

辽东湾河口潮间带沉积物及附近土壤硝化和反硝化强度研究

杜佳鑫, 杜华超, 王连峰

(大连交通大学环境与化学工程学院 环境科学与技术辽宁省高校重点实验室, 辽宁 大连 116028)

摘要: 以流入辽东湾的4条入海河流(小凌河、大凌河、双台子河、辽河)河口处沉积物和大凌河附近的水稻田土、玉米旱地和芦苇湿地为研究对象,采用悬液振荡培养法,测定河流沉积物及附近的土壤硝化强度和反硝化强度。结果显示,4种不同河口沉积物的硝化强度和反硝化强度差异显著,硝化强度在1.32~4.89 mgN/kg·d之间,且小凌河>双台子河>辽河>大凌河;反硝化强度在5.44~10.47 mgN/kg·d之间,且辽河>双台子河>小凌河>大凌河。大凌河不同利用方式的土壤硝化强度在1.32~2.92 mgN/kg·d之间,河流沉积物最小,土壤反硝化强度在3.79~7.72 mgN/kg·d之间,水稻田土反硝化强度最大。总体上,研究对象的反硝化强度大于硝化强度,反硝化除氮能力强。研究结果对于评价河口潮间带地区沉积物及土壤的氮素转化能力有重要参考。

关键词: 沉积物;硝化强度;反硝化强度

中图分类号: X131.3

文献标志码: A

Nitrification and Denitrification Potentials of Intertidal Sediments and the Nearby Soils in Liaodong Bay Estuaries

Du Jiaxin, Du Huachao, Wang Lianfeng

(Key Laboratory of Environmental Science and Technology, Education Department of Liaoning Province, College of Environmental and Chemical Engineering, Dalian Jiaotong University, Dalian 116028, China)

Abstract: The sediments derived from the estuaries of four rivers flowing into the Liaodong Bay (Xiaoling River, Daling River, Shuangtaizi River, Liao River) and the soils derived from the paddy field, corn field and reed wetland near the Daling River were taken as the study targets and suspension culture method was used to determine the nitrification and denitrification potentials of the sediments and the nearby soils. The results showed that the nitrification potential of the sediments from four different estuaries ranged from 1.32 to 4.89 mgN/kg·d, with that of Xiaoling River the highest, followed by Shuangtaizi River, Liao River and Daling River in a descending order. The denitrification potential ranged from 5.44 to 10.47 mgN/kg·d, with that of Liao River the highest, followed by Shuangtaizi River, Xiaoling River and Daling River in a descending order. The nitrification potential of the soils in different use near Daling River estuarine ranged from 1.32 to 2.92 mgN/kg·d, with that of the sediment the lowest. The denitrification potential of the soils ranged from 3.79 to 7.72 mgN/kg·d, with that of the paddy field the highest. Therefore, the denitrification potential was higher than the nitrification potential with strong ability of nitrogen removal and the study findings were useful for evaluation of nitrogen transformation in the sediments and soils in the estuarine intertidal areas.

Keywords: Sediment; Nitrification Potential; Denitrification Potential

CLC number: X131.3

潮间带处于海陆交错地带,是连接陆地和海洋生态系统的纽带。潮间带区域的生态环境被严重破坏,各种污染物的含量在不断增加,富营养化问题已经成为全球主要的环境问题之一,而

氮是导致水体富营养化的主要原因。潮间带中的氮循环受到微生物活动和高营养盐、低盐度、水交换频繁等环境因素的影响,发生在该地区的硝化和反硝化过程有着自身的特点和规律^[1]。沉积

收稿日期: 2015-02-14

基金项目: 辽宁省自然科学基金项目(2013020134); 辽宁省高等学校优秀人才支持计划(LJQ2013050); 辽宁环境科研‘123工程’(CEPF2011-123-2-20)资助

作者简介: 杜佳鑫(1989-),女,硕士。研究方向:土壤环境学。

物有机质分解后产生的氨(NH_4^+)首先在好氧硝化细菌的作用下被氧化成硝酸盐(NO_3^-),进而在厌氧反硝化细菌的作用下还原成气态的 N_2O 和 N_2 ,重新回到大气中,沉积物中的硝化与反硝化作用可以降低沉积物中 NH_4^+ 的浓度,从而减轻高浓度 NH_4^+ 的毒性。就全球而言,约有50%从各地输入到河口的氮被通过反硝化作用除去^[2],硝化和反硝化作用能够大大减轻河口以及海洋生态系统的富营养化问题。对河口沉积物硝化和反硝化作用的研究有利于弄清河口对氮的净化能力,对氮素所造成的富营养化问题有着重要的意义。本文选择了小凌河、大凌河、双台子河、辽河4条河流入河河口处沉积物和大凌河口附近的水稻田土、玉米旱地和芦苇湿地为研究对象,测定其硝化强度和反硝化强度,比较不同河口沉积物以及同一河口处不同利用方式的沉积物和土壤氮素转化能力,以期为辽东湾地区潮间带氮素转化强度积累科学资料,为该地区的近海水体氮素污染治理提供参考。

1 材料与方 法

1.1 采样概况

在辽东湾地区,采集小凌河、大凌河、双台子河、辽河4条入海河流河口潮间带区沉积物,并在大凌河河口处采集玉米旱地,水稻田土和芦苇湿地土壤。将采集的7种样品风干,过2 mm筛。小凌河发源于辽宁省建昌县东北境楼子山(海拔645.9 m)东麓,是辽西地区第二大河,属沿海山溪性河流,干流全长206.2 km,流域面积为5 475 km²。大凌河位于辽宁省西部,发源于辽宁省凌源县,干流全长435 km,流域面积2.35万km²,平均径流量为19.16 亿 m³/a,最大含砂量 90.3 kg/m³,这里分布着芦苇沼泽、滩涂、浅海海域和河流、盐田及水稻田6种湿地生态类型,土壤类型有潮滩盐土、滨海盐土、草甸滨海盐土、沼泽土、草甸土、水稻土等^[3]。双台子河位于辽宁省盘锦市境内,总面积12.8万hm²,年平均径流量(1957~1992年)为36.52 × 10⁸ m³,属亚湿润区,潮滩沉积以粉土、砂质粉土、粉砂为主。辽河发源于与辽

宁省交界的河北省平泉县,在辽宁省盘山县注入渤海,全长1 430 km,分布着以芦苇沼泽和潮间带滩涂为主的自然湿地^[4]。

1.2 试验设计

1.2.1 样品pH值和可溶盐含量的测定 在25 °C条件下,分别选用电位法和质量法测定土壤pH值和可溶盐含量。

1.2.2 硝化和反硝化强度的测定 ①前期培养。供试的7种样品,分别取100 g样品放入150 mL玻璃烧瓶里,将水均匀地滴加到样品的表面,使样品处于湿润状态,并用保鲜膜将玻璃烧瓶口封住,在室温下,培养一周。②硝化强度的测定^[5-6]从培养1周的样品中,取15 g放入到150 mL玻璃烧瓶里,加入100 mL培养液(0.05 mol/L硫酸铵,0.2 mol/L磷酸二氢钾,0.2 mol/L磷酸氢二钾),pH值调至7.2,将瓶子用通气橡胶塞塞住,使气体交换,保持好氧条件。所有的烧瓶在ZD-1调速多用振荡器上振动24 h(170 r/min)。在0 h、24 h后分别从每个烧瓶中取出10 mL悬浮液,并立即加入10 mL的2 mol/L KCl混合,反应停止。将悬浮液过滤,分析测定样品培养前后由硝化过程产生的 NO_3^- -N的含量,以单位时间(1 d)内单位质量(1 kg)干土所产生 NO_3^- 的量表示该试样的硝化强度。③反硝化强度的测定^[7-8]。培养1周的样品中,取10 g至150 mL培养瓶中,用移液管向瓶内加25 mL培养液(1 mmol/L葡萄糖,10 mmol/L硝酸钾)。用带有取气孔的硅胶塞塞住培养瓶口,瓶塞周围用704胶密封,摇匀泥浆悬浮液。用SHZ-D(III)循环水式真空泵抽空培养瓶中的气体,然后充入氩气(大连光明特种气体生产),反复抽气和充氩气3次,使瓶内完全处于厌氧状态。把培养瓶放在ZD-1调速多用振荡器上振荡24 h(170 r/min)。分别取0 h、24 h的5 mL悬浮液,并立即加入5 mL 2 mol/L KCl,再进行过滤,测定样品中 NO_3^- -N的含量。以单位时间(1 d)内单位质量(1 kg)干土所消耗的 NO_3^- 的量表示该试样的反硝化强度。

1.2.3 氨态氮、硝态氮含量的测定 用SKALAR流动分析仪(荷兰)测定样品的氨态氮和硝态氮

含量。

1.2.4 数据处理 文章数据以3个重复的平均值及其标准偏差表示,用方差分析检测差异的显著性。用Original 8.0数学软件绘图。

2 结果与讨论

2.1 不同沉积物 and 不同利用方式土壤的pH值和可溶盐含量

供试样品的pH值和可溶盐含量,见表1。

表1 供试样品的pH和可溶盐含量

供试样品	pH	可溶盐含量/g·kg ⁻¹
小凌河沉积物	7.9	2.66
双台子河沉积物	7.3	3.36
辽河沉积物	7.5	5.38
大凌河沉积物	7.1	2.41
大凌河口玉米旱地	7.6	2.08
大凌河口芦苇湿地	7.3	2.51
大凌河口水稻田	7.0	1.41

表1可见,不同河口沉积物的pH值在7.1~7.9之间,其中小凌河沉积物pH值最高,大凌河最低,大凌河不同利用方式土壤的pH值在7.0~7.6之间,其中玉米旱地的pH值最高,水稻田最低,所有供试样品的pH值呈碱性。不同河口沉积物的可溶盐含量在2.41~5.38 g/kg之间,辽河沉积物的可溶盐含量最高,大凌河沉积物最低,大凌河不同利用方式土壤的可溶盐含量在1.41~2.51 g/kg之间,芦苇湿地的可溶盐含量最高,水稻田最低。所用供试样品的可溶盐含量都不高。

2.2 不同河口沉积物硝化强度和反硝化强度差异

不同河口沉积物硝化强度见图1。

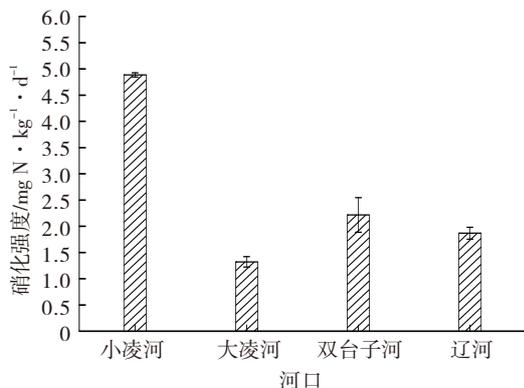


图1 不同河口沉积物硝化强度

小凌河沉积物的硝化强度最大,硝化强度为4.88 mgN/kg · d, pH值也是最大为7.9;硝化强度最小的是大凌河,大凌河的硝化强度为1.32 mgN/kg · d, pH值最小为7.1;河口沉积物硝化强度与pH值呈正相关性。李良谟等研究结果也表明,土壤的硝化率与土壤pH值呈极显著正相关性($r=0.941$),当土壤pH值为5.6时,土壤的硝化率很低,当土壤pH5.6~8.0范围内硝化率随pH的升高而增大^[9]。4种河口沉积物pH值在7.1~7.9之间,平均硝化强度为2.57 mgN/kg · d。金雪霞等研究表明,硝化作用在pH 5.5~6.0的土壤中进行得较慢,在pH 4.5~5.5的土壤中进行得非常缓慢,而在pH 4.5以下时,基本上停止^[10]。土壤中的亚硝化细菌和硝化细菌最适宜pH值为7~9之间,土壤pH值低于6则会抑制硝化细菌的生长^[11],4种河口沉积物的pH趋向于中性,有利于土壤硝化作用的发生。可溶盐也是影响硝化作用的一种重要因素,经过研究表明,盐度可以影响沉积物中的NH₄⁺的释放,由微生物活动引起矿化作用将沉积物中的有机氮转化为无机氮(首先是NH₄⁺),盐度的变化通过改变微生物的活性而抑制或加速沉积物中有机质的降解^[12]。小凌河沉积物的硝化作用最强,可溶盐含量较低,为2.66 g/kg;辽河可溶盐含量最高,为5.38 g/kg。硝化作用很微弱,说明了随着盐度的升高,会影响沉积物中的NH₄⁺的释放,从而会影响到硝化作用。吕艳华等人研究表明随着含盐量的升高,硝化强度略有减小的趋势,而在高盐度条件下,硝化强度明显减小,说明盐度较高时硝化可能受到抑制^[1]。

不同河口沉积物反硝化强度见图2,辽河沉

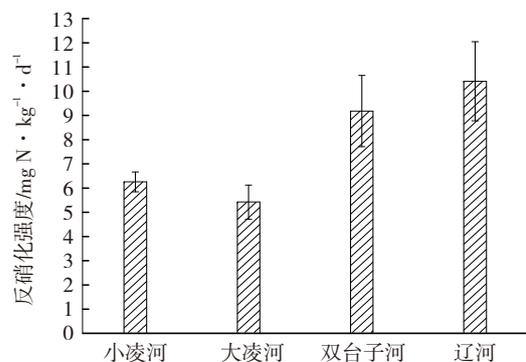


图2 不同河口沉积物反硝化强度

积物反硝化强度最大, 为 $10.47 \text{ mgN/kg} \cdot \text{d}$, pH值为7.5; 大凌河沉积物反硝化强度最小, 为 $5.44 \text{ mgN/kg} \cdot \text{d}$, pH值为7.1。说明了pH值是影响反硝化作用的一个重要因素。研究表明土壤反硝化细菌和其他异养型细菌都受土壤pH的影响, 在反硝化作用中最适 pH 值范围大概在中性或微碱性, 这是因为在酸性环境中可以利用的有机碳和无机氮要比中性或微碱性环境中的低, 在最适 pH 值范围内, 反硝化速率随pH值的增加而增加^[13]。大凌河沉积物的pH值比辽河沉积物的pH值小, 反硝化作用也没有辽河沉积物强, 4种河口沉积物pH值在7.1~7.9之间, 有利于土壤反硝化作用的发生, 平均反硝化强度为 $7.85 \text{ mgN/kg} \cdot \text{d}$ 。4种河口沉积物可溶盐含量在 $2.66 \sim 5.38 \text{ g/kg}$ 之间, 大小表现为辽河 > 双台子河 > 小凌河 > 大凌河, 反硝化强度同时也表现为辽河 > 双台子河 > 小凌河 > 大凌河。Tsuneda et al^[14]在研究废水脱氮过程中, 也表明盐分浓度从1%增加到2%时, 反硝化率可增加1倍多; 而当盐分浓度超过3%时, 反硝化率基本不变, 这说明了当盐分浓度很低时, 土壤的反硝化强度与可溶盐含量出现正相关性, 但当盐分浓度很高时则会对反硝化作用产生抑制作用, 主要原因是较高的盐分含量改变了土壤理化性状, 产生了不利于厌氧微生物的生活环境, 从而降低了反硝化菌的活性。吕海霞等^[15]研究了长白山4种森林土壤反硝化潜力, 实验结果表明阔叶红松、白桦、红松云杉冷杉、落叶松的反硝强度分别为0.61、0.53、0.32、0.21 $\text{mg/kg} \cdot \text{h}$ 。由于森林土壤肥沃, 氮含量很高, 有利于反硝化作用的发生, 而本实验研究的潮间带土壤, 处于海陆交错地带, 氮的流失比较快, 因此没有森林土壤的反硝化作用强。

2.3 同一河口不同利用方式的土壤的硝化强度和反硝化强度差异

大凌河河口4个不同生态环境中土壤硝化强度结果见图3。

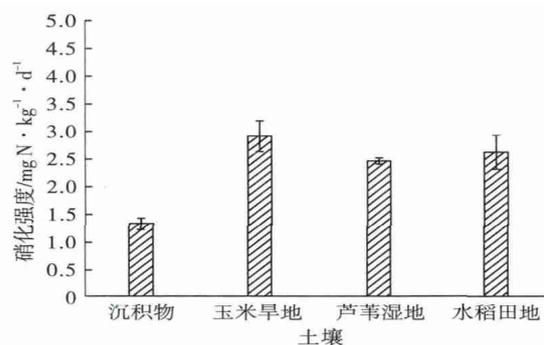


图3 大凌河不同利用方式土壤的硝化强度

大凌河河口区不同利用方式土壤的平均pH值为7.3, 有利于硝化作用的进行, 其中玉米旱地土壤的pH值最大为7.6; 硝化强度也最大, 为 $2.92 \text{ mgN/kg} \cdot \text{d}$; 4种土壤的可溶盐含量变化范围在 $1.41 \sim 2.51 \text{ g/kg}$, 其中大凌河沉积物和芦苇湿地土壤的可溶盐含量要高于玉米旱地和水稻田土。杨玉建等经过研究表明土壤含盐量的大幅度下降和土壤养分的提高密切相关, 施用有机肥和化肥, 增加土壤中的有机质和有效养分, 使盐渍化土壤向非盐渍化转化^[16]。玉米旱地和水稻田土属于耕作土壤, 长期的施肥等导致了盐分的降低。大凌河河口区不同利用方式土壤的平均硝化强度为 $2.86 \text{ mgN/kg} \cdot \text{d}$, 这与王连峰等^[17]测得的红粘土硝化强度 $2.6 \sim 3.98 \text{ mgN/kg} \cdot \text{d}$ 相近。从图3可以看出, 不同生态环境中的土壤硝化强度不同, 其中大凌河沉积物土壤硝化强度最小, 为 $1.32 \text{ mgN/kg} \cdot \text{d}$, 玉米旱地、芦苇湿地和水稻田土分别是大凌河沉积物硝化强度的2.21、1.87、1.99倍, 大凌河沉积物属于非植物区土壤, 而玉米旱地、芦苇湿地和水稻田土则属于植物区根际土壤。总的来看, 植物区根际土壤的硝化强度大于非植物区土壤, 可见植物的存在有利于硝化作用, 植物根部的好氧环境及根系分泌物有利于微生物的生长, 导致微生物数量和活性增加, 从而加强了硝化过程^[18]。而不同植物群落土壤硝化强度存在明显差异的主要原因与不同植物根际微生物区系组成及数量有关, 也与它们所处生境的生态因子有密切联系。4种土壤的pH值和可溶盐含量与硝化强度相关性不显著, 推断其他的原因是农业耕作管理措施、施肥种类、施肥量、农业灌溉方式等均影响土壤含水量、土壤有机质、

C/N、土壤硝态氮、氨态氮的变化,而这种土壤环境的变化也会影响土壤的硝化过程。

大凌河河口4个不同生态环境中土壤反硝化强度结果见图4。

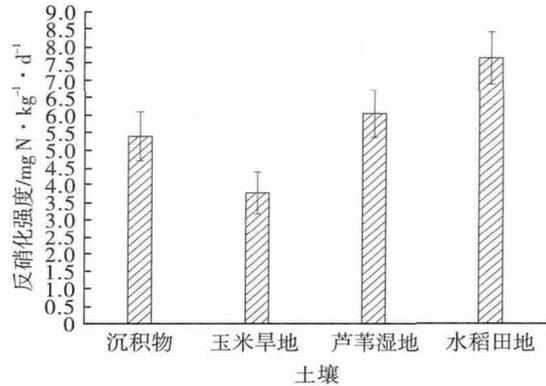


图4 大凌河不同利用方式土壤的反硝化强度

4种土壤平均反硝化强度为5.76 mgN/kg · d其中水稻田土的反硝化强度最大,为mgN/kg · d,分别是大凌河沉积物、玉米旱地和芦苇湿地的1.41、2.03、1.26倍;4种土壤的pH值和可溶盐含量与反硝化强度相关性不显著;水稻田土的反硝化强度大于其他区域的反硝化强度。可能的原因是,土壤施肥等措施提高了氮的含量,加强了反硝化作用,因此,水稻田土的反硝化作用要大于没有施肥的芦苇湿地,而且水稻田土长期处于厌氧或兼气状态,有利于反硝化细菌的生长,而玉米旱地则长期处于好氧状态,因此反硝化作用没有水稻田土强。

3 小结

不同河口沉积物的pH值在7.1~7.9之间,可溶盐含量在2.41~5.38 g/kg之间;大凌河不同利用方式土壤的pH值在7.0~7.6之间,可溶盐含量在1.41~2.51 g/kg之间。4种不同河口沉积物的硝化强度和反硝化强度差异显著,硝化强度在1.32~4.89 mgN/kg · d之间,硝化强度表现为小凌河 > 双台子河 > 辽河 > 大凌河,反硝化强度在5.44~10.47 mgN/kg · d之间,反硝化强度表现为辽河 > 双台子河 > 小凌河 > 大凌河。大凌河不同

利用方式的土壤的硝化强度和反硝化强度差异显著,土壤硝化强度在1.32~2.92 mgN/kg · d之间,水稻田土、玉米旱地和芦苇湿地的硝化强度均高于河流沉积物,土壤反硝化强度在3.79~7.72 mgN/kg · d之间,水稻田土反硝化强度大于其他区域的反硝化强度。

参考文献

- [1]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):62-66.
- [2]Howarth R W, Billen G, Swaney D, et al. Regional nitrogen budgets and riverine N & P fluxes for the drainages to the North Atlantic Ocean: Natural and human influences [J]. Biogeochemistry, 1996, 35(1):75-139.
- [3]王妮,王艳芳,霍琦,等.大凌河湿地生态环境现状及保护对策[J].现代农业科技,2010(2): 318-319.
- [4]白洁,陈春涛,赵阳国,等.辽河口湿地沉积物硝化细菌及硝化作用研究[J].环境科学,2010,31(12): 3011-3017.
- [5]鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].南京:中国农业科技出版社,2000: 146-290.
- [6]徐光辉,郑洪元.土壤微生物分析方法手册[M].北京:农业出版社,1986:110-118、234-241.
- [7]Yeomans J C, Bremner J M, McCarty G W. Denitrification capacity and denitrification potential of subsurface soils[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 1992, 23(9-10):919-927.
- [8]Šimek M, Kalcik J. Carbon and nitrate utilization in soils: the effect of long-term fertilization on potential denitrification [J]. Geoderma, 1998, 83(3-4):269-280.
- [9]李良谟,潘映华,周秀如,等.太湖地区主要类型土壤的硝化作用及其影响因素[J].土壤,1987,19(6): 289-293.
- [10]金雪霞,范晓晖,蔡贵信,等.菜地土壤氮素矿化和硝化作用的特征[J].土壤,2004,36(4):382-386.
- [11]Allison S M, Prosser J I. Ammonia oxidation at low pH by attached populations of nitrifying bacteria[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1993, 25(7):935-941.
- [12]刘培芳,陈振楼.环境因子对长江口潮滩沉积物中NH₄⁺的释放影响[J].环境科学研究,2002,15(5):29-31.
- [13]Šimek M, Cooper J E. The influence of soil pH on denitrification: progress towards the understanding of this interaction over the last 50 years[J]. European Journal of Soil Science, 2002, 53(3):345-354.
- [14]李建兵,黄冠华. NaCl对粉壤土氮挥发及硝化、反硝化的影响[J].农业环境科学学报,2006,25(4):945-948.
- [15]吕海霞,周鑫斌,张金波,等.长白山4种森林土壤反硝化潜力及产物组成[J].土壤学报,2011,48(1):40-44.
- [16]杨玉建,杨劲松.典型潮土区土壤耕层盐分含量的趋势效应研究[J].灌溉排水学报,2004,23(6):10-12.
- [17]王连峰,蔡祖聪.水分和温度对旱地红壤硝化活力和反硝化活力的影响[J].土壤,2004,36(5):543-546.