鄱阳湖湿地植物群落分布特征

王 华，何 梅
（江西省林业科学院，南昌 330032）

摘　要：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：Jaccard 指数、Sorensen 指数和 Cody 指数均表现为：藜蒿—苔草带＜芦苇—蔗草群落＜苔草—狗牙根群落＜苔草—蔗草群落，随生境梯度呈递减规律，而 Bray curtis 指数则表现为藜蒿—苔草带＞芦苇—蔗草群落＞苔草—狗牙根群落＞苔草—蔗草群落，随生境梯度呈递增规律。土壤总有机碳、全氮、硝态氮、铵态氮呈一致的变化规律，均表现为苔草—蔗草群落＞芦苇—蔗草群落＞苔草—狗牙根群落＞藜蒿—苔草带，而土壤速效磷表现为藜蒿—苔草带＞苔草—狗牙根群落＞芦苇—蔗草群落＞苔草—蔗草群落，不同植被带土壤全磷含量差异均不显著（$p>0.05$）。相关性分析表明，不同植被带 Bray curtis 指数均与土壤养分呈负相关，Jaccard 指数、Sorensen 指数和 Cody 指数均呈正相关，沿河岸带的增加，其相关系数的绝对值逐渐增加，而土壤磷素与湿地多样性指数没有显著的相关性（$p>0.05$）。CCA 排序分析表明：土壤环境因子具有明显的生态梯度，土壤总有机碳是影响研究区植被分布的最主要因素，土壤全氮是影响湿地植被分布的次要土壤环境因子。

关键词：土壤；环境因子；植被；鄱阳湖
中图分类号：Q145　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1005-3409(2018)06-0189-07

Characteristic of Vegetation Distribution in Typical Shoaly Wetlands of Poyang Lake

WANG Hua, HE Mei
(*Jiangxi Academy of Forestry*, *Nanchang* 330032, *China*)

Abstract: Investigations of variation of various soil environment factors in content in typical shoaly wetlands of the Poyang Lake under four different kinds of plant communities were carried out, and canonical correspondence analysis on the 20 vegetation sampling plots in the research zone was performed to analyze the major soil environment factors of the shoaly wetlands and their effects on vegetation distribution. The results showed that Jaccard, Sorensen and Cody index followed the order: *Artemisia*—*Carex*＜*Phragmites*—*Scripus triqueter*＜*Carex*—*Cynodon dactylon*＜*Carex*—*Scripus triqueter* with the habitat gradient, while Bray curtis index showed the opposite change trend with the habitat gradient; soil total organic carbon, soil total nitrogen, soil nitrate nitrogen and soil ammonium nitrogen showed the same change, following the order: *Artemisia*—*Carex*＞*Phragmites*—*Scripus triqueter*＞*Carex*—*Cynodon dactylon*＞*Carex*—*Scripus triqueter*, and soil available phosphorus increased in the order: *Artemisia*—*Carex*＜*Phragmites*—*Scripus triqueter*＜*Carex*—*Cynodon dactylon*＜*Carex*—*Scripus triqueter*, while contents of soil total phosphorus in different plant communites were no significant difference ($p>0.05$). Correlation analysis showed that Bray curtis index was negatively correlated to soil nutrients, and Jaccard, Sorensen and Cody index were positively correlated to soil nutrients. The absolute values of the correlation coefficients increased with the increase of distance from riparian zone. Canonical correspondence analysis showed that soil environmental factors had the obvious ecological gradients, and soil total organic carbon is the major factor and soil total nitrogen is also one of the important soil environment factors affecting distribution of vegetation in wetlands.

Keywords: soil; environmental factor; vegetation; Poyang Lake

收稿日期：2018-01-08　　**修回日期**：2018-02-01
资助项目：江西省科技厅重点研发项目“观赏树种金叶吴茱萸五加的资源收集保存及品种筛选”（20161BBF60116）
第一作者：王华（1979—），男，江西南昌人，硕士，助理研究员，主要从事林业信息化、园林植物开发利用研究。E-mail：Wang_hua1979@163.com

湿地生态系统在自然界中具有其独特性，具有较为独特的物种基因库，其生态结构相对较为复杂[1]，与陆地、海洋共同构成三大生态系统，被称为“地球之肾”，因其处于陆地和水域的交互地带，因此能够起到蓄水的作用，在防涝方面发挥着一定的作用，同时因其能够涵养水源，故能够起到很好的调节气候的作用，可以说湿地在保持生物多样性方面发挥着巨大作用，成为生态系统中的重要一环[1-2]。对于湿地而言，其土壤具有独特性，是水陆交互影响之下的特殊产物，是其他生态系统难以取代的，能够促进整个生态平衡。湿地不仅有丰富的物种，也具有植被覆盖，植被的生长受到生物、非生物因素的影响[3]；水文及土壤等非生物因素对植被生长具有最为直接的作用，也是影响最为显著的因素，自然成为湿地植被研究的重要方向之一；土壤养分作为植被生长的养分来源之一，其结构等特性对于植被分布具有显著作用，成为土壤因子中的重要一环[4]。湿地植被的格局分布与其周围的生存环境息息相关，但同时也深受物种自身特性的制约，更受到人类活动的干预。

大量的研究数据发现，土壤养分与湿地植被的生长发育密切相关，同时湿地植被的分布也影响到土壤中氮、磷等相关营养成分，二者存在相互影响作用，植被能够充分利用土壤的营养元素，同时植被也能够改善土壤结构和特性，使得土壤保持一定的肥力和活力[5]。有学者对芦苇湿地开展了相关研究，经过长期的观测发现芦苇能够将近66%的无机氮加以吸收利用，对于降低土壤氮含量具有重要作用[6]。季节不同，湿地植被的生长发育也不尽相同，自然对营养成分的吸收利用能力和需求也不一样，植被的养分吸收作用能够显著制约土壤营养物积累，只有具有一定的生物多样性，才能够更好地形成营养物的滞留[7]。对白洋淀的研究发现，其水陆交错的生态分布能够促进生物多样性，其狭小沟壑能够显著截留近42%的全氮成分[8]，这说明湿地对全氮的截留率很高。通过海滨湿地的研究发现，湿地的水文状况深受植被的影响[9]，不同的植被能够富集不同的营养元素，多样性的植被能够影响不同的营养成分，对于改善土壤结构及水域状况起到明显的作用。湿地土壤环境因子可以说是湿地植被生长的显著间接体现之一[10]；在王晓龙等[11]看来，土壤养分越均匀说明生物多样性越为明显，生物分布均匀度越好，二者具有显著的正相关。王顺忠等[12]通过研究发现，植物群落的变化深受环境因子的制约，二者表现出一定的同步性，植物与环境相互作用之下能够带来较为显著的群落交替。

鄱阳湖是我国重要的湖泊之一，当属我国最大的内陆淡水湖，其天然的水域结构能够显著调节长江水量[13]，该湖泊具有丰富的水源和多样性的生物群落，不仅具有显著的灌溉和饮用水源功能，同时能够提供养殖及航运等生态效益，其水域具有多样的水生植物和动物，备受国内外关注[14]。近年来对鄱阳湖的研究不断增多，主要集中在其生物群落、环境因子方面的研究，并对其相互作用进行了探讨；胡维等[15]对其南矶山湿地进行了长期的观测研究，分析了不同植被在不同季节和土层深度状况下不同的碳、氮等含量，探究了土壤养分的分布特点，对比了季节变化影响带来的不同。吴琴等[16]对鄱阳湖的湿地土壤碳进行了相关研究，主要侧重于有机碳的分布特点，并对影响因素进行了研究。现有研究中对环境因子造成的植被分布特点缺乏大量的研究，本文将从植被样方和环境因子方面探究鄱阳湖湿地，从而研究环境因子对湿地植被分布的影响机理，为多方面探究鄱阳湖湿地系统提供有益参考。

1 材料与方法

1.1 采样点分布

本试验所选区域为江西省永修县吴城镇，属于鄱阳湖的典型洲滩，地处北纬29°14′，东经116°01′，在其西南方向是赣江流域，该地受到明显的河水冲刷，地势具有一定的坡度，且具有相对较高的海拔，东北方向紧挨鄱阳湖的主湖面，湖边地势相对低缓。因其所处地理位置及湖泊的影响，该地区属于典型的亚热带季风气候，冬夏季节呈现显著差异：夏季多雨高温，平均年气温在17.6℃，高温集中在7月，7月的月均气温一般近30℃，而降雨多发在每年的4—6月，年降雨量达到1 450～1 550 mm；而冬季天气干燥严寒，较冷月出现在1月，该月月均气温在5.1℃。该地区拥有多达2 698 km^2的湿地区域，湖水正常水位下的全湖面积的82%属于该湿地区域，在赣江和鄱阳湖的影响之下，该地区的地势相对单一，以粉砂土为主，湿地植被深受水位的制约，植物群落从湖心到滩地呈现典型的带状分布，主要植被群落有蔗草（*Phalaris arundinace*）、蒿蒿（*Cynodon dactylon*）、苔草（*Carex cinerascen*）、芦苇（*Phragmites communis*）、稗草（*Echinochloa crus-galli*）、狗牙根（*Artemisia selengens*）等（表1）。

1.2 样品采集

本试验时间选择在2016年12月，从与湖岸带向垂直的方向开始设置样带，进而选取了4种植被带，为提高研究的准确性，尽可能降低研究误差，对所选植被带进行了明确的边界划分，从而独立研究各个植被带。然后通过样方调查来进行植被数据的观测及

记录，在各个植被带设置 5 个长、宽均为 1 m 的样方，并及时记录相应的植被种类及其数目；然后对1/4样方进行植株高度的测量，将其平均值作为最终的植株高度，然后将植被的地上部分从地面开始割取，分类集中，在实验室称重之后进行烘干处理，并记录干物质重量。

表 1　典型洲滩湿地植被的优势种及伴生种

序号	植被群落	水岸带距离	优势种	伴生种	物种数
A	藜蒿—苔草带	200	藜蒿、苔草	蕉草、灯芯草、稗草	9.3±3.2
B	芦苇—蕉草群落	150	芦苇、蕉草	苔草、藜蒿、芦荻、下江委陵菜	11.7±3.1
C	苔草—狗牙根群落	100	苔草、狗牙根	水蓼、蕉草、芦苇、水田碎米荠	13.5±2.8
D	苔草—蕉草群落	50	苔草、蕉草	藜蒿、芦苇、刚毛荸荠	15.7±3.4

其次还要进行土壤的取样，以便于分析土壤成分及结构等，土壤取样深度控制在 0—15 cm 以内，通过土壤采样器(Grab sampler)取样 500 g，之后带回实验室，土壤经自然条件风干 20 d 后，去除石块、植物残体等残杂物，磨细，过 100 目筛，以备待用。主要分析其有机碳、全氮、全磷等成分。

接下来还要研究湿地植被的 β 多样性，也就是常说的生境间多样性，该多样性侧重的是在环境梯度不同的情况下，群落具有不同的物种分布，并呈现典型的差异，不同群落之间的共有物种越多，则说明 β 多样性越小。

之后需要对二元属性数据进行相应的测度，具体如下[12]：

$$\text{Cody 指数}=\frac{g(H)+l(H)}{2} \tag{1}$$

$$\text{Jaccard 指数}=\frac{c}{a+b-c} \tag{2}$$

$$\text{Sorensen 指数}=\frac{2c}{a+b} \tag{3}$$

$$\text{Bray curtis 指数}=\frac{2j}{a+b} \tag{4}$$

式中：$g(H)$为随着生境梯度 H 的变化所增加的物种数量；$l(H)$则与之相反，是 H 变化下失去的物种数；a，b 群落的物种数用 a，b 表示；两群落共同拥有的物种数用 c 表示；j 为 c 重要值较小者之和。

本研究数据的相关性通过 SPSS 18.0 开展 Pearson 分析，并利用 Origin 8.0 开展相应的制图分析。

2　结果与分析

2.1　不同生境梯度植物群落 β 多样性变化

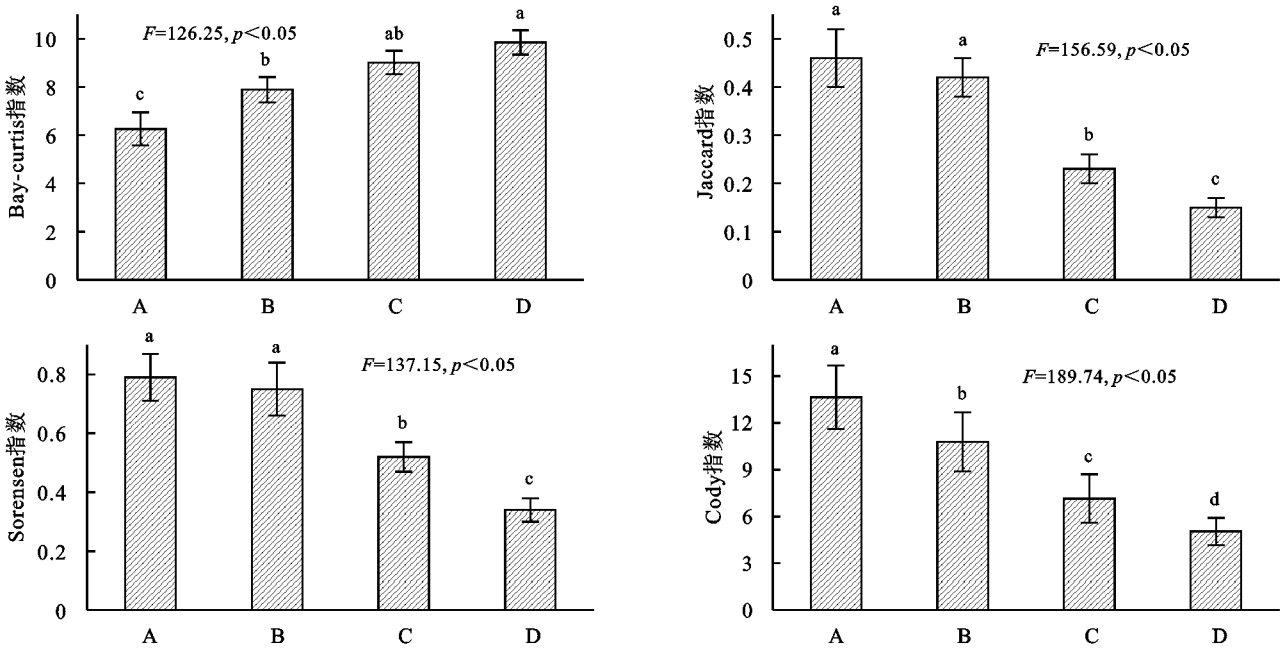
植物群落多样性是湿地生态系统的重要特征，研究任何一种干扰因子对群落结构的影响都需要分析群落多样性。本研究采用 Bray curtis 指数、Jaccard 指数、Sorensen 指数和 Cody 指数计算 β 多样性，结果如图 1 所示。4 条样线 Jaccard 指数、Sorensen 指数和 Cody 指数均表现为：藜蒿—苔草带＜芦苇—蕉草群落＜苔草—狗牙根群落＜苔草—蕉草群落，随生境梯度呈递减规律，而 Bray curtis 指数则表现为藜蒿—苔草带＞芦苇—蕉草群落＞苔草—狗牙根群落＞苔草—蕉草群落，随生境梯度呈递增规律，说明鄱阳湖典型洲滩湿地各生境共有种数少。其中藜蒿—苔草带 Bray curtis 指数显著低于其他样带($p<0.05$)，芦苇—蕉草群落和苔草—狗牙根群落差异不显著($p>0.05$)；藜蒿—苔草带和芦苇—蕉草群落 Jaccard 指数、Sorensen 指数差异均不显著($p>0.05$)，显著高于苔草—狗牙根群落和苔草—蕉草群落($p<0.05$)；不同生境带 Cody 指数差异均显著($p<0.05$)。

2.2　鄱阳湖典型洲滩湿地土壤养分特征

由图 2 可知，土壤总有机碳、全氮、硝态氮、铵态氮呈一致的变化规律，均表现为苔草—蕉草群落＞芦苇—蕉草群落＞苔草—狗牙根群落＞藜蒿—苔草带，而土壤速效磷表现为藜蒿—苔草带＞苔草—狗牙根群落＞芦苇—蕉草群落＞苔草—蕉草群落。对于土壤总有机碳和土壤铵态氮，藜蒿—苔草带和苔草—狗牙根群落差异不显著($p>0.05$)，二者显著低于苔草—蕉草群落和芦苇—蕉草群落($p<0.05$)；对于土壤全氮和硝态氮，藜蒿—苔草带和苔草—狗牙根群落差异不显著($p>0.05$)，芦苇—蕉草群落和苔草—蕉草群落差异不显著($p>0.05$)，藜蒿—苔草带和苔草—狗牙根群落显著高于芦苇—蕉草群落和苔草—蕉草群落($p<0.05$)；对于土壤全磷，不同植被带土壤全磷含量差异均不显著($p>0.05$)；对于土壤有效磷，藜蒿—苔草带和苔草—狗牙根群落差异不显著($p>0.05$)，二者显著高于芦苇—蕉草群落和苔草—蕉草群落($p<0.05$)。

2.3　鄱阳湖典型洲滩湿地土壤环境因子的相关性

对不同植被带土壤养分和植被多样性进行相关性分析可知(表 2)，对于藜蒿—苔草带，土壤总有机碳与 Bray curtis 指数呈显著负相关($p<0.05$)，与 Jaccard 指数和 Cody 指数呈显著正相关($p<0.05$)；土壤全氮与 Jaccard指数呈显著正相关($p<0.05$)；土壤铵态氮与 Sorensen 指数和 Cody 指数呈显著正相关($p<0.05$)；土壤硝态氮与 Bray curtis 指数呈显著负相关($p<0.05$)，与 Sorensen 指数和 Cody 指数呈显著正相关。



注:相同小写字母表示差异不显著($p<0.05$),A为藜蒿—苔草带,B为芦苇—蔗草群落,C为苔草—狗牙根群落,D为苔草—蔗草群落,下同。

图1 不同生境梯度植物群落多样性

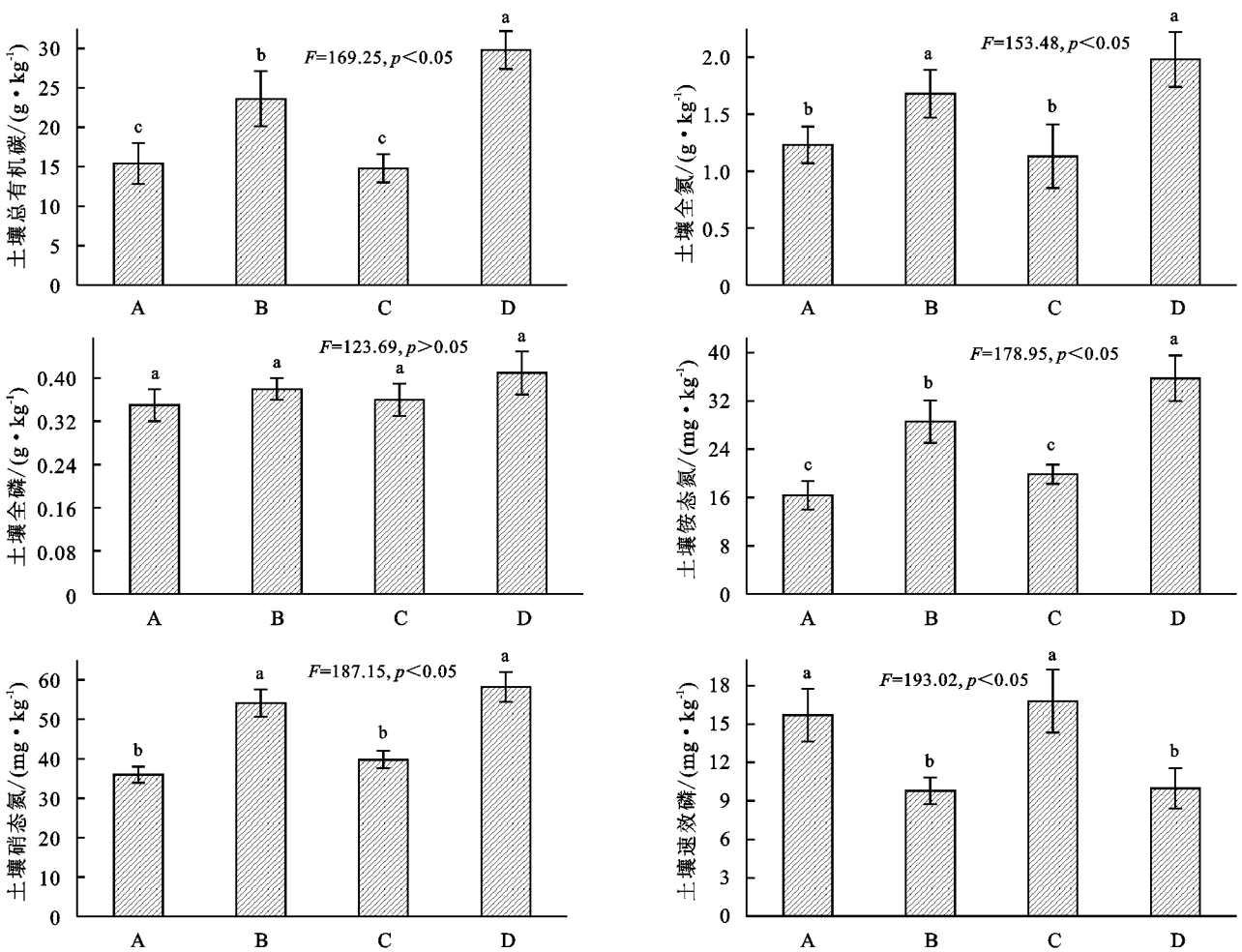


图2 不同生境梯度土壤养分含量

对于芦苇—蔗草群落,土壤总有机碳与Bray curtis指数呈显著负相关($p<0.05$),与Jaccard指数和Cody指数呈显著正相关($p<0.05$);土壤全氮与Bray curtis指数显著负相关($p<0.05$),与Sorensen指数和Cody指数呈显著正相关;土壤全磷与Cody指数呈显著正相关($p<0.05$);土壤铵态氮与Bray

curtis 指数呈显著负相关($p<0.05$)，与 Jaccard 指数和 Cody 指数呈显著正相关($p<0.05$)；土壤硝态氮与 Bray curtis 指数呈极显著负相关($p<0.01$)，与 Cody 指数呈极显著正相关($p<0.01$)，与 Jaccard 指数和 Sorensen 指数呈显著正相关($p<0.05$)；土壤有效磷与 Sorensen 指数呈显著正相关($p<0.05$)。

对于苔草—狗牙根群落，土壤总有机碳与 Bray curtis 指数呈极显著负相关($p<0.01$)，与 Jaccard 指数、Sorensen 指数和 Cody 指数均呈显著的正相关；土壤全氮与 Bray curtis 指数呈极显著负相关($p<0.01$)，与 Jaccard 指数、Sorensen 指数和 Cody 指数均呈显著的正相关；土壤铵态氮与 Bray curtis 指数呈显著负相关($p<0.05$)，与 Jaccard 指数、Sorensen 指数和 Cody 指数均呈显著的正相关；土壤硝态氮与 Bray curtis 指数呈显著负相关($p<0.05$)，与 Jaccard 指数、Sorensen 指数和 Cody 指数均呈显著的正相关。

对于苔草—薰草群落，土壤总有机碳与 Bray curtis 指数呈极显著负相关($p<0.01$)，与 Jaccard 指数、Sorensen指数和 Cody 指数均呈显著的正相关；土壤全氮与 Bray curtis 指数呈极显著负相关($p<0.01$)，与 Jaccard指数、Sorensen 指数和 Cody 指数均呈显著的正相关；土壤铵态氮与 Bray curtis 指数呈显著负相关($p<0.05$)，与 Jaccard 指数、Sorensen 指数和 Cody 指数均呈显著的正相关；土壤硝态氮与 Bray curtis 指数呈显著负相关($p<0.05$)，与 Jaccard 指数、Sorensen指数和 Cody 指数均呈显著的正相关。

表 2　各土壤环境因子之间的相关关系

项目		STOC	STN	STP	SNHN	SNON	SAP
A	Bray curtis 指数	−0.569*	−0.352	0.085	−0.417	−0.589*	−0.235
	Jaccard 指数	0.514*	0.552*	0.123	0.421	0.369	0.069
	Sorensen 指数	0.321	0.321	0.025	0.563*	0.569*	0.231
	Cody 指数	0.556*	0.358	0.325	0.632*	0.725**	0.254
B	Bray curtis 指数	−0.599*	−0.612*	−0.016	−0.569*	−0.752**	−0.156
	Jaccard 指数	0.598*	0.369	0.169	0.621*	0.547*	0.452
	Sorensen 指数	0.325	0.554*	0.158	0.268	0.623*	0.526*
	Cody 指数	0.621*	0.751**	0.504*	0.546*	0.789**	0.321
C	Bray curtis 指数	−0.814**	−0.756**	0.234	−0.691*	−0.501*	0.385
	Jaccard 指数	0.621*	0.685*	0.385	0.536*	0.523*	0.187
	Sorensen 指数	0.752**	0.623*	0.410	0.725**	0.569*	0.546*
	Cody 指数	0.689*	0.763**	0.058	0.654*	0.617*	0.352
D	Bray curtis 指数	−0.897**	−0.853**	0.175	−0.752**	−0.658*	−0.214
	Jaccard 指数	0.684*	0.712**	0.360	0.689*	0.325	0.257
	Sorensen 指数	0.725**	0.687*	0.254	0.755**	0.698*	0.632*
	Cody 指数	0.813**	0.803**	0.379	0.723**	0.756**	0.214

注：$n=60$，** 表示相关性在 0.01 水平上显著(双尾)，* 表示相关性在 0.05 水平上显著(双尾)。

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

为了说明鄱阳湖典型洲滩湿地植被分布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 0.36，0.189，物种与环境排序轴前两轴的相关系数分别为 0.938，0.657，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 95.78%，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。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($R^2=0.956$，0.683)。

表 3　典范对应排序轴特征值及解释比例

排序轴	1	2	3	4
特征根值	0.536	0.189	0.019	0.000
物种与环境排序轴的相关系数	0.938	0.657	0.234	0.017
物种数据累积百分比	28.79	41.36	43.54	43.79
物种与环境因子关系累积百分比	73.26	95.78	98.87	100.00

2.5　鄱阳湖典型洲滩湿地植被典范对应分析

鄱阳湖区湿地物种—环境关系的除趋势典范对

应分析表明：土壤总有机碳和全氮是箭头连线最长且都与物种第1排序轴和环境第1排序轴呈极显著正相关，说明它们在第1排序轴上的位置很大程度上反映了其生态特点，是影响湿地植被分布的主要环境因子。相比较而言，土壤铵态氮和硝态氮箭头连线较短与第1排序轴正相关性较小，对植被分布影响较小，而P元素虽箭头连线较长，但与第1排序轴呈不显著负相关。从图3还可以看出土壤总有机碳和全氮与第1轴方向基本一致，即表明第1轴从左到右，土壤总有机碳和全氮逐渐增大。沿第1排序轴从右到左，将图3各物种垂直投影于环境变量箭头线（或延长线）上，根据物种距离变量箭头的相对位置，可得出沿河岸带距离增加，湿地植被多样性逐渐增加。

表4 物种、环境因子前两个CCA排序轴及环境因子间的相关系数

项目	SPAX1	SPAX2	ENAX1	ENAX2
SPAX1	1.000			
SPAX2	0.000	1.000		
ENAX1	0.956**	0.000	1.000	
ENAX2	0.000	0.683**	0.000	1.000
STOC	0.856**	0.754**	0.625*	0.647*
STN	0.526*	0.421	0.569*	0.654*
STP	−0.123	−0.489*	−0.698*	−0.417
SNHN	0.325	0.598*	0.657*	0.524*
SNON	0.698**	0.521*	0.435	0.578*
SAP	−0.894**	−0.523*	−0.410	−0.543*

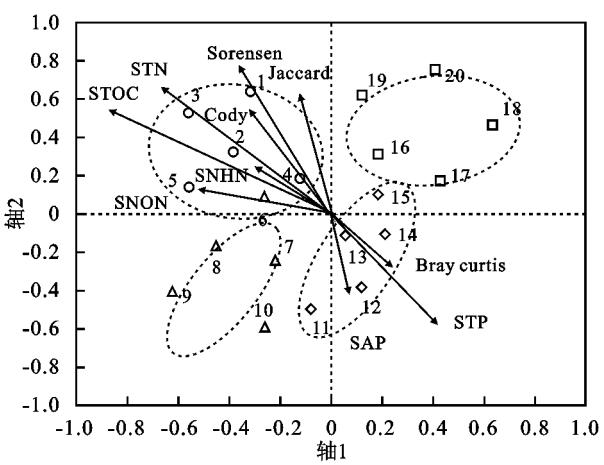


图3 湿地植被与环境因子的CCA二维排序

3 结论

通过研究发现，对于鄱阳湖洲滩湿地而言，其植被随着生境梯度表现出明显的递减变化特征，其Jaccard，Sorensen和Cody指数具有相对一致的变化特点，这些指数最高的均是苔草—蔗草群落，其次是苔草—狗牙根群落，再次是芦苇—蔗草群落，而藜蒿—苔草带具有最低的指数；与之相反的是Bray curtis指数，该指数随着生境梯度表现出较为明显的递增特点，其中群落的该指数高低恰好与Cody等指数截然相反。湿地土壤有机碳、全氮随着植被群落的不同变化而变现出显著的差异，且二者具有明显的相关性，全氮的含量积累受到总有机碳的制约，有机质的积累直接制约着有机碳含量的积累，有机质的来源之一是枯枝落叶及生物残体，而土壤养分的对外供给将消耗有机质[17]。有机碳指标最高的属于苔草—狗牙根带，主要是狗牙根系发达，其根状茎具有强大的碳吸收能力，且其蘖节也较为发达[18]，并拥有较高水平的地下生物量。地下生物量越多、物种越丰富多样，其有机质含量越高，二者具有显著的正相关，枯枝落叶在湿地中成为重要的有机质来源之一，因此植被的生态特性能够明显影响到有机质含量，诸如密度、多度及多样性能够带来显著影响，这也正是有机质表现为从阶地向湖岸递增的原因之一。

氮主要有两个方面的来源：一是枯枝落叶，二是生物固氮的方式，有机质的分解将会消耗氮元素，一部分氮被植物加以吸收利用，另一部分发生硝化等反应后进入大气[19]。不同的植被群落带具有差异较大的全氮分布，其中苔草—蔗草群落的全氮含量最高，其次是芦苇—蔗草群落，而藜蒿—苔草带的全氮含量最低。以往有研究发现，离河岸越近，其湿地氮含量越高，主要是离湖心越近，土壤的含水量越大，被水淹没的时间持续的越长，这样就形成了稀疏的表层，这种情况下自然无法形成高含量的有机质，植被自然无较高能力的固氮水平；而对于水分相对较少的地带，植物生长过程中不需要大量的氮，氮含量自然相对较高，而本试验结论与该研究有所差异，因为对于本试验而言，苔草—狗牙根虽然处于淹水地带，但是其能够较好适应水环境，且凭借发达的根系来维持强大的生命力，因而具有较高含量的有机质；而藜蒿—苔草虽然深受水位影响，但是其本身对氮需求很低，故具有较高水平的全氮。本研究发现，虽然植被带不同，但是全磷含量变化很小，基本保持相对一致，主要是磷含量受到成土母质的影响较大，在气候和土壤类型的共同作用下，植被难以形成较大的制约。以往有的研究表明，湿地土壤磷含量与有机质存在一定的关系，一般情况下有机质含量高的条件下能够形成较强的磷吸附能力[20-21]；磷在土壤中的主要存在形式是正磷酸盐[22]，也有一部分以有机质结合态的形式存在，从图3可以看出，离湖岸越近，速效磷含量越多，但是

变化不大。

通过研究发现，湿地的环境因子并没有明显差异的空间变化，主要是洲滩湿地的辐射范围相对不大。通过相关分析可以看出，对于植被带而言，土壤养分越充足，其 Bray curtis 指数越低，二者存在显著负相关；而土壤养分与 Jaccard，Sorensen，Cody 指数均具有明显正相关，离河岸越近，相关系数越大。而多样性指数与土壤磷并不存在显著相关关系，检验 $p>0.05$。相应的 CCA 分析发现，有机碳与物种第一轴在 0.01 显著性水平下存在相关性，全氮与物种第二轴在 0.05 显著性水平下相关，土壤有机碳能够显著影响植被分布，全氮也能够明显影响植被分布。土壤含水量能够直接影响植被分布，毕竟植被的耐水性不同，其他环境因子在水的影响之下也显著影响植被的分布特点[23]。赵欣胜等[24]学者利用 CCA 分析来研究黄河三角洲地区的潮沟湿地，发现该地区植被受有机碳和氮的影响最大，并对相应的环境因子进行了排序。鄱阳湖湿地地处生态环境敏感地带，具有丰富的植被分布和物种，应当重点保护，充分发挥其在生态平衡中的巨大作用，保持湿地植被多样性发展。

参考文献：

[1] 蒋卫国，李京，李加洪，等. 辽河三角洲湿地生态系统健康评价[J]. 生态学报，2005，25(3)：22-28.

[2] 王伟，陆健健. 三垟湿地生态系统服务功能及其价值[J]. 生态学报，2005，25(3)：404-407.

[3] 庞丙亮，崔丽娟，马牧源，等. 若尔盖高寒湿地生态系统服务价值评价[J]. 湿地科学，2014，12(3)：273-278.

[4] 吕铭志，盛连喜，张立. 中国典型湿地生态系统碳汇功能比较[J]. 湿地科学，2013，11(1)：114-120.

[5] 孙志高，刘景双，王金达，等. 湿地生态系统土壤氮素矿化过程研究动态[J]. 土壤通报，2015，38(1)：157-163.

[6] 崔丽娟，庞丙亮，李伟，等. 扎龙湿地生态系统服务价值评价[J]. 生态学报，2016，36(3)：828-836.

[7] 刘银银，李峰，孙庆业，等. 湿地生态系统土壤微生物研究进展[J]. 应用与环境生物学报，2013，19(3)：547-552.

[8] 王为东，王亮，聂大刚，等. 白洋淀芦苇型水陆交错带水化学动态及其净化功能研究[J]. 生态环境学报，2010，19(3)：537-543.

[9] 毛志刚，王国祥，刘金娥，等. 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.

[10] 肖德荣，田昆，张利权. 滇西北高原纳帕海湿地植物多样性与土壤肥力的关系[J]. 生态学报，2015，28(7)：3116-3124.

[11] 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(1)[J]. 土壤，2011，43(6)：981-986.

[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[J]. 西北植物学報，2003，23(4)：550-553.

[13] 王晓龙，徐立刚，姚鑫，等. 鄱阳湖典型湿地植物群落土壤微生物量特征[J]. 生态学报，2010，30(18)：5033-5042.

[14] 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[J]. 湿地科学，2013，11(2)：186-191.

[15] 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[J]. 农业环境科学学报，2012，31(9)：1785-1790.

[16] 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[J]. 生态学杂志，2012，31(2)：313-318.

[17] 冯振兴，高建华，陈莲，等. 互花米草生物量变化对盐沼沉积物有机碳的影响[J]. 生态学报，2015，35(7)：2038-2047.

[18] 吴海勇，彭晚霞，宋同清，等. 桂西北喀斯特人为干扰区植被自然恢复与土壤养分变化[J]. 水土保持学报，2008，22(4)：143-147.

[19] 白军红，邓伟，张玉霞. 莫莫格湿地土壤氮磷空间分布规律研究[J]. 水土保持学报，2001，15(4)：79-81.

[20] 张全军，于秀波，钱建鑫，等. 鄱阳湖南矶湿地优势植物群落及土壤有机质和营养元素分布特征[J]. 生态学报，2012，32(12)：3656-3669.

[21] 孙万龙，孙志高，孙文广，等. 黄河口潮滩湿地土壤 CH_4 氧化潜力及其对有机物输入的响应[J]. 草业学报，2014，23(1)：104-112.

[22] 郝占庆，郭水良. 长白山北坡草本植物分布与环境关系的典范对应分析[J]. 生态学报，2003，23(10)：2000-2008.

[23] 于君宝，陈小兵，孙志高，等. 黄河三角洲新生滨海湿地土壤营养元素空间分布特征[J]. 环境科学学报，2010，30(4)：855-861.

[24] 赵欣胜，崔保山，杨志峰. 黄河流域典型湿地生态环境需水量研究[J]. 环境科学学报，2005，25(5)：567-572.