

监测与评价

高寒地区露天煤矿生态修复区生物多样性评估

孟庆俊¹ 冯启言¹ 张淇翔¹ 赵艳辉¹ 王立艳²

(1. 中国矿业大学环境与测绘学院, 江苏 徐州 221116;

2. 扎赉诺尔煤业有限责任公司, 内蒙古 满洲里 021400)

摘要:为快速恢复受损生态系统,对灵泉露天煤矿外排土场及采场进行了人工生态恢复实践,对不同生态恢复区的植物多样性进行了调查与评估。结果表明:7个恢复区共发现18科45种植物,多为抗逆性的禾本科和菊科植物。2013和2014年生态恢复区(I和III)生物多样性指数(分别为1.99和1.84)高于矿区外围自然植被区(1.49),其它生态恢复区向自然植被区演变。人工生态恢复区分别有1~2种优势种,但自然恢复区则无明显的优势种。随着恢复时间的增长和精心的人工管护,生态修复区的生物多样性接近甚至超过矿区周边自然恢复区。高寒地区露天煤矿人工恢复措施可以起到快速修复的作用,促进生态系统良性发展。

关键词:露天煤矿;生态修复;生物多样性;评估

中图分类号:X17

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2018)03-0044-06

EVALUATION OF BIODIVERSITY IN THE ECOLOGICAL RESTORATION AREA AT OPENCAST COAL MINE IN CHILL GRASS REGION

MENG Qing-jun¹, FENG Qi-yan¹, ZHANG Qi-xiang¹, ZHAO Yan-hui¹, WANG Li-yan²

(1. School of Environment Science and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China; 2. Zhalaier Coal Industry Co., Ltd., Manzhouli 021400, China)

Abstract: The practice of artificial ecological restoration was conducted in waste dump and open pit at Lingquan opencast coal mine in order to restore the damaged ecosystem rapidly. The plant diversity in artificial restoration areas was investigated and evaluated. The results showed that 18 families (45 species) of plants were discovered at seven restoration areas, most of which were from grass and composite families with better resistance. The plant diversity indexes in Restoration area I and III (1.99 and 1.84 respectively) were higher than that of the natural plant landscape out of mine (1.49) at 2013 and 2014. Other restoration areas were developing towards natural plant landscape. One or two dominant species were discovered in artificial restoration areas, while there was no evident dominant species in natural restoration areas. As the recovery time goes on, the plant diversities in artificial restoration areas become close to even more than those out of natural restoration areas. The artificial ecological restoration measurement played a key role in rapid repairing at opencast coal mine at chill grass region to improve the benign development of ecosystem.

Key words: Opencast coal mine; Ecological restoration; Biodiversity; Estimation.

收稿日期:2018-04-28

基金项目:华能科技项目资助:灵泉露天煤矿闭坑安全及生态恢复技术研究。

第一作者简介:孟庆俊(1974-),女,黑龙江牡丹江人,博士,副教授,主要从事矿区生态环境保护方面的研究。

露天煤矿大多分布在生态环境脆弱的干旱、半干旱区,采矿活动更加剧了水土流失、土地荒漠化、生物多样性减少等问题^[1]。据测算,1987~2020年煤炭生产损毁土地180.01万 hm^2 ,待复垦面积为140.51万 hm^2 ,复垦潜力巨大^[2]。然而,由于我国矿区生态复垦起步较晚,截止2009年复垦率约为25%^[3,4]。在露天煤矿区进行植被恢复是矿区土地复垦的重要内容。特别是在干旱寒冷、表层土壤贫瘠、植物生长季短的高寒地区,由于缺水、生物物种贫乏等恶劣条件,煤矿开采造成的生物多样性破坏严重,且自我恢复难度很大^[5,6]。

丰富的生物多样性为煤矿区生态系统提供了诸多生态功能和服务,对改善非常脆弱的矿区生态系统有着重要的作用和意义^[7]。白中科^[8,9]、李晋川等^[10,11]以安太堡露天矿为例进行了大量生态恢复研究,实践证明经过多年的植物恢复,矿区生态系统可以得到极大的改善。一些学者对矿区植被恢复的乔木与灌木^[12-14]、植物动态^[15]、景观格局^[16]、生态演变^[17]、微生物变化^[18]等方面进行了大量的研究。草本植物的物种多样性和丰富度在所有群落中是最高的,极大地影响着群落的能量流动^[19]。因此,加强矿区土地复垦中草本植物群落研究很有必要^[20]。本文通过野外生态调查,对灵泉露天煤矿不同生态恢复区的生物多样性进行了初步调查,以评估不同生态恢复措施的效果。

1 灵泉露天煤矿生产及生态恢复概况

扎赉诺尔煤业有限责任公司灵泉露天煤矿于1960年开工建设,1966年5月投入生产,至今累计采煤约73Mt,适于露天开采的最浅部煤层资源已近枯竭,目前剥采比为7:1,露天煤矿于2017年关闭,转为井工开采。形成的矿坑面积约5.0 km^2 ,采坑周边堆砌形成了沿帮排土场(东沿帮和西沿帮排土场)、南排土场和东排土场等,总占地面积1276.12 hm^2 (不含周边施工区)。目前露天煤矿存在的主要问题包括边坡稳定性、防灭火、露天采场与排土场生态恢复问题。

矿区属于中温带干旱气候。干旱少雨,冬季严寒,夏季炎热,气温年变化大。土壤类型主要为暗栗钙土,土壤腐殖质层厚30~50cm,有机质含量0.28%、有效磷5.3mg/kg、有效钾10.9mg/kg、碱解氮1.3mg/kg。土壤母质由冲洪积和湖积物发育而成,质地较粗,细沙、粉沙含量较高,易发生土壤

风蚀。典型草原植被类型。矿区地下水位埋深(约2m)及矿井水排水回用为生态修复提供了生态保障。

2 生态恢复规划与修复工程概况

针对灵泉露天煤矿陡边坡、水土保持困难等特点,采用工程修复技术确保采场边坡安全的前提下,按照生态恢复区域地理位置、地形地貌、气候条件及土地利用特征,生态恢复区分为人工生态植被恢复区和自然恢复植被区两部分。

2013年灵泉露天煤矿生态恢复区位于采坑北帮东部,是采坑中较早的生态修复区,面积约26.34公顷(395.1亩)主要种植了沙棘果树。2014~2020年人工生态植被恢复区域分布在西沿帮排土场靠采坑边坡部分、采坑北帮火区治理区及采坑内排土场部分,位于采坑观光道路与108公路之间,总面积为228.89公顷(3433.3亩)。

生态恢复规划方案按时间顺序分为五个阶段实施:2014年度、2015年度、2016年度、2017年度和2018~2020年(见图1)。

2014年度生态恢复区位于采坑西帮北部,治理面积为17.77公顷(266.5亩)。区域北部种植了部分榆树,其它区域主要为草本植物,覆盖率约为60%。采取垃圾清理、表土覆盖、草种补种、点缀种植乔灌木的生态修复措施。

2015年度生态恢复区位于采坑西帮中部,2014年度生态恢复区南部,治理面积为12.29公顷(184.4亩),区域内分布着建筑垃圾和生活垃圾,植被覆盖率约为50%。采取垃圾清理、土地平整、表土覆盖、草种补种、点缀种植乔灌木的生态修复措施。

2016年度生态恢复区位于采坑西帮中部,2015年度生态恢复区南部与2013年度杨树种植区之间,治理面积为12.91公顷(193.6亩)。该区域地表高差较大,植被覆盖率约为30%。结合地形特点,分两个设计高程对土地进行平整,两个片区采取两种方式开展生态恢复。临近采坑片区栽种灌木,远离采坑片区结合南部杨树林栽种杨树。

2017年度生态恢复区分为两部分:一部分位于2014年度生态恢复区东部与采坑108公路之间,治理面积为24.12公顷(361.8亩);另一部分位于采坑北边帮,治理面积为27.21公顷(408.2亩)。

2018~2020 为矿区外围自然恢复区,面积约 108.25 公顷(1623.7 亩)。不进行人工生态修复干预。植被类型为当地自然草本植被。

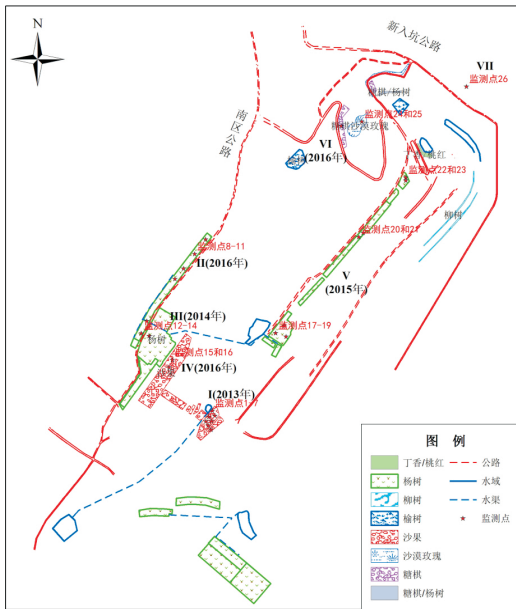


图1 生态调查样方点位分布

3 生物多样性调查与评价方法

通过生物多样性调查评估灵泉露天矿区的生态恢复效果与生态演变规律,选用样方法调查生态恢复区的生物多样性,评估生态修复效果,分析采坑生态恢复演变规律。

3.1 调查单元的划分

调查单元的划分以不同恢复区作为调查单元,外加一个矿区外围未开采样地作为对比,共设 7 个调查单元。分别为沙棘果树区(I)、国土局治理恢复区(II)、杨树茂密区(III)、坑底区域(IV)、坑底长条状植物带(V)、沙漠玫瑰区(VI)和矿区外围(VII)。研究区调查单元、分区及调查点位如图 1 所示。

3.2 样方的设置原则

样方是能够代表样地信息特征的基本采样单元,用于获取样地的基本信息。本次调查样地为人工恢复样地,多为矩形地块,故采用 S 型布点法设置样方^[21]。草本层最小样方面积为 1 m×1 m,乔木层和灌木层最小样方面积为 5 m×5 m。至少设三个重复。生态调查时间为 2016 年 9 月。

3.3 生态调查分析方法

3.3.1 生物多样性调查分析方法

本文采用物种多样性来表征生态恢复区的生物多样性。物种多样性指数(H)是指用简单的数值表示群落内种类多样性的程度,用来判断群落或生态系统的稳定性指标。本次采用 Shannon-Weiner 指数计算物种多样性指数(H)^[22]。计算公式如下:

$$H = - \sum_{i=1}^n (P_i \ln P_i)$$

式中, n 为某样方内植物种类; P_i 为某样方中物种 i 出现的频数, N_i 为每个随机样方中物种 i 的个数; N 为随机样方中所有物种个数。

3.3.2 物种重要值调查分析方法

重要值(IV)反映了调查单元内各物种的属性,用来计量一个物种在群落中的重要性^[23,24]。本次物种重要值调查指标包括相对频度(F)、相对多度(RA)和相对盖度(CR)等 3 个指标^[20]。相对频度(F)指某物种在全部样方中的频数与调查单元所有物种频数和之比,用来判断该物种在群落中水平分布的均匀程度。相对多度(RA)是指某样方中某物种的个数与该样方中所有物种的个数比,用来判断该物种在群落中是否处于支配地位。面积与此样方中所有植物枝叶垂直投影所覆盖的面积之比,用来表征植物所占有的水平面积。重要值(IV)计算公式如下:

$$IV = \frac{1}{3} * (F + RA + CR)$$

4 生态恢复区植物多样性评估

4.1 灵泉露天煤矿生态恢复区植物物种组成

不同生态恢复区种植了人为选择的优势植物,虽然植被覆盖度与生物量得到了恢复和提高,但生物多样性较为单一,生态系统不稳定。

7 个恢复区共发现 18 科 45 种植物,其中禾本科 11 种,菊科 14 种,藜科 3 种,莎草科 2 种,百合科、车前科、豆科、胡颓子科、夹竹桃科、,藜科、槭树科、蔷薇科、球子蕨科、十字花科、松科、苋科、杨柳科、榆科及鸢尾科各 1 种。因受低温和干旱的双重胁迫,本区多数为抗逆性强的禾本科和菊科植物,属典型草原植被类型。总种数越多,表明物种的生物多样性越高。其中禾本科主要物种有稗草、贝加尔针茅、丛生隐子草、稻子、芨芨草、高羊茅、狼尾草、新麦草、披碱草、芨子、硬质早熟禾等;菊科主要有苍耳、刺菜、顶羽菊、黑蒿、细叶蒿、冷

蒿、蒙山莴苣、小蓬草、全叶马兰、鹤虱、菊花、旋复花、亚洲蒲公英、和野艾蒿等。

采矿活动等人类活动对草原物种多样性产生影响^[16,25]。相对于人工生态恢复区,矿区外围区域植物种数较多,且类型多样,说明开采影响许多原生动植物的生长。恢复区多数选择披碱草等禾本科植物作为牧草培育,少有刻意培育菊科植物,故恢复区禾本科植物与菊科植物的比例可以在一定程度上反应恢复效果。在6个人工恢复区中,分别于2013、2014、2015和2016年进行生态恢复的I、II、III和V区菊科和禾本科以外的其它物种所占比例较大,说明其恢复效果较好。这主要是因为区域分别种植了灌木沙棘和乔木的杨树和沙果等经济树种,加之位于采坑西南角和坑底,水分比较充足,有利于草本植物的生长与恢复。各分区植物类型数量分布情况详见表1。

4.2 灵泉露天煤矿生态修复区物种多样性

物种多样性既能体现生物与生物之间,生物与环境之间的复杂关系,又能体现生物资源的丰富性,用多样性指数来表征^[26]。由表2可知,恢复时间较长的I区和III区,多样性指数最高,分别为1.99和1.84;其次植物生长条件良好的坑底区域和人工管护好的是II、IV和V区,多样性指数在1.50左右,与矿区外围(1.49)自然植被接近;只有恢复时间短、位于边帮上的VI恢复区的生物多样性指数(1.33)与矿区外围的相差较大。水分条件是影响典型草原植物分布及生长的主要限制因素,对干旱半干旱草原的植被生长至关重要^[27]。由于该区域地下水位只有2m左右,因此位于坑底的IV和V恢复区,即使恢复时间较短也体现了较好的恢复效果。乌云娜和张云飞^[28]、白永飞等^[29]在研究草原群落植物多样性和水热条件的关系时,也得出了类似的结论。这说明在有效的管护措施下仅需2~3年的时间即可达到周边自然生态系

表1 各分区植物类型数量

区域编号	禾本科	菊科	其他种数	总种数
I	5	7	4	16
II	2	7	3	12
III	3	5	3	11
IV	3	2	2	7
V	1	4	5	10
VI	1	1	2	4
VII	3	4	5	12

表2 各分区多样性指数与盖度

区域编号	多样性指数	盖度/%	恢复年份
I	1.99	59.5	2013
II	1.44	66.5	2016
III	1.84	67.0	2014
IV	1.53	53.0	2016
V	1.43	44.5	2015
VI	1.33	70.0	2016
VII	1.49	68.3	—

统的生物多样性水平。对于生长期短、降水量少、寒冷矿区的生态恢复具有十分重要的意义。

4.3 灵泉露天煤矿生态修复区植物重要值

重要值是评估物种多样性的重要指标,以综合数值表示植物物种在群落中的相对重要性。除III区外,乔木层不茂盛甚至乔木层缺失,故不讨论乔木层重要值。本次调查的各区域草本层植物相对重要值如图2所示。由图可知,I区主要物种为芨子和批碱草;II区贝加尔针茅重要值远大于其他物种;III区野艾蒿、刺藜等菊科植物占上风,但重要值并不明显领先其他植物;IV区稗草占上风,但其他菊科植物重要值也不低;V区猪毛菜为主要物种;VI区灰绿藜占上风,稗草其次;VII区贝加尔针茅、灰绿藜、野艾蒿、猪毛菜重要值较高,没有明显的优势种。由于不同恢复区的恢复措施不同,导致其优势种有差异。但随着修复时间的延长,优势种的优势减弱,逐渐演化为类似矿区外围的物种组成,没有明显的优势物种。

4.4 灵泉露天煤矿生态修复区生态恢复规律

随着恢复时长的增加,多样性指数上升,说明恢复时长是恢复总体效果的关键因素。由于各恢复区的恢复策略各不相同,也引起了多样性指数的差异。生态恢复区生物多样性指数总体高于未开采过的矿区外围区域,即使是2016年的恢复区,其生物多样性指数(1.33)也接近于矿区外围的多样性指数(1.49),说明矿区采取的生态恢复措施可以加速生态恢复进程,可在短时间内恢复矿区生态环境,而且人工管护的延续使得生态恢复时间长的区域环境优于自然植被区域。

因各区域生态恢复策略都不相同,所以其群落结构差异也很明显。草本层中可作为优质牧草的披碱草、贝加尔针茅、稗草等的重要值基本维持在中间水平,这可能与区内放牧有关,牧草难以维持大生物量,难以成为建群种。在恢复年份较早的

区域(如I区、III区),其植物重要值较均匀,这与矿区外草本层物种结构类似,而在恢复较晚的区域,如II区、IV区、VI区中,皆有占据绝对上风的建群种,这与恢复工程初期强烈的人工干预有关。

但从长远来看,在低温和干旱的双重胁迫下呈现物种繁杂且无明显建群种的趋势。在此种趋势下,维持经济作物(如牧草、沙果树)的自然存续将较为困难,需要持续的物质输入。

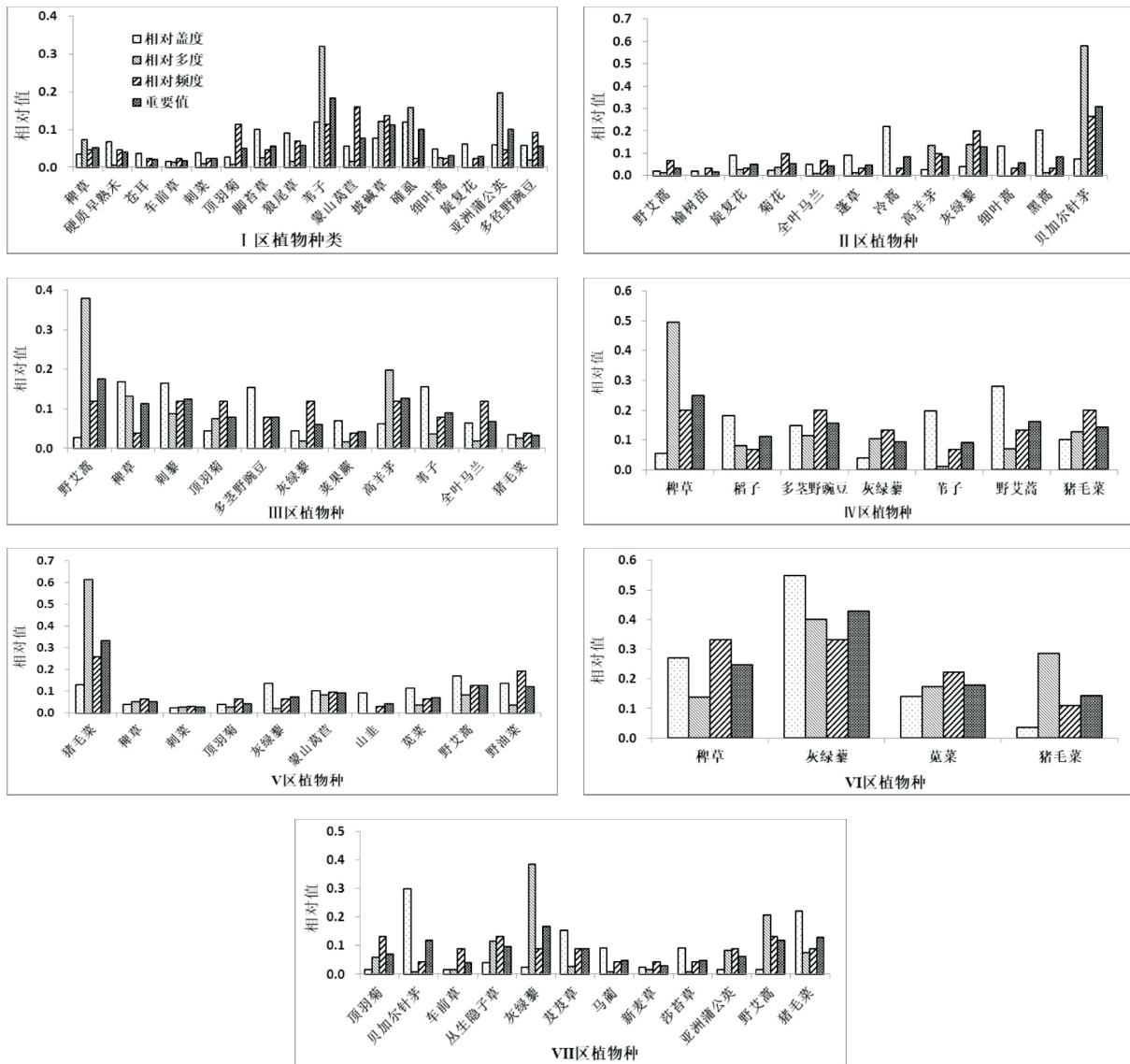


图2 不同生态修复区植物种相对重要值

5 结论与建议

灵泉露天煤矿7个生态恢复区共发现18科45种植物,多数为抗逆性强的禾本科和菊科植物。修复时间长、水土等生长条件相对好的生态I和III修复区生物多样性高于矿区外围自然恢复区;生长条件良好II、IV和V区多样性指数与矿区外围自然植被接近;只有恢复时间短、位于边帮上的VI恢复区的生物多样性指数与矿区外围的

相差较大。人工生态恢复区分别有1~2种优势种,但自然恢复区则无明显的优势种。

生态恢复是长期过程,人工干预只能起到引导、加速恢复的作用。人工生态恢复措施作为生态系统恢复的强化手段,对于露天煤矿裸地生态恢复初期意义重大,效果明显,可以帮助矿区快速建立生态系统的物种结构与功能。但从长远发展来看,还是要使建立起的矿区生态系统逐步过度到

近自然的自维持生态系统。因此,如何使恢复区建立起良性的、近自然的生态自稳定生态系统,逐步降低维护成本,筛选更科学、经济、合理的生态恢复策略,将是灵泉露天煤矿后期生态恢复工作的重中之重。

参考文献

- [1] 杨勤学,赵冰清,郭东昱. 中国北方露天煤矿区植物恢复研究进展[J]. 生态学杂志, 2015,34(4): 1152-1157.
- [2] 杨永均,张绍良,侯湖平,等. 煤炭开采的生态效应及其地域分异[J]. 中国土地科学,2015,29(1): 55-62.
- [3] 束文圣,张志权,蓝崇钰,等. 中国矿业废弃地的复垦对策研究(I)[J]. 生态科学,2000,19(2): 24-29.
- [4] 罗明,王军. 双轮驱动有力量—澳大利亚土地复垦制度建设与科技研究对我国的启示[J]. 中国土地,2012,4:51-53.
- [5] 王军,张亚男,郭义强. 矿区土地复垦与生态重建[J]. 地域研究与开发, 2014,33(6):113-116.
- [6] 卞正富,许家林,雷少刚. 论矿山生态建设[J]. 煤炭学报,2007,32(1):13-19.
- [7] 王军,李红涛,郭义强,等. 煤矿复垦生物多样性保护与恢复研究进展[J]. 地球科学进展,2016,31(2):126-136.
- [8] 白中科,赵景达,李晋川,等. 大型露天煤矿生态系统受损研究—以平朔露天煤矿为例[J]. 生态学报,1999,19(6):870-875.
- [9] 白中科,郭青霞,王改玲,等. 矿区土地复垦与生态重建效益演变与配置研究[J]. 自然资源学报,2001,16(6):525-530.
- [10] 李晋川,白中科,柴书杰,等. 平朔露天煤矿土地复垦与生态重建技术研究[J]. 科技导报, 2009, 27(17):30-34.
- [11] 李晋川,王翔,岳建英,等. 安太堡露天矿植物恢复过程中土壤生态肥力评价[J]. 水土保持研究,2015,22(1):66-71.
- [12] 王金满,郭凌俐,白中科,等. 2013. 黄土区露天煤矿排土场复垦后土壤与植物的演变规律[J]. 农业工程学报,2013,29(21):223-232.
- [13] Zhao ZQ, Wang LH, Bai ZK, et al. Development of population structure and spatial distribution patterns of a restored forest during 17-year succession (1993-2010) in Pingshou opencast mine spoil, China[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2015, 187:431-443.
- [14] 任慧君,李素萃,刘永兵. 生态脆弱区露天煤矿生态修复效应研究[J]. 煤炭工程,2016,48(2): 127-130.
- [15] 王丽媛,郭东昱,白中科,等. 露天煤矿生态复垦区刺槐+油松混交林下草本植物组成及空间分布格局 [J]. 应用与环境生物学报, 2012,18(3):399-404.
- [16] 康萨如拉,牛建明,张庆,韩视君,董建军,张靖. 草原区矿产开发对景观格局和初级生产力的影响—以黑岱沟露天煤矿为例. 生态学报,2014,34(11):2855-2867.
- [17] 张笑然,白中科,曹银贵,等. 特大型露天煤矿区生态系统演变及其生态储存估算[J]. 生态学报,2016,36(16):5038-5048.
- [18] 岳辉,毕银丽. 基于主成分分析的矿区微生物复垦生态效应评价[J]. 干旱区资源与环境,2017,31(4):113-117.
- [19] Gilliam FS. The Ecological Significance of the Herbaceous Layer in Temperate Forest Ecosystems [J]. BioScience, 2007, 57 (10):845-858.
- [20] 原野,赵中秋,白中科,等. 安太堡露天煤矿不同复垦模式下草本植物优势种生态位[J]. 生态学杂志,2016,35(12):3215-3222.
- [21] 武建勇,彭华,蒋学龙,等. 滇西北县域生物多样性本底调查与评估[J]. 生物多样性,2016,24(12): 1414-1420.
- [22] 马克平,黄建辉,于胜利,等. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究. 丰富度、均匀度和物种多样性指数[J]. 生态学报, 1995,15(3):268-277.
- [23] 任继周. 草业科学研究方法[M]. 北京:中国农业出版社,1998:15-28.
- [24] 谢应忠. 植物生态学导论[M]. 银川:宁夏人民出版社,2000:130-138.
- [25] 米文宝,谢应忠. 生态恢复与重建研究综述[J]. 水土保持学报, 2006,13(2):49-53.
- [26] 王建超,朱波,汪涛. 三峡库区典型消落带淹水后草本植物的自然恢复特征[J]. 长江流域资源与环境,2011,20(5):603-610.
- [27] 于顺利,陈宏伟. 内蒙古高原温带稀树草原生态系统特征与成因[J]. 生态学杂志,2007,26(4): 549-554.
- [28] 乌云娜,张云飞. 锡林郭勒草原植物物种多样性的水分梯度特征[J]. 内蒙古大学学报(自然科学版), 1998,29(3):407-413.
- [29] 白永飞,李凌浩,王其兵. 锡林河流域草原群落植物多样性和初级生产力沿水热梯度变化的样带研究[J]. 植物生态学报,2000, 24(6): 667-73.
- [10] 何绪文,李福勤. 煤矿矿井水处理新技术及发展趋势[J]. 煤炭科学技术, 2010, 38(11):17-22.
- [11] 杨虎雄,田取珍,王旭杰,等. 采空区积水对下组煤开采影响分析[J]. 煤矿安全, 2013,44(6):196-197.
- [12] 伊茂森. 神东矿区浅埋煤层关键层理论及其应用研究 [D]. 中国矿业大学, 2008.
- [13] 李晓昕,郭明菲. 无机陶瓷膜处理矿井水工艺研究及应用探讨[J]. 能源环境保护, 2015, 29(4):42-44.

(上接第 36 页)

- [5] 陈苏社,鞠金峰. 大柳塔煤矿矿井水资源化利用技术 [J]. 煤炭科学技术, 2011, 39(2):125-128.
- [6] 谷勇霞,周忠宁,李意民. 采空区处理矿井水的资源化利用[J]. 煤炭科学技术, 2007, 35(4):94-96.
- [7] 周如禄,张广文,郭中权,等. 压力式气水相互冲洗滤池的开发与应用[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(2):113-115.
- [8] 煤科集团杭州环保研究院有限公司. 一种煤矿井下用矿井水深度处理装置及方法:中国, 200910252607.8[P]. 2009-11-25.
- [9] 煤科集团杭州环保研究院有限公司. 煤矿井下综采工作面给

水处理装置:中国, 201120132940.8[P]. 2011-04-29.