

垦殖对伊犁河谷湿地土壤可溶性有机氮含量的影响

李兰海¹, 刘翔^{1,2}, 朱咏莉^{3*}

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 荒漠与绿洲生态国家重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830011;
2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 南方现代林业协同创新中心, 南京林业大学生物与环境学院, 江苏 南京 210037)

摘要:【目的】研究垦殖对伊犁河谷湿地土壤可溶性有机氮(SON)的影响,为该区湿地的开发保护和氮素调控提供科学依据。【方法】以伊犁河谷的芦苇湿地及其垦殖而成的稻田为研究对象,分层采集0~100 cm的土壤样品,分析垦殖对垂直方向上土壤SON含量的影响,并探求SON与土壤理化性质和其他氮组分之间的关系。【结果】在0~100 cm土壤深度内,芦苇湿地和稻田土壤的SON含量占土壤可溶性总氮(TSN)含量的58.9%~74.1%,表明SON是该区域土壤可溶性氮素的主要组成部分;土壤SON含量在垦殖后降低了16.7%~40.5%,在≥20~60 cm土层表现为显著降低,表明垦殖对土壤可溶性有机氮的影响不仅限于表层土壤,这缘于湿地和稻田土壤的高含水率使得土壤SON在垂直方向上的移动性较强;湿地土壤的有机碳和全氮在垦殖后大幅减少,其中垦殖前的含量分别是垦殖后的2.9~5.9倍和2.0~6.0倍。总体来讲,土壤碳氮比、微生物量氮、铵态氮和硝态氮在开垦前后的变化不大,只有0~20 cm土层的微生物量氮和硝态氮在垦殖后显著降低($P < 0.05$);土壤SON与土壤有机碳和全氮表现出显著的相关性,说明垦殖后土壤有机质水平的降低是SON含量下降的主要原因。【结论】土壤SON是伊犁河谷湿地土壤可溶性氮素的主要形态,但其含量在湿地垦殖为稻田后表现出减少的趋势。

关键词:河流湿地;土壤可溶性有机氮(SON);垦殖;伊犁河谷

中图分类号:S154

文献标志码:A

文章编号:1000-2006(2017)03-0001-06

Effects of reclamation on soil soluble organic nitrogen contents in wetlands of the Ili River Valley

LI Lanhai¹, LIU Xiang^{1,2}, ZHU Yongli^{3*}

(1. State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Co-Innovation Center of the Sustainable Forestry in Southern China, College of Biology and the Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract 【Objective】To investigate the effect of reclamation on soil soluble organic nitrogen (SON) contents in wetland of the Ili River Valley, which could provide basis for the exploitation, protection and nitrogen regulation of wetlands in this area. 【Method】Soil samples of 0–100 cm were collected at different depths from a reed (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.) wetland and a paddy field which converted from this wetland to study the effect of reclamation on profile distribution of soil SON content, and to analyze the relationships between soil SON and physicochemical properties/other nitrogen fractions. 【Result】Soil SON contents of reed wetland and paddy field accounted for 58.9%–74.1% of soil total soluble nitrogen (TSN) contents in the 0–100 cm soil layers, indicating that SON was the main component of soil soluble nitrogen in the study area. Soil SON contents decreased by 16.7%–40.5% after reclamations and the decreases were significant in the ≥20–60 cm soil layers. These results indicated that the effect of reclamation on soil SON content was not limited to topsoil, possibly due to that the high soil water contents of wetland and paddy field promoted the mobility of soil SON. Soil organic carbon content and total nitrogen content decreased considerably after reclamation, and the contents before reclamation were 2.9–5.9 times and 2.0–6.0 times higher than those after reclamation, respec-

收稿日期:2016-02-13

修回日期:2017-04-01

基金项目:国家自然科学基金项目(41471191);江苏省“青蓝工程”资助项目(苏教师[2016]15号);江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)

第一作者:李兰海(lilh@ms.xjb.ac.cn),研究员,主要负责试验设计、文字修改。刘翔(liuxiang12@mail.ucas.ac.cn),主要负责数据处理、分析与文章组织。*通信作者:朱咏莉(lyly1262011@126.com),研究员。

引文格式:李兰海,刘翔,朱咏莉. 垦殖对伊犁河谷湿地土壤可溶性有机氮含量的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2017, 41(3):1-6.

tively. In general, the ratio of carbon to nitrogen, microbial biomass nitrogen, ammonium nitrogen and nitrate nitrogen showed little response to the reclamation, only the contents of microbial biomass nitrogen and nitrate nitrogen in the 0–20 cm soil layer was significantly ($P<0.05$) decreased by reclamation. The significant ($P<0.01$) correlations between soil SON and organic carbon/total nitrogen suggested that the decrease of soil organic matter content after reclamation was the main reason for the decreased soil SON contents. **【Conclusion】** Soil SON is the major part of soil soluble nitrogen in the Ili River Valley, but its content showed a decreasing tendency after reclaiming into paddy field.

Keywords: riverine wetlands; soil soluble organic nitrogen (SON); reclamation; Ili River Valley

土壤有机氮是土壤氮素的主要存在形态,占土壤氮素总量的95%以上^[1]。部分有机氮可以被水或盐溶液浸提出来,称为可溶性有机氮(soluble organic nitrogen, SON),主要由氨基酸、氨基糖和蛋白质等小分子含氮化合物组成^[1]。作为土壤有机氮库中最活跃的组分,SON不仅是土壤微生物氮素的重要来源,而且可以被一些植物直接吸收利用,因此其含量的多少影响着土壤氮素的有效性^[2]。SON还具有较强的移动性,可以随水分运移而发生淋溶或径流损失,引起环境污染^[3]。因此,SON在土壤氮素供应和生态环境效应方面都起着不可忽视的作用。

目前,国内外有关土壤SON的研究多集中在森林、农田和草地生态系统^[1–5],对于湿地生态系统土壤SON含量、影响因素及与其他氮组分之间关系则关注较少。湿地被誉为“地球之肾”,在调节气候、净化水体、保护生物多样性和区域生态平衡方面起着重要作用^[6]。此外,湿地还是氮素重要的源、汇或转化器,在全球氮素循环中扮演着重要的角色^[7]。由于土壤和生物资源较为丰富,且受到水陆的交互作用,湿地生态系统也成为最容易被人为干扰的生态系统之一^[8]。在诸多人类活动中,垦殖被认为是影响湿地土壤氮素含量的重要因素^[9]。Wang等^[10]研究表明,芦苇湿地经垦殖为稻田后,0~50 cm土层的全氮(total nitrogen, TN)含量显著降低。黄靖宇等^[11]发现小叶章湿地被开垦为农田后,0~10 cm土壤的微生物生物量氮(soil microbial biomass nitrogen, SMBN)减少了56.3%~67.1%。在我国东北的兴凯湖湿地,霍莉莉等^[12]研究发现天然沼泽湿地经垦殖为大豆田后,20 cm和100 cm处土壤的可溶性有机碳分别呈增加和降低趋势,表明垦殖会对湿地土壤可溶性有机质的含量产生影响,且这种影响在土壤垂直方向上表现出不同的趋势。然而,湿地土壤SON含量是否,或者多大程度上响应于垦殖,这种响应是否会因土壤深度的增加而表现出不同的趋势等,这些问题目前还缺乏明确的阐述。

伊犁河谷湿地发育于我国西部温带大陆性气

候控制下“最湿润”的干旱区,主要分布在伊犁河三大支流特克斯河、巩乃斯河和喀什河流域两岸河滩地及周边沼泽地区,总面积约 2.4×10^4 hm²,属于河流湿地^[13]。随着人口的激增、产业结构的变化以及城镇化速度的加快,该区域天然湿地的面积急剧减少,其中主要的原因是农业开垦^[13]。该研究以新疆伊犁河谷地区典型芦苇湿地及由其垦殖而来的稻田为研究对象,研究垦殖对湿地土壤垂直方向上SON含量的影响,并分析SON与其他土壤氮组分之间的关系,探求潜在的影响因素,以期为该区域湿地的合理开发利用及氮素调控提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区域位于新疆伊犁河谷东端的新源县(82°28′~84°56′ E, 43°03′~43°40′ N)境内。该地区属温带大陆性半干旱气候,年均降水480 mm,年均气温8.5℃。巩乃斯河是流经该地区的主要河流,湿地主要沿该河两岸分布,主要植被有芦苇(*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.)、香蒲(*Typha orientalis* Presl.)、盐角草(*Salicornia europaea* Linn.)等^[14]。近20年来,该区域的湿地被大面积地开垦为稻田,湿地面积大大缩小。

1.2 样品的采集与处理

在研究区内选择相邻的天然芦苇湿地和由其垦殖而成的稻田各3块样地,每块样地大小为10 m×10 m。于2015年10月,在每个采样点内使用土钻法采集0~20 cm、≥20~40 cm、≥40~60 cm、≥60~80 cm和≥80~100 cm共5个土层的土壤样品,每个采样点设置3次重复,各采样点相同土层的土壤混合为一个土壤样品。将采集的土样放入装有冰袋的贮存箱中,待运回实验室后,挑去草根石块,分为两部分:一部分鲜样在4℃的冰箱中冷藏,用于测定土壤可溶性总氮(total soluble nitrogen, TSN)、SMBN、铵态氮(NH₄⁺-N)和硝态氮(NO₃⁻-N)的含量;另一部分风干后分别过2 mm和0.25 mm筛,用于土壤pH、电导率(EC)、有机碳(soil organic carbon, SOC)和总氮(TN)的测定。

1.3 样品的分析

土壤 pH 和电导率分别采用 pH 计 (Seveneasy, Mettler-toledo, Switzerland) 和电导率仪 (DDSJ-308A, Rex, China) 进行测定 (土水质量体积比 1:5)^[15]。新鲜土样使用 CaCl₂ 溶液浸提 (土水质量体积比 1:10), 浸提液分别使用总碳分析仪 (Model 1030, OIA analytical, USA) 的氮模块和流动分析仪 (AA3, SEAL Analytical, Germany) 测定土壤 TSN、NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N 含量。土壤 SON 含量由 TSN 含量减去 NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N 含量后得到^[16]。SOC 和 TN 含量的测定分别采用重铬酸钾氧化-外加加热法和凯氏定氮法^[15]。SMBN 采用氯仿熏蒸-K₂SO₄ 浸提法, 熏蒸和未熏蒸土样均用 0.5 mol/L 的 K₂SO₄ 溶液浸提 (土水质量体积比 1:4)。浸提液使用紫外分光光度计 (Cary 60, Agilent Technologies, USA) 在 280 nm 下比色测定吸光度, SMBN 含量根据熏蒸和未熏蒸土样吸光度量的差值和已知的回归方程^[17] 计算得出。

1.4 数据处理

数据处理及统计分析分别采用 Excel 2007 和 SPSS 16.0 软件。采用独立样本 *t* 检验对比垦殖前后湿地各土层氮素含量的差异显著性。采用 Pearson 相关分析检验各土壤性质之间的相关性。图的绘制使用 Origin 9.0 软件。

2 结果与分析

2.1 垦殖对土壤 pH、电导率和有机碳含量的影响

由湿地与稻田土壤 pH、电导率和有机碳含量在不同土层的分布情况 (表 1) 可知, 研究区域湿地和稻田 1 m 深度内的土壤 pH 在 7.7~8.3 之间变动, 属于碱性土壤, 但垦殖前后各土层的 pH 变化

表 1 湿地与稻田土壤 pH、电导率和有机碳含量在不同土层的分布特征

Table 1 Distribution characteristics of soil pH, electrical conductivity and organic carbon contents of different soil layers in wetland and paddy field

土地类型 land-use type	土层/cm soil layer	pH	电导率/ ($\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$) EC	c(SOC) / ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)
湿地 wetland	0~20	8.3±0.5	1 288±54	35.0±12.1
	≥20~40	8.1±0.1	387±47	29.5±2.6
	≥40~60	7.7±0.4	301±53	26.0±2.1
	≥60~80	8.1±0.1	257±14	22.5±6.6
	≥80~100	8.0±0.1	208±13	15.8±1.9
稻田 paddy	0~20	7.9±0.1	373±83	12.0±0.8
	≥20~40	8.0±0.1	293±27	6.9±1.2
	≥40~60	8.0±0.2	549±174	4.4±0.9
	≥60~80	7.9±0.1	824±47	4.3±1.4
	≥80~100	7.7±0.3	683±129	3.9±1.7

较小。相比之下, 垦殖前后土壤电导率值和 SOC 含量发生了较大的变化。在 0~40 cm 和 ≥40~100 cm, 稻田的土壤电导率值分别高于和低于湿地。在 0~100 cm 土层内, 湿地 SOC 的含量为 15.8~35.0 g/kg, 是稻田 SOC 含量的 2.9~5.9 倍。随着土壤深度的增加, 湿地和稻田的 SOC 含量均表现出逐渐减小的趋势。

2.2 垦殖对不同形态氮含量的影响

湿地和稻田土壤 SON 含量在 100 cm 土层深度内的变化范围分别为 16.3~22.0 mg/kg 和 9.7~16.2 mg/kg (图 1A)。与垦殖前相比, 湿地垦殖为稻田后各层土壤 SON 含量均表现出了降低趋势, 在 0~20、≥20~40、≥40~60、≥60~80 和 ≥80~100 cm 分别降低了 31.7%、38.9%、40.5%、16.7% 和 26.4%, 且差异在 ≥20~40 和 ≥40~60 cm 土层处表现为显著 ($P < 0.05$)。随着土壤深度的增加, 湿地和稻田的 SON 含量表现出相同的变化趋势: 在 0~40 cm 土壤深度表现为逐渐减小, 在 ≥60~100 cm 逐渐增大。此外, 两种土地利用类型下土壤 SON 含量的最大值均出现在 ≥80~100 cm 土层。与 SON 一致, 湿地和稻田土壤 TSN 的含量随着土壤深度的增加也表现为先减少、后增加的趋势, 且在各个土层均表现为湿地大于稻田, 但差异仅在 ≥20~40 cm 土层处表现为显著 (图 1B)。

湿地土壤 TN 含量在各个土层均显著高于稻田 ($P < 0.05$)。二者 TN 的最大值分别为 2.1 mg/kg 和 0.9 mg/kg, 分别出现在 ≥40~60 cm 和 0~20 cm 土层 (图 1C)。湿地垦殖为稻田后, 0~100 cm 深度内土壤的 C/N (摩尔比) 降低了 0.6%~41.3%, 但这种差异在所有土层均不显著 ($P > 0.05$, 图 1D)。在 0~100 cm 土层深度内, 湿地和稻田土壤的 SMBN 含量分别在 43.0~158.2 mg/kg 和 39.2~87.5 mg/kg 之间变化, 二者的最大值均出现在 0~20 cm 土层, 且表现为显著差异 ($P < 0.05$, 图 1E)。与 C/N 相似, 湿地和稻田土壤 NH₄⁺-N 含量在各个土层的差异均不显著 ($P > 0.05$, 图 1F)。在 0~60 cm 土层, 湿地土壤的 NO₃⁻-N 含量高于稻田, 而在 ≥60~100 cm 土层则表现为稻田高于湿地, 但二者的差异仅在 0~20 cm 土层表现为显著 ($P < 0.05$, 图 1G)。随着土壤深度的增加, 湿地和稻田土壤的 TN、C/N、SMBN 和 NO₃⁻-N 含量大体表现为减少的趋势, 而 NH₄⁺-N 含量则表现出增大的趋势。

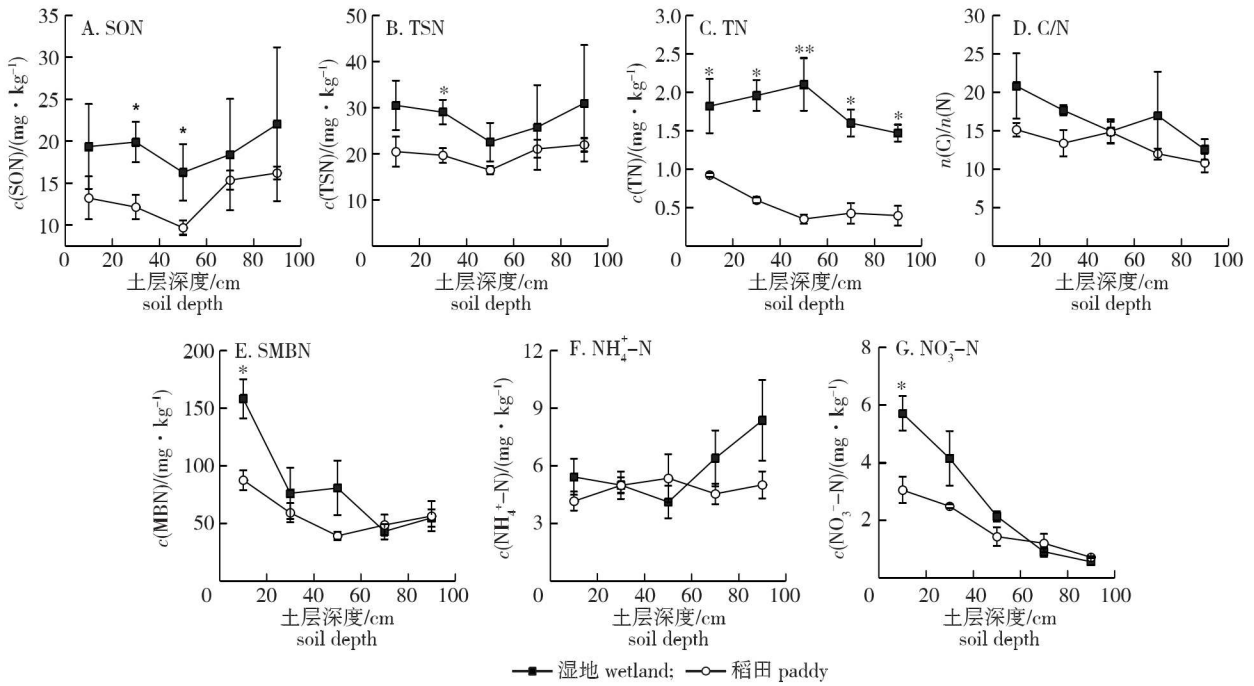


图1 湿地与稻田土壤不同形态氮含量的分布特征(* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$)

Fig.1 Distribution characteristics of soil soluble organic nitrogen, total soluble nitrogen, total nitrogen, C/N ratio, microbial biomass nitrogen, ammonium nitrogen and nitrate nitrogen of different soil layers in the wetland and paddy

2.3 垦殖对土壤可溶性有机氮含量与其他氮组分比例的影响

由湿地与稻田不同土层 SON 含量与其他氮组分的比例(表 2)可知,湿地和稻田在 100 cm 土层的 SON 占 TSN 组分的比例大致相似,分别为 62.8%~72.1%和 58.9%~74.1%。稻田土壤 SON 占 TN 组分的比例为 2.2%~6.8%,且随着土壤深度的增加逐渐增大。相比之下,湿地土壤 SON 占 TN 组分的比例较低,仅为 1.1%~2.1%。与 SON 占 TSN 组分的比例类似,SON 与土壤无机氮(soil inorganic nitrogen, SIN)的比值在两种土地利用类型下也较为接近,分别为 1.8%~2.7%和 1.5%~2.9%。湿地和稻田土壤 SON 与 SMBN 的比值随土壤深度的增加大体表现为增大的趋势,但两种土地利用类型之间相差不大。

Pearson 相关分析结果(表 3)显示,土壤 SON 含量与 SOC 和 TN 的含量呈显著正相关($P < 0.01$),进一步说明垦殖后土壤有机质水平的下降可能是 SON 含量减少的主要原因。土壤 TSN 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量也与 SON 含量呈显著正相关($P < 0.01$)。土壤 TSN 含量与 SOC、TN 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的含量也呈显著正相关($P < 0.01$)。相比之下,土壤 C/

N、SMBN 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量与 SON 和 TSN 含量的相关性不显著($P > 0.05$)。土壤 pH 和 EC 则与 SON 含量呈负相关,但不显著($P > 0.05$)。

表 2 湿地与稻田不同土层可溶性有机氮含量与其他氮组分的比例

Table 2 Proportions between soil organic nitrogen (SON) content and other nitrogen components of different soil layers in wetlands and paddy fields %

土地类型 land-use type	土层/cm soil layer	$m(\text{SON}) / m(\text{TSN})$	$m(\text{SON}) / m(\text{TN})$	$m(\text{SON}) / m(\text{SIN})$	$m(\text{SON}) / m(\text{SMBN})$
湿地 wetland	0~20	62.8	1.8	1.8	0.13
	≥20~40	68.4	1.5	2.2	0.32
	≥40~60	72.1	1.1	2.7	0.23
	≥60~80	71.6	1.6	2.5	0.40
	≥80~100	71.4	2.1	2.6	0.39
稻田 paddy	0~20	63.9	2.2	1.8	0.16
	≥20~40	61.6	3.3	1.7	0.22
	≥40~60	58.9	5.0	1.5	0.25
	≥60~80	73.0	6.6	2.7	0.34
	≥80~100	74.1	6.8	2.9	0.33

注:SON 代表可溶性有机氮;TSN 代表可溶性总氮;TN 代表全氮;SIN 代表土壤无机氮;MBN 代表微生物量氮。下同。SON represents soluble organic nitrogen, TSN represents total soluble nitrogen, TN represents total nitrogen, SIN represents soil inorganic nitrogen, MBN represents microbial biomass nitrogen. The same below.

表3 土壤可溶性有机氮含量与土壤 pH、电导率、有机碳含量及其他氮组分的相关系数

Table 3 Correlation coefficients among soil soluble nitrogen, pH, electronic conductivity, organic carbon and other nitrogen fractions

项目 item	pH	EC	$m(\text{SON})$	$m(\text{TSN})$	$m(\text{SOC})$	$m(\text{TN})$	$n(\text{C})/n(\text{N})$	$m(\text{SMBN})$	$m(\text{NH}_4^+-\text{N})$
EC	0.154	1							
$m(\text{SON})$	-0.075	-0.012	1						
$m(\text{TSN})$	0.010	0.071	0.964**	1					
$m(\text{SOC})$	-0.066	0.116	0.483**	0.503**	1				
$m(\text{TN})$	-0.024	-0.095	0.576**	0.575**	0.882**	1			
$n(\text{C})/n(\text{N})$	-0.099	0.167	0.129	0.171	0.766**	0.424*	1		
$m(\text{SMBN})$	0.146	0.527**	0.201	0.316	0.579**	0.497**	0.383*	1	
$m(\text{NH}_4^+-\text{N})$	-0.113	-0.084	0.640**	0.717**	0.071	0.156	-0.079	-0.075	1
$m(\text{NO}_3^--\text{N})$	0.396*	0.416*	0.078	0.248	0.459*	0.364*	0.380*	0.739**	-0.217

注:EC代表电导率,SOC代表土壤有机碳, NH_4^+-N 代表铵态氮, NO_3^--N 代表硝态氮。* $P<0.05$,** $P<0.01$ 。EC represents electronic conductivity, SOC represents soil organic carbon, NH_4^+-N represents ammonium nitrogen, and NO_3^--N represents nitrate nitrogen.

3 讨论

可溶性氮素是植物生长发育的必要养分,其含量多少决定着土壤氮素的可利用性。国内外已有研究表明,土壤 TSN 的主要成分是 SON 而非 SIN。例如, Willett 等^[18]以英格兰的耕地、草地、灌丛、林地和湿地等 7 种土地利用类型为研究对象,发现 0~15 cm 的土壤 SON 含量平均可占 TSN 总量的 79.0%。Christou 等^[19]以英格兰和威尔士的湿地为研究对象,发现 0~15 cm 土层的 SON 含量不到 10 mg/kg,却占到土壤 TSN 含量的 94.0%;李成芳等^[20]发现稻田土壤的 SON 含量在 0~20 cm 土层处为 51.3 mg/kg,占土壤 TSN 含量的 83.0%。此次结果显示,在 0~100 cm 土层内,研究区芦苇湿地和稻田的土壤 SON 含量在 9.7~22.0 mg/kg 之间变化,占土壤 TSN 的 58.9%~74.1%,表明 SON 是该区域湿地和稻田土壤可溶性氮素的重要组成部分。此外,随着土壤深度的增加,SON 含量从 11.1 mg/kg(湿地)和 7.2 mg/kg(稻田)逐渐减少为 8.9 mg/kg(湿地)和 5.7 mg/kg(稻田),而 SON 和 TSN 沿土层的变化特征相似,即在 0~60 cm 深度内小幅减少,在 ≥ 60 ~100 cm 大幅增加。因此, $m(\text{SON})/m(\text{TSN})$ 和 $m(\text{SON})/m(\text{SIN})$ 随着土壤深度的增加总体上表现出增大的趋势,表明 SON 在深层土壤氮素供应方面也起着重要的作用。

目前有关土壤 SON 的来源仍然存在争议,一般认为土壤有机质分解、微生物和根系的代谢产物及分泌物、新近凋落物、化学氮肥和大气沉淀物等是土壤 SON 的主要来源^[21-22]。在该研究中,芦苇湿地经垦殖变为稻田后 0~100 cm 土壤 SON 的含量下降了 16.7%~40.5%,说明湿地垦殖为稻田会

降低土壤 SON 的含量。这主要是因为芦苇湿地具有较高的生物量和较深的根系分布,能向土壤输送大量的有机质和分泌物^[23]。在垦殖后,水稻经收获后其植株被移除,从而减少了土壤有机质的补给。此外,水分条件的变化使得土壤不再长期处于淹水状态,从而增强了好氧微生物的活性,促进对土壤碳氮的分解和损失^[11]。此次研究湿地土壤的 SOC 含量和 TN 含量分别是稻田土壤的 2.9~5.9 倍和 2.0~6.0 倍,表明土壤有机质在垦殖为稻田后大幅减少,而 SOC 和 TN 的同时降低也使得土壤 C/N 在垦殖前后未发生显著的变化。Pearson 相关分析结果进一步说明垦殖后土壤有机质水平的下降可能是 SON 含量减少的主要原因。与此研究结果相似,黄靖宇等^[11]报道称垦殖会使三江平原小叶章湿地土壤 SON 的含量减少 25.2%~56.1%,但该研究仅以 0~20 cm 土壤为研究对象。该研究中发现稻田土壤的 SON 含量在 ≥ 20 ~60 cm 土层显著低于湿地,表明垦殖对湿地 SON 含量的影响并不仅仅局限于表层土壤。这是因为 SON 具有较强的移动性,会随水分发生运移或淋溶。Huang 等^[24]的报道指出,在我国华北平原的冬小麦-夏玉米轮作农田,2005—2007 年间通过淋溶损失的土壤 SON 高达 1.4~6.3 kg/hm²。由于此次研究选取的湿地和稻田生态系统土壤含水量较高,表层土壤的 SON 可能会在垂直方向上发生淋溶作用,进而改变了土壤剖面 SON 的分布状况。因此,在研究降水量较高或灌溉量较大区域的土壤 SON 含量时,建议同时考虑其沿土壤垂直方向的分布特征,以便更为全面地评估土壤 SON 水平。

总之,垦殖会使湿地原有土壤环境、植被条件、养分的输出和输入发生较大改变,进而影响土壤

SON 的含量。此次研究的结果表明,伊犁河谷湿地土壤的 SON 含量会在垦殖后降低,而这一现象与垦殖后土壤 SOC 和 TN 含量的降低密切相关。考虑到湿地宝贵的生态价值及土壤碳氮损失给全球变暖和土壤质量带来的负面效应,应减少该地区湿地的垦殖而转为积极保护,以促进湿地生态健康和区域可持续发展。

致谢 在野外采样、样品处理与分析等方面得到中国科学院伊犁河流域生态系统研究站的大力支持。

参考文献(reference):

- [1] 张彪, 高人, 杨玉盛, 等. 万木林自然保护区不同林分土壤可溶性有机氮含量 [J]. 应用生态学报, 2010, 21 (7): 1635-1640.
ZHANG B, GAO R, YANG Y S, et al. Soil soluble organic nitrogen content in different forest stands in Wanmulin Nature Reserve [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21 (7): 1635-1640.
- [2] HOLST J, BRACKIN R, ROBINSON N, et al. Soluble inorganic and organic nitrogen in two Australian soils under sugarcane cultivation [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2012, 155: 16-26. DOI: 10.1016/j.agee.2012.03.015.
- [3] BURTON J, CHEN C, XU Z, et al. Soluble organic nitrogen pools in adjacent native and plantation forests of subtropical Australia [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2007, 39 (11): 2723-2734. DOI: 10.1016/j.soilbio.2007.05.021.
- [4] 王洁, 杨曦, 朱兆洲, 等. 青藏高原土壤可溶性氮组成特征 [J]. 生态学杂志, 2015, 34 (6): 1660-1666.
WANG J, YANG X, ZHU Z Z, et al. Characteristics of soluble nitrogen in soils on the Tibetan Plateau, China [J]. Chinese Journal of Ecology, 2015, 34 (6): 1660-1666.
- [5] 周碧青, 陈成榕, 张黎明, 等. 茶树品种对亚热带茶园土壤可溶性有机氮组成的影响 [J]. 农业环境科学学报, 2015, 34 (6): 1158-1165. DOI: 10.11654/jaes.2015.06.020.
ZHOU B Q, CHEN C R, ZHANG L M, et al. Effects of tea genotypes on soil soluble organic nitrogen compositions in subtropical tea plantations [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2015, 34 (6): 1158-1165.
- [6] SHAO H B, CUI B S, BAI J H. Wetland ecology in China [J]. Clean Soil, Air, Water, 2012, 40 (10): 1011-1014. DOI: 10.1002/clean.201270002.
- [7] MOSEMAN-VALTIERRA S, GONZALEZ R, KROEGER K D, et al. Short-term nitrogen additions can shift a coastal wetland from a sink to a source of N₂O [J]. Atmospheric Environment, 2011, 45 (26): 4390-4397. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2011.05.046.
- [8] 韩建刚, 曹雪. 典型滨海湿地干湿交替过程氮素动态的模拟研究 [J]. 环境科学, 2013, 34 (6): 2383-2389.
HAN J G, CAO X. Effects of drying-rewetting alternation on nitrogen dynamics in a typical coastal wetland: a simulation study [J]. Environmental Science, 2013, 34 (6): 2383-2389.
- [9] BAI J, ZHAO Q, LU Q, et al. Land-use effects on soil carbon and nitrogen in a typical plateau lakeshore wetland of China [J]. Archives of Agronomy and Soil Science, 2014, 60 (6): 817-825. DOI: 10.1080/03650340.2013.839870.
- [10] WANG W, SARDANS J, ZENG C, et al. Responses of soil nutrient concentrations and stoichiometry to different human land uses in a subtropical tidal wetland [J]. Geoderma, 2014, 232: 459-470. DOI: 10.1016/j.geoderma.2014.06.004.
- [11] 黄靖宇, 宋长春, 宋艳宇, 等. 湿地垦殖对土壤微生物量及土壤溶解有机碳、氮的影响 [J]. 环境科学, 2008, 29 (5): 1380-1387. DOI: 10.3321/j.issn:0250-3301.2008.05.040.
- [12] 霍莉莉, 邹元春, 郭佳伟, 等. 垦殖对湿地土壤有机碳垂直分布及可溶性有机碳截留的影响 [J]. 环境科学, 2013, 34 (1): 283-287.
HUO L L, ZOU Y C, GUO J W, et al. Effect of reclamation on the vertical distribution of SOC and retention of DOC [J]. Environmental Science, 2013, 34 (1): 283-287.
- [13] 加尔肯居马肯·爱特, 米利根. 新疆伊犁河流域湿地保护与管理 [J]. 湿地科学与管理, 2014, 10 (3): 43-45. DOI: 10.3969/j.issn.1673-3290.2014.03.11.
JARKHENJUMAKHEN A, MI L G. Conservation and management of wetland of Ili River basin in Xinjiang [J]. Wetland Science & Management, 2014, 10 (3): 43-45.
- [14] MA J, LI L H, GUO L P, et al. Variation in soil nutrients in grasslands along the Kunes River in Xinjiang, China [J]. Chemistry and Ecology, 2015, 31 (2): 111-122. DOI: 10.1080/02757540.2014.917170.
- [15] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999.
- [16] JONES D L, WILLETT V B. Experimental evaluation of methods to quantify dissolved organic nitrogen (DON) and dissolved organic carbon (DOC) in soil [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2006, 38 (5): 991-999. DOI: 10.1016/j.soilbio.2005.08.012.
- [17] NUNAN N, MORGAN M A, HERLIHY M. Ultraviolet absorbance (280 nm) of compounds released from soil during chloroform fumigation as an estimate of the microbial biomass [J]. Soil Biology and Biochemistry, 1998, 30 (12): 1599-1603. DOI: 10.1016/s0038-0717(97)00226-5.
- [18] WILLETT V B, GREEN J J, MACDONALD A J, et al. Impact of land use on soluble organic nitrogen in soil [J]. Water, Air, & Soil Pollution: Focus, 2005, 4 (6): 53-60. DOI: 10.1007/s11267-005-3013-0.
- [19] CHRISTOU M, AVRAMIDES E J, ROBERTS J P, et al. Dissolved organic nitrogen in contrasting agricultural ecosystems [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2005, 37 (8): 1560-1563. DOI: 10.1016/j.soilbio.2005.01.025.
- [20] 李成芳, 曹涛贵, 汪金平, 等. 稻鸭、稻鱼共作生态系统土壤可溶性有机 N 的动态和损失 [J]. 生态学报, 2009, 29 (5): 2541-2550.
LI C F, CAO C G, WANG J P, et al. Dynamics of soil soluble organic N in rice-duck and rice-fish ecosystems [J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29 (5): 2541-2550.
- [21] 杨玉盛, 郭剑芬, 陈光水, 等. 森林生态系统 DOM 的来源、特性及流动 [J]. 生态学报, 2003, 23 (3): 547-558. DOI: 10.3321/j.issn:1000-0933.2003.03.019.
YANG Y S, GUO J F, CHEN G S, et al. Origin, property and flux of dissolved organic matter in forest ecosystems [J]. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23 (3): 547-558.
- [22] KALBITZ K, SOLINGER S, PARK J H, et al. Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils: a review [J]. Soil Science, 2000, 165 (4): 277-304.
- [23] 徐明喜, 张银龙, 陆珺, 等. 芦苇收割对湖滨湿地土壤酶活性的影响 [J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2011, 35 (6): 143-146. DOI: 10.3969/j.issn.1000-2006.2011.06.029.
XU M X, ZHANG Y L, LU J, et al. Effect of reed cutting on soil enzyme activities in riparian zone [J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2011, 35 (6): 143-146.
- [24] HUANG M, LIANG T, OUYANG Z, et al. Leaching losses of nitrate nitrogen and dissolved organic nitrogen from a yearly two crops system, wheat-maize, under monsoon situations [J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2011, 91 (1): 77-89. DOI: 10.1007/s10705-011-9447-z.

(责任编辑 吴祝华)