

# 洞庭湖湿地典型植物群落生活型构成及其环境影响因子\*

侯志勇<sup>1</sup> 谢永宏<sup>1\*\*</sup> 高大立<sup>3</sup> 李飞云<sup>3</sup> 李旭<sup>1</sup> 曾静<sup>1</sup> 陈心胜<sup>1</sup> 李峰<sup>1</sup>  
邓正苗<sup>1</sup> 潘柏含<sup>1,2</sup> 胡佳宇<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>中国科学院亚热带农业生态研究所, 农业生态过程重点实验室, 洞庭湖湿地生态系统观测研究站 长沙 410125

<sup>2</sup>中国科学院大学 北京 100049

<sup>3</sup>东洞庭湖国家级自然保护区管理局 岳阳 414005

**摘要** 通过分析植物生活型可以了解植物群落结构及其环境的关系. 采用样带法对洞庭湖湿地南荻、苔草、辣蓼和藨草4种植物群落物种多样性、植物生活型结构及环境因子开展调查研究. 结果表明: 洞庭湖湖湿地不同高程下典型植物群落物种多样性指数呈明显的规律性变化, 表现为沿高程变化呈“V”型特征, 即高、低程区高, 中程区低, 物种多样性指数的变化可能与地下水埋深及物种特性相关; 植物群落生活型以一年生植物为主, 其次为地下芽和地面芽植物, 地上芽和高位芽植物分布较少; 群落物种生活型类型及相同生活型植物在群落中的比例随高程的递增而增加; CCA分析表明, 土壤物理性质的变化对植物群落生活型的构成影响极为重要, 其中地下水位和高程的变化对植物生活型分布起着决定性作用. 因此, 地下水位和高程影响群落物种多样性指数, 同时地下水位和高程的变化决定植物生活型的分布. (图4 表4 参36)

**关键词** 洞庭湖; 植物群落; 物种多样性; 生活型; 地下水位

CLC Q948.1

## The life form and environment factors of typical plant communities in the Dongting Lake wetlands\*

HOU Zhiyong<sup>1</sup>, XIE Yonghong<sup>1\*\*</sup>, GAO Dali<sup>3</sup>, LI Feiyun<sup>3</sup>, LI Xu<sup>1</sup>, ZENG Jing<sup>1</sup>, CHEN Xinsheng<sup>1</sup>, LI Feng<sup>1</sup>,  
DENG Zhengmiao<sup>1</sup>, PAN Baihan<sup>1,2</sup> & HU Jiayu<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Key Laboratory of Agro-ecological Processes in Subtropical Region, Chinese Academy of Sciences, Dongting Lake Station for Wetland Ecosystem Research, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China

<sup>2</sup>University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

<sup>3</sup>Administration of East Dongting Lake National Nature Reserve, Yueyang 414005, China

**Abstract** This research investigated the species diversity, life-form structure and environmental factors of 4 main plant communities (*Triarrhena lutarioriparia*, *Carex* sp., *Polygonum hydropiper*, and *Phalaris arundinacea*) in Dongting Lake wetland. The results show that the typical plant community species diversity index varied with the elevation, presenting a “V”- type pattern, characterized by great diversity in both high and low range areas and low diversity in the intermediate zone. The change of plant community diversity index was associated with groundwater depth and species characteristics. The plant community was dominated by Therophytes (Th), followed by Geophytes (G) and Hemicryphytes (H); Chamaephytes (Ch) and Phanerophytes (Ph) were less seen. The proportion of community life form types and the same type of life form in the community increased with the elevation. CCA analysis showed that soil physical properties were an important influencing factor for the composition of plant community life form, and that the groundwater level and elevation both played a decisive role in the plant life form. This study shows that the groundwater depth and elevation affect the community species diversity index, and the changes of the groundwater level and elevation determine the distribution of life-form.

**Keywords** Dongting Lake; plant community; species diversity; life form; groundwater level

收稿日期 Received: 2016-01-05 接受日期 Accepted: 2016-02-23

\*国家自然科学基金项目(41601106)、国家科技支撑计划项目(2014BAC09B03)和国家科技基础性工作专项项目(2013YF111800)资助 Supported by the National Natural Science Foundation of China (41601106), the National Key Technology R & D Program of China (2014BAC09B03) and the National Basic Science and Technology Project (2013YF111800).

\*\*通讯作者 Corresponding author (E-mail: yonghongxie@163.com)

植物生活型是植物对环境适应后在生理、结构、外部形态上的一种具体表现,其形成是不同植物对相同环境条件产生趋同适应的结果<sup>[1-2]</sup>;相同生活型反映的是植物对环境具有相同或者类似的要求或适应能力<sup>[3]</sup>。因此,一个地区的生活型谱可用以反映该地区的气候特征<sup>[4]</sup>。群落的生活型谱可反映各类群落的生境特点,而且在植物群落中,建群的优势植物的生活型往往决定着群落的形态和外貌<sup>[5]</sup>。通过植物生活型和生活型谱分析可以深刻解析植物群落结构及其环境的关系<sup>[6-8]</sup>,且不同生活型对应不同的地理起源,这对研究植物群落的发生、发展以及演替规律都具有重要意义<sup>[9-11]</sup>。

洞庭湖(28°30′-30°20′N, 111°40′-113°10′E)是我国第二大淡水湖泊,位于湖南省北部,长江中游荆江南岸,总面积18 780 km<sup>2</sup>,为长江流域最为典型的吞吐型通江湖泊,不但具有调蓄洪水、净化水质、沟通航运的重要功能,同时还对生物多样性保护和改善生态环境等具有重要价值<sup>[12]</sup>。自然和人为干扰等多重因素的综合影响导致湿地面积不断萎缩,湿地植物群落遭到破坏,湿地生物多样性下降等一系列生态环境问题。本研究在对洞庭湖湿地植被大面积踏查和测定相关植物群落土壤理化性质及地下水埋深的基础上,对洞庭湖湿地群落物种多样性、生活型特征及环境因子进行比较,旨在找出影响湿地植被群落组成的关键环境因子,为研究洞庭湖湿地的发育和演化、湿地功能变化以及湿地的保护和管理提供参考。

## 1 研究区概况

洞庭湖分为东洞庭湖、横岭湖、南洞庭湖和西洞庭湖,承担着调蓄长江和湖南“四水”(湘、资、沅、澧)的重要任务,素有“长江之肾”的美誉。洞庭湖区为冲积平原,平均海拔低于40 m,天然湖泊面积2 625 km<sup>2</sup>。湖区属亚热带季风性气候,春夏冷暖气流交替频繁,夏秋晴热少雨,秋寒偏旱。多年平均气温16.5-17.0℃,1月平均气温3.8-4.7℃,7月平均气温29℃左右,年平均降水量1 250-1 450 mm,无霜期260-280 d,年平均湿度80%。

洞庭湖湿地是东北亚冬候鸟重要栖息地,生物多样性极为丰富,有高等植物66科182属265种,以被子植物为主,有59科174属256种,分别占洞庭湖湿地植被科、属、种的89%、96%和97%;蕨类植物其次,有7科8属9种<sup>[12]</sup>。洞庭湖湿地以草本植物为主,占湿地植被种的97.9%,木本植物仅有杨树(*Populus* sp.)、川三蕊柳(*Salix triandroides*)、旱柳(*Salix matsudana*)、无患子(*Sapindus mukorossi*)、重阳木(*Bischofia polycarpa*)等少数几种。洞庭湖湖岸平缓,由岸边向湖心逐渐倾斜,植物随湖水深度形成不同的植物群落。洞庭湖湿地主要植被类型为水生植被、草甸、沼泽植被和常绿色阔叶林植被;在空间格局上呈现明显的带状分布,由水及陆总趋势为沉水植物群落→藨草(*Phalaris arundinacea*)群落→辣蓼(*Polygonum hydropiper*)+苔草(*Carex* sp.)群落→南荻(*Triarrhena lutarioriparia*)或芦苇(*Phragmites australis*)群落→美洲黑杨(*Populus nigra*)或旱柳群落<sup>[13-14]</sup>。在东洞庭湖高程23 m以下基本为非植被区,藨草、辣蓼、苔草等群落主要分布在23-27 m高程

区,南荻大部分生长在27 m高程以上洲滩,防护林生长在30 m高程以上<sup>[15-16]</sup>。

## 2 研究方法

### 2.1 调查统计

于2012年1-5月和10-12月采用样带法(样方面积1 m × 1 m,图1)对洞庭湖湿地进行调查。在每个调查区分不同水位梯度、不同植被类型、不同季节。所有植物均采集标本鉴定<sup>[17-18]</sup>,并记录样方内植物的名称、密度、盖度、高度和生物量等指标,随后在样方内挖取一个1 m × 1 m土壤剖面坑,直到见到地下水。每个剖面分0-20 cm、20-40 cm、40-60 cm取5环刀的土样,用封口袋装好带回实验室测试分析;同时用ORP仪(中国科学院南京土壤研究所研制)现场测定每层的氧化还原电位。剖面坑挖取1 h后记录每个



图1 样带分布图。

Fig. 1 Map of sampling sites distribution.

表1 样带典型群落组成

Table 1 The typical plant communities in the sampling sites

样带 No.	样带位置 Sample site	主要植被类型 Main vegetation types
1	六门闸 Liumenza	TL, CS, PH, PA
2	建新农场 Jianxin farm	PH, CS, PA
3	君山 Junshan	TL, CS, PH, PA
4	团洲 Tuanzhou	TL, CS, PH, PA
5	一门闸 Yimenza	TL, CS, PH, PA
6	麻塘 Matang	CS, PH, PA
7	北洲子 Beizhouzi	TL, CS, PH, PA
8	四门闸 Simenza	CS, PH, PA
9	澧湖 Lu Lake	TL, CS, PH, PA
10	鹿角 Lujiao	CS, PH, PA
11	茶盘洲 Chapang Chau	TL, CS, PH, PA
12	中洲 Zhong Chau	TL, CS, PH, PA
13	屈原农场 Qu Yuan Farm	TL, CS, PH, PA
14	刘家湖 Liu Jia Lake	TL, CS, PH, PA
15	黄土包 Huangtubao	TL, CS, PA
16	青山垸 Qinshanyuan	TL, CS, PA
17	目平湖 Muping Lake	TL, CS, PA
18	八南湖 Banan Lake	TL, CS, PA
19	西半山洲 Xibanshan Chau	TL, CS, PA

TL: 南荻; CS: 苔草; PH: 辣蓼; PA: 藨草。

TL: *Triarrhena lutarioriparia*; CS: *Carex* sp.; PH: *Polygonum hydropiper*; PA: *Phalaris arundinacea*.

样点的地下水位和GPS位点。本次调查共有19个样带68个样地,其中藨草群落19个,辣蓼群落15个,苔草群落19个,南荻群落15个,取得土样204份。根据Raunkiaer的生活型系统<sup>[19-22]</sup>,将调查到的洞庭湖湿地植物划分为高位芽植物(Phanerophytes,简写成Ph)、地上芽植物(Chamaephytes,简写成Ch)、地面芽植物(Hemicryphytes,简写成H)、地下芽植物(Geophytes,简写成G)和一年生植物(Therophytes,简写成Th)5类,并对群落中各物种的生活型进行统计,各生活型的数量及比率等将作为群落生活型结构分析的数量指标。

## 2.2 土壤理化性质分析

土壤pH采用电位法测定,水土比为1:5;土壤电导率采用电导率仪测定,土样水浸,水土比为5:1;土壤容重测定通过将采回来的环刀土带回实验室烘干称量计算;土壤含水量用质量法测定;土壤总氮含量采用半微量开式法,流动注射分析仪测定制备液中氮含量;土壤总磷和总钾采用氢氧化钠碱熔法,制备好的分析液分别使用紫外分光光度计和原子吸收仪测定磷、钾含量;土壤有机质含量采用重铬酸钾氧化-外加热法测定;土壤氨氮和硝氮用1 mol/L的氯化钾浸提,流动注射仪测定;土壤有效磷用0.5 mol/L的碳酸氢钠浸提,钼锑抗比色法测定;土壤速效钾用1 mol/L的乙酸铵浸提,原子吸收分光光度计测定;土壤含水量、氨氮、硝氮的测定用鲜样,有效磷、速效钾、电导率、pH值的测定用10目的土样,其他指标用60目的土样,实验用超纯水,通过中央纯水系统制备<sup>[23]</sup>。

## 2.3 数据处理和计算

数据处理采用统计软件采用SPSS10.0、Canoco for windows 4.5和Excel 2003统计软件进行数据处理,采用Duncan检验进行多重比较,显著度水平为0.05。选用物种多样性指数Simpson指数( $D$ )和物种丰富度指数Menhinick指数( $R$ )分析群落多样性。

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2$$

式中, $P_i$ 是样方中每一个物种的个体数占样方内所有物种个体数总和的比例, $S$ 是样方内物种数目。

$$R = \frac{S}{\sqrt{N}}$$

式中, $N$ 表示样方中全部物种的个体总数目, $S$ 为样方中物种数。

典范对应分析(Canonical correspondence analysis, CCA)是一种排序方法,将对应分析与多元回归分析相结合,每一步计算均与环境因子进行回归。其基本思路是在对应分析的迭代过程中,每次得到的样方排序坐标值均与环境因子进行多元线性回归。CCA要求两个数据矩阵,一个是植被数据矩阵,一个是环境数据矩阵。首先计算出一组样方排序值和种类排序值,然后将样方排序值与环境因子用回归分析方法结合起来,这样得到的样方排序值即反映了样方种类组成及生态重要值对群落的作用,同时也反映了环境因子的影响,再用样方排序值加权平均求种类排序值,使种类排序坐标值与环境因子相联系。环境因子一般用箭头表示,箭头所处的象限表示环境因子与排序轴之间的正负相关性,箭头连线的长度代表着某个环境因子与研究对象分布相关程度的大小,

连线越长,代表这个环境因子对研究对象的分布影响越大。箭头连线与排序轴的夹角代表这某个环境因子与排序轴的相关性大小,夹角越小,相关性越高<sup>[24-26]</sup>。

## 3 结果与分析

### 3.1 植物群落物种多样性分析

群落的异质性是多样性的调节机理之一,洞庭湖湿地不同群落类型的物种多样性也不同。本研究结果(图2)表明,分布于不同高程的4种群落物种多样性指数存在显著差异,群落间Simpson指数表现为南荻(0.45) > 藨草(0.37) > 水蓼(0.34) > 苔草(0.2);各群落Menhinick指数和Simpson指数的变化规律基本一致,表现为南荻(0.57) > 藨草(0.43) > 水蓼(0.31) > 苔草(0.17)。可见,植物群落物种多样性指数沿高程增加呈“V”型变化,即高、低程区高,中程区低。

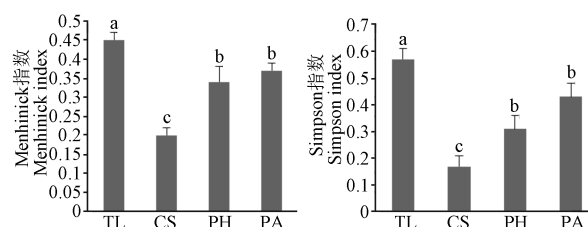


图2 4种群落物种多样性指数。TL: 南荻; CS: 苔草; PH: 辣蓼; PA: 藨草。  
Fig. 2 The species diversity of 4 plant communities. TL: *Triarrhena lutarioriparia*; CS: *Carex* sp., PH: *Polygonum hydropiper*; PA: *Phalaris arundinacea*.

有研究表明土壤环境和水文梯度是决定植物分布的关键因子,而高程与环境土壤含水量及水文梯度密切相关<sup>[16]</sup>。地下水位的变化体现了水位和高程的变化,同时地下水位与植物物种分布密切相关,它反映了区域植被的空间分布格局<sup>[27]</sup>。洞庭湖洲滩低程区地下水位高淹水时间长,每年的5-10月为洪水期,只有能适宜这种水文情势的植物才能在该区域生存,而南荻群落分布于高程区,每年淹水时间短,且其生长速度快植株高有利于躲避洪水的长期淹没。因此,海拔高、淹水时间较短的南荻群落中分布较多,物种数也较多,而在淹水时间较长的藨草、苔草、辣蓼群落中分布较少。同时,物种的一些生物学特性(如株高)对群落的物种多样性影响也比较明显,4种群落类型中荻植株最高,为3.5-5.4 m,藨草次之,为1.0-1.2 m,辣蓼0.5-1.4 m,苔草0.4-0.6 m。南荻、辣蓼、藨草等物种植株较高,与苔草相比其相对密度较低,从而为其它物种的生长和发育提供了条件,但苔草是密集型克隆植物,其大量的地下茎繁殖对促进种群的快速增长、分布面积的扩大等都十分有利,从而占有大量的有利资源,使其它物种定居的机率减小<sup>[28-29]</sup>。物种多样性指数的变化可能与地下水埋深和物种特性相关。地下水埋深的变化反映了水位和高程的变化,为躲避洪水的淹没,植物总分布在对自身最有利的区域<sup>[29-30]</sup>。在洞庭湖湿地苔草每年有2个生长期,每年10月洪水后和次年4月洪水前苔草地下密集休眠芽快速萌发形成优势群落。

### 3.2 植物群落生活型谱

生活型谱(表3)结果表明,不同植物群落中一年生植物

最多,南荻群落中占总种数的40.9%,苔草群落中占54.2%,辣蓼群落中占82.4%,藨草群落中占83.3%,主要物种为碎米荠(*Cardamine hirsuta*)、水田碎米荠(*Cardamine lyrata*)、稻槎菜(*Lapsanastrum apogonoides*)、猪殃殃(*Galium aparine* var. *tenerum*)、通泉草(*Mazus japonicus*)、长刺酸模(*Rumex trisetifer*)等(表2);其次为地下芽植物,苔草群落为37.5%,南荻群落为22.7%,辣蓼群落为17.6%,藨草群落为16.7%,主要物种为短尖苔草(*Carex brevicuspis*)、异鳞苔草(*Carex heterolepis*)、辣蓼、具刚毛荸荠(*Heleocharis vallecuculosa* f. *setosa*)、藨草、南荻、芦苇(*Phragmites australis*)等;再次为地面芽植物,南荻群落为20.5%,苔草群落为8.3%,如朝天委陵菜(*Potentilla supina*)、乳浆大戟(*Euphorbia esula*)、扬子毛茛(*Ranunculus sieboldii*)等;地上芽和高位芽植物

表2 洞庭湖湿地典型群落物种组成

Table 2 Species composition of typical plant communities in Dongting Lake wetlands

群落类型 Community type	主要伴生种 Main companion species
藨草 <i>Phalaris arundinacea</i>	辣蓼 <i>Polygonum flaccidum</i>
	长刺酸模 <i>Rumex trisetifer</i>
	碎米荠 <i>Cardamine hirsute</i>
	水田碎米荠 <i>Cardamine lyrata</i>
	野胡萝卜 <i>Daucus carota</i> 紫云英 <i>Astragalus sinicus</i>
辣蓼 <i>Polygonum flaccidum</i> Meism	猪殃殃 <i>Galium aparine</i> var. <i>tenerum</i>
	苔草 <i>Carex</i> sp.
	碎米荠 <i>Cardamine hirsute</i>
	水田碎米荠 <i>Cardamine lyrata</i>
	稻槎菜 <i>Lapsanastrum apogonoides</i> 通泉草 <i>Mazus japonicus</i>
苔草 <i>Carex</i> sp.	水田碎米荠 <i>Cardamine lyrata</i>
	猪殃殃 <i>Galium aparine</i> var. <i>tenerum</i>
	繁缕 <i>Stellaria media</i>
	稻槎菜 <i>Lapsanastrum apogonoides</i>
南荻 <i>Triarrhena lutarioriparia</i>	附地菜 <i>Trigonotis peduncularis</i>
	鸡屎藤 <i>Paederia scandens</i>
	芦苇 <i>Phragmites australis</i>
	通泉草 <i>Mazus japonicus</i>
	猪殃殃 <i>Galium aparine</i> var. <i>tenerum</i>
	辣蓼 <i>Polygonum flaccidum</i> Meism
	荔枝草 <i>Herba Salviae Plbeiae</i>
	萎蒿 <i>Artemisia selengensis</i>
	泥胡菜 <i>Hemistepta lyrata</i> Bunge.
	水芹 <i>Oenanthe javanica</i>
	碎米荠 <i>Cardamine hirsuta</i>
	苔草 <i>Carex</i> sp.
	野胡萝卜 <i>Daucus carota</i>
泽漆 <i>Euphorbia helioscopia</i>	
稻槎菜 <i>Lapsanastrum apogonoides</i>	

表3 洞庭湖湿地不同群落类型植物生活型谱

Table 3 Spectrum of plant life form in the community of the Dongting Lake wetlands

群落类型 Community type	分类单位数 Number of taxa	植物生活型谱 Spectrum of plant life form				
		高位芽 Phanerophytes	地上芽 Chamaephytes	地面芽 Hemicriphytes	地下芽 Geophytes	一年生植物 Therophytes
南荻 <i>Triarrhena lutarioriparia</i>	N	4	3	9	10	18
	P/%	9.1	6.8	20.5	22.7	40.9
苔草 <i>Carex</i> sp.	N	0	0	2	9	13
	P/%	0	0	8.3	37.5	54.2
辣蓼 <i>Polygonum flaccidum</i> Meism	N	0	0	0	3	14
	P/%	0	0	0	17.6	82.4
藨草 <i>Phalaris arundinacea</i>	N	0	0	0	2	10
	P/%	0	0	0	16.7	83.3

较少,只有南荻群落有分布,分别为6.8%和9.1%,地上芽植物主要为藤本植物,如鸡矢藤(*Paederia scandens*)、华萝藤(*Metaplexis hemsleyana*)等,高位芽植物主要为乔木或灌木,如鸡婆柳(*Salix triandroides*)、桑树(*Morus alba*)、枸杞(*Lycium chinense*)等。可见,洞庭湖湿地植被的物种组成以草本植物为主,木本类植物较少;生活型是以一年生植物为主,其次为地下芽和地面芽植物,高位芽和地上芽植物分布较少。

从4个群落植物的生活型构成分析可知,随着高程的递增,群落中的物种生活型类型逐渐增加,分布于低程区洲滩的群落类型如藨草和辣蓼群落只有一年生植物和地下芽植物,从中程区的苔草群落开始出现地面芽植物,高程区的南荻群落开始出现地上芽和高位芽植物(表1)。一般而言,湿地植物在空间上沿距水岸的远近和距水面的高低呈现纵向梯度的带状分布格局<sup>[31-32]</sup>。海拔是影响湿地植物分布的主要环境因子之一<sup>[33-34]</sup>,如在美国威斯康星州的洪泛平原,海拔是控制该森林湿地草本植物群落组成的最主要的环境因素<sup>[35]</sup>。洞庭湖湿地水位呈周期性变化,湿地植物通过长期对环境的适应形成不同类型的生态型,一年生草本植物通过改变生命周期的长度来适应洪水的威胁,如碎米荠、稻槎菜等一年生植物都会在洪水来前完成生活史,以种子的形式躲避洪水的威胁并传播,因此在不同高程都有分布;低程区淹水时间相对较长在该区域分布的多年生植物主要为湿生或水生植物,如藨草、辣蓼等,这些植物通过形成地下茎和克隆繁殖等策略来适应长时间淹水环境;而高程区淹水时间短,洲滩出露时间长适宜于更多生态型植物的分布如旱生和中生植物<sup>[28-30]</sup>,因此适宜于地上芽和高位芽植物分布。

随着高程的递增,相同生活型在不同群落的比例呈递增趋势,苔草群落一年生植物比例低于辣蓼群落,这可能和群落特征及优势种的生物学特征有密切的相关性,苔草群落的建群种苔草主要通过无性克隆繁殖,群落优势种密度大,条形叶下垂,易形成郁闭空间不利于其他物种生存,群落生物多样性低(表1)。高程、淹水时长及群落建群种生物学特征等因素是影响湿地植物生活型谱的重要因子,随着高程的递增和淹水时长减少植物群落生活型类型增加,群落生活型谱构成更丰富。

### 3.3 植物群落生活型与环境因子的相关性

在季节性湿地,地下水位是决定植物群落分布的关键因子,以塔里木河流域为例,地下水埋深对天然植被的组成、分布及长势有直接关系<sup>[36]</sup>。在洞庭湖湿地不同植被分布区的

地下水埋深有显著差异,其中南荻群落最高为176 cm,苔草和辣蓼次之,藨草最低为31 cm(图3).地下水埋深的不同反映了不同植被对地下水位的适应性差异,而地下水位的变化也影响着植被的分布,控制着植物群落的生活型谱.

对洞庭湖68个植被样方环境因子与其植物生活型进行CCA分析,结果(图4)表明,不同植物生活型在CCA排序图上分异显著,占据着不同的生态位空间.排序图前两个排序轴的特征值分别为0.562、0.189,第1轴的贡献率为68.1%,两轴的累积贡献率为92.7%,且环境因子轴与植物生活型类型排序轴的相关系数分别为0.857和0.774,能够较好地反映典型植物群落生活型组成变化与环境因子的对应关系.

由环境因子与植物生活型组成第一和第二轴的相关系数(表4)可以看出,不同植物生活型的界限明显,沿第一排序轴从左向右表示生活型从一年生植物到高位芽植物.第一轴与土壤pH值呈正相关,相关系数为0.469,与总氮(TN)呈负相关,相关系数为-0.426,说明土壤理化性质是导致植物发生一年生、地下芽、地面芽、地上芽和高位芽不同生活型分化的主要影响因素.第二轴与地下水埋深(WL)呈负相关,相关系数为-0.516,各植物群落所在环境的地下水埋深沿

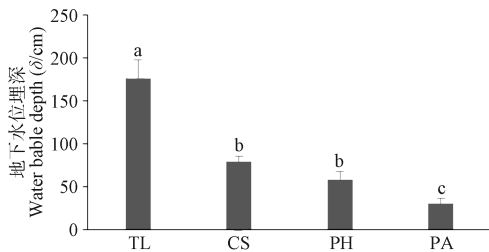


图3 4种群落地下水埋深. TL: 南荻; CS: 苔草; PH: 辣蓼; PA: 藨草.

Fig. 3 The water table depth of 4 plant communities. TL: *Triarrhena lutarioriparia*; CS: *Carex* sp.; PH: *Polygonum hydropiper*; PA: *Phalaris arundinacea*.

表4 CCA排序轴与环境因子间的相关系数及特征值

Table 4 Correlation coefficient and characteristic value of the CCA axes and environmental factors

环境因子 Environmental factor	SPEC AX1	SPEC AX2
总钾 TK	-0.3008	0.3433*
有效钾 AK	-0.1321	0.2477
有机质 OM	-0.2735	0.2872
总氮 TN	-0.4259*	0.3083
铵态氮 NH <sub>4</sub> -N	0.0983	0.3112*
硝态氮 NO <sub>3</sub> -N	0.2258	-0.1015
总磷 TP	0.0251	0.2855
有效磷 AP	-0.2587	-0.037
电导率 EC	0.0453	0.2933
pH	0.4686**	0.0209
含水量 WC	-0.137	0.2855
容重 BSW	-0.0474	-0.2905
氧化还原电位 Eh	0.1095	-0.2731
地下水埋深 WL	0.3821	-0.5162*
特征值 Eigenvalues	0.237	0.086
种-环境间相关系数 Species-environment correlations	0.857**	0.774**
种-环境累积贡献率 Species-environment accumulating contribution rate	68.1%	92.7%

\*\*  $P < 0.01$ ; \*  $P < 0.05$ .

第二轴从下而上逐渐减小,植物生活型从下而上从高位芽植物到地面芽植物.总钾及铵态氮与第二轴也呈显著关系,其相关系数分别为0.343和0.311.事实上,地下水位的变化影响着土壤理化性质,如在洞庭湖湿地土壤含水量、氧化还原电位及电导率等在不同高程植被间存在显著差异,土壤含水量及电导率随地下水位升高而增加,氧化还原电位则降低<sup>[27]</sup>.可见,土壤物理性质的变化对植物生活型分化及分布的影响极为重要,而这些性质的变化,也主要是受地下水埋深的影响.地下水埋深所反映的地下水水位和高程的变化是所有环境因子中对植物生活型分布起决定性作用的环境因子.

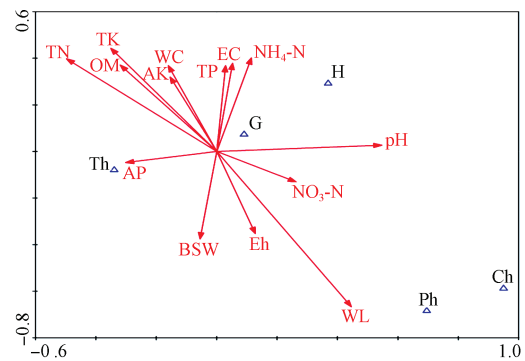


图4 植物生活型与环境因子的CCA排序. TN: 总氮; TK: 总钾; AK: 有效钾; OM: 有机质; WC: 含水量; TP: 总磷; AP: 有效磷; EC: 电导率; BSW: 容重; Eh: 氧化还原电位; WL: 地下水埋深. Th: 一年生植物; G: 地下芽植物; H: 地面芽植物; Ch: 地上芽植物; Ph: 高位芽植物.

Fig. 4 CCA ordination of plant life form. Th: Therophytes; G: Geophytes; H: Hemicriphytes; Ch: Chamaephytes; Ph: Phanerophytes.

## 4 结论

在洞庭湖湿地,不同高程下典型植物群落物种多样性指数呈明显的“V”型变化,表现为高、低程区高,中程区低.土壤环境和水文梯度是决定植物分布的关键因子,而高程与环境土壤含水量及水文梯度密切相关,地下水位的变化体现了水位和高程的变化,地下水位与植物物种分布密切相关,反映了区域植被的空间分布格局.同时,物种的一些生物学特性及人类经济活动对群落的物种多样性指数有一定的影响,如株高、生育期、密度、收割等因素对群落的物种多样性影响也比较明显,群落建群种植株高大,有利于阳光进入群落内部,适合更多群落底层物种生存;在洞庭湖苔草有2个生育期,为躲避洪水的胁迫,苔草在洪水前期完成生活史地下芽休眠,洪水后地下迅速萌发,形成密集优势群落,使土壤种子库中的种子因光照不足而无法萌发,减少其他物种的定居机率;南荻作为经济植物,每年11月都会被收割,洲滩地表裸露有利于土壤种子库萌发.由此可见,物种多样性指数的变化可能与地下水位、物种特性及人类经济活动相关.

洞庭湖湿地植被生活型以一年生植物为主,其次为地下芽和地面芽植物,高位芽和地上芽植物分布最少.随着高程的递增,分布于不同水位高程植物群落其物种生活型类型及相同生活型植物在不同群落的比例逐渐增加.在低程区只有一年生植物和地下芽植物分布,高程区适宜更多类型的植物分布,生活型类型随高程的递增而增加.洞庭湖水位呈周期

性变化, 表现为“涨水为湖, 落水为洲”的特征, 每年的10月至次年的5月为枯水期滩洲出露。湿地植物长期以来对湿地环境产生适应, 一年生植物通过改变生命周期的长度来适应洪水的威胁, 在洪水来前完成生活史, 种子进入土壤种子库以躲避洪水的干扰, 因此, 在洞庭湖湿地一年生植物种类最多, 分布范围广。研究表明洞庭湖湿地植物通气组织和高程有良好的相关性, 随着高程的递增适应分布的植被类型增加, 植物生活型类型和相同生活型比例随之增加。

土壤物理性质的变化对植物群落生活型的构成影响极为重要, 而地下水埋深所反映的地下水位和高程的变化是所有因子中对植物生活型分布起决定性作用的环境因子, 地下水埋深的不同反映了不同植被对水位的一种适应, 同时水位的变化也影响着植被的分布, 控制着植物群落的生活型谱。

### 参考文献 [References]

- Mueller-Dubois D, Ellenberg H. Aims and Methods of Vegetation [M]. New York: John Wiley & Sons, 1974: 139-147
- Whittaker RH. Communities and Ecosystems [M]. New York: Macmillan Company, 1970: 6-17
- 高贤明, 陈灵芝. 植物生活型分类系统的修订及中国暖温带森林植物生活型谱分析[J]. 植物学报, 1998, **40** (6): 553-559 [Gao XM, Chen LZ. The revision of plant life-form system and an analysis of the life-form spectrum of forest plants in warm temperate zone of China [J]. *Acta Bot Sin*, 1998, **40** (6): 553-559]
- Walter H. Vegetation of the Earth and Ecological Systems of the Geobiosphere [M]. 2nd ed. New York: Springer Verlag, 1979: 166-169
- 郭柯, 郑度, 李渤生. 喀喇昆仑山-昆仑山地区植物的生活型组成[J]. 植物生态学报, 1998, **22** (1): 51-59 [Guo K, Zhen D, Li BS. The characteristics of plant life-form spectra in the Karakorum Kunlun Mountains [J]. *Acta Phytoecol Sin*, 1998, **22** (1): 51-59]
- Sarmiento L, Llambi LD, Escalona A, Marquez N. Vegetation patterns, regeneration rates and divergence in an old-field succession of the high tropical Andes [J]. *Plant Ecol*, 2003, **166**: 145-156
- 颜忠诚. 生态型与生活型[J]. 生物学通报, 2001, **36** (5): 4-5 [Yan ZC. Ecoform and Life-form [J]. *Bull Biol*, 2001, **36** (5): 4-5]
- 张木明, 陈北光, 苏志尧. 粤北小红栲林的群落特征[J]. 华南农业大学学报, 2001, **22** (3): 9-12 [Zhang MM, Chen BG, Su ZY. Phytocoenological characters of the *Castanopsis carlesii* forest in North Guangdong [J]. *J S China Agric Univ*, 2001, **22** (3): 9-12]
- 雷泞菲, 苏智先, 宋会兴, 张焱. 缙云山常绿阔叶林不同演替阶段植物生活型谱比较研究[J]. 应用生态学报, 2002, **13** (3): 267-270 [Lei LF, Su ZX, Song HX, Zhang Y. A comparative study on life-form spectra of evergreen broad-leaved forest in different successions in Jinyun Mountain [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2002, **13** (3): 267-270]
- 白云鹏, 韩大勇, 董艳红, 赵玉晶, 李建东. 科尔沁沙地刺榆群落的结构特征[J]. 应用生态学报, 2008, **19** (2): 257-260 [Bai YP, Hang DY, Dong YH, Zhao YJ, Li JD. Structural characteristics of *Hemiptelea davidii* community on Kerqin sandy land [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2008, **19** (2): 257-260]
- 侯志勇, 谢永宏, 赵启鸿, 黄梅. 洞庭湖湿地植物资源现状及保护与可持续利用对策[J]. 农业现代化研究, 2013, **34** (2): 181-185 [Hou ZY, Xie YH, Zhao QH, Huang M. Status, utilization and conservation of plant resources in Dongting Lake Wetlands [J]. *Res Agric Mod*, 2013, **34** (2): 181-185]
- 谢永宏, 陈心胜. 三峡工程对洞庭湖湿地植被演替的影响[J]. 农业现代化研究, 2008, **29** (6): 684-687 [Xie YH, Chen XS. Effect of Three-Gorge Project on succession of wetland vegetation in Dongting Lake [J]. *Res Agric Mod*, 2008, **29** (6): 686-687]
- 彭佩钦. 洞庭湖湿地形成演替与湿地生态研究建议[J]. 科学新闻杂志, 2007 (17): 7-8 [Peng PQ. Succession and ecological research proposal of Dongting Lake [J]. *Sci News*, 2007, (17): 7-8]
- 曾光明, 龙勇, 梁婕, 蔡青, 黄璐, 李晓东, 袁玉洁, 武海鹏, 彭也如, 赖旭. 基于3S技术的东洞庭湖湿地植被的分布与适应性分析[J]. 湖南大学学报, 2013, **40** (5): 86-91 [Zeng GM, Long Y, Liang J, Cai Q, Huang L, Li XD, Yuan YJ, Wu HP, Peng YR, Lai X. The spatial distribution and adaptability analysis of vegetation in East Dongting lake wetland based on 3s techniques [J]. *J Hunan Univ*, 2013, **40** (5): 86-91]
- Zheng JM, Wang LY, Li SY, Zhou JX, Sun QX. Relationship between community type of wetland plants and site elevation on sandbars of the East Dongting Lake, China [J]. *For Stud China*, 2009, **11** (1): 44-48
- 中国植被编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1995 [Editor Committee of Chinese Vegetation. *Vegetation of China*. Beijing: Science Press, 1995]
- Cox GW. 普通生态学实验手册[M]. 北京: 科学出版社, 1979: 117-119 [Cox GW. *Laboratory Manual of General Ecology*. Beijing: Science Press, 1979: 117-119]
- Raunkiaer C. The life forms of Plants and Statistical Plant Geography. New York: Oxford University Press, 1932
- Lande RA. quantitative genetic theory of life history evolution [J]. *Ecology*, 1982, **63**: 607-615
- Van Coller AL, Rogers KH, Heritage GL. Riparian vegetation-environment relationships: complementarity of gradients versus patch hierarchy approaches [J]. *J Veg Sci*, 2000, **11**: 337-350
- Naqinezhad A, Jalili A, Attar F, Maassoumi AA. Floristic characteristics of the wetland site on dry southern slopes of the Alborz Mts, N. Iran: the role of altitude in floristic composition [J]. *Flora*, 2008, **204** (4): 254-269
- 唐承佳, 陆健健. 长江口九段沙植物群落研究[J]. 生态学报, 2003, **23** (2): 400-403 [Tang CJ, Lu JJ. Studies on plant community on the Jiuduansha Shoals at the Yangtze Estuary. *Acta Ecol Sin*, 2003, **23** (2): 400-403]
- 刘光崧. 土壤理化分析与剖面描述[M]. 北京: 中国标准出版社, 1996 [Liu GS. *Soil Physical and Chemical Analysis and the Profile Description* [M]. Beijing: China Standards Press, 1996]
- 邱扬, 张金屯. DCCA排序轴分类及其在关帝山八水沟植物群落生态梯度分析中的应用[J]. 生态学报, 2000, **20** (2): 199-206 [Qiu Y, Zhang JT. The ordination axes clustering based on detrended canonical correspondence analysis ordination and its application to the analysis of the ecological gradients of plant communities [J]. *Acta Ecol Sin*, 2000, **20** (2): 199-206]
- 沈泽昊, 张新时, 金义兴. 地形对亚热带山地景观尺度植被格局影响的梯度分析[J]. 植物生态学报, 2000, **24** (4): 430-435 [Shen ZW, Zhang XS, Jin YX. Gradient analysis of the influence of mountain topography on vegetation pattern [J]. *Acta Phytoecol Sin*, 2000, **24** (4): 430-435]
- Zhang JT, Oxley ERB. A comparison of three methods of multivariate

- analysis of upland grasslands in North Wales [J]. *J Veg*, 1994, **5**: 71-76
- 27 Chen XS, Li X, Xie YH, Li F, Hou ZY, Zeng J. Combined influence of hydrological gradient and edaphic factors on the distribution of macrophyte communities in Dongting Lake wetlands, China [J]. *Wetlands Ecol Manage*, 2015, **23**: 481-490
- 28 Sarmiento L, Llambi LD, Escalona A, Marquez N. Vegetation patterns, regeneration rates and divergence in an old-field succession of the high tropical Andes [J]. *Plant Ecol*, 2003, **166**: 145-156
- 29 田中平, 庄丽, 李建贵, 徐智全, 张莉. 伊犁河谷北坡野果林群落结构及其与环境的关系[J]. 应用与环境生物学报, 2011, **17** (1): 39-45 [Ti Lan ZP, Zhuang Li, Li JG, Xu ZQ, Zhang L. Relationship between community structure of wild fruit forests and their environment on north-facing slopes of the Iri Valley [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2011, **17** (1): 39-45]
- 30 吴东丽, 张金屯, 王春乙, 薛红喜. 保护植物野生大豆群落不同物种间的生态关系分析[J]. 应用与环境生物学报, 2009, **15** (5): 638-644 [Wu DL, Zhang JT, Wang CY, Xue HX. Ecological relationships among species in communities of a protected plant *Glycine soja* in Beijing, China [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2009, **15** (5): 638-644]
- 31 Van Collier AL, Rogers KH, Heritage GL. Riparian vegetation-environment relationships: complementarity of gradients versus patch hierarchy approaches [J]. *J Veg Sci*, 2000, **11**: 337-350
- 32 Naqinezhad A, Jalili A, Attar F, Maassoumi AA. Floristic characteristics of the wetland site on dry southern slopes of the Alborz Mts., N. Iran: The role of altitude in floristic composition [J]. *Flora*, 2008, **204** (4): 254-269
- 33 Joy BZ, John CC, Julie SD, Gabrielle VS, Gregory DW, Gary S, Alice EB, Brian KB. Californian Salt-Marsh Vegetation: an improved model of spatial pattern [J]. *Ecosystems*, 1999, **2**: 19-35
- 34 Solon J, Degórski M, Roo-Zielińska E. Vegetation response to a topographical-soil gradient [J]. *Catena*, 2007, **71**: 309-320
- 35 Menges ES. Environmental correlates of herb species composition in five southern Wisconsin floodplain forests [J]. *Am Midland Nat*, 1986, **115**: 106-117
- 36 陈亚宁, 李卫红, 徐海量, 刘加珍, 张宏峰, 陈亚鹏. 塔里木河下游地下水位对植被的影响[J]. 地理学报. 2003, **58** (4): 542-549 [Chen YL, Li WH, Xu HL, Liu JZ, Zhang HF, Chen YP. The influence of groundwater on vegetation in the lower reaches of Tarim River, China [J]. *Acta Geogr Sin*, 2003, **58** (4): 542-549]