

# 盐生荒漠植物群落土壤氮素含量及其组分特征<sup>①</sup>

张 仰<sup>1,2</sup>, 龚雪伟<sup>3</sup>, 吕光辉<sup>2,4\*</sup>, 张雪梅<sup>1,2</sup>, 蒋腊梅<sup>1,2</sup>, 郝亚栋<sup>1,2</sup>

(1 新疆大学资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046; 2 绿洲生态教育部重点实验室, 乌鲁木齐 830046;

3 中国科学院沈阳应用生态研究所森林生态与管理重点实验室, 沈阳 110016; 4 新疆大学干旱生态环境研究所, 乌鲁木齐 830046)

**摘 要:** 为了探讨盐生植物群落土壤氮素含量及组分特征, 以新疆艾比湖流域盐生荒漠土壤为研究对象, 分析了乔木、灌木和草本 3 种不同生长型盐生植物群落 0~20、20~40 和 40~60 cm 的土壤理化性质及各形态的氮素含量。结果表明, 研究区不同生长型盐生植物群落土壤 pH、电导率、有机质和 C/N 随土层深度增加而逐渐降低, 而含水量与之相反。同一土层, 土壤总氮、有机氮和氮密度呈现从乔木、灌木再到草本盐生植物群落逐渐增加的趋势。垂直分布方面, 不同生长型盐生植物群落的土壤各形态氮素含量和氮密度均随着土层深度的增加而降低, 表聚现象明显。除铵态氮以外, 其他各种氮素间均表现为极显著正相关 ( $P<0.01$ ), 且与土壤有机质、含水量和容重呈极显著相关 ( $P<0.01$ )。土壤各形态氮素占总氮的比例对总氮的变化存在不同的响应, 有机氮占总氮的比例相对稳定, 有机氮与碱解氮占总氮的比例随总氮含量的增加而增加, 无机氮、硝态氮和铵态氮占总氮的比例随总氮含量的增加而降低。

**关键词:** 艾比湖流域; 盐生植物; 硝态氮; 铵态氮; 氮密度; 表聚现象

**中图分类号:** S158      **文献标识码:** A

盐生荒漠是荒漠生态系统的特殊地理单元, 该区域内生态条件恶劣, 年降水量少且蒸发剧烈, 土壤盐渍化程度严重, 是天然的盐生植物资源库<sup>[1]</sup>。盐生植物是指一类具有较强抗盐能力, 能够在高盐生境中生长并完成生活史的自然植物区系的总称<sup>[2]</sup>, 该植物类群普遍表现出泌盐、储水、高渗透压、枝叶肉质化或者极度缩小等适应特征, 对干旱区植物群落构建和维持起着不可替代的生态作用<sup>[3]</sup>。氮是大气圈中含量最丰富的元素, 也是各种植物生长和发育所需的大量营养元素, 是调节陆地生态系统生产量、结构和功能的关键元素, 能够限制群落初级和次级生产力, 在全球碳氮循环中至关重要<sup>[4]</sup>。目前, 土壤氮素及其影响因子分析成为全球气候变化问题的研究热点之一<sup>[5]</sup>。

土壤氮含量主要受成土母质、土壤质地、地貌、降水、温度、植被类型及土壤微生物活性的影响<sup>[6]</sup>。研究表明, 植被的演替可能影响土壤氮素的分布与转化。如在黄土高原沟壑区退耕还草过程中植物群落对土壤氮素含量及形态分布产生重要影响, 从草本群落到乔灌草群落, 土壤各形态氮素含量均逐渐增加<sup>[7]</sup>。金骅等<sup>[8]</sup>发现植被覆盖类型显著影响着荒漠区土壤

氮素含量的空间分布特性, 土壤全氮含量明显受植被覆盖类型影响: 胡杨林地>柽柳地>梭梭地。有学者认为, 土壤氮素在不同的土层深度也具有不同的分布特征。新疆焉耆盆地硝态氮含量呈现随土层深度增加而逐渐降低的趋势, 而铵态氮在不同土层的分布差异不显著<sup>[9]</sup>。李荣等人<sup>[10]</sup>在腾格里沙漠和毛乌素沙地的研究表明, 在沙丘固定过程中, 无机态氮的含量在纵向上的变化具有同样的规律: 铵态氮和硝态氮含量均出现随土壤深度增加而减小的趋势。此外, 土壤氮素含量还受土壤理化性质的影响。诸多研究表明土壤氮素含量与土壤容重<sup>[11]</sup>、pH<sup>[7]</sup>、电导率<sup>[12]</sup>、水分和温度<sup>[13]</sup>以及有机碳、有效磷和速效钾<sup>[14]</sup>等理化性质具有显著的相关关系。

土壤中的氮素大部分以有机态的形式存在, 有机态氮约占全氮的 92%~98%, 但它不能被植物直接吸收利用, 必须经矿化作用形成无机态的铵态氮和硝态氮, 植物方可吸收利用<sup>[15-17]</sup>。有研究表明, 各种氮素占总氮的比例对总氮的变化有着不同的响应<sup>[7]</sup>, 且不同生态系统的有效氮素不同。就目前学者的研究结果显示, 一般硝态氮是干旱半干旱地区和弱碱性土壤

基金项目: 国家自然科学基金项目(31560131)资助。

\* 通讯作者(ler@xju.edu.cn)

作者简介: 张仰(1993—), 女, 新疆昌吉人, 硕士研究生, 主要从事环境生态学研究。E-mail: queenzoya@foxmail.com

中的主要有效氮素,而铵态氮则为湿润半湿润地区和弱酸性土壤中的主要有效氮素形态<sup>[5]</sup>。

西北干旱区是我国土壤积盐较重的地区,这里形成盐生荒漠,发育着丰富的盐生植物<sup>[18]</sup>。盐生植物的生长发育不仅受到土壤盐分的胁迫,还受到土壤氮素的限制<sup>[19]</sup>。目前关于土壤氮素特征的研究主要集中在湿润和半干旱地区,对于极端干旱区,尤其是盐生荒漠生境的土壤氮素含量及组分特征仍有待于深入探究。研究盐生荒漠的土壤氮素的分布规律,阐明不同生长型的盐生植物群落土壤氮素和组分特征,对于干旱荒漠盐生植物的生态保育和资源开发具有重要的理论和现实意义。

本研究选取新疆艾比湖湿地国家级自然保护区的典型盐生荒漠土壤为研究对象,研究植物群落、土层深度和土壤理化性质对土壤氮素含量分布的影响,阐释不同形态氮素含量对总氮变化的相应规律,识别研究区主要的有效氮素形态。研究结果可在一定程度上为保护区盐渍化土壤的改良提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

艾比湖湿地国家级自然保护区(44°30'~45°09'N, 82°36'~83°50'E)位于新疆维吾尔自治区博尔塔拉蒙

古自治州精河县境内,艾比湖流域是准噶尔盆地地表水和地下水的汇集中心,年平均降水量约为 100 mm,潜在蒸发量约为 1 600 mm。保护区西北部是全国著名的风口—阿拉山口,流域内盛行西北风,年平均大风(17 m/s)日数多达 164 d,瞬间最大风速 55 m/s。区内土壤类型有灰漠土、灰棕漠土和风沙土,隐域性土壤为盐(盐渍化)土、草甸土和沼泽土。由于干旱和盐碱作用,保护区土壤盐分含量高,植物覆盖度极低,植物群落由湿生、中生向旱生、超旱生、沙生和盐生种类演替。

### 1.2 样品采集与处理

采样于 2010 年 8 月进行,在艾比湖湿地国家级自然保护区内选择盐生荒漠区域设置样方,以优势物种命名样方(表 1),每种类型(物种)的样方设置 3 个重复,样方大小为:乔木 10 m×10 m,灌木 5 m×5 m,草本 1 m×1 m。采用对角线取样法进行采样,于每个样方对角线上各挖 3 个土壤剖面,按 0~20 cm(表层)、20~40 cm(中层)和 40~60 cm(底层)垂直梯度采集土样,每个土壤剖面每次一层次多次取样,然后按照四分法混匀后装入自封袋写上标码,带回实验室,自然风干。在分析样品取样的同时,使用铝盒和环刀进行同期采样,同时称重带回室内用于土壤含水量和容重的测定。

表 1 样地基本情况  
Table 1 Basic situation of experimental plots

样方名称	地理坐标	科名	盐生类型	生长型
梭梭 <i>Haloxylon ammodendron</i>	44°41'N, 83°35'E	藜科 Chenopodiaceae	稀盐	乔木
苏打猪毛菜 <i>Salsola soda</i>	44°38'N, 83°35'E		稀盐	草本
木本猪毛菜 <i>Salsola arbuscula</i>	44°37'N, 83°28'E		稀盐	灌木
盐节木 <i>Halocnemum strobilaceum</i>	44°36'N, 83°34'E		稀盐	灌木
苦豆子 <i>Sophora alopecuroides</i>	44°36'N, 83°41'E	豆科 Leguminosae	拒盐	草本
盐豆木 <i>Halimodendron halodendron</i>	44°33'N, 83°45'E		拒盐	灌木
多枝怪柳 <i>Tamarix ramosissima</i>	44°35'N, 83°45'E	怪柳科 Tamaricaceae	泌盐	灌木
琵琶柴 <i>Reaumuria soongorica</i>	44°38'N, 83°29'E		泌盐	灌木
胡杨 <i>Populus euphratica</i>	44°37'N, 83°34'E	杨柳科 Salicaceae	泌盐	乔木

### 1.3 分析项目与测定方法

采用碱解扩散法、酚二磺酸比色法和 KCl 浸提-靛酚蓝比色法分别测定碱解氮、硝态氮和铵态氮含量,利用凯式定氮法测定土壤总氮含量。利用烘干法测定土壤含水量,环刀法测定土壤容重,电位法测定土壤酸碱度(pH),重量电位法测定电导率,重铬酸钾容量-稀释热法测定土壤有机质含量。以上土壤理化性质的测定均参照《生态学常用实验研究方法与技术》<sup>[20]</sup>和《土壤农化分析》<sup>[21]</sup>中的有关方法。就土

壤肥力而言,无机氮以铵态氮和硝态氮两种形态的氮最为重要<sup>[22]</sup>,本研究中,将这两者之和作为无机氮<sup>[23]</sup>,有机氮为总氮与无机氮之差<sup>[24]</sup>。

### 1.4 数据处理

各层土壤氮密度采用式(1)计算,0~60 cm 土壤平均氮密度为各层土壤氮密度之和。

$$SN_i = N_i \times H_i \times D_i \quad (1)$$

式中:SN<sub>i</sub>为第 i 层土壤氮密度(kg/m<sup>2</sup>);N<sub>i</sub>为第 i 层土壤中总氮含量(g/kg);H<sub>i</sub>为第 i 层土壤深度(m);D<sub>i</sub>

为第  $i$  层土壤容重( $\text{g}/\text{cm}^3$ )。

采用 Microsoft Excel 2013 数据处理和作图, 采用 SPSS 21.0 软件进行统计分析。利用单因素方差分析(one-way ANOVA)比较不同生长型植物群落间的氮素差异, 方差齐时多重比较采用 Duncan 检验, 方差不齐时, 方差分析采用近似 F 检验 Welch 法, 多重比较采用 Dunnett-T3 方法检验。显著性水平统一设置为  $\alpha = 0.05$ , 图标中的数据标识为平均值 $\pm$ 标准误。

## 2 结果与分析

### 2.1 盐生植物群落土壤基本理化性质特征

由表 2 可知, 研究区土壤呈弱碱性,  $0 \sim 60$  cm 土壤 pH 介于 7.95 ~ 8.50 之间, 随着土层深度的增

加逐渐降低, 灌木群落显著高于草本群落( $P < 0.05$ )。土壤电导率  $0 \sim 60$  cm 变化规律与 pH 相同, 各类型群落均表现出表层含量最高。3 种生长型植物群落的土壤含水量, 均随着土层深度的增加而升高, 不同土层间基本未见显著差异( $P > 0.05$ ),  $40 \sim 60$  cm 草本土壤含水量显著高于乔木( $P < 0.05$ )。不同生长型植物群落土壤有机质含量基本表现为底层 $<$ 中层 $<$ 表层, 例如乔木植物群落, 从底层至表层, 有机质含量由 2.69 g/kg 升至 14.63 g/kg, 不同群落之间的土壤有机质无显著差异( $P > 0.05$ )。不同土层深度的土壤 C/N 基本表现为草本 $>$ 乔木 $>$ 灌木。土壤容重范围为  $1.19 \sim 1.43 \text{ g}/\text{cm}^3$ , 在不同群落类型和土层之间均无显著差异( $P > 0.05$ )。

表 2 盐生植物群落土壤理化性质  
Table 2 Soil physicochemical properties under halophyte community

生长型	土层深度(cm)	土壤 pH	电导率(mS/cm)	土壤容重( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	含水量(g/kg)	土壤有机质(g/kg)	土壤 C/N
乔木	0 ~ 20	8.39 $\pm$ 0.19 Aa	6.36 $\pm$ 2.77 Aa	1.22 $\pm$ 0.14 Aa	60.7 $\pm$ 0.8 Aa	14.63 $\pm$ 6.97 Aa	24.11 $\pm$ 11.49 ABa
	20 ~ 40	8.25 $\pm$ 0.18 ABa	3.53 $\pm$ 1.15 Ba	1.43 $\pm$ 0.08 Aa	68.6 $\pm$ 25.7 Aa	3.50 $\pm$ 1.32 Aa	12.77 $\pm$ 6.49 Ba
	40 ~ 60	8.24 $\pm$ 0.14 ABa	3.05 $\pm$ 0.90 Ba	1.38 $\pm$ 0.07 Aa	72.8 $\pm$ 22.1 Ba	2.69 $\pm$ 0.98 Aa	14.72 $\pm$ 7.38 Aa
灌木	0 ~ 20	8.50 $\pm$ 0.12 Aa	8.70 $\pm$ 1.46 Aa	1.24 $\pm$ 0.06 Aa	112.2 $\pm$ 23.9 Aa	10.31 $\pm$ 2.33 Aa	16.43 $\pm$ 2.97 Ba
	20 ~ 40	8.39 $\pm$ 0.07 Aa	5.84 $\pm$ 0.43 Aa	1.34 $\pm$ 0.04 Aa	129.5 $\pm$ 21.4 Aa	6.12 $\pm$ 1.13 Aab	12.74 $\pm$ 2.39 Ba
	40 ~ 60	8.35 $\pm$ 0.08 Aa	5.44 $\pm$ 0.42 Ab	1.34 $\pm$ 0.04 Aa	153.6 $\pm$ 22.8 ABa	5.06 $\pm$ 0.85 Ab	11.40 $\pm$ 1.92 Aa
草本	0 ~ 20	8.02 $\pm$ 0.15 Ba	5.08 $\pm$ 3.07 Aa	1.24 $\pm$ 0.10 Aa	108.9 $\pm$ 47.8 Aa	4.80 $\pm$ 1.28 Aa	35.74 $\pm$ 4.97 Aa
	20 ~ 40	8.00 $\pm$ 0.08 Ba	5.03 $\pm$ 2.69 ABa	1.19 $\pm$ 0.14 Aa	146.2 $\pm$ 51.4 Aa	3.37 $\pm$ 0.92 Aa	31.67 $\pm$ 2.81 Aa
	40 ~ 60	7.95 $\pm$ 0.07 Ba	5.03 $\pm$ 1.61 Aa	1.22 $\pm$ 0.18 Aa	172.7 $\pm$ 43.7 Aa	3.88 $\pm$ 1.10 Aa	28.41 $\pm$ 1.83 Aa

注: 同一列不同大写字母表示同一土层不同植被群落间差异显著( $P < 0.05$ ), 不同小写字母表示同一植被群落不同土层间差异显著( $P < 0.05$ )。

### 2.2 盐生植物群落土壤氮素含量特征

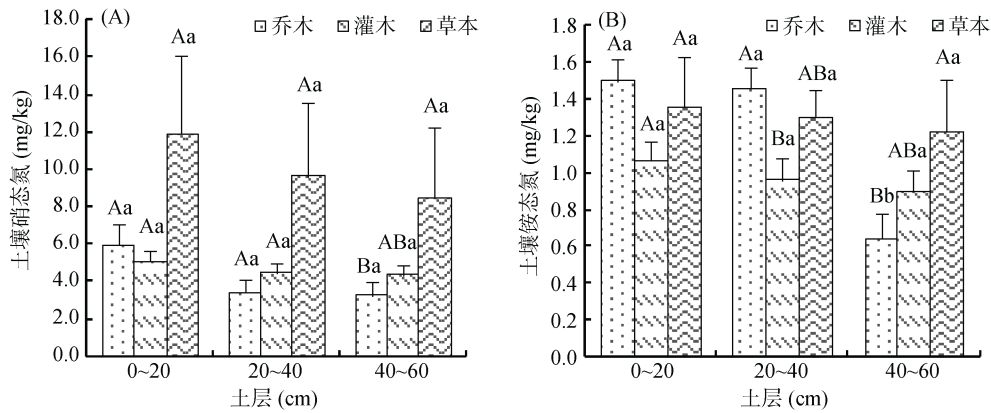
不同土层中土壤硝态氮含量对植物群落变化的响应不同(图 1A)。从乔木到灌木再到草本群落,  $0 \sim 20$  cm 土层呈“V”型,  $20 \sim 40$  cm 和  $40 \sim 60$  cm 土壤则直线上升。各土层中硝态氮含量最高值均出现在草本植物群落, 且在底层土壤中, 乔木与草本的土壤硝态氮含量差异显著( $P < 0.05$ )。不同土层中土壤铵态氮含量对植物群落变化的响应同样存在差异(图 1B)。从乔木到灌木再到草本群落,  $0 \sim 20$  cm 和  $20 \sim 40$  cm 土层呈“V”型,  $40 \sim 60$  cm 则呈直线上升趋势, 且  $20 \sim 40$  cm 的乔木显著高于灌木( $P < 0.05$ ),  $40 \sim 60$  cm 深度, 草本显著高于乔木( $P < 0.05$ )。垂直剖面上, 乔木群落土壤铵态氮表现为表层和表层显著高于底层( $P < 0.05$ )。此外, 所有植物群落的硝态氮和铵态氮含量均表现出不同程度的表聚现象。

土壤总氮含量对 3 种生长型植物群落变化的响应存在明显规律(图 2A), 同一土层中, 从乔木群落经灌木群落到草本群落, 总氮含量均呈直线上升趋势,

各层土壤中总氮含量最低值均出现在乔木植物群落。在底层土壤中, 乔木与草本群落土壤总氮含量具有显著差异( $P < 0.05$ )。而不同土层中土壤碱解氮含量对植物群落的响应规律不一致(图 2B),  $20 \sim 60$  cm 乔木与草本的土壤碱解氮含量差异显著( $P < 0.05$ )。所有植物群落的总氮、碱解氮含量均在表层土壤中最高, 同样表现出表聚现象。

同一生长型植物群落土壤氮密度均表现为随土层深度的增加而降低, 与各形态氮素含量的表聚现象一致, 但不同土层之间差异不显著( $P > 0.05$ ) (图 3)。不同生长型植物群落土壤氮密度表现为草本 $>$ 灌木 $>$ 乔木, 但相互之间无显著差异( $P > 0.05$ ) (图 3)。

综上所述, 同一土层, 除铵态氮以外其他各形态氮素和氮密度均表现为草本群落最高(图 1 ~ 3)。不同生长型植物群落土壤氮素含量和氮密度含量存在表层富集现象, 均表现为随着土层深度的增加而逐渐降低, 但减小速率有所差异。



(图中大写字母不同表示同一土层不同植被群落间氮素含量差异显著( $P < 0.05$ ), 小写字母不同表示同一植被群落不同土层间氮素含量差异显著( $P < 0.05$ )。下图同)

图 1 不同生长型植物群落及土层深度下硝态氮(A)和铵态氮(B)含量分布

Fig. 1 Distribution of soil nitrate-N (A) and ammonium-N (B) contents of different halophyte communities and soil depths

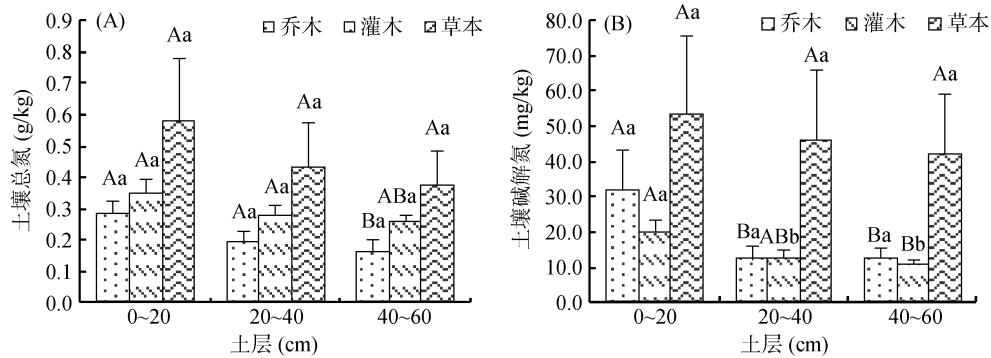


图 2 不同生长型植物群落及土层深度下土壤总氮(A)与碱解氮(B)含量分布

Fig. 2 Distribution of soil total-N (A) and alkali-hydrolyzale-N (B) contents of different halophyte communities and soil depths

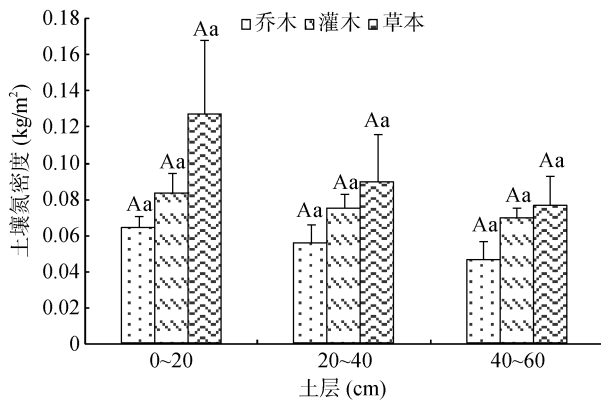


图 3 不同生长型植物群落下土壤氮密度垂直分布

Fig. 3 Vertical distribution of soil nitrogen densities under different halophyte communities

### 2.3 盐生植物群落土壤氮素与理化性质相关分析

由表 3 可知, 总氮、有机氮、无机氮、碱解氮和硝态氮分别与土壤容重、含水量、有机质和 C/N 均呈显著相关( $P < 0.05$ ), 而与 pH 呈不显著负相关。电导率与总氮、有机氮显著相关( $P < 0.05$ ), 与碱解氮极显著相关( $P < 0.01$ )。此外, 除铵态氮分别与总氮和有

机氮相关不显著外( $P > 0.05$ ), 其余氮素各项指标之间均显著相关( $P < 0.05$ )。总的来说, 土壤各形态氮素之间是相互影响的。

### 2.4 盐生植物群落土壤氮素组分特征

与其他组分相比, 总氮中有机氮的比例基本恒定, 有机氮/总氮最大值为 0.998, 最小值为 0.932, 即无论总氮的含量如何变化, 有机氮在总氮中均占较高比例。有机氮/总氮和碱解氮/总氮与总氮呈显著正相关( $P < 0.05$ ), 无机氮/总氮、硝态氮/总氮和铵态氮/总氮与总氮显著负相关( $P < 0.05$ ), 说明总氮含量越高的土壤, 其中有机氮与碱解氮所占的比例越高, 无机氮、硝态氮和铵态氮的含量所占的比例越低。因此, 总氮含量的变化对各形态氮素的影响程度并不相同。

## 3 讨论

### 3.1 盐生植物群落土壤基本理化性质特征

土壤 pH 和含盐量是衡量盐碱土理化性质的基础, 通常可利用电导率来指示盐渍土的盐渍化程度<sup>[25]</sup>。本研究中, 乔木、灌木和草本植物群落土壤表层 pH 和

表 3 土壤氮素与土壤理化性质相关关系  
Table 3 Relationships between soil nitrogen and other physicochemical properties

	总氮	有机氮	无机氮	碱解氮	硝态氮	铵态氮
pH	-0.006	-0.002	-0.199	-0.041	-0.200	-0.069
电导率	0.275*	0.274*	0.167	0.327**	0.172	0.014
容重	-0.551**	-0.546**	-0.504**	-0.683**	-0.512**	-0.096
含水量	0.447**	0.444**	0.373**	0.494**	0.383**	0.031
有机质	0.785**	0.778**	0.707**	0.894**	0.708**	0.261*
土壤 C/N	0.265*	0.259*	0.390**	0.530**	0.391**	0.131
总氮	1	1.000**	0.541**	0.870**	0.547**	0.133
有机氮		1	0.523**	0.865**	0.530**	0.124
无机氮			1	0.662**	0.996**	0.414**
碱解氮				1	0.663**	0.237*
硝态氮					1	0.335**
铵态氮						1

注：\*和\*\*分别表示在  $P < 0.05$  和  $P < 0.01$  水平(双侧)显著相关，下表同。

表 4 各形态氮素占总氮比例与总氮相关性  
Table 4 Correlation coefficients between ratios of different nitrogen forms to total N and total N

	有机氮/总氮 (93.2% ~ 99.81%)	无机氮/总氮 (0.19% ~ 6.80%)	碱解氮/总氮 (1.01% ~ 29.58%)	硝态氮/总氮 (0.15% ~ 5.80%)	铵态氮/总氮 (0.04% ~ 1.45%)
总氮	0.369**	-0.369**	0.227*	-0.268*	-0.557**

电导率高的原因是土壤盐碱的表层聚集效应。一方面，在盐生植物表皮上常具有盐腺，可分泌出一些盐状结晶<sup>[26]</sup>，受雨、雾和露水淋洗并进入到表层（0~20 cm）土壤里；另一方面，由于荒漠区植被稀疏，表土受阳光直射蒸发量大，含水量自下而上逐渐减小，而底层盐分伴随着水分蒸发被带到表层，因此表土返盐在 0~20 cm 处 pH 和电导率达到最大，这与曹国栋等人<sup>[27]</sup>研究一致。3 种植物群落土壤有机质含量最高均分布在表层 0~20 cm 范围内，其含量随着深度的增加呈减少趋势。这是因为土壤表层的凋落物经分解后所形成的大量有机物首先进入土壤表层，致使土壤表层有机质积累较多<sup>[28]</sup>。土壤容重是土壤紧实度的指标之一，反映土壤的透水性、通气性和根系伸展能力<sup>[29-30]</sup>。研究中发现土壤容重在不同群落类型和土层之间均无显著差异。首先，这可能是由于研究区深居内陆，控制容重变化的东亚季风难以深入本区，对容重的影响微弱，区内的干旱直接控制着容重的变化，这与咎金波等人<sup>[31]</sup>在黄土高原的研究一致。其次，由于研究区临近木特塔尔沙漠，土壤的粒度特征随着荒漠化过程逐渐粗化<sup>[32-33]</sup>。黏粒含量极少，成壤作用微弱，土壤发育差，致使土壤孔隙较大，质地疏松，颗粒极易迁移破碎化<sup>[31]</sup>。进而导致不同群落类型和土层之间土壤容重不存在差异。

土壤 C/N 是揭示土壤微生物分解过程中 C 和 N

转化作用的重要参数，对提高碳固定的有效性和调节土壤中氮素含量有着重要作用。当 C/N 为 15~25 时，有机质不仅分解快，而且会有多余的有机氮转化为铵态氮和硝态氮，供植物吸收利用<sup>[34-36]</sup>。若 C/N>25，会出现氮素营养不足的现象，造成氮矿化速率降低，导致土壤中铵态氮含量降低<sup>[37]</sup>；若 C/N<15，由于氮源充足，土壤有机氮在微生物作用下分解释放出矿质氮（铵态氮和硝态氮），使得土壤中可被植物利用的有效氮增加<sup>[38]</sup>。该研究中，乔木、灌木和草本在 0~60 cm 的土壤 C/N 均值分别为 17.2、13.52 和 31.94，可以看出乔木处于适中水平，氮素含量充足，有利于土壤矿质氮的转化与释放。

### 3.2 盐生植物群落土壤氮素含量特征

乔木、灌木和草本植物群落土壤氮素与氮密度含量存在表层富集现象，不同植物群落类型表层土壤氮素含量不同，但差异不显著（ $P > 0.05$ ）。刘晓星<sup>[39]</sup>的研究也有相似结果，认为不同植被类型下土壤氮含量的差异不显著。与乔木相比，灌木和草本土壤具有较高的氮密度、总氮和硝态氮，这可能是由于研究区的草本和灌木群落中的建群种和优势物种大多为豆科植物，豆科植物根际共生的根瘤菌能够通过生物固氮作用为土壤带来更多的氮素<sup>[40]</sup>。本研究发现土壤氮素含量和氮密度存在表层富集现象，这可能与植物凋落物的归还作用主要发生在表层有关<sup>[41]</sup>。

### 3.3 盐生植物群落土壤氮素与土壤理化性质的关系

除铵态氮以外,土壤有机质与其他形态氮素呈极显著正相关( $P < 0.01$ ),而土壤容重与其他形态氮素呈极显著负相关( $P < 0.01$ ),这与王斌等人<sup>[42]</sup>的研究结果一致。有机质是土壤氮素的基质,同时还是形成土壤结构的重要因素,直接影响土壤肥力、持水能力和抗侵蚀能力等,是土壤特性的重要指标之一,其变化状况可以指示土壤退化与否<sup>[43]</sup>。土壤容重决定了土壤的通透性,容重升高使得土壤中  $O_2$  含量降低,对微生物活动造成了不利影响<sup>[44]</sup>,因此对氮素的转化具有反作用。土壤各形态氮含量与土壤 C/N 极显著正相关,这与大多数学者的研究结果相符<sup>[45]</sup>,说明土壤碳氮之间关系密切。

土壤中各项氮素指标之间有显著的正相关关系,可见氮循环的各个环节是相互关联的。总氮含量的升高使得可矿化基质升高,进而引起微生物数量增多,活性增强。一方面自身固持的氮素增加,另一方面,转化得到的铵态氮、硝态氮含量增加。研究发现,表层土壤中氮素之间相关性最大,这可能是由于 0~20 cm 土层地上凋落物以及地下生物量、根系分泌物的含量都较 20~60 cm 土层多,因此表层土壤中各项氮素之间的相关性更为明显<sup>[7]</sup>。

### 3.4 盐生植物群落土壤氮素组分特征

不同形态的氮在土壤中的转化是极其复杂的过程<sup>[46]</sup>,本研究中发现有机氮占总氮的比例较高,并且变异幅度较小(表 4),说明有机氮占总氮的比例相对稳定,这与前人的研究结果保持一致。如 Hannam 和 Prescott<sup>[47]</sup>的研究表明,在林地土壤中可溶性有机氮占可溶性总氮的比例高达 90% 以上,邢肖毅等人<sup>[7]</sup>在黄土高原沟壑区森林带土壤氮素的研究和蒋跃利等人<sup>[48]</sup>对宁南山区不同草地土壤矿化过程中氮素变化特征的研究都表明,有机氮占总氮的比例相对稳定。有机氮/总氮和碱解氮/总氮随总氮含量的升高而升高,而无机氮、铵态氮与硝态氮则相反,随总氮的升高有所降低。说明不同的氮组分对总氮含量的变化有着不同的响应,这可能与土壤类型、微生物活性和土壤酶活性有关,但其具体机理仍需进一步探究。

土壤中有效氮素主要为硝态氮和铵态氮,土壤有效氮素的含量及形态显著影响植物对养分的吸收和利用<sup>[49]</sup>。研究中发现土壤硝态氮在含量上明显高于铵态氮,硝态氮在无机氮和总氮含量中所占的比例也远大于铵态氮,且硝态氮与无机氮和总氮之间呈极显著正相关关系( $P < 0.01$ )。由此可见,在艾比湖湿地自然保护区 3 种生长型植物群落的土壤中主要的有效

氮素形态为硝态氮,这与高丽娟<sup>[5]</sup>对干旱区土壤氮素的研究结果相同。这可能是因为采样期研究区域降雨相对较多,氨化作用强烈<sup>[50]</sup>,铵态氮一方面直接转化为硝态氮,另一方面铵态氮易于被微生物摄取<sup>[51]</sup>,间接导致硝态氮含量升高。

## 4 结论

艾比湖流域盐生荒漠内不同生长型盐生植物群落的土壤 pH、电导率、有机质和 C/N 随土层深度增加而逐渐降低,而土壤含水量与之相反,随着土层深度的增加而逐渐增加。土壤有机质、含水量和容重与除铵态氮以外的其他形态氮素含量均极显著相关( $P < 0.01$ ),且各种氮素间极显著正相关( $P < 0.01$ )。不同群落类型方面,土壤总氮、硝态氮和氮密度大致呈现从乔木、灌木再到草本群落逐渐增加的趋势。垂直分布方面,不同生长型植物群落的土壤各形态氮素含量和氮密度均随着土层深度的增加而降低,表现为表聚现象。土壤各形态氮素占总氮的比例对总氮的变化存在不同的响应,有机氮占总氮的比例相对稳定,有机氮与碱解氮占总氮的比例随总氮含量的增加而增加,而无机氮、铵态氮和硝态氮占总氮的比例随总氮含量的增加而降低。

### 参考文献:

- [1] 顾峰雪,张远东,潘晓玲,等. 阜康绿洲土壤盐渍化与植物群落多样性的相关性分析[J]. 资源科学, 2002, 24(3): 42-48
- [2] 郝金标,张福锁,毛达如,等. 新疆盐渍土分布与盐生植物资源[J]. 土壤通报, 2005, 36(3): 299-303
- [3] 丁效东,张士荣,刘阳超,等. 真盐生植物梭梭和囊果碱蓬幼苗耐干旱能力的研究[J]. 草业学报, 2015, 24(11): 240-246
- [4] 李明峰,曹云社,齐玉春,等. 温带草原土地利用变化对土壤碳氮含量的影响[J]. 中国草地, 2005, 27(1): 1-6
- [5] 高丽娟,吕光辉,王芸,等. 艾比湖地区盐生植物群落土壤氮素的垂直分布特征[J]. 干旱区研究, 2014, 31(1): 51-56
- [6] 陶冶,刘耀斌,吴甘霖,等. 准噶尔荒漠区域尺度浅层土壤化学计量特征及其空间分布格局[J]. 草业学报, 2016, 25(7): 13-23
- [7] 邢肖毅,黄懿梅,安韶山,等. 黄土高原沟壑区森林带不同植物群落土壤氮素含量及其转化[J]. 生态学报, 2013, 33(22): 7181-7189
- [8] 金骅,苏永红,马小红,等. 额济纳不同植被覆盖类型土壤氮素时空分异特征[J]. 土壤通报, 2016, 47(6): 1339-1345
- [9] 肖亚奇,杨鹏年,吴彬,等. 干旱绿洲区土壤氮素累积及冬灌效应分析[J]. 节水灌溉, 2018(2): 71-76

- [10] 李荣, 何兴东, 张宁, 等. 沙丘固定过程中土壤铵态氮和硝态氮的时空变化[J]. 土壤学报, 2010, 47(2): 295-302
- [11] 崔楠, 吕光辉, 刘晓星, 等. 胡杨、梭梭群落土壤理化性质及其相互关系[J]. 干旱区研究, 2015, 32(3): 476-482
- [12] 董锡文, 张晓珂, 姜思维, 等. 科尔沁沙地固定沙丘土壤氮素空间分布特征研究[J]. 土壤, 2010, 42(1): 76-81
- [13] 刘娇, 付晓莉, 李学章, 等. 黄土高原北部生长季土壤氮素矿化对植被和地形的响应[J]. 中国生态农业学报, 2018, 26(2): 231-341
- [14] 艾尤尔·亥热提. 艾比湖湿地土壤氮素空间异质性分析[D]. 乌鲁木齐: 新疆师范大学, 2015: 33
- [15] 李振高, 俞慎. 土壤硝化-反硝化作用研究进展[J]. 土壤, 1997, 29(6): 281-286
- [16] 李贵才, 韩兴国, 黄建辉, 等. 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
- [17] 王艳杰, 邹国元, 付桦, 等. 土壤氮素矿化研究进展[J]. 中国农学通报, 2005, 21(10): 203-208
- [18] 弋良朋, 马健, 李彦. 荒漠盐生植物根际土壤盐分和养分特征[J]. 生态学报, 2007, 27(9): 3565-3571
- [19] 阿布里孜·阿不都热合曼, 吕光辉, 张雪妮, 等. 新疆艾比湖流域植物光合器官碳、氮、磷生态化学计量特征[J]. 生态学杂志, 2015, 34(8): 2123-2130
- [20] 章家恩. 生态学常用实验研究方法与技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007: 44-64
- [21] 南京农业大学. 土壤农化分析[M]. 2 版. 北京: 中国农业出版社, 1986: 29-57
- [22] 黄昌勇, 徐建明. 土壤学[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2010: 196-197
- [23] 张金玲, 于丽, 赵建宁, 等. 贝加尔针茅草原土壤无机氮含量对氮素添加的响应[J]. 草地学报, 2017(5): 958-965
- [24] 赵冬, 颜廷梅, 乔俊, 等. 太湖地区绿肥还田模式下氮肥的深度减量效应[J]. 应用生态学报, 2015, 26(6): 1673-1678
- [25] 王合云, 李红丽, 董智, 等. 滨海盐碱地不同造林树种林地土壤盐碱化特征[J]. 土壤学报, 2015, 52(3): 706-712
- [26] 王虹, 邓彦斌, 许秀珍, 等. 新疆 10 种旱生、盐生植物的解剖学研究[J]. 新疆大学学报(自然科学版), 1998(4): 67-73
- [27] 曹国栋, 陈接华, 夏军, 等. 玛纳斯河流域扇缘带不同植被类型下土壤物理性质[J]. 生态学报, 2013, 33(1): 195-204
- [28] 许宇星, 王志超, 竹万宽, 等. 雷州半岛 3 种速生人工林下土壤生态化学计量特征[J]. 浙江农林大学学报, 2018, 35(1): 35-42
- [29] Lewis C, Albertson J, Xu X, et al. Spatial variability of hydraulic conductivity and bulk density along a blanket peatland hillslope[J]. Hydrological Processes, 2012, 26(10): 1527-1537
- [30] 赵鹏博, 郑璞帆, 李司童, 等. 蚯蚓粪与酒糟不同配比对土壤理化性质及烤烟品质的影响初探[J]. 土壤通报, 2017, 48(3): 676-682
- [31] 咎金波, 杨胜利, 方小敏, 等. 极端干旱区黄土土壤容重的测量及其古气候意义[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2010, 30(2): 127-132
- [32] Song X Y, Yan M D, Li H Y. Fractal characteristics of soil particle-size distributions under different landform and land-use types in the loess gully region[J]. Journal of Food Agriculture & Environment, 2013, 11(3): 2726-2729
- [33] Jin Z, Dong Y S, Qi Y C, et al. Characterizing variations in soil particle-size distribution along a grass-desert shrub transition in the Ordos plateau of Inner Mongolia, China[J]. Land Degradation & Development, 2013, 24(2): 141-146
- [34] 黄从德, 张健, 杨万勤, 等. 四川森林土壤有机碳储量的空间分布特征[J]. 生态学报, 2009, 29(3): 1217-1225
- [35] 俞元春, 赵永艳, 曾曙才. 苏南丘陵不同林分类型土壤养分的动态特性[J]. 浙江农林大学学报, 1998, 15(1): 32-36
- [36] 陈庆强, 沈承德, 易惟熙, 等. 土壤碳循环研究进展[J]. 地球科学进展, 1998, 13(6): 555-563
- [37] Boruvka L, Mladkova L, Drabek O. Factors controlling spatial distribution of soil acidification and Al forms in forest soils[J]. Journal of Inorganic Biochemistry, 2005, 99(9): 1796-1806
- [38] Bonito G M, Coleman D C, Haines B L, et al. Can nitrogen budgets explain differences in soil nitrogen mineralization rates of forest stands along an elevation gradient?[J]. Forest Ecology and Management, 2003, 176(1): 563-574
- [39] 刘晓星. 干旱区土壤氮转化过程及其影响因素研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2012: 32
- [40] Glasener K M, Wagger M G, Mackown C T, et al. Contributions of shoot and root nitrogen-15 labeled legume nitrogen sources to a sequence of three cereal crops[J]. Soil Science Society of America Journal, 2002, 66(2): 523-530
- [41] 龚雪伟, 吕光辉, 马玉, 等. 艾比湖流域 2 种典型荒漠盐生植物冠下土与叶片的生态化学计量特征[J]. 林业科学, 2017, 53(4): 28-36
- [42] 王斌, 陈亚明, 周志宇. 贺兰山西坡不同海拔梯度上土壤氮素矿化作用的研究[J]. 中国沙漠, 2007, 27(3): 483-490
- [43] 周华坤, 赵新全, 温军, 等. 黄河源区高寒草原的植被退化与土壤退化特征[J]. 草业学报, 2012, 21(5): 1-11
- [44] Deenik J. Nitrogen mineralization potential in important agricultural soils of Hawai'i[J]. Soil and Crop Management, 2006, 15: 1-5
- [45] 卢雯. 密度调控对女贞人工林土壤氮动态的影响[D]. 南京: 南京林业大学, 2014: 15
- [46] 张丽, 张磊, 鲁剑巍, 等. 添加尿素和秸秆对三熟制水旱轮作土壤各形态氮素的影响[J]. 土壤, 2017, 49(1): 13-18
- [47] Hannam K D, Prescott C E. Soluble organic nitrogen in forests and adjacent clearcuts in British Columbia, Canada[J]. Canadian of Forest Research, 2003, 33(9): 749-756
- [48] 蒋跃利, 赵彤, 闫浩, 等. 宁南山区不同草地土壤原位矿化过程中氮素的变化特征[J]. 环境科学, 2014, 35(6): 2365-2373
- [49] 李淑文, 李岩, 文宏达. 沟垄系统覆膜改土的产量与氮效应研究[J]. 土壤通报, 2014, 45(4): 966-971

- [50] Maithani K, Arunachalam A, Tripathi R S, et al. Nitrogen mineralization as influenced by climate, soil and vegetation in a subtropical humid forest in northeast India[J]. *Forest Ecology and Management*, 1998, 109(1): 91-101
- [51] Jackson L E, Schimel J P, Firestone M K. Short-term partitioning of ammonium and nitrate between plants and microbes in an annual grassland[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1989, 21(3): 409-415

## Soil Nitrogen Content and Components Under Different Halophyte Communities in Saline Desert

ZHANG Yang<sup>1,2</sup>, GONG Xuwei<sup>3</sup>, LÜ Guanghui<sup>2,4\*</sup>, ZHANG Xuemei<sup>1,2</sup>, JIANG Lamei<sup>1,2</sup>, QIE Yadong<sup>1,2</sup>  
(1 College of Resources and Environmental Science, Xinjiang University, Urumqi 830046, China; 2 Key laboratory of Oasis Ecology (Xinjiang University), Ministry of Education, Urumqi 830046, China; 3 Key Laboratory of Forest Ecology and Management, Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China; 4 Institute of Arid Ecology and Environment, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

**Abstract:** In order to investigate soil nitrogen content and composition characteristics under halophytic vegetation, soil properties and nitrogen contents in the depths of 0–20 cm, 20–40 cm and 40–60 cm in different halophyte communities were studied in a saline desert in Ebinur basin. The results showed that soil pH, conductivity, organic matter and C/N under different halophyte communities gradually decreased with the increase of soil depths, whereas water content showed an opposite trend. In the same soil depth, total nitrogen, organic nitrogen and nitrogen density were in the order of trees < shrubs < herbs. Along soil profile, the contents of different nitrogen forms and nitrogen density under different halophyte communities gradually decreased with increase of soil depths, indicating a phenomenon of surface aggregation. Except for ammonium nitrogen, there were significant correlations between soil organic matter, water content and bulk density and different nitrogen forms ( $P < 0.01$ ), and there also were significant positive correlations among different nitrogen forms ( $P < 0.01$ ). In addition, the ratios of nitrogen different forms to total nitrogen exhibited different responses to total nitrogen, the ratio of organic nitrogen to total nitrogen was relatively stable, the ratios of organic and alkali-hydrolyzable nitrogen to total nitrogen increased with the increase of total nitrogen, whereas, the ratios of inorganic, nitrate and ammonium nitrogen to total nitrogen decreased with the increase of total nitrogen content.

**Key words:** Ebinur basin; Halophytes; Nitrate-N; Ammonium-N; Nitrogen density; Surface accumulation