

文章编号: 1003-7578(2013)01-114-06

# 黄河口翅碱蓬湿地土壤氮的季节变化\*

牟晓杰<sup>1,2,3</sup> 孙志高<sup>2</sup> 刘兴士<sup>1</sup>

(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所 湿地生态与环境重点实验室, 长春 130012;

2. 中国科学院烟台海岸带研究所 海岸带环境过程重点实验室, 烟台 264003; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**提 要:** 2009年4~11月, 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氮的季节变化特征。结果表明: 两种湿地不同土层的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和TN含量均具有明显的季节变化特征, 但不同类型湿地之间差异较大。二者 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量的季节差异主要与其所受潮汐影响程度及其引起的无机氮物理运移和对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 吸附能力的差异有关。二者在7月较低的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量主要与植物对土壤中有效氮的大量吸收与利用有关, 而8月较高的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量主要与此间土壤有机氮矿化较强有关。两种湿地不同土层的TN含量与C/N的季节变化规律整体相反。二者TN含量的差异主要受制于不同土层的有机质分布以及潮汐的影响状况, 而C/N的差异主要与两种湿地在不同时期受陆源的影响程度有关。

**关键词:** 黄河口; 翅碱蓬湿地; 氮; 土壤; 季节变化

**中图分类号:** S153.6<sup>+</sup>1

**文献标识码:** A

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。湿地土壤是氮的重要储库, 发挥着源、汇或转化器的重要功能<sup>[1]</sup>, 其对于湿地系统诸生态过程有着重要影响。湿地土壤氮的时空分布特征, 特别是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<sup>[2]</sup>, 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等产生深刻影响<sup>[3-5]</sup>。

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生态系统土壤养分的季节变化动态进行了较多研究<sup>[6-14]</sup>, 但关于黄河口不同生境下翅碱蓬湿地土壤氮季节变化特征的对比研究还未见报到。为此, 文中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, 对比研究了两种湿地土壤中氮的季节动态特征。研究结果不仅可为该区湿地氮循环研究提供基础数据, 而且还为湿地土壤质量演变 and 环境保护等研究提供重要科学依据。

## 1 材料与研究方法

### 1.1 研究区概况

试验于2008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

\* 收稿日期: 2011-12-1; 修回日期: 2012-1-9。

基金项目: 山东省自然科学基金重点项目(ZR2010DZ001); 国家自然科学基金项目(41171424, 40803023); 中国科学院战略性先导科技专项子课题(XDA05030404)和中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-223)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: xjmou@163.com

通讯作者: 孙志高(1979-), 男, 山东烟台人, 博士, 副研究员, 主要从事湿地生物地球化学研究。E-mail: zgsun@yic.ac.cn

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 $\text{hm}^2$ ,其中核心区面积5.8万 $\text{hm}^2$ ,缓冲区面积1.3万 $\text{hm}^2$ ,试验区面积8.2万 $\text{hm}^2$ 。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196d, $\geq 10^\circ\text{C}$ 的积温约4300℃,年均蒸发量1962mm,年平均降水量为551.6mm,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(*Limonium 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4~11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-柽柳湿地(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30m×30m样地,逐月采集土壤剖面样品。采样时,分别在两样区内采集3个典型土壤剖面,剖面深度为40cm,每10cm一层,共分4层,然后对三个剖面样品进行等层次混合,共采集样品64个。将采集的土壤样品及时带回实验室自然风干后,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全碳(TC)、全氮(TN)、铵态氮( $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ )和硝态氮( $\text{NO}_3^- - \text{N}$ )。其中,TC、TN含量采用元素分析仪(Elementar Vario Macro)测定, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量在用2mol/L的KCL浸提后通过连续流动分析仪(Bran-Luebe AAA3)测定。

## 1.3 数据处理与分析

运用Origin7.5软件对数据进行作图、计算和数学模拟。

# 2 结果与分析

## 2.1 硝态氮含量的季节变化特征

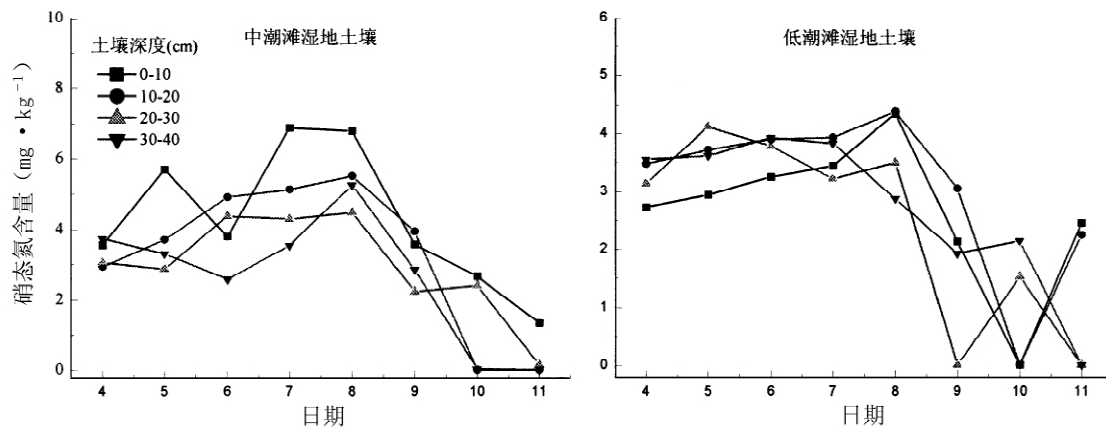


图 1 湿地土壤中硝态氮含量的季节变化

Fig. 1 Seasonal changes of nitrate nitrogen content in wetland soils

图 1 为潮滩湿地土壤中  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  含量的季节变化特征。据图可知,中潮滩湿地表层土壤的  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  含量在 7 月之前整体呈“N”型变化,并于 7 月取得最高值( $6.89 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ),之后整体呈递减变化,并于 11 月取得最低值( $1.34 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )。10-20cm、20-30cm 土层  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  含量的变化特征较为相似,其在 8 月前整体呈增加趋势,并均于 8 月取得最高值( $5.52 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和  $4.48 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ),之后整体呈递减变化。30-40cm 土层的  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  含量在 8 月前整体呈“V”型变化,并亦于 8 月取得最高值( $5.26 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ),之后整体呈递减变化,并于生长末期取得最低值( $0.01 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )。与之相比,低潮滩湿地 0-10cm、10-20cm 土层  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  含量的变化特征极为相似,其在 8 月之前整体呈递增变化,并均于 8 月取得最高值( $4.34 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和  $4.38 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ),之后则呈“V”型变化,并均于 10 月取得最低值。20-30cm 土层的  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  含

量在 7 月前呈倒“V”型变化,并于 5 月取得最高值( $4.12\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ),之后则呈不规则“M”型变化,并均于 9、11 月取得最低值( $0.01\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )。30-40cm 土层的  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  含量在 7 月之前变化不大,其值介于  $3.56 \sim 3.92\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  之间,之后其值除在 10 月有所增加外,其它时期整体呈递减变化,并于 11 月取得最低值( $0.01\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )。

### 2.2 铵态氮含量的季节变化特征

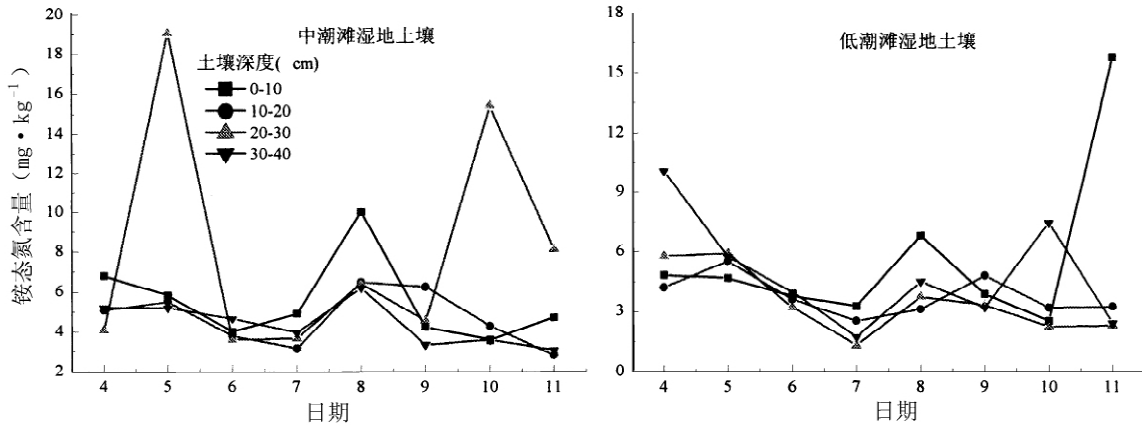


图 2 湿地土壤中铵态氮含量的季节变化

Fig.2 Seasonal changes of ammonia nitrogen content in wetland soils

图 2 为潮滩湿地土壤中  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量的季节变化特征。据图可知,中潮滩湿地表层土壤的  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量在生长季整体呈不规则“W”型变化,并于 8 月取得最高值( $10.02\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ),而于 6、10 月取得较低值( $3.99\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和  $3.59\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )。10-20cm 和 30-40cm 土层  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量的变化趋势比较一致,其在 7 月之前整体呈递减变化,之后迅速增加并均于 8 月取得最高值( $6.51\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和  $6.20\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )。8 月以后,二者的  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量整体又呈递减变化。比较而言,20-30cm 土层的  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量在生长季整体呈较大波动变化,其分别于 5、10 月取得两次峰值( $19.04\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和  $15.38\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ),于 8、11 月取得两次较大值( $6.44\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和  $8.12\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ),而在其它月份则差别不大。与之相比,低潮滩湿地 0-10cm 和 30-40cm 土壤中的  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量在 9 月之前的变化趋势基本一致,之后则呈反规律变化。不同的是,0-10cm 土层的  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量分别在 10、11 月份取得最低值( $2.54\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )和最高值( $15.72\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ),而 30-40cm 土层的  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量则分别于 5、7 月份取得最高值( $10.05\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )和最低值( $1.73\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )。整体而言,10-20cm 和 20-30cm 土层  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量的变化规律基本一致,其在 5 月均取得最高值( $5.52\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和  $5.91\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ),而在 7 月均取得最低值( $2.52\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和  $1.30\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )。

### 2.3 全氮含量的季节变化特征

图 3 为潮滩湿地土壤中 TN 含量的季节变化特征。据图可知,中潮滩湿地表层土壤的 TN 含量在 6 月前变化不大,之后骤然增加,并于 7 月取得最高值( $900.93\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )。7~9 月, TN 含量迅速递减,并在 9 月之后呈较小波动变化。比较而言,10-20cm、20-30cm 和 30-40cm 土层 TN 含量的季节变化特征较为相似,5 月前均呈递减变化,之后迅速增加,并分别于 6 月或 7 月取得最高值( $603.22\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $481.15\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和  $645.00\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )。6~10 月或 7~10 月,其 TN 含量整体均呈降低趋势。10 月之后,10-20cm 土层的 TN 含量呈降低变化,而 20-30cm、30-40cm 土层的 TN 含量则呈增加趋势。与之相比,低潮滩湿地 0-10cm、20-30cm 和 30-40cm 土层 TN 含量的季节变化特征较为一致,其在 6 月之前均呈降低趋势,之后整体均呈“M”型变化,并均于 7、10 月取得两次较大值( $386.98\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $323.82\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $324.63\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和  $475.82\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $365.10\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $294.02\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )。不同的是,10-20cm 土层的 TN 含量在生长季整体呈“W”型变化,其在 4、11 月取得两次较大值( $471.35\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和  $359.19\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ),而于 5、9 月取得两次较低值( $212.99\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和  $133.39\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )。

### 2.4 C/N 的季节变化特征

图 4 为潮滩湿地土壤中 C/N 的季节变化特征。据图可知,中潮滩湿地和低潮滩湿地不同土层 C/N 的季节变化差异很大,但整体均与 TN 含量的季节变化规律相反(图 3)。中潮滩湿地表层土壤的 C/N 含量在 6 月前变化不大,之后骤然降低,并于 7 月取得最低值(25.86)。7~9 月,表层土壤的 C/N 迅速升高,并

在 9 月之后呈较小波动变化。比较而言, 10–20cm、20–30cm 和 30–40cm 土层 C/N 的季节变化特征较为相似, 5 月前均呈递增变化, 之后迅速降低, 并分别于 6 月或 7 月取得最低值 (32.96、39.24 和 33.75), 6–10 月或 7–10 月, 其 C/N 整体均呈增加趋势, 10 月之后, 则呈降低变化。与之相比, 低潮滩湿地 0–10cm、20–30cm 和 30–40cm 土层 C/N 的季节变化特征较为一致, 其在 6 月之前均呈增加趋势, 之后整体均呈 "W" 型变化。不同的是, 10–20cm 土层的 C/N 在生长季整体呈 "M" 型变化, 其在 5、9 月取得两次较大值 (64.19 和 93.53), 而于 4、7 和 11 月取得三次较低值 (41.73、37.32 和 43.32)。

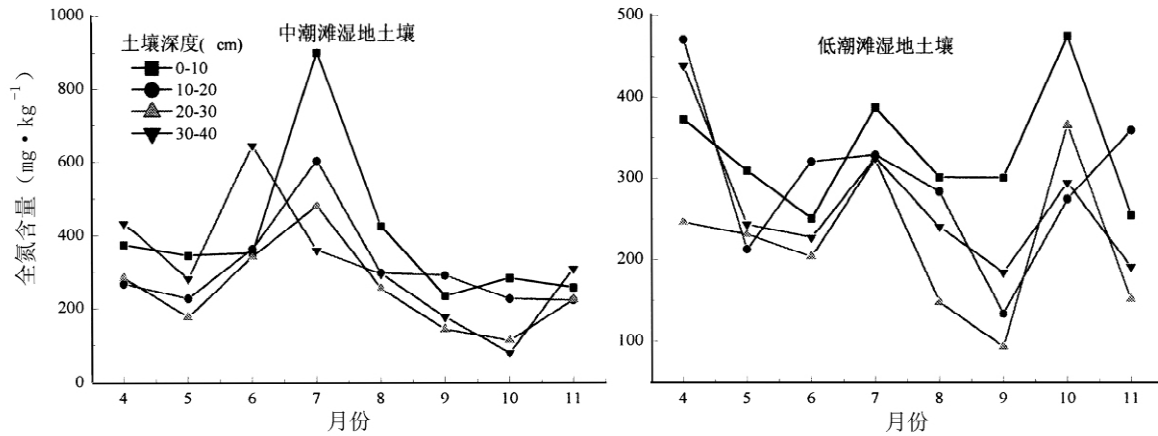


图 3 湿地土壤中全氮含量的季节变化

Fig. 3 Seasonal changes of total nitrogen content in wetland soils

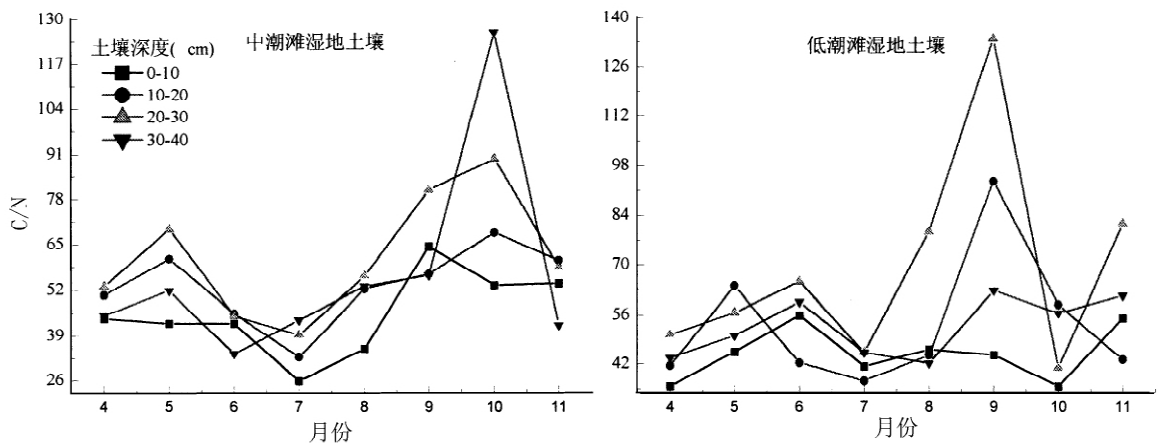


图 4 湿地土壤中 C/N 的季节变化

Fig. 4 Seasonal changes of C/N ratio in wetland soils

### 3 讨论

由于  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  是可被植物吸收利用的矿质氮, 不被土壤吸附而易造成淋失, 所以中潮滩湿地和低潮滩湿地不同土层  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  含量季节变化特征差异的原因主要与二者所处水分条件的差异有关。相对于中潮滩湿地, 低潮滩湿地受潮汐的影响更为频繁, 在潮汐的影响下, 低潮滩湿地上层土壤中的  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  或溶于海水中而被潮汐带走, 或垂直淋失至较深土层中, 由此使得其 0–20cm 土层的  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  含量在不同时期整体要低于中潮滩湿地的相应土层。整体而言, 中潮滩和低潮滩湿地不同土层的  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  含量在 8 月一般均较高, 原因主要与此间温度较高, 土壤有机氮矿化较强有关<sup>[14–15]</sup>。此外, 不同时期两种湿地不同土层的质地及其引起的  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  水平和垂直运移的差异也是导致二者季节变化特征差异的重要原因<sup>[16–17]</sup>。两种湿地不同土层  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量的季节变化特征差异较大, 原因也与二者所处水分条件差异有关。低潮滩湿地受潮汐的影响更为频繁, 在潮汐涨落的影响下, 土壤中的  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  更易被垂直淋失至较深土层<sup>[16]</sup>, 由此使得不同时期 0–40cm 土层的  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量均较低。与之相比, 中潮滩湿地土壤的

$\text{NH}_4^+ - \text{N}$  因水分条件相对较差,不易淋失至较深土层而在一定深度出现累积,由此使得 20–30 cm 土层的  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量在不同时期出现明显的累积峰值。另外,两种湿地土壤不同土层的  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量一般均于 7 月出现较低值,而 8 月份出现较高值。其中 7 月土壤中  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量较低值的取得主要与此间植物对土壤中有有效态氮的大量吸收利用有关,而 8 月较高值的取得主要与此间气温较高,有机氮矿化较强有关<sup>[15]</sup>。另外,不同时期两种湿地不同土层对  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  吸附能力的差异也是导致其季节变化差异的重要原因<sup>[18]</sup>。

中潮滩湿地和低潮滩湿地不同土层 TN 含量的季节变化特征差异较大,原因除了受制于不同湿地土壤的有机质分布状况外,更主要与其受潮汐的影响状况有关。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、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  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 N 营养带走或将海水中的 N 营养滞留于潮滩土壤中,由此导致不同时期低潮滩湿地不同土层的 TN 含量变化规律要比中潮滩湿地相应土层复杂。而导致两种湿地土壤 C/N 季节变化差异的原因主要与不同时期受陆源影响程度的差异有关。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<sup>[19]</sup>。由于两种湿地不同土层的 C/N 在不同时期均明显高于 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。尽管向陆地延伸方向的中潮滩湿地土壤亦是由黄河携带泥沙与海洋相互作用形成,但因其成陆时间较低潮滩湿地土壤早,加上湿地植被演替以及水盐状况等的改善,使得土壤的熟化程度和碳、氮矿化程度增强<sup>[15]</sup>,进而导致土壤 C/N 整体相对较低。当然,两种湿地不同土层 C/N 季节变化的差异还与潮汐涨落、植物吸收与归还、有机碳、氮矿化、生物固持以及硝化–反硝化等进行程度的差异有关<sup>[13–14]</sup>,其季节变化是诸因素综合作用的结果。

## 4 结论

(1) 两种湿地不同土层的  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  含量均具有明显的季节变化特征,但不同湿地之间差异较大,原因主要与二者所受潮汐影响程度以及  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  水平和垂直运移的差异有关。二者不同土层的  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  含量在 8 月较高值的取得主要与此间土壤有机氮矿化较强有关。

(2) 两种湿地不同土层的  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量季节变化差异较大,原因主要与二者所处水分条件及其引起的  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  物理运移和对  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  吸附能力的差异有关。二者在 7 月的较低值主要与植物对土壤中有有效态氮的大量吸收利用有关,8 月的较高值主要与有机氮矿化较强有关。

(3) 两种湿地不同土层的 TN 含量、C/N 亦具有明显季节动态,但变化规律整体相反。二者 TN 含量的差异主要受制于不同土层的有机质分布以及潮汐影响状况。二者 C/N 的差异主要与其在不同时期受陆源影响程度有关。不同时期潮汐涨落、植物吸收与归还、有机碳、氮矿化、生物固持和硝化–反硝化作用等进行的程度对 TN、C/N 的变化也具有重要影响。

## 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: 267–276.
- [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] 孟盈, 薛敬意, 沙丽清, 等. 西双版纳不同热带森林下土壤铵态氮和硝态氮动态研究[J]. 植物生态学报, 2001, 25(1): 99–104.
- [7] 莫江明, 郝梦德, 孔国辉. 鼎湖山马尾松人工林土壤硝态氮和铵态氮动态研究[J]. 植物生态学报, 1997, 21(4): 335–341.
- [8] 李雪梅, 张利红. 硝态氮在羊草–土壤中的分配及其季节动态[J]. 辽宁大学学报(自然科学版), 1999, 26(4): 388–392.
- [9] 张淑艳, 张永亮, 刘淑贤. 放牧对短花针茅草原生态系统土壤贮氮季节动态的影响[J]. 哲里木畜牧学院学报, 1998, 8(1): 54–58.
- [10] 石英, 沈其荣, 茆泽圣, 等. 旱作水稻根际土壤铵态氮和硝态氮的时空变异[J]. 中国农业科学, 2002, 35(5): 520–524.
- [11] 白军红, 崔保山, 杨志峰, 等. 向海沼泽湿地土壤碱解氮含量的季节变化特征研究[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(1): 115–117.
- [12] 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.
- [13] 孙志高, 刘景双, 于君宝. 三江平原小叶章湿地土壤中碱解氮和全氮含量的季节变化特征[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(8): 145

- 149.

- [14] 孙志高, 刘景双, 于君宝. 三江平原典型小叶章湿地土壤中硝态氮和铵态氮含量的季节变化特征[J]. 农业系统科学与综合研究, 2010, 26(3): 277-282.
- [15] 孙志高, 刘景双, 王金达, 等. 三江平原典型小叶章湿地土壤氮素净矿化与硝化作用研究[J]. 应用生态学报, 2007, 18(8): 1771-1777.
- [16] 孙志高, 刘景双. 三江平原典型湿地土壤硝态氮和铵态氮垂直运移规律[J]. 水土保持学报, 2007, 21(6): 25-30.
- [17] 孙志高, 刘景双, 王金达, 等. 三江平原典型小叶章湿地土壤中硝态氮水平运移的模拟研究[J]. 生态与农村环境学报, 2006, 22(3): 51-56, 64.
- [18] 孙志高, 刘景双. 三江平原典型小叶章湿地土壤中铵态氮水平运移规律研究[J]. 水土保持学报, 2006, 20(5): 87-91, 125.
- [19] 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.

## Seasonal change characteristics of soil nitrogen in different *Suaeda salsa* marsh in the Yellow River estuary

MOU Xiaojie<sup>1, 2, 3</sup>, SUN Zhigao<sup>2</sup>, LIU Xingtu<sup>1</sup>

(1. Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012, P. R. China;

2. Key laboratory of Coastal Environment Processes, Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, P. R. China; 3. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, P. R. China)

**Abstract:** From April to November 2009, two *Suaeda salsa* marsh plots, located in middle tidal flat (MTF) and low tidal flat (LTF) of the Yellow River estuary, were selected to study the seasonal change characteristics of soil nitrogen. Results showed that the seasonal change characteristics of  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ,  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  and TN contents in different soil layers in MTF and LTF were significantly different. The differences of seasonal change characteristics of  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  and  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  contents between the two plots were mainly related to the effects of tide, physical transport of inorganic nitrogen and soil  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  adsorption. The low  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  contents in July in MTF and LTF soils were related to the plant absorption and utilization, while the high  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  and  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  contents in August were mainly related to the strong organic N mineralization in this period. The seasonal change characteristics of TN contents and C/N were opposite. The differences of TN contents in MTF and LTF soils were mainly controlled by the distribution of soil organic matter and the effects of tide, while those of C/N were correlated with the effects of terrestrial sources.

**Key words:** Yellow River estuary; *Suaeda salsa* marsh; soil nitrogen; seasonal change