

原位基质摄取速率法检测微生物活性

乔铁军， 张晓健
(清华大学 环境科学与工程系，北京 100084)

摘 要：介绍了一种生物活性检测方法——原位基质摄取速率法，并将其应用于饮用水生物活性滤池中微生物活性的测定，结果表明它是一种准确、方便、快捷的生物活性检测方法。

关键词：饮用水；生物活性；基质摄取速率；原位检测法

1 基本原理

原位基质摄取速率检测法包括原位氧摄取速率检测法(ISOURM)、原位有机物摄取速率检测法(ISCURM)、原位氨氮摄取速率检测法(ISAURM)和原位亚硝酸盐摄取速率检测法(ISNURM)四个部分。
原位基质摄取速率检测法的基本思路是将变量的时间变化转化为空间变化。该方法的第一条假设是基质的浓度是滤池高度的函数，而且这种函数是可微的。另一条假设是从滤池内部所选取的任一微元体在一定条件下能够达到稳态。

获取基质降解速率的最终表达式有全微分法和质量守恒定律法两种途径，在此采用比较直观的质量守恒定律法。

1.1 ISOURM

在不改变微生物生长环境的情况下，单位时间内、单位体积滤料上所生长的微生物的耗氧 量即为原位氧摄取速率(ISOUR)，其值除以生物量则为比原位氧摄取速率(SISOUR)。

在生物滤池滤层深为h处取一微元体ωdh，进、出水溶解氧的浓度分别为DOinf和DOeff，在微元体内由于微生物作用而引起的溶解氧变化为ISOUR·(1-e)ωdh，根据质量守恒定律得：

0=(DO_{inf}-DO_{eff})·Q-ISOUR·(1-e)ωdh (1)

变形得：

ISOUR = \frac{(DO_{inf}-DO_{eff}) \cdot Q}{(1-e) \cdot \omega dh} = - \frac{v}{1-e} \cdot \frac{\partial DO}{\partial h} (2)

式中 ISOUR ——原位氧摄取速率，mg/(L·h)
ω——断面面积
Q——流量
v——滤速
e——孔隙率
DO / ∂_h——DO 沿滤层高度的变化曲线在 h 处的斜率

1.2 ISCURM

异养细菌的活性可以用对有机物(CODMn 表示)的摄取速率来表示。在不改变其生长环境的情况下，单位体积滤料上所生长的异养细菌在单位时间内所降解的 CODMn 量即为原位有机物摄取速率(ISCUR)，其值除以异养细菌量则为比原位有机物摄取速率(SISCUR)。

通过与 ISOUR 类似的推导过程，可得：

ISCUR = - \frac{v}{1-e} \cdot \frac{\partial COD_{Mn}}{\partial h} (3)

式中 ISCUR——原位有机物摄取速率，mg/(L·h)
∂CODMn / ∂_h——CODMn沿滤层高度的变化曲线在h处的斜率



1.3 ISAURM

亚硝化细菌的作用是将 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 转化为 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ ，其活性可以用对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的摄取速率来表示。在不改变其生长环境的情况下，单位体积滤料所生长的亚硝化细菌在单位时间内所氧化 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 量即为原位氨氮摄取速率(ISAUR)，其值除以亚硝化细菌量则为比原位氨氮摄取速率(SISAUR)。

通过与ISOUR类似的推导过程，可得：

$$\text{ISAUR} = -\frac{v}{1-e} \cdot \frac{\partial \text{NH}_4^+ - \text{N}}{\partial h} \quad (4)$$

式中 ISAUR——原位氨氮摄取速率， $\text{mg}/(\text{L}\cdot\text{h})$

$\frac{\partial \text{NH}_4^+ - \text{N}}{\partial h}$ —— $\text{NH}_4^+\text{-N}$ —— $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 沿滤层高度的变化曲线 在 h 处的斜率

1.4 ISNURM

在不改变其生长环境的情况下，硝化细菌在单位时间内所氧化的 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 量即为原位亚硝酸盐摄取速率(ISNUR)，其值除以硝化细菌量则为比原位亚硝酸盐摄取速率(SISNUR)。

通过与ISOUR类似的推导过程可得：

$$\text{ISNUR} = -\frac{v}{1-e} \cdot \left[\frac{\partial \text{NO}_2^- - \text{N}}{\partial h} + \frac{\partial \text{NH}_4^+ - \text{N}}{\partial h} \right] \quad (5)$$

式中 ISNUR——原位亚硝酸盐摄取速率， $\text{mg}/(\text{L}\cdot\text{h})$

$\frac{\partial \text{NO}_2^- - \text{N}}{\partial h}$ —— N 沿滤层高度的变化曲线在 h 处的斜率

2 试验设备和方法

2.1 试验设备

试验用生物活性滤池(滤柱)用有机玻璃做成，直径为 150mm，高为 3.5m。滤层采用活性炭—石英砂双层滤料(活性炭型号为PJ-09、层厚为 55cm；石英砂层厚为 35cm、粒径为 0.5~ 1.2cm)。在距活性炭顶部为 5、25、45、65 和 85cm等处分别设有取样孔。

2.2 分析方法

溶解氧用YSI-99 型便携式溶解氧仪测定。

COD_{Mn} 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 均按标准方法测定。

3 结果及分析

3.1 微生物总活性

一般来说，在饮用水生物活性滤池中的溶解氧量是充足的，所生长的微生物以好氧细菌为主，因此溶解氧的变化可以间接地表示总生物活性的大小。试验中测得的 ISOUR 沿滤层深度的变化曲线如图 1 所示。

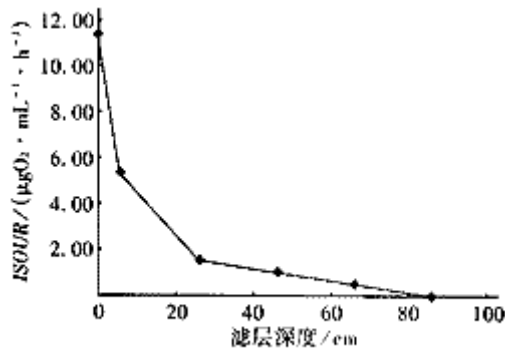


图1 微生物总活性沿滤层深度的变化

从图1可见,在生物活性滤池中微生物的总活性沿滤层深度的变化比较明显,微生物的活性主要集中于滤层上部1/3的深度内,滤层下部的生物活性很低,在最底部微生物甚至表现不出活性。

3.2 异养菌、亚硝化菌和硝化菌活性

生物活性滤池中的异养细菌、亚硝化细菌和硝化细菌等三类细菌的活性沿滤层深度分布曲线分别如图2~4所示。

图2~4表明,滤层上部的三类细菌活性均远大于滤层下部。滤层下部的细菌活性非常低(甚至为零),这主要是因为滤层下部的基质浓度非常低,从而抑制了细菌的活性。

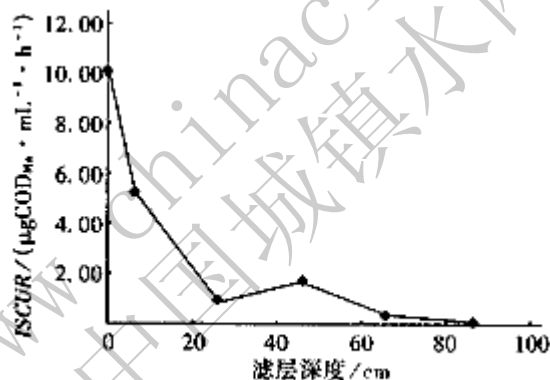


图2 异养细菌活性沿滤层深度的变化

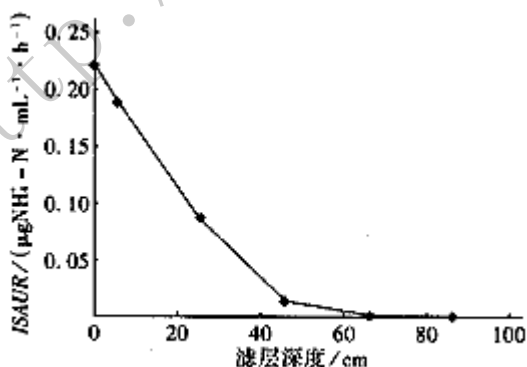


图3 亚硝化细菌活性沿滤层深度的变化

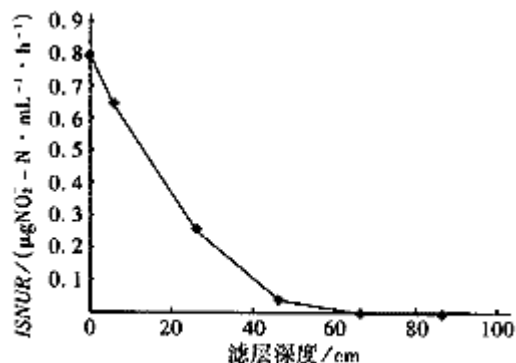


图4 硝化细菌活性沿滤层深度的变化

3.3 ISOUR与ISCUR、ISAUR和ISNUR之间的关系

为了便于不同量之间的比较,需要将这几个量的单位统一起来。根据物质转化关系,氧化1mg的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ (以N计)需要3.43mg的 O_2 ,同时生成1mg的 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ (以N计),氧化1mg的 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 需要1.14mg的 O_2 ,



经过计算可得ISCUR、ISAUR、ISNUR三种活性之和,再把ISOUR同三种活性之和沿滤层深度的变化分别绘制曲线(见图5)并计算得出两曲线的相关系数为0.99,这说明它们之间具有很好的相关性。

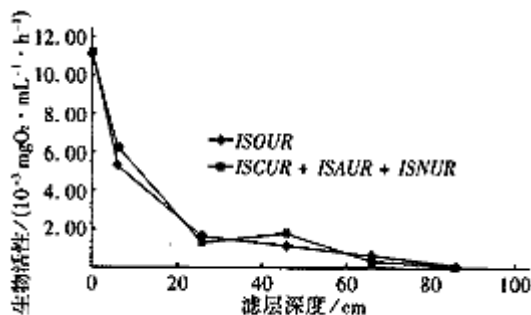


图5 ISCUR、ISAUR、ISNUR之和与ISOUR的关系

3.4 基质摄取速率与基质摄取潜能的关系

微生物的一切生命活动都是在特定的环境中进行的,若假定存在这样一种环境:能够为微生物提供足够的活动空间、足够的摄取基质、最适宜的温度及pH值,同时没有外界的干扰及有毒物质的威胁,在这样的环境中微生物能够最大限度地生长,这时微生物具有最大的基质摄取速率,称其为微生物的基质摄取潜能。

实际上微生物所存在的环境并不具备这些条件,所以微生物的基质摄取速度并不能发挥到最大限度,而只是表现为某一具体数值,称之为微生物基质摄取速度,也就是表观基质摄取潜能。

在生物活性滤池中,由于饮用水源水的营养水平相当低,微生物始终处于被抑制的状态,随着沿层基质浓度的降低,水中的营养甚至降到了“零”的地步,这时微生物基质摄取速率为零,虽然微生物具有基质摄取潜能,但并不能发挥出来。

4 结论

- ① 原位基质摄取速率生物活性检测方法是一种准确、方便、快捷的检测方法,不但可以检测总生物活性,而且也可检测异养细菌和硝化细菌的活性。
- ② ISSURM 非常适用于推流式反应器。
- ③ ISSURM 很好地解决了超微观尺度和低基质浓度下生物活性的检测问题。
- ④ 测量的是微生物基质摄取速率,而不是微生物基质摄取潜能。

参考文献:

- [1] Lazarova V, Manem J. Biofilm characterization and activity analysis in water and wastewater treatment [J]. Wat Res, 1995, 29(10): 2227-2244.
- [2] Satoshi Okabe, Hisashi Satoh, Yoshimasa Watanabe. In situ analysis of nitrifying biofilm as determined by in situ hybridization and the use of microelectrodes [J]. Applied and Environmental Microbiology, 1999, 65(7): 3182-3191.
- [3] Andreas Schramm. Structure and function of a nitrifying biofilm as determined by in situ hybridization and the use of microelectrodes [J]. Applied and Environmental Microbiology, 1996, 62(12): 4641-4647.
- [4] 国家环保局. 水和废水监测分析方法(第3版) [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1989.