



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdqk.2017.04.015

张雪冰, 闫玉琴, 陈国静, 等. 毛乌素沙地典型湖滨带湿地有机碳、氮素空间分布特征[J]. 南水北调与水利科技, 2017, 15(4): 87-93. ZHANG Xuebing, YAN Yurqin, CHEN Guojing, et al. Spatial distribution characteristics of organic carbon and nitrogen in lake littoral zone in Mu Us Sandland[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2017, 15(4): 87-93. (in Chinese)

# 毛乌素沙地典型湖滨带湿地有机碳、氮素空间分布特征

张雪冰<sup>1</sup>, 闫玉琴<sup>2</sup>, 陈国静<sup>2</sup>, 申卫博<sup>2,3</sup>, 王国栋<sup>1</sup>

(1. 西北农林科技大学 理学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西杨凌 712100; 3. 中国科学院 水利部水土保持研究所/黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 通过对陕西毛乌素沙地典型湖滨带湿地有机碳和氮素的空间分布特征进行研究, 为探讨湿地生态系统如何在沙化环境下发挥其特有的功能提供科学依据。在巴吓采当湖泊湖滨带 A~F 类型区采集土壤, 测定土壤的有机碳、全氮、有机氮、硝态氮和铵态氮等指标。利用方差分析、Spearman 相关性分析和主成分分析等方法分析对湖滨带有机碳、氮素空间分布特征进行研究。土壤表层 0~10 cm 的有机碳和全氮含量随水位升高呈增加趋势。除了铵态氮外, 有机碳、全氮、有机氮和硝态氮含量垂直分布上随着土壤深度增加呈降低趋势。土壤有机碳、全氮含量分别与全磷、土壤容重、含水率、水位显著相关。铵态氮和全磷、含水率、土壤容重、全氮、有机碳和水位等显著相关。硝态氮与微生物量碳、氮的相关系数分别为  $r=0.637$  和  $r=0.617$  (中度正相关)。有机碳及氮素的含量与土壤粘粒含量相关性不高。主成分分析提取 3 个主成分, 累积贡献率达 76.15%。土壤全磷、土壤含水率、土壤容重和水位是影响湖滨带土壤有机碳、氮素空间分布的主要因子。

**关键词:** 湖滨带; 有机碳; 全氮; 分布特征; 水位

**中图分类号:** S153.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2017)04-0087-07

## Spatial distribution characteristics of organic carbon and nitrogen in lake littoral zone in Mu Us Sandland

ZHANG Xuebing<sup>1</sup>, YAN Yurqin<sup>2</sup>, CHEN Guojing<sup>2</sup>, SHEN Weibo<sup>2,3</sup>, WANG Guodong<sup>1</sup>

(1. College of Science, Northwest A & F University, Yangling 712100, China; 2. College of Natural Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling 712100, China; 3. Institute of Soil and Water Conservation,

CAS & MWR/State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Yangling 712100, China)

**Abstract:** This study was aimed to analyze the spatial distribution characteristics of soil organic carbon and nitrogen in soils from lake littoral zones for playing a function in wetland of Mu Us Sandland in Shaanxi Province. Soil samples were collected for soil organic carbon, total nitrogen, organic nitrogen, nitrate nitrogen and ammonium nitrogen from A~F zones in Baxiacaidang. Soil organic carbon and nitrogen distribution were analyzed by ANOVA, Spearman correlation coefficients and Principal components analysis. In 0~10cm, the contents of soil organic carbon and total nitrogen were increased with increasing water level. On the vertical distribution, except ammonium nitrogen, the contents of soil organic carbon, total nitrogen, organic nitrogen and nitrate nitrogen were decreased with increasing soil depth. Soil organic carbon and total nitrogen were significantly and positively correlated with total phosphorus, volume weight of soil, soil moisture content and water level. Soil ammonium nitrogen were signifi

收稿日期: 2016-03-23 修回日期: 2016-05-29 网络出版时间:

网络出版地址:

**基金项目:** 中央高校基本科研业务费专项(2452015094); 西北农林科技大学博士启动基金(2014BS197); 科技部科技惠民计划项目(2012GS610203); 陕西省水土保持局陕北开发建设项目水土流失治理项目; 中组部、中国科学院人才培养计划“西部之光”项目(XBZG2011015); 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金(K318009902-1320); 宁夏自治区水利厅黄河整治工程项目资助

**Funds:** Central University Basic Research Business Expenses Special(2452015094) Northwest Agriculture and Forestry University doctoral Foundation(2014BS197); Project of Ministry of science and technology Huimin Technology(2012GS610203) Soil Erosion Control Project Construction and Development Projects in Northern Shaanxi Bureau of Soil and Water Conservation in Shaanxi Province; Central Organization Department and Chinese Academy of Sciences Personnel Training Program "Western Lights" Project(XBZG2011015); State Key Laboratory Fund for Soil Erosion and Dryland Farming of the Loess Plateau(K318009902-1320); Ningxia Water Resources Department of the Yellow River Autonomous Region Funded Renovation Project

**作者简介:** 张雪冰(1990-), 男, 河北邯郸人, 主要从事环境生物物理方面研究。E-mail: xuebingzhang0609@163.com

**通讯作者:** 申卫博(1979-), 男, 陕西泾阳人, 博士, 主要从事水土保持方面的研究。E-mail: shenwb@ms.isw.ac.cn

cantly and positively correlated with total phosphorus, soil moisture content, volume weight of soil, total nitrogen, organic carbon and water level. Between nitrate nitrogen and microbial biomass carbon, the correlation coefficient was 0.637, the correlation coefficient of nitrate nitrogen and microbial biomass nitrogen was 0.617. The contents of soil organic carbon and nitrogen were not significantly correlated with soil clay content. The cumulative contribution rate of first three components was 76.15%. Total phosphorus, soil moisture content, soil bulk density and water level were major factors which can affect soil organic carbon and nitrogen distribution.

**Key words:** Lake littoral zone; Soil organic carbon; Total nitrogen; Distribution characteristics; Water level

湿地是自然界具有最富生物多样性的生态景观之一,并且是人类赖以生存的环境<sup>[1]</sup>,也是陆地和水生生态系统间的过渡带,具有极高的资源开发价值和环境调节功能<sup>[2]</sup>。全球湿地有机碳储量约为 450 Gt (1 Gt= 10<sup>9</sup> t),占陆地生态圈表层碳总储量的 20%~30%<sup>[3]</sup>。但湿地面积仅占陆地总面积的 4%~6%<sup>[4]</sup>。湿地碳库在全球碳循环中发挥重要作用<sup>[5]</sup>。氮素作为限制湿地生态系统生产力的关键营养因子<sup>[6]</sup>,其含量及其迁移转化过程显著影响着湿地生态系统的结构与功能<sup>[7]</sup>,所以氮循环一直是湿地科学研究热点。

湖滨带是湖泊湿地水陆生态交错带的一种类型,湖泊湖滨带同时受到湖泊和陆地作用的共同影响,是一个脆弱的边缘地带。湖滨带这个缓冲区对于发挥湖泊湿地生态系统功能有着重要作用<sup>[8,9]</sup>。湖滨带具有污染物截留与净化、控制沉积和侵蚀等功能<sup>[10,11]</sup>。有机碳和氮素是土壤重要的营养元素,是衡量湿地环境质量的参考标准,其含量直接影响着湿地生态系统功能的发挥<sup>[8]</sup>。

毛乌素沙地是鄂尔多斯高原与黄土高原之间的过度地带,是具有特殊地理景观的生态过度带。本

实验选取毛乌素沙地典型湖泊巴吓采当作为研究对象,在湖泊湖滨带采集土壤样品,研究了该区域内有机碳和氮素的空间分布特征。这为发挥毛乌素沙地中湿地的生态系统功能和治理毛乌素沙地沙漠化提供一定的科学借鉴。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

#### 1.1.1 研究区概况

研究区位于巴吓采当湖泊巴吓采当,地处东经: 109°47', 北纬: 38°54', 海拔 1 274.9 m。巴吓采当位于毛乌素沙地东南缘,是秃尾河河源区典型湖泊。因湖滨带水位不同,分为 6 种类型区 A~F,各类型区的植被分布受到水位的影响(见表 1),各类型区水位变化为 A(-50 cm) > B(-20 cm) > C(-10 cm) > D(10 cm) > E(40 cm) > F(60 cm),上述各类型区的水位为湖泊丰水期(7月-9月)测定。各类型区的水位直接影响各类型区的土壤含水量,即含水量从 A 至 F 逐渐降低。由此,将 A 和 B 定义为水淹层, C 和 D 定义为干湿区, E 和 F 为干旱区。

表 1 各类型区主要植被特征

Tab. 1 Main vegetation characteristics in different in different types of areas (mean ± SD, n=9)

类型区	植物类型	平均高度/cm	密度/(个·m <sup>-2</sup> )	盖度(%)	频度(%)	生物量/(g·m <sup>-2</sup> )
A	芦苇 <i>Phragmites australis</i>	181.46±4.78	219±28	68.89±4.23	81.11±2.61	1397.23±282.45
	狭叶香蒲 <i>Typha angustifolia</i>	193.14±36.71	4±1	10.56±2.69	12.22±3.24	215.48±75.05
B	芦苇 <i>Phragmites australis</i>	127.73±7.87	196±16	54.44±3.77	76.67±2.36	1241.41±128.545
	眼小菜 <i>Potamogeton distinctus</i>	-	21±9	21.67±6.94	30.00±9.13	5.31±2.41
C	芦苇 <i>Phragmites australis</i>	108.33±1.28	243±18	70.00±3.33	72.22±2.22	1337.74±200.71
	水葱 <i>Scirpgramites tabernaemontani</i>	39.19±7.52	42±12	31.11±6.76	36.67±7.26	164.68±45.30
D	芦苇 <i>Phragmites australis</i>	163.33±1.18	114±15	53.33±3.33	74.44±5.80	704.85±94.72
	草芦 <i>Phalaris arundinacea</i> Linn	108.33±27.16	27±12	17.78±7.17	24.44±7.29	167.30±76.96
	鹅绒委陵菜 <i>Phragmites ausrealis</i>	148.33±18.69	80±23	41.11±9.04	54.44±12.15	493.68±141.08
E	芦苇 <i>Phragmites australis</i>	148.33±18.69	80±23	41.11±9.04	54.44±12.15	43.68±141.08
	草芦 <i>Phalaris arundinacea</i> Linn	110.00±27.60	124±52	33.33±12.02	40.00±11.43	762.46±323.66
	细灯心草 <i>Juncus gracillimus</i> V. Krecz. et Gontsch.	15.00±6.67	32±23	16.67±7.45	25.67±11.06	263.54±133.77
F	芦苇 <i>Phragmites australis</i>	112.22±28.08	89±34	36.67±9.86	52.22±14.22	548.53±208.75
	草芦 <i>Phalaris arundinacea</i> Linn	149.44±18.74	79±25	55.56±8.84	51.11±9.78	488.19±154.19

## 1.1.2 样品的采集

2014 年 9 月,在巴吓采当的 6 个类型区分别随机选取 9 个采样点,采集 0~40 cm 土壤,分为 0~10 cm, 10~20 cm 和 20~40 cm 三层,共采集 162 个土壤样品。将采集的土壤样品封存于无菌塑料袋中,带回实验室。土壤样品自然风干后,研磨后过筛为 1 mm 和 0.25 mm 粒径的土壤样品。6 个类型区分别随机布设 9 个 1 m × 1 m 样方,测定植物各项指标数据,其中采集样方内植物地上部分,在 80 °C 烘干 24 h 后称量生物量。

## 1.2 分析方法

### 1.2.1 土壤理化性质的测定

土壤有机碳采用重铬酸钾外加热容量法测定,全氮采用半微量凯氏定氮法测定,铵态氮和硝态氮采用 2 mol · L<sup>-1</sup> KCl 浸提-靛酚蓝比色法测定,有机氮含量等于全氮含量减去铵态氮和硝态氮含量,全磷采用 HClO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 法测定,微生物生物量碳氮采用氯仿熏蒸-K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 浸提法测定。土壤 pH 值采用 pH 计测定( $m(\text{土}):V(\text{水})=1.0:2.5$ )。土壤粒径采用激光粒度分析仪测定。土壤含水率采用烘

干法测定,土壤容重采用环刀法测定。碳氮比采用物质的量比值。

### 1.2.2 数据处理

方差分析土壤 C、N 在各个类型区的差异性。Spearman 相关性分析和主成分分析土壤有机碳、氮素和其他环境因子间的关系。统计分析采用 IBM SPSS Statistical 22, 图表绘制采用 SigmaPlot 12.5。

## 2 结果与讨论

### 2.1 环境因子的空间分布变化

如表 2 所示,湖滨带区域的 pH 值为 6.57~7.49,湿地土壤为偏酸性,各类型区 pH 值具有显著性差异( $p < 0.01$ )。土壤全磷含量在水平方向上按大小排序为 0~10 cm: A > B > D > E > F > C, 10~20 cm: A > E > C > B > D > F, 20~40 cm: A > E > D > C > F > B, 土壤全磷含量在垂直方向上随土壤深度增加有降低趋势,其中表层 0~10 cm 的全磷含量占 0~40 cm 层土壤的 40%~54%。土壤含水率基本遵循水淹层(A+B) > 干湿区(C+D) > 干旱区(E+F)。湿地土壤颗粒组成中 98% 以上为砂粒,土壤质地为砂土。

表 2 各类型区土壤理化性质  
Tab. 2 Soil physicochemical in a sampling sites

类型区	全磷/(g · cm <sup>-3</sup> )		pH		土壤容重(g · cm <sup>-3</sup> )		含水率(%)		黏粒(%)		粉粒(%)		砂粒(%)		
	平均值	标准值	平均值	标准值	平均值	标准值	平均值	标准值	平均值	标准值	平均值	标准值	平均值	标准值	
0~10 cm	A	0.27	0.06	6.57	0.42	0.75	0.27	115.41	28.90	0.23	0.23	1.67	0.93	98.10	1.14
	B	0.23	0.09	6.70	0.21	0.99	0.30	73.81	39.37	0.07	0.04	1.19	0.42	98.74	0.45
	C	0.16	0.04	9.97	0.34	1.14	0.32	68.17	26.44	0.13	0.22	1.30	0.80	98.57	1.01
	D	0.22	0.06	6.81	0.25	1.23	0.44	36.02	12.60	0.16	0.13	1.16	0.52	98.68	0.65
	E	0.21	0.08	7.49	0.23	1.24	0.39	29.54	13.36	0.13	0.09	1.17	0.58	98.70	0.67
	F	0.20	0.06	7.40	0.20	1.12	0.48	35.35	12.96	0.16	0.06	1.18	0.62	98.23	0.81
10~20 cm	A	0.24	0.09	6.69	0.15	0.91	0.26	111.05	49.92	0.20	0.13	1.57	0.68	98.23	0.81
	B	0.12	0.04	6.98	0.32	1.22	0.41	53.23	36.97	0.10	0.07	0.92	0.36	98.98	0.42
	C	0.13	0.03	7.09	0.36	1.27	0.28	55.97	24.56	0.06	0.05	0.73	0.28	99.21	0.32
	D	0.12	0.05	7.03	0.18	1.43	0.23	28.51	4.70	0.09	0.06	0.64	0.27	99.27	0.34
	E	0.14	0.04	7.41	0.14	1.48	0.24	18.95	13.37	0.1	0.16	0.91	0.70	98.94	0.84
	F	0.11	0.05	7.36	0.39	1.48	0.36	24.00	7.57	0.11	0.05	0.64	0.42	99.25	0.46
20~40 cm	A	0.15	0.05	6.91	0.11	1.39	0.42	49.83	13.16	0.33	0.28	1.49	0.61	98.18	0.78
	B	0.07	0.02	6.95	0.30	1.56	0.30	29.71	7.19	0.14	0.15	1.07	0.64	98.79	0.78
	C	0.10	0.02	7.07	0.22	1.64	0.26	31.42	8.14	0.09	0.12	0.85	0.42	99.06	0.52
	D	0.10	0.05	7.02	0.27	1.65	0.25	26.50	4.23	0.21	0.22	1.38	0.81	98.41	1.01
	E	0.12	0.05	7.44	0.33	1.57	0.31	16.9	9.06	0.26	0.22	1.47	0.81	98.27	1.01
	F	0.08	0.03	7.27	0.19	1.58	0.41	20.49	6.24	0.24	0.25	1.35	0.89	98.41	1.12

## 2.2 湖滨带土壤有机碳、氮素空间分布变化

土壤有机碳作为衡量土壤质量的一个重要指

标,也是生态系统碳库的重要组成部分。由图 1 可以看出,巴吓采当湖滨带湿地有机碳含量在 0~10

cm 分布为 A> B> C> D> E> F, 含量为 17.82~44.81 g/kg, 10~20 cm 为 A> C> B> E> D> F, 含量为 2.99~43.89 g/kg, 20~40 cm 分布为 A> B> C> E> D> F, 含量为 1.77~11.26 g/kg。在垂直方向上, 有机碳含量随着土壤深度增加呈降低趋势。其中表层 0~10 cm 土壤有机碳含量占 0~40 cm 层土壤的 44~78%, 原因可能是植被对土壤有机碳有表层富集作用。植被对湖滨带土壤有机碳含量的影响主要发生在土壤表层, 这与谢文霞等<sup>[12]</sup>和郭二辉等<sup>[13]</sup>研究河流湿地植被对土壤表层有机碳含量影响显著结论一致, 植物形成枯落物补充土壤碳, 不受湿地类型影响。土壤表层 0~10 cm 全氮含量水平分布为 A> B> C> D> E> F, 含量为 1.59~3.25 g/kg, 土壤 10~20 cm 层全氮水平分布为 A> C> B> E> D> F, 含量为 0.27~3.06 g/kg, 土壤 20~40 cm 层全氮水平分布为 A> B> C> E> D> F, 含量为 0.15~0.90 g/kg。湿地覆水区常年积水, 微生物活动弱, 全氮分解程度低, 这是类型区 A、B、C 全氮含量高于类型区 D、E、F 的主要原因。有机氮含量的水平分布与全氮相同, 原因是全氮的主要部分为有机氮。同时对比较数据可知湖滨带湿地 0~40 cm 层的全氮和有机氮含量随土壤深度增加呈降低趋势。

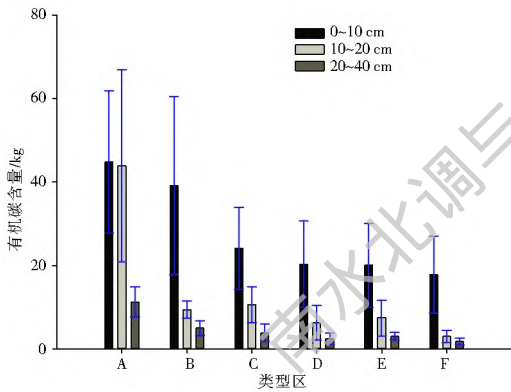


图1 湖滨带湿地有机碳含量分布

Fig. 1 Distribution of the soil organic carbon in a typical lake littoral zone

由图2知湖滨带湿地表层表层 0~10 cm 的全氮占土壤 0~40 cm 层的 45%~79%, 湖泊湿地全氮含量均富集于 0~10 cm, 呈“倒金字塔”分布, 这与卜晓燕等<sup>[14]</sup>研究结论湖泊湿地全氮含量富集于 0~10 cm 相同。可见植被对土壤全氮有顶层富集作用, 可能与植被枯落物形成腐殖质层有关。如图4所示铵态氮水平分布为: 0~10 cm 为 A> B> C> F> E> D, 10~20 cm 为 A> B> C> F> D> E, 20~40 cm 为 A> C> B> F> E> D。垂直分布中铵态氮含量随着土壤深度增加呈降低趋势并不明显。如图5所示硝态氮水平分布为: 0~10 cm 为 E> F> A>

C> B> D, 10~20 cm 为 A> E> F> C> B> D, 20~40 cm 为 A> C> E> F> B> D。硝态氮水分分布与全氮不同, 水淹区和干湿区受到规律性淹水影响, 促使硝态氮淋失。硝态氮含量垂直分布中随着土壤深度增加呈降低趋势。图6知, C/N 水平分布: 0~10 cm A> B> F> D> C> E, 10~20 cm A> F> D> B> E> C, 20~40 cm F> D> E> B> A> C, 类型区 D、F 碳氮比值较大, 这可能是该区干湿交替的环境有助于有机质和有机氮的矿化分解<sup>[12,15]</sup>。其中 C/N 比值最大值为 22.85, 最小值为 12.72, 平均值为 15.40, Zhang 等<sup>[16]</sup>在双台子河湿地研究结构 C/N 比值达 16.15, 这可能与巴吓采当湖泊地处沙地, 碳含量低而植物枯落物补充全氮有关。

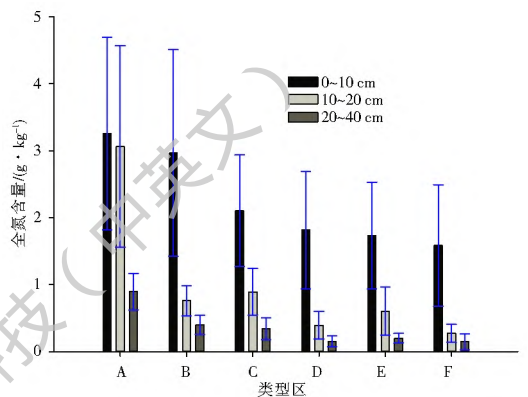


图2 湖滨带湿地全氮含量分布

Fig. 2 Distribution of the soil total nitrogen in a typical lake littoral zone

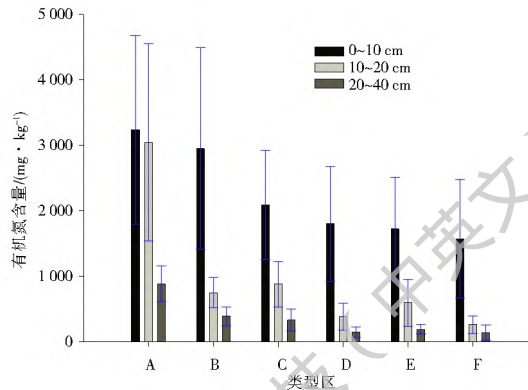


图3 水陆交错带湿地土壤有机氮含量分布

Fig. 3 Distribution of the soil organic nitrogen in a typical lake littoral zone

### 2.3 湖滨带湿地土壤有机碳、氮素与其他环境因子的相关关系

由表3知, 土壤全氮和有机碳、全磷、土壤容重、土壤含水率( $p=0.01$ )和水位显著相关( $p=0.05$ ), 其中全氮和有机碳相关系数  $r=0.996$  ( $p=0.01$ )。湖滨带土壤 0~40 cm 层的有机碳和全氮遵循相同的分布规律, 这与毛志刚等<sup>[2]</sup>研究滨海湿地土壤有机碳、全氮分布变化趋势一致结论相同, 可见不同类

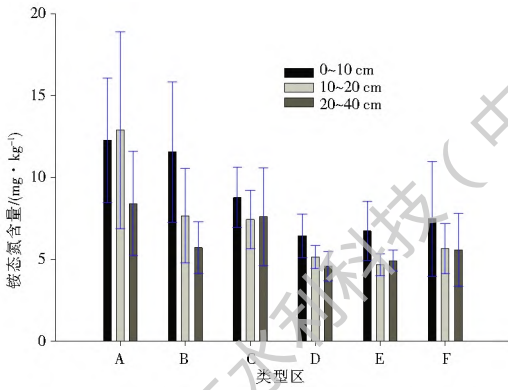


图 4 水陆交错带湿地土壤铵态氮含量分布

Fig. 4 Distribution of the soil ammonium nitrogen in a typical lake littoral zone

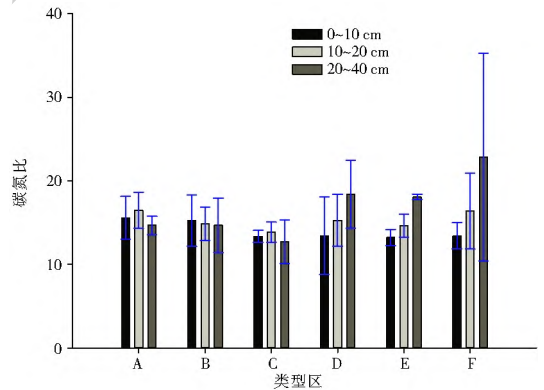


图 6 水陆交错带湿地土壤碳氮比分布

Fig. 6 Distribution of the soil C/N in a typical lake littoral zone

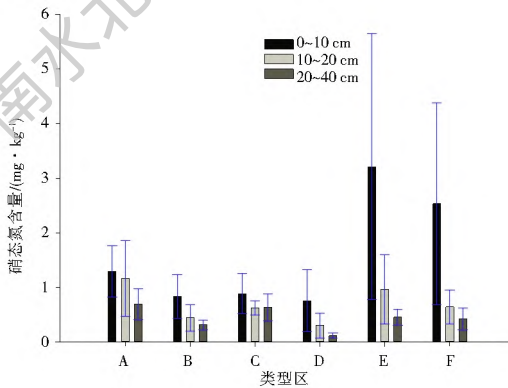


图 5 水陆交错带湿地土壤硝态氮含量分布

Fig. 5 Distribution of the soil nitrate nitrogen in a typical lake littoral zone

型湿地之间土壤有机碳、全氮相关性不变。有机碳、全氮和土壤容重之间均存在显著的相关性,这与石福臣等<sup>[7]</sup>研究河流湿地有机碳、全氮和容重之间相关性结果一致,可见土壤容重与有机碳、全氮的相关性不受湿地类型影响。铵态氮与土壤全磷、土壤含水率、土壤容重、全氮、有机碳( $p = 0.05$ )和水位( $p = 0.05$ )等显著相关。硝态氮与微生物生物量碳、氮的相关系数分别为 $r = 0.637$ 和 $r = 0.617$ (中度相关),这可能与微生物的硝化与反硝化作用相关。有机碳和氮素与土壤黏粒相关性不高,这与Wang等<sup>[18]</sup>研究结果不一致,可能与巴吓采当土壤质地为砂土,土壤颗粒组成中,黏粒含量低有关。

表 3 有机碳、氮素和环境因子的相关系数

Tab. 3 Spearman correlation coefficients of soil organic carbon, nitrogen and environmental factors

	全磷	PH	微生物	微生物氮	黏粒	分粒	砂粒	
全氮	0.917**	-0.387	-0.106	-0.624	-0.081	0.338	-0.304	
有机氮	0.917**	-0.387	-0.106	0.624	-0.081	0.338	-0.304	
铵氮	0.645**	-0.457	-0.217	-0.543	0.12	0.364	-0.296	
硝氮	0.816**	0.075	0.637	0.617	0.076	0.27	-0.299	
有机碳	0.932**	-0.375	-0.117	-0.633	-0.069	0.354	-0.318	
	含水率	土壤容量	水位	全氮	有机氮	铵氮	硝氮	有机碳
全氮	0.843**	-0.928**	-0.871*	1.000				
有机氮	0.843**	-0.870*	1.000**	1.00				
铵氮	0.920	-0.784**	-0.851	0.804**	0.804**	1.000		
硝氮	0.414	-0.694**	0.456	0.759*	0.759**	0.542	1.000	
有机碳	0.833**	-0.99	-0.858*	0.996**	0.996**	0.792**	0.750**	1.000

\*\* 为相关性在 0.01 层上显著(双尾) \* 为相关性在 0.05 层上显著(双尾)

## 2.4 湖滨带湿地土壤有机碳、氮素与其他环境因子的主成分分析

根据特征值大于 1 的原则提取了 3 个主成分(表 4),其特征值分别为 5.096、2.638 和 1.403,累积贡献率达 76.15%,它们能反映出毛乌素沙地典型湖滨带湿地 12 项指标的 76.15% 的信息。其中  $F_1$  的贡献率为 42.47%,与湿地的有机碳、全氮、有机

氮和全磷高度相关,与土壤含水率和土壤容重有较高的相关性。 $F_2$  的贡献率为 21.98%,与湿地土壤的颗粒组成高度相关。 $F_3$  的贡献率为 11.70%,与湿地土壤硝态氮和 pH 有较高的相关性。

## 2.5 不同湿地营养元素含量

表 5 列出了不同类型湿地有机碳和全氮含量的对比,巴吓采当湖滨带土壤有机碳和全氮含量较其

他类型湿地含量高,尤其是覆水区。湖滨带土壤氮素的来源主要是植物的枯落物,该区域芦苇、狭叶香蒲等植物长势良好,植物的凋落物对土壤的碳氮归还作用比较明显。而覆水区抑制了土壤呼吸,降低了有机碳和全氮的分解效率。另一方面,人为干扰作用,包括使用化肥农药、洗涤等,在一定程度上都使得巴吓采当湖滨带土壤营养元素增加。

表4 主成分分析表

Tab. 4 Analysis of the principle

指标	主成分		
	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>
有机碳	0.941	-0.137	0.060
全氮	0.955	-0.128	0.090
有机氮	0.955	-0.128	0.090
铵氮	0.531	-0.258	-0.073
硝氮	0.435	0.046	0.688
全磷	0.815	-0.071	0.303
pH	-0.342	0.248	0.736
含水率	0.650	-0.260	-0.456
土壤容重	-0.558	0.143	0.140
黏粒	0.127	0.917	-0.153
粉粒	0.466	0.848	-0.094
砂粒	-0.411	-0.896	0.110
特征值	5.096	2.638	1.403
贡献率(%)	42.470	21.984	11.692
累积贡献率(%)	42.470	64.454	76.146

表5 不同湿地土壤中有有机碳/全氮含量比较

Tab. 5 The organic carbon and total nitrogen content in soils of different wetlands

湿地类型	采样说明	深度 / cm	有机碳 / (g · kg <sup>-1</sup> )	全氮 / (g · kg <sup>-1</sup> )
申扎高寒沼泽湿 <sup>[15]</sup>	无积水区		14.17	1.04
	季节性积水区	0~50	9.81	0.66
	常年积水区		6.84	0.58
黄河口湿地 <sup>[19]</sup>	5月份	0~20	1.12~6.41	
	10月份		9.75~18.24	
辽河口湿地 <sup>[19]</sup>	5月份	0~20	0.62~13.17	
	10月份		11.06~40.74	
自然滩涂湿地 <sup>[20]</sup>	芦苇湿地		3.87~5.08	
	互花米草湿地	0~30	6.46~6.78	0.39~0.50
	海三棱藨草湿地		4.33~4.48	
南矾湿地 <sup>[21]</sup>		0~15	5.94~59.69	0.42~5.00
		15~30	2.11~25.28	0.26~2.34
乌梁素海湿地 <sup>[22]</sup>		0~30	3.2~36.18	

### 3 结论

毛乌素沙地典型湖滨带土壤表层 0~10 cm 有机碳、全氮含量随土壤水位升高而增加,水淹区(A、B) > 干湿区(C、D) > 干旱区(E、F),但土壤 10~40 cm 层有机碳和全氮变化规律不明显。除铵态氮外,土壤有机碳、全氮、有机氮和硝态氮含量随土壤深度增加呈降低趋势。土壤有机碳与氮素和全磷、土壤容重、土壤含水率和水位显著相关。实验结果表明,土壤全磷、土壤含水率、土壤容重和水位是影响毛乌素沙地湖滨带有机碳、氮素空间分布的主要因子。有机碳和氮素的含量与土壤黏粒相关性不高,这有异之前的研究结论。与其他类型湿地相比,巴吓采当湖滨带有机碳、氮素含量较高。

本文研究了巴吓采当湖滨带土壤有机碳和氮素的空间分布,为毛乌素沙地的治理与恢复提供科学参考。在进行毛乌素沙地湿地修复过程中,通过添加合适改良剂提高土壤黏粒含量,以便增强湿地的储碳固碳功能。

#### 参考文献: (References)

- [1] 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. (BAI Junhong, LI Xiaowen, CUI Baoshan et al. Nitrogen in Wetland Soils: A Review [J]. Soils, 2006, 38(2): 143-147. (in Chinese))
- [2] 毛志刚, 王国祥, 刘金娥. 盐城海滨湿地盐沼植被对土壤碳氮分布特征的影响[J]. 应用生态学报, 2009, 20(2): 293-297. (MAO Zhigang, WANG Guoxiang, LIU Jine. Influence of salt marsh vegetation on spatial distribution of soil carbon and nitrogen in Yancheng coastal wetland [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(2): 293-297. (in Chinese))
- [3] Maltby E, Immirzi P. Carbon dynamics in peatlands and other wetland soils regional and global perspectives [J]. Chemosphere, 1993, 27(6): 999-1023.
- [4] Mitsch W J, Gosselink J G. Wetlands 2nd edition [J]. 1993.
- [5] Yu J, Wang Y, Li Y, et al. Soil organic carbon storage changes in coastal wetlands of the modern Yellow River Delta from 2000 to 2009 [J]. Biogeosciences, 2012, 9(6): 2325-2331.
- [6] Mitsch W J, Gosselin J G. Wetlands [M]. New York: Van Nostrand Reinhold Company Inc, 2000: 89.
- [7] Dörge J. Modelling nitrogen transformations in freshwater wetlands. Estimating nitrogen retention and removal in natural wetlands in relation to their hydrology and nutrient loadings [J]. Ecological modelling, 1994, 75: 409-420.
- [8] 叶春, 金相灿, 王临清, 等. 洱海湖滨带生态修复设计原则与工程模式[J]. 中国环境科学, 2004, 24(6): 717-721. (YE Chun, JIN Xiangcan, WANG Linqing, et al. Design principle and engineering mode of the ecological restoration in the aquatic-terrestrial ecotone of Erhai Lake [J]. China Environmental Sci



- ence, 2004, 24(6): 717-721. (in Chinese))
- [9] Dall P C, Lindegaard C, Jonsson E, et al. Invertebrate communities and their environment in the exposed littoral zone of Lake Esrom, Denmark[J]. Archiv für Hydrobiologie, Supplementband. Monographische Beiträge, 1984, 69(4): 477-524.
- [10] 郭彬, 汤兰, 唐莉华, 等. 滨岸缓冲带截留污染物机理和效果的研究进展[J]. 水土保持研究, 2010, 17(6): 257-262. (GUO Bin, TANG Lan, TANG Li hua, et al. The review on the research for the interception mechanism and effects of riparian buffer zone[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2010, 17(6): 257-262. (in Chinese))
- [11] Hadwen W L, Bunn S E. Tourists increase the contribution of autochthonous carbon to littoral zone food webs in oligotrophic dune lakes[J]. Marine and Freshwater Research, 2004, 55(7): 701-708.
- [12] 谢文霞, 朱鲲鹏, 崔育倩, 等. 胶州湾河口湿地土壤有机碳及氮含量空间分布特征研究[J]. 草业学报, 2014, 23(6): 54-60. (XIE Wen xia, ZHU Kun jie, CUI Yu qian et al. Spatial distribution of soil carbon and nitrogen in Jiaozhou Bay estuarine wetlands[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2014, 23(6): 54-60. (in Chinese))
- [13] 郭二辉, 孙然好, 陈利顶, 等. 河岸带不同植被类型对土壤有机碳和全氮分布特征的影响——以北京地区温榆河为例[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(010): 1315-1321. (GUO Er Hui, SUN Ran Hao, CHEN Li Ding, et al. Effects of riparian vegetation on soil organic carbon and total nitrogen distribution—a case study of Wenyu River, Beijing[J]. Chinese Journal of Eco Agriculture, 2012, 20(010): 1315-1321. (in Chinese))
- [14] 卜晓燕, 米文宝, 许浩, 等. 宁夏平原不同类型区湿地土壤碳氮磷含量及其生态化学计量学特征[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2016, 42(1): 107-118. (BO Xiaoyan, MI Wenbao, XU Hao, et al. Contents and ecological stoichiometry characteristics of soil carbon, nitrogen and phosphorus in wetlands of Ningxia plain[J]. Journal of Zhejiang University: Agric. & Life Sci., 2016, 42(1): 107-118. (in Chinese))
- [15] 赵慧, 刘伟龙, 王小丹, 等. 不同水分条件下藏北盐化沼泽湿地土壤碳氮的分布[J]. 山地学报, 2014(4): 431-437. (ZHAO Hui, LIU Weilong, WANG Xiaodan, et al. Distribution of soil carbon and nitrogen under different water conditions in alpine salty wetlands, Northern Tibet Plateau[J]. Journal of Mountain Science, 2014(4): 431-437. (in Chinese))
- [16] Zhang Z S, Song X L, Lu X G, et al. Ecological stoichiometry of carbon, nitrogen, and phosphorus in estuarine wetland soils: influences of vegetation coverage, plant communities, geomorphology, and seawalls[J]. Journal of Soils and Sediments, 2013, 13(6): 1043-1051.
- [17] 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. (SHI Fu chen, LI Rui li, WANG Shaoliang, et al. Profile distribution and accumulation characteristics of organic carbon and total nitrogen in typical marshes in Sanjiang Plain[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(7): 1425-1431. (in Chinese))
- [18] Wang J, Zhu L, Wang Y, et al. Spatial variability and the controlling mechanisms of surface sediments from Nam Co, central Tibetan Plateau, China[J]. Sedimentary Geology, 2015, 319: 69-77.
- [19] 罗先香, 贾红丽, 杨建强, 等. 中国北方典型河口芦苇湿地土壤有机碳库比较研究[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2015(3): 014. (LUO Xianxiang, JIA Hongli, YANG Jianqiang, et al. A comparison of soil organic carbon pools in two typical estuary reed wetlands in Northern China[J]. Periodical of Ocean University of China, 2015(3): 014. (in Chinese))
- [20] 张文敏, 吴明, 王蒙, 等. 杭州湾湿地不同植被类型下土壤有机碳及其组分分布特征[J]. 土壤学报, 2014, 51(6): 1351-1360. (ZHANG Wenmin, WU Ming, WANG Meng, et al. Distribution characteristics of organic carbon and its components in soils under different types of vegetation in wetland of Hangzhou Bay[J]. Acta Pedologica Sinica, 2014, 51(6): 1351-1360. (in Chinese))
- [21] 付姗, 吴琴, 尧波, 等. 南矾湿地土壤碳、氮、磷化学计量比沿水位梯度的分布[J]. 湿地科学, 2015, 13(3): 374-380. (FU Shan, WU Qin, YAO Bo, et al. The stoichiometric distribution of soil carbon, nitrogen and phosphorus in Nanji wetland along the water level gradient[J]. Wetland Science, 2015, 13(3): 374-380. (in Chinese))
- [22] 刘旭, 李畅游, 贾克力, 等. 北方干旱区湖泊湿地沉积物有机碳分布及碳储量特征研究——以乌梁素海为例[J]. 生态环境学报, 2013(2): 319-324. (LIU Xu, LI Changyou, JIA Keli, et al. Spatial distribution and storage characteristic of organic carbon in sediments of lake wetland in northern arid areas: a case study of Wuliangsu Lake[J]. Ecology and Environment Sciences, 2013(2): 319-324. (in Chinese))