

# 基于植被重建的宁东矿区煤矸石山 立地类型及其特征

杨宇平<sup>1,2</sup>, 许丽<sup>1,2</sup>, 丰菲<sup>1,2</sup>, 郑雯丹<sup>1,2</sup>, 刘莹<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 010011;

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)

**摘要:** [目的] 研究煤炭开采形成的煤矸石山占压土地并造成的地表植被破坏, 正确划分煤矸石山立地类型, 为矿区生态恢复与重建提供依据。[方法] 以宁东矿区煤矸石山为研究对象, 选取微地形、海拔、覆土厚度、土壤质地等 10 个立地因子进行调查分析, 利用主成分分析和聚类分析等方法, 划分煤矸石山立地类型。[结果] 应用主成分分析法确定出主导立地因子为: 微地形、覆土厚度、土壤质地; 再依据主导因子对研究样地进行聚类分析划分出宁东矿区煤矸石山 3 个立地类型组, 5 个立地类型亚组, 8 个立地类型。煤矸石山平台面积较大, 边坡坡度 32°~40°之间, 覆土厚度多在 30 cm 以上, 土壤田间持水量 16.82%~34.85%, 全 K 含量 34.29~46.61 g/kg, 属于极高水平, 全 P 含量 0.31~0.62 g/kg, 为中下或低水平, 而土壤有机质、全 N 含量均属于极低水平, 煤矸石山土壤偏碱性。[结论] 在宁东矿区煤矸石山重建时应因地制宜, 覆土砾石含量较少时, 选择以乔木为主的乔灌型混交模式, 或以灌木为主的灌木林或灌草型; 砾石含量较多时, 选择以草本为主的灌草型; 土壤为轻砾石土时, 撒播草籽。

**关键词:** 煤矸石山; 立地类型; 植被重建; 宁东矿区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2020)03-0202-06

中图分类号: X171.4

**文献参数:** 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. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2020.03.029; Yang Yuping, Xu Li, Feng Fei, et al. Site types and characteristics of coal gangue hill based on vegetation reconstruction in Ningdong mining area [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(3): 202-207.

## Site Types and Characteristics of Coal Gangue Hill Based on Vegetation Reconstruction in Ningdong Mining Area

Yang Yuping<sup>1,2</sup>, Xu Li<sup>1,2</sup>, Feng Fei<sup>1,2</sup>, Zheng Wendan<sup>1,2</sup>, Liu Ying<sup>1,2</sup>

(1. College of Desert Control Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural

University, Hohhot, Inner Mongolia 010011, China; 2. Key Laboratory of Desert Ecosystem

Conservation and Restoration, State Forest Administration of China, Hohhot, Inner Mongolia 010018, China)

**Abstract:** [Objective] The coal gangue mountains, the occupied land, and the surface vegetation destroyed by coal mining were analyzed to classify the types of coal gangue site properly. The objective of the study was to provide a basis for ecological restoration and reconstruction of mining areas. [Methods] The coal gangue in the Ningdong mining area was taken as the research object. Ten site factors were investigated and analyzed for microtopography, altitude, thickness of covering soil, and soil texture. Methods such as principal component analysis and cluster analysis were used to classify coal gangue mountain site types. [Results] The dominant factors were determined by principal component analysis as microtopography, thickness of covering soil, and soil texture. Afterwards, according to the dominant factors, the coal gangue mountains in the Ningdong mining area were classified into three site type groups, five site type subgroups, and eight site types through cluster analysis for various areas. The coal gangue platform had a large area, with slopes between 32° and

收稿日期: 2019-12-06

修回日期: 2020-02-18

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), “采煤迹地植被重建与保育技术研究”(2017YFC0504402)

第一作者: 杨宇平(1995—), 女(汉族), 内蒙古自治区赤峰市人, 硕士研究生, 研究方向为水土保持与荒漠化防治。Email: 2250221331@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.

40°, and the thickness of the coal gangue overburden was >30 cm. The soil field water capacity was between 16.82% and 34.85%, and the total K content was between 34.29 and 46.61 g/kg, which was extremely high. The total P content was between 0.31 and 0.62 g/kg, which was medium to low level. However, soil organic matter and total N content were at very low levels, and the soil of the coal gangue was more alkaline. [Conclusion] The reconstruction of gangue in Ningdong mining area should take measures according to local conditions. When gravel is less in overlaying soil, the arbor-shrub mixed pattern is selected with arbor based, or shrub pattern, or shrub grass pattern with shrub based. Whereas, the shrub grass pattern with grass based is selected when gravel is more. When the soil is light gravel, grass seeds are sown.

**Keywords:** coal gangue mountain; site type; vegetation reconstruction; Ningdong mining area

国家规划的14个大型煤炭基地之一的宁东矿区位于西北干旱荒漠区,为国家生态安全格局“两屏三带”的北方防沙带,是国家“一带一路”的重点建设区域<sup>[1]</sup>,该区气候干旱、降水稀少,土壤水分长期处于负平衡状态,是中国的典型生态脆弱区,潜在的水土流失和风蚀沙化严重<sup>[2]</sup>。随着煤炭资源的开采,更加剧了本矿区生态系统结构变异、生态功能退化、生态稳定性减弱,同时造成地形地貌受损、土地占压等生态环境问题。宁东矿区煤炭开采方式以井工开采为主,形成大面积煤矸石山,造成的土地占压和地表植被破坏更为严重,亟待进行植被重建,因此划分煤矸石山立地类型成为矿区生态恢复及植被重建的首要工作。

目前,国内外对立地类型划分多集中在造林地<sup>[3-7]</sup>,近年来采石场<sup>[8-9]</sup>、矿山<sup>[10-11]</sup>立地类型分类的研究也有报道,但对煤矿区矸石山立地类型划分的研究至今未见报道。划分立地可采用立地指数法<sup>[12]</sup>进行立地划分与评价,也可通过数量化理论<sup>[13-14]</sup>、主成分分析<sup>[15-16]</sup>、多元回归分析<sup>[3,9]</sup>等数理统计方法在立地因子中筛选主导因子,从而划分立地类型。煤矸石山立地类型的划分可为植被重建时适宜植物种的选择及其保育技术的制定提供依据,是矿区生态恢复的关键。本研究以宁东矿区煤矸石山为研究对象,探究影响煤矸石山立地条件的主导因子,从而划分煤矸石山立地类型,再结合不同立地类型特征进行分析,为矿区生态恢复与重建提供参考。

## 1 研究区概况

宁东矿区位于宁夏回族自治区中部的灵武市,地理坐标 105°35'24"—106°22'12"E,37°36'0"—38°0'36"N。宁东矿区煤炭资源储量丰富,有10余个生产矿井,已探明储量达  $2.70 \times 10^{10}$  t,矿区煤炭年产量为  $5.80 \times 10^7$  t,矸石年产量  $1.88 \times 10^6$  t<sup>[17]</sup>。研究区干旱少雨,年平均气温 8~9℃,年降水量 300 mm 以下,蒸发强烈,年日照时数 3 000 h 左右,年总太阳总辐射  $5\ 700 \sim 6\ 100$  MJ/m<sup>2</sup>。地形以低山丘陵为主,地势大致呈东南向西北倾斜。土壤以灰钙土为主,另有风沙土、潮土和盐土,植被主要以荒漠草原和草原带沙生植被为主,

荒漠草原植被包括猫头刺(*Oxytropis aciphylla*)、骆驼蓬(*Peganum harmala*)、地锦(*Euphorbia humifusa*)、苦豆子(*Sophora alopecuroides*)等,沙生植被有沙蒿(*Artemisia desertorum*)、芨芨草(*Achnatherum splendens*)、沙米(*Agriophyllum squarrosum*)等<sup>[18]</sup>。

本研究调查的煤矸石山位于羊场湾煤矿、枣泉煤矿和灵新煤矿,各煤矸石山地理位置见图1。

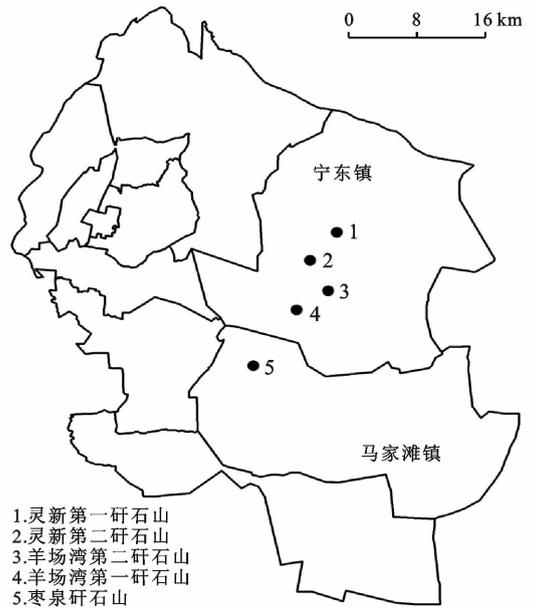


图1 宁东矿区煤矸石山地理位置

宁东矿区开采方式均以井工开采为主,排矸年限 10 a 以上,矸石堆放形成煤矸石山,有平台和边坡 2 种微地形。自 2016 年开始,各煤矿陆续对煤矸石山进行覆土及植被重建,覆土来源于矸石山周边土地,土质以砂土及砾质砂土为主,宁东矿区煤矸石山基本情况见表 1。

## 2 材料与方方法

### 2.1 立地因子筛选

根据各煤矸石山实地调查及相关研究方法,将能够反映煤矸石山立地类型特征的地形因子和土壤因子作为立地因子筛选依据<sup>[8-9]</sup>,筛选出微地形  $X_1$ ,海

拔高度  $X_2$  (m), 覆土厚度  $X_3$  (cm), 土壤质地  $X_4$ , 土壤田间持水量 ( $X_5/\%$ ), 有机质含量  $X_6$  (g/kg), 全 N 含量  $X_7$  (g/kg), 全 P 含量  $X_8$  (g/kg), 全 K 含量  $X_9$  (g/kg), 坡向  $X_{10}$  这 10 个立地因子。

表 1 宁东矿区煤矸石山概况

煤矸石山	地理坐标	矸石山面积/hm <sup>2</sup>	边坡坡度/ (°)	植被类型	人工建植年份
枣泉矸石山	106°31'36"E, 37°55'38"N	21.80	26~35	平台人工撒播草籽及种植侧柏 ( <i>Platycladus orientalis</i> )、柠条锦鸡儿 ( <i>Caragana korshinskii</i> ) 等乔灌木, 边坡人工撒播草籽	2018 年
羊场湾第一矸石山	106°35'36"E, 37°59'32"N	11.01	30~35	平台人工种植柠条锦鸡儿、沙蒿、蜀葵 ( <i>Althaea rosea</i> ) 等, 边坡无人工	2016—2018 年
羊场湾第二矸石山	106°37'56"E, 38°0'50"N	6.74	28~34	平台人工撒播草籽, 边坡无人工	2016—2018 年
灵新第一矸石山	106°38'44"E, 38°5'2"N	5.20	29~35	人工撒播草籽	2018 年
灵新第二矸石山	106°36'33"E, 38°3'3"N	1.00	37~40	自然植被	—

## 2.2 样地设置与指标测定

2018 年 9 月, 通过前期对研究区资料的整理分析, 并结合野外实地调查, 对宁东矿区的羊场湾煤矿、枣泉煤矿、灵新煤矿等矿区的煤矸石山进行典型样地调查, 根据微地形及实地状况设置样地 14 个。微地形有平台和边坡 2 种, 使用 GPS 对各样地进行定位, 并调查海拔高度; 手持罗盘仪调查边坡坡度和坡向, 覆土厚度通过盒尺测得, 并在平台采取“S 形”取样法设土壤剖面, 边坡分别在坡上、中、下部设土壤剖面, 共设 52 个土壤剖面。在剖面表层用环刀、铝盒取样, 同时取 1 kg 混合土样用于土壤理化性质分析, 将样品带回实验室, 以常规方法测定土壤质地、土壤田间持水量、土壤有机质含量、土壤全 N, 全 P, 全 K 含量等土壤理化性质指标<sup>[19]</sup>。

## 2.3 立地类型划分

采用定性与定量相结合的方法分析立地因子, 对  $X_1, X_{10}$  等描述性因子进行量化处理后, 采用主成分分

$$F_1 = 0.120X_1 - 0.213X_2 + 0.135X_3 - 0.260X_4 - 0.144X_5 + 0.209X_6 - X_7 + 0.173X_8 + 0.08X_9 + 0.241X_{10}$$

$$F_2 = -0.182X_1 - 0.148X_2 + 0.313X_3 + 0.116X_4 + 0.052X_5 - 0.181X_6 - 0.073X_7 + 0.274X_8 + 0.273X_9 - 0.219X_{10}$$

$$F_3 = -0.411X_1 + 0.188X_2 - 0.06X_3 - 0.190X_4 + 0.381X_5 + 0.318X_6 - 0.271X_7 - 0.095X_8 + 0.177X_9 + 0.049X_{10}$$

$$F_4 = -0.05X_1 - 0.38X_2 - 0.032X_3 - 0.278X_4 + 0.341X_5 - 0.004X_6 + 0.684X_7 - 0.195X_8 + 0.203X_9 - 0.029X_{10}$$

由以上关系式可知,  $F_1$  关系式中, 土壤质地 ( $X_4$ ) 系数最大, 为 0.260, 在第 1 主成分中起主要影响作用; 第 2 主成分代表土壤覆土厚度 ( $X_3$ ), 其在该成分中系数最大为 0.313;  $F_3$  关系式中, 微地形 ( $X_1$ ) 系数 (0.411) 最大, 表明第 3 主成分表示地形特征; 第 4 主成分代表土壤全氮含量。由此可见, 土壤状况及地形因子等在宁东矿区煤矸石山立地类型划分过程中起关键性主导作用, 实测结果表明土壤全氮含量在 0.07~0.18 g/kg 之间, 根据全国土壤养分含量分级标准, 全氮含量 < 0.5g/kg 均属于极低水平, 另外土壤养分指标的含难以通过现场调查的方式直接测得, 这些指标又受到地形和土壤特征的影响, 而地形特征

析确定煤矸石山主导立地因子, 再通过系统聚类法对主导立地因子进行分级组合, 划分宁东矿区煤矸石山立地类型。

## 3 结果与分析

### 3.1 煤矸石山立地因子分析

煤矸石山立地条件较为恶劣, 划分立地类型的关键在于找出主导因子, 经 SPSS 因子分析的 KMO (Kaiser-Meyer-Olkin Measure) 和 Bartlett (Bartlett's Test of Sphericity) 球形度检验可知,  $KMO > 0.5$ ,  $sig. < 0.01$ , 检验结果均属于正常范围, 因表明选用的研究数据适合做为因子分析<sup>[8-9]</sup>。据此对立地因子  $X_1 - X_{10}$  进行主成分分析, 从而确定煤矸石山主导立地因子。由结果可知, 前 4 个主成分累计方差贡献率为 80.624%, 表明前 4 个主成分代表着全部因子 80.624% 的信息, 构建这 4 个主成分与各因子关系式如下:

和土壤特征又具有稳定直观、易调查和易测量的特点<sup>[5]</sup>, 故选取微地形、覆土厚度、土壤质地为划分立地的主导立地因子。

主导立地因子中, 微地形分为平台和边坡, 边坡根据坡度大小分为陡坡、急坡, 覆土厚度根据当地实地调查分为厚层、中层、薄层, 土壤质地根据国际制土壤质地分级标准确定 (见表 2)。

### 3.2 煤矸石山立地类型划分

运用 SPSS 软件, 采用组间联接的聚类方法, 以平方欧氏距离为样地度量标准,  $Z$  得分标量进行标准化, 对宁东矿区煤矸石山各样地进行聚类, 划分立地类型。结果见图 2。

表 2 主导因子分级标准

主导因子	分级	分级依据
微地形	平台	坡度 0°
	陡坡	坡度 25°~35°
	急坡	坡度 35°~45°
覆土厚度	厚层	>60 cm
	中层	20~60 cm
	薄层	<20 cm
土壤质地	砂质壤土	砾石含量<1%,砂粒含量 55%~85%
	壤质砂土	砾石含量<1%,砂粒含量 85%~100%
	少砾质砂土	砾石含量 1%~5%
	中砾质砂土	砾石含量 5%~10%
	轻砾石土	砾石含量 30%~50%

本文根据聚类分析结果,并结合主导因子分级标准(见表 2),将宁东矿区煤矸石山 14 个研究样地划分成 3 个立地类型组,5 个立地类型亚组,8 个立地类型。

立地类型的命名以聚类分析中引起分类不同的立地划分因子为依据<sup>[9]</sup>,划分结果见表 3。

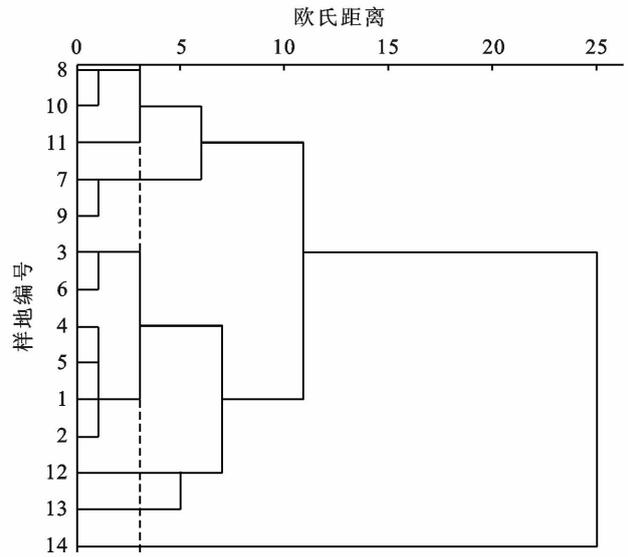


图 2 宁东矿区煤矸石山立地类型聚类分析树状图

表 3 宁东矿区立地类型

立地类型组	立地类型亚组	立地类型	样地编号
矸石山平台立地类型组 A	矸石山平台厚层立地类型亚组 a	矸石山平台厚层砂质壤土立地类型 I	8,10
	矸石山平台中层立地类型亚组 b	矸石山平台中层壤质砂土立地类型 II	7,9
		矸石山平台中层少砾质砂土立地类型 III	4,5,1,2
	矸石山平台薄层立地类型亚组 c	矸石山平台薄层少砾质砂土立地类型 IV	13
		矸石山平台薄层轻砾石土立地类型 V	11
矸石山陡坡立地类型组 B	矸石山陡坡中层立地类型亚组 d	矸石山陡坡中层壤质砂土立地类型 VI	14
		矸石山陡坡中层中砾质砂土立地类型 VII	3,6
矸石山急坡立地类型组 C	矸石山急坡薄层立地类型亚组 e	矸石山急坡薄层轻砾石土立地类型 VIII	12

### 3.3 煤矸石山立地类型特征

对煤矸石山各立地类型特征进行描述,可以更好地了解不同立地类型的土壤、植被等状况,可为植被重建提供基底数据,并对各立地类型植被重建适宜植物的选择提出建议,宁东矿区煤矸石山立地类型特征见表 4。

(1) 第 I 类。矸石山平台厚层砂质壤土立地类型。该类立地类型覆土厚度 95~110 cm,覆土土质为砂质壤土,土壤田间持水量 32.62%,在各立地类型中其保水性最好;该立地土壤全 K 含量平均 37.82 g/kg,属于极高水平,而有机质含量、土壤全 N 含量分别为 0.28%,0.11 g/kg,均为极低水平,全 P 含量 0.34 g/kg 为低水平,土壤偏碱性。该立地生长有 2018 年人工重建的侧柏林,其成活与生长状况较好,总体看该立地类型立地条件较好。建议植被重建时,可选择以乔木为主的乔灌型植被配置模式。

(2) 第 II 类。矸石山平台中层壤质砂土立地类型。该类立地类型覆土厚度 55~60 cm,覆土土质为壤质砂土,土壤田间持水量 27.13%,保水性仅次于 I 类立地;土壤全 K 含量(35.44 g/kg)属于极高水平,土壤有机质、全 N 含量均属于极低水平,全 P 含量为低水平,土壤偏碱性。现有 2018 年人工柠条锦鸡儿+沙拐枣+糜子灌草混交林,植被生长状况较好,总体看立地条件较好。建议植被重建时,选择以灌木为主的灌木林或灌草型配置。

(3) 第 III 类。矸石山平台中层少砾质砂土立地类型。该立地类型覆土厚度 33~36 cm,砾石含量 1.62%,为少砾质砂土,土壤保水性能一般,土壤全 K 含量属于极高水平,全 P 为低水平,其他土壤养分含量均属于极低水平,土壤偏碱性。该立地条件一般,有 2016 年人工种植的柠条、沙蒿、蜀葵等,但植被成活率一般。建议植被重建时,植被配置选择以灌木为主的灌草型。

表 4 宁东矿区煤矸石山立地类型特征

指标	立地类型							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
覆土厚度/cm	95-110	55-60	33-36	12-20	0-3	55-60	35-40	0-2
砾石含量/%	0.03	0.87	1.62	1.10	38.74	0.01	5.07	32.02
容重/%	1.02±0.09	1.37±0.05	1.50±0.22	1.46±0.15	1.58±0.10	1.44±0.02	1.60±0.02	1.39±0.06
田间持水量/%	32.62±2.23	27.13±4.38	20.65±8.53	21.31±5.94	18.35±1.53	23.95±1.02	19.01±2.04	18.88±3.28
有机质/(g·kg <sup>-1</sup> )	2.81±1.71	2.61±0.54	2.90±3.01	4.36±1.2	4.36±2.44	2.72±0.13	4.31±1.27	2.91±2.98
全氮含量/(g·kg <sup>-1</sup> )	0.11±0.03	0.14±0.01	0.14±0.08	0.16±0.02	0.10±0.01	0.12±0.01	0.10±0.03	0.12±0.03
全磷含量/(g·kg <sup>-1</sup> )	0.34±0.02	0.34±0.03	0.35±0.04	0.52±0.00	0.59±0.03	0.35±0.05	0.33±0.02	0.40±0.05
全钾含量/(g·kg <sup>-1</sup> )	37.82±1.93	35.44±1.15	39.98±2.60	38.30±0.73	43.83±0.68	36.05±0.03	44.16±2.45	38.44±2.10
PH值	9.21±0.47	8.91±0.23	8.48±0.98	8.42±0.44	9.08±0.08	8.87±0.18	9.0±0.18	8.65±0.32
人工植被类型	侧柏林	柠条锦鸡儿+沙拐枣( <i>Calligonum mongolicum</i> ) + 糜子( <i>Panicum miliaceum</i> )	柠条锦鸡儿+沙蒿+蜀葵	紫花苜蓿( <i>Medicago sativa</i> )	无人工恢复	糜子	沙打旺( <i>Astragalus adsurgens</i> ) + 紫花苜蓿+草木樨( <i>Melilotus officinalis</i> )	无人工恢复

(4) 第Ⅳ类。矸石山平台薄层少砾质砂土立地类型。该类立地类型覆土厚度较薄,覆土土质为少砾质砂土,土壤持水性能一般,土壤全 K 含量属于极高水平,土壤全 P 含量为 0.52 g/kg,属于中下水平,土壤有机质和全 N 含量分别为 4.36 g/kg,0.16 g/kg,属于极低水平,一定程度上限制植被生长,土壤偏碱性。该类立地有人工条播的紫花苜蓿,生长状况较好。建议植被重建时,选择以草本为主的灌草型配置模式。

(5) 第Ⅴ类。矸石山平台薄层轻砾石土立地类型。该类立地类型覆土厚度仅 0~3 cm,砾石含量 38.74%,土壤粗砾化,严重限制植物种的生长,土壤田间持水量为 18.35%,保水性较其他立地类型差;土壤全 K 含量属于极高水平,土壤全 P 含量在各立地类型最大,为 0.59 g/kg,属于中下水平,而土壤有机质、全 N 含量为极低水平,土壤偏碱性。现无人工恢复措施,该立地条件较差。建议植被重建时,选择以草本为主的灌草型配置模式。

(6) 第Ⅵ类。矸石山陡坡中层壤质砂土立地类型。该类立地类型坡度大小为 32.5°,为陡坡,覆土厚度 55~60 cm,属于中层,覆土土质为壤质砂土,土壤田间持水量为 23.95%,保水性能较好;该立地土壤全 K 含量 36.05 g/kg,属于极高水平,全 P 含量 0.35 g/kg 为低水平,土壤有机质、全 N 含量为极低水平,现有 2018 年人工种植糜子,其生长状况较好,土壤偏碱性。总体看该立地类型立地条件较好。建议植被重建时,可选择灌木林或以灌木为主的灌草型配置。

(7) 第Ⅶ类。矸石山陡坡中层中砾质砂土立地类型。该类立地为坡度 33.7°的陡坡,覆土厚度 35~40 cm,覆土土质为中砾质砂土,土壤持水性差,土壤全 K 含量为极高水平,其他养分含量低,土壤偏碱性。现

有 2018 年人工种植的沙打旺、紫花苜蓿、草木樨等草本植物,总体看立地条件一般。建议植被重建时,植被配置模式选择以草本为主的灌草型。

(8) 第Ⅷ类。矸石山急坡薄层轻砾石土立地类型。该类立地为急坡,其坡度为 39.5°,覆土厚度小(0~2 cm),覆土土壤的砾石含量较高,为轻砾石土,土壤粗砾化现象严重限制乔、灌木植物种生长,土壤田间持水量 18.88%,其持水性较其他立地类型差;土壤全 K 含量属于极高水平,全 P 含量属于低水平,其均值 0.40 g/kg,土壤有机质、全 N 含量为极低水平,土壤偏碱性。该立地类型现无人工植被恢复,立地条件差。建议植被重建时,选择以草本为主的灌草型配置。

## 4 讨论与结论

通过对微地形( $X_1$ ),海拔高度( $X_2$ ),覆土厚度( $X_3$ ),土壤质地( $X_4$ ),土壤田间持水量( $X_5$ ),有机质含量( $X_6$ ),全 N 含量( $X_7$ ),全 P 含量( $X_8$ ),全 K 含量( $X_9$ ),坡向( $X_{10}$ )这 10 个立地因子进行调查测定,采用主成分分析法,在各主成分关系式中选取系数最大的因子,结合煤矸石山实地调查情况,同时考虑到主导因子的直观易测的特点,选取微地形、覆土厚度、土壤质地为划分立地类型的主导立地因子。进行立地类型划分牵涉的因素有很多,对于不同的研究区,所选的主导因子会有所不同,本研究选择地形、土壤等因子作为煤矸石山立地类型划分的主导因子,这与赖文豪<sup>[3]</sup>,李丹雄等<sup>[8]</sup>,张灵等<sup>[20]</sup>研究一致。

依据主导立地因子,通过聚类分析法将煤矸石山划分成 3 个立地类型组,5 个立地类型亚组,8 个立地类型,分别为矸石山平台厚层砂质壤土立地类型、矸石山平台中层壤质砂土立地类型、矸石山平台中层少

砾质砂土立地类型、矸石山平台薄层少砾质砂土立地类型、矸石山平台薄层轻砾石土立地类型、矸石山陡坡中层壤质砂土立地类型、矸石山陡坡中层中砾质砂土立地类型、矸石山急坡薄层轻砾石土立地类型。本研究对立地因子采用主成分分析法确定主导因子,再通过对主导因子进行聚类分析划分立地类型,这与有关学者对于立地类型划分的方法相一致<sup>[9,15-16]</sup>。

通过对煤矸石山各立地类型特征分析,总体来说,煤矸石山平台较平坦,面积较大,边坡坡度 $32^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 之间;煤矸石山覆土土源为其周边土地土壤,覆土厚度多在30 cm以上,覆土土质有砂质壤土、壤质砂土及砾质砂性土,特殊立地类型砾石含量 $>30\%$ ,其土质为轻砾石土,此类立地条件较差;煤矸石山覆土土壤透水性强,保水保肥性差,土壤田间持水量 $18.35\%\sim 32.62\%$ ;土壤养分贫瘠,有机质含量在 $0.26\%\sim 0.44\%$ 、全N含量 $0.10\sim 0.16\text{ g/kg}$ ,全P含量 $0.33\sim 0.59\text{ g/kg}$ ,属于低至中下水平,全K含量较高,在 $35.44\sim 44.16\text{ g/kg}$ 之间,为极高水平,煤矸石山土壤偏碱性。

煤矸石山各立地类型特征结合现有人工植被类型分析,可为煤矸石山植被重建工作提出建议。对于煤矸石山平台,覆土厚度 $>60\text{ cm}$ ,覆土土质以砂土为主,可选择以乔木为主的乔灌型混交模式;覆土厚度 $20\sim 60\text{ cm}$ ,当覆土土质为砂土或砾石含量较少时,可选择以灌木为主的灌木林或灌草型配置;覆土厚度 $<20\text{ cm}$ ,覆土土质砾石含量较多,可选择以草本为主的灌草型配置;而对于煤矸石山边坡,覆土厚度 $20\sim 60\text{ cm}$ ,覆土土质中砾石含量较少,可选择灌木林或以灌木为主的灌草型配置;若砾石含量过多,则以撒播草籽为主。

#### [参 考 文 献]

[1] 赵廷宁,张玉秀,曹兵,等.西北干旱荒漠区煤炭基地生态安全保障技术[J].水土保持学报,2018,32(1):1-5.  
 [2] 李祥东.西北干旱区土壤水分时空变异特征及其影响因素研究[D].北京:中国科学院大学,2019.  
 [3] 赖文豪,席沁,武海龙,等.内蒙古兴和县低山丘陵立地类型划分与林草适宜性评价[J].浙江农林大学学报,2018,35(2):331-339.  
 [4] 葛成立,林文涛,周永,等.徐州石灰岩山地侧柏纯林立地

类型划分[J].江苏林业科技,2015,42(4):35-37.  
 [5] Grondin P, Gauthier S, Borcard D, et al. A new approach to ecological land classification for the Canadian boreal forest that integrates disturbances [J]. Landscape Ecology, 2014,29(1):1-16.  
 [6] 刘强,滕文华,刘峰,等.大庆市森林立地类型划分与评价[J].防护林科技,2013(12):81-83.  
 [7] 夏晓平,信忠保,孔庆仙.北京山区河岸植被恢复立地类型划分[J].水土保持通报,2018,38(2):223-227.  
 [8] 李丹雄,赵廷宁,张艳,等.太行山北段东麓采石废弃地立地类型划分及评价[J].中国水土保持科学,2015,13(2):112-117.  
 [9] 尹海魁,许晔,李大伟,等.露天铁矿山典型立地类型划分与主导因子分析[J].金属矿山,2016(6):173-179.  
 [10] 马得利,孙永康,杨建英,等.基于无人机遥感技术的废弃采石场立地条件类型划分[J].北京林业大学学报,2018,40(9):90-97.  
 [11] 王超,毕君.金属矿山废弃地类型划分与生态退化特征[J].环境保护科学,2012,38(1):41-44.  
 [12] 马炜,孙玉军.长白落叶松人工林立地指数表和胸径等级表的编制[J].东北林业大学学报,2013,41(12):21-25.  
 [13] 李忠国.北亚热带中山区日本落叶松人工林立地分类与质量评价[D].北京:中国林业科学研究院,2011.  
 [14] 王冬至,张冬燕,蒋凤玲,等.塞罕坝华北落叶松人工林地位指数模型[J].应用生态学报,2015,26(11):3413-3420.  
 [15] Wall A, Westman C J. Site classification of afforested arable land based on soil properties for forest production [J]. Canadian Journal of Forest Research, 2006, 36(6):1451-1460.  
 [16] Wu Yao, Qin Kailun, Zhang Minghua, et al. Study on forest site classification of southern Xiaoxing'an Mountain in northeast of China [J]. World Rural Observations, 2013,5(4):27-32.  
 [17] 任艳荣,杨伟,马青龙,等.宁东矿区矿井煤矸石综合利用途径研究[J].山东工业技术,2013(4):5-6.  
 [18] 范小杉,韩永伟.宁东矿区生态安全评估[J].中国水土保持,2011(11):56-59.  
 [19] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000.  
 [20] 张灵,白中科,景明,等.黄土区大型露天煤矿复垦排土场植被恢复立地类型划分:以安太堡露天煤矿为例[J].水土保持研究,2014,21(6):54-60.