

# 宁东矿区天然植物群落特征及其与土壤理化性质的关系

丰菲<sup>1,2</sup>, 许丽<sup>1,2</sup>, 顾清敏<sup>3</sup>, 刘莹<sup>1,2</sup>, 杨宇平<sup>1,2</sup>, 刘瑞瑶<sup>1,2</sup>

(1.内蒙古农业大学 沙漠治理学院, 内蒙古 呼和浩特 010018; 2.荒漠生态系统保护与修复国家林业局重点实验室, 内蒙古 呼和浩特 010018; 3.国家能源集团 宁夏煤业有限责任公司 羊场湾煤矿, 宁夏 银川 751409)

**摘要:** [目的] 研究宁东矿区天然植物群落特征与土壤理化性质的关系, 为宁东矿区植被重建过程中植物物种的选择提供科学依据。[方法] 以宁东矿区 6 种典型的天然植物群落和土壤为研究对象, 采用野外调查结合室内试验的方法, 对比分析不同群落的植物群落特征及其与土壤理化性质的关系。[结果] 宁东矿区 6 种天然植物群落共调查到植物 55 种, 隶属于 15 科 48 属, 集中分布于菊科、豆科、藜科和禾本科 4 科。细枝岩黄耆(*Hedysarum scoparium*) + 柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii*)—白莲蒿(*Artemisia sacrorum*) 群落灌木层植被盖度和高度在 6 个群落中均最高, 其数值分别为 48% 和 202.54 cm, 灌木物种柠条锦鸡儿在其中 5 个群落中均有分布且生长良好。灌木层 Patrick 丰富度指数与土壤碱解氮、砾石含量、速效钾和有机质呈正相关, 与 pH 值呈负相关; 草本层植物种 Patrick 丰富度指数与土壤有机质、田间持水量和速效磷呈正相关关系。[结论] 宁东矿区煤矸石山植被重建时, 对于覆土土质为壤质砂土或砂质壤土, 优先选择柠条锦鸡儿、细枝岩黄耆、黑沙蒿(*Artemisia ordosica*) 和沙拐枣(*Calligonum mongolicum*) 等灌木树种; 覆土土质为少砾质砂土时选沙冬青(*Ammopiathus mongolicus*) 和柠条锦鸡儿; 覆土土质为多砾质砂土时可选藏锦鸡儿(*Caragana tibetica*)、裸果木(*Gymnocarpus przewalskii*) 和胡枝子(*Lespedeza bicolor*) 等灌木物种。土壤容重对灌木物种多样性贡献率较大, 土壤田间持水量和有机质对草本植物多样性贡献率较大。

**关键词:** 植物种多样性; 自然植被群落; 土壤理化因子; 宁东矿区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2021)06-0048-09

中图分类号: Q948, X173

**文献参数:** 丰菲, 许丽, 顾清敏, 等. 宁东矿区天然植物群落特征及其与土壤理化性质的关系[J]. 水土保持通报, 2021, 41(6): 48-56. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2021.06.008; Feng Fei, Xu Li, Gu Qingmin, et al. Characteristics of natural plant community and its relationship with soil physi-chemical properties in Ningdong mining area [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41(6): 48-56.

## Characteristics of Natural Plant Community and Its Relationship with Soil Physi-Chemical Properties in Ningdong Mining Area

Feng Fei<sup>1,2</sup>, Xu Li<sup>1,2</sup>, Gu Qingmin<sup>3</sup>, Liu Ying<sup>1,2</sup>, Yang Yuping<sup>1,2</sup>, Liu Ruiyao<sup>1,2</sup>

(1.College of Desert Management, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010018, China; 2.Key Laboratory of Desert Ecosystem Protection and Restoration, State Forestry Administration, Hohhot, Inner Mongolia 010018, China; 3.Yangchangwan Coal Mine, Ningxia Coal Industry Co., Ltd., China Energy Group, Yinchuan, Ningxia 751409, China)

**Abstract:** [Objective] The relationship between natural plant community characteristics and soil physi-chemical factors in Ningdong mining area was studied, in order to provide basis for the selection of plant species for vegetation reconstruction in Ningdong mining area. [Methods] Six typical natural plant communities and soils in Ningdong mining area were taken as the research objects, and field investigation combined with indoor experiment were conducted to compare and analyze the plant community characteristics of different communities and their relationship with soil physi-chemical properties. [Results] A total of 55 plant species were found in 6 natural plant communities of Ningdong mining area, which belong to 15 families and 48

收稿日期: 2021-04-25

修回日期: 2021-07-21

资助项目: 国家重点研发计划项目“西北干旱荒漠区煤炭基地生态安全保障技术”(2017YFC0504400); 内蒙古重点专项“内蒙古典型矿区生态修复技术集成与示范”(2020ZD0020)

第一作者: 丰菲(1994—), 女(汉族), 内蒙古自治区商都县人, 硕士研究生, 研究方向为水土保持与荒漠化防治。Email: 2375747137@qq.com。

通讯作者: 许丽(1965—), 女(汉族), 内蒙古自治区五原县人, 博士, 教授, 主要从事矿区生态修复方面的研究。Email: xulinmg@163.com。

genera. They were concentrated in 4 families, such as Compositae, Leguminosae, Chenopodiaceae and Gramineae. The vegetation coverage and height of shrub layer in the *Hedysarum scoparium* + *Caragana korshinskii*-*Artemisia sacrorum* community were the highest among the 6 communities, with values of 48% and 202.54 cm, respectively. *Caragana korshinskii*, a shrub species, was distributed in 5 of 6 communities, with a good growth. Patrick richness index of shrub layer was positively correlated with soil alkali-hydrolyzale nitrogen, gravel content, available potassium and organic matter, and negatively correlated with pH value. Patrick richness index of herbaceous plant species was positively correlated with soil organic matter, field water holding capacity and available phosphorus. [Conclusion] Shrub species such as *Caragana korshinskii*, *Hedysarum scoparium*, *Artemisia ordosica* and *Calligonum mongolicum* should be preferred in vegetation reconstruction of coal gangue hill in Ningdong mining area when the soil cover is loamy sand or sandy loam; *Ammopiptanthus mongolicus* and *Caragana korshinskii* should be preferred when the soil cover is sandy soil with less gravel; shrub species such as *Caragana tibetica*, *Gymnokarpus przewalskii* and *Lespedeza bicolor* can be selected when the soil cover is sandy soil with a large amount of gravel. Soil bulk density had a greater contribution rate to shrub species diversity, and soil field water holding capacity and organic matter had a greater contribution rate to herbaceous plant diversity.

**Keywords:** diversity of plant species; natural vegetation community; edaphic physicochemical factors; Ningdong mine area

宁东煤田含煤面积 3 500 km<sup>2</sup>, 已探明储量 2.73 × 10<sup>14</sup> kg, 占宁夏回族自治区煤炭资源探明储量的 88.6%<sup>[1]</sup>, 煤炭开采为人类带来经济效益的同时, 也会致使矿区生态环境遭到破坏<sup>[2]</sup>。国内外研究<sup>[3-4]</sup>表明, 植被的恢复是改变矿区恶劣生态环境的有效途径, 植被恢复不仅可以构建退化矿区生态系统初始群落, 还可以在短期时间内有效的改良土壤结构, 增加肥力, 恢复土壤微生物种类及数量, 促使矿区整个生态系统朝正向发展。而矿区极端的生境使得植被的自然恢复极其缓慢, 一般需要 50~100 a 才能达到满意的覆盖度, 而土壤则需要 100~10 000 a 才能恢复<sup>[5]</sup>, 因此矿区生态修复过程中采取人工植被重建显得尤为重要。近年来, 国内外对煤矸石山的复垦大多通过灭火, 覆土整地和植被重建等方法; 由于煤矸石山与其他土壤存在差异, 因此需要参照区域群落组成, 选择适生的乡土优势种和建群种, 辅助外来树种进行植被恢复<sup>[6]</sup>。众多学者在矿区生态修复过程中提出了近自然生态修复的理念, 借鉴矿区周围未扰动区域的生态系统结构、组成和功能, 在尊重自然格局的基础上有效地结合人工诱导方式, 逐步接近或达到矿区周围未扰动生态系统结构和功能等<sup>[7]</sup>。王晓春等人<sup>[8]</sup>研究表明, 在人工加快矸石山植被恢复过程中, 优先选择原始自然植物为首选种类, 因此对矿区天然植物的研究尤为重要。目前, 对于宁东矿区煤矸石山的治理多进行覆土, 且覆土来源于矸石山周边土壤, 平整土地后进行植被的栽植。许丽等人<sup>[9]</sup>对宁东枣泉煤矸石山平台人工种植的侧柏 (*Platyclusus orientalis*)、侧柏+柠条锦鸡儿 (*Caragana korshin-*

*sii*) + 沙拐枣 (*Calligonum mongolicum*) 和柠条锦鸡儿+沙拐枣 3 种植被配置类型植物群落特征进行研究, 结果表明枣泉煤矸石山植被建制初期, 侧柏乔木型较为适宜。姚丽霞等人<sup>[10]</sup>对宁东羊场湾排矸场人工种植的乔灌木、灌木、观赏性灌木和灌木林 4 种植被配置类型的植物群落特征及各配置模式与保育系统经济效益进行研究, 从能值产出率、投资率等不同角度分别选出最优模式。郜超等人<sup>[11]</sup>通过对宁东羊场湾排矸场植被配置模式评价的研究表明, 植被的恢复重建是干旱区排矸场生态修复的主要技术, 研究区采取黄土覆盖+乔灌木结合种植是最佳的技术措施。目前, 一些学者对于宁东矿区排矸场生态重建的研究中普遍存在植被建制时间短的问题, 只能在植被建制短时间内筛选较适宜的模式, 由于排矸场覆土来源于矸石山周边, 因此对于矿区天然植物群落特征及土壤的研究至关重要。为此, 本文将通过研究宁东矿区天然植物群落特征及其与土壤理化因子的关系, 选择当地的适生植物种并了解影响植被自然分布的理化因子, 从而为宁东矿区煤矸石山生态重建过程中植物种的选择提供科学依据。

## 1 研究区概况

宁东矿区位于宁夏回族自治区灵武市境内, 地理坐标为 105°35'24"—106°22'12"E, 37°36'0"—38°0'36"N, 气候类型为典型的中温带大陆性气候, 年平均气温 6.8~8.7 °C, 年平均降水量 255 mm, 年平均蒸发量 2 088.20 mm, 区内干旱少雨, 蒸发强烈, 地形以低山丘陵为主, 地势大致呈东南向西北倾斜, 土壤类型有

淡灰钙土和风沙土等,有机质含量较低;植被主要以荒漠草原植被和草原带沙生植被为主<sup>[12-13]</sup>。灵武地区主要的灌木植物群落有猫头刺(*Oxytropis aciphylla*)、沙蒿(*Artemisia desertorum*)、柠条锦鸡儿、红砂(*Reaumuria soongarica*)和沙冬青(*Ammopiptanthus mongolicus*)等,常见的草本植物群落有沙生冰草(*Agropyron desertorum*)、芨芨草(*Achnatherum splendens*)和沙蓬(*Agriophyllum squarrosum*)等<sup>[14]</sup>。宁东矿区天然植物群落以灌木为主,主要有柠条锦鸡儿、细枝岩黄耆(*Corethroedendron scoparium*)、黑沙蒿(*Artemisia ordosica*)、沙冬青和藏锦鸡儿(*Caragana tibetica*)等。

## 2 研究方法

### 2.1 样地设置与调查取样

本研究以宁东矿区天然植物群落及土壤为研究对象,选取区内低缓半沙丘,固定、半固定沙地和低山丘陵 3 种主要地貌类型典型分布的柠条锦鸡儿+黑沙蒿—拐轴鸦葱(*Scorzonera divaricata*)(I)、细

枝岩黄耆+柠条锦鸡儿—白莲蒿(*Artemisia sacrorum*)(II)、细枝岩黄耆+沙拐枣—披碱草(*Elymus dahuricus*)(III)、黑沙蒿+白刺(*Nitraria tangutorum*)—狗尾草(*Setaria viridis*)(IV)、沙冬青+柠条锦鸡儿—地肤(*Kochia scoparia*)(V)和藏锦鸡儿—猪毛菜(*Salsola collina*)+芨芨草(VI)6 种天然植物群落进行研究,调查取样于 2019 年 8 月进行,在各个天然植物群落中设置 3 个 5 m×5 m 灌木样方,并以对角线形式设置 3 个 1 m×1 m 草本样方,在具有乔木树种的柠条锦鸡儿群落设置 3 个 10 m×10 m 乔木样方,分别调查样方内植被种类、盖度、高度、密度、胸径(基径)、冠幅等指标,取植被的地上部分带回实验室烘干称重,计算生物量。土壤样品的采集,在各群落的灌木样方内以对角线形式采集 0—20 cm 层土样 1 kg,以备土壤理化学性质(土壤砾石含量(>2 mm)、pH 值、速磷、速钾、碱解氮、有机质)的测定。同时取环刀及铝盒土壤样品,以备土壤容重和田间持水量的测定。样地及天然植物群落分布情况详见表 1。

表 1 宁东矿区样地基本概况

样地	经纬度	海拔/m	地貌	土壤质地	植被盖度/%	主要灌木物种
I	106°32′39.50″E 37°55′27.27″N	1 315	低缓半沙丘	砂质壤土	60	柠条锦鸡儿、黑沙蒿和沙冬青等
II	106°25′54.37″E 37°55′45.50″N	1 386	低缓半沙丘	壤质砂土	70	细枝岩黄耆、柠条锦鸡儿和沙拐枣等
III	106°38′27.85″E 38°03′39.36″N	1 327	固定、半固定沙地	壤质砂土	70	细枝岩黄耆、黑沙蒿和沙拐枣等
IV	106°41′53.17″E 38°03′00.67″N	1 322	固定、半固定沙地	砂质壤土	65	黑沙蒿和白刺
V	106°33′57.02″E 37°55′36.72″N	1 392	固定、半固定沙地	少砾质砂土	50	沙冬青、柠条锦鸡儿和胡枝子
VI	106°33′38.48″E 37°54′24.57″N	1 439	低山丘陵	多砾质砂土	35	藏锦鸡儿、胡枝子和蒙古莜等

### 2.2 植物群落特征指标计算

2.2.1 重要值计算 重要值可以反映一个物种在群落中的地位和作用,是该物种的综合数量指标。计算公式<sup>[9,15]</sup>为:

$$IV = (H_r + C_r + D_r + B_r) / 4 \quad (1)$$

式中: $H_r$  为相对高度(%);  $C_r$  为相对盖度(%);  $D_r$  为相对密度(%);  $B_r$  为相对生物量(%)。

2.2.2  $\alpha$  多样性指数计算 为了反映群落的物种组成、功能和结构的异质性,采用  $\alpha$  多样性指数进行分析,其计算公式<sup>[16]</sup>为:

$$\text{Patrick 丰富度指数}(R): \\ R = S \quad (2)$$

Shannon-Wiener 多样性指数( $H'$ ):

$$H' = - \sum P_i \ln(P_i) \quad (3)$$

Simpson 多样性指数( $D$ ):

$$D = 1 - \sum (P_i)^2 \quad (4)$$

Pielou 均匀度指数( $J_{sw}$ ):

$$J_{sw} = H' / \ln S \quad (5)$$

式中: $S$  为物种  $i$  所在群落的物种总数(种);  $P_i$  为物种  $i$  的相对重要值(%)。

2.2.3 Sorenson 相似性系数 Sorenson 相似性指数测度各群落间相似性,计算公式<sup>[17]</sup>为:

$$C_j = 2j / (a + b) \quad (6)$$





续表 2:

群落结构	种名	重要值/%					
		I	II	III	IV	V	VI
草 本 层	拐轴鸦葱( <i>Scorzonera divaricate</i> )	22.22	—	—	—	—	—
	鹅绒藤( <i>Cynanchum chinense</i> )	17.89	—	—	3.20	—	—
	披碱草	—	—	14.61	—	—	—
	芨芨草	10.11	—	—	—	—	16.94
	阿尔泰狗娃花( <i>Heteropappus altaicus</i> )	8.73	—	7.15	—	2.57	—
	藜( <i>Chenopodium album</i> )	—	—	8.34	11.31	2.30	—
	角蒿( <i>Incarvillea sinensis</i> )	7.94	21.44	4.69	3.94	4.10	—
	骆驼蓬( <i>Peganum harmala</i> )	—	—	—	—	—	7.92
	紫苜蓿( <i>Medicago sativa</i> )	7.14	—	—	—	—	—
	菊叶香藜( <i>Chenopodium foetidum</i> )	—	—	—	—	6.77	—
	白草( <i>Pennisetum centrasiatum</i> )	—	—	—	—	6.55	—
	冷蒿( <i>Artemisia frigida</i> )	—	—	—	—	—	6.45
	苦豆子( <i>Sophora alopecuroides</i> )	—	—	—	6.33	—	—
	沙鞭( <i>Psammochloa villosa</i> )	—	—	6.08	4.93	—	—
	白莲蒿	—	45.39	5.38	4.51	—	—
	雾冰藜( <i>Bassia dasyphylla</i> )	—	—	4.93	3.86	3.69	5.29
	沙芥( <i>Pugionium cornutum</i> )	—	—	—	—	4.76	—
	蓝刺头( <i>Echinops sphaerocephalus</i> )	4.49	8.61	4.70	6.48	3.80	—
	狗尾草	—	10.08	4.45	31.01	8.72	7.56
	甘草( <i>Glycyrrhiza uralensis</i> )	—	—	—	—	3.71	—
	芦苇( <i>Phragmites australis</i> )	—	—	3.64	—	—	—
	稗( <i>Echinochloa crusgalli</i> )	3.36	—	0.88	—	—	—
	苦苣菜( <i>Sonchus oleraceus</i> )	3.02	—	—	—	—	—
	刺沙蓬( <i>Salsola ruthenica</i> )	—	—	2.83	3.44	5.07	14.64
	白花草木犀( <i>Melilotus albus</i> )	—	—	2.69	—	—	4.18
	香蒿( <i>Seriphidium minchunense</i> )	2.50	—	—	—	—	—
	白茎盐生草( <i>Halogeton arachnoideus</i> )	2.40	—	—	2.82	1.45	1.98
	大戟( <i>Euphorbia pekinensis</i> )	—	—	—	—	2.38	6.40
	蒺藜( <i>Tribulus terrestris</i> )	1.90	—	—	0.80	—	—
	地锦( <i>Euphorbia humifusa</i> )	—	—	1.88	—	1.62	—
	蓼子朴( <i>Inula salsoloides</i> )	1.82	—	—	—	—	—
	地梢瓜( <i>Cynanchum thesioides</i> )	1.78	—	5.46	5.77	—	—
	菟丝子( <i>Cuscuta chinensis</i> )	—	—	—	—	1.71	1.43
	中华小苦荬( <i>Ixeridium chinense</i> )	1.68	—	4.62	2.15	1.49	—
	画眉草( <i>Eragrostis pilosa</i> )	—	—	1.56	—	—	—
	猪毛菜	1.53	—	1.66	—	2.86	25.34
地肤	1.48	12.47	13.57	8.49	34.49	1.86	
沙蓬	—	1.99	—	0.96	—	—	
飞廉( <i>Carduus nutans</i> )	—	—	0.90	—	1.96	—	
合计		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

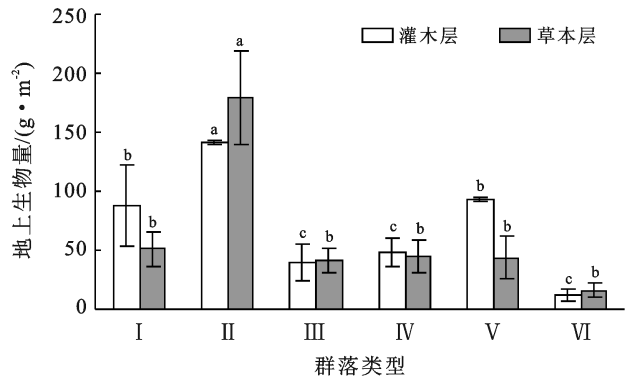
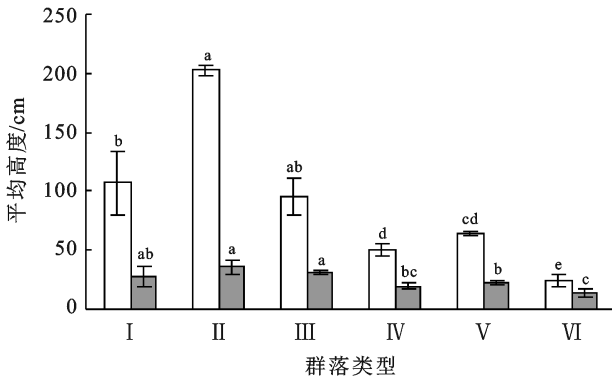
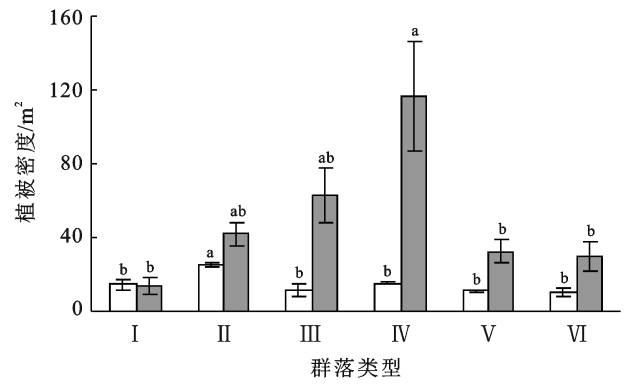
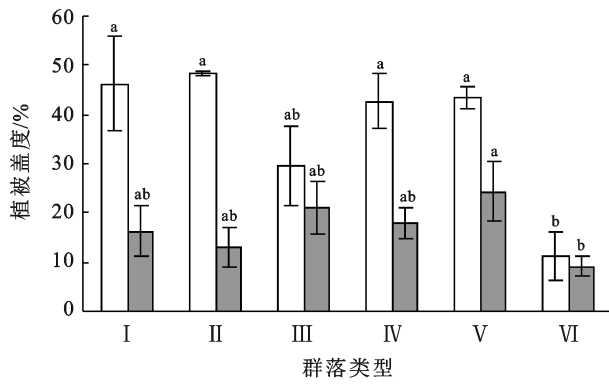
注:“—”表示各群落类型中未出现该种。I 柠条锦鸡儿+黑沙蒿—拐轴鸦葱群落, II 细枝岩黄耆+柠条锦鸡儿—白莲蒿群落, III 细枝岩黄耆+沙拐枣—披碱草群落, IV 黑沙蒿+白刺—狗尾草群落, V 沙冬青+柠条锦鸡儿—地肤群落, VI 藏锦鸡儿—猪毛菜+芨芨草群落。下同。

均匀度反映样地植物分布的均匀程度,矿区 6 个天然植物群落灌木层和草本层 Pielou 均匀度均无显著差异,细枝岩黄耆+沙拐枣—披碱草群落灌木层和草本层的 Pielou 均匀度指数在 6 个群落中均为最高,其数值分别为 0.94,0.91;沙冬青群落均最低,其数值

为 0.88 和 0.85,由于其灌木层植物约 55% 个体数为沙冬青,草本植物个体数多集中于其草本植物优势种地肤上,因此该群落均匀度较低。多样性指数是物种丰富度和均匀度综合的数量指标,6 个群落中细枝岩黄耆+柠条锦鸡儿—白莲蒿群落灌木层 Simpson 多样性

和 Shannon-Wiener 多样性指数数值均为最高,草本层则均最低其数值分别为 0.67 和 1.27,主要由于其灌木

物种在每个样方中出现,均匀性较好,草本层多样性低由于其草本植物优势种白莲蒿所占比例较高。



注:图中小写字母表示差异性,不同小写字母表示同一层次不同群落类型差异显著( $p < 0.05$ )。下同。

图 1 宁东矿区不同群落类型植物生长状况特征

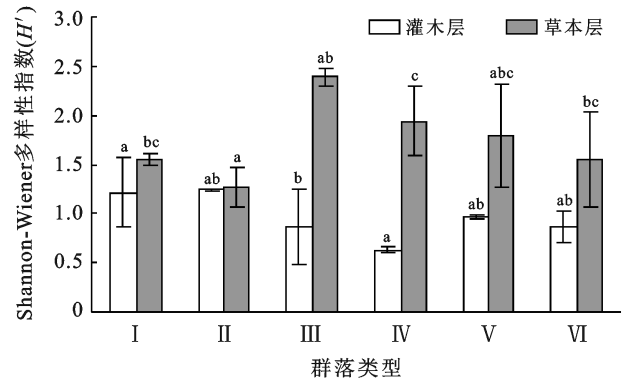
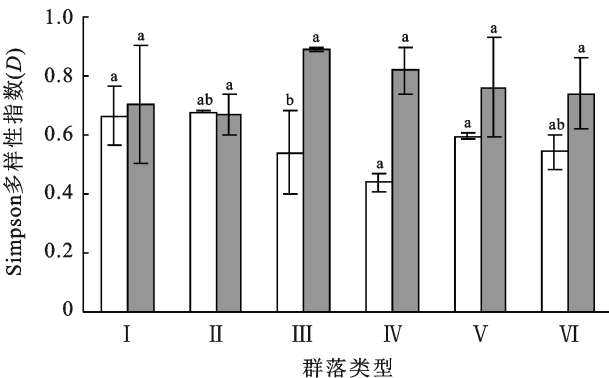
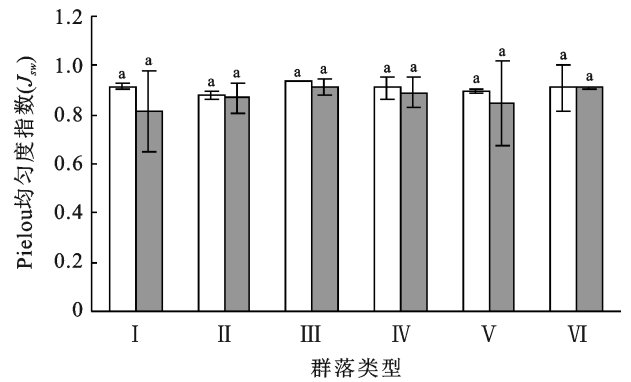
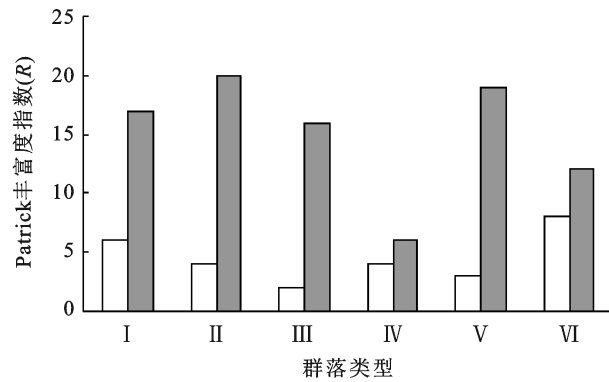


图 2 宁东矿区不同植被群落类型  $\alpha$  多样性指数特征

### 3.3 不同群落类型物种 Sorenson 相似性

由表 3 灌木层物种相似性指数可知,群落 II 和 III 物种相似性最高为 0.75,两群落共有物种细枝岩黄耆、柠条锦鸡儿和沙拐枣 3 种,主要由于两样地灌木层优势种均为细枝岩黄耆,因此在灌木物种组成上相似性较高。群落 IV 与 II 和 V 物种相似性指数均为 0.00,由于群落 IV 所含灌木物种仅有黑沙蒿和白刺两种。灌木物种柠条锦鸡儿在 I, II, III, V 和 VI 这 5 个群落中均有分布且生长良好,由此可知柠条锦鸡

儿在当地生长较为适宜。群落 VI 所含灌木种类最多而与其他群落相似性较低,主要由于藏锦鸡儿—猪毛菜+芨芨草群落灌木层的藏锦鸡儿、裸果木、霸王、蒙古犹和华北驼绒藜仅在群落 VI 生长。由表 3 草本层物种相似性指数可知,群落 III 和 V 共有黎和角蒿等 12 种,其物种相似性最高为 0.62,群落 II 和 VI 物种相似性最低为 0.22。其中草本植物地肤在 6 个群落中均有分布,角蒿、蓝刺头和狗尾草在其中 5 个群落分布。

表 3 研究区不同群落物种 Sorenson 相似性指数 ( $C_j$ )

群落类型	样地	I	II	III	IV	V	VI
灌木层	I	1.00					
	II	0.40	1.00				
	III	0.40	0.75	1.00			
	IV	0.25	0.00	0.33	1.00		
	V	0.44	0.29	0.29	0.00	1.00	
	VI	0.29	0.17	0.33	0.20	0.36	1.00
草本层	I	1.00					
	II	0.26	1.00				
	III	0.43	0.38	1.00			
	IV	0.48	0.55	0.61	1.00		
	V	0.39	0.32	0.62	0.46	1.00	
	VI	0.28	0.22	0.38	0.36	0.52	1.00

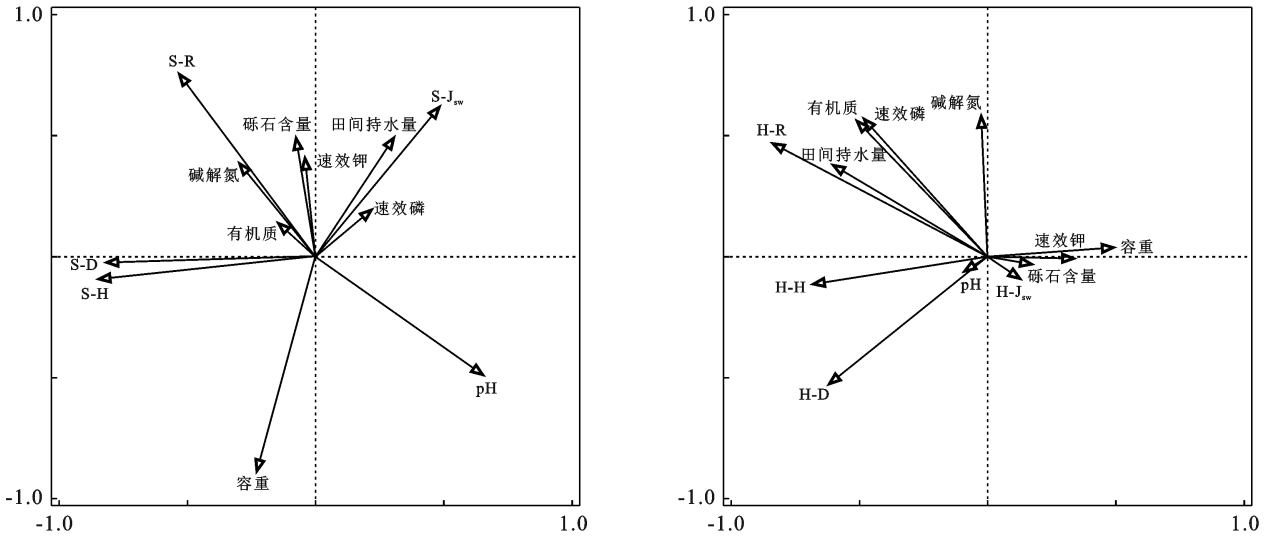
### 3.4 不同群落类型 $\alpha$ 多样性指数与土壤理化因子的相关关系

进行冗余分析(RDA)过程中,分别以宁东矿区 6 种典型的天然植物群落灌木层和草本层的 Patrick 丰富度、Pielou 均匀度、Shannon-Wiener 多样性和 Simpson 多样性 4 个指数作为响应变量,以各群落土壤理化因子(土壤容重、田间持水量、砾石含量、有机质、pH 值、碱解氮、有效磷和速效钾)作为解释变量,进行两者之间的冗余分析,以期得到影响各群落植物种多样性指数的土壤理化因子。由冗余分析结果可知,灌木层冗余分析前两个排序轴解释率为 72.37%。由图 3 可知,灌木层 Pielou 均匀度指数与土壤田间持水量呈正相关关系,与土壤容重呈负相关;Patrick 丰富度指数与土壤碱解氮、砾石含量、速效钾和有机质呈正相关,与 pH 值呈负相关;总体来看,土壤容重和 pH 对各群落植物种多样性贡献率较大,分别为 33.3% 和 33.1%。由图 3 可知,草本层植物种 Patrick 丰富度指数与土壤有机质、田间持水量和速效磷呈正相关关系,土壤田间持水量和有机质对群落草本层植物种多样性贡献率较大,分别为 28.5% 和 24.5%。

## 4 讨论

本研究通过对宁东矿区 6 种天然植物群落类型

进行研究,共调查到植物 55 种,隶属于 15 科 48 属,集中分布于菊科、豆科、藜科和禾本科。许丽等人<sup>[9]</sup>对宁东枣泉煤矸石山人工配置类型样地植物种研究结果表明,植物种也集中分布于这 4 科,可能由于研究样地均属于宁东矿区。研究区灌木物种柠条锦鸡儿在其中 5 个群落中均有分布且长势较好,在干旱半干旱区种植柠条锦鸡儿具有显著的生态恢复效应<sup>[15]</sup>,因此在宁东矿区植被重建时可优先选择灌木物种柠条锦鸡儿。植物种多样性可以反映群落结构特征,稳定性和发展阶段等问题<sup>[19]</sup>。6 个群落中藏锦鸡儿—猪毛菜+芨芨草群落的灌木层植物种类最多为 8 种,均为矮小灌木且呈簇状分布,藏锦鸡儿盖度最大为 7%,灌木植物的平均高度为 24.56 cm,其灌木层平均高度与其他 5 个群落显著差异;主要由于该样地砾石含量所占的百分数在 6 个群落中最大,为 22.11%,与其他群落土壤质地存在差异,因此其物种组成与其他群落间存在显著差异。矿区 6 个天然植物群落灌木层和草本层 Pielou 均匀度均无显著差异,草本层和灌木层均匀度指数最低为 0.85,最高为 0.94;且各群落 Pielou 均匀度指数均表现为灌木层 > 草本层,主要由于各群落以灌木植物为主且均为当地原始天然植被类型,因此其灌木层均匀度均较高。



注: S-R 为灌木层 Patrick 丰富度指数; S-H 为灌木层 Shannon-Wiener 多样性指数; S-D 为灌木层 Simpson 多样性指数; S-J<sub>sw</sub> 为灌木层 Pielou 均匀度指数; H-R 为草本层 Patrick 丰富度指数; H-H 为草本层 Shannon-Wiener 多样性指数; H-D 为草本层 Simpson 多样性指数; H-J<sub>sw</sub> 为草本层 Pielou 均匀度指数。

图 3 不同样地类型植物物种多样性与土壤理化因子的关系

通过冗余分析可知,灌木层 Patrick 丰富度指数与土壤碱解氮、砾石含量、速效钾和有机质呈正相关,土壤容重对各群落植物物种多样性贡献率较大;草本层植物种 Patrick 丰富度指数与土壤有机质、田间持水量和速效磷呈正相关关系,土壤田间持水量和有机质对群落草本层植物种多样性贡献率较大。李学斌等人<sup>[20]</sup>通过对宁夏盐池县荒漠草原的土壤粒径及养分关系的研究表明,不同群落间土壤粒径分布差异明显,土壤颗粒组成、结构和孔隙数量影响植被的生长,与本研究结果相似。李向磊等人<sup>[21]</sup>通过对内蒙古胜利煤矿周边不同距离草地植物与土壤因子冗余分析结果表明,植物多样性指数与土壤有机质,含水量,速效磷等呈正相关。Noumi<sup>[22]</sup>研究表明土壤有机质,磷含量对植被有一定影响。贾荣等人<sup>[23]</sup>在宁夏东北部荒漠草原区研究样地调查可知,其土壤平均 pH 值 8.81 与本研究样地 pH 值均值 8.84 仅差 0.03,均属于碱性土,可能由于研究样地均在干旱区的宁夏回族自治区境内,且研究区均与灵武市较近,因此土壤 pH 相近。藏锦鸡儿—猪毛菜+芨芨草群落与其他群落 Sorenson 相似性较低,由于其土壤类型的不同,因此在物种组成上存在明显差异,李亚等人<sup>[24]</sup>通过对甘肃引黄灌区天然植被的研究表明,种群不同其土壤特性和立地条件也存在差异。

## 5 结论

(1) 宁东矿区 6 种天然植物群落中共调查到植物 55 种,隶属于 15 科 48 属,集中分布于菊科、豆科、藜科和禾本科 4 科。

(2) 宁东矿区煤矸石山植被重建时,对于覆土土质为壤质砂土或砂质壤土,优先选择柠条锦鸡儿、细枝岩黄耆、黑沙蒿和沙拐枣等灌木树种;少砾质砂土选沙冬青和柠条锦鸡儿;多砾质砂土可选藏锦鸡儿、裸果木和胡枝子等灌木物种。

(3) 灌木层 Patrick 丰富度指数与土壤碱解氮、砾石含量、速效钾和有机质呈正相关,与 pH 值呈负相关;土壤容重对各群落灌木层植物种多样性贡献率较大;草本层植物种 Patrick 丰富度指数与土壤有机质、田间持水量和速效磷呈正相关关系,土壤田间持水量和有机质对群落草本层植物种多样性贡献率较大。

## [ 参 考 文 献 ]

- [1] 孟卿.宁夏灵武矿区地温状况及热害分布规律研究[D].北京:中国地质大学(北京),2019.
- [2] 郭洋楠,孙安安,吕凯,等.三种强旱生植物在鄂尔多斯矿区生物修复中的生理生态适应性[J/OL].水土保持通报:1-8[2021-09-04].<https://doi.org/10.13961/j.cnki.stbctb.20200521.001>.
- [3] 李瑶,冯昶瑞,周膺卓,等.阳泉矿区煤矸石山复垦地不同植被根际土壤酶活性季节变化[J].应用与环境生物学报,2021,27(2):416-423.
- [4] 孙干.干旱矿区生态修复抗旱材料定量选择试验[D].北京:中国矿业大学,2016.
- [5] 李霖,李素清.阳泉矿区煤矸石山复垦地不同植被下草本植物群落优势种种间关系及生态位[J].中国农学通报,2019,35(1):80-87.
- [6] 冯国宝,阮梦颖,李海波,等.浅析常村煤矿矸石山植被生态重建技术及效益[J].中国煤炭,2021,47(2):76-82.



- [7] 杨翠霞,张成梁,刘禹伯,等.矿区废弃地近自然生态修复规划设计[J].江苏农业科学,2017,45(17):269-272.
- [8] 王晓春,蔡体久,谷金锋.鸡西煤矿矸石山植被自然恢复规律及其环境解释[J].生态学报,2007,27(9):3744-3751.
- [9] 许丽,丰菲,刘莹,等.煤矸石山植物物种多样性与土壤化学因子的关系:以灵武矿区生态修复初期为例[J].煤炭科学技术,2020,48(4):97-104.
- [10] 姚丽霞,王进鑫,党倩楠,等.西北干旱荒漠区排矸平台不同配置与保育模式重建植被生态能值分析[J].生态学报,2020,40(23):8729-8742.
- [11] 郜超,张继平,石长春,等.干旱区排矸场植物配置模式评价:以神华宁煤集团羊场湾煤矿排矸场为例[J].陕西林业科技,2021,49(2):36-41.
- [12] 杨宇平,许丽,丰菲,等.基于植被重建的宁东矿区煤矸石山立地类型及其特征[J].水土保持通报,2020,40(3):202-207.
- [13] 闫凤飞.基于 Fourier 分析的煤炭开采对植被的影响范围研究[D].北京:中国地质大学(北京),2020.
- [14] 郑雯丹.宁夏灵武市植被覆盖动态变化及驱动力因素分析[D].内蒙古呼和浩特:内蒙古农业大学,2020.
- [15] 布仁图雅,姜慧敏.3 种重要值计算方法的比较分析[J].环境与发展,2014,26(6):64-67.
- [16] 李淑君,李国旗,王磊,等.荒漠草原区不同林龄柠条林物种多样性研究[J].干旱区资源与环境,2014,28(6):82-87.
- [17] 宿少锋,薛杨,林之盼,等.海南省文昌市废弃钛矿区物种多样性特征与环境因子的关系[J].水土保持通报,2020,40(4):155-162.
- [18] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [19] Christiane R, Jens S, Annett L, et al. A functional trait-based approach to understand community assembly and diversity-productivity relationships over 7 years in experimental grasslands [J]. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics, 2013, 15(3): 139-149.
- [20] 李学斌,张义凡,陈林,等.荒漠草原典型群落土壤粒径和养分的分布特征及其关系研究[J].西北植物学报,2017,37(8):1635-1644.
- [21] 毕银丽,李向磊,彭苏萍,等.露天矿区植物多样性与土壤养分空间变异性特征[J].煤炭科学技术,2020,48(12):205-213.
- [22] Zouhaier N. Effects of exotic and endogenous shrubs on understory vegetation and soil nutrients in the South of Tunisia [J]. Journal of Arid Land, 2015,7(4):481-487.
- [23] 贾荣,兰登明,郭威星,等.宁夏东北部典型荒漠草原植物群落与土壤养分特征[J].生态环境学报,2020,29(3):483-488.
- [24] 李亚,王辉,魏怀东,等.甘肃引黄灌区典型天然群落分布特征[J].防护林科技,2013,31(10):1-2,12.

(上接第 47 页)

- [24] 边凯,高君亮,辛智鸣,等.乌兰布和沙漠东北缘绿洲防护林体系防风阻沙能力研究[J].首都师范大学学报(自然科学版),2021,42(1):48-53.
- [25] 尚润阳.地表覆盖对土壤风蚀影响机理及效应研究[D].北京:北京林业大学,2007.
- [26] Lancaster N, Baas A. Influence of vegetation cover on sand transport by wind: field studies at Owens Lake, California [J]. Earth Surface Processes and Landforms: the Journal of the British Geomorphological Group, 1998,23(1):69-82.
- [27] 王晓艺,苏正安,马菁,等.基于风蚀模型的张家口市风力侵蚀时空分布特征[J].草业科学,2020,37(7):1405-1415.
- [28] 张奕,肖辉杰,辛智鸣,等.乌兰布和沙区典型灌木防风阻沙效益[J].中国水土保持科学(中英文),2021,19(1):87-96.
- [29] 郭树江,杨自辉,王强强,等.青土湖干涸湖底风沙区植被特征与地表输沙量关系[J].水土保持研究,2021,28(1):19-24.
- [30] 董治宝,陈渭南,董光荣,等.植被对风沙土风蚀作用的影响[J].环境科学学报,1996,16(4):437-443.