

DOI: 10.5846/stxb201312172967

李扬, 王冬梅, 信忠保, 王晶, 任远, 李青山. 漓江水陆交错带不同淹没区植物多样性与土壤特征. 生态学报, 2015, 35(15): 5121-5130.

Li Y, Wang D M, Xin Z B, Wang J, Ren Y, Li Q S. Plant diversity and soil characteristics of different inundation zones in an aquatic-terrestrial ecotone, Li River. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(15): 5121-5130.

漓江水陆交错带不同淹没区植物多样性与土壤特征

李 扬, 王冬梅*, 信忠保, 王 晶, 任 远, 李青山

北京林业大学水土保持学院, 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083

摘要: 针对旅游区水陆交错带出现植被退化、砾石裸露导致景观观赏度降低的问题, 以广西桂林市大圩古镇水陆交错带为研究区域, 按照水陆交错带淹没程度将其划分不同淹没区, 并在详细调查基础上研究了各淹没区植被指标与土壤理化特征分布特征。结果表明: 研究区内水陆交错带物种组成以一年生草本植物为主, 物种多样性在各个不同淹没区基本呈现为先增后减的趋势, 具体为轻度淹没区>中度淹没区>重度淹没区>微度淹没区; 随着水文作用的减弱, 土壤砂粒含量呈现逐渐减小的趋势, 粉粒和黏粒含量呈现逐渐增加趋势, 土壤容重、土壤有机质含量和土壤全磷含量呈现先减后增的趋势; 全氮含量呈现先增后减趋势, 全钾含量在各淹没区差异不明显; 研究表明大圩古镇水陆交错带土壤理化性质与植被多样性强烈地受以水位为主导的水文过程的影响与控制。扁蓄可以作为一种指示水淹时间的物种; 此外, 大圩古镇水陆交错带除受水文作用影响较大外, 高强度旅游干扰也是重要的因素之一, 植被恢复工作应兼顾生态和旅游, 提升大圩古镇景观游憩度。

关键词: 水文; 植被; 土壤; 漓江; 水陆交错带; 旅游区

Plant diversity and soil characteristics of different inundation zones in an aquatic-terrestrial ecotone, Li River

LI Yang, WANG Dongmei*, XIN Zhongbao, WANG Jing, REN Yuan, LI Qingshan

Soil and Water Conservation, College of Beijing Forestry University, State Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Prevention, Beijing 100083, China

Abstract: This essay studied the relationship between vegetation index and soil physical and chemical characteristics of different inundation zones of the aquatic-terrestrial ecotones of Daxu Town. It also addressed the ecological problems related to water shortage and vegetation degeneration occurring in the Li River in recent years. The results showed that in the study area, species composition of the aquatic-terrestrial ecotone was dominated by annual herbaceous plants and species diversity in different inundation zones initially increased and then reduced. The change in species diversity was in the following order of inundation degree: light inundation zone > severe inundation zone > middle inundation zone > micro inundation zone. Weakening of the hydrological influence resulted in gradual reduction of sand content, gradual increase of silt and clay content, whereas soil bulk density, soil organic matter, and total soil phosphorus initially reduced and then increased. The total nitrogen content decreased after the initial increase, total potassium was not significantly different in all zones, whereas soil properties and vegetation diversity of Daxu Town ecotone were strongly influenced and controlled by the water level. The study also indicated that *Polygonum aviculare* can be used as an indicator species for flooding. In addition, the Daxu Town ecotone is also affected by tourism. Therefore, vegetation restoration work should consider the ecological aspects of the ecotone and tourism in order to enhance the Daxu Town landscape and possibilities for recreation.

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划项目(2012BAC16B03)

收稿日期: 2013-12-17; 网络出版日期: 2014-09-25

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: dmwang@126.com

Key Words: hydrologic conditions; vegetation; soil; Li River; aquatic-terrestrial ecotones; tourist area

位于漓江东岸的大圩古镇兼备着美丽的自然风光和浓郁的人文气息,旅游资源丰富。但是近年来,漓江水陆交错带湿地萎缩,植被退化,消落带明显^[1],水陆交错带砾石大面积裸露,直接影响了漓江以及大圩古镇的美观度,因此急需对古镇的水陆交错带进行植被恢复。前人研究表明^[2-6],水文条件是影响水陆交错带最重要的因素之一,水陆交错带的土壤除受到水位涨落引起的重力侵蚀和频繁的水浪冲击的影响之外,在出露成陆期还要受到雨水冲刷与击溅,在这种长期的影响下会导致水陆交错带土壤理化性状发生改变;大多数原生长的陆生植物不能在短期内改变在长期系统发育过程中形成的生物学和生态习性而受到生存威胁,在对水陆交错带进行植被恢复之前,摸清水陆交错带水文情势与植被土壤的关系成为最为关键的问题。针对这一问题,国内外许多学者进行了相关的研究,如方婧^[7]、张金洋^[8]、张丽丽^[9]和 Brettar I^[10]等对水陆交错带的植物群落和土壤特征做了一系列的研究,探究了水陆交错带植被和土壤空间分布规律;卢志军^[11]、孙荣^[12]、赵常明^[13]和王勇^[14]等对三峡库区消落带植物群落物种多样性进行了相关的研究,分析了三峡库区消落带植物群落的空间格局以及主要影响限制因子;Riis 等^[15]、Leyer^[16]和 Mayee 等^[17]分别在新西兰 Wanaks 湖、德国 Elbe 河和美国西北太平洋沿岸消落带的研究发现水位变化对植被覆盖率、植物物种组成以及种群演替都有明显的影响作用。目前研究大多集中在库区和自然河流,对典型旅游区的水陆交错带的相关研究却鲜见报道,尤其缺乏基于精细地形的土壤-植被系统调查,另外,水文过程对水陆交错带土壤理化性质与植被多样性的影响都还有待进一步研究。

位于漓江河畔的大圩古镇水陆交错带,具有典型的水陆交错带立地类型系统,并且是旅游热点区域,能代表高强度旅游活动干扰作用下的旅游型河流的特色。本文以典型旅游区大圩古镇水陆交错带为例,通过对水陆交错带水文与植被土壤关系进行分析,旨在为漓江水陆交错带植被恢复、景观美化等方面的研究提供科学依据。

1 研究区域

广西桂林市大圩古镇位于漓江东岸,父子岩东南,磨盘山北,距桂林 23km 水程,研究区位于大圩古镇西侧,濒临漓江,地理坐标为东经 110°24'30"—110°25'30",北纬 25°10'50"—25°11'05"。大圩古镇始建于北宋初年,距今已有千年历史,远在 600 年前,大圩古镇便位列广西四大圩镇(宾阳的芦圩、苍梧的戎圩、贵县的桥圩、桂林的大圩)之首。古镇行政区划面积 193.78 km²,总人口 5.16 万人,其中镇区常住人口 1.5 万人,耕地 35.2 hm²。大圩古镇是著名的集市贸易集散地和旅游景点,每年数以万计的游客到此观光游览。

大圩古镇位于中亚热带湿润季风气候区,全年光照充足,平均气温 17.8—19.1℃,年降雨量 1814—1941 mm,年蒸发量 1377—1857 mm,年径流量相当丰富,但全年分布极不均匀,3 月到 8 月为汛期,9 月到次年 2 月为枯水期。古镇乔木植物主要为枫杨(*Pterocarya tonkinensis*),灌木植物主要为黄荆(*Vitex negundo*)、牡荆(*V. negundo* var. *cannabifolia*)和一叶萩(*Flueggea suffruticosa*),草本主要为狗牙根(*Cynodon dactylon*)和水蓼(*Polygonum hydropiper* L.)。

2 研究方法

2.1 研究区测绘与淹没区划分原则

研究区地形于 2012 年 12 月进行测量与绘制,并利用 Arcgis 地理信息系统的 3D Analyst 模块,将研究地形等高线数据矢量化,生成数字高程。

经过测量研究区高程在 128.6—132.1m 之间,面积为 5.1hm²,根据常年观测水文数据,结合近 1 年定点观测数据,按照淹没时间长短并综合考虑主导性植被高程分布,沿水位线将研究区水陆交错带进行淹没区划分。

2.2 野外植物群落调查与土壤取样

在漓江水陆交错带每个淹没区均设置 10m×10m 生态学调查样地 9 块,4 个淹没区共设置调查样地 36 块

(图 1), 对每块样地内所有乔木和灌木进行调查, 并在每个样地的四角和中央设置分别 1 个 1 m×1 m 的草本植物调查样方, 每个样地共计 5 个草本植物样方, 草本样方共计 140 个。对乔木调查的内容包括: 种名、冠幅、高度、胸径; 对灌木调查的内容包括: 种名、高度、冠幅、地径、盖度、株数; 草本植物样方的调查内容包括: 种名、数量、频度、高度和盖度, 用于植被群落多样性指标的计算^[18]。

漓江水陆交错带土层厚度较薄, 因此只采集表层 0—20 cm 土层的土样。在选取的每个样地中采用梅花型设置采样点, 每个调查样地设置采样点 5 个, 土壤采样点共计 45 个, 在采样点采集表层土壤, 取 3 个重复, 共采集土壤样品 135 份, 用于土壤机械组成、有机质、pH 值、N 含量、P 含量和 K 含量的测定; 环刀和铝盒取土同样在采样点进行, 取 3 个重复, 用于土壤容重的测定。植物调查和土壤取样时间均为 2012 年 12 月。

2.3 测定方法

土壤机械组成按照美国农业部制标准划分, 并采用筛分和比重计相结合的方法测定; 容重采用烘干称质量法测定; pH 值采用 pH 酸度计法; 有机质测定采用重铬酸钾氧化-外加热法; 全氮用半微量凯氏法; 全磷采用氢氧化钠熔融-钼锑抗混合试剂比色法, 全钾采用氢氧化钠熔融-火焰光度法^[19]。

2.4 数据计算与分析

多样性指标通过以下几个指数反映, 分别为物种丰富度指数 S 、Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数、Simpson 优势度指数。计算公式如下: 物种丰富度指数 $S = \text{样方内物种数} / \text{样方面积}$; Shannon-Wiener 多样性指数 $H' = - \sum P_i \ln P_i$, $P_i = N_i / N$, N_i 为样方中第 i 物种的个体数, N 为样方总个体数; Simpson 优势度指数 $D' = 1 / \sum (P_i)^2$; Pielou 均匀度指数 $J = H' / \ln S$; 重要值 = (相对多度 + 相对频度 + 相对显著度) / 3^[20-21]。

所有数据使用 Excel 软件进行处理, 并运用 SPSS18.0 软件进行方差分析、相关性分析及 Duncan 多重比较分析。

3 结果与分析

3.1 水陆交错带淹没区空间分布特征

按照淹没区淹没时间长短沿水位线将研究区水陆交错带分为重度淹没区、中度淹没区、轻度淹没区和微度淹没区 4 个层次, T_1 : 第一层次为重度淹没区, 即水位线为 128.6—129.7m 高程的水陆交错带, 面积为 1.30hm², 这一层次淹没时间最长, 平均淹没时间为 7—8 个月; T_2 : 第二层次为中度淹没区, 即水位线为 129.8—130.4m 高程的水陆交错带, 面积为 1.83hm², 平均水淹时间 5—6 个月; T_3 : 第三层次为轻度淹没区, 即 130.5—131.0 m 高程的水陆交错带, 面积为 1.49hm², 平均水淹时间为 1—2 个月, T_4 : 第四层次为微度淹没区, 即 131.1—132.1m 高程的水陆交错带, 面积为 0.48hm², 有浆砌石护岸措施, 水淹时间较短, 仅在连续暴雨情况下出现洪水淹没, 研究区淹没区分布情况如图 2 所示。

3.2 水陆交错带不同淹没区植被特征

3.2.1 淹没区植被物种组成特征

研究区内共出现 21 种植物物种, 分别属于 15 科、18 属, 具体为 1 种乔木植物, 3 种灌木植物, 17 种草本

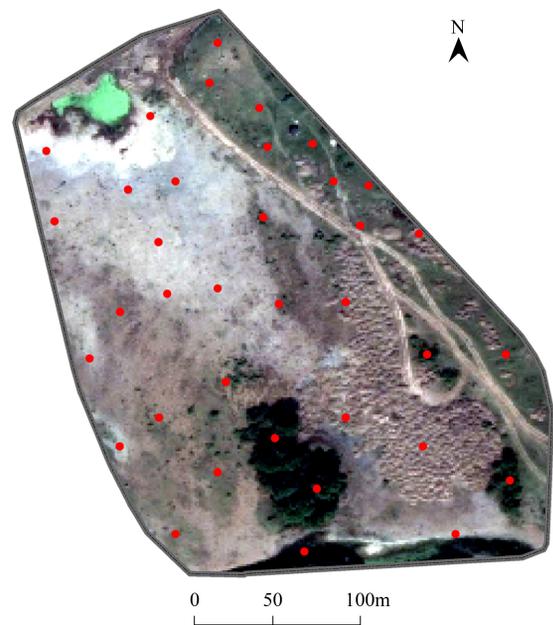


图 1 样地分布图

Fig.1 The image of plot distribution

植物。由表 1 可以看出, T₁、T₂、T₃ 和 T₄ 淹没区物种数分别为 6 种、12 种、14 种和 3 种, 其中多年生草本 8 种, 一年生草本 9 种。

就物种分布情况来看, T₁ 淹没区分布物种 6 种, 均为草本植物, 具体分别为狗牙根 (*Cynodon dactylon*)、扁蓄 (*Polygonum aviculare* L.)、堇菜 (*Viola verecunda*)、苔草 (*Carex tristachya*)、沙滩草 (*Cryptocoryne sinensis*) 和酸模叶蓼 (*Polygonum lapathifolium*)。其中狗牙根在 4 个淹没区均有分布, 扁蓄在 T₂、T₃ 淹没区有分布, 堇菜在 T₂ 淹没区也有少量分布, 而苔草、沙滩草和酸模叶蓼仅在 T₁ 淹没区分布。

在中度淹没区中出现灌木物种 3 种, 分别为黄荆 (*Vitex negundo*)、牡荆 (*V. negundo* var. *cannabifolia*) 和一叶萩 (*Flueggea suffruticosa*) 并延续到 T₃ 淹没区, 另外草本物种种类增加, 出现水蓼 (*Polygonum hydropiper*)、胜红蓟 (*Ageratum conyzoides*)、母草 (*Lindernia crustacea*)、茵茵蒜 (*Ranunculus chinensis*)、车前 (*Plantago asiatica*) 和空心莲子草 (*Alternanthera philoxeroides*), 其中母草和车前在 T₃、T₄ 淹没区也有分布, 水蓼在 T₃ 淹没区同样有分布, 胜红蓟和茵茵蒜仅在 T₂ 淹没区出现。

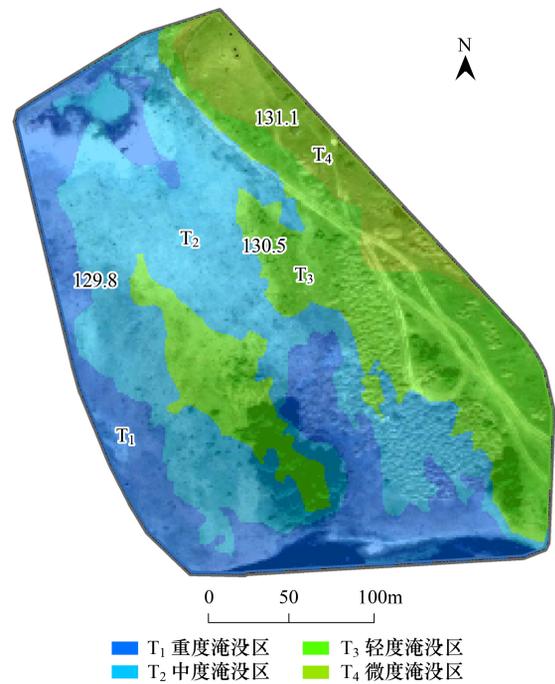


图 2 淹没区分布图
Fig.2 The map of inundation zone

表 1 不同淹没区物种重要值与盖度

Table 1 Species importance value and coverage in different inundation zone

编号 Number	物种名 Species	种类 Sort	生活周期 Life cycle	物种重要值 Importance value				物种盖度/郁闭度 Coverage/Canopy			
				T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
1	枫杨	乔木	多年	—	—	55.3	—	—	—	78	—
2	黄荆	灌木	多年	—	4.2	7.8	—	—	6	11	—
3	牡荆	灌木	多年	—	8.3	6.9	—	—	8	12	—
4	一叶萩	灌木	多年	—	22.4	4.2	—	—	24	5	—
5	小蓬草	草本	1 年	—	—	1.2	—	—	—	3	—
6	水蓼	草本	1 年	—	23.4	8.6	—	—	39	2	—
7	芥菜	草本	1 年	—	—	1.2	—	—	—	2	—
8	葶菜	草本	1 年	—	—	1.1	—	—	—	2	—
9	鹅肠菜	草本	多年	—	—	0.9	—	—	—	2	—
10	胜红蓟	草本	1 年	—	0.9	—	—	—	1	—	—
11	狗牙根	草本	多年	2.3	10.2	5.8	85.9	2	22	13	92
12	堇菜	草本	多年	1.2	3.2	—	—	1	3	—	—
13	母草	草本	1 年	—	5.2	0.4	5.6	—	4	1	3
14	茵茵蒜	草本	多年	—	1.3	—	—	—	2	—	—
15	酸模叶蓼	草本	1 年	5.6	—	—	—	3	—	—	—
16	扁蓄	草本	1 年	19.8	5.8	0.3	—	10	4	1	—
17	土牛膝	草本	多年	—	—	2.3	—	—	—	3	—
18	车前	草本	多年	—	2.1	2.1	3.2	—	2	2	1
19	空心莲子草	草本	多年	—	3.2	—	—	—	2	—	—
20	苔草	草本	多年	9.5	—	—	—	7	—	—	—
21	沙滩草	草本	多年	3.3	—	—	—	5	—	—	—

T₁: 重度淹没区; T₂: 轻度淹没区; T₃: 中度淹没区; T₄: 微度淹没区

在轻度淹没区出现乔木枫杨 (*Pterocarya stenoptera*), 并出现新的草本物种 5 种, 它们分别是小蓬草 (*Conyza canadensis*)、芥菜 (*Capsella bursa-pastoris*)、蔊菜 (*Rorippa indica*)、鹅肠菜 (*Myosoton aquaticum*) 和土牛膝 (*Achyranthes aspera*)。在微度淹没区物种数量减少, 仅为 3 种草本植物, 分别为狗牙根、母草和车前。

从表 1 中物种盖度和物种重要值能够看出, 重度淹没区的优势物种为扁蓄和苔草; 中度淹没区的优势物种为水蓼、一叶荻、和狗牙根; 轻度淹没区的优势物种为枫杨、黄荆、牡荆、水蓼和狗牙根; 微度淹没区为狗牙根。

由图 3 和表 1 看出, 在受水文影响相对严重的 T_1 、 T_2 和 T_3 淹没区中, 只有 T_1 淹没区多年生草本物种数量多于一年生草本, 随着水文影响作用的逐渐减小, 一年生草本植物种类呈现明显增加的趋势, 由最初的 2 种增加至 6 种, 且在 T_2 和 T_3 淹没区中一年生草本植物的种类都要多于多年生草本种类。 T_4 淹没区为受人类活动控制区域, 水文影响相对较弱, 而且情况较为特殊, 建有护堤措施, 人工干预客土并种植大量狗牙根, 植物物种较为单一, 仅存在 3 种草本植物, 其中一年生草本植物 1 种, 多年生草本植物 2 种。

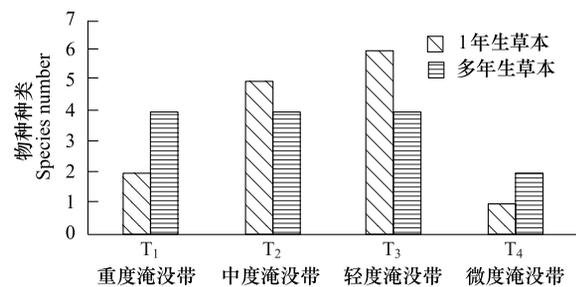


图 3 不同淹没区残本植物种类分布

Fig.3 Species distribution in different inundation zone

由表 2 可以看出, 大圩古镇水陆交错带优势草本植物主要有 4 种, 分别为扁蓄、苔草、水蓼和狗牙根, 它们具有一些相同的特性, 如喜好潮湿环境, 具有较多的根茎和分枝, 以及对土壤要求不严等, 这些自身的生态学特性有利于其更好的适应水陆交错带的环境。在各淹没区优势草本物种分布方面, 除 T_4 淹没区外, 其他 3 个淹没区的优势草本物种均为 1 种多年生草本和 1 种一年生草本, 但是在优势草本的重要值方面, 在 T_1 、 T_2 和 T_3 3 个淹没区中, 一年生草本物种重要值分别为 19.8、23.4 和 8.6, 而多年生草本物种重要值分别为 9.5、10.2 和 5.8, 一年生的草本物种的重要值均比多年生草本的重要值高。 T_4 淹没区建有有人工护堤, 受水文影响很小, 人为种植狗牙根, 故其优势植物种为狗牙根。

表 2 不同淹没区优势草本物种分布表

Table 2 Dominant herbaceous species distribution in different inundation zone

淹没区 Inundation zone	优势物种生长年限与重要值 Growth years/Importance value	
	一年生草本/重要值 Annual herb/Importance value	多年生草本/重要值 Perennial herb/Importance value
	T_1	扁蓄/19.8
T_2	水蓼/23.4	狗牙根/10.2
T_3	水蓼/8.6	狗牙根/5.8
T_4	—	狗牙根/85.9

3.2.2 淹没区植被多样性指标分布特征

由表 3 看出, 4 个淹没区群落丰富度、多样性、均匀度和优势度均呈现先增后减趋势。丰富度指数先由 3.000 增加至 9.000, 之后下降至 3.000; 多样性指数先由 0.247 增加至 1.748, 之后下降至 0.215; 均匀度指数先由 0.352 增加至 0.812, 之后下降至 0.155; 优势度先由 0.227 增加至 0.786, 之后下降至 0.193。微度淹没区 T_4 丰富度与重度淹没区 T_1 的丰富度指数相同, 多样性、丰富度、优势度指数均比其他 3 个淹没区相应的指数小; 而轻度淹没区 T_3 的各项指数均高于其他 3 个淹没区。物种多样性指标除 T_1 和 T_4 淹没区物种丰富度差异不显著外, 其他各项多样性指标在各个淹没区差异均显著。

3.3 水陆交错带不同淹没区土壤特征

由图 4—图 9 可以看出, 4 个淹没区土壤机械组成、容重、有机质、全氮、全磷和全钾的变化呈现不同的趋势, 随着水文作用的减弱, 土壤砂粒含量呈现逐渐减小的趋势, 粉粒和黏粒含量呈现逐渐增加趋势, 而且砂粒

含量在每个淹没区中均远高于粉黏粒的含量;土壤容重呈现先减后增的趋势, T_1 和 T_4 淹没区土壤容重含量明显高于 T_3 和 T_2 淹没区,其中 T_3 淹没区土壤容重最小;土壤有机质含量呈现先减后增的趋势,具体分布为 $T_1 > T_4 > T_2 \approx T_3$,其中 T_2 和 T_3 淹没区有机质含量差异不明显;全氮含量呈现先增后减趋势,具体分布为 $T_3 > T_4 > T_2 > T_1$;土壤全磷含量呈现先减后增的趋势,其中 T_3 淹没区土壤全磷含量最低, T_1 、 T_2 和 T_4 淹没区全磷含量较高;全钾含量在各淹没区差异不明显。

表3 不同淹没区物种多样性指标

Table 3 Species diversity index in different inundation zone

淹没区 Inundation zone	物种多样性指标 Species diversity index			
	丰富度 Richness	多样性 Diversity	均匀度 Evenness	优势度 Dominance
T_1	3.000a	0.247b	0.352b	0.227b
T_2	8.000b	1.293c	0.617c	0.652c
T_3	9.000c	1.748d	0.812d	0.786d
T_4	3.000a	0.215a	0.155a	0.193a

不同小写字母表示差异显著, $P < 0.05$

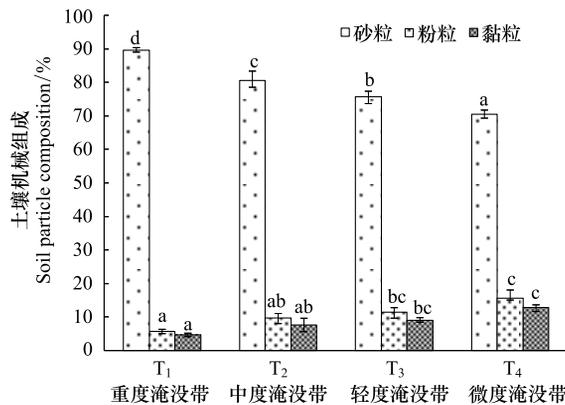


图4 不同淹没区土壤机械组成

Fig.4 Soil mechanical composition

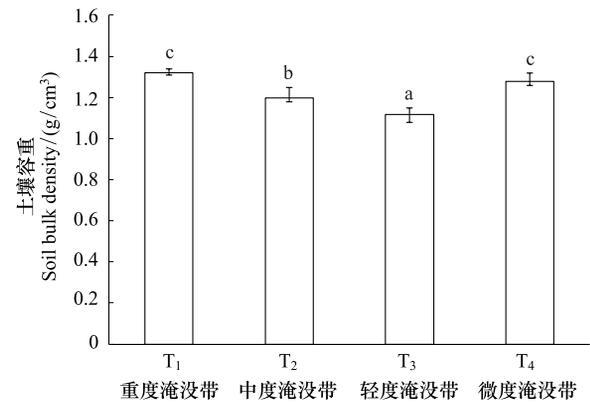


图5 不同淹没区土壤容重

Fig.5 Soil bulk density

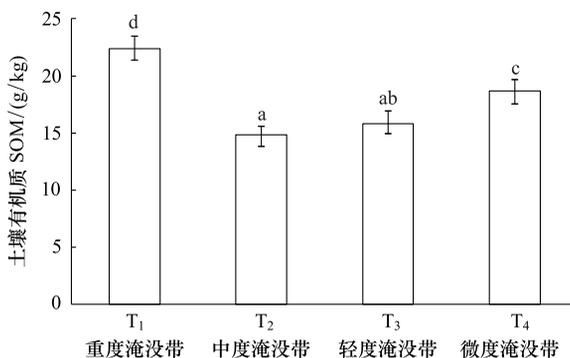


图6 不同淹没区土壤有机质

Fig.6 Soil organic matter

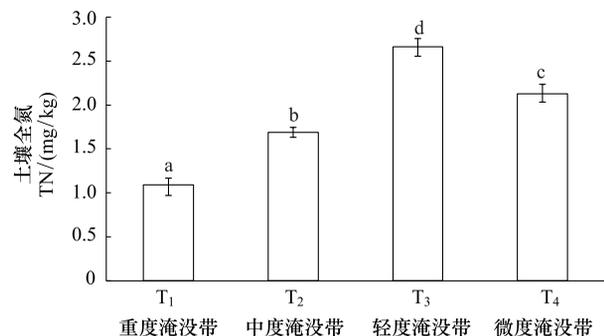


图7 不同淹没区土壤全氮

Fig.7 Soil total nitrogen

土壤 pH 值是影响土壤养分有效性和化学物质在土壤中行为的主要因素^[22],漓江水陆交错带地处西南典型喀斯特地貌地带,喀斯特地区岩性主要以石灰岩为主,其土壤是石灰性土壤(发育于石灰质岩的岩成土),pH 值呈微碱性^[23],根据实验测定,大圩古镇不同淹没区土壤 pH 值在 7.134—7.868 之间(表 4),土壤 pH 随着

水文作用的减弱呈现减小的趋势。

表 4 不同淹没区土壤 pH 分布表

Table 4 Soil pH in different inundation zone

序号 Number	淹没区名称 Inundation zone	pH	序号 Number	淹没区名称 Inundation zone	pH
T ₁	重度淹没区	7.868d	T ₂	中度淹没区	7.725bc
T ₃	轻度淹没区	7.621b	T ₄	微度淹没区	7.134a

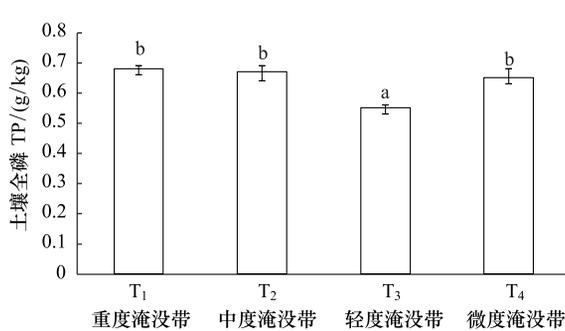


图 8 不同淹没区土壤全磷
Fig.8 Soil total phosphorus

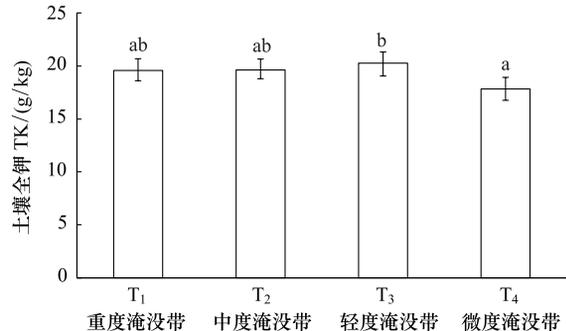


图 9 不同淹没区土壤全钾
Fig.9 Soil total potassium

研究喀斯特地区土壤 pH 值与土壤养分的关系可以更直观地揭示这种典型地貌碱性土壤对土壤养分的影响,可以为植被恢复和养护提供参考依据,同时也具有一定的区域代表性。本文对 135 组数据中的土壤 pH 值与土壤有机质、全氮、全磷、全钾含量进行相关性分析,如表 5 所示,土壤 pH 值与土壤有机质、全氮和全钾含量成负相关关系,其中与土壤全氮呈显著负相关,相关系数为-0.686,与土壤全磷含量呈极显著正相关,相关系数为 0.901。土壤有机质与土壤全氮呈显著正相关,相关系数为 0.623;土壤全磷与土壤全氮成显著负相关,相关系数为-0.672,而土壤全钾相对独立,与其他土壤养分参数没有显著相关性。

表 5 土壤 pH 值、有机质、全氮、全磷、全钾的相关关系

Table 5 Correlation of soil pH, organic matter, total nitrogen, total phosphorus and total potassium

土壤化学性质 Soil chemical properties	土壤 pH Soil pH	有机质 Organic matter	全氮 Total nitrogen	全磷 Total phosphorus	全钾 Total potassium
pH	1	-0.514	-0.686 *	0.901 **	-0.302
有机质	-0.514	1	0.623 *	-0.476	0.506
全氮	-0.686 *	0.623 *	1	-0.672 *	0.465
全磷	0.901 **	-0.476	-0.672 *	1	-0.387
全钾	-0.302	0.506	0.465	-0.387	1

* 表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关; ** 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关

4 讨论

4.1 水陆交错带植被特征及高程差异

扁蓄属蓼科,为一年生草本,它喜好湿润的环境,有较强的适应气候的能力,常分布于农田、荒地、路旁或水边湿地^[24]。从表 1 中看出扁蓄在 4 个淹没区重要值的分布规律,呈现逐渐减小的趋势,并在微度淹没区上物种消失,这正与 4 个淹没区的水淹时间长短呈正相关关系,可以作为一种指示性的物种。

研究结果表明研究区内水陆交错带物种组成以一年生草本植物为主,这一结论与国内外其他相关研究结

论相对一致^[12,25-26],而且一些学者对淹水前后草本组成的研究也表明,淹水能够提高一年生草本的比例^[14,27]。导致这种现象发生的主要原因可能与不同草本植物对水文作用的响应和适应程度有关,一年生草本植物生长周期短、繁殖力强,在水陆交错带出露时间较短的淹没区也可以完成其生活史,次年依靠土壤种子库或者临近种源开始新的生长周期,而多年生植物则需要相对较长时间来完成其整个生命周期,在淹水较多的情况下大都难以存活。因此一年生草本植物能够很好地利用和适应水陆交错带的这种水文动态变化,在群落中的比例较大。

水陆交错带物种多样性在各个不同淹没区基本呈现为先增后减的趋势,具体为轻度淹没区>中度淹没区>重度淹没区>微度淹没区,因为微度淹没区的植物多为进行护堤措施后客土种植,物种组成相对单一,除微度淹没区外,其他3个淹没区的物种多样性指标与水淹时间呈现负相关趋势,植物群落随着水淹时间的减少,物种呈现从无到有,从低级到高级的变化,群落中物种数量越来越丰富,植被覆盖度明显增加,物种组成结构变得复杂,表征群落的优势种明显性降低,物种个体分布及其组成趋于均匀,这一结论与前人研究结论相一致^[28-30]。微度淹没区处于水生生态系统到陆生生态系统的过度,有一定的边缘效应,如果在自然状态下生物多样性应该处在一个较高的水平上^[17,31],但是此淹没区从土壤(外地运来的客土)、防治水文干扰(修建护堤措施)到种植植物(人工草坪)都是为人类所控制的,因此植被多样性最低的主要原因是来自于人为种植均一化。

水陆交错带为典型的干湿交替影响区域,不具备耐淹耐旱的植物种会受其影响出现死亡,致使这一区域植被大规模退化,水文是影响水陆交错带的主导性因素。本研究发现水陆交错带植被情况与洪水淹没时间基本呈现反相关的趋势,而前人研究表明^[11-12,33],在经历水文涨落周期之后,水陆交错带植被数量、组成、生活型以及多样性等方面都会发生变化,而且水淹也会使土壤等其他环境因子发生变化而间接影响植被,因此水文对植被主要影响机制还需要进一步分析研究。

4.2 水陆交错带土壤特征及高程差异

土壤粒径分布规律可能与水文作用的影响有关,水流冲刷河岸,土壤中的粉粒、黏粒等细粒物质大量流失,受水文作用影响越大的淹没区流失量越大,致使粉黏粒含量下降,砂粒含量增加。土壤容重表现为 T_1 和 T_4 淹没区较大,这可能与研究区处于旅游景区有关,枯水季砾石裸露,大量游客在重度淹没区人为踩踏和游憩,对土壤进行压实,致使容重增加。

土壤有机质是土壤稳定性的重要保障,它是生态系统在特定条件下的动态平衡值,主要来源于植物、动物、微生物残体及其排泄物和分泌物,并处于不断分解与合成的动态过程^[32],有研究表明土壤经常处于淹水状态,其氧化还原电位低,会形成大量还原性物质,有利于有机质积累,再加上淹水缺氧微生物活动受阻,有机质分解减缓^[33], T_1 淹没区长期处于淹水状态,而且枯水季洪水退去由洪水冲刷上岸的死亡植物留在 T_1 淹没区,因此有机质含量较高,而随着水文影响的减小,植被通过光合作用储存有机质, T_3 淹没区物种相对丰富,故而其有机质含量高于物种丰富度相对较小的 T_2 淹没区。 T_4 为微度淹没区,有人工护堤,受水文影响极小,并覆有客土,有机质含量较高。

全氮与有机质间有着密切相关关系,因为土壤中氮素主要以有机态存在,因此有机质含量越高其全氮含量也越高^[34-35],从表4中可以全氮与有机质呈显著正相关。全氮含量从 T_1 到 T_4 呈现先增后减的趋势,与植被丰富度、多样性、均匀度和优势度均成正相关关系,这是因为地表植被能够改变土壤微环境条件和生态系统生物量和多样性,促进固氮细菌等微生物活动,并且还能够降低区域内土壤侵蚀,改善土壤质量,进而可以提高土壤氮含量,这也与前人的研究成果相符合^[36-37]。与土壤氮素不同,钾元素受土壤母质的影响较大,从表4中相关分析中看出土壤全钾与有机质、全氮、全磷均没有显著相关性。从全磷含量的分布来看,重度和中度淹没区含量较高,这可能与漓江流域江边居民在江边进行洗衣等洗刷活动以及农业径流、生活污水的排放有关,洗刷用品中含有大量的磷,而漓江边的有许多入江水渠,排放大量的农业径流和生活污水,致使这两个淹没区的磷含量较高,而且这两个淹没区的植被情况相对较差,植被对土壤 pH 的改造能力也相对较低,造成这两个

淹没区的土壤 pH 值较高,这也是土壤磷含量与土壤 pH 呈现显著正相关的现象的原因。

本文对水陆交错带土壤机械组成与土壤容重 2 个土壤物理指标进行重点分析,而许多学者对三峡库区其他土壤物理指标进行了详细的研究,如康义等^[2]连续 2 年对三峡库区消落带土壤物理性质定位监测,主要从经受 2 个水位涨落周年的土壤孔隙度(总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度)和持水量(最大持水量、毛管持水量及田间持水量)变化进行阐述说明,因此本研究在后续研究中将增加相关分析指标,并探讨漓江水陆交错带洪水水淹前后的土壤性质变化特征;另外,旅游区内水陆交错带土壤理化特性受水文、沿江居民行为、旅游、植被等多方面及长时期因素的影响,各种因素的影响方式及影响过程也都有待于进一步研究。

4.3 古镇水陆交错带植被恢复建议

本研究区位于广西桂林著名旅游景点大圩古镇与漓江之间,而且研究区本身也是众多游客游憩的地方,冬季枯水期大量砾石裸露,加之部分植物种死亡,致使水陆交错带整体植被覆盖度较低,色彩也较为单一,这些都对景色的观赏度产生了较大的影响,植被恢复工作显得尤为重要。

本研究区影响植被恢复的干扰因素较多,除了干扰强烈的水文因素之外,旅游踩踏和人为污染等干扰也同样不可忽视,因此植被恢复工作存在一定难度,笔者建议植被恢复工作可以紧密围绕旅游这一鲜明主体,首先解决水文作用的影响,然后在此基础上进行植被恢复工作,用于植被恢复的物种尽量选择研究区已有并且长势良好的乡土物种。通过前面土壤特征的分析,重度淹没区的土壤条件总体较好,可以辅以工程措施减小水文干扰,然后人工种植两栖类植物,解决砾石裸露问题。中度和轻度淹没区受水文影响相对较小,植物种类也较丰富,可以种植景观类物种增加色彩度和覆盖度,并设计几条游憩道路,满足游客亲近自然的需求。微度淹没区对人工草坪进行适当休整,为游客提供良好休憩环境。

5 结论

(1) 研究表明,扁蓄的分布规律与淹没区的水淹时间长短呈明显的相关关系,当水文作用减弱时,扁蓄分布呈现减少趋势,可以将其作为一种指示性物种。相对于多年生草本,一年生草本物种在水陆交错带草本群落中占据绝对优势,表明一年生草本植物更能够适应水陆交错带的环境变化,可以为植被恢复提供参考。

(2) 除有护堤措施和人工客土的微度淹没区外,大圩古镇水陆交错带的天然植被情况表现为随着水文作用的减弱,物种种类和数量显著增加,植被各项指标逐级递增,物种多样性指标差异性显著。微度淹没区物种多样性数值很低主要是人为种植均一化的结果。

(3) 喀斯特碱性土壤对土壤养分有一定的影响,土壤 pH 与土壤有机质、全氮和全钾含量呈负相关关系,与全磷含量呈正相关关系,表明土壤 pH 与土壤各种营养物质存在互馈机制,而且土壤理化特性受水文、旅游、人为污染等多方面及长时期因素的影响,具体影响式与过程还有待进一步探究。

(4) 本研究区植被恢复重点应突出旅游特色,以重度淹没区植被恢复为主,并兼顾其他 3 个淹没区,从而全面提升大圩古镇水陆交错带的景观度、色彩度和游憩度。

参考文献(References):

- [1] 黄伟军,刘秀珍,蔡德所. 漓江水生态系统问题研究. 生态环境, 2007, 3(3): 131-134, 159-159.
- [2] 康义,郭泉水,程瑞梅,洪明,金江群,王福福. 三峡库区消落带土壤物理性质变化. 林业科学, 2010, 46(6): 1-5.
- [3] 章光新. 水文情势与盐分变化对湿地植被的影响研究综述. 生态学报, 2012, 32(13): 4254-4260.
- [4] 张志忠. 水文条件对我国北方滨海湿地的影响. 海洋地质动态, 2007, 23(8): 10-13.
- [5] 罗芳丽,王玲,曾波,叶小齐,陈婷,刘巖,张艳红, Kuhn A. 三峡库区岸生植物野古草(*Arundinella anomala* Steud.) 光合作用对水淹的响应. 生态学报, 2006, 26(11): 3602-3609.
- [6] 李景玉,杨胜天,徐宗学,李发鹏. 三门峡水库回水变动区土地利用/土地覆被变化及其景观格局分析. 农业工程学报, 2007, 23(3): 61-68.
- [7] 方婧,曹文志,苏彩霞. 南方丘陵地区竹林河岸系统的氮矿化、反硝化作用研究. 环境科学学报, 2011, 31(12): 2822-2829.
- [8] 张金洋,王定勇,石孝洪. 三峡水库消落区淹水后土壤性质变化的模拟研究. 水土保持学报, 2004, 18(6): 120-123.

- [9] 张丽丽, 殷峻暹, 蒋云钟, 王浩. 鄱阳湖自然保护区湿地植被群落与水文情势关系. 水科学进展, 2012, 23(6): 768-774.
- [10] Brettar I, Höfle M G. Close correlation between the nitrate elimination rate by denitrification and the organic matter content in hardwood forest soils of the Upper Rhine floodplain (France). *Wetlands*, 2002, 22(2): 214-224.
- [11] 卢志军, 李连发, 黄汉东, 陶敏, 张全发, 江明喜. 三峡水库蓄水对消涨带植被的初步影响. 武汉植物学研究, 2010, 28(3): 303-314.
- [12] 孙荣, 袁兴中, 刘红, 陈忠礼, 张跃伟. 三峡水库消落带植物群落组成及物种多样性. 生态学杂志, 2011, 30(2): 208-214.
- [13] 赵常明, 陈伟烈, 黄汉东, 田自强, 陈玥, 谢宗强. 三峡库区移民区和淹没区植物群落物种多样性的空间分布格局. 生物多样性, 2007, 15(5): 510-522.
- [14] 王勇, 吴金清, 黄宏文, 刘松柏. 三峡库区消涨带植物群落的数量分析. 武汉植物学研究, 2004, 22(4): 307-314.
- [15] Riis T, Hawes I. Effect of wave exposure on vegetation abundance, richness and depth distribution of shallow water plants in a New Zealand lake. *Freshwater Biology*, 2003, 48(1): 75-88.
- [16] Leyer I. Predicting plant species' responses to river regulation: the role of water level fluctuations. *Journal of Applied Ecology*, 2005, 42(2): 239-250.
- [17] Naiman R J, Decamp S H, Pollock M. The role of riparian corridors in maintaining regional biodiversity. *Ecological Applications*, 1993, 3(2): 209-212.
- [18] 孙振钧. 生态学实验与野外实习指导. 北京: 化学工业出版社, 2010: 10-12.
- [19] 南京农学院. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 1980: 31-52.
- [20] Magurran A E. *Ecological Diversity and its Measurement*. New Jersey: Princeton University Press, 1988.
- [21] Alatalo R V. Problems in the measurement of evenness in ecology. *Oikos*, 1981, 37(2): 199-204.
- [22] 魏孝荣, 邵明安. 黄土沟壑区小流域土壤 pH 值的空间分布及条件模拟. 农业工程学报, 2009, 25(5): 61-67.
- [23] 李瑞玲, 王世杰, 周德全, 张殿发, 李凤全, 周忠发, 熊康宁. 贵州岩溶地区岩性与土地石漠化的相关分析. 地理学报, 2003, 58(2): 314-320.
- [24] 宋喜文, 龚束芳. 生态型野生草地植被偃麦草和扁蓄蓼. 东北林业大学学报, 2008, 36(10): 73-74.
- [25] 王欣, 高贤明. 模拟水淹对三峡库区常见一年生草本植物种子萌发的影响. 植物生态学报, 2010, 34(12): 1404-1413.
- [26] 王业春, 雷波, 张晟. 三峡库区消落带不同水位高程植被和土壤特征差异. 湖泊科学, 2012, 24(2): 206-212.
- [27] 白宝伟, 王海洋, 李先源, 冯义龙, 智丽. 三峡库区淹没区与自然消落区现存植被的比较. 西南农业大学学报: 自然科学版, 2005, 27(5): 684-691.
- [28] Ferreira L V, Stohlgren T J. Effects of river level fluctuation on plant species richness, diversity and distribution in a floodplain forest in central Amazonia. *Oecologia*, 1999, 120(4): 582-587.
- [29] Casanova M T, Brock M A. How do depth, duration and frequency of flooding influence the establishment of wetland plant communities. *Plant Ecology*, 2000, 147(2): 237-250.
- [30] 李扬, 王冬梅, 信忠保. 漓江水陆交错带植被与土壤空间分异规律. 农业工程学报, 2013, 29(6): 121-128.
- [31] Nilsson C, Grelsson G, Johansson M, Sperens U. Patterns of plant species richness along riverbanks. *Ecology*, 1989, 70(1): 77-84.
- [32] 陈绍栓, 陈淑容, 马祥庆. 次生阔叶林不同更新方式对林分组成及土壤肥力的影响. 林业科学, 2001, 37(6): 113-117.
- [33] 王建超, 朱波, 汪涛. 三峡库区典型消落带淹水后草本植被的自然恢复特征. 长江流域资源与环境, 2011, 20(5): 603-610.
- [34] 夏汉平, 余清发, 张德强. 鼎湖山 3 种不同林型下的土壤酸度和养分含量及其季节动态变化特性. 生态学报, 1997, 17(6): 645-653.
- [35] 白军红, 邓伟, 张玉霞. 内蒙古乌兰泡湿地环带状植被区土壤有机质及全氮空间分异规律. 湖泊科学, 2002, 14(2): 145-151.
- [36] Sainju U M, Whitehead W F, Singh B P. Cover crops and nitrogen fertilization effects on soil aggregation and carbon and nitrogen pools. *Canadian Journal of Soil Science*, 2003, 83(2): 155-165.
- [37] Fu X L, Shao M G, Wei X R, Horton R. Soil organic carbon and total nitrogen as affected by vegetation types in Northern Loess Plateau of China. *Geoderma*, 2010, 155(1/2): 31-35.