

海洋亚硝酸盐氧化细菌的多样性分布及其生态功能研究进展

吴彩妮 顾婷婷 柴明杰 叶含迎

浙江伊漾源检测科技有限公司 浙江 舟山 316000

摘要:硝化作用是海洋氮循环中无法或缺的一个部分,更是营养缺乏的有氧海水环境中主要氮循环过程。亚硝酸盐氧化细菌是海洋水体环境中已知的硝化菌,主导硝化作用。文章综合叙述了海洋亚硝酸盐氧化细菌的种类、多样性分布以及生态功能,明确了海洋亚硝酸盐氧化细菌在海洋氮循环中的功能,希望为海洋亚硝酸盐氧化细菌的生态功能研究提供一些参考。

关键词:海洋;亚硝酸盐氧化细菌;多样性

Progress on the diversity distribution of marine nitrite-oxidizing bacteria and their ecological function

Wu Caini, Gu Tingting, Chai Mingjie, Ye Hanying

Zhejiang Yiyuan Testing Technology Co., LTD. Zhejiang Zhoushan 316000

Abstract: Nitrification is an impossible or indispensable part of the ocean nitrogen cycle, and it is also the main nitrogen cycle process in the nutrient-deficient aerobic seawater environment. Nitrite-oxidizing bacteria are known nitrification bacteria in marine water environments that dominate nitrification. This paper comprehensively describes the species, diversity distribution and ecological functions of Marine nitrite oxidizing bacteria, and has clarified the functions of Marine nitrite oxidizing bacteria in the Marine nitrogen cycle, hoping to provide some reference for the ecological function research of Marine nitrite oxidizing bacteria.

Key words: ocean; nitrite-oxidizing bacteria; diversity

前言:氮是地球中全部生命必需基本元素,广泛存在于全部组成蛋白质的氨基酸内。而环境中的氮无法被生物利用,需要转换为无机氮化合物,自然界中单质氮、化合态氮、有机氮相互转化的过程是生物地球氮化学循环的重要组成部分。广袤的海洋为氮循环提供了充足空间,满足了氮的多形态转化需求。但整个过程需要借助各种生物介导,海洋亚硝酸盐氧化细菌介导的硝化作用是其中之一,在一定程度上决定着海洋初级生产力的大小。基于此,研究海洋亚硝酸盐氧化细菌的分布与功能具有非常积极的意义。

1 海洋亚硝酸盐氧化细菌的种类

由刘步蟾,罗剑飞,黄燊曦等在2021年发表于《环境工程学报》的《重金属和抗生素胁迫对亚硝酸盐氧化菌及硝化菌群活性的影响》可知,海洋亚硝酸盐氧化细菌(NO₂-oxidizing-bacteria)广泛存在于海洋环境,主要负责将亚硝酸根氧化为硝酸根,在此过程中海洋亚硝酸盐氧化细菌获取能力,并借助二氧化碳或碳酸氢根作为碳源合成有机物^[1]。截止至今,海洋亚硝酸盐氧化细菌包括7个属,隶属于4个门,即:隶属于Nitrospirae(硝化螺旋菌门的Nitrospira(1986年, Watson发现),包括Nitrospira lineage VI(Nitrospira Marina 295、Nitrospira sp.Ecomares2.1)、

Comammox等分支,广泛分布于海洋环境,其中Comammox可以分布于海洋沉积物中,可以直接将氨根氧化为硝酸根;隶属于Proteobacteria(变形菌门)的Nitrotoga(2007年, Alawi发现)、Nitrobacter(1892年, Winogradsky发现)、Nitrococcus(1971年, Watson发现),分别存在于入海口高底物环境、低温海洋环境、高底物海洋环境;隶属于Chloroflexi(绿弯菌门)的Nitrolancea(2012年, Sorokin发现),菌株Nitrolancetus hollandicus主要存在于深层海洋环境,对亚硝酸盐的亲合力处于极低的水平;隶属于Nitrospinae(硝化刺菌门)的Nitrospina(2011年, Qian发现),主要分布于有氧海区、黑海次表层、盐度25‰~35‰的海水环境内。

2 海洋亚硝酸盐氧化细菌的多样性分布

由于莉芳,莫鹏程,杨秀玲等在2021年发表于《中国给水排水》的《长期运行条件下亚硝酸盐氧化菌的低温适应策略》可知,海洋亚硝酸盐氧化细菌可以分布于10℃、15℃、20℃环境中^[2]。且随着温度的下降,海洋亚硝酸盐氧化细菌的比氨氧化速率会随之下降,嗜冷菌Nitrotoga逐渐增加甚至取代Nitrospira。表明海洋亚硝酸盐氧化细菌具有较强的低温适应性,可以顺利适应低温环境,在低温环境中生存。而在

非低温环境中, Nitrospira分布范围较广, 可以分布于海洋近海口环境、寡营养环境与海底沉积物环境。隶属于硝化刺菌门、硝化刺菌科的Nitrospina则可以在黑海次表层、红海有氧海区甚至高盐(40‰)极端环境下生存, 特别是Nitrospina的分支Candidatus Nitromaritima可以合成羟基四氢嘧啶, 羟基四氢嘧啶是一种良好的渗透压调节剂, 可以在高盐环境下稳定生存。同时由孙全敏, 迟雪梅, 马明昊等在2022年发表于《中国食品添加剂》的《一种筛选高效降解亚硝酸盐海洋低温细菌的方法》可知, 借助0.01%亚甲蓝与1%碳化钙鉴别培养基, 可以获得降解亚硝酸盐能力的亚硝酸盐氧化细菌, 其作用环境酸碱值为3.98, 表明亚硝酸盐氧化细菌可以在强酸性环境中生存, 并借助生物膜两侧形成钠离子梯度释放能量完成草酰乙酸脱羧代谢反应^[3]。

由李奕燃, 董昆, 于雪等在2022年发表于《环境工程学报》的《利用16S rRNA高通量测序技术考察温度对生物脱氮硝化过程中亚硝酸盐氧化菌代谢功能的影响》可知, 因海洋中层维度温度差异较小, 垂直剖面静水压力、营养盐、温度、溶解氧浓度具有较大差异, 在加之高吸附性亚硝酸盐氧化还原酶($nxrA+nxrB+nxC$ 亚基)的存在, 海洋中层亚硝酸盐氧化细菌纬度分布差异较小, 垂直剖面分布差异较为显著^[4]。

3 海洋亚硝酸盐氧化细菌的生态功能

3.1 亚硝酸盐氧化与氮循环

由陈阳军, 陈敏在2021年发表于《地球科学进展》的《亚硝酸盐氮、氧同位素技术及其在海洋氮循环中的应用》可知, 氮是海洋生物生长过程中无法或缺的营养元素, 氮循环过程与磷循环、碳循环紧密耦合, 协同调节控制着海洋生态系统结构。亚硝酸盐氧化细菌是海洋氮循环过程中的中间体, 作用于厌氧氨氧化、硝化、硝酸盐生物吸收、厌氧氨氧化等多个过程^[5]。从海洋亚硝酸盐源汇过程甄别结果来看, 大面积分布的亚硝酸盐氧化细菌的不同分支共同驱动着诸多海域的氮生物地球化学循环。其中Nitrococcus属细菌、Nitrospina属细菌共同驱动着纳米比亚氧气最小区域的氮循环; Nitrospina属类细菌驱动着太平洋东南部季节上升流区、沉积物以及东热带北太平洋表层水体、红海咸水-海水交界面的氮循环; Candidatus Nitromaritima属细菌驱动着高盐高温、海洋无光层的氮循环, 如东热带南太平洋、南海等海域。在氮循环过程中, 亚硝酸盐氧化细菌可以将亚硝酸盐稳定固化在生态系统内, 维持海洋生态系统特别是贫营养海洋生态系统的氮素水平, 并在为海洋微生物、植物提供氮源的同时, 将硝酸盐电子受体供应给低氧环境中微生物, 满足微生物呼吸所需

3.2 自养固碳

由史银银, 明红霞, 陈泉睿等在2021年发表于《微生物学

通报》的《亚硝酸盐氧化细菌的生态位以及对海洋环境变化的响应机制》可知, 硝酸盐在满足海洋微生物氮利用需求的同时, 也在一定程度上制约了表层海洋生物生产力, 需要利用海洋环境中亚硝酸盐氧化细菌的自养固碳作用^[6]。Nitrospinae属的亚硝酸盐氧化细菌是海洋环境特别是海洋无光层固碳的优势种群, 可以固定北大西洋、近北极太平洋、地中海等海域的无机碳, 且因亚硝酸盐氧化细菌对深海底物亲和力较高, 可以满足深海自养固碳需求。分别范围较为广阔的固碳途径是基于Nitrococcus、Nitrobacter、Nitrolancea固碳, 固碳过程中的关键酶为核酮糖-1, 5-二磷酸羧化酶/磷酸核酮糖激酶; Candidatus Nitromaritima、Nitrospira、Nitrospina的固碳过程关键酶为ATP-柠檬酸裂解酶、2-酮酸氧化还原酶(铁氧还原蛋白氧化还原酶), 可在中低氧浓度下固碳。

3.3 氨氧化抑制

由马晓林, 李远婷, 田永芝等在2021年发表于《西北农业学报》的《博斯腾湖沉积物氨氧化细菌的筛选与鉴定》可知, 深层沉积物混合菌株中存在亚硝酸盐氧化细菌, 其可以抑制氨氧化细菌利用铵盐生成亚硝酸盐与氮气的过程^[7]。具体表现为: 海洋环境中, 原有氨氧化细菌可以在氧气含量极少的情况下, 以亚硝酸盐为电子受体, 将氨氧化为氮气。而亚硝酸盐氧化细菌则负责完成氮气向氮化合物的转化, 形成完整的硝化过程。在缺氧环境下, 亚硝酸盐氧化细菌可以与氨氧化细菌形成选择性抑菌效应, 并对对氨根亲和力较高的分支Comammox将氨根氧化为硝酸根, 避免氨氧化细菌大量繁殖, 维持海洋环境氮气浓度一定。

结语:

综上所述, 海洋环境中亚硝酸盐氧化细菌包括Nitrospira、Nitrotoga、Nitrobacter、Nitrococcus、Nitrolancea、Nitrospina几种类别, 广泛分布于低温、强酸、低氧、无光环境中, 涵盖了东热带南太平洋、东热带北太平洋、红海、南海等海域。在海洋环境中, 亚硝酸盐氧化细菌不仅参与了海洋氮循环, 而且具有自养固碳作用, 可以为海洋生态系统的可持续运转提供充足动力。未来关于海洋亚硝酸盐氧化细菌的研究可以聚焦于有氧环境特别是氧含量较高环境下亚硝酸盐氧化细菌的活跃度、丰度与分布特征, 确定海洋环境因子调控机理, 为亚硝酸盐氧化细菌在海洋能量循环中作用的充分发挥提供依据。

参考文献:

[1]刘步蟾, 罗剑飞, 黄燊曦, 尹昊, 孙秋云, 林炜铁. 重金属和抗生素胁迫对亚硝酸盐氧化菌及硝化菌群活性的影响[J]. 环境工程学报, 2021, 15(11): 3686-3695.

[2]于莉芳, 莫鹏程, 杨秀玲, 李荣乐, 文星美, 彭党聪. 长期运行条件下亚硝酸盐氧化菌的低温适应策略[J]. 中国给排水

水,2021,37(23):68-72.

[3]孙全敏,迟雪梅,马明昊,胡杨林,迟乃玉,张庆芳.一种筛选高效降解亚硝酸盐海洋低温细菌的方法[J].中国食品添加剂,2022,33(04):129-135.

[4]李奕燃,董昆,于雪,李晓强,王光杰,孙洪伟.利用16S rRNA高通量测序技术考察温度对生物脱氮硝化过程中亚硝酸盐氧化菌代谢功能的影响[J].环境工程学报,2022, 16(03): 980-988.

[5]陈阳军,陈敏.亚硝酸盐氮、氧同位素技术及其在海洋氮循环中的应用[J].地球科学进展,2021,36(12):1224-1234.

[6]史银银,明红霞,陈泉睿,于颖,樊景凤.亚硝酸盐氧化细菌的生态位以及对海洋环境变化的响应机制[J].微生物学通报,2021,48(08):2895-2901.

[7]马晓林,李远婷,田永芝,张建平,安登第.博斯腾湖沉积物氨氧化细菌的筛选与鉴定[J].西北农业学报,2021, 30(02):262-270.