

半干旱区采煤沉陷对地表植被组成及多样性的影响

周 莹, 贺 晓*, 徐 军, 刘 健

(内蒙古农业大学生态环境学院, 呼和浩特 010019)

摘要:对神府—东胜矿区 6 个矿 3 种不同地貌下 2 个不同沉陷年份及对照区地表植被进行了调查, 计算并分析了各样地植物种的重要值、物种多样性指数和均匀度等。结果表明: (1) 神府—东胜矿区植物种类总体上来看较为稀少, 生态较为脆弱; 在调查区内共出现植物 30 科 82 属 114 种。 (2) 6 个矿中以上湾、大柳塔和活鸡兔 3 矿区植物种类较丰富, 补连塔和乌兰木伦矿区物种相对单一。 (3) 经沉陷干扰后, 植物群落主要组成成分没有发生明显变化, 群落的建群种没有改变; 除生态十分脆弱的乌兰木伦矿区外, 其余矿区地表沉陷后物种多样性与对照相比没有显著性差异; (4) 沉陷后群落组成成分较沉陷前增多, 且沉陷 1 年区比沉陷当年区物种数多, 它们之间具有明显的相关性。

关键词:采煤沉陷; 植被特征; 植物多样性

文章编号: 1000-0933(2009)08-4517-09 中图分类号: Q148, X171.5 文献标识码: A

Effects of coal mining subsidence on vegetation composition and plant diversity in Semi-Arid Region

ZHOU Ying, HE Xiao*, XU Jun, LIU Jian

College of Ecology and Environmental Science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(8): 4517 ~ 4525.

Abstract: This research focused on the investigation into the vegetations of coal mine subsided areas of Shenfu-Dongsheng Coal Mine Region in different years and landforms. Based on the data obtained from the field survey, importance values of the plant species and plant diversity indexes were calculated. The findings showed that plant species in the region were relatively poor because of the fragile ecological environment. There were 114 species found in the investigated areas belonging to 82 genera, 30 families. The plant species in Shangwan, Daliuta and Huojitu mines were richer than those in Bulianta and Ulan-mulun mines. After subsiding disturbance, the main components and the constructive species of the plant communities did not changed. Species diversities in all mining areas, except Ulan-mulun mine where the ecological environment is much more fragile, showed no significant differences. Numbers of plant species in subsided plots were more than those in the undisturbed areas. Numbers of plant species in the plots subsided within 1 year were more than those in the plots of subsided for 1 year, which indicated that the ground subsidence caused by coal mining slightly influenced the community composition within short period.

Key Words: coal mining subsidence; vegetation characteristics; plant diversity

人类从事采矿业已有数千年的历史, 开采矿藏给人类带来了巨大财富, 但是采矿过程所导致的环境污染与破坏以及采后留下的尾矿、废渣、废弃地等都带来了许多生态环境问题^[1], 已引起了人们对矿区生态恢复的高度重视^[2-4]。近 20a 来, 矿区采煤沉陷所造成的生态问题逐渐成为世界各采煤大国的热点研究课题^[5]。采煤沉陷是由于地下采空后致使地表发生下沉、塌陷的现象。采煤后的沉陷引起了地质^[6]、土壤、水分^[7-9]等

基金项目: 内蒙古自然科学基金资助项目(200508010608); 神华集团科技资助项目(SH-04-02-01)

收稿日期: 2008-10-14; 修订日期: 2009-03-25

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hexiao123@21cn.com

因子的变化,破坏了原有的农田和地貌。因此,对沉陷地环境进行治理及复垦成为采煤业面临的重要课题^[10~14]。

我国神府-东胜煤田处于半干旱的生态脆弱区,煤炭探明储量 354.22 亿 t,是目前我国已探明储量最大的煤田,为世界七大煤田之一;由于产量居全国之首,其沉陷面积也大,仅 2002 年神府-东胜的 3 个矿——大柳塔矿、活鸡兔矿和榆家梁矿区沉陷面积分别为 11.76、8.16 km² 和 4.8 km²,皆属中大型沉陷规模。近年来,该矿区的沉陷引起了不少学者的广泛关注,分别在沉陷对水和土壤环境的影响^[15,16]、引起的环境灾害问题^[17]以及沉陷区的生态恢复^[18]等方面做了大量研究。同时采矿对植被的影响已经逐渐被人们所关注^[19,20],尾矿及废弃矿的生物多样性也是当前矿区生态恢复的重要研究领域^[21~24]。本项研究通过对神府-东胜矿区 6 个矿采空区进行植被调查研究,根据沉陷前、沉陷后和沉陷后一定时间后的地表植被特征变化,分析沉陷干扰对植物群落组成特征的影响,探讨产生这种变化的原因,目的是为这一地区的生态治理提供植被保护的理论依据,同时也为矿区的进一步生态建设提供依据。

1 研究区概况

神府-东胜矿区位于晋、陕、蒙 3 省接壤处,地理坐标介于东经 109°45′~110°40′,北纬 38°50′~39°50′之间,总面积 3842 km²,多年平均气温 7.3℃。从气候上看属于半干旱气候向东南湿润、半湿润气候过渡区。这一地区的地带性植被属于暖温带典型草原,草原群落主要发育在梁地和黄土丘陵的栗钙土或黄绵土上,代表群系为本氏针茅草原。由于人类的生产活动,目前原始植被早已破坏殆尽,代之以百里香 (*Thymus mongolicus*) 或糙隐子草 (*Cleistogenes squarrosa*) 为主的群落。这一地区的梁地及黄土丘陵地大多都开垦为农田或曾经是农田,因此植被多为农作物及田间杂草,以及撂荒地植被。在西部及西南部以风沙地为主的流动、半固定及固定沙地上,分布着沙地植被,主要是沙地先锋植物群落——黑沙蒿 (*Artemisia ordosica*) 群落;在洼地、滩地和湖泊周围分布有湿地植被。

近年来,矿区大规模的采煤活动引起的沉陷对地表造成了明显的影响,使地表的形态发生了明显的变化,出现了多处下沉、地裂缝群、沉陷台阶等。其分布范围与煤层采空区的分布范围基本一致,延伸方向与煤矿设计巷道方向一致,范围略小于采空区。本研究即以 2004 年和 2005 年沉陷的采空区为调查样地。研究的 6 个矿区中,补连塔和乌兰木伦矿 2004 年、2005 年采区及相邻的未采区地表为风沙地貌,乌兰木伦矿地表多为流动及半固定沙地。由于沙质土壤疏松,地表无明显因沉陷作用所致的裂隙;相反,上湾、大柳塔和活鸡兔矿 2004 年、2005 年采区及相邻的未采区为硬梁地及覆沙梁地,沟壑起伏,土层较薄,以及主要为黄土塬区与硬梁地的过渡区的榆家梁矿区,沉陷裂隙明显,沟缝纵横交错,尤其在采空区的边缘裂缝较大,裂缝宽约 3~50 cm,或出现台阶,其落差最大达 1.5 m。沉陷对地表的作用较明显。

2 研究方法

2.1 植被调查

2005 年 7 月中、下旬,以补连塔、乌兰木伦、上湾、大柳塔、活鸡兔、榆家梁 6 个采区为研究区(图 1),在每一个矿采区内分别选 2004 年、2005 年沉陷和未沉陷区(对照区)为调查样地。沉陷样地宽 200~300 m,长 1~1.5 km,与其下方采空区一致;对照样地选择相邻的地貌植被一致的区域。在每一个样地内选择立地条件基

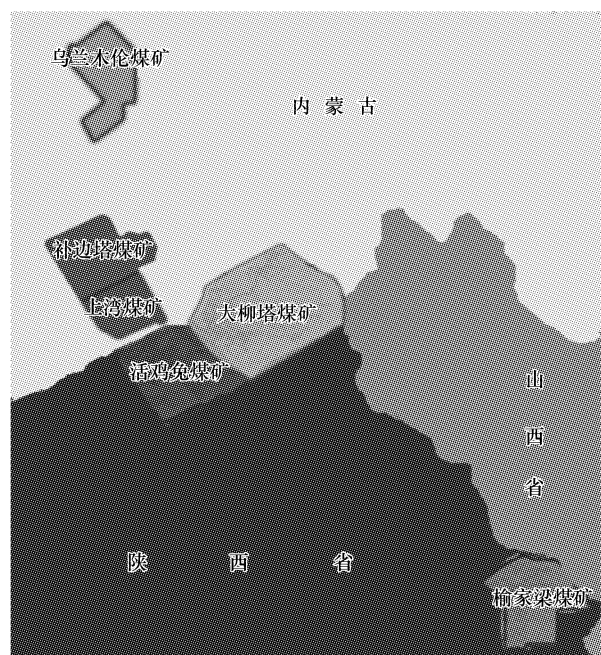


图 1 6 个矿区分布图

Fig. 1 Distribution maps of six mining areas

本一致地段,分别在坡顶、坡中和坡底各随机设置 5 个 $10\text{m} \times 10\text{m}$ 的样方,即每一样地设置 15 个 $10\text{m} \times 10\text{m}$ 样方,个别面积较小、地貌类型较单一的样地,设置 10 个样方,调查灌层;每一个样方内随机设置 3 个 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 小样方,调查草本层。分别记录样方内植物种类、株数、密度、盖度、高度等。

2.2 计算方法

2.2.1 重要值计算^[25]

$$IV = (\text{相对盖度} + \text{相对密度} + \text{相对频度})/3$$

2.2.2 物种多样性

采用丰富度指数、物种多样性指数、均匀度指数进行分析。

丰富度指数 是指在一定大小的样方中的物种数目,不考虑种间个体数量,即忽略富集种和稀疏种以及对群落多样性贡献的差异:

$$\text{Margalef 指数}^{[26]} \quad R = (S - 1)/\ln N$$

均匀度指数 是指一个群落或生境中全部种的个体数目的分配情况,它反映了种属组成的均匀程度:

$$\text{Pielou 指数}^{[27]} \quad E = - \sum P_i \ln P_i / \ln S$$

综合多样性指数 是对种的丰富度和均匀度两种涵义的结合,又称种的不齐性。二者合在一起实际上是强调了个体数目,因而又称为优势度多样性:

$$\text{Shannon-Wiener 指数}(H)^{[27]} \quad H = - \sum P_i \ln P_i$$

$$\text{Simpson 指数}(D)^{[27]} \quad D = 1 - \sum P_i^2$$

2.2.3 相似性系数

测定 2004 年、2005 年沉陷与未沉陷区之间的物种及群落相似程度:

$$\text{Sorenson 指数}^{[28]} \quad C = 2j/(a + b)$$

上述各式中, S 为样地植物种数; n_i 为第 i 个种的个数; N 为总体个数; $P_i = n_i/N$; C 为相似系数; j 为两样地共有的物种; a 和 b 分别为沉陷与沉陷或沉陷与未沉陷区的物种数。

3 结果与分析

3.1 研究区内植物群落特征及组成

对 6 个矿区地表植被的调查显示,研究区共有 30 科 82 属 114 种植物,基本为浅根、耐旱的植物;从群落生活型组成来看,以 1、2 年生或多年生草本为主,伴有少量灌木、半灌木和极少量乔木。从群落组成来看,以菊科(Compositae)、豆科(Leguminosae)和禾本科(Gramineae)为主,占植物总数的 54.39%。

(1) 补连塔矿和乌兰木伦矿采区植物群落特征和组成成分分析

在调查中补连塔共出现植物 29 种,2004 年沉陷区里新出现植物 18 种,1、2 年生草本植物 9 种,占 50%;乌兰木伦 2004 年、2005 年采区及相邻的未采区分别出现植物 22 种、8 种、8 种,该矿区在受到沉陷干扰后新出现了 14 种植物,其中 2005 年采区 1 种,2004 年采区 13 种。从表 1 重要值可见,两群落均以沙生灌木黑沙蒿和沙鞭(*Psammochloa villosa*)为建群种,占 55%。伴生有沙蓬(*Agriophyllum squarrosum*)、中亚虫实(*Corispermum heptapotamicum*)等 1 年生草本植物,以及多年生的根茎禾草、塔落岩黄芪(*Hedysarum laeve*)等。说明黑沙蒿和沙鞭较适应沙埋和流沙环境;在受到沉陷干扰后,群落的重要组成成分没有受到影响;但由于干扰,增加了群落成分,且增加的物种以 1、2 年生草本为主。

(2) 上湾、大柳塔和活鸡兔矿采区植物群落特征和组成成分分析

上湾 2004 年、2005 年采区及相邻的未采区分别出现植物 50 种、50 种、39 种;大柳塔分别出现了 52 种、50 种和 41 种;活鸡兔分别出现 63 种、49 种和 55 种。从表 2 和 3 来看,植被主要为农田杂草及退化草地的演替类群,群落中猪毛蒿(*Artemisia scoparia*)、紫花苜蓿(*Medicago sativa*)、糙隐子草等为优势植物。总体来看,物种较丰富;在沉陷干扰下,2004 年、2005 年采区及相邻的未采区群落组成差异不大,主要物种重要值变化也较

小,仅有个别物种(赖草(*Leymus secalinus*)、百里香)受到了影响,但随着沉陷时间的增加逐渐在恢复。

表 1 补连塔矿和乌兰木伦矿采区样方内主要植物种及其重要值

Table 1 The major species and their importance values of selected plots in Bulianta and Ulan-mulun mines

补连塔矿区 Bulianta mine				乌兰木伦矿区 Ulan-mulun mine			
植物名称 Species	重要值 IV			植物名称 Species	重要值 IV		
	A	B	C		A	B	C
黑沙蒿 <i>Artemisia ordosica</i>	48.8	14.56	14.51	黑沙蒿 <i>Artemisia ordosica</i>	12.71	39.17	38.89
沙鞭 <i>Psammochloa villosa</i>	2.08	13.45	33.8	沙鞭 <i>Psammochloa villosa</i>	39.52	16.64	35.42
中亚虫实 <i>Corispermum heptapotamicum</i>	2.41	10.39	2.13	中亚虫实 <i>Corispermum heptapotamicum</i>	22.79	21.17	5.68
狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	1.54	4.21	1.52	沙蓬 <i>Agriophyllum squarrosum</i>	1.23	7.25	6.36
画眉草 <i>Eragrostis pilosa</i>	2.97	7.86		塔落岩黄芪 <i>Hedysarum laeve</i>	0.24	1.78	3.21
雾冰藜 <i>Bassia dasyphylla</i>	1.86	0.9	1.56	沙打旺 <i>Astragalus adsurgens</i>	0.04		5.55
塔落岩黄芪 <i>Hedysarum laeve</i>	0.35	9.26	12.32	芦苇 <i>Phragmites australis</i>	1.87		
胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i>	7.67			丝叶山苦荬 <i>Ixeris chinensis</i>	0.19		1.53

A: 2004 年沉陷区 Plots subsided in 2004; B: 2005 年沉陷区 Plots subsided in 2005; C: 未沉陷区 Undisturbed areas

表 2 上湾矿和大柳塔矿采区样方内主要植物种及其重要值

Table 2 The major species and its importance values of selected plots in Shangwan and Daliuta mines

上湾矿区 Shangwan mine				大柳塔矿区 Daliuta mine			
植物名称 Species	重要值 IV			植物名称 Species	重要值 IV		
	A	B	C		A	B	C
猪毛蒿 <i>Artemisia scoparia</i>	17.08	31.8	7.04	紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i>	23.91	8.19	9.33
中亚虫实 <i>Corispermum heptapotamicum</i>	14.02	0.77	16.22	赖草 <i>Leymus secalinus</i>	8.17	1.1	39.01
草木樨状黄芪 <i>Astragalus melilotoides</i>	5.57	4.27	0.95	中亚虫实 <i>Corispermum heptapotamicum</i>	10.39	2.69	0.39
糙隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i>	1.35	4.14	15.45	猪毛蒿 <i>Artemisia scoparia</i>	7.21	7.74	5.29
黑沙蒿 <i>Artemisia ordosica</i>	4.24	0.91	14.98	猪毛菜 <i>Salsola collina</i>	0.5	11.95	2.56
胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i>	3.22	6.15	6.12	百里香 <i>Thymus mongolicus</i>	0.78	15.3	0.28
牻牛儿苗 <i>Erodium stephanianum</i>	0.83	6.31	0.53	糙隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i>	3.33	9.43	3.24
赖草 <i>Leymus secalinus</i>	1.92	3.18		沙打旺 <i>Astragalus adsurgens</i>	1.38	2.63	6.17
猪毛菜 <i>Salsola collina</i>	3.41	3.11	1.59	胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i>	3.43	5.02	3.67
中间锦鸡儿 <i>Caragana intermedia</i>	1.19	0.45	6.73	草木樨状黄芪 <i>Astragalus melilotoides</i>	2.86	5.93	4.05
狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	1.68	2.86	5.2	黑沙蒿 <i>Artemisia ordosica</i>	2.03	0.39	3.29
画眉草 <i>Eragrostis pilosa</i>		0.2	3.38	短花针茅 <i>Stipa breviflora</i>	1.71	2.65	2.49
砂珍棘豆 <i>Oxytropis racemosa</i>	0.32	3.34	1.56	牻牛儿苗 <i>Erodium stephanianum</i>	1.95	2.39	1.64
沙打旺 <i>Astragalus adsurgens</i>	1.13	3.03	0.87	阿尔泰狗娃花 <i>Heteropappus altaicus</i>	1.7	1.68	1.64
蒙古韭 <i>Allium mongolicum</i>	0.03	3.6		丝叶山苦荬 <i>Ixeris chinensis</i>	1.96	0.96	1.66

(3) 榆家梁矿采区植物群落特征和组成成分分析

2004 年、2005 年采区及相邻的未采区样方中分别出现了 30 种、37 种、37 种植物。从表 3 中看出,3 个样地中 2004 年和 2005 年沉陷区与未沉陷区的差异较大,2004 年和 2005 年沉陷区均是以短花针茅为主的草原类群及以糙隐子草为主的退化草地的演替类群;但在未沉陷区内糙隐子草的重要值仅为 1.02;而且在 2004 年沉陷区重要值较高的丝叶山苦荬(*Ixeris chinensis*),在 2005 年沉陷和未沉陷区内重要值都不足 1。说明该群落在沉陷作用下受到了一定的干扰。

3.2 不同沉陷年份群落生物多样性的变化

作为群落水平的生态学特征之一,物种多样性是生境中物种丰富度及分布均匀性的一个综合数量指标,表征生物群落和生态系统结构的复杂性,可以较好地反映群落的结构^[29]。从表 4 中可以看出,无论是多样性

指数、丰富度指数还是均匀度指数,总体上表现出沉陷干扰后大于沉陷前的,但不同矿区指数的显著性差异不同,各矿区表现出了不同的抗干扰能力。补连塔、大柳塔和活鸡兔矿区 3 种样地间群落的多样性、丰富度和均匀度指数差异性均不显著,3 矿区植物受地表沉陷的干扰作用甚微;上湾矿区 Margalef 指数和榆家梁矿区 Pielou 指数沉陷前和沉陷后差异性显著,沉陷后的指数数值大于沉陷前的,表明上湾和榆家梁矿区在沉陷作用下,群落生长受到了一定的干扰,且这种干扰有利于植物的生长;乌兰木伦矿区在沉陷作用下受到了较大的干扰,4 种指数差异性均显著,这也说明,此矿区的抗干扰能力也较弱。

表 3 榆家梁矿和活鸡兔矿采区样方内主要植物种及其重要值
Table 3 The major species and their importance values of selected plots in Yujialiang and Huojitu mines

榆家梁矿区 Yujialiang mine				活鸡兔矿区 Huojitu mine			
植物名称 Species	重要值 IV			植物名称 Species	重要值 IV		
	A	B	C		A	B	C
短花针茅 <i>Stipa breviflora</i>	33.03	23.18	14.16	猪毛蒿 <i>Artemisia scoparia</i>	35.75	24.38	28.73
糙隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i>	12.83	11.63	1.02	百里香 <i>Thymus mongolicus</i>	0.6	11.84	0.37
草木樨状黄芪 <i>Astragalus melilotoides</i>	10.19	5.16	4.9	猪毛菜 <i>Salsola collina</i>	4.75	1.14	6.81
猪毛蒿 <i>Artemisia scoparia</i>	3.1	7.16	8.77	阿尔泰狗娃花 <i>Heteropappus altaicus</i>	3.15	3.77	1.4
猪毛菜 <i>Salsola collina</i>	2.75	4.5	1.05	糙隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i>	3.25	6.78	1.71
丝叶山苦荬 <i>Ixeris chinensis</i>	0.3	10.48	0.53	砂珍珠豆 <i>Oxytropis racemosa</i>	6.12	2.79	1.5
胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i>	10.33	5.34	3.39	牻牛儿苗 <i>Erodium stephanianum</i>	2.63	0.76	2.5
赖草 <i>Leymus secalinus</i>	4.3	0.98	8.67	沙打旺 <i>Astragalus adsurgens</i>	2.86	2.11	3.89
紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i>	2.8	3.32	7.19	草木樨状黄芪 <i>Astragalus melilotoides</i>	2.36	4.89	2
远志 <i>Polxgala tenuifolia</i>	3.52	2.8	0.9	糙叶黄芪 <i>Astragalus scaberrimus</i>	0.74	0.22	6.13
白莲蒿 <i>Artemisia sacrorum</i>	1.57	3.61	3.79	小画眉草 <i>Eragrostis minor</i>	0.56		7.12
羊草 <i>Leymus chinensis</i>	0.32		4.69	胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i>	2.37	3.16	4.44
苣荬菜 <i>Sonchus arvensis</i>			3.62	短花针茅 <i>Stipa breviflora</i>	1.73	5.2	0.62
欧亚旋覆花 <i>Inula britanica</i>	2.72	1.08		灰绿藜 <i>Chenopodium glaucum</i>	0.52		5.75
叉枝鸦葱 <i>Scorzonera muriculata</i>	1.23	1.22	1.06	赖草 <i>Leymus secalinus</i>	1.4	0.3	4.82

表 4 群落盖度和多样性指数比较
Table 4 Vegetation coverages and species diversity indexes in different plant communities

矿区 Mining area		物种数 Species number	盖度 Coverage	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>R</i>	<i>E</i>
乌兰木伦 Ulan-mulun	A	21	11.10% a	0.578a	1.072a	0.812a	0.6758a
	B	7	12.10% a	0.540a	0.926a	0.500b	0.663a
	C	7	10.60% a	0.205b	0.391b	0.363b	0.258b
补连塔 Bulianta	A	27	32.80% a	0.377a	0.751a	0.901a	0.508a
	B	12	22.10% a	0.550a	1.088a	0.945a	0.651a
	C	8	19.20% a	0.467a	0.836a	0.593a	0.617a
大柳塔 Daliuta	A	52	38.40% a	0.540a	1.154a	1.779a	0.413a
	B	52	35.60% a	0.680a	1.497a	2.014a	0.525a
	C	45	36.80% a	0.648a	1.420a	2.115a	0.488a
活鸡兔 Huojitu	A	68	56% a	0.585a	1.406a	2.334a	0.469a
	B	50	48.50% a	0.610a	1.474a	2.122a	0.544a
	C	62	47% a	0.547a	1.174a	2.032a	0.414a
上湾 Shangwan	A	51	13.80% b	0.565a	1.340a	1.986a	0.452a
	B	50	25.30% a	0.581a	1.320a	2.031a	0.447a
	C	39	17.40% a	0.404a	0.868a	1.279b	0.335a
榆家梁 Yujialiang	A	30	43.70% a	0.662a	1.380a	1.276a	0.578a
	B	38	40% a	0.652a	1.476a	1.531a	0.583a
	C	37	33% a	0.490a	1.070a	1.595a	0.406b

每一矿区相同列的同一字母表示在 0.05 显著水平下,差异不显著 a, b Parameters in the same column of one mining area followed by the same letter do not differ at the 0.05 level

从物种数和植被盖度来看,3 类样地植被盖度没有显著性差异;从物种数和植被盖度的数值变化来看,在

6 个矿中有相同的趋势,即沉陷区较未沉陷区物种数多而植被盖度大,且 2004 年沉陷区较 2005 年沉陷区物种数多而植被盖度大。

3.3 不同沉陷程度样地地表植被盖度和物种数的相关分析

对 6 个矿的 2004 年、2005 年沉陷区和未采区植被盖度和样方中出现的物种数进行比较并进行相关分析。从表 5 中可以看出,植物种数与沉陷年限及沉陷与未沉陷之间的相关系数在 0.84 以上,表现出明显的相关性。植被盖度在 2004 年与 2005 年沉陷区、沉陷与未沉陷区之间均表现出正相关关系,即沉陷区较未沉陷区植被盖度高,沉陷时间越长植被盖度越高。表明沉陷在一定程度上影响了地表的植被,从植被盖度上表现的相关性来看,沉陷反而使植被状况有所改善,盖度有所增加,但变化不显著。

表 5 植物种数和植被盖度与沉陷年限的相关分析

Table 5 The correlations between plant species numbers & vegetation coverage and the subsidence time

植物种数 Plant species			植被盖度 Plant coverage		
影响因子 Impact Factor	A	C	影响因子 Impact Factor	A	C
B	$R = 0.9571$	$R = 0.8715$	B	$R = 0.97651$	$R = -0.93911$
C	$R = 0.9413$		C	$R = -0.84302$	

R: Pearson 相关系数; R: Pearson correlation coefficient

3.4 沉陷前后群落相似性分析

群落相似性是群落分析的一个重要基础,它作为一定量数据,超出区系植物对比范围,对植被分析有着更大意义^[30]。相似性系数的计算结果表明(表 6),2004 年、2005 年沉陷和未沉陷区群落均具有较高的相似性,且每一群落类型总是与其下一阶段最邻近的群落具有最高的相似度,即 2004 年沉陷区与 2005 年沉陷区有较高的相似度,2005 年沉陷区与未沉陷区有较高的相似度。表明沉陷对研究区的植物群落干扰影响很小,随沉陷的时间增长植被在逐渐的恢复。

4 讨论与结论

4.1 讨论

研究结果表明在沉陷干扰后,不同沉陷程度的群落多样性基本上不存在显著性差异,但在群落物种组成上差异明显。这可以用中度干扰假说来解释^[31~33],适当的干扰既抑制了优势植物种群的竞争势,又为其它物种的入侵和种群扩大创造了机会,从而导致其物种组成增多和多样性偏大。由于地表沉陷可使土壤松动,并产生一些大小不等的裂缝,使裂缝处原有的优势物种受到损伤,而原来埋在地下的种子有机会受到光照,从而萌发长成植株,而这些新增的物种大多为 1、2 年生的草本。

本研究中补连塔和乌兰木伦矿属于典型的风沙地貌,是六个矿区中生态最脆弱的地方。在调查中也表现出植物种类的稀少、生物多样性较低以及植被盖度低等特征。尤其乌兰木伦矿区的流沙和半固定沙地,在地表沉陷作用下,生物多样性表现出不稳定,Simpson、Shannon-Wiener 和 Pielou 指数在沉陷前后表现出显著性的差异。说明该地生态系统不稳定,应对此生态系统加以保护。沙地植被恢复梯度上物种组成与群落演替的这种动态变化格局反映了生态系统恢复过程群落环境的变化和生物多样性对这种变化的响应过程^[34]。物种的生态特性决定其在群落中的优势度,沙蓬是典型的固沙植物^[35],常常在流动沙丘上成片密集生长,以其特殊的生理生态特性成为流动沙地的先锋植物,在群落中的优势度最大。可用沙蓬作为两矿生态建设的先锋植物。

调查中上湾、大柳塔和活鸡兔矿区,在 6 个矿区中物种最为丰富,植物较适宜在此生长。且在大柳塔采区 5a 以上撂荒地内,有大量的撂荒前人工种植的紫花苜蓿,长势良好,说明紫花苜蓿在该环境中有较强的适应

表 6 群落相似系数

Table 6 Community similar coefficients

	B	C
A	0.9112	0.8248
B		0.7362

能力,可作为矿区生态恢复人工草地物种^[36]。在活鸡兔采区和大柳塔采区均有内蒙古二级保护植物蒙古莠,说明该植物也有较强的抗采煤干扰能力。

本研究中,多样性在沉陷干扰下基本不存在显著性差异,但物种组成上的差异又反映出这些群落在系统功能上的进步。这说明在评价生态系统功能时,仅通过计算多样性指数并不能完全反映出生态系统的状况,而应同时考虑其物种组成。因为传统的多样性指数将系统中任何物种都同等看待,而多样性相似的群落有可能在生态系统的功能上存在很大差异。这与 Grime 和 Wardle 等的观点具有一致性,他们认为生态系统属性的主要驱动因子是优势种的关键功能属性以及功能类型的组成,而不一定是物种多样性^[37~39]。

本研究调查了两个年份的沉陷地与未沉陷地对照,初步得出采煤后引起的地表沉陷增加了群落的物种组成成分,对于沉陷时间更长的沉陷地是否也符合这个规律有待进一步的研究;另外,本研究只针对研究区的乡土植物,对于生存环境要求较高的农作物,在沉陷作用下是否有利于其生长,也有待于研究。研究结果对生态系统处于脆弱状态下的半干旱地区的植被恢复和生态重建具有重要的理论价值和实际意义。

4.2 结论

(1)总的来说神府-东胜矿区生态环境脆弱,植物种类较为稀少,调查区内共出现植物 30 科 82 属 114 种。6 个矿中为风沙地貌的补连塔与乌兰木伦矿区,植被为典型的沙地植被,物种较单一,在沉陷作用下抗干扰能力较弱,尤为乌兰木伦矿区;上湾、大柳塔和活鸡兔矿区为硬梁地及覆沙梁地,植物种类相对丰富,以猪毛蒿、猪毛菜、糙隐子草、百里香等耐旱植物为建群种;榆家梁矿为黄土塬区与硬梁地的过渡区,植被与上湾、大柳塔和活鸡兔矿区相似,植物种类较前三矿区略少。

(2)在沉陷干扰作用下,植物群落的建群种几乎无变化,群落生物多样性没有显著差异。从植物种数及各区的植被盖度来看,6 个矿表现出相同的趋势,即植物种数及植被盖度与沉陷及沉陷年限有关,多数情况下沉陷区植物种类较多,而且 2004 年沉陷区较 2005 年沉陷区的多,表明在沉陷的近两年内,植物种数及植被盖度与沉陷有一定的相关性。

References:

- [1] Fan Y H, Lu Z H, Cheng J L, *et al.* Major ecological and environmental problems and the ecological reconstruction technologies of the coal mining areas in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(10): 2144—2152.
- [2] Bell L C. Establishment of native ecosystems after mining Australian experience across diverse biogeographic zones. *Ecol Eng*, 2001, 17: 179—186.
- [3] Bradshaw A D. Restoration of mined lands—Using natural process. *Ecol Eng*, 1997, 8: 255—269.
- [4] Xia H P, Cai X A. Ecological restoration technologies for mined lands. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(11): 1471—1477.
- [5] Hu Z Q, Bi Y L. Review on Beijing international symposium on land reclamation in 2000. *China Land Science*, 2000, 14(4): 15—17.
- [6] Xu Y N, Wu X, Chen H Q. Effect analysis on ecological geo-environment in the bound of Daliuta coal mining subsidence area. *China Mining Magazine*, 2008, 17(3): 38—50.
- [7] Zhang F W, Hou X W, Han Z T, *et al.* Impact of coal mining subsidence on soil quality and some protecting technique for the soil quality. *Geography and Geo-Information Science*, 2003, 19(3): 67—70.
- [8] Lü J J, Hu C Y, He X. Studied on the influences of coal mining collapse on the soil water dynamics of fixed dune. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2005, 19(7): 152—156.
- [9] Wei J S, He X, Hu C Y, *et al.* Influence of ground collapse caused by coal mining activities on the water characteristics of sandy soil in arid and Semi-arid Area. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2006, 20(5): 85—88.
- [10] Zhang J R, Chen J N, Yue Z X. The environment control of the coal mining collapse. *China Mining Magazine*, 2007, 16(4): 43—45.
- [11] Bian Z F. Review on land reclamation of mine at home and abroad district. *China Land Science*, 2000, 14(1): 6—11.
- [12] Guo X Y, Zhang J T, Gong H L, *et al.* Analysis of changes of the species diversity in the process of vegetation restoration in Antaibao Mining Field, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(4): 763—770.
- [13] Sun Z F, Hao R M. Potentiality analysis and sustainable development of Land reclamation in HeLin county. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2004, 18(9): 93—95.
- [14] Berdusco R J, O'Brien B. Reclamation of coalmine waste dumps at high elevations in British Columbia; 25 years of success. *CIM Bull*, 1999, 92: 47—50.

- [15] Zhang P C, Wang W L, Tang K L, *et al.* Study on the coal mining subsidence and its effect on environment in Shenfu-Dongsheng coal area. *Research of Soil and Water Conservation*, 1994, 1(4):35—44.
- [16] Zhang F W, Zhao H M, Song Y X, *et al.* The effect of coal-mining subsidence on water environment in the Shenfu-Dongsheng mining area. *Acta Geoscientica Sinica*, 2007, 28(6):521—527.
- [17] Wang W L, Li Z B, Zhang P C. Environmental disaster issues induced by coal exploitation in Shenfu-Dongsheng coal field. *Chinese Journal of Ecology*, 2004, 23(1):34—38.
- [18] Mao H Y, Fang C L. Cave-in land types by coal mining and their comprehensive utilization ecological model. *Acta Ecologica Sinica*, 1998, 18(5):449—454.
- [19] Yang X, Gao L. A study on re-vegetation in mining wasteland of Dexing Copper Mine, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(11):1932—1040.
- [20] Yuan J G, Zhou X Y, Chen Y, *et al.* Natural vegetation and edaphic conditions on the cliff of abandoned quarries in early restoration. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(6):1517—1522.
- [21] Guo T, Yang X B, Liao X J, *et al.* Investigation on the vegetation of iron tailing wasteland in Shilu, Changjiang, Hainan Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(2):755—762.
- [22] Lin Y H, Song B M, Han Q, *et al.* The community diversity of ground-dwelling soil animals in abandoned quarry in Mentougou, Beijing. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(11):4832—4839.
- [23] Chen F Q, Lu B, Wang X R. Formation and succession of plant community on phosphate mining wasteland in Zhangcunping, Southwest, Hubei Province, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(8):1347—1353.
- [24] Revegetation techniques for toxic tailing. In: Keammerer W R, Brown L F eds. *Proceeding: High Altitude Revegetation Workshop (No. 8)*, FortCollins, CO. 3—4. Fort Collins: Colorado State University, March, 1988. 55—68.
- [25] Li B. *Ecology*. Beijing: Higher Education Press, 2004.
- [26] Ma K P. Methods of measure on biological community diversity I. α -diversity (part1). *Chinese Biodiversity*, 1994, 2(3):162—168.
- [27] Ma K P, Liu Y M. Methods of measure on biological community diversity I. α -diversity (part2). *Chinese Biodiversity*, 1994, 2(3):162—168.
- [28] Sprengle T. A method of establishing groups of equal aimplitude in plant sociology based on similarity of species Content and its application to analysis of the vegetation on Danish Commons. *Biol Skr*, 1948, 5(4):1—34.
- [29] Zhu S Q. A preliminary study of the species diversity of part of the forest communities in Guizhou. *Journal of Plant Ecology*, 1987, 11(4):286—296.
- [30] Yuan X, Li J W, Li J Q. Attributes of vegetation and status of plant diversity in Great Wall Scenic-spots in Beijing. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(3):977—987.
- [31] Connell J H. Diversity in tropical rain forest and coral reefs. *Science*, 1978, 199:1302—1310.
- [32] Huston M. A general hypothesis of species diversity. *American Naturalist*, 1979, 113:81—101.
- [33] Pollock M M, Naiman R J, Hanley T A. Plant species richness in riparian wetlands a test of biodiversity theory. *Ecology*, 1998, 79:94—105.
- [34] Zhang J Y, Zhao H L, Zhang T H, *et al.* Dynamics of species diversity of communities in restoration processes in Horqin sandy land. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28(1):86—92.
- [35] Yang G, Ding G D, Zhao T N, *et al.* Preliminary study on the efficiency of wind prevention and sand resistance of *Agriophyllum squarrosum* (L) Moq. *Research of Soil and Water Conservation*, 2006, 13(2):172—174.
- [36] Li Y C, Ji R G L. The ecological restoration study on mining derelict land. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, 15(3):339—343.
- [37] Grime J P. Biodiversity and ecosystem function the debate deepens. *Science*, 1997, 277:1260—1261.
- [38] Grime J P. Benefits of plant diversity to ecosystems immediate filter and founder effects. *Journal of Ecology*, 1998, 86:902—910.
- [39] Wardle D, Zackrisson O, Homborg G, *et al.* The influence of island area on ecosystem properties. *Science*, 1997, 277:1296—1299.

参考文献:

- [1] 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. *生态学报*, 2003, 23(10):2144—2152.
- [4] 夏汉平, 蔡锡安. 采矿地的生态恢复技术. *应用生态学报*, 2002, 13(11):1471—1477.
- [5] 胡振琪, 毕银丽. 2000年北京国际土地复垦学术研讨会综述. *中国土地科学*, 2000, 14(4):15—17.
- [6] 徐友宁, 吴贤, 陈华清. 大柳塔煤矿地面塌陷区的生态地质环境效应分析. *中国矿业*, 2008, 17(3):38—50.
- [7] 张发旺, 侯新伟, 韩占涛, 等. 采煤塌陷对土壤质量的影响效应及保护技术. *地理与地理信息科学*, 2003, 19(3):67—70.
- [8] 吕晶洁, 胡春元, 贺晓. 采煤塌陷对固定沙丘土壤水分动态的影响研究. *干旱区资源与环境*, 2005, 19(7):152—156.

- [9] 魏江生,贺晓,胡春元,等. 干旱半干旱地区采煤塌陷对沙质土壤水分特性的影响. 干旱区资源与环境,2006,20(5):85~88.
- [10] 张锦瑞,陈娟浓,岳志新. 河北采煤塌陷区的环境治理. 中国矿业,2007,16(4):43~45.
- [11] 卞正富. 国内外煤矿区土地复垦研究综述. 中国土地科学,2000,14(1):6~11.
- [12] 郭道宇,张金屯,宫辉力,等. 安太堡矿区复垦地植被恢复过程多样性变化. 生态学报,2005,25(4):763~770.
- [13] 孙志芬,郝润梅. 土地复垦潜力分析与可持续发展. 干旱区资源与环境,2004,18(9):93~95.
- [15] 张平仓,王文龙,唐克丽,等. 神府—东胜矿区采煤采煤塌陷及其对环境的影响初探. 水土保持研究,1994,1(4):35~44.
- [16] 张发旺,赵红梅,宋亚新,等. 神府东胜矿区采煤塌陷对水环境影响效应研究. 地球学报,2007,28(6):521~527.
- [17] 王文龙,李占斌,张平仓. 神府东胜煤田开发中诱发的环境灾害问题研究. 生态学杂志,2004,23(1):34~38.
- [18] 毛汉英,方创琳. 充滕两淮地区采煤塌陷地的类型与综合开发生态模式. 生态学报,1998,18(5):449~454.
- [19] 杨修,高林. 德兴铜矿矿山废弃地植被恢复与重建研究. 生态学报,2001,21(11):1932~1040.
- [20] 袁剑刚,周先叶,陈彦,等. 采石场悬崖生态系统自然演替初期土壤和植被特征. 生态学报,2005,25(6):1517~1522.
- [21] 郭涛,杨小波,廖香俊,等. 海南昌江石碌铁矿尾矿库区植被调查. 生态学报,2007,27(2):755~762.
- [22] 林英华,宋百敏,韩茜,等. 北京门头沟废弃采石矿区地表土壤动物群落多样性. 生态学报,2007,27(11):4832~4839.
- [23] 陈芳清,卢斌,王祥荣. 樟村坪磷矿废弃地植物群落的形成与演替. 生态学报,2001,21(8):1347~1353.
- [25] 李博. 生态学. 北京:高等教育出版社,2004.
- [26] 马克平生物群落多样性的测度方法 I. α 多样性的测度方法(上). 生物多样性,1994,2(3):162~168.
- [27] 马克平生物群落多样性的测度方法 I. α 多样性的测度方法(下). 生物多样性,1994,2(4):231~239.
- [29] 朱守谦. 贵州部分森林群落物种多样性初步研究. 植物生态学报,1987,11(4):286~296.
- [30] 袁秀,李景文,李俊清. 长城北京段风景区植被特征及植物多样性. 生态学报,2007,27(3):977~987.
- [34] 张继义,赵哈林,张铜会,等. 科尔沁沙地植被恢复系列上群落演替与物种多样性的恢复动态. 植物生态学报,2004,28(1):86~92.
- [35] 杨光,丁国栋,赵廷宁,等. 沙蓬防风阻沙效能初步研究. 水土保持研究,2006,13(2):172~174.
- [36] 李玉臣,吉日格拉. 矿区废弃地的生态恢复研究. 生态学报,1995,15(3):339~343.