

doi:10.3969/j.issn.1001-3776.2017.06.002

露天煤矿排土场边坡不同年限沙棘对林下土壤肥力质量的影响

刘 军, 党晓宏

(内蒙古农业大学 沙漠治理学院, 内蒙古 呼和浩特 010011)

摘要: 2014年8月, 对内蒙古自治区霍林河煤业南露天煤矿排土场边坡栽植不同年限的沙棘林 *Hippophae rhamnoides* 土壤肥力进行调查, 通过采样分析, 对排土场栽植沙棘林下、覆土植被天然恢复区边坡及天然草地不同土层土壤机械组成和化学性质进行对比。结果表明, 各样地以砂粒含量最大, 细粉粒最小, 栽植沙棘 7 a 后可显著降低砂粒含量 ($P < 0.05$), 提高黏粒含量; 随栽植年限增加, 土壤有机质、碱解氮、表层速效钾含量逐渐增加, pH 值趋于中性, 速效磷含量呈先升高后降低趋势; Pearson 相关系数分析显示, 碱解氮、速效钾与土壤砂粒含量及 pH 值呈显著负相关、与有机质含量呈显著正相关, 速效磷与粗粉粒含量变化呈显著正相关。调查结果表明, 在内蒙古森林草原向典型草原过渡地带矿区排土场栽植沙棘林可有效改善土壤质量。

关键词: 土壤肥力; 沙棘; 恢复年限; 排土场

中图分类号: S793.6 文献标识码: A 文章编号: 1001-3776 (2017) 06-0009-06

Effect of Planting Years of *Hippophae rhamnoides* on Soil Fertility Quality of Dump Slope in Surface Mine

LIU Jun, DANG Xiao-hong

(Desert Science and Engineering College, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010011, China)

Abstract: Investigations were conducted on soil physiochemical properties in August of 2014 at dump slope planted in different year by *Hippophae rhamnoides* of Huolinhe Coal Company of Inner Mongolia Autonomous Region. Analysis were made on soil samples from different plantations of *H. rhamnoides*, earthing area and natural grassland for comparisons. The results showed that sand content occupied the largest part and fine silt content and the least at tested sample plots. Sand content decreased significantly ($P < 0.05$) and clay content increased at plantations after 7 years. With the increase of planting years, the content of soil organic matter, alkali-hydrolyzable nitrogen, available potassium at surface layers increased gradually, pH neutral, and the available phosphorus increased and then decreased. Pearson's correlation coefficient analysis demonstrated that alkali-hydrolyzable nitrogen and available potassium had significantly negative correlation with soil pH and sand content, but significantly positive correlation with the content of organic matter. Available phosphorus had significantly positive correlation with the content of coarse silt. The investigation resulted that planting *H. rhamnoides* at dump slope in Inner Mongolia could effectively improve the soil quality.

Key words: soil fertility; *Hippophae rhamnoides*; restoration period; dump

露天煤矿区已成为当今世界陆地生物圈最为典型、退化最为严重的生态系统^[1]。内蒙古自治区草原作为我国北方的重要生态安全屏障^[2], 已探明的煤炭储量占全国储量的 1/4 以上^[3]。许多分布在草原地区的大型露天煤

收稿日期: 2017-06-27; 修回日期: 2017-09-05

基金项目: 内蒙古自治区国土资源厅重点研究项目: 内蒙古大兴安岭林区矿产资源开发与生态环境保护研究 (内财建 (2012) 1965 号)

作者简介: 刘军, 硕士, 实验师, 从事土地利用整治与保护; E-mail: 314026272@qq.com。通信作者: 党晓宏, 博士, 副教授, 从事荒漠化防治方面研究; E-mail: dangxiaohong1986@126.com。

矿开采堆积固体废弃物形成大量排土场, 由于土层扰乱、植被破坏、土壤性质与周围自然土壤存在较大差异, 对原本脆弱的草原生态造成严重破坏, 导致了当地草原生态系统的进一步退化, 该问题已引起高度关注^[4-5]。

沙棘 *Hippophae rhamnoides* 为胡颓子科 *Elaeagnaceae* 沙棘属 *Hippophae* 落叶灌木或小乔木^[6], 众多学者在露天矿区植被恢复与重建过程中对沙棘改善土壤特性做了大量研究^[7-10]。目前, 我国应用沙棘改良排土场土壤质量主要集中在陕晋蒙黄土丘陵区, 而针对内蒙古森林草原向典型草原过渡地带露天煤矿区相似的研究相对较少。本研究对内蒙古森林草原向典型草原过渡地带的霍林河煤业南露天煤矿区排土场栽植不同年限沙棘林下土壤进行调查, 探究排土场边坡栽植不同年限沙棘对林下土壤质量的影响, 旨在为该地区土壤改良提供基础数据和科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

霍林河煤业南露天煤矿位于内蒙古自治区霍林郭勒市, 45°26'42" N, 119°34'14" E。煤田始建于 1976 年, 1984 年投产, 面积 3 399.63 hm², 处在大兴安岭南端北坡, 地貌以山地丘陵、堆积台地和冲积平原为主, 海拔 870~940 m, 年平均降水量 383.4 mm, 年平均气温-0.5℃, 极端最低气温-37.6℃, 极端最高气温 33.6℃, 属中温带温凉地区半湿润大陆性气候。土壤以栗钙土为主。在植被区划上, 属于温带草原区大兴安岭森林草原向典型草原过渡地带。煤田开垦前, 该区域主要地带性植被群落类型是: 狼针草 *Stipa baicalensis* 群落、大针茅 *Stipa grandis* 群落, 线叶菊 *Filifolium sibiricum* 群落及羊草 *Leymus chinensis* 群落等。截止 2013 年, 排土场面积为 2 212.56 hm², 稳定坡度 38°, 排土高度 50 m, 排弃物主要为表土、泥岩、高灰分劣质煤、煤矸石和砂岩的混合物。矿区原表土厚度 1~12 m 不等, 土壤营养较为丰富, 因此在复垦中采用了将原表土覆盖(平均厚度 50 cm)在排土场上部的方法, 创造了较好的土壤条件。1992 年开始对煤田开采以来形成的排土场边坡进行复垦, 1993 年种植沙棘 13.98 hm², 1994~2000 年未对排土场边坡复垦。由于大风扬尘对周边环境的影响较大, 2002 年与 2005 年分别对 1993~1996 年, 1997~2000 年未治理排土场边坡复垦, 分别种植沙棘面积为 49.23 hm², 45.07 hm², 2007 年与 2010 年分别对 2001~2003 年, 2004~2009 年形成的排土场边坡复垦, 种植沙棘面积为 7.27 hm² 和 27.38 hm²。每期种植沙棘均为 3 年生苗, 株距 1.5 m, 行距 2.0 m。沙棘林管护期 2a, 做好防虫等工作的同时, 每年浇水不低于 3 次, 第 1 年沙棘成活率达 85% 以上, 在管护期对未成活的进行补种, 以确保保存率达 100%。

1.2 土壤样品的采集

2014 年 8 月土壤采样。选取同一年排土且沙棘种植 4 a, 7 a, 9 a, 12 a, 21 a (下文中描述为恢复 4 a, 7 a, 9 a, 12 a, 21 a) 的排土场边坡作为试验样区; 选取 1992 年覆土后排土场边坡中未进行过人工植被恢复、在自然作用下形成的覆土天然植被恢复区(F)及排土场周边天然草地土壤作为对照(CK)。为保证所采样品能够代表样地整体情况, 每个样区随机选取 3 块样地, 每样地设置 1 个 10 m×10 m 样方, 每个样方内按三角形设置 3 个样点。取样前将土壤表层的残留物和杂质清理干净, 直径 5 cm 土钻分别采集深度为 0~20 cm 和 >20~40 cm 的样品。将每个样点不同深度采集的土样分别单独装入自封袋, 做好标记, 带回实验室, 经自然风干后, 剔除杂质和植物根系再分别过 1 mm 和 0.25 mm 筛, 装袋备用。

1.3 土壤样品测定

土壤容重利用环刀法测定, 碱解氮采用碱解扩散法, 速效磷采用碳酸氢钠法, 速效钾采用 NH₄OAc 浸提-火焰光度计法, 有机质采用重铬酸钾容量法, pH 值采用 pH 计测定。

土壤粒级的划分采用中国土壤粒级分级标准(砂粒: 0.05~1.00 mm; 粗粉粒: 0.05~0.01 mm; 细粉粒: 0.010~0.005 mm; 粗黏粒: 0.005~0.001 mm; 细黏粒: <0.001 mm), 采用吸管法测定。

1.4 数据分析与处理

采用 SAS 9.5 和 Excel 2003 软件进行处理与分析。排土场边坡不同恢复年限土壤的理化性质通过方差分析及 Duncan 多重比较分析检查在 $P < 0.05$ 水平下的差异显著性; 利用 Pearson 相关系数分析土壤各因子之间交互作用。

2 结果与分析

2.1 不同恢复年限土壤理化性质分析

2.1.1 不同恢复年限土壤机械组成 0~20 cm 土层的土壤粒级详见表 1, 各样地以砂粒含量最大, 细粉粒最小。随着恢复年限的增加, 砂粒含量逐渐降低, 种植沙棘 7a 后的样地与 F 区以及 CK 差异显著 ($P<0.05$); 粗粉粒呈逐渐增加趋势, 种植沙棘 7a 与 F 区差异显著 ($P<0.05$); 各样本细粉粒变化不大, 含量均在 5.67%~6.50%, CK 只有 2.67%, 且差异显著 ($P<0.05$); 粗黏粒呈增加趋势, 高于 CK, 各样地间无显著差异; 细黏粒含量, 种植沙棘 7a 后的样本开始增加, CK 低于其他样地且差异显著 ($P<0.05$)。在 >20~40 cm 土层, 随着恢复年限增加, 土壤砂粒含量在降低过程中差异性逐渐增强; 粗粉粒 7a 增加至最大, 之后逐渐降低, F 区及 4a 与其他样地差异显著 ($P<0.05$); 不同样地土壤细粉粒、粗黏粒以及细黏粒无显著差异 ($P>0.05$)。说明种植沙棘 7a 后可显著降低砂粒含量, 使黏粒含量得到提高, 细粉粒含量较为稳定, 且各粒度含量在表层 (0~20 cm) 变化较底层 (>20~40 cm) 明显。

表 1 不同样地土壤机械组成 (平均值+标准误差, %)
Table 1 Mechanical composition of soil from different sample plots (mean+SD, %)

项目	土层/cm	F	4/a	7/a	9/a	12/a	21/a	CK
砂粒	0~20	48.42±2.85a	46.42±4.09ab	37.07±1.74bc	35.58±0.29bc	35.60±0.29bc	32.74±1.77c	52.10±6.93a
	>20~40	48.04±4.01a	45.56±5.70ab	41.07±4.05ab	39.59±0.29ab	39.08±0.58ab	34.75±1.46b	38.75±4.05ab
粗粉粒	0~20	15.71±0.30c	18.38±2.83bc	27.02±0.57a	26.52±0.29ab	25.01±1.73ab	24.02±3.06ab	24.01±4.62ab
	>20~40	15.34±0.67b	16.23±1.35b	24.52±0.30a	23.01±0.00a	22.01±0.00a	20.02±3.05ab	22.02±3.06a
细粉粒	0~20	5.67±0.88a	5.67±0.88a	6.01±1.16a	6.50±0.29a	6.00±1.16a	6.00±1.15a	2.67±0.67b
	>20~40	5.34±1.67a	6.37±2.63a	4.50±0.87a	6.50±0.29a	6.50±0.29a	7.67±0.67a	4.00±0.01a
粗黏粒	0~20	10.67±2.41a	10.00±2.31a	11.01±1.73a	12.01±0.00a	12.01±1.16a	14.34±1.45a	8.67±1.77a
	>20~40	12.01±2.00a	12.77±2.47a	10.01±2.31a	10.01±0.00a	10.51±0.29a	13.34±0.67a	12.68±2.91a
细黏粒	0~20	19.53±0.36ab	19.42±0.51ab	18.90±0.58b	19.39±0.87ab	21.39±0.29ab	22.90±2.65a	12.55±0.67c
	>20~40	19.23±0.67a	19.06±0.83a	19.90±0.58a	20.89±0.58a	21.90±0.00a	22.90±2.5a	22.56±3.71a

注: 不同字母代表差异性显著 ($P<0.05$)。下同。

2.1.2 不同恢复年限土壤养分特征 从图 1, 图 2 可知, 随恢复年限增加, 土壤有机质含量逐渐增加, pH 逐渐降低。在 0~20 cm 土层, 种植沙棘 21 a 土壤有机质含量显著 ($P<0.05$) 高于各样地, 为 F 区的 6.75 倍; pH 值逐渐由碱性趋于中性, 其中, 种植沙棘 12 a 与 F 区差异显著 ($P<0.05$), 种植 21 a 与 F 区差异显著 ($P<0.05$), CK 介于 12 a 与 21 a 之间。在 >20~40 cm 土层, 土壤有机质含量呈缓慢增加趋势, 低于 CK; pH 随恢复年限的增加差异性逐渐显著, 不同样本与 CK 差异显著 ($P<0.05$)。在不同土层, 土壤有机质表层高于底层, pH 底层高于表层。说明沙棘对排土场土壤有机质、pH 值改良效果明显, 且表层变化大于底层。

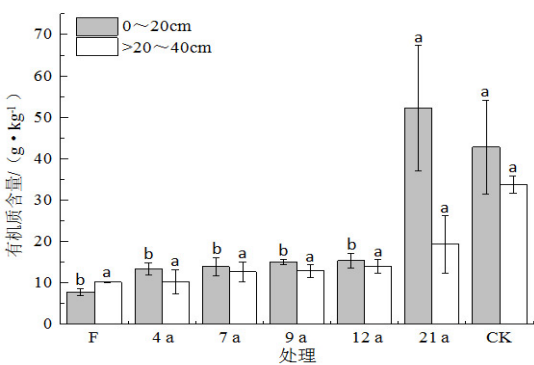


图 1 不同土壤样本有机质含量

Figure 1 Soil organic matter content in different sample plots

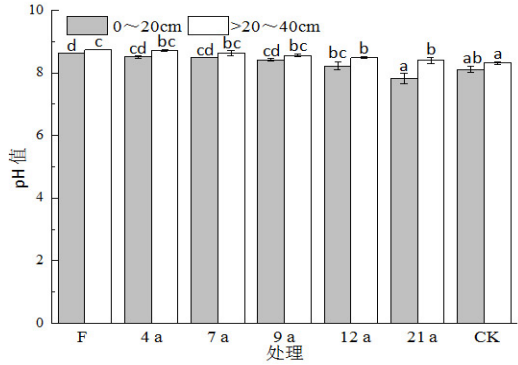


图 2 不同土壤样本 pH 值

Figure 2 Soil pH in different sample plots

碱解氮、速效磷、速效钾能够灵敏地反映土壤养分供应的动态与水平。由图 3 可知, 土壤碱解氮含量在土

壤恢复过程中逐渐增加,其中,在0~20 cm土层,种植12 a与F区差异显著($P<0.05$),种植21 a高于CK,且与其他样本差异显著($P<0.05$)。在>20~40 cm土层,种植12 a,21 a分别与F区以及CK差异显著,种植21 a碱解氮含量显著高于F区,低于CK;对于不同深度土层,除F区与4 a外,种植7~21 a表层均高于底层。说明沙棘种植12 a后可显著改善排土场边坡土壤碱解氮状况,且表层优于底层。

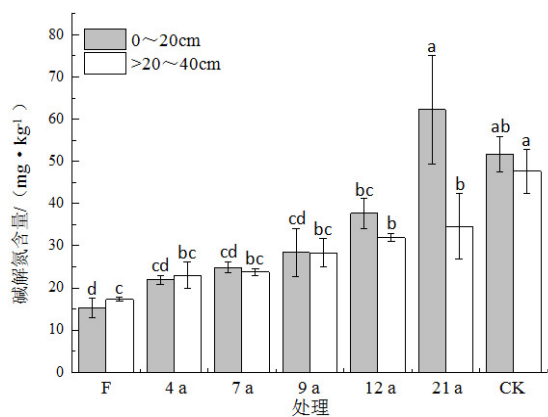


图3 不同土壤样本碱解氮含量

Figure 3 Soil alkali-hydrolyzable nitrogen content in different sample plots

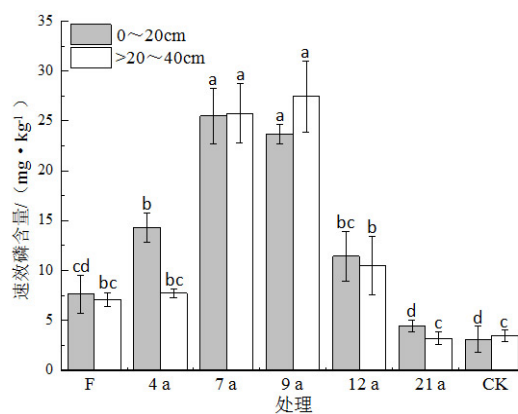


图4 不同样本土壤速效磷含量

Figure 4 Soil available phosphorus content in different sample plots

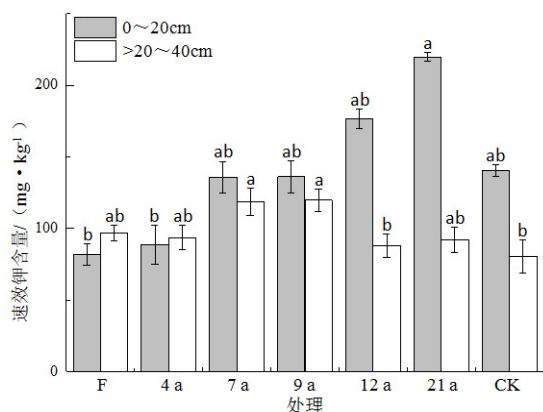


图5 不同土壤样本速效钾含量

Figure 5 Soil available potassium content in different sample plots

图4为不同土壤样本速效磷含量变化情况,速效磷含量在表层与底层呈先增加后降低趋势,在种植7~9 a达到最高,与其他样本差异显著,其中,21 a和CK与F区略有差异。不同深度速效磷含量变化,F区上层与底层无明显差别,其他样本不同深度以种植4 a差异最大。说明沙棘在恢复初期可快速补充与释放植被生长所需磷素。土壤速效钾含量变化情况如图5所示。在0~20 cm土层,随着恢复年限增加而增加,种植7 a与F区有一定差异;种植21 a高于CK,为未恢复区的2.68倍。在>20~40 cm土层,种植7 a和9 a速效钾含量最高,其他样本之间无明显变化规律;不同深度速效钾含量变化,除F区与种植4 a外,其他样本表层均高于底层,并且恢复年限越长,上层与底层差距越大。说明种植沙棘在7~9 a对排土场边坡土壤速效钾含量产生明显变化,且表层变化更为显著。

2.3 土壤理化性质的相关性分析

从表2可知,在土壤理化性质间,碱解氮与砂粒、粗黏粒、细黏粒、有机质含量及pH值变化分别呈极显著负相关、显著正相关、极显著正相关、极显著正相关、显著负相关;速效磷与粗粉粒含量变化呈显著正相关;速效钾与砂粒、有机质含量及pH值变化分别呈显著负相关、显著正相关、极显著负相关。说明土壤砂粒、有

机质含量及 pH 值变化是土壤碱解氮与速效钾含量变化的主要因素, 而土壤粗粉粒含量影响速效磷含量。

表 2 0 ~ 20 cm 土壤理化性质的相关系数
Table 2 Correlation coefficient of soil physiochemical properties at 0~20cm layers

项目	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
X1	1.00									
X2	-0.69**	1.00								
X3	-0.42	-0.11	1.00							
X4	-0.68**	0.00	0.77**	1.00						
X5	-0.37	-0.10	-0.08	0.33	1.00					
X6	0.57**	-0.38	0.00	-0.40	-0.36	1.00				
X7	-0.64**	0.17	0.16	0.51*	0.82**	-0.70*	1.00			
X8	-0.13	0.45*	0.07	-0.21	-0.39	0.38	-0.33	1.00		
X9	-0.51*	0.36	0.20	0.34	0.17	-0.85**	0.56*	-0.12	1.00	
X10	-0.48*	0.11	0.24	0.44	0.52*	-0.60**	0.78**	-0.36	0.43*	1.00

注: X1 - 砂粒; X2 - 粗粉粒; X3 - 细粉粒; X4 - 粗黏粒; X5 - 细黏粒; X6 - pH; X7 - 碱解氮; X8 - 速效磷; X9 - 速效钾; X10 - 有机质;
**在 0.01 水平上极显著相关, *在 0.05 水平上显著相关。

3 讨论与结论

露天煤矿区排土场土壤层次紊乱、结构性差, 土壤机械组成作为构成土壤结构体的基本单元, 对植物生长所需的环境条件及养分供给关系十分密切。齐雁冰等^[11]研究认为植被恢复过程中黏粒和粉粒含量增多, 砂粒含量减少。本研究与齐雁冰等的研究有不尽相同之处, 可能由于土壤机械组成分类细化程度的不同, 同时, 本研究发现, 土壤细粉粒在不同恢复年限变化不大, 土壤粗粉粒呈先升高后降低趋势。其原因主要因为沙棘根系发达, 随着恢复年限增加, 根系网络在近地表形成, 土壤黏化作用、抗蚀性及抗冲性增加, 改善土壤物理性质的同时, 发挥了良好的水土保持作用。土壤有机质作为指示土壤肥力与健康的关键指标, 主要受制于地上植物及其地下根系有机质的输入与分解^[12-13]。土壤 pH 值决定和影响土壤元素和养分的存在状态、转化和有效性^[7,14]。本研究表明, 随种植年限的增长, 沙棘林下土壤有机质、碱解氮逐渐增加, pH 值趋于中性, 这与他人^[15-16]研究结果基本一致。其原因主要是由于沙棘生长迅速, 地上生长量大, 大量枯枝落叶能够归还土壤, 大部分根系密集于表层, 残体及分泌物较多, 在腐殖化作用下, 有机质及速效营元素含量能够不断增加, 而对于底层土壤, 枯枝落叶、营养物质以及腐殖化后的根系较表层少, 使得有机质及速效营元素含量较低。其次, 浅层土壤中存在大量的沙棘根系, 这些根系固着的根瘤菌可以吸收大气中的氮素, 进而转化成能被沙棘吸收的氮肥, 从而使土壤中的含氮量不断增加。同时, 在植被恢复过程中, 土壤微环境不断得到改善, 土壤微生物数量增加, 其中, 微生物中的真菌数量在增加过程中会使得土壤 pH 值下降; 另一方面, 还可能是其根系分泌出大量的有机酸、生物酶等物质对土壤环境进行了改善, 使土壤 pH 值有所下降。李鹏飞等^[8]认为沙棘对提高土壤速效磷、速效钾含量有良好效果, 刘振花^[17]在研究中发现随沙棘林龄的增加, 速效磷含量增加、速效钾含量减少, 与本研究结果不完全一致。本研究表明随沙棘林下土壤恢复年限增加, 速效磷先升高, 种植 9 a 后降低; 速效钾在表层增加, 种植 9 a 后底层开始下降。究其原因, 首先, 研究时段以及地区的不同造成了一定差异; 其次, 本研究认为速效磷因固定在母质中的磷素不易释放, 有机质返还磷素小于吸收量, 导致土壤速效磷含量逐渐减低, 速效钾在母质释放与植物枯落物和有机质返还共同作用下含量不断升高, 该结果在相关性分析中也得到了验证。

此外, 种植沙棘 7 a 后排土场边坡砂粒含量显著降低 ($P < 0.05$), 黏粒含量明显提高, 细粉粒含量较为稳定, 且各粒度含量在表层变化较底层显著; 随恢复年限增加, 土壤有机质、碱解氮、速效钾含量增加, 土壤 pH 值逐渐降低

基于以上分析, 本研究认为在森林草原向典型草原过渡地带露天煤矿排土场边坡栽植人工沙棘林对土壤肥力改良效果显著, 在该地区土地复垦中引种沙棘, 对改善排土场土壤环境有实际意义。

参考文献:

[1] 范英宏, 陆兆华, 程建龙, 等. 中国煤矿区主要生态环境问题及生态重建技术[J]. 生态学报, 2003, 23 (10): 2144 - 2152.

- [2] 白淑英, 吴奇, 沈渭寿, 等. 内蒙古草原矿区土地退化特征[J]. 生态与农村环境学报, 2016, 32(2): 178–186.
- [3] 刘艳, 赵欣. 内蒙古资源开发与保护当地农牧民利益关系研究[J]. 中央民族大学学报(哲学社会科学版), 2016, 43(5): 56–61.
- [4] 杨勇, 刘爱军, 朝鲁孟其其格, 等. 锡林郭勒露天煤矿矿区草原土壤重金属分布特征[J]. 生态环境学报, 2016, 25(5): 885–892.
- [5] 文月荣, 党廷辉, 唐骏. 不同林地恢复模式下露天煤矿排土场土壤有机碳分布特征[J]. 应用生态学报, 2016, 27(1): 83–90.
- [6] 党晓宏, 汪季, 王巧利, 等. 准格尔旗露天煤矿矿区沙棘生长状况调查研究[J]. 内蒙古林业科技, 2010, 36(3): 23–26.
- [7] 樊文华, 李慧峰, 白中科. 黄土区大型露天煤矿不同复垦模式和年限下土壤肥力的变化[J]. 山西农业大学学报, 2006, 26(4): 313–316.
- [8] 李鹏飞, 张兴昌, 朱首军, 等. 植被恢复对黑岱沟矿区排土场土壤性质的影响[J]. 水土保持通报, 2015, 35(5): 64–70.
- [9] 王晓明, 高德武. 大果沙棘在露天煤矿植被恢复中的应用试验[J]. 国际沙棘研究与开发, 2007, 5(3): 15–17.
- [10] 贺尧, 苏芳莉, 郭成久, 等. 基于主成分分析法的煤矸石山植被水土保持功能评价[J]. 水土保持研究, 2009, 16(1): 74–77.
- [11] 齐雁冰, 常庆瑞. 高寒地区人工植被恢复对风沙土区土壤效应影响[J]. 水土保持学报, 2005, 19(6): 40–43.
- [12] 安渊, 徐柱, 闫志坚. 不同退化梯度草地植物和土壤差异[J]. 中国草地, 1999(4): 31–36.
- [13] 王岩, 李玉灵, 石娟华, 等. 不同植被恢复模式对铁尾矿物种多样性及土壤理化性质的影响[J]. 水土保持学报, 2012, 26(3): 112–117, 183.
- [14] 王金满, 杨睿璇, 白中科. 草原区露天煤矿排土场复垦土壤质量演替规律与模型[J]. 农业工程学报, 2012, 28(14): 229–235.
- [15] 王晓琳, 王丽梅, 张晓媛, 等. 不同植被对晋陕蒙矿区排土场土壤养分 16 a 恢复程度的影响[J]. 农业工程学报, 2016, 32(9): 198–203.
- [16] 赵韵美, 樊金拴, 苏锐, 等. 阜新矿区不同植被恢复模式下煤矿废弃地土壤养分特征[J]. 西北农业学报, 2014, 23(8): 210–216.
- [17] 刘振花. 阜新地区沙棘林地土壤理化性质研究[J]. 防护林科技, 2016, 5: 25–26, 71.