

不同水分条件下藏北盐化沼泽湿地 土壤碳氮的分布

赵 慧¹, 刘伟龙¹, 王小丹^{1*}, 蔡延江¹, 杜子银^{1,2}

(1. 山地表生过程与生态调控重点实验室, 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041;

2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘 要: 目前, 对于高寒湿地土壤碳氮的研究多集中于泥炭沼泽, 盐化沼泽土壤的研究相对较少。为了全面认识湿地土壤碳氮的特征以及对未来气候变化的响应, 以藏北高原腹地格仁错湖沼泽地为研究区, 分析高寒盐化沼泽常年积水、季节性积水和无积水三种水分条件下土壤剖面(0 ~ 50 cm)内有机碳和全氮的垂直分布特征。研究结果表明: 随水位梯度的升高, 各土层碳氮含量逐渐减少。在无积水区和季节性积水区, 有机碳(SOC)和全氮(TN)的分布均表现为表层(0 ~ 10 cm)含量最高, 沿土壤剖面呈下降趋势; 常年积水区各土层间的 SOC 和 TN 含量差异很小。其中, 无积水区、季节性积水区和常年积水区 0 ~ 50 cm 土层的 SOC 储量分别为 7.60 kg/m², 4.11 kg/m² 和 2.35 kg/m², TN 储量分别为 0.56 kg/m², 0.28 kg/m² 和 0.19 kg/m²。相对于高寒草甸沼泽土和泥炭沼泽土壤来说, 高寒盐化沼泽土是碳氮累积较少的土壤类型, 高水位、高盐度和低气温成为盐化沼泽土壤碳氮累积的主要限制条件。

关键词: 藏北高原; 盐化沼泽土壤; 水分条件; 有机碳; 全氮

中图分类号: S154.1, X142

文献标志码: A

湿地特殊的水文条件对碳氮具有一定的截留作用, 湿地土壤是氮、碳元素的重要源、汇或转化器, 使得湿地系统碳、氮循环在全球变化中发挥着重要作用^[1]。湿地土壤有机碳是气候变化的敏感指示物, 能够用来指示湿地对气候变化的响应, 氮素是湿地土壤营养水平的重要指示物之一, 同时也对土壤有机碳产生影响^[2-4]。土壤碳氮含量取决于输入量和输出量, 自然土壤中, 植物生物量是有机碳的主要输入途径, 分解和侵蚀损失是有机碳主要的输出途径, 动植物残体分解、生物固氮以及干湿沉降是土壤氮素的主要来源^[5-6], 两种重要元素的转化及储量均受到水分条件、盐度变化、温度变化和地表植被等因

素的综合影响。水文条件是湿地生态系统重要的生态属性, 水分条件变化如土壤体积含水率、水位波动等都会影响湿地大气-植被-土壤之间碳氮的生物地球化学过程各环节的方向与强度。因此不同水分条件下湿地土壤碳氮循环变化成为当今研究的热点^[6-10]。

在全球碳循环乃至大气温室气体平衡(GHG)研究中, 高寒沼泽湿地是一个虽小但不容忽视的组分。青藏高原是研究生态系统对气候变化响应的天然实验室, 这种极端环境下的植被和土壤对水分和温度的变化尤为敏感^[11]。藏北高原是青藏高原的核心, 面积约占西藏的 3/5, 平均海拔 4 500 m 以上,

收稿日期(Received date): 2013 - 12 - 31; **改回日期**(Accepted): 2014 - 04 - 15。

基金项目(Foundation item): 中科院西部行动计划(KZCX2 - XB3 - 08)、国家科技支撑计划项目(2012BAC19B05)、国家自然科学基金项目(41201096, 41201235)、中科院成都山地所青年科学研究基金(SDS - QN - 1308)。[Supported by the Action-plan of the Chinese Academy of Sciences for West Development (Grant Nos. KZCX2 - XB3 - 08), National Science and Technology Support Projects (Grant Nos. 2012BAC19B05), National Natural Science Foundation (Grant Nos. 41201096, 41201235) and the Youth Scientific Foundation of Institute of Mountain Hazards and Environment (Grant Nos. SDS - QN - 1308).]

作者简介(Biography): 赵慧(1982 -), 女, 博士, 主要从事高寒湿地生态系统对气候变化的响应方面的研究。[Zhao Hui (1982 -), female, doctor, major in research on ecological effects of climate change on alpine wetland ecosystem.] E-mail: zhaohui@imde.ac.cn

* 通信作者(Author for correspondence): wxd@imde.ac.cn

气候严寒干燥,降雨量少,蒸发量大,盐化沼泽多分布于地势低洼的湖滨和山间盆地。目前,对于湿地土壤的研究多集中于泥炭沼泽^[7,13-16],盐化沼泽土壤的研究相对较少,而且相关报道多位于沿海地区。为了全面认识湿地土壤碳氮的特征以及对未来气候变化的响应,我们选择藏北高原的典型盐化沼泽湿地格仁错湖滨沼泽区,通过对该典型区的研究来探寻高寒盐化湿地土壤有机碳和总氮随土壤剖面深度的变化规律,以及不同水分条件下影响土壤碳库和氮库分布与累积的主要因素,为高寒湿地碳氮储量的研究提供基础数据,并为该区湿地保护和管理提供科学依据。

1 研究方法

1.1 研究区概况

采样地点位于西藏自治区申扎县西北部的格仁错湖滨沼泽区(30°57'29"N,88°42'41"E,海拔4 675 m)。本区位于羌塘高原亚寒带半干旱气候带,年平均气温-0.4℃,7月平均气温15.9℃,1月平均气温-17.9℃;多年平均降水量290.8 mm,主要集中在6—9月,降水量占全年总量的92.2%;土壤冻结始于每年的10月中下旬,冻层局部消融在5月上中旬,全年日照时数约2 900 h,年日照率65%,≥17.0 m/s的大风日数达90 d。格仁错湖区周围广泛分布着低山丘陵,并呈较窄的长条型延伸,四周山地和高地发育的河流汇入格仁错;河流进入湖盆后,因地势低平,水流漫散或排水不畅,加之潜水溢出带的影响,在近山麓和沿河岸、湖岸带形成众多沼泽湿地。该区域植被群落以藏北嵩草(*Kobresia Tibetica*)为优势种群,伴生有莎草科、毛茛科、景天科等高寒植物种群^[17]。

1.2 采样方法及实验室分析

将样区按水分条件分为3种类型:常年积水区、季节性积水区(每年6—10月积水)和无积水区。藏北高原雨热同期,7—9月为植物生长季且雷雨天气多,选取天晴且无雨的早上(8:00—11:00)采样,具体采样时间为2012-08-27—29及2013-08-29—30。按3个水位梯度采集土壤样品,每种水位条件下,随机挖取6个剖面,各剖面间地面距离均>300 m。0~50 cm土层剖面中每10 cm采集1个土样,在每个剖面分层取样5个,共采集土样180个。取样的同时利用土壤水分测定仪(TDR-MP-160)

实测土壤体积含水率。为了剔除野外实测的瞬时误差,每个土样的TDR数值测定3次,取平均值。采用四分法取部分土样,自然风干后研磨,过100目筛,装袋后实验室测定碳氮含量。采用环刀法测定土壤密度,重铬酸钾氧化法测定土壤总有机碳,凯氏定氮法测定土壤全氮^[18]。两年相同水位和土层的数据取平均值进行分析计算。

土壤剖面第*i*层有机碳和总氮的密度(*SOCD*和*TND*, kg/m³)和单位面积一定深度内有机碳和总氮储量(*SOCS*和*TNS*, kg/m²)的计算公式如下

$$SOCD_i = SOC_i \times BD_i$$

$$TND_i = TN_i \times BD_i$$

$$SOCS = \sum_{i=1}^n SOCD_i \times d_i$$

$$TNS = \sum_{i=1}^n TND_i \times d_i$$

式中 *BD_i* 为第*i*层土壤容重(g/cm³);*SOC_i*和*TN_i*分别为第*i*层土壤有机碳和总氮含量(g/kg);*d_i*为第*i*层土壤厚度(cm)^[16]。数据计算、统计分析和作图用SPSS 17.0和Sigmaplot10.0软件完成。

2 实验结果

2.1 土层体积含水率及碳、氮含量的垂直分布

研究区盐化沼泽土壤的基本理化性质见表1,土壤体积含水率随土层深度的变化规律见图1。

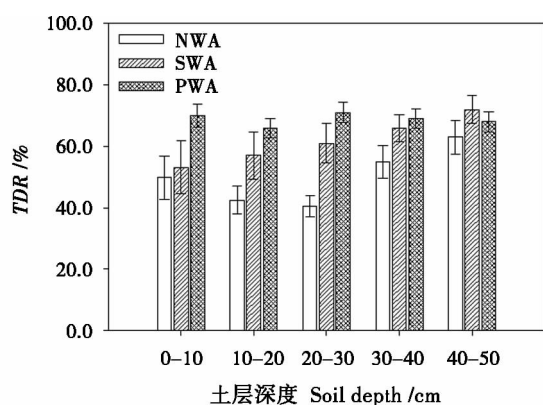
表1 申扎高寒沼泽湿地土壤理化性质(0~50 cm)

Table 1 Properties of the soils with different water conditions in alpine marsh wetlands

土壤属性 Soil Properties	无积水区 No Water	季节性积水区 Seasonal	常年积水区 Perennial
	Area	Water Area	Water Area
体积含水率(%, TDR)	45.18	53.83	65.80
PH	8.55	8.67	9.01
容重(Bulk density)/(g/cm ³)	0.99	0.82	0.69
有机碳(SOC)/(g/kg)	14.17	9.81	6.84
全氮(TN)/(g/kg)	1.04	0.66	0.58
C:N	13.39	14.73	12.49

实验发现,研究区盐的沼泽区土壤在不同水分条件下,各土层TDR的平均值表现为常年积水区>季节性积水区>无积水区(表1),而且各土层的体积含水率随土层深度的变化趋势不同。在无积水区,0~50 cm野外实测的土层体积含水率随着土层

深度的增加呈现先减小后增大的趋势,20~30 cm 是0~50 cm 土层中体积含水率最小的,0~10 cm 土层含水量>10~20 cm 土层,这与研究区域生长季经常性雷阵雨天气有关;在季节性积水区,0~50 cm 的土壤体积含水率随着土层深度的增大而增大;在常年积水区,各土层土壤体积含水率变化不大(图1)。



(NWA: 无积水区 No Water Area; SWA: 季节性积水区 Seasonal Water Area; PWA: 常年积水区 Perennial Water Area), 后同

图1 不同水分条件下藏北高寒沼泽土层体积含水率(TDR/%)的垂直分布情况

Fig. 1 Vertical distribution of TDR under different water conditions in alpine salty wetland

3类水分条件下的土壤有机碳和总氮含量差异显著($P < 0.05$),其平均值均为常年积水区<季节性积水区<无积水区(表1)。各土层剖面的土壤碳氮含量变化规律相似,但下降的幅度略有差异(图2)。在无积水区,湿地土壤碳氮含量随着土层深度的增加而明显减小;在季节性积水区,湿地土壤碳氮

含量随着土层深度的增加而略有减小;在常年积水区,不同土层深度的土壤碳氮含量变化不大。0~10 cm 土壤有机碳含量差别较大,排序为无积水区(31.35 g/kg)>季节性积水区(14.82 g/kg)>常年积水区(7.22 g/kg);0~10 cm 土壤总氮含量排序为无积水区(2.23 g/kg)>季节性积水区(0.97 g/kg)>常年积水区(0.59 g/kg);3类水分条件下,40~50 cm 的土层有机碳和总氮含量均差别不大,分别约为6.20 g/kg和0.51 g/kg。

2.2 土壤碳氮比的垂直分布

3种水分条件下,C/N值随土层深度的增加而无明显的变化,大小排序为季节性积水区(14.73)>无积水区(13.39)>常年积水区(12.49),季节性积水区的C/N值大于其他两个水分条件的区域,这应该是由于干湿交替的环境有助于有机质的矿化分解。在各土层深度,研究区土壤C/N值都在20以下(表1,图3)。相关研究表明,微生物的分解作用对土壤碳氮比(C/N)产生重要影响^[5],进而影响土壤的有机碳储量和碳汇能力。通常,C/N为25~30时会出现净矿化,是微生物分解的最佳值^[4]。这表明研究区的沼泽土壤C/N值并不利于土壤微生物对有机质的分解作用,且在分解有机质的过程中,不受氮素的限制。

2.3 土壤碳、氮密度及储量

不同水分条件下的藏北高寒嵩草沼泽湿地土壤有机碳和全氮密度都很低。无积水区、季节性积水区和常年积水区0~50 cm的有机碳储量分别为7.60 kg/m²,4.11 kg/m²和2.35 kg/m²,全氮储量分别为0.56 kg/m²,0.28 kg/m²和0.19 kg/m²(表1)。随土层加深,不同水分条件下的土壤有机碳和全氮

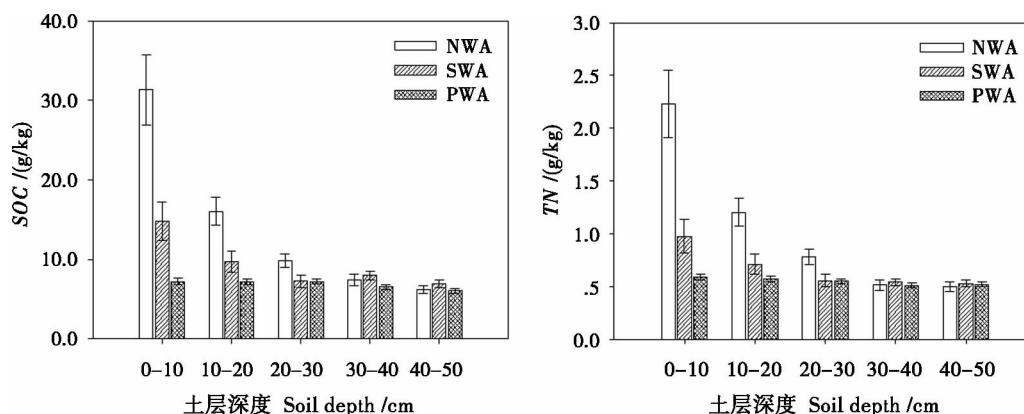


图2 不同水分条件下藏北高寒沼泽湿地土壤有机碳(SOC)和全氮(TN)的垂直分布规律

Fig. 2 Vertical distribution of SOC and TN of different water conditions in alpine salty wetland

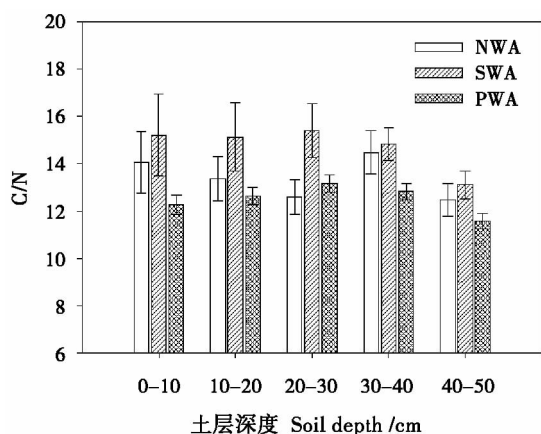


图3 不同水分条件下藏北高寒沼泽湿地土壤碳氮比(C/N)的垂直分布规律

Fig. 3 Vertical distributions of C/N ratio under different water conditions in alpine salty wetland

密度也随之变化,变化趋势与土壤有机碳和全氮含量变化一致(图4),无积水区的湿地土壤碳氮密度随着土层深度的增加而明显减小,季节性积水区的土壤碳氮密度随着土层深度的增加而略有减小,常年积水区的土壤碳氮密度在不同土层深度变化不大。

3种水分条件下,0~10 cm的表层土壤有机碳和全氮密度差别较大,在40~50 cm的土层深度的土壤碳氮密度已经降到几乎一致。对于无积水区湿地来说,土壤有机碳和全氮集中分布0~30 cm土壤内,有机碳和总氮的密度为 6.38 kg/m^3 和 0.47 kg/m^3 ,分别占0~50 cm土壤剖面总密度的84.01%和83.94%;对于季节性积水湿地来说,0~30 cm的有机碳和总氮的平均密度为 4.11 kg/m^3 和 0.20 kg/m^3 ,分别占0~50 cm土壤剖面总密度的72.67%和70.98%。对各土层土壤有机碳和总氮密度作差异

显著性检验的结果表明,无积水区五层土壤有机碳和全氮的密度均差异显著($P < 0.05$),季节性积水区0~30 cm内的有机碳和全氮密度分层差异显著($P < 0.05$),其余两层差异不显著($P > 0.05$),对于常年积水湿地来说,0~50 cm各层土壤差异有机碳和全氮的密度差异均不显著($P > 0.05$)。说明不同的水分条件对表层土壤有机碳和全氮密度有较大影响,而对于中下层土壤的有机碳和全氮密度影响较小。

3 分析与讨论

3.1 高寒盐化湿地土壤碳氮分布特征及成因

青藏高原内沼泽湿地众多,主要土壤类型有草甸沼泽土、泥炭沼泽土和盐化沼泽土,以蒿草为主要植物种群^[20-21]。本采样地区经分析发现为盐化沼泽土(土壤 $\text{pH} > 8.5$,土壤盐度平均值 $0.22\% \sim 0.34\%$,表1),研究区内土壤有机碳和全氮的储量远低于泥炭和腐殖质的高寒湿地土壤(表2)。区内无积水区的地上生物量+地下生物量(0~50 cm)为 1962.3 g/m^2 (实测值),季节性积水区的地上生物量+地下生物量(0~50 cm)为 1426.5 g/m^2 (实测值),常年积水区的地上生物量+地下生物量(0~50 cm)为 988.6 g/m^2 (实测值);而若尔盖高寒泥炭沼泽土地上生物量+地下生物量(0~60 cm)为 2278.3 g/m^2 ,草甸沼泽土生物量为 2542.3 g/m^2 ^[22];三江平原冻土区泥炭沼泽土地上生物量+地下生物量(0~40 cm)约为 3500 g/m^2 ^[23,24]。相比较泥炭沼泽土和草甸沼泽土而言,盐化沼泽植物生长受到低温和高盐度的限制,植物覆盖度和根系生物量明显低于草甸沼泽土和泥炭沼泽土,植物生物

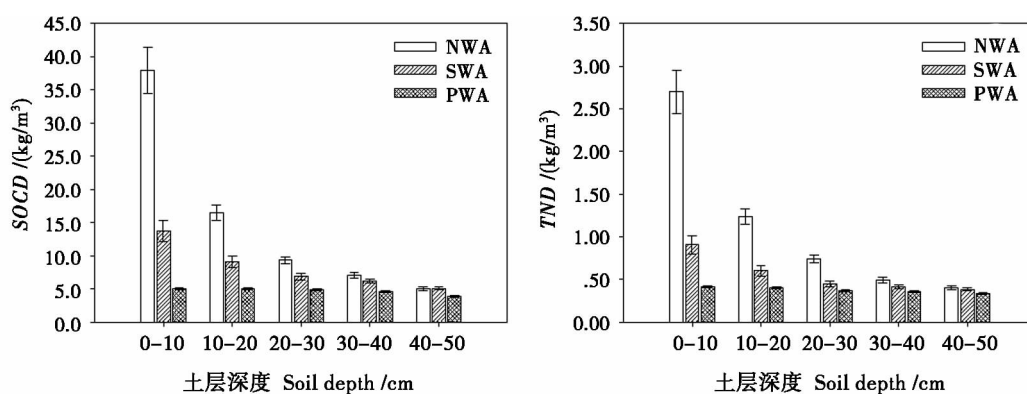


图4 不同水分条件下藏北高寒沼泽湿地土壤有机碳密度(SOCD)和全氮密度(TND)的垂直分布规律

Fig. 4 Vertical distributions of SOCD and TND under different water conditions in alpine salty wetland

表 2 青藏高原高寒沼泽湿地土壤类型碳氮储量及其环境因子

Table 2 The storage of carbon and nitrogen and environmental factors of different alpine wetland soil types in Qinghai – Tibet plateau

土壤类型	海拔	地区	积水情况	pH	主要植物种群	有机碳储量	总氮储量	土层	来源
Soil type	Elevation/m	Area	Water Conditions		Plant Population	SOC / (kg/m ²)	TN/(kg/m ²)	Soil layer/cm	Literature
泥炭沼泽土	3 480	四川若尔盖	常年	5.22	木里苔草等	36.7	3.54	0 ~ 60	文献[14]
			季节性		藏嵩草等	35.6		0 ~ 60	
			无		线叶嵩草等	13.4		0 ~ 60	
草甸沼泽土	3 480	四川若尔盖	常年	8.21	木里苔草等	17.9	0.19	0 ~ 50	文献[6]
			季节性		藏嵩草等	17.1		0 ~ 50	
			无		藏嵩草等	16.4		0 ~ 50	
泥炭沼泽土	3 480	四川若尔盖	季节性	5.22	木里苔草等	62.01	3.54	0 ~ 30	文献[16]
草甸沼泽土	3 600	青海海北	无		藏嵩草等	25.6			文献[21]
盐化沼泽土	4 675	西藏申扎	常年	8.21	眼子菜等	2.35	0.19	0 ~ 50	本研究
			季节性		藏北嵩草等	4.11	0.28	0 ~ 50	
			无		藏北嵩草等	7.60	0.56	0 ~ 50	

量较小,同时腐殖质积累作用也弱的多,不能形成泥炭。不同水分的低温盐化环境,植物生物量差异也较大。

高寒盐化沼泽土湿地土壤类型多分布于藏北高原的干旱半干旱区,有的沼泽土地下层矿化度较高。在强烈的蒸发作用下,易溶盐向表层积累,成土过程附加了积盐过程,发育为盐化沼泽土。对于高寒盐化沼泽土壤来说,盐化作用是植物的净初级生产力不高和植物凋落物的分解速率低一个明显的限制条件,是沼泽土中碳氮累积较少的土壤类型^[20-21]。

3.2 水分条件对湿地土壤碳氮分布的影响

水分条件能够影响土壤的发育演化过程、植被生长类型和碳氮的沉积环境,进而影响土壤有机碳和总氮储量。在相同气温和同种土壤类型下,地表水分差异是造成不同区域土壤碳氮储量差异的主要原因。在 50 cm 以上的土层,土壤有机碳和总氮的含量和储量均表现为无积水区 > 季节性积水区 > 常年积水区。淹水后土壤养分析出,生物量减少,植被凋落物减少^[8,10,16],淹水区的高水位使得土壤碳氮的输入量减少,输出量增大,导致了常年积水区土壤碳氮储量只有无积水区土壤碳氮储量的三分之一左右。

另一方面,土壤水分含量很大程度上影响垂直土层的土壤性质,尤其是 0 ~ 10 cm 的土层有机碳和全氮含量。地表水分条件直接决定了 0 ~ 10 cm 土层的水分含量,水分含量影响植物生物量及分解速率,从而造成不同积水区 0 ~ 10 cm 层土壤碳氮含量

存在较大差异。随着土层深度的增加,常年积水区和季节性积水区的土壤过湿环境加剧,土壤微生物活性减小,腐殖质减少,土壤碳氮的输入量降低,碳氮含量也沿土层深度逐渐减小^[8,10,16]。

3.3 其他环境因素对于湿地土壤碳氮分布的影响

土层 0 ~ 10 cm 的有机碳密度最高,10 cm 以下土壤有机碳密度明显降低,这与高海拔的大部分研究结果相似^[7,10]。低海拔的土层有机碳含量最大值出现在 10 ~ 20 cm^[24],造成这种差异的原因应该是由于研究区域气温不同。0 ~ 10 cm 的地表土层获取的植物凋落物多于 20 ~ 50 cm 的深度土层,在土壤呼吸作用相同的情况下,土壤表土层的碳密度应大于较深土层。但是,土壤呼吸与地表温度成正比,低海拔地区气温较高,土壤表层呼吸作用强,使得表层碳密度有可能低于较深土层的碳密度^[8]。高海拔地区气温较低,低温限制了表土层的微生物对动植物残体的分解,限制了土壤呼吸,某种程度上增加了表土层的碳累积,从而形成了研究区内有机碳密度在表土层(0 ~ 10 cm)最高的分布特点。

4 结 论

随水位梯度的升高,土壤碳氮含量逐渐减少。在无积水区和季节性积水区,有机碳(SOC)和全氮(TN)的垂直分布均表现为表土层(0 ~ 10 cm)含量最高,沿土壤剖面呈下降趋势;常年积水区各土层间的 SOC 和 TN 含量差异很小。其中,无积水区、季节

性积水区和常年积水区 0~50 cm 土层的 SOC 储量分别为 7.60 kg/m², 4.11 kg/m² 和 2.35 kg/m², TN 储量分别为 0.56 kg/m², 0.28 kg/m² 和 0.19 kg/m²。

高寒盐化沼泽土是沼泽土中碳氮累积较少的土壤类型,高水位、高盐度和低气温成为盐化沼泽土壤碳氮累积的主要限制条件。同一水位梯度下,水分和气温同时影响土壤碳氮的垂直分布,低气温抑制表层土壤呼吸,使得表层碳氮输出量减少;随着土层的加深或者水位的增高,土壤的过湿环境加剧,植被凋落物减少,土壤养分析出量增多,土壤的碳氮储量逐渐减小。

参考文献 (References)

- [1] Gorham E. Northern peatlands: role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming [J]. *Ecological Applications*, 1991, 1(2): 182–195
- [2] Mitsch W J. *Wetlands* [M]. New York: Van Nostrand Reinhold Company Inc, 1986: 89–125
- [3] Maltby E, Immirzi P. Carbon dynamics in peatland and other wetland soils, regional and global perspectives [J]. *Chmosphere*, 1993, 27(10): 999–1023
- [4] James W, Margaret R, Martin F. Soil organic matter and nitrogen cycling in response to harvesting, mechanical site preparation, and fertilization in a wetland with a mineral substrate [J]. *Forest Ecology and Management*, 2000, 129(1–3): 7–23
- [5] Nabiul M, Suwa R, Hagihara A. Carbon and nitrogen pools in a mangrove stand of *Kandeliaobovata* (S, L.) Yong: vertical distribution in the soil vegetation system [J]. *Wetlands Ecology Management*, 2007, 15(2): 141–153
- [6] Avnimelech Y, Ritvo G, Meijer L E, et al. Water content, organic cabon and dry bulk density in flooded sediments [J]. *Agricultural Engineering*, 2001, 25(1): 25–33
- [7] Cai Qianqian, Guo Zhihua, Hu Qipeng, et al. Vertical distribution of soil organic carbon and carbon storage under different hydrologic conditions in Zoige Alpine Kobresia meadows wetland [J]. *ScientiaSilvaeSinicae*, 2013, 49(3): 9–16 [蔡倩倩, 郭志华, 胡启鹏等. 若尔盖高寒嵩草甸湿地不同水分条件下土壤有机碳的垂直分布 [J]. *林业科学*, 2013, 49(3): 9–16]
- [8] Yang Jisong Liu Jishuang, Sun Lina. Effects of temperature and soilmoisture on wetland soil organic carbon mineralization [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(1): 38–42 [杨继松, 刘景双, 孙丽娜. 温度、水分对湿地土壤有机碳矿化的影响 [J]. *生态学杂志*, 2008, 27(1): 38–42]
- [9] Gao J, Ouyang H, Xu X, et al. Effects of Temperature and Water Saturation on CO₂ Production and Nitrogen Mineralization in Alpine Wetland Soils [J]. *Pedosphere*, 2009, 19(1): 71–77
- [10] Rodriguez – Murillo J C, Imendros G A, Knicker H. Wetland soilorganic matter composition in a Mediterranean semiarid wetland (LasTablas de Daimiel, Central Spain): insight into different carbonsequestration pathways [J]. *Organic Geochemistry*, 2011, 42(2): 762–773
- [11] Chagu Goff C, Mark A F, Dickinson K J M. Hydrological processes and chemical characteristics of low-alpine patterned wetlands, south-central New Zealand [J]. *Journal of Hydrology*, 2010, 385(1–4): 105–119
- [12] Hirota M, Tang Y, Hu Q, et al. Methane emissions from different vegetation zones in a Qinghai – Tibetan Plateau wetland [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2004, 36(5): 737–748
- [13] Wang Dexuan, Song Changchun, Wang Yiyong, et al. CO₂ fluxes in mire and grassland on Ruergaigaiplateau [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(2): 285–289 [王德宣, 宋长春, 王毅勇, 等. 若尔盖高原沼泽湿地与草地二氧化碳通量的比较 [J]. *应用生态学报*, 2008, 19(2): 285–289]
- [14] Gao Junqin, Lei Guangchun, Li Li, et al. The distribution Characteristics of soil organic carbon in three kinds of wetland soils in ZoigePlateau [J]. *Wetland Science*, 2010, 8(4): 327–330 [高俊琴, 雷光春, 李丽, 等. 若尔盖高原三种湿地土壤有机碳分布特征 [J]. *湿地科学*, 2010, 8(4): 327–330]
- [15] Chen H, Wu N, Gao Y, et al. Spatial variations on methane emissions from Zoige alpine wetlands of Southwest China [J]. *Science of The Total Environment*, 2009, 407(3): 1097–1104
- [16] Bai JH, Ou YH, Deng W, et al. Spatial distribution characteristics of organic matter andtotal nitrogen of marsh soils in river marginal wetlands [J]. *Geoderma*, 2005, 124: 181–192
- [17] Lu XY, Fan JH, Yan Y, et al. Responses of soil CO₂ fluxes to short-term experimental warming in alpine steppe ecosystem, northern Tibet [J]. *Plos One*, 2013, 8(3): 1–8
- [18] Lu Rukun. Soil agro-chemical analysis methods [M]. Beijing: China Agrosience Press, 1999: 108, 147 [鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 108, 147]
- [19] Yan Yan, Zhang Jianguo, Zhang Jinhua, et al. The belowground biomass in alpine grassland in Nakchu Prefecture of Tibet [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(11): 2818–2823 [鄢燕, 张建国, 张锦华, 等. 西藏那曲地区高寒草地地下生物量 [J]. *生态学报*, 2005, 25(11): 2818–2823]
- [20] Agriculture and Animal Husbandry Bureau in Naqu, Tibet. Land Resources in Naqu, Tibet [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1992: 142–160 [西藏自治区那曲地区农牧局, 西藏那曲地区土地资源. 西藏土地资源调查丛书 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1992: 142–160]
- [21] Zhao Xinquan. Alpine meadow ecosystem and global change [M]. Beijing: Science Press, 2009: 5–60 [赵新全. 高寒草甸生态系统与全球变化 [M]. 北京: 科学出版社, 2009: 5–60]
- [22] Tian Yingbing, Xiong Mingbiao, Xiong Xiaoshan, et al. The organic carbon distribution and flow in wetland soil-plant system in Ruergai Plateau [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2003, 27(4): 490–495 [田应兵, 熊明彪, 熊晓山, 等. 若尔盖高原湿地土壤–植物系统有机碳的分布与流动 [J]. *植物生态学报*, 2003, 27(4): 490–495]
- [23] Hou Cuicui. Effects of hydrological changes on soil carbon seques-

tration of marsh in the Sanjiang Plain [D]. Changchun: Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, Chinese Academy of Sciences, 2012: 27–30 [侯翠翠. 水文条件变化对三江平原沼泽湿地土壤碳蓄积的影响 [D]. 长春: 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 2012: 27–30]

[24] Shi Fuchen, Li Ruili, Wang Shaoqiang, et al. Profile distribution

and accumulation characteristics of organic carbon and total nitrogen in typical marshes in Sanjiang Plain [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(7): 1425–1431 [石福臣, 李瑞利, 王绍强, 等. 三江平原典型湿地土壤剖面有机碳及全氮分布与积累特征 [J]. 应用生态学报, 2007, 18(7): 1425–1431]

Distribution of Soil Carbon and Nitrogen under Different Water Conditions in Alpine Salty Wetlands, Northern Tibet Plateau

ZHAO Hui¹, LIU Weilong¹, WANG Xiaodan¹, CAI Yanjiang¹, DU Ziyin^{1,2}

(1. Key Laboratory of Mountain Surface Processes and Ecological Regulation, Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, Sichuan, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: At present, studies on soil properties in alpine wetlands concentrated on those in alpine peat wetlands. However, less was known about soil carbon and nitrogen in alpine salty wetlands. To determine the vertical distributions of soil organic carbon (SOC) and total nitrogen (TN) in natural salty wetland to increase of soil water levels, soil samples (0–50 cm) from three water levels were collected in a typical salty soil on Xainza County of Northern Tibet, which was no water area (NWA), seasonal water area (SWA), perennial water area (PWA). We found that SOC and TN contents gradually reduced with the rise of water levels. In NWA and SWA, the highest SOC and TN contents appeared in surface soil layer (0–10 cm), and their contents show a decreasing trend with the deeper of the soil layer. In PWA, SOC and TN contents had fewer differences in five soil layers. Compared with C and N in meadow soil and peat soil, SOC and TN storages were lower in salty soil (0–50 cm). In detail, the values of SOC storage were 7.60 kg/m² in NWA, 4.11 kg/m² in SWA and 2.35 kg/m² in PWA, and the values of TN storages were 0.56 kg/m² in NWA, 0.28 kg/m² in SWA and 0.19 kg/m² in PWA. Generally, high soil moisture, high salinity and low air temperature lead to less carbon and nitrogen accumulations in alpine salty wetland soil.

Key words: Northern Tibet Plateau; alpine salty wetlands; water level; soil organic carbon; total nitrogen