

# 黄土区大型露天煤矿废弃地植被恢复过程中的植被动态

郝 蓉<sup>1</sup>, 白中科<sup>2\*</sup>, 赵景逵<sup>2</sup>, 彭少麟<sup>1</sup>, 宋艳墩<sup>3</sup>

(1. 中国科学院华南植物研究所, 广州 510650; 2. 山西农业大学, 山西 030801; 3. 中山大学, 广州 510275)

**摘要:** 生境再造与植被恢复是黄土区露天矿生态重建的核心, 其中植被恢复是生态重建的保证。以我国平朔安太堡露天煤矿为例, 采用野外调查、统计分析相结合的方法, 对 1985~2001 年矿区植被恢复过程中的植被动态进行研究。结果表明: 该区的人工植被经过演变, 植物种的组成发生较大变化, 由单一的物种组成结构逐渐发展为复杂的物种组成结构, 并逐渐趋于动态的平衡。通过研究同一植物在不同配置模式下的生长情况, 以及它们之间的相互影响, 得出该区人工植被的较好模式为: 刺槐×油松×柠条、刺槐×油松、刺槐×沙棘和刺槐纯林。首次运用多样性指数、生态优势度、均匀度, 对该区主要复垦植被群落进行分析, 进一步预测了人工植被的演替方向: 刺槐林→刺槐林、沙棘林→沙棘林、沙棘×刺槐→刺槐、刺槐×油松→刺槐×油松和刺槐×油松×柠条→刺槐×油松×柠条。

**关键词:** 植被动态; 植被恢复; 废弃地; 大型露天煤矿; 黄土区

## Vegetation dynamics during plant rehabilitation in degraded mined land of large opencast coal mine within loess area

HAO Rong<sup>1</sup>, BAI Zhong-Ke<sup>2</sup>, ZHAO Jing-Kui<sup>2</sup>, PENG Shao-Lin<sup>1</sup>, SONG Yan-Tun<sup>3</sup> (1. South China Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China; 2. Shanxi Agricultural University, Shanxi 030801, China; 3. Zhongshan University, Guangzhou 510275, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23 (8): 1470~1476.

**Abstract:** Habitat reconstruction and revegetation are the cores of ecology reconstruction in Opencast Coal Mine within Loess Areas and revegetation is guarantee. Artificial vegetation from 1985 to 2001 in Antaibao Coal Mine Land was studied with field investigation and statistical analysis. The results show that the components of artificial vegetation in this area changed greatly, that is from simple to complex, then reaching dynamic equilibrium. By comparing growths circumstances of the same vegetation in different deployed models and influences each other, some successful models of artificial vegetation were found: *Robinia pseudoacacia* and *Pinus tabulaeformis* and *Caragana korshinskii*, *Robinia pseudoacacia* and *Pinus tabulaeformis*, *Robinia pseudoacacia* and *Hippophae rhamnoides*, single *Robinia pseudoacacia*. Shannon-Wiener, Simpson and PW were used to analysis artificial vegetation in Degraded Mined Land, and

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40071077); 国家教育部科技重点资助项目(00149)

收稿日期: 2003-03-11; 修订日期: 2003-05-06

作者简介: 郝蓉(1976~), 女, 山西太谷人, 博士, 主要从事恢复生态学与污染生态学研究。E-mail: haorong@scib.ac.cn  
山西农业大学、山西省生物研究所、平朔安太堡矿的多位同志参加了野外调查, 谨致谢意

\* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: bzk@public.yz.sx.cn

**Foundation item:** Project of National Natural Science Foundation of China (No. 40071077); Science and Technology Key Project of National Ministry of Education (No. 00149)

Received date: 2003-03-11 Accepted date: 2003-05-06

**Biography:** HAO Rong, Ph. D., mainly engaged in restoration and pollution ecology. E-mail: haorong@scib.ac.cn

the succession directions of artificial vegetation were suggested; *Robinia pseudoacacia* to *Robinia pseudoacacia*, *Hippophae rhamnoides* to *Hippophae rhamnoides*, *Hippophae rhamnoides* and *Robinia pseudoacacia* to *Robinia pseudoacacia*, *RRobinia pseudoacacia* and *Pinus tabulaeformis* to *Robinia pseudoacacia* and *Pinus tabulaeformis*, *RRobinia pseudoacacia* and *Pinus tabulaeformis* and *Caragana korshinskii* to *Robinia pseudoacacia* and *Pinus tabulaeformis* and *Caragana korshinskii*.

**Key words:** vegetation dynamic; revegetation; degraded mined land; large opencast coal mine; loess area

文章编号:1000-0933(2003)08-1470-07 中图分类号:Q948 文献标识码:A

我国是矿产资源大国,近年来,其采掘量在 50 亿 t 以上,大量的矿产资源开采,造成了以水土资源为核心的生态环境破坏。据《2001 年中国国土资源公报》显示,我国矿山生态环境破坏和污染十分严重,累计毁坏面积近 400 万  $\text{hm}^2$ 。因此,恢复和重建业已退化的生态系统,维持人类生存环境的稳定和持续发展是现代生态学研究的重要课题<sup>[1]</sup>。本文选取的研究对象——平朔安太堡露天煤矿(以下简称 ATB 矿),处于黄土高原生态脆弱区,加之采矿剧烈扰动,原地貌形态、地层结构、生物种群已不复存在。在这样一个生态系统极度退化的状态下,要恢复重建一个结构合理、功能高效的生态系统,要求在遵循自然规律的基础上,通过人类的作用,根据技术上适当、经济上可行、社会能够接受的原则,使受害或退化的生态系统重新获得健康并有益于人类生存与生活。要达到此目的,植被重建是基本的保证。到目前为止,在“气候干旱高寒、土壤极其贫瘠”的极端生境下,进行人工复垦植被群落的动态变化研究,尚未见过公开的报道。本文的研究对破坏地区的生态重建和西部退耕还林还草过程中适宜品种的选择与配置有一定指导作用。

## 1 研究区概况

ATB 矿位于山西省北部的朔州市境内,东经  $112^{\circ}10' \sim 113^{\circ}30'$ ,北纬  $39^{\circ}23' \sim 39^{\circ}37'$ 。该区为温带半干旱大陆性季风气候,平均降雨量为 428.2~449.0mm,年蒸发量 1786.6~2598.0mm,超过降水量的 4 倍。平均气温  $4.8 \sim 7.8^{\circ}\text{C}$ ,无霜期约 115~130d。年平均风速为  $2.5 \sim 4.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

该区地处丘陵缓坡区,黄土广布,植被稀少,水蚀风蚀严重,冲刷剧烈,形成典型的黄土高原地貌景观。土壤的物理风化强烈,土质偏砂,土体干旱。地带性植被类型属干草原。由于开发历史悠久,耕垦指数高,天然次生林已毁坏殆尽,亦很少见到大片草原群落,而呈零星分布,植被覆盖率低,故目前总体上呈农业耕作景观。在排水良好、不受地下水补给源的地面,包括黄土丘陵、倾斜平原(洪积扇)与一级阶地上,分布有长芒草(*Stipa bungeana*)、克氏针茅(*Stipa krylovii*)、扁穗冰草(*Agropyron cristatum*)、百里香(*Thymus mongolicus*)和达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica*)等耐旱植物。在河谷内受地表和地下水影响而水份条件较好的地段,则出现由中生草本植物为主构成的河漫滩草甸,属隐域型植被,分布面积很小。20 世纪 60、70 年代营造的小叶杨人工林在区内的黄土丘陵上占有一定数量,但由于土壤干旱瘠薄生长很差,成为“小老树”。矿区农田栽培植被均属一年一熟制,主要栽植的农作物有谷子、玉米、莜麦、糜子、马铃薯、胡麻、春小麦、豆类等<sup>[2,3]</sup>。

ATB 矿自 1985 年以来,先后试种植物 98 种,其中裸子植物 7 种,分属于 2 科 3 属;被子植物 91 种,其中双子叶植物 72 种,分属于 25 科 55 属;单子叶植物 19 种,分属于 3 科 13 属,这些植物中有 20 余种是 1 年生农作物和 1 年生药用植物;另有 10 余种植物因无法适应当地环境而淘汰。目前有 60 余种植物生长在矿区已复垦的  $612.5 \text{ hm}^2$  的土地上。根据多年复垦试验结果,现已把沙打旺(*Astragalus adsurgens*)、红豆草(*Onobrychis viciaefolia*)、草木樨(*Melilotus suaveolens*)以及紫花苜蓿(*Medicago sativa*)、无芒雀麦(*Bromus inermis*)作为草本先锋植物,柠条(*Caragana korshinskii*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、沙枣(*Elaeagnus angustifolia*)、沙柳(*Salix psammophylla*)作为灌木先锋植物,油松(*Pinus tabulaeformis*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、小叶杨(*Populus simonii*)作为乔木先锋植物<sup>[2,3]</sup>。

经过调查、分析、筛选,将 ATB 矿的植物群落分为以下几个面积大,而又有发展前途的主要群落类型(见表 1)。本文主要依据这些群落不同配置模式下的生长情况,以及它们之间的相互影响,并进一步预测其演替方向。

表 1 安太堡的主要群落类型情况

Table 1 The general situation of main community at Antaibao

生境类型 Habitat types	复垦模式 Reclamation models	立地类型 Territory type	现在利用状况 Current use status	侵入杂草种类 Species of intruded grasses	复垦 6~8a 后的地表状况 Reclamation land surface status after 6~8 years
平台	沙打旺×草木樨	黄土	农田	披碱草、黑沙蒿、狗尾草、苔苣菜、冰草、狼毒、苍耳、香青兰、委陵菜、碱蓬、灰藜、刺耳菜、胡枝子、益母草、地肤、芨芨草	土质疏松、有很薄一层腐殖质
边坡	柠条	土石混排	林地	披碱草	地面有枯枝落叶,表土已有腐殖质的积累,杂草不多
堆状地、平台、边坡	刺槐林	黄土、红土、矸石、土石混排	林地	披碱草、狗尾草、委陵菜、沙蓬、益母草、早熟禾、狗娃花、小红菊、凤毛菊、紫菀、针茅、蒿、大籽蒿	侵入杂草不多,有不同厚度的枯枝落叶层
堆状地、平台、边坡	沙棘林	黄土、土石混排、高矸土	林地	黑蒿、沙蓬、驴耳凤毛菊、早熟禾、蒿、甜菊、板兰根、刺耳菜、	田间杂草很少,根下有落叶,呈斑块状,地表有苔藓
平台、边坡	刺槐×沙棘	黄土、土石混排	林地	狗尾草、针茅、沙蓬、蒿、小红菊	田间杂草很少,根下有落叶,呈斑块状
边坡	刺槐×油松×柠条×沙打旺	土石混排	林地	蒿、胡枝子、野豌豆、披碱草、针茅、阿尔泰紫菀、早熟禾、狗尾草、草木樨、波斯菊、大籽蒿、黑沙蒿、狼毒、首宿、胡枝子、蒲公英	①地表苔藓多,且多生长在油松下面附近②杂草数量不多③土层松散④土壤水分要明显好于其它模式⑤有 0~3cm 的腐殖层
平台	杨树林	黄土	林地	沙打旺、针茅、香青兰、狗尾草、角蒿、车前子、大籽蒿	斑块状的枯落物,地表斑块苔藓,覆盖率 20%~30%,地表疏松
边坡	刺槐×油松	土石混排	林地	小蒿、沙蓬、狗尾草、早熟禾、披碱草、针茅、蒿、苦麦草、香青兰	0~3.5cm 左右为枯枝落叶层,覆盖度 100%,3.5~9cm 为土与风化物(页岩)、根,9cm 以下是根

## 2 研究方法

### 2.1 样地调查

从 1994 年开始设立固定样地,每年对样地做调查,其中乔木样方用  $20 \times 20 \text{m}^2$ ,灌木样方用  $10 \times 10 \text{m}^2$ ,并在样地中选  $1 \times 1 \text{m}^2$  的草本层样方 4 个。调查内容包括:乔木的高度、冠幅、胸径;灌木的高度、冠幅、分蘖数;草本的种类、数量。对于同一植物调查其在不同模式下的生长情况,对于不同植物调查其在不同模式下的生长情况及相互之间的影响。

### 2.2 群落组成结构的测定

群落组成结构的测定一般可以通过 3 个方面指标来进行<sup>[4~6]</sup>。

(1)物种多样性指数 由于不同学者的研究目的和对象不同,提出的物种多样性的定义和指标也不同,现有的指标达数十个之多。其中 Shannon-Wiener 多样性指数业已被证明较有效:

$$SW = 3.3219(\lg N - 1/N \sum_{i=1}^S n_i \lg n_i) \quad (1)$$

式中, $N$  是样地的个体数, $n_i$  第  $i$  种的个体数, $S$  是种数(以下各式的参数意义与此同),3.3219 是从  $\log_{10}$  到  $\log_2$  的转化系数。该指数是用信息论范畴的 Shannon-Wiener 函数为基础的多样性指数。作为生物群落的多样性指数,该函数预测从群落中随机选出一个一定个体的种的平均不定度,当物种的个体分布越来越均匀时,此不定度都明显增加。

(2)生态优势度 生态优势度是群落水平的综合数值,它是把群落作为一个整体而把各个种的重要性总结为一个合适的度量值,以表征群落的组成结构特征。Odum 建议用 Simpson 指数来测定群落的生态优势度<sup>[7,8]</sup>:

$$SN = \sum_{i=1}^s n_i(n_i - 1) / N(N - 1) \quad (2)$$

式中,  $S$  个种  $N$  个个体的集合中,随机抽取两个个体不再放回,以这两个个体属于相同种的概率大小来测定集合中种的优势集中度。

(3)群落均匀度 由于当群落中种数和总个体数一定时,各种的个体数最均匀时具有最大的多样性,因此可以用群落观察的物种多样性与群落可能的最高多样性的比率来测度群落的均匀度。本文采用 PW 指标测度群落的均匀度,该指标是根据上述的概念由(2)式导出的<sup>[6]</sup>:

$$PW = (\lg N - 1/N \sum_{i=1}^s n_i \lg n_i) / (\lg N - 1/N [a(S - b) \lg a + b(a + 1) \lg(a + 1)])$$

式中,  $b$  是  $N$  被  $S$  整除以外的余数 ( $0 \leq b < N, a = (N - b) / S$ )。

### 3 结果与分析

#### 3.1 不同配置模式对主要复垦植被的影响

3.1.1 刺槐在不同配置模式下的生长趋势 刺槐在不同配置模式下的生长情况随着时间的推移会发生很大变化。从复垦初期至今,刺槐在不同复垦模式下的生长趋势为:刺槐×油松>刺槐纯林>刺槐×沙棘>刺槐×沙棘×冰草,但不同模式中的变化情况并不相同。(1)在复垦 1~2a 内,刺槐×沙棘×冰草中刺槐生长情况最好,但从第 3 年后,生长逐渐减缓,并出现了严重的枯梢现象,第 6 年后出现明显的衰退,死亡,第 8 年的存活率为 10%。其主要原因是:在复垦初期,冰草、沙棘能同时起到保持水土的作用,因而促进了刺槐的生长,随着树龄的增长,冰草会迅速占满了余下的空间,沙棘也会有部分分蘖小苗,物种之间开始争夺水分、养分,而且由于

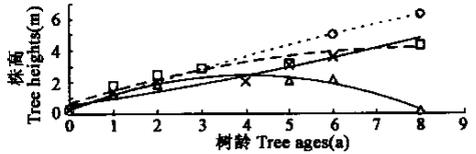


图 1 刺槐在不同模式下的生长趋势

Fig. 1 *Robinia pseudoacacia* growth trends at different models

冰草是浅根系植物,能很快吸收水分、养分,使刺槐的生长受到很大的限制,致使刺槐衰退,死亡。但同期的野外调查发现,此种模式在复垦初期对环境的改善作用最明显,主要表现为:水土流失得到控制。(2)刺槐纯林在复垦初期的长势不如刺槐×沙棘×冰草和刺槐×沙棘,但随着树龄的增长,没有明显与刺槐竞争水分、养分的其它植物,所以刺槐生长良好。(3)刺槐×沙棘中的刺槐在复垦 1~4a 内,生长良好,水土流失也得到了控制,但从第 4 年开始,生长缓慢,从第 6 年开始生长基本停止。主要原因是:复垦初期,沙棘起到保持水土的原因,促使了刺槐的生长,随时间推移,沙棘会分蘖也许多小苗,这些小苗会争夺水分、养分、空间,限制刺槐的生长,使刺槐生长缓慢。(4)刺槐×油松中的刺槐在复垦初期长势一般,但从第 3 年后,生长开始加速,至今长势要好于其它 3 种模式,其原因为:刺槐×油松混交时,油松生长缓慢,初期能起到水土保持作用,促使刺槐高度增加,返青率提高,抽梢现象减弱,随着刺槐树龄的增大,又为油松提供了很好地闭阴条件,两者表现出一种互惠的现象。

3.1.2 沙棘在不同配置模式下的生长趋势 沙棘在不同配置模式下的生长趋势如图 2 所示。沙棘在不同模式下的生长情况随着时间的推移会发生较大变化。从复垦初期至今,沙棘在不同复垦模式下的生长趋势为:沙棘纯林>刺槐×沙棘>刺槐×沙棘×冰草,但不同模式中的变化情况并不相同。(1)沙棘纯林在复垦 1~4a 的长势较好,但从第 4 年后生长缓慢,并出现病虫害的现象。主要原因为:沙棘的分蘖小苗不断的增加,使种内的竞争十分激烈,使沙棘的长势缓慢并开始染病,在此时必须加以人工管理的措施。(2)沙棘

×刺槐×冰草模式中的沙棘在复垦1~2a内中生长情况最好,但从第3年后,生长逐渐减缓,第6年生长基本停止,第8年时,仅有部分分蘖小苗存活,原沙棘的存活率仅为8%。其主要原因是:在复垦初期,冰草能使地表及早郁闭,有利于保持养分、水分,因而促进了沙棘的生长,但随着树龄的增长,冰草会迅速占满余下的空间,与沙棘争夺水分、养分,同时,沙棘也会有部分分蘖小苗,种间和种内的竞争十分激烈,使沙棘的生长受到限制,以至于衰退、死亡,但同期的野外调查发现,此种模式在复垦初期对环境的改善作用最明显,主要表现为:水土流失得到控制。(3)沙棘×刺槐模式中的沙棘在复垦1~4a内长势良好,水土流失也得到明显控制,但从第4年后,生长缓慢,第6年生长基本停止,第8年时部分死亡。其原因为:初期两者起到了保持水土的能力,随着树龄的增长,两者开始竞争水分、养分,且有许多分蘖小苗,种间、种内的竞争日渐强烈,从而影响了沙棘的生长。

3.1.3 主要复垦植被在不同配置模式中的相互影响

图3给出矿区中3种主要的复垦模式的生长情况:

(1)在沙棘×刺槐×冰草模式中,复垦初期冰草可以保持水分、养分,促使三者的生长,但随着冰草的生长,三者开始竞争水分、养分,这一阶段沙棘开始枯梢,从第2年开始长势逐渐减弱,到第6年时,由于没有生长所需的水分、养分,开始衰退,直到第8年成活率仅有8%,在此过程中刺槐的长势也逐渐减弱,从第6年以后,同样由于没有生长所需的水分、养分,开始衰退,直到第8年成活率仅有10%。(2)刺槐×沙棘模式在复垦前4年两者长势情况良好,第4年以后沙棘生长缓慢,第5年以后开始衰退,基本停止生长,到第8年时只有分蘖小苗,且长势不好。刺槐从第6年开始长势缓慢。其原因是复垦初期因沙棘起到了保持水土的原因,促使了刺槐的生长。随着树龄的增大,两者争夺水分、养分,沙棘会分蘖出许多小苗,使刺槐长势减弱。可见沙棘的竞争能力不如刺槐强。调查中发现1993年种植在底部微燃的矸石和煤泥上的刺槐×沙棘林到2001年时,刺槐存活率为60%,而沙棘存活率<5%,说明刺槐抗热性好于沙棘。(3)刺槐×油松模式中两者的长势情况良好,复垦初期长势无很大差别,刺槐的长势略好于油松,从第6年开始刺槐的长势要好于油松。其原因是刺槐×油松混交时,油松生长缓慢,初期能起到水土保持作用,促使刺槐高度增加,返青率提高,抽梢现象减弱,随着刺槐树龄的增大,又为油松提供了很好地闭阴条件,两者之间表现出一种互惠的现象。

3.2 主要复垦植物群落的多样性测度及演替趋势

3.2.1 主要复垦植物群落的多样性测度及分析 为了表明主要复垦植物群落的稳定性,预测今后的演替

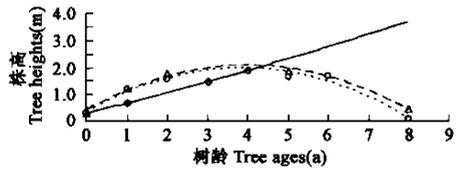


图2 沙棘在不同模式下的生长趋势

Fig. 2 *Hippophae rhamnoides* growth trends at different models

随树龄的增大,出现株高下降说明树种可能枯梢、萌发侧枝或死亡 dropped trees height show trees have wither, bourgeoned side branch or deathed; ◇沙棘纯林 single *Hippophae rhamnoides*; △沙棘×刺槐 *Hippophae rhamnoides*×*Robinia pseudoacacia*; ○沙棘×冰草 *Hippophae rhamnoides*×*Agropyron cristatum*

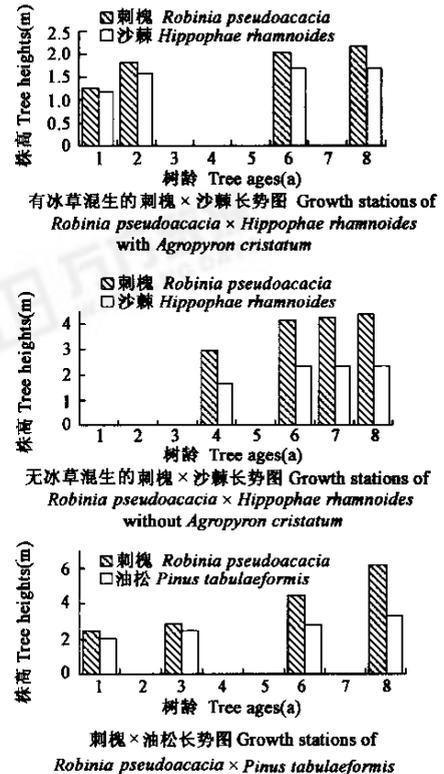


图3 不同复垦模式图

Fig. 3 Different reclaimed models

趋势,本文采用多样性指数、生态优势度指数和均匀度指数对主要复垦植被进行了分析(如表 2)。(1)刺槐林中的多样性指数高,生态优势度指数也较高,说明这个群落属于单优势种群落,这种优势会在以后的植被演替中进一步表现出来,由于它的多样性指数较高,群落可能具有较高的稳定性。(2)沙棘林中,多样性指数低,生态优势度指数高,说明此群落属于单优势种群落,这种优势也会在以后的植被演替中表现出来,但由于它的多样性指数低,因此不能缓冲外界影响,不具有稳定性,此结论已被部分染病所证实。(3)刺槐×沙棘的多样性指数比较高,但生态优势度指数也高,说明此群落是单优势种群,尽管是混交林,但在植被的演替中,其中一种必会被淘汰掉。此结论在调查中也被证实,调查中发现刺槐和沙棘混交时,沙棘的竞争能力不如刺槐,开始出现枯梢,以后逐渐死亡。由于此群落的多样性指数高,因此可以抵抗外界的干扰,具有一定的稳定性。(4)刺槐×油松的多样性指数、均匀度指数都高,而生态优势度指数低,因此群落刺槐×油松是多优势种群,结构复杂、能抵抗外界缓冲,有高的稳定性,这于在调查过程中刺槐×油松混交时长势都比较好相符。(5)刺槐×油松×柠条具有较高的多样性指数、均匀度指数和较低的生态优势度指数,说明此群落属多优势种群落,群落种间竞争激烈,种的数量比较多,结构复杂,所含信息量大,具有较大的复杂性,能缓冲外界影响,具有较高的稳定性。

3.2.2 植物群落的演替分析及预测 复垦初期,植物群落自发演替作用较明显,主要表现为人工复垦植物群落对促使生境改善的驱动效应,如生物加速岩石风化、生土熟化、有效的水土保持和营养物质的积累。复垦中、后期则是自发演替和异发演替同时作用,一方面植物群落继续引起生境的改善,同时植物群落也不断地对发生变化的环境和地理因素做出反应,如复垦植被的不同配置模式在不同时间、空下的生长情况及演替方向不同。根据以上的分析和实地调查,对 ATB 矿的植被群落演替进行预测,刺槐林→刺槐林、沙棘林→沙棘林、沙棘×刺槐→刺槐、刺槐×油松→刺槐×油松、刺槐×油松×柠条→刺槐×油松×柠条。并将 ATB 矿的植被群落的演替分为 3 个阶段:

(1)物种组成单一阶段 此阶段是复垦初期,这一阶段群落组成、结构都不稳定,每种植物的个体数量变化很大,主要表现在层次分化不明显,每一层中的植物种类也不稳定,这一阶段经历时间大概在 3~4a 内。

(2)物种组成较丰富阶段 这一阶段表现为植被群落的结构已基本定型,在层次上有了良好的分化,每一层中都有植物种,呈现出一种明显的结构特点,这一阶段时间相对长,大概为 4~9a。

(3)物种组成较稳定阶段 在这一阶段植被的发育逐渐成熟,一些乔木已达到 95%以上郁闭度,群落能缓冲外界的干扰,具有很高的稳定性。目前,ATB 矿的植被群落处在第二阶段末期和第三阶段初期。

## 4 小结与讨论

### 4.1 小结

(1)作为 ATB 矿的先锋植物,豆科草本植物已退化,而灌木和乔木的长势不一。多年复垦经验表明:在草、灌、乔优化配置过程中,应在前期灌、乔较小的情况下种植生命期较短的豆科草本植物覆盖地面,前期保持水土、熟化土壤的效果较好。随着人工植被的演变,植物种的丰富度增加,在植物多样性的组成中,人工栽植的草本逐渐退出,在种的组成上渐趋于动态的平衡。

(2)通过比较不同配置模式下植物的长势及相互影响,得出 ATB 矿人工植被的较好模式为:刺槐×油松×柠条混交林、刺槐×油松混交林、刺槐×沙棘混交林和刺槐纯林。

(3)运用多样性指数、生态优势度、均匀度对该区主要复垦植被群落进行分析,进一步预测了人工植被的演替方向:刺槐林→刺槐林;沙棘林→沙棘林;沙棘×刺槐→刺槐;刺槐×油松→刺槐×油松;刺槐×油

表 2 不同群落的物种多样性、生态优势度、群落均匀度的变化

Table 2 The changes of species diversity and community evenness as well as ecological dominance of different community

各项指标 Index	物种多样性指数 Species diversity index	生态优势度指数 Ecological dominance index	群落均匀度指数 Community evenness index
刺槐林	1.63	0.52	0.45
沙棘林	0.6	0.81	0.67
刺槐×沙棘	2.31	0.69	0.52
刺槐×油松	2.26	0.31	0.85
刺槐×油松×柠条	2.69	0.22	0.78

松×柠条→刺槐×油松×柠条。

#### 4.2 讨论

对于 ATB 矿这样一个大型的复合生态系统,由于复合生态系统本身的复杂性以及某些环境要素的突变性,加之人们对生态进程及其内在运行机制认识的局限性,往往不可能对生态恢复与重建的结果以及生态最终演替方向进行准确的评估和把握,因此,具有一定的风险性,这就要求要认真研究种植植物和侵入植物的特性及其演替过程,经过综合的分析评价,将其风险降到最低限度。在考虑当前经济的承受能力的同时,又要考虑到生态恢复的经济效益和收益周期。同时,要循序渐进、要有整体系统思想,根据生物间及其与环境间的互生、共生、竞争和颉抗关系,以及生态位和生物多样性原理,构建生态系统结构和生物群落,使物质循环和能量转化处于最大利用和最优循环状态,力求达到土壤、植被、生物同步和谐演替。只有这样,生态系统才能稳步、持续的维持与发展。

为求得更好的综合效益,目前矿区废弃地人工复垦的植被群落出现的几个现象值得注意:(1)现有主要复垦植被在土石混排的立地类型上,已表现出较明显的优势,主要的原因是其水分利用率较高。因此,揭示土石混排水分运行规律,是进一步应研究的内容。(2)目前尚未发现沙棘的比较合适的混交模式,虽沙棘前期生长较快、固氮能力强、水土保持效果好,但 5a 后不论其纯林、还是混交林,都明显出现衰败现象,尤其当降水量少的年份,病虫害侵染十分严重,对复垦景观造成极大影响。因此,寻求在矿区废弃地上合适的沙棘种植密度、配置模式及管理方式,是急需研究的内容。(3)刺槐×沙棘混交林(1.0m×1.0m),是目前矿区复垦面积较大的一种模式,前期效果相当好。但中后期由于沙棘竞争水分能力不如刺槐,演替成刺槐纯林。但若将株行距 1.0m×1.0m 调整为 1.5m×1.5m,二者在 5a 后相互作用如何,是进一步研究的内容。(4)目前刺槐×油松混交林,已表现出较好的景观效果,在海拔较高的平台和边坡,其配比是 1:3,油松比例较大,刺槐冻害轻;海拔低处配比为 1:1,但其后效还需要进一步观测。

#### References:

- [1] Ma S J. *Modern Ecological Perspective*. Beijing: Science Press, 1990.
- [2] Li J C, Bai Z K. *Land reclamation and ecology reconstruction of opencast coal mine — studies and practices in Pingshuo' opencast coal mine*. Beijing: Science Press, 2000.
- [3] Bai Z K. *Land Reclamation and Ecological Rehabilitation for Area of Mining and Project Construction*. Beijing: Agriculture Science and technology Press, 2001.
- [4] Chapman S B. *Methods of Vegetable Ecology*. Beijing: Science Press, 1980.
- [5] Cox G W. *Experiment handbook of Common Ecology*. Beijing: Science Press, 1979.
- [6] Peng S L, Zhou H C, Chen T X, et al. The quantitative characters of organization of forest communities in Guangdong. *Acta Phytoecologica et Geobotanica Sinica*, 1989, **13**(1)10~17.
- [7] Wang B S, Peng S L. Quantitative dynamics of the dominant population in the forest communities of Dinghushan. *Acta Ecologica Sinica*, 1987, **7**(3)214~221.
- [8] Odum E P. *Fundamentals of ecology*. 3rd ed. 1970, Saunders, Philadelphia, London.

#### 参考文献:

- [1] 马世骏主编. 现代生态学透视. 北京: 科学出版社, 1990.
- [2] 李晋川, 白中科. 露天煤矿土地复垦与生态重建——平朔露天矿的研究与实践. 北京: 科学出版社, 2000.
- [3] 白中科. 工矿区土地复垦与生态重建. 北京: 中国农业科技出版社, 2001.
- [4] Chapman, S. B. (阳含照等译). 植物生态学的方法. 北京: 科学出版社, 1980.
- [5] Cox, G. W. (蒋有绪译). 普通生态学实验手册. 北京: 科学出版社, 1979.
- [6] 彭少麟, 周厚诚, 陈天杏等. 广东亚热带森林群落的组成结构特征. 植物生态学与地植物学学报, 1989, **13**(1): 10~17.
- [7] 王伯荪, 彭少麟. 鼎湖山森林优势种群数量动态. 生态学报, 1987, **7**(3): 214~221