

# 艾比湖湿地氨氧化细菌数量空间分布及其与土壤环境相关性分析

陈登稳 王孝国 胡文革\* 杨迪 路李鹏 董艳艳

(石河子大学 生命科学学院 新疆 石河子 832003)

**摘要:**【目的】对新疆艾比湖湿地不同植被类型(柽柳群落、盐节木群落、芦苇群落)和土壤深度(0–5 cm、5 cm–15 cm、15 cm–25 cm、25 cm–35 cm)中氨氧化细菌数量空间分布进行研究,并对其与土壤环境因子的相互关系进行分析。【方法】采用 MPN-Griess 和 Pearson 相关分析法。

【结果】艾比湖湿地不同植被类型氨氧化细菌的数量存在明显的差异,分布趋势为柽柳群落最高,盐节木群落次之,芦苇群落最低;不同土层中氨氧化细菌的数量也存在明显的差异,分布趋势为 15 cm–25 cm>0–5 cm>5 cm–15 cm>25 cm–35 cm;氨氧化细菌数量分布与土壤有机质含量呈显著相关,与土壤 pH、含水量、盐度以及氨氮含量等因子之间均无相关性。【结论】艾比湖湿地不同植被类型和不同土层中氨氧化细菌数量的分布均存在显著差异;氨氧化细菌数量的空间分布除与土壤有机质含量呈显著相关外,与其他土壤环境因子均无相关性。

**关键词:** 艾比湖湿地, 氨氧化细菌, MPN-Griess, 土壤环境

## Correlation analysis between the distribution of ammonia-oxidizing bacteria and soil environment in Ebinur Lake Wetland

CHEN Deng-Wen WANG Xiao-Guo HU Wen-Ge\* YANG Di  
LU Li-Peng DONG Yan-Yan

(College of Life Science, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832003, China)

**Abstract: [Objective]** In order to study the spatial distribution of ammonia-oxidizing bacteria

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(No. 31160026); 石河子大学高层次人才科研启动资金专项(No. RCZX201010)

\*通讯作者: ✉: hwg-t@163.com.

收稿日期: 2011-08-30; 接受日期: 2011-11-30

(AOB) in different vegetation communities (*Tamarix ramosissima*, *Halocnemum strobilaceum*, *Phragmites australis*) and different soil layers (0–5 cm, 5 cm–15 cm, 15 cm–25 cm and 25 cm–35 cm) of wetland in the Ebinur Lake in Xinjiang. Then explore the correlations between the spatial distribution of AOB and soil environment factors. [Methods] MPN-Griess was used to study the distribution of AOB, using Pearson's correlation analysis relationships between the distribution of AOB and soil environment factors. [Results] The distribution of AOB had obvious differences in vegetation communities of wetland in Ebinur Lake. The trend of distribution is that the highest *Tamarix ramosissima* community area, *Halocnemum strobilaceum* community is the second smallest and *Phragmites australis* community area minimum. The distribution of AOB also had obvious differences in different soil layers, the trend of distribution is that 15 cm–25 cm > 0–5 cm > 5 cm–15 cm > 25 cm–35 cm. The distribution of AOB was significantly correlated to soil organic matter content, it had no correlation with pH, Moisture content, Salinity and  $\text{NH}_4^+$ -N content. [Conclusion] The distribution of AOB had obvious differences in vegetation communities and different soil layers of wetland in Ebinur Lake. Except the distribution of AOB showed obvious relationship with soil organic matter content, it had no relation with the other soil factors.

**Keywords:** Ebinur Lake Wetland, Ammonia-oxidizing bacteria, MPN-Griess, Soil environment

氮在地球表层的循环转化是地球最基本和重要的物质循环之一, 硝化作用是全球氮循环中非常关键的一个环节<sup>[1]</sup>。硝化作用是由硝化细菌的两个关键共生菌群相互作用来实现的, 分别是亚硝化细菌(氨氧化细菌)和硝酸细菌(亚硝酸盐氧化细菌)<sup>[2]</sup>, 硝化作用是首先由氨氧化细菌将氨态氮( $\text{NH}_3$ )氧化为亚硝酸( $\text{NO}_2^-$ ), 再由硝酸细菌将亚硝酸氧化为硝态氮( $\text{NO}_3^-$ )<sup>[3]</sup>的过程。由于亚硝酸极不稳定, 易被氧化为硝酸, 因此由氨氧化细菌进行的第一步氧化过程是整个硝化过程的限速步骤, 氨氧化微生物是硝化过程的主要驱动者<sup>[4]</sup>。

氨氧化细菌 (Ammonia-oxidizing bacteria, AOB) 是一类专性化能自养硝化细菌, 广泛分布于自然界的土壤、海洋及淡水中。氨氧化细菌种类、数量及其种群生态分布的变化, 将直接或间接影响土壤养分循环、水体富营养化、温室气体( $\text{N}_2\text{O}$ )和生态系统的功能<sup>[5]</sup>。由于氨氧化细菌生理特征上的局限, 比如生长缓慢、对外部环境因子的影响十分敏感等使得氨氧化步骤成为整个氮素循环过程中的限速步骤<sup>[6]</sup>。因此, 为了更好地

理解生态环境与该系统中的氨氧化细菌之间的关系, 进而保持生态系统的稳定性, 研究生态因子对氨氧化细菌的影响已经受到越来越多的关注<sup>[7]</sup>。

湿地是介于陆地和水体之间、兼有水陆特征的过渡性生态系统, 也是维系地球表层生物多样性和生态平衡的重要生态系统<sup>[8]</sup>。前期研究发现, 湿地生态系统对氨态氮有显著的截留和净化功能, 而氨态氮是氨氧化细菌进行氨氧化反应的底物, 氮循环是湿地生态系统中最基本和重要的物质循环之一<sup>[9]</sup>。因此, 研究氨氧化细菌数量的空间分布特征对了解湿地生态系统的氮循环状况具有重要意义。

由于氨氧化细菌对维持地球氮素生物化学的生态平衡起着关键的作用, 现已成为国内外一个研究热点。目前关于氨氧化细菌空间分布的报道主要见于海洋和土壤生态系统<sup>[10–15]</sup>, 在湿地生态系统中的报道相对较少<sup>[16–17]</sup>, 且主要集中在人工湿地和类型单一的天然湿地。新疆艾比湖湿地属于湖泊湿地、沼泽湿地及河流湿地的组合, 具有这些湿地的共性, 且属于盐水极端环境, 该环境

中的氨氧化细菌应具有一些独特的生理特征。本文采用 MPN-Griess 方法,研究了新疆艾比湖湿地不同植被类型和不同土壤深度中氨氧化细菌数量的空间分布,并对其与土壤环境的关系进行了初步研究,以期在充分发挥艾比湖湿地自身生态功能基础上,开展湿地生态环境恢复与重建工作提供基础数据和科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

艾比湖湿地自然保护区位于新疆精河县西北(82°36'–83°50'E, 44°30'–45°09'N)、准噶尔盆地西南,是这一区域的最低洼地和水盐汇集中心<sup>[18]</sup>。该保护区为典型温带大陆性干旱气候,全年日照时数约 2 800 h,年均气温 6 °C–8 °C,年均降水量 89.8–169.7 mm,年均蒸发量 1569–3421 mm<sup>[19]</sup>。本文以保护区内天然湖滨湿地为研究对象,按陆向方向选取间距大于 200 m 的柽柳群落区、盐节木群落区和芦苇群落区 3 种典型植被类型区为样地,采样地基本情况见表 1。

### 1.2 土样采集

于 2010 年 8 月 18 日进行野外土样采样,每个样地水平方向上选取 5 个采样点,每个采样点内随机刨 3 个坑,去除表面植被,按 0–5 cm、5 cm–15 cm、15 cm–25 cm、25 cm–35 cm 4 个垂直土壤剖面采集土样,将同一样地同一土壤剖面的

土样混合均匀后装入无菌塑料袋中并贴上标签,带回实验室放入 4 °C 冰箱保存待用。留取部分土样自然风干过 0.1 mm 筛,用于土壤理化性质分析。

### 1.3 实验方法与数据处理

**1.3.1 氨氧化细菌计数:**氨氧化细菌培养基的配制和 MPN-Griess 4 管计数法的具体操作按照文献[20]进行。

(1) 环境因子对氨氧化细菌计数培养的影响实验

实验以所有土层中土壤等量混合后的混合土样为样品,共设 32 个实验组, A1–A8 为不同氨氮浓度组, B1–B8 为不同盐度组, C1–C8 为不同 pH 组, D1–D8 为不同温度组,除实验因素外,各实验组的实验条件均为氨氮浓度 2.0 g/L、盐度 10 ms/cm、pH 7.5、温度 28 °C,实验分组见表 2。空白系列用无菌水代替土壤悬液作对照,每个条件下均做 4 个平行样。

(2) 氨氧化细菌最优培养条件的筛选

以氨氮浓度、盐度、pH 和温度为因素,以 1.3.1(1)实验结果中各组氨氧化细菌数量的 3 个最大值所对应的氨氮浓度、盐度、pH 和温度的数值为水平,设计因素水平表并确定正交试验方案 [ $L_9(3^4)$ ],以得到最优培养条件。

(3) 氨氧化细菌的计数

用最优培养条件对所有土壤样品中的氨氧化细菌进行培养计数。

表 1 艾比湖湿地采样地基本情况  
Table 1 The basic information of the samples in the Ebinur Lake Wetland

项目 Item	柽柳群落区 <i>Tamarix ramosissima</i>	盐节木群落区 <i>Halocnemum strobilaceum</i>	芦苇群落区 <i>Phragmites australis</i>
经度 Longitude (E)	82°49'10.1"	82°49'10.0"	82°49'14.4"
纬度 Latitude (N)	44°50'12.6"	44°50'06.7"	44°50'02.3"
海拔 Elevation (m)	190	192	200
植被类型 Vegetation types	柽柳+盐角草+盐惠木 <i>Tamarix ramosissima</i> + <i>Salicornia europaea</i> + <i>Halostachys caspica</i>	盐节木+盐爪爪+盐角草 <i>Halocnemum strobilaceum</i> + <i>Kalidium foliatum</i> + <i>Salicornia europaea</i>	芦苇+白刺+罗布麻 <i>Phragmites australis</i> + <i>Nitraria schoberi</i> + <i>Apocynum venetum</i>
土壤类型 Soil types	砂壤土 Sandy loam soil	砂壤土 Sandy loam soil	砂壤土-粘土 Sandy loam-Clay soil

表 2 实验分组  
Table 2 Group of experiment

氨氮组 Group of NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N		盐度组 Group of salinity		pH 组 Group of pH		温度组 Group of temperature	
组别 Group	氨氮浓度 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (g/L)	组别 Group	盐度 Salinity (ms/cm)	组别 Group	pH	组别 Group	温度 Temperature (°C)
A1	0.10	B1	0	C1	5.0	D1	12
A2	0.50	B2	10	C2	6.0	D2	15
A3	1.00	B3	20	C3	7.0	D3	20
A4	1.50	B4	30	C4	7.5	D4	25
A5	2.00	B5	40	C5	8.0	D5	28
A6	3.00	B6	50	C6	8.5	D6	30
A7	4.00	B7	60	C7	9.0	D7	35
A8	5.00	B8	70	C8	10.0	D8	38

**1.3.2 土壤理化性质测定:** 土壤理化性质分析测定采用土壤常规分析方法<sup>[21]</sup>; 土壤含水量测定采用 105 °C 烘干比重法; pH 测定采用电位法, 土壤浸提液制备水土比 5:1, 使用 PHS-3C 型酸度计测定; 盐度测定采用电导法测定, 土壤浸提液制备水土比为 5:1, 使用 DJ-320 电导仪测定; 有机质测定采用重铬酸钾容量法-稀释热法; 铵态氮测定采用次氯酸钠氧化靛酚蓝比色法。

**1.3.3 数据处理:** 采用 SPSS 16.0 和 Excel 2003 统计分析软件进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 环境因子对氨氧化细菌计数培养的影响

环境因子对氨氧化细菌计数培养的影响结果见图 1A-D。

氨氮浓度对氨氧化细菌计数培养的影响结果见图 1A。从图 1A 可以看出, 当氨氮浓度为 2 g/L 时, 氨氧化细菌的数量达到最大值; 而当氨氮起始浓度<0.5 g/L 或>4 g/L 时, 氨氧化菌的生长受到明显抑制。

盐度对氨氧化细菌计数培养的影响结果见图 1B。从图 1B 可以看出, 当盐度为 20 ms/cm 时, 氨

氧化细菌数量达到最大值; 而盐度分别为 0、40 和 50 ms/cm 时, 氨氧化细菌数量没有显著变化, 而且数量均较低, 说明氨氧化菌的生长开始被抑制; 当盐度大于 60 ms/cm 时, 氨氧化细菌的生长受到明显抑制。

pH 对氨氧化细菌计数培养的影响结果见图 1C。从图 1C 可以看出, pH 8.5 为最佳水平, 氨氧化细菌的数量达到最大值; 当 pH<7.0 或 pH>10.0 时, 氨氧化细菌的生长缓慢, 而当 pH<6.0 时, 氨氧化细菌生长受到明显抑制。

温度对氨氧化细菌计数培养的影响结果见图 1D。从图 1D 可以看出, 温度为 28 °C 时, 氨氧化细菌的数量达到最大值; 温度为 15 °C 和 35 °C 时氨氧化细菌数量较低, 说明氨氧化菌的生长开始被抑制; 温度低于 15 °C 和高于 35 °C 时, 氨氧化细菌的生长受到明显抑制。

2.2 氨氧化细菌最优培养条件的筛选

以氨氮浓度、盐度、pH 和温度为因素, 以图 1 中各组氨氧化细菌数量的 3 个最大值所对应的氨氮浓度、盐度、pH 和温度的数值为水平, 设计因素水平表(表 3), 确定正交试验方案。

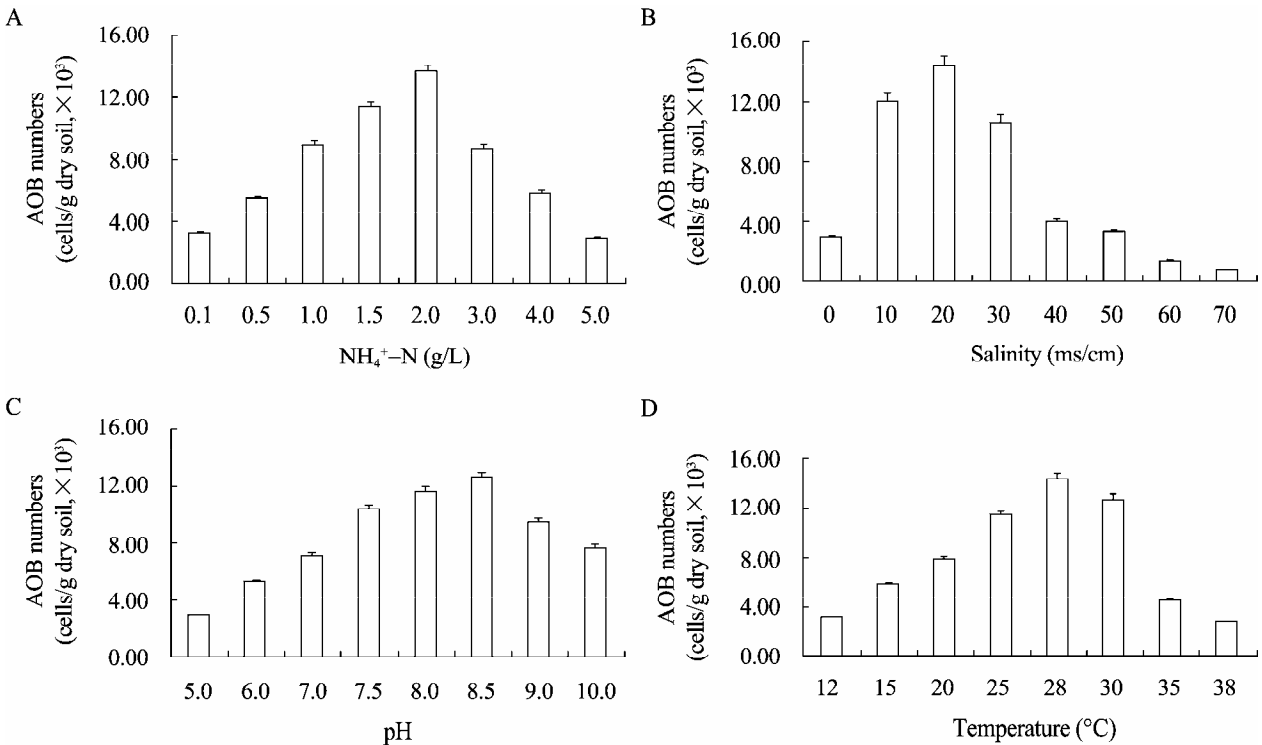


图 1 环境因子对氨氧化细菌数量的影响

Fig. 1 Effects of environmental factors on the number of AOB

注: a、b、c 和 d 分别表示不同氨氮浓度、盐度、pH 和温度时的氨氧化细菌数量。  
Note: a, b, c and d represent respectively the AOB numbers in different  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ , salinity, pH and temperature.

表 3 正交设计因素水平表				
Table 3 Factors and levels of the orthogonal test				
水平 Levels	因素 Factors			
	氨氮浓度 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ (g/L)	盐度 Salinity (ms/cm)	pH	温度 Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )
1	1.0	10	7.5	25
2	1.5	20	8.0	28
3	2.0	30	8.5	30

通过正交试验结果得出氨氧化细菌的最优培养条件: 氨氮浓度 2.0 g/L, 盐度 20 ms/cm, pH 8.5, 温度 28  $^{\circ}\text{C}$ 。

2.3 艾比湖湿地土壤氨氧化细菌数量的空间分布

对艾比湖湿地不同植被类型、不同土层中氨氧化细菌培养计数结果见图 2。由图 2 可以看出, 3

种不同植被类型下土壤氨氧化细菌数量存在较大的差异, 分布趋势为怪柳区最高, 盐节木区次之, 芦苇区最低。而在同一植被类型、不同土层中, 氨氧化细菌数量也存在很大的差异, 分布趋势为: 15 cm–25 cm>0–5 cm>5 cm–15 cm>25 cm–35 cm。

2.4 氨氧化细菌数量的空间分布与土壤环境因子之间的相关性分析

艾比湖湿地不同植被类型土壤理化性质测定结果见表 4。由表 4 可以看出, 研究区土壤呈碱性, pH 的变化范围为 8.20–9.25, 其中约 75% 的土壤 pH 高于 8.45; 土壤含水量相对较低; 土壤盐度较高, 变化范围为 1.79–9.65 ms/cm, 上层盐度普遍高于中下层; 土壤有机质含量普遍较低; 氨氮作为氨氧化细菌的反应底物, 其含量在艾比湖湿地土壤中较低。

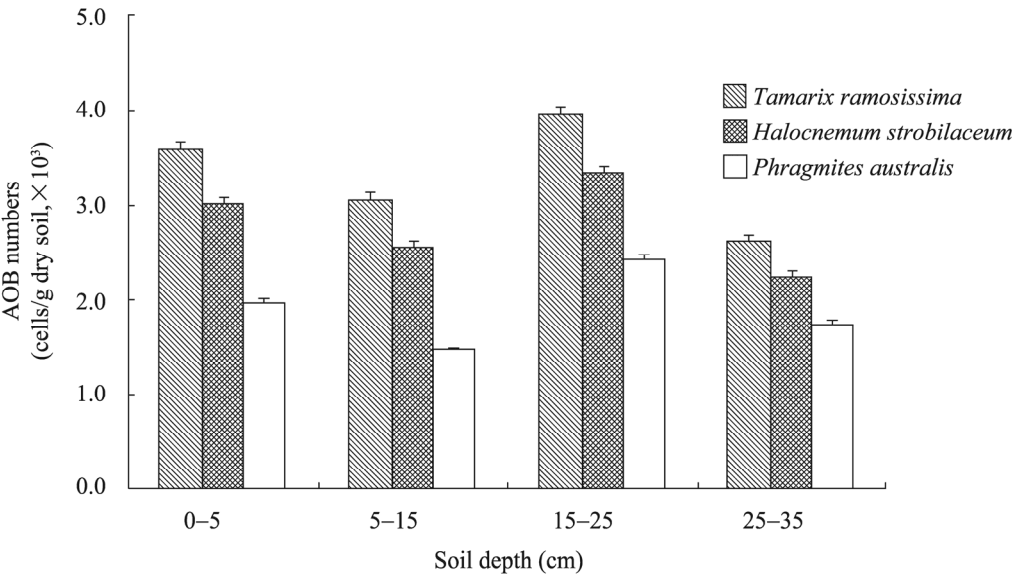


图 2 不同深度土壤中氨氧化细菌数量的分布

Fig. 2 The distribution of AOB numbers in different soil depth

表 4 不同植被类型土壤理化性质						
Table 4 Soil physicochemical characteristics of different vegetation types						
植被类型 Vegetation types	土壤深度 Soil depth (cm)	pH	含水量 Moisture content (%)	盐度 Salinity (ms/cm)	有机质 Organic matter (g/kg)	氨氮 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (mg/kg)
柽柳群落区 <i>Tamarix ramosissima</i>	0-5	9.25	14.97	9.09	3.28	5.65
	5-15	8.87	17.79	5.86	2.83	10.81
	15-25	8.61	19.37	4.54	3.68	7.80
	25-35	8.51	12.30	2.52	3.21	6.05
盐节木群落区 <i>Halocnemum strobilaceum</i>	0-5	8.64	14.39	10.65	2.78	9.63
	5-15	8.56	17.60	4.21	2.53	5.94
	15-25	8.45	18.20	2.18	2.94	8.08
	25-35	8.23	12.05	1.80	2.62	7.24
芦苇群落区 <i>Phragmites australis</i>	0-5	8.70	16.57	9.65	2.83	5.30
	5-15	8.46	17.51	4.38	2.39	6.21
	15-25	8.38	17.79	2.58	3.06	7.04
	25-35	8.20	16.37	1.79	2.58	5.91

艾比湖湿地氨氧化细菌数量与土壤环境因子之间的相关性见表 5。由表 5 可以看出，氨氧化细菌数量与土壤有机质含量呈极显著正相关( $r=0.781$ ,  $P=0.003<0.01$ ), 而与土壤 pH、含水量、盐度和  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  浓度均无显著相关。

3 讨论

3.1 环境因子对氨氧化细菌培养计数的影响

影响氨氧化细菌培养计数的环境因子很多, 其中主要有温度、氨氮浓度、溶解氧含量、pH、

表 5 氨氧化细菌数量与土壤理化性质相关分析  
Table 5 Correlation analysis of AOB numbers with soil physicochemical characteristics

指数 Index	pH	含水量 Moisture content (%)	盐度 Salinity (ms/cm)	有机质 Organic matter (g/kg)	氨氮 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (mg/kg)
<i>r</i>	0.553	0.191	0.204	0.781*	0.433
<i>P</i>	0.062	0.552	0.526	0.003	0.160

注: \*: 在 0.01 水平下成极显著差异( $P < 0.01$ ).

Note: \*: Correlation is significant at the 0.01 level ( $P < 0.01$ ).

盐度、抑制化合物以及光照等。本研究主要探讨了氨氮浓度、盐度、pH 以及温度对氨氧化细菌培养计数的影响。

氨氮作为氨氧化细菌的起始作用底物,其浓度与氨氧化细菌的数量有直接的关系<sup>[22]</sup>。较低的底物浓度常常不能满足氨氧化细菌生长的要求,但过高的底物浓度又可能对氨氧化细菌产生抑制作用。研究表明不同环境中的氨氧化细菌对氨氮浓度的敏感性不尽相同<sup>[23]</sup>,且不同种属的氨氧化细菌可能会适应不同的氨氮浓度<sup>[24]</sup>。

盐度影响氨氧化细菌的生长和生理特性,氨氧化细菌对盐度渗透压的变化有很大的耐受性。有研究表明氨氧化细菌能生存于盐湖、海水及淡水中,但最佳生长环境仍依种属不同而异。高盐度有助于某些氨氧化菌的生长繁殖,但对另一些氨氧化菌的生长则具有抑制作用<sup>[25-26]</sup>。

氨氧化细菌对 pH 变化非常敏感,并且在生长过程中会引起菌液 pH 降低。氨氧化细菌生长缓慢,一般适宜生长在 pH 7.5-8.5 环境中,在 pH>9.0 或 pH<5.0 时其生长将受到抑制。当 pH<5.0 时,系统中氨氧化细菌就会停止生长<sup>[27]</sup>。

温度对氨氧化细菌的生长有较大的影响,因为温度能影响氨氧化细菌的增殖速度和活性。氨氧化细菌一般属中温生长菌,其生长适宜的温度范围为 20 °C-30 °C。有研究表明当温度低于 10 °C 时,氨氧化细菌的生长显著减慢。当温度高于 35 °C 时,则对氨氧化细菌的酶系具有破

坏作用,从而抑制氨氧化细菌的生长<sup>[28-29]</sup>。

### 3.2 不同植被类型中土壤氨氧化细菌数量的差异

不同植被类型下土壤氨氧化细菌的数量分布存在一定的差异,分析其原因可能是不同植被类型的植被结构组成不同,且对土壤表面的覆盖程度也不尽相同,造成了土壤温度、含水量的差异。温度通过对土壤中氨氮浓度、pH 和土壤湿度的影响来影响氨氧化细菌的增殖速度和活性;而土壤含水量则通过对氧分压的影响来影响氨氧化细菌的活性<sup>[22]</sup>。桉柳枝叶茂密丛生,根系发达,可以吸收深层的地下水,能够起到很好的防风固沙作用,减小土壤水分的蒸发,桉柳还有很强的抗盐碱能力,桉柳区土壤氨氧化细菌数量最多可能与桉柳的生长机制有关。盐节木区植被覆盖程度较大,植物须根系发达,土壤结构稳定,通气性较好,水分适宜,这些特征可能与盐节木区氨氧化细菌数量较多有关。由于芦苇生长的土壤环境比较湿润,土壤质地致密,通气性较差,这可能是导致芦苇区氨氧化细菌数量最少的主要原因。

### 3.3 不同土层中氨氧化细菌数量的差异

不同土层中氨氧化细菌的数量分布也存在一定的差异,这可能与不同土层中土壤含水量、pH、有机质、盐度以及氨氮含量等土壤理化因子的差异有关,也可能与植物根孔隙率及泌氧能力的差异有关<sup>[30]</sup>。另外土壤的结构、通气性、养分

状况等对土壤微生物也均有重要的影响。有研究表明好氧氨氧化细菌的数量会随着土壤深度的增加而减少, 因为深度增加, 土壤趋向于厌氧状态, 从而抑制了氨氧化细菌的生长<sup>[31]</sup>。本研究表明同一植被类型下 15 cm–25 cm 土层中氨氧化细菌数量高于其他土层, 可能是该土层的通气性、水分状况、养分状况等因素综合水平相对较好, 有利于氨氧化细菌的生长。

### 3.4 氨氧化细菌数量与土壤环境因子相关性分析

本研究表明艾比湖湿地不同植被、不同土层中氨氧化细菌的数量分布与土壤有机质含量呈显著正相关, 而与土壤 pH、含水量、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$  浓度和盐度均无显著相关。

土壤氨氧化细菌数量与土壤 pH、含水量、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$  浓度无显著相关, 因为氨氧化细菌的底物是  $\text{NH}_3$  而不是  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 。吕艳华<sup>[32]</sup>对黄河三角洲湿地硝化细菌生态特征及硝化作用研究表明, 氨氧化细菌数量与氨氮含量、pH、含水量相关性不显著。袁飞<sup>[33]</sup>对不同农田土壤中的硝化作用及硝化细菌种群研究表明, 3 种土壤中氨氧化细菌数量与 3 种土壤 pH、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$  浓度无显著相关。Whitby 等<sup>[30]</sup>研究指出, 氨氧化细菌数量与  $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$  的比例显著相关, 而与  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  浓度相关不显著。因为  $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$  的比例不仅与  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  浓度有关, 而且与土壤 pH、通气状况等土壤理化性状有关。因此不同植被类型下土壤氨氧化细菌数量与土壤 pH、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$  浓度可能相关不显著, 但受 pH、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$  浓度和通气状况等土壤条件的共同影响。

土壤氨氧化细菌数量与土壤盐度无显著相关, 这与郝永俊和吕艳华等研究结果一致<sup>[5,32]</sup>。分析原因在于氨氧化细菌对盐度渗透压的变化有很大的耐受性。氨氧化细菌能迅速调节细胞内环境以减少因盐度变化所带来的冲击, 因此氨氧化细菌的数量不会因盐度稍为改变而有明显的

变化<sup>[34]</sup>。

土壤氨氧化细菌数量与土壤有机质含量呈显著正相关。这与袁飞和文都日乐等的研究结果相一致<sup>[33,35]</sup>。但是氨氧化细菌属于典型的化能无机自养细菌, 土壤有机质不是其碳源或能源, 通常情况下有机质的存在会刺激异养菌的迅速生长, 从而使氨氧化细菌的生长受到抑制, 而有机质本身并不直接影响氨氧化细菌的生长和活性<sup>[36]</sup>。因此这种显著相关并不代表有机质对氨氧化细菌的生长有促进作用, 具体机理是什么尚不清楚, 可能有机质含量不同的土壤中其他性状的差异对氨氧化细菌的生长有影响。

## 参 考 文 献

- [1] 马英, 钱鲁闽, 王永胜, 等. 硝化细菌分子生态学研究进展[J]. 中国水产科学, 2007, 14(5): 872–879.
- [2] Hong JK, Cho JC. The phylogenetic affiliation of an uncultured population of ammonia-oxidizing bacteria harboring environmental sequences of amoA Cluster-3[J]. Journal of Microbiology and Biotechnology, 2011, 21(6): 567–573.
- [3] 张星, 林炜铁, 朱雅楠. 硝化细菌中亚硝酸盐氧化还原酶的研究进展[J]. 微生物学通报, 2008, 35(11): 1806–1810.
- [4] 贾仲君, 翁佳华, 林先贵, 等. 氨氧化古菌的生态学研究进展[J]. 微生物学报, 2010, 50(4): 431–437.
- [5] 郝永俊, 吴松维, 吴伟祥, 等. 好氧氨氧化菌的种群生态学研究进展[J]. 生态学报, 2007, 27(4): 1573–1582.
- [6] Oved T, Shaviv A, Goldrath T, et al. Influence of effluent irrigation on community composition and function of ammonia oxidizing bacteria in soil[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2001, 67(8): 3426–3433.
- [7] Dong LH, Yang JS, Yuan HL. Research advances in molecular ecology of ammonia oxidizing bacte-

- ria[J]. Journal of Applied Ecology, 2008, 19(6): 1381-1388.
- [8] 唐杰, 徐青锐, 王立明, 等. 若尔盖高原湿地不同退化阶段的土壤细菌群落多样性[J]. 微生物学通报, 2011, 38(5): 677-686.
- [9] Yin CQ, Shao X, Wang X. Retention capacity of phosphorus and nitrogen by land/water ecotone soil in Lake Baiyangdian[J]. Chinese Journal of Ecology, 1999, 18(5): 7-11.
- [10] He JZ, Zhang LM. Advances in ammonia-oxidizing microorganisms and global nitrogen cycle[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(1): 406-415.
- [11] Francis CA, Roberts KJ, Beman JM, et al. Ubiquity and diversity of ammonia oxidizing archaea in water columns and sediments of the ocean[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2005, 102(41): 14683-14688.
- [12] Liu ZH, Huang SB, Sun GP, et al. Diversity and abundance of ammonia-oxidizing archaea in the Dongjiang River[J]. Microbiological Research, 2011, 166(5): 337-345.
- [13] 袁飞, 冉炜, 胡江, 等. 变性梯度凝胶电泳法研究我国不同土壤氨氧化细菌群落组成及活性[J]. 生态学报, 2005, 25(6): 1318-1324.
- [14] Du XG. Study on genres component of ammonia oxidizing bacteria[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2007, 13(5): 27-28.
- [15] 陈立广, 樊景凤, 关道明, 等. 辽河口沉积物中硝化细菌数量的时空变化分析[J]. 海洋环境科学, 2010, 29(2): 174-178.
- [16] 吕艳华, 白洁, 姜艳, 等. 黄河三角洲湿地硝化作用强度及影响因素研究[J]. 海洋湖沼通报, 2008(2): 61-66.
- [17] Ye L, Zhu GB, Wang Y, et al. Abundance and biodiversity of ammonia-oxidizing archaea and bacteria in littoral wetland of Baiyangdian Lake, North China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(8): 2209-2215.
- [18] 任建丽, 金海龙, 叶茂, 等. 艾比湖湿地自然保护区水质分析与评价[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(5): 154-157.
- [19] Wu JL, Liu JJ, Wang SM. Climatic change record from stable isotopes in Lake AIBI, Xinjiang during the past 1500 years[J]. Quaternary Sciences, 2004, 24(5): 585-589.
- [20] 李振高, 骆永明, 滕应著. 土壤与环境微生物研究法[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 106-153.
- [21] Lu RK, ed. Methods of Soil Analysis[M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2000: 30-72.
- [22] Olav Sliemers A, Haaijer SCM, Stafsnes MH, et al. Competition and coexistence of aerobic ammonium- and nitrite-oxidizing bacteria at low oxygen concentrations[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2005, 68(6): 808-817.
- [23] 邱珊莲, 周易勇. 不同培养基对湖泊氨氧化细菌 MPN 计数的影响[J]. 微生物学通报, 2008, 35(10): 1668-1673.
- [24] Philips S, Laanbroek HJ, Verstraete WO. Causes and effects of increased nitrite concentrations in aquatic environments[J]. Reviews of Environmental Science and Biotechnology, 2002(1): 115-141.
- [25] Koops HP, Pommerening-Röser A. Distribution and ecophysiology of the nitrifying bacteria emphasizing cultured species[J]. FEMS Microbiology Ecology, 2001, 37(1): 1-9.
- [26] Finstein MS, Bitzky MR. Relationships of autotrophic ammonium-oxidizing bacteria to marine salts[J]. Water Research, 1972, 6(1): 31-40.
- [27] 张明. 硝化细菌应用技术研究[D]. 上海: 华东师范大学博士学位论文, 2003.
- [28] 盛蕾蕾. 氨氧化细菌的分子生物学检测方法及应用研究[D]. 青岛: 中国海洋大学硕士学位论文, 2007.
- [29] Grunditz C, Dalhammar G. Development of nitrification inhibition assays using pure cultures of *Nitrosomonas* and *Nitrobacter*[J]. Water Research, 2000, 35(2): 433-440.
- [30] Whitby CB, Saunders JR, Pickup RW, et al. Comparison of ammonia-oxidiser populations in eutrophic and oligotrophic and oligotrophic basins of a large freshwater lake[J]. Plant and Soil, 2001, 79: 179-188.

- [31] 岳冬梅, 田梦, 宋炜, 等. 太湖沉积物中氮循环细菌的微生物生态[J]. 微生物学通报, 2011, 38(4): 555-560.
- [32] 吕艳华. 黄河三角洲湿地硝化细菌生态特征及硝化作用研究[D]. 青岛: 中国海洋大学硕士学位论文, 2007.
- [33] 袁飞. 不同农田土壤中的硝化作用及硝化细菌种群[D]. 南京: 南京农业大学博士学位论文, 2004.
- [34] Li JL, Bai J, Gao HW, et al. Distribution of ammonia-oxidizing *Betaproteobacteria* community in surface sediment off the Changjiang River Estuary in summer [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2011, 30(3): 92-99.
- [35] 文都日乐, 李刚, 杨殿林, 等. 内蒙古呼伦贝尔草原土壤氨氧化细菌多样性及群落结构[J]. 应用生态学报, 2011, 22(4): 929-935.
- [36] 张伟. 硝化细菌的富集培养及氨单加氧酶基因片段的 PCR 扩增[D]. 杭州: 浙江大学硕士学位论文, 2002.

## 征 稿 简 则

### 1 刊物简介与栏目设置

《微生物学通报》是由中国科学院微生物研究所和中国微生物学会主办的, 以微生物学应用基础研究及技术创新与应用为主的综合性学术期刊。刊登内容包括: 工业微生物学、海洋微生物学、环境微生物学、基础微生物学、农业微生物学、食品微生物学、兽医微生物学、药物微生物学、医学微生物学、病毒学、酶工程、发酵工程、代谢工程等领域的最新研究成果, 产业化新技术和新进展, 以及微生物学教学研究和改革等。设置的栏目有: 研究报告、专论与综述、生物实验室、高校教改纵横、名课讲堂、教学与科研成果展示、显微世界、专题专栏、专家论坛、书讯、会讯等。

### 2 投稿方式

投稿时请登录我刊主页 <http://journals.im.ac.cn/wwxtbcn>, 点击作者投稿区, 第一次投稿请先注册, 获得用户名和密码, 然后依照提示提交稿件, 详见主页“投稿、征稿须知”。

作者必须在网站投.doc 格式的电子稿, 图与文字编好页码、图号后合成一个文件上传。凡不符合(投稿须知)要求的文稿, 本部恕不受理。

### 3 写作要求

来稿要求论点明确, 数据可靠, 简明通顺, 重点突出。

#### 3.1 图表

文中的图表须清晰简明, 文字叙述应避免与图表重复。所有小图的宽度应小于 8 cm (占半栏), 大图的宽度应小于 17 cm (通栏)。

#### 3.2 参考文献及脚注

参考文献按文内引用的先后顺序排序编码, 未公开发表的资料请勿引用。我刊的参考文献需要注明著者(文献作者不超过 3 人时全部列出, 多于 3 人时列出前 3 人, 后加“等”或“et al.”, 作者姓前、名后, 名字之间用逗号隔开)、文献名、刊名、年卷期及页码。国外期刊名可以缩写, 但必须标准, 不加缩写点, 不用斜体。参考文献数量不限。

参考文献格式举例:

期刊: [1] 刘杰, 成子强, 史宣玲. SARS 冠状病毒 *nsP14* 基因的克隆和表达[J]. 微生物学通报, 2007, 34(2): 1-3.

[2] Kajiura H, Mori K, Tobimatsu T, et al. Characterization and mechanism of action of a reactivating factor for adenosylcobalamin-dependent glycerol dehydratase[J]. Journal of Biological Chemistry, 2001, 276(39): 36514-36519.

图书: [3] 钱存柔, 黄仪秀. 微生物实验教程[M]. 北京: 北京大学出版社, 2000: 4.

[4] 董志扬, 张树政, 方宣钧, 等. 海藻的生物合成及抗逆机理//华路等. 核农学进展[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996: 115-120.

脚注(正文首页下方):

基金项目: 基金项目(No. )

\*通讯作者: Tel: ; Fax: ; E-mail:

收稿日期: 2012-00-00; 接受日期: 2012-00-00

(下转 p.352)