

白音华二号矿排土场恢复植被物种多样性与区系组成研究

张毅辉¹, 龙金飞^{1*}, 张忠青¹, 郜国萍¹, 刘瑞霞¹, 李志勇², 武自念², 张志强³

(1. 内蒙古太伟生态科技有限公司, 内蒙古 呼和浩特 010070; 2. 中国农业科学院草原研究所, 内蒙古 呼和浩特 010010; 3. 内蒙古农业大学, 内蒙古 呼和浩特 010018)

摘要:【目的】掌握白音华二号矿排土场生态修复后的植被现状, 了解排土场植物基本组成、物种多样性及种子植物区系特征。【方法】查阅资料和野外实地调查相结合, 运用植物区系地理学的基本原理对排土场种子植物区系特征进行统计分析。采用有限样方内生物多样性的测定方法, 通过野外采样及对样本进行处理, 对植物科属分布、生活型、生态型的数量结构进行统计分析, 并计算植物群落物种多样性。【结果】白音华二号矿排土场植物共45科148属219种, 优势科为藜科、豆科、菊科、禾本科, 物种生活型主要为多年生草本植物, 生态型主要为中生型; 植物群落共计43个, 丰富度指数(R)为3~14、Shannon—Wiener多样性指数(H)为0.837~2.542、Simpson优势度(D)指数为0.420~1.212; 排土场植物在科、属的区系组成上存在差异, 从科的结构看, 世界广布型有28科, 温带成分有10科, 从属的结构看, 世界广布型有28个, 温带成分有100属。【结论】经过自然与人修复, 排土场植物种类明显增加, 植物群落已具备一定的稳定性, 但仍处于生态恢复的初级阶段, 目前正向正向演替发展。

关键词:露天煤矿; 植物多样性; 区系; 排土场; 复垦; 植物群落

中图分类号:Q948 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2025)02-0062-08

DOI:10.13817/j.cnki.cyycp.2025.02.007



露天煤矿开采过程中对土地的挖损和废弃岩石的堆积严重破坏了土地和景观, 给周边生态环境造成不可逆的负面影响。排土场是在挖掘地表浅层的煤炭层时, 将形成的矿物之外的废弃物进行集中堆放后产生的巨大阶梯状垫体, 是由风化岩土、煤矸石、土壤及坚硬岩石共同组成的重构土体^[1]。排土场由多种物质组成, 整体成分复杂且内部空隙较大, 结构缺乏稳定性。另外挖掘过程中破坏了原有土地的土壤结构,

使土壤长期风化和雨水侵蚀, 导致周边的生态系统极为脆弱^[2]。对排土场进行植被重构是治理排土场生态系统的主要方式^[3]。在排土场表面种植先锋植物能够提高植被覆盖度, 进而提高植物多样性、恢复受损的生态系统^[4]。目前我国北方高寒地区露天煤矿排土场植被恢复选用的先锋植物种类为禾本科、豆科, 种类较为单一, 其功能无法满足群落演替中后期的需要^[5]。内蒙古锡林郭勒白音华煤电有限责任公司露天矿(简称白音华二号矿)露天采场面积为726 hm², 最大采深为186 m, 最低开采标高为856 m。矿山露天开采对原地形地貌产生不可恢复性破坏, 形成人工挖损地貌, 对原地表形态、地层层序、植被等产生直接破坏, 对地形地貌景观影响程度较为严重。挖出的土方经堆砌整形后形成的排土场在进行生态修复工程前只进行了简单恢复, 边坡草木稀疏, 大面积土层裸露, 原有的治理恢复工程效果较差。2018年在开展生态修复工程后, 白音华二号矿排土场已具有较为丰富的干旱

收稿日期:2024-03-20; **修回日期:**2024-05-06

基金资助:2022呼和浩特市重大科技项目(2022-社-重-1-2)

作者简介:张毅辉(1996-), 男, 内蒙古呼和浩特人, 工程师, 硕士, 从事生态修复治理及生态监测工作。

E-mail:1223038041@qq.com。

*通信作者。研究方向为植物引种驯化及苗木繁育技术。E-mail:longjinfei4225@163.com

区、半干旱区植物资源,但由于露天煤矿排土场气候寒冷干旱、水土流失严重、土壤盐碱化等因素,排土场形成诸多群落类型^[6]。对排土场及周边植被情况、区系地理组成进行调查,掌握排土场生态修复后的植被现状是指导排土场复垦工程、探索矿山生态修复新技术的重要前期工作^[7]。

本研究以内蒙古锡林郭勒白音华二号矿排土场内植物群落为研究对象,于2021年通过全面踏勘及样地调查的方式对存在于排土场中的植物种类进行记录与统计,掌握白音华二号矿排土场生态修复后的植被现状,探讨排土场植物基本组成、物种多样性及种子植物区系特征,为矿山土场生态修复技术提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

白音华二号矿区(44°48′~44°52′ N, 118°25′~118°30′ E)位于内蒙古锡林郭勒盟西乌珠穆沁旗东北部的白音华苏木境和哈日根台苏木境内,地处内蒙古中东部大兴安岭南段西坡。区内地形呈南高北低、东高西低,海拔1 080~1 160 m;主要地貌特征为高原低山缓坡丘陵地形,气候属中温带干旱半干旱气候,年平均气温为1.2℃,年平均降水量为375.1 mm,降水主要集中在6—8月;年平均蒸发量为1 769 mm;多年平均风速4.8 m/s,以西北风最多;每年9月初至5月为霜冻期,年平均相对湿度60%;矿区土壤以暗栗钙土为主,兼有草甸土、沼泽土、风沙土及盐土。本研究位于白音华二号矿2018年进行排土场生态复垦的区域,复垦工程中共使用生态草种16种,分别为垂穗披碱草(*Elymus nutans*)、羊草(*Leymus chinensis*)、冰草(*Agropyron cristatum*)、黑麦草(*Lolium perenne*)、无芒雀麦(*Bromus inermis*)、短芒大麦草(*Hordeum brevisulatum*)、燕麦(*Avena sativa*)、紫花苜蓿(*Medicago sativa*)、草木樨(*Melilotus officinalis*)、沙打旺(*Astragalus laxmannii*)、柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii*)、羊柴(*Corethroedendron fruticosum*)、达乌里胡枝子(*Lespedeza daurica*)、中国沙棘(*Hippophae rhamnoides* subsp. *sinensis*)、紫花地丁(*Viola philippica*)、秋英(*Cosmos bipinnatus*)。

1.2 调查方法

于2021年6—9月全面踏勘白音华二号矿排土场

植物物种组成,选择具有典型性和代表性的地段布设样地并进行样方调查(图1)。样地根据排土场不同植被类型、地形、植被种类进行设置,尽量覆盖较多的植物种类,共设置14个样地,样地规格10 m×10 m。每个样地内随机设置3个样方,样方以草本植物1 m×1 m,灌木5 m×5 m进行设置,共设置43个样方,测定排土场植物科属分布、生活型、生态型。调查过程中通过数码相机拍摄样方内植物,记录样方内各类植物高度、盖度、数量^[8]。

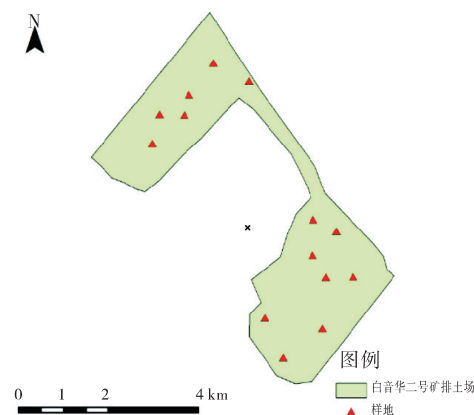


图1 研究区域图

Fig. 1 Map of the study area

1.3 数据分析

对植物科的分析,根据植物所属科将植物划分为多种科、中等科、寡种科、单种科^[9]。

选用丰富度(R)、Shannon—Wiener多样性指数(H)、Simpson优势度指数(D)分析植物多样性,得到结果取43个样方的平均值。计算方法如下:

丰富度指数(R): $R = S$

Shannon—Wiener多样性指数(H):

$$H = -\sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$$

Simpson优势度指数(D): $P = 1 - \sum_{i=1}^s P_i^2$

式中: S 为样方中植物物种数, P_i 为物种 i 个体数占样方中总个体数的比例。

植物区系分析参考《世界种子植物科的分布区系类型系统》^[10]、《中国种子植物属的分布区类型》^[11]。

2 结果与分析

2.1 植物物种组成

白音华二号矿排土场共有植物45科148属219种,其中蕨类植物1科1属1种,为节节草(*Equisetum ramosissimum*);被子植物44科147科218种,其中单

子叶植物 7 科 34 属 48 种, 双子叶植物 37 科 113 属 170 属、种的 82.22%、76.35%、77.63%, 占绝对优势地位, 被子植物中双子叶植物所占比例最高, 分别占科、位。未见裸子植物与藓类植物(表 1)。

表 1 植物科属种类群构成
Table 1 Species group composition of plant families and genera

类型	科	占比/%	属	占比/%	种	占比/%
蕨类植物	1	2.22	1	0.68	1	0.45
被子植物	双子叶	37	113	76.35	170	77.63
	单子叶	7	34	22.97	48	21.92
总计	45	100	148	100	219	100

2.2 排土场植物多样性分析 复杂, 不同科所含属和种数量存在较大差异, 菊科
2.2.1 排土场的植物科属种数量 白音华二号矿排 (Aceraceae)、禾本科 (Gramineae)、豆科 (Legumino-
土场共有植物 45 科 148 属 219 种, 植物物种组成较为 sae) 植物物种数明显高于其他科(表 2)。

表 2 植物科属种统计
Table 2 Statistics of plant families and species

序号	科	属	种	序号	科	属	种
1	木贼科 Equisetaceae	1	1	24	伞形科 Umbelliferae	6	7
2	杨柳科 Salicaceae	2	2	25	龙胆科 Gentianaceae	1	1
3	榆科 Ulmaceae	1	1	26	萝藦科 Asclepiadaceae	2	2
4	桑科 Moraceae	2	2	27	旋花科 Convolvulaceae	3	3
5	蓼科 Polygonaceae	3	10	28	紫草科 Boraginaceae	2	3
6	藜科 Chenopodiaceae	8	13	29	唇形科 Labiatae	6	7
7	苋科 Amaranthaceae	1	2	30	茄科 Solanaceae	1	1
8	马齿苋科 Portulacaceae	1	1	31	玄参科 Scrophulariaceae	4	4
9	石竹科 Caryophyllaceae	2	2	32	紫葳科 Bignoniaceae	1	1
10	毛茛科 Ranunculaceae	3	4	33	车前科 Plantaginaceae	1	2
11	罂粟科 Papaveraceae	1	2	34	茜草科 Rubiaceae	1	1
12	十字花科 Cruciferae	7	7	35	败酱科 Valerianaceae	1	1
13	景天科 Crassulaceae	2	2	36	川续断科 Dipsacaceae	1	1
14	蔷薇科 Rosaceae	3	10	37	桔梗科 Campanulaceae	1	2
15	豆科 Leguminosae	11	21	38	菊科 Aceraceae	24	44
16	牻牛儿苗科 Geraniaceae	2	2	39	香蒲科 Typhaceae	1	1
17	亚麻科 Linaceae	1	1	40	水麦冬科 Juncaginaceae	1	1
18	蒺藜科 Zygophyllaceae	1	1	41	禾本科 Gramineae	24	34
19	大戟科 Euphorbiaceae	1	1	42	莎草科 Cyperaceae	2	2
20	锦葵科 Malvaceae	3	3	43	灯心草科 Juncaceae	1	1
21	柽柳科 Tamaricaceae	1	1	44	百合科 Liliacea	4	7
22	瑞香科 Thymelaeaceae	1	1	45	鸢尾科 Iridaceae	1	2
23	胡颓子科 Elaeagnaceae	1	1				

2.2.2 植物科的分析 从科内属一级分析, 在白音 科数的 13.33%; 共有 4 种多种科(物种数>10), 占总
华二号矿排土场中共有 18 种单种科(物种数 1), 占总 科数的 8.89%。4 个多种科分别为藜科(Chenopodia-
科数的 40.0%; 共有 17 种寡种科(物种数 2~5), 占总 ceae)、豆科、菊科、禾本科, 4 个多种科内共有 67 属,
科数的 37.78%; 共有 6 种中等科(物种数 6~10), 占总 112 种, 占总属数、总种数的 45.27%、51.14%(表 3)。

多种科占总科数不足 10%，但其物种数占总物种数的 50% 以上，说明白音华二号矿排土场植物分布以藜科、豆科、菊科、禾本科植物为主，该 4 科为优势科，另

外优势科与弱势科在物种组成方面存在较大差异，一定程度上说明复垦施工草种使用单一，植物群落尚缺乏足够的稳定性。

表 3 植物科的数量结构

Table 3 Number structure of plant families

类型	科		属		种	
	数量	百分比/%	数量	百分比/%	数量	百分比/%
多种科(>10)	4	8.89	67	45.27	112	51.14
中等科(6—10)	6	13.33	29	19.59	48	21.92
寡种科(2—5)	17	37.78	34	22.97	41	18.72
单种科(1)	18	40.00	18	12.17	18	8.22
合计	45	100.00	148	100.00	219	100.00

2.2.3 植物属的分析 白音华二号矿排土场植物共有 148 属，根据每个属物种数的多少，将其分为 3 个等级。1 种的属、2 种的属、2 种以上的属分别为 108、29、11 个，分别占总属数的 72.97%、19.60%、7.43%。1 种的属、2 种的属、2 种以上的属中的种数分别为 108、58、53 个，分别占总种数的 49.32%、26.48%、24.20%。其中 2 种以上的属中种数最多的为蒿属(*Artemisia*)、委陵菜属(*Potentilla*)、蓼属(*Persicaria*)，分别为 11 种、8 种、6 种(表 4)。

表 4 植物属的数量结构

Table 4 Number structure of plant genera

类型	属	占比/%	种	占比/%
1 种的属	108	72.97	108	49.32
2 种的属	29	19.60	58	26.48
2 种以上的属	11	7.43	53	24.20
合计	148	100	219	100

2.2.4 植物生活型的分析 植物生活型是植物对其所处生长环境长期适应后形成的相似外貌、结构，是一种生态学中的分类单位。按植物的生活型分类可分为：乔木、灌木、半灌木、多年生草本、一、二年生草本 5 类进行种的数量结构分析。节节草为蕨类植物，不具备生活型特点。乔木、灌木、半灌木等木本植物种类占排土场植被物种总数的比例不足 10%，草本植物占 90% 以上。其中乔木 2 种，占比 0.92%，分别为小叶杨(*Populus simonii*)、榆树(*Ulmus pumila*)；多年生草本 116 种，占比 53.21%；灌木、半灌木、一、二年生草本分别为 5、4、91 种，分别占比为 2.29%、1.84%、41.74%(表 5)。结果表明，白音华二号矿排土场木本植物极少，主要以草本植物为主，草本植物中以多年生草本为主。

表 5 植物生活型组成

Table 5 Plant life-type composition

生活型	物种数	百分比/%
乔木	2	0.92
灌木	5	2.29
半灌木	4	1.84
多年生草本	116	53.21
一、二年生草本	91	41.74
总计	218	100.00

2.2.5 植物生态型分析 植物生态型是指同种植物长期生长在不同的生长环境中，因趋异适应而形成在生态学上有差别的同种异地个体群。按植物对水分的需求进行生态型分类，分为：中生、旱生、湿生、沙生、盐生及用于栽培的品种。中生型植物 130 种，占比 59.36%，其次为旱生型植物 58 种，占比 26.48%(表 6)。湿生植物 7 种，分别为小香蒲(*Typha minima*)、小麦冬(*Triglochin palustris*)、芦苇(*Phragmites australis*)、稗(*Echinochloa crus-galli*)、无芒稗(*Echinochloa crus-galli* var. *mitis*)、具芒碎米莎草(*Cyperus microiria*)、扁茎灯芯草(*Juncus gracillimus*)，由于排土场内部分区域地势低洼，土质为煤矸土，透水透气性较差，水分难以向下渗透，雨季或养护浇水后易积水，为湿生植物的生长创造了良好的立地条件，外来湿生植物种子通过风力传播进入洼地后能够迅速生长。沙生植物 2 种，分别为兴安虫实(*Corispermum chin-ganicum*)及盐蒿(*Artemisia halodendron*)。盐生植物 3 种，分别为中亚滨藜(*Atriplex centralasiatica*)、碱蓬(*Suaeda glauca*)、平卧碱蓬(*Suaeda prostrata*)。以上表明，白音华二号矿排土场植物以中生型、旱生型为主，存在少量湿生、沙生、盐生植物。

表6 植物生态型组成
Table 6 Plant ecotype composition

生态型	物种数	百分比/%
中生	130	59.36
旱生	58	26.48
湿生	7	3.20
沙生	2	0.91
盐生	3	1.37
栽培	19	8.68
总计	219	100

表7 群落多样性指数
Table 7 Community Diversity Index

指数	平均值	最大值	最小值
丰富度指数(<i>R</i>)	7.698(±2.558)	14	3
Shannon—Wiener多样性指数(<i>H</i>)	1.739(±0.236)	2.542	0.837
Simpson优势度指数(<i>D</i>)	0.740(±0.024)	1.212	0.420

2.4 植物区系组成

2.4.1 植物科的区系组成 白音华二号矿排土场种子植物44科可划分为4个分布区类型和3个变型。将其分为3类:世界广布(第1类)、热带分布(第2~6类)、温带分布(7~10类),其中世界广布类型有28科,占总科数的63.64%,代表科分别有禾本科、豆科、藜

2.3 植物群落物种多样性

43个植物群落样方的丰富度指数(*R*)、Shannon—Wiener多样性指数(*H*)、Simpson优势度指数(*D*)平均值、最大值、最小值见表7。群落物种丰富度(*R*)值在3~14,平均值为7.698。Shannon—Wiener多样性指数(*H*)值在0.837~2.542,平均值为1.739。Simpson优势度指数(*D*)值在0.420~1.212,平均值为0.740(表7)。

科、蓼科(Polygonaceae)、蔷薇科(Rosaceae);热带分布共6科,占总科数的13.64%,代表科有锦葵科(Malvaceae);温带成分共10科,占总科数的22.72%,代表科有菊科、百合科(Liliacea)。白音华二号矿排土场植物中,世界广布型科占据主导地位,并且与热带成分、温带成分联系广泛(表8)。

表8 种子植物科的区系分布
Table 8 Zonal distribution of seed plant families

区系组	类型及变形	科数	占比/%
世界广布	1. 世界广布	28	63.64
热带成分	2. 泛热带分布	5	11.37
	2—2. 热带亚洲—热带非洲—热带美洲(南美洲)	1	2.27
	8. 北温带	1	2.27
温带成分	8—4. 北温带和南温带间断分布	7	15.91
	10. 旧世界温带	1	2.27
	10—3. 欧亚和南非	1	2.27
合计		44	100

2.4.2 植物属的区系组成 白音华二号矿排土场种子植物147属可划分为14个分布区类型和9个变型。将其归为世界广布(第1类)、热带成分(第2~7类)、温带成分(第8~14类)、我国特有成分(第15类)。世界广布共28属,占总属数的19.05%,代表属有黄芪属(*Astragalus*)、藜属(*Chenopodium*)、蓼属;热带成分共18属,占总属数的12.24%,代表属有苦苣菜属(*Ixeris*),其中泛热带分布类型占比最多,为8.16%;温带成分共计100属,占总属数的68.03%,代表属有蒿属、

委陵菜属,其中北温带分布类型占比最多,为22.45%;中国特有成分1种,为知母属(*Anemarrhena*),占总属数的0.68%。白音华二号矿排土场植物中,属的分布以温带成为主,其次为世界广布类型,热带成分占比较小(表9)。

3 讨论

通常植物群落内物种数量越多,不同生活型结构越复杂,群落越稳定。随复垦时间增加,群落内物种

表 9 种子植物属的区系分布
Table 9 Zonal distribution of seed plant genera

区系组	类型及变形	属数	占比/%
世界广布	1. 世界广布	28	19.05
热带成分	2. 泛热带分布	12	8.16
	3. 热带亚洲和热带美洲间断分布	3	2.04
	4. 旧世界热带	1	0.68
	6. 热带亚洲至热带非洲	1	0.68
	7. 热带亚洲(印度—马来西亚)	1	0.68
温带成分	8. 北温带	33	22.45
	8—4. 北温带和南温带(全温带)间断	14	9.52
	8—5. 欧亚和南美洲温带间断	1	0.68
	9. 东亚和北美洲间断	3	2.04
	10. 旧世界温带	19	12.93
	10—1. 地中海区、西亚和东亚间断	1	0.68
	10—2. 地中海区和喜马拉雅间断	1	0.68
	10—3. 欧亚和南非洲(有时也在大洋洲)间断	3	2.04
	11. 温带亚洲分布	9	6.12
	12. 地中海区、西亚至中亚	5	3.40
	12—3. 地中海区至温带、热带亚洲,大洋洲和南美洲间断	1	0.68
	13. 中亚	4	2.72
	13—1. 中亚东部(亚洲中部中)	1	0.68
	13—2. 中亚至喜马拉雅	1	0.68
	14. 东亚(东喜马拉雅—日本)	3	2.04
	14—2. 中国—日本(SJ)	1	0.68
特有成分	15. 中国特有	1	0.68
合计		147	1

数量、盖度、稳定性也会持续增加^[6]。春风^[12]于 2017 年对白音华矿区群落植被组成及物种多样性进行调查,发现白音华矿区共有植物 24 科 60 属 81 种,Shannon—Wiener 多样性指数(H)值约为 0.600~1.500,Simpson 优势度指数(D)值约为 0.350~0.800,物种丰富度(R)值在 4~10。本研究通过 2021 年对白音华二号矿排土场植被调查发现物种数 45 科 148 属 219 种,其中复垦工程所用植物 5 科 16 属 16 种,物种数较 2017 年提高了 170.37%,Shannon—Wiener 多样性指数(H)值在 0.837~2.542;Simpson 优势度指数(D)值在 0.420~1.212,物种丰富度(R)值在 3~14,所有指数较 2017 年均有明显增长。Simpson 优势度指数(D)增加是由于复垦工程中大量使用复垦草种且该类植物多为豆科、禾本科,适应力强生长量大,占据群落主导地位。另外物种数、Shannon—Wiener 多样性指数(H)及物种丰富度(R)增加说明排土场植物种类更加丰富,这可能是由于 2018 年前未开展矿山生态修复工程,排土场环境恶劣,植被难以存活且植被多为矿

区原生植被,而 2018 年后白音华矿区开展大面积排土场复垦工程,复垦所用豆科、禾本科草种极大提升了植被覆盖度,增加光能、二氧化碳、土壤水分及养分的利用率,增强对恶劣环境的抵抗,改善排土场立地条件,为自然恢复创造有利条件^[13-15]。排土场周边植物种子通过风力传播至排土场后能够存活,物种数量明显增加。另外发现排土场被子植物中双子叶植物占优势,双子叶植物光合效率更高、生长量更大,能更好的适应各类环境类型,有助于排土场形成丰富的群落类型,加快自然恢复速度。以上结果说明经过 4 年的自然与人工恢复,排土场植物多样性明显提升,这得益于人工恢复与自然恢复的共同作用。另外长期的人工恢复可能会导致排土场植被退化,因此在矿山生态修复工程中大力推广人工恢复的同时要与自然恢复相结合,探索更加适宜的恢复措施。

对优势科的调查统计发现,排土场内菊科、禾本科、豆科、藜科植物占据主导地位。由于排土场复垦工程中大量使用各类禾本科、豆科草种,其出苗率、生

长量、抗逆性较强。菊科、藜科植物在排土场周围天然草地广泛分布,种子较小、结实量大、易传播、适应性强^[16],使其成为占据主要地位的优势科。对属的调查统计发现,优势属为蒿属、委陵菜属、蓼属,此类植物根系庞大、生长迅速、花粉传播能力、生态适应性强,具备优良的防风固沙、重金属污染修复能力,是退化草地或次生演替地的先锋物种之一^[17]。对植物生活型的统计发现多年生草本植物种类多于一、二年生草本植物,多年生草本植物占据主导地位。对植物生态型的统计发现排土场内植物多数属于中生植物,其次为旱生植物,湿生植物、盐生植物、沙生植物极少。排土场内湿生植物共7种,湿生植物的出现说明排土场内局部区域已出现适宜湿生植物生长的小气候,湿地植物也能够一定程度改良土壤情况、吸引候鸟,增强排土场内生物群落的多样性及稳定性^[18]。藜科植物是一类良好的生态修复先锋物种,在露天煤矿生态修复初期可率先进入立地条件较差的排土场,后随群落的不断演替而逐步减少^[19],排土场内出现的盐生植物均属藜科,说明排土场部分区域仍存在土壤盐碱化问题。

从科的区系特征上看,世界广布型科占据主导地位,温带成分和热带成分所占比例相似,表明该植物区系在发展演替过程中与温带及热带均有一定关联^[20]。而从属的区系特征上看以温带为主,温带、热带交叉分布,符合其所处的北温带地域特性。

生物多样性是决定生态系统稳定性的重要因素之一,白音华二号矿排土场植物种类丰富,群落已具备一定抵御外界环境干扰的能力。经过长期自然恢复与人工恢复植物种类明显增加,植物群落已具备一定的稳定性但仍处于生态恢复的初级阶段,目前仍向正向演替的方向发展。

4 结论

1) 白音华二号矿排土场植物共45科148属219种。优势科为藜科、豆科、菊科、禾本科。物种生活型主要以多年生草本植物为主,生态型以中生型为主。

2) 植物群落共计43个,丰富度指数(R)值为3~14、Shannon—Wiener多样性指数(H)值为0.837~2.542、Simpson优势度指数(D)值为0.420~1.212。

3) 植物区系组成中,科的分布以世界广布型为

主导,与热带成分、温带成分具有广泛联系;属的分布以温带成分为主导,同时具有热带特征,符合其所处的北温带特征。

4) 白音华二号矿排土场经过长期自然恢复与人工恢复植物种类明显增加,物种多样性明显增加,植物群落已具备一定的稳定性但仍处于生态恢复的初级阶段,目前向正向演替发展。

参考文献:

- [1] 吕刚,刘雅卓,李叶鑫,等. 海州露天煤矿排土场植被恢复的土壤水文效应评价[J]. 生态环境学报,2017,26(1): 67—72.
- [2] 李叶鑫,吕刚,王道涵,等. 露天煤矿排土场复垦区不同植被类型土壤质量评价[J]. 生态环境学报,2019,28(4): 850—856.
- [3] 朱向前. 黑岱沟露天煤矿排土场土层重构及不同植被配置模式对土壤性质影响研究[D]. 上海:华东师范大学,2023.
- [4] 朱琦,聂欣然,张勇,等. 华北地区煤矸石山生态修复草本植物种优选[J]. 北京林业大学学报,2021,43(8): 90—97.
- [5] 卫智军,李青丰,贾鲜艳,等. 矿业废弃地的植被恢复与重建[J]. 水土保持学报,2003,17(4):172—175.
- [6] 吴翊平,周国驰,杨卓,等. 高寒地区煤矿排土场植被恢复研究——以内蒙古扎哈淖尔煤矿为例[J]. 生态学报,2022,42(24):10088—10097.
- [7] 李阳,侯志勇,陈薇,等. 大围山高山湿地植物多样性与区系组成研究[J]. 生态环境学报,2023,32(4):643—650.
- [8] 付必谦. 生态学实验原理与方法[M]. 北京:科学出版社,2006:185—190.
- [9] 李丽莉. 南宁市花卉公园植物物种调查及景观评价[D]. 南宁:广西大学,2019.
- [10] 吴征镒,周浙昆,李德铎,等. 世界种子植物科的分布区类型系统[J]. 云南植物研究,2003,25(3):245—257.
- [11] WU Z Y. The areal—types of Chinese genera of seed plants [J]. Plant Diversity,1991,13(S4):1—3.
- [12] 春风. 内蒙古典型草原区露天采煤对景观格局及土壤与植被影响的研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2019.
- [13] 康瑶,银敏华,马彦麟,等. 西北内陆干旱区水分调控对豆禾混播草地群落稳定性的影响及评价[J]. 草原与草坪,2022,42(4):121—132.
- [14] 谢开云,曹凯,万江春,等. 新疆半干旱区不同豆科/禾本

- 科牧草混播草地生产力的变化研究[J]. 草业学报, 2020, 29(4): 29—40.
- [15] 李明, 祁娟, 杨航, 等. 混播比例及播种方式对老芒麦与紫花苜蓿混播系统生产力及种间关系的影响[J]. 草原与草坪, 2022, 42(1): 29—37.
- [16] 王哲, 田胜尼, 张永梅, 等. 巢湖派河口滩涂植物群落特征研究[J]. 生态环境学报, 2022, 31(9): 1823—1831.
- [17] 姚付龙, 黄健, 闫俊杰, 等. 西天山北坡草甸群落表土花粉组合及其生态指示意义[J]. 生态环境学报, 2022, 31(7): 1350—1359.
- [18] 庄艳丽, 赵文智. 临泽荒漠绿洲湿地植物生态系列及其物种多样性研究[J]. 湿地科学, 2014, 12(4): 477—484.
- [19] 李雪洮. 石羊河下游退耕地植物群落次生演替研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2016.
- [20] 温晓迪, 陈菁菁, 普布次仁, 等. 西藏年楚河流域种子植物组成及区系特征[J]. 生物资源, 2021, 43(5): 496—504.

Plant diversity and systematic composition of dump site in Baiyinhua No.2 Mine

ZHANG Yi-hui¹, LONG Jin-fei^{1*}, ZHANG Zhong-qing¹, QUE Guo-ping¹, LIU Rui-xia¹, LI Zhi-yong², WU Zi-nian², ZHANG Zhi-qiang³

(1. Inner Mongolia TaiWei Ecological Science and Technology CO. LTD, Hohhot 010070, China; 2. Institute of Grassland Research of CAAS, Hohhot 010010; 3. Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China)

Abstract: 【Objective】 Master the current status of vegetation in the ecological restoration of the Baiyinhua No. 2 Mine dump, and explore the basic composition, species diversity, and characteristics of seed plant flora in the dump. 【Method】 The floristic seed plants of the dump were statistically analyzed following the basic principles of floristic geography. This analysis involved consulting data and conducting field investigations. We used a method of measuring biodiversity within a limited sample, through field sampling and sample processing, statistical analysis is conducted on the distribution, life form, and ecological structure of plant families and genera, and the species diversity of plant communities is calculated. 【Result】 The plants in the wetland consisted of 45 families, 148 genus and 219 species, with 51. Chenopodiaceae, Leguminosae, Asteraceae, Gramineous, plants predominated in this area. The plant life form is mainly perennial herbaceous plants, and the plant ecotype form is mainly mesophytic; This survey included 43 communities. Specie Richness Index was 3~14, Shannon—Wiener Diversity Index (H) was 0.837~2.541, The Simpson Diversity Index (D) was 0.420~1.212; We observed that families and genus of the plants were different. A total of 28 families spread around the world; 10 families belonged to temperate zone; 28 genera spread around the world; 100 families belonged to temperate zone. 【Conclusion】 The plant species have increased significantly after natural and artificial restoration, and the plant community has reached a certain degree of stability but is still in the preliminary stage of ecological restoration, currently undergoing positive succession.

Key words: open-pit mine; plant diversity; district system; dump; reclamation; plant community

(责任编辑: 靳奇峰)