

建三江地区不同土地利用类型的反硝化潜力

郭 雷¹, 马克明¹, 张 易²

(1.中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085; 2.黑龙江省农产品质量检验检测中心, 黑龙江哈尔滨 150090)

摘 要:建三江地区农业用地的扩张和大量氮素化肥的使用,导致农田外环境中硝酸盐含量的增加,而减少硝酸盐含量的一种重要方式是在农田与接收水体间合适的地方恢复自然湿地,以通过反硝化作用去除径流中的硝酸盐含量。本文应用硝态氮剩余量法,测定建三江地区不同土地利用类型的反硝化潜力。结果表明,湿草甸反硝化潜力最高,其次是水田、旱地、林地及各级渠道,荒草地的反硝化潜力最小。在有机质、总氮、硝酸盐这几个影响因子中,有机质含量对与土壤的反硝化潜力影响较大,在 $P<0.05$ 下的相关系数为 0.80,土壤中添加硝酸盐对土壤的反硝化潜力有一定的促进作用,总 N 的含量对其有一定影响。从结果中可以看出建三江地区湿草甸是恢复自然湿地较合适的位置。

关键词:反硝化;建三江;硝酸盐

中图分类号:X522 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2009)05-0941-05

Denitrification Potential of Different Land-use Types in Jiansanjiang District

GUO Lei¹, MA Ke-ming¹, ZHANG Yi²

(1.State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 2.Determination Center for the Agro-products Quality of Heilongjiang Province, Harbin 150090, China)

Abstract: Expansion of agricultural land and excessive nitrogen fertilizer use in Jiansanjiang has resulted in increasing of the nitrate load of the river. One way to reduce this nitrate load is to restore natural wetlands at suitable locations between croplands and receiving water body to remove run-off nitrate through denitrification. Denitrification potential (DP) of different land-use types in Jiansanjiang District was determined using the nitrate surplus quantity method. The results showed that DP of wet meadow was the highest of those land-use types; Paddy field, dry farmland, woodland and ditch followed; waster grassland was the lowest. Soil organic matter significantly affected DP. Its correlation coefficient with DP was 0.8 at $P<0.05$. Nitrate addition in soils increased the DP. It was evident from these results that wet meadow in Jiansanjiang district was more suitable locations to restore natural wetland for mediating nitrate loss from agricultural runoff.

Keywords: denitrification; Jiansanjiang; nitrate

自 20 世纪 50 年代以来,三江平原经过 50 多年的开发已成为我国重要的商品粮基地。虽然三江平原的农业开发为解决我国的粮食短缺问题做出了突出贡献,但长期以来的大规模农业活动也给该区的环境带来许多负面影响。据不完全统计,全区化肥施用量达 13 万 t,但施入农田的氮肥仅有 30%~50% 被植物利用,大部分随农田排水而进入附近的水体中^[1]。

USEPA^[2]也研究得出表面水体硝态氮增加的主要来源是应用于农田的氮肥,流域水体硝酸盐浓度的增加主要与流域增加的农业活动有关^[3]。大量营养物质排入水体必将会使水体环境发生很大的变化,而且该地区降雨量大且集中,因此造成了较为严重的面源污染,使周边河流的硝酸盐负担增加,生态环境受到一定程度的破坏^[4]。如何减少硝酸盐含量目前有很多研究,包括改变氮肥的施用方式以提高氮的利用效率;采取合适的农田管理方式,如少耕、免耕等耕作方法,减少农药、化肥的施用量改变其施用方式等减少硝酸盐从农田的流失^[5];在农田和接收径流的水体之间合适的位置恢复自然湿地^[6-7]等。

收稿日期:2008-09-05

基金项目:国家自然科学基金项目(40671182)

作者简介:郭 雷(1983—),男,博士研究生,主要研究方向为景观生态学、水环境保护。E-mail:guoleicau@126.com

通讯联系人:马克明 E-mail:mkm@rcees.ac.cn

在合适的位置建立或恢复自然湿地是解决此问题的重要方法之一,它通过植被的吸收及反硝化作用减少径流中的硝酸盐含量^[8]。反硝化作用是从土壤和水体中去除硝酸盐的一种重要的生物过程,它是反硝化细菌在厌氧条件下利用 NO_3^- 作为电子受体进行呼吸,最终将 NO_3^- 还原成为 N_2 或者 NO_2^- 的过程。反硝化的速度和程度主要受土壤的有机质、硝酸盐含量、水分含量、温度和质地等的影响^[5],而土壤的这些物理化学属性主要是地形、水文和土壤管理作用的结果^[6]。目前国内对于土壤的反硝化潜力的研究主要集中于单个土地利用类型,所研究的尺度也较小,土地利用类型主要是农业用地类型^[9-10],此外还有湿地土壤^[11-12],河口区域土壤的反硝化潜力^[13-14],关注点主要是其与温室气体的关系问题,对于整个流域的土地利用类型的反硝化潜力鲜有报道。因此本文通过研究建三江各土地利用类型的反硝化潜力的大小,并同时探讨土壤中有有机质、总氮、硝酸盐对于反硝化潜力的影响,以期对流域内自然湿地恢复位置的选择提供一定的指示作用^[17]。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区概况

研究区为位于三江平原腹地的黑龙江农垦总局建三江管局,位于富锦、同江、抚远、饶河两市两县交界处,东经 $132^\circ 31' 26'' \sim 134^\circ 22' 26''$,北纬 $46^\circ 49' 42'' \sim 48^\circ 13' 58''$ 之间,系黑龙江、松花江、乌苏里江汇流的河间地带。南北相距约 153.1 km,东西相距 153.0 km,辖区总面积 1.23 万 km^2 ,占黑龙江农垦总局的 22%。

建三江管局气候属于大陆性季风气候,为三江平原温和湿润气候区。年平均气温 $1 \sim 2^\circ\text{C}$,平均降水量为 500~600 mm,年平均日照 2 300~2 600 h,平均海拔 56 m,坡降为 1/5 000~1/12 000,形成罕见的大面积平坦地势,丘陵与漫岗不足总面积的 5%,绝大部分均为平原沼泽区,现已被开发为农田。

1.2 研究方法

试验采用硝态氮剩余量法^[18]。该法原理是给三角瓶中加入一定量的硝态氮,加入三角瓶中的土样中的硝态氮的去向只能是淋失、土壤吸附和反硝化 3 个方面之一,在三角瓶中其硝态氮不可能淋失,而且其又是一种阴离子,土壤对其吸附量很小,所以,在厌氧条件下培养,通过培养前后硝态氮的损失量来表示反硝化作用的强弱。一般来说,增加有机碳源会增加土样的反硝化作用^[19],但是在实际中在景观尺度上增加

碳源是不切实际的。本方法是 1 g 土样被溶液完全淹没,处于厌氧环境,培养过程不加碳源,培养温度为 25°C ,此温度为取样时的温度,因此,确定的景观中不同土地利用类型的反硝化潜力更接近于实际条件,给培养液加入已知量的硝酸钾溶液,同时作空白对照,培养时间为 48 h,测定培养前后硝态氮的量,用它们的单位时间差值来表示反硝化作用的强弱。

1.3 样品采集与分析

研究区主要有旱地、水田、湿草甸、林地、荒草地、干渠、支渠、斗渠、农渠这些土地利用类型。2007 年 6 月在这些土地利用类型采集土样,旱地种植的是大豆,水田种植的是水稻,干渠、支渠、斗渠、农渠为三江平原以排水为目的的人工挖掘的排水通道,它们之间相互连通,水流方向是从小级别渠到大级别渠。在每种土地利用类型上随机设置 3 个点,5 点法采集土样,采集后混匀,采样深度为 20 cm,土壤样品装袋,运回实验室自然风干后,捡去石块、残根等杂物,过 1 mm 孔径筛,装袋备用。指标测定方法^[20]如下:土壤有机质测定采用重铬酸钾容量法-外加热法;土壤全氮测定采用半微量开氏法;硝态 N 采用酚二磺酸比色法;数据运用 SPSS11 软件进行统计分析。

2 结果分析

2.1 土地利用类型对反硝化潜力的影响

湿草甸表现出最高的反硝化潜力,其反硝化潜力是其他土地利用类型的 1.6~4.3 倍,经方差检验与其他土地利用类型差异呈显著水平($P < 0.05$)(图 1);其次是水田和旱地,水田反硝化潜力略高于旱地,两者差异不显著,但与各级渠道、林地和荒草地差异呈显著水平;林地与干渠、支渠、斗渠、农渠之间的反硝化潜力相近,

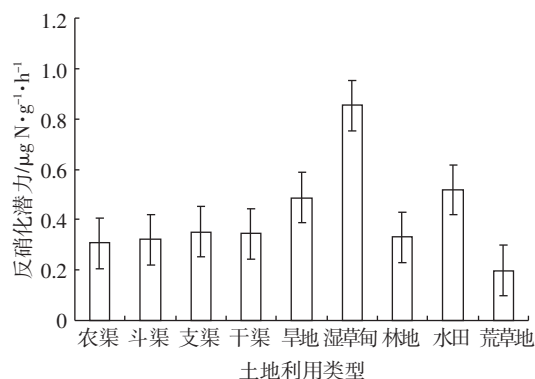


图 1 加入硝酸盐后不同土地利用类型的反硝化潜力
Figure 1 Denitrification potential of different land-use types added with nitrate

差异不显著;荒草地反硝化潜力最低,并与其他土地利用类型呈显著差异。总的来说,各土地利用类型的反硝化潜力排序如下:湿草甸>水田、旱地>林地、各级渠道>荒草地。

2.2 添加的硝酸盐、有机质、总 N 与反硝化潜力的关系

加入硝酸盐对所有土地利用类型土壤的反硝化潜力都有重要影响。从图 1、图 2 可以看出,加入硝酸盐培养后湿草甸、林地的反硝化潜力比空白增加了 65% 和 57%;干渠、支渠、斗渠、农渠的反硝化潜力也有一定程度的增长;荒草地、水田、旱地的增长不大,这些表明其反硝化潜力除了硝酸盐量的影响外还有其他因素的影响。

由图 3 可以看出,有机质含量大小为湿草甸最多,水田、旱地相当,然后是林地、荒草地、各级渠道。有机质对土壤的反硝化潜力有很大的影响,各土地利用类型的反硝化潜力基本上与其有机质含量表现出相似的趋势,经过皮尔逊相关分析得出反硝化潜力与有机质在 $P<0.05$ 下的相关系数为 0.80。

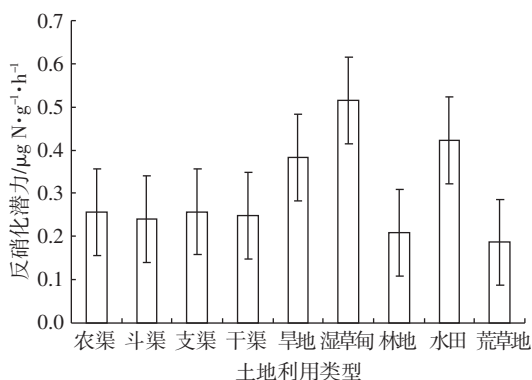


图 2 不同土地类型(不加硝酸盐)的反硝化潜力

Figure 2 Denitrification potential of different land-use types added with water (no nitrate addition)

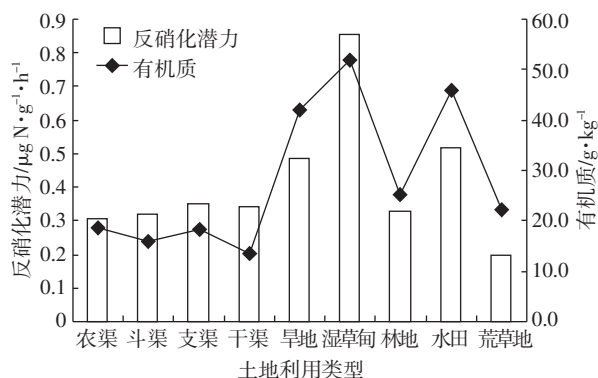


图 3 不同土地利用类型的反硝化潜力与有机质关系

Figure 3 The relation of denitrification potential to organic matter in different land-use types

图 4 是反硝化潜力与总氮的关系。各土地利用类型总 N 含量的顺序为水田、旱地、湿草甸、林地和荒草地,各级渠道的总 N 含量最少。它们在 $P<0.05$ 下的相关系数为 0.58,与有机质相比,其与反硝化潜力的相关性较小。

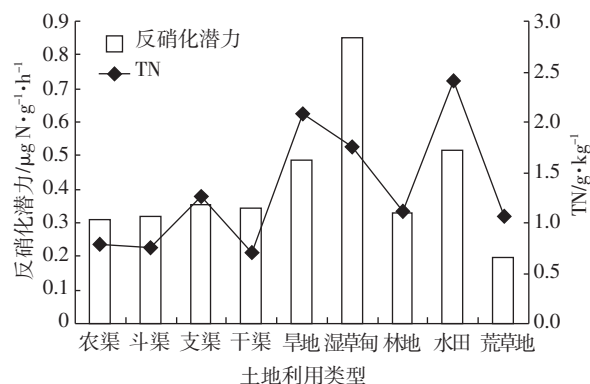


图 4 不同土地利用类型的反硝化潜力与总氮的关系

Figure 4 The relation of denitrification potential to TN in different land-use types

3 讨论

本研究得出不同土地利用类型土壤的反硝化潜力的差异和土壤的有机质含量对土壤的反硝化潜力有重要的影响(图 1 和图 3)。关于土壤反硝化潜力影响的研究, Groffman 和 Tiedje^[21]曾研究得出土壤质地、结构和排水对森林土壤的反硝化潜力有重要的影响; Mohn^[22]发现湿地土壤比排水渠中土壤的反硝化潜力更高。本文的研究也表明湿草甸、水田、旱地有更高的反硝化潜力,湿草甸由于有机质含量高,为反硝化细菌提供了碳源,并且为反硝化细菌提供了所需要的厌氧环境,所以湿草甸具有高的反硝化潜力;而水田、旱地由于其有机质含量较高,为反硝化细菌提供了其所需碳源,且土壤结构较好也表现出高的反硝化潜力,其反硝化潜力仅次于湿草甸;各级渠道的反硝化潜力较低出乎我们的意料,这可能是由于其有机质含量较低,且植被覆盖度较低,没有起到沟渠湿地的作用(图 3);而且有研究表明在长期的厌氧条件下氮基本不发生损失,在持续的好氧条件下,只损失 7%,干湿交替、好氧厌氧条件经常变化的地带才会提供最优的反硝化条件^[23]。沟渠这种干湿交替变化少,这也可能是其反硝化潜力小的原因之一。

USDA 把有植被覆盖的渠道推荐为控制侵蚀和提高水质的最佳管理措施,而建三江地区由于农业开发,开挖渠道,在控制建三江地区硝酸盐污染方面可

借鉴这种方式。与各级渠道、荒草地不同,硝酸盐的可利用性被发现成为限制湿草甸、林地反硝化潜力的限制因素,因为与其他类型相比在这些土壤中加入硝酸盐后反硝化潜力增长较大。有研究得出土壤中如果可利用的有机碳不受限制,加入硝酸盐后可以发生高的反硝化潜力^[24]。各级渠道、荒草地土壤在加入硝酸盐后反硝化潜力变化不大,可能是由于其受限于土壤的有机质含量。除上面讨论的影响因素外,还有土壤含水量、温度、土壤质地影响土壤的反硝化潜力。本研究表明,湿草甸有较高的反硝化潜力,可以作为在一个水域中改善水质去除硝酸盐的最好候选,但因建三江农业开发对湿草甸破坏较大,可考虑构建沟渠湿地来改善流域内水质。

4 结论

通过测定旱地、水田、湿草甸、林地、荒草地、干渠、支渠、斗渠和农渠土壤的反硝化潜力得出,湿草甸反硝化潜力最高,其次是水田、旱地、林地及各级渠道土壤,荒草地的反硝化潜力最小。在有机质、总氮、硝酸盐这几个影响因子中,有机质含量对土壤的反硝化潜力影响较大,在 $P < 0.05$ 下的相关系数为 0.80;土壤中添加硝酸盐对土壤的反硝化潜力有一定的促进作用;总 N 的含量对其有一定影响。通过比较建三江地区各土地利用类型的反硝化潜力得出湿草甸是自然湿地恢复中优先考虑的土地利用类型。

参考文献:

- [1] 左玉辉. 环境学[M]. 北京:高等教育出版社, 2002:136-137.
ZUO Yu-hui. Environment[M]. Beijing: Higher Educational Press, 2002:136-137.
- [2] USEPA. Report to congress on the National Water Quality Inventory[M]. Washington, DC:US Government Print Office,1996.
- [3] Smith R A, Alexander R B, Wolman M G. Water quality trends in the nation's rivers[J]. *Science*, 1987, 235: 1608-1615.
- [4] 吴彦东. 三江平原湿地的开发对生态环境的影响[J]. 林业科技情报, 2006, 38(4): 6-8.
WU Yan-dong. Effect of the marshy development in Sanjiang Plain impact on ecology environment[J]. *Forest Technology Information*, 2006, 38(4): 6-8.
- [5] 张 鑫, 史 奕, 赵天宏, 等. 我国农业非点源污染研究现状及控制措施[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(20): 5303-5305.
ZHANG Xin, SHI Yi, ZHAO Tian-hong, et al. Research progress and control measure of non-point source pollution from Farming in China[J]. *Journal of Anhui Agri Sci*, 2006, 34(20): 5303-5305.
- [6] Mander U, Mairing T. Constructed wetlands for wastewater treatment in Estonia[J]. *Water Science and Technology*, 1997, 35 (5): 323-330.
- [7] Mitsch W J, Day Jr J W. Restoration of the Mississippi-Ohio-Missouri (MOM) River basin: experience and needed research [J]. *Ecological Engineering*, 2006, 26: 55-69.
- [8] Comin A F, Romero J A, Asorga V, et al. Nitrogen removal and cycling in restored wetlands used as filters of nutrients for agricultural run-off[J]. *Water Science Technology*, 1997, 35: 255-261.
- [9] 邹国元, 张福锁, 李新慧. 夏玉米生长期土壤氮素的硝化-反硝化作用研究[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(1): 30-34.
ZHOU Guo-yuan, ZHANG Fu-suo, LI Xin-hui. Study on nitrification-denitrification of soil nitrogen in summer maize season[J]. *Agricultural Research in The Arid Areas*, 2002, 20(1): 30-34.
- [10] 徐玉裕, 曹文志, 黄一山, 等. 五川流域农业土壤反硝化作用测定及其调控措施[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(3): 1126-1131.
XU Yu-yu, CAO Wen-zhi, Huang Yi-shan, et al. Denitrification determination in soil of Wu Chuan agricultural catchment and the control measure[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(3): 1126-1131.
- [11] 李先宁, 吕锡武, 宋海亮, 等. 水耕植物过滤法净水系统底泥硝化反硝化潜力[J]. 环境科学, 2005, 26(2): 93-97.
LI Xian-ning, LV Xi-wu, SONG Hai-liang, et al. Potential of nitrification and denitrification in water purification system with hydroponic bio-filter method[J]. *Environmental Science*, 2005, 26(2): 93-97.
- [12] 孙志高, 刘景双, 杨继松, 等. 三江平原典型小叶章湿地土壤硝化-反硝化作用与氧化亚氮排放[J]. 应用生态学报, 2007, 18(1): 185-192.
SUN Zhi-gao, LIU Jing-shuang, YANG Ji-song, et al. Nitrification-denitrification and N_2O emission of typical *Calamagrostis angustifolia* wetland soils in Sanjiang Plain[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(1): 185-192.
- [13] 徐继荣, 王友绍, 殷建平, 等. 珠江口入海河段 DIN 形态转化与硝化和反硝化作用[J]. 环境科学学报, 2005, 25(5): 686-692.
XU Ji-rong, WANG You-shao, YIN Jian-ping, et al. Transformation of dissolved inorganic nitrogen species and nitrification and denitrification processes in the near sea section of Zhujiang river[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2005, 25(5): 686-692.
- [14] 王东启, 陈振楼, 王 军, 等. 夏季长江河口潮间带反硝化作用和 N_2O 的排放与吸收[J]. 地球化学, 2006, 35(3): 271-279.
WANG Dong-qi, CHEN Zhen-lou, WANG Jun, et al. Denitrification, nitrous oxide emission and adsorption in intertidal flat, Yangtze Estuary, in summer[J]. *Geochimica*, 2006, 35(3): 271-279.
- [15] Robertson K L, Klemmedtsson. Assessment of denitrification in organogenic forest soil by regulating factors[J]. *Plant and Soil*, 1996, 178: 49-57.
- [16] Florinsky I V, McMahon S, Burton D L. Topographic control of soil microbial activity: a case study of denitrifiers[J]. *Geoderma*, 2004, 119: 33-53.
- [17] White D, Fennessy S. Modeling the suitability of wetland restoration potential at watershed scale[J]. *Ecological Engineering*, 2005, 24: 359-377.
- [18] 和文祥, 魏燕燕, 蔡少华. 土壤反硝化酶活性测定方法及影响因素研究[J]. 西北农林科技大学学报, 2006, 34(1): 121-124.

- HE Wen-xiang, WEI Yan-yan, CAI Shao-hua. Study on assaying method denitrification and affecting factors of soil enzyme activity[J]. *Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forest*, 2006, 34(1): 121-124.
- [19] Hunter R G, Faulkner S P. Denitrification potential in restored and natural hardwood wetlands[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2001, 65: 1865-1872.
- [20] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. (第 3 版). 北京: 中国农业出版社, 2000: 25-69.
- BAO Shi-dan. Soil agricultural and chemical analysis [M]. The third edition. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 25-69.
- [21] Groffman P M, Tiedje J M. Denitrification in north temperate forests: spatial and temporal patterns at the landscape and seasonal scales[J]. *Soil Biology Biochemistry*, 1989, 21: 613-620.
- [22] Mohn J, Schürmann A, Hagedorn F, et al. Increased rate of denitrification in nitrogen-treated forest soil[J]. *Forest Ecology Management*, 2000, 137: 113-119.
- [23] 万晓红, 周怀东, 刘玲花. 湿地反硝化作用研究进展 [J]. 中国水利, 2007(9): 38-40.
- WAN Xiao-hong, ZHOU Huai-dong, LIU Ling-hua. Progress of studies on denitrification of wetland[J]. *China Water Resources*, 2007(9): 38-40.
- [24] Weier K L, Doran J W, Power J F, et al. Denitrification and the dinitrogen/nitrous oxide ratio as affected by soil water, available carbon and nitrate[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1993, 57: 66-72.

“气候变化、温室气体减排与土壤固碳固氮” 专题征文通知

农业碳氮循环是全球碳氮循环中的重要组成部分,农业温室气体的减排对应对全球气候变化有重大意义。为了交流我国在农业碳氮循环领域的最新研究成果,本刊将集中刊登气候变化、温室气体减排与土壤固碳固氮方面的研究论文,包括:(1)农业温室气体减排的潜力与措施;(2)农业土壤固碳固氮新技术与措施;(3)农业生态系统中(种植业、养殖业、农业固废堆放等)碳氮循环规律与机理等。专辑征文请从学报网站上注册投稿(学报网址:www.aes.org.cn),经专家审阅合格的稿件将于 2009 年第 12 期(2009 年 12 月 20 日)出版,欢迎各有关单位和专家踊跃投稿,征文截止时间为 2009 年 9 月 15 日。

《农业环境科学学报》编辑部
2009 年 5 月 20 日