

人为干扰对金马河温江段护岸林物种多样性和土壤理化性质的影响

张潇月¹ 齐锦秋^{1,2} 张柳桦¹ 王媚臻¹ 李婷婷¹ 鱼舜尧¹ 郝建锋^{1,3,*}

(1. 四川农业大学林学院, 成都 611130; 2. 木材工业与家具工程重点实验室, 成都 611130; 3. 水土保持与荒漠化防治重点实验室, 成都 611130)

摘要 采用典型样地法, 运用干扰理论和物种多样性分析方法, 使用冗余分析(RDA)研究了11个环境因子与护岸林物种多样性的关系, 探究不同强度人为干扰对金马河温江段护岸林物种多样性和土壤理化性质的影响。结果表明:(1)在264个不同层次样方中, 记录植物122种, 隶属65科102属, 其中草本层物种数量最多, 种类达89种, 占总记录数73%。随人为干扰强度增加物种数量逐渐减少;(2)人为干扰对金马河护岸林群落物种多样性水平产生负面影响, 随着干扰强度增加, 群落各层次 Shannon-Wiener 多样性指数(H)和物种丰富度指数(D)逐渐降低, 乔木层物种组成单一, 造成群落环境功能和稳定性下降;(3)群落土壤 pH 值呈碱性, 土壤有机质含量较高, 不同干扰强度下各土壤理化性质具有显著差异($P < 0.05$);(4)土壤含水量、速效钾、有机质含量是影响护岸林物种多样性的最主要因子。

关键词 人为干扰 护岸林 物种多样性 土壤理化性质

中图分类号 S718.54+2 文献标志码 A doi:10.7525/j.issn.1673-5102.2019.01.010

Effects of Human Disturbance on Species Diversity and Soil Physical and Chemical Properties of Revetment Forest in Wenjiang Section of the Jinma River

ZHANG Xiao-Yue¹ QI Jin-Qiu^{1,2} ZHANG Liu-Hua¹ WANG Mei-Zhen¹
LI Ting-Ting¹ YU Shun-Yao¹ HAO Jian-Feng^{1,3,*}

(1. College of Forestry, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130; 2. Wood Industry and Furniture Engineering, Sichuan Provincial Colleges and Universities Key Laboratory, Chengdu 611130; 3. Soil and Water Conservation, Desertification Combating of MOE, Sichuan Provincial Colleges and Universities Key Laboratory, Chengdu 611130)

Abstract By the typical plot method, the interference theory and species diversity analysis method, and redundant analysis(RDA), we studied the relationship between 11 environmental factors and the diversity of revetment forest species, and explored the different disturbances of human disturbance to the Wenjiang section of the Jinma River. The impact of species diversity and soil physical and chemical properties on revetment forests. The results showed that:(1)Among the 264 different levels, 122 species of plants were recorded, belonging to 65 families and 102 genera, of which the herbaceous layer had the largest number of species, with 89 species, accounting for 73% of the total records, with the increase of human disturbance intensity. The number of species is gradually decreasing;(2)Human disturbance has a negative impact on the species diversity level of the Jinma River revetment community. With the increase of disturbance intensity, the Shannon-Wiener diversity index(H) and species richness index(D) of the community are gradually reduced, and on the arbor layer the species composition is single, resulting in a decline in community environmental

基金项目:国家自然科学基金(31370628);四川省教育厅一般项目(自然科学,15ZB0020);四川农业大学双支计划(03571838)

第一作者简介:张潇月(1995—),女,硕士研究生,主要从事森林生态学研究。

* 通信作者 E-mail: haoj2005@aliyun.com

收稿日期:2018-09-06

Foundation item: National Natural Science Foundation of China(31370628); General Project of Sichuan Provincial Department of Education (Natural Science, 15ZB0020) Sichuan Agricultural University Double Branch Program(03571838)

First author introduction: ZHANG Xiao-Yue(1995—), female, master student, mainly engaged in forest ecology research.

* Corresponding author E-mail: haoj2005@aliyun.com

Received date: 2018-09-06

function and stability ; (3) The pH value of the soil in the community was alkaline , and the soil organic matter content was high. The physical and chemical properties of the soil under different disturbance intensity were significantly different ($P < 0.05$) ; (4) Soil water content , available potassium and organic matter content are the most important factors affecting the species diversity of revetment forests.

Key words human disturbance ; revetment forest ; species diversity ; soil physical and chemical properties

物种多样性是一个地区生态系统健康稳定的基础,既能反映群落内物种与物种、物种与环境之间的相互关系^[1],也能够反映植物群落的空间(地带性)特征和群落的时间(演替动态)特征,是生物群落结构组成的重要指标^[2-3]。物种多样性与环境因子之间的关系一直是生态学和环 境科学领域的热点话题^[4]。其中干扰对群落物种多样性的影响受到国内外学者的广泛关注^[5-7]。如今人为干扰对生态系统的影响日益显著,成为近百年来全球气候变暖、生物多样性锐减、生态环境退化等问题的主要原因^[8]。近年来对森林间伐、旅游开发、过度放牧等不同形式的人为干扰的研究多种多样,研究范围包括了森林、草原、湿地、湖泊等^[9]。土壤理化性质测定作为土壤研究中的重要组成部分,对于研究生态系统中的物质循环^[10]和群落中植物生长^[11]具有重要意义。

河流河岸带因其独特的地理位置、生态结构和服务功能,维持了很高的物种多样性,在河流湿地生态建设、环境污染治理、防洪固沙等方面具有重要作用^[12]。护岸林作为河岸带的重要组成部分,既能起到保持水土、固土护岸的作用,又可以提高河岸土壤肥力,改善河岸周边的生态环境,还能发挥截留雨水、过滤河岸地表径流、净化水质、减少河道沉积物的作用^[13]。随着社会经济的发展,人类对河流及其河岸带的干扰也愈加严重,人为干扰对河岸带生态系统的物种多样性和稳定性也产生了影响。近年来对河岸的研究主要集中在影响河岸带结构与功能的因子及其这些影响因子互相作用的结果上^[14]。目前,有关护岸林的研究多集中在土壤抗蚀性、生态效益、营造及防护效应及水土保持效应^[15]等,而关于护岸林群落物种多样性及土壤理化性质的研究较少。

金马河流域作为成都平原的重要防洪屏障,在长江上游生态建设中具有重要地位,本实验通过对金马河护岸林不同强度人为干扰下植物群落的物种调查和土壤理化性质的测定,进而认识其群落物种组成特征和土壤养分状况,分析物种多样性特征及其与土壤养分的相关关系,并结

合群落优势种,因地制宜、寻找适合该区域生长的物种,为金马河河岸带构筑生态防护林提供理论支持。

1 研究区概况

研究区位于四川盆地中部金马河流经温江区域(30°40′48.38″~30°41′50″N,103°46′57.86″~103°47′46″E)。属亚热带湿润气候,全年温暖湿润,平均气温 17℃。平均年降水量 900~1300 mm,夏季降水较多,其它季节降水较少。土壤质地为砂壤土。河流上部流经盆周山地,盆地周围为海拔 2000~3000 m 的高山和高原,丘陵海拔在 800 m 以内,为中生代褶皱和缓的岩层,主要由紫红色泥岩和砂岩组成,二者常构成互层,但岩性、厚薄有差异。金马河流域为主要保护区和重点灌溉区,气候宜人,水草丰茂,温和湿润,植被丰富,为自然林。护岸林乔木树种以构树(*Broussonetia papyrifera*)、盐肤木(*Rhus chinensis*)、红麸杨(*Ligustrum lucidum*)为主。

2 研究方法

2.1 样地设置

经实地踏查,参照方精云等^[16]的样地设置方法,设置 3 个类型的样地,分别为(1)轻度干扰:远离公路及村庄,受到轻微人为活动干扰的区域,偶有人类踩踏和收集枯落物,此区域的植物生长几乎没有受到人为干扰,植物生长茂盛,林分郁闭度 0.7 及以上(2)中度干扰:离村庄较远(>2 km)且距公路两侧 500 m 范围以外,受到踩踏、樵采、收集枯落物等干扰,林内植物能够正常生长,受到的影响较少,郁闭度为 0.6~0.7(3)重度干扰:离村庄较近(<2 km)且在公路两侧约 500 m 范围以内,人类野炊、攀折、踩踏、收集枯落物等活动频繁的区域,遭受反复践踏,受到人为破坏程度严重,对林内植物的生长发育影响较大,郁闭度为 0.5~0.6。

每个类型分别设置 4 个 20 m × 20 m 的样地(表 1)样地面积总计 4800 m²。采用“相邻格子

法”将每个样地均分为4个10 m × 10 m的乔木样方,采用“对角线法”在每个样地设置灌木样方6个,每个面积5 m × 5 m;草本样方12个,每个面积1 m × 1 m。乔木层、灌木层、草本层样方总数分别为48、72和144个。

表1 样地基本情况

Table 1 Basic information of the sample plots

编号 No.	海拔 Altitude (m)	坡度 Slope (°)	坡向 Aspect (°)	平均胸径 Mean diameter (cm)	平均树高 Mean height (m)	郁闭度 Canopy density	干扰强度 Disturbance intensity
1	516.0	4.8	ES22°	6.1	5.0	0.73	轻度 Slight
2	515.0	5.0	ES31°	5.2	4.9	0.72	轻度 Slight
3	517.0	5.2	ES28°	6.6	5.5	0.78	轻度 Slight
4	519.0	5.3	ES25°	5.9	5.3	0.74	轻度 Slight
5	513.0	5.8	SW10°	3.9	4.0	0.65	中度 Middle
6	513.0	6.9	SW7°	4.3	5.2	0.64	中度 Middle
7	514.0	6.5	SW15°	4.8	4.3	0.65	中度 Middle
8	512.0	6.3	SW20°	4.5	4.9	0.63	中度 Middle
9	510.0	13.0	WN38°	6.4	6.8	0.56	重度 Severe
10	510.0	13.5	WN30°	10.1	6.9	0.55	重度 Severe
11	511.0	13.1	WN11°	7.2	7.1	0.57	重度 Severe
12	509.0	12.9	WN15°	9.5	7.6	0.53	重度 Severe

2.2 调查内容

2.2.1 野外

(1)乔木层:测定树高 ≥ 3 m的所有植株,记录其种类、胸径、高度和冠幅;(2)灌木层:测定所有树高 < 3 m的木本个体,包括乔木幼苗和幼树,记录其种类、株数(丛数)、高度和冠幅;(3)草本层:统计包括草质藤本和蕨类植物,但大型木质藤本按胸径大小分别计入乔木层或灌木层,记录其种类、株数(丛数)、高度和盖度;(4)样地信息(经纬度、海拔、坡度、坡位、图片等)。

2.2.2 室内

土壤理化性质各指标:pH值、有机质、全氮、全磷、全钾、速效钾、有效磷、含水量。

2.3 物种多样性测定

对每个样地内乔、灌、草三层分别统计分析,计算公式为:

$$\text{相对密度} = \text{某个种的株数} / \text{所有种的总株数} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{相对显著度} = \text{某个种的胸高断面积} / \text{所有种的胸高断面积之和} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{相对盖度} = \text{某个种的盖度} / \text{所有种的盖度之}$$

$$\text{和} \times 100\% \quad (3)$$

$$\text{相对频度} = \text{某个种在样方中出现的次数} / \text{所有种出现的总次数} \times 100\% \quad (4)$$

$$\text{重要值(IV)} = (\text{相对密度} + \text{相对显著度} + \text{相对频度}) / 3 \times 100\% \quad (5)$$

$$\text{灌木层/草本层IV} = (\text{相对密度} + \text{相对盖度} + \text{相对频度}) / 3 \times 100\% \quad (6)$$

物种丰富度指数(D):

用相对物种丰富度来表示 $D = S$

Simpson 优势度指数(H'):

$$H' = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2 \quad (7)$$

Shannon-Wiener 多样性指数(H):

$$H = - \sum_{i=1}^S P_i \log P_i \quad (8)$$

Pielou 均匀度指数(J_{sw}):

$$J_{sw} = \frac{- \sum_{i=1}^S P_i \log P_i}{\log S} \quad (9)$$

上述各式中, S 为样地中物种的总数; P_i 为第*i*种的个体数 n_i 占调查物种个体总数 n 的比例,即 $P_i = n_i/n$; $i = 1, 2, 3, \dots, S$ 。

2.4 土壤理化性质测定

在研究区域各样方内分别以对角线五点法^[17]布点,采集0~20 cm混合土样,5次重复,土壤带回实验室进行进一步分析。土样风干后,先清除较大的植物残体和石块,再取风干土样100 g过2 mm孔径尼龙筛,然后用四分法取出一部分继续研磨,使其全部通过0.25 mm孔径筛,研磨过后的样品分别装袋密封,标记保存待测。

测定方法:土壤pH采用电位法测定;有机质含量采用重铬酸钾氧化—外加热法测定;土壤全氮含量采用半微量凯氏法测定;全磷含量采用碱熔—铝锑抗比色法测定;全钾含量采用碱熔—火焰光度计法测定;速效钾含量采用乙酸铵浸提—火焰光度计法测定;有效磷含量采用盐酸—硫酸浸提法测定。

2.5 数据处理

采用Excel2016和SPSS20.0软件进行数据统计分析,使用单因素方差分析(One-Way ANOVA)和最小显著差异法(LSD)检验各层次多样性指数的差异显著性($P = 0.05$);采用Canoco5.0软件对环境因子与物种多样性的对应关系进行冗余分析(RDA);采用Origin9.0软件进行绘图。

3 结果与分析

3.1 不同强度人为干扰对护岸林群落物种组成的影响

3.1.1 科属种组成分析

本次调查的 12 个样地中,完整踏查不同层次样方合计 264 个,记录植物 122 种,分属于 65 科 102 属。由图 1 可见,不同层次间物种组成差异明显,其中草本层物种数量最多,种类达 89 种,占总记录数 73%,隶属于 42 科 73 属,以禾本科(Gramineae)、凤尾蕨科(Pteridaceae)、木贼科(Equisetaceae)、酢浆草科(Oxalidaceae)、蔷薇科(Rosaceae)植物为主。灌木层和乔木层数量相比草本层数量骤减,组成分别为 14 科 18 属 20 种和 9 科 11 属 13 种。灌木层以桑科(Moraceae)、荨麻科(Urticaceae)、漆树科(Anacardiaceae)植物为主,乔木层以桑科(Moraceae)、楝科(Meliaceae)、杨柳科(Salicaceae)植物为主;草本层物种组成最为丰富。灌木层与乔木层组成相对单一。随着人为干扰强度的增加,群落物种数量呈递减趋势,可见过于频繁的人为干扰会对物种组成造成负面影响。

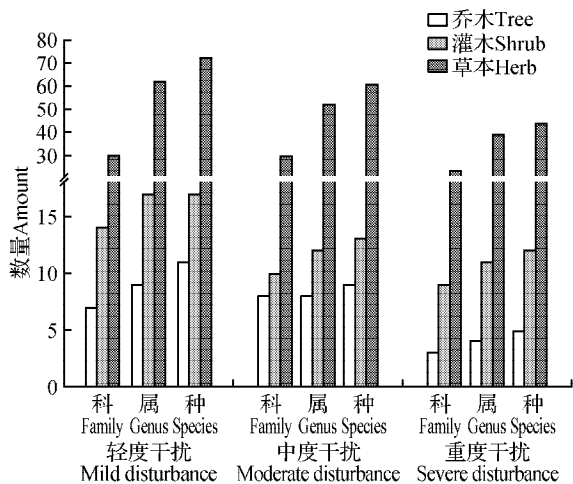


图 1 不同强度人为干扰下群落的科、属、种组成

Fig. 1 Composition of families, genus and species of communities with different intensity of human disturbance

3.1.2 重要值指示分析

由表 2 可见,不同强度人为干扰下乔木层的优势种有构树、盐肤木、红麸杨、野漆(*Toxicodendron succedaneum*)等,对比 3 种干扰程度下乔木层的物种重要值,构树的重要值最高,说明构树始终处于绝对优势地位,为绝对优势种,也是护岸林群落建群种,而随着干扰程度加重,红麸杨等物种的

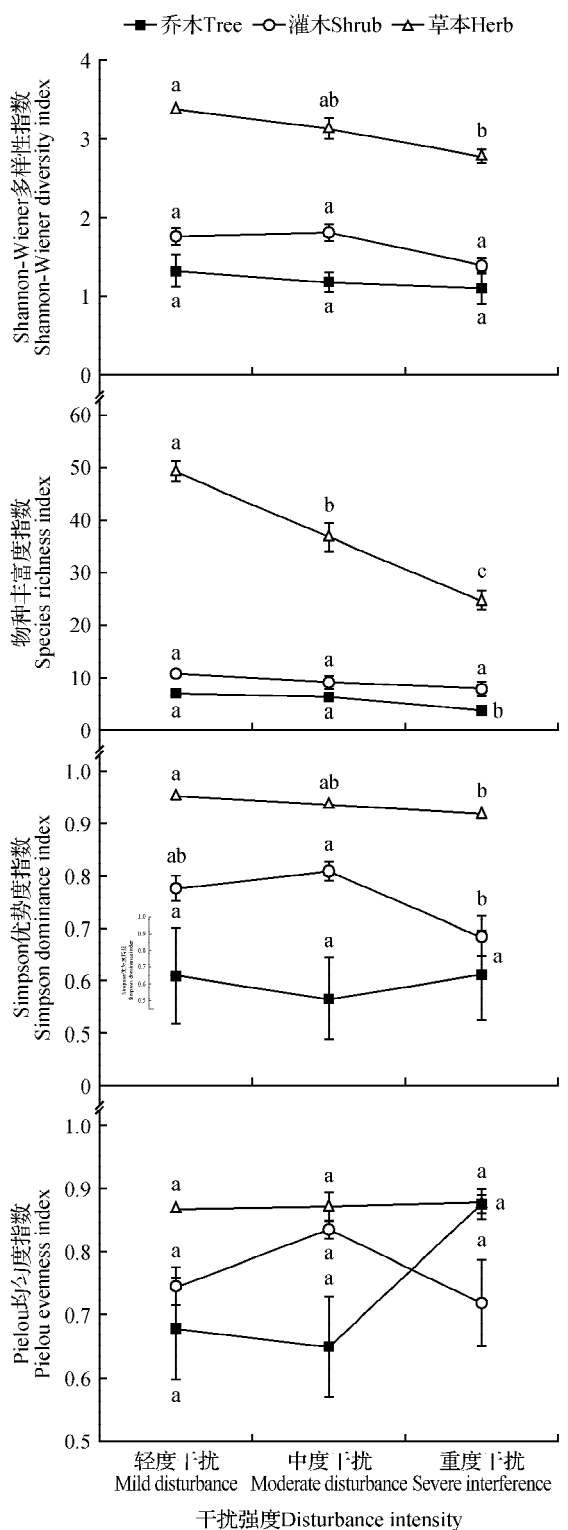


图 2 不同强度人为干扰下群落的物种多样性指数
不同小写字母表示不同群落层次间的数据差异显著($P < 0.05$)。

Fig. 2 Species diversity index of communities with different intensity of human disturbance. Different lower case letters indicate significant differences between different community levels ($P < 0.05$).

重要值逐渐上升,原因可能是干扰对红桉杨的生长影响较少,相反还为其生长提供了有利条件。猜想红桉杨更适应此生境。灌木层的优势种有构树、水麻(*Debregeasia orientalis*)、盐肤木、红桉杨、女贞(*Ligustrum lucidum*)等,除重要值最高的构树外各优势种重要值差异较小,中度干扰下灌木层的优势种数量与轻度干扰相同,构树、水麻、盐肤木等物种的重要值较高,在群落中处于优势地位,但群落中优势种种数较少,物种组成单一,不利于群落的稳定发展。草本层的优势种有斑茅(*Saccharum arundinaceum*)、芦竹(*Arundo donax*)、蛇莓(*Duchesnea indica*)、棒头草(*Cirsium setosum*)等,轻度干扰下物种数最多,随着干扰强度的增加,重要值呈先增大后减小的趋势。

3.2 不同强度人为干扰对护岸林物种多样性的影响

由图2可见,从群落总体上看,各干扰强度下

群落物种丰富度指数(D)间差异显著,随着干扰强度增强,各多样性指数总体上逐渐减小,物种多样性水平逐渐下降。本研究中 Shannon-Wiener 多样性指数(H')的变化趋势与 D 相同,均为草本层 > 灌木层 > 乔木层。Simpson 优势度指数(H')在各个类型的样地中差距轻微。轻度干扰和轻度干扰下 Pielou 均匀度指数(J_{sw})较低,其原因是这两种干扰强度的群落中构树的重要值极高,且远大于其他树种,处于绝对优势地位,群落物种组成单一,导致群落的均匀度下降;而重度干扰下的乔木层和灌木层的 J_{sw} 值较高,则是由于剧烈的人类活动导致环境发生改变,部分物种(如枫杨 *Pterocarya stenoptera*、漆 *Toxicodendron vernicifluum* 等)不能适应环境的变化,其生长受到不利影响,数量逐渐减少,而少数物种(如盐肤木、水麻等)更能适应环境,生长的更为旺盛,其重要值逐渐上升,在乔木层中重要值接近构树,所以其物种的分布更加均匀。

表 2 不同强度人为干扰下护岸林群落各层次物种重要值

Table 2 Species importance values of species at various levels of the revetment forest community with different intensity of human disturbance

层次 Layer	干扰强度 Disturbance intensity	优势种 Dominant species	重要值 Importance value
乔木层 Tree	轻度 Sight	构树 + 盐肤木 + 女贞 + 红桉杨 + 野桐 <i>Broussonetia papyrifera</i> + <i>Rhus chinensis</i> + <i>Ligustrum lucidum</i> + <i>Rhus punjabensis</i> var. <i>sinica</i> + <i>Mallotus japonicus</i> var. <i>floccosus</i>	0.5759 + 0.2258 + 0.0657 + 0.0443 + 0.0242
	中度 Middle	构树 + 盐肤木 + 水麻 + 野漆 + 红桉杨 <i>Broussonetia papyrifera</i> + <i>Rhus chinensis</i> + <i>Debregeasia orientalis</i> + <i>Toxicodendron succedaneum</i> + <i>Rhus punjabensis</i> var. <i>sinica</i>	0.4592 + 0.2959 + 0.1522 + 0.0518 + 0.0409
	重度 Severe	构树 + 红桉杨 + 野漆 + 楝 + 枫杨 <i>Broussonetia papyrifera</i> + <i>Rhus punjabensis</i> var. <i>sinica</i> + <i>Toxicodendron succedaneum</i> + <i>Melia azedarach</i> + <i>Pterocarya stenoptera</i>	0.5920 + 0.0646 + 0.0584 + 0.0512 + 0.0892
灌木层 Shrub	轻度 Sight	构树 + 水麻 + 盐肤木 + 八角枫 + 山葡萄 <i>Broussonetia papyrifera</i> + <i>Debregeasia orientalis</i> + <i>Rhus chinensis</i> + <i>Alangium chinense</i> + <i>Vitis amurensis</i>	0.2179 + 0.1886 + 0.1703 + 0.1193 + 0.0824
	中度 Middle	构树 + 水麻 + 盐肤木 + 红桉杨 + 女贞 <i>Broussonetia papyrifera</i> + <i>Debregeasia orientalis</i> + <i>Rhus chinensis</i> + <i>Rhus punjabensis</i> var. <i>sinica</i> + <i>Ligustrum lucidum</i>	0.3638 + 0.2724 + 0.1315 + 0.0848 + 0.0428
	重度 Severe	构树 + 水麻 + 红桉杨 + 女贞 + 枫杨 <i>Broussonetia papyrifera</i> + <i>Debregeasia orientalis</i> + <i>Rhus punjabensis</i> var. <i>sinica</i> + <i>Ligustrum lucidum</i> + <i>Pterocarya stenoptera</i>	0.2492 + 0.2296 + 0.1625 + 0.1448 + 0.0667
草本层 Herb	轻度 Sight	斑茅 + 芦竹 + 蜈蚣草 + 问荆 + 酢浆草 <i>Saccharum arundinaceum</i> + <i>Arundo donax</i> + <i>Alternanthera philoxeroides</i> + <i>Pteris vittata</i>	0.1717 + 0.1211 + 0.0796 + 0.0355 + 0.0340
	中度 Middle	斑茅 + 蛇莓 + 芦竹 + 蜈蚣草 + 一年蓬 <i>Saccharum arundinaceum</i> + <i>Duchesnea indica</i> + <i>Arundo donax</i> + <i>Alternanthera philoxeroides</i> + <i>Erigeron annuus</i>	0.4532 + 0.0681 + 0.0602 + 0.0441 + 0.0432
	重度 Severe	斑茅 + 棒头草 + 刺儿菜 + 草木犀 + 寸金草 <i>Saccharum arundinaceum</i> + <i>Polypogon fugax</i> + <i>Cirsium setosum</i> + <i>Melilotus officinalis</i> + <i>Clinopodium megalanthum</i>	0.1615 + 0.1043 + 0.0718 + 0.0689 + 0.0468

3.3 不同强度人为干扰对护岸林土壤理化性质的影响

由表 3 可见,不同干扰强度下各样地的土壤理化性质具有显著差异 ($P < 0.05$)。含水量、全氮、全钾、有效磷、有机质含量均为轻度干扰 > 中度干扰 > 重度干扰;速效钾含量为中度干扰 > 轻度干扰 > 重度干扰;土壤 pH 表现为从轻度干扰至重度干扰碱性逐渐增强,其原因可能是重度干扰

破坏林下结构,蒸发量偏高,且护岸林周边矿物含量较高,造成土壤呈碱性且有碱性增强的趋势。由于样地中土壤含沙量较高,蓄水保肥能力差,土壤中的含水量、全磷含量较低;土壤含水量指标可以用来评价土壤的贮水能力,本研究中土壤质量含水量随着干扰强度增强而下降,人为干扰对土壤的通气性和透水性造成了影响,导致土壤的贮水能力降低。

表 3 不同强度人为干扰下护岸林林下土壤的理化性质

Table 3 Physico-chemical properties of soils under protection from different levels of human disturbance

干扰强度 Disturbance intensity	pH	含水量 Soil water content(%)	全氮 Total nitrogen ($g \cdot kg^{-1}$)	全钾 Total potassium ($mg \cdot kg^{-1}$)	速效钾 Available potassium ($mg \cdot kg^{-1}$)	全磷 Total phosphorus ($g \cdot kg^{-1}$)	有效磷 Available phosphorus ($mg \cdot kg^{-1}$)	有机质 Organic matter ($g \cdot kg^{-1}$)
轻度 Slight	7.26 ± 0.05c	28.02 ± 1.29a	15.03 ± 0.97a	9.84 ± 0.16a	10.63 ± 1.48a	0.22 ± 0.01a	5.14 ± 0.67a	144.73 ± 29.27a
中度 Middle	7.70 ± 0.04b	25.87 ± 1.55ab	6.56 ± 1.92b	9.54 ± 0.09a	13.81 ± 0.95a	0.17 ± 0.01b	1.47 ± 0.03b	94.22 ± 4.91ab
重度 Severe	7.99 ± 0.02a	21.46 ± 0.96b	2.89 ± 0.15b	8.98 ± 0.68a	6.37 ± 0.27b	0.12 ± 0.01c	1.30 ± 0.03b	60.19 ± 3.07b

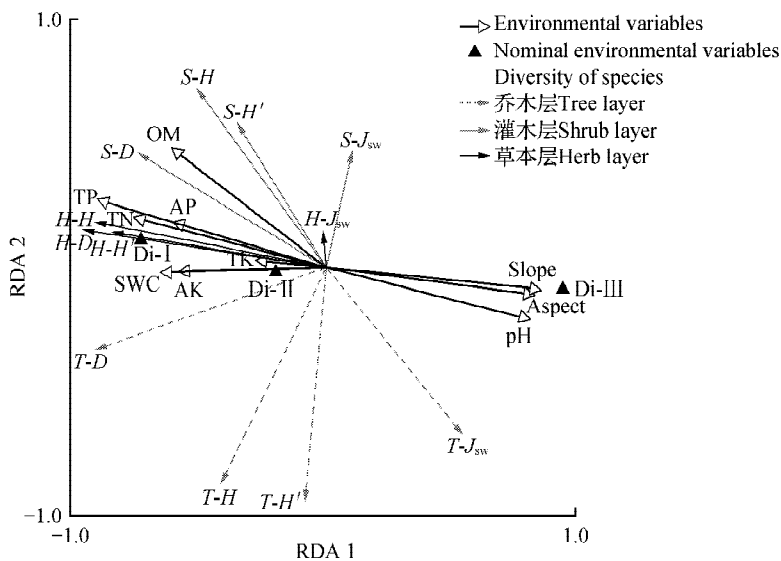


图 3 环境因子对物种多样性影响的 RDA 二维排序

Fig. 3 RDA two-dimensional ordering of environmental factors' effects on species diversity

环境变量箭头指向环境变量值最急剧增加的方向,箭头之间的夹角表示单个环境变量之间的相关性,物种多样性箭头指向的是物种多样性相应值增长最陡的方向,箭头之间的夹角表示物种多样性之间的相关性;角度小于 90 度,相关性为正,角度大于 90 度,相关性为负。将物种多样性和环境变量的垂直投影与环境变量箭头的垂直投影进行近似,投影点越往箭头所指的方向下落,相关性越高,在坐标原点(零点)附近的投影点表明相关性接近于零,如果投影点位于相反的方向,则预测的相关性为负。Environmental Variables:环境变量(作为解释变量,包括坡度、坡向及土壤理化性质);Nominal Environmental Variables:名义环境变量(人为干扰强度);Diversity of Species:物种多样性(作为响应变量);tree layer 乔木层;shrub layer 灌木层;herb layer 草本层;RDA 1:RDA1 轴;RDA 2:RDA2 轴;Di-I:Disturbance intensity I,轻度人为干扰;Di-II:Disturbance intensity II,中度人为干扰;Di-III:Disturbance intensity III,重度人为干扰;Slope:坡度;Aspect:坡向;pH:土壤酸碱度;SWC:soil water content,土壤含水量;TN:total nitrogen,全氮;TK:total potassium,全钾;AK:available potassium,速效钾;TP:total phosphorus,全磷;AP:available phosphorus,有效磷;OM:organic matter,有机质;T-H:Shannon-wiener index of tree layer,乔木层 Shannon-Wiener 指数;T-H':Simpson index of tree layer,乔木层 Simpson 指数;T-D:Diversity index of tree layer,乔木层丰富度指数;T-J_{sw}:Pielou index of tree layer,乔木层 Pielou 指数;S-H:Shannon-wiener index of shrub layer,灌木层 Shannon-Wiener 指数;S-H':Simpson index of shrub layer,灌木层 Simpson 指数;S-D:Diversity index of herb layer,灌木层丰富度指数;S-J_{sw}:Pielou index of shrub layer,灌木层 Pielou 指数;H-H:Shannon-wiener index of herb layer,草本层 Shannon-Wiener 指数;H-H':Simpson index of herb layer,草本层 Simpson 指数;H-D:Diversity index of herb layer,草本层丰富度指数;H-J_{sw}:Pielou index of herb layer,草本层 Pielou 指数

3.4 护岸林环境因子与物种多样性 RDA 分析

为探究人为干扰强度对物种多样性及土壤理化性质的影响,将其作为名义环境变量引入(图3)。轻度、中度、重度三个干扰等级间的距离近似于用欧几里得距离(Euclidean distance)比较的两个干扰级间物种组成多样性的平均差异。轻度与中度干扰间差异较小,重度干扰与轻度、中度干扰间差异较大。

在解释变量(土壤理化性质)对响应变量(物种多样性)的解释方面,前两轴能够解释多样性变化的90.30%。RDA1轴与pH值呈正相关,与其余土壤理化性质呈负相关;RDA2轴与含水量、速效钾、pH值呈负相关,与其余土壤理化性质呈正相关。其中,含水量、速效钾和全钾与RDA1轴相关性较大,有机质与RDA2轴的相关性最大。其他环境因子(坡度、坡向)与RDA轴的关系和pH值相似。

护岸林不同垂直结构的物种多样性指数受土壤理化性质的影响不尽相同。随着含水量、速效钾和全钾的增加(RDA1轴),乔、灌、草三层的H值、H'值、D值增大趋势明显,而 J_{sw} 值呈减小趋势。随着有机质的增加(RDA2轴),灌木层和草本层多样性指数增大,草本层多样性指数增大趋势明显低于灌木层,而乔木层多样性指数呈减小趋势。

物种多样性特征在RDA1轴上分异现象不明显,而在RDA2轴方向上具有明显分异现象。随着RDA2轴的增加,灌木层和草本层物种多样性有明显增大趋势,而RDA2轴的降低往往对应着乔木层物种多样性的整体降低。

4 讨论

随着人类活动的不断加剧,人为干扰越来越成为生态系统变化的主要动因,尤其对群落的动态演替、结构组成和物种多样性等起着重要的作用。植物群落结构是个体对外界干扰强度、立地条件优劣与环境适应性和多样性的反映,被认为是影响群落物种组成和多样性最重要的因素之一^[18]。不同强度人为干扰下护岸林群落的物种组成和各层次的优势种不同,在轻度干扰下,护岸林群落物种组成最丰富,中度干扰次之,重度干扰下物种组成较为单一,这与程占红等^[19]及卢素锦等^[20]的研究结果一致。不同群落的物种组成变化是物种适应性和群落环境变化相互作用的结果,

随着干扰强度加重,护岸林群落中物种数目减少,物种组成趋于单一,不利于群落稳定和生态平衡,这与彭东海等^[21]的观点相符。群落中的优势种种数随干扰程度的增加而减少,这与各物种耐受性、种群繁殖策略等生态习性有关。研究结果显示,桑科、荨麻科、漆树科、禾本科植物在护岸林中分布广且数量多,这些类群对金马河护岸林环境具有较强的适应性,系该环境中的适生种和优势种。

人为干扰对金马河护岸林群落的物种多样性水平产生了负面影响。随着干扰强度增强,群落的H值和D值逐渐减小,物种数量减少,造成乔木层物种组成单一,群落环境功能和稳定性下降,其林下灌木和草本均受到影响。因人为干扰的作用范围和不同层次植物的生态习性影响,中度、重度干扰下群落乔木层、灌木层 J_{sw} 上升,群落各层次的多样性特征不同,这与张柳桦等^[22]的研究相一致。

金马河护岸林存在逆行演替的趋势,可能与土壤理化性质变化紧密相关。不同强度人为干扰下各土壤理化性质具有显著差异($P < 0.05$)。土壤pH值呈碱性,与此地降水量偏低而蒸发量偏高有关,护岸林周围具较多矿物,高强度人为干扰破坏了林下结构,使土壤碱性逐渐增强。土壤有机质含量较高,土壤含沙量大,蓄水保肥能力差,土壤含水量、全磷含量较低。人为干扰对护岸林生境产生负面影响,群落逐渐向逆向演替的方向发展。

通过RDA分析发现土壤理化性质与群落物种多样性之间存在明显的对应关系,与李瑞等^[23]的研究一致。其中含水量、速效钾、有机质是影响林下植被生长分布的主要因子,这与孙千惠等^[24]及吴萍萍^[25]的研究相似。含水量与草本层的物种多样性指数相关性最大,草本层植物生长相较于高层次林分更加受到土壤含水量的影响。群落中植被与土壤相互作用、相互发展,同时也相互制约,因此,全面提高林地地力及改善土壤养分结构对群落物种多样性尤为重要。

综上所述,包括人为挖沙、破坏地表植被(涉及各个植物层次)、乱砍滥伐、倾倒垃圾等行为的人为干扰对整个护岸林功能体系产生了极大的负面影响,使金马河护岸林群落物种组成趋于单一,物种多样性水平降低,林下土壤各理化性质水平下降,大大降低了护岸林对河流生态系统的稳定维护功能。因此,亟待通过植被及地力近自然化恢复,加强对护岸林的管理,对林下幼苗进行抚育

管理 实行混交造林,提升群落物种多样性,平衡土壤酸碱性,改善土壤结构,增强土壤蓄水保肥的能力,为金马河河岸带构筑良好的生态防护系统,从而有效发挥森林的生态防护功能。

参 考 文 献

- 陈永金,刘加珍,陈亚宁,等. 输水前后塔里木河下游物种多样性与水因子的关系[J]. 生态学报, 2013, 33(7): 2212 - 2224.
Chen Y J, Liu J Z, Chen Y N, et al. Analysis of the relationship between species diversity and hydrologic factors during an interval of intermittent water delivery at the Lower Reaches of Tarim River, China[J]. Acta Ecologica Sinica 2013, 33(7): 2212 - 2224.
- 樊燕,黎祖尧,范承芳,等. 石灰岩山地淡竹林演替序列的群落物种多样性[J]. 生态学杂志, 2014, 33(12): 3238 - 3244.
Fan Y, Li Z Y, Fan C F, et al. Species diversity along the succession series from bamboo forest to broad-leaved forest in a limestone mountain[J]. Chinese Journal of Ecology 2014, 33(12): 3238 - 3244.
- 王世雄,王孝安,李国庆,等. 陕西子午岭植物群落演替过程中物种多样性变化与环境解释[J]. 生态学报, 2010, 30(6): 1638 - 1647.
Wang S X, Wang X A, Li G Q, et al. Species diversity and environmental interpretation in the process of community succession in the Ziwu Mountain of Shaanxi Province[J]. Acta Ecologica Sinica 2010, 30(6): 1638 - 1647.
- 陈生云,刘文杰,叶柏生,等. 疏勒河上游地区植被物种多样性和生物量及其与环境因子的关系[J]. 草业学报, 2011, 20(3): 70 - 83.
Chen S Y, Liu W J, Ye B S, et al. Species diversity of vegetation in relation to biomass and environmental factors in the upper area of the Shule River[J]. Acta Prataculturae Sinica 2011, 20(3): 70 - 83.
- 卢涛,马克明,倪红伟,等. 三江平原不同强度干扰下湿地植物群落的物种组成和多样性变化[J]. 生态学报, 2008, 28(5): 1893 - 1900.
Lu T, Ma K M, Ni H W, et al. Variation in species composition and diversity of wetland communities under different disturbance intensity in the Sanjiang Plain[J]. Acta Ecologica Sinica 2008, 28(5): 1893 - 1900.
- 吕刚,王婷,李叶鑫,等. 樟子松固沙林更新迹地草本植物多样性及其对土壤理化性质的影响[J]. 生态学报, 2017, 37(24): 8294 - 8303.
Lü G, Wang T, Li Y X, et al. Herbaceous plant diversity and soil physicochemical properties on the regeneration slash of *Pinus sylvestris* var. *mongolica*[J]. Acta Ecologica Sinica 2017, 37(24): 8294 - 8303.
- De Backer A, Van Hoey G, Coates D, et al. Similar diversity - disturbance responses to different physical impacts: three cases of small-scale biodiversity increase in the Belgian part of the North Sea.[J]. Marine Pollution Bulletin 2014, 84(1-2): 251 - 262.
- 孙永光,赵冬至,吴涛,等. 河口湿地人为干扰度时空动态及景观响应——以大洋河口为例[J]. 生态学报, 2012, 32(12): 3645 - 3655.
Sun Y G, Zhao D Z, Wu T, et al. Temporal and spatial dynamic changes and landscape pattern response of Hemeroby in Dayang estuary of Liaoning Province, China[J]. Acta Ecologica Sinica 2012, 32(12): 3645 - 3655.
- 秦山,潮洛蒙. 人为干扰对乌海市四合木小灌木景观的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(21): 6346 - 6354.
Qin S, Chao L M. The impact of anthropogenic disturbance on landscape of *Tetraena mongolica* shrub in the Wuhai City[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(21): 6346 - 6354.
- 潘逸凡,杨敏,董达,等. 生物质炭对土壤氮素循环的影响及其机理研究进展[J]. 应用生态学报, 2013, 24(9): 2666 - 2673.
Pan Y F, Yang M, Dong D, et al. Effects of biochar on soil nitrogen cycle and related mechanisms: a review[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(9): 2666 - 2673.
- 唐琨,朱伟文,周文新,等. 土壤 pH 对植物生长发育影响的研究进展[J]. 作物研究, 2013, 27(2): 207 - 212.
Tang K, Zhu W W, Zhou W X, et al. Research progress on effects of soil pH on plant growth and development[J]. Crop Research 2013, 27(2): 207 - 212.
- 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[J]. 生态学报, 2003, 23(1): 56 - 63.
Zhang J C, Peng B Z. Study on riparian zone and the restoration and rebuilding of its degraded ecosystem[J]. Acta Ecologica Sinica 2003, 23(1): 56 - 63.
- 王晶,丁德蓉,何丙辉,等. 三峡库区撑绿竹护岸林土壤抗蚀性能研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(6): 38 - 40.
Wang J, Ding D R, He B H, et al. Study on soil anti-erodibility behavior of *Bambusa pervariabilis* × *Dendrocalamopsis retaining* woodlands in Three Gorges Reservoir area [J]. Journal of Soil and Water Conservation 2004, 18(6): 38 - 40.
- 黄凯,郭怀成,刘永,等. 河岸带生态系统退化机制及其恢复研究进展[J]. 应用生态学报, 2007, 18(6): 1373 - 1382.
Huang K, Guo H C, Liu Y, et al. Research progress on the

- degradation mechanisms and restoration of riparian ecosystem[J]. Chinese Journal of Applied Ecology ,2007 ,18 (6) :1373 - 1382.
15. 韩路,王海珍,于军. 河岸带生态学研究进展与展望 [J]. 生态环境学报 2013 22(5) 879 - 886.
Han L ,Wang H Z ,Yu J. Research progress and prospects on riparian zone ecology[J]. Ecology and Environmental Sciences 2013 22(5) 879 - 886.
 16. 方精云,王襄平,沈泽昊,等. 植物群落清查的主要内容、方法和技术规范 [J]. 生物多样性 2009 ,17(6) 533 - 548.
Fang J Y ,Wang X P ,Shen Z H ,et al. Methods and protocols for plant community inventory[J]. Biodiversity Science 2009 ,17(6) 533 - 548.
 17. 吕忠忠,李保国. 土壤学实验 [M]. 北京:中国农业出版社 2010.
Lü Y Z ,Li B G. Soil Science Experiment[M]. Beijing : China Agricultural Press 2010.
 18. 王飞,屠彩芸,曹秀文,等. 白龙江干旱河谷不同坡向主要灌丛群落随海拔梯度变化的物种多样性研究 [J]. 植物研究 2018 38(1) 26 - 36.
Wang F ,Tu C Y ,Cao X W ,et al. The different altitude gradient change rules of the main shrub community in arid valleys of the Bailongjiang River with Different Slope[J]. Bulletin of Botanical Research 2018 38(1) 26 - 36.
 19. 程占红,牛莉芹,胡亚晴. 五台山风景区人为干扰下湿地植物物种的生态变化 [J]. 湿地科学 2014 ,12(1) 89 - 96.
Cheng Z H ,Niu L Q ,Hu Y Q. Ecological change of species of wetland plant with human disturbance in scenic area of Wutai Mountain[J]. Wetland Science 2014 ,12(1) 89 - 96.
 20. 卢素锦,侯传莹,袁坤宇,等. 三江源隆宝湖湿地植物群落特征及其土壤理化性质 [J]. 安徽农业大学学报 , 2016 43(5) 755 - 763.
Lu S J ,Hou C Y ,Yuan K Y ,et al. Analysis of plant community and soil physic-chemical characteristics in Longbao Lake wetland[J]. Journal of Anhui Agricultural University 2016 43(5) 755 - 763.
 21. 彭东海,侯晓龙,何宗明,等. 金尾矿废弃地不同植被恢复阶段物种多样性与土壤特性的演变 [J]. 水土保持学报 2016 30(1) 159 - 164.
Peng D H ,Hou X L ,He Z M ,et al. Evolution of species diversity and soil characteristics at different stages of vegetation restoration in gold tailings[J]. Journal of Soil and Water Conservation 2016 30(1) 159 - 164.
 22. 张柳桦,齐锦秋,柳莘玉,等. 林分密度对桉树人工林群落结构和物种多样性的影响 [J]. 西北植物学报 2018 , 38(1) 166 - 175.
Zhang L H ,Qi J Q ,Liu P Y ,et al. Effects of stand density on community structure and species diversity of *Eucalyptus robusta* plantation[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica 2018 38(1) 166 - 175.
 23. 李瑞,王霖娇,盛茂银,等. 喀斯特石漠化演替中植物多样性及其与土壤理化性质的关系 [J]. 水土保持研究 , 2016 23(5) 111 - 119.
Li R ,Wang L J ,Sheng M Y ,et al. Plant species diversity and its relationship with soil properties in Karst rocky desertification succession[J]. Research of Soil and Water Conservation 2016 23(5) 111 - 119.
 24. 孙千惠,吴霞,王媚臻,等. 林分密度对马尾松林林下物种多样性和土壤理化性质的影响 [J]. 应用生态学报 , 2018 29(3) 732 - 738.
Sun Q H ,Wu X ,Wang M Z ,et al. Effects of stand density on understory species diversity and soil physicochemical properties of *Pinus massoniana* plantation[J]. Chinese Journal of Applied Ecology 2018 29(3) 732 - 738.
 25. 吴萍萍. 山西历山千金榆群落物种多样性研究 [J]. 植物研究 2018 38(2) 195 - 200.
Wu P P. Species diversity of *Carpinus cordata* communities in Lishan nature reserve ,Shanxi Province[J]. Bulletin of Botanical Research 2018 38(2) 195 - 200.