

东洞庭湖丁字堤苔草群落特征及其影响因子*

胡佳宇^{1,2} 谢永宏^{1**} 李峰¹ 侯志勇¹

(¹中国科学院亚热带农业生态研究所/亚热带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;
²中国科学院大学,北京 100049)

摘要 近20年来,洞庭湖湿地的湖草面积大幅度减少,退化严重.为寻求湖草的恢复途径,本文以位于洞庭湖丁字堤的短尖苔草为对象,依高程差划分成7条样带,调查了63个样方的植被特征(株高、盖度、密度、生物量、多样性指数)和土壤理化特征(土壤有机碳、全氮、全磷、土壤容重、土壤含水量).结果表明:除多样性指数先下降后升高外,其余生物学指标均随高程增加呈现倒“U”型分布,即靠近水域(低海拔区)和堤岸(高海拔区)的苔草长势较差,而位于中间的苔草长势较好;土壤容重随高程增加而增加,土壤含水量的变化则相反,土壤有机碳和全氮含量均呈中海拔区高、低和高海拔区低的分布规律.主成分分析表明,影响苔草生物量的关键因子依次为土壤有机碳含量、氮含量、含水量和土壤容重.可见,提高土壤肥力和保持适当的土壤含水量可能是短尖苔草恢复的有效途径.

关键词 洞庭湖湿地 苔草群落 环境因子 主成分分析

文章编号 1001-9332(2014)03-0745-07 **中图分类号** Q143; S158.3 **文献标识码** A

Characteristics of *Carex brevicuspis* and its impact factors in Dingzidi, East Dongting Lake.

HU Jia-yu^{1,2}, XIE Yong-hong¹, LI Feng¹, HOU Zhi-yong¹ (¹Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences/Key Laboratory of Agro-ecological Processes in Subtropical Region/Dongting Lake Station for Wetland Ecosystem Observation and Research, Changsha 410125, China; ²University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2014, 25(3): 745-751.

Abstract: In recent 20 years, the area of lake grass has been drastically reduced and degraded. In order to search for reasonable recovery ways of the lake grass, the vegetational characteristics (plant height, coverage, density, biomass and biodiversity index) and soil physico-chemical characteristics (soil organic carbon, SOC; total nitrogen, TN; total phosphorus, TP; soil bulk density and moisture) were investigated in the *Carex brevicuspis* community from 63 sampling plots in 7 sampling belts along an elevation gradient in Dingzidi, East Dongting Lake. All biological characteristics showed an inverted “U” distribution pattern along with increasing elevation, except for diversity index, which showed a tendency of increasing at first and then decreasing. Plant growth was inhibited near water body (low elevation region) and levee (high elevation region). In contrast, the intermediate elevation region had a favorable condition for plant growth. For soil physical properties, soil water moisture decreased but soil bulk density increased along with increasing elevation. However, SOC and TN contents were higher in the intermediate elevation region and lower in both low and high elevation regions. TP content was fluctuant along with increasing elevation. The principal component analysis (PCA) showed that the key factors influencing biomass of *C. brevicuspis* were soil C and N contents, soil moisture and bulk density. These results indicated that increasing soil fertility and maintaining proper soil moisture might be efficient to recover the vegetation of *C. brevicuspis*.

Key words: Dongting Lake wetland; *Carex brevicuspis*; soil environmental factor; principal component analysis.

* 国家重点基础研究发展计划项目(2012CB417005)和国家自然科学基金项目(31170342)资助.

** 通讯作者. E-mail: yonghongxie@163.com

2013-04-22 收稿, 2013-12-26 接受.

植被是湿地生态系统的重要组成部分,对于调节区域水分平衡、气候环境,提供食物原材料以及动物栖息场所等具有重要作用^[1]. 苔草属(*Carex*)植物是湿地生态系统的主要组成成分和生产者^[2],其生物量大小是衡量初级生产力的主要指标之一. 同时,因其固碳潜力巨大而具有“碳汇”的功能^[3].

洞庭湖位于湖南省北部、长江中游荆江南岸,总面积 2625 km²,为我国第二大淡水湖,也是长江出三峡后进入的第一个大型的吞吐型通江湖泊,具有维系长江中下游防洪安全的功能,同时也是重要的生物多样性保护区. 近年来,由于人为干扰、大型水利工程建设和气候变化等多重因素的影响,洞庭湖湿地植被格局发生了巨大变化. 尽管草洲面积持续扩张,但以苔草为绝对优势的湖草分布面积持续减小,已由 1983 年的 768 km² 缩减为 2007 年的 499 km²^[4]. 湖草地是洞庭湖主要鱼类产卵场和候鸟重要觅食地和栖息场所^[5]. 这一格局的变化将对生物多样性产生重大影响. 恢复湖草已成为洞庭湖生态服务功能优化的重要措施之一.

寻求环境因子与植被生长发育间的关系是植被恢复的重要内容和前提. 湿地土壤作为植物生长的重要物质基础,其水分条件和营养条件直接影响着湿地生态系统中植物群落的生长、分布、物种多样性和群落的演替^[6-10]. 事实上,不同区域影响植被分布和生长的主要环境因子存在差异. 在美国威斯康星州的泛滥平原,海拔是控制草本植物群落组成的最主要因素^[11]. 在塔里木河流域,地下水位的不断下降和土壤水分的丧失是引起下游植被退化的主导因子^[12]. 在盐沼湿地,潮汐河网密度和分布格局是影响植被分布格局的重要因素^[13]. 在沿海岸红树林湿地,盐度是最主要的影响因素^[14]. 目前有关湿地生态系统的研究主要集中于植被类型及其带状格局的全面考虑^[15],缺少对单一类型的深入研究,因而对特殊类群生态恢复的指导作用非常有限. 鉴于此,本研究以洞庭湖优势群落——短尖苔草(*Carex brevicuspis*)的完整分布带为对象,采用密集采样法,探讨了群落特征与环境因子的关系,试图找出影响苔草群落生长的关键环境因子,为洞庭湖苔草的恢复提供理论依据.

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

东洞庭湖位于 28° 26'—29° 49' N, 112° 19'—114° 11' E 之间,为洞庭湖的本底湖,水深在 4~22 m,

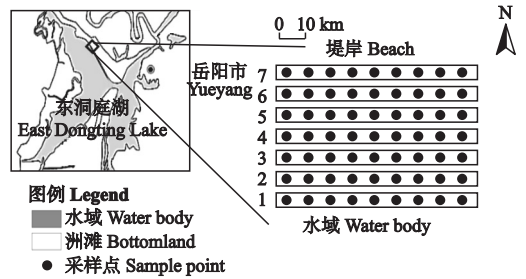


图 1 采样点示意图

Fig. 1 Sketch of sampling points.

1~7: 样带 1~7 Belt 1-7.

面积约占湖泊总面积的 65.2%. 该地域属于亚热带季风型气候,年均气温 10.5 °C,年降雨量 1200~1399 mm^[16]. 丁字堤取样点周边为湖泊洲滩地形地貌(图 1). 受长江季节性水淹,取样点分布的海拔范围为 22.6~26.2 m,地形从水域至堤岸呈缓慢上升趋势,坡度约 5°. 自然群落和环境具有地域代表性. 植被类型以苔草群落为主,集中生长在 0~20 cm 厚度的洲滩表层土中. 短尖苔草群落中的主要伴生种有:红穗苔草(*C. argyi*)、灰化苔草(*C. cinerascens*)、辣蓼(*Polygonum flaccidum*)等. 植被带沿水域至堤岸呈典型的倒“U”型分布,即靠近水域和堤岸的植被长势较差,而中间的长势较好,可视为研究苔草植被分布的理想样带. 区域内土壤类型为潮土.

1.2 野外调查及取样

采用样带法对样地进行布设和取样. 沿着水域(低海拔区)至堤岸(高海拔区)依次设置 7 条长 500 m×宽 10 m 的样带. 第一条样带距河湖(洞庭湖湘江航道)20 m,其余样带以此为基础,每间隔 150 m 左右设置另一样带,直至靠堤岸设置最后一个样带,并依次标记为样带 1,样带 2,……,样带 7. 在每条样带上,每间隔 50 m 设置 1 个 1 m×1 m 的样方,采用 GPS 记录相关位点信息. 每条样带均匀设置 9 个样方,视为每条样带的 9 个重复点. 共调查 63 个样方. 在调查过程中,记录样方中的物种数、个体数、植被盖度和株高,将苔草地上部分收割后装袋,带回实验室,放入 85 °C 烘箱中烘干至衡量后,记录干质量. 样方内土样的采集分为两个部分:1) 清理出 0~20 cm 土壤剖面后,用橡皮锤将环刀垂直敲入,取出带土环刀,然后将土样整体装入自封袋,带回实验室测量容重,每个样重复两次;2) 采用五点采样混合法^[17]取样,在每个采样点完成植物采集后,于样方内均匀设置 5 个取土点,每个取土点取 0~20 cm 土层约 200

g 的土样, 将 5 个点土样混合均匀后装入自封袋, 封口。随后将土样带回实验室, 仔细除去植物残体和土壤动物后, 一部分用于测定土壤含水量, 剩余部分风干, 根据《土壤理化分析与剖面描述》^[18] 将土样过筛 (60 目和 100 目), 并彻底混匀, 编号, 用于测定土壤化学指标。

1.3 研究方法

1.3.1 样品分析 将风干过筛后的土样进行土壤理化特征分析。土壤含水量和容重采用烘干法测定, 土壤有机碳 (soil organic carbon, SOC) 采用重铬酸钾-外加热法测定, 土壤全氮 (total nitrogen, TN) 采用凯氏定氮法测定 (FIAstar 5000 型流动注射分析仪, 丹麦福斯公司)、土壤全磷 (total phosphorus, TP) 采用碱熔法测定 (UV-2450 型紫外可见分光光度计, 日本岛津公司)^[15]。所有分析均在中国科学院亚热带农业生态研究所农业生态系统过程重点实验室完成。

1.3.2 计算方法 生物特征指标包括生物量、多样性指数、相对密度、相对株高和相对盖度等, 其中生物量采用干质量, 生物多样性指数采用 Shannon 多样性指数 (H)。计算公式如下:

$$H = - \sum_{i=1}^S P_i \lg P_i$$

式中: S 为物种数; P_i 表示第 i 个种的重要值。

重要值 = (相对密度 + 相对高度 + 相对盖度) / 3

1.4 数据处理

采用 Kolmogorov-Smirnov 法将数据进行正态性检验, 对于不满足正态分布的数据采用个案排秩正态 Blom 估计公式进行正态化处理, 再采用 Duncan 多重比较法比较样带间各指标的差异; 采用双尾 Pearson 相关系数分析生物学特征和土壤理化特征的相关性。显著性水平设定为 $\alpha = 0.05$ 。

主成分分析时, 将指标进行标准化后, 对初始特

征值进行最大方差法旋转。通过 KMO ($P = 0.520$) 和 Bartlett 球形检验之后得到相关解释方差和载荷矩阵, 将生物量作为生物学特征经数据转换后对生物量 and 环境因子进行拟合, 根据 R^2 和 P 值确定最优回归方程。

2 结果与分析

2.1 苔草群落的生物学特征

在 63 个样方中共发现伴生植物 20 种: 红穗苔草 (*C. argyi*)、灰化苔草 (*C. cinerascens*)、莓叶委陵菜 (*Potentilla fragarioides*)、野胡萝卜 (*Daucus carota*)、豆瓣菜 (*Nasturtium officinale*)、鹅观草 (*Gramineae*)、看麦娘 (*Alopecurus aequalis*)、苍耳 (*Xanthium sibiricum*)、针蔺 (*Eleocharis congesta*)、紫云英 (*Astragalus sinicus*)、狗牙根 (*Cynodon dactylon*)、藨草 (*Phalaris arundinacea*)、通泉草 (*Mazus japonicus*)、茵草 (*Beckmannia syzigachne*)、小叶珍珠菜 (*Lysimachia parvifolia*)、酸模 (*Rumex trisetifer*)、荻 (*Triarrhena sachariflora*)、泥胡菜 (*Hemistepta lyrata*)、辣蓼 (*P. flaccidum*)、益母草 (*Leonurus artemisia*)。其中, 豆瓣菜和委陵菜在样方中出现频率较高。

由表 1 可知, 随着高程梯度的增加, 除多样性指数先降低后升高外, 其余各项指标 (株高、相对密度、盖度、重要值、地上生物量) 均呈现类似的倒“U”型分布, 即靠近水域 (低海拔区) 和堤岸 (高海拔区) 的数值较低。株高以样带 1 和 7 较低, 其他样带较高; 相对密度和重要值以样带 1 和 7 最低, 样带 2、3、6 相对较高; 盖度以样带 7 最低, 样带 2~6 相对较高; 地上生物量以样带 1 和样带 7 最低, 样带 2、3、5 相对较高。可见, 中海拔区更适合短尖苔草的生长。

2.2 苔草群落的土壤理化特征

由表 2 可知, 不同样带间的土壤环境特征存在

表 1 短尖苔草群落不同样带的生物学特征

Table 1 Biological characteristics of *Carex brevicuspis* community in different sampling belts (mean±SE, n=9)

| 样带 Belt | 平均株高 Average height (cm) | 相对密度 Relative density (%) | 盖度 Coverage (%) | 重要值 Importance value | 地上生物量 Aboveground biomass (g·m ⁻²) | 多样性指数 Diversity index |
|------------|--------------------------------|---------------------------------|-----------------------|----------------------------|--|--------------------------|
| 1 | 39.2±3.8a | 81.3±7.3a | 76.1±6.8b | 0.84±0.07a | 309.68±42.25a | 0.41±0.13a |
| 2 | 71.2±2.8b | 95.2±1.1a | 91.1±2.3c | 0.94±0.01a | 584.52±38.37bcd | 0.22±0.03b |
| 3 | 75.9±3.5b | 96.8±0.6a | 94.5±4.5c | 0.96±0.02a | 602.65±44.02cd | 0.17±0.04b |
| 4 | 72.2±2.7b | 96.4±0.7a | 93.3±2.8c | 0.95±0.01a | 487.36±48.89bc | 0.19±0.04b |
| 5 | 76.4±5.7b | 99.6±0.2b | 94.4±2.1c | 0.99±0.00b | 623.61±45.49d | 0.04±0.02c |
| 6 | 71.1±2.5b | 99.2±0.5b | 82.2±3.2bc | 0.99±0.01b | 451.20±23.52b | 0.07±0.03c |
| 7 | 45.4±5.5a | 94.6±2.0a | 51.7±6.9a | 0.94±0.02a | 286.78±64.91a | 0.21±0.06b |

不同字母表示不同样带间存在显著差异 ($P < 0.05$) Different letters indicated significant difference between different belts. 下同 The same below.

显著差异. 随着高程梯度的增加, 土壤含水量呈降低趋势, 以样带 1~4 最高, 样带 7 最低; 土壤容重呈增加趋势, 以样带 7 最高, 样带 4 最低, 但样带 1~5 间无显著性差异. 土壤有机碳含量、全氮含量和氮磷比均呈倒“U”型变化. 有机碳含量以样带 2~6 最高, 样带 7 最低; 全氮含量以样带 4~6 最高, 样带 7 最低. 氮磷比以样带 5 最高, 样带 1 和样带 7 最低. 全磷含量沿高程梯度的增加呈波动变化, 以样带 1 最高, 样带 5 最低.

2.3 生物学特征与土壤环境因子的相关分析

由表 3 可知, 株高和密度与有机碳和全氮含量之间呈极显著正相关, 但与全磷含量呈极显著负相关; 盖度与土壤含水量、有机碳和全氮含量呈极显著

正相关, 但与容重呈极显著负相关. 重要值与全磷含量呈显著负相关; 多样性指数与全磷含量呈显著正相关, 与有机碳含量呈显著负相关. 生物量与所有土壤理化性质均存在显著或极显著相关关系, 即生物量随着土壤含水量、有机碳含量和全氮含量的升高而增加, 随着容重和全磷含量的增加而降低. 由此可见, 土壤水分和养分的增加在一定程度上促进了植物的生长, 而容重和全磷含量的增加在一定程度上抑制了植物生长.

2.4 影响植被特征的关键环境因子

主成分分析结果表明, 特征值大于 1 的 3 个主成分数值分别为: 2.416、1.227 和 1.011. 3 个成分累计贡献率达 93.1%. 将 3 个主成分的初始因子载

表 2 短尖苔草群落不同样带的土壤理化特征

Table 2 Soil characteristics of *Carex brevicuspis* community in different sampling belts (mean±SE, n=9)

| 样带 Belt | 土壤含水量 Soil moisture (%) | 土壤容重 Bulk density (g·cm ⁻³) | 土壤有机碳 Soil organic carbon (%) | 土壤全氮 Total nitrogen (%) | 土壤全磷 Total phosphorus (%) | 氮磷比 N:P ratio |
|------------|-------------------------------|---|-------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|------------------|
| 1 | 40.8±2.9c | 1.23±0.03ab | 2.1±0.2b | 0.18±0.02ab | 0.10±0.00c | 1.81±0.16a |
| 2 | 41.4±1.2c | 1.19±0.02ab | 2.5±0.3bc | 0.21±0.02bc | 0.09±0.00b | 2.36±0.14b |
| 3 | 36.8±1.5bc | 1.20±0.06ab | 2.5±0.1bc | 0.21±0.01bc | 0.09±0.00b | 2.33±0.13b |
| 4 | 37.4±1.4bc | 1.13±0.05a | 2.8±0.2c | 0.24±0.01cd | 0.08±0.01b | 2.94±0.10c |
| 5 | 34.3±0.7b | 1.22±0.03ab | 2.8±0.1c | 0.24±0.01cd | 0.07±0.00a | 3.47±0.20d |
| 6 | 33.8±0.7b | 1.28±0.03b | 2.8±0.1c | 0.25±0.06d | 0.08±0.00b | 3.20±0.08cd |
| 7 | 23.3±1.0a | 1.40±0.04c | 1.5±0.1a | 0.17±0.01a | 0.09±0.00b | 1.80±0.14a |

表 3 短尖苔草群落生物学特征与土壤理化特征的相关系数

Table 3 Correlation coefficients between soil physicochemical and biological characteristics of *Carex brevicuspis* community

| | 株高 Height | 相对密度 Relative density | 盖度 Coverage | 生物量 Biomass | 重要值 Importance value | 多样性 Diversity | 土壤含水量 Soil moisture | 土壤容重 Bulk density | 土壤有机碳 Soil organic carbon | 土壤全氮 Total nitrogen | 土壤全磷 Total phosphorus |
|------------------------------|--------------|--------------------------|----------------|----------------|-------------------------|------------------|------------------------|----------------------|------------------------------|------------------------|--------------------------|
| 株高 Height | 1 | | | | | | | | | | |
| 相对密度 Relative density | 0.345 ** | 1 | | | | | | | | | |
| 盖度 Coverage | 0.555 ** | 0.147 | 1 | | | | | | | | |
| 生物量 Biomass | 0.649 ** | 0.405 ** | 0.462 ** | 1 | | | | | | | |
| 重要值 Importance value | 0.275 * | 0.861 ** | 0.139 | 0.313 * | 1 | | | | | | |
| 多样性 Diversity | -0.329 ** | -0.904 ** | -0.161 | -0.341 ** | -0.976 ** | 1 | | | | | |
| 土壤含水量 Soil moisture | 0.176 | -0.048 | 0.404 ** | 0.307 * | -0.048 | 0.083 | 1 | | | | |
| 土壤容重 Bulk density | -0.186 | -0.051 | -0.354 ** | -0.301 * | 0.004 | -0.028 | -0.674 ** | 1 | | | |
| 土壤有机碳 Soil organic carbon | 0.388 ** | 0.379 ** | 0.499 ** | 0.350 ** | 0.247 | -0.266 * | 0.302 * | -0.406 ** | 1 | | |
| 土壤全氮 Total nitrogen | 0.367 ** | 0.353 ** | 0.404 ** | 0.301 * | 0.190 | -0.219 | 0.216 | -0.281 * | 0.915 ** | 1 | |
| 土壤全磷 Total phosphorus | -0.385 ** | -0.399 ** | -0.037 | -0.297 * | -0.413 ** | 0.421 ** | 0.212 | 0.068 | 0.08 | 0.03 | 1 |

* P<0.05; ** P<0.01.

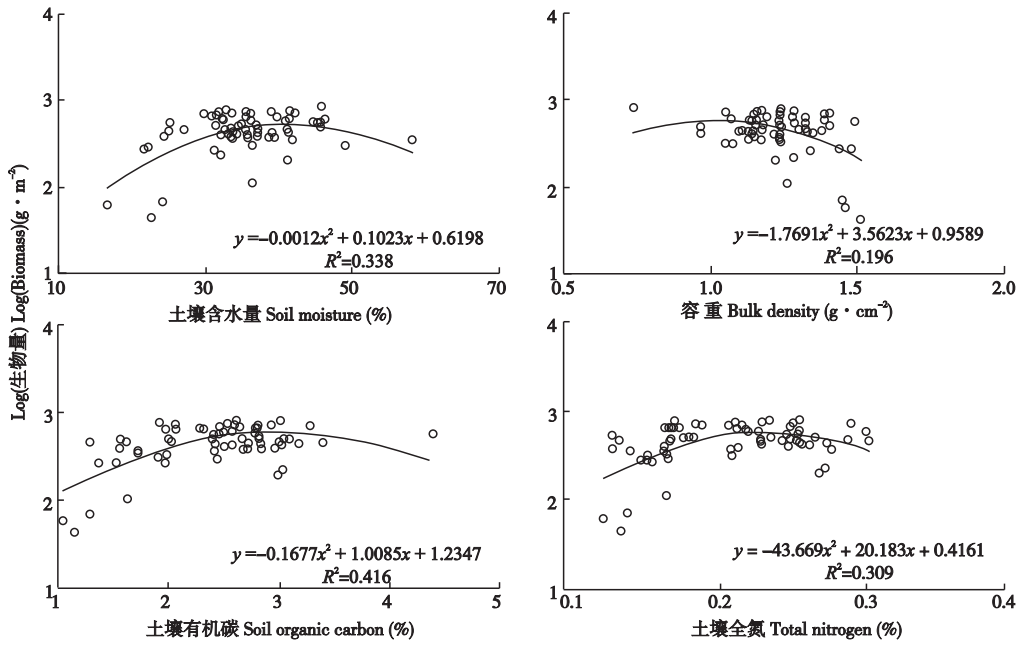


图2 生物量与土壤主要理化特征的回归分析

Fig. 2 Regression analyses between biomass and the main soil characteristics.

荷进一步进行旋转,得到因子载荷值.由表4可知,经方差极大正交旋转后,主成分1中有机碳含量和全氮含量起主要作用,贡献率为48.3%;主成分2则主要反映了土壤物理性质,其中土壤含水量和容重起主要作用,贡献率为24.5%;主成分3中全磷含量起主要作用,贡献率为20.2%.可见,影响苔草群落的主要环境要素为土壤营养水平(有机碳和全氮含量),其次为土壤物理特性(土壤含水量和容重).

将生物量进行对数转换后,与主要土壤环境因子进行回归分析,结果发现,生物量与土壤有机碳含量、全氮含量、土壤含水量、容重均存在显著或极显著的二次函数关系.由图2可知,环境因子对生物量

的影响在不同环境因子间存在相似性.生物量随土壤有机碳含量、全氮含量和土壤含水量的增加呈先增加后减少的趋势.然而,在一定范围(1.13 ~ 1.40 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)内,生物量随土壤容重的增加而逐渐减少.从回归方程可以看出,生物量随环境因子的变化规律与观测值在样带间的变化是一致的.

3 讨论

在自然状态下,丁字堤短尖苔草群落随海拔变化呈现明显的空间分布规律,其生物量、株高等大部分生物学特征随高程增加呈现倒“U”型变化,说明高、低海拔区的苔草生长明显受到抑制.与其他样带相比,样带1靠近水域边缘,苔草受洪水干扰严重,淹水时间相对较长,生境异质性高,分布不均匀,且生长时间相对较短,导致植物生长和分布受到一定程度的抑制,因而其生长量、株高和盖度等指标均不高;样带7中的苔草生长不佳,可能是由于该样带位于堤岸附近,是最早退水的区域,距离水域较远,容易导致供水不足,同样限制了苔草的生长.在中间海拔区的样带2~6,苔草分布较为均匀,生物量和盖度均较高,是因为植物通过生境的自维持作用促使生长环境相对稳定,有利于植物的生长.植被群落在适中高程下长势最好,生物量积累多.这与其他类似的研究结果一致^[19-20].

植被组成和生长是生物与环境因子(含水量、

表4 旋转初始因子后的载荷矩阵

Table 4 Loading matrix after rotation of initial factors

| 环境变量 Environmental variable | 主成分1 PRIN 1 | 主成分2 PRIN 2 | 主成分3 PRIN 3 |
|--------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| 含水量 Soil moisture (X_1) | 0.109 | 0.901 | 0.225 |
| 容重 Bulk density (X_2) | -0.210 | -0.899 | 0.154 |
| 有机碳 SOC (X_3) | 0.953 | 0.228 | -0.004 |
| 全氮 TN (X_4) | 0.976 | 0.100 | 0.005 |
| 全磷 TP (X_5) | 0.001 | 0.041 | 0.990 |
| 特征值 Eigenvalue | 2.416 | 1.227 | 1.011 |

土壤物理性质和养分)共同作用的结果^[21-22].相关分析和主成分分析显示,苔草生长受多因子共同作用,其中以土壤营养因子(土壤全碳和全氮)为主,土壤物理属性(土壤容重和含水率)次之.调查区中植被生长之所以受到营养限制,一方面是因为分布区的营养物质积累有限.该区域地势较高(海拔22~26 m),不在泥沙淤积强烈的20~21 m高程区^[23],靠洪水带来泥沙获得的营养物质十分有限.另一方面,样带1靠近河岸,受水流冲刷的影响大^[24],地表营养物质和苔草凋落物易随水流被带走,导致营养物质碳、氮的流失,不利于营养物质积累;样带7中,苔草群落盖度和地上生物量低,凋落物量有限.同时,因地势较高,植被凋落物中的碳、氮等元素多集中于土壤表层,易在雨季通过侵蚀作用而流失,造成营养匮乏;中间样带中的苔草长势好、密度大,自身能通过倒伏等途径减少水流对地表的冲刷,进而在系统中保留了大量的凋落物和营养物质,有利于植物生境的维持和营养物质的供给.

土壤物理属性对苔草生长的影响主要体现在减缓有机质积累和抑制植物生长方面.研究表明,容重反映了湿地植被及土壤的持水、蓄水性能^[25].土壤容重太高不利于土壤持水和蓄水,也不利于有机质的积累,样带7就充分反映了这一特点.土壤含水量是影响植被生物量和群落组成的重要因素,其变化可以影响地表植物的分布:含水量过高会导致植物淹水胁迫,过低则会导致植物干旱胁迫,均不利于植物生长^[26].而这一变化在湿地生态系统表现得尤为明显.水文情势是影响湿地生态系统初级生产力的重要因子之一^[27].在周期性淹水作用下,干湿环境交替直接影响土壤容重和含水量,进而影响植物对营养物质的吸收和利用.本研究表明,过高或过低的含水量和容重均不利于苔草的生长.由此可见,适宜的土壤含水量和容重是苔草正常生长所必需的条件.

综上所述,研究区内苔草的生长和分布受多种因素的综合作用,以营养元素的作用最为显著.同时,土壤物理性质也不可忽略.因此,在洞庭湖苔草的恢复实践中,首先要考虑营养元素的作用,在营养物质匮乏区域,可采用施加有机肥的方式帮助植被生长,加速植被恢复,巩固植被恢复效果;其次,要考虑土壤水分的作用,在苔草分布高程较高的区域,要及时补给水分,确保植物不受水分胁迫并得到足够的养分供给.此外,近年来随着洞庭湖水位的持续下降,芦苇、杨树的分布面积持续增加,致使苔草湿地

不断萎缩^[4].因为芦苇与苔草是两条相临近的植被带,竞争等其他生物因素的影响会导致植被带分布的变化.可考虑消除竞争作用后再进行苔草的恢复,从而使其恢复效率显著提高.

参考文献

- [1] Bernard JM. Life history and vegetative reproduction in *Carex*. *Canadian Journal of Botany*, 1990, **68**: 1441–1448
- [2] Xue H (薛红), Sha W (沙伟), Ni H-W (倪红伟). General situation of studies on *Carex* L. *Journal of Qiqihar University (Natural Science)* (齐齐哈尔大学学报·自然科学版), 2005, **21**(4): 81–86 (in Chinese)
- [3] Wu Q (吴琴), Yao B (尧波), Zhu L-L (朱丽丽), et al. Seasonal variation in plant biomass of *Carex cinerascens* and its carbon fixation assessment in a typical Poyang Lake marshland. *Resource and Environment in the Yangtze Basin* (长江流域资源与环境), 2012, **21**(2): 215–219 (in Chinese)
- [4] Xie Y-H (谢永宏), Huang Q (黄群), Wang X-L (王晓龙). Protection of major wetlands in the middle and lower reaches of Yangtze River. *Yangtze Conservation and Development Report 2011*, Wuhan, 2011: 144–168 (in Chinese)
- [5] Zhao S-Q (赵淑清), Fang J-Y (方精云), Chen A-P (陈安平), et al. Dynamics of waterfowl habitats in the Eastern Dongting Lake Nature Reserve between 1989 and 1998. *Journal of Natural Resources* (自然资源学报), 2003, **18**(6): 726–733 (in Chinese)
- [6] Grace JB. The factors controlling species density in herbaceous plant communities: An assessment. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution, and Systematics*, 1999, **2**: 1–28
- [7] Grace JB, Jutila H. The relationship between species density and community biomass in grazed and ungrazed coastal wetlands. *Oikos*, 1999, **85**: 398–408
- [8] Li W (李伟), Cui L-J (崔丽娟), Zhao X-S (赵欣胜), et al. Spatial distribution of vegetation and soil interpretation in the process of wetland restoration with the type of sand-mining land. *Ecology and Environmental Sciences* (生态环境学报), 2010, **19**(10): 2325–2331 (in Chinese)
- [9] Song C-Y (宋创业), Guo K (郭柯). Relationship between plant community and soil on the inter-dune lowland in the middle of Otingdag sand land 2007. *Chinese Journal of Plant Ecology* (植物生态学报), 2007, **31**(1): 40–49 (in Chinese)
- [10] Vought LBM, Dahl J, Pedersen CL, et al. Nutrient retention in riparian ecotones. *Ambio*, 1994, **23**: 342–348
- [11] Menges ES. Environmental correlates of herb species composition in five southern Wisconsin floodplain forests. *American Midland Naturalist*, 1986, **115**: 106–117

- [12] Chen Y-N (陈亚宁), Li W-H (李卫红), Xu H-L (徐海量), *et al.* The influence of groundwater on vegetation in the lower reaches of Tarim River, China. *Acta Geographica Sinica* (地理学报), 2003, **58**(4): 542–549 (in Chinese)
- [13] Marania M, Lanzonia S, Silvestri S, *et al.* Tidal landforms, patterns of halophytic vegetation and the fate of the lagoon of Venice. *Journal of Marine Systems*, 2004, **51**: 191–210
- [14] Ukpong IE. Soil-vegetation interrelationships of mangrove swamps as revealed by multivariate analyses. *Geoderma*, 1994, **64**: 167–181
- [15] Li X (李旭). Typical Wetland Vegetation Characteristics and Environmental Interpretation of Their Distribution in Dongting Lake. Master Thesis. Changsha: Hunan Agricultural University, 2010 (in Chinese)
- [16] Chen L-C (陈柳翀). Research on the protection of wetlands of east Dongting Lake. *Journal of Yueyang Vocational Technical College* (岳阳职业技术学院学报), 2006(1): 47–50 (in Chinese)
- [17] Ministry of Environmental Protection (国家环保部). The Technical Specification for Soil Environmental Monitoring. Beijing: China Environmental Science Press, 2005 (in Chinese)
- [18] Liu G-S (刘光崧). Soil Physical and Chemical Analysis and Description of Profile. Beijing: China Standards Press, 1996 (in Chinese)
- [19] Wang Z, Tang YX, Zhu T. Plasticity in bud demography of a rhizomatous clonal plant *Leymus chinensis* L. in response to soil water status. *Journal of Plant Biology*, 2008, **51**: 102–107
- [20] Deng ZM, Chen XS, Xie YH, *et al.* Plasticity of the clonal growth in the wetland sedge *Carex brevicuspis* along a small-scale elevation gradient in Dongting Lake wetland, China. *Annales Botanici Fennici*, 2013, **50**: 151–159
- [21] Olde Venterink H, Wassen MJ, Belgers JDM, *et al.* Control of environmental variables on species density in fens and meadows: Importance of direct effects and effects through community biomass. *Journal of Ecology*, 2001, **89**: 1033–1040
- [22] Zhang J-Y (张继义), Zhao H-L (赵哈林). Review on the study of vegetation stability. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 2003, **22**(4): 42–48 (in Chinese)
- [23] Jiang J-H (姜加虎), Huang Q (黄群), Sun Z-D (孙占东). Study on sediment deposition and beach in Dongting Lake. *Yangtze River* (人民长江), 2009(14): 74–75 (in Chinese)
- [24] Chang J, Li JB, Lu DQ, *et al.* The hydrological effect between Jingjiang River and Dongting Lake during the initial period of Three Gorges Project operation. *Journal of Geography Science*, 2010, **20**: 771–786
- [25] Jiao J-Y (焦菊英), Ma X-H (马祥华), Bai W-J (白文娟), *et al.* Correspondence analysis of vegetation communities and soil environmental factors on abandoned cropland on hilly-gullied Loess Plateau. *Acta Pedologica Sinica* (土壤学报), 2005, **42**(5): 42–50 (in Chinese)
- [26] Dwire KA, Kaufman JB, Baham JE. Plant species distribution in relation to water-table depth and soil redox potential in montane riparian meadows. *Wetlands*, 2006, **26**: 131–146
- [27] Wu C-D (吴春笃), Meng X-M (孟宪民), Chu J-Y (储金字), *et al.* Correlation between hydrological situation and vegetation in Mount Beigu wetland. *Journal of Jiangsu University* (Natural Science) (江苏大学学报·自然科学版), 2005, **26**(4): 331–335 (in Chinese)

作者简介 胡佳宇,男,1989年生,硕士研究生.主要从事湿地水文方面的研究. E-mail: hujia187@qq.com

责任编辑 李凤琴
