

东湖氮循环细菌分布及其作用

刘东山, 罗启芳 (华中科技大学同济医学院环境医学研究所, 武汉 430030, E-mail: martinliuer@yahoo.com)

摘要: 用最大可能数法测定东湖不同水期水体及底泥中亚硝化、硝化、反硝化和氨化细菌的分布, 并分析其作用。结果表明, 水体中亚硝化菌的最大可能数丰水期最高, 平水期居中, 枯水期最小; 硝化菌丰水期小于其他 2 期, 而反硝化、氨化细菌均是平水期最高, 丰水期次之, 枯水期最小。底泥中亚硝化菌 $n(\text{MPN})$ 丰水期高于另 2 期, 硝化菌枯水期最高, 而反硝化菌枯水期低于其它 2 水期, 氨化细菌无差别。对比水相、泥相发现, 亚硝化菌丰水期、枯水期泥相均大于水相 ($p < 0.01$), 平水期无差别。硝化菌在平水、丰水 2 期的水相中占优势, 枯水期差别不大。反硝化菌 $n(\text{MPN})$ 仅在平水期泥相占优势, 氨化细菌 2 相中无差别。氮循环细菌的分布及微环境的差异, 促进了有机氮的分解、氨态氮的硝化和挥发及硝酸盐的反硝化作用。研究还发现, 水体、底泥中反硝化细菌和氨化细菌 $\lg [n(\text{MPN})]$ 与其气体截流量之间有显著相关 ($p < 0.001$), 且不同水期产气量不同 ($p < 0.05$), 表明氨化作用和反硝化作用随水期变化较大。氨化作用可将有机氮转化为铵和氨, 促进水体及底泥中的氮以气态氨的形式挥发; 反硝化作用将硝酸盐转化为 N_2O 、 N_2 , 促进氮素释放。

关键词: 反硝化细菌; 硝化细菌; 亚硝化细菌; 氨化细菌; 东湖

中图分类号: X524 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2002)03-07-0029

Distribution and Role of Denitrifying, Nitrifying, Nitrosation and Ammonifying Bacteria in East Lake

Liu Dongshan, Luo Qifang (Institute of Environmental medicine, Tongji Medical College of Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430030, China. E-mail: martinliuer@yahoo.com)

Abstract: The most probable number (MPN) method was employed to determine the distribution and role of four nitrogen cycle bacteria, including ammonifying bacteria, denitrifying bacteria, nitrosobacteria and nitrobacteria, in East Lake, Wuhan. The results showed that the $n(\text{MPN})$ of nitrosobacteria in water was most in rainy season and least in dry season, while the number in common season between them. The $n(\text{MPN})$ of water nitrobacteria in rainy season was less than in the other two seasons. The $n(\text{MPN})$ of water ammonifying and denitrifying bacteria were most in common season, least in dry season. The $n(\text{MPN})$ of nitrosobacteria in sediment in rainy season was more than that in other seasons. The $n(\text{MPN})$ of sediment nitrobacteria was most in dry season while denitrifying bacteria was more in dry season than in other seasons. The $n(\text{MPN})$ of ammonifying bacteria had no difference among three seasons. Compared with water phase, the $n(\text{MPN})$ of nitrosobacteria in sediment phase was more in rainy and dry season ($p < 0.01$), while nitrobacteria's number was prevailing in water phase during common and rainy season while denitrifying bacteria's was prevailing only in common season ($p < 0.01$). The ammonifying bacteria had no difference in water and sediment. The results demonstrated that the difference in distribution of four nitrogen cycle bacteria in two phase and three season played a significant role in nitrogen removal, which promoted ammoniation, nitrification, nitrosification and denitrification in lake. The study also found that the $\lg [n(\text{MPN})]$ of denitrifying and ammonifying bacteria in water and sediment had significant correlation with the catching gas volume ($p < 0.001$). Furthermore, different season had different gas volume ($p < 0.01$), which showed that ammoniation and denitrification could convert organic nitrogen and nitrate into gas nitrogen (NH_3 , N_2O , N_2) and also varied greatly with different season.

Key words: denitrifying bacteria; nitrobacteria; nitrosobacteria; ammonifying bacteria; East Lake

水体氮污染日趋严重, 势必影响湖泊生态系统对其的自净作用。而氮的自净主要由氮循环系统来实现。氮循环包括生物固氮、氨化、硝化、反硝化及同化等作用, 其中生物固氮、氨化、

硝化及反硝化是微生物的特有过程^[1,2]。浅水型

基金项目: 国家自然科学基金项目(39870664)

作者简介: 刘东山(1971~), 男, 博士, 主要从事预防医学、环境科学等研究, 现为中国预防医学科学院博士后。

收稿日期: 2001-04-07; 修订日期: 2001-07-20

湖泊中氮的自净主要由氮循环细菌来实现.这类细菌在湖泊水体氮的迁移与转化中起着重要作用^[3].本研究用最大可能数法(Most Probable Number, MPN)研究了东湖氮循环细菌的分布及作用,以期从微生物角度探讨氮循环的规律,为建立环境监测的细菌学指标体系提供相关数据.

1 实验部分

1.1 样品采集及样品处理

本研究以东湖主湖区郭郑湖为研究对象,以标准方法^[4]确定具有特点的10个采样点,分别取水面下50cm细菌水样100ml,取采样点处底泥约300g,分别盛装入200ml聚乙烯塑料瓶及塑料袋中,保存于4℃冰箱中待测.

1.2 氮循环细菌 $n(\text{MPN})$ 测定

用MPN法测定水样及底泥中的细菌数 $n(\text{MPN})$ ^[5,6].分别配制硝化、亚硝化、反硝化及氨化细菌培养基^[5,6],调节pH值,装9mL于L150mm×di15mm的试管中,并将L30mm×di5mm的小指管分别倒置装有反硝化和氨化细菌培养基的每支试管中,加塞,在121℃下灭菌30min备用.

每个水样作6~7个10倍系列稀释,每支试管中接种水样和稀释水样各1mL,每一稀释度做3个平行.取所采底泥10g,置于盛无菌水90mL锥形瓶中,即稀释10倍,然后用无菌移液管(每种稀释度换用一支移液管)依次稀释成 10^{-2} 、 10^{-3} 、 10^{-4} 、...悬液.每支试管中接种水样和稀释水样各1mL,每一稀释度作3个平行.

在(28±1℃)条件下,氨化细菌、反硝化细菌培养15d,硝化和亚硝化细菌培养30d,以红石蕊试纸、纳氏试剂、格里斯试剂、二苯胺试剂、醋酸-硫酸亚铁试剂等检测各种形态氮的产生和消失情况,并定期观测发酵管内发酵、产气情况,查MPN^[6]表,用下式计算样品中细菌数 $n(\text{MPN})/\text{L}$.

1 mL(g)样品中菌数 = 菌近似值 × 数量指标第一位数的稀释倍数

在比较水样、泥样 $n[\text{MPN}]$ 时,视1L为1kg.

1.3 氨化和反硝化强度的鉴定

在MPN法定量测定水体及底泥氮循环细菌数量的同时,选用大试管(L200mm×di30mm)内倒置5.0mL的刻度小试管)分别盛装45mL氨化、反硝化细菌培养基,各设立3个平行,培养基分装后,灭菌同MPN法,然后分别测氨化、反硝化强度.每管接种原水样5mL,泥样5g,同样条件培养15d,记录刻度小试管内截留的气体量,并用塑料导管和注射器吸出气体,氨化气体用纳氏法测定,反硝化气体用气相色谱分析以确定气体的性质.

2 实验结果

2.1 不同水期各采样点水体中细菌数分布的比较

不同水期水体中氮循环细菌数分布见表1.

表 1 各水期水体氮循环细菌最大可能数 $n(\text{MPN})$ 的几何均值

Table 1 The geometric means of $n(\text{PMN})$ of nitrogen cycle bacteria in water during different season			
细菌	平水期 (Apr-00)	丰水期 (Jul-00)	枯水期 (Nov-00)
亚硝化菌 (nob)	5.24×10^3	2.10×10^5	6.12×10^2
硝化菌 (nb)	3.43×10^6	4.09×10^5	1.70×10^6
反硝化菌 (db)	3.05×10^6	6.89×10^5	9.79×10^3
氨化菌 (ab)	1.14×10^6	2.16×10^5	3.97×10^4

图1~图4分别是亚硝化、硝化、反硝化、氨化4种细菌不同水期各采样点的分布情况.

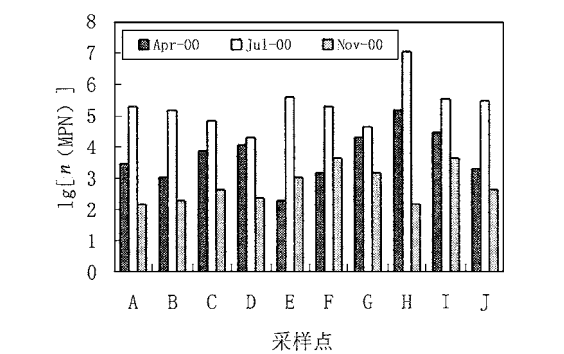


图 1 不同水期水体中亚硝化细菌分布状况
Fig.1 Distribution of nitrosobacteria in water in diferent season

由图1、表1可见,亚硝化菌在3个水期

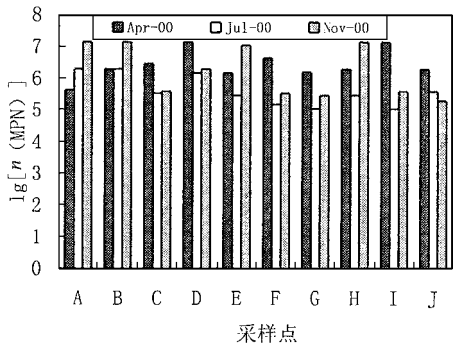


图 2 不同水期水体中硝化细菌分布状况
Fig.2 Distribution of nitro bacteria
in water in different season

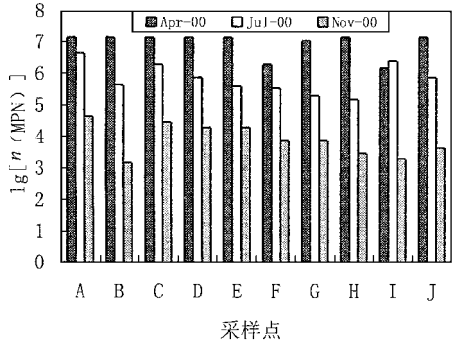


图 3 不同水期水体中反硝化细菌分布状况
Fig.3 Distribution of denitrifying bacteria
in water in different season

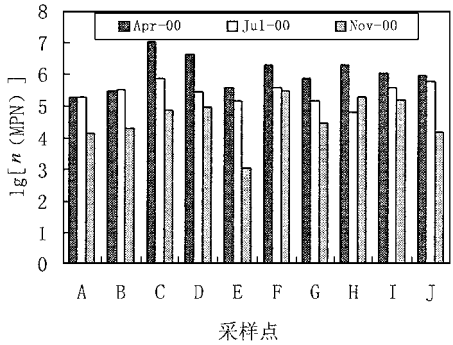


图 4 不同水期水体中氨化细菌分布状况
Fig.4 Distribution of ammonifying bacteria
in water in different season

n (MPN) 数量分布不同,丰水期最高,平水期居中而枯水期最小,各期水体细菌最大可能数的对数几何均值 $\lg [n \text{ (MPN)}]$ 为 5.323 ± 0.733 、 3.719 ± 0.828 、 2.787 ± 0.565 。方差分析表明:3 水期亚硝化细菌 n (MPN) 均有极显著差异 (p

< 0.01)。进一步进行 Q 检验发现各水期 n (MPN) 均有显著差异 ($p < 0.01$) ,丰水期 n (MPN) 比平水期和枯水期分别高 2 个和 3 个数量级,平水期比枯水期高至少 1 个数量级 ($p < 0.01$)。这表明东湖水体中亚硝化菌数量在丰水期较高,生长状况良好而其它 2 期数量较低。

与之相对,水体硝化细菌的分布不同(表 1 图 2), n (MPN) 在丰水期最小,其它 2 个水期差别不大,其对数几何均值分别为:丰水期 5.621 ± 0.489 ,平水期 6.535 ± 0.526 ,枯水期 6.230 ± 0.810 。方差分析表明:3 水期硝化菌分布数量不同 ($p < 0.01$)。 Q 检验表明,丰水期与平水期、枯水期相比其 n (MPN) 均有显著差异 ($p < 0.01$) ,而平水期与枯水期之间无显著差异 ($p > 0.05$)。

由表 1、图 3、图 4 可见,不同水期反硝化细菌和氨化细菌 n (MPN) 均存在差异 ($p < 0.01$)。 Q 检验表明:反硝化细菌数量平水期比丰水期和枯水期要高 1~3 个数量级,差异具显著性 ($p < 0.01$)。而丰水期和枯水期也相差 2 个数量级 ($p < 0.01$) ,其 n (MPN) 为:平水期 $>$ 丰水期 $>$ 枯水期。对数几何均数分别是 6.957 ± 0.381 、 5.838 ± 0.482 、 3.909 ± 0.508 ,氨化细菌的数量枯水期要比其它 2 期低 2~3 个数量级,3 期 n (MPN) 比较均有显著差异 ($p < 0.01$) ,与反硝化细菌有相同的分布趋势。

2.2 不同采样点各期底泥中氮循环细菌数分布的比较

底泥中各水期氮循环细菌数分布见表 2。

图 5~图 8 分别是亚硝化、硝化、反硝化、氨化 4 种细菌不同水期各采样点的 n (MPN)。

由表 2 和图 5 可见,不同水期底泥中亚硝化菌 n (MPN) 存在差异 ($p < 0.01$)。进一步检验发现,3 水期间 n (MPN) 均有极显著差异 ($p < 0.01$)。丰水期最高,其对数几何均值为 6.037 ± 0.408 ,枯水期为 4.157 ± 0.879 居次,而平水期最小为 3.057 ± 1.157 。丰水期各点 n (MPN) 平均要比平水期、枯水期高 2~3 个数量级,这说明底泥中亚硝化菌的生长在丰水期最好,而平水期和枯水期较差。

表 2 各水期底泥氮循环细菌[n (MPN)]的几何均值

Table 2 The geometric means of n (MPN) of nitrogen cycle bacteria in sediment during different season

细菌	平水期 (Apr-00)	丰水期 (Jul-00)	枯水期 (Nov-00)
亚硝化菌(nob)	1.14×10^3	1.18×10^6	1.44×10^4
硝化菌(nb)	4.31×10^4	3.77×10^4	1.10×10^6
反硝化菌(db)	2.17×10^6	1.05×10^6	2.22×10^4
氨化菌(ab)	4.01×10^6	1.89×10^6	1.24×10^6

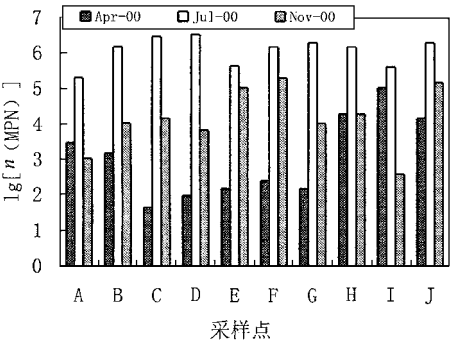


图 5 不同水期底泥中亚硝化细菌分布状况
Fig.5 Distribution of nitrosobacteria in sediment in different season

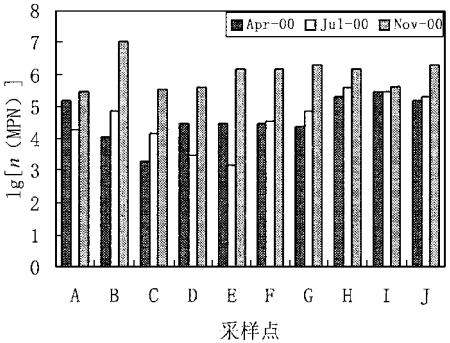


图 6 不同水期底泥中硝化细菌分布状况
Fig.6 Distribution of nitrobacteria in sediment in different seasons

由图 6 和表 2 揭示 ,底泥中硝化细菌各期分布也不相同($p < 0.01$) , Q 检验表明 ,硝化细菌在枯水期生长良好 ,其 n (MPN) 比另外 2 期高近 1.4 倍 ,而平水期、丰水期无差别($p < 0.05$) .3 期 n (MPN) 对数几何均值分别为 :平水期 4.634 ± 0.666 ,丰水期 4.576 ± 0.814 ,枯水期 6.042 ± 0.486 .

而底泥中反硝化菌的 n (MPN) ,平水期和

丰水期居高 ,枯水期较低 ,且枯水期要比另 2 期相差近 2 个数量级($p < 0.01$) ,但平水期与丰水期差异无显著性(表 2 ,图 7) ,方差分析及 Q 检验均表明 ,氨化细菌在各个水期中的数量差别不大 .

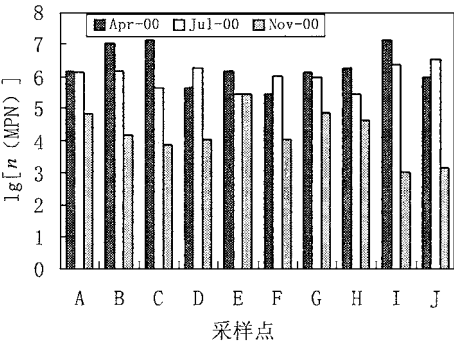


图 7 不同水期底泥中反硝化细菌分布状况
Fig.7 Distribution of denitrifying bacteria in sediment in different seasons

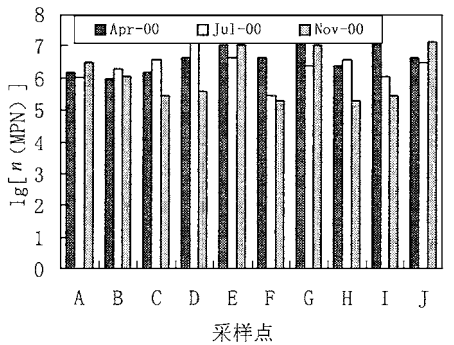


图 8 不同水期底泥中氨化细菌分布状况
Fig.8 Distribution of ammonifying bacteria in sediment in different seasons

2.3 各水期水体与底泥氮循环细菌数分布的比较

不同水期水体和底泥氮循环细菌有各自的分布特点 ,但考虑到底泥作为水体氮内源污染和对水体氮迁移的影响 ,有必要对二者进行对比研究 .

图 9 是各水期水相和泥相亚硝化细菌 n (MPN) 的分布状况 ,在平水期水相 n (MPN) 高于泥相 ,但二者无显著差异($p > 0.05$) .而丰水期水相 n (MPN) 小于泥相 ,差别具显著性($p < 0.05$) ,枯水期也是如此($p < 0.01$) .二者相差近 1.4 倍 ,可见丰、枯 2 期亚硝化菌在底泥中分

布较多.硝化菌 n (MPN) 的分布(图 10) ,平水期和丰水期水相均大于泥相,差别均具显著性($p < 0. 01$) ,枯水期 2 相差别不大.这说明此 2 期硝化细菌更适于水体中生长.硝化菌是需氧菌,且对温度的要求均较严格,此时水体较底泥有更多的溶解氧,且其底物 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 又大量存在于水体中.反硝化菌是兼性菌,溶解氧不是其生长的主要因素,故温度对其生长便至关重要.由其分布图 11 看出,除平水期水相 n (MPN) 高于泥相,具显著性($p < 0. 05$) 外,其它 2 期并不具有显著性.而气温较低的枯水期其数量也是最小的.

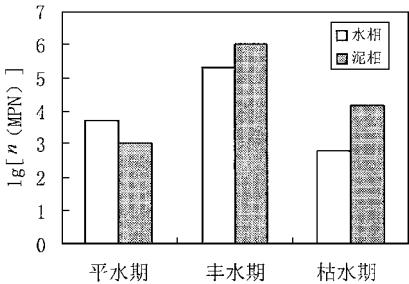


图 9 不同水期水相和泥相亚硝化细菌的分布状况
Fig. 9 Distribution of nitrosobacteria in water and sediment phase

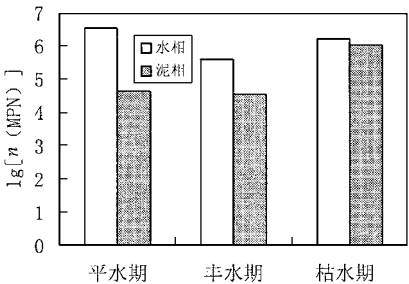


图 10 不同水期水相和泥相硝化细菌分布状况
Fig. 10 Distribution of nitrobacteria in water and sediment phase

以有机氮为底物的氨化细菌,它的数量自然与含氮有机物的多少有关.由图 12 可见,各期水相氨化细菌的 n (MPN) 均小于泥相. t 检验表明,3 个水期水相、泥相均存在显著差异.可见泥相更适于氨化细菌的生长.这可能是底泥中含氮有机物的量要比水体中高,且温度比水体中更加稳定的缘故.

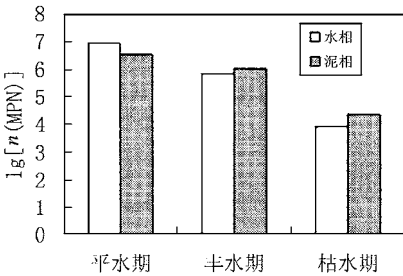


图 11 不同水期水相和泥相反硝化细菌分布状况
Fig. 11 Distribution of denitrifying bacteria in water and sediment phase

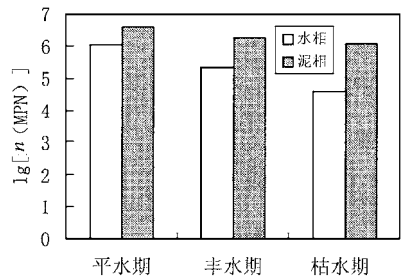


图 12 不同水期水相和泥相氨化细菌分布状况
Fig. 12 Distribution of ammonifying bacteria in water and sediment phase

由上面的分布状况还可以发现,无论是水体还是底泥中的亚硝化菌数量均小于其它 3 类细菌 n (MPN) ,这说明它能制约氮的循环作用.

2. 4 氨化和反硝化作用产气量比较

在测定水体、底泥氨化和反硝化细菌 n (MPN) 的同时,还测定了各样品氨化和反硝化的产气量以及气体的主要类别,氨化作用产生的气体主要是 NH_3 ;反硝化作用产生的气体主要是 N_2O .表 3 和表 4 分别是水体和底泥的 n (MPN) 与反硝化、氨化气体截流量.对 n (MPN) 取对数,并与产气量作相关分析,得到水相反硝化、氨化菌 $\lg[n(\text{MPN})]$ 与产气量的相关系数分别是 0. 984 和 0. 935 .对相关系数进行 t 检验得到 t 值分别是 29. 22 和 13. 75 ,均大于 $t(0. 001 , 28) = 3. 674$.表明两者的相关性有极显著意义.底泥中反硝化、氨化细菌的最大可能数与产气量的相关性也有极显著意义.其相关系数为 0. 953 和 0. 832 , t 值分别为 16. 64 和 7. 936

表 3 水体反硝化和氨化细菌的 n (MPN)与气体截留量

Table 3 The catching gas volume and n (MPN) of ammonifying and denitrifying bacteria in water

样点	项目	氨化细菌(ammonifying bacteria)			反硝化细菌(denitrifying bacteria)		
		Apr-00	Jul-00	Nov-00	Apr-00	Jul-00	Nov-00
A	n (MPN)	1.4×10^7	4.5×10^6	4.5×10^4	2.0×10^5	2.0×10^5	1.4×10^4
	V/ml	3.0	2.4	0.8	3.0	2.4	0.8
B	n (MPN)	1.4×10^7	4.5×10^5	1.5×10^3	3.0×10^5	3.5×10^5	2.0×10^4
	V/ml	3.0	1.6	0.2	3.0	1.6	0.2
C	n (MPN)	1.4×10^7	2.0×10^6	3.0×10^4	1.1×10^7	7.5×10^5	7.5×10^4
	V/ml	3.1	2.0	0.6	3.1	2.0	0.6
D	n (MPN)	1.4×10^7	7.5×10^5	2.0×10^4	4.5×10^6	3.0×10^5	9.5×10^4
	V/ml	3.0	1.8	0.6	3.0	1.8	0.6
E	n (MPN)	1.4×10^7	4.0×10^5	2.0×10^4	4.0×10^5	1.5×10^5	1.1×10^3
	V/ml	3.0	1.5	0.6	3.0	1.5	0.6
F	n (MPN)	2.0×10^6	3.5×10^5	7.5×10^3	2.0×10^6	4.0×10^5	3.0×10^5
	V/ml	2.0	1.5	0.5	2.0	1.5	0.5
G	n (MPN)	1.1×10^7	2.0×10^5	7.5×10^3	7.0×10^4	1.5×10^5	3.0×10^4
	V/ml	2.8	1.2	0.4	2.8	1.2	0.4
H	n (MPN)	1.4×10^7	1.5×10^5	3.0×10^3	2.0×10^5	6.5×10^4	2.0×10^5
	V/ml	2.8	1.0	0.3	2.8	1.0	0.3
I	n (MPN)	1.5×10^6	2.5×10^6	2.0×10^3	1.1×10^5	4.0×10^5	1.6×10^5
	V/ml	2.0	2.2	0.3	2.0	2.2	0.3
J	n (MPN)	1.4×10^7	7.5×10^5	4.5×10^3	9.5×10^5	6.0×10^4	1.5×10^4
	V/ml	2.9	2.0	0.3	2.9	2.0	0.3

表 4 底泥反硝化和氨化细菌的 n (MPN)与气体截留量

Table 4 The catching gas volume and n (MPN) of ammonifying and denitrifying bacteria in sediment

样点	项目	氨化细菌(ammonifying bacteria)			反硝化细菌(denitrifying bacteria)		
		Apr-00	Jul-00	Nov-00	Apr-00	Jul-00	Nov-00
A	n (MPN)	1.5×10^6	1.4×10^6	7.0×10^4	1.5×10^6	1.1×10^6	3.0×10^6
	V/ml	2.0	2.0	1.0	2.2	2.0	2.8
B	n (MPN)	1.1×10^7	1.5×10^6	1.5×10^5	9.5×10^5	2.0×10^6	1.15×10^6
	V/ml	2.8	1.8	1.1	2.0	2.5	2.5
C	n (MPN)	1.4×10^7	4.5×10^5	7.5×10^3	1.5×10^6	4.0×10^6	3.0×10^5
	V/ml	2.8	1.5	0.2	2.0	2.7	2.3
D	n (MPN)	4.5×10^5	2.0×10^6	1.1×10^4	4.5×10^6	1.4×10^7	4.05×10^5
	V/ml	1.3	2.0	0.4	2.6	4.0	2.5
E	n (MPN)	1.5×10^6	3.0×10^5	3.0×10^5	1.1×10^5	4.5×10^6	1.1×10^3
	V/ml	1.8	1.2	1.1	3.0	2.8	3.4
F	n (MPN)	3.0×10^5	1.1×10^5	1.15×10^4	4.5×10^6	3.0×10^5	2.0×10^5
	V/ml	1.5	1.6	0.4	2.6	2.4	2.2
G	n (MPN)	1.4×10^6	9.5×10^5	7.5×10^4	1.4×10^7	2.5×10^6	1.1×10^7
	V/ml	2.0	1.2	1.1	3.0	2.4	3.2
H	n (MPN)	2.0×10^6	3.0×10^5	4.5×10^4	2.5×10^6	4.0×10^6	2.0×10^5
	V/ml	2.0	1.1	0.5	2.5	2.8	1.8
I	n (MPN)	1.4×10^7	2.5×10^6	2.0×10^3	1.4×10^7	1.15×10^6	3.0×10^5
	V/ml	3.0	2.0	0.2	3.0	2.5	2.0
J	n (MPN)	9.5×10^5	3.5×10^6	1.4×10^3	4.5×10^6	3.0×10^5	1.4×10^7
	V/ml	1.5	2.2	0.2	2.7	2.5	3.1

3 讨论

3.1 氮循环细菌的分布

富营养化湖泊中,由于湖水的均质性及水量、气候的差异,这些菌群的生长受外界因素影响较大;而底质中由于藻类、水生高等植物及水体的自然流动等因素在特定条件下可提供上述菌群的生长环境。研究结果表明东湖水体中亚硝化菌的生长以丰水期最有利,枯水期最差,而硝化菌在丰水期较少,平水期和枯水期较多,这与此时水体中较高浓度的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 有关。水体中反硝化菌、氨化菌 $n(\text{MPN})$ 平水期最高,丰水期次之,枯水期最少。考虑到 2 种细菌对溶解氧的要求不高,在其它条件不变的前提下,温度便成为主要的影响因素,因此温度较为适宜的平水期、丰水期生长较好,温度较低的枯水期其 $n(\text{MPN})$ 最小。

底泥中亚硝化菌的数量也是丰水期最高,但硝化细菌在丰水期与平水期数量不高。这除了较高浓度的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 利于亚硝化菌生长而抑制硝化菌的生长外,底泥中氧含量低,有机质高也是其重要影响因素。而当温度下降时(枯水期),水中生物量亦下降,沉积于底泥中的有机物含量降低,加之此时湖水量下降,促进了硝化菌的生长。反硝化菌以平水、丰水 2 期生长较好而枯水期最低,说明其受温度的影响较大。由于底泥相对稳定,氨化菌并无差异。

研究结果表明:4 种细菌水、泥 2 相的分布也存在差异。亚硝化菌在丰水期和枯水期水相分布小于泥相,平水期 2 相差别不大。硝化细菌在平水、丰水 2 期水相中占优势,枯水期差别不大。说明在水相中硝化菌生长要比泥相中好。这是因为硝化菌是需氧菌,对氧的要求较高,水体中的溶解氧较高,因此在水体中生长良好。

反硝化菌除具有平水期 > 丰水期 > 枯水期的特点外,平水期水相 $n(\text{MPN})$ 要高于泥相,其它 2 期并无明显差异。以含氮有机物为底物的氨化细菌,由于对氧无特殊要求,温度及底物便是其主要影响因素。研究表明同水期水相细菌含量均小于泥相。这是因为在相同温度下,底泥中有相对集中的含氮有机物,底泥性质相对稳

定,对该菌的生长更为适宜。

3.2 氮循环细菌分布对氮循环过程的影响

在水体氮循环系统中,亚硝化、硝化、反硝化及氨化作用均是其必要环节。但只有存在相应的细菌,氮循环过程才能进行。因此,氮循环细菌的分布对氮循环过程有重要影响。而且,本研究采用的 MPN 法测定东湖水样和泥样中各菌含量,也是依据样品中各菌在一定条件下将各自底物分别转化为相应产物的概率,来估计样品中各菌 $n(\text{MPN})$ 。因此,MPN 法测定的水体及底泥亚硝化、硝化、反硝化及氨化细菌结果,在某种意义上便反映了整个湖区亚硝化、硝化、反硝化及氨化作用强度。

4 结论

(1) 亚硝化菌 $n(\text{MPN})$ 在水体及底泥中均低于其它氮循环菌,且亚硝化菌在丰水期生长较好。

(2) 硝化细菌在丰水期生长较差,且易受其它氮如 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 的影响。

(3) 反硝化菌受水期影响较大,其 $n(\text{MPN})$ 平水期 > 丰水期 > 枯水期,且在泥相中更易生长。氨化细菌在有机物较多的底质中生长较好。

(4) 氨化和反硝化作用均可产气,且氨化、反硝化的 $n(\text{MPN})$ 之对数与产气量显著相关。说明氨化作用可将有机氮转化为铵和氨,并以气态氨的形式挥发,而反硝化作用可将 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 转化为 N_2O 和 N_2 释出水体。

参考文献:

- 1 Matulewich VA, Finstein MS. Distribution of autotrophic nitrifying bacteria in a polluted river (the Passaic). *Appl. Environ. Microbiol.*, 1978, **35**(1): 67 ~ 71.
- 2 Northup RR, Yu Z, Dahlgren RA et al. Polyphenol control of nitrogen release from pine litter. *Nature*, 1995, **377**(2): 227 ~ 229.
- 3 Roberto Garcia Ruiz, Sarah N, Pattinson et al. Kinetic Parameter of Denitrification in a River Continuum. *Appl. Environ. Microbiol.*, 1998, **64**(7): 2533 ~ 2538.
- 4 国家环保局《水生生物检测手册》编委会. 水生生物检测手册. 南京: 东南大学出版社, 1993. 67 ~ 82, 124 ~ 158.
- 5 Matulewich VA, Strom PF, Finstein MS. Length of Incubation for Enumerating Nitrifying Bacteria Present in Various Environments. *Appl. Microbiol.*, 1975, **29**(2): 265 ~ 268.
- 6 陈绍铭, 郑福寿. 水生生物学实验法. 北京: 海洋出版社, 1985. 81 ~ 86, 227 ~ 241.