

## 滇西北纳帕海湿地区域土壤速效氮 组分的分异及指示意义

胡金明, 袁 寒, 李 杰, 董云霞, 马彬斌

(云南大学 亚洲国际河流中心, 云南 昆明 650091)

**摘 要:** 对纳帕海湿地区的弃耕地-中生草甸土(AFMMS)、中生草甸土(MMS)、湿草甸土(WMS)和沼泽土(MS)的 0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm 层位采样, 分析各层土壤速效氮(RAN)、溶解有机氮(DON)、铵态氮( $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ )、硝态氮( $\text{NO}_3^- - \text{N}$ )含量。发现: 本区 4 类土壤中, 沼泽土各层速效氮素组分含量都显著高于其他 3 类土壤对应层的含量。4 类土壤上层均为 RAN 和 DON 的主要分布层, 且两者在上层的分异都为  $\text{AFMMS} < \text{MMS} < \text{WMS} < \text{MS}$ 。除沼泽土外, 其他 3 类土壤之间对应的中下层速效氮素组分含量、上层铵态氮含量分异都不明显。4 类土壤速效氮素组分总量占 RAN 比例仅达 4.22%~7.92%。沼泽土各层 DON 含量和无机氮总量较为接近, 其他 3 类土壤 DON 含量高于无机氮总量。各层  $\text{DON}/\text{RAN}(\%)$  分异为  $\text{AFMMS} > \text{MMS} > \text{WMS} > \text{MS}$ , 而上中层  $\text{DON}/\text{IN}$  分异为  $\text{AFMMS} > \text{WMS} > \text{MMS} > \text{MS}$ 。这一研究表明, 水分和植被生态分异对该湿地区土壤速效氮素组分分异具有重要影响; 测得的 3 类速效氮素组分占 RAN 的比例极低, 土壤中大量的易分(水)解有机氮尚待加强研究; 相较于较低比例的无机氮而言, 土壤中可被有效利用和易随水分运移发生流失的 DON 具有更重要的氮素供应和环境指示意义, 湿地旱化会增加土壤 DON 的相对比例从而可能加剧土壤 DON 的流失, 应加强流域中上游湿地土壤的 DON 动态变化研究。

**关键词:** 湿地; 土壤; 速效氮组分; 分异; 指示意义; 纳帕海

**中图分类号:** P931.7, S153

**文献标识码:** A

土壤中的氮素 95% 以上为有机氮、1%~5% 为无机氮<sup>[1]</sup>。土壤有机氮组分极为复杂, 大部分有机氮都需要经过微生物分解转化成无机氮(矿化), 再进入土壤溶液被植物或微生物利用; 部分(较低比例)为水溶性的(hydro-soluble), 以溶解有机氮(DON-Dissolved Organic N)形式存在于土壤溶液而被植物和微生物所利用<sup>[2]</sup>。无机氮素(主要为铵态氮和硝态氮, 极少的亚硝态氮)基本为水溶性, 但也有部分固定在土壤矿物晶格内的铵离子(固定态氮)不溶于水。因此, 土壤中可水溶的或易分解的氮素为潜在氮素养分供应源, 而存在于土壤溶液中的无机氮和溶解有机氮是土壤近期最直接的氮素养

分来源。受多方面影响, 明晰野外实地(in situ)土壤溶液确切的化学成分仍然是不可能的<sup>[3]</sup>。在实验研究中, 利用水或盐溶液等提取土样的相关氮素组分(含量), 虽然与实地土壤溶液有所不同, 但测得的速效氮总量、各溶解态的氮素组分含量, 仍是土壤速效氮素养分的有效表征。

狭义的湿地生态系统是陆生和水生生态系统之间的过渡带, 湿地生态系统既承接陆生生态系统氮素等物质的输入, 又向水生生态系统输送氮素等物质; 而湿地系统具有较强的物质吸纳、持留和过滤功能, 为陆生和水生两大系统间物质循环的“汇-源”转换承接系统<sup>[4-6]</sup>。湿地系统的土壤氮素, 尤其是

收稿日期(Received date): 2011-01-21; 改回日期(Accepted): 2011-04-04。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金项目(40961003)、云南省社会发展科技计划项目(2008CA006)。[National Sciences Foundation of China (40961003); Social Development S&T Project, Yunnan Province (2008CA006).]

作者简介(Biography): 胡金明(1973-), 男, 安徽枞阳人, 博士, 教授, 从事湿地生态研究。[Hu Jinming (1973-), male, Dr. & Professor, major in study of wetland ecology.] E-mail: jhuyun@163.com, Tel: 0871-5034577

土壤中具有生物活性和可被有效利用的、且易随水分发生运移和流失的速效氮素组分的动态变化和迁移转化过程等的研究,自然就成为湿地科学、土壤学、环境科学、生态学等领域的热点<sup>[4-12]</sup>。

滇西北发育有我国低纬、高海拔的典型高寒湖沼湿地。因地处全球生物多样性热点地区之一<sup>[13]</sup>,且位于诸多大江大河的中上游区域,该区湿地具有重要的生物多样性和生态保护价值。近几十年来,该区湿地遭受多方面威胁而发生不同程度的生态退化<sup>[14-15]</sup>。本研究选择滇西北退化湖沼湿地纳帕海,探索该退化湿地区不同类型土壤速效氮组分含量的分异及其指示意义,为该退化湿地的保护与管理提供科学依据。

## 1 研究区概况和方法

### 1.1 研究区概况、样地布设与采样

纳帕海湿地于 2004 年被列入国际重要湿地名录,湿地区景观表现出显著的年际和季节变化、空间分异特征<sup>[14-15]</sup>。该区土壤为亚高山草甸土,根据土壤剖面性状、植被类型等,可划分为弃耕地-中生草甸土 (AFMMS - Abandoned Farmland Mesophytic Meadow Soil)、中生草甸土 (MMS - Mesophytic Meadow Soil)、湿草甸土 (WMS - Wet Meadow Soil) 和沼泽土 (MS - Marsh Soil)。根据野外调查记录的水文(定性判别样地土壤的水分状况)和植被(盖度、高度、多样性等)信息,4 类土壤对应的水分-植被生态状况:AFMMS 为常年偏干、植被覆盖度和多样性最低,且具有清晰的耕作垄存留;MMS 为旱季偏干、雨季土壤水分含量较高但多数样地达不到饱和状态、植被覆盖度和多样性略高于 AFMMS 但明显低于 WMS;WMS 为雨季积水、旱季部分时段土壤水分含量能达饱和或较高、植被覆盖度和多样性最高;MS 为常年积水或水分饱和、植被覆盖度和多样性与 WMS 相近。

基于区内景观、地貌、水文和地表植被等的分异,设计 4 条平行样带、28 个样地,于 2009-06、2009-11-12 和 2010-03 进行三次采样。丰水期(7-10 月)湿地水位高(部分区域在 40~50 cm 甚至 1 m 以上),难以通行和定位,未在丰水期采集土样。区内常年明水湿地(河道、深积水洼地等)也不采样。每样地选 3 剖面(0~30 cm 深),利用 GPS 测定经纬度。每个剖面均按 10 cm 分层取样,记录各

层土壤基本性状,将同一样地 3 个土壤剖面的同一层位的新鲜样品混合,代表相应样地的土壤样品。共采集 AFMMS、MMS、WMS 和 MS 土壤各层位的混合样品数均为 18、39、18、9 个。

### 1.2 样品测试与分析

样品带回实验室自然风干和前处理后,送中科院东北地理与农业生态研究所分析测试中心测定:速效氮(RAN—Rapid Available N)、铵态氮(Ammonium N)、硝态氮(Nitrate N)、溶解有机氮。速效氮、铵态氮和硝态氮的测定方法和标准代号为 LY/T1229 - 1999、LY/T1231 - 1999 和 LY/T1230 - 1999<sup>[16]</sup>;速效氮通常都用碱解扩散法测定,因而在有些研究中也常常称为碱解氮。DON 利用 KCl 盐溶液浸提和过硫酸钾氧化法测定<sup>[17]</sup>。分析速效氮及组分含量(均值)在 4 类土壤间、各类土壤不同剖面层位间的差异性。组分均值含量差异性基于 SPSS 独立样本 T 检验。文中将各土壤剖面的 0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm 层位表述为上层、中层和下层,图表中记为(1)、(2)、(3),如 RAN(1)、DON/RAN(1)表示 0~10 cm 层土壤的 RAN 含量、DON 和 RAN 含量比值,其他类推。

## 2 结果分析

### 2.1 速效氮

图 1 显示,4 类土壤 RAN 含量变化区间为 194.7~1 072.2 mg/kg,4 类土壤间各对应层 RAN 含量、每类土壤剖面不同层位间存在分异。4 类土壤由剖面上层向下,沼泽土 RAN 含量先微增( $p > 0.05$ )、后锐减( $p < 0.05$ ),其他 3 类土壤 RAN 含量都为先锐减( $p < 0.05$ )、后微降( $p > 0.05$ )。

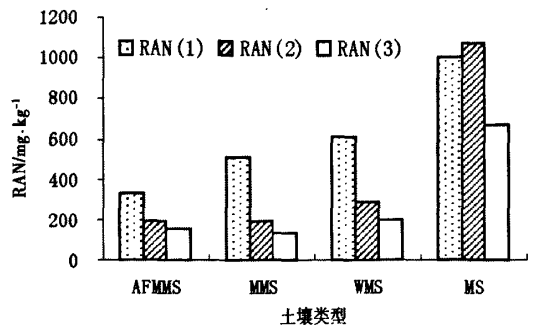


图 1 纳帕海湿地区土壤分层 RAN 含量

Fig. 1 RAN content at each soil layer in Napahai reserve

4类土壤间,沼泽土各层的RAN含量都显著( $p < 0.05$ )高于其他3类土壤对应层RAN含量,特别是沼泽土的中层和下层RAN含量,分别为其他3类土壤对应层的RAN含量的3.71~5.53、3.34~4.50倍。除弃耕地-中生草甸土下层RAN含量略高于中生草甸土下层RAN含量外,其他都为AFMMS < MMS < WMS < MS,但4类土壤间三个层位上的分异有所不同,其中:上层RAN含量在4类土壤间的分异显著( $p < 0.05$ );中下层仅沼泽土RAN含量极显著( $p < 0.01$ )高于其他3类土壤的中下层RAN含量,而其他3类土壤,特别是弃耕地-中生草甸土和中生草甸土,中下层RAN含量存在分异但不显著。

2.2 溶解有机氮

图2显示,本区4类土壤的DON含量、DON/RAN(%)变化区间为5.39~32.13 mg/kg、1.94%~4.73%。DON含量的剖面垂向分异完全一致,即由上而下降低、中上层之间锐减( $p < 0.05$ )、下中层之间减幅较小。图1、2表明,沼泽土DON含量剖面垂向分异与其RAN含量剖面垂向分异有明显不同,而其他3类土壤DON和RAN含量在剖面垂向上的分异完全一致。4类土壤各自的DON/RAN(%)在剖面垂向分异不明显,但上层的DON/RAN(%)略高于中下层。

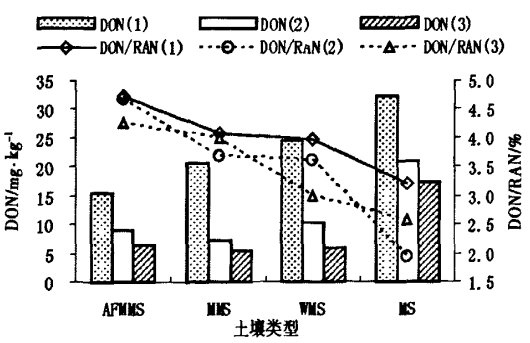


图2 纳帕海湿地地区土壤分层DON含量  
Fig.2 DON content at each soil layer in Napahai reserve

4类土壤之间,沼泽土各层DON含量均显著( $p < 0.05$ )高于其他土壤对应层DON含量;上层DON含量为AFMMS < MMS < WMS < MS,且分异明显( $p < 0.05$ );而在弃耕地-中生草甸土、中生草甸土、湿草甸土之间,中下层DON含量分异不显著。4类土壤间DON/RAN(%)分异规律为AFMMS > MMS > WMS > MS,其中AFMMS各层DON/RAN(%)明显高于MS对应层。

2.3 铵态氮

4类土壤的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}/\text{RAN}$ (%)变化区间分别为3.18~33.27 mg/kg、1.50%~3.30%(图3)。在剖面垂向,除湿草甸土中层 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量略低于其下层外,其他整体上都为上层 > 中层 > 下层,但4类土壤剖面垂向分异有所不同。沼泽土各层间 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量分异显著( $p < 0.05$ );弃耕地-中生草甸土各层间 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量分异不明显;湿草甸土和中生草甸土的上层 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量显著( $p < 0.05$ )高于各自的中下层 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量,但中下层之间的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量极为接近。4类土壤各自的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}/\text{RAN}$ (%)在剖面垂向相邻层位间的分异不一,沼泽土为上层大于中、下层,而其他3类总体上为上、中层小于下层,但分异并不明显。

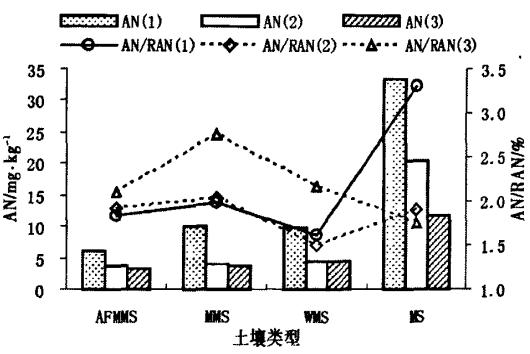


图3 纳帕海湿地地区土壤分层铵态氮(AN)含量  
Fig.3  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  content at each soil layer in Napahai reserve

4类土壤间,沼泽土各层 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量显著高于其他3类土壤对应层 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量。而其他3类土壤之间,各对应层 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量分异都不显著,特别是中下层 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量极为接近。4类土壤间,各对应层 $\text{NH}_4^+ - \text{N}/\text{RAN}$ (%)差异小,没有明显的分异。

2.4 硝态氮

4类土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量、 $\text{NO}_3^- - \text{N}/\text{RAN}$ (%)变化区间分别为1.05~7.42 mg/kg、0.35%~1.17%(图4)。剖面垂向上,4类土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量变化不尽一致;弃耕地-中生草甸土三层之间 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量差异小,与其他速效氮组分变化不一致;其他3类土壤的上层 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量仍显著( $p < 0.05$ )高于中层和下层,而下中层之间差异不显著。

4 类土壤各自的  $\text{NO}_3^- - \text{N}/\text{RAN}(\%)$  在剖面垂向相邻层位间的差异较小,沼泽土为上层 > 下层 > 中层,而其他 3 类都为上层 < 中层 < 下层。

4 类土壤间,沼泽土各层  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  含量都显著高于其他 3 类土壤对应层;湿草甸土上层  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  含量低于中生草甸土的上层,其他各对应层  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  含量均为  $\text{AFMMS} < \text{MMS} < \text{WMS} < \text{MS}$ ,但弃耕地 - 中生草甸土、中生草甸土、湿草甸土间的中、下层的  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  含量差异不显著 ( $p > 0.05$ )。4 类土壤间,各对应层位  $\text{NO}_3^- - \text{N}/\text{RAN}(\%)$  的分异不显著,但中生草甸土略高于其他类型。

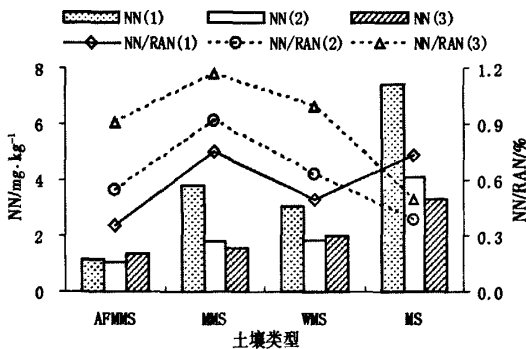


图 4 纳帕海湿地地区土壤分层硝态氮 (NN) 含量

Fig. 4  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  content at each soil layer in Napahai reserve

### 3 讨论

#### 3.1 水分 - 植被生态对速效氮分异的影响

本区 4 类土壤中,沼泽土因长期积水、有机质不易分解,各层速效氮及 3 类组分的含量都显著高于其他 3 类土壤。速效氮和 DON 含量在其他 3 类土壤的上层分异明显,且与土壤水分 - 地上植物生物量具有明确的低 - 低、高 - 高对应关系;但中下层的分异及其与土壤水分 - 地上植物生物量的对应关系不明显。

两类无机氮组分在中生草甸土和湿草甸土的各对应层的分异都不明显,弃耕地 - 中生草甸土略低于前两者,但 3 类土壤间中下层的无机氮组分含量分异极小;除沼泽土外,其他 3 类土壤间的无机氮组分的分异与土壤水分 - 地上植物生物量的对应关系不明显。

总体来看,沼泽土因受长期积水环境的影响,其速效氮素及各类组分含量与其他 3 类土壤都有明显的分异;土壤水分、植物等对本湿地区其他 3 类土壤

的速效氮和 DON 总量的分异也有明显影响,但对无机氮分异的影响较小;而耕作导致速效氮素组分的下降。

#### 3.2 可溶有机氮识别/测定的重要意义

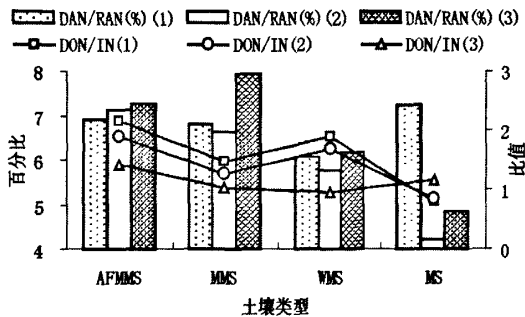
本湿地区 4 类土壤无机氮总量占速效氮的比例都低于 4.1%。在东北三江平原小叶樟湿地土壤研究中发现:生长初期和中期,两类小叶樟湿地土壤无机氮占碱解氮的比例变化于 3.6% ~ 4.66%;在生长末期这一比例变化于 10.24% ~ 11.77%<sup>[18]</sup>。在东北向海保护区潜育沼泽土(8—10 月采样)研究中发现:草根层、腐殖质层、潜育层的无机氮占碱解氮的比例分别为 9.47%、12.79%、21.25%<sup>[19]</sup>。3 个案例研究表明,虽然不同湿地区(类型)土壤无机氮占速效氮的比例差异明显,但其比例都较低,即便是案例研究中最高的向海沼泽土潜育层,其无机氮总量占速效氮的比例也仅为 21.25%。因此,利用碱解扩散法(标准方法)测定的土壤速效氮中,除了较低的无机氮组分外,其主要组分为可溶有机氮(Soluble Organic N),或可溶有机氮经水解而形成的溶解有机氮。

由于土壤无机氮基本为水(盐)溶性的,利用水或(中性)盐溶液浸提法(标准方法)测得的无机氮含量应较真实地反映土壤中的无机氮含量。而对土壤中的可溶有机氮而言,目前还没有标准的或被一致认可的测定方法,这可能是因为土壤中的可溶有机氮组分本身较为复杂有关。本研究利用 KCl 盐溶液浸提和过硫酸钾氧化法<sup>[17]</sup>测定了纳帕海湿地区 4 类土壤的 DON 含量,实质是经过盐溶液水溶(解)后的溶解有机氮含量,其占土壤速效氮的比例都低于 5%,只反映了 4 类土壤可溶有机氮的极少部分含量。由于土壤中可溶有机氮经过溶解成为溶解有机氮(DON)后,可被植物和土壤微生物等直接利用,或者经由微生物转化为无机氮再被吸收利用<sup>[2, 20]</sup>。因此,在土壤速效氮素及其组分的研究中,相较于较低含量的无机氮而言,可溶有机氮组分的识别与测定对于判识土壤速效氮素养分的供应能力(变化)具有重要意义。

#### 3.3 DON 的养分供应和环境指示意义

铵态氮和硝态氮是土壤中被植物、微生物等有效利用的氮素,且两者都极易随土壤水分运移而进入水体带来富营养化威胁,在以往研究中受到广泛关注<sup>[21]</sup>。但图 5 显示,本研究 4 类土壤中,沼泽土上层、湿草甸土下层 DON 含量略低于无机氮含

量(DON/IN 变化于 0.79 ~ 0.95),其他都超过无机氮(DON/IN 变化于 1.02 ~ 2.17)。王成等<sup>[22]</sup>在九寨沟国家自然保护区的云杉林土壤研究中发现,林窗样地和对照样地土壤的腐殖质层和 0 ~ 10 cm 层的 DON/IN 变化于 1.04 ~ 2.41 间。Jones 等<sup>[20]</sup>针对 Haplic podzol、Dystric gleysol、Eutric cambisol 三类草地土壤的人工培养试验研究发现,培养初期 DON 为三类土壤溶液的主要 N 库,分别占三类土壤可溶性氮(soluble N)的 90%、50%、48%。这 3 个案例研究都表明,土壤中的 DON 含量一般都高于无机氮组分的含量。由于 DON 是土壤重要的速效氮素养分的来源之一<sup>[2, 20]</sup>,因此, DON 在土壤氮素养分的供应中应该具有更重要的指示意义。特别是在无机氮含量较低的土壤中,因为无机氮养分供应的限制,土壤微生物和植物根系可能会竞争利用土壤溶液中的 DON。



注: DAN 为 DON、Ammonium - N、Nitrate - N 含量和; IN (Inorganic N) 为 Ammonium - N、Nitrate - N 含量和

图 5 纳帕海湿地土壤速效氮组分含量比较

Fig. 5 Comparison of rapid available N components at each soil layer in Napahai reserve

土壤中的 DON 在陆地生态系统的氮素循环中还具有重要的环境指示意义,如南美未污染的森林流域的土壤研究表明, DON 可能是其土壤 N 素的主要流失途径,以 DON 形式流失的氮约占总氮损失的 61% ~ 97%,而这些流失的 DON 会成为影响流域下游水体水质的重要因素<sup>[23-24]</sup>。本湿地区的 4 类土壤间的 DON/RAN(%) 分异(图 2)与土壤水文情势(野外调查的土壤水分定性判识)对应关系明确,土壤水分越低(高),土壤 DON 占 RAN 比例高(低),意味着土壤中易随水分运移而发生流失的 DON 相对比例越高(低)。因此,湿地的旱化可能会增大湿地地区土壤 DON 的相对流失率,从而降低自然湿地生

态系统的氮素吸纳和拦截能力,并提高速效氮素的矿化率。当然,本案例研究中的 4 类土壤的 DON/RAN(%) 与土壤水分的对应关系还只是一个初步的定性分析,对于其他湿地区域(类型)的湿地土壤、非湿地区的其他各类土壤而言,是否存在类似的对应关系值得进一步探索。

有关陆地生态系统土壤 DON 或其来源——土壤可溶性有机氮的含量动态及归宿(fate)的研究在近年来开始受到关注,如针对森林<sup>[3, 23-24]</sup>、草地<sup>[20]</sup>、农田<sup>[17, 25]</sup>等生态系统的土壤 DON 研究。因为湿地是陆生和水生两大系统间物质循环的“汇—源”过渡系统,对地处流域中上游的湿地而言,如滇西北以及青藏高原山地高原区的湿地,土壤中的 DON 不仅维持着湿地的生态健康,其流失对下游水体水环境等还具有重要的影响。因此,流域中上游高原山地地区湿地土壤 DON 动态变化研究,对认识陆地系统的氮素循环及其对下游水体氮素水平的影响具有重要指示意义。

## 4 结论

1. 本区 4 类土壤间,除沼泽土上层 RAN 含量略低于其中层 RAN 含量外,其他 3 类土壤上层 RAN 含量都显著高于中下层;而 4 类土壤的上层 DON 含量全部高于中下层 DON 含量。总体来看,4 类土壤上层(0 ~ 10 cm)为 RAN 和 DON 的主要分布层位,上层 RAN 和 DON 含量在 4 类土壤间的分异与土壤水文—植被生态分异有明确的对应关系。

2. 沼泽土各类组分含量都显著高于其他 3 类土壤。其他 3 类土壤之间对应的中下层速效氮素组分含量、上层的铵态氮含量分异都不明显;但弃耕地—中生草甸土的上层硝态氮略低。

3. 速效氮素组分总量占 RAN 比例为 4.22% ~ 7.92%,其中无机氮比例低于 4.1%、DON 比例低于 5%。速效氮组分中尚有大量的可溶解有机氮组分需加以研究。

4. 沼泽土各层 DON 含量和无机氮总量较为接近,其他 3 类土壤 DON 含量高于无机氮总量。相对于较低比例的土壤无机氮而言,土壤 DON 或 SON 应具有更重要的养分供应意义。

5. 在 4 类土壤间,各层 DON/RAN(%) 的分异为 AFMMS > MMS > WMS > MS,且 AFMMS 显著高于 MS;而上中层的 DON/IN 分异为 AFMMS > WMS

>MMS>MS, 下层彼此间的分异极小。总体来看, 水分越低, 土壤中易溶并随水分发生流失的 DON 相对比例越高, 旱化可能会增大湿地土壤中速效氮素组分的相对流失率。

## 参考文献 (References)

- [1] National Soil Survey Office. Soils in China [M]. Beijing: Chinese Agriculture Press, 1998: 875-900 [全国土壤普查办公室. 中国土壤 [M]. 北京: 中国农业出版社. 1998: 875-900]
- [2] Li Bo, Zhao Bin, Peng Ronghao, et al (translated). Principles of terrestrial ecosystem ecology [M]. Beijing: Higher Education Press, 2005 [李博, 赵斌, 彭容豪, 等译. 陆地生态系统生态学原理 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2005]
- [3] Zhong Z K, Makeschin F. Soluble organic nitrogen in temperate forest soils [J]. Soil Biology & Biochemistry, 2003, 35: 333-338
- [4] Mitsch W J, Gosselin J G. Wetlands [M]. New York: Van Nostrand Reinhold Company Inc., 2000: 89-125
- [5] Reddy K R, DeLaune R D. Biogeochemistry of Wetlands: Science and Applications [M]. Boca Raton: CRC Press. 2008: 257-324
- [6] Davidson T E, Stepanauskas R, Leonarson L. Vertical patterns of nitrogen transformation during infiltration in two wetland soils [J]. Applied and Environmental Microbiology, 1997: 3648-3656
- [7] Bai J H, Ou' Yang H, Deng W, et al. A review on nitrogen transmission processes in natural wetlands [J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(2): 326-333 [白军红, 欧阳华, 邓伟, 等. 湿地土壤氮素传输过程研究进展 [J]. 生态学报, 2005, 25(2): 326-333]
- [8] Bridgman, S D, Updegraff K, Pastor J. 1998. Carbon, nitrogen, and phosphorus mineralization in northern wetlands [J]. Ecology, 79: 545-561
- [9] Bai J H, Ouyang H, Deng W, et al. Spatial distribution characteristics of organic matter and total nitrogen of marsh soils in river marginal wetlands [J]. Geoderma, 2005, 124: 181-192
- [10] Andersen H E. Hydrology and nitrogen balance of a seasonally inundated Danish floodplain wetland [J]. Hydrological Processes, 2004, 18: 415-434
- [11] Sleutel S, Moeskops B, Huybrechts W, et al. Modeling soil moisture effects on net nitrogen mineralization in loamy wetland soils [J]. Wetlands. 2008, 28: 724-734
- [12] Kadlec R H. The effects of wetland vegetation and morphology on nitrogen processing [J]. Ecological Engineering, 2008, 33: 126-141
- [13] Mittermeier R A, Gil P R, Hoffman M, et al. Hotspots Revisited - Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions [M]. USA, Chicago: the University of Chicago Press, 2005
- [14] Li Jie, Hu Jinming, Dong Yunxia, et al. Study on the landscape change from 1994 to 2006 of Napahai catchment and the wetlands, northwest Yunnan mountainous region [J]. Journal Of Mountain Science, 2010, 28(2): 247-256 [李杰, 胡金明, 董云霞, 等. 1994-2006 年滇西北纳帕海流域及其湿地景观变化研究 [J]. 山地学报, 2010, 28(2): 247-256]
- [15] Hu Jinming, Li Jie, Yuan Han, et al. Seasonal landscape pattern change and its driving forces of the Napahai wetland [J]. Geographical Research, 2010, 29(5): 899-908 [胡金明, 李杰, 袁寒, 等. 纳帕海湿地景观格局的季节动态及其驱动 [J]. 地理研究, 2010, 29(5): 899-908]
- [16] State Forestry Administration of People's Republic of China. Analysis methods of forest soil [M]. Beijing: China Standards Press, 2000 [国家林业局. 森林土壤分析方法 (中华人民共和国林业行业标准) [M]. 北京: 中国标准出版社, 2000]
- [17] Yang Rong. Contents and changes of soluble Organic Nitrogen in the different soils [D]. Yangling: Northwest A & F University, 2006 [杨绒. 土壤可溶性有机氮含量及影响因素研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2006]
- [18] Sun Zhigao, Liu Jingshuang. Vertical distribution characteristics of Nitrogen in Typical Calamagrostis angustifolia wetlands soils in the Sanjiang Plain [J]. Chinese Journal of Soil Sciences, 2009, 40(6): 1342-1348 [孙志高, 刘景双. 三江平原典型小叶樟湿地土壤氮的垂直分布特征 [J]. 土壤通报, 2009, 40(6): 1342-1348]
- [19] Bai Junhong, Wang Qinggai, Yu Guoying. [J]. Study on the distribution characteristics and productive effects of Nitrogen in soil of Xianghai mire wetland [J]. Chinese Journal of Soil Sciences, 2002, 33(2): 113-116 [白军红, 王庆改, 余国营. 吉林省向海沼泽湿地土壤中氮素分布特征及生产效应研究 [J]. 土壤通报, 2002, 33(2): 113-116]
- [20] Jones D L, Shannona D, Murphay D V, et al. Role of dissolved organic nitrogen (DON) in soil N cycling in grassland soils [J]. Soil Biology & Biochemistry, 2004, 36: 749-756
- [21] Bashkin V N. Howarth R W. Modern Biogeochemistry [M]. New York: Kluwer Academic Publishers, 2003: 109-125
- [22] Wang Cheng, Pang Xueong, Bao Weikai. Short term effects low intensity thinning stimulated by gap on ground microclimate and soil nutrients of pure spruce plantation [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(3): 541-548 [王成, 庞学勇, 包维楷. 低强度林窗式疏伐对云杉人工纯林地表微气候和土壤养分的短期影响 [J]. 应用生态学报, 2010, 21(3): 541-548]
- [23] Perakis S S, Hedin L O. Fluxes and fates of nitrogen in soil of an unpolluted old-growth temperate forest, Southern Chile [J]. Ecology, 2001, 82: 2245-2260
- [24] Perakis S S, Hedin L O. Nitrogen loss from unpolluted South American forests mainly via dissolved organic compounds [J]. Nature, 2002, 416-419
- [25] Murphy D V, Macdonald A J, Stockdale E A, et al. Soluble organic nitrogen in agricultural soils [J]. Biology and Fertility of Soils, 2000, 30: 374-387

## Variation of Soil Rapid Available Nitrogen Components and Its Implication in Napahai Lake-Marsh Region, Northwest Yunnan Mountain

HU Jinming, YUAN Han, LI Jie, DONG Yunxia, MA Binbin

(Asian International Rivers Center, Yunnan University, Kunming 650091, China)

**Abstract:** Contents of Rapid Available N (RAN), Dissolved Organic N (DON), Ammonium N and Nitrate N at 3 layers (1st 0–10 cm, 2nd 10–20 cm, 3rd 20–30 cm) were analyzed for the 4 soil types: Abandoned Farmland Mesophytic Meadow Soil (AFMMS), Mesophytic Meadow Soil (MMS), Wet Meadow Soil (WMS), and Marsh Soil (MS) in Napahai reserve, northwest Yunnan, China. It showed: RAN and 3 components at each layer of MS were significantly higher than those at corresponding layers of other 3 soils. RAN and DON were mainly distributed at the 1st layers for 4 soils. Both orders of RAN and DON among 4 soils were mainly shown as AFMMS < MMS < WMS < MS. Except MS, RAN and 3 components at the 2nd and 3rd layers, as well the Ammonium N at the 1st layer, showed less variation among other 3 soils. Total percentage of the 3 components to RAN was only about 4.22%–7.92%. DON content nearly equaled to IN content at each layer of MS, but the former was higher than the later for other 3 soils. DON/RAN (%) at each corresponding layer among the 4 soils behaved as AFMMS > MMS > WMS > MS, but DON/IN at the 1st and 2nd layer as AFMMS > WMS > MMS > MS. This study indicated variations of soil water and vegetation significantly drove the variation of soil RAN and its components. Total contents of 3 components only accounted for few percentages of RAN, meaning still large part of hydrolysable soil organic N needs to be studied. Due to its easily usable and losable with water, DON might play more important roles in soil nitrogen suppletion and have important environmental implication, comparing to the relatively lower content of IN. Becoming drying would increase relative DON percentage to RAN and exacerbate its loss of wetland soil.

**Key words:** wetland; soil; rapid available N component; variation; implication; Napahai

### 消息 2:《山地学报》网上投稿操作说明

#### 1 作者注册

首先请新作者进行注册。点击主页 <http://shandixb.paperopen.com> 的“在线注册”,注册完成后,系统会自动给作者注册的邮箱发一封 E-mail,告诉其用户名和密码。请作者不要删除该邮件,如果忘记密码了,可以到邮箱里查看。

#### 2 作者投稿查稿

作者点击主页上的“在线投稿查稿”,输入用户名和密码,登陆到作者页面。点击“我要投稿”,填完稿件信息后上传稿件,上传完后务必点击“**投稿完成**”按钮,此时投稿成功,系统会自动分配稿号,同时会自动发送收稿通知给作者“未读信息”。(具体收稿通知的内容可以在后台:模板管理-邮件模板管理-E-mail发送收稿通知查询),此时稿件状态为“投稿成功”。

注:如果作者信息改变了,可以在页面的“用户中心”进行修改。

(然子桐)

作者：[胡金明](#)，[袁寒](#)，[李杰](#)，[董云霞](#)，[马彬斌](#)，[HU Jinming](#)，[YUAN Han](#)，[LI Jie](#)，[DONG Yunxia](#)，[MA Binbin](#)  
作者单位：[云南大学](#)，[亚洲国际河流中心](#)，[云南](#)，[昆明](#)，[650091](#)  
刊名：[山地学报](#)[ISTIC](#)[PKU](#)  
英文刊名：[JOURNAL OF MOUNTAIN SCIENCE](#)  
年，卷(期)：[2011](#)，[29](#)(3)  
被引用次数：[3次](#)

参考文献(25条)

1. [全国土壤普查办公室](#) [中国土壤](#) 1998
2. [李博](#); [赵斌](#); [彭容豪](#) [陆地生态系统生态学原理](#) 2005
3. [Zhong Z K](#); [Makeschin F](#) [Soluble organic nitrogen in temperate forest soils](#) [外文期刊] 2003(2)
4. [Mitsch W J](#); [Gosselin J G](#) [Wetlands](#) 2000
5. [Reddy K R](#); [DeLaune R D](#) [Biogeochemistry of Wetlands: Science and Applications](#) 2008
6. [Davidson T E](#); [Stepanauskas R](#); [Leonarson L](#) [Vertical patterns of nitrogen transformation during infiltration in two wetland soils](#) 1997
7. [白军红](#); [欧阳华](#); [邓伟](#) [湿地土壤氮素传输过程研究进展](#) [期刊论文] - [生态学报](#) 2005(02)
8. [Bridgham, S D](#); [Updegraff K](#); [Pastor J](#) [Carbon, nitrogen, and phosphorus mineralization in northern wetlands](#) 1998
9. [Bai J H](#); [Ouyang H](#); [Deng W](#) [Spatial distribution characteristics of organic matter and total nitrogen of marsh soils in river marginal wetlands](#) [外文期刊] 2005
10. [Andersen H E](#) [Hydrology and nitrogen balance of a seasonally inundated Danish floodplain wetland](#) [外文期刊] 2004(3)
11. [Sleutel S](#); [Moeskops B](#); [Huybrechts W](#) [Modeling soil moisture effects on net nitrogen mineralization in loamy wetland soils](#) [外文期刊] 2008(3)
12. [Kadlec R H](#) [The effects of wetland vegetation and morphology on nitrogen processing](#) [外文期刊] 2008(2)
13. [Mittermeier R A](#); [Gil P R](#); [Hoffman M](#) [Hotspots Revisited -Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions](#) 2005
14. [李杰](#); [胡金明](#); [董云霞](#) 1994-2006年滇西北纳帕海流域及其湿地景观变化研究 [期刊论文] - [山地学报](#) 2010(02)
15. [胡金明](#); [李杰](#); [袁寒](#) [纳帕海湿地景观格局的季节动态及其驱动](#) [期刊论文] - [地理研究](#) 2010(05)
16. [国家林业局](#) [森林土壤分析方法\(中华人民共和国林业行业标准\)](#) 2000
17. [杨绒](#) [土壤可溶性有机氮含量及影响因素研究](#) 2006
18. [孙志高](#); [刘景双](#) [三江平原典型小叶樟湿地土壤氮的垂直分布特征](#) [期刊论文] - [土壤通报](#) 2009(06)
19. [白军红](#); [王庆改](#); [余国营](#) [吉林省向海沼泽湿地土壤中氮素分布特征及生产效应研究](#) [期刊论文] - [土壤通报](#) 2002(02)
20. [Jones D L](#); [Shannon D](#); [Murphy D V](#) [Role of dissolved organic nitrogen\(DON\) in soil N cycling in grassland soils](#) [外文期刊] 2004(5)
21. [Bashkin V N](#); [Howarth R W](#) [Modern Biogeochemistry](#) 2003

22. [王成;庞学勇;包维楷](#) [低强度林窗式疏伐对云杉人工纯林地表微气候和土壤养分的短期影响](#)[期刊论文]-[应用生态学报](#) 2010(03)
23. [Perakis S S;Hedin L O](#) [Fluxes and fates of nitrogen in soil of an unpolluted old-growth temperate forest, Southern Chile](#)[外文期刊] 2001
24. [Perakis S S;Hedin L O](#) [Nitrogen loss from unpolluted South American forests mainly via dissolved organic compounds](#)[外文期刊] 2002
25. [Murphy D V;Macdonald A J;Steckdale E A](#) [Soluble organic nitrogen in agricultural soils](#)[外文期刊] 2000(5/6)

#### 引证文献(3条)

1. [李宁云](#), [田昆](#), [杨宇明](#), [袁华](#) [滇西北纳帕海湿地景观变化及其评价研究](#)[期刊论文]-[西部林业科学](#) 2012(2)
2. [尚文](#), [杨永兴](#), [韩大勇](#) [基于PCA的滇西北高原纳帕海湿地退化过程分析及其评价](#)[期刊论文]-[生态学报](#) 2013(15)
3. [尚文](#), [杨永兴](#), [韩大勇](#) [基于PCA的滇西北高原纳帕海湿地退化过程分析及其评价](#)[期刊论文]-[生态学报](#) 2013(15)

本文链接: [http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_sdx201103002.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_sdx201103002.aspx)