

# 甘南尕海湿地泥炭地不同退化状态下氮素的特征

吴江琪<sup>1</sup>, 马维伟<sup>1</sup>, 李广<sup>1,2</sup>

(1. 甘肃农业大学 林学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 兰州大学 草地农业生态系统国家重点实验室, 甘肃 兰州 730020)

**摘要:** [目的] 分析甘南尕海湿地泥炭地不同退化状态下土壤氮素的变化特征, 为尕海泥炭地的生态恢复建设以及保护和利用提供科学依据。[方法] 采用野外采样与室内分析相结合的方法, 研究泥炭地退化过程中表层(0—40 cm)土壤氮素的变化特征。[结果] 除未退化土壤外, 其他 3 种退化类型的土壤全氮含量均为 9 月显著高于 7 月, 而土壤 C/N 比与土壤全氮变化恰好相反; 土壤各相应层铵态氮含量 7 和 9 月基本呈相同的变化趋势; 0—20 cm 层土壤速效氮 9 月显著高于 7 月, 20—40 cm 层(除中度退化)恰好相反。从剖面分部上看, 土壤全氮在 20—40 cm 层富集; 土壤 C/N 比和速效氮含量基本在 20—40 cm 层富集; 除中度退化外, 土壤铵态氮在 0—20 cm 层富集。[结论] 4 种退化阶段的泥炭地土壤全氮含量具有明显的时间变化, 说明植被对尕海泥炭地的恢复具有十分重要的作用。

**关键词:** 甘南尕海湿地; 退化类型; 氮素

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2016)05-0107-06

**中图分类号:** S156.8, S153

**文献参数:** 吴江琪, 马维伟, 李广. 甘南尕海湿地泥炭地不同退化状态下氮素的特征[J]. 水土保持通报, 2016, 36(5):107-112. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.05.026

## Nitrogen Characteristics of Peatland Under Different Degradation States in Gahai Lake Wetland of South Gansu Province

WU Jiangqi<sup>1</sup>, MA Weiwei<sup>1</sup>, LI Guang<sup>1,2</sup>

(1. College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China;

2. State Key Laboratory of Grassland Agro-ecosystems, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730020, China)

**Abstract:** [Objective] The objective of the study is to analyze the variation of peat soil nitrogen under different degradation states in Gahai lake in South Gansu Province and provide scientific basis for peatland ecological restoration and protection in Gahai lake. [Methods] Through field sampling and laboratory analysis, we studied the changes in surface soil nitrogen(0—40 cm) of peat land with degradation. [Results] Except for the undegraded peat land, the total nitrogen content of the other 3 types of degraded peat land was significantly higher in September than that in July, while the soil C/N ratio and soil total nitrogen change in an opposite direction. The change in the content of ammonium nitrogen in soil was the same in July and September. The soil available nitrogen in the 0—20 cm layer was significantly higher in September than that in July, and the 20—40 cm layer(except for moderate degradation) was the opposite. In the whole profile, total soil nitrogen, soil C/N ratio and available nitrogen content were enriched in 20—40 cm layer. Except for moderate degradation, soil ammonium nitrogen was enriched in the 0—20 cm layer. [Conclusion] The total nitrogen content of 4 kinds of degraded soil has obvious temporal variation, indicating that the vegetation plays an important role in the recovery of peatland in Gahai lake.

**Keywords:** Gahai Lake wetland of South Gansu Province; degradation type; nitrogen

收稿日期: 2015-10-17

修回日期: 2015-12-22

**资助项目:** 国家自然科学基金项目“植被退化对甘南尕海湿地碳汇/源功能的影响及作用机理研究”(31260155), “甘南尕海湿地植被退化过程中土壤有机碳组分变化及微生物响应机制”(41561022); 高等学校博士学科点专项科研基金联合资助课题(20126202110006); 甘肃省高等学校科研项目(2015A-067, 2014A-058); 甘肃省自然科学基金(1506RJZA015); 草地农业生态系统国家重点实验室开放课题资助(SKLGAE201408); 甘肃农业大学自列课题(GSAU-ZL-2015-042)

**第一作者:** 吴江琪(1990—), 男(汉族), 甘肃省平凉市人, 硕士研究生, 研究方向为水土保持与沙漠化防治。E-mail: 1462528657@qq.com。

**通讯作者:** 李广(1971—), 男(汉族), 内蒙古自治区乌兰察布市化德县人, 博士, 教授, 博导, 主要从事农业系统工程等教学和科研工作。E-mail: lig@gsau.edu.cn。

氮素含量不仅影响土壤有机碳和氮素的可利用状态,还影响着土壤的物理特性。氮是湿地生态系统植物光合作用和初级生产过程中最重要的元素之一,土壤中氮含量高低直接影响着湿地的生产力。所有形式的有机和无机氮素,是土壤氮素总量和供应植物有效氮素的源和库<sup>[1]</sup>,加上湿地较强的氮素滞留、迁移、转化功能<sup>[2]</sup>,湿地土壤氮素研究备受关注。湿地土壤氮素的组分含量、时间动态变化都极为复杂,如湿地土壤中氮素组分含量及其变化会受水文和植物类型的影响<sup>[3]</sup>;同时人为活动的干扰会对湿地土壤氮素造成损失<sup>[4]</sup>。目前,世界各国都在积极开展有关碳、氮的相关研究,但都表现在特定区域的湿地系统土壤碳、氮的变化研究<sup>[1-8]</sup>。

泥炭地是甘南尕斯湖湿地的重要组成部分,具有涵养水源、调节气候和维护生物多样性等重要的生态功能,泥炭资源的保护在应对气候变化中有着重要的意义<sup>[9]</sup>。由于气候变化、过度放牧及修路等人为影响,尕斯湖湿地的泥炭地出现不同程度的退化现象,进而影响土壤氮矿质化,导致氮固定、淋失,引起氮素衰减退化。近年来,有关学者开展了高寒湿地景观<sup>[10]</sup>、植被生态<sup>[11-12]</sup>和土壤要素<sup>[13-16]</sup>等的研究,但未见尕斯湖泥炭湿地氮素变化的相关研究。因此,本文拟以甘南尕斯湖泥炭地为研究对象,应用野外定点取样的研究方法,对尕斯湖泥炭地 0—40 cm 层 4 种退化程度的湿地氮素进行动态监测,通过对 0—20 和 20—40 cm 层泥炭地各种氮素含量的分析,以期对尕斯湖泥炭地氮素研究提供数据基础,以期对尕斯湖泥炭地的生态恢复建设以及保护和利用提供科学依据。

## 1 研究方法

### 1.1 研究区概况

尕斯湖湿地位于甘肃省甘南藏族自治州境内,地理位置在 102°05′—102°30′E, 33°58′—34°30′N,海拔 3 430~4 300 m,是若尔盖湿地的重要组成部分,湿地面积 43 176 hm<sup>2</sup>。而尕斯湖泥炭地是尕斯湖湿地的重要组成部分,地处青藏高原东北边缘向陇南山地及黄

土高原过渡地带,总面积 10 429 hm<sup>2</sup>,约占尕斯湖湿地面积的 24.15%。尕斯湖泥炭地降雨集中在 7—9 月,年均降水量 781.8 mm,该区属于青藏高原高寒湿润气候区,最低气温 1 月,最高气温 7 月,年均温度 1.2 °C,无绝对无霜期。植被以膨囊苔草(*Carex lehmannii*)、黑褐苔草(*C. atro-fusca spp. minor*)、无脉苔草(*C. eneruis*)、甘藏苔草(*C. moorcroftii*)、甘肃嵩草(*Kobresia kansuensis*)、二裂萎陵菜(*Potentilla bifurca*)、问荆(*Equisetum arvense*)、矮生嵩草(*K. humilis*)等植物为主。

### 1.2 样地设置与调查

2012 年通过对尕斯湖泥炭湿地生态环境特征和植被特征实地调查及相关资料的分析,按照人为活动干扰对泥炭地环境变化(主要是植被变化引起的湿地生态变化)的影响,在泥炭地区内选取具有典型剖面结构的退化研究样带。在所选的样带内,参考刘育红等<sup>[17]</sup>对高寒草甸湿地植被退化等级的划分,结合尕斯湖泥炭地的地表水状况、植被优势种组成及盖度,以及干扰程度的强弱,划分出未退化、轻度退化、中度退化和重度退化 4 种退化阶段的研究样地,具体情况见表 1。在不同退化阶段泥炭地内选取代表性研究样地 5 块,在每块样地内用土钻分别采集 0—20, 20—40 cm 土层土壤样品若干(重复 5 次),带回室内测定土壤养分和氮素,同时,考虑到不同时间因水文和植被生长状态的变化,湿地土壤氮素会发生变化,尕斯湖湿地降雨集中在 7—9 月,且 7 月植被生长最为旺盛,9 月植被已经枯萎,为了探讨植被生长对退化湿地的作用,试验采样分别于 2012 年 7 月和 2012 年 9 月进行。

土壤全氮用半微量凯氏法测定;土壤有机质用重铬酸钾氧化—分光光度法;水解氮用碱解扩散法测定;铵态氮用 MgO 浸提—扩散法测定<sup>[18-19]</sup>。数据首先用 Microsoft Office 中的 Excel 数据处理软件进行数据的初步整理与处理,再进一步用 SPSS 13.0 统计分析软件对数据进行处理和显著性差异检验,分析不同退化程度泥炭地土壤有机碳和氮素的差异性。

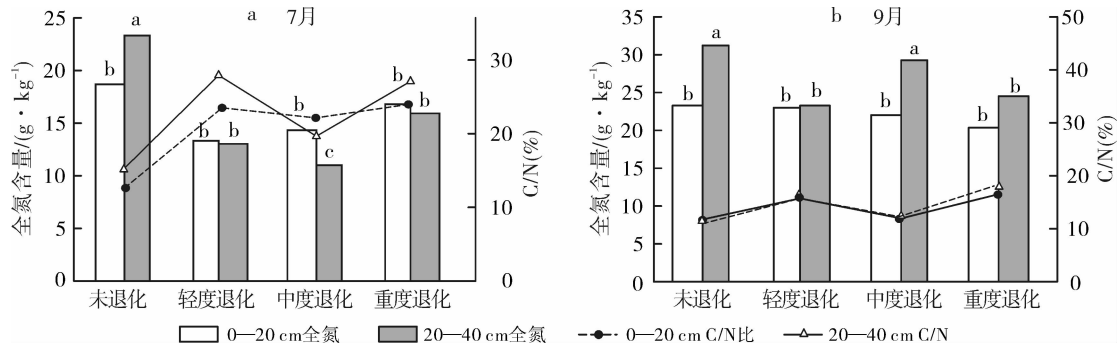
表 1 样地基本概况

退化程度	地表积水程度	植被盖度	优势种组成	干扰程度
未退化	常年积水,积水深度为 15~30 cm	85%以上	膨囊苔草、黑褐苔草、无脉苔草	无
轻度退化	季节性积水,积水深度为 5~20 cm	70%~85%	甘藏苔草、甘肃嵩草、萎陵菜	轻度
中度退化	一般无明显积水现象,地标湿润	30%~70%	问荆、矮生嵩草、萎陵菜	中度
重度退化	无积水	小于 30%	问荆、萎陵菜	强度

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤全氮的变化

2.1.1 土壤全氮及 C/N 比随时间的变化 随着采集土样时间的不同(图 1),4 种退化类型的泥炭地土壤全氮均 9 月高于 7 月,但无明显规律。7 月 0—20 cm 层轻度退化、中度退化、重度退化泥炭地土壤



注:不同小写字母表示不同退化样地之间在 0.05 水平上差异显著。下同。

图 1 各土层全氮及 C/N 值的时间变化

由图 1 可知,随着采样时间的不同,7 和 9 月各层土壤 C/N 值变化趋势基本一致。其中 7 和 9 月 0—20 cm 轻度退化、中度退化土壤 C/N 值差异显著 ( $p < 0.05$ ),而未退化、重度退化土壤 C/N 值差异不显著;20—40 cm 层未退化泥炭地土壤 C/N 值差异不显著,其他 3 种退化类型土壤 C/N 值差异显著 ( $p < 0.05$ )。在不同的土层,0—20 cm 层未退化、重度退化土壤 C/N 值 7 月高于 9 月但不显著,轻度退化、中度退化土壤 C/N 值 7 月显著高于 9 月 ( $p < 0.05$ );20—40 cm 层未退化土壤 C/N 值 7 月高于 9 月但不显著,其他类型 7 月显著高于 9 月 ( $p < 0.05$ )。

2.1.2 土壤全氮及 C/N 比的垂向变化 各类退化泥炭地的土壤全氮在剖面变化不明显。由图 2 可知,4 种不同退化阶段土壤全氮在 17.87~26.81 g/kg 之间,4 种退化泥炭地土壤全氮均表现为 0—20 cm 层小于 20—40 cm 层但无显著差异。0—20 cm 层中度退化土壤全氮低于其他 3 类土壤,但无明显差异;20—40 cm 层轻度退化土壤全氮低于其他 3 类土壤,但无明显差异 ( $p > 0.05$ )。表明尕斯海湿地土壤在剖面垂向上,随着退化程度的不同,其土壤全氮含量的垂直分布仍存在一定的差别。

由图 2 可知,4 类退化类型土壤各层 C/N 比位于 11.54~21.37 之间,其中 0—20 cm 层重度退化土壤 C/N 比高于 20,中度退化低于 15,其他介于 15~20 之间;20—40 cm 层轻度退化、重度退化土壤 C/N 比高于 20,未退化、中度退化土壤 C/N 比低于 15。

全氮高于 20—40 cm 层,而未退化泥炭地土壤全氮 20—40 cm 层高于 0—20 cm 层;除未退化泥炭地外,9 月各层土壤全氮变化与 7 月完全相反。其中未退化、重度退化泥炭地 0—20 cm 层 7 和 9 月的土壤全氮差异不显著,20—40 cm 层差异显著 ( $p < 0.05$ );轻度退化、中度退化各层土壤全氮差异显著 ( $p < 0.05$ )。

其中 4 类退化湿地土壤 C/N 比除未退化湿地是 0—20 cm 层高于 20—40 cm 层外,其他都是 20—40 cm 层高于 0—20 cm 层。中度退化各层土壤 C/N 比与未退化土壤 C/N 比差异不显著,与轻度退化、重度退化土壤 C/N 比差异显著 ( $p < 0.05$ )。

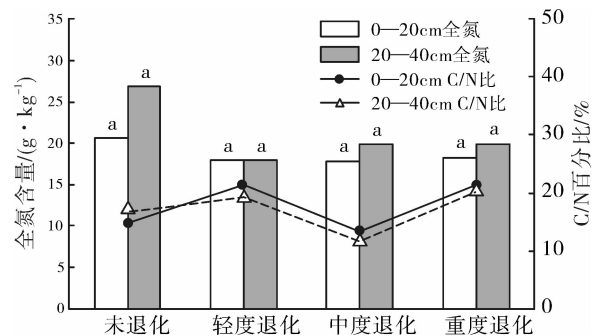


图 2 土壤分层全氮含量及 C/N 比

### 2.2 铵态氮含量的变化

2.2.1 铵态氮含量的时间变化 随着时间的变化,尕斯海泥炭地土壤铵态氮的变化如图 3 所示。结果表明 7 月 0—20 cm 层土壤铵态氮含量随着退化程度的增加逐渐减小,9 月呈现先减小后增大的趋势;20—40 cm 层 7 和 9 月的变化趋势相同。

其中 0—20 cm 层 7 和 9 月土壤铵态氮(除轻度退化)存在显著性差异 ( $p < 0.05$  或 0.01);20—40 cm 层轻度退化 7 和 9 月差异不显著,而未退化、中度退化、重度退化土壤铵态氮差异显著。除

轻度退化 20—40 cm、中度退化 0—20 cm 外,其他 2 种退化类型各层铵态氮均 9 月高于 7 月,而轻度退化、中度退化 0—20 cm 层 7 月铵态氮比 9 月高

出了 1.20 mg/kg、13.97 mg/kg。表明在相同退化程度下,各土层土壤铵态氮含量具有明显的时间变化。

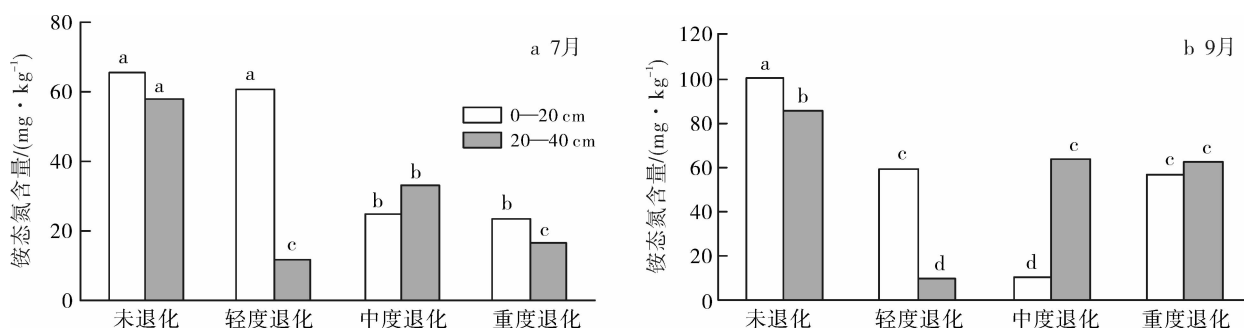


图 3 不同退化程度下各土层铵态氮的时间变化

2.2.2 铵态氮含量的垂向变化 铵态氮为有机氮矿化的产物,是植物可以直接吸收利用的有效态氮。图 4 表明,4 种退化类型土壤各层铵态氮的变化区间为 10.67~62.34 mg/kg,占全氮百分比区间为 0.06%—0.34%。4 种退化类型的土壤剖面上,除中度退化 0—20 cm 层铵态氮低于 20—40 cm 层外,其他都为 0—20 cm 高于 20—40 cm 层。4 种退化类型的土壤之间,未退化、轻度退化 0—20 cm 层铵态氮显著高于中度退化、重度退化 0—20 cm 层的铵态氮 ( $p < 0.05$ ),未退化和轻度退化 0—20 cm 层铵态氮没有明显差异;轻度退化 20—40 cm 层铵态氮显著低于其他 3 个类型 20—40 cm 层铵态氮 ( $p < 0.05$ ),其中未退化、中度退化 20—40 cm 层铵态氮没有明显差异,但与重度退化差异显著 ( $p < 0.05$ )。

### 2.3 速效氮含量的变化

2.3.1 速效氮含量的时间变化 由图 5 可知,杂海泥炭地各层土壤速效氮随时间的变化存在不同的差异。4 种退化类型中,7 月 0—20 cm 层土壤速效氮均

显著低于 20—40 cm 层速效氮 ( $p < 0.05$ );9 月中度退化 20—40 cm 层速效氮高于 0—20 cm 层,但无明显差异,其他 3 种退化土壤速效氮均表现为 0—20 cm 层显著高于 20—40 cm 层 ( $p < 0.05$ )。在本区中,0—20 cm 层土壤速效氮 9 月显著高于 7 月 ( $p < 0.05$ );20—40 cm 层土壤速效氮(除中度退化)9 月显著低于 7 月 ( $p < 0.05$ )。表明 4 种退化阶段的湿地各层土壤速效氮具有明显的时间变化。

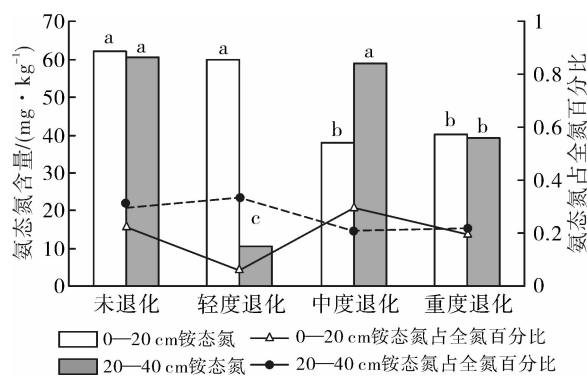


图 4 各土层铵态氮的垂向变化及占全氮的百分比

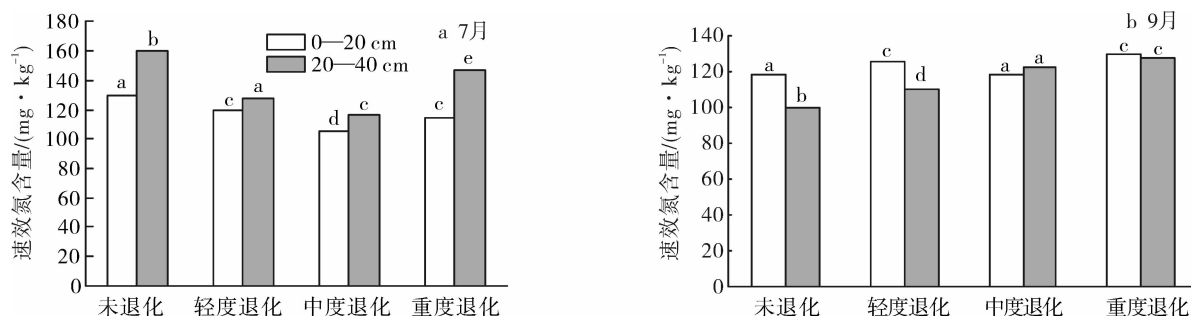


图 5 各土层速效氮含量的时间变化

2.3.2 速效氮含量的垂向变化 图6显示,4种退化类型的土壤速效氮变化区间为112.21~138.02 mg/kg,而各层速效氮占全氮百分比的变化区间为0.59%~0.69%。4种退化类型的土壤间,轻度退化0—20 cm层土壤速效氮高于20—40 cm层速效氮,其他为20—40 cm层速效氮高于0—20 cm层速效氮,可见4种类型土壤各层全氮水平对速效氮含量有着直接的影响。土壤速效氮和全氮在剖面上变化一致,其中0—20 cm层未退化、轻度退化、重度退化之间土壤速效氮差异不显著,但与中度退化土壤速效氮差异显著( $p < 0.05$ );20—40 cm层未退化土壤速效氮与其他3种类型土壤速效氮差异显著( $p < 0.05$ ),而轻度退化和中度退化之间土壤速效氮差异并不显著。

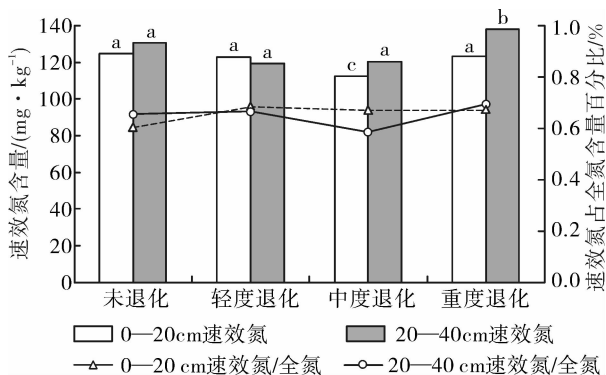


图6 各土层速效氮的垂向变化及占全氮的百分比

### 3 讨论与结论

土壤全氮是土壤肥力的重要指标之一,是标志土壤氮素总量和供应植物有效氮素的源和库。土壤中全氮的含量变化决定于氮素的输入和输出量的相对大小<sup>[20-21]</sup>,氮素的输入量主要依赖于植物残体的归还量及生物固氮,全氮的输出量则主要包括分解和侵蚀损失,其受各种生物和非生物条件的控制<sup>[22]</sup>。研究表明:在相同的时段内,随着退化程度的不同,其土壤全氮的水平 and 垂直分布仍存在一定的差别,与白军红等<sup>[23]</sup>、董云霞<sup>[24]</sup>的研究结果一致。因为不同退化程度的泥炭地上植物种类不同,造成了植物根系分布范围以及对氮素迁移转化过程的不同;泥炭地干湿交替周期、地下潜流、植被生长特征及pH值都是影响湿地土壤中全氮水平和垂直分布的因子。随着土样采集时间的不同,0—20和20—40 cm层土壤全氮具有明显的时间变化,这与万晓红等<sup>[25]</sup>研究结果一致。因为7月为植被的生长季节,泥炭地各种植物会吸收土壤中的氮素,而9月植被都以枯萎,其残体与吸收

的氮素一起沉降,所以植物吸收对氮素也是一种持留机制,但不同植被类型对土壤氮素的持留影响不同。而本试验中中度退化、重度退化全氮含量高是因为在中度退化、重度退化泥炭地上有不同程度的鼠灾现象,同时为了次年可以在重度退化区补播草种,9月在重度退化区进行了施肥,造成了中度退化、重度退化区全氮含量的增加。同时各退化阶段的积水深度不同,水位频繁交替的区域,该区域水分充足、氧化还原条件适宜,是多种微生物大量聚集生长的区域,且植被生长旺盛,对土壤全氮具有明显的影响。

铵态氮是植物可以直接吸收利用的有效态氮,呈阳离子形态,能被带负电荷的土壤胶体吸附,成为交换态离子,因而铵态氮不易流失<sup>[26]</sup>。其含量的时间变化与土壤有机氮的矿化强度和植被对其的吸收利用有关。本文研究表明:在相同退化程度下,各土层土壤铵态氮具有明显的时间变化,这与闫琴<sup>[27]</sup>研究结果一致。因为在不同的时间,泥炭地上生长着不同的植被,而不同的植被对铵态氮的吸收与滞留的影响不同;尕斯海泥炭地降雨量和人类活动的不同也是影响铵态氮沉积的重要因素,由于9月在重度退化区进行施肥,因此造成了重度退化泥炭地铵态氮含量的增加。在土壤剖面上,土壤铵态氮随土层深度的增加呈波动性变化,这是因为铵态氮形成是土壤微生物活动、有机氮的矿化以及植物吸收等综合作用的结果,主要因为不同退化程度的泥炭地上生长着不同的植被,土壤有机氮的矿化强度和植被对其的吸收利用效率不同,以及不同程度的气候变化和人类活动的影响,造成了土壤铵态氮垂直分布的差异。

土壤微生物净氮素矿化作用和净氮吸收之间交界线的临界C/N值为25<sup>[28]</sup>,当土壤C/N值在25~30之间,微生物对氮的固持作用高于矿化作用;当土壤C/N值在20~25之间,微生物对氮的固持和吸收作用基本持平;当C/N值低于20时,微生物对氮的固持作用要低于矿化作用。本文研究表明,轻度退化、重度退化泥炭地20—40 cm层土壤C/N值在20~25之间,其余C/N值都小于20。因此轻度退化泥炭地0—20 cm层土壤氮素的微生物固持和矿化基本保持平衡,其他都表现为土壤氮素的微生物净释放,而重度退化泥炭地土壤C/N值较高,主要是因为重度退化泥炭地在9月进行了施肥,同时还存在严重的鼠灾现象,造成了重度退化区土壤C/N值较高。并且不同的时间和土层,其土壤水分也不相同,而土壤水分越低,其氮素的微生物矿化作用就会越强,氮素的微生物固持作用就会越弱。同时,不同的植被类型

和人类活动也是造成泥炭地土壤 C/N 比存在差异的重要原因。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 李菊梅,王朝辉,李生秀. 有机质、全氮和可矿化氮在反映土壤供氮能力方面的意义[J]. 土壤学报, 2003, 40(2):232-238.
- [2] 白军红,李晓文,崔保山,等. 湿地土壤氮素研究概述[J]. 土壤, 2006, 38(2):143-147.
- [3] 张昆,田昆,吕宪国,等. 纳帕海湖滨草甸湿地土壤氮动态对水文周期变化的响应[J]. 环境科学, 2009, 30(8):2216-2220.
- [4] 范桥发,肖德荣,田昆,等. 不同放牧对滇西北高原典型湿地土壤碳、氮空间分布的差异影响[J]. 土壤通报, 2014, 45(5):1151-1156.
- [5] 焦立恒. 典型滨河湿地植被恢复过程中氮素变化特征研究[D]. 河南 焦作:河南理工大学, 2012.
- [6] 张金波,宋长春,杨文燕. 三江平原不同土地利用方式下碳、氮的动态变化[J]. 吉林农业大学学报, 2003, 25(5):548-550.
- [7] 石福臣,李瑞利,王绍强. 三江平原典型湿地土壤剖面有机碳及全氮分布与积累特征[J]. 应用生态学报, 2007, 18(7):1425-1431.
- [8] 蔡倩倩,郭志华,胡启鹏,等. 若尔盖高寒嵩草草甸湿地不同水分条件下土壤有机碳的垂直分布[J]. 林业科学, 2013, 49(3):9-16.
- [9] 王元峰,王辉,马维伟,等. 尕斯海湿地泥炭土土壤理化性质[J]. 水土保持学报, 2012, 26(3):118-122.
- [10] 张宁,冯磊,张迎梅. 基于 RS 和 GIS 技术的尕斯海湿地景观变化趋势分析[J]. 甘肃林业科技, 2011, 36(1):10-14.
- [11] 徐鹏彬,邓建明,赵长明. 甘肃尕斯海湿地不同海拔草地群落组分及物种多样性研究[J]. 草业学报, 2012, 21(2):219-227.
- [12] 虎高勇,李俊臻. 甘肃尕斯海湿地及其生物多样性特征[J]. 甘肃林业科技, 2011, 36(3):24-28.
- [13] 王元峰. 尕斯海湿地土壤水分物理特性研究[D]. 兰州:甘肃农业大学, 2012.
- [14] 马维伟,王辉,黄蓉,等. 尕斯海湿地生态系统土壤有机碳储量和碳密度分布[J]. 应用生态学报, 2014, 25(3):738-744.
- [15] 王元峰,王辉,马维伟,等. 尕斯海湿地泥炭土土壤理化性质[J]. 水土保持学报, 2012, 26(3):118-122.
- [16] 黄蓉. 尕斯海洪泛湿地退化过程中土壤理化性质的变化特征研究[D]. 兰州:甘肃农业大学, 2014.
- [17] 刘育红,李希来,李长慧,等. 三江源区高寒草甸湿地植被退化与土壤有机碳损失[J]. 农业环境科报, 2009, 28(12):2559-2567.
- [18] 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.
- [19] 马雪华. 森林生态系统定位研究方法[M]. 北京:中国科学技术出版社, 1994.
- [20] 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.
- [21] 张金屯. 全球气候变化对自然土壤碳、氮循环的影响[J]. 地理科学, 1998, 18(5):463-471.
- [22] 余晓鹤,朱培立,黄东迈,等. 土壤表层管理对稻田土壤氮矿化势,固氮强度及铵态氮的影响[J]. 中国农业科学, 1991, 24(1):73-79.
- [23] 白军红,邓伟,张玉霞. 内蒙古乌兰泡湿地环带状植被区土壤有机质及全氮空间分异规律[J]. 湖泊科学, 2002, 14(2):145-15.
- [24] 董云霞. 纳帕海湿地区土壤碳氮要素分异特征研究[D]. 昆明:云南大学, 2011.
- [25] 万晓红,王雨春,陆瑾,等. 白洋淀湿地氮素转化和  $N_2O$  排放特征研究[J]. 水利学报, 2009, 7(10):1168-1174.
- [26] 王常慧. 内蒙古温带典型草原土壤净氮矿化作用[D]. 北京:中国科学院研究生院植物研究所, 2005.
- [27] 闫琴. 黄河口湿地土壤氮素的季节动态变化及转化过程研究[D]. 山东 青岛:中国海洋大学, 2010.
- [28] Chapin III F S, Matson P A, Mooney H A. 陆地生态系统生态学原理[M]. 李博,赵斌,彭容豪,译. 北京:高等教育出版社, 2005.