

评价管网水中异养菌二次生长潜力的首要指标——AOC

李爽 张晓健

(清华大学环境科学与工程系, 北京 100084, 中国)

范晓军 刘慧敏 汪浩 叶慧娟

(澳门自来水有限公司)

摘要: 本文研究了澳门管网水中异养菌二次生长和水质生物稳定性指标的相关关系, 测定的主要项目包括: 异养菌计数 (HPC)、生物可同化有机碳 (AOC) 和生物可降解溶解性有机碳 (BDOC)。结果表明: (1) 澳门管网水基本属于生物稳定的饮用水。(2) 澳门管网沿途 AOC 和 BDOC 的变化不明显, 因此考察饮用水中生物稳定与否, 可以以出厂水作为控制点进行的研究。(3) 降水量和水温对于 AOC 的季节间变化有很大影响; 而原水水质、处理工艺和水温对 BDOC 的季节变化有很大影响。(4) 由于管网水中 AOC 和 HPC 有明显相关关系, 而 BDOC 与 HPC 间无明显相关关系, 所以建议将 AOC 作为评价管网水中异养菌二次生长潜力的首要指标参数。

关键词: 管网水, AOC, BDOC, 异养菌

1. 前言

合格的出厂水在管网中可能会发生细菌的再生长, 造成饮用水的二次污染, 影响水的嗅、味和色度, 并可能引发致病菌的繁殖。早在 1930 年, 美国 AWWA 供水委员会^[1]就报告了大肠杆菌二次生长的问题。从那时起的 70 年里, 水工业一直就控制异养菌二次生长问题展开了不懈努力。消毒剂的投加, 在一定程度上控制了管网中细菌的二次生长, 但是消毒并不能完全解决该问题。多数研究表明即使保持管网中一定余氯, 异养细菌在有机物存在下仍然会生长^{[2][3][4]}。

影响细菌在管网中再生长的因素很多, 除了上文提到的消毒剂余量外, 还包括营养基质、水力因素、温度、管材和管段腐蚀情况^{[5][6][7]}等。当一个管网系统相对固定时, 从实际角度来看, 人为能控制的因素主要是水中有机营养基质的浓度, 为此提出了生物稳定性的概念, 即饮用水中有机营养基质支持异养菌生长的潜力。饮用水生物稳定性高, 则表明水中细菌生长所需的有机营养基质少, 细菌不易在其中生长; 反之则容易发生细菌再生长问题。

生物稳定性的评价指标主要有两种: 生物可同化有机碳 (AOC) 和生物可降解溶解性有机碳 (DOC), AOC 方法由荷兰 VanDerkooij 教授首创^[8], 是在待测水样中接种特殊细菌, 通过平板计数, 测定其生长稳定期 (stationary phase) 细菌数, 再比较该细菌在标准待测物 (一般是乙酸) 中生长稳定期的细菌数而求得水中可生化降解有机物的浓度。BDOC 是由比利时人 Pierreservais 等人^[9]发明的方法, 以接种原水中的混合菌种在待测水样中的培养, 通过测定水样培养前后溶解性有机碳 (DOC) 的差值确定水中可生物降解有机物的值。这两类方法实质上都是生物检测 (Bioassay) 方法。AOC 是特定菌种转化为细菌生物量的那部分生物可降解有机物, 测定的是异养菌的生长潜力; 而 BDOC 则是水中能被多种土著异养菌降解的那部分有机物量, 测定的是水处理中能被生物氧化的潜在的有机碳。一般认为 AOC 应包含在 BDOC 之中, 但实际上二者之间没有一定的比例关系, 互相独立, 应用也各不相同。

目前美国等地应用 AOC 比较多, 而法国等地应用 BDOC 比较多, 但是尚未有明确的试验数据证明这两个指标哪个更适合于代表管网水中异养菌的二次生长情况。本文研究的目的是: (1) 评价澳门管网水的生物稳定性情况; (2) 分析管网水中 AOC 和 BDOC 的变化; (3) 研究 AOC、BDOC 与异养菌的相关关系, 选出相关性较好的参数作为控制管网水中细菌二次生长潜力的主要指标参数。

2. 试验条件和方法

2.1. 管网取样点的确定

2001年夏季和秋季对澳门的5个管网点进行了水质生物稳定性的监测。由于澳门管网较短而且主要为环形供水,所以沿主岛边缘选取了尽可能长的三个管网点来代表管网中水质的变化,分别为青州出厂水(99号,编号源自澳门自来水公司取水点,下同),管网中部点(109号)和管网末梢点(39号)。另外还选取了两个水质较差(主要根据细菌指标)的管网点进行测定,即路环水警分所(61号)和同善堂中学附属幼稚园(111号)。取水点如图1所示。

2.2. 试验仪器的准备

所有玻璃仪器都要保证无碳化。酸洗后浸泡过夜,然后分别用自来水、蒸馏水和高纯水润洗三次。通过550℃下加热2小时来去除痕量碳。采样瓶加入硫代硫酸钠中止余氯。

2.3. AOC测定方法

40mL水样经70℃30分钟水浴进行巴氏消毒,冷却至室温,同时接种P17和NOX,2—25℃下培养2—3天,再对培养液进行平板计数,计算水样中的AOC浓度。产率系数采用在澳门自来水公司坝得数据: $Y(P17) = 4.3 \times 10^6 \text{ cfu} / \mu\text{g}$, $Y(NOX) = 0.7 \times 10^6 \text{ cfu} / \mu\text{g}$ 。

2.4. BDOC测定方法

测定方法采用的是1986年Joret和Levi提出方法[10]的修改版,接种细菌是来自石英砂滤池的附着细菌。取100g活化后的石英砂放入锥形瓶中,加入300mL已中止余氯的待测水样,测定加砂前后的DOC差值(超过0.2mg/L的作废),并通过空白,空白加砂和标准加砂水样来进行质量控制,标准为2mg/L的乙酸钠水样。每天同一时间测定水样的DOC值,一般在5到10天内可降至最低,计算前后的DOC差值即为BDOC的数值。试验在室温下进行,注意避光。

2.5. TOC测定

采用岛津5000A TOC仪进行测定。

2.6. 异养菌(HPC)测定方法

使用铺平板技术,22—25℃下在RZA琼脂上培养7天计数。平行样3个。

3. 试验结果和分析

3.1. 澳门管网水中AOC的变化

图2所示为AOC在澳门管网水中6—10月份的变化情况。一般认为加氯情况下保持生物稳定的管网水AOC范围为50到100 $\mu\text{g} / \text{L}$,而澳门管网水中的AOC在夏季气温最高的时候也不超过70 $\mu\text{g} / \text{L}$,其他月份基本在30到50 $\mu\text{g} / \text{L}$ 之间,因此可以认为,澳门饮用水基本属于生物稳定的饮用水。

从出厂水到管网末梢之间,AOC变化幅度不大,最大不超过14 $\mu\text{g} / \text{L}$ 。这主要是因为澳门管网比较短,所以管网中的AOC变化不明显,因此考察饮用水中生物稳定与否,可以以出厂水作为控制点进行研究。

比较AOC季节间的变化规律,可通过图2的月平均值(见图中虚线)来看。六七八月份的平均值非常接近,九月份升高至56 $\mu\text{g} / \text{L}$,十月份则降至27 $\mu\text{g} / \text{L}$ 。管网水中AOC受到很多因素的影响,如原水水质、水温、降雨量、余氯量等多种因素的影响,下面就这些参数列表进行分析,见表1。

表1 澳门6—10月份水温、降雨量和出厂水余氯数据

月份	水温(℃)	降雨量(mm)	出厂水余氯(mg/L)
6	28.0	729.8	0.9
7	28.0	666.9	0.8
8	30.5	191.6	0.7
9	27.3	/	1.0

从表中可以看到,降雨量对于原水中 AOC 的含量有显著影响,由于 6、7 月份是澳门降水高峰期,导致原水中有机物浓度下降,后续月份(即 7、8 月份)水源水中 AOC 值逐渐降低,8 月份已降至 28.6 $\mu\text{g/L}$ 。不过由于 7、8 月份水温比较高,AOC 含量会相应上升,综合以上两种因素,这两个月份出厂水的 AOC 值仍然和 6 月份的非常接近。由于 8 月份降水较少,导致温度仍较高的 9 月份水源水 AOC 值偏高,继而出厂水中 AOC 值也很高,可以看出澳门自来水公司因此投加的消毒剂量增加,导致出厂水余氯达到最高 1.0 mg/L 。10 月份温度下降,水中 AOC 含量开始明显低于前几个月。

3.2. BDOC 在给水管网中的变化

图 3 所示为 BDOC 在澳门给水管网中 6—10 月份的变化情况。从出厂水到管网末梢之间,BDOC 变化幅度不大,一般均在 0.2 mg/L 以下。这主要是因为澳门管网比较短,所以管网中的 BDOC 变化不明显。

比较季节间的变化规律,可通过图 3 的月平均值来看。五六月持续上升至 0.47 mg/L ,八月份数据和七月份数据接近,九月份下降至 0.39 mg/L ,十月份上升至 0.60 g/L 。

分析管网水中 BDOC 的季节变化,可以看出原水水质、处理工艺和水温对其变化有很大影响。五六七月持续上升是由于气温上升所致;八月与七月持平原因是原水水质明显好于七月,抵消了温度影响;九月温度下降 BDOC 也随之下降,至于十月反常的增高可能是因为原水中 BDOC 较高,而且水厂工艺对它基本无去除所致。

3.3. 管网水中 HPC 与 TOC、BDOC 和 AOC 的相关性

图 4 所示为 HPC 和 TOC 的相关关系图,可以看出二者无任何相关关系。HPC 和 BDOC 也无明显的相关关系,如图 5 所示。可见 TOC 和 BDOC 都不适合用来指示管网水中异养菌的生长潜力。而澳门管网水中 HPC 和 AOC 却有明显的相关关系,如图 6 所示,其结果和 van derKooij 的研究结果[11]类似,如图 7 所示。

3.4. 评价管网水异养菌二次生长潜力的首要指标

AOC 和 BDOC 同为生物稳定性的指标,二者的定义不同,测定方法原理不同。究竟哪一个指标更适合用于评价管网水中异养菌二次生长的潜力,还没有定论。

笔者对澳门水源水进行膜过滤分析,发现二者所代表的有机物分子量也有明显差异[12],如图 8 和图 9 所示。由图 8 可以看出,AOC 随着分子量的增加没有明显的梯级效果,三种水源水在小于 1000, 3000, 10000, 100000 表观分子量之下的 AOC 含量变化均在方法精密度范围允许之内,彼此之间没有显著性差异。因此推测 AOC 主要与分子量小于 1000 的有机物相关,此结论与其他研究者[13]结论一致。由图 9 可以看出,分子量 10000 的超滤膜对 BDOC 的去除率低于 45%,分子量 1000 的超滤膜对其去除率则在 49—80%,这意味着 BDOC 不是仅仅主要与分子量小于 1000 的有机物相关,与 AOC 不同,在 1000—10000 之间存在着相当部分有机物与 BDOC 相关。

管网水中异养菌计数结果和 AOC 的相关关系较好,原因可能是因为其中异养菌利用的主要是低于 1000 道尔顿的小分子量有机物,对于高于 1000 道尔顿的有机物利用效率较低。另外,AOC 是采用特定细菌(P17 和 NOX)进行测定的,这两种细菌广泛存在于管网水中;而 BDOC 采用的是水源水中的土著混合菌种,由于处理工艺的去除,和管网水中的异养菌种类差别较大,也可能导致与 HPC 相关关系的差异。

因此,根据澳门饮用水的情况,与 BDOC 比较而言,AOC 更适于作为评价管网水中异养菌二次生长潜力的指示参数。

4. 结论

(1) 澳门管网水中的 AOC 在夏季气温最高的时候也不超过 70 $\mu\text{g/L}$,其他月份基本在 30—50 $\mu\text{g/L}$ 之间,基本属于生物稳定的饮用水。

(2) 澳门管网水沿途 AOC 变化不明显, 因此考察饮用水中生物 稳定与否, 可以以出厂水作为控制点进行研究。

(3) 降水量和 水温对于 AOC 的季节间变化有很大影响, 由于澳 门 6、7 月份为降水高峰期, 所以 AOC 的夏季最高点向后推移至 9 月份, 比前几 月份增加了 40% 左右。

(4) 从出厂水到管网末梢之间, BDOC 变化幅度不大, 一般均在 0.2mg / L 以下。原水水质、处理工 艺和水温对其季节变化有很大影响。

(5) 由于管网水中 HPC 和 AOC 间有明显相关关系, 而 HPC 与 BDOC 间则无明显相关关系, 所以 评价管网水中异养菌二次生长潜力的指示参 数, AOC 比 BDOC 更适合。



图1 澳门管网取点示意图

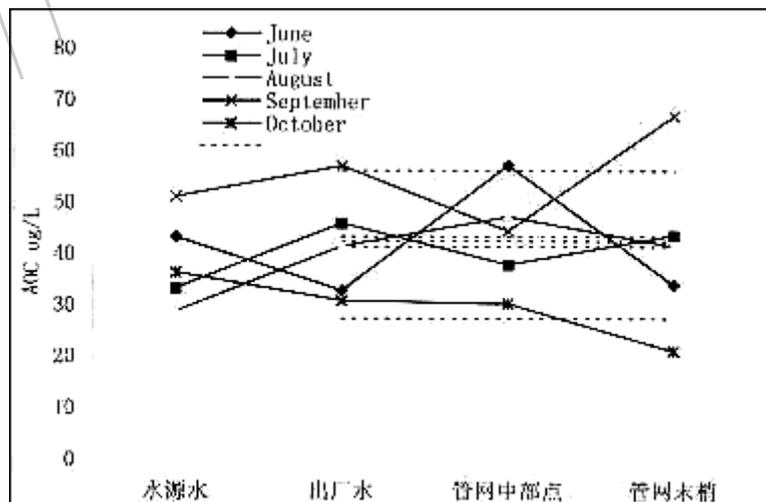


图2 AOC在澳门管网水中的变化情况

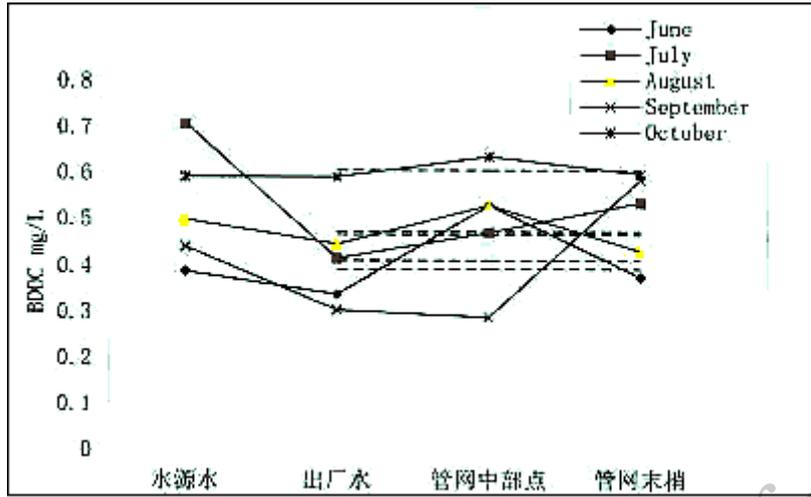


图3 BDOC在澳门管网水中的变化情况

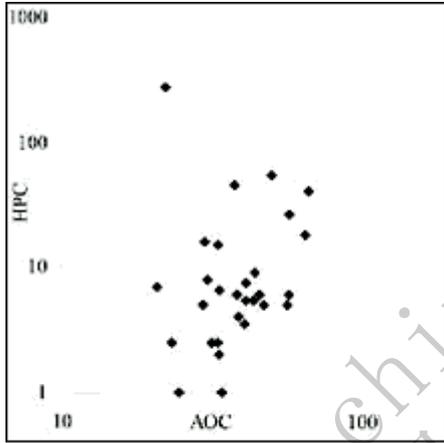


图4 澳门管网水中HPC和AOC的相关关系图

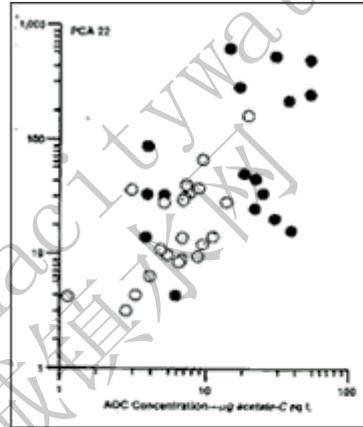


图5 van der Kooij研究中HPC和AOC的相关关系图

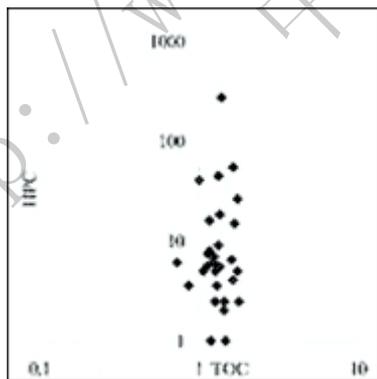


图6 澳门管网水中HPC和TOC的相关关系图

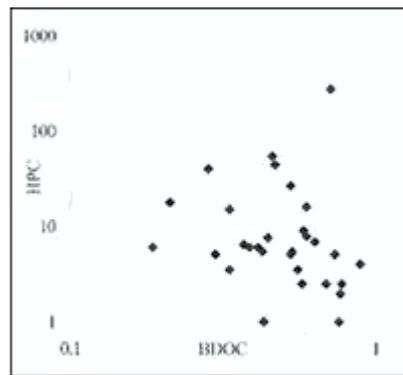


图7 澳门管网水中HPC和BDOC的相关关系图

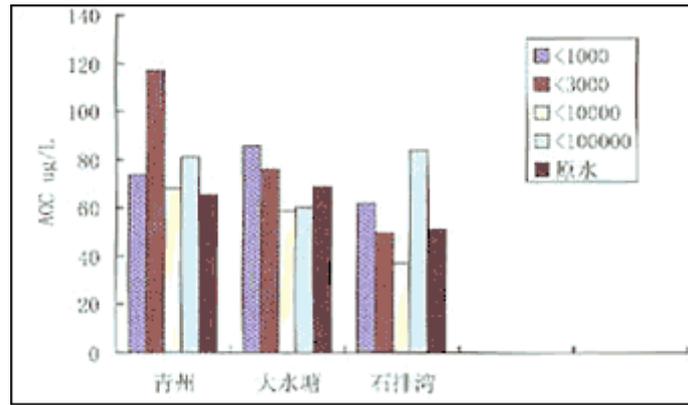


图8 澳门水源水中小于某一表现分子量有机物的AOC

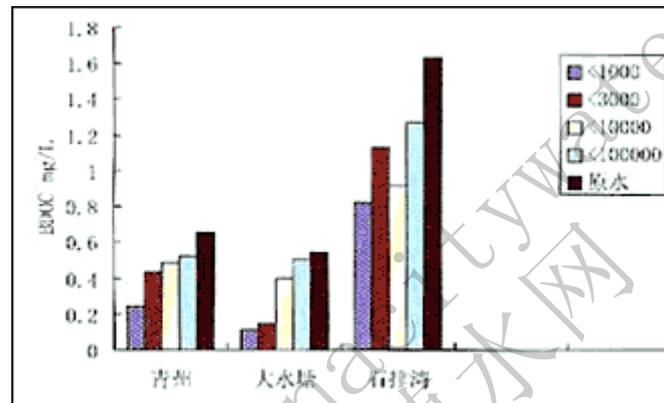


图9 澳门水源水中小于某一表现分子量有机物的BDOC

参考文献

Committee on Water Supply. Bacterlal Aftergrowths in Distributon Systems Amer. Jour Public Health, 20: 485, 1930.

Geldrelch, E.E.And Rice,E.W. Occurrence, Signlhance, and Detection of Klebsiella in Water System.Jour.AWWA, 79 (5) : 74 , 1987

Reilly, J.K.And Kippin,J.S.Relationship of Bacterlal Counts with TuTurbidity and Free Chlorine in TWo Distribution Systems.Jour AWWA, 75 (6) : 309, 1983.

wierenga, J.T.Recovery of Coliforms in the Presence of a Free Chlorine Residual.Jour.AWWA.77 (11) : 83, 1985.

Fransolet, G.Et aL. Influence of Temperature on Bacterial Development in Waters Ozone Sci. Engrg, 7 (3) :205.1985

LeChevallier.M.W., Welch,N.J.Et al.Full—Scale Studies of Factors Related to Coliform Regrowth in Drinking Water Appl. Environ. MicrobioL.62 (7) :2201-2211, 1996

Safe Drinking Water Committee.Biological Quality of Water in the Distribution System. Drinking Water and Health, VoL.4, Acad. Press, Washington.D C, 1982

Van Der Kooij.Vlsser, A.And Hijen, W.A.M.Determining the Concentration of Easily Assimilable OrganicCarbon in Drinking Water. Jour. AWWA, 74 (1) : 540—545,1982.

Servais,P. Et al.Determination of the Biodegradable Fraction of Dissolved Organic Matter in waters.Wat.Res.,21: 445— 450,1987.

Joret,J.C.And Levi,Y. Methode rapide d'é evalutio du carbo lImlnabledeseauxparvolebIologlque.TrIb.Cebedeau, 39.39, 1986



Van Der KOOij Assimilable Organic Carbon as an Indicator of Bacterial Regrowth. Jour.AWWA,84 (2) : 57-65.1992

清华大学环境和学与工程系、澳门自来水有限公司, 澳门生物 稳定性研究最终报告, 2001。

Lars J. Hem and Harry Efraimsen. (2001) Assimilable Organic Carbon in molecular weight fractions of natural organic matter Wat.Res.35 (4) ,1106-1110.

Assimilable Organic Carbon as an Indicator of Bacteria Regrowth Potential in Drinking Water

Li Shuang and Zhang Xiaojian

Department of Environmental Science and Engineering in Tsinghua University, Beijing 100084

Fan Xiajun, Lao wai Mom, wong Hou and Ye Huijuan

The Macao Water Supply Company Ltd.

Abstract: Assimilable organic carbon (AOC) and biodegradable dissolved organic carbon (BDOC) were measured in Macao drinking waters. The results show: (1) Macao drinking water has, or approximates to, biological stability according to the AOC analysis. (2) AOC and BDOC fluctuations appear small in Macao distribution system. (3) AOC seasonal changes are influenced by precipitation quantity and water temperature, while BDOC seasonal changes are influenced by raw water quality, treatment process and water temperature. (4) AOC has obvious correlation with heterotrophic bacteria colonies (HPC) in distribution waters, while BDOC has no correlation with HPC, therefore, it can be proposed that AOC be used as a preferential indicator of bacteria regrowth potential in drinking water.

Keywords: drinking water; assimilable organic carbon; biodegradable dissolved organic carbon; heterotrophic bacteria colonies.

http://www.chinacitywater.org
中国城镇水网