

DOI: 10.5846/stxb201212061755

任远, 王冬梅, 信忠保. 漓江流域水陆交错带植被配置型式分类及生态特征. 生态学报, 2014, 34(15): 4423-4434.

Ren Y, Wang D M, Xin Z B. Classification and ecological characteristics analysis of vegetation arrangement type in land-water ecotone of Li River. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(15): 4423-4434.

漓江流域水陆交错带植被配置型式 分类及生态特征

任 远, 王冬梅*, 信忠保

(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: 通过以漓江流域水陆交错带为研究对象, 选取了 40 个样地实地调查其草本层盖度、植被类型、河岸带宽度、坡度、周边土地利用类型、位置、人为干扰度等指标, 运用聚类分析的方法将漓江流域水陆交错带现有植被配置型式进行汇总分类研究, 划分结果为: 江心洲天然灌草型式(T_1)、远郊天然林乔灌草型式(T_2)、城区人工乔草型式(T_3)、缓坡边滩天然草本型式(T_4)、农商用地人工林乔灌草型式(T_5)和城外天然乔灌草型式(T_6)。通过对各种植被配置型式的生态特征分析, 探讨了漓江流域现有的不同植被配置型式的退化状况及其存在的生态退化问题和原因, 提出了生态恢复建议: 江心洲天然灌草型式和远郊天然林乔灌草型式生态退化程度较小, 宜采取保护和自然恢复的方法; 城区人工乔草型式采用近自然方法治理; 缓坡边滩天然草本型式适当采用引种和育植方法治理; 农商用地人工林乔灌草型式生态恢复应注重生境多样性的恢复; 城外天然乔灌草型式退化较为严重, 采用全系列生态护坡和土壤生物工程护坡进行治理。

关键词: 漓江; 水陆交错带; 植被配置; 生态恢复

Classification and ecological characteristics analysis of vegetation arrangement type in land-water ecotone of Li River

REN Yuan, WANG Dongmei*, XIN Zhongbao

Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating, Ministry of Education, College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

Abstract: Based on land-water ecotone of the Li River, this study which selected 40 sample plots and chose the herb coverage, vegetation type, riparian zone width, slope, surrounding land use type, location and human disturbance degree as classification indicators aimed to classify the vegetation arrangement type by using clustering analysis method and discuss on current situation, existing problems and the reasons of ecological degradation of the existing different vegetation arrangement in Li River. Summarizing the sort results, it includes 6 types: Central island natural shrub-herb type (T_1), Exurb natural forest arbor-shrub-herb type (T_2), Urban artificial arbor-herb type (T_3), Gentle-slope-washland natural herb type (T_4), Agriculture or commercial land artificial forest arbor-shrub-herb type (T_5) and Suburban natural arbor-shrub-herb type (T_6). Through a variety of vegetation arrangement ecological feature analysis, this paper gives some advice on ecological restoration: Central island natural shrub-herb type and Exurb natural forest arbor-shrub-herb type have a lesser extent on ecological degradation, it should take the protection and natural recovery method; Urban artificial arbor-herb type is fit to near-natural controlling method; Agriculture or commercial land artificial forest arbor-shrub-herb type should pay attention to the restoration of habitat diversity; Gentle-slope-washland natural herb type can take the appropriate use of

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划项目 (2012BAC16B03)

收稿日期: 2012-12-06; 网络出版日期: 2014-03-03

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

introduction and cultivation method; the degradation of Suburban natural arbor-shrub-herb type is more severe, it should take Soil bioengineering and All series vegetated protection means.

Key Words: Li River; land-water ecotone; vegetation arrangement; ecological restoration

水陆交错带即是学者们常说的河岸带或消落带,国外对消落带研究较早且较为深入,北美、欧洲、澳大利亚、日本、南非等国家将位于水陆生态系统的交错带,称之为河岸带^[1-3];而国内研究起步则相对较晚,对水陆交错带出现过“消涨带”、“涨落区”、“消落区”、“消落带”等几种叫法。自 20 世纪 70 年代末开始,先后有外国学者认为河岸带是陆地上同河水发生作用的植被区域^[4-6]。之后,河岸带的定义被拓展为广义和狭义两种,广义上是指受河溪有任何直接影响的植被;狭义上指河水与陆地交界处的两边,直至河水影响消失为止的地带^[7-8]。目前,大多数学者基本采用水陆交错带的后一定义。

国外 Futoshi^[2], Editorial^[9], Rebecca^[10] 等对水陆交错带生态功能研究较广,可以概括为廊道功能、缓冲功能、护岸功能; Whigham^[6], Riis^[11], Leyer^[12], Azza^[13] 等则从生态恢复方面进行了研究; Williamson R B^[14], Kinley T A^[15], Sheridan J M^[16] 从管理方面的研究表明恰当的水陆交错带管理可使其功能得到更好的发挥;国外学者还对水陆交错带的植被、植被的演替及水陆交错带模拟等方面进行研究。除此之外,国内学者还对水陆交错带进行了分类研究,王勇等^[17]将水陆交错带按形成原因进行了分类;张虹等、苏维词等、赵纯勇等^[18-20]将水陆交错带按地质地貌特征进行了分类;谢会兰等、谢德体等^[21-22]则将水陆交错带按人类影响方式和开发利用的时间段进行了分类。

水陆交错带分类是水陆交错带研究的基础^[23],从前人研究看,对水陆交错带植被配置型式进行分类少见报道^[17-22]。漓江流域能划分为哪些植被配置型式,各种植被配置型式的生态退化状况及原因是怎样的,怎样对退化型式进行生态修复?本研究通过运用系统聚类的方法对漓江流域水陆交错带植被配置型式分类,能有效地分析出漓江流域现有的不同植被配置型式下的退化状况;揭示漓江流域不同植被配置型式下生态退化的主要原因;针对不同的植被配置型式提出因地制宜的生态修复措施,快速

恢复植被。

1 研究区概况

漓江发源于广西兴安县、资源县交界处,全长约 437km,本研究区域为漓江桂林-阳朔河段,全长 83km。漓江流域属于典型的岩溶地貌,溶岩已经发展到峰林期,是石灰岩岩溶较发育的地区,河道由砂、卵石组成,以沙石为多,分布有石,并常年长有水草,河床滩潭相间,滩长潭深,滩险众多^[24]。漓江流域地处低纬,属中亚热带季风气候区,热量丰富,光照充足,年平均温度 18.8℃,年平均蒸发量为 1482.5mm。漓江流域各季降水量分配极不均衡,主要集中在汛期。上游是我国高值暴雨区之一,流域内降水量自西北向东南递减,多年平均降水量为 1872.1mm^[25]。土壤类型为山地黄壤,水陆交错带土层薄石砾含量高。漓江流域水陆交错带植被主要乔木有枫杨 (*Pterocarya tonkinensis*)、孝顺竹 (*Bambusa multiplex* L.) 和阴香 (*Cinnamomum burmannii*);灌木主要有黄荆 (*Vitex negundo*) 和水杨梅 (*Geum aleppicum*);草本植物主要有狗牙根 (*Cynodon dactylon*)、葎草 (*Humulus scandens* Merr.)、水蓼 (*Polygonum hydropiper* L.) 等。由于研究区跨度较大,不同的立地条件植被覆盖度也差别很大,但一般有乔木林的水陆交错带草本植被覆盖度相对较高。

2 研究方法

2.1 调查方法

从桂林北部灵川县开始,向阳朔实地调查,按照每 2km 布设一个调查点,如遇到生态条件突变,则加测一点的原则,共布设调查点 40 个样地,每个样地处打一个 10m×10m 的样方,在其对角及中心选择 3 个 1m×1m 的草本样方调查草本层的覆盖度取平均值,若水陆交错带宽度不足 10m,则平行于河道每隔 5m 选择一个 1m×1m 的草本样方 3 个。在调查中,记录调查地点地理位置、配置整体景观效果和植物的生长状况,本研究共提取草本层盖度、植被类型、

河岸带宽度、坡度、土地利用类型、人为干扰度、位置 汇总表。
共 7 个指标进行分类。表 1 是样地各生态调查指标

表 1 各生态调查指标汇总表
Table 1 The ecological survey indexes summary

编号 Number	河岸带宽度 Riparian zone width/m	坡度 Slope/($^{\circ}$)	植被类型 Vegetation type	覆盖度 Coverage/%	人为干扰度 Human disturbance degree	位置 Location	周边土地利用 Surrounding land use type
1	13	12	灌草	95	轻度	江心洲	居民点
2	11	15	灌草	92	轻度	江心洲	居民点
3	15	18	灌草	98	微度	江心洲	居民点
4	1	32	乔灌草	73	轻度	河漫滩	林地
5	3	37	灌草	65	重度	河漫滩	交通用地
6	4	37	乔灌草	72	重度	河漫滩	交通用地
7	3	90	乔灌草	60	剧烈	河漫滩	商服用地
8	6	18	乔灌草	83	中度	河漫滩	交通用地
9	16	11	灌草	45	微度	河漫滩	园地
10	10	22	灌草	94	微度	江心洲	园地
11	13	20	灌草	96	轻度	江心洲	商服用地
13	11	23	乔灌草	72	微度	河漫滩	耕地
14	5	26	乔灌草	73	中度	河漫滩	耕地
12	3	11	草本	90	重度	河漫滩	居民点
15	58	5	草本	55	微度	河漫滩	耕地
16	23	7	草本	78	轻度	河漫滩	居民点
17	4	21	乔灌草	92	重度	河漫滩	林地
18	27	13	乔草	83	微度	河漫滩	林地
19	33	15	乔草	84	微度	河漫滩	林地
20	8	20	乔灌草	80	重度	河漫滩	耕地
21	10	18	乔灌草	86	重度	河漫滩	耕地
22	9	32	乔草	85	轻度	河漫滩	林地
23	5	90	乔灌草	35	剧烈	河漫滩	耕地
24	16	13	灌草	89	微度	江心洲	耕地
25	5	11	草本	82	轻度	河漫滩	耕地
26	6	16	乔灌草	75	剧烈	河漫滩	居民点
27	45	6	乔灌草	87	轻度	河漫滩	林地
28	48	5	乔灌草	92	微度	河漫滩	园地
29	4	12	草本	77	轻度	河漫滩	商服用地
30	3	38	乔草	100	中度	河漫滩	耕地
31	8	23	乔草	78	轻度	河漫滩	耕地
32	3	11	乔草	84	重度	河漫滩	耕地
33	17	13	乔草	83	轻度	河漫滩	居民点
34	11	15	乔草	90	轻度	河漫滩	居民点
35	9	35	乔灌草	65	轻度	河漫滩	耕地
36	7	40	草本	85	强烈	河漫滩	林地
37	28	3	灌草	88	微度	河漫滩	居民点
38	12	5	草本	95	微度	江心洲	灌草地
39	18	6	灌草	95	微度	江心洲	灌草地
40	10	23	乔灌草	96	中度	河漫滩	林地

2.2 指标选取及分析方法

2.2.1 指标选取

(1) 草本层盖度 盖度是群落结构的一个重要指标,它不仅反映了植物所占有的水平空间大小,而且还反映了植物之间的相互关系。草本植物是漓江流域水陆交错带植物群落最主要的组成部分,由于这些植被的存在,改变了土壤的理化性质,使得土壤容重减小,孔隙度增加,团聚体含量加强^[26],对改善立地条件有着重要作用,从而也影响植被配置型式。草本层的盖度最直接地反应了当地的植被状况,为认识和保护漓江流域水陆交错带植物多样性资源提供理论依据和实践基础。

(2) 植被类型 植被类型是反映乔木、灌木和草地配置合理程度的指标,植被类型的完善度,亦即乔木、灌木和草本的兼有度越高,群落结构越完善,水陆交错带的生态缓冲功能就越强。由于水陆交错带是一个完整的生态系统,植被类型可以反映植被配置型式的生态功能强弱。植被类型是陆地景观镶嵌体组成要素^[27],将其作为划分指标,对于各植被配置型式基于景观优化的生态恢复治理有根据重要指导意义。实际调查情况,本文将植被类型分为草本、灌草、乔草和乔灌草四种类型。

(3) 河岸带宽度 人地关系的紧张往往导致河岸带受损,在进行植被恢复时,需要明确一个林带最小宽度,相关研究表明河岸带宽度在 7—12m 时,宽度效应就会明显表现出来^[28]。河岸带的缓冲功能^[2,9-10]与地质、土壤、水位以及相邻土地利用类型等因素密切联系,能过滤和滞留 89% 的 N 和 80% 的 P^[29],影响植被的营养状况。河岸带的范围下至洪水到达的界线,上至河岸带植物林区的顶端^[15,30],将实际调查测得的河岸带宽度,作为水陆交错带植被配置型式划分的定量指标。

(4) 坡度 河岸带坡度越小,入渗水流在表土层中的停留时间越长,河岸带表土层对氮素的截留效果越好^[29,31];同时在迭加土壤、气候、人为干扰等多种因素后,碳储量表现出了明显的沿高程梯度和坡度梯度变化的趋势^[32]。由此可见不同坡度直接影响着营养元素含量的多少,从而影响到水陆交错带的植被生长状况和配置型式。因此,将坡度作为植被配置的量化指标。

(5) 周边土地利用类型 各种土地利用类型造

成的生境条件不同,分布于相应生境中的植物群落特征也有所不同^[33];随着人类活动的加剧,土地利用的变化使径流量趋于增大^[34],直接影响到植物赖以生存的水土状况。不同的土地利用类型还直接影响到水陆交错带植被生活型组成,例如在城区,植物群落种类组成和层次结构就相对简单,种类数目较少,以 1 年生或 2 年生草本植物为主,高大乔木和花灌木均为人工种植。

(6) 人为干扰度 人为干扰包括烧荒种地、森林砍伐、放牧、农田施肥、修建大坝、道路、土地利用结构改变等^[35],对水陆交错带的植被配置影响甚大,出于安全或保护农田等角度,大规模的改变河岸带的地形地貌,护岸护坡措施等直接改变了原有植被的生境。人为意识的植被种植,将直接改变当地的植被配置型式。本文将无明显人为痕迹的样地划分为微度;看得出人为痕迹的样地化为轻度;有近自然人工防护措施的样地划分为中度;有浆砌石防护措施的样地划分为重度;完全浆砌石护坡护脚的样地划分为强烈。

(7) 位置 分为江心洲和河漫滩,江心洲作为漓江流域普遍存在的一种特有的水陆交错带形式,考虑到其植被长势等明显优于两岸的植被,因此样地所处位置作为植被配置型式划分的一种定性指标。

2.2.2 分析方法

聚类分析就是把相似的研究对象归成类,不仅可以用来对样品进行分类,也可以用来对变量进行分类。对样品的分类常称为 Q 型聚类分析,对变量的分类常称为 R 型聚类分析^[36]。将实测宽度、坡度及草本植被覆盖度作为定量指标,将植被类型赋值量化为 0 草本、1 灌草、2 乔草和 3 乔灌草;将人工干扰度赋值量化为 0 微度、1 轻度、2 中度、3 重度、4 剧烈;将周边土地利用类型赋值量化为 0 林地、1 灌草地、2 园地、3 耕地、4 居民点、5 交通用地、6 商服用地;将位置进行赋值量化为 0 江心洲、1 河漫滩。本研究旨在将调查的 40 样地进行植被配置型式进行划分,因此采用 Q 型聚类分析,选择组内联结的聚类方法,采用平方欧氏距离进行聚类,选择 Z 得分进行转换值的标准化。

2.3 数据处理

运用 IBM SPSS Statistics 20 软件对 40 个样地的 7 个指标进行聚类分析。运用 Microsoft Office Excel

2007 软件绘制聚合系数随分类数变化的曲线图, 判断 40 个样地的区分度。

3 聚类结果及型式划分

图 1 为运用 Excel 绘制的聚类系数随分类数变化曲线图; 图 2 为运用 SPSS 软件对各样地进行聚类分析结果树状图。

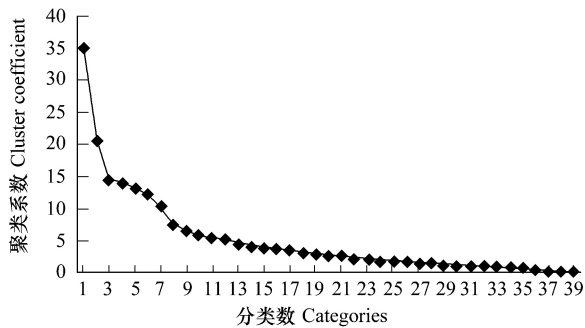


图 1 聚类系数随分类数变化曲线图

Fig. 1 Clustering coefficient changes with the number of categories

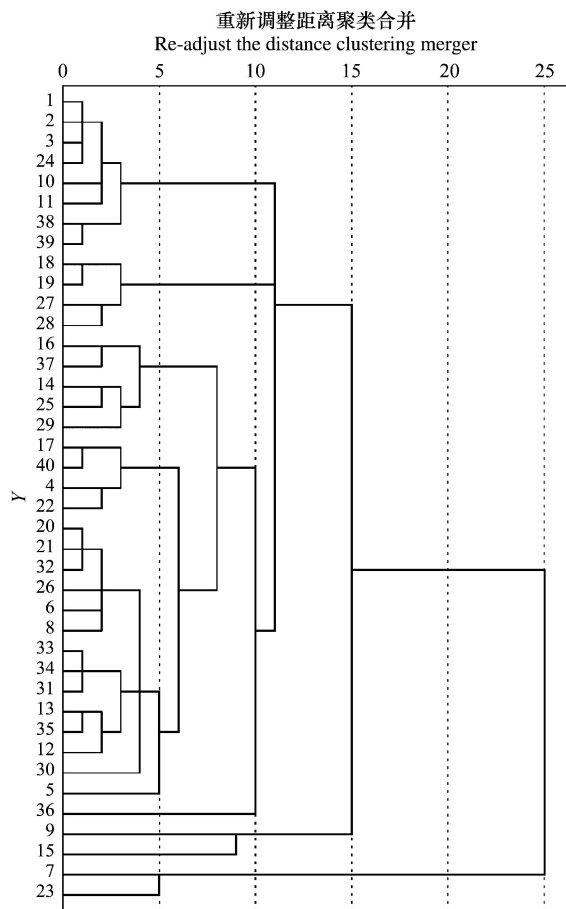


图 2 使用平均联接(组间)的树状图

Fig. 2 Tree using the average connection (between groups)

由图 1 可以看出, 当分类数为 8 时曲线变得比较平缓, 进一步观察图 2 树状聚类图, 不难发现 {7、23}, {9、15}, {36}, {1、2、3、10、11、24、38、39}, {18、19、27、28} 为 5 个群集在图 2 中重新调整距离在 10 以上才能合并, 这 5 个群集相对独立, 可自分为一种植被配置型式。而 {4、5、6、8、12、13、14、16、17、20、21、22、25、26、29、30、31、32、33、34、35、37、40} 一类集群聚类调整距离虽然相差较近, 但是在重新调整距离在 5 以下也存在明显相对独立 3 个子集, 因此单独作为一类较为粗糙, 故将此类集群分为 3 个亚类, 即 {12、16、25、29、37}, {4、17、22、40}, {5、6、8、13、14、20、21、26、30、31、32、33、34、35} 3 个亚类。

β 多样性可以反映不同群落间物种组成的差异, 由表 2 可以看出按照以上划分出的聚类结果, 各型式间物种组成相似程度总体而言较低, 而 T_6 3 个亚类之间的 β 多样性分别为 0.492、0.500 和 0.505, 相比而言相似度较高, 说明此三类不能单独划分为一种植被配置型式。而 T_6 与 T_1 、 T_2 群落间物种组成较为相近是因为此三类模式均是天然的乔灌草或灌草型式, 在漓江流域大环境下, 存在物种组成的相似性。

因此, 将漓江流域水陆交错带植被配置型式划分为 6 大类比较合理。按照各型式所处漓江流域位置-人工或自然-植被类型的原则, 将其命名为: 江心洲天然灌草型式(T_1)、远郊天然林乔灌草型式(T_2)、城区人工乔草型式(T_3)、缓坡边滩天然草本型式(T_4)、农商用地人工林乔灌草型式(T_5)和城外天然乔灌草型式(T_6), 其中城外天然乔灌草型式又可分为泥质岸滩型式、卵石岸滩型式和坡脚防护型式。

4 生态特征、生态退化原因及其恢复途径分析

由表 3 各植被配置型式的生态指标可以看出, T_2 各生态指标均处在较高水平; 次之的是 T_1 和 T_6 自然的植被配置型式, T_3 和 T_5 人工构建的两类在物种丰富度和多样性方面明显低于自然的植被配置型式; T_4 的多样性和均匀度指数最低。由此可见, 6 种植被配置型式存在一定原因导致其较大的生态差异性, 因此针对划分出的 6 种型式进行生态特征分析总结, 探讨其存在生态问题及成因, 提出生态恢复方法。表 4 是总结汇总的各型式生态特征、生态退化原因及恢复途径表, 图 3—图 10 为各植被配置型式照片。

表 2 不同植被配置型式间 β 多样性比较Table 2 β diversity comparing during different vegetation arrangement type

植被配置型式 Vegetation arrangement type	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆
江心洲天然灌草型式 T ₁ Central island natural shrub-herb type	1.000					
远郊天然林乔灌草型式 T ₂ Exurb natural forest arbor-shrub-herb type	0.494	1.000				
城区人工乔草型式 T ₃ Urban artificial arbor-herb type	0.344	0.421	1.000			
缓坡边滩天然草本型式 T ₄ Gentle-slope-washland natural herb type	0.424	0.339	0.263	1.000		
农商用地人工林乔灌草型式 T ₅ Agriculture or commercial land artificial forest arbor-shrub-herb type	0.143	0.122	0.074	0.200	1.000	
城外天然乔灌草型式 T ₆ Suburban natural arbor-shrub-herb type	0.583	0.531	0.348	0.319	0.143	1.000

表 3 各植被配置型式生态指标

Table 3 Ecological index of each vegetation arrangement type

植被配置模式 Vegetation arrangement type	Margalef 指数 Margalef index	Shannon-Weiner 指数 Shannon-Weiner index	Pielou 均匀度指数 Pielou equitability index
江心洲天然灌草型式 (T ₁)	5.007	2.033	0.531
远郊天然林乔灌草型式 (T ₂)	5.053	2.924	0.798
城区人工乔草型式 (T ₃)	2.615	2.071	0.717
缓坡边滩天然草本型式 (T ₄)	2.634	1.208	0.403
农商用地人工林乔灌草型式 (T ₅)	1.715	1.740	0.756
城外天然乔灌草型式 (T ₆)			
泥质岸滩型式 Argillic flood plain type	3.668	2.548	0.757
卵石岸滩型式 Pebbly flood plain type	3.912	2.311	0.667
坡脚防护型式 Slope toe protected type	7.353	2.820	0.681

表 4 各型式生态特征、生态退化原因及恢复途径表

Table 4 Ecological characteristics, ecological degradation reasons and restorations of each type

植被配置型式 Vegetation arrangement type	位置 Location	生态特征 Ecological characteristics	生态退化原因 Ecological degradation reasons	生态恢复方向 Restoration directions
江心洲天然灌草型式 (T ₁)	江心洲	灌草结构少有乔木, 草本盖度>90%	旅游开发, 生活污水、垃圾等的危害	合理开发, 自然恢复
远郊天然林乔灌草型式 (T ₂)	远离城镇	乔灌草结构, 草本盖度>80%	—	预防保护
城区人工乔草型式 (T ₃)	城区	多乔草结构, 草本盖度不定	硬化地表阻断河道横向生物量交流	近自然手法修筑护坡措施; 自然取材, 制造人工弯曲和局布洼地湿地
缓坡边滩天然草本型式 (T ₄)	滩地宽阔地段	草本鲜见灌木, 盖度40%—60%	冲刷频繁, 影响植被生长	适宜生态树种的引入和栽植; 从水文学方面改善洪涝干枯状况
农商用地人工林乔灌草型式 (T ₅)	农耕地及商服用地	乔灌为主, 草本盖度极低	人为干扰过重	营造小型动物生境; 农业径流集中处理; 疏通河道, 确保旅游地安全
城外天然乔灌草型式 (T ₆)	城区以外	基本为乔灌草结构, 草本盖度>60%	河岸树木砍伐, 牛羊踩踏, 垃圾倾倒, 挖沙采石, 水力冲蚀等	禁止河道树木砍伐; 提高保护意识; 近自然河岸坡脚防护; 全系列生态护坡; 土壤生物工程护坡



图3 江心洲天然灌草型式
Fig.3 Central island natural shrub-herb type

{1、2、3、10、11、24、38、39} 为江心洲天然灌草型式,此类型式位于江心洲上,植被类型基本为灌木和草本,草本植被覆盖度在 90% 以上,水陆交错带宽度在 10—20m 之间(图 3)。通过调查也发现极少江心洲上有乔木分布,只有在发育非常成熟的江心洲上才会出现当地常见的乔木枫杨。优势种为黄荆、狗牙根、假俭草(*Eremochloa ophiuroides*)、酢浆草(*Oxalis corniculata* L.)和菹草。

江心洲被河道阻隔,受人为的干扰相对较小,年复一年的洪水期与枯水期交替使得江心洲不断挂淤,原有的砾石含量非常大的土壤条件趋于良好(10 号样地全氮含量达 0.0426%),因此生活型为 1 年生或两年生的草本植被生长良好,而洪水对江心洲的冲刷,导致了多年生的乔木难以成木。只有在江心洲发育非常成熟的情况下,江心洲与洪水线有了一定的高度差,才能在洪峰到来时保留一部分幼苗不被洪水淹没冲刷致死,为乔木生长提供良好的环境。旅游业的开发使得部分江心洲受到人为活动带来的生活污水、垃圾等的危害,造成了江心洲天然灌草型式生态退化。天然植被恢复的植物群落较之人工植被恢复的植物群落,物种丰富度指数和 Shannon-Wiener 指数更高,稳定性更高,其维持、繁衍和保持植物多样性的能力更强^[37],相关部门应合理开发,使受损的江心洲自然恢复。

4.2 远郊天然林乔灌草型式

{18、19、27、28} 称之为远郊天然林乔灌草型式,该型式远离城镇,受人为干扰很小,具有宽阔的河滩地,由水边缘开始,生有 1 年生或 2 年生草本,盖度在 80% 以上,随着向河岸靠近出现灌木及小乔木,直至河岸形成乔、灌、草相结合的天然林(图 4)。优势种为枫杨、桉树(*Eucalyptus*)、狗牙根、菹草、土牛膝

(*Achyranthes aspera*)。



图4 远郊天然林乔灌草型式
Fig.4 Exurb natural forest arbor-shrub-herb type

远郊天然林乔灌草型式的河流两岸一定宽度的缓冲带可以通过过滤、渗透、吸收、滞留、沉积等河岸带机械、化学和生物功能效应使进入地表和地下水的污染物毒性减弱及污染程度降低^[38]。由于远离城镇受人为影响小,该型式的群落结构相对完善,对河水冲蚀的破坏有一定的抵抗性,水陆交错带的缓冲生态功能相对较强,每年洪水带来的污染物等经过植被净化,其毒性对水陆交错带的生物的破坏也大大减小,因此在表 3 中反映植物群落的各生态指标均处于较高水平。对于远郊天然林乔灌草型式采取保护措施即可,对于将要开发的该植被配置型式地区,应当做好充分的前期准备及水土保持规划工作。

4.3 城区人工乔草型式

{36} 为城区人工乔草型式,分布于城区,有高陡的护坡,由于枯水季节,水量太小不能达到旅游的游船要求,河道被人工疏浚变得窄而深,两岸为全人工化的植被(图 5)。因受人为影响,植被的配置不确定性大,但多为乔草配置:河岸配有高大的香樟(*Cinnamomum camphora* L.)、阴香、桂树(*Osmanthus fragrans*)等乔木;而岸坡则种植结缕草(*Zoysia japonica*)等抗旱耐荫、耐贫瘠、耐踩踏的草本植物。通过计算重要值显示的优势种还有酢浆草、鸡眼草(*Kummerowia striata*)、白茅(*Imperata cylindrica* Beauv.)、积雪草(*Centella asiatica*)。

该型式是人工构建的植被配置型式,两岸全部被混凝土硬化,导致河流的横向生物量交流较少,从生态角度来说,水陆交错带的廊道的连接、传输、交换、源、汇功能等生态连续性功能受到破坏。河岸带森林对河流小气候产生较强的影响和控制,河岸带



图5 城区人工乔草型式

Fig.5 Urban artificial arbor-herb type

林地的空气状况、地表温度、相对湿度和太阳辐射都表明了河岸植被群落的影响;流域环境与河岸植被之间的相互作用,同样也影响着河岸带的生物多样性、生物化学循环和其它系统水平的过程^[39-40]。考虑到植被单一且所处位置,治理时,既要考虑城市行洪和水生态环境的需要,也要考虑当地人的游憩和生活,更要考虑植被群落的恢复,建议采用近自然的手法自然取材,考虑河道的水力学特性和地貌学特点^[41]制造人工弯曲和局部洼地湿地,修筑护坡措施;通过人工的方法,参照自然规律,创造良好的环境,恢复天然的生态系统,重新创造、引导或加速自然演化过程^[42]。结合本土树种及旅游景观要求,乔木可以考虑栽种香樟、阴香、桂树等具有景观价值的当地物种,灌木则适宜用红花继木等观花灌木。

4.4 缓坡边滩天然草本型式

{9、15}为缓坡边滩天然草本型式,漓江流域该类植被配置型式具有15m以上的宽阔边滩,直接延伸至江心,坡度较缓5—10°,植被以耐涝耐旱的草本植物为主,鲜见灌木,植被生长状况较差,草本植被盖度为40%—60%(图6)。优势种为狗牙根、水蓼。



图6 缓坡边滩天然草本型式

Fig.6 Gentle-slope-washland natural herb type

从边滩宽度和坡度分析缓坡边滩天然草本型

式,由于有宽阔边滩,且坡度较小,若漓江稍有降雨,上涨的水位就会大面积的淹没边滩,水退后又露出宽阔边滩,南方多雨的气候导致边滩地区的水陆交错带冲刷频繁。近年来漓江流域旱季越来越长,洪峰流量却越大,该型式的植被配置主要以耐涝耐旱的草本植被为主,且长势欠佳,而鲜见的灌木丛也只能生长在靠近河岸的地区,因此该型式即算是天然的草本型式在表3中丰富度指数、多样性指数和均匀度指数都表现出最低。该类植被配置型式的改良可通过适宜生态树种的引入和育植结合生物工程措施,提高水陆交错带滩地生态系统的生态效能、经济效能和社会效能^[43-44],同时从水文学方面做研究以改善洪涝干枯状况。

4.5 农商用地人工林乔灌草型式

{7、23}为农商用地人工林乔灌草型式,该类型式植被配置以乔灌为主,下有稀疏草本,旨在保护漓江旁边的农耕地或者旅游地的安全,主要分布在农耕地及用于旅游开发的商服用地旁侧。岸坡为90°的浆砌石护坡或台阶式浆砌石护坡,以高大乔木阴香为主,旅游区注重景观优化的效果,多配有红背桂(*Excoecaria cochinchinensis* Lour)、红花继木(*Lorpetalum chinense* var. *rubrum*)等观赏性灌木(图7)。优势草本为花叶冷水花(*Pilea cadierei* Gagnep.)、沿阶草(*Ophiopogon japonicus*)。



图7 农商用地人工乔灌草型式

Fig.7 Agriculture or commercial land artificial forest arbor-shrub-herb type

同城区人工乔草型式一样,该型式亦是人工构建的植被配置型式,因此从物种丰富度来讲,二者在表3中表现出最低,而人工种植往往按照一定的间距进行种植,反映物种个体数目分配的均匀度就表现得较高。该型式人为干扰过重,使得其下动物活动的痕迹罕见,河岸带动物不仅仅被动的适应河岸

带生态系统, 而且对河岸带生物地球化学过程、植被的演替和景观变化均有影响^[45]。因此, 此类植被配置型式, 在注重河岸保护、景观优化功能的同时, 应当注重当地鸟类、小型动物多种小生境的多级结构营造, 增加生物多样性。农商用地人工林乔灌草型式保护着农地和城市商服用地两种不同的土地利用类型, 充分的认识土地利用变化对于河流生态系统的影响是十分必要的, 将会为制定河流环境保护与生态恢复计划提供有力保障^[46]。农业用地比例上升, 大量泥沙、营养盐及农药输入到河流中, 河流水质、栖息地与生物群落等指标显著恶化^[47]; 商业用地不透水地面和人工排涝系统的增加会造成洪水爆发频率与强度的增大, 进而加速河床侵蚀与沉积物的运移, 最终造成河流环境的恶化与生物多样性的降低^[48]。因此, 该型式应当汇集农业径流, 对其进行集中处理, 达到相应国家标准才能排放入漓江; 商服用地地区段须疏通河道, 严禁占用河道, 以确保行洪的宽度及游船安全。

4.6 城外天然乔灌草型式

{4、5、6、8、12、13、14、16、17、20、21、22、25、26、29、30、31、32、33、34、35、37、40} 称为城外天然乔灌草型式, 根据不同的共性特征又可分为以下 3 种:

{4、17、22、40} 为泥质岸滩型式。边滩宽度窄, 河岸坡度在 10° 以上, 部分河岸坡脚有人工修筑的护堤坝。植被群落结构为乔灌草, 从河道到河岸外沿植被呈现条带分布, 河道内有少量湿生植物, 距离河道边 2—5m 为半湿生植物, 以草本为主, 之后为灌木与草本相结合的植物分布, 最外延为高大乔木 (图 8)。优势种为枫杨、水杨梅、鹅观草 (*Roegneria kamoji* Ohwi)、皱叶狗尾草 (*Setaria plicata* T. Cooke) 和牛筋草 (*Gramineae*)。



图 8 泥质岸滩型式

Fig.8 Argillic flood plain type

{12、16、25、29、37} 为卵石岸滩型式, 此类型式位于城镇及农村附近, 因此周边的基本为耕地、居民点等人类活动频繁的土地利用类型, 该植被配置型式具有一定宽度的边滩, 河道处有鹅卵石条带分布, 植被群落结构为灌草, 草本层盖度在 70%—90% 之间不等 (图 9)。靠近城市的此类型式主要被人们用于亲水的一种途径, 位于县城或农村附近, 则被人们用于放牛、采砂石。优势种为一叶萩 (*Securinega suffruticosa* Rehd.)、狗尾草、葎草和空心莲子草 (*Alternanthera philoxeroides* Griseb.)。



图 9 卵石岸滩型式

Fig.9 Pebbly flood plain type

{5、6、8、13、14、20、21、26、30、31、32、33、34、35} 为坡脚防护型式。河岸坡脚基本有浆砌石护坡、石笼护坡等人工措施防护, 广泛分布于漓江流域, 该类型式边滩较窄, 一般在 10m 以下, 坡度也相对较大, 在 10°—40° 不等, 多以乔灌草植被配置为主, 因此群落结构相对其他型式而言较为完善, 草本层盖度在 65% 以上 (图 10)。沿此类型式的河岸一侧均有人工道路, 受人为影响较大。优势种为香樟、枫杨、苕麻 (*Boehmeria*)、狗牙根、葎草。



图 10 坡脚防护型式

Fig.10 Slope toe protected type

由表 3 可知, 3 个亚类多样性指数和均匀度指数相差不多, 但由于坡脚防护模式保障了水陆交错带

的植被不受水流冲刷,因此坡脚防护型式的物种丰富度明显高于其他。水陆交错带提供丰富的土地、动植物以及景观观赏资源,为生物提供各种栖息地、保持当地生态系统物种多样性,达到调节河流的微气候的效果,从而稳定河岸复合生态系统;作为水陆交错带重要组成部分,河流廊道具有生境、传输通道、过滤和阻抑作用以及可作为能量、物质和生物(个体)的源或汇的作用;通过河岸植被带的过滤、渗透、吸收、拦截水陆交错带能发挥涵养水源、净化水体、防控灾害的功能^[49-51]。在人为干扰的影响下,该类型式植被有着明显的退化痕迹,向当地人调查得知,16号样地原本大片的柳树林都被砍伐殆尽,现在的草本植被也被牛群所踩踏,导致边滩上出现就块状的裸露地表;33—34—35样地一线,由于沿线均是居民区,很多生活垃圾都倾倒在岸坡上面,多数乔木下均无法生长草本植被;由于5号样地旁有居民区,原来的河岸坡脚修起了浆砌石护坡,导致岸坡与江心的生态连续性功能减弱,挺水植物明显减少。不少坡度较大的泥质岸滩,受水力冲蚀,水土大量流失;卵石岸滩宽阔,当地居民直接开车进去就地挖沙采石,造成严重的人为破坏。由此可见,该型式水陆交错带的各种特殊的生态功能均已在不同程度受到损害,因此该生态退化植被配置型式是漓江流域水陆交错生态修复治理的重点。应当提高当地居民对河道的保护意识;对泥质岸滩进行近自然坡脚防护(铁丝石笼当地已有采用);应结合水体在不同高程梯度对岸坡的影响特征,选择与之相适应的植物^[52],采用从坡脚至坡顶依次种植沉水植物、浮叶植物、挺水植物、湿生植物(乔、灌、草)等一系列护坡植物,形成多层次生态防护,兼顾生态功能和景观功能的全系列生态护坡技术;亦可用有生命力的植物根、茎(秆)或完整的植物体作为结构的主要元素,按一定的方式、方向和序列将它们扦插、种植或掩埋在边坡的不同位置,在植物生长过程中实现稳定和加固边坡,控制水土流失和实现生态修复^[53]。

5 结论

(1)通过聚类分析,漓江流域植被配置型式划分为江心洲天然灌草型式、远郊天然林乔灌草型式、城区人工乔草型式、缓坡边滩天然草本型式、农商用地人工林乔灌草型式和城外天然乔灌草型式六大类。

(2)江心洲天然灌草型式和远郊天然林乔灌草型式受人为影响较小,基本无生态退化,采用预防和自然恢复的方法进行治理,城区人工乔草型式、缓坡边滩天然草本型式和农商用地人工林乔灌草型式均有一定程度的生态退化,城外天然乔灌草型式是生态破坏较为严重的植被配置型式,须重点治理。

(3)对于植被没有明显受损的植被配置型式当采用自然恢复的方法,退化较明显的配置型式须当加强当地居民保护河道的意识,适宜地引种和育植,从改善水文条件等方面入手修复漓江生态,严重的城外天然乔灌草型式应当根据不同梯度采用相适应的植被措施及土壤生物工程护坡等近自然手法改善生境,对水陆交错带进行生态修复。

References:

- [1] Elmore A J, Mustard J F, Manning S J. Regional patterns of plant community response to changes in water: Owens valley, California. *Ecological Applications*, 2003, 13(2): 443-460.
- [2] Futoshi N, Hiroyuki Y. Effects of pasture development on the ecological functions of riparian forests in Hokkaido in northern Japan. *Ecological Engineering*, 2005, 24: 539-550.
- [3] Holmes P M, Esler K J, Richardson D M, Witkowski E T F. Guidelines for improved management of riparian zones invaded by alien plants in south Africa. *South African Journal of Botany*, 2008, 74: 538-552.
- [4] Thomas J W, Maser C, Rodiek J E. Riparian zones//Thomas J W, ed. *Wildlife Habitats in Managed Forests: The Blue Mountains of Oregon and Washington*. Washington: USDA Forest Service, 1979: 41-47.
- [5] Meehan W R, Swanson F J, Sedell J R. Influences of riparian vegetation on aquatic ecosystems with particular references to salmonoid fishes and their food supplies//Johnson R R, Jones D A, eds. *Importance, Preservation and Management of Floodplain Wetlands and other Riparian Ecosystems*. Washington: USDA Forest Service, 1977: 137-145.
- [6] Whigham D F. Ecological issues related to wetland preservation, restoration, creation and assessment. *The Science of the Total Environment*, 1999, 40(1): 32-40.
- [7] Malanson G P. *Riparian landscapes*. New York: Cambridge University Press, 1993: 1-10.
- [8] Lowrance R R, Airier L S, Williams R G. The riparian ecosystem management model: simulator for ecological processes in riparian zones. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2000, 55(1): 27-34.
- [9] Editorical. Purification processes, ecological functions, planning and design of riparian buffer zones in agricultural watersheds.

- Ecological Engineering, 2005, 24: 421-432.
- [10] Rebecca A K, Rumishammin M, William C S. Preference for riparian buffers. *Landscape and Urban planning*, 2009, 91: 88-96.
- [11] 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.
- [12] Leyer I. Predicting plant species' responses to river regulation: the role of water level fluctuations. *Journal of Applied Ecology*, 2005, 42: 239-250.
- [13] Azza N, Denny P, Koppel J V, Kansime F. Floating mats: their occurrence and influence on shoreline distribution of emergent vegetation. *Freshwater Biology*, 2006 51: 1286-1297.
- [14] Williamson R B, Smith C M, Cooper A B. Watershed riparian management and its benefits to a eutrophic lake. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 1996, 122(1): 24-32.
- [15] Kinley T A, Newhouse N J. Relationship of riparian reserve zone width to bird density and diversity in southeastern British Columbia. *Northwest Science*, 1997, 71(2): 75-86.
- [16] Sheridan J M, Lowrance R, Bosch D D. Management effects on runoff and sediment transport in riparian forest buffers. *Transactions of the ASAE*, 1999, 42(1): 55-64.
- [17] Wang Y, Liu Y F, Liu S B, Huang H W. Vegetation reconstruction in the water-level-fluctuation zone of the Three Gorges Reservoir. *Chinese Bulletin of Botany*, 2005, 22(5): 513-522.
- [18] Zhang H, Zhu P. The Classification of the water-level fluctuating zone in the Three Gorges Reservoir based on the integrative techniques of Remote Sensing and GIS: A case study of Kaixian in Chongqing. *Remote Sensing for Land & Resources*, 2005, 16(3): 66-69.
- [19] Su W C, Yang H, Zhao C Y, Li Q. A preliminary study on land exploitation and utilization mode of water-level-fluctuating zone (WLFZ) in the Three Gorges Reservoir area of Chongqing. *Journal of Natural Resources*, 2005, 20(3): 327-334.
- [20] Zhao C Y, Yang H, Su W C. A study on basic ecological environment characteristics and exploitation and utilization strategy of water-level-fluctuating zone in the Three Gorges Reservoir area of Chongqing. *China Development*, 2004, (4): 19-23.
- [21] Xie H L, Zhang X Y. The rational utilization of land resources in Huangbizhuang Reservoir drawdown area. *Resources Development and Conservation*, 1991, 7(2): 96-98.
- [22] Xie D T, Fan X H, Wei C F. Effects of the riparian zone of the Three Gorges Reservoir on the water-soil environment of the reservoir area, 2007, 29(1): 39-47.
- [23] Cheng R M, Wang X R, Xiao W F, Guo Q S. Advances in Studies on Water-Level-Fluctuation Zone. *Scientia Silvae Sinicae*, 2010, 46(4): 111-119.
- [24] Han Y Q, Zhou J, Wu X Q. A survey on water quality and physical geography of Li River. *Fisheries Science & Technology of Guangxi*, 2007, (2): 8-15.
- [25] Huang Z W, Chen Y D, Jiang Y P, Cheng Y P. Analysis on Water Resources of Lijiang River Basin. *Journal of Guangxi Academy of Sciences*, 2005, 21(1): 56-60.
- [26] Cresswell H P, Kirkegaard J A. Subsoil amelioration by plant-roots-the process and the evidence. *Australian Journal of Soil Research*, 33(2): 221-239.
- [27] Urban D L, O'Neill R V, Shugart H H Jr. *Landscape Ecology*. BioScience, 1987, 37: 119-127.
- [28] Forman R T T, Godron M. *Landscape ecology*. New York: Wiley, 1986: 121-155.
- [29] Peterjohn W T, Correll D L. Nutrient dynamics in an agricultural watershed: Observations on the role of a riparian forest. *Ecology*, 1984 (65): 1466-1475.
- [30] Swanson F J, Gregory S V, Sedell J R. Land-water interactions: the riparian zone//Edmonds R L, eds. *Analysis of Coniferous Forest Ecosystems in the Western United States*. Pennsylvania: Hutchinson Ross Publishing, 1982: 267-291.
- [31] Qian J, Wang C, Wang P F, Hou J, Gao Y C. Influence of slope on retention effect of nitrogen infiltrated into topsoil layer of riparian zones. *Journal of Hohai University (Natural Sciences)*, 2011, 39(5): 489-493.
- [32] Sun R, Yuan X Z. A study on carbon stocks and its spatial pattern characteristics of the Three Gorges Reservoir wetland. *Journal of Chongqing Normal University (Natural Science)*, 2012, 29(3): 75-78.
- [33] Zhao H X, Jiang Y, Liu Q R. Study of impact of urban land use on features of urban vegetation in Beijing area. *Advance in Earth Sciences*, 2002, 17(2): 247-253.
- [34] Shi P J, Yuan Y, Chen J. The effect of land use on runoff in Shenzhen City of China. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(7): 1041-1050.
- [35] Fitzgibbon C D. Small mammals in farm woodlands: the effect of habitat, isolation and surrounding land-use patterns. *Journal of ecology*, 1997, 34(2): 530-539.
- [36] He X Q. *Multiple Statistical Analysis*. 2nd ed. Beijing: China Renmin University Press, 2010: 57-95.
- [37] Zhou Z Q, Li M, Hou J G, Li J L, Liu T. The differences of ecosystem services between vegetation restoration models at desert front. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(10): 2797-2804.
- [38] Zhang J C. Riparian functions and its management. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2001, 15(6): 143-146.
- [39] Jean C R. Factors influencing windthrow in balsam fir forests: from landscape studies to individual tree studies. *Forest Ecology and Management*, 2000, (135): 169-178.
- [40] Chehbouni A, Goodrich D C, Moran M S. A preliminary synthesis of major scientific results during the SALSA program. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2001, (105): 311-323.
- [41] Binder W, Juerging P, Karl J. *Naturnaher Wasserbau Merka male*

- und Grenzen. Garten und Landschaft, 1983, 93(2): 91-94.
- [42] Ren H, Peng S L, Lu H F. The restoration of degraded ecosystems and restoration ecology. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(8): 1760-1768.
- [43] Zhang J C, Peng B Z. Study on riparian zone and the restoration and rebuilding of its degraded ecosystem. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(1): 56-63.
- [44] Zhang J C, Shi Z G, Peng B Z. Ecological reestablishment of riparian beach and functions of dike protection at foot of Dabai Mountain in Anhui Provinces. *Journal of Mountain Science*, 2002, 20(1): 85-89.
- [45] Brian R S. A model of wetland vegetation dynamics in simulated beaver impoundments. *Ecological Modelling*, 1998, (112): 195-225.
- [46] Ou Y, Wang X Y. Review of the influence of landscapes on stream ecosystems. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(23): 6624-6634.
- [47] Sponseller R A, Benfield E F, Valett H M. Relationships between land use, spatial scale and stream macroinvertebrate communities. *Freshwater Biology*, 2001, 46(10): 1409-1424.
- [48] Allan J D. Landscape and riverscapes: the influence of land use on river ecosystems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 2004, 35: 257-284.
- [49] Chen J Q. Riparian vegetation characteristics and their functions in ecosystems and landscapes. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1996, 7(4): 439-448.
- [50] Wu J G. *Landscape Ecology: Pattern, Process, Scale and Hierarchy*. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 2004: 17-36.
- [51] Deng H B, Wang Q C, Wang Q L, Wu W C, Shao G F. On riparian forest buffer s and riparian management. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12(6): B951-954.
- [52] Dai F X, Xu W N, Liu D F, Chen F Q. Thought on the construction of the Three Gorges Reservoir with gradient ecological restoration mode. *Soil and Water Conservation in China*, 2006, (1): 34-36.
- [53] Chen X H, Li X P. The eco-functions of ecological protection techniques of riverbank. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(3): 1168-1176.
- 327-334.
- [20] 赵纯勇, 杨华, 苏维词. 三峡重庆库区消落区生态环境基本特征与开发利用对策探讨. *中国发展*, 2004, (4): 19-23.
- [21] 谢会兰, 张学勇. 黄壁庄水库消落区土地资源的合理利用. *资源开发与保护*, 1991, 7(2): 96-98.
- [22] 谢德体, 范小华, 魏朝富. 三峡水库消落区对库区水土环境的影响研究. *西南大学学报: 自然科学版*, 2007, 29(1): 39-47.
- [23] 程瑞梅, 王晓荣, 肖文发, 郭泉水. 消落带研究进展. *林业科学*, 2010, 46(4): 111-119.
- [24] 韩耀全, 周解, 吴祥庆. 漓江的自然地理与水质调查. *广西水产科技*, 2007, (2): 8-15.
- [25] 黄宗万, 陈余道, 蒋亚萍, 程亚平. 漓江流域水资源形势分析. *广西科学院学报*, 2005, 21(1): 56-60.
- [31] 钱进, 王超, 王沛芳, 侯俊, 高超越. 坡度对入渗河岸带表土层氮素截留效果的影响. *河海大学学报: 自然科学版*, 2011, 39(5): 489-493.
- [32] 孙荣, 袁兴中. 三峡水库消落带湿地碳储量及空间格局特征. *重庆师范大学学报: 自然科学版*, 2012, 29(3): 75-78.
- [33] 赵海霞, 江源, 刘全儒. 城市土地利用对植被特征影响的研究. *地球科学进展*, 2002, 17(2): 247-253.
- [34] 史培军, 袁艺, 陈晋. 深圳市土地利用变化对流域径流的影响. *生态学报*, 2001, 21(7): 1041-1050.
- [36] 何晓群. *多元统计分析(第二版)*. 北京: 中国人民大学出版社, 2010: 57-95.
- [37] 周志强, 黎明, 侯建国, 李剑凌, 刘彤. 沙漠前沿不同植被恢复模式的生态服务功能差异. *生态学报*, 2011, 31(10): 2797-2804.
- [38] 张建春. 河岸带功能及其管理. *水土保持学报*, 2001, 15(6): 143-146.
- [42] 任海, 彭少麟, 陆宏芳. 退化生态系统恢复与恢复生态学. *生态学报*, 2004, 24(8): 1760-1768.
- [43] 张建春, 彭补拙. 河岸带研究及其退化生态系统的恢复与重建. *生态学报*, 2003, 23(1): 56-63.
- [44] 张建春, 史志刚, 彭补拙. 皖西南大别山麓河岸带滩地生态重建与植物护坡效能分析. *山地学报*, 2002, 20(1): 85-89.
- [46] 欧洋, 王晓燕. 景观对河流生态系统的影响. *生态学报*, 2010, 30(23): 6624-6634.
- [49] 陈吉泉. 河岸植被特征及其在生态系统和景观中的作用. *应用生态学报*, 1996, 7(4): 439-448.
- [50] 邬建国. *景观生态学——格局、过程、尺度与等级(第二版)*. 北京: 高等教育出版社, 2004: 17-36.
- [51] 邓红兵, 王青春, 王庆礼, 吴文春, 邵国凡. 河岸植被缓冲带与河岸带管理. *应用生态学报*, 2001, 12(6): B951-954.
- [52] 戴方喜, 许文年, 刘德富, 陈方清. 对构建三峡库区消落带梯度生态修复模式的思考. *中国水土保持*, 2006, (1): 34-36.
- [53] 陈小华, 李小平. 河道生态护坡关键技术及其生态功能. *生态学报*, 2007, 27(3): 1168-1176.

参考文献:

- [17] 王勇, 刘义飞, 刘松柏, 黄宏文. 三峡库区消涨带植被重建. *植物学通报*, 2005, 22(5): 513-522.
- [18] 张虹, 朱平. 基于 RS 与 GIS 的三峡重庆库区消落区分类系统研究——以重庆开县为例. *国土资源遥感*, 2005, 16(3): 66-69.
- [19] 苏维词, 杨华, 赵纯勇, 李晴. 三峡库区(重庆段)涨落带土地资源的开发利用型式初探. *自然资源学报*, 2005, 20(3):