

伊敏露天煤矿排土场自然恢复植被群落特征研究

牛星, 蒙仲举, 高永, 蓝登明

(内蒙古农业大学 生态环境学院, 内蒙古 呼和浩特 010019)

摘要: 露天煤矿排土场占用和破坏了大量土地资源, 植被恢复是露天煤矿排土场生态恢复最常用, 也是最有效的方法。关于排土场自然恢复植被群落特征的研究, 对于指导排土场的生态恢复建设具有重要的理论价值与实际意义。以呼伦贝尔草原区伊敏露天煤矿排土场为研究对象, 采用野外调查和统计分析相结合的方法, 对排土场自然恢复过程中植物群落特征进行了研究。结果表明, 研究区排土场共有植物 21 科 64 种, 其中菊科、禾本科、豆科和藜科所占比例较大, 为 4 科 33 属 37 种, 占总种数的 57.8%。随着自然恢复时间的增加, 物种数由初期的 6 科 8 属 8 种增至后期 21 科 43 属 48 种; 植被由耐干旱贫瘠的 1 年生草本蒺藜和猪毛菜向多年生草本大针茅、羊草和克氏针茅演替; 物种多样性指数、物种丰富度指数和 Pielou 均匀度指数均呈增加趋势, 且与恢复年限呈显著正相关, Alatalo 均匀度指数与恢复年限呈显著负相关。群落物种组成逐渐接近原生植物群落, 物种多样性高于原生植物群落, 但分布均匀程度低, 达到稳定状态还需更长的时间。

关键词: 露天煤矿; 排土场; 自然恢复; 群落特征; 物种多样性

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)01-0215-07

中图分类号: Q16

Community Characteristics of Naturally Recovered Vegetation on Dumps of Yimin Opencast Coalmine

NIU Xing, MENG Zhong-ju, GAO Yong, LAN Deng-ming

(College of Ecology and Environmental Science, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot, Inner Mongolia 010019, China)

Abstract: Vegetation cover plays a major role in the restoration and stabilization of disturbed systems. Comparative plant successional studies on dump, using a space-for-time substitution in the short-term, are providing significant insights into vegetation dynamics to ensure the success of future revegetation projects in these areas. Waste dump at Yimin opencast coalmine, Hulun Beier, was surveyed for naturally occurring plant species. The vegetation compositions, importance value and plant species diversity were compared. Altogether 64 naturally occurring plant species, belong to 21 families, were observed in different waste dumps of Yimin opencast coalmine. The main families were *Compositae* (14 species), *Gramineae* (12 species), *Leguminosae* (6 species) and *Chenopodiaceae* (5 species), which accounted for 57.8% of total species. According to the important value of species calculated, it is determined that *Tribulus terrestris* and *Salsola collina* acted as pioneer species on waste dumps, and *Stipa grandis*, *Leymus chinensis*, *Artemisia sacrorum* and *Artemisia halodendron* were important dominant species in vegetation restoration in Yimin opencast coalmine. The overall species diversity of plant communities shows that the longer the natural recovery years last, the lower Alatalo (E_a) index become, and there is a significantly negative correlation between the Alatalo (E_a) index and the number of recovery years. Margalef (M_a) and Patriek (P_a) richness indices showed a increase trend, Shannon—Wiener (H') and Simpson (D) diversity indices showed a similar growing trend. The composition of species was becoming increasingly similar to the native plant community, and the species diversity index of each recovered plant community was higher than that of the native plant community, which shows that these communities need more time to reach steady states.

Keywords: opencast coalmine; waste dump; natural restoration; community characteristics; species diversity

收稿日期: 2010-07-22

修回日期: 2010-08-12

资助项目: 林业科学技术推广项目“沙棘优良品种高效栽培技术推广”(2009-14); 防沙治沙科研创新团队(NDDTD2010-11)

作者简介: 牛星(1981—), 男(汉族), 内蒙古鄂尔多斯市人, 在读博士研究生, 研究方向为土壤学。E-mail: 06niuxing@163.com。

通信作者: 高永(1962—), 男(汉族), 内蒙古包头市人, 博士生导师, 主要从事荒漠化防治研究。E-mail: gaoyong315@yahoo.com.cn。

随着我国经济持续快速发展,露天煤矿的建设和发展规模不断扩大,产生了大量的排土场。排土场是在露天煤矿开采过程中在采区内外分层堆置剥离岩土与矸石、尾矿等废弃物,在人为干扰下形成的一种极度退化的生态系统,其原有的土壤和植被因生态环境的剧变而减少、退化乃至消失,严重影响着社会与经济的可持续发展^[1-5],因此排土场的植被恢复已成为生态恢复和景观生态研究的热点。

植被恢复是恢复被破坏生态系统环境的首要工作和关键环节^[6],是露天煤矿排土场生态恢复最常用,也是最有效的方法^[7-10]。Ries^[11]在回顾美国复垦历史时指出,在复垦的发展过程中,植被的建立一直是最普遍的实践。目前,国内外在植被恢复方面的代表性工作有,Martinez-Ruiz 等^[12]研究了坡向对露天矿废弃物土壤自然恢复的影响,认为北坡的植被演替速度较快。Holl^[13]通过对美国东部复垦 35 a 的煤矿植被研究,认为恢复 35 a 的植被组成与棕壤阳坡缓坡植物群落相似,但种植具有入侵性的外来种会减缓植被演替的进程。Hodacova 等^[14]比较了褐煤矿山植被的人工恢复与自然恢复的特点,认为人工恢复仅仅是时间上的特征,而自然演替会在长的时间尺度上进行。Pensa 等^[15]在爱沙尼亚比较了在 4 种废弃油页岩堆上生长 30 a 林木,认为自然演替能够促进多种植被的恢复。Burton^[16]认为自然过程的恢复会长达十几年或几个世纪,但通过人工模仿或采用自然过程可获解决。我国李青丰等^[9]通过对准格尔煤田露天矿排土场植被自然恢复的研究,认为植被自然恢复是一个漫长的过程,须人工加以适当干扰。郝蓉等^[17]运用多样性指数、生态优势度、均匀度对安太堡矿山主要群落进行分析,预测了人工植被的演替方向。束文圣等^[18]认为无论是对废弃采石场能否划作保护区而进行评估,还是制定对废弃采石场的生态恢复计划,对采石场废弃地基本情况及早期植被的自然入侵状况的了解都十分重要。束文圣,李裕元等^[18-19]认为植被的自然恢复是相对极其缓慢的过程,但是在植被自然演替过程中由于植物物种多样性的增加,群落生产力逐渐提高,自然植被很少在短期内出现衰败的现象,表明自然植被具有较强的稳定性。因此,探求区域植被演替规律,特别是研究恢复生态学中破坏生态系统自然修复与植被重建的过程和机理,是植被管理、利用改造和生态修复的基础依据,具有重要的理论和实际意义^[20]。基于此,本文以呼伦贝尔草原区伊敏露天煤矿排土场为研究对象,调查分析了不同恢复年限排土场自然恢复过程中植物群落的物种组成和物种多样性的变化,探讨退化生态系统自然恢复

过程中植物群落的结构及其动态变化规律,为更加科学有效地开展该地区人工植被恢复提供参考。

1 研究区概况

华能伊敏煤电有限责任公司是全国第一家大型煤电联营企业,伊敏煤电公司露天煤矿于 1983 年开始拉沟建设,距今已开采 26 a。研究区位于内蒙古自治区呼伦贝尔市鄂温克族自治旗伊敏煤露天煤矿,地理坐标 119°40'E,48°33'N,海拔 780~667 m,年平均气温 -1.9 °C,无霜期 119 d,年平均降水 358.8 mm,年蒸发量 1 166.0 mm。属寒温带大陆性季风气候,冬季寒冷漫长,夏季温凉短促,春秋两季气温变化急促,且春季温高于秋季。该区土壤处于黑钙土向暗栗钙土过渡带,区内主要地带性土壤有黑钙土、栗钙土、暗栗钙土。非地带性土壤主要有草甸土、沼泽土、风沙土。排土场基质除地带性土壤外,还夹杂着大量粉砂岩、煤页岩和粉煤灰等成分。植被属蒙古高原植物省东蒙古高原植物州,分布着典型旱生性多年生草本植物组成的草原植物群落,如大针茅(*Stipa grandis*)、羊草(*Leymus chinensis*)、糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)、米氏冰草(*Agropyron michnoi*)、落草(*Koeleria cristata*)、寸草苔(*Carex duriuscula*)、草木樨状黄芪(*Astragalus melilotoides*)、扁蓿豆(*Melilotoides ruthenica*)、达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica*)、紫花苜蓿(*Medicago sativa*)、黄花苜蓿(*Medicago falcata*)、小叶锦鸡儿(*Caragana microphyllia*)、冷蒿(*Artemisia frigida*)、大籽蒿(*Artemisia sieversiana*)、白莲蒿(*Artemisia sacrorum*)等。

2 研究方法

2.1 样地调查

根据露天煤矿环境管理科提供的资料,结合实地访问,于 2009 年 5—9 月对露天煤矿排土场进行了野外调查,为减少样地选择存在的主观因素干扰或现实条件限制所产生的误差,对不同恢复年限的排土场进行多点重复调查,以增加样本数,同时严格控制样地的坡向、坡度和坡位等地形条件,尽量使地形因素趋于一致。由于调查范围的相对高差小于 100 m,因此海拔高度对植被的影响可以忽略。

根据研究区现有的排土场资料,在植被调查的基础上,选择自然恢复 1,1~5,5~10,10~15,15~25 a 的排土场作为研究对象。试验区域面积 65 hm²,包括排土场的平台和边坡。根据群落实际分布情况,在各研究区选择 2~10 个采样点,每个采样点进行重复

样方调查。在不同采样点上分别设置 5 m×5 m 灌木样方(3 个重复)和 1 m×1 m 草本样方(10 个重复),其中 5 m×5 m 样方内设置 3 个 1 m×1 m 的样方,样方共计 156 个,分别调查灌木与草本的种类、盖度、密度和高度等指标^[21-23]。

2.2 分析计算

$$\text{重要值} = \frac{\text{相对密度} + \text{相对盖度} + \text{相对频度}}{3}$$

式中:相对密度=某一植物种的个体数/全部植物种的个体数×100%

相对盖度=某一植物种的盖度/群落中所有种分盖度之和×100%

相对频度=某一植物种的频度/全部种的频度之和×100%

根据马克平等评述的植物群落多样性测度方法,选择以下 6 种指标进行测度^[24-25]。

$$\text{Shannon—Wiener } (H') : H' = -\sum P_i \ln P_i \quad (1)$$

$$\text{Simpson } (D) : D = 1 - \sum P_i^2 \quad (2)$$

$$\text{Pielou } (J_p) : J_p = (-\sum P_i \ln P_i) / \ln S \quad (3)$$

Alatalo (E_a):

$$E_a = [(\sum P_i^2)^{-1} - 1] / [\exp(-\sum P_i \ln P_i) - 1] \quad (4)$$

$$\text{Margalef } (M_a) : M_a = (S - 1) / \ln N \quad (5)$$

$$\text{Patrick } (P_a) : P_a = S \quad (6)$$

式中: S ——样方面积群落中总植物种数; N ——群落中物种的总个体数; $P_i = N_i / N$,其中 N_i 为样方中第 i 种物种的个体数。

3 结果与分析

3.1 自然恢复不同年限植物群落组成变化

3.1.1 植物群落组成的科属特征 统计结果表明,不同恢复年限的排土场植物群落组成的科属特征变化明显(见表 1)。随着自然恢复时间的增加,植物的科、属、种数呈现出逐渐增加的趋势。排土场样地共有植物 21 科 64 种,其中菊科 14 种,禾本科 12 种,豆科 6 种以及藜科 5 种所占比例最大,4 科共有 33 属 37 种,占总种数的 57.8%。对于自然恢复 1 a 的排土场,物种组成简单,共有 4 科 8 属 8 种,其中藜科植物所占比例最大,为 62.5%,其余的禾本科、蕨藜科、苋科各 1 种。自然恢复 1~5 a 的排土场,物种明显增加,为 10 科 18 属 19 种,主要集中于菊科、禾本科和藜科,3 科共有 10 属 11 种,占总种数的 56.2%,新增豆科 2 种,十字花科、唇形科、莎草科和车前科各 1 种。自然恢复 5~10 a 的排土场,物种有所增加,为 13 科 27 属 29 种。主要集中于菊科、禾本科和豆科,3 科 17 种占总种数的 58.6%,新增蔷薇科、蓼科、石

竹科、桑科各 1 种。蕨藜科退化消失,菊科植物增长最快。自然恢复 10~15 a 的排土场,物种明显增加,为 16 科 35 属 40 种。主要集中于菊科、禾本科和豆科,3 科 22 种占总种数的 55.0%,新增紫草科、百合科、桔梗科、鸢尾科各 1 种。苋科退化消失,禾本科植物增长最快。随着排土年限增加至 25 a,物种极大丰富,为 16 科 43 属 48 种,物种数所占比例最大的是菊科、禾本科和豆科,3 科共占 58.3%,其次为蔷薇科和石竹科;新增堇菜科、旋花科、川续断科各 1 种,藜科、十字花科、桑科退化消失。

3.1.2 植物群落物种重要值特征 由表 2 可以看出,自然恢复 1 a 的排土场样地,传播能力强且耐旱草本植物蕨藜、猪毛菜、反枝苋、灰绿藜作为先锋植物占据了植物群落的主要地位,4 种优势植物的重要值分别为 32.51%,23.67%,11.22%和 8.45%,占群落总重要值的 75.85%。该阶段物种少,均为耐旱的 1 年生草本植物,处于排土场植被演替的初级阶段。其它的伴生种有碱蓬、地肤等。自然恢复 1~5 a 的排土场样地,物种逐渐丰富,开始出现白莲蒿、蒲公英等多年生植物。优势植物蕨藜的比重大幅度下降,形成了以白莲蒿、蒲公英、狗尾草和鹤虱为优势物种的群落结构。4 种优势植物重要值分别为 24.57%,13.03%,12.12%和 8.42%,占群落总重要值的 58.14%。草本的物种组成变化较大,初步呈现出 1 年生草本植物向多年草本演替的趋势,但 1 年生草本植物所占的比重依然较大,占群落总重要值的 68.4%。对于自然恢复 5~10 a 的排土场样地,随着恢复年限的增加,初期的 1 年生草本植物逐渐退化,大量多年生草本植物逐渐进入演替序列,白莲蒿有所退化但依然为群落的优势种,差不嘎蒿、羊草和寸草苔的比重增加,从而形成了以白莲蒿、羊草、差不嘎蒿和寸草苔为优势种的群落结构。4 种优势植物重要值分别为 20.40%,10.82%,8.23%和 6.68%。4 种优势植物重要值的累计贡献率为 46.13%。恢复初期的蕨藜、猪毛菜、地肤和西伯利亚虫实等先锋植物已经退出演替序列。对于自然恢复 10~15 a 的排土场样地,随着生境条件改善,优势植物差不嘎蒿重要值达到最大,大针茅的比重增加,从而形成了以差不嘎蒿、羊草、寸草苔、大针茅和白莲蒿为优势种的群落结构。5 种优势植物重要值分别为 16.28%,12.13%,7.83%,7.45%和 6.72%。5 种优势植物重要值的累计贡献率为 50.41%。草本的植物组成变化明显,新增植物 14 种,其中 1 年生草本 2 种,多年生草本 13 种,呈现出 1 年生草本向多年生草本明显的过渡。对于自然恢复 15~25 a 的排土场样地,多年生草本继

续增加,尤其以菊科和禾本科居多,且针茅属植物增加的优势较大,大针茅比重进一步增大,取代差不嘎蒿占据了绝对优势地位,逐渐形成了以大针茅、克氏针茅和羊草为优势种的群落结构,3种优势植物重要值分别为 22.25%,13.14%和 6.05%,占群落总重要

值的 44.14%。该阶段大量多年生草本渐渐取代 1 年生草本植物,并占据了优势地位,多年生草本占群落总重要值的 92.99%。新增了多年生草本植物线叶菊、冷蒿、窄叶蓝盆花、紫菀、草木樨状黄芪、大果琉璃草等。

表 1 伊敏露天煤矿排土场自然恢复不同年限植物群落组成的科属特征

序号	植物科名	拉丁名	恢复年限/a				
			1	1~5	5~10	10~15	15~25
1	菊科	<i>Compositae</i>	—	2/3	6/8	7/9	11/14
2	禾本科	<i>Gramineae</i>	1/1	3/3	5/5	7/8	8/9
3	豆科	<i>Leguminosae</i>	—	2/2	4/4	5/5	5/5
4	藜科	<i>Chenopodiaceae</i>	5/5	5/5	2/2	1/1	—
5	蔷薇科	<i>Rosaceae</i>	—	—	1/1	1/2	2/3
6	蓼科	<i>Polygonaceae</i>	—	—	1/1	1/2	1/1
7	石竹科	<i>Caryophyllaceae</i>	—	—	1/1	3/3	3/3
8	十字花科	<i>Cruciferae</i>	—	1/1	2/2	2/2	—
9	唇形科	<i>Labiatae</i>	—	1/1	1/1	1/1	2/2
10	紫草科	<i>Boraginaceae</i>	—	—	—	1/1	2/2
11	百合科	<i>Liliaceae</i>	—	—	—	1/1	2/2
12	蕁藜科	<i>Zygophyllaceae</i>	1/1	1/1	—	—	—
13	莎草科	<i>Cyperaceae</i>	—	1/1	1/1	1/1	1/1
14	苋科	<i>Amaranthaceae</i>	1/1	1/1	1/1	—	—
15	车前科	<i>Plantaginaceae</i>	—	1/1	1/1	1/1	1/1
16	堇菜科	<i>Violaceae</i>	—	—	—	—	1/1
17	桔梗科	<i>Campanulaceae</i>	—	—	—	1/1	1/1
18	旋花科	<i>Convolvulaceae</i>	—	—	—	—	1/1
19	鸛尾科	<i>Iridaceae</i>	—	—	—	1/1	1/1
20	桑科	<i>Moraceae</i>	—	—	1/1	1/1	—
21	川续断科	<i>Dipsacaceae</i>	—	—	—	—	1/1

注:表中数据“/”左方表示植物属的数量,“/”右方数据表示种的数量。

表 2 伊敏露天煤矿排土场自然恢复不同年限植物群落物种重要值

%

序号	植物名称	拉丁名	恢复年限/a				
			1	1~5	5~10	10~15	15~25
1	碱地风毛菊	<i>Saussurea japonica</i>	—	—	1.10	1.07	1.03
2	烟管蓟	<i>Cirsium pendulum</i>	—	—	1.35	1.04	1.02
3	麻花头	<i>Serratula centauroides</i>	—	—	—	1.03	1.00
4	线叶菊	<i>Filifolium sibiricum</i>	—	—	—	—	1.16
5	抱茎苦苣菜	<i>Ixeris sonchi folis</i>	—	—	1.15	1.05	1.02
6	大籽蒿	<i>Artemisia sieversiana</i>	—	5.34	4.23	3.10	2.98
7	白莲蒿	<i>Artemisia sacrorum</i>	—	24.57	20.40	6.72	3.25
8	差不嘎蒿	<i>Artemisia halodendron</i>	—	—	8.23	16.28	3.33
9	冷蒿	<i>Artemisia frigida</i>	—	—	—	—	1.14
10	狗娃花	<i>Heteropappus hipidus</i>	—	—	1.08	1.10	1.00
11	蒲公英	<i>Taraxacum mongolicum</i>	—	13.03	4.01	1.14	1.04
12	紫菀	<i>Aster tataricus</i>	—	—	—	—	1.07
13	苣荬菜	<i>Sonchus arvensis</i>	—	—	—	—	1.05
14	东风菜	<i>Doellingeria scaber</i>	—	—	—	—	1.08

续表 2:

序号	植物名称	拉丁名	恢复年限/a				
			1	1~5	5~10	10~15	15~25
15	披碱草	<i>Elymus dahuricus</i>	—	—	—	2.10	1.13
16	羊草	<i>Leymus chinensis</i>	—	5.82	10.82	12.13	13.14
17	缘毛鹅观草	<i>Rvegneria pendulina</i>	—	—	—	—	1.27
18	芦苇	<i>Phragmites australis</i>	—	—	—	1.02	—
19	硬质早熟禾	<i>Poa sphondylodes</i>	—	—	2.35	1.59	1.25
20	溲草	<i>Koeleria crissata</i>	—	—	—	—	1.08
21	拂子毛	<i>Calamagrostis epigejos</i>	—	—	—	—	1.30
22	大针茅	<i>Stipa grandis</i>	—	2.44	5.06	7.45	22.25
23	克氏针茅	<i>Stipa krylovii</i>	—	—	—	5.07	6.05
24	糙隐子草	<i>Cleistogenes dahurica</i>	—	2.78	2.59	1.05	1.04
25	狗尾草	<i>Setaria viridi</i>	4.32	12.12	4.02	—	—
26	长芒稗	<i>Echinochloa caudate</i>	—	—	2.14	1.11	—
27	草木樨状黄芪	<i>Astragalus melilotoides</i>	—	—	—	—	1.51
28	多叶棘豆	<i>Oxytropis myriophylla</i>	—	—	—	1.52	1.33
29	紫花苜蓿	<i>Medicago sativa</i>	—	—	2.28	1.40	1.18
30	黄花草木樨	<i>Melilotus suaveolens</i>	—	3.40	2.33	1.62	—
31	扁蓿豆	<i>Melilotoides ruthenica</i>	—	1.08	1.67	1.28	1.16
32	披针叶黄华	<i>Thermopsis lanceolata</i>	—	—	—	1.04	1.09
33	猪毛菜	<i>Salsola collina</i>	23.67	1.23	—	—	—
34	地肤	<i>Kochia scoparia</i>	5.49	2.60	—	—	—
35	西伯利亚虫实	<i>Corispermum sibiricum</i>	6.76	1.37	—	—	—
36	灰绿藜	<i>Chenopodium glaucum</i>	8.45	2.27	1.03	0.82	—
37	碱蓬	<i>Suaeda glauca</i>	7.58	2.50	1.11	—	—
38	地榆	<i>Sanguisorba officinalis</i>	—	—	—	—	1.03
39	委陵菜	<i>Potentilla chinensis</i>	—	—	3.60	2.37	1.53
40	菊叶委陵菜	<i>Potentilla tanacetifolia</i>	—	—	—	2.25	1.46
41	酸模叶蓼	<i>Polygonum lapathi folium</i>	—	—	—	—	1.02
42	卷茎蓼	<i>Polygonum convolvulus</i>	—	—	1.54	1.01	—
43	篇蓄	<i>Polygonum aviculare</i>	—	—	—	1.19	—
44	女娄菜	<i>Melandrium apricum</i>	—	—	1.05	1.02	0.78
45	毛萼麦瓶草	<i>Silene repens</i>	—	—	—	1.37	1.07
46	石竹	<i>Dianthus chinensis</i>	—	—	—	1.51	1.15
47	独行菜	<i>Lepidium apetalum</i>	—	2.09	1.77	1.15	—
48	播娘蒿	<i>Descurainis sophia</i>	—	—	1.03	1.02	—
49	并头黄芩	<i>Scutellaria scordifolia</i>	—	—	—	—	1.21
50	细叶益母草	<i>Leanurus sibiricus</i>	—	—	—	1.41	1.17
51	鹤虱	<i>Lappula myosotis</i>	—	8.42	2.73	1.17	1.09
52	大果琉璃草	<i>Cynoglossum divaricatum</i>	—	—	—	—	1.30
53	细叶韭	<i>Allium tenuissimum</i>	—	—	—	1.25	1.20
54	长梗韭	<i>Allium nerini florum</i>	—	—	—	—	1.00
55	蒺藜	<i>Tribulus terrestris</i>	32.51	1.08	—	—	—
56	寸草苔	<i>Carex duriuscula</i>	—	3.15	6.68	7.83	2.55
57	反枝苋	<i>Amaranthus retroflex.xus</i>	11.22	2.11	1.13	—	—
58	平车前	<i>Plantaginaceae</i>	—	2.60	2.49	1.38	0.77
59	东北堇菜	<i>Viola mandsluica</i>	—	—	—	—	1.30
60	长柱沙参	<i>Adenophora stenanthina</i>	—	—	—	1.06	0.60
61	田旋花	<i>Convolvulus arvensis</i>	—	—	—	—	1.50
62	马蔺	<i>Iris lactea</i>	—	—	—	0.73	1.02
63	野大麻	<i>Cannabis sativa</i>	—	—	1.03	0.55	—
64	窄叶蓝盆花	<i>Scabiosa comosa</i>	—	—	—	—	1.30

3.2 不同恢复年限物种多样性的变化

由图 1—3 可知,随着恢复年限的增加,Shannon—Wiener(H')和 Simpson(D)两个综合多样性指数逐渐增加,由恢复初期的 1.21 和 0.61 增至 2.72 和 0.96,综合多样性指数与恢复年限呈显著正相关关系($R^2 = 0.9723$; $R^2 = 0.9858$)。从均匀度来看, Pielou (J_p) 均匀度指数随恢复年限的增加而增加,两者呈显著的正相关关系($R^2 = 0.9781$),而 Alatalo (E_a) 均匀度指数与恢复年限呈显著负相关关系($R^2 = 0.9793$)。丰富度指数也随恢复年限的增加而增加,两者呈显著正相关关系($R^2 = 0.9979$; $R^2 = 0.9613$)。在植被恢复

初期,由于群落中种的丰富度较低,群落优势种主要集中于蒺藜、猪毛菜等少数几个先锋物种,因而群落的多样性指数与均匀度指数均较低,但随着植被恢复时间的增加物种丰富度逐渐增加,群落内优势种与伴生种的优势度差异降低,均匀度相对增加。从多样性的变化幅度看,由恢复初期至恢复 15 a 样地,多样性指数变化较大。随着恢复年限增加,多样性的变化幅度相对较小,群落稳定性有所增加,但仍处于演替的发展阶段,并未达到稳定状态,说明由于排土场立地条件特殊,要达到相对稳定的群落演替阶段需要更长的时间。

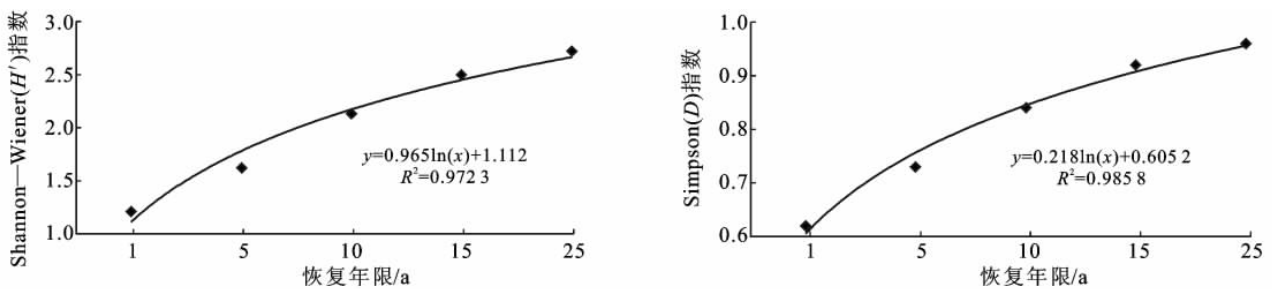


图 1 不同恢复年限物种综合多样性指数的变化趋势

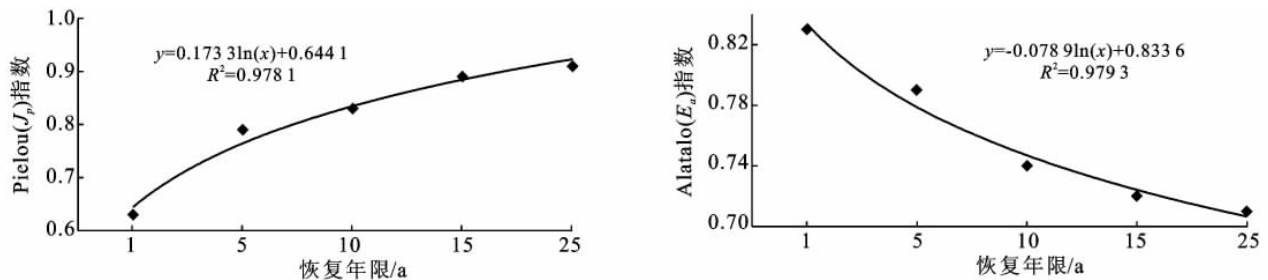


图 2 不同恢复年限物种均匀度指数的变化趋势

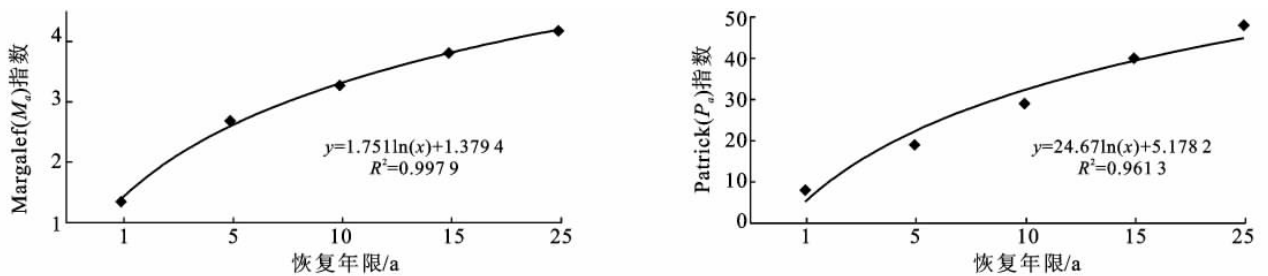


图 3 不同恢复年限物种丰富度指数的变化趋势

4 结论

(1) 在研究区排土场,共有植物 21 科 64 种,其中菊科 14 种,禾本科 12 种,豆科 6 种和藜科 5 种所占比例较大,4 科共有 33 属 37 种,占总种数的 57.8%。随着自然恢复时间的增加,物种数由初期的 6 科 8 属 8 种增至后期 21 科 43 属 48 种,植被由耐干

旱贫瘠的 1 年生蒺藜科和藜科植物向种类较多,多年生的菊科、禾本科和豆科植物演替。

(2) 在自然恢复的不同阶段,组成群落的优势物种发生变化。随着自然恢复的进行,一年生植物的重要值逐渐减小,多年生植物的重要值逐渐增大。群落的演替顺序:自然恢复 1 a 为蒺藜+猪毛菜+反枝苋+灰绿藜;自然恢复 1~5 a 为白莲蒿+蒲公英+狗

尾草+鹤虱;自然恢复 5~10 a 为白莲蒿+羊草+差不嘎蒿+寸草苔;自然恢复 10~15 a 为差不嘎蒿+羊草+寸草苔+大针茅;自然恢复 15~25 a 为大针茅+羊草+克氏针茅。物种与群落类型的演替特征表明,排土场具有通过自然恢复增加群落稳定性的可能。在不同恢复时期,群落的主要物种多有重复,表现出较强的连续性和递进性,说明植物群落演替速率比较缓慢。

(3) 随着恢复年限的增加,物种多样性指数、物种丰富度指数和 Pielou 均匀度指数逐渐增加,与恢复年限呈显著正相关关系,而 Alatalo 均匀度指数与恢复年限呈显著负相关关系。

(4) 在植被自然恢复过程中,群落物种组成逐渐接近原生植物群落。但一些植物在群落中的角色发生了明显改变,其中有些植物在原生植物群落中为伴生种或频度很小,而在一些恢复后的植物群落中却成为优势种,如狗尾草、寸草苔、差不嘎蒿和白莲蒿等。排土场植物群落盖度、生活型和物种多样性等反映群落特征的指标都有一定程度的改善,其中物种多样性高于原生植物群落,但分布均匀程度低,达到稳定状态还需更长的时间。

[参 考 文 献]

- [1] Nicolau J M, Moreno-de L H M. Opencastmining reclamation[M] // Mansourian S, Vallauri D, Dudley N. Forest Restoration in Landscapes: Beyond Planting Trees. Berlin, Germany: WWF/Springer, 2005: 370-376.
- [2] Hazarika P, Talukdar N C, Singh Y P. Natural colonization of plant species on coal mine spoils at Tikak Colliery[J]. Assam. Tropical Ecology, 2006, 47(1): 37-46.
- [3] 李青丰,曹江营. 准格尔煤田露天矿植被恢复研究[J]. 中国草地, 1997(2): 23-25.
- [4] 范英宏,陆兆华,程建龙,等. 中国煤矿区主要生态环境问题及生态重建技术[J]. 生态学报, 2003, 23(10): 2145-2147.
- [5] 付慧,白中科,张树礼,等. 呼伦贝尔草原矿生态受损预测与修复对策[J]. 农业工程学报, 2008, 24(5): 90-94.
- [6] 包志毅,陈波. 工业废弃地生态恢复中的植被重建技术[J]. 水土保持学报, 2004, 18(3): 160-163.
- [7] 席嘉宾,徐昊娟,杨中艺. 矿业废弃地复垦的现状与治理对策[J]. 草原与草坪, 2001(2): 11-14.
- [8] 宋书巧,周永章. 矿业废弃地及其生态恢复与重建[J]. 矿产保护与利用, 2001(5): 43-49.
- [9] 王改玲,白中科. 安太堡露天煤矿排土场植被恢复的主要限制因子及对策[J]. 水土保持研究, 2002, 9(1): 38-40.
- [10] 刘志斌,陈建平,范军富,等. 黑岱沟露天煤矿土地复垦中的几个关键问题[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2003, 22(S): 43-45.
- [11] Ries R E. Historical perspectives of ecological reclamation [C] // Proceedings of the 10th National Meeting of ASS MR. Washington: Benjamin A. Zamora and Randall E. Connolly, 1993: 3-13.
- [12] Martinez-Ruiz C, Fernandez-Santos B. Effect of substrate coarseness and exposure on plant succession in uranium-mining wastes[J]. Plant Ecology, 2001, 155(1): 79-89.
- [13] Holl K D. Long-term vegetation recovery on reclaimed coal surface mines in the eastern USA[J]. Journal of Applied Ecology, 2002, 39(6): 960-970.
- [14] Hodacova D, Prach K. Spoil heaps from brown coal mining: technical reclamation versus spontaneous revegetation[J]. Restoration Ecology, 2003, 11(3): 385-391.
- [15] Pensa M, Sellin A, Luud A, et al. An analysis of vegetation restoration on opencast oil shale mines in Estonia[J]. Restoration Ecology, 2004, 12(2): 200-206.
- [16] Burton C M, Burton P J, Hebda R, et al. Determining the optimal sowing density for a mixture of native plants used to revegetate degraded ecosystems[J]. Restoration Ecology, 2006, 14(3): 379-390.
- [17] 郝蓉,白中科,赵景速,等. 黄土区大型露天煤矿废弃地恢复过程中的植被动态[J]. 生态学报, 2003, 23(8): 1470-1476.
- [18] 束文圣,蓝崇任,黄铭洪,等. 采石场废弃地的早期植被与土壤种子库[J]. 生态学报, 2003, 23(7): 1305-1312.
- [19] 李裕元,邵明安. 子午岭植被自然恢复过程中植物多样性的变化[J]. 生态学报, 2004, 24(2): 252-260.
- [20] 张海峰,彭鸿,陈存根,等. 南水北调中线水源区弃耕地草本植被演替初步研究[J]. 西北植物学报, 2005, 25(5): 973-978.
- [21] 王琼,辜再元,史春华,等. 废弃采石场植被自然恢复过程中物种多样性变化特征[J]. 环境科学研究, 2009, 22(11): 1306-1307.
- [22] 付必谦. 生态学实验原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 185-190.
- [23] Samuel M Scheiner, Jessica Gurevitch, 牟溥. 生态学实验设计与分析[M]. 北京: 高等教育出版社, 2008: 94-98.
- [24] 马克平,刘玉明. 生物群落多样性的测度方法: I. α 多样性的测定方法(下)[J]. 生物多样性, 1994, 2(4): 231-239.
- [25] 马克平. 生物群落多样性的测度方法: I. α 多样性的测定方法(上)[J]. 生物多样性, 1994, 2(3): 162-168.