

Research Development of Determining the Assimilable Organic Carbon in Water by Bioassay

Jie Wu, Youcai Liu

School of Chemistry and Chemical Engineering, Central South University, Changsha Hunan
Email: 1094100401@qq.com

Received: Jun. 1st, 2017; accepted: Jun. 19th, 2017; published: Jun. 21st, 2017

Abstract

Currently, the determination of AOC relies on bioassay. In this paper, the development of AOC bioassay was introduced in three aspects: selection of bacterial strain, inoculation method and incubation condition, and bacteria enumeration. Moreover, the development of AOC bioassay in the future is discussed.

Keywords

Water Quality, Assimilable Organic Carbon, Bioassay, Strain, Measurement Technique

生物分析法测定水中AOC的研究进展

吴 洁, 刘有才

中南大学, 化学化工学院, 湖南 长沙
Email: 1094100401@qq.com

收稿日期: 2017年6月1日; 录用日期: 2017年6月19日; 发布日期: 2017年6月21日

摘 要

AOC的测定现阶段依赖于生物分析法, 该文章从菌种的选择、接种和培养条件、测定方法三个方面介绍了AOC生物分析的发展和近况。此外, 对其未来的发展提出了展望。

关键词

水质, 可同化有机碳, 生物分析法, 菌种, 检测技术

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. AOC 的概念、意义及标准测定方法

饮用水分配系统和储存系统中的细菌生长会导致水质的恶化, 使水质无法达到标准, 并且增加生产成本。消毒过程中存活的细菌可以利用水中和生物膜中的营养生长或再生长。并不是所有的有机化合物都易被微生物分解, 有机化合物中能提供细菌生长所需碳源并且被转化为生物质的部分称为可同化有机碳(Assimilable organic carbon, AOC)。

可同化有机碳(AOC)是指限制异养微生物生长的有机化合物, 如氨基酸和有机酸等, 分子量一般小于 1000 Da, Van der Kooij 等人[1]于 1982 年首先提出了这个概念。与之相对应的测定可同化有机碳的方法称为 AOC 生物测定。AOC [2]是饮用水中可溶解有机碳(DOC)可作为微生物生长所需碳源和能源的一小部分, 并且反映微生物再生的可能性, 即生物稳定性。众所周知, AOC 是测定水的生物稳定性的重要指标。目前, AOC 生物测定已应用于水处理, 配水系统, 再生水处理和海水脱盐等, 并且推动了水质分析的研究进展。

由于 AOC 是由多种化合物组成的复杂混合物, 并且通常少量存在于水中。所以, 与化学方法测定总有机碳(TOC)和可溶解有机碳(DOC)相比, AOC 测定是更加复杂的生物方法。Van der Kooij [1]用荧光假单胞菌 P17 和螺旋菌 sp. NOX 作为测试菌种进行 AOC 的测定。P17 和 NOX 都是存在于配水系统中, 可以利用水中低浓度有机碳化合物的常见细菌。P17 和 NOX 只需要简单的氮源, 并且不需要类似维生素的生长刺激物, 就可以在固体培养基上快速生长得到可分辨的克隆。此外, P17 和 NOX 在实验室中易于以纯培养物的形态保存。P17 可以利用除了草酸外的多种营养, 而 NOX 可以利用一些特殊的化合物, 例如草酸。在 AOC 生物分析中, 由于 P17 与 NOX 能够利用不同的营养, 故把它们放在一起作为检验细菌。在 AOC 分析中, 用不同浓度的醋酸或草酸盐来培养测试细菌, 由盐浓度和细菌最大生长数可得到一条标准曲线, 得到一条线性相关的直线, 由此可导出生长因子 Y 和盐浓度的公式。AOC 生物分析就是基于细菌在水中从接种生长至稳定阶段的最大生长量与 AOC 浓度的线性关系。AOC 生物分析通常是终点测定, 并且水样在接种前应进行巴氏消毒, 细菌需要长期培养使检验细菌达到最大生长值[3]。所以 AOC 生物分析是一个耗时长, 复杂并且费力的过程[1] [4] [5], 如图 1 所示。因此, 如何缩短测定过程并且简化工序对 AOC 生物分析来讲是一个重要的问题。国内外已有多篇关于 AOC 测定的综述, 本文重点介绍近十年来的研究发展。

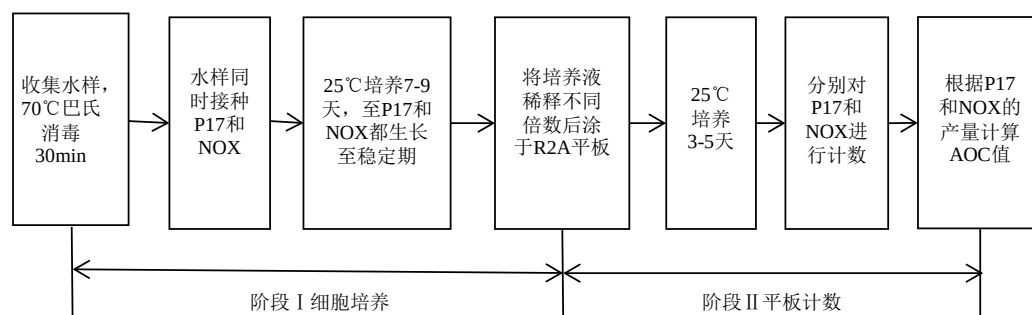


Figure 1. The standard flow chart of AOC biological analysis

图 1. AOC 生物分析标准流程图[1 5 6]

2. AOC 生物分析的进展

AOC 生物分析的进展如表 1 所示。

2.1. 菌种的选择

由于 AOC 生物分析是基于在巴氏消毒过的水中细菌的生长, 所以测试细菌的选择和表征十分重要。一些研究利用单一菌种、混合菌种或者本土菌种进行测定。由于缺少外酵素和不同细菌之间的交互作用, 单一的纯菌种不能完全利用水中的 AOC, 所以 Van der Kooij [1] [6]在单一菌种 P17 (荧光假单胞菌)中加入 NOX (螺旋菌)来扩大营养利用的多样化。Kemmy [7]选择了包括 P17 在内的四个特殊菌种来测定水中的 AOC 值, 细菌在生长五天后达到极限, 因此与传统 AOC 生物分析相比可缩短培育周期。Zhao Xin 等人[8]使用 G3, ZJ2, G6 与 P17 和 NOX 共同作为测试菌种, 用于再生水的 AOC 测定。由于 ZJ2 和 G3 可以更好的利用聚合物和糖类, G6 可以利用更多的胺类和糖类, 所以可以更快更准确地得到再生水中的 AOC 值。E.LW.Sack 等人[9]在贫瘠水环境中挑选出了一种新的 AOC 菌种(A3), 可以利用淡水中浓度为微克每升的多种化合物, 包括低聚糖、多糖, 可以弥补 P17 和 NOX 无法利用低浓度的多糖和低聚糖的不足, 进一步扩大测试细菌的营养多样性。Werner [10], Sathasivan [11]和 Hammes [4]分别使用本土微生物作为培养菌种进行研究。虽然本地微生物在 AOC 生物分析中可以更全面的利用 AOC, 但是利用大分子有机化合物仍需要复杂的胞外酶和多种细菌之间复杂的交互作用。并且作为检测 AOC 的指标, 菌种的必要特性必须是重复且可比较的。目前, 由于本地菌种有许多未定特性, 且其生长速率受碳浓度、PH 及温度等条件影响, 使定量更复杂, 所以难以满足上述必要条件, 尚难以标准化。

Table 1. Research progress on the AOC biological analysis

表 1. AOC 生物分析的研究进展

发表时间	作者	菌种	测试方法	测试所需时间	备注	参考文献
1982	Van der Kooij	NOX	平板计数法	12~14 天		[1]
1989	Kemmy	包括 P17 的四个菌种	平板计数法	5 天		[7]
1992	Van der Kooij	NOX, P17	平板计数法	12~14 天		[6]
1993	Kaplan	NOX, P17	平板计数法	9 天		[3]
2000	刘文君	NOX, P17	平板计数法	6~7 天 9~12 天		[15]
2004	桑军强	NOX, P17	平板计数法	6~7 天 9~12 天		[16]
2006	方华	NOX, P17	平板计数法	6 天或 9 天		[17]
2008	白晓慧	NOX, P17	平板计数法	8 天		[18]
2013	Zhao xin	P17, G3, ZJ2, G6	平板计数法	4~8 天	用于再生水	[8]
1993	LeChevallier	NOX, P17	ATP 冷光法	2~4 天		[5]
2004	Haddix	P17 和 NOX 生物发光衍生物	生物发光法	2~3 天		[19]
2004	刘路	费希尔弧菌	Check light 试剂盒	2~3 h		[24]
2009	Weinrich	P17 和 NOX 生物发光衍生物	生物发光法	3 天	用于再生水	[20]
2011	Weinrich	哈维氏弧菌	生物发光法	3 天	用于海水	[21]
2013	Sanghyun	费希尔弧菌	生物发光法	1 h	用于海水	[22]
2005	Hammes	P17 或本地菌种	流式细胞术	5 天或 3~6 天		[4]
2016	Elhadidy	本地菌种	流式细胞术	4 天	用于再生水	[26]
1999	Sathasivan	本地菌种	细胞直接计数法	5 天		[11]
2014	Quek	海洋微生物	微生物燃料电池	5 min	用于海水	[23]
1986	Werner	本地菌种	浊度测定法	2~4 天		[10]

2.2. 接种条件和培育条件的优化

有关优化接种条件和水样培养条件的研究主要集中于, 细菌培养液的选择, 水样的预处理和培养条件的优化。Kaplan [3]提出用 40 ml 的市售无有机碳的硼硅玻璃小瓶代替 1 L 烧瓶, 增加了反应的面积与体积比, 使 AOC 值提高, 并且这种小瓶易于操作和运输, 简化了 AOC 分析实验的操作。此外 Kaplan 还建议在对水样巴氏消毒前, 用无碳玻璃纤维过滤器除去大部分的颗粒有机碳。Le Chevallier 等人[5]通过提高培养温度至 25℃, 同时增加培养物浓度至 104 CFU/mL, 可使细菌在 2-4 天内生长至稳定期, 缩短了实验周期。Escobar [12]优化了水样的储存条件, 研究表明样品在 72℃加热 30 分钟后马上冰浴 30 分, 之后储存于 4℃, 样品的 AOC 值至少七天内不会有显著变化。Miettinen 等人[13]发现无机物营养, 尤其是磷可能限制饮用水中的微生物生长。在富含腐殖质的软饮用水中添加无机营养物(N, P, K, S, Ca, Mg)会增加 AOC 产量, 消除磷的限制。

国外接种 P17 和 NOX 主要有三种方法; 第一种方法将水样分为两份, 分别接种 P17 和 NOX, 将测定结果相加作为总的 AOC, 该方法称为分别接种法[6]; 第二种方法在水样中同时接种 P17 和 NOX, 根据两种菌的形态与大小不同分别对其计数, 这种方法称为同时接种法[3]; 第三种方法在水样中先接种 P17, 待其生长至稳定期计数, 过滤水样后接种 NOX, 培养至稳定再进行计数, 然后将 P17 细菌数和 NOX 细菌数分别转化为 AOC-乙酸浓度和 AOC-草酸浓度, 该方法称为先后接种法[14]。在国内, 刘文君等人[15]对第三种接种方法进行改进, P17 生长至稳定期后, 巴氏消毒杀死 P17, 然后再接种 NOX 进行培养。此外, 刘文君等人对三种接种方法进行比较。总结得到, 同时培养法和连续培养法对 AOC 生物分析优于分别接种法, 但分别接种法与同时接种法比先后培养法用时短, 而同时接种法易受稀释倍数影响。所以在对水样浓度范围了解时可使用同时培养, 连续培养更利于不同水样间的横向比较。

桑军强等人[16]认为基于刘文君的传统 AOC 分析忽略了磷对 P17 和 NOX 生长的影响, 在实验过程中引入了一定数量的外来磷, 不能够客观地反映细菌在待测水样中的再生能力。研究对刘文君等人的连续培养测定 AOC 值的传统工艺进行了改进, 通过降低接种液中 K_2HPO_4 和 KH_2PO_4 的浓度并去掉稀释溶液中的磷酸盐以避免将额外的磷引入水样, 使得到的 AOC 值更客观地反映出水样的营养情况。

方华等人[17]优化了 AOC 分析操作条件, 并且提出了由不同的醋酸盐浓度导出计算有机物产率系数的改良方法, 该方法的适用范围为 10~300 微克每升的醋酸盐。白晓慧等人[18]优化了先后接种法的接种和培养条件, 同时得到了 AOC-NOX 修正计算公式, 减去了连续培养过程中由于 P17 细胞裂解引起的 AOC 增量, 使测定结果更加准确, 并且使测定时间缩短一天。

2.3. 细菌生长测定方法的改进和展望

目前, AOC 生物分析可以通过平板计数法, 浊度法, ATP 冷光法, CheckLight 试剂盒, 和流式细胞技术等方法来测定菌落和细胞数量或其它等值量, 从而得到细菌的生长情况。

ATP 即三磷酸腺苷存在于所有活的生物体中, 容易被储存和利用, 是活细胞新陈代谢的能量源泉。当细胞受损或死亡时, 其 ATP 值迅速下降或消失。基于这一原理, 检测细胞内的 ATP 含量, 可反应细胞的存活状况, 即 ATP 浓度与活细胞的数量密切相关。LeChevallier 等人[5]将 ATP 冷光法引入 AOC 生物分析。待 P17 和 NOX 生长至稳定期后, 用荧光素-荧光素酶对其进行标记, 通过生物发光仪测得 ATP 含量即可得到细菌数量。LeChevallier 的研究表明, 利用 ATP 得到的细胞含量与用传统的平板计数法测得的细胞含量有较好的相关性, 并且可以将测试时间减少到 2~4 天。

Haddix 等人[19]用 P17 和 NOX 的生物发光衍生物作为测试细菌, 可在水样中细菌生长至稳定期之前便利用细菌的早期发光峰值作为生理指标, 得到细胞数量, 进一步缩短测试时间。Haddix 用平板法分别

利用天然和生物发光的 P17 和 NOX 对 36 个水样进行 AOC 分析, 得到的结果没有明显差别, 说明该 P17 和 NOX 的生物发光衍生物保留了 AOC 分析能力。此外, Weinrich 等人[20]利用 P17 和 NOX 的生物发光衍生物作为再生水 AOC 生物分析的培养物, 并利用该方法探究水中的微生物生长和变化。

Weinrich 等[21]利用哈维氏弧菌, 一种可以发冷光的海洋微生物, 其能够利用氨基酸, 羧酸, 碳水化合物, 醛和醇作为营养。可作为海水的 AOC 生物发光法的测试细菌, 该细菌使 AOC 生物分析的应用从淡水扩大到海水。Sanghyun [22]建立了一个新的测定海水 AOC 的方法, 该方法基于海洋细菌 - 费希尔弧菌的生物体之发光, 能够更快更准确的得到海水的 AOC 值, 并可作为海水生物淤积潜能的指示器。Quek 等人[23]建立了一种利用生物电化学传感器快速检测海水中 AOC 值的方法, 利用在阳极电极上生长的微生物, 能够将来自溶液中氧化有机物的电子转移至阴极电极而产生电流。该方法可以在 5 分钟之内测得低醋酸盐浓度海水的 AOC 值, 并且结果可重复, 可有效地作为海水反渗透系统的生物淤积潜能指示器。

刘路等人[24]引进了一种 ChckLight AOC 试剂盒。利用海洋发光细菌 - 费希尔弧菌, 该细菌一旦遇到 AOC, 就开始发光, 发光强度取决于水样 AOC 的浓度, 发光亮随时间而增加, 由此可得到 AOC 值。该试剂盒可以在 2~3 小时内完成 AOC 的测定, 但是水样的质量及检测时间对 AOC 值影响较大, 准确性和可靠性还需进一步验证, 并且测试费用比传统的 AOC 生物分析高很多。

Hemmes [4]用 SYBR green 荧光染料对 P17 的全部核酸进行染色, 用流式细胞仪进行细胞计数, 代替平板计数法, 可将检测时间由三天减至 15 分钟。除此之外, Hemmes 还用该方法研究了天然微生物菌群, 并且建立了可利用 AOC 的天然微生物菌群的完整生长曲线。Srijan 等人[25]比较了染色 - 流式细胞术, 无染色 - 流式细胞术, 粒子计数法三种方法在 AOC 生物分析中的可行性。研究发现, 染色 - 流式细胞术在 AOC 分析中可以快速准确的对 P17 和 NOX 行计数; 无染色 - 流式细胞术对 NOX 无法进行准确的计数, 但是得到的结果与传统平板计数法有线性相关性; 粒子计数法对 P17 计数与传统计数得到的结果有线性相关性。无染色 - 流式细胞术和粒子计数都过高估计了 AOC 值, 染色 - 流式细胞术在 AOC 分析中可以快速的对 P17 和 NOX 进行计数。Elhadidy [26]利用流式细胞仪与天然微生物菌群监测地表水的 AOC 值, 并进行长期的水质研究。结果表明, 利用流式细胞术得到的 AOC 结果可靠, 可重复, 并且比得上传统的平板计数方法。除此之外, 该方法还可分辨高核酸细菌和低核酸细菌。

在 AOC 生物分析中, 细菌生长的测定从平板计数法发展到 ATP 发光法和流式细胞术等。与传统的平板计数法相比, 流式细胞术得到的数据更稳定, 这是由于平板计数易受人为误差或细菌生理变化的影响。与 ATP 发光法相比, 流式细胞术更灵敏并且不易受背景干扰。ATP 发光法测定的是与细胞数相关的 ATP 值, 结果需经过两次数值转换得到 AOC 值, 并且不同的细胞在不同的生长阶段 ATP 浓度都不相同。与 ATP 发光法相比, 流式细胞术则可直接测定细菌的数值变化。

在 AOC 生物分析中, 测定方法的进展可以更方便的了解细菌的生长动力学。Van der Kooij 通过测定纯培养物进行生长动力学研究。在此之后, Weinrich [20]和 Hammes [4]等人分别利用生物体发光法和荧光染色一流式细胞术分析 AOC 测定中的细菌生长动力学。Hammes 总结, 仅利用测定细胞数量得到的总生物生长量会稍许偏高。Weinrich 等人建立了一个快速计算细菌最大生长量的模型。然而, ATP 方法降低了准确性, 而流式细胞计数是利用细胞数而不是细胞体积作为参数, 由于细胞的尺寸不同, 细胞数不能准确的定量评估 AOC。在 AOC 生物分析中, 由于细菌生长动力学可以模拟水中细菌的生长, 所以具有重大的意义, 并引起越来越多的关注, 但仍需要测定方法的进展去完善 AOC 细菌的生长动力学。

3. 结论与展望

自从被提出以来, AOC 生物分析得到了广泛的认可和关注, 是国际间公认的衡量水生物稳定性的重要指标之一。随着国内外科学家的研究的开展, AOC 生物分析取得了巨大进展。然而, AOC 生物分析

仍存在耗时长、工序复杂、重复性差等问题。在菌种的选择上, 由于被广泛使用的 P17 和 NOX 生长温度偏低, 在一些热带或亚热带地区, 本地的细菌可能会更好地表征当地的水环境, 并且较高的生长温度可能缩短培养时间, 不过新菌种有许多未知的性质, 对其标准化需要进行长期的验证和大量的工作。另一方面, 由于 NOX 的生长速度极慢, 在水中生长至稳定期需要的时间远长于 P17, 是决定检测时间的因素之一, 故可通过 UV、热激或化学等手段对 NOX 进行非定向诱变, 筛选出生长速度快并且保留了其营养特性的菌种。未来的工作仍可对接种和培育条件进行优化, 使得到的 AOC 值更加客观准确, 并在一定程度上减少分析所需时间, 但难以大幅度地对其进行缩减。从目前的研究进展可知, 检测方法的改进能够较大程度地减少测试时间并简化工序, 并且有潜力标准化, 应用于实际水质监测。其中流式细胞术具有快速、稳定、易操作的特点, 并且可以提供完整的细胞动力学生长数据, 优于其它的测定方法。但是目前的研究只能用荧光染料对 P17 进行染色后检测, 染色需要额外的工序, 且染色剂的使用会增加检测成本。除此之外, 由于 P17 与 NOX 同时培养时, 无法对其分别染色, 只能培养单一菌种并进行染色计数, 得到的 AOC 值只与单一菌种有关, 不够全面与准确。未来的研究可以将重点放在获得 P17 和 NOX 的不同荧光衍生物, 免除染色步骤上, 并且可以同时培养 P17 与 NOX 后用流式细胞仪并分别对其进行准确的计数, 由此得到更客观的 AOC 值。

参考文献 (References)

- [1] Van der Kooij, D., Visser, A. and Hijnen, W.A. (1982) Determining the Concentration of Easily Assimilable Organic Carbon in Drinking Water. *Journal American Water Works Association*, **74**, 540-545.
- [2] 方华, 吕锡武, 乐林生, 等. 饮用水 AOC 与 BDOC 测定方法的比较与评述[J]. *净水技术*, 2004, 23(6): 13-15.
- [3] Kaplan, L.A., Bott, T.L. and Reasoner, D.J. (1993) Evaluation and Simplification of the Assimilable Organic Carbon Nutrient Bioassay for Bacterial Growth in Drinking Water. *Applied & Environmental Microbiology*, **59**, 1532-1539.
- [4] Hammes, F.A. and Egli, T. (2005) New Method for Assimilable Organic Carbon Determination Using Flow-Cytometric Enumeration and a Natural Microbial Consortium as Inoculum. *Environmental Science & Technology*, **39**, 3289-3294. <https://doi.org/10.1021/es048277c>
- [5] LeChevallier, M.W., Shaw, N.E., Kaplan, L.A., et al. (1993) Development of a Rapid Assimilable Organic Carbon Method for Water. *Applied and Environmental Microbiology*, **59**, 1526-1531.
- [6] Van der Kooij, D. (1992) Assimilable Organic Carbon as an Indicator of Bacterial Regrowth. *Journal (American Water Works Association)*, **84**, 57-65.
- [7] Kemmy, F.A., Fry, J.C. and Breach, R.A. (1989) Development and Operational Implementation of a Modified and Simplified Method for Determination of Assimilable Organic Carbon (AOC) in Drinking Water. *Water Science & Technology*, **63**, 155-160.
- [8] Zhao, X., Hu, H., Liu, S., et al. (2013) Improvement of the Assimilable Organic Carbon (AOC) Analytical Method for Reclaimed Water. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, **7**, 483-491. <https://doi.org/10.1007/s11783-013-0525-0>
- [9] Sack, E.L., Van Der Wielen, P.W.J.J. and Van Der Kooij, D. (2010) Utilization of Oligo- and Polysaccharides at Microgram-per-Litre Levels in Freshwater by *Flavobacterium johnsoniae*. *Journal of Applied Microbiology*, **108**, 1430-1440. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2009.04546.x>
- [10] Werner, P. and Hamsch, B. (1986) Investigations on the Growth of Bacteria in Drinking Water. *Water Supply*, **4**, 227-232.
- [11] Sathasivan, A. and Ohgaki, S. (1999) Application of New Bacterial Regrowth Potential Method for Water Distribution System—A Clear Evidence of Phosphorus Limitation. *Water Research*, **33**, 137-144.
- [12] Escobar, I.C. and Randall, A.A. (2000) Sample Storage Impact on the Assimilable Organic Carbon (AOC) Bioassay. *Water Research*, **34**, 1680-1686. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(99\)00309-7](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(99)00309-7)
- [13] Miettinen, I.T., Vartiainen, T. and Martikainen, P.J. (1999) Determination of Assimilable Organic Carbon in Humus-Rich Drinking Waters. *Water Research*, **33**, 2277-2282. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(98\)00461-8](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(98)00461-8)
- [14] Paode, R.D., Amy, G.L., Krasner, S.W., et al. (1997) Predicting the Formation of Aldehydes and BOM. *Journal American Water Works Association*, **89**, 79-93.

- [15] 刘文君, 王亚娟. 饮用水中可同化有机碳(AOC)的测定方法研究[J]. 给水排水, 2000, 26(11): 1-5.
- [16] 桑军强, 李福志, 张锡辉, 等. 饮用水中 AOC 测定方法的改进[J]. 中国给水排水, 2004, 20(2): 98-100.
- [17] 方华, 吕锡武, 吴今明. 生物测定饮用水中可同化有机碳(AOC)方法优化[J]. 中国给水排水, 2006, 22(14): 75-79.
- [18] 白晓慧, 朱睿宁, 张晓红. 饮用水中 AOC 测定的优化与改进[J]. 净水技术, 2008, 27(3): 48-50.
- [19] Haddix, P.L., Shaw, N.J. and Lechevallier, M.W. (2004) Characterization of Bioluminescent Derivatives of Assimilable Organic Carbon Test Bacteria. *Applied & Environmental Microbiology*, **70**, 850-854.
- [20] Weinrich, L.A., Giraldo, E. and Lechevallier, M.W. (2009) Development and Application of a Bioluminescence-Based Test for Assimilable Organic Carbon in Reclaimed Waters. *Applied & Environmental Microbiology*, **75**, 7385-7390.
- [21] Weinrich, L.A., Schneider, O.D. and Lechevallier, M.W. (2011) Bioluminescence-Based Method for Measuring Assimilable Organic Carbon in Pretreatment Water for Reverse Osmosis Membrane Desalination. *Applied & Environmental Microbiology*, **77**, 1148-1450.
- [22] Jeong, S., Naidu, G., Vigneswaran, S., *et al.* (2013) A Rapid Bioluminescence-Based Test of Assimilable Organic Carbon for Seawater. *Desalination*, **317**, 160-165.
- [23] Quek, S.B., Cheng, L. and Cord-Ruwisch, R. (2015) Microbial Fuel Cell Biosensor for Rapid Assessment of Assimilable Organic Carbon under Marine Conditions. *Water Research*, **77**, 64-71.
- [24] 刘路, 卢益新. 饮用水中 AOC 快速检测法[J]. 净水技术, 2004, 23(5): 42-44.
- [25] Aggarwal, S., Jeon, Y. and Hozalski, R.M. (2015) Feasibility of Using a Particle Counter or Flow-Cytometer for Bacterial Enumeration in the Assimilable Organic Carbon (AOC) Analysis Method. *Biodegradation*, **26**, 387-397.
- [26] Elhadidy, A.M., Van Dyke, M.I., Peldszus, S., *et al.* (2016) Application of Flow Cytometry to Monitor Assimilable Organic Carbon (AOC) and Microbial Community Changes in Water. *Journal of Microbiological Methods*, **130**, 154-163.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: aep@hanspub.org