

鄱阳湖典型洲滩湿地土壤环境因子 对植被分布影响研究*

董磊¹ 徐力刚^{1†} 许加星¹ 徐进² 王晓龙¹ 张奇¹

(1 中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊与环境国家重点实验室, 南京 210008)

(2 南京工程学院环境工程学院, 南京 211167)

摘要 湿地植被生长的影响因素包括非生物因素和生物因素两部分。其中, 非生物因素中对湿地植被格局影响较大的主要是水文和土壤环境因子, 也是当今湿地生态水文过程研究的热点和重点。通过研究鄱阳湖典型洲滩湿地 4 种植物群落带下各土壤环境因子的含量变化特征, 结合研究区 20 个植被样方的典范对应分析 (Canonical Correspondence Analysis, CCA) 排序, 分析了鄱阳湖典型洲滩湿地主要土壤环境因子及其对植被分布的影响。结果表明: 不同植被群落下的全氮含量有明显差异, 依次为苔草带 < 藜蒿-狗牙根带 < 芦苇-苔草带 < 苔草-藨草带; 总有机碳与全氮含量大小在不同植被群落带的分异趋势相同, 二者存在极显著相关关系; 土壤全磷含量随植被群落不同的变化规律不明显; 随植被群落带离湖泊水体距离逐渐减小, 土壤中速效钾含量有增大的趋势, 但程度较小。鄱阳湖典型洲滩湿地土壤有机碳与全氮、有效磷呈极显著相关关系, 土壤含水量与土壤有效磷呈显著负相关关系, 有效磷与全氮呈极显著相关关系。土壤含水量是影响鄱阳湖湿地研究区植被分布的最主要因素, 土壤 pH、全钾含量也是影响湿地植被分布的重要土壤环境因子。

关键词 洲滩湿地; 土壤; 环境因子; 植被; 鄱阳湖

中图分类号 S718.55 **文献标识码** A

湿地土壤、植被、水文、气候等因素在不同时空尺度上相互作用, 共同影响着湿地生态系统的特征。湿地土壤是长期以来区域生态环境因素相互作用的产物, 它在区域生态系统中起着其他生态系统不可替代的作用, 保持着区域生态平衡^[1]。湿地植被格局的影响因素包括非生物因素和生物因素两部分。其中, 非生物因素中对湿地植被格局影响较大的主要是水文和土壤, 也是当今湿地植被的研究热点。土壤含水量、土壤养分是影响植被分布格局的重要土壤因子。湿地植被的分布不仅与周围环境因子有关, 而且与湿地植物物种自身的生物学特性以及人类活动有关。

已有大量研究表明, 湿地植被分布对土壤中氮、磷、有机碳等营养物质的含量有显著影响, 植被能有效地吸收来自于湿地及其周围生态系统的营养元素^[2]。有研究发现, 在以芦苇为优势种的湿地

生态系统中, 芦苇对无机氮的吸收量达到 66% 以上, 对氮也有较强的吸收能力^[3]。湿地植物在不同季节由于生长速率不同, 但对营养物质的需求也随季节而变化, 对磷等元素的吸收量也有明显的不同^[4]。已有研究表明, 湿地植被是影响营养物质滞留的主要因素, 群落的生物多样性与营养物质的滞留呈显著相关关系^[5]。对白洋淀湿地水陆交错带群落的研究表明, 水路交错带中间的狭小沟壑对全氮有较高的截留效应, 截流率可达 42%^[6]。对海滨湿地的研究表明, 植被的生长影响湿地的水文过程 (如水文条件、营养元素循环、沉积物沉积速率等)。对海岸带沿滩沉积物中营养元素分布特征进行分析, 得出了不同植被带对营养元素的富集作用不同, 对湿地中碳、氮、磷等营养元素的分布有重要的影响^[7]。

此外, 湿地土壤环境因子对湿地植被的生长具

* 国家重点基础研究发展计划项目 (2012CB417005)、国家自然科学基金项目 (41371121, 41271034, 41101465)、中国科学院支持全国科学院联盟建设专项重大项目和江西省科技支撑项目 (20122BBG70160) 资助

† 通讯作者, E-mail: lgxu@niglas.ac.cn

作者简介: 董磊 (1988—), 男, 安徽滁州人, 硕士研究生, 主要从事湖泊生态研究。E-mail: dlylt@126.com

收稿日期: 2013-07-23; 收到修改稿日期: 2013-09-26

有重要的反馈作用。已有研究表明,土壤因子中的土壤氮磷等与植被生长指标相关^[8-9]。王晓龙等^[10]对巢湖低丘山区典型湿地植被与土壤因子的研究表明,土壤养分状况与生物多样性指数和均匀度指数呈现良好的正相关关系。土壤养分与盐分是盐沼植被发育和演替的主要影响因素,土壤盐分控制着盐沼湿地的植被演替方向,土壤养分含量影响着湿地植被的发育状况。黄河三角洲典型植物盐地碱蓬和中华怪柳分布主要取决于土壤含盐量、 Na^+ 含量及距离海洋距离,而且各种植被类型的分布与土壤全磷、全氮、有机质、 Ca^{2+} 及 Mg^{2+} 含量存在一定的关系^[11]。王顺忠等^[12]认为植物群落演替与环境条件的变化具有同步性,短暂群落演替和主要群落演替的发生均为植物群落与环境因子相互作用与矛盾积累的结果。对上海崇明岛芦苇群落生态特征和群落演替的调查分析得出:环境一旦被干扰会加速湿地水生植物群落向陆生植物群落演替^[13]。

鄱阳湖是我国最大的淡水湖泊,湖区湿地面积约 2 700 km²,是我国湿地生态系统中生物资源最丰富的地区,也是我国公布的首批国家重点湿地保护地之一。鄱阳湖湿地近年来受到国内外学者的关注。目前针对鄱阳湖湿地土壤环境因子的时空分布和动态变化特征及其影响因子的研究已有较多报道,胡维等^[14]通过研究鄱阳湖南矶山湿地土壤在不同季节、不同植被类型和不同土壤深度下总有机碳、全氮、全磷的含量变化,分析了鄱阳湖南矶山湿地土壤养分的空间分布特征和季节变化规律;吴琴等^[15]研究了鄱阳湖典型湿地土壤有机碳分布及影响因子。但已有的研究中关于土壤环境因子对植被分布的影响还不多见。本文通过对不同植被样方和土壤环境因子进行典范对应分析(Canonical Correspondence Analysis, CCA)排序,揭示影响鄱阳湖湿地植被分布的主要土壤环境因子,旨在为进一步深入探讨鄱阳湖湿地元素地球生物循环过程和生态修复研究提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

选取的鄱阳湖典型洲滩位于江西省永修县吴城镇北部(29°14'N, 116°01'E),为鄱阳湖赣江主支三角洲河道两侧的河流型湿地,西南侧紧邻赣江,河水冲刷严重,剖面主要呈陡坎台地,地势较高,东

北侧与鄱阳湖主湖面连接,由中心向湖边地势逐渐变缓。研究区域属亚热带湿润性季风性气候,夏季炎热潮湿,冬季干燥寒冷;多年平均气温 17.6 °C,1 月平均气温最低为 5.1 °C,7 月平均气温最高为 29.5 °C;年均降雨量 1 450 ~ 1 550 mm,多集中在 4—6 月。湖区湿地面积 2 698 km²,约占全湖正常水位总面积的 82%。受赣江河流冲刷和鄱阳湖的影响,地势平坦,土壤类型主要为粉砂土,粉砂土含量大于 95%。土壤全氮平均含量为 0.08 g kg⁻¹,全磷 0.17 g kg⁻¹,有效磷 2.47 mg kg⁻¹,有机碳 5.4 g kg⁻¹,速效钾 105.5 mg kg⁻¹。湿地的植物分布受全年水位大幅升降变动的重大影响,从湖心到滩地,植物群落分布呈典型的带状特征。主要植被群落有藨草(*Phalaris arundinace*)、苔草(*Carex cinerascen*)、芦苇(*Phragmites communis*)、菖蒿(*Cynodon dactylon*)、狗牙根(*Artemisia selengens*)等。

1.2 样品采集

于 2012 年 12 月,按照垂直于湖岸线的地形梯度进行样带设置,确定了研究区域的 4 种典型植被带。为了确保湿地植被调查的可靠性,如图 1 所示,对 4 种典型植被带的边界做了明确的标记。植被数据采取样方调查法获取,分别在每个群落带选取 5 个 1 m × 1 m 样方框作为植被样方,记录植被种类、数目,并取四分之一样方,测量所有植株的高度,求平均值作为植株高度,之后,将植被齐地面刈割,按种类装入纸袋,带回实验室称鲜重,同时取样烘干,换算出干物质重量。

在对植被样方进行调查的同时对其立地土壤采样,在每个样方的土壤表层(0~15 cm)取土样约 500 g,装入袋中并封口,带回实验室测其土壤养分含量,包括土壤有机碳、全氮、全磷、全钾、pH、铵态氮、硝态氮以及土壤含水量。

1.3 测定方法

土壤全氮含量采用半微量凯氏定氮法^[16]测定,土壤有机碳含量采用重铬酸钾氧化外加热法^[17]测定,土壤全磷含量采用碳酸钠熔融-钼锑抗比色法^[18]测定,土壤硝态氮含量采用紫外分光光度计测定,土壤铵态氮含量采用靛酚蓝比色法测定。

1.4 数据处理

采用 Excel2007 和 SPSS16.0 软件对数据进行分析处理。

植被分布与土壤环境因子的相关性分析的排序采用 CANOCO for Windows (Version 4.5) 软件。

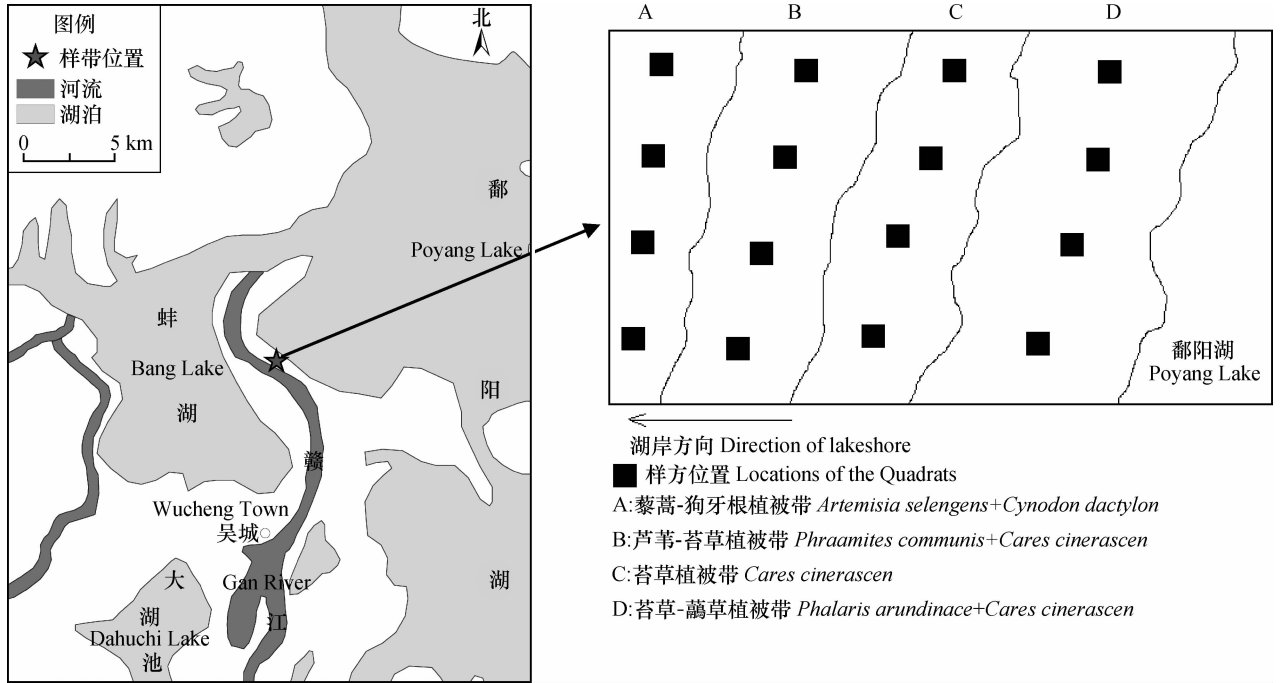


图 1 鄱阳湖典型洲滩湿地植被调查样方分布示意图

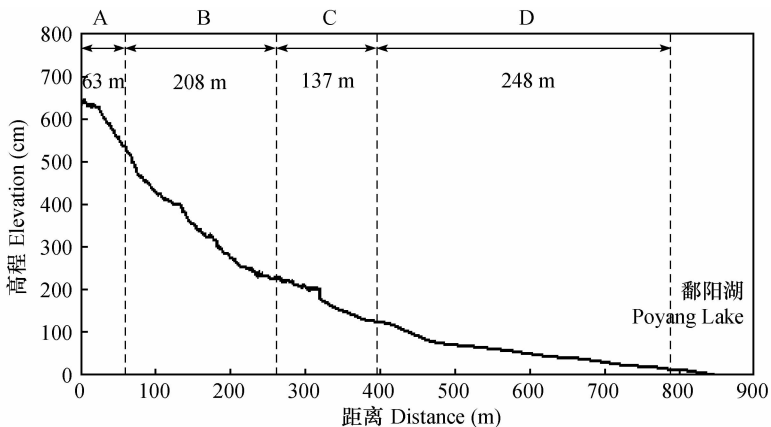
Fig. 1 Distribution map of plant survey quadrats in shoaly wetlands typical to the Poyang Lake

2 结果与讨论

2.1 鄱阳湖典型洲滩湿地的植被类型

受鄱阳湖水文季节性变化的影响,自 3 月下旬开始,随降水量的增加,水位开始上升,进入洪水期,6—8 月达到最高水位,洲滩几乎全部被淹没,直至 10 月,湖水位才开始下降,洲滩相继出露。由于不同高程洲滩出露时间的差异,鄱阳湖洲滩湿地

植被形成了典型的带状分布特征,各植被带之间有较明显的边界。在沿湖岸到陆地方向上,对研究区 20 个植被与土壤样方进行采样分析与观测得出鄱阳湖洲滩湿地植被呈现出典型的带状演替,如图 2 所示。按照垂直于湖岸线的地形梯度进行样带划分,沿陆地到湖岸的方向,植物群落依次为藜蒿-狗牙根 (*Artemisia selengensis* + *Cynodon dactylon*) 植被带 (A)、芦苇-苔草 (*Phragmites communis* + *Carex cinerascen*) 植被带 (B)、苔草 (*Carex cinerascen*) 植被带 (C)、苔草-藨草 (*Phalaris arundinace* + *Carex cinerascen*) 植被带 (D)。



A: 藜蒿-狗牙根植被带 *Artemisia selengensis*+*Cynodon dactylon*; B: 芦苇-苔草植被带 *Phragmites communis*+*Carex cinerascen*; C: 苔草植被带 *Carex cinerascen*; D: 苔草-藨草植被带 *Phalaris arundinace*+*Carex cinerascen* 注: 纵坐标为相对高程,即将距离最近的湖平面视为 0 cm Note: Vertical axis is relative elevation and the distance to the nearest lake is 0 cm

图 2 鄱阳湖典型洲滩湿地植被带的分布示意图

Fig. 2 Distribution map of vegetation zones in shoaly wetlands typical to the Poyang Lake

草-藨草 (*Phalaris arundinace* + *Carex cinerascen*) 植被带 (D), 其水平宽度分别为 63、208、137、248 m。各植被带内的优势种和伴生种如表 1 所示。其中, 苔草-藨草带海拔较低, 土壤多为泥滩和沼泽, 湖滩露出水面的时间较短, 伴生种主要有苔草 (*Carex cinerascen*)、灯芯草 (*Juncus leschenaultii* Gay)、稗草 (*Echinochloa crusgalli*) 等; 苔草带海拔稍高, 淹水时间较长, 湮没与出露交替频率较高, 土壤肥沃, 物种丰富, 伴生种主要有下江委陵菜 (*Potentilla limprichtii* J Krause)、水蓼 (*Polygonum hydropiper*)、水田碎米茅 (*Cardamine lyrata*) 等; 芦苇-苔草带海拔较高, 淹没时间较短, 伴生种主要有藜蒿 (*Artemisia selengen-*

sis)、芦荻 (*Ar donaxundo*) 等; 藜蒿-狗牙根带海拔最高, 全年基本不会被淹没, 土壤含水量较低, 伴生种主要有苔草 (*Carex cinerascen*)、灯芯草 (*Juncus leschenaultii* Gay)、稗草 (*Echinochloa crusgalli*) 等。葛刚等^[19]对鄱阳湖典型洲滩优势植物种群分布格局的研究表明各优势植物种群均为聚集分布, 洲滩植物沿水分梯度呈现有规律分布。许加星等^[20]对鄱阳湖典型洲滩湿地植物群落结构变化及其与土壤养分的关系研究中指出洲滩植物群落分布具有岸带成带性, 可能与高程、土壤含水量、湖水位、土壤养分有关。

表 1 典型洲滩湿地植被的优势种及伴生种

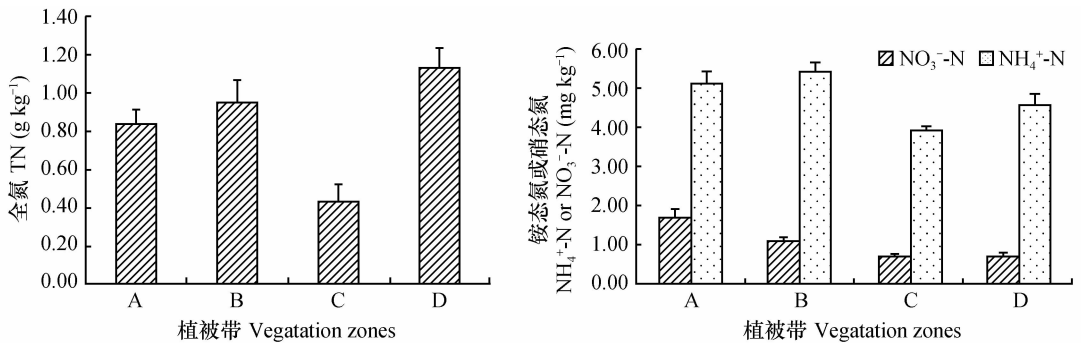
Table 1 Dominant and companion species of the vegetation communities on shoaly wetlands typical to the Poyang Lake

植被群落 Vegetation communities	优势种 Dominant species	伴生种 Companion species
藜蒿-狗牙根带 <i>Artemisia selengens</i> + <i>Cynodon dactylon</i>	藜蒿 + 狗牙根 <i>Artemisia selengens</i> + <i>Cynodon dactylon</i>	苔草 <i>Carex cinerascen</i> 灯芯草 <i>Juncus leschenaultii</i> Gay 稗草 <i>Echinochloa crusgalli</i>
芦苇-苔草群落 <i>Phragmites communis</i> + <i>Carex cinerascen</i>	芦苇 + 苔草 <i>Phragmites communis</i> + <i>Carex cinerascen</i>	藜蒿 <i>Artemisia selengensis</i> 芦荻 <i>Ar donaxundo</i>
苔草带群落 <i>Carex cinerascen</i>	苔草 <i>Carex cinerascen</i>	下江委陵菜 <i>Potentilla limprichtii</i> J Krause 水蓼 <i>Polygonum hydropiper</i> 水田碎米茅 <i>Cardamine lyrata</i>
苔草-藨草群落 <i>Phalaris arundinace</i> + <i>Carex cinerascen</i>	苔草 + 藨草 <i>Phalaris arundinace</i> + <i>Carex cinerascen</i>	藜蒿 <i>Artemisia selengensis</i> 水田碎米茅 <i>Cardamine lyrata</i> 刚毛荸荠 <i>Heleocharis valliculosa</i>

2.2 鄱阳湖典型洲滩湿地土壤养分特征

湿地土壤氮主要来源于植被枯落物和生物固氮, 氮输出主要是有机质的分解, 分解后的氮部分被植物吸收, 还有一部分经过氨化、硝化、反硝化作

用重回大气^[21]。图 3 为不同植被带全氮、铵态氮和硝态氮的含量变化图。四个植被带的表层 (0 ~ 15 cm) 土壤中全氮含量存在明显差异, 其含量为苔草带 < 藜蒿-狗牙根带 < 芦苇-苔草带 < 苔草-藨草带。

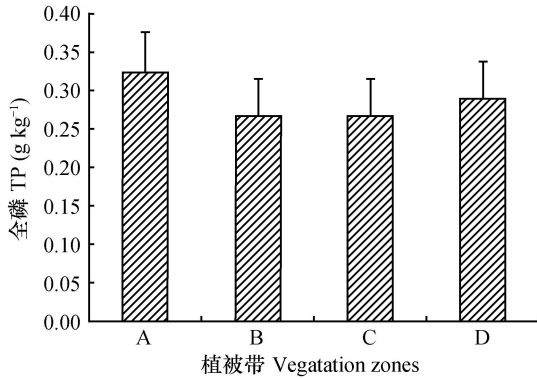


A: 藜蒿-狗牙根植被带 *Artemisia selengens*+*Cynodon dactylon*; B: 芦苇-苔草植被带 *Phragmites communis*+*Carex cinerascen*; C: 苔草植被带 *Carex cinerascen*; D: 苔草-藨草植被带 *Phalaris arundinace*+*Carex cinerascen*

图 3 不同植被带土壤中氮元素含量

Fig. 3 Soil nitrogen content in different vegetation zones

有研究结果称,鄱阳湖洲滩湿地表层(0~20 cm)土壤氮素含量随土壤含水量的减少而逐渐增加,因为土壤含水率高,淹水时间长,表层稀疏,有机质含量低,植被持氮能力弱;而水分梯度较高的相对干旱的地带,植物本身对氮的需求小,植物对氮素的持留作用小,因此全氮含量高。本研究并不完全符合此规律,差异的主要原因是位于淹水地带的苔草-藨草群落能很好地适应淹水环境,根系发达,生命力旺盛,有机质含量高。有关植物氮素实验发现苔草植物本身持留功能强大,能吸收大量氮素,因此,位于中等水位梯度的苔草带土壤全氮含量最低。藜蒿-狗牙根带位于水位梯度最高处,植物本身对氮素的需求量较少,所以土壤全氮含量较高。从图3还可以看出:硝态氮的含量低于铵态氮,其中硝态氮



A: 藜蒿-狗牙根植被带 *Artemisia selengensis*+*Cynodon dactylon*; B: 芦苇-苔草植被带 *Phragmites communis*+*Carex cinerascens*; C: 苔草植被带 *Carex cinerascens*; D: 苔草-藨草植被带 *Phalaris arundinaceae*+*Carex cinerascens*

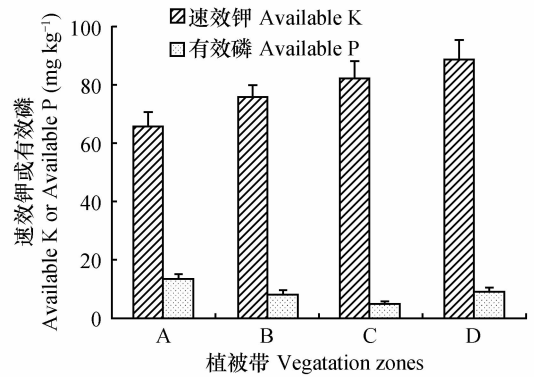
图4 不同植被带土壤中磷、钾元素含量

Fig. 4 Soil phosphorus and potassium content in different vegetation zones

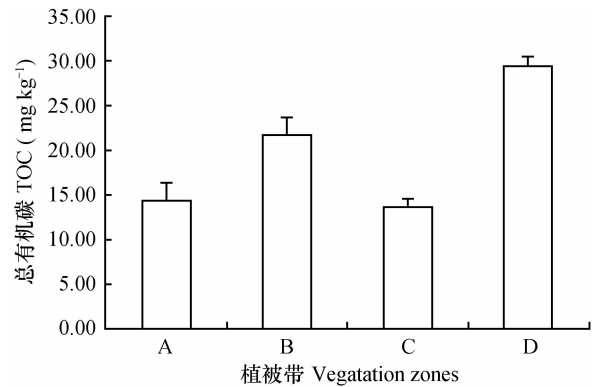
从图5可知,总有机碳与全氮在不同植被群落的分异趋势相同,含量大小排序也为苔草带 < 藜蒿-狗牙根带 < 芦苇-苔草带 < 苔草-藨草带。二者存在极显著相关关系,从表2中也可以看出,全氮和总有机碳相关关系显著,相关系数达到0.962。所以,全氮含量差异最主要的影响因素是总有机碳的含量大小。有机碳含量大小主要取决于有机物质的输入和输出,输入量来源于植物枯落物腐化,输出量包括各种环境条件下对土壤的分解和侵蚀。苔草-藨草带有机碳含量最高,这与藨草发达的根系有关,除根状茎外还有发达的蘖节,地下生物量较高。已有研究发现:群落地下生物量、单位面积物种数与土壤有机质呈显著的正相关关系。由于植物枯落物是主要的有机质来源,所以不同植被群落下植被生态学特征(高度、密度、多度、生物多样性、地表生物量等)均可能是造成有机质变异程度相对

含量沿阶地到湖岸的方向逐渐增大,而铵态氮在不同植被带含量的变化无明显的规律。

从图4中可以看出,四个植被带的表层(0~15 cm)土壤中全磷含量变化不大,比较均一。可能由于土壤中磷的含量与成土母质有很大关系,同时受气候类型和土壤类型的影响,而受植被群落的影响较小。已有研究表明洲滩湿地土壤对磷的储存能力与有机质含量有关,一般有机质含量越高,对磷的吸附能力越强^[22]。磷通常以正磷酸盐的形式存在于土壤中,相当大一部分以有机质结合态存在。从图4中还可以看出,沿阶地到湖岸的方向,土壤中速效钾含量有增大的趋势,但程度较小。土壤中有效磷的含量在不同植被带含量变化不明显。



较大的原因。



A: 藜蒿-狗牙根植被带 *Artemisia selengensis*+*Cynodon dactylon*; B: 芦苇-苔草植被带 *Phragmites communis*+*Carex cinerascens*; C: 苔草植被带 *Carex cinerascens*; D: 苔草-藨草植被带 *Phalaris arundinaceae*+*Carex cinerascens*

图5 不同植被带土壤中总有机碳含量

Fig. 5 Soil organic carbon content in different vegetation zones

2.3 鄱阳湖典型洲滩湿地土壤环境因子的相关性

由表 2 可知,土壤有机碳与全氮、有效磷呈极显著相关关系($R^2 = 0.962, 0.605$)。已有研究表明,湿地土壤氮素主要以有机氮的形式存在于有机质中,土壤全氮含量常常与有机质含量增减趋势一致^[23]。土壤对磷的储存能力与有机质含量有关,一般有机质含量越高,对磷的吸附能力越强。从表 2 中还可以看出,土壤含水量与土壤硝态氮呈显著

负相关关系($R^2 = -0.631$)。丁秋祎等对黄河三角洲湿地不同植被下的土壤养分含量作了分析,发现黄河三角洲湿地有效磷还与含水率显著相关($p < 0.05$)^[24]。李颖和钟章成^[25]的研究表明,土壤水分过高或过低均不利于植物、动物以及土壤微生物生长,因而会影响土壤酶活性,间接影响土壤养分含量的变化。此外,有效磷与全氮呈极显著相关关系($R^2 = 0.604$)。

表 2 各土壤环境因子之间的相关关系

Table 2 Correlations between various soil environmental factors

	全氮 TN	全磷 TP	总有机碳 TOC	有效磷 Available P	铵态氮 NH ₄ ⁺ -N	硝态氮 NO ₃ ⁻ -N	土壤含水量 Soil moisture
全氮 TN	1						
全磷 TP	-0.059	1					
总有机碳 TOC	0.962 **	-0.01	1				
有效磷 Available P	0.604 **	0.318	0.605 **	1			
铵态氮 NH ₄ ⁺ -N	0.209	-0.087	0.115	0.369	1		
硝态氮 NO ₃ ⁻ -N	-0.179	-0.069	-0.263	0.081	0.314	1	
土壤含水量 Soil moisture	-0.061	-0.208	0.095	-0.358 **	-0.428 **	-0.631 **	1

注: * 显著性水平 $p < 0.05$; ** 显著性水平 $p < 0.01$ 。下同 Note: * signifies the level of significant difference at $p < 0.05$; ** at $p < 0.01$. The same below

2.4 鄱阳湖典型洲滩湿地植被分布与土壤环境因子的关系

为了说明湿地植被分布格局与土壤环境因子的关系,对研究区内的 20 个植被样方和土壤环境因子的关系进行了 CCA 排序。群落的 CCA 排序可以结合多个环境因子进行分析,能够很好地反映群落与环境的关系。由于群落样方数目有限,在分析过程中,除去与前四轴没有相关关系的环境变量,以减少环境变量的个数,提高分析的精确度。表 3 给出了 CCA 排序前四轴的特征值、物种-环境相关性

和累计百分比方差,表中我们可以看出,前两个排序轴的特征值根分别为 0.54 与 0.18,物种与环境排序轴前两轴的相关系数分别为 0.94、0.69,呈极显著相关关系。前两轴植物与环境因子之间关系累计百分比方差为 97.30%,大于 40%。如果主要特征向量的方差占总方差的 40% 以上,则排序效果是满意的^[26]。表 4 为植物、环境因子排序轴及各土壤环境因子的相关关系表,从表中可以看出,物种第一轴与环境第一轴、物种第二轴与环境第二轴均呈极显著相关关系($R^2 = 0.94, 0.69$)。

表 3 CCA 排序前四轴的特征值、物种-环境相关性和累计百分比方差

Table 3 Eigenvalues, species-environment correlations and cumulative percentage variance for the first four axes of CCA

排序轴 Ordination axis	1	2	3	4
特征根值 Eigenvalues	0.54	0.18	0.02	0.00
物种与环境排序轴的相关系数 Correlation coefficient of species and the environment	0.94	0.69	0.28	0.06
植物数据累计百分比 Cumulative percentage of plant data	29.30	39.20	40.30	40.30
植物与环境因子关系累计百分比 Cumulative percentage of Plant and environmental Factors	72.70	97.30	99.90	100.00

研究表明,鄱阳湖洲滩湿地土壤含水量、pH 与环境第一轴呈极显著相关关系 ($R^2 = -0.99, 0.76$, 负号表示相关关系为负相关);土壤全磷、全钾的含量与环境第二轴分别呈显著和极显著相关关系 ($R^2 = 0.53, -0.91$),说明环境第一轴与第二轴能很好的代表表中四个土壤因子。土壤含水量、pH 与物种第一轴呈极显著相关关系 ($R^2 = -0.93, 0.71$);土壤全钾含量与物种第二轴呈显著相关关系 ($R^2 = -0.62$)。说明土壤含水量是影响研究区植被分布的最主要因素,土壤 pH、全钾含量是影响湿地植被分布的次要土壤环境因子。大多数三角洲湿地、滨海湿地以及其他盐沼湿地,植被分布主要是受土壤含水量的影响,其他土壤环境因子也均通过土壤含水量来影响植被分布的。赵欣胜等^[11]

利用典范对应分析(CCA)对黄河三角洲潮沟湿地植被分布与土壤环境因子进行了排序,得出土壤含水量和土壤盐分是影响植被分布的最主要因素,各种植被类型的分布与土壤全磷(TP)、全氮(TN)、有机质、 Ca^{2+} 及 Mg^{2+} 含量存在一定的关系。鄱阳湖区湿地物种—环境关系的除趋势典范对应分析(Detrended Canonical Correspondence Analysis, DCCA)表明:湖区湿地土壤环境因子具有明显的生态梯度,典型群落分布格局主要受到土壤含水量、土壤容重等影响。葛刚等^[19]对鄱阳湖洲滩优势种群的分布格局研究中得出湿地植物的克隆繁殖特性和对水分梯度的依赖性种群分布格局形成的主要原因。这与本文得出的分析结论是相一致的。

表 4 CCA 排序轴及各土壤环境因子的相关关系¹⁾

Table 4 Correlations between CCA ordination axes and soil environmental factors

	SPAX1	SPAX2	ENAX1	ENAX2
SPAX1	1			
SPAX2	0	1		
ENAX1	0.94**	0	1	
ENAX2	0	0.69**	0	1
TP	0.24	0.36	0.26	0.53*
SM	-0.93**	-0.05	-0.99**	-0.08
pH	0.71**	0.12	0.76**	0.17
TK	-0.27	-0.62**	-0.28	-0.91**

1) TP:全磷 Total phosphorus; SM:土壤含水量 Soil moisture; TK:全钾 Total potassium

3 结 论

不同植被群落下的全氮含量有明显差异全氮含量为苔草带 < 藜蒿-狗牙根带 < 芦苇-苔草带 < 苔草-藪草带,总有机碳与全氮含量大小在不同植被群落带的分异趋势相同,二者存在极显著相关关系。土壤全磷含量随植被群落不同的变化规律不明显。随植被群落带离湖泊水体距离逐渐减小,土壤中速效钾含量有增大的趋势,但程度较小。土壤有机碳与全氮、有效磷呈极显著相关关系 ($R^2 = 0.962, 0.605$),土壤含水量与土壤硝态氮显著负相关关系 ($R^2 = -0.631$),有效磷与全氮呈极显著相关关系 ($R^2 = 0.604$)。土壤含水量是影响研究区植被分布的最主要因素,土壤 pH、全钾含量也是影响湿地植被分布的重要土壤环境因子。

参 考 文 献

- [1] 田昆,莫剑锋,常凤来,等. 剑湖湿地保护区土壤特性及其环境影响研究. 西南林学院学报,2003,23(4):21—24. Tian K, Mo J F, Chang F L, et al. Environmental impacts on wetland soil characteristics in Jianhu Nature Reserve, West Yunnan Province (In Chinese). Journal of Southwest Forestry College, 2003, 23(4):21—24
- [2] Liu J T, Qiu C Q, Xiao B T. The role of plants in channel-dyke and field irrigation systems for domestic wastewater treatment in an integrated eco-engineering system. Ecological Engineering, 2000, 16:235—241
- [3] Kang S, Kang H, Ko D. Nitrogen removal from a riverine wetland: A field survey and simulation study of *Phragmites japonica*. Ecological Engineering, 2002, 18:467—475
- [4] Picard C R, Fraser L H, Steer D. The interacting effects of temperature and plant community type on nutrient removal in wetland microcosms. Bioresource Technology, 2005, 96:1039—1047
- [5] Niko S, Harri V, Jukka L. Vegetation is the main factor in nutrient

- retention in a constructed wetland buffer. *Plant and Soil*, 2004, 258:179—187
- [6] 尹澄清. 内陆水-陆地交错带的生态功能及其保护与开发前景. *生态学报*, 1995, 15(3):331—335. Yin C Q. The ecological function, protection and utilization of land/inland water ecotones (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 1995, 15(3):331—335
- [7] 高建华, 杨桂山, 欧维新. 互花米草引种对苏北潮滩湿地 TOC、TN 和 TP 分布的影响. *地理研究*, 2007, 26(4):799—808. Gao J H, Yang G S, Ou W X. The influence after introduction of *Spartina alterniflora* on the distribution of TOC, TN and TP in the national Yancheng rare birds nature reserve, Jiangsu Province, China (In Chinese). *Geographical Research*, 2007, 26(4):799—808
- [8] Ji Y H, Zhou G S, Thomas N. Abiotic factors influencing the distribution of vegetation in coastal estuary of the Liaohe Delta, Northeast China. *Estuaries and Coasts*, 2009, 32:937—942
- [9] Juan J Gaitán, Carlos R López, Donaldo E Bran. Vegetation composition and its relationship with the environment in mallines of north Patagonia, Argentina. *Wetlands Ecology and Management*, 2011, 19:121—130
- [10] 王晓龙, 常龙飞, 李恒鹏, 等. 巢湖低丘山区典型植被群落与土壤环境因子特征研究. *土壤*, 2011, 43(6):981—986. Wang X L, Chang L F, Li H P, et al. Study on community characteristics and soil properties of typica vegetations in Chaohu hill region (In Chinese). *Soils*, 2011, 43(6):981—986
- [11] 赵伏胜, 崔保山, 孙涛, 等. 黄河三角洲潮沟湿地植被空间分布对土壤环境的响应. *生态环境学报*, 2010, 19(8):1855—1861. Zhao X S, Cui B S, Sun T, et al. The relationship between the spatial distribution of vegetation and soil environmental factors in the tidal creek areas of the Yellow River Delta (In Chinese). *Ecology and Environmental Sciences*, 2010, 19(8):1855—1861
- [12] 王顺忠, 陈桂琛, 孙菁, 等. 青海湖鸟岛盐碱地植被演替的初步研究. *西北植物学报*, 2003, 23(4):550—553. Wang S Z, Chen G C, Sun J, et al. Primary study on vegetation succession of saline land in the bird island of Qinghai Lake (In Chinese). *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2003, 23(4):550—553
- [13] 赵平, 葛振明, 王天厚, 等. 崇明东滩芦苇的生态特征及其演替过程的分析. *华东师范大学学报:自然科学版*, 2005(3):98—104, 112. Zhao P, Ge Z M, Wang T H, et al. Study on the ecological characters of *Phragmites communis* and its succession in the eastern end of Chongming Island, Shanghai (In Chinese). *Journal of East China Normal University: Natural Science Edition*, 2005(3):98—104, 112
- [14] 胡维, 葛刚, 熊勇, 等. 鄱阳湖南矶山湿地土壤养分的时空分布规律研究. *农业环境科学学报*, 2012, 31(9):1785—1790. Hu W, Ge G, Xiong Y, et al. Temporal and spatial patterns of soil nutrients in the wetland of Nanjishan (Poyang Lake), China (In Chinese). *Journal of Agro-Environment Science*, 2012, 31(9):1785—1790
- [15] 吴琴, 尧波, 幸瑞新, 等. 鄱阳湖典型湿地土壤有机碳分布及影响因子. *生态学杂志*, 2012, 31(2):313—318. Wu Q, Yao B, Xing R X, et al. Distribution pattern of soil organic carbon in Poyang Lake wetland and related affecting factors (In Chinese). *Chinese Journal of Ecology*, 2012, 31(2):313—318
- [16] 弓晓峰, 黄志中, 张静, 等. 鄱阳湖湿地土壤中 Cu Zn Pb Cd 的形态研究. *农业环境科学学报*, 2006, 25(2):388—392. Gong X F, Huang Z Z, Zhang J, et al. Speciation of Cu, Zn, Pb, Cd in the wetland of Poyang Lake (In Chinese). *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(2):388—392
- [17] 葛刚, 徐燕花, 赵磊, 等. 鄱阳湖典型湿地土壤有机质及氮素空间分布特征. *长江流域资源与环境*, 2010, 19(6):619—622. Ge G, Xu Y H, Zhao L, et al. Spatial distribution characteristics of soil organic matter and nitrogen in the Poyang Lake wetland (In Chinese). *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2010, 19(6):619—622
- [18] 陈伏生, 胡小飞, 葛刚. 城市地被植物麦冬叶片氮磷化学计量比和养分再吸收效率. *草业学报*, 2007, 16(4):47—54. Chen F S, Hu X F, Ge G. Leaf N:P stoichiometry and nutrient resorption efficiency of *Ophiopogon japonicus* in Nanchang City (In Chinese). *Acta Prataculturae Sinica*, 2007, 16(4):47—54
- [19] 葛刚, 赵安娜, 钟义勇, 等. 鄱阳湖洲滩优势植物种群的分布格局. *湿地科学*, 2011, 9(1):19—25. Ge G, Zhao A N, Zhong Y Y, et al. Patterns of dominant populations of plants in Islets of Poyang Lake (In Chinese). *Wetland Science*, 2011, 9(1):19—25
- [20] 许加星, 徐力刚, 姜加虎, 等. 鄱阳湖典型洲滩植物群落结构变化及其与土壤养分的关系. *湿地科学*, 2013, 11(2):186—191. Xu J X, Xu L G, Jiang J H, et al. Change of vegetation community structure and the relationship between it and soil nutrients in typical beaches in Poyang Lake Area (In Chinese). *Wetland Science*, 2013, 11(2):186—191
- [21] 肖辉林. 气候变化与土壤有机质的关系. *土壤与环境*, 1999, 8(4):300—304. Xiao H L. Climate change in relation to soil organic matter (In Chinese). *Soil and Environmental Sciences*, 1999, 8(4):300—304
- [22] Venterink H O, Davidsson T E, Kiehl K. Impact of drying and rewetting on N, P and K dynamics in a wetland soil. *Plant and Soil*, 2002, 24(3):119—130
- [23] 吕国红, 周莉, 赵先丽, 等. 芦苇湿地土壤有机碳和全氮含量的垂直分布特征. *应用生态学报*, 2006, 17(3):384—389. Lü G H, Zhou L, Zhao X L, et al. Vertical distribution of soil organic carbon and total nitrogen in reed wetland (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(3):384—389
- [24] 丁秋祜, 白军红, 高海峰, 等. 黄河三角洲湿地不同植被群落下土壤养分含量特征. *农业环境科学学报*, 2009, 28(10):2092—2097. Ding Q Y, Bai J H, Gao H F, et al. Soil nutrient contents in Yellow River Delta wetlands with different plant communities (In Chinese). *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(10):2092—2097
- [25] 李颖, 钟章成. 不同土壤南天竹系统的土壤酶活性分异. *武汉植物学研究*, 2006, 24(2):144—148. Li Y, Zhong Z C. Differentiation of soil enzyme activities in different soil-heavenly bamboo systems (In Chinese). *Journal of Wuhan Botanical Research*, 2006, 24(2):144—148
- [26] 张峰, 张金屯. 我国植被数量分类和排序研究进展. *山西大学学报:自然科学版*, 2000, 23(3):278—282. Zhang F, Zhang J

T. Research progress of numerical classification and ordination of vegetation in China (In Chinese). Journal of Shanxi University:

Natural Science Edition, 2000, 23 (3): 278—282

EFFECTS OF SOIL ENVIRONMENTAL FACTORS ON VEGETATION DISTRIBUTION IN SHOALY WETLANDS TYPICAL TO POYANG LAKE

Dong Lei¹ Xu Ligang^{1†} Xu Jiaying¹ Xu Jing² Wang Xiaolong¹ Zhang Qi¹

(1 State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

(2 School of Environmental Engineering, Nanjing Institute of Technology, Nanjing 211167, China)

Abstract Both abiotic factors and biological factors affect growth of wetland vegetation. of the former hydrological and soil environmental factors are the major ones and hence the hot spots and focal points of the research on wetland eco-hydrological processes. Investigations were carried out of variation of various soil environment factors in content in shoaly wetlands typical to the Poyang Lake under four different kinds of plant communities, and CCA (Canonical correspondence analysis) ordination was performed of the 20 vegetation sampling plots in the research zone, for analysis of major soil environment factors in the shoaly wetlands and their effects of vegetation distribution. Results show that the soils under four kinds of vegetation communities differed sharply in total nitrogen (TN) content, displaying an order of *Carex cinerascen* < *Artemisia selengens* + *Cynodon dactylon* < *Phragmites communis* + *Carex cinerascen* < *Phalaris arundinace* + *Carex cinerascen*, and demonstrated a similar trend in variation of total organic carbon (TOC), for these two were significantly positively related. They did not have any significant trend of variation in soil total phosphorus (TP) content. With the increasing distance of the shoaly wetlands from the water body of the lake, content of readily available potassium (AK) in the soils showed an increasing trend, but not great in extent. Soil total nitrogen and soil available phosphorus (AP) was closely related to soil organic carbon and soil available phosphorus was significantly negatively related to soil moisture (SM) content, while content of available phosphorus was significantly related to total nitrogen. To sum up, soil moisture content is the major factor and soil pH and total potassium (TK) content are also important ones among the soil environment factors affecting distribution of vegetation on wetland soils.

Key words Shoaly wetland; Soil; Environmental factor; Vegetation; Poyang Lake

(责任编辑:陈德明)