

某水厂水源水及不同阶段处理水藻密度的调查

龙文芳¹, 宋飞², 杨建军¹, 于德娥¹

摘要: [目的] 了解海口某水厂水源水及不同处理阶段水的藻密度, 及其与水质理化、感官指标的相关性, 为集中式供水藻类预防及控制提供依据。[方法] 于 2013 年 4—5 月, 对海口市某水厂水源水藻密度、pH、温度、硝酸盐氮、氨氮、正磷酸盐、浑浊度和色度进行检测, 同期检测该厂不同处理阶段(集水槽和滤后)水质藻密度, 计算藻类去除率。对上述指标进行 Pearson 相关分析。[结果] 该水厂水源水的藻密度为 $(5.47 \pm 1.69) \times 10^6$ 个/L、浑浊度为 (7.33 ± 0.23) NTU、色度为 (18.24 ± 0.22) 度, 氨氮为 (0.16 ± 0.04) mg/L, 硝酸盐氮为 (0.46 ± 0.13) mg/L, 正磷酸盐为 (0.02 ± 0.01) mg/L, pH 为 7.48, 温度为 26.8°C。集水槽和滤后水藻类密度分别为 $(1.15 \pm 0.95) \times 10^6$ 个/L 和 $(0.81 \pm 0.06) \times 10^6$ 个/L, 出厂水藻密度为 1.10×10^5 个/L。水处理过程中去除率分别为: 藻密度 85.2%、浑浊度 83.2%、色度 75.4%。源水藻密度与色度、温度成正相关($P < 0.05$), 与正磷酸盐含量呈负相关性($P < 0.05$)。蓝藻门藻密度与硝酸盐氮含量呈正相关($P < 0.05$)。[结论] 该水厂水源水藻密度较高, 并与色度、温度呈正相关, 蓝藻密度与硝酸盐氮呈正相关, 需关注硝酸盐氮污染对有毒藻的促生长作用。

关键词: 集中式供水; 藻类密度; 感观指标; 硝酸盐氮; 正磷酸盐

Algae Densities in Source Water and Water at Different Treatment Processes of a Water Plant LONG Wen-fang¹, SONG Fei², YANG Jian-jun¹, YU De-e¹ (1.School of Public Health, Hainan Medical College, Hainan 571101, China; 2.Haikou Veolia Water Co., Ltd, Hainan 571101, China) · The authors declare they have no actual or potential competing financial interests.

Abstract: [Objective] To examine algae densities and their associations with selected physiochemical and sensory indicators in source water and water samples at different treatment processes, and to provide basis for control and prevention of algae pollution in centralized water supply. [Methods] Algae density, pH, temperature, nitrate nitrogen, ammonia nitrogen, orthophosphate, turbidity, and chromaticity in source water were measured, and the algae densities in water at two treatment processes (water collecting sump and after filtration) were also measured to calculate the removal rates of various pollutants in a water treatment plant from April to May 2013. Pearson correlation analyses were performed. [Results] The selected indicators evaluated for the source water were $(5.47 \pm 1.69) \times 10^6$ /L for algae density, (7.33 ± 0.23) NTU for turbidity, 18.24 ± 0.22 for chromaticity, (0.16 ± 0.04) mg/L for ammonia nitrogen, (0.46 ± 0.13) mg/L for nitrate nitrogen, (0.02 ± 0.01) mg/L for orthophosphate, 7.48 for pH, and 26.8°C for temperature. The algae density in the water collecting sump, the filtrated water, and the finished water was $(1.15 \pm 0.95) \times 10^6$ /L, $(0.81 \pm 0.06) \times 10^6$ /L, and 1.10×10^5 /L, respectively. The removal rates were 85.2% for algae density, 83.2% for turbidity, and 75.4% for chromaticity, respectively. The algae density in source water was positively associated with chromaticity and temperature ($P < 0.05$), and negatively with orthophosphate ($P < 0.05$). The density of cyanophyceae and nitrate nitrogen were positively associated ($P < 0.05$). [Conclusion] The algae density is high in the source water of the selected water plant, and is positively associated with chromaticity and temperature. Moreover, the density of cyanophyceae and nitrate nitrogen is also positively correlated. Effects of nitrate nitrogen pollution on the growth of toxic algae should be a concern.

Key Words: centralized water supply; density of algae; sensory indicator; nitrate nitrogen; orthophosphate

富营养化导致的水体藻类污染已成为一个全球问题, 水源水藻类的污染不仅影响给水处理的效率, 而且因水中藻毒素超标而威胁公众安全。藻类的去除是给水处理的一大难题, 但各地区水厂由于藻的种类、数量及源水其他指标的差异, 藻类的

去除效率差异较大。饮用水标准中对藻毒素有限值, 但属于非常规检测指标, 其检测方法较繁琐、频率一般半年 1 次。通过显微计数方法检测藻类, 具有技术简便的优点, 可了解藻种类型及季节分布。目前, 针对饮用水源藻密度, 尤其是不同藻种与相关理化指标进行相关性探讨及对集中式供水的藻密度去除研究较少。海南地处热带, 常年较高的气温及光照适于藻类生长, 本项研究拟对海口地区某自来水厂水源水和处理过程中藻类及相关指标进行观测, 旨在了解海口地区水厂水源水中的藻种组成及去除状况, 探究源水藻类数量和相关指标的相关关系, 为有毒藻种的防控及去除提供依据。

DOI: 10.13213/j.cnki.jeom.2014.0089

[基金资助] 海南省自然科学基金(编号: 813200)

[作者简介] 龙文芳(1974—), 女, 硕士, 副教授; 研究方向: 水体及饮用水卫生与健康; E-mail: hnsea2013@126.com

[作者单位] 1. 海南医学院公共卫生学院, 海南 571101; 2. 海口市威立雅水务有限公司, 海南 571101

1 材料与方法

1.1 对象

选取海口市某以水库水为水源的集中式供水厂的水源水及处理过程中混凝后的集水槽水及滤后水为调查对象。

1.2 仪器及试剂

光学显微镜(CX31奥林巴斯,日本),浮游生物计数框(CCPL,北京普力特),光电比浊计(BT-WZT-200A,北京精诚华泰),pH计(PHS-3CW,上海)、分析纯铂钴标准比色试剂(中诺泰安,北京)、微量进样器(100 μL)、有机玻璃采水器(WB-PM,北京普利特),鲁哥试剂(分析纯自配)等。

1.3 主要检测指标

以水处理流程中的氨氮、pH、温度、藻密度、水源水的藻密度及浊度、色度、硝酸盐氮、正磷酸盐、余氯等为主要检测指标。

1.4 检测方法

1.4.1 采样 选取向海口市集中式供水的水库,于2013年4—5月,每星期采集1次水样,共8次。源水的采样点在水厂入水渠中线,布设分布均匀的3个采样断面,于每断面采集水面下约0.5 m处的水样,将其混匀成空间混合水样;除源水外,实验采集的水样还来自水厂的不同处理阶段水,包括混凝沉淀后流入集水槽水和过滤后的滤后水。每种水样均采集2份平行混合水样,共16份水样。水样采集后即加1.5%鲁哥氏液固定。藻密度于当天固定并48 h内分析,NO₃⁻、PO₄³⁻、浊度、色度均为采样当天分析。

1.4.2 藻密度测定 将水样于沉淀瓶中静置沉淀,然后用虹吸管小心吸走上清液,并转移至容量瓶并定容至标线。取浮游生物计数框用微量进样器加100 μL充分摇匀的悬浊液,在高倍显微油镜下进行藻类形态观测。根据文献计算原水样品中藻细胞数^[1]。计数50个方格不同藻种的数量,N=S/πr²×V₁/v×n/A×1000/V₀计算藻密度,并取所有格的不同藻种的计数均值进行种类构成计算。式中:S:计数框面积,mm²;r:400倍放大视野半径,mm;V₁:样品浓缩后定容体积,mL;v:计数框容积,mL;n:每片计数框各视野藻数总和,个;A:计数的总视野数,个;V₀:样品浓缩前体积,mL;N:每升样品中藻细胞数。藻种的鉴定方法:在光学显微镜下,对藻材料采用临时制片进行观察,细胞的体积由测微目镜作为标准,观测藻细胞形态、结构,并依据藻细胞大小及鞭毛、色素体的有无、表面平整情况、群体或个体胶被形态和群体中细胞个数等特征来确定藻种^[2]。

1.4.3 理化指标测定方法 由于各水厂处理流程存在差异,在处理流程中的藻含量主要与处理流程的效率有关,并与水质指标关系复杂。对源水检测指标较多,并探讨其相关因素:流程水仅检测浊度、色度。指标的测定方法为:光电比浊仪测定浊度,铂钴标准比色法测定色度,麝香草酚分光光度法测定硝酸盐,纳氏试剂分光光度法测定氨氮,钼锑抗分光光度法测定正磷酸盐。

1.4.4 统计学分析 采用SPSS 16.0软件进行统计分析。对服从正态分布的数据用描述性统计法($\bar{x} \pm s$);各阶段处理水与水源水比较采用t检验;正态分布的数据采用Pearson相关分析,检验水准为 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 一般情况

集中式供水单位位于海口市区,水源水引自水库水,经混凝、沉淀、过滤、消毒等完全处理后出厂。水厂使用消毒剂为二氧化氯(ClO₂),各项管理制度健全,根据《生活饮用水集中式供水单位卫生规范》的要求运行与管理,肉眼观察该水源浑浊度较小但有肉眼可见色度,在水源水池可闻到较浓土腥味,对比集中式供水源应该达到地表水水质(GB 3838—2002)的Ⅲ类标准。该水厂源水常规检测结果表明,所有基本项目中达标的项目有:浊度(2.87~11.2 NTU)、色度(7~30度)、氨氮(0.04~0.28 mg/L)、pH 7.48(6.87~8.65)、温度26.8(23.2~30.7)℃;超标的项目有:总氮(0.28~1.35 mg/L)、总磷(0~0.09 mg/L)。对照饮用水质标准(GB 5749—2006),尽管该源水浊度较低,但该出厂水浊度、色度即偶有超标,出厂水氨氮、硝酸盐氮及总磷合格;余氯量合格[ClO₂≥0.1 mg/L(<0.8 mg/L)],副产物ClO₂⁻及ClO₃⁻合格,半年一次检测的藻毒素合格。

2.2 水源水及处理水中藻种构成

本项研究从源水中检测到的主要藻类有绿藻、蓝藻、硅藻、甲藻等4个门类;优势藻为绿藻和硅藻,分别占63.07%及23.76%;绿藻中以衣藻及栅藻为主(表1)。在集水槽中检测到优势藻为硅藻,而滤后水中多为较小的硅藻。

表1 被调查水源地藻类分布基本情况

门	科	各科比例(%)	各门比例(%)
绿藻门	衣藻	29.74	63.07
	栅藻	17.72	
	团藻	11.11	
	盘星藻	2.87	
	鼓藻	0.22	
	空心藻	1.41	
硅藻门	圆筛藻	23.76	23.76
蓝藻门	念珠藻	3.82	8.72
	色球藻	4.9	
甲藻门	多甲藻	3.42	3.42
其他	—	1.03	1.03

2.3 藻密度、浊度及色度去除率

鉴于该水源及出厂水在多雨天气浊度及色度偶有超标,为探讨是否和藻密度过高有关,本研究重点对不同净化阶段水中的藻密度检测结果及感官指标进行分析,出厂水(滤后水经消毒处理)藻密度为 1.10×10^5 个/L。将集水槽水及滤后水与水源水进行比较,其藻密度、浑浊度、色度均有明显差异($P<0.05$)(表2)。

表2 处理过程中藻密度、浑浊度、色度去除率($n=16$)

种类	密度		浊度		色度	
	$\times 10^6$ 个/L	去除率(%)	NTU	去除率(%)	度	去除率(%)
水源水	5.47 ± 1.69	—	7.33 ± 0.23	—	18.24 ± 0.22	—
集水槽	1.15 ± 0.95*	79.0	2.20 ± 0.09*	70.0	5.67 ± 0.48	68.9
滤后水	0.81 ± 0.06*	85.2	1.23 ± 0.26*	83.2	4.48 ± 0.52*	75.4

[注]与水源水比较,*: $P<0.05$ 。

2.4 源水藻密度及其影响指标相关性分析

2.4.1 藻含量与感官及一般理化指标的相关分析 该水源水硝酸盐氮均值为(0.46 ± 0.13)mg/L, 氨氮(0.16 ± 0.04)mg/L, 正磷酸盐含量(0.02 ± 0.01)mg/L。经检验藻密度及各检测数据符合正态分布, 对与藻密度相关的影响因子的浊度、色度、氨氮、硝酸盐氮及正磷酸盐、pH、温度进行 Pearson 相关分析。结果表明, 藻含量与浑浊度、氨氮及硝酸盐氮含量、pH 无相关关系($P > 0.05$), 与色度、水温呈正相关($P < 0.05$), 与正磷酸盐呈负相关($P < 0.05$)(表 3)。

表 3 水源水藻类密度与各指标的相关性

指标	r	P
浑浊度	0.328	0.090
色度	0.519	0.034
硝酸盐氮	0.359	0.207
氨氮	0.436	0.064
正磷酸盐	-0.536	0.048
pH	0.354	0.052
水温	0.372	0.043

2.4.2 藻种含量的相关分析 各藻门藻类含量与正磷酸盐、氨氮均无相关性($P > 0.05$); 除蓝藻门与硝酸盐氮呈正相关外($P < 0.05$), 其他三门藻类均与硝酸盐氮含量无相关(表 4)。

表 4 水源水 4 种藻密度与硝酸盐氮、磷酸盐相关系数

指标	绿藻门	蓝藻门	硅藻门	甲藻门
正磷酸盐	-0.128	0.588	0.143	0.127
硝酸盐氮	0.230	0.724*	0.226	0.053
氨氮	-0.169	0.372	0.203	0.186

[注]*: $P < 0.05$ 。

3 讨论

本水厂的 4—5 月份源水藻密度为(5.47 ± 1.69) $\times 10^6$ 个/L, 主要藻种有 4 门 10 科, 水体中的优势藻种是绿藻门和硅藻门。滤后水的藻含量为 8.10×10^5 个/L。我国 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》及 GB 5749—2006《生活饮用水卫生标准》对藻密度尚未作规定。根据文献[3]提出的推导限值, 该滤后水经氯化消毒后能达到标准($1.52\sim9.12$) $\times 10^6$ 个/L。

经分析, 水源水藻密度与浊度无相关, 但与色度相关。该水厂源水浊度较低, 但去除率不高, 其原因有待于深入研究。

地表水及地下水无机氮超标尤其硝酸盐的污染日趋严重为我国乃至世界饮用水源面临的严重问题^[4]; 可溶性正磷酸盐为水体植物吸收及富营养化的主要形态^[5], 本研究对源水的氨氮及硝酸盐氮、正磷酸进行了分析。由于亚硝酸盐氮在水中含量很不稳定, 本研究对氨氮及硝酸盐氮进行了分析, 藻密度与氨氮、硝酸盐氮含量无关($P > 0.05$), 本结果的氨氮与藻密度无相关性的结果和郑丙辉等^[6]的报道一致, 但与该报道的“藻类密度与硝酸盐氮含量呈负相关”有差异^[6], 与武汉东湖水^[7]中甲藻密度与硝酸盐氮浓度呈显著正相关也不同。可能与不同

水体硝酸盐氮的含量及其对不同形态氮的利用差异有关。藻密度与 pH 无关($P > 0.05$), 与文献^[6]报道不同。

本次研究得出被调查水源水中藻含量与正磷酸盐含量呈负相关($P < 0.05$), 与文献^[4]的藻密度与正磷酸盐负相关一致。文献还表明所论及的藻类含量较高可能与其对正磷酸盐吸收能力较强有关。

已有的研究对不同藻种含量与氮磷相关性分析极为少见, 而藻种的差异是影响藻毒素严重程度的重要原因, 因此本研究对藻种的差异与硝酸盐氮、磷酸盐的相关性进行了探讨。本次调查水体中只有蓝藻门数量与硝酸盐氮含量呈正相关($r=0.724$, $P < 0.05$)。而蓝藻是目前最为常见的有毒藻种。因此, 尽管总体藻含量与硝酸盐氮含量无明显相关, 不能忽视其含量增加对蓝藻生长产生的促进效应。应严格控制硝酸盐氮的排入, 尤其是应控制农业生产过程中的化肥污染。

影响藻密度的因素较多, 但文献报道的结果不尽一致, 即使同一水体在不同季节影响藻含量的主要因素也存在差异^[5-8]。研究表明, 蓝藻密度在温度较低的季节, 与温度相关显著, 温度为其生长的限制因子; 在夏季受总磷及总氮的影响较显著; 而秋季水透明度的差异则可能造成光照的差异而引起藻密度的变化^[7]。透明度是地表水的检测指标, 给水处理中经常以浊度、色度或悬浮物等指标来指示。由于指标不尽相同, 不能详尽比较, 但可做参考。故对藻含量及不同藻种数量的相关因素的分析应当进一步探讨其季节、时间、水量特征, 并了解水源污染状况, 多种因素的交互作用亦应考虑。

后续的研究应关注不同季节藻类污染特征及其优势藻种类, 尤其是有毒藻种的生态毒理特性与相关的影响因素。

· 作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。

参考文献:

- [1] 高建峰, 翁天楚, 陈琼洁. 离心沉降法检测水中藻类技术[J]. 西南给排水, 2006, 28(2): 22-23.
- [2] 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.
- [3] 岳舜琳. 组合水处理工艺除藻效率探讨[J]. 净水技术, 2006, 25(2): 1-5.
- [4] SEBILLO M, MAYER B, NICOLARDOT B, et al. Long-term fate of nitrate fertilizer in agricultural soils[J]. Proc Natl Acad Sci U S A, 2013, 110(45): 18185-18189.
- [5] 钱善勤. 不同形态磷对水华蓝藻生长和藻类种间竞争的影响[D]. 南京: 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 2009.
- [6] 郑丙辉, 张佳磊, 王丽婧. 大宁河水华敏感期浮游植物与环境因子关系[J]. 环境科学, 2011, 32(3): 641-648.
- [7] 汤宏波, 胡圣, 胡征宇. 武汉东湖甲藻水华与环境因子的关系[J]. 湖泊科学, 2007, 19(6): 632-636.
- [8] 汪益斌, 由文辉, 胡雪芹, 等. 淀山湖蓝藻季节动态及其影响因子[J]. 生态学杂志, 2010, 29(12): 2477-2485.

(收稿日期: 2013-08-12)

(英文编辑: 汪源; 编辑: 洪琪; 校对: 徐新春)