

生态修复废弃矿山植被群落结构特征研究

蒋文翠¹, 冉江华², 王铭明³, 范春梅⁴, 金冠锋¹, 耿庆宝¹, 曾荣俊¹, 孔维博^{2*}

(1. 华能西藏雅鲁藏布江水电开发投资有限公司藏木水电厂, 西藏 山南 856400; 2. 中国能源建设集团云南省电力设计院有限公司, 云南 昆明 650032; 3. 昆明理工大学, 云南 昆明 650031; 4. 云南农业大学, 云南 昆明 650201)

摘要:以废弃矿山生态修复区为研究对象, 将研究区分为天然原生林地区(A)、人工生态修复区(B)、自然恢复区(C)3种样地, 采用典型样地抽样调查法和对比分析法, 对不同样地物种组成、群落结构、多样性进行对比研究。结果表明: B区物种丰富度最大, 有31种, 隶属19科29属; 不同样地植物生活型存在显著差异, A区以高位芽植物为主, B区以一年生植物为主, C区高位芽和一年生植物相当; 筛选优势物种, 试提出以本土物种为主、灌草结合的马桑+火棘+戟叶酸模+狗尾草植被配置模式修复研究区域。

关键词: 植被群落结构; 生态修复; 优势物种; 废弃矿山

中图分类号: X171.4 文献标志码: B 文章编号: 1006-2009(2024)02-0069-05

Research on Vegetation Community Structure Characteristics in Abandoned Mines for Ecological Restoration

JIANG Wencui¹, RAN Jianghua², WANG Mingming³, FAN Chunmei⁴, JING Guanfeng¹, GENG Qingbao¹, ZENG Rongjun¹, KONG Weibo^{2*}

(1. Zangmu Hydropower Plant of Huaneng Xizang the Yarlung Zangbo River Hydropower Development Investment Co., Ltd., Shannan, Xizang 856400, China; 2. China Energy Engineering Group Yunnan Electric Power Design Institute Co., Ltd., Kunming, Yunnan 650032, China; 3. Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan 650031, China; 4. Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan 650201, China)

Abstract: Taking the ecological restoration area of abandoned mines as the research object, the study area was divided into three types of plots: natural native forest area (A), artificial ecological restoration area (B) and natural restoration area (C). The species composition, community structure and diversity of different plots were studied by sampling survey and comparative analysis of typical plots. The results showed that the species richness was highest in Zone B, with 31 species belonging to 19 families and 29 genera. There were significant differences in plant life forms in different regions, with high bud plants dominating in Zone A, annual plants dominating in Zone B, and high bud and annual plants equating in Zone C. By selecting dominant species, it propose a vegetation configuration model that focused on local species and combined with shrubs and grasses, including mulberry, fire thorn, halberd leaf acid mold and dog tail grass for the restoration of the study area.

Key words: Vegetation community structure; Ecological restoration; Dominant species; Abandoned mine

收稿日期: 2023-01-21; 修订日期: 2024-01-09

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(52269026, 51969010); 云南省教育厅科学研究基金资助项目(2020Y0179)

作者简介: 蒋文翠(1990—), 男, 云南宣威人, 硕士, 研究方向为生态修复与植被重构。

* 通信作者: 孔维博 E-mail: 735319976@qq.com

矿产资源是国民经济的重要组成部分, 其开发

利用程度影响国家工业生产速度,同时矿产资源的开发也给生态环境带来严重的负面影响^[1],表现为植被破坏、水土流失、生物多样性下降等多种危害^[2-3]。基于恢复生态学理论,结合扰动情况进行研究,为矿山生态修复提供理论支撑^[4]。嵩明是采石场较多的县城之一,生态环境问题引起政府和群众的高度关注^[5]。如何迅速恢复受损环境,改善居民生活已经成为当务之急^[6]。

植被生态系统有很强的生态服务功能,通过植被恢复重建生态环境是较有效的方法^[7],合理的植被配置模式能够提高生态修复效果,进而影响整个生态系统服务功能^[8]。当前植物群落结构特征研究多集中于群落的演替阶段^[9],关于废弃矿山生态修复植物群落结构特征研究较少^[10]。通过对不同类型植物群落结构特征进行研究,有助于阐明不同生境群落结构和多样性之间的差异^[11-12]。基于研究结果,对废弃采石场生态修复提出建议,为相似类型区域植被生态修复提供典型参考。

1 研究区概况

1.1 研究区自然概况

研究区位于昆明市嵩明县小街镇采石场(E103°05'~E103°15',N25°11'~N25°20'),距县城约10 km,海拔1 800 m~1 900 m,植被类型主要为云南松、滇油杉、华山松、旱冬瓜、滇石栎、桉树、圣诞树、柏树等。气候属典型的温带、暖温带和北亚热带混合型气候,多年平均气温14.1℃左右,多年平均无霜期232 d,年平均降雨量1 000 mm~1 100 mm,多年平均风速3.1 m/s,西南风居多。雨季5—10月,降水量约占全年降水的72%~85%。未扰动区地表土壤主要为红壤和棕黄壤,厚约0.2 m~0.8 m,受采矿影响形成洼地,坑壁边坡坡度较陡,多为裸露基岩,坑底地势较为平坦,多为碎块石盖层,植物生长条件恶劣,须对项目区进行场地整平、客土、培肥后才具备播种及人工复绿条件。

1.2 生态修复措施

研究区为碳酸盐岩地区,矿山生态修复工程措施有危岩处理、整坡工程、场地平整工程、客土工程、培肥和灌溉工程,植物措施以乔灌草系统种植为主,优先考虑当地优势物种,既有利于当地生态平衡,又节约论证植物相关适宜性的成本。根据“因地制宜、当地优先”的原则,结合项目区实际情况,选择柳杉、马桑、火棘、狗牙根、紫花苜蓿作为生

态修复植物,在具备覆土或直接补种区域均采用乔灌草套种的方式。乔木株行距为2 m×3 m,整穴标准60 cm×60 cm×50 cm,初植密度为1 665株/hm²;灌木株行距为2 m×2 m,整穴标准30 cm×30 cm×30 cm,初植密度为2 505株/hm²;草本植物进行混合撒播,标准为22.5 kg/hm²。

2 材料与方法

2.1 样地设置

在采石场植被生态修复范围内设置一块样地B(人工生态修复区),同时在采石场内同海拔同立地条件选择一块样地作为自然恢复样地,标注为调查样地A(天然原生林地区),在同海拔同地质区域选取一块未受开采扰动的天然原生样地作为对照样地C(自然恢复区),将研究区划分为3种不同区域。每块样地中按照经纬网格法选取15块独立样方,每个乔木样方为20 m×30 m,乔木样方内选择面积为10 m×10 m的两个对角小样方进行灌木样方调查,选择样方四角和中心点上5个1 m×1 m进行草本小样方记录。共布设乔木样方45个,灌木样方90个,草本样方225个,其中乔灌草的分层根据文献^[13]划分。

2.2 调查方法和内容

2021年8月中旬对该研究区域样地内植被进行实地调查(每年该时段植被群落物种数量最丰富),按乔、灌、草分类,对样方内植被种类、数量、盖度(目测估计)、高度、频度和生长型及环境因子进行调查并统计汇总成册。采用Excel与统计软件SPSS 22.0进行数据处理与分析。

2.3 植被群落特征指标计算

重要值是表示某个种在群落中的地位和作用的综合数量指标。频度=该种植物出现的样方数/所调查的样方总数×100;相对密度=某一种植物的密度/所有种密度总和×100,或相对密度=某一种植物的个体数/所有植物个体总和×100;相对盖度=某一种植物的高度/所有种高度总和×100;相对显著度=样方中该种个体胸面积和/样方中全部个体胸面积总和×100;相对频度=某一种植物的频度/所有种频度总和×100;乔木重要值^[14]=(相对密度+相对频度+相对显著度)/3;灌、草层重要值^[15]=(相对密度+相对频度+相对盖度)/3。

多样性指数选用Patrick丰富度指数(S)、Shannon-Wiener指数(H)^[16]、Pielou均匀度指数

(E)、Simpson 优势度指数 (D)^[17] 4 个指标,对植被群落的物种多样性进行测评。计算公式分别为:

$$S = \text{出现在样地的物种总数} \quad (1)$$

$$H = - \sum P_i \ln P_i \quad (2)$$

$$E = - \sum P_i \ln P_i / \ln S \quad (3)$$

$$D = \sum P_i^2 \quad (4)$$

式中: P_i 为种 i 的相对重要值; S 为种 i 所在样地的物种总数,即丰富度指数。

3 结果与讨论

3.1 植物群落物种组成

统计 3 种样地植物群落的物种组成(见表 1),

矿山开采扰动区与原生林地植被生境存在明显的差异,不同样地植物种类的变化规律不同,从而影响样地群落结构。原生林群落中共有 19 种植物,隶属 13 科 17 属,松科、禾本科和菊科植物最多,3 科植物占该群落的 47.37%。人工生态修复群落中共调查到 31 种植物,隶属 19 科 29 属,其中禾本科植物数量最多,共 9 种,占该群落的 29.03%。在采矿区自然恢复群落中共调查到 19 种植物,隶属 15 科 16 属,禾本科植物数量最多,共 3 种。由此可见,在研究区内植物群落组成相对简单,共有 22 科 35 属 38 个种,天然原生林群落中松科乔木和菊科、禾本科草本占优势,自然恢复群落中禾本科草本占优势。

表 1 不同样地植物群落物种组成

Table 1 Species composition of plant communities in different sample plots

序号	科名	属名	种名	出现样地
1	柏科 Cupressaceae Gray	柳杉属 <i>Cryptomeria</i> D. Don	柳杉 <i>Cryptomeria japonica</i> var. <i>sinensis</i> Miquel	B 区
2	柏科 Cupressaceae Gray	柏木属 <i>Cupressus</i> Linn	干香柏 <i>Cupressus duclouxiana</i> Hickel	A 区
3	马桑科 Coriariaceae DC.	马桑属 <i>Coriaria</i> L.	马桑 <i>Coriaria nepalensis</i> Wall.	A 区、B 区
4	豆科 Fabaceae Lindl.	黧豆属 <i>Mucuna</i> Adans.	油麻藤 <i>Mucuna sempervirens</i> Hemsl.	B 区
5	豆科 Fabaceae Lindl.	苜蓿属 <i>Medicago</i> L.	紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i> L.	B 区
6	漆树科 Anacardiaceae R. Br.	盐肤木属 <i>Rhus</i> Tourn. ex L.	盐肤木 <i>Rhus chinensis</i> Mill.	A 区、B 区
7	胡桃科 Juglandaceae DC. ex Perleb	枫杨属 <i>Pterocarya</i> Kunth	枫杨 <i>Pterocarya stenoptera</i> C. DC.	A 区、B 区、C 区
8	蔷薇科 Rosaceae Juss.	火棘属 <i>Pyracantha</i> M. Roem.	火棘 <i>Pyracantha fortuneana</i> (Maxim.) H. L. Li	A 区、B 区、C 区
9	蓼科 Polygonaceae Juss.	酸模属 <i>Rumex</i> L.	戟叶酸模 <i>Rumex hastatus</i> D. Don	A 区、B 区、C 区
10	小檗科 Berberidaceae Juss.	小檗属 <i>Berberis</i> Linn	小檗 <i>Berberis thunbergii</i> DC.	A 区、B 区、C 区
11	桃金娘科 Myrtaceae Juss	桉属 <i>Eucalyptus</i> L'Hér.	桉树 <i>Eucalyptus</i> spp.	B 区
12	马钱科 Euphorbiaceae	醉鱼草属 <i>Buddleja</i> L.	白背枫 <i>Mallotus apelta</i> Lour.	B 区、C 区
13	桑科 Moraceae Gaudich.	构属 <i>Broussonetia</i> L'Hert. ex Vent.	构树 <i>Broussonetiapapyrifera</i> (L.) L'Hér. ex Vent.	B 区、C 区
14	凤尾蕨科 Pteridaceae	蕨属 <i>Pteridium</i>	蕨 <i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i> (Desv.) Underw. ex Heller	B 区、C 区
15	禾本科 Poaceae Barnhart	稭属 <i>Eleusine</i> Gaertn.	牛筋草 <i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn.	B 区
16	禾本科 Poaceae Barnhart	白茅属 <i>Imperata</i> Cyr.	白茅 <i>Imperata cylindrica</i> (L.) P. Beauv.	B 区
17	禾本科 Poaceae Barnhart	芒属 <i>Miscanthus</i>	芒 <i>Miscanthus sinensis</i> Anderss.	B 区
18	禾本科 Poaceae Barnhart	狗牙根属 <i>Cynodon</i>	狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i> (L.) Persoon	B 区
19	禾本科 Poaceae Barnhart	淡竹叶属 <i>Lophatherum</i>	淡竹叶 <i>Herba Lophatheri</i> Brongn.	A 区、B 区、C 区
20	禾本科 Poaceae Barnhart	甘蔗属 <i>Saccharum</i> L.	斑茅 <i>Saccharum arundinaceum</i> Retz.	A 区、B 区、C 区
21	禾本科 Poaceae Barnhart	稗属 <i>Echinochloa</i> Beauv.	稗 <i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P. Beauv.	B 区
22	禾本科 Poaceae Barnhart	芦苇属 <i>Phragmites</i>	芦苇 <i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud	B 区
23	禾本科 Poaceae Barnhart	狗尾草属 <i>Setaria</i> P. Beauv	狗尾草 <i>Setaria viridis</i> (L.) P. Beauv.	A 区、B 区、C 区
24	玄参科 Scrophulariaceae Juss.	泡桐属 <i>Paulownia</i> Siebold & Zucc.	泡桐 <i>Paulownia fortunei</i> (Seem.) Hemsl.	C 区
25	菊科 Asteraceae Bercht. & J. Presl	蒿属 <i>Artemisia</i> L.	艾蒿 <i>Artemisia argyi</i> H. Lévl. & Vaniot	A 区、B 区、C 区
26	菊科 Asteraceae Bercht. & J. Presl	蒿属 <i>Artemisia</i> L.	一年蓬 <i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.	A 区、B 区、C 区
27	菊科 Asteraceae Bercht. & J. Presl	蒿属 <i>Artemisia</i> L.	青蒿 <i>Artemisia carifolia</i> Buch.-Ham. ex Roxb.	B 区
28	菊科 Asteraceae Bercht. & J. Presl	飞蓬属 <i>Erigeron</i>	小飞蓬 <i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronq.	A 区、B 区、C 区
29	苋科 Amaranthaceae Juss.	腺毛藜属 <i>Dysphania</i>	土荆芥 <i>Chenopodium ambrosioides</i> (L.) Mosyakin & Clemants	B 区
30	苋科 Amaranthaceae Juss.	莲子草属 <i>Alternanthera</i> Forssk.	空心莲子草 <i>Alternantheraphiloxeroides</i> (Mart.) Griseb.	C 区

续表

序号	科名	属名	种名	出现样地
31	莎草科 <i>Cyperaceae</i> Juss.	莎草属 <i>Cyperus</i> L.	莎草 <i>Cyperus rotundus</i> L.	B 区、C 区
32	灯心草科 <i>Juncaceae</i> Juss.	灯心草属 <i>Juncus</i> L.	灯心草 <i>Juncus effusus</i> L.	B 区、C 区
33	松科 <i>Pinaceae</i> Spreng. ex F. Rudolphi	油杉属 <i>Keteleeria</i> Carrière	滇油杉 <i>Keteleeria evelyniana</i> Mast.	A 区
34	松科 <i>Pinaceae</i> Spreng. ex F. Rudolphi	松属 <i>Pinus</i> L.	华山松 <i>Pinus armandii</i> Franch.	A 区
35	松科 <i>Pinaceae</i> Spreng. ex F. Rudolphi	松属 <i>Pinus</i> L.	云南松 <i>Pinus yunnanensis</i> Franch.	A 区、B 区、C 区
36	壳斗科 <i>Fagaceae</i> Dumort.	柯属 <i>Lithocarpus</i>	白柯 <i>Lithocarpus dealbatus</i> (Hook. f. & Thomson ex Miq.) Rehder	A 区
37	桦木科 <i>Betulaceae</i> Gray	桤木属 <i>Alnus</i> Mill.	旱冬瓜 <i>Alnus nepalensis</i> D. Don	A 区、B 区
38	桃金娘科 <i>Myrtaceae</i> Juss	桉属 <i>Eucalyptus</i> L'Hér.	桉树 <i>Eucalyptus</i> spp.	A 区、C 区

3.2 植物群落生活型组成分析

根据植物生活型分析,在 A 区群落中,高位芽植物数量最多,以乔灌为主,如云南松、火棘等;一年生植物排第二,主要有狗尾草等;地面芽植物最少,如斑茅等。在 B 区群落中,一年生植物种数量最多,主要是菊科的一年蓬,禾本科的稗、牛筋草等;高位芽植物数量排第二,主要是人工种植的柳杉、马桑等;地面芽植物数量第三,以多年生本地草本植物为主;地下芽植物数量第四,主要是芦苇和灯心草。C 区群落中,高位芽植物和一年生植物数量相同,高位芽植物乔木为云南松和桉树,灌木为火棘、白背枫、戟叶酸模等;地面芽植物排最少。不同类型样地群落生活型谱见表 2。

表 2 不同类型样地群落生活型谱

Table 2 Community life forms of different types of plots

不同生活型植物	A 区		B 区		C 区	
	种类 n/ 种	占比/ %	种类 n/ 种	占比/ %	种类 n/ 种	占比/ %
高位芽植物	13	68.42	11	35.48	9	47.37
地面芽植物	2	10.53	3	9.68	1	5.26
地下芽植物	0	0	2	6.45	0	0
一年生植物	4	21.10	15	48.39	9	47.37

由表 2 可知,从天然原生林群落经过人工生态修复群落再到自然恢复群落,植物的生活型具体表现为高位芽植物种类在天然原生林群落中数量最多,在人工生态修复群落中,其占比有所下降,一年生植物的种类比例略高于高位芽植物的种类比例。自然恢复群落中,总物种数量相对较少,故高位芽植物种类的占比相对偏高,以灌木为主,一年生植物占比也比较高,以禾本科和菊科植物为主。高位芽植物在天然原生林中比例最高,在人工生态修复群落中,受到一年生植物种数量增多的影响,比例有所下降,而在自然恢复群落中,比例又逐渐增高。

3.3 植被群落优势种

优势种是决定群落外形、结构和功能的物种,对群落影响最大,优势种的更替是群落演替阶段的重要标志之一^[18]。在天然原生对照区群落中,植物共 19 种。乔、灌、草重要值最大的分别为云南松 (37.49%)、火棘 (36.47%)、斑茅 (22.46%)。在人工生态修复区群落中,植物共 31 种,人工种植物种有 3 种(柳杉、狗牙根、紫花苜蓿),自然生长物种 28 种。乔、灌、草重要值最大的分别为马桑 (19.63%)、火棘 (24.26%)、狗尾草 (21.66%)。在自然恢复区群落中,植物共 19 种。灌木和草本重要值最大的分别为白背枫 (39.78%) 和艾蒿 (18.32%)。

3.4 植物群落物种多样性

目前,植物群落多样性研究多集中于自然植物群落,工程扰动影响生态系统的研究较少^[8]。物种多样性作为群落内部及其与周围环境关系变化的标志,是植物群落的重要特征,丰富度可反映群落内物种数的多寡,Shannon-Wiener 指数是对群落多样性的信息度量,Pielou 均匀度指数可反映群落中物种分布的均匀程度及群落演替中物种竞争的结果^[19]。选取 8 月份植被生长旺盛时期的数据作为基准,计算群落物种多样性。结果表明,A 区和 C 区群落的丰富度差异不显著 ($p > 0.05$),B 区群落的物种丰富度明显高于 A 区和 C 区 ($p < 0.05$)。所有区域的 Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数和丰富度指数分析结果基本相同,虽然 A 区和 C 区群落差异不大,但是两者与 B 区群落的差异明显。

乔木层的多样性 4 个指数都表现为不同规律: B 区和 C 区虽群落差异不大 ($p > 0.05$),但两者与 A 区群落的差异明显 ($p < 0.05$)。灌木层的多样性 4 个指数显示 4 种群落差异都不明显 ($p > 0.05$),Simpson 指数显示 A 区和 C 区虽群落差异不大

($p > 0.05$),但是两者与 B 区群落的差异明显($p < 0.05$)。草本层的多样性 4 个指数都显示 C 区和 B 区虽群落差异不大($p > 0.05$),但是两者与 A 区群落的差异明显($p < 0.05$)。

4 结语

研究以矿山生态修复区为研究对象,采用典型样地抽样调查法和对比分析法,将未扰动区(天然原生林群落)、废弃矿山人工生态修复区和废弃矿山自然恢复区群落结构和多样性进行对比研究。研究表明,未扰动区物种丰富度偏小,群落结构相对复杂,生物多样性指数整体偏高;自然恢复区物种单一,群落结构简单,生物多样性指数整体偏低,生态修复效果较差;人工生态修复区物种丰富度最高,群落结构复杂,生物多样性指数整体偏高,生态修复效果较好。

通过调查研究和分析,确定各类型条件下的优势物种,结合当地水文气象条件,进一步分析和总结废弃矿山植被群落恢复特征及其相应变化规律,试提出马桑+火棘+戟叶酸模+狗尾草为主的生态修复植被配置模式,该模式以本土物种为主、草灌结合,较适合滇中地区矿山生态修复,可为相似类型矿山生态修复植物配置提供参考。

矿山生态修复过程中,物种丰富度和群落结构都在发生动态变化,同时,微生物是环境变化的重要驱动力。在下一步的跟踪研究中应该关注微生物多样性变化,并从生态化学计量学的角度来分析植被和微生物变化与生物群落结构和多样性之间的关系。

[参考文献]

- [1] 蒋文翠,杨继清,彭尔瑞,等. 矿山生态修复研究进展[J]. 矿业研究与开发,2022,42(4):127-132.
- [2] 李海东,沈渭寿,卞正富. 西部矿产资源开发的生态环境损害与监管[J]. 生态与农村环境学报,2016,32(3):345-350.
- [3] 张吉雄,鞠杨,张强,等. 矿山生态环境低损害开采体系与方

- 法[J]. 采矿与岩层控制工程学报,2019,1(2):56-68.
- [4] 王佟,杜斌,李聪聪,等. 高原高寒煤矿区生态环境修复治理模式与关键技术[J]. 煤炭学报,2021,46(1):230-244.
- [5] 卞正富,雷少刚,金丹,等. 矿区土地修复的几个基本问题[J]. 煤炭学报,2018,43(1):190-197.
- [6] 李逸平. 我国生态服务型经济发展的实践进展及突破策略[J]. 西南金融,2021(7):27-38.
- [7] 林杨,文仕知,王德明. 湘潭锰矿 3 种不同生境植物群落结构及数量特征[J]. 中南林业科技大学学报,2014,34(12):102-109.
- [8] 耿冰瑾,王舒菲,曹银贵,等. 山西平朔露天矿区不同年限复垦地植被重建特征对比分析[J]. 生态学报,2022,42(8):3400-3419.
- [9] 高赛,孙飞,刘海龙,等. 寒区矿山废弃地边坡植被恢复技术及模式[J]. 中国水土保持,2021(9):38-42.
- [10] 关军洪,郝培尧,董丽,等. 矿山废弃地生态修复研究进展[J]. 生态科学,2017,36(2):193-200.
- [11] 王志印,曹建生. 中国北方土石山区植被恢复及其生态效应研究进展[J]. 中国生态农业学报(中英文),2019,27(9):1319-1331.
- [12] 贺静雯,刘颖,李松阳,等. 蒋家沟流域植物群落灌草层数量分类、排序及其生境解释[J]. 应用与环境生物学报,2020,26(2):451-459.
- [13] LI Q H, YANG L W, ZHOU Q X. Comparative analysis on species diversity of hillclosed afforested plant community in Beijing Jiulong Mountain[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002,13(9):1065-1068.
- [14] 孔维博,尹亚敏,彭尔瑞,等. 山区河道工程扰动边坡植物群落恢复动态研究[J]. 环境监测管理与技术,2021,33(6):19-23.
- [15] 崔佳佳,铁牛. 大兴安岭北部森林群落结构及植物多样性特征研究[J]. 西北林学院学报,2021,36(2):24-30.
- [16] 刘冰,张斌,廖俊杰,等. 基于 RS 与 GIS 的水土保持生态功能区生态状况评估[J]. 环境监测管理与技术,2022,34(3):35-39.
- [17] 李全生. 东部草原区大型煤电基地开发的生态影响与修复技术[J]. 煤炭学报,2019,44(12):3625-3635.
- [18] 金晓明,于良斌,张颖琪,等. 群落演替对呼伦贝尔草地两种优势植物繁殖分配及生态化学计量的影响[J]. 应用生态学报,2020,31(3):787-793.
- [19] 王飞,曹秀文,刘锦乾,等. 白龙江林区 2 种次生林群落组成与结构特征[J]. 西北林学院学报,2021,36(3):44-51.

启 事

本刊已加入《中国学术期刊(光盘版)》、万方数据-数字化期刊群、重庆维普中文科技期刊数据库,凡被录用的稿件将同时在相关数据库产品中进行网络出版或提供信息服务,其作者著作权使用费与本刊稿酬一并支付。如作者不同意将文章编入数据库,请在来稿中注明,本刊将做适当处理。