脂棉	1.33	99.3	20.21	89.4
腈纶	26.88	85.8	37.96	80.1
无纺布 4 层	41.44	78.1	59.43	68.8
植物秸秆纤维	93.8	50.4	105.98	44.4
纱布 16 层	87.64	53.6	98.33	48.4
25 号浮游生物网	135.66	28.2	146.6	23.1
尼龙擦洗布	51.52	72.7	62.1	67.4
海河原水数值	189	-	190.74	-

由表 2 可知，从藻细胞密度处理效率来看，所选的 10 种材料的处理藻细胞密度效率为 28.2% ~ 99.3%，超过 80% 的有 3 种，其中脱脂棉的处理效果最佳，达到了 99.3%，其次为快速滤纸，处理效率为 89.5%，再次为腈纶，处理效率为 85.8%。处理效率在 70% ~ 80% 的有细铜丝网、海绵 4 层、无纺布 4 层、尼龙擦洗布，此 4 种过滤材料处理效果也较好。其余过滤材料藻细胞密度处理效率均未超过 55%，处理效果最差的为 25 号浮游生物网，处理效率仅为 28.2%。

从叶绿素 a 处理效率来看，所选的 10 种材料叶绿素 a 处理效率为 23.1% ~ 89.4%，超过 80% 的有 3 种，其中脱脂棉的处理效果最佳，达到了 89.4%，其次为快速滤纸，处理效率为 86.9%，再次为腈纶，处理效率为 80.1%。处理效率在 60% ~ 70% 的有细铜丝网、海绵 4 层、无纺布 4 层、尼龙擦洗布，其余过滤材料对叶绿素 a 处理效率均未超过 50%，处理效果最差的为 25 号浮游生物网，处理效率仅为 23.1%。

从藻细胞密度与叶绿素 a 处理效果对比来看，各种材料处理 2 种数值效果均相吻合。藻细胞密度处理效率数值均稍大于叶绿素 a 数值，原因可能为各类藻细胞大小及所含叶绿素 a 不同所致。一般蓝

藻细胞较其它门类藻较小，蓝藻细胞密度在藻细胞密度中占有优势，过滤处理中滤掉的蓝藻较多，而叶绿素 a 相对减少数值较小。过滤对蓝藻细胞密度处理效率见表 3。

表 3 不同材料过滤除蓝藻效率比对

过滤材料	处理后/ $10^6(\text{个} \cdot \text{L}^{-1})$	处理效率/%
快速滤纸	17.46	89.85
细铜丝网	43.32	74.81
海绵 4 层	31.68	81.58
脱脂棉	6.84	96.02
腈纶	17.58	89.77
无纺布 4 层	26.51	84.59
植物秸秆纤维	80.81	53.01
纱布 16 层	74.61	56.62
25 号浮游生物网	120.25	30.08
尼龙擦洗布 2 层	39.82	76.84
海河原水数值	172	-

由表 3 可知，所选 10 种材料对蓝藻处理效率为 30.08% ~ 96.02%，处理效率超过 80% 的材料有 5 种，分别为脱脂棉、快速滤纸、腈纶、无纺布 4 层和海绵 4 层。其中脱脂棉的处理效果最佳，达到了 96.02%，其次为快速滤纸，处理效率为 89.85%，再次为腈纶，处理效率为 89.77%。处理效率在 70% ~ 80% 的有细铜丝网、尼龙擦洗布，其余过滤材料处理效率均未超过 60%，处理效果最差的为 25 号浮游生物网，处理效率仅为 30.08%。各种材料去除蓝藻效果与总藻细胞密度和叶绿素 a 去除效果数值相吻合，蓝藻细胞密度去除效率数值稍大于藻细胞密度处理效率数值和叶绿素 a 处理效率数值。

过滤除藻效率较高的材料能去除大部分的蓝藻，过滤后的出水浊度大大降低，实现了蓝藻应急处理要求。蓝藻如铜绿微囊藻、巨颤藻、螺旋颤藻、阿氏项圈藻、假鱼腥藻、弯头尖头藻、密胞欧氏藻等种类均为群体存在，且群体个体体积较大，大部分不能穿过过滤材料。小型色球藻、平裂藻等蓝藻种类体积较小，在过滤后的滤液中有发现。其它类群藻类如绿藻、隐藻、甲藻等个体或群体体积较大，大部分能被过滤除去。同时这与过滤材料孔径有一定的相关性，孔径越小，蓝藻处理效果相对较高。

## 2.3 藻类过滤速率分析

将海河原水通过所选的 10 种过滤材料用大号漏斗过滤，过滤同体积对比过滤所用时间，速率由快至慢依次为：海绵 4 层 > 植物秸秆纤维 > 尼龙擦洗布 > 纱布 16 层 > 腈纶 > 25 号浮游生物网 > 细铜丝网 > 脱脂棉 > 无纺布 4 层 > 快速滤纸。由上述实验可见材

料构成结构及材质为影响过滤速率的主要原因。根据材料结构不同过滤可分为:多孔材料(绵过)、致密材料(快速滤纸)、网孔状材料(尼龙擦洗布、纱布、腈纶、浮游生物网、粗丝状材料(植物秸秆纤维)、细铜丝网)、细丝状材料(脱脂棉、无纺布),过滤速率由快到慢依次为:多孔材料>粗丝状材料>网孔状材料>细丝状材料>致密材料,前4种过滤材料过滤速率较快,致密材料快速滤纸过滤速率最慢,过滤一段时间后空隙基本被堵,过滤速率很小。根据材料来源及组成成分不同过滤材料可分为:植物体加工材料(植物秸秆纤维、纱布、脱脂棉、滤纸)、化纤材料(海绵、尼龙擦洗布、腈纶、浮游生物网、无纺布)和金属材料(细铜丝网),总体来看化纤材料与金属材料过滤速率大于植物体加工材料。

### 3 主要结论与讨论

#### 3.1 主要结论

(1)共发现藻类5门42种,蓝藻门和绿藻门种类较多。藻类细胞密度为 $1.89 \times 10^8$ 个/L,蓝藻门细胞密度为 $1.72 \times 10^8$ 个/L,铜绿微囊藻为本次藻类爆发的优势种类,细胞密度为 $1.34 \times 10^8$ 个/L。

(2)所选过滤材料的处理藻细胞密度和叶绿素a效率超过80%的有3种,分别为:脱脂棉、快速滤纸和腈纶,其次为:细铜丝网、海绵4层、无纺布4层、尼龙擦洗布。

(3)蓝藻去除效率超过80%的材料有5种,分别为:脱脂棉、快速滤纸、腈纶、无纺布4层和海绵4层,其中脱脂棉的处理效果最佳,达到了96.02%。群体和体积较大蓝藻大部分能被过滤去除,个体或群体体积较小者,过滤去除效果稍差。

(4)过滤材料过滤藻类速率由快至慢依次为:海绵4层>植物秸秆纤维>尼龙擦洗布>纱布16层>腈纶>25号浮游生物网>细铜丝网>脱脂棉>无纺布4层>快速滤纸。

#### 3.2 讨论

本实验作为应用不同材料过滤去除蓝藻水华的初步研究,为大规模实施过滤去除河湖水华做技术铺垫。过滤除藻实验过程中,过滤材料边缘与过滤装置间隙可能会渗漏部分藻水,从而影响实验结果,此问题有待于我们继续研究解决。各种过滤材料中脱脂棉、植物秸秆纤维等材料较易获取,且成本低廉,但藻体较难从滤料中去除,不利于后续重复操作。网孔状过滤材料如细铜丝、腈纶等材料虽然在过滤过程中效果稍次于脱脂棉,但过滤后藻体较易与滤料

中分离,且能重复利用,在实际野外除藻作业中适用于大规模机械除藻。因此在实际操作中可考虑运用更细密的网孔材料,并运用多层材料进行过滤,因此应主要针对此类材料进行应用研究。

海河蓝藻爆发原因一方面为夏季气温高、光照强度高,此乃非人为可控的自然因素,另一方面由于海河水体富营养化所致。夏季华北地区进入多雨季节,天津市老城区排水管网未进行改造,大量的污水经雨水冲刷汇流后进入海河,使氮和磷营养盐浓度急剧升高,这些给蓝藻生长提供了适宜的环境,此外海河水体高营养盐及底泥多年沉积营养盐状况,以及海河水体缺乏频繁流动,基本处于停滞状态<sup>[13]</sup>,也是造成蓝藻暴发的重要因素。

#### [参考文献]

- [1] 李 森,丁贤荣,潘 进,等. 基于主成分分析的太湖水质时空分布特征研究[J]. 环境科技, 2012, 25(3): 44 - 47.
- [2] 张晓晴, 陈求稳. 太湖水质时空特性及其与蓝藻水华的关系[J]. 湖泊科学, 2011, 23(3): 339 - 340.
- [3] 贾晓会, 施定基, 史绵红, 等. 巢湖蓝藻水华形成原因探索及“优势种光合假说”[J]. 生态学报, 2011, 31(11): 2 968 - 2 977.
- [4] JEROEN CJM, BERGH V D, PAULO ALD, et al. Exotic harmful algae in marine ecosystems: an integrated biological-economic-legal analysis of impacts and policies [J]. Marine Policy, 2002, 26(1):59 - 74.
- [5] 袁志宇, 赵斐然. 水体富营养化及生物学控制[J]. 中国农村水利水电, 2008(3): 57 - 59.
- [6] 张木兰, 潘 纲, 陈 灏, 等. 改性沉积物除藻对水质改善的效果研究[J]. 环境科学学报, 2007, 27(1): 13 - 17.
- [7] 张景明, 刘 敏, 赵永刚, 等. 灭藻剂研究之JS灭藻剂[J].环境科技, 2008, 21(2): 9 - 10, 13.
- [8] 范振强, 崔福义, 马 华, 等. 放养鲢鱼预处理高藻原水的除藻效能及特性[J]. 环境科学, 2008, 29(3): 632 - 637.
- [9] 黄 茁, 曹小欢. 大型水库局部藻华控制技术探讨[J]. 人民长江, 2009, 40(7): 27 - 29.
- [10] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 4版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [11] JOHN D, ROBERT G. Freshwater algae of North America: ecology and classification[M]. Boston Amsterdam: Academic Press, 2003.
- [12] 胡鸿钧, 魏印心. 中国淡水藻类—系统、分类及生态[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [13] 叶上扬, 喻国良, 庞红犁. 太湖蓝藻成因分析与清淤方法探讨[J]. 水资源保护, 2012, 28(2): 30 - 33.

(责任编辑:李秋红)