

# 三江平原典型小叶樟湿地土壤氮的垂直分布特征

孙志高<sup>1,2</sup>, 刘景双<sup>2</sup>

(1. 中国科学院烟台海岸带研究所, 山东烟台 264003; 2. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 吉林长春 130012)

**摘要** 选择三江平原不同水分带上的小叶樟湿地为研究对象, 对比研究了不同类型土壤(草甸沼泽土和腐殖质沼泽土)中各形态氮在不同时期的剖面分布特征。结果表明, 草甸沼泽土和腐殖质沼泽土的剖面特征以及不同时期各形态氮的垂直分布特征均存在不同程度差异, 二者全氮、有机氮和碱解氮的垂直分布特征主要受制于土壤有机质的分布, 硝态氮和铵态氮主要与不同时期土壤水分条件差异及其引起的不同质地土层硝态氮的垂直淋失和对铵态氮的吸附程度有关; 两种土壤的各形态氮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氮分布的主导因素差异有关, 两种土壤的氮储量及其分布状况存在较大差异, 前者0~80cm土层的氮储量(1.94 kg m<sup>-2</sup>)明显高于后者(1.38 kg m<sup>-2</sup>), 前者的氮储量主要集中于0~40 cm土层(1.06 kg m<sup>-2</sup>, 占76.36%), 后者则主要集中于0~30 cm土层(1.15 kg m<sup>-2</sup>, 占59.10%)。

**关键词** 氮; 垂直分布; 土壤; 小叶樟湿地; 三江平原

中图分类号: X144; S152 文献标识码: A 文章编号: 0564-3945(2009)06-1342-07

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>。三江平原是我国湿地面积较大、类型较齐全的地区之一。小叶樟湿地是三江平原主要的湿地类型, 占湿地面积的34.45%<sup>[6]</sup>。小叶樟湿地常分布于高河漫滩、一级阶地和碟形洼地边缘, 主要有典型草甸小叶樟湿地(地表无积水)和沼泽化草甸小叶樟湿地(地表季节积水)两种类型, 分别发育着草甸沼泽土和腐殖质沼泽土<sup>[7]</sup>。两种小叶樟湿地因处在同一样地的不同水分带上, 对水分变化的指示极为敏感。目前, 尽管国内学者已经对湿地土壤养分的垂直分布特征进行了许多研究<sup>[8-12]</sup>, 但关于同一类型湿地不同水分带上不同湿地土壤氮的垂直分布特征的对比研究还未见到。本文对不同时期湿地土壤氮的垂直分布规律进行了研究, 旨在揭示不同时期两种湿地土壤氮的垂直分布规律是否存在差异以及它们是否随物候期发生强烈变化。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和环境保

护等研究提供重要科学依据。

## 1 研究区概况

研究样地位于三江平原腹地的典型沼泽湿地分布区, 海拔高度为55.4~57.9 m, 属温带大陆性季风气候, 冬季严寒漫长, 夏季温暖湿润, 1月平均气温为-18~-21℃, 7月平均气温为21~22℃, 年均气温为1.9℃, ≥10℃的年有效积温为2300℃左右。该区年降水量为600 mm左右, 年内降水分配不均, 其中60%以上集中在6~9月。本研究的土壤样品在中国科学院三江平原沼泽湿地生态试验站以东12 km的野外试验场(47°35'17.8" N, 133°37'48.4" E)采集。试验场的地貌类型为三江平原沼泽发育最为普遍的碟形洼地, 面积约20 hm<sup>2</sup>。自洼地中心到边缘依次分布的主要植被类型为漂筏苔草(*Carex pseudocuraica*)、毛果苔草(*Carex lasiocarpa*)、乌拉苔草(*Carex meyeriana*)和小叶樟(*Calamagrostis angustifolia*)。土壤类型主要为草甸沼泽土、腐殖质沼泽土和泥炭沼泽土。

## 2 研究方法

### 2.1 土壤样品采集

2005年, 分别于植物不同物候期(生长初期(5月中旬)、生长旺期(7月末)和生长末期(9月末))在野外试验场的典型草甸小叶樟湿地(草甸沼泽土)和沼泽化草甸小叶樟湿地(腐殖质沼泽土)的样区内采集

收稿日期: 2007-05-24; 修订日期: 2008-09-01

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-223); 中国科学院“优秀博士学位论文、院长奖获得者”科研启动专项资金项目(AJ0809BX-036)和山东省黄河三角洲生态环境重点实验室开放基金项目(2007KFJJ01)资助

作者简介: 孙志高(1979-), 男, 山东烟台人, 博士, 副研究员, 硕士生导师, 主要从事湿地生物地球化学研究。E-mail: zgsum@yic.ac.cn

土壤剖面样品。每次采样时,分别在两样区内采集 3 个典型土壤剖面,剖面深度为 80 cm,每 10 cm 一层,共分 8 层,然后对三个剖面样品进行等层次混合,共采集样品 48 个。土壤样品采集的同时,同步测定土壤容重。

## 2.2 样品处理及测定

将采集的土壤样品及时带回实验室自然风干后,分为两份。一份测定土壤粒度,粒度分析采用吸管法,质地采用国际制分类;另一份用球磨机磨碎,过 100 目筛后装袋待测。土壤样品的分析项目包括全氮(TN)、铵态氮( $\text{NH}_4^+$ -N)、硝态氮( $\text{NO}_3^-$ -N)、碱解氮(K-N)和有机氮(OR-N)。其中,TN 的测定采用凯氏法, $\text{NO}_3^-$ -N 的测定采用酚二磺酸比色法, $\text{NH}_4^+$ -N 的测定采用氯化钾浸提-靛酚蓝比色法,K-N 的测定采用碱解扩散法。由于凯氏法测定的 TN 中基本上不包含固定态铵、硝态氮和亚硝态氮<sup>[13]</sup>,所以 OR-N 的含量可由 TN 和  $\text{NH}_4^+$ -N 的差值来粗略表示。

## 2.3 土壤氮密度及储量计算

土壤剖面第  $i$  层土壤的氮平均密度( $\rho_{ni}$ )为相应层次土壤容重( $dv_i$ )与氮含量( $N_i$ )的乘积,即

$$\rho_{ni} = dv_i \times N_i \times 10 \quad (1)$$

土壤剖面第  $i$  层土壤的氮库储量( $T_{ni}$ )为相应层次氮密度与土壤厚度  $h_i$  的乘积,即

$$T_{ni} = \rho_{ni} \times h_i / 100 \quad (2)$$

单位面积一定剖面深度( $j$  到  $n$  层)土壤氮库总储

量( $T_n$ )为  $j$  到  $n$  层储量之和,即

$$T_n = \sum_{i=j}^n T_{si} = \sum_{i=j}^n dv_i \times N_i \times h_i / 10 \quad (3)$$

式中, $T_n$ 、 $T_{ni}$  的单位为  $\text{kg m}^{-2}$ , $\rho_{ni}$  的单位为  $\text{kg m}^{-3}$ , $dv_i$  的单位为  $\text{g cm}^{-3}$ , $N_i$  的单位为%, $h_i$  的单位为 cm。

## 2.4 数据处理与分析

运用 Origin7.5 软件对数据进行作图、计算和统计分析。

# 3 结果与分析

## 3.1 湿地土壤剖面特征

表 1~2 为草甸沼泽土和腐殖质沼泽土的颗粒组成和土壤剖面特征(土壤颜色为湿土颜色)。从表中可以看出,两种土壤的颗粒组成均以粘粒和粉粒为主,而砂粒仅占很少比例。比较而言,腐殖质沼泽土 40 cm 以上土层的粘粒含量均明显高于草甸沼泽土的相应土层,而 40 cm 以下土层则相反(60~70 cm 土层除外)。就粉粒而言,腐殖质沼泽土 40 cm 以上土层的粉粒含量均明显低于草甸沼泽土的相应土层,而 40 cm 以下土层则相反(60~70 cm 土层除外)。另外,除 0~10 cm 土层外,草甸沼泽土不同土层的砂粒含量均明显高于腐殖质沼泽土的相应土层。总的来说,两种土壤由于处于同一样地的不同水分交错带上,在水文条件、气候条件、微地貌特征及生物等诸多因素的影响下,两

表 1 典型湿地土壤的颗粒组成( $\text{g kg}^{-1}$ )

Table 1 Grain composition of typical wetland soils

| 土壤层次 Soil layers (cm) | 草甸沼泽土 Meadow marsh soil |              |          | 腐殖质沼泽土 Humus marsh soil |              |          |
|-----------------------|-------------------------|--------------|----------|-------------------------|--------------|----------|
|                       | 粘粒 Clay                 | 粉粒 Silt      | 砂粒 Sand  | 粘粒 Clay                 | 粉粒 Silt      | 砂粒 Sand  |
|                       | <0.002mm                | 0.02~0.002mm | > 0.02mm | <0.002mm                | 0.02~0.002mm | > 0.02mm |
| 0~10                  | 393.2                   | 543.2        | 63.6     | 492.8                   | 438.9        | 68.3     |
| 10~20                 | 430.7                   | 525.5        | 43.9     | 555.1                   | 408.6        | 36.4     |
| 20~30                 | 468.1                   | 507.7        | 24.1     | 617.3                   | 378.3        | 4.4      |
| 30~40                 | 537.7                   | 440.3        | 22.0     | 666.3                   | 328.2        | 5.5      |
| 40~50                 | 718.9                   | 239.3        | 41.8     | 640.4                   | 344.8        | 14.8     |
| 50~60                 | 835.2                   | 159.7        | 51.0     | 737.4                   | 259.0        | 3.6      |
| 60~70                 | 824.3                   | 169.6        | 6.1      | 856.2                   | 139.4        | 4.4      |
| 70~80                 | 852.2                   | 138.8        | 8.9      | 665.7                   | 327.9        | 6.5      |

表 2 典型湿地土壤剖面特征

Table 2 Characteristics of soil profile in typical wetlands

| 深度 Depth (cm) | 剖面特征 Profile characteristics |                         |
|---------------|------------------------------|-------------------------|
|               | 草甸沼泽土 Meadow marsh soil      | 腐殖质沼泽土 Humus marsh soil |
|               | 0~10                         | 灰褐色,松散,湿,粗根系多,过渡明显      |
| 10~20         | 深褐色,较松散,湿,细根系较多,过渡明显         | 浅黑色,粘重,过湿,粗根系较多,过渡明显    |
| 20~30         | 灰黄色,较紧实,湿,根系少,过渡明显           | 浅黄色,粘重,湿,细根系较多,过渡明显     |
| 30~40         | 深灰黄色,紧实,湿,根系少,过渡明显           | 深黄色,粘重,湿,根系较少,过渡明显      |
| 40~50         | 浅黑色,紧实,湿,无根系,有锈斑,过渡明显        | 灰黄色,粘重,湿,少量根系,过渡明显      |
| 50~60         | 黑色,紧实,湿,大量锈斑,过渡不明显           | 灰青色,粘重,湿,无根系,有锈斑,过渡不明显  |
| 60~70         | 深黑色,非常紧实,湿,大量锈斑,过渡不明显        | 青色,粘重,湿,大量锈斑,过渡不明显      |
| 70~80         | 深黑色,极为紧实,湿,大量锈斑,过渡不明显        | 暗青色,粘重,湿,大量锈斑,过渡不明显     |

种土壤的不同土层在颜色、质地、紧实程度以及过渡程度等方面均存在较为明显的差异(表2)。

### 3.2 湿地土壤氮的垂直分布特征

图1~2分别为不同物候期内草甸沼泽土和腐殖质沼泽土中氮的剖面分布特征。从图中可知,两种土壤中各形态氮的垂直分布既具有一定的相似性又存在一定差异。就草甸沼泽土而言,其TN和OR-N含量的垂直变化在生长初期均呈倒“S”形,其中0~30cm土层的含量波动较大,并以10~20cm土层的含量较高。30cm以下,二者的含量整体上均自上而下逐渐降低,并于50cm以下略有增加。生长旺期和生长末期TN和OR-N的含量变化在0~50cm土层均呈逐渐降低趋势,但在50cm以下稍有增加。尽管生长初期

K-N在50cm以下的含量变化存在一定波动,但其变化趋势与其它时期相同,均自上而下逐渐降低。比较而言,三个时期土壤中NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N和NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N含量的垂直变化差异较大。其中生长旺期和生长末期土壤的NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N含量均呈双峰波动变化,而在生长初期其含量在0~20cm土层骤减明显,之后变化不大,但均相对于表层有很大降低。生长初期和生长旺期土壤NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N的垂直变化整体呈增加趋势,但至70~80cm或40~80cm土层其含量又呈递减趋势。生长末期土壤NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N的垂直变化整体上波动较大,并于10~20cm土层出现含量峰值。与之相比,腐殖质沼泽土中TN、OR-N和K-N含量的垂直分布特征在三个时期较为一致,均自表层向下呈递减变化,其中0~30cm土层

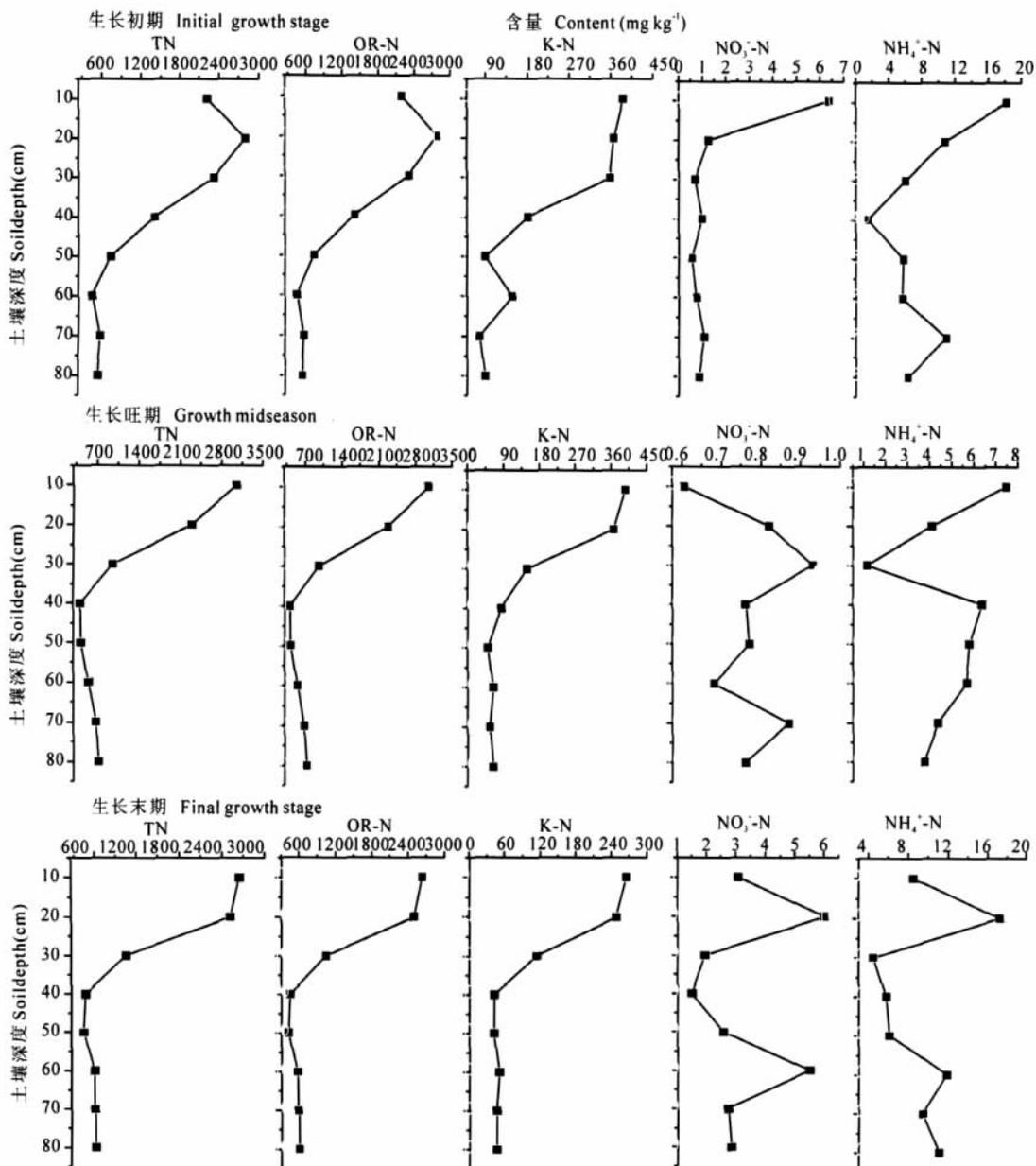


图1 草甸沼泽土中氮的垂直分布特征  
Fig.1 Vertical distribution characteristics of nitrogen in meadow marsh soil

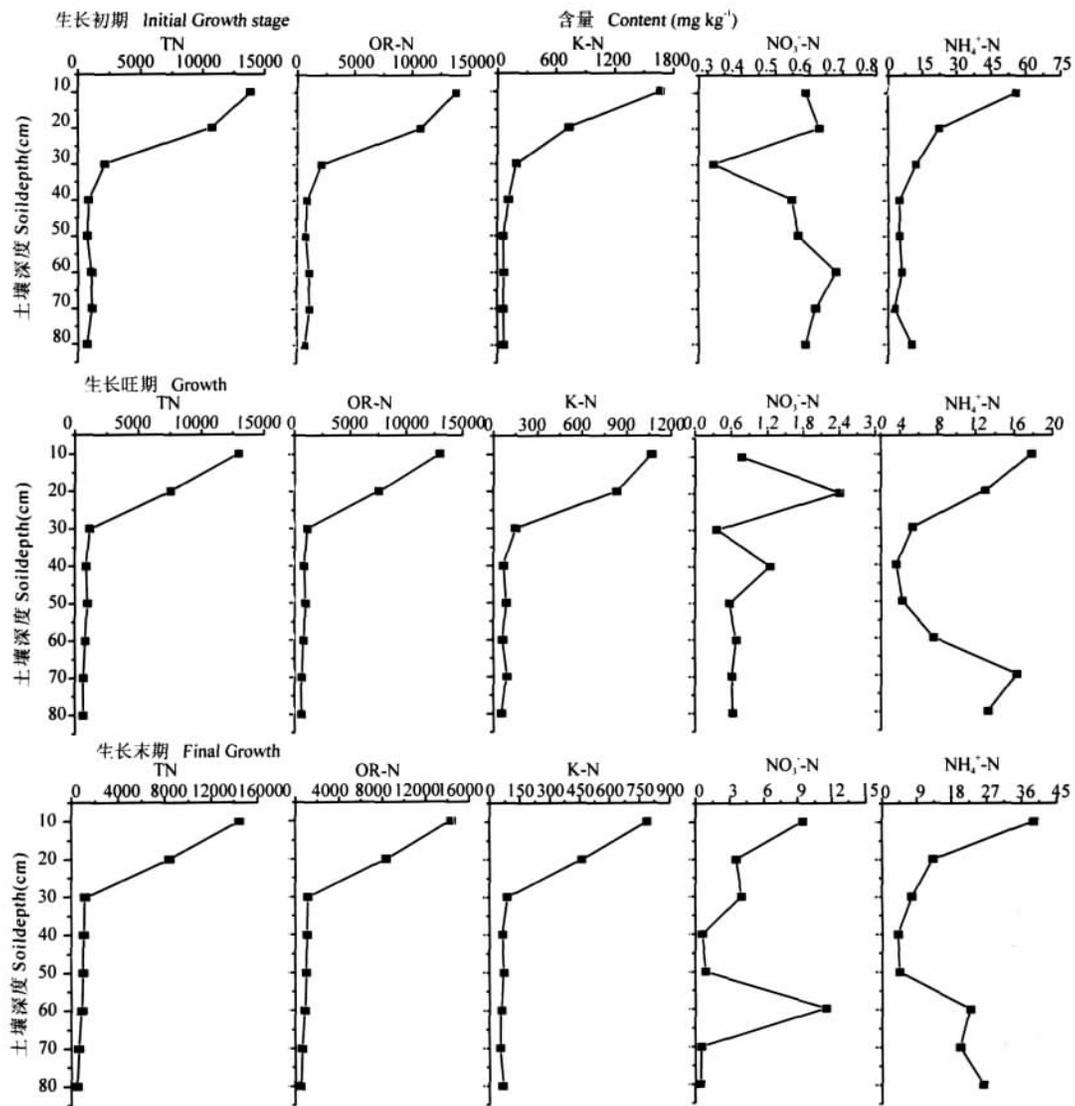


图2 腐殖质沼泽土中氮的垂直分布特征  
 Fig. 2 Vertical distribution characteristics of nitrogen in humus marsh soil

骤减明显,而 30~80 cm 土层的变化较为和缓。总的来说,三个时期土壤  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  含量的垂直分布均呈不同的波动变化,而  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  含量的变化则不同,表现为生长初期其含量整体呈递减变化(0~30 cm 土层骤减明显,之后呈平缓变化),而在生长旺期和生长末期则均呈“S”形变化(0~40 cm 土层骤减明显,40~70 cm 或 40~60 cm 土层增加明显,之后有所降低)。

比较而言,草甸沼泽土和腐殖质沼泽土 TN、OR-N 和 K-N 含量的垂直分布特征在三个时期整体上较为相似,但  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  和  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  的含量变化却相差较大。一般而言,二者 TN、OR-N 和 K-N 的垂直分布特征主要受制于土壤有机质的分布,表层土壤的有机质含量丰富,所以其含量均较高,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<sup>[4]</sup>。研究发现,三个时期草甸沼泽土 50 cm 以下土层的 TN 和

OR-N 含量均相对于上层土壤略有增加,其原因可能主要与成土母质以及有机质分布的空间异质性有关。此外,两种湿地土壤中  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  和  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  含量垂直分布特征的差异主要与不同时期土壤水分条件差异及其引起的不同质地土层  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  和  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  的垂直淋失有关。研究时段内,草甸沼泽土在生长初期的水分条件较差, $\text{NO}_3^- \text{-N}$  和  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  仅能垂直淋失至较浅土层中,而在生长旺期和生长末期其水分条件相对较好, $\text{NO}_3^- \text{-N}$  和  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  可随水分垂直淋失至较深土层中,进而使得其在剖面中均呈波动变化。与之相比,腐殖质沼泽土的水分条件在三个时期一直较好, $\text{NO}_3^- \text{-N}$  和  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  可随水分垂直淋失至较深土层中,进而使得其在土壤剖面中的波动变化明显。同时,两种湿地土壤不同土层粘粒含量的差异及其引起的对  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  吸附能力的差异也是导致不同时期土壤剖面  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$

波动变化的重要原因。当然,两种湿地土壤中  $\text{NO}_3^-$ -N 和  $\text{NH}_4^+$ -N 含量分布特征的差异还与植物吸收、有机氮矿化、生物固持以及硝化-反硝化作用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。

### 3.3 湿地土壤氮的垂直变异性

不同土层中各形态氮的平均含量变化可反映其在垂直方向上的变异性。表 3 为不同物候期内草甸沼泽土和腐殖质沼泽土中各形态氮的垂直变异性。据表可知,生长初期草甸沼泽土中  $\text{NO}_3^-$ -N 的垂直变异性最大(123.42%),OR-N 和 TN 次之(68.51%和 68.23%), $\text{NH}_4^+$ -N 和 K-N 相对较低(62.25%和 64.05%)。而在生长旺期和生长末期均是以 K-N 的垂直变异性最大(93.78%和 89.54%),OR-N 和 TN 次之(87.09%、86.70%和 84.14%、83.43%), $\text{NH}_4^+$ -N 和  $\text{NO}_3^-$ -N 相对较低(40.17%、12.99%和 44.55%、49.54%)。与之相比,生长初期腐殖质沼泽土中  $\text{NO}_3^-$ -N 的垂直变异性最小,仅为 19.30%,而其它各形态氮的垂直变异性则是以 K-N 最大(153.72%),OR-N 和 TN 次之(135.46%和 135.34%), $\text{NH}_4^+$ -N 最小(118.54%)。比较而言,生长旺期和生长末期土壤中各形态氮的垂直变异性均是以 OR-N 和 TN 较大(143.58%、143.19%和 146.69%、146.07%),K-N 次之(134.91%和 132.36%),而  $\text{NH}_4^+$ -N 和  $\text{NO}_3^-$ -N 则相对较低(55.48%、73.33%和 70.70%、112.11%)。总的来说,两种湿地土壤中各形态氮的较高垂直变异性主要与上层土壤和下层土壤中影响氮含量分布的主导因素差异有关,上层土壤各形态氮的含量受外界环境条件、植物根系、水分条件以及化学过程等的影响较为显著,而下层土壤可能受土体结构、性质以及成土母质基础的影响较大。

### 3.4 湿地土壤的氮储量

表 4 为草甸沼泽土和腐殖质沼泽土 0~80 cm 土层的氮储量及其分布状况。从表中可知,草甸沼泽土的氮储量主要集中于 0~40 cm 土层(1.0555  $\text{kg m}^{-2}$ ,占 76.36%),但以 10~20 cm 20~30 cm 土层的储量较高(0.3184  $\text{kg m}^{-2}$  和 0.3215  $\text{kg m}^{-2}$ ),而 0~10 cm 30~40 cm 土层则相对较低(0.1997  $\text{kg m}^{-2}$  和 0.2159  $\text{kg m}^{-2}$ )。40 cm 以下,各土层的氮储量均介于 0.0708~0.1032  $\text{kg m}^{-2}$  之间而变化不大。与之相比,腐殖质沼泽土的氮储量主要集中于 0~30 cm 土层(1.1478  $\text{kg m}^{-2}$ ,占 59.10%),但以 0~10 cm,10~20 cm 土层的储量较高(0.4443  $\text{kg m}^{-2}$  和 0.4071  $\text{kg m}^{-2}$ ),而 20~30 cm 土层相对较低(0.2964  $\text{kg m}^{-2}$ )。30 cm 以下,除 50~60 cm,60~70 cm 土层的氮储量相对较高外(0.1749  $\text{kg m}^{-2}$  和

表 3 不同生长期湿地土壤氮的垂直变异性

Table 3 Vertical variability of nitrogen in wetland soils in different growth periods

| 项目 Items | $\text{NO}_3^-$ -N          | $\text{NH}_4^+$ -N | OR-N   | TN      | K-N     |        |
|----------|-----------------------------|--------------------|--------|---------|---------|--------|
| 草甸沼泽土    | 均值 ( $\text{mg kg}^{-1}$ )  | 1.58               | 8.16   | 1370.00 | 1379.74 | 211.89 |
|          | 标准差 ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) | 1.95               | 5.08   | 938.63  | 941.38  | 135.71 |
|          | 变异系数 (%)                    | 123.42             | 62.25  | 68.51   | 68.23   | 64.05  |
| 腐殖质沼泽土   | 均值 ( $\text{mg kg}^{-1}$ )  | 0.77               | 4.83   | 1129.71 | 1135.31 | 153.30 |
|          | 标准差 ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) | 0.10               | 1.94   | 983.85  | 984.28  | 143.76 |
|          | 变异系数 (%)                    | 12.99              | 40.17  | 87.09   | 86.70   | 93.78  |
| 草甸沼泽土    | 均值 ( $\text{mg kg}^{-1}$ )  | 3.27               | 9.27   | 1097.20 | 1109.73 | 106.58 |
|          | 标准差 ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) | 1.62               | 4.13   | 923.23  | 925.84  | 95.43  |
|          | 变异系数 (%)                    | 49.54              | 44.55  | 84.14   | 83.43   | 89.54  |
| 腐殖质沼泽土   | 均值 ( $\text{mg kg}^{-1}$ )  | 0.57               | 14.94  | 3881.44 | 3896.94 | 371.28 |
|          | 标准差 ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) | 0.11               | 17.71  | 5257.62 | 5273.93 | 570.75 |
|          | 变异系数 (%)                    | 19.30              | 118.54 | 135.46  | 135.34  | 153.72 |
| 草甸沼泽土    | 均值 ( $\text{mg kg}^{-1}$ )  | 0.90               | 10.13  | 3197.20 | 3208.23 | 301.07 |
|          | 标准差 ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) | 0.66               | 5.62   | 4590.38 | 4593.99 | 406.18 |
|          | 变异系数 (%)                    | 73.33              | 55.48  | 143.58  | 143.19  | 134.91 |
| 腐殖质沼泽土   | 均值 ( $\text{mg kg}^{-1}$ )  | 3.88               | 17.27  | 3499.55 | 3520.69 | 206.54 |
|          | 标准差 ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) | 4.35               | 12.21  | 5133.66 | 5142.81 | 273.37 |
|          | 变异系数 (%)                    | 112.11             | 70.70  | 146.69  | 146.07  | 132.36 |

0.2103  $\text{kg m}^{-2}$ ),其它土层均介于 0.1340~0.1399  $\text{kg m}^{-2}$  之间而变化不大。比较而言,腐殖质沼泽土 0~80 cm 土层的氮储量(1.9422  $\text{kg m}^{-2}$ )明显要高于草甸沼泽土(1.3823  $\text{kg m}^{-2}$ ),其在各土层的氮储量除 20~30 cm,30~40 cm 土层略低于草甸沼泽土外,其它土层均明显高于草甸沼泽土的相应土层。另外,从两种土壤氮储量的构成来看,TON 均为主体,其所占比例分别高达 99.32%和 99.47%。

## 4 结论

(1)草甸沼泽土和腐殖质沼泽土的颗粒组成、土壤剖面特征以及不同物候期各形态氮的垂直分布特征均存在不同程度的差异。

(2)草甸沼泽土和腐殖质沼泽土中 TN、OR-N 和 K-N 的垂直分布特征主要受制于土壤有机质的分布, $\text{NO}_3^-$ -N 和  $\text{NH}_4^+$ -N 主要与不同时期土壤水分条件差异及其引起的不同质地土层  $\text{NO}_3^-$ -N 的垂直淋失和对  $\text{NH}_4^+$ -N 的吸附程度有关。

(3)草甸沼泽土和腐殖质沼泽土的各形态氮在不同时期均存在较高的垂直变异性,原因主要与上下土层影响氮分布的主导因素差异有关。上层土壤受外界环境条件、植物根系、水分条件和化学过程等的影响显著,下层土壤可能受土体结构、性质和成土母质基础的影响较大。

(4)草甸沼泽土和腐殖质沼泽土的氮储量及其分

表 4 不同湿地土壤的氮储量(5月, 0~80cm)

Table 4 Nitrogen storages of different wetland soils (May, 0 - 80cm)

| 土壤类型<br>Soil types | 土壤层次<br>Soil layers<br>(cm) | 氮储量 Nitrogen storages        |                              |                             | TON 所占比例<br>Percentage of total<br>organic nitrogen | TIN 所占比例<br>Percentage of total<br>inorganic nitrogen | 不同土层所占比例<br>Percentage of<br>different layers |
|--------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|---|---|---|
|                    |                             | TON<br>(kg m <sup>-2</sup> ) | TIN<br>(kg m <sup>-2</sup> ) | TN<br>(kg m <sup>-2</sup> ) | (%)   | (%)   | (%)   |
| 草甸沼泽土              | 0~10                        | 0.1975                       | 0.0022                       | 0.1997                      | 98.89   | 1.11  | 14.45   |
|                    | 10~20                       | 0.3170                       | 0.0014                       | 0.3184                      | 99.57   | 0.43  | 23.03   |
|                    | 20~30                       | 0.3205                       | 0.0009                       | 0.3215                      | 99.71   | 0.29  | 23.26   |
|                    | 30~40                       | 0.2155                       | 0.0004                       | 0.2159                      | 99.82   | 0.18  | 15.62   |
|                    | 40~50                       | 0.1023                       | 0.0009                       | 0.1032                      | 99.14   | 0.86  | 7.46  |
|                    | 50~60                       | 0.0698                       | 0.0010                       | 0.0708                      | 98.58   | 1.42  | 5.12  |
|                    | 60~70                       | 0.0702                       | 0.0015                       | 0.0717                      | 97.90   | 2.10  | 5.19  |
|                    | 70~80                       | 0.0801                       | 0.0011                       | 0.0812                      | 98.67   | 1.33  | 5.87  |
|                    | 合计                          | 1.3729                       | 0.0094                       | 1.3823                      | 99.32   | 0.68  | 100.00  |
| 腐殖质沼泽土             | 0~10                        | 0.4425                       | 0.0018                       | 0.4443                      | 99.59   | 0.41  | 22.88   |
|                    | 10~20                       | 0.4063                       | 0.0009                       | 0.4071                      | 99.78   | 0.22  | 20.96   |
|                    | 20~30                       | 0.2946                       | 0.0018                       | 0.2964                      | 99.40   | 0.60  | 15.26   |
|                    | 30~40                       | 0.1332                       | 0.0009                       | 0.1340                      | 99.36   | 0.64  | 6.90  |
|                    | 40~50                       | 0.1344                       | 0.0010                       | 0.1353                      | 99.29   | 0.71  | 6.97  |
|                    | 50~60                       | 0.1738                       | 0.0011                       | 0.1749                      | 99.38   | 0.62  | 9.00  |
|                    | 60~70                       | 0.2096                       | 0.0007                       | 0.2103                      | 99.67   | 0.33  | 10.83   |
|                    | 70~80                       | 0.1376                       | 0.0022                       | 0.1399                      | 98.41   | 1.59  | 7.20  |
|                    | 合计                          | 1.9319                       | 0.0102                       | 1.9422                      | 99.47   | 0.53  | 100.00  |

布状况存在较大差异,前者 0~80 cm 土层的氮储量(1.94 kg m<sup>-2</sup>)明显高于后者(1.38 kg m<sup>-2</sup>)。前者的氮储量主要集中于 0~40 cm 土层(1.06 kg m<sup>-2</sup>,占 76.36%),后者则主要集中于 0~30 cm 土层(1.15 kg m<sup>-2</sup>,占 59.10%)。

#### 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] 何 珺. 中国三江平原[M]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 2000.
- [7] 张养贞. 三江平原沼泽土壤的发生、性质与分类[A]// 黄锡畴. 中国沼泽研究[C]. 北京: 科学出版社, 1988: 135 - 144.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 袁可能. 植物营养元素的土壤化学[M]. 北京: 科学出版社, 1983.

## Vertical Distribution Characteristics of Nitrogen in Typical *Calamagrostis angustifolia* Wetland Soils in the Sanjiang Plain

SUN Zhi-gao<sup>1,2</sup>, LIU Jing-shuang<sup>2</sup>

(1. Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Shandong Yantai 264003, China; 2. Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, Chinese Academy of Science, Jilin Changchun 130012, China)

**Abstract:** The *Calamagrostis angustifolia* wetlands, located in different water gradient, were selected as study objects, and the profile distribution characteristics of nitrogen (N) formed in meadow marsh soil and humus marsh soil in different periods were contrastively studied. Results showed that the profile characteristics and N vertical distribution characteristics of the two types of soils in different periods had some differences. The vertical distribution characteristics of total N, organic N and alkaline hydrolysis N were mainly controlled by the distribution of soil organic matter, while those of nitrate N ( $\text{NO}_3^-$ -N) and ammonium N ( $\text{NH}_4^+$ -N) were mainly correlated with the differences of soil water conditions in different period. The  $\text{NO}_3^-$ -N vertical leaching and soil  $\text{NH}_4^+$ -N adsorption were the direct reasons to cause the distribution of  $\text{NO}_3^-$ -N and  $\text{NH}_4^+$ -N in different periods. The N forms in the two types of soils in different periods had significantly vertical variability, which were mainly correlated with the differences of dominant factors, affecting N distribution, in upper soil or subsoil layers. The N storages and their distribution statuses of meadow marsh soil and humus marsh soil had significantly different, and the N storage of the former ( $1.94 \text{ kg m}^{-2}$ ) was much higher than that of the latter ( $1.38 \text{ kg m}^{-2}$ ). In addition, the N storage of the former mainly distributed in 0 - 40cm layers ( $1.06 \text{ kg m}^{-2}$ , accounted for 76.36%), while that of the latter mainly distributed in 0-30 cm layers ( $1.15 \text{ kg m}^{-2}$ , accounted for 59.10%).

**Key words:** Nitrogen; Vertical distribution; soils; *Calamagrostis angustifolia* wetland; Sanjiang Plain