

DOI: 10.5846/stxb201803060439

谢冬明, 黄庆华, 朱再昱, 周国宏, 易青, 田磊, 周杨明, 贾俊松, 许跃峰. 鄱阳湖湿地洲滩植物梯度变化. 生态学报, 2019, 39(16): - .

Xie D M, Huang Q H, Zhu Z Y, Zhou G H, Yi Q, Tian L, Zhou Y M, Jia J S, Xu Y F. Changes in floodplain vegetation in Poyang Lake wetlands. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(16): - .

## 鄱阳湖湿地洲滩植物梯度变化

谢冬明<sup>1</sup>, 黄庆华<sup>1</sup>, 朱再昱<sup>1,\*</sup>, 周国宏<sup>1</sup>, 易青<sup>1</sup>, 田磊<sup>1</sup>, 周杨明<sup>2</sup>, 贾俊松<sup>2</sup>,  
许跃峰<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 江西科技师范大学旅游学院, 南昌 330013

<sup>2</sup> 江西师范大学地理与环境学院, 南昌 330022

**摘要:** 湿地洲滩植物物种多样性及生物量是反映湿地生态系统状态的重要指标, 也是揭示水位变化下湿地生态系统响应机理的重要途径。基于鄱阳湖湿地野外调查和实验分析数据, 利用  $\alpha$  和  $\beta$  物种多样性指数, 初步探讨了鄱阳湖湿地洲滩植物物种多样性及地上部分生物量的空间分布特征及其差异性。结果表明, 鄱阳湖湿地洲滩植物物种多样性随高程变化的差异性显著 ( $P < 0.001$ ), 蚌湖和泗洲头在高程 14—15 m 的指数较大, 表明这一高程范围内与其他高程范围内的物种更替比较显著, 而战备湖和北深湖在高程 15—16 m 的指数较大, 表明这一高程范围内与其他高程范围内的物种更替比较显著, 而常湖池的指数变化不明显, 表明常湖池各高程范围内的物种更替较小。鄱阳湖湿地洲滩植物年地上生物量的空间差异性较为复杂, 与湿地高程呈现单峰曲线关系, 即随湿地高程增加而增加, 到达一个峰值后开始减少。同一高程范围内下, 洲滩前缘与碟形湖泊的物种多样性与地上生物量差异显著 ( $P < 0.05$ ), 前者最高值在高程 13—15 m, 后者最高值在高程 14—17 m。

**关键词:** 洲滩植物; 梯度变化; 碟形湖泊; 洲滩前缘; 鄱阳湖湿地

## Changes in floodplain vegetation in Poyang Lake wetlands

XIE Dongming<sup>1</sup>, HUANG Qinghua<sup>1</sup>, ZHU Zaiyu<sup>1,\*</sup>, ZHOU Guohong<sup>1</sup>, YI Qing<sup>1</sup>, TIAN Lei<sup>1</sup>, ZHOU Yangming<sup>2</sup>,  
JIA Junsong<sup>2</sup>, XU Yuefeng<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Tourism College, Jiangxi Science & Technology Normal University, Nanchang 330013, China

<sup>2</sup> School of Geography & Environment, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China

**Abstract:** The biodiversity and biomass of floodplain vegetation are important indexes to explain the ecosystem of wetlands and key methods to probe the response mechanism to water level change. Poyang Lake is the largest fresh-water lake in China and one of the most important wetlands globally. In a field survey, 3s technology and DEM data were used to analyze the variation in plant species diversity and biomass along the elevational gradient in Poyang Lake wetlands with  $\alpha$  and  $\beta$  biodiversity indexes. The results showed that there was a complex gradient of both biodiversity and biomass characteristics for the floodplain vegetation ( $P < 0.001$ ). The index of biodiversity is highest at 14—15 m in Banghu Lake and Sizhoutou floodplain; the index of biodiversity is the highest at 15—16 m in Zhanbeihu Lake and Beishenhu Lake floodplain, but the index of biodiversity is not obvious in Changhuchi Lake floodplain. The correlation between biodiversity/biomass and elevation was nonlinear, and with increasing elevation, the biomass initially increased to a peak value and then decreased. The maximum volume of biomass measured in the fronted floodplain and the shallow lakes were different ( $P < 0.05$ ); the

**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (31360120, 41561105, 71473113); 江西省科技支撑计划项目 (20151BBG70014); 江西省教育厅科技项目 (GJJ150794, 170687); 江西省高校人文社会科学重点研究基地招标项目 (JD15105); 江西科技师范大学青年拔尖人才项目 (2015QNBjRC008); 江西科技师范大学科研创新团队 (2016CXTD002)

**收稿日期:** 2018-03-06; **网络出版日期:** 2019-00-00

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zzy191@163.com

maximum volume of biomass was located at an elevation of 14–15 m in fronted marshland, and at an elevation of 15–16 m in the shallow lakes.

**Key Words:** floodplain vegetation; gradient changes; fronted floodplain; shallow lakes; Poyang Lake wetlands

湿地植物物种多样性和生物量是反映湿地生态系统状态的重要指标<sup>[1]</sup>。湿地植物物种多样性受湿地环境要素的影响,因而表现较大的差异性<sup>[2-3]</sup>,湿地植物分布具有非地带性特征,与地带性植物物种多样性比较,前者物种多样性指数较低<sup>[4-5]</sup>。湿地植物生物量是湿地碳收支平衡的重要调节器,承担着湿地碳汇的主要功能<sup>[6-7]</sup>。湿地生物量是湿地洲滩植物碳汇的重要承载方式<sup>[8]</sup>,受到诸多因素的影响,水位变化是重要影响因素之一<sup>[9]</sup>。国内外学者对世界一些主要湖泊湿地的生物量及碳收支平衡进行过研究<sup>[10-11]</sup>,包括湿地生物量及碳源特征、形成历史和影响气候变化的机理<sup>[12-13]</sup>和湿地生物量特别水生植物生物量的积累过程<sup>[14-15]</sup>等。然而,对于水位急剧变化的季节性湖泊,水位影响下的植物生态响应特征及其机理研究仍然是湿地生态系统研究领域的热点和难点,基于等高程梯度下的洲滩植物物种多样性和生物量的响应特征研究是揭示该领域机理研究的重要途径之一。近年来,水位变化影响下的鄱阳湖湿地植物生态响应的研究也受到普遍关注<sup>[16-20]</sup>。鄱阳湖是中国最大的淡水湖泊,也是水位急剧变化的季节性湖泊。鄱阳湖湿地洲滩类型多样,洲滩前缘和碟形湖泊是主要的洲滩类型,也是鄱阳湖湿地水陆生态系统处于剧烈变化和人类活动干扰最为频繁的区域<sup>[21]</sup>。鄱阳湖湿地相关研究成果较为丰富<sup>[22]</sup>,包括鄱阳湖湿地洲滩植物的群系构成、植物生物量遥感估测以及植物群落物种多样性的时间变化特征等<sup>[23-27]</sup>,但是等高程梯度下湿地不同类型洲滩的植物物种多样性和生物量的研究鲜有报道,而鄱阳湖湿地受水位急剧变化的影响,洲滩植物的梯度变化非常显著<sup>[19]</sup>。本文以鄱阳湖不同类型洲滩作为研究区域,探讨湿地不同类型洲滩植物物种多样性和地上生物量的梯度变化特征,有利于揭示水位急剧变化下湿地洲滩植物的响应特征以及湿地生态系统的响应机理和过程规律,研究结论能够为鄱阳湖湿地保护和管理提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

鄱阳湖位于江西省北部(28°22′—29°45′N, 115°47′—116°45′E),长江中下游南岸<sup>[28]</sup>,亚热带湿润季风型气候,受西伯利亚寒流和副热带高压影响,鄱阳湖及其流域冬春寒、夏多雨、秋旱特征,年降水量超过 1640 mm,主要集中在 4—6 月<sup>[29]</sup>。鄱阳湖流域面积 16.22×10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>,占江西省面积 97%,流域内的赣江、抚河、信江、饶河(上游由昌江和乐安河组成,在鄱阳县姚公渡处汇入饶河)、修河五大河流经鄱阳湖,然后进入长江。鄱阳湖历史上最大水域面积曾超过 5000 km<sup>2</sup><sup>[30]</sup>。作为一个季节性湖泊,鄱阳湖水位变化非常显著,年内变幅超过 10 m,年际最大变幅 16.69 m<sup>[31]</sup>。

### 1.2 实验设计

本研究实验样地选在鄱阳湖国家自然保护区的蚌湖、泗洲头、常湖池,南矶湿地国家自然保护区的东湖、北深湖和战备湖等六个不同类型洲滩进行研究。其中泗洲头、东湖为洲滩前缘(指鄱阳湖主体湖面的出露洲滩,淹水时间与鄱阳湖湿地的水位变化直接相关,丰水期多为水域,枯水期多为裸露洲滩,年裸露时间较长),蚌湖、常湖池、北深湖、战备湖为碟形湖泊(指鄱阳湖湿地的内湖泊,是在自然冲刷和人为斩秋湖等作用形成的小型水面,大多数情况下与鄱阳湖湿地主体湖面分离,丰水期与鄱阳湖相通;当鄱阳湖水位低于 14 m,独立成湖)(图 1)。在每个研究区域各设立 3 条采样带,每条样带各设 5—7 个永久固定样点组成(即按照 <11 m, 11—12 m, 12—13 m, 13—14 m, 14—15 m, 15—16 m, >16 m 划分为 7 个等高程梯度,并且取样点基本位于梯度内的中间位置,<11 m 高程范围内的取样点在 10.5 m, 11—12 m 高程范围内的取样点在 11.5 m, 12—13 m 高程范围内的取样点在 12.5 m, 13—14 m 高程范围内的取样点在 13.5 m, 14—15 m 高程范围内的取样点在

14.5 m, 15—16 m 高程范围内的取样点在 15.5 m, >16 m 高程范围内的取样点在 16.5 m), 总计 6 个区域、18 条采样带、102 个采样点。其中, 泗洲头和东湖属于主湖, 是开阔性水域, 蚌湖是半开放性水域, 常湖池、北深湖和战备湖是内湖, 枯水期为人工控制性水域。样带和样点的具体要求: (1) 样点到等高线的距离比较均匀, 一般位于等高线的中间部位; (2) 可达性高, 即地势平坦, 方便取样; (3) 每条样带间隔 150 m 以上。在每个样点, 收集 1 m<sup>2</sup> 样框内植物地上部分, 记录植物学名和物种数量, 人工清查凋落物。湿地洲滩植物一年内有二个生长季, 第一个为春季生长季, 从 1 月底至鄱阳湖涨水期; 第二个为秋季生长季, 从鄱阳湖退水期至 12 月初<sup>[32]</sup>。战备湖、北深湖、东湖植物调查采样时间为 2013 年 4 月 15—17 日, 蚌湖、泗洲头、常湖池植物调查采样时间为 2014 年 1 月 15—18 日。

### 1.3 等高线及水位数据

本文 1 m 矢量等高线数据是基于 1:10000DEM 数据产生。水位数据选取星子站(1954—2016)日均水位(吴淞高程)。

### 1.4 样品分析方法

将生物量样品带回实验室, 清水冲洗, 除去杂物, 烘干称重, 70℃ 恒温, 至少 48 h, 直至恒重<sup>[33]</sup>。

### 1.5 数据分析

#### 1.5.1 $\alpha$ 物种多样性指数

$\alpha$  物种多样性指数采用调整后的 Shannon-wiener 指数<sup>[34]</sup>。Shannon-Wiener 指数能较好地反映个体密度、生境差异、群落类型和演替阶段(式 1)。

$$H_i = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (1)$$

式中,  $H_i$  表示物种多样性指数,  $P_i$  表示第  $i$  物种的个体数量占整个群落中的个体数量的比值,  $S$  表示群落中物种数量。

#### 1.5.2 $\beta$ 物种多样性指数

$\beta$  物种多样性指数采用 Cody 指数( $\beta_c$ )<sup>[35-36]</sup>。该指数指表征沿环境梯度不同生境群落之间物种组成的差异性, 或物种沿环境梯度的更替速率也被称为生境间的多样性(between-habitat diversity), 不同群落或某环境梯度上不同点之间的共有种越少,  $\beta$  多样性越大。

$$\beta_c = [g(H) + l(H)] / 2 \quad (2)$$

式中,  $g(H)$  是沿生境梯度  $H$  增加的物种数目;  $l(H)$  是沿生境梯度  $H$  失去的物种数目, 即在上一个梯度中存在而在下一个梯度中没有的物种数目。

#### 1.5.3 生物量

每两条高程线内的生物量由单位面积生物量与两条高程线内的面积乘积所得, 总生物量由所有两条高程线内的生物量累加所得, 即:

$$w_T = \sum_{i=1}^n W_i \quad W_i = W_A \times A_i (i = 1 \cdots n) \quad (3)$$

式中,  $w_T$  为总的生物量,  $W_i$  为不同类型洲滩高程范围内的生物量,  $W_A$  为不同类型洲滩高程范围内单位面积生物量,  $A_i$  为不同类型洲滩高程范围内的面积。

#### 1.5.4 检验方法

采用 SPSS 21.0 非参数检验的两个独立样本的 Mann-Whitney 检验方法和  $K$  个样本 Kruskal-Wallis 检验方法。

## 2 结果与分析

### 2.1 洲滩植物梯度分布特征

根据调查结果, 鄱阳湖洲滩前缘维管束植物的分布特征由湖岸至湖底依次为假俭草(狗牙根)或芦苇群

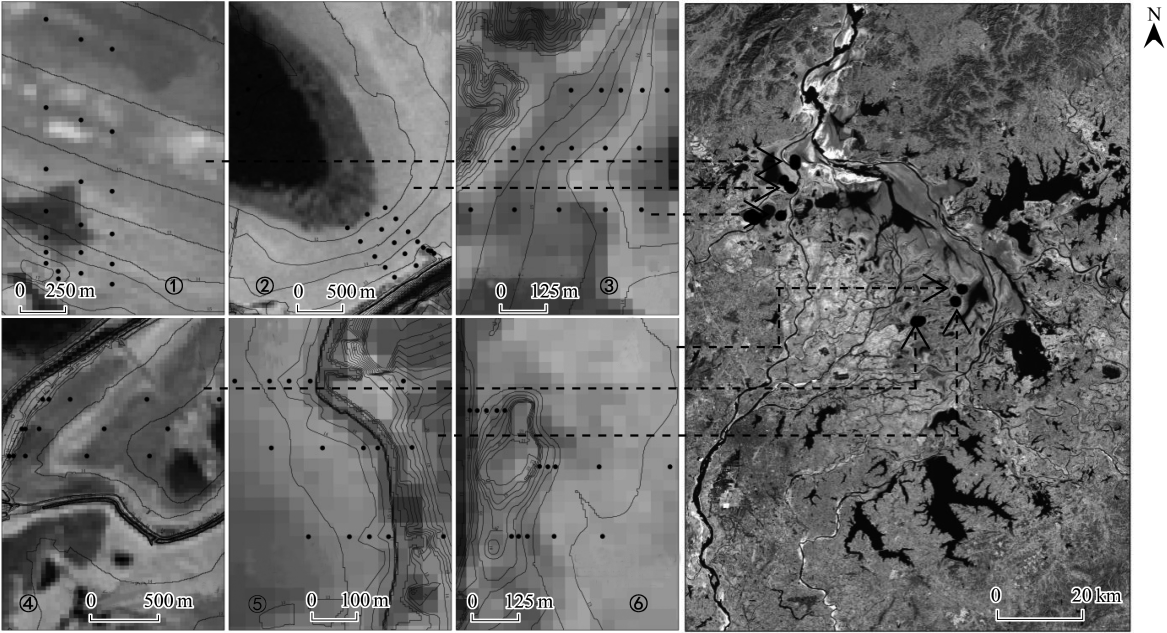


图1 鄱阳湖湿地地理位置及采样点(①泗洲头,②蚌湖,③常湖池,④战备湖,⑤北深湖,⑥东湖)

Fig.1 Location and plots of Poyang Lake wetlands(①Sizhoutou, ②Banghu, ③Changhuchi, ④Zhanbeihu, ⑤Beishenhu, ⑥Donghu)

落(主要出现在南湖池碟形湖泊湿地)、南荻或苔草群落、苔草群落、水田碎米荠(主要出现在蚌湖碟形湖泊湿地和泗洲头洲滩前缘湿地)或藨草群落(主要出现在战备湖和北深湖碟形湖泊湿地)(表1)。

表1 鄱阳湖洲滩植物群落特征

Table 1 Characteristic of vegetation community in Poyang Lake wetlands

| 采样点<br>Pilots | 高程点<br>Elevation/m | 群落优势种<br>Dominant<br>species                                                      | 主要构成物种<br>Major construction species                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 分布宽度<br>Distribution<br>scale/m | 坡度<br>Slope/% |
|---------------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------|
| 1             | <11                | 水田碎米荠<br>( <i>Cardamine lyrata</i> )<br>或藨草( <i>Phalaris<br/>arundinacea</i> )    | 藨草( <i>Phalaris arundinacea</i> )、弯喙苔草( <i>Carex laticeps</i> )、看<br>麦娘( <i>Alopecurus aequalis</i> )、轮叶狐尾藻( <i>Myriophyllum<br/>verticillatum</i> )、针蔺( <i>Eleocharis congesta</i> )、黑藻( <i>Hydrilla<br/>verticillata</i> )、槐叶蕨( <i>Salvinia natans</i> )等                                                                               | >500                            | <0.2          |
| 2             | 11—12              | 灰化苔草<br>( <i>Carex cinerascens</i> )                                              | 水田碎米荠( <i>Cardamine lyrata</i> )、肉根毛茛( <i>Ranunculus<br/>polii</i> )、芫荽菊( <i>Cotula anthemoides</i> )、猪殃殃( <i>Galium<br/>spurium</i> )、蓼子草( <i>Polygonum criopolitanum</i> )等                                                                                                                                                             | ≈400                            | ≈0.25         |
| 3             | 12—13              | 灰化苔草<br>( <i>Carex cinerascens</i> )                                              | 水田碎米荠( <i>Cardamine lyrata</i> )、肉根毛茛( <i>Ranunculus<br/>polii</i> )、芫荽菊( <i>Cotula anthemoides</i> )、猪殃殃( <i>Galium<br/>spurium</i> )、蓼子草( <i>Polygonum criopolitanum</i> )等                                                                                                                                                             | ≈300                            | ≈0.3          |
| 4             | 13—14              | 灰化苔草( <i>Carex<br/>cinerascens</i> ) + 南荻<br>( <i>Triarrhera lutarioriparia</i> ) | 芦苇( <i>Phragmites australis</i> )、苔草( <i>Carex</i> sp.)、下江委陵菜<br>( <i>Potentilla limprichtii</i> )、鼠麴草( <i>Gnaphalium affine</i> )、野胡萝<br>卜( <i>Daucus carota</i> )、水田碎米荠( <i>Cardamine lyrata</i> )、菱蒿<br>( <i>Artemisia selengensis</i> )、莎草( <i>Cyperus</i> sp.)、球果堇菜<br>( <i>Rorippa globosa</i> )、水蓼( <i>Polygonum hydropiper</i> )等 | ≈200                            | ≈0.5          |
| 5             | 14—15              | 芦苇( <i>Phragmites australis</i> ) +<br>南荻( <i>Triarrhera<br/>lutarioriparia</i> ) | 苔草( <i>Carex</i> sp.)、下江委陵菜( <i>Potentilla limprichtii</i> )、鼠麴<br>草( <i>Gnaphalium affine</i> )、野胡萝卜( <i>Daucus carota</i> )、水田碎<br>米荠( <i>Cardamine lyrata</i> )、菱蒿( <i>Artemisia selengensis</i> )、莎草<br>( <i>Cyperus</i> sp.)、球果堇菜( <i>Rorippa globosa</i> )、水蓼<br>( <i>Polygonum hydropiper</i> )等                                   | ≈100                            | ≈1            |

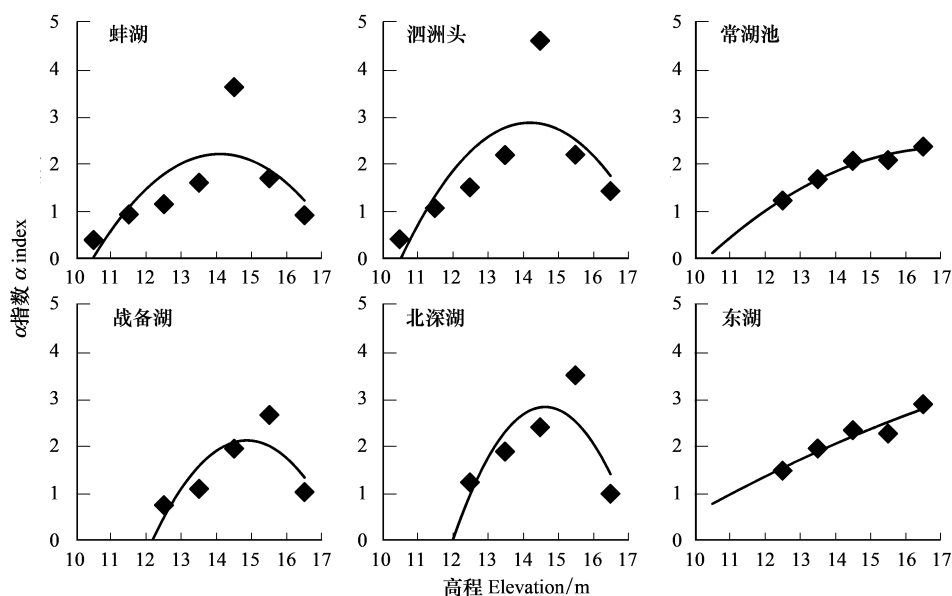
续表

| 采样点<br>Pilots | 高程点<br>Elevation/m | 群落优势种<br>Dominant species                                                | 主要构成物种<br>Major construction species                                                                                                                                                                                                                                                         | 分布宽度<br>Distribution scale/m | 坡度<br>Slope/% |
|---------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|---------------|
| 6             | 15—16              | 狗牙根 ( <i>Cynodon dactylon</i> )<br>或灰化苔草<br>( <i>Carex cinerascens</i> ) | 扁穗牛鞭草 ( <i>Hemarthria compressa</i> )、假俭草 ( <i>Eremochloa ophiuroides</i> )、鸡眼草 ( <i>Kummerowia striata</i> )、阿齐苔草 ( <i>Carex argyi</i> )、野古草 ( <i>Arundinella anomala</i> )、早熟禾 ( <i>Poa annua</i> )、附地菜 ( <i>Trigonotis peduncularis</i> ) 等                                               | ≈50                          | ≈2            |
| 7             | >16                | 狗牙根 ( <i>Cynodon dactylon</i> )<br>或芦苇 ( <i>Phragmites australis</i> )   | 扁穗牛鞭草 ( <i>Hemarthria compressa</i> )、假俭草 ( <i>Eremochloa ophiuroides</i> )、鸡眼草 ( <i>Kummerowia striata</i> )、阿齐苔草 ( <i>Carex argyi</i> )、茵陈蒿 ( <i>Artemisia capillaris</i> )、野古草 ( <i>Arundinella anomala</i> )、小蓬草 ( <i>Erigeron canadensis</i> )、附地菜 ( <i>Trigonotis peduncularis</i> ) 等 | ≈50                          | ≈2            |

## 2.2 洲滩植物物种多样性梯度变化

### 2.2.1 $\alpha$ 物种多样性指数

$\alpha$  物种多样性指数随高程变化显著 ( $P < 0.001$ )。高程 16 m 以上, 东湖最大, 表明东湖在 16 m 以上高程范围内的洲滩植物物种较为丰富; 15—16 m, 北深湖最大, 表明北深湖在 15—16 m 高程范围内的洲滩植物物种较为丰富; 14—15 m, 蚌湖和泗洲头较大, 表明蚌湖和泗洲头在 14—15 m 高程范围内的洲滩植物物种较为丰富; 13—14 m, 东湖较大, 表明东湖在 13—14 m 高程范围内的洲滩植物物种较为丰富; 12—13 m, 东湖较大, 表明东湖在 12—13 m 高程范围内的洲滩植物物种较为丰富; 11—12 m 以及高程在 11 m 以下, 蚌湖和泗洲头相差明显。洲滩前缘与碟形湖泊的  $\alpha$  物种多样性指数差异显著 ( $P < 0.05$ ), 表明  $\alpha$  物种多样性指数在不同类型生境环境下, 呈现不同的变化规律; 而南北差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 表明鄱阳湖湿地南北湖泊洲滩  $\alpha$  物种多样性指数呈现相似的变化规律 (图 2)。

图2 鄱阳湖湿地洲滩植物的  $\alpha$  多样性指数Fig.2  $\alpha$  biodiversity index of floodplain vegetation in Poyang Lake wetlands

### 2.2.2 $\beta$ 物种多样性指数

$\beta$  物种多样性指数随高程的变化显著 ( $P < 0.001$ )。高程 16 m 以上, 东湖最大, 表明东湖在 16 m 以上高程范围内的洲滩植物物种与其他高程范围内的洲滩植物物种差异性最大; 15—16 m, 北深湖最大, 表明北深湖在 15—16 m 高程范围内的洲滩植物物种与其他高程范围内的洲滩植物物种差异性最大; 14—15 m, 蚌湖和泗

洲头较大,表明蚌湖和泗洲头在 14—15 m 高程范围内的洲滩植物物种与其他高程范围内的洲滩植物物种差异性最大;13—14 m,北深湖较大,表明北深湖在 13—14 m 高程范围内的洲滩植物物种与其他高程范围内的洲滩植物物种差异性最大;12—13 m,北深湖较大,表明北深湖在 12—13 m 高程范围内的洲滩植物物种与其他高程范围内的洲滩植物物种差异性最大;11—12 m 以及高程在 11 m 以下,蚌湖和泗洲头差异不显著。不同区域  $\beta$  物种多样性指数不显著 ( $P > 0.05$ ),南北差异不显著 ( $P > 0.05$ ),表明鄱阳湖湿地不同类型洲滩以及南北湖泊洲滩呈现相似的环境梯度变化特征(图 3)。

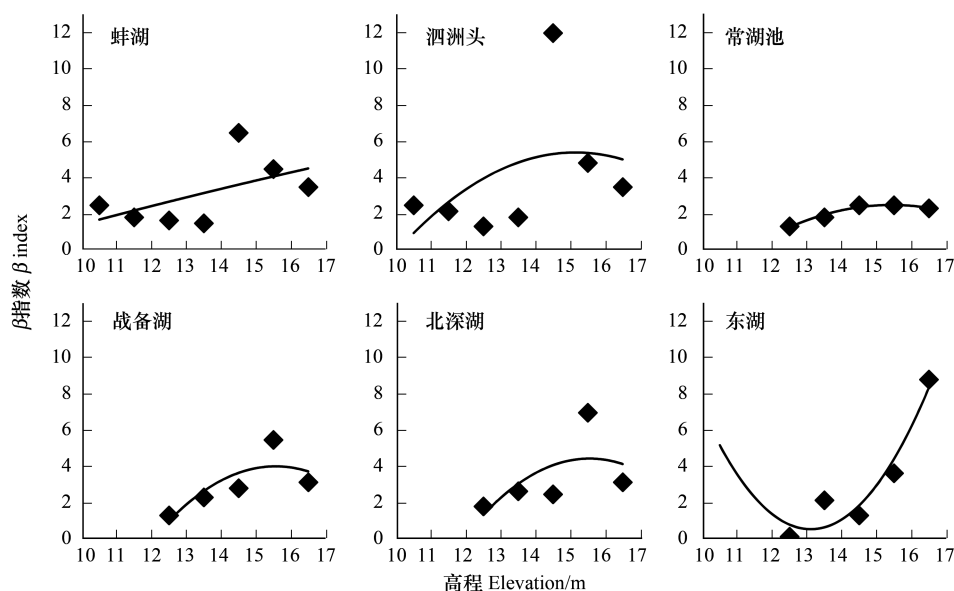


图 3 鄱阳湖湿地洲滩植物的  $\beta$  多样性指数

Fig.3  $\beta$  biodiversity index of floodplain vegetation in Poyang Lake wetlands

### 2.3 洲滩植物地上生物量

洲滩植物地上部分生物量随高程变化显著 ( $P < 0.001$ )。总体上看,蚌湖的生物量最高,其次是常湖池,战备湖的生物量最低。不同高程范围内单位面积生物量具有明显的不同。高程在 16 m 以上,常湖池最大;15—16 m,常湖池最大;14—15 m,蚌湖和泗洲头较大,其中蚌湖的单位面积生物量最为显著;13—14 m,蚌湖较大,泗洲头和东湖的单位面积生物量相差不明显;12—13 m,泗洲头和东湖的单位面积生物量较大;11—12 m 以及高程在 11 m 以下,蚌湖和泗洲头的单位面积生物量相差不明显。与我国其他地区相比,鄱阳湖湿地洲滩植物单位面积生产力处于较高水平,高于内蒙古锡林浩特草原植被年生产力 ( $403.7 \text{ g/m}^2 \cdot \text{a}$ )<sup>[37]</sup>,总体低于海草生产力,但部分高程区域(如 14—16 m 高程区域)接近海草生产力(最高值达  $1851 \text{ g/m}^2 \cdot \text{a}$ )<sup>[38]</sup>。不同区域洲滩植物地上部分生物量差异显著 ( $P < 0.05$ ),南北湖泊洲滩植物地上部分生物量差异显著 ( $P < 0.05$ ),表明鄱阳湖湿地洲滩不同类型洲滩以及南北湖泊洲滩的生物量随环境梯度变化差异性显著(图 4)。

根据不同高程的面积及其单位面积生物量,按照式 3 方程,可以计算得出鄱阳湖洲滩总的生物量为 1161541 t,按照年生长季节为两期,则鄱阳湖洲滩年生物量达 2323083 t(表 2)。

## 3 讨论与结论

### 3.1 讨论

由于鄱阳湖湿地年际水位变化明显,年际最低水位为均值 7.98 m,变化超过 2 m,年际最高水位均值为 19.12 m,变化超过 6 m(2004 年最低水位为 7.12 m(2 月 4 日),1954 年最低水位为 9.49 m(3 月 29 日);1998 年最高水位为 22.5 m(7 月 30 日),1972 年最高水位 15.92 m(6 月 8 日)),在湖泊高程 10 m 以上区域,大多数年份都会出现洲滩裸露的现象(图 5)。因此,选取高程 10 m 以上区域作为研究对象,能够反映鄱阳湖洲滩植

物物种多样性和地上生物量的梯度变化特征。

表 2 鄱阳湖湿地洲滩植物总生物量估算

Table 2 Total floodplain biomass in Poyang Lake wetlands

| 高程区间<br>Elevation/m | 生物量均值<br>Average Biomass / (g/m <sup>2</sup> ) | 高程区间面积<br>Area between different<br>Elevations/m <sup>2</sup> | 生物量<br>Total Biomass (t) |
|---------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------|
| 10—11               | 185                                            | 488642302                                                     | 90521                    |
| 11—12               | 342                                            | 703781880                                                     | 240693                   |
| 12—13               | 259                                            | 607131985                                                     | 157247                   |
| 13—14               | 393                                            | 492694406                                                     | 193686                   |
| 14—15               | 588                                            | 318130220                                                     | 187209                   |
| 15—16               | 780                                            | 124785007                                                     | 97355                    |
| 均值/合计 Average/Total | 425                                            | 2735165800                                                    | 1161541                  |

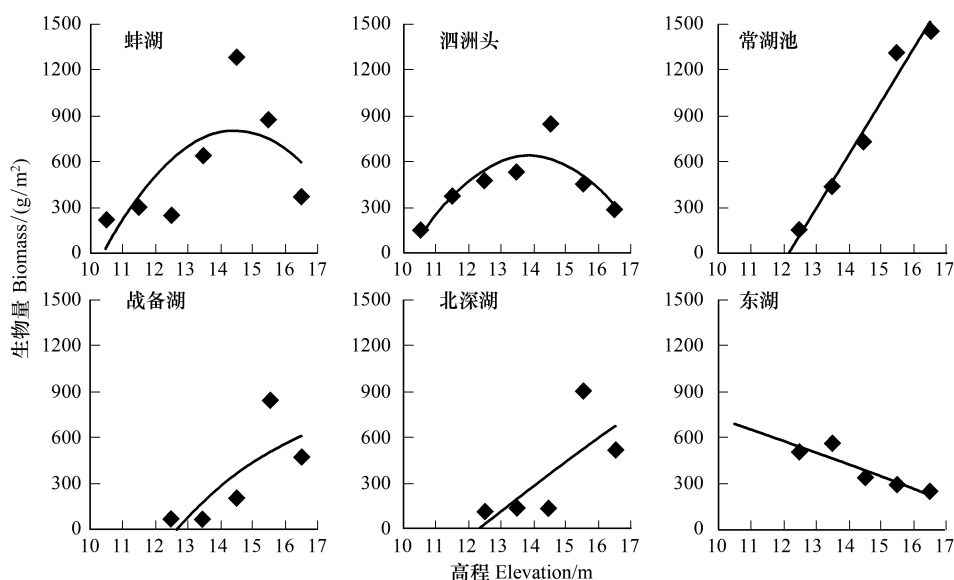


图 4 鄱阳湖湿地洲滩植物的生物量

Fig.4 Biomass of floodplain vegetation in Poyang Lake wetlands

物种多样性指数的评价方法较多,有 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 指数之分,而 $\alpha$ 、 $\beta$ 多样性指数更能反映物种内部及其沿着环境梯度变化的特征。不同类型洲滩以及同一洲滩不同高程范围内的 $\alpha$ 、 $\beta$ 多样性指数表现出较大差异性,表明不同类型洲滩的优势物种和物种聚集度存在明显差异性。从鄱阳湖湿地南北部的差异性来看,北部洲滩的多样性指数要大于南部。影响这种差异性的原因可能有两个,一是北部的洲滩地势较低,洲滩土壤养分积累更加丰富;另外一方面,北部洲滩受人类活动干扰的强度更小,洲滩植物生物量积累时间较长。一般研究结论认为,在同一海拔地点,则中等水分状况生境中, $\alpha$ 多样性最大,而不是一般认为的最好的湿润生境。如北美最高的红杉林, $\alpha$ 多样性很低,而附近干旱立地的低矮林, $\alpha$ 多样性则较高<sup>[39]</sup>。而鄱阳湖湿地洲滩的 $\alpha$ 多样性则呈现不同的变化特征,即使同一高程下, $\alpha$ 多样性也明显不同。

研究认为,高程变化决定鄱阳湖湿地洲滩的环境梯度特征<sup>[40]</sup>,本研究也表明,不同高程洲滩植物地上生物量差异显著,并且呈现倒“V”的单峰分布规律性,主要由于洲滩植物地上生物量受到淹水时间、土壤含水量、土壤pH值等因素的影响。低海拔洲滩淹水时间过长,光照时间较短,不利于植物的正常生长。高海拔洲滩退水时间过长,地下水位较低,植物根系较浅,造成植物水分不足,不利于植物的正常生长<sup>[41]</sup>。而14—16 m高程区域(常湖池情况特殊,主要因为常湖池水位常年受到人为控制,加上湖底高程在12 m以上,因此16—

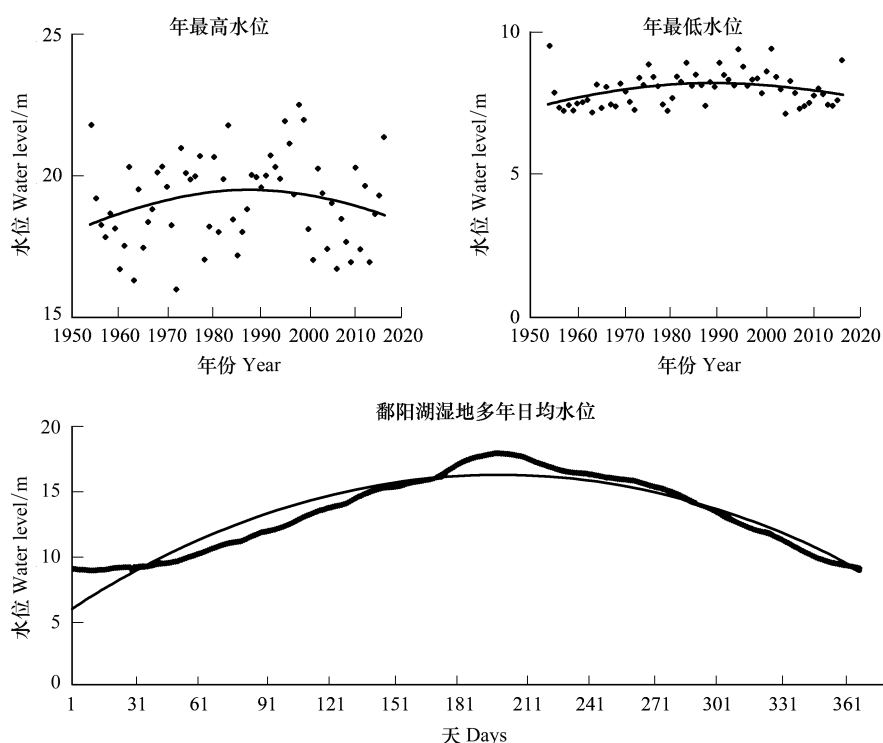


图5 鄱阳湖湿地水位

Fig.5 Water level in Poyang Lake wetlands

17 m 高程区域较为适合洲滩植物的生长,该区域植物物种多样性指数较高,生物量较大),裸露时间适宜植物的生长周期,生物量较高。从鄱阳湖湿地南北部的差异性来看,北部洲滩的生物量要大于南部。影响这种差异性的原因与生物多样性差异性的原因相似。

物种多样性指数与生物量在梯度上的变化比较一致,如蚌湖碟形湖泊湿地和泗洲头洲滩前缘湿地高程 14—15 m 的物种多样性指数较大,物种在梯度上的更替比较明显,生物量也是最大;战备湖和北深湖两个南部的碟形湖泊湿地也表现类似的特征。

鄱阳湖湿地是一个浅水湖泊,水位波动对湿地洲滩面积的影响非常明显。影响鄱阳湖不同类型洲滩的地上生物量的因素是多方面的,根据调查过程发现,除自然因素如淹水时间<sup>[42]</sup>、土壤肥力特征等影响外<sup>[43]</sup>,干扰也是造成湿地植物物种多样性改变的因素之一<sup>[44]</sup>,在鄱阳湖湿地洲滩裸露期,人类活动对鄱阳湖湿地的干扰强度较大<sup>[45]</sup>。蚌湖、泗洲头、战备湖、北深湖和东湖的 16—17 m 高程区域,人类活动的痕迹较为显著,如蚌湖 16—17 m 高程区域有放牧和人耕作的痕迹,泗洲头 16—17 m 高程区域种植了大片杨树林,战备湖和北深湖主要受“斩秋湖”的活动影响较大,这些人类活动不可避免的造成了湿地洲滩植物物种多样性的降低。16 m 以上高程区域,是人类活动最为频繁的区域,是鄱阳湖湿地居民生产生活主要区域,因此该区域受人类活动干扰的强度最大,在一些地方出现终年裸露甚至沙化的特征<sup>[46-47]</sup>。近年来,鄱阳湖湿地旅游兴起,在秋冬季,14 m 高程以上区域,是人类旅游行为干扰的主要区域<sup>[48]</sup>。

### 3.2 结论

本文基于野外调查和试验数据,初步分析了鄱阳湖湿地不同类型洲滩的植物物种多样性和地上部分生物量的梯度变化特征。由于自然环境和人类活动的共同影响,鄱阳湖湿地洲滩植物物种多样性和地上部分生物量分布表现较为复杂的特征,其梯度变化比较显著。物种多样性指数以蚌湖和泗洲头最高,表明这两个区域物种在环境梯度上的更替较为明显,常湖池的物种多样性指数较低,表明常湖池物种在环境梯度上的更替不明显。总体上,生物量的分布沿高程梯度逐渐增加,到达一个峰值后降低。在同一高程上,洲滩前缘和碟形湖

泊的植物生物量分布特征明显不同,洲滩前缘生物量最高值一般在 14—15 m,碟形湖泊生物量最高值一般在 15—16 m。影响鄱阳湖湿地不同类型洲滩的物种多样性和地上部分生物量差异性的原因主要是鄱阳湖湿地南北地域差异性和人类活动干扰强度。

**致谢:**本文在野外调查、实验分析和写作阶段,得到余明泉、殷照华、卢锐、彭小英、钱海燕等人的大力支持和帮助,在此表示感谢。

#### 参考文献 (References):

- [ 1 ] Scholes R J, Biggs R. A biodiversity intactness index. *Nature*, 2005, 434(7029): 45-49.
- [ 2 ] Davidson T A, Mackay A W, Wolski P, Mazebedi R, Murray-Hudson M, Todd M. Seasonal and spatial hydrological variability drives aquatic biodiversity in a flood-pulsed, sub-tropical wetland. *Freshwater Biology*, 2012, 57(6): 1253-1265.
- [ 3 ] Rongoei P J K, Kipkemboi J, Kariuki S T, van Dam A A. Effects of water depth and livelihood activities on plant species composition and diversity in Nyando floodplain wetland, Kenya. *Wetlands Ecology and Management*, 2014, 22(2): 177-189.
- [ 4 ] Kennedy M P, Murphy K J, Gilvear D J. Predicting interactions between wetland vegetation and the soil-water and surface-water environment using diversity, abundance and attribute values. *Hydrobiologia*, 2006, 570(1): 189-196.
- [ 5 ] Andrew S M, Totland Ø, Moe S R. Spatial variation in plant species richness and diversity along human disturbance and environmental gradients in a tropical wetland. *Wetlands Ecology and Management*, 2015, 23(3): 395-404.
- [ 6 ] Eckard R S, Hernes P J, Bergamaschi B A, Stepanauskas R, Kendall C. Landscape scale controls on the vascular plant component of dissolved organic carbon across a freshwater delta. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2007, 71(24): 5968-5984.
- [ 7 ] Brix H, Sorrell B K, Lorenzen B. Are *Phragmites-dominated* wetlands a net source or net sink of greenhouse gases? *Aquatic Botany*, 2001, 69(2/4): 313-324.
- [ 8 ] 徐松浚, 徐正春. 广州市湿地植被碳汇功能研究. *湿地科学*, 2015, 13(2): 190-196.
- [ 9 ] 叶春, 赵晓松, 吴桂平, 王晓龙, 刘元波. 鄱阳湖自然保护区植被生物量时空变化及水位影响. *湖泊科学*, 2013, 25(5): 707-714.
- [ 10 ] 段晓男, 王效科, 逯非, 欧阳志云. 中国湿地生态系统固碳现状和潜力. *生态学报*, 2008, 28(2): 463-469.
- [ 11 ] Mauquoy D, Engelkes T, Groot M H M, Markesteijn F, Oudejans M G, van der Plicht J, van Geel B. High-resolution records of late-Holocene climate change and carbon accumulation in two north-west European ombrotrophic peat bogs. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2002, 186(3/4): 275-310.
- [ 12 ] 吕铭志, 盛连喜, 张立. 中国典型湿地生态系统碳汇功能比较. *湿地科学*, 2013, 11(1): 114-120.
- [ 13 ] Walter B P, Heimann M, Matthews M. Modeling modern methane emissions from natural wetlands: 1. Model description and results. *Journal of Geophysical Research*, 2001, 106(D24): 34189-34206.
- [ 14 ] Aselmann I, Crutzen P J. Global distribution of natural freshwater wetlands and rice paddies, their net primary productivity, seasonality and possible methane emissions. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 1989, 8(4): 307-358.
- [ 15 ] Crill M P, Bartlett K B, Harriss R C, Gorham E, Verry E S, Sebacher D I, Madzar L, Sanner W. Methane flux from Minnesota peatlands. *Global Biogeochemical Cycles*, 1988, 2(4): 371-384.
- [ 16 ] 李文, 王鑫, 潘艺雯, 刘以珍, 何亮, 张欢, 应智霞, 刘颖, 葛刚. 不同水淹深度对鄱阳湖洲滩湿地植物生长及营养繁殖的影响. *生态学报*, 2018, 38(9): 3014-3021.
- [ 17 ] 周云凯, 白秀玲, 宁立新. 鄱阳湖湿地灰化苔草种群生产力特征及其水文响应. *生态学报*, 2018, 38(14): 4953-4963.
- [ 18 ] 段后浪, 赵安, 姚忠. 鄱阳湖湿地典型草洲主要植物种群在 5 个资源环境梯度上的生态位特征. *生态与农村环境学报*, 2017, 33(3): 225-233.
- [ 19 ] 段后浪, 赵安, 姚忠. 不同海拔高程梯度下鄱阳湖典型草洲植物群落物种-多度分布格局的模型拟合. *植物科学学报*, 2017, 35(3): 335-343.
- [ 20 ] 吴桂平, 叶春, 刘元波. 鄱阳湖自然保护区湿地植被生物量空间分布规律. *生态学报*, 2015, 35(2): 361-369.
- [ 21 ] 谢冬明, 郑鹏, 邓红兵, 赵景柱, 樊哲文, 方豫. 鄱阳湖湿地水位变化的景观响应. *生态学报*, 2011, 31(5): 1269-1276.
- [ 22 ] Xie D M, Jin G H, Zhou Y M. Study on ecological function zoning for Poyang lake wetland; a RAMSAR site in China. *Water Policy*, 2013, (15): 922-935.
- [ 23 ] 李冰, 杨桂山, 王晓龙, 万荣荣. 鄱阳湖典型洲滩植物物种多样性季节动态特征. *土壤*, 2016, 48(2): 298-305.
- [ 24 ] 王江林, 万慧琳. 鄱阳湖湿地植被的生物多样性及其保护和利用. *环境与开发*, 2000, 15(4): 19-21.

- [25] 简永兴, 李仁东, 王建波, 陈家宽. 鄱阳湖滩地水生植物多样性调查及滩地植被的遥感研究. 植物生态学报, 2001, 25(5): 581-587.
- [26] 彭映辉, 简永兴, 李仁东. 鄱阳湖平原湖泊水生植物群落的多样性. 中南林学院学报, 2003, 23(4): 22-27.
- [27] Xu X L, Zhang Q, Tan Z Q, Li Y L, Wang X L. Effects of water-table depth and soil moisture on plant biomass, diversity, and distribution at a seasonally flooded wetland of Poyang Lake, China. Chinese Geographical Science, 2015, 25(6): 739-756.
- [28] 鄱阳湖研究编委会. 鄱阳湖研究. 上海: 上海科学技术出版社, 1988.
- [29] 江西省林业厅, 刘信中, 叶居新. 江西湿地. 北京: 中国林业出版社, 2000.
- [30] 江西省水文局. 江西水文. 武汉: 长江出版社, 2007: 90-91.
- [31] 王晓鸿, 鄢帮有, 吴国琛. 山江湖工程. 北京: 科学出版社, 2006.
- [32] 张萌, 倪乐意, 徐军, 何亮, 符辉, 刘足根. 鄱阳湖草滩湿地植物群落响应水位变化的周年动态特征分析. 环境科学研究, 2013, 26(10): 1057-1063.
- [33] 国家林业局. LY/T 1237—1999 森林土壤有机质的测定及碳氮比的计算. 1999: 106-108. <http://www.lknet.ac.cn/lybz/PSearchBook.cbs>
- [34] 叶万辉, 马克平, 马克明, 桑卫国, 高贤明. 北京东灵山地区植物群落多样性研究IX. 尺度变化对 $\alpha$ 多样性的影响. 生态学报, 1998, 18(1): 10-14.
- [35] 李振基, 陈圣宾, 巫渭欢. 自然保护区的生物多样性测度. 厦门大学学报: 自然科学版, 2011, 50(2): 471-475.
- [36] 高贤明, 马克平, 黄建辉, 刘灿然. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究XI. 山地草甸 $\beta$ 多样性. 生态学报, 1998, 18(1): 24-32.
- [37] 侯扶江, 王春梅, 娄珊宁, 侯向阳, 呼天明. 我国草原生产力. 中国工程科学, 2016, 18(1): 80-93.
- [38] 李森, 范航清, 邱广龙, 石雅君, 周如琼. 海草生产力研究进展. 海洋环境科学, 2011, 30(1): 143-147.
- [39] Auclair A N, Goff F G. Diversity relations of upland forests in the western Great Lakes area. The American Naturalist, 1971, 105(946): 499-528.
- [40] Fu H, Zhong J Y, Yuan G X, Guo C J, Ding H J, Feng Q, Fu Q. A functional-trait approach reveals community diversity and assembly processes responses to flood disturbance in a subtropical wetland. Ecological Research, 2015, 30(1): 57-66.
- [41] 胡振鹏, 葛刚, 刘成林, 陈伏生, 李述. 鄱阳湖湿地植物生态系统结构及湖水位对其影响研究. 长江流域资源与环境, 2010, 19(6): 597-605.
- [42] 李文, 王鑫, 何亮, 刘以珍, 葛刚. 鄱阳湖洲滩湿地植物生长和营养繁殖对水淹时长的响应. 生态学报, 2018, 38(22): 8176-8183.
- [43] 刘佩佩, 白军红, 王婷婷, 韩祯, 赵庆庆, 卢琼琼. 白洋淀优势植物群落生物量及其影响因子. 湿地科学, 2013, 11(4): 482-487.
- [44] Keddy P A. 湿地生态学——原理与保护(第二版). 兰志春, 黎磊, 沈瑞昌, 译. 北京: 高等教育出版社, 2018.
- [45] 廖富强, 刘影, 叶慕亚, 郑林. 鄱阳湖典型湿地生态环境脆弱性评价及压力分析. 长江流域资源与环境, 2008, 17(1): 133-137.
- [46] 谢冬明, 金国花. 鄱阳湖湖岸带景观变化. 生态学报, 2016, 36(17): 5548-5555.
- [47] 谢冬明, 周杨明, 钱海燕. 鄱阳湖湿地复合生态系统研究. 北京: 科学出版社, 2017.
- [48] 谢冬明, 金国花. 鄱阳湖湿地生态旅游分区评价. 林业资源管理, 2015, (5): 151-156.