黄河口不同生境下翅碱蓬湿地土壤碳、氮储量与垂直分布特征

牟晓杰[1,2,3],孙志高[2*],刘兴土[1]
(1.中国科学院 东北地理与农业生态研究所,吉林 长春 130012;2.中国科学院 烟台海岸带研究所,山东 烟台 264003;
3.中国科学院 研究生院,北京 100049)

摘 要:选择位于黄河口滨岸中潮滩和低潮滩上的翅碱蓬湿地为研究对象,对比研究了湿地土壤碳、氮在不同时期的垂直分布特征。结果表明,两种湿地土壤的 TC、TN、NO_3^--N、NH_4^+-N 和 C/N 在不同时期的垂直分布特征均存在不同程度差异,TC、TN 的垂直分布特征主要受制于土壤有机质的分布和潮汐影响状况,NO_3^--N、NH_4^+-N 主要与不同时期土壤水分条件差异及其引起的不同土层硝态氮的垂直淋失和对铵态氮的吸附程度有关,C/N 的差异主要与其受陆源影响程度有关;两种湿地土壤 TC、TN、NO_3^--N、NH_4^+-N 和 C/N 在不同时期均存在较高的垂直变异性,原因主要与上下层土壤影响碳、氮分布的主导因素差异有关;两种湿地土壤的碳、氮储量及分布状况均存在较大差异,低潮滩湿地土壤 0 ~ 60 cm 土层的碳、氮储量(3.9413 kg m^{-2} 和 0.4041 kg m^{-2})均高于中潮滩湿地土壤(3.5964 kg m^{-2} 和 0.3639 kg m^{-2}),且除 40 ~ 50 cm、50 ~ 60 cm 土层外,其它土层的碳、氮储量分别比中潮滩湿地土壤的相应土层高 2.87% ~ 51.01% 和 2.52% ~ 3.89%。

关 键 词:黄河口;潮滩湿地;碳;氮;垂直分布
中图分类号:Q145 **文献标识码**:A **文章编号**:0564-3945(2012)06-1444-06

土壤是植物的营养库之一,植物除向大气摄取所需的碳、氧等营养物质外,还必须从土壤中获得大部分营养物质来满足其生存需要。湿地土壤是碳、氮的重要储库,发挥着源、汇或转化器的重要功能[1],其对于湿地系统诸生态过程有着重要影响。湿地土壤碳、氮的时空分布特征,特别是有机质和无机氮含量的空间分布及时间变化特征不仅可反映出湿地土壤的养分供给状况及其可利用水平[2],而且还在一定程度上对湿地植物群落组成、湿地系统生产力以及湿地系统的稳定与健康具有重要影响[3-5]。

黄河三角洲由黄河携带大量泥沙填充渤海淤积而成,是中国暖温带保存最完整、最广阔和最年轻的湿地生态系统,也是东北亚内陆和环西太平洋鸟类迁徙的重要中转站、越冬栖息地和繁殖地。翅碱蓬(*Suaeda salsa*)为一年生植物,是黄河三角洲重要的盐生植被之一,翅碱蓬常分布于海陆交互作用的潮滩地带,大面积翅碱蓬在潮滩分布形成奇特壮丽的"红地毯"景观。潮汐作用是影响潮滩湿地变化的重要驱动力,在海陆相互作用下,潮滩地带的各种环境因素变化剧烈、频繁,湿地的稳定性、干扰程度及频率也在不断变换,湿地面貌和结构始终处于变化之中。在翅碱蓬生长区内,由于潮滩不同位置环境条件特别是水盐条件的差异,分别在中潮滩和低潮滩形成了两种不同表现型的翅碱蓬群落,其对于盐分变化极为敏感。目前,尽管国内学者已经对不同湿地土壤养分的垂直分布特征进行了较多研究[6-14],但关于黄河口不同生境下翅碱蓬湿地土壤碳、氮垂直分布特征的对比研究还未见报到。为此,本研究以位于中潮滩和低潮滩上的两种表现型翅碱蓬湿地为对象,对比研究了不同时期两种湿地土壤中碳、氮的垂直分布特征。研究结果不仅可为该区湿地碳、氮循环研究提供基础数据,而且还为湿地土壤质量演变和环境保护等研究提供重要科学依据。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区概况

试验于 2009 年 5 ~ 11 月在山东省黄河三角洲国家级自然保护区(东营)现黄河入海口滨岸潮滩进行。黄河三角洲国家级自然保护区(37°40′N ~ 38°10′N, 118°41′E ~ 119°16′E)于 1992 年经国家林业局批准建立,是全国最大的河口三角洲自然保护区,在世界范围

收稿日期:2011-09-26;**修订日期**:2011-12-14
基金项目:国家海洋局海洋公益性行业科研专项经费项目(2012418008-3)、国家自然科学基金(41171424, 40803023)、中国科学院战略性先导科技专项(XDA05030404)、山东省自然科学基金重点项目(ZR2010DZ001)、中国科学院人才专项(青年创新促进会)基金(Y129091041)和国家重大科学研究计划项目(2012CD956100)资助
作者简介:牟晓杰(1982-),女,山东烟台人,博士研究生,主要从事湿地生物地球化学研究。E-mail:sjmou@163.com
* **通讯作者**:E-mail:zgsun@yic.ac.cn

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

河口湿地生态系统中具有较强的代表性，主要保护黄河口新生湿地生态系统和珍稀濒危鸟类。保护区总面积 15.3 万 hm^2,其中核心区面积 5.8 万 hm^2,缓冲区面积 1.3 万 hm^2,试验区面积 8.2 万 hm^2。保护区属暖温带季风性气候区,具有明显的大陆性季风气候特点,雨热同期,四季分明,冷热干湿界限极为明显。春季干旱多风,常有春旱,夏季炎热多雨,高温高湿,时有台风侵袭。该区年平均气温 12.1 ℃,无霜期 196 d,≥ 10 ℃的积温约 4300 ℃,年均蒸发量 1962 mm,年平均降水量为 551.6 mm,70%的降水集中于 7、8 月份。保护区的土壤类型主要为隐域性潮土和盐土，主要植被类型为芦苇 (*Phragmites australis*) 群落、芦苇－荻 (*Triarrhena sacchariflora*) 群落、穗状狐尾藻 (*Myriophyllum spicatum*) 群落、柽柳 (*Tamarix chinensis*) 群落、翅碱蓬群落及补血草 (*Limoninum sinense*) 群落等,其中芦苇群落、柽柳群落及翅碱蓬群落分布较广。

1.2　研究方法

2009 年 5 ~ 11 月,采用定位研究方法,按照"典型性、代表性、一致性"的原则,在现黄河入海口北部的滨岸潮滩翅碱蓬分布区内选择中潮滩翅碱蓬湿地 (37°45′57.0″ N,119°09′40.7″ E) 和低潮滩翅碱蓬湿地 (37°46′38.9″ N,119°09′41.4″ E) 为研究对象,分别设置 30 m × 30 m的研究样地,于湿地植物生长初期 (5 月)、生长旺期 (8 月) 和生长末期 (11 月) 在两研究样地内采集土壤剖面样品以研究不同时期两种湿地土壤碳、氮的垂直分布规律是否存在差异以及它们是否随植物物候期发生强烈变化。黄河口滨岸潮汐为不规则半日浅海潮，每日出现的高低潮差一般为 0.2 ~ 2 m。每次采样时,分别在两样地内采集 3 个典型土壤剖面,剖面深度为 40 cm,每 10 cm一层,共分 4 层,然后对 3 个剖面样品进行等层次混合,共采集样品 24 个。2009 年 8 月，在上述中潮滩湿地和低潮滩湿地研究样地内采集土壤剖面样品测定土壤碳、氮储量。采样时,分别在两样地内采集 3 个典型土壤剖面，剖面深度为 60 cm,每 10 cm一层,共分 6 层,然后对三个剖面样品进行等层次混合,共采集样品 12 个。同时,用环刀测定土壤容重。

1.3　样品处理与分析测定

将采集的土壤样品及时带回实验室自然风干后,捡去残根等杂物,用球磨机磨碎,过 100 目筛后装袋待测。土壤样品的分析项目包括 TC、TN、NH_4^+- N 和 NO_3^-- N。其中 TC、TN 含量采用元素分析仪 (Elementar Vario Macro) 测定,NH_4^+- N、NO_3^-- N 含量在用 2 mol L^{-1} 的 KCL 浸提后通过连续流动分析仪 (Bran- Lubee AAA3) 测定。

1.4　计算方法[15]

单位面积一定剖面深度 (i 到 n 层) 土壤碳或氮库储量 (T_n) 为 i 到 n 层储量之和,即

$$T_n = \sum_i^n d_{vi} \times C_i \times h_i / 10$$

式中:T_n 为碳或氮储量 (kg m^{-2}),d_{vi} 为土壤容重 (g cm^{-3}),C_i 为土壤碳或氮含量 (%),h_i 为土壤深度 (cm)。

1.5　数据处理

运用 SPSS 13.0 软件对数据进行统计分析，运用 Origin 8.0 软件对数据进行作图和计算。

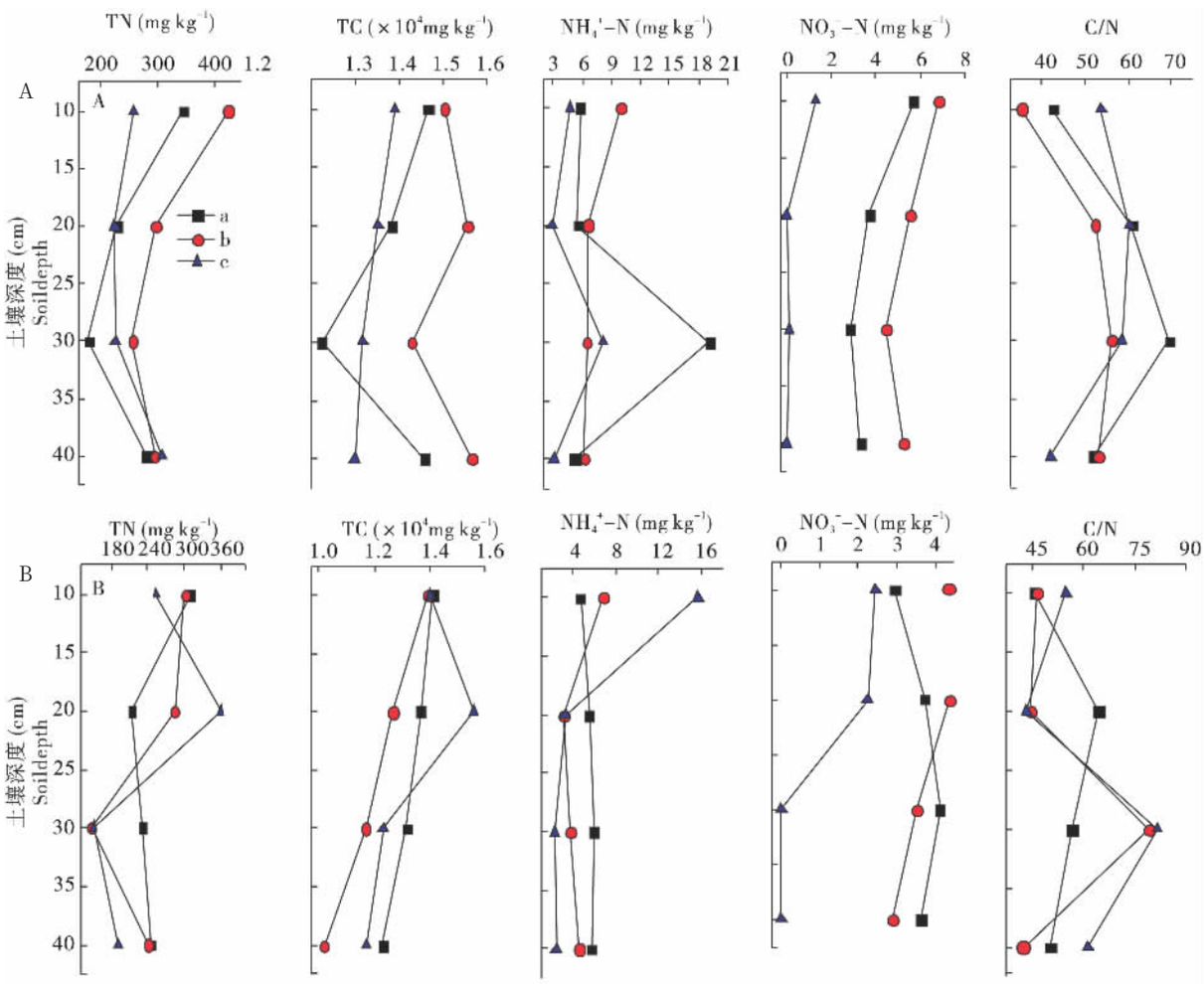
2　结果与分析

2.1　不同时期湿地土壤碳、氮的垂直分布特征

图 1 为不同时期中潮滩翅碱蓬湿地和低潮滩翅碱蓬湿地土壤中 TC、TN、NO_3^-- N、NH_4^+- N 和 C/N 的剖面分布特征。据图可知,不同时期两种湿地土壤中碳、氮的垂直分布既具有一定的相似性又存在一定差异。就中潮滩湿地土壤而言，其 TN 含量在三个时期均呈降低—增加趋势,并均于 30 cm土层取得最低值。不同的是,C/N 的垂直变化特征整体与不同时期 TN 的变化特征相反,其均在 30 cm土层取得最高值。生长初期和生长旺期的 TC 含量在 0 ~ 20 cm土层呈相反变化趋势,20 cm以下则呈降低—增加变化，并亦于 30 cm土层取得最低值,而生长末期的 TC 含量整体呈降低趋势。比较而言,不同时期 0 ~ 20 cm土层的 NH_4^+- N 含量变化均呈降低趋势,20 cm以下则呈不同变化,其中生长初期和生长末期的 NH_4^+- N 含量均呈增加—降低变化,而生长旺期的 NH_4^+- N 含量则呈一直降低趋势。生长初期和生长旺期的 NO_3^-- N 含量在 30 cm之前均呈降低趋势,之后略有增加,而生长末期的 NO_3^-- N 含量则一直呈降低趋势。就低潮滩湿地土壤而言,不同时期 TN 含量的垂直变化特征差异较大,其在生长初期和生长旺期整体虽均呈降低—增加变化，但其取得最低值的土层则不同 (20 cm和 30 cm)。生长末期的 TN 含量整体呈波动变化，其分别于 20 cm和 30 cm土层取得最大值和最低值。与中潮滩湿地土壤的 C/N 变化相似,低潮滩湿地土壤 C/N 的垂直变化特征整体亦与不同时期 TN 的变化特征相反，其中生长旺期和生长末期的 C/N 均在 30 cm土层取得最高值,而生长初期的 C/N 则在 20 cm土层取得最高值。生长初期和生长旺期的 TC 含量变化比较相似,均呈一直降低趋势,而生长末期的 TC 含量整体呈增加—降低趋势,并于 20 cm

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

土层取得最高值。比较而言，生长初期的 NH_4^+-N 含量在 0 ~ 20 cm土层呈增加趋势，之后则变化不大，而生长旺期的 NH_4^+-N含量整体呈降低—增加趋势，并于 20 cm土层取得最低值。不同的是，生长末期的 NH_4^+-N含量整体呈一直降低趋势。生长旺期和生长末期的 NO_3^--N 含量整体均呈递减变化，但生长初期 NO_3^--N含量的垂直变化差异较大，其在 0 ~ 30 cm土层均呈增加趋势，之后则呈递减变化。



A:中潮滩翅碱蓬湿地土壤; B: 低潮滩翅碱蓬湿地土壤;a:生长初期(5月); b:生长旺期(8月); c:生长末期(11月).

图 1 不同时期潮滩湿地土壤碳、氮的垂直分布

Fig. 1 Vertical distributions of carbon and nitrogen in tidal marsh soils in different periods

不同时期中潮滩湿地土壤中 TC、TN 含量垂直分布特征的差异主要受制于其有机质的分布状况，表层土壤的有机质含量丰富，所以其含量较高，而剖面下层土壤的有机质含量较低，所以其含量相应的就较低[16]。研究发现，30 cm以下土层 TC、TN 含量均有一定增加，原因主要与成土母质以及有机质分布的空间异质性有关。在植物生长末期中潮滩湿地 TC、TN 含量明显高于其他时期，主要因为此时植物根系固定了较多的有机质，且地表大量的枯落物也成为表层土壤有机质的重要来源[17]。与之相比，低潮滩湿地土壤中 TC、TN 含量垂直分布特征的差异除了受制于有机质分布状况外，更主要与潮汐的影响有关。相对于中潮滩湿地，低潮滩湿地受潮汐的影响更为频繁，在潮汐涨落的影响下，低潮滩湿地土壤中的 DON、DIN、DOC、DIC、NO_3^--N、NH_4^+-N 等可发生复杂的水平运移和垂直淋失过程，同时潮汐亦可将土壤中的碳、氮营养带走或将海水中的碳、氮营养滞留于潮滩土壤中，由此导致低潮滩湿地土壤中 TC、TN 的垂直分布特征比中潮滩湿地土壤复杂。导致不同时期两种湿地土壤中 NO_3^--N和 NH_4^+-N含量垂直分布特征差异的原因也主要与二者所处的水分条件差异及其引起的不同质地土层中 NO_3^--N、NH_4^+-N的水平运移和垂直淋失有关。如前所述，低潮滩湿地受潮汐的影响更为频繁，在潮汐涨落的影响下，低潮滩湿地土壤中的 NO_3^--N和 NH_4^+-N更易

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

被垂直淋失至较深土层(40 cm以下),由此使得二者的垂直分布整体呈递减趋势。与之相比,中潮滩湿地土壤中的 NO_3^--N、NH_4^+-N因水分条件相对较差,不易淋失至较深土层而在一定深度(30 cm)出现累积峰值。同时,两种湿地土壤不同质地土层及其引起的对 NH_4^+-N 吸附能力的差异也是导致不同时期土壤剖面 NH_4^+-N 含量变化差异的重要原因。土壤的 C/N 经常被用于辨别有机质的陆源性和海源性,海水中水草由于富含蛋白质,其 C/N 通常为 4 ~ 10,而陆地植物由于富含纤维素而比值较高,往往高于 20[18]。由于两种湿地不同土层的 C/N 均明显高于 20,由此可判断湿地土壤的有机质来源均以陆源为主。由于低潮滩湿地更靠近海的方向,所以其土壤有机质受陆源(黄河从中上游携带泥沙中的有机质)的影响较大。可见,两种湿地土壤 C/N 垂直分布特征的差异主要与二者受陆源影响的差异有关。低潮滩湿地土壤的 C/N 受陆源的影响程度要比中潮滩湿地大,加上二者 TC、TN 垂直分布特征的差异,使得不同时期低潮滩湿地土壤的 C/N 垂直分布要比中潮滩湿地复杂。当然,两种湿地土壤中 TC、TN、NO_3^--N、NH_4^+-N和 C/N 垂直分布特征的差异还与植物吸收与归还、有机碳、氮矿化、生物固持以及硝化—反硝化等过程进行程度的差异有关,其垂直变化是诸因素综合作用的结果。

2.2　不同时期湿地土壤碳、氮的垂直变异性

表 1 为不同时期中潮滩湿地土壤和低潮滩湿地土壤中 TC、TN、NO_3^--N、NH_4^+-N和 C/N 的垂直变异性。据表可知,生长初期和生长旺期中潮滩湿地土壤中 NH_4^+-N 的垂直变异性最大(76.09%和 25.00%),NO_3^--N、TN 和 C/N 次之(32.26%、28.13%、20.63%和 17.41%、23.38%、19.11%),TC 最低(8.16%、4.20%)。而在生长末期则以 NO_3^--N 的垂直变异性最大(170.87%),NH_4^+-N次之(51.92%),TN、C/N 相对较低(15.69%和 15.35%),TC 最低(3.01%)。与之相比,生长初期低潮滩湿地土壤中 NO_3^--N、TN 和 C/N 的变异性较高(13.48%、16.74%和 14.93%),NH_4^+-N、TC 较低(9.90%和 5.87%)。生长旺期以 NH_4^+-N、TN 和 C/N 的垂直变异性较高(35.35%、28.26%和 32.99%),NO_3^--N、TC 较低(19.11%和 12.97%)。而在生长末期则以 NO_3^--N、NH_4^+-N的垂直变异性最大(114.72%和 110.74%),TN、C/N 次之(38.01%和 26.52%),TC 最低(13.05%)。总的来说,两种湿地土壤中 TC、TN、NO_3^--N、NH_4^+-N和 C/N 的较高垂直变异性主要与上层土壤和下层土壤影响碳、氮分布的主导因素差异有关,上层土壤的碳、氮含量受外界潮汐涨落、植物根系、水盐条件以及化学过程等的影响较为显著,而下层土壤受土体结构、性质以及成土母质基础的影响较大。

表 1　不同时期潮滩湿地土壤碳、氮的垂直变异性

Table 1　Vertical variability of carbon and nitrogen in tidal marsh soils in different periods

项目 Item			NO_3^--N	NH_4^+-N	TC	TN	C/N
中潮滩湿地土壤	生长初期	均值 (mg kg^{-1})	3.90	8.90	13803.79	256.96	56.16
		标准差 (mg kg^{-1})	1.26	6.77	1126.21	72.29	11.58
		变异系数(%)	32.26	76.09	8.16	28.13	20.63
	生长旺期	均值 (mg kg^{-1})	5.51	7.29	15121.50	318.12	49.17
		标准差 (mg kg^{-1})	0.96	1.82	634.76	74.36	9.40
		变异系数(%)	17.41	25.00	4.20	23.38	19.11
	生长末期	均值 (mg kg^{-1})	0.38	4.69	13378.46	253.76	53.68
		标准差 (mg kg^{-1})	0.65	2.43	402.68	39.83	8.24
		变异系数(%)	170.87	51.92	3.01	15.69	15.35
低潮滩湿地土壤	生长初期	均值 (mg kg^{-1})	3.60	5.47	13289.20	249.44	54.18
		标准差 (mg kg^{-1})	0.49	0.54	779.66	41.75	8.09
		变异系数(%)	13.48	9.90	5.87	16.74	14.93
	生长旺期	均值 (mg kg^{-1})	3.78	4.54	12102.51	243.14	53.09
		标准差 (mg kg^{-1})	0.72	1.60	1569.74	68.71	17.51
		变异系数(%)	19.11	35.35	12.97	28.26	32.99
	生长末期	均值 (mg kg^{-1})	1.18	5.92	13391.51	238.96	60.26
		标准差 (mg kg^{-1})	1.35	6.55	1747.22	90.82	15.98
		变异系数(%)	114.72	110.74	13.05	38.01	26.52

2.3　湿地土壤碳、氮储量及其分布特征

表 2 为中潮滩湿地土壤和低潮滩湿地土壤 0 ~ 60 cm土层的碳、氮储量及其分布状况。据表可知,中潮滩湿地土壤的碳储量以 0 ~ 10 cm和 50 ~ 60 cm土层较高(0.8429 kg m^{-2} 和 0.8251 kg m^{-2},占 23.44%和 22.94%),40 ~ 50 cm次之(0.7526 kg m^{-2}),10 ~ 20 cm,

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

20 ~ 30 cm、30 ~ 40 cm相对较低（0.4196 kg m²、0.3486 kg m² 和 0.4077 kg m²）。低潮滩湿地土壤碳储量则以 0 ~ 10 cm和 10 ~ 20 cm土层较高（0.8677 kg m² 和 0.8564 kg m²，占 22.02%和 21.73%），40 ~ 50 cm、50 ~ 60 cm土层次之（0.6022 kg m² 和 0.5847 kg m²），20 ~ 30 cm、30 ~ 40 cm相对较低（0.5145 kg m² 和 0.5158 kg m²）。就氮储量而言，中潮滩湿地土壤的氮储量以 40 ~ 50 cm、50 ~ 60 cm土层较高（0.0757 kg m² 和 0.0870 kg m²，占 20.79%和 23.91%），0 ~ 10 cm、10 ~ 20 cm土层次之（0.0644 kg m² 和 0.0594 kg m²），20 ~ 30 cm、30 ~ 40 cm土层相对较低（0.0360 kg m² 和 0.0414 kg m²）。与之相似，低潮滩湿地土壤的氮储量则以 0 ~ 10 cm、10 ~ 20 cm土层较高（均为 0.0817 kg m²，占 20.22%），40 ~ 50 cm、50 ~ 60 cm土层次之（0.0656 kg m² 和 0.0614 kg m²），20 ~ 30 cm、30 ~ 40 cm土层最低（0.0542 kg m² 和 0.0596 kg m²）。比较而言，低潮滩湿地土壤 0 ~ 60 cm土层的碳、氮储量（3.5965 kg m² 和 0.3639 kg m²）均高于中潮滩湿地土壤（3.9413 kg m² 和 0.4041 kg m²），且除 40 ~ 50 cm、50 ~ 60 cm土层外，其它土层的碳、氮储量均分别比中潮滩湿地土壤的相应土层高 2.87% ~ 51.01%和 2.52% ~ 3.89%。另外，从两种湿地土壤氮储量的构成来看，TON 均为主体，分别占 96.26%和 96.33%，而无机氮仅占 0.74%和 0.67%。

表 2 湿地土壤碳、氮储量（8 月，0 ~ 60 cm）
Table 2 Carbon and nitrogen stocks of tidal marsh soils

土壤类型 Soil type	土层 (cm) Soil layer	碳储量 (kg m²) Carbon stock	氮储量 (kg m²) Nitrogen stock			不同土层所占比例 (%) roportion of different layers			
			TON	TIN	TN	TC	TON	TIN	TN
中潮滩湿地土壤	0 ~ 10	0.8429	0.0639	0.0005	0.0644	23.44	17.69	18.52	17.70
	10 ~ 20	0.4196	0.0589	0.0005	0.0594	11.67	16.31	18.52	16.32
	20 ~ 30	0.3486	0.0357	0.0003	0.0360	9.69	9.88	11.11	9.89
	30 ~ 40	0.4077	0.0411	0.0003	0.0414	11.34	11.38	11.11	11.38
	40 ~ 50	0.7526	0.0752	0.0005	0.0757	20.93	20.82	18.52	20.80
	50 ~ 60	0.8251	0.0864	0.0006	0.0870	22.94	23.92	22.22	23.91
	合计	3.5965	0.3612	0.0027	0.3639	100.00	100.00	100.00	100.00
低潮滩湿地土壤	0 ~ 10	0.8677	0.0813	0.0004	0.0817	22.02	20.25	14.81	20.21
	10 ~ 20	0.8564	0.0813	0.0004	0.0817	21.73	20.25	14.81	20.21
	20 ~ 30	0.5145	0.0539	0.0003	0.0542	13.05	13.43	11.11	13.41
	30 ~ 40	0.5158	0.0592	0.0004	0.0596	13.09	14.75	14.81	14.75
	40 ~ 50	0.6022	0.0648	0.0008	0.0656	15.28	16.14	29.63	16.23
	50 ~ 60	0.5847	0.0611	0.0003	0.0614	14.84	15.22	11.11	15.19
	合计	3.9413	0.4014	0.0027	0.4041	100.00	100.00	100.00	100.00

3 结论

（1）两种湿地土壤的 TC、TN、NO_3^-- N、NH_4^+- N 和 C/N 在不同时期的垂直分布特征均存在不同程度差异，前者 TC、TN 的垂直分布主要受制于土壤有机质的分布，而后者还与潮汐影响状况有关；不同时期 NO_3^-- N、NH_4^+- N 垂直分布的差异主要与其所处的水分条件差异及其引起的不同土层中 NO_3^-- N、NH_4^+- N 的水平运移和垂直淋失有关；二者 C/N 差异主要与其受陆源影响程度有关。

（2）两种湿地土壤的 TC、TN、NO_3^-- N、NH_4^+- N 和 C/N 在不同时期均存在较高的垂直变异性，以 NO_3^-- N 和 NH_4^+- N 的垂直变异性较大，TC 的垂直变异性最小，原因主要与影响上下层土壤碳、氮分布的主导因素差异有关。

（3）两种湿地土壤的碳、氮储量及分布状况均存在较大差异。低潮滩湿地土壤 0 ~ 60 cm土层的碳、氮储量（3.5964 kg m² 和 0.3639kg m²）均高于中潮滩湿地土壤（3.9413 kg m² 和 0.4041 kg m²），且除 40 ~ 50 cm、50 ~ 60 cm土层外，其它土层的碳、氮储量分别比中潮滩湿地土壤的相应土层高 2.87 ~ 51.01%和 2.52 ~ 3.89%。

参考文献：

[1] MISTCH W J, GOSSELIN J G. Wetlands [M]. New York: Van Nostrand Reinhold Company Inc, 2000: 89 - 125.

[2] BRINKLEY D, HART S C. The component of nitrogen availability assessment in forest soil[J]. Advances in Soil Science, 1989, 10: 57 - 112.

[3] VITOUSEK P M, WHITE P S. Process studies in succession [A]. In: WEST D C, SHUGART H H, BOTKIN B D (eds). Forest succession: concepts and application[C]. New York: Springer- Verlag, 1981: 267 -

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

276.
[4] TILMAN D. The resource-ratio hypothesis of plant succession[J]. American Naturalist, 1985, 125: 827 - 852.
[5] 李贵才, 韩兴国. 森林生态系统土壤氮矿化影响因素研究进展[J]. 生态学报, 2001, 21(7): 1187 - 1195.
[6] 于君宝, 王金达, 刘景双. 三江平原泥炭中营养元素垂直分布特征[J]. 应用生态学报, 2004, 15(2): 265 - 268.
[7] 白军红, 邓 伟, 王庆改, 等. 内陆盐沼湿地土壤碳氮磷剖面分布的季节动态特征[J]. 湖泊科学, 2007, 19(5): 599 - 603.
[8] 杨继松, 于君宝, 刘景双, 等. 三江平原典型湿地土壤腐殖质的剖面分布及其组成特征[J]. 土壤通报, 2006, 37(5): 865 - 868.
[9] 吕国红, 周 莉, 赵先丽, 等. 芦苇湿地土壤有机碳和全氮含量的垂直分布特征[J]. 应用生态学报, 2006, 17(3): 384 - 389.
[10] 白军红, 邓 伟, 欧阳华, 等. 吉林向海沼泽湿地土壤氮素的剖面分布[J]. 湖泊科学, 2004, 16(4): 377 - 380.
[11] 孙志高, 刘景双, 于君宝. 三江平原典型小叶章湿地土壤氮的垂直分布特征[J]. 土壤通报, 2009, 40(6): 1342 - 1348.
[12] 董洪芳, 于君宝, 孙志高, 等. 黄河口滨岸潮滩湿地植物 - 土壤系统有机碳空间分布特征[J]. 环境科学, 2010, 31(6): 1594 - 1599.
[13] 孙万龙, 孙志高, 牟晓杰, 等. 黄河口滨岸潮滩不同类型湿地土壤磷、硫的分布特征[J]. 水土保持通报, 2010, 30(4): 104 - 109.
[14] 王玲玲, 孙志高, 牟晓杰, 等. 黄河口滨岸潮滩不同类型湿地土壤氮素分布特征[J]. 土壤通报, 2011, 42(6): 1439 - 1445.
[15] 孙志高, 刘景双, 于君宝. 三江平原不同群落小叶章氮素的累积与分配特征[J]. 应用生态学报, 2009, 20(2): 277 - 284.
[16] 袁可能. 植物营养元素的土壤化学[M]. 北京: 科学出版社. 1983.
[17] 刘景双, 杨继松, 于君宝, 等. 三江平原沼泽湿地土壤有机碳的垂直分布特征研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(3): 5 - 8.
[18] REDDY K R, DIAZ O A. Phosphorus dynamics in selected wetlands and streams of the lake Okeechobee Basin[J]. Ecological Engineering, 1995, 5(2 - 3): 183 - 207.

Storage and Vertical Distribution Characteristics of Carbon and Nitrogen in Different *Suaeda salsa* Marsh Soils of the Yellow River Estuary

MOU Xiao-jie[1,2,3], SUN Zhi-gao[2*], LIU Xing-tu[1]

(1. *Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun* 130012, *China;*
2. *Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai* 264003, *China;*
3. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049, *China*)

Abstract: The *Suaeda salsa* marshes in middle tidal flat (MTF) and low tidal flat (LTF) of the Yellow River estuary, were selected as study objects, and the profile distribution characteristics of carbon (C) and nitrogen (N) in different periods were contrastively studied. Results showed that the vertical distribution characteristics of TC, TN, NO_3^--N, NH_4^+-N and C/N in the two types of soil in different periods had some differences. The vertical distribution characteristics of TC and TN were mainly controlled by the distribution of soil organic matter and the effects of tide, while those of NO_3^--N and NH_4^+-N were mainly correlated with the differences of soil water condition in different periods. The NO_3^--N vertical leaching and soil NH_4^+-N adsorption were the direct reasons for the distribution of NO_3^--N and NH_4^+-N in different periods. The C/N in different soils was related to the effects of terrestrial sources. The TC, TN, NO_3^--N, NH_4^+-N and C/N in the two types of soil in different periods had significantly vertical variability, which were mainly correlated with the differences of dominant factors affecting the C and N distributions in topsoil and subsoil. The C and N stocks and their distribution statuses in MTF and LTF soils had significantly differences, and the C and N stocks of the latter (3.9413 kg m^{-2} and 0.4041 kg m^{-2}) were much higher than those of the former (3.5964 kg m^{-2} and 0.3639 kg m^{-2}). Except for the 40 - 50 cm and 50 - 60 cm layers, the C and N stocks in LTF soil in different layers were separately 2.87% - 51.01% and 2.52% - 3.89% higher than those in MTF soil.

Key words: Yellow River estuary; Tidal marsh; Carbon; Nitrogen; Vertical distribution

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net