

覆土处理对高寒矿区露天煤矿排土场 植被和土壤特征的影响

高志香¹, 李希来^{1,2}, 张静^{1,2}, 金立群¹, 周伟³

(1. 青海大学 农牧学院, 青海 西宁 810016; 2. 青海—广东自然资源监测与
评价联合实验室, 青海 西宁 810016; 3. 中国地质大学 土地科学技术学院, 北京 100083)

摘要: [目的] 探讨高寒矿区覆土处理对露天煤矿排土场植被恢复的影响, 以评估覆土措施在露天煤矿排土场所达到的植被恢复效果, 为高寒矿区生态保护和恢复提供技术依据。[方法] 调查分析青海省木里煤田不同年限 5 个覆土处理和 3 个不覆土处理矿区排土场植被群落特征和土壤理化性质。[结果] 在覆土处理下, 随着建植年限的增加, 木里煤矿排土场植被和幼苗盖度显著增加 ($p < 0.05$), 土壤速效磷、全钾、速效钾和有机质含量呈增加趋势, 但未达显著水平; 煤矿区排土场不覆土和覆土处理, 植被特征和土壤理化性质主要指标差异不显著; 非度量多维尺度分析结果表明: 影响高寒煤矿区排土场植被生长的主要土壤养分是全氮、速效氮、速效钾和有机质。[结论] 高寒矿区露天煤矿排土场植被恢复的关键措施不是覆土处理, 可通过施足有机肥和化肥的方式代替覆土处理达到植被恢复的目的。

关键词: 植被恢复; 覆土处理; 排土场; 露天煤矿; 高寒矿区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2021)01-0082-06

中图分类号: S812.3, TD88

文献参数: 高志香, 李希来, 张静, 等. 覆土处理对高寒矿区露天煤矿排土场植被和土壤特征的影响[J]. 水土保持通报, 2021, 41(1): 82-87. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2021.01.012; Gao Zhixiang, Li Xilai, Zhang Jing, et al. Effects of replacing topsoil treatment on vegetation and soil characteristics of open-pit coal mine dump in alpine mining area [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41(1): 82-87.

Effects of Replacing Topsoil Treatment on Vegetation and Soil Characteristics of Open-pit Coal Mine Dump in Alpine Mining Area

Gao Zhixiang¹, Li Xilai^{1,2}, Zhang Jing^{1,2}, Jin Liqun¹, Zhou Wei³

(1. College of Agriculture and Animal Husbandry, Qinghai University, Xining, Qinghai 810016, China;

2. Qinghai-Guangdong Joint Laboratory of Natural Resources Monitoring and Evaluation, Qinghai University, Xining, Qinghai 810016, China; 3. College of Land Science and Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: [Objective] The influence of replacing topsoil treatment on vegetation restoration of open-pit coal dumps in alpine mining area was investigated to evaluate the vegetation restoration effect of replacing topsoil treatment in open-pit coal mine dumps and to provide a technical basis for ecological protection and restoration in an mining area. [Methods] The vegetation community characteristics and soil physicochemical properties of five topsoil replaced and three topsoil unreplaced treatments in mining areas in the Muli coalfield of Qinghai Province were investigated and analyzed. [Results] Vegetation and seedling coverage significantly increased ($p < 0.05$) as the planting period increased, and the available phosphorus, total potassium, available potassium, and organic matter content in the soil showed an increasing trend, but it was not significant. There was no significant difference between replacing and not replacing topsoil treatments in vegetation characteristics and soil physical and chemical properties. The results of nonmetric multidimensional scaling analysis showed that

收稿日期: 2020-08-05

修回日期: 2020-10-09

资助项目: 国家自然科学基金项目“青藏高原露天煤矿排土场地形—土壤—植被响应机理及地貌重塑研究”(41977415); 青海木里煤田矿区人工植被种群自我更新与调控对策研究(41867073); 高等学校学科创新引智计划资助(D18013); 教育部长江学者和创新团队发展计划(IRT-17R62)

第一作者: 高志香(1996—), 女(汉族), 青海省湟中县人, 硕士研究生, 研究方向为高寒矿区植被修复。Email: 2047581599@qq.com。

通讯作者: 李希来(1964—), 男(汉族), 河南省孟津县人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事高寒草甸生态学和高原生态修复研究。Email: xilai-li@163.com。

the soil nutrients, including total nitrogen, available nitrogen, available potassium, and organic matter, were the main factors affecting the vegetation growth. [Conclusion] The key measure of vegetation restoration in open-pit coal mine dumps in alpine grasslands is not the replacement of topsoil treatment but the addition of organic and chemical fertilizers.

Keywords: vegetation and soil characteristics; replacing topsoil treatment; mine dump; open-pit coal mine; alpine mining area

木里煤田是青海省内面积最大的煤矿,矿区面积 159.13 km²^[1],地处高寒,气候条件恶劣,该区生态环境脆弱而敏感,植被破坏后很难恢复^[2-5]。由于频繁的采矿活动和长期不合理的开采利用,导致木里地区大面积原有地表植被遭到严重破坏,矿区植被覆盖率下降,同时也降低了土壤肥力^[6-7]。尤其是因露天开采而堆积起来的排土场,表层基质极不稳定,易遭到水蚀、风蚀的侵害作用,从而加速土壤养分流失和土壤退化的进程。此外,排土场的堆积减少了可利用天然草地的面积,不利于当地畜牧业的发展。因此,为保护木里地区生态安全,对大面积排土场的治理修复不容忽视^[8-11]。

土壤是植物生存的基础,拥有良好的土壤母质,是植被生长和生存的关键^[12-13]。随着国家对矿区生态恢复重视度的提高,矿区土壤改良技术的研究已成为众多学者关注的焦点。中国在 20 世纪 50 年代末就已开展矿山恢复工作,但由于经济及技术限制等原因致使矿山恢复的研究和进程极为缓慢^[14]。近几年来,有关矿山治理的方法及措施得到了大量的验证,其中通过采取物理、化学和生物方法来重建土壤结构和提高肥力,达到改善和恢复土壤的目的是矿区生态恢复过程中的关键措施。但是针对高寒矿区植被恢复的治理研究很少^[5],杨鑫光等^[15]对高寒矿区煤矸石山植被和土壤恢复的研究中发现,种草+覆土或种草+施肥的组合方式可以有效恢复矿山植被和土壤养分。金立群等^[16]通过研究高寒矿区露天煤矿排土场不同年限植被和土壤特征变化,发现矿区排土场植被缺乏自我更新能力,排土场人工建植植被有利于排土场表层土壤养分的恢复。覆土与种草或施肥等组合技术对矿山植被和土壤特征的恢复已有研究报道,在施肥等技术支

撑下,进行覆土处理是否可以使矿区植被恢复达到更佳的效果?目前这一结论尚未得到明确证实。基于此,本研究通过对木里煤田 5 个覆土处理和 3 个不覆土处理的矿区排土场植被和土壤进行调查分析,探讨高寒矿区露天煤矿排土场植被和土壤在不同恢复年限的变化特征,明确影响植被恢复的主要土壤养分因素,以评估覆土措施在露天煤矿排土场所达到的植被恢复效果,为高寒矿区生态保护和恢复提供技术依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

木里煤田位于青海省大通河上游盆地,横跨海西、海北两大自治州(海拔:3 883 m;38°20′49″N;99°28′54″E),地势平缓,起伏不大^[17]。植被类型为高寒沼泽化草甸植被,主要建群种为藏嵩草(*Kobresia tibetica*),原生土壤为沼泽草甸土^[18],地表水丰富,分布均匀,高寒草甸和湿地保存的较为完整。木里煤田东西长 50 km,南北宽 8 km,总面积约 400 km²,由于矿产资源的大规模开采,煤田周围形成面积近 1.04×10⁶ hm² 的露天排土场,主要由腐植表土、风化岩土、坚硬岩石以及混合岩土、煤矸石、煤炭、冻土等组成,极易发生坍塌等地质灾害,继而使土壤结构遭到严重破坏,周边生态环境亟需治理和修复^[19]。

于木里煤田选择义海、庆华、兴青等 8 个矿区进行调查研究,且各矿区排土场未覆土前的基础物质组成基本一致,主要由腐植表土、风化岩土、坚硬岩石以及混合岩土、煤矸石、煤炭、冻土等组成。后期覆土的材料也基本上一致,覆盖土壤都是原生草甸腐殖土。样地经纬度、海拔、覆土处理、植被建制年限、原表土基本性质等情况详见表 1。

表 1 木里煤田 8 个典型矿区概况

矿区样地	义海	庆华	兴青	中铁	盐湖	青煤	中澳	圣雄
海拔	4 065 m	4 069 m	4 176 m	4 093 m	4 131 m	3 873 m	3 815 m	3 919 m
纬度	38°06′00″	38°7′42″	38°06′35″	38°07′50″	38°09′20″	38°20′49″	38°2′11″	38°02′48″
经度	99°10′20″	99°07′15″	99°07′36″	99°06′42″	99°07′28″	99°28′54″	99°36′34″	99°28′55″
处理	覆土 25 cm	覆土 25 cm	覆土 25 cm	覆土 25 cm	覆土 25 cm	不覆土	不覆土	不覆土
建植年限/a	4	5	4	3	3	3	4	5

1.2 研究方法

1.2.1 野外试验设计及内容 本试验中,覆土前先对各个排土场进行削坡整形,边坡刷坡分级放缓边坡、修建排水沟、修筑马道,5个覆土样地中的土壤是由煤矿开采时剥离的原表土层经过二次倒运,机械覆于排土场表层,覆土厚度为25 cm。覆土土壤理化性质为:全氮 1.78 ± 0.21 ,全磷 0.85 ± 0.10 ,全钾 22.11 ± 1.57 ,碱解氮 16.50 ± 1.73 ,速效磷 1.93 ± 0.26 ,速效钾 58.25 ± 38.02 ,有机质 59.89 ± 15.25 ,pH值 8.63 ± 0.08 ,容重 1.75 ± 0.22 。3个不覆土矿区样地作为对照。

调查的8个矿区样地人工植被选用草种主要有垂穗披碱草(*Elymus nutans*)、星星草(*Puccinellia tenuiflora*)、冷地早熟禾(*Poa crymophila*),这3种禾本科植物作为青藏高原地区典型植物种,近年来被广泛用于退化高寒草甸生态系统的人工恢复,特别是高寒矿区煤矸石山的人工建植当中。按2:1:1的播种比例,播量为 300 kg/hm^2 。人工草地建成后,进行施肥,用量为磷酸二铵 275 kg/hm^2 +氯化钾 100 kg/hm^2 ,往后每年都施追肥。调查的矿区样地均选在阳坡,每个样地的海拔高度、坡度、覆土材料等生态条件尽可能保持一致。

在2018年8月,在每个矿区排土场的阳坡坡面随机选取3个 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 的样方进行植被调查,每个样方间距10 m。每个样方内测定植被的高度、盖度、幼苗高度、幼苗盖度、苔藓盖度(植被高度是指样方内草层平均高度,盖度是指样方内植被投影盖度,幼苗高度和盖度是指当年萌发幼苗的高度与盖度)。由于排土场坡面土层较薄,故仅对每个样方内0—10 cm土壤进行取样,采用3点取样法,在每个样方内的挖取3次重量相当的土样,并混合后去掉大的石块和残枝落叶后装入密封袋,跟植被样方一样重复3次,带回实验室进行土壤理化性质的分析测定^[19]。

1.2.2 室内试验测定与数据分析

(1) 土壤理化性质的测定。野外采取土壤样品先进行风干处理,并过2 mm筛备用,进行土壤理化性质测定。各指标测定方法为:采用半微量凯氏定氮法测定全氮,采用碳酸氢钠法测定全磷,采用氢氧化钠熔融—火焰光度法测定全钾,采用碱解扩散法测定

速效氮,采用 0.5 mol/L 碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法测定速效磷,采用醋酸铵浸提—火焰光度法测定速效钾,采用电极法测定土壤pH值,采用重铬酸钾容量法测定土壤有机质^[16]。

(2) 数据分析。植被特征包括植被高度、植被盖度、幼苗高度、幼苗盖度和苔藓盖度5个指标;土壤理化性质包括全氮、全磷、全钾、速效氮、速效磷、速效钾和有机质含量,以及pH值和容重9个指标,共14个分析指标。应用R语言3.6.1,对8个样地24个样方中植被特征和土壤理化性质共14项指标进行聚类分析和非度量多维尺度分析,N代表不覆土样地, N_{1-3} 代表样方号(青煤: N_1, N_2, N_3 ,中澳: N_4, N_5, N_6 ,圣雄: N_7, N_8, N_9),F代表覆土样地, F_{1-5} 代表样方号(义海: F_1, F_2, F_3 ,庆华: F_4, F_5, F_6 ,兴青: F_7, F_8, F_9 ,中铁: F_{10}, F_{11}, F_{12} ,盐湖: F_{13}, F_{14}, F_{15})。

运用SPSS 20.0软件,通过双因素(覆土十年限)方差分析分析不同年限间覆土处理下植被特征和土壤理化性质差异,具有显著差异的因素进行多重比较(LSD法),用R语言4.0.2进行RDA冗余分析。

2 结果与分析

2.1 覆土处理下矿区露天煤矿排土场植被特征和土壤理化性质的变化

2.1.1 覆土处理矿区不同年限间样地植被特征变化

由表2可知,幼苗高度在覆土处理下显著高于不覆土处理下($p < 0.05$),但其他植被盖度、高度、幼苗盖度、苔藓盖度等指标并没有达到显著差异,这说明覆土条件下植被生长状况并没有显著优于不覆土处理水平。通过多重比较,在不覆土样地中,建植4 a样地的植被盖度显著高于的3 a($p < 0.05$),建植5 a样地的幼苗盖度和苔藓盖度显著高于3 a和4年的($p < 0.05$,表3)。由此得知,植被建植3 a后,植被盖度、幼苗盖度、苔藓盖度都有所增加,尤其是苔藓盖度增加了约29.84%,幼苗盖度从2%增加到4.33%。在覆土样地中,建植5 a样地的苔藓盖度显著高于3 a和4年的($p < 0.05$)。建植第3—4 a,除植被高度外,其他几项植被特征的值都显著增加,说明植被的生长状况随年限的增长趋于良好。

表2 8个样地植被特征变化双因素方差分析结果

处理	df	植被高度/cm		植被盖度/%		幼苗高度/cm		幼苗盖度/%		苔藓盖度/%	
		F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
覆土	1	4.211	0.055	2.639	0.122	14.166	0.001	0.517	0.481	2.695	0.118
年限	2	0.591	0.564	5.798	0.011	0.014	0.986	0.606	0.556	5.548	0.013
覆土 & 年限	2	0.600	0.560	0.146	0.865	2.685	0.095	1.506	0.249	0.783	0.472

注:F值表示整个拟合方程的显著性,P表示试验处理间差异的显著性。下同。

表 3 不同年限 8 个样地植被特征的变化

处理	年限/a	植被高度/cm	植被盖度/%	幼苗高度/cm	幼苗盖度/%	苔藓盖度/%
不覆土	3	32.67±6.36 ^a	40.00±5.77 ^b	3.18±0.10 ^a	2.00±0.58 ^b	1.83±1.09 ^b
	4	33.25±11.63 ^a	75.00±15.23 ^a	2.20±0.00 ^c	1.33±0.33 ^b	6.67±1.67 ^b
	5	22.93±3.03 ^a	56.67±4.41 ^{ab}	2.65±0.13 ^b	4.33±0.67 ^a	31.67±5.37 ^a
覆土	3	21.83±0.70 ^a	32.50±3.34 ^a	3.58±0.22 ^a	1.92±0.66 ^a	2.25±1.22 ^b
	4	20.26±4.22 ^a	61.17±12.54 ^a	4.72±0.64 ^a	6.00±2.58 ^a	33.6±15.92 ^{ab}
	5	21.00±2.65 ^a	38.33±1.67 ^a	4.18±0.43 ^a	3.00±0.58 ^a	50.00±5.77 ^a

注:同列不同小写字母表示同一处理下不同年限间差异显著($p<0.05$)。下同。

2.1.2 覆土处理矿区不同年限间样地土壤化学性质差异 从表 4 可以看出,土壤全磷、速效氮、速效磷、速效钾、有机质在覆土时显著高于不覆土($p<0.05$);全钾、pH 值在不覆土时显著高于覆土($p<0.05$)。全磷、全钾、速效磷、有机质在交互作用下达到显著差异($p<0.05$)。由此得出,在相同年限间土壤的化学性质中除了全氮、全钾、pH 值之外,其他化学指标覆土样地高于不覆土样地。

多重比较结果显示(表 5),在不覆土样地中建植 4 a 的全钾、速效钾、有机质显著高于 3 a 的($p<0.05$);

建植 3 a 的 pH 值显著高于 4 a 和 5 a($p<0.05$);全钾、速效钾在建植 3—4 a 都呈现增加的趋势,尤其是速效钾,从 83.33 g/kg 增加到了 202.67 g/kg。在覆土样地中,建植 3—4 a 的速效氮、速效钾都呈现增加的趋势,其中速效氮增加的最明显,从 76.17 g/kg 增加到了 171.50 g/kg;建植 4 a 的全磷显著高于 3 a($p<0.05$),全磷从建植第 3—4 a 增加了 0.69 g/kg;建植 5 a 的 pH 值显著低于第 3—4 a($p<0.05$);这说明随着人工植被建植年限的增加,土壤 pH 值逐渐适应植物的生长,土壤的化学性质趋于良好,土壤的养分逐渐增加。

表 4 8 个样地土壤理化性质变化双因素方差分析结果

处理	Df	全氮		全磷		全钾		速效磷		速效钾		有机质		pH 值		容重	
		F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
覆土	1	12.482	0.002	4.011	0.060	17.919	0.001	4.301	0.053	2.007	0.174	23.906	0.000	10.379	0.005	2.956	0.103
	2	0.944	0.408	3.979	0.037	18.273	0.000	3.299	0.060	10.819	0.001	3.392	0.056	9.957	0.001	0.438	0.652
覆土 & 年限	2	1.806	0.193	13.074	0.000	12.234	0.000	5.299	0.016	1.034	0.376	3.996	0.037	3.484	0.053	2.022	0.161

表 5 不同年限 8 个样地土壤化学性质的变化

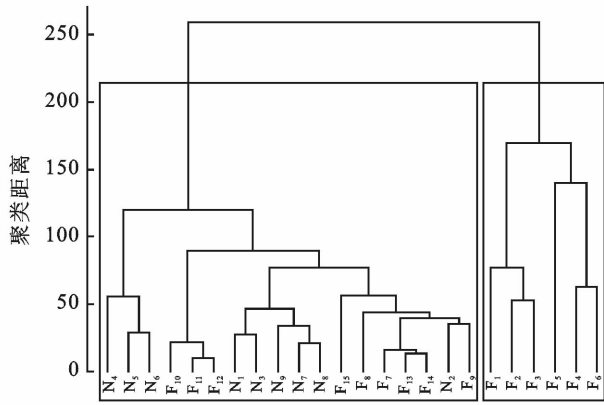
处理	年限	全氮	全磷	全钾	速效氮	速效磷	速效钾	有机质	pH 值
不覆土	3	1.44±0.17 ^a	1.28±0.04 ^b	24.07±0.30 ^b	26.67±6.17 ^a	2.47±0.30 ^b	83.33±14.19 ^b	15.63±3.92 ^a	8.42±0.05 ^a
	4	1.27±0.13 ^a	0.80±0.03 ^c	30.67±1.78 ^a	26.33±6.89 ^a	2.63±0.54 ^b	202.67±4.98 ^a	25.76±2.57 ^a	8.15±0.10 ^b
	5	1.02±0.01 ^a	1.51±0.08 ^a	21.24±1.12 ^b	34.67±4.26 ^a	10.33±2.08 ^a	77.67±3.33 ^b	10.33±0.82 ^a	8.14±0.04 ^b
覆土	3	2.03±0.19 ^a	1.00±0.16 ^b	23.73±0.68 ^a	76.17±13.71 ^a	4.63±1.15 ^b	113.00±17.69 ^a	31.86±2.58 ^a	8.20±0.06 ^a
	4	3.66±0.95 ^a	1.69±0.08 ^a	22.34±.48 ^{ab}	171.50±56.63 ^a	23.77±5.58 ^a	194.50±30.64 ^a	67.98±16.93 ^a	8.15±0.09 ^a
	5	4.34±0.98 ^a	1.50±0.09 ^a	20.26±1.13 ^b	222.00±48.38 ^a	7.17±1.51 ^b	141.33±3.18 ^a	96.20±8.85 ^a	7.65±0.11 ^b

2.2 覆土处理下植被和土壤生态因子的聚类分析

由图 1 所示,不覆土的 N_1, N_5, N_6 代表的中澳样地的 3 个样方聚在一起,说明这几个样地中植被特征和土壤理化性质方面具有相似性;覆土的 F_{10}, F_{11}, F_{12} 聚在一起,表明中铁样地的 3 个样方的植被特征和土壤理化性质间不存在差异性;不覆土的 N_1, N_3, N_9, N_7, N_8 代表的青煤样地的样方 1, 样方 3 和圣雄样地的 3 个样方聚在一起,代表这几个样方中植被特征和土壤理化性质间不存在显著的差异性;覆土的 F_{15}, F_{13}, F_{14} 代表的盐湖样地和 F_8, F_7, F_9 代表的兴青样地与不覆土的 N_2 代表的青煤样地的样方 2 聚在一起,

表明盐湖和兴青样地的生境条件不存在差异性;覆土的 $F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6$ 代表的义海和庆华样地聚在一起,即义海和庆华样方中的植被特征和土壤理化性质间差异不显著。

从图 1 中可以看出,8 个样地按照相似性被分为两大类,第一大类为不覆土的青煤、中澳、圣雄 3 个样地和覆土的兴青、中铁、盐湖 3 个样地,其中不覆土的样地占 50%,覆土的样地占 50%。由此可见,覆土处理 3 a 之后,兴青、中铁、盐湖 3 个样地已经失去了覆土的效果。第二大类为覆土的庆华和义海 3 个样地。

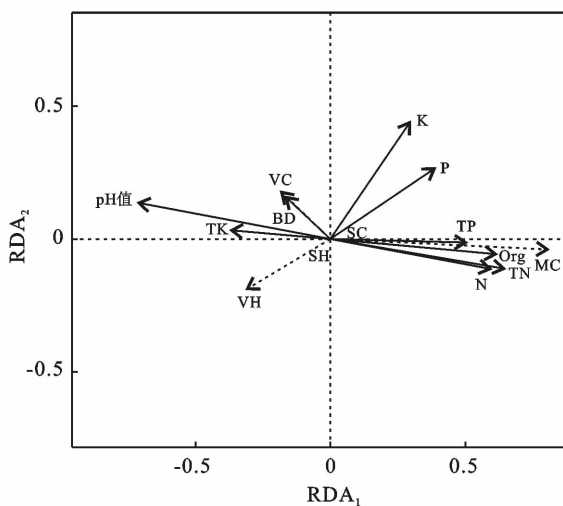


注: N 表示不覆土处理; F 表示覆土处理。

图 1 覆土下植被特征和土壤理化性质的聚类分析

2.3 覆土处理下植被特征和土壤理化性质的 RDA 排序

图 2 结果表明,土壤理化性质与植被特征在第 I 和 II 轴的解解释量分别为 54.5% 和 45.5%,即 9 种土壤理化性质前 2 个排序轴累计解释了 100% 的植被特征变化,说明前两轴能够真实地反映土壤环境因子对植被特征的影响情况,并主要由第 I 轴决定。实心箭头代表土壤理化性质指标,虚线代表植被特征,箭头连线长度和相应夹角余弦值代表土壤理化性质与植被特征的相关性大小,箭头连线越长、余弦值绝对值越大,则说明某一土壤理化性质与植被特征的相关性越大。



注:①图中箭线为虚线表示植被特征。VH 为植被高度;VC 为植被盖度;SH 为幼苗高度;SC 为幼苗盖度;MC 为苔藓盖度;②箭线为实线表示土壤理化特征。TN 为全 N;TP 为全 P;TK 为全 K;N 为速效 N;P 为速效 P;K 为速效 K;SOM 为有机质;BD 为容重。

图 2 覆土下植被特征和土壤理化性质的冗余分析排序

由图 2 可知,pH 值、全氮、速效氮、有机质箭头连线最长,表明其是对植被特征影响最大的环境因子,全磷、速效磷、速效钾对植被特征的影响较大。速效

钾、速效磷、全磷、有机质、全氮、速效氮与轴 1 呈正相关关系,这些指标的含量与苔藓盖度呈正相关关系;pH 值、容重、全钾与轴 1 负相关关系,且和植被高度、植被盖度、幼苗高度、幼苗盖度呈正相关关系,与苔藓盖度呈现负相关关系。

由上述结果可知,土壤环境因子对植被特征的影响是不尽相同的,由土壤环境因子解释的重要性排序结果(表 6)可知,土壤理化性质对植被特征的重要性排序依次是 pH 值、全氮、有机质、速效氮、速效钾、速效磷、全磷、全钾、容重,说明土壤 pH 值、全氮和有机质是植被的生长的关键因子,但是这些环境因子对植被特征的变化影响并不显著($p > 0.05$)。

表 6 土壤环境因子解释的重要性排序和显著性检验结果

土壤环境因子	重要性排序	F	P
pH 值	1	0.259 85	0.804 63
全氮(TN)	2	0.123 79	0.928 42
有机质(SOM)	3	0.049 82	0.973 34
速效氮(N)	4	0.019 38	0.992 71
速效钾(K)	5	0.003 72	0.996 43
速效磷(P)	6	0.001 75	0.998 20
全磷(TP)	7	0.000 96	0.999 10
全钾(TK)	8	0.000 74	0.999 90
容重(BD)	9	0.000 12	1.000 00

3 讨论

3.1 不同年限间矿区排土场植被特征和土壤理化性质

在木里煤田的 8 个调查样地中,幼苗盖度和苔藓盖度随着年限的增加而增大,金立群等^[16]在研究不同恢复年限对高寒露天煤矿区江仓排土场植被和土壤特性的影响时,发现植被在种植 1,3,5 a 间存在显著差异,植被高度、盖度、幼苗盖度随年限的增加而增大,土壤理化性质也随年限的增长逐步改善,这与本研究结果一致。郭李凯等^[20]在研究煤矸山重构土壤养分和重金属污染状况时,采用不同复垦年限作为处理,所得结果随着复垦年限的增长,土壤中的速效钾、速效磷、全氮、有机质、pH 值也呈现显著差异,这也和本研究中的结果一致。

3.2 覆土下植被特征和土壤理化性质的聚类分析

覆土作为土壤重构的技术之一,对植被生长具有促进作用。一些研究矿山植被恢复的学者都运用覆土的方法来达到恢复矿山的目的,谷金锋等^[21]研究的覆土对象是坡度较小的矸石山,且覆土区域面积小,对这类表层无土的矸石山进行覆土来调整土壤结构是必要的,而本研究中,研究区处在环境条件恶劣、气

候寒冷较为独特的木里煤矿,且矿区面积较大,为此木里煤田大部分矿区进行了覆土处理,小部分矿区没有覆土直接建植人工草地。我们对木里煤田覆土和不覆土 8 个样地进行了聚类分析,得到覆土处理的 3 个样地和不覆土处理的 3 个样地聚到一起,这说明它们没有显著差异,这个结果与覆土和不覆土处理中植被特征和土壤理化性质的数据分析结果一致,这表明在恢复 3 a 之后由于水蚀、风蚀等作用使得覆土处理的优势不明显。杨鑫光等^[15]在研究木里煤田江仓矿区不同覆土深度对高寒矿区植被和土壤性质的影响时,更说明了这个问题。由于本试验样地属于缺土地区,交通不便利,覆土成本更是达到了 43.5 元/m²^[4]。另外,木里煤田高寒矿区排土场没有重金属污染,因此不覆土进行人工建植,不会在牧草中造成重金属沉积而影响当地畜牧业生产。

3.3 覆土处理中植被特征和土壤理化性质 RDA 排序

由植被特征和土壤理化性质的 RDA 排序结果可知,pH 值和有机质、全氮含量与植被生长密切相关,这和刘育红等^[22]在探讨高寒草甸植被特征和土壤因子的关系时得到的结果一致。土壤 pH 值控制着土壤 Eh 值,对植被根域内外养分的转化和移动起着关键作用,速效氮、速效磷、速效钾与植被的生长发育和生理代谢有着十分密切的关系^[23],土壤中的全氮是衡量当前土壤肥力的重要指标之一^[24],有机质的含量可以用来衡量当前区域植被的生长状况^[25]。由本试验数据可以得到,义海和庆华矿区两个样地的速效氮和速效钾以及其他土壤指标都是较其他几个矿区样地为最高,所以导致了聚类结果中义海和庆华聚在一起。有研究表明^[19],本研究区排土场的持水能力较弱,但是其表层基质中富含氮和磷,而由本试验结果得到该地区全氮含量较低,因此在对矿山植被和土壤恢复的后期治理研究中,建议考虑采用施用有机肥和追施化肥(尿素)等措施,需要研究最适合的施肥组合以及施肥量,这是目前还未解决的科学问题。

4 结论

(1) 覆土和不覆土样地植被特征和土壤理化性质随着植被恢复年限的增长而得到改善,植被盖度和苔藓盖度的变化最明显;覆土和不覆土样地植被特征和土壤理化性质综合指标差异不显著;

(2) 非度量多维尺度分析结果显示,影响覆土处理的主要土壤因子是速效氮、速效钾、全氮和有机质。因此,为减少植被恢复成本高寒矿区木里煤田的植被恢复,可以采用不覆土加施有机肥结合追施化肥等措施。

[参 考 文 献]

- [1] 何芳,刘瑞平,徐友宁,等. 基于遥感的木里煤矿区矿山地质环境监测及评价[J]. 地质通报,2018,37(12):2251-2259.
- [2] 王锐,李希来,马钰,等. 青海圣雄煤矿煤矸石堆积对周边高寒湿地植被和土壤的影响[J]. 土壤,2020,52(2):386-393.
- [3] 杨俊鹏,戴华阳,赵溪,等. 滇西北高寒地区金属矿土地复垦技术探究:以普朗铜矿区为例[J]. 中国矿业,2015,24(12):66-69.
- [4] 陈三雄,廖建文,向慧昌,等. 广东省大宝山矿区废弃地植被恢复措施探讨[J]. 珠江现代建设,2012(5):24-26.
- [5] 黄金,王慧娟,汪洋萍,等. 废弃矿区生态修复技术分析[J]. 世界有色金属,2019(19):235-236.
- [6] Deng Jiaojiao, Bai Xuejiao, Zhou Yongbin, et al. Variations of soil microbial communities accompanied by different vegetation restoration in an open-cut iron mining area [J]. Science of the Total Environment, 2020,704:135243.
- [7] Mi Jiaxin, Liu Run, Zhang Shaoliang, et al. Vegetation patterns on a landslide after five years of natural restoration in the Loess Plateau mining area in China [J]. Ecological Engineering, 2019,136:46-54.
- [8] 李林峰,黄洁,杨显华,等. 露天煤矿区植被变化遥感监测与受损程度评估[J]. 地理空间信息,2019,17(1):72-76.
- [9] 金立群,李希来,宋梓涵,等. 高寒矿区植被恢复对渣山表层基质的响应[J]. 草业科学,2018,35(12):2784-2793.
- [10] Hou Xiaoyun, Liu Shiliang, Zhao Shuang, et al. Selection of suitable species as a key factor for vegetation restoration of degraded areas in an open-pit manganese-ore mine in Southern China using multivariate-analysis methods [J]. Land Degradation & Development, 2019,30(8):942-950.
- [11] 孙梦媛,刘景辉,米俊珍,等. 植被复垦对露天煤矿排土场土壤化学及生物学特性的影响[J]. 水土保持学报,2019,33(4):206-212.
- [12] 王桂君. 生物炭和有机肥对松嫩平原沙化土壤的改良效应及其机制研究[D]. 吉林 长春:东北师范大学,2018.
- [13] 赵兴鸽,张世挺,牛克昌. 青藏高原高寒草甸土壤真菌多样性与植物群落功能性状和土壤理化特性的关系[J]. 应用与环境生物学报,2020,26(1):1-9.
- [14] 高国雄,高保山,周心澄,等. 国外工矿区土地复垦动态研究[J]. 水土保持研究,2001,8(1):98-103.
- [15] 杨鑫光,李希来,金立群,等. 不同人工恢复措施下高寒矿区煤矸石山植被和土壤恢复效果研究[J]. 草业学报,2019,28(3):1-11.

- 1984-1992.
- [11] Tran D X, Pla F, Latorre-Carmona P, et al. Characterizing the relationship between land use land cover change and land surface temperature [J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2017, 124:119-132.
- [12] Du Shihong, Xiong Ziqian, Wang Yichen, et al. Quantifying the multilevel effects of landscape composition and configuration on land surface temperature [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2016, 178: 84-92.
- [13] Peng Jian, Xie Pan, Liu Yanxu, et al. Urban thermal environment dynamics and associated landscape pattern factors: A case study in the Beijing metropolitan region [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2016, 173:145-155.
- [14] Lindén J. Nocturnal cool island in the Sahelian city of Ouagadougou, Burkina Faso [J]. *International Journal of Climatology*, 2011, 31(4):605-620.
- [15] Nichol J. Remote sensing of urban heat islands by day and night [J]. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 2005, 71(5):613-621.
- [16] 刘璐, 申广荣, 吴裕, 等. 城市化进程中县域土地利用类型的转移特征及其对热环境的影响[J]. *水土保持通报*, 2019, 39(6):260-266.
- [17] 郑飞, 张殿发, 孙伟伟, 等. 基于 ASTER 遥感的杭州城市热/冷岛的景观特征分析[J]. *遥感技术与应用*, 2017, 32(5):938-947.
- [18] Chen Yanhong, Cai Yuanbin, Tong Chuan. Quantitative analysis of urban cold island effects on the evolution of green spaces in a coastal city: A case study of Fuzhou, China [J]. *Environmental monitoring and assessment*, 2019, 191(2):121.
- [19] Zhang Wei, Jiang Jingang, Zhu Yubin. Change in urban wetlands and their cold island effects in response to rapid urbanization [J]. *Chinese Geographical Science*, 2015, 25(4):462-471.
- [20] Shen Guangrong, Ibrahim A N, Wang Zijun, et al. Spatial-temporal land-use/land-cover dynamics and their impacts on surface temperature in Chongming Island of Shanghai, China [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2015, 36(15):4037-4053.
- [21] 徐伟, 杨涵洳, 张仕鹏, 等. 上海城市热岛的变化特征[J]. *热带气象学报*, 2018, 34(2):228-238.
- [22] 杜红玉. 特大型城市“蓝绿空间”冷岛效应及其影响因素研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2018.
- [23] 中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台 [EB/OL] (2007-02-02, 2007-07-28, 2013-08-29, 2013-12-03, 2017-08-24, 2018-01-15) [2020-10-29]. <http://www.gscloud.cn>
- [24] Qin Zhihao, Karnieli A, Berliner P. A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region [J]. *International journal of remote sensing*, 2001, 22(18):3719-3746.
- [25] 程晨, 蔡喆, 闫维, 等. 基于 Landsat TM/ETM⁺ 的天津城区及滨海新区热岛效应时空变化研究[J]. *自然资源学报*, 2010, 25(10):1727-1737.

(上接第 87 页)

- [16] 金立群, 李希来, 孙华方, 等. 不同恢复年限对高寒露天煤矿区渣山植被和土壤特性的影响[J]. *生态学杂志*, 2019, 38(1):121-128.
- [17] 王锐, 李希来, 张静, 等. 高寒矿区人工种草对露天排土场渣山表层基质的影响[J]. *草地学报*, 2019, 27(4): 938-948.
- [18] 安福元, 高志香, 李希来, 等. 青海省木里江仓煤矿区高寒湿地腐殖质层的形成过程[J]. *水土保持通报*, 2019, 39(2):1-9.
- [19] 杨鑫光, 李希来, 金立群, 等. 短期恢复下高寒矿区煤矸石山土壤变化特征研究[J]. *草业学报*, 2018, 27(8):30-38.
- [20] 郭李凯. 不同复垦年限煤矸山重构土壤养分和重金属污染状况研究[D]. 山西 临汾: 山西师范大学, 2017.
- [21] 谷金锋. 煤矿矸石山植被恢复机理研究: 以鸡西市滴道矿区和城子河矿区为例[D]. 黑龙江 哈尔滨: 东北林业大学, 2004.
- [22] 刘育红, 魏卫东, 杨元武, 等. 高寒草甸退化草地植被与土壤因子关系冗余分析[J]. *西北农业学报*, 2018, 27(4):480-490.
- [23] 潘瑞焱. 植物生理学[M]. 6 版, 北京: 高等教育出版社, 2008:28-33.
- [24] 徐国策, 李占斌, 李鹏, 等. 丹江中游典型小流域土壤总氮的空间分布[J]. *地理学报*, 2012, 67(11):1547-1555.
- [25] 田应兵, 熊明彪, 宋光煜. 若尔盖高原湿地生态恢复过程中土壤有机质的变化研究[J]. *湿地科学*, 2004, 2(2):88-93.