

金尾矿废弃地不同植被恢复模式群落特征

彭东海¹, 侯晓龙¹, 何宗明¹, 刘露奇¹, 蔡丽平¹,
林静雯¹, 江瑞荣², 黄福才³, 钟均华³

(1. 福建农林大学 林学院, 福州 350002; 2. 福建省林业科技试验中心,
福建 南靖 363600; 3. 紫金矿业集团股份有限公司, 福建 上杭 364200)

摘要:为探讨矿山废弃地不同植被恢复模式的植被特征和物种多样性,以福建紫金山金矿废弃地为研究对象,对 6 种不同植被恢复模式群落的结构特征和数量组成进行样方调查,统计分析不同植被恢复模式群落的物种组成、重要值和物种多样性,并与未被破坏的自然植物群落进行了比较分析。结果表明:人工植被恢复群落的丰富度指数、多样性指数和优势度指数呈现出相同的变化趋势。植被恢复 9 a 后,人工植被恢复群落物种组成仍以草本植物为主,五节芒、藨香蓟、艾草、三叶鬼针草和柳叶箬对废弃地有较强的适应能力,可作为乔、灌、草相结合治理模式的配置草种。不同植被恢复模式的群落特征和物种多样性存在差异,马尾松—枫香—本地河滩草模式物种多样性较高,植被恢复效果较好,其次为马尾松—邓恩桉—本地河滩草模式,马尾松—樟树—胡枝子—本地河滩草模式的植被恢复效果不明显。

关键词:紫金山; 植被恢复; 群落特征; 物种多样性

中图分类号:X171.4

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2016)01-0050-06

Community Characteristics of Different Vegetation Restoration Models in Gold Tailing Wasteland

PENG Donghai¹, HOU Xiaolong¹, HE Zongming¹, LIU Luqi¹, CAI Liping¹,
LIN Jingwen¹, JIANG Ruirong², HUANG Fucui³, ZHONG Junhua³

(1. College of Forestry, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou
350002, China; 2. Experiment Centre of Fujian Forestry Science and Technology, Nanjing,
Fujian 363600, China; 3. Zijin Mining Group Company Limited, Shanghang, Fujian 364200, China)

Abstract: Plant selection of re-vegetation is important in the mining wasteland. Different restoration patterns were studied to understand the characteristics of vegetation community at Zijinshan gold mine in Fujian Province, China. The community structure, species composition and diversity under different 6 vegetation types (*Pinus massoniana*—*Lespedeza bicolor*—local flood turf, *P. massoniana*—*Eucalyptus urophylla* × *E. grandis*—local flood turf, *P. massoniana*—*Cinnamomum camphora*—*Lespedeza bicolor*—local flood turf, *P. massoniana*—*Vetiveria zizanioides*—local flood turf, *P. massoniana*—*Eucalyptus dunnii*—local flood turf, *P. massoniana*—*Liquidambar formosana*—local flood turf) recovered since 2005 on slag wasteland were investigated in comparison with the undisturbed sites. The results showed that herbaceous plant is the dominant life forms in 6 different vegetation communities. *Miscanthus floridulus*, *Ageratum conyzoides*, *Artemisia argyi*, *Bidens pilosa* and *Isachne globosa* can serve as pioneer species during vegetation at preliminary succession. *P. massoniana*—*Eucalyptus urophylla* × *E. grandis*—local flood turf and *P. massoniana*—*Eucalyptus dunnii*—local flood turf species diversity were higher, the effect of vegetation restoration was better.

Keywords: Zijinshan; vegetation restoration; community characteristics; species diversity

随着工业化进程的不断推进,社会经济发展对矿产资源的依赖程度增大,也加大了对矿产资源的开采强

度。矿山开采对矿区的土地资源和植被造成严重破坏,使原有的生态系统严重退化和恶化,对周围生态环境造

成严重影响;同时矿山开采过程中形成的废弃物(如尾矿、废石等)占用了大量土地,破坏了矿山原有的地形、地貌和植被,形成大面积裸露坡面和次生裸地,诱发地质灾害和水土流失^[1-2]。因此,恢复与重建已退化的生态系统,成为当前环境科学界亟待解决的重大课题^[3]。

植被的恢复与重建是人类治理退化生态系统的重要手段和内容。植物群落特征是描述群落结构和功能复杂性的度量指标,物种多样性是群落的基本特征,反映了植物群落的结构组成,体现群落的结构类型、组织水平、发展阶段、稳定程度和生境差异^[4]。研究植物群落特征,能够了解群落的结构、功能和稳定性,既是对植被恢复与重建效果的科学评价,同时也是对植被恢复的植物配置合理性的再认识^[5-6]。目前,有关植被恢复后的群落特征已有报道^[7-8],但针对矿山废弃地植被恢复的后续群落特征研究较少。为此,本研究以福建紫金山金矿尾渣废弃地人工植被恢复群落为研究对象,调查分析不同植物治理模式下的植物群落结构特征和物种多样性,揭示不同植被恢复模式对群落特征的影响及恢复效果,旨在为金矿废弃地植被恢复优良模式的筛选和完善植被恢复技术体系提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

紫金山金矿位于福建省上杭县城北的紫金山上,地理坐标为 116°21′—116°25′E,25°09′—25°13′N。矿区地处武夷山脉南段东列山地的南端,汀江与旧县河交汇处的北面,东邻玳瑁山脉,周围被丘陵和河谷盆地所环绕,海拔处于 220~700 m。属于亚热带季风气候,温湿多雨,夏长冬短,无酷热严寒,年均气温 19.9℃,年均降雨量 1 676.6 mm,年均风速 2.0 m/s,全年风向以西北风为主。为选择废弃地植被恢复优良的植物配置类型,开展了长期大量的植被恢复定位研究,设计了大量不同植物配置模式的治理试验,废弃地在无覆盖客土的情况下 100%铺满本地河滩草皮,翌年春,种植乔、灌木造林绿化,并使其在自然状态下恢复植被,目前形成了 6 种植物配置模式下的典型植被类型(表 1)。

1.2 研究方法

1.2.1 样地植被调查 2014 年 7 月,在植被恢复时间相同、立地条件(坡位、坡向、海拔等)基本一致的 6 种不同植被恢复模式的植物群落内设置样地,以矿区内有代表性地段未经开采的自然植物群落为对照(CK)。在每个样地内采用对角线法设置 5 个 10 m×10 m 的乔木层样方,共计 35 个。在乔木层样方的上坡、中坡、下坡各设 1 个 3 m×3 m 的灌木层样方和 1 个 1 m×1 m 草本层样方,共设置灌木层和草本

层样方各 105 个。调查乔木层样方内树种的种类、数量、树高、胸径、冠幅等指标,调查灌草层样方内植物的种类、数量、高度、盖度等指标。

表 1 样地基本情况

模式	植被类型	恢复时间	坡向	坡度
A	马尾松—胡枝子—本地河滩草	2005	西南	33°
B	马尾松—尾巨桉—本地河滩草	2005	东南	30°
C	马尾松—樟树—胡枝子—本地河滩草	2005	东南	32°
D	马尾松—香根草—本地河滩草	2005	西	31°
E	马尾松—邓恩桉—本地河滩草	2005	西南	32°
F	马尾松—枫香—本地河滩草	2005	东南	34°
对照(CK)	—		西	33°

1.2.2 物种多样性计算方法^[9]:

(1) 重要值:乔木层重要值 IV=(相对密度+相对显著度+相对频度)/3

灌木层、草本层重要值 IV=(相对密度+相对盖度+相对频度)/3

(2) 群落总体多样性计算:对乔、灌、草 3 层多样性进行加权计算群落总体多样性

$$D=W_1D_1+W_2D_2+W_3D_3$$

式中:W₁,W₂,W₃——乔木层、灌木层、草本层的加权参数;D₁,D₂,D₃——乔木层、灌木层、草本层的多样性指数。经计算乔、灌、草 3 层的权重参数分别为 0.464 3,0.323 5 和 0.212 1。

(3) 物种多样性指数计算公式:

物种丰富度(S):S=样方内物种数目

Margalef 丰富度指数:M=(S-1)/lnN

Shannon-wiener 多样性指数: $H=-\sum_{i=1}^SP_i\ln P_i$

Simpson 优势度指数: $D=1-\sum_{i=1}^SP_i^2$

Pielou 均匀度指数: $E=H/H_{\max}$

式中:S——物种总数目;N——观察到的个体总数;P_i——第 i 物种的相对重要值;H_{max}——最大的物种多样性指数,H_{max}=lnS。

1.2.3 土壤理化性质测定 分别在未经开采的自然植物群落和裸尾矿地内采用对角线法设置 5 个 10 m×10 m 的样方,在每个样方的上坡、中坡和下坡各设 1 个取样点,在每个取样点上挖取 0—20 cm 的土壤剖面,分别取土样和环刀土壤,带回实验室,供室内分析测定土壤理化性质。土壤容重和孔隙度等物理指标采用环刀法取样测定。土壤 pH 值用玻璃电极法;有机质用重铬酸钾容量法—外加热法;碱解氮采用碱解扩散法;速效磷采用盐酸和硫酸溶液浸提法;速效钾用乙酸铵浸提—火焰光度法^[10]。

2 结果与分析

2.1 尾渣废弃地和自然植物群落土壤理化性质比较

土壤是生态系统中诸多生态过程(如营养物质循环、水分平衡和凋落物分解等)的载体,土壤结构与养分状况对于植物的生长起着关键性作用,直接影

响植物群落的组成与生理活力^[11-12]。由表 2 可以看出,裸尾矿地的土壤理化性质中,除速效磷含量与自然植物群落无显著差异之外,其他各因子均达到显著差异;裸尾矿地土壤结构较差,土壤有机质和速效养分含量极低,生境条件恶劣,成为植物生长较大的限制因素。

表 2 裸尾矿和自然群落土壤理化性质

样地类型	土壤容重/ (g·cm ⁻³)	非毛管孔 隙度/%	毛管 孔隙度/%	总孔 隙度/%	pH	有机质/ (g·kg ⁻¹)	碱解氮/ (mg·kg ⁻¹)	速效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)
裸尾矿	1.32±0.05a	5.10±0.39b	20.92±2.13b	26.02±1.93b	5.37±0.08a	0.93±0.02b	7.30±0.03b	1.41±0.05a	7.44±0.04b
自然群落	1.21±0.07b	12.74±3.08a	38.12±3.26a	50.86±7.19a	4.48±0.20b	43.91±7.01a	115.12±8.57a	1.88±0.59a	60.16±9.47a

注:表中同一列出现相同字母表示差异不显著($p<0.05$)。

2.2 不同植被恢复模式的群落物种组成

通过对样方的植被调查,6 种人工植物群落共计 114 种,隶属 45 个科,其中乔木 13 种,灌木 34 种;草本 53 种,以禾本科和菊科为主,分别占 22.64% 和 20.75%;藤本 14 种,且以木质藤本植物为主;对照(CK)中有乔木 4 种,灌木 24 种,草本 13 种,藤本 5 种,以常绿木本、多年生草本和木质藤本植物为主。由图 1 看出,不同植被恢复模式下群落乔木层的种数相对单一,物种丰富度明显低于灌木和草本层。6 种模式的科数均低于对照(CK),仅模式 F 的属数高于

对照(CK),模式 C 的科数和属数均为最小,仅为 11 和 21。模式 B 乔木层的物种丰富度最大,6 种模式的灌木层物种丰富度均低于对照(CK),仅模式 C 草本层的物种丰富度低于对照(CK),模式 F 灌木层和草本层的物种丰富度均最大,模式 C 灌木层和草本层的物种丰富度均最小。总体而言,模式 E 的科数最大,模式 F 的属数和群落物种丰富度均最大,模式 C 的科数、属数和群落物种丰富度均最小,群落物种丰富度按大小顺序排列为:模式 F>模式 E>模式 D>模式 A>模式 B>模式 C。

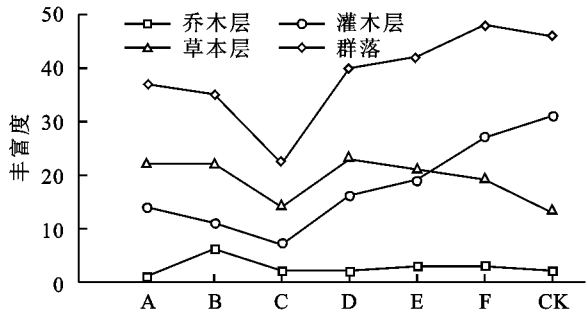


图 1 不同植被恢复模式的群落物种数量组成

2.3 不同植被恢复模式的群落物种重要值比较

2.3.1 乔木层物种重要值 由表 3 可得,马尾松(*Pinus massoniana*)在 6 种不同植物群落和对照(CK)中的重要值均达到 21.26 以上,同时也是模式 C,D,F 群落重要值最大的物种,其中模式 B 乔木层物种数最多,复杂程度也最高;模式 A 乔木层物种只有马尾松,表现为单优势种群落;模式 B 和 E 中的马尾松重要值相对较低,重要值最大的物种分别为尾巨桉(*Eucalyptus urophylla*×*E. grandis*)和邓恩桉(*Eucalyptus dunni*);分别达到 37.09,52.76,表明尾巨桉和邓恩桉在群落中的生存竞争优势强于马尾松。

2.3.2 灌木层物种重要值 由表 4 可得,不同植被恢复模式灌木层物种重要值排名前 5 位的重要值之和表现为:模式 C>模式 B>模式 A>模式 E>模式 D>模式 F;模式 A 重要值最大的物种为胡枝子(*Lespedeza*

bicolor),达到 21.23,其次为牡荆(*Vitex negundo* var. *cannabifolia*);模式 C 的灌木层仅有 7 个物种,其中胡枝子和双荚决明(*Cassia bicapsularis*)的重要值较大,分别达到 29.53,24.76;模式 D 和 F 物种重要值前 5 位的较为接近,分别介于 8.94~10.90,6.56~7.14 之间;模式 B 重要值最大的物种为双荚决明,达到 23.16;模式 E 重要值最大的物种为茅莓(*Rubus parvifolius*),达到 19.03;除模式 A 和 C 因人工种植而重要值较大的胡枝子外,牡荆和双荚决明在不同模式中出现的次数较多且重要值较大,其中双荚决明在乔木和灌木层均有出现,表明该 2 个物种在灌木层的竞争优势相对较大。对照(CK)灌木层物种数目最多,且重要值排名前 5 位的物种在其他 6 种群落重要值较大的物种中均未出现,表明灌木层物种在人工植被恢复群落中的分布与自然群落存在明显的差异。

表 3 不同植被恢复模式群落乔木层物种重要值

植物名称	A	B	C	D	E	F	对照(CK)
马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	100.00	21.26	54.79	68.33	29.25	70.23	42.79
尾巨桉 <i>Eucalyptus urophylla</i> × <i>E. grandis</i>		37.09					
肖梵天花 <i>Urena lobata</i>		15.50					
双荚决明 <i>Cassia bicaapsularis</i>		13.23					
杨梅 <i>Myrica rubra</i>		6.67					
紫薇 <i>Lagerstroemia indica</i>		6.25					
樟 <i>Cinnamomum camphora</i>			45.21		18.00		
浙江桂 <i>Cinnamomum chekiangense</i>				31.67			
邓恩桉 <i>Eucalyptus dunnii</i>					52.76		
枫香 <i>Liquidambar formosana</i>						18.65	
刚竹 <i>Phyllostachys viridis</i>						11.13	
木荷 <i>Schima superba</i>							57.21

表 4 不同植被恢复模式群落灌木层物种重要值最大的 5 个种

植物名称	A	B	C	D	E	F	对照(CK)
胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i>	21.23		29.53			7.14	
牡荆 <i>Vitex negundo</i> var. <i>cannabifolia</i>	15.42	18.45			14.68		
毛杜鹃 <i>Rhododendron pulchrum</i>	12.26						
紫薇 <i>Lagerstroemia indica</i>	9.02	9.96					
白饭树 <i>Flueggea virosa</i>	5.51						
双荚决明 <i>Cassia bicaapsularis</i>		20.45	24.76				
杨梅 <i>Myrica rubra</i>		11.46					
枫香 <i>Liquidambar formosana</i>		7.56					
海金沙 <i>Lygodium japonicum</i>			13.03		5.71		
樟 <i>Cinnamomum camphora</i>			12.66				
茅莓 <i>Rubus parvifolius</i>			10.48		19.03	6.57	
马缨丹 <i>Lantana camara</i>				10.90			
红花檵木 <i>Loropetalum chinense</i> var. <i>rubrum</i>				10.48			
山莓 <i>Rubus corchorifolius</i>				10.05		6.56	
算盘子 <i>Glochidion puberum</i>				9.60			
浙江桂 <i>Cinnamomum chekiangense</i>				8.94			
邓恩桉 <i>Eucalyptus dunnii</i>					7.68		
三花冬青 <i>Ilex triflora</i>					5.88		
山乌桕 <i>Sapium discolor</i>							8.58
山苍子 <i>Litsea cubeba</i>							7.37
大叶紫珠 <i>Callicarpa kochiana</i>						6.90	
木荷 <i>Schima superba</i>						6.64	
土茯苓 <i>Smilax glabra</i>							6.22
石斑木 <i>Rhaphiolepis indica</i>							6.15
赤楠 <i>Syzygium buxifolium</i>							5.96

2.3.3 草本层物种重要值 由表 5 可得,模式 A 和 F 重要值最大的物种均为五节芒(*Miscanthus floridulus*);模式 B 和 E 重要值最大的物种均为藿香蓟(*Ageratum conyzoides*),分别达到 17.39 和 19.96;模式 C 重要值最大的物种为宽叶雀稗(*Paspalum wetsteinii*);达到 25.30,也是 6 种群落草本层中重要值最大的物种,竞争优势非常明显;模式 D 重要值最大的物种为香根草(*Vetiveria zizanioides*),达到 25.20,主要是在植物配置过程中大量种植的原因;对照(CK)草本层物种数目较少,重要值最大的物种为乌毛蕨(*Blechnum orientale*),但在重要值排前 5 位的 6

种群落物种中均没出现。同时,五节芒和藿香蓟在 6 种群落和对照(CK)中均有出现,艾草(*Artemisia argyi*)在 6 种群落均有出现,三叶鬼针草(*Bidens pilosa*)除了群落 A 没有该物种,其余 5 种群落和对照(CK)中均有出现,柳叶箬(*Isachne globosa*)在 5 种群落中均有出现,以上 5 种草本植物出现的群落较多且重要值相对较大,表明这 5 种植物对矿山废弃地的生境条件适应能力较强,可作为植被恢复初期的先锋植物选用。

2.4 不同植被恢复模式的群落物种多样性比较 由图 2 可得,不同植物群落乔木层的物种多样性明

显低于灌木和草本层,其中模式 B 乔木层的物种多样性处于较高水平;模式 A 乔木层只有马尾松一个物种,因此多样性指数为 0。对于灌木层,6 种模式的丰富度指数、多样性指数和优势度指数均低于对照(CK),其中模式 F 除了均匀度指数低于模式 D,丰富度指数、多样性指数、优势度指数均为最高,模式 C 的丰富度指数、多样性指数、优势度指数和均匀度指数在 6 种模式中均处于最低水平。对于草本层,模式 D 的丰富度指数最大,模

式 A 和 B 的多样性指数处于较高水平。对于群落,只有模式 F 的丰富度指数高于对照(CK),模式 B 和 F 的多样性指数较高,且高于对照(CK);模式 A 和 C 的丰富度指数、多样性指数、优势度指数较低,但均匀度指数在 6 个模式中分别为最小和最大,模式 D 和 E 各项指数相差不大。6 种人工植物群落优势度指数和均匀度指数较大,且不同模式之间相差不大,主要是由于人工种植使植物分布比较均匀所致。

表 5 不同植被恢复模式群落草本层物种重要值最大的 5 个种

植物名称	A	B	C	D	E	F	对照(CK)
五节芒 <i>Miscanthus floridulus</i>	15.17		8.59			18.75	13.80
藿香蓟 <i>Ageratum conyzoides</i>	13.05	17.39		16.63	19.96	8.65	
柳叶箬 <i>Isachne globosa</i>	12.20		10.45	6.74	9.98	16.88	
蜈蚣草 <i>Pteris vittata</i>	10.40				9.44		
狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i>	8.09						
艾草 <i>Artemisia argyi</i>		12.49			5.13		
三叶鬼针草 <i>Bidens pilosa</i>		10.03	8.44				
圆果雀稗 <i>Paspalum orbiculare</i>		8.01					
苏门白酒草 <i>Conyza sumatrensis</i>		6.49					8.56
宽叶雀稗 <i>Paspalum wettsteinii</i>			25.30			7.73	
荩草 <i>Arthraxon hispidus</i>			9.32				
香根草 <i>Vetiveria zizanioides</i>				25.20			
马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>				5.35			
纤毛鸭嘴草 <i>Ischaemum indicum</i>				5.07			
阔叶丰花草 <i>Borreria latifolia</i>					10.42		
黑莎草 <i>Gahnia tristis</i>						10.28	
乌毛蕨 <i>Blechnum orientale</i>							21.32
芒萁 <i>Dicranopteris dichotoma</i>							14.65
剑叶耳草 <i>Hedyotis caudatifolia</i>							5.98

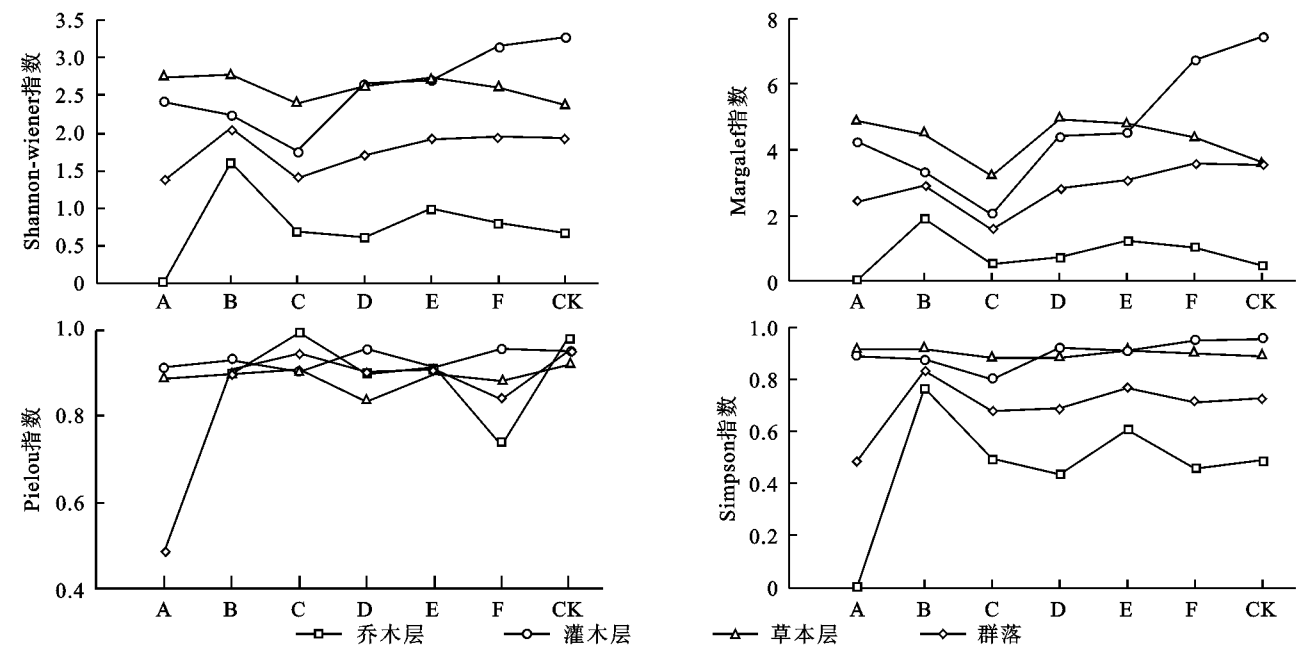


图 2 不同植被恢复模式群落分层多样性特征

3 结论与讨论

选择植被恢复模式的不同,植被恢复与重建的效果也存在较大差异,植被恢复过程中物种多样性的变

化反映了植被的恢复程度^[13]。本研究中不同植物群落的物种组成和结构特征存在一定的差异,模式 E 和 F 群落物种丰富度和多样性较高,表明其对恢复生态系统可以发挥较好的作用;模式 C 的物种丰富

度及多样性明显低于其他5种模式,可能是由于其植被配置类型使当地植物种的入侵受到限制,造成物种多样性较低,植被恢复效果不明显。通过对草本层物种重要值的调查发现,五节芒、藿香蓟、艾草、三叶鬼针草、柳叶箬在不同群落中出现次数较多且重要值相对较大,表明这5种植物对矿山废弃地的生境条件适应能力较强,可作为植被恢复初期的先锋植物选用。

矿山废弃地的植被恢复实质是植物群落的次生演替,是一个群落被性质上不同的另一个群落所替代的过程^[14]。王永健等^[15]的研究结果表明:不同人工植物群落类型的多样性指数、优势度指数和均匀度指数呈现相似的变化趋势,本研究6种不同人工植物群落的丰富度指数、多样性指数和优势度指数呈现出相同的变化趋势,这些物种多样性的差异表明植物群落在次生演替过程中,物种多样性并不是只有一种变化趋势,而是存在多种不同的变化趋势进行演替。人工植被恢复群落乔、灌木层物种组成相对草本层较为单一,以草本植物为主,模式A、B、C和E各层物种丰富度、丰富度指数、多样性指数和优势度指数均表现为:草本层>灌木层>乔木层,模式F和对照(CK)为:灌木层>草本层>乔木层。模式D物种多样性的表现与其他5种及对照(CK)均有所不同,是由于只有模式D的植物配置为乔木加草本植物,然后和本地河滩草进行搭配的植被类型,表明不同植被恢复模式对群落特征能够产生明显影响。

人工植被恢复有利于较快增加植物群落的物种多样性,缩短生态恢复过程中生态系统演替的周期^[16]。但是,人工植被可能会导致一些本地种的消失,与其他的研究结论一致^[15],比如对照(CK)中的苦楝(*Melia azedarach*)、赤楠(*Syzygium buxifolium*)、石斑木(*Raphiolepis indica*)、剑叶耳草(*Hedyotis caudatifolia*)、流苏子(*Coptosapelta diffusa*)等18个物种在6种群落中均没有出现。植物群落特征受立地条件、群落年龄、植被盖度、物种组成、土壤环境因子以及种子库等多种因素的影响^[17],不同植被恢复模式的群落特征在空间上的差异,既是植物群落对生态系统环境质量的一种综合体现,也是植被类型与恢复区域综合的生境条件及其变化特点相互作用的结果^[13]。因此,在研究人工植被恢复后续的群落特征时,不仅要考虑到植被恢复的植物配置类型,还应考虑到恢复区域具体的环境特征,要进一步了解和揭示植被恢复的群落结构特征变化和恢复效果,还需要更深入的研究。

参考文献:

- [1] 杨修,高林.德兴铜矿矿山废弃地植被恢复与重建研究[J].生态学报,2001,21(11):1932-1940.
- [2] 王柏莉,仇昕昕,仇旭,等.我国石灰石矿山开采生态环境问题及环保对策建议[J].工程勘察,2011(4):48-51.
- [3] 魏远,顾红波,薛亮,等.矿山废弃地土地复垦与生态恢复研究进展[J].中国水土保持科学,2012,10(2):107-114.
- [4] Davies K W, Bates J D, Miller R F. Vegetation characteristics across part of the Wyoming big sagebrush alliance[J]. Rangeland Ecology & Management, 2006, 59(6):567-575.
- [5] 韩煜,赵延宁,陈琳,等.坡面植被恢复试验示范区植被群落特征初步研究[J].水土保持研究,2010,17(4):188-194.
- [6] 王英宇,宋桂龙,韩烈保,等.京承高速公路岩石边坡植被重建3年期群落特征分析[J].北京林业大学学报,2013,35(4):74-80.
- [7] 张笑培,杨改河,王和洲,等.黄土沟壑区不同植被恢复群落特征及多样性研究[J].西北林学院学报,2011,26(2):22-25.
- [8] 罗双,孙海龙,刘冲,等.四川道路边坡自然恢复的植被多样性研究[J].水土保持研究,2011,18(6):51-56,61.
- [9] 徐远杰,陈亚宁,李卫红,等.伊犁河谷山地植物群落物种多样性分布格局及环境解释[J].植物生态学报,2010,34(10):1142-1154.
- [10] 中华人民共和国林业行业标准.森林土壤分析方法[S].北京:国家林业局,1999.
- [11] 康冰,刘世荣,蔡道雄,等.南亚热带不同植被恢复模式下土壤理化性质[J].应用生态学报,2010,21(10):2479-2486.
- [12] 余海龙,顾卫,江源,等.半干旱区高速公路边坡不同年代人工植被群落特征及其土壤特性研究[J].中国生态农业学报,2007,15(6):22-25.
- [13] 张健,刘国彬.黄土丘陵区不同植被恢复模式对沟谷地植物群落生物量和物种多样性的影响[J].自然资源学报,2010,25(2):207-217.
- [14] Cain M D, Shelton M G. Secondary forest succession following reproduction cutting on the upper coastal plain of southeastern Arkansas, USA[J]. Forest Ecology and Management, 2001, 146(1/3):223-238.
- [15] 王永健,陶建平,张炜银,等.茂县土地岭植被恢复过程中物种多样性动态特征[J].生态学报,2006,26(4):1028-1036.
- [16] Bradshaw A. Restoration of mined lands-using natural processes[J]. Ecological Engineering, 1997, 8(4):255-269.
- [17] Sebastia M T, Casals P, Vojniković S, et al. Plant diversity and soil properties in pristine and managed stands from Bosnian mixed forests[J]. Forestry, 2005, 78(3):297-303.