



上海市供水管网中异养菌生长水平及相关指标变化

白晓慧¹, 张晓红¹, 张玲¹, 朱斌², 王海亮²

(1. 上海交通大学生命科学技术学院, 上海 200240; 2. 上海市自来水闵行有限公司, 上海 200237)

摘要: 以上海市某水厂实际供水管网为研究对象, 对其管网水中异养菌生长水平和其它相关物理、化学指标的变化规律进行了检测分析。结果表明, 在所研究供水管段中, 悬浮水中所含细菌主要是以有机物为营养的异养菌; 随着供水距离延长, 悬浮水中 BDOC 逐渐增加, 伴随异养菌数量和浊度呈增加趋势; 在研究管段中, 悬浮水中各形态氮的变化表明水中存在一定的亚硝化作用, 而且亚硝酸盐含量同异养菌具有相同的升高变化趋势; 管网水中总磷含量与异养菌数量也随供水距离延长同时增加。

关键词: 饮用水; 供水管网; 异养菌; 细菌再生

中图分类号: X172 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2006)11-2350-04

Growth of Heterotrophic Bacteria and Variation of Related Parameters in Water Distribution System in Shanghai

BAI Xiao-hui¹, ZHANG Xiao-hong¹, ZHANG Ling¹, ZHU Bin², WANG Hai-liang²

(1. School of Life Science and Biotechnology, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China; 2. Shanghai Waterworks Minhang Co. Ltd., Shanghai 200237, China)

Abstract: The growth of heterotrophic bacteria and the variation of some physical chemical parameters were studied in a full-scale water distribution system in Shanghai. The results showed that, in the water distribution system in Shanghai, heterotrophic bacteria fed on organics were the major population in pipe water. With the water supply distance extending, BDOC in water increased and correspondingly both the number of heterotrophic bacteria and turbidity increased. In addition, the changes of different forms of nitrogen showed the existence of nitrification in water, and the amount of nitrite increased along the number of heterotrophic bacteria. Our results also showed that the increase of total phosphorus correlated well with that of heterotrophic bacteria in pipe water.

Key words: drinking water; water distribution system; heterotrophic bacteria; bacteria regrowth

我国目前 75% 水源受到显著污染, 许多水厂不得不面临使用更多水质不符合要求的污染水作为生活饮用水水源, 而绝大多数水厂仍采用主要由混凝、沉淀(澄清)、过滤和消毒等组成的常规净水工艺系统。由于该工艺的局限性, 对溶解性有机物和氨氮去除率很低, 致使当前我国大部分城市地表水厂净化出水水质表现为水质生物不稳定^[1]。国外近年来的研究表明, 出厂水中所含有有机物是细菌在管网中滋生的必要条件, 当有机物含量高时, 即使保持很高的余氯, 给水管中仍可检出几十种细菌, 除少数铁细菌和硫细菌外, 主要是以有机物为基质的异养菌^[2~4]。我国有关管网中微生物生长研究主要集中在以 AOC 为主要指标的水质生物稳定性调查和各种试验工艺对 AOC 的去除效果及营养盐磷对 AOC 的影响等^[5], 对管网中微生物研究主要采用扫描电镜和传统培养法进行观察和培养鉴别^[6], 缺乏针对贫营养条件下微生物生长观察与相关理化指标变化之间的系统分析。

为了寻找控制管网水中和生物膜上异养菌生长的方法和途径, 本实验以上海市某水厂实际供水系统为研究对象, 对该水厂实际供水管网中异养菌生长水平及相关物理化学指标变化进行了研究。

1 材料与方法

通过测定供水系统中异养菌平板计数(HPC)、生物可降解溶解性有机碳(BDOC)、总磷(TP)、各形态氮、浊度的变化, 研究上海城市供水管网中异养菌生长水平及相关物理化学指标的变化。

经与相关自来水公司讨论研究后, 以水厂出厂点为管网起始点直到该公司一供水管网末端为供水管网研究管段。水样取样点位置根据实际消火栓位置间隔取水样, 各取样点位置与水厂出厂点距离及管径如表 1 所示, 所有水样从 2005-03-11~2005-06-

收稿日期: 2005-12-29; 修订日期: 2006-03-31

基金项目: 国家自然科学基金项目(50408012)

作者简介: 白晓慧(1969~), 男, 博士后, 副教授, 主要研究方向为水污染控制理论与技术, E-mail: xhbai@sjtu.edu.cn



09 每 2 周取样 1 次。

指标测定中, BDOC 以水样 20℃ 悬浮培养 3d 后的 BDOC 测定值(BDOC₃) 作为 28d 培养测定 BDOC 值(BDOC₂₈) 的 40% 计算^[7]; 异养菌平板计数采用 R2A 培养基(成分为: 酵母粉 0. 25g, 胰蛋白胨 0. 125g, 蛋白胨 0. 125g, 酪蛋白酸水解物 0. 25g, 葡萄糖 0. 25g, 可溶性淀粉 0. 25g, 磷酸氢二钾 0. 15g, 无水硫酸镁 0. 012g, 丙酮酸钠 0. 15g), 与 1mL 水样混合培养 7d, 培养温度 22℃, 进行平板菌落计数; TP 和各形态氮采用文献[9] 的方法, 浊度采用 HACH 在线或便携式测定仪。

表 1 管网中各取样点分布

Table 1 Location of the sampling sites in water distribution system		
采样点	与水厂距离/km	管径/mm
1	0	1 600
2	2	1 600
3	4. 5	1 600
4	6	1 400
5	7	1 400
6	8	800
7	12	800
8	13	800
9	13. 5	800
10	16. 5	800
11	21	800

2 结果与讨论

2.1 供水管网中异养菌存在水平及其生长变化规律

图 1 为研究管段中沿程异养菌数量水平及其生长变化规律。从图 1 可以看出, 管网悬浮水中异养菌浓度变化为 7~ 44 CFU·mL⁻¹, 而且随着供水距离的延长, 数量逐渐增加, 说明在研究管段中存在明显的细菌再生长现象, 且主要是以有机物为营养的异养菌的再生长, 这与当前国外和国内有关研究结论是一致的^[4, 6]。

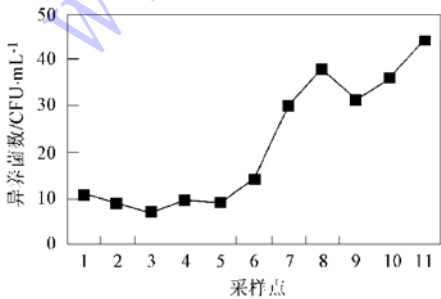


图 1 管网水中异养菌浓度变化规律

Fig. 1 Variation of HPC in distribution system

2.2 供水管网中异养菌生长与有机物含量相关性分析

BDOC 是 DOC 中可被生物降解的部分, 包括有机物中被异养细菌无机化的部分和细菌合成细菌体(同化作用)的部分, 是细菌合成代谢和分解代谢对有机物消耗的总和。在管网中存在可生物降解有机物时, 那些残存的细菌可获得营养并重新生长繁殖, 导致用户水质变坏。图 2 为研究管段管网中有机物 BDOC 含量及其与管网中悬浮生长的异养菌对应关系。可以看出两者表现出相同的变化趋势。随着水中 BDOC 含量增高, 水质生物不稳定性逐渐增大, 管网中的异养菌数量也明显呈增高趋势。Joret 研究认为 BDOC< 0. 1 mg/L 时大肠杆菌不能在水中生长; Piriou 等人通过动态模型计算出管网中 BDOC 低于 0. 2~ 0. 25 mg/L 时能达到水质生物稳定^[2]; Laurent 等人通过 SANCHO 模型计算出 BDOC< 0. 15 mg/L 时异养细菌在水中不能生长; Patrick 等人的研究结果表明, 地表水处理厂出口端的 BDOC 水平低于 0. 25 mg/L 可以降低细菌再生潜能^[3]。本次研究中, 无论是原水、水厂处理出水以及管网水, 都无法达到这样低的 BDOC 浓度, 所以管网中的细菌再生长是不可避免的。

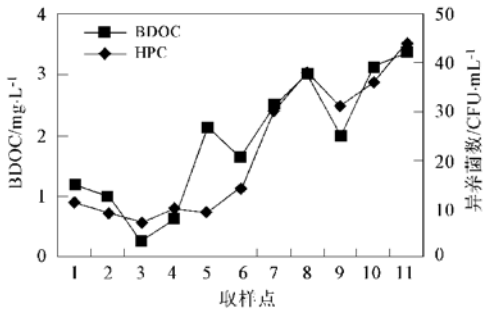


图 2 管网水中异养菌含量与 BDOC 浓度变化规律

Fig. 2 Variation of HPC and BDOC in distribution system

2.3 供水管网中浊度与异养菌生长水平相关性分析

图 3 为研究管段中浊度和异养菌数量随取样位置或管网沿程的变化规律。如图 3 所示, 在管网沿程, 随供水距离延长, 管网水中浊度和异养菌数量都呈增高趋势, 两者之间具有很好的相关性。国外相关研究也证明, 水中浊度有时可间接作为微生物指标, 通过控制水中浊度, 可有效控制水中微生物的含量。关于管网水中浊度升高, 有研究认为, 当出厂水中含有一定量的有机物, 细菌将附着管网管壁生长形成生物膜, 诱发管壁腐蚀和结垢。生物膜的老化脱落会引起用户水质恶化, 色度和浊度上升^[4]。当然配水



管网中浊度的变化还与管道属性和水力工况的共同作用有关。

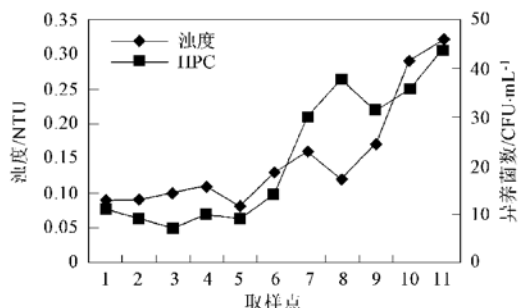


图3 管网水中异养菌含量与浊度变化规律

Fig. 3 Variation of HPC and turbidity
in water distribution system

2.4 供水管网中各形态氮的变化规律

由于该水厂采用氯氨消毒,而氯氨消毒时引入的游离氨可使其作为生长基质增加水质生物不稳定性并促进管网中氨氧化菌(AOB)生长繁殖。当AOB生长和分解时,可以产生亚硝酸盐和有机物,进一步支持硝化细菌(NO₂⁻)和异养菌的生长^[10,11]。本研究管网中各形态氮的变化及亚硝酸盐氮随HPC变化如图4.5。图4.5中,管网沿程氨氮和硝酸盐氮有少许下降,而亚硝酸盐氮有明显积累升高趋势,并与HPC有相同的变化规律。这一方面间接说明在管网中由于水中悬浮微生物和管壁生物膜的存在(通过对管壁生物膜上微生物的富集培养、分离纯化及扫描电镜观察,确实发现管网生物膜的存在)可能导致亚硝化作用,并使亚硝酸盐氮显著上升,另一方面也说明在氯氨消毒供水系统中,氨氧化菌(AOB)活性优于硝化细菌,并与异养菌具有相同的变化规律。

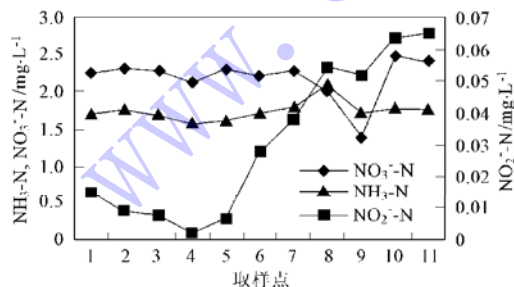


图4 管网水中不同形态氮变化规律

Fig. 4 Variation of various nitrogens in water distribution system

2.5 供水管网中异养菌含量与总磷含量相关性

如图6所示,异养菌数量与总磷浓度具有相同的变化趋势。在总磷浓度较高时异养菌也相对较高,

说明水中磷的含量增高时对异养菌生长具有一定的促进作用。当前有研究认为当管网水中总磷浓度低于5 μg/L时,可以保证水质具有生物稳定性^[5,6]。而如图6示,本实验中,最低测试点TP也远远超过5 μg/L,因此本研究发现无论管网悬浮水中,还是管壁生物膜上都检出异养菌或生物膜的存在,也说明所调查水质是生物不稳定的。由于磷是微生物生长所需要的最重要的营养元素,在特定情况下,当碳源和氮源充足而磷源缺乏时,磷会对微生物的生长起限制性作用。

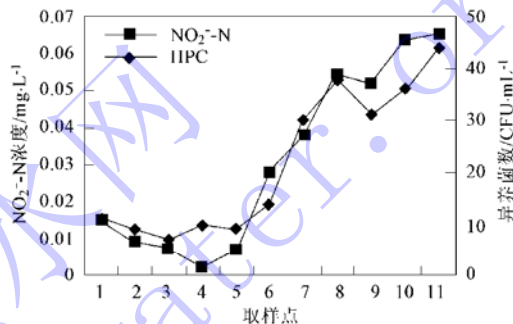


图5 管网水中亚硝酸盐浓度与异养菌含量变化规律

Fig. 5 Variation of NO₂⁻-N and HPC in
water distribution system

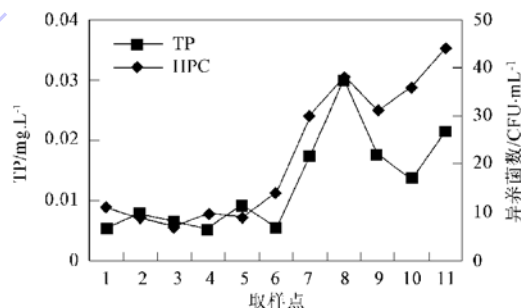


图6 管网水中TP浓度与异养菌含量变化规律

Fig. 6 Variation of TP and HPC in
water distribution system

3 结论

所研究上海城市供水管网管段中,悬浮水中所含细菌主要是以有机物为营养的异养菌,变化范围为7~44 CFU·mL⁻¹;随着供水距离的延长,悬浮水中BDOC逐渐增加,伴随着异养菌数量和浊度呈增加趋势;在研究管段中,悬浮水中各形态氮的变化表明水中存在一定的亚硝化作用,而且亚硝酸盐含量同异养菌具有相同的升高变化趋势;管网中总磷含量与异养菌数量也具有相同的变化趋势,并随供水



距离延长,两者同时增加。

参考文献:

- [1] 王丽花, 张晓健, 吴红伟, 等. 国内饮用水生物稳定性的调查研究[J]. 净水技术, 2005, **24**(3): 45~ 47.
- [2] Piriou P, Dukan S, Levi Y. Prevention of bacterial growth in drinking water distribution systems [J]. Wat. Sci. Tech., 1997, **35**(11-12): 283~ 287.
- [3] Patrick N, Pierre S, Raoul S. Bacterial dynamics in the drinking water distribution system of Brussels [J]. Water Research, 2001, **35**(3): 675~ 682.
- [4] Boualam M, Mathieu L, Fass S. Relationship between coliform culturability and organic matter in low nutritive waters [J]. Water Research, 2002, **36**(10): 2618~ 2626.
- [5] 桑军强, 余国忠, 王占生. 磷含量与饮用水生物稳定性的关系[J]. 中国环境科学, 2002, **22**(6): 534~ 536.
- [6] 赵新华, 吴卿, 尤作亮, 等. 配水管网饮用水微生物学水质研究[J]. 天津大学学报, 2005, **38**(5): 411~ 415.
- [7] 王占生, 刘文君. 微污染水源饮用水处理[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999. 239~ 241.
- [8] Wolfgang U, Gabriela S. Establishment of HPC (R2A) for regrowth control in non-chlorinated distribution systems [J]. International Journal of Food Microbiology, 2004, **92**(3): 317 ~ 325.
- [9] 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]. (第四版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [10] Regan J M, Harrington G W, Banbeau Helene, *et al.* Diversity of nitrifying bacteria in full-scale chloraminated distribution systems [J]. Water Research, 2003, **37**(1): 197~ 205.
- [11] Mari T T, Lipponena B, Merja H S, *et al.* Occurrence of nitrifying bacteria and nitrification in Finnish drinking water distribution systems [J]. Water Research, 2002, **36**(17): 4319 ~ 4329.

中国城镇水网
www.chinacitywater.org