

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*

白军红 邓 伟 张玉霞

(中国科学院长春地理研究所湿地过程与环境开放实验室, 长春 130021)

提 要 本文以乌兰泡湿地为研究对象, 对该区环带状植被区湿地土壤有机质及全氮的空间分布规律进行了初步研究, 结果表明不同植被区养分含量垂直分异趋势一致, 但水平分异显著, 沿土壤水分梯度变化而变化, 表现为藨区 > 香蒲区 > 芦苇区, 反映出距泡心越远含量越低的规律; 各植被区土壤碳氮比都相对较低(在 5 - 12 之间), 表层土壤碳氮比值也沿土壤水分梯度变化, 表现为芦苇区 > 香蒲区 > 藨区, 泡沼湿地土壤与草原土壤的碳氮比对水分条件及有机质和全氮的含量的响应差异显著, 水分和植被是影响其水平分异的关键因子, 而湿地土壤 pH 值并不是影响土壤有机质及全氮分异的主要因子。

关键词 环带状植被区 湿地土壤 有机质 全氮 乌兰泡

分类号 S151+.3

土壤是植物的营养库之一, 植物除向大气摄取所需碳、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的需要。湿地土壤是氮和碳的重要的源、汇或转化器, 在全球碳、氮循环中发挥着重要作用。有机质和氮素既是湿地土壤组成的重要部分, 又是湿地生态系统中极其重要的生态因子, 其含量显著影响着湿地生态系统的生产力^[1]。湿地土壤有机质是气候变化的一种敏感指示物, 它能够用来指示对气候变化的响应^[2], 而氮素则是引发江河湖泊等永久性湿地(permanently flooded wetland)^[1]发生富营养化的重要因子之一。植物群体是湿地的突出的组成部分, 并决定湿地生态系统的结构和功能^[3, 4], 同时植被类型也影响着土壤有机质及全氮的空间分布特征。目前国内外对湿地土壤或沉积物中有机质及氮素含量的空间分布已有一些研究, 但大多都是对永久性湿地碳氮空间分布的普遍规律以及背景值的揭示, 而探讨干湿交替条件下泡沼湿地内环带状植被区土壤有机质及氮素空间分异的研究尚少。研究泡沼湿地环带状植被区养分的空间分异规律, 可为泡沼湿地结构与功能、典型湿地的保护管理及其可持续利用等方面的研究提供科学依据。

1 研究区域概况

乌兰泡湿地位于内蒙古科尔沁自然保护区境内的低山丘陵和科尔沁沙地的过渡低洼地带, 由额穆特河及吐里河的洪泛作用积水而成, 在干旱季节, 因无洪泛水源补给, 常干涸或仅在

* 中国科学院湿地创新项目“中国典型湿地水陆相互作用过程、资源环境效应与调控(KZCX-302)”和湖沼三期项目“松嫩平原霍林河流域沼泽资源环境动态效应与优化管理(ZKHZ-03-06)”, 联合资助。

收稿日期 2001-09-05, 收到修改稿日期 2001-12-15, 白军红, 男, 1976 年生, 博士研究生。

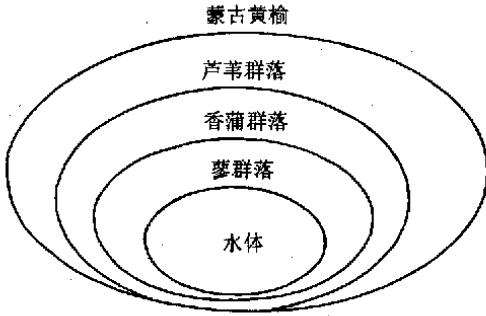


图 1 乌兰泡湿地环带状植被区结构示意图

Fig. 1 Structure outline of circular - zonary vegetation areas in Wulanpao wetland

泡底有少量积水. 该区处于北温带大陆性季风气候区, 雨热同期, 多风沙, 年内年际降水变率大, 75% 的降水集中在夏季, 年平均蒸发量约为降水量的 6 倍^[5]. 植被呈明显的环带状分布 (图 1), 由泡底至沙堤岸依次为蓼 (*Polygonaceae*) 群落 (沉水植物) — 香蒲 (*Typha orientalis*) 群落 (挺水植物) — 芦苇 (*Phragmites communis*) 群落 (挺水植物) — 蒙古黄榆 (*Ulmus macrocarpa*) (旱生乔木). 泡底与蓼伴生的还有狐尾藻 (*Myriophyllum spicatum*)、莎草 (*Cyperus dulourii*) 和胭脂菜 (*Basella rubra*) 等植物. 栖息珍禽主要有须浮鸥 (*Chlidonias hybrida swinhoei*)、灰雁 (*Anser anser*)、蓑羽鹤 (*Anthropoides virgo*)、

白琵鹭 (*Platalea leucorodia*) 等鸟类. 土壤类型较单一, 主要为沼泽土, 土壤水分状况芦苇区 < 香蒲区 < 蓼区. 供试土壤的基本性质如表 1.

表 1 供试土壤的基本性质

Tab. 1 Physico-chemical properties of soil in experimental area

| 植被区 | 全磷 (mg/kg) | 速效磷 (mg/kg) | 全钾 (%) | 速效钾 (mg/kg) | 硝态氮 (mg/kg) | 铵态氮 (mg/kg) |
|-----|---------------|----------------|-----------|----------------|----------------|----------------|
| 蓼区 | 600.23 | 30.2 | 2.56 | 339.47 | 20.74 | 16.33 |
| 香蒲区 | 511.23 | 28.6 | 2.44 | 315.93 | 18.00 | 24.17 |
| 芦苇区 | 565.51 | 25.1 | 2.17 | 362.03 | 17.57 | 7.00 |

2 材料与方法

1999 年 5 月份分别在乌兰泡的三个典型植被区内以每份多小区、多点混合的方法随机采样土壤样品, 土壤剖面每 10cm 为一层共分 6 个层次, 共计采集土样 102 个. 样品自然风干后, 捡去石块、残根等杂物, 用球磨机磨碎, 过 100 目筛, 装袋备用待测.

土壤有机质测定: $K_2Cr_2O_7$ 容量法 - 外加加热法; 全氮: 半微量凯氏法; pH 值: 电位法; 全磷: 酸溶 - 钼锑抗比色法; 速效磷: $NaHCO_3$ 浸提 - 钼锑抗比色法; 全钾: $NaOH$ 熔融 - 火焰光度法; 速效钾: NH_4OAC 浸提 - 火焰光度法; 氨态氮: KCl 浸提 - 靛酚蓝比色法; 硝态氮: 酚二磺酸比色法^[6].

3 结果与讨论

3.1 有机质在不同植被区土壤中的空间分异规律

由图 2 可知, 三个典型植被区内有机质的垂直分异趋势一致, 由表层向下逐渐减少, 这与大多数土壤有机质的分布规律基本相似. 而在表层 (草根层和腐殖质层) 中三者有机质含量水平分异较明显, 芦苇区 < 香蒲区 < 蓼区, 与土壤水分状况序列相一致. 图 3 对三个典型植被区表层土壤有机质含量进行了线性拟合, 其拟合方程为 $Y(\text{有机质}) = 1.50004 - 0.01277X(\text{距泡$

心的距离 ($R = -0.9322$) ,该方程反映出距离泡心越远的地带有机质含量越低这一规律,即土壤含水量越低、通气性越好,有机质含量越低.这主要与土壤原有机质的矿化分解速度及外源有机物(植物凋落物、根系、根系分泌物、河水泛滥、大气降水等)的输入量有关.土壤中的有机质的含量变化决定于有机物质输入和输出量的相对大小.有机物质的输入量主要依赖于有机残体归还量的多少及有机残体的腐殖化系数^[7],而输出量则主要包括分解和侵蚀损失,受各种生物和非生物条件(氧化还原电位、土壤含水量等)的控制^[8,9].距离泡心越近,淹水时间就相对较长,所以藜区土壤水分含量高于香蒲区和芦苇区,形成的还原环境不利于有机质的彻底矿化分解,从而使其有机质含量相对较高.此外藜区植被多样性指数、丰度及密度都相对较大,其凋落物及根系的量也相对较多,根系中难分解成分的百分比含量高于植物地上部分,高密度植被也有利于对养分的持留,因而其对土壤碳库的贡献更大.而香蒲区及芦苇区不仅物种单一稀疏,而且坡度较大,易发生淋滤,可溶性有机碳易随泡水集聚在泡底,且其凋落物也比沉水植物较难分解,所以有机质含量相对较少.此外土壤中有机质含量还与土壤质地尤其是土壤粘土粒含量多少有关^[10].由于芦苇区和香蒲区表层沉积的粗颗粒比例大,土壤通气性较强,土壤有机质易于分解,这也是造成其表层土壤养分含量低的原因.

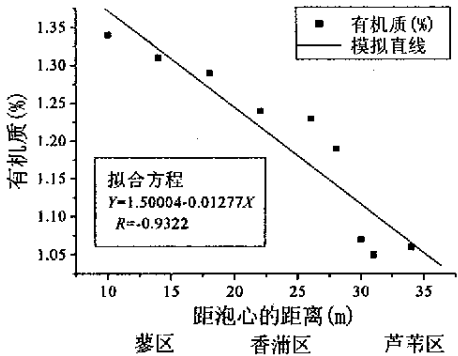
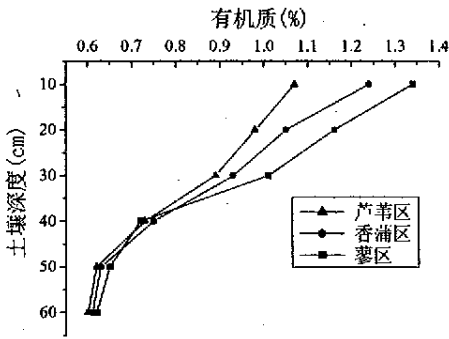


图2 不同植被区土壤剖面中有机质的垂直分异
Fig.2 Vertical variations in SOM in soil profile of different vegetation areas

图3 不同植被区表层土壤有机质水平分异拟合
Fig.3 Fit map of horizontal variations in SOM in surface soil of different vegetation areas

3.2 全氮在不同植被区土壤中的空间分异规律

自然土壤中的氮素主要来源于动植物残体和生物固氮,也有少量来源于大气降水.土壤氮的输出主要是土壤中有机质的分解,分解后大部分被植物吸收利用,部分有机氮经过矿化(氨化)、硝化、反硝化作用以及氨挥发等生物过程而重返回大气中^[10].大气中的氮输入必须通过湿地土壤中固氮细菌和蓝绿藻的活动才能进入生物体^[11].氮素含量直接影响着植物的生产力、植被类型以及泡沼湿地的富营养化程度,同时植被盖度、植物残体输入量以及植被类型也影响着氮素的动态.图4表明三种典型植被区内除芦苇区外全氮消长趋势与有机质基本一致,二者呈极显著正相关关系(表3),剖面分布由表层向下逐渐减少,但芦苇区变异较大,呈先减后增的“V”型分布.三者表层土壤全氮含量空间分布规律与有机质一致,即:芦苇区 < 香蒲区 < 藜区.图5对三个典型植被区表层土壤全氮含量进行了线性拟合,其拟合方程为 Y (全氮)

= 847.5046 - 10.2292X (距泡心的距离) ($R = -0.97313$) ,该方程也反映出距离泡心越远表层土壤全氮含量越低的规律. 这主要是由于乌兰泡湿地对氮素的持留作用所致. 乌兰泡湿地对氮素的持留机制主要包括沉积作用和植物吸收作用. 氮的沉积作用在湖沼中是非常重要的, 其沉积主要是由于死亡的浮游生物及大型植物残体沉积的结果^[12]. 沉积颗粒物可来源于外部或内部, 当它们是有机物时, 常常会有不同数量的氮. 在生长季节, 湿地大型植物和附生藻类会吸收土壤和水中的氮素, 其残体与吸收的氮素一起沉降到泡底, 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, 湿地大型挺水植物芦苇、香蒲对湿地脱氮作用比沉水植物蓼、狐尾藻等对其的影响更显著. 挺水植物的生产力比沉水植物更大且其凋落物较难分解^[12], 所以可给脱氮细菌提供更多的有机质促进湿地脱氮作用的进行, 再加坡度的淋滤作用致使芦苇区及香蒲区表层土壤全氮含量低于蓼区. Stefan E. B. Weisner^[12]在研究大型湿地植物对硝酸盐的持留作用中发现大型挺水植被及沉水植被的混合结构有可能加强湿地脱氮效应, 而且可以促进湿地的自然保护. 此外定期的河水泛滥也使乌兰泡淤积了大量的泥沙和养分, 但由于干旱季节水线渐渐移向泡心, 所以三种植被区沉积作用时间长短不一, 由芦苇区向蓼区淹水时间和沉积作用时间都依次增长, 淹水时间越长, 沉积泥沙越细越不利于土壤表层有机氮的矿化, 所以这也是造成蓼区表层全氮含量相对较高的一个因素.

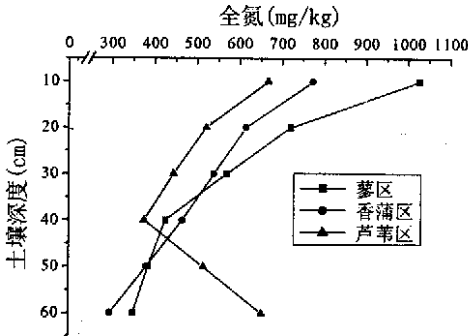


图 4 不同植被区土壤剖面中全氮的垂直分异
Fig.4 Vertical variations in TN in soil profile of different vegetation areas

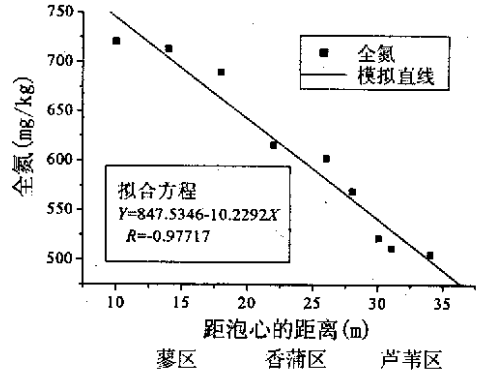


图 5 不同植被区表层土壤全氮水平分异拟合图
Fig.5 Fit map of horizontal variations in TN in surface soil of different vegetation areas

3.3 不同植被区土壤碳氮比分异规律

由表 2 可知乌兰泡湿地土壤碳氮比相对来说比较低^[13]在 5 - 12 范围内, 这表明土壤有机质的腐殖化程度高, 而且有机氮更容易矿化. 因为在全氮中有机氮约占 95% 以上, 所以有机氮含量的多少将直接影响着土壤全氮的含量及供氮能力. 乌兰泡湿地区表层土壤氮素富集, 在植物生长期间, 其有机氮矿化将在氮素供应方面起主要作用. 除芦苇区在 40 - 60cm 之间碳氮比较低外, 各植被区内及植被区之间碳氮比随土壤深度增加并没有显著变化, 但各植被区表层土壤 (0 - 20cm) 碳氮比也有一定的规律性表现为芦苇区 > 香蒲区 > 蓼区, 与有机质及全氮的分布规律恰恰相反, 而是随着距泡心的距离的增加而增加, 即土壤水分状况越好碳氮比越小, 这与耿

远波^[14]在研究草原土壤碳氮含量时所得结论相悖,这表明蓼区在5月份期间表层有机氮矿化程度较低,有机质的腐殖化程度相对较高,植株对氮素吸收也相对较少,表层土壤碳的累积速度比氮要慢得多,而芦苇区有机质腐殖化程度相对较低,植株对氮素的吸收也较多,表层土壤碳的累积速度比氮更快一些,同时也表明泡沼湿地土壤与草原土壤的碳氮比对水分条件的响应存在着显著的差异。

表2 不同植被区不同土壤深度(cm)的碳氮比

Tab.2 The ratio of carbon and nitrogen(C/N) in soil with depth in different vegetation areas

| 植被区 | 土壤深度(cm) | | | | | |
|-----|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | 50-60 |
| 蓼区 | 7.58 | 9.34 | 10.27 | 9.80 | 9.77 | 10.28 |
| 香蒲区 | 9.31 | 9.89 | 9.98 | 9.33 | 9.58 | 12.01 |
| 芦苇区 | 9.35 | 10.89 | 11.58 | 11.26 | 6.97 | 5.33 |

3.4 土壤 pH 值、有机质、氮素及碳氮比值相关关系

土壤 pH 值常常是通过影响微生物的活动^[15]来影响土壤养分分布的一个重要因素,但在本研究区域内土壤有机质及氮素分布似乎并不受土壤 pH 值的限制,由表3可知,土壤有机质在0.01的显著性水平上与全氮含量极显著正相关,表明土壤氮素主要以有机氮的形式存在于有机质中,对有机质及全氮含量做回归分析,得回归方程: $Y(\text{全氮, \%}) = 0.0729X(\text{有机质, \%}) - 0.006X$ ($R = 0.902$);全氮在0.05的显著性水平上与碳氮比值显著负相关,而有机质与碳氮比值相关性很弱($R = -0.273$),表明碳氮比的大小主要决定于全氮的含量,此结论也与耿远波^[14]所得结论有机质及全氮与碳氮比呈显著相关($R = 0.917$, $R = 0.777$)不一致,这也进一步说明泡沼湿地土壤与草原土壤碳氮比值

表3 乌兰泡湿地土壤 pH 值、碳氮比、有机质及全氮的相关系数矩阵

Tab.3 Matrix of correlation coefficients between pH, SOM, C/N and TN

| | 有机质 | 全氮 | 碳氮比 | pH 值 |
|------|---------|---------|---------|--------|
| 有机质 | 1.000 | 0.898** | -0.273 | -0.194 |
| 全氮 | 0.898** | 1.000 | -0.651* | -0.216 |
| 碳氮比 | -0.273 | -0.651* | 1.000 | 0.236 |
| pH 值 | -0.194 | -0.261 | 0.236 | 1.000 |

* 显著性水平 0.05; ** 显著性水平 0.01.

对有机质及全氮含量的敏感性存在显著差异,土壤有机质、全氮及碳氮比与 pH 值的相关性则非常差,经方差分析也表明该区土壤 pH 值对有机质及全氮影响十分微弱,本研究区域土壤 pH 值范围主要集中在 7.0-7.5 之间,基本呈中性,无盐碱化现象,各植被区土壤剖面 pH 值均值大小表现为芦苇区 < 香蒲区 < 蓼区,也与水分状况序列一致,表明土壤 pH 值也同样受到水分条件的制约,而淋滤作用及芦苇和香蒲较深根系对土壤盐分的吸收作用可能是主要诱因,但其影响机制有待进一步研究。

4 结论

(1) 土壤有机质及全氮含量水平分异显著,沿土壤水分梯度变化,表现为蓼区 > 香蒲区 > 芦苇区,反映出距泡心越远含量越低的规律,拟合方程分别为 $Y(\text{有机质, \%}) = 1.50004 - 0.01277X(\text{距泡心的距离})$ ($R = -0.9322$), $Y(\text{全氮, \%}) = 847.5046 - 10.2292X(\text{距泡心的距}$

离 ($R = -0.97313$)。湖泊湿地沉积物中有机质和氮素的分布特征显著不同于干湿交替条件下的泡沼湿地。这也进一步说明水分条件是影响土壤有机质和氮素分布的重要因子。

(2) 三个典型植被区土壤有机质及全氮含量垂直分异趋势基本一致,即由表层向下依次减少。

(3) 各植被区土壤碳氮比集中在 5-12 之间,表层土壤碳氮比值也沿土壤水分梯度变化,表现为芦苇区 > 香蒲区 > 蓼区。

(4) 土壤有机质与全氮含量密切相关 ($R = 0.898, P = 0.01$), 其回归方程为 $Y(\text{全氮, \%}) = 0.0729X(\text{有机质, \%}) - 0.006X$ ($R = 0.902$)。土壤碳氮比值与全氮含量有显著负相关性。泡沼湿地土壤与草原土壤的碳氮比对水分条件及有机质和全氮的含量的响应差异显著。

(5) 土壤 pH 值不是引起乌兰泡湿地有机质及全氮分异的一个主要因子。湿地养分滞留、转化和损失机制及影响因子尚待进一步定量研究。

参 考 文 献

- 1 Mitsch J, Gosselin G. Wetlands. New York: Van Nostrand Reinhold Company Inc, 1986. 89-125
- 2 Xiao Huilin. Climate change in relation to soil organic matter. 土壤与环境, 1999, 4(4): 300-304
- 3 Carpenter S R. Effects of submersed macrophytes on ecosystem process. Aquat Bot, 1986, 26: 341-370
- 4 Wetzel R G, Comers H. The role of the littoral zone and detritus in lake metabolism. Arch Hydrobiol, 1979, 13: 145-161
- 5 赵魁义. 中国沼泽志. 北京: 科学出版社, 1999. 255-260
- 6 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 1999. 107-147
- 7 林心雄, 文启孝. 秸秆对土壤肥力的影响. 中国土壤科学的现状与展望. 南京: 江苏科学技术出版社, 1991
- 8 李忠佩, 程励励, 林心雄. 退化红壤的有机质状况及施肥影响的研究. 土壤, 1994, 26(2): 70-76
- 9 XU Xiangcheng, ZHANG Jihong, TONG Guoliang, et al. Calculating by approximate method the amount of organic manure required to increase soil fertility. In: Current Progress in Soil Research in People's Republic of China. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Publishing House, 1986. 189-196
- 10 张金屯. 全球气候变化对自然土壤碳、氮循环的影响. 地理科学, 1998, 18(5): 463-471
- 11 余晓鹤, 朱培立, 黄东迈. 土壤表层管理对稻田土壤矿化势、固氮强度及铵态氮的影响. 中国农业科学, 1991, 24(2): 73-79
- 12 Stefan E B Weisner, Peder G Eriksson, Wilhelm Graneli, et al. 大型植物对湿地中硝酸盐的持留作用. 人类环境杂志(AM-BIO), 1994, 23(6): 363-366
- 13 蒋静艳, 黄耀, 宗良纲. 稻田土壤理化性质对 CH_4 排放的影响. 土壤与环境, 2001, 10(1): 27-29
- 14 耿远波, 章申, 董云社等. 草原土壤碳氮含量及其与温室气体通量的相关性. 地理学报, 2001, 56(1): 44-53
- 15 黄瑞农. 环境土壤学. 北京: 高等教育出版社, 1994. 145-146

Spatial Distribution of Soil Organic Matter and Nitrogen in Soil of Circular-Zonary Vegetation Areas in Wulanpao Wetland , Inner Mongolia

BAI Junhong DENG Wei ZHANG Yuxia

(Lab for wetland process and environment , Changchun institute of Geography , CAS , Changchun 130021 , P. R China)

Abstract

This paper investigates preliminarily spatial distribution of soil organic matter and nitrogen in wetland soil of circular distribution vegetation areas in Wulanpao Wetland , Inner Mongolia , which shows that vertical distribution of nutrients in different vegetation areas are of similar tendency but their horizontal distributions are very different , and they vary along the soil moisture gradient , that is , organic matter and nitrogen content decrease with the increase of distance to waters , *Polygonaceae* area > *Thypha orientalis* area > *Phragmites communis* area. The ratio of carbon to nitrogen(C/N) ranges from 5 to 12 , and C/N values also vary with moisture gradient , but variant tendency is opposite to that of SOM and TN content in the order *Phragmites communis* area > *Thypha orientalis* area > *Polygonaceae* area ; effects of moisture , soil organic matter and total nitrogen content on C/N values of Wetland soil and grassland soil are significantly different. Moisture and plant are the key factors influencing horizontal distributions of nutrients , but pH is not the one in this region.

Key Words Circular-zonary vegetation areas , wetland soil , soil organic matter , total nitrogen , Wulanpao wetland