

露天矿上覆岩土层中表土替代材料的筛选

胡振琪, 位蓓蕾, 林 衫, 杨 洁, 李 耀

(中国矿业大学(北京)土地复垦与生态重建研究所, 矿山生态安全教育部工程研究中心, 北京 100083)

摘 要: 在表土缺乏地区, 筛选适宜的表土替代材料是露天矿复垦的关键。通过对内蒙古某露天煤矿上覆岩土层的基本特征的分析, 以当地表土作为对照, 比较分析了表土层下II层黄土(18.4 m厚)和III层亚黏土(16 m厚)的原状基质及其风化物的理化性质与营养成分、重金属含量, 同时采用盆栽试验研究了各基质出苗率及土壤表层的结皮情况。试验结果表明: 表土层下II层风化与原状基质分别属于粉黏土和黏土, pH值偏高, 缺乏有机质、速效磷、速效钾等营养成分, As、Cr、Cu、Ni、Zn、Pb等重金属含量较低, 表层结皮严重对紫花苜蓿的出苗率影响较大; III层风化与原状基质属于重黏土, pH值适中, 营养成分含量不均衡, 速效钾含量丰富, As、Cr、Cu、Ni、Zn、Pb等重金属含量较低, 表层稍有结皮对紫花苜蓿出苗率的影响较小。分析结果表明: III层基质在酸碱性、电导率、含盐量、出苗率等方面均接近当地表土, 较为适宜作为表土替代材料, 其风化后的土壤特性更优。

关键词: 土地复垦, 土壤, 重构, 露天矿, 表土替代材料, 上覆岩层

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.19.026

中图分类号: TD88; S156

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2013)-19-0000-06

胡振琪, 位蓓蕾, 林 衫, 等. 露天矿上覆岩土层中表土替代材料的筛选[J]. 农业工程学报, 2013, 29(19): 209—214.

Hu Zhenqi, Wei Beilei, Lin Shan, et al. Selection of topsoil alternatives from overburden of surface coal mines[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(19): 209—214. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

煤炭是中国最主要能源, 占一次性能源消费的65%左右。2011年中国原煤产量为35.2亿t, 其中露天煤矿生产量约占总生产量的10%左右, 由于露天开采具有开采成本低、安全好、资源利用率高等优点, 中国露天开采的比例正日益增加, 使得近年来中国露天煤矿开采取得了长足的发展^[1-2]。中国内蒙古地区煤炭资源储量丰富, 煤层厚, 地质构造相对简单, 埋藏浅, 易于露天开采^[3-4]。露天开采需剥离煤层上方的全部表土和岩层, 对生态环境的影响最显著, 而且中国的露天开采大都位于生态脆弱区, 因此, 露天矿土地复垦与生态重建已经成为中国一项十分紧迫的任务^[3-5]。

露天矿土地复垦要求采矿-复垦一体化^[6]。分层剥离和回填构造适宜的土壤结构是露天矿土地复垦的关键^[7]。在构造新的土层结构中表土是十分重要, 需要将表土先行剥离再回填。由于表土层较薄, 在

其剥离、堆存和回填时会有损失和退化, 此外排土场呈多个台阶, 形成了很多的边坡, 因此复垦的面积显著增加, 原有表土层数量明显不足, 因此, 寻找适宜的表土替代材料就显得十分必要。采矿生产过程中产生的剥离基质作为母质, 经人工整理、改良, 促使其风化、熟化后是理想表土替代材料^[8-17]。

本文作者曾研发基于风化煤、煤矸石等材料制作表土替代材料的方法和材料配方^[18-19]。许多西方国家土地复垦有关法规中明确规定, 在煤矿开采前需对土壤及上覆岩层各基质的特性进行分析以筛选适宜的表土替代材料, 而国内对于此方面的研究的未见报道。因此, 本试验选择了内蒙古某露天煤矿上覆岩层及其风化基质为研究对象, 分析其理化性质和养分含量, 进而筛选适宜的表土替代材料, 以为露天矿表土覆盖提供参考。

1 研究区概况

研究区位于内蒙古呼伦贝尔市陈巴尔虎旗, 南距呼伦贝尔市海拉尔区20 km, 北距额尔古纳市100 km, 该区属于大陆性亚寒带气候, 冬季严寒, 夏季较热。区内年平均气温-2.6℃, 年平均降水量为315.0 mm, 年平均蒸发量为1 344.8 mm, 降雨多集中在7、8、9月份, 春季多东南风, 冬季多西北风, 风力3~5级, 风速最大17 m/s, 年平均大风

收稿日期: 2013-01-02 修订日期: 2013-08-26

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金项目(2010YD03)

作者简介: 胡振琪(1963—), 男, 安徽省五河县人, 工学博士, 教授, 博士生导师, 从事矿区土地复垦与生态重建方面的研究。中国矿业大学(北京)土地复垦与生态重建研究所, 100083。

Email: huzq@cumtb.edu.cn, Tel: 010-62339045。

日为 23.4 d, 年平均风速 3.3 m/s。本区平均年积雪日数为 149.9 d, 最长积雪日 178 d, 雷暴日数平均为 23.5 d, 平均结冰期 172 d。

研究区土壤类型为淡黑钙土、暗栗钙土, 随着区域内降雨量减少和水位的大幅下降, 在研究区附近, 部分表土已经沙化。根据研究区的地质柱状图(图 1), 上覆岩土层共有 7 层: I 层为腐殖土层(最大厚度仅为 0.5 m), II 层为黄土(厚度为 18.4 m), III 层为亚黏土(厚度为 16 m), IV 层为砂砾石(厚度为 8 m), V 层为中砂(厚度为 6 m), VI 层仍为砂砾石(厚度为 26 m), VII 层为砂岩(厚度为 0.8 m)。由于 IV 层及以下的基质分别为砂砾石、中砂、砂岩, 这些基质属于较硬的岩石层不适宜作为表土替代材料。因此本研究以 II 层和 III 层原状基质及其风化基质为研究对象, 分析其作为表土替代材料的可行性。

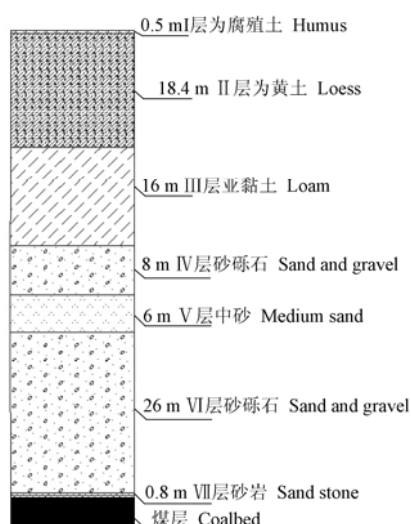


图 1 研究区地质剖面示意图
Fig.1 Geologic profile of study area

2 材料与方法

对于表土匮乏地区, 选择适宜的表土替代材料, 可以从根本上解决矿区排土场生态恢复植物的立地条件, 还有利于排土场的水土保持。筛选适宜的表土替代材料的方法是: 首先通过各上覆岩土质地及赋存量的分析初步筛选出可能的表土替代材料土层, 再通过各土层物理、化学、生物和环境特性及出苗率的分析并对比其风化物 and 原始表土, 最终筛选出与表土特性接近的基本土壤特性好、环境风险低、出苗率高的土层作为表土替代材料。

样品采自研究区 I 层腐殖土(即当地未扰动表土)作为对照用 Control 表示, II 层黄土的风化及原状基质表示为 II1、II2, III 层亚黏土的风化及原状基质表示为 III1、III2。I 层腐殖土主要采用土钻

在未扰动的草地上采集, 随机选择 5 个采样点, 采集 0~20 cm 处土壤, 然后采用四分法缩分至 1 kg。II 层黄土和 III 层亚黏土的原状土采集于采掘场相应土层剥离处。II 层黄土和 III 层亚黏土的风化物采集于排土场相应的排土堆。这样就构成了 5 个土壤基质材料样品。

野外采集的土样经室内风干、去杂、过筛后, 测定样品的质地、水稳性团聚体、有机质、全 N、速效 P、速效 K、pH 值、出苗率、金属含量等指标。其中土壤颗粒组成利用济南润之科技有限公司出产的 Rise-2002 型激光粒度仪进行分析, 水稳性团聚体采用萨维诺夫湿筛法, pH 值测定采用电位法, 用上海三信 DDS2-11A 型电导率仪测定基质的电导率, 有机质测定选用油浴加热重铬酸钾容量法, 全氮的测定采用半定量凯式定氮法, 速效钾的测定利用火焰光度法, 速效磷的测定采用钼锑抗比色法^[20-23], 基质的金属含量利用美国 Thermo 生产的 ICP-OES 电感耦合等离子体发射光谱仪测定。

出苗率采用盆栽试验测定: 5 种基质经风干、过筛后取 1 kg 置于直径为 15 cm 的塑料盆内, 每种基质设置 3 个重复, 加入去离子水造墒, 室温下平衡 2 周后, 每盆播撒 20 粒苜蓿种子, 1 周后观察出苗率和表层结皮情况。利用 SAS8.5 和 SPSS17.0 统计软件对试验数据进行统计分析。利用 Origin Pro8.5 软件绘制图表。

3 结果与分析

3.1 不同基质的质地分析

土壤质地是指土壤中不同粒径的矿物颗粒的组合状况, 土壤质地与土壤通气性、保肥保水性、土壤结构、紧实度、黏结性离子交换和营养物质储量状况及耕作的难易程度密切相关^[24]。由表 1 可知当地表土的粗粉粒质量分数为 58.23% 属于粉砂土, 表明当地表土已经出现沙化现象, 土壤的保水和保肥能力降低, 土温变化幅度增大。II 层的风化及原状基质的细黏粒质量分数分别为 24.03%、59.14% 属于粉黏土和黏土, 性质上兼具砂土和黏土的优点, 抗逆能力强, 通气透水、保水保肥能力较好, 适耕期较长, 便于调节, 在农业生产上是较理想的土壤。III 层的风化及原状基质的细黏粒质量分数分别为 95.35%、99.85% 属于重黏土。与壤土相比, 其粒间孔隙较小, 总孔隙相对较高, 保水保肥性强, 但是通气性较差, 不利于有机质的分解, 不利于植物发苗^[23]。若将 III 层基质作为表土替代材料可以通过向基质中添加适当比例的砂土, 提高基质通气性, 促进基质中的进化过程^[24]。

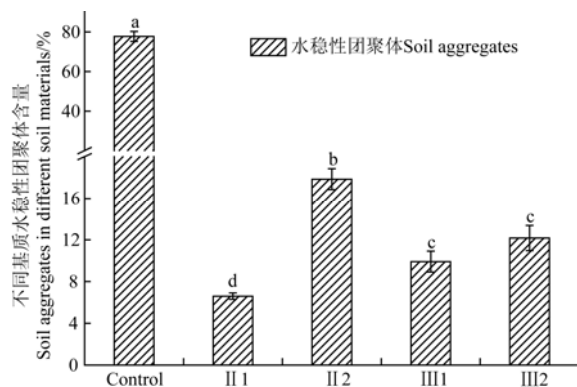
表 1 不同基质粒度组成含量
Table 1 Particle size distribution of different soil materials

样品 Sample	不同粒径范围的质量分数 Mass fraction of different particle size/%						质地 Soil texture
	细黏粒 Fine clay (<0.001 mm)	粗黏粒 Coarse clay ($\geq 0.001 \sim 0.002$ mm)	细粉粒 Fine silt ($\geq 0.002 \sim 0.005$ mm)	中粉粒 Medium silt ($\geq 0.005 \sim 0.01$ mm)	粗粉粒 Coarse silt ($\geq 0.01 \sim 0.05$ mm)	细砂粒 Fine sand ($\geq 0.05 \sim 0.25$ mm)	
Control	2.2	9.17	13.77	12.02	58.23	4.61	粉砂土
II 1	24.03	38.29	22.66	7.28	7.74	0	粉黏土
II 2	59.14	35.61	3.84	1.12	0.29	0	黏土
III 1	95.35	4.63	0.02	0	0	0	重黏土
III 2	99.85	0.15	0	0	0	0	重黏土

3.2 不同基质水稳性团聚体含量

土壤团聚体的稳定性直接影响土壤表层的水、土界面行为，与降雨入渗以及土壤抗侵蚀状况关系密切相关，同时对土壤养分的维持、释放和供给能力等方面有着重要影响，反映了土壤结构的稳定性和抗侵蚀能力^[21]，因此，土壤水稳性团聚体含量是评价土壤结构性的重要指标。

由图 2 可知，2 个研究层的风化和原状基质的水稳性团聚体含量远低于当地表土，且团聚体多小于 1 mm，2 层基质经风化作用后水稳性团聚体的含量明显低于当地表土，显著性检验显示 5 种基质间水稳性团聚体含量存在显著性差异 ($P < 0.05$)。分析结果表明，2 层基质直接作为表土替代材料时其团聚体的量不能满足抗蚀性需求，并且土壤孔隙度较小，作为表土替代材料可造成入渗率过小，土壤含水率过大，而影响排土场复垦效果^[19]。需要添加一定的粘结材料或施用有机肥以增加基质的水稳性团聚体含量提高基质的抗蚀性。



注：不同的字母表示在 0.05 水平上差异显著。

Note: Different letters denote significant difference at 0.05 level.

图 2 不同基质水稳性团聚体含量

Fig.2 Soil aggregates in different soil materials

3.3 不同基质酸碱性及电导率可溶性盐含量

土壤 pH 会影响土壤微生物的活性、矿物质和有机质的分解及土壤养分元素的释放、固定和迁移^[16]。植物生长都需要适宜的 pH 范围，pH 值过大或过小

会影响土壤养分的有效性，影响植物生长。当地表土 pH 值为 7.70，属于微碱性；II 层风化基质与其原状的 pH 值分别为 8.02、9.22，分别属于微碱性和强碱性；III 层风化基质与其原状 pH 值分别为 7.75、7.83，属于微碱性，与当地表土基本一致，说明 III 层基质作为表土替代材料其酸碱性不存在障碍，II 层基质经风化作用后碱性明显降低，如果将其作为表土替代材料应适当进行改良，如加入石膏、有机肥料等。

土壤的电导率可以反应土壤水溶性盐的指标，而土壤水溶性盐含量是判定土壤中盐类离子是否限制作物生长的因素。根据 $Y = 0.0651X$ ^[25] 得出水溶性盐含量与电导率之间的回归关系 (Y 代表水溶性盐含量， X 代表电导率)。显著性检验显示 III 层原状基质的可溶性盐含量与当地表土间无显著性差异 ($P > 0.05$) (见图 3)。根据盐渍化土壤划分的等级，得出 2 个研究层的风化及原状基质都属于非盐渍化土壤对作物不产生盐害^[26-27]。

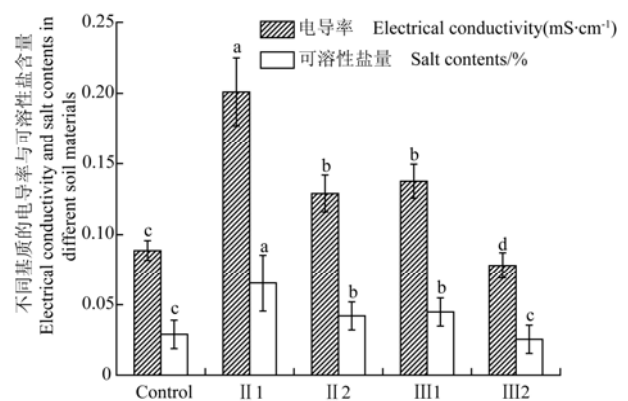


图 3 不同基质的电导率与可溶性盐含量

Fig.3 Electrical conductivity and salt contents in different soil materials

3.4 不同基质养分分析

根据测试分析，不同土壤基质的养分含量结果列于表 2。

表 2 不同基质养分含量

Table 2 Nutrient contents in different soil materials

采样点 Sample	有机质 Organic matter/(g·kg ⁻¹)	速效钾 Rapidly available K/(mg·kg ⁻¹)	速效磷 Available P/(mg·kg ⁻¹)	全氮 Total nitrogen/(g·kg ⁻¹)
Control	49.27±0.47a	196.50±5.50b	103.26±4.48a	2.84±0.00a
II 1	5.29±0.13c	67.50±9.50d	8.02±0.36b	0.31±0.01c
II 2	4.77±0.82d	127.50±0.50c	2.65±0.36c	0.22±0.01c
III 1	14.94±0.11b	375.00±3.00a	6.05±0.72b	0.16±0.01c
III 2	7.50±0.28c	384.50±6.50a	16.79±2.15b	0.90±0.01b

注：表中数据为平均值±标准差（ $n=3$ ），同一栏中的不同字母表示差异显著（根据 SSR 检验， $P<0.05$ ），下同。

Note: Data in the table are means±SD ($n=3$), different letters in same vertical column indicate significant difference according to SSR test ($P<0.05$), the same below.

3.4.1 不同基质的有机质含量分析

土壤有机质的积累量是排土场土壤形成的关键因素，是土壤营养的重要来源，适宜的有机质含量不但可以促进团粒结构的形成，改善土壤结构，促进土壤微生物活动，加快成土过程，而且土壤有机质含量对土壤的渗透性、可蚀性、持水性以及养分循环等影响显著^[28-30]。由表 2 可知，当地表土有机质质量分数丰富为 49.27 g/kg，依照全国第 2 次土壤普查土壤养分分级和丰缺度标准，属于一级水平，显著高于其他基质（ $P<0.05$ ）；II 层风化基质为 5.29 g/kg，属于六级水平，有机质极度缺乏，近似于新成土或始成土；III 层风化基质为 14.94 g/kg，属于四级水平，有机质含量稍缺；而 2 个研究层的原状基质有机质为 4.77、7.50 g/kg，有机质含量极度缺乏。造成有机质含量较低的原因与研究基质常年深埋于地表之下，缺乏有机物以及微生物的腐殖化作用有关，如果将此类基质经过一定的堆肥熟化，可以增加有机质的含量。

3.4.2 不同基质的全氮含量分析

土壤中氮是植物需求量最多，质量分数最高的营养元素之一，全氮量通常可用于衡量土壤氮素的基础肥力，中国耕地中全氮的质量分数多在 0.5~1 g/kg 之间，根据第二次全国土壤普查土壤养分分级和丰缺度标准，当地表土全氮质量分数为 2.84 g/kg，显著高于其他基质（ $P<0.05$ ）（表 2），属于一级水平。II 层风化及原状基质的全氮质量分数分别为 0.31、0.22 g/kg，III 层风化及原状基质全氮质量分数分别为 0.16、0.90 g/kg，只有 III 层原状基质的全氮含

量较高基本满足作物生长需求，其他 3 类基质的全氮含量都属于六级水平，含量极度缺乏。

3.4.3 不同基质的速效磷含量分析

土壤磷素对土壤肥力有重要影响，其主要来源是土壤的成土矿物，同时受到生物的富集迁移影响。由表 2 可知，II 层风化及原状基质的速效磷质量分数分别为 8.02 和 2.65 mg/kg，III 层风化基质的速效磷质量分数为 6.05 mg/kg，属于四级水平；III 层原状基质为 16.79 mg/kg，属于三级水平，当速效磷质量分数为 10 mg/kg 时基本可以满足植物的生长需求。III 层原状基质速效磷含量明显高于其他基质，满足耕作土地对磷的需求量。

3.4.4 不同基质的速效钾含量分析

土壤中钾素主要来源于母质，它能够提高植物对氮元素的吸收和利用，同时增强植物的抗逆性，参与土壤中钾素循环的主要是速效钾。由表 2 可知，II 层的风化基质速效钾质量分数 67.50 mg/kg，依据全国第二次土壤普查土壤养分分级和丰缺度标准，属于四级水平，II 层的原状基质速效钾质量分数为 127.50 mg/kg，属于三级水平，满足植物生长需求。III 层的风化及原状基质速效钾质量分数极高为 375.00、384.50 mg/kg，属于一级水平。

3.5 不同基质的金属含量

由表 3 可知 II 层原状基质和 III 层原状基质及其风化物中 As、Cr、Cu、Ni、Zn、Pb 的含量远低于国家土壤环境质量一级标准，四类基质作为表土替代材料在检测的重金属范围内不存在环境风险。

表 3 不同基质中重金属元素的检出量以及环境标准值

Table 3 Metal contents in different soil materials and national environmental standard value

基质 Material	As	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Control	0.23±0.01a	1.99±0.01c	4.32±0.03b	10.52±0.11b	29.12±0.23b	75.05±3.21a
II 1	0.14±0.01b	3.42±0.02b	7.97±0.05a	10.14±0.11b	32.19±0.16ab	75.41±2.513a
II 2	0.11±0.01b	3.44±0.03b	8.01±0.05a	10.13±0.07b	28.45±0.21b	74.21±3.67a
III 1	0.12±0.01b	8.55±0.05a	6.17±0.04ab	12.09±0.10a	28.56±0.14b	72.71±4.29ab
III 2	0.14±0.02b	8.61±0.07a	6.48±0.03ab	10.71±0.09b	34.02±0.18a	70.82±4.65b
土壤环境一级标准	15	90	35	40	35	100
土壤环境二级标准	20	350	100	60	250	200

3.6 不同基质对出苗率的影响

土壤结皮一般意义上是指土壤的物理结皮，主

要指土壤表面普遍存在的致密层，厚度约为几毫米至几厘米的一层很薄的土表硬壳。土壤结皮会使土

壤表面强度增大，土壤孔隙被堵塞，导致土壤的导水性变差，阻碍土壤的通气 and 透水性，能直接影响植物种子的萌发、出苗和生长。

由表 4 可知，III 层原状及其风化基质组稍有结皮，紫花苜蓿的出苗率与当地表土相近，表明这 2 种基质对出苗率影响不大。II 层风化及其原状基质结皮严重，对出苗率影响较大，若将 II 层基质作为表土替代材料时应注意施用一定的改良剂，改善其表层结皮情况。

表 4 不同基质表层结皮状况与出苗率

Table 4 Soil crust and emergence rates of seeds in different soil materials

基质 material	表层粗糙情况 Surface rough situation	裂纹情况 Crack situation	结皮状况 Crust situation	出苗率 Emergence Rate/%
Control	糙率较大	细小裂纹	稍有结皮	65±2.87a
II 1	糙率很小	基本没有裂纹	结皮严重	25±1.21c
II 2	糙率很小	基本没有裂纹	结皮严重	20±1.01c
III 1	糙率较小	细小裂纹	稍有结皮	55±2.33b
III 2	糙率较小	少量细小裂纹	稍有结皮	60±2.12a

4 讨 论

本次试验结果表明 II 层风化和原状基质分别属于粉黏土和黏土，质地较好，但该基质团聚体含量少，pH 值偏高，且有机质、全氮、速效磷、速效钾含量均较低，且结皮严重，严重影响植物的出苗率，由此可见 II 层风化与原状基质具备作为表土替代材料的潜力，若选作表土替代材料，需要花费较多的人力、物力着重改良其 pH 值，增加营养元素含量。III 层风化及原状基质属于重黏土，该类土质粒间孔隙较小，总孔隙相对较高，保水保肥性强，同时基质 pH 值与当地表土相当，速效磷含量适中可以满足植物的需要，速效钾含量极高，可为植物生长提供充足的钾源，盆栽试验结果显示：紫花苜蓿的出苗率 III 层风化基质高于原状基质与当地表土相近。对几类基质的重金属含量测定发现，远低于国家土壤环境质量一级标准。因此在重金属这一指标上 II 层风化与原状基质和 III 层风化与原状基质不存在替代表土的障碍。综上所述，4 类基质中，III 层风化基质表现出较大的优越性，但是其作为表土替代材料需着重改善其质地，适当添加有机肥和氮肥以均衡其营养元素含量，同时提高其团聚体含量。

5 结 论

1) 表土层为粉砂土，而其下的 II 层（黄土）和 III 层（亚黏土）的粘粒含量都较高、质地较好，都具有作为表土替代材料的潜能。

2) 备选的表土替代材料重金属含量均符合国家土壤环境质量标准，是安全的表土替代材料。

3) III 层基质在酸碱性、电导率、含盐量、出苗率等方面均接近当地表土，其风化后在理化、生

物以及环境特性方面表现出更好的优越性，最为适宜作为表土替代材料，但在营养元素含量方面，除速效钾以外都较低，需要进行改良。

[参 考 文 献]

- [1] 刘志永，裴国栋. 我国露天煤矿企业现状及其发展探讨[J]. 科技资讯，2011，4(2): 102.
Liu Zhiyong, Pei Guodong. The present situation and development of outdoor coalmine enterprise in our countrys[J]. Science and Technology Information, 2011, 4(2): 102. (in Chinese with English abstract)
- [2] 宋子岭. 现代露天矿设计理论与方法研究[D]. 阜新：辽宁工程技术大学，2007.
Song Ziling. Study on the Design Theory and Method for Modern Surface Mining[D]. Fuxin: Liaoning Technical University, 2007. (in Chinese with English abstract)
- [3] 刘春雷，王金满，白中科，等. 干旱区草原露天煤矿土地复垦技术分析[J]. 金属矿山，2011(5): 154—157.
Liu Chunlei, Wang Jinman, Bai Zhongke, et al. Analysis of land reclamation technologies for surface coal mine in arid grassland[J]. Metalmine, 2011(5): 154—157. (in Chinese with English abstract)
- [4] 台培东，孙铁珩，贾宏宇，等. 草原地区露天煤矿排土场土地复垦技术研究[J]. 水土保持学报，2002，16(3): 90—93.
Tai Peidong, Sun Tieheng, Jia Hongyu, et al. Restoration for refuse dump of open-cast mine in steppe region[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2002, 16(3): 90—93. (in Chinese with English abstract)
- [5] 胡振琪. 论露天煤矿复垦的有关问题[J]. 煤矿环境保护，1996，10(5): 11—14.
- [6] 才庆祥，高更君，尚涛. 露天矿剥离与土地复垦一体化作业优化研究[J]. 煤炭学报，2002，27(3): 276—280.
Cai Qingxing, Gao Gengjun, Shang Tao. Optional study of integrating operation of mining and land reclamation insurface mines[J]. Journal of China Coal Society, 2002, 27(3): 276—280. (in Chinese with English abstract)
- [7] 胡振琪. 煤矿山复垦土壤剖面重构的基本原理与方法[J]. 煤炭学报，1997，22(6): 617—618.
Hu Zhenqi. Principle and method of soil profile restruction for coal mine land reclamation[J]. Journal of China Coal Society, 1997, 22(6): 617—618. (in Chinese with English abstract)
- [8] 付梅臣，谢宏全. 煤矿区生态复垦中表土管理模式研究[J]. 中国矿业，2004，13(4): 36—38.
Fu Meichen, Xie Hongquan. Study on surface soil management mode of ecological reclamation in coal mining area[J]. China Mining Magazine, 2004, 13(4): 36—38. (in Chinese with English abstract)
- [9] 赵景逵. 矿区土地复垦技术与管理[M]. 北京：农业出版社，1993.
- [10] Raj K Shrestha, Rattan La. Changes in physical and chemical properties of soil after surface mining and reclamation[J]. Geoderma, 2011(161): 168—176.
- [11] Anderson J D, Ingram L J, Stahl P D. Influence of reclamation management practices on microbial biomass carbon and soil organic carbon accumulation in semiarid mined lands of Wyoming[J]. Applied Soil Ecology, 2008, 40(2): 387—397.
- [12] Ussiri D A N, Lal R. Method for determining coal carbon in the reclaimed mine-soils contaminated with coal[J]. Soil Science Society of America Journal, 2008, 72(1): 231—237.
- [13] Fellet G, Marchiol L, Delle Vedove G, et al. Application of biochar on mine tailings: Effects and perspectives for land reclamation[J]. Chemosphere, 2011, 83(9): 1262—1267.

- [14] Nicolini F, Topp W. Soil properties in plantations of sessile oak (*Quercus petraea*) and red oak (*Quercus rubra*) in reclaimed lignite open-cast mines of the Rhineland[J]. *Geoderma*, 2005, 129(1/2): 65–72.
- [15] Xavier Querola, Andres Alastuey, Nata`lia Moreno, et al. Immobilization of heavy metals in polluted soils by the addition of zeolitic material synthesized from coal fly ash[J]. *Chemosphere*, 2006(62): 171–180.
- [16] Stephane Boyer, Stephen D Wratten. The potential of earthworms to restore ecosystem services after opencast mining: a review[J]. *Basic and Applied Ecology* 2010(11): 196–203.
- [17] Terry H Brown, Alan E Bland, John M Wheeldon. Pressurized fluidized bed combustion ash[J]. *Fuel* 1997, 76(8): 741–748.
- [18] 胡振琪, 高爱林, 杨秀红. 一种用于替代土的煤基生物土[P]. 中国专利: ZL200510063339.7, 2006-10-18.
- [19] 胡振琪, 康惊涛, 魏秀菊, 等. 煤基混合物对复垦土壤的改良及苜蓿增产效果[J]. *农业工程学报*, 2007, 23(11): 120–124.
- Hu Zhenqi, Kang Jingtao, Wei Xiuju, et al. Experimental research on improvement of reclaimed soil properties and plant production based on different ratios of coal-based mixed materials[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*(Transactions of the CSAE), 2007, 23(11): 120–124. (in Chinese with English abstract)
- [20] Paradela R, Moldesa A B, Barral M T. Characterization of slate processing fines according to parameters of relevance for mine spoil reclamation[J]. *Applied Clay Science*, 2008, 41(3/4): 172–180.
- [21] 中国科学院南京土壤研究所土壤系统分类课题组, 中国土壤系统分类课题研究协作组. 中国土壤系统分类检索(第三版)[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2001: 1–196.
- [22] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 25–177.
- [23] 黄昌永. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 33–77.
- [24] 李新举, 胡振琪, 李晶, 等. 采煤塌陷地复垦土壤质量研究进展[J]. *农业工程学报*, 2007, 23(6): 276–280.
- Li Xinju, Hu Zhenqi, Li Jing, et al. Research progress of reclaimed soil quality in mining subsidence area[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*(Transactions of the CSAE), 2007, 23(6): 276–280. (in Chinese with English abstract)
- [25] 魏增明, 杨桂芬. 电导法测定土壤含盐量的两点改进[J]. *土壤*, 1980(2): 68–71.
- [26] 贺锦喜, 牛颖. 哲盟宜林地土壤电导率与可溶盐总量回归方程的推导[J]. *内蒙古林业科技*, 1997, 2(6): 41–42.
- [27] 龚振平. 土壤学与农作学[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2009.
- [28] Morenodelas Heras M, Merino Martin L, Nicolau J M. Effect of vegetation cover on the hydrology of reclaimed mining soils under mediterranean-continental climate[J]. *Catena*, 2009, 77(1): 39–47.
- [29] Iost S, Landgraf D, Makeschin F. Chemical soil properties of reclaimed marsh soil from Zhejiang Province P.R. China[J]. *Geoderma*, 2007, 142(3/4): 245–250.
- [30] Ussiri D A N, Lal R. Carbon sequestration in reclaimed minesoils[J]. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2005, 24(1): 151–165.

Selection of topsoil alternatives from overburden of surface coal mines

Hu Zhenqi, Wei Beilei, Lin Shan, Yang Jie, Li Yao

(Engineering Research Center of Mine Ecological Construction, Ministry of Education, Institute of Land Reclamation and Ecological Restoration, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083 China)

Abstract: Selection of topsoil alternatives is very important for surface mined land reclamation in the region of topsoil shortage. This paper conducted research on the selection of topsoil alternatives from overburden of a surface coalmine in Inner Mongolia, which is located in the famous Hulunbaier grassland. The analysis of geological profile indicated the potential capability of Layers II and III to become topsoil alternatives. The samples of Layers II and III were taken from its original places, the weathering materials of Layers II and III were taken from dumps, and the original topsoil was also taken as control for comparison. Thus, five treatments including original topsoil, Layer II weathering material, Layer II, Layer III weathering material and Layer III were selected. The physical, chemical properties and heavy metal contents of these five soil materials were determined based on samples' analysis. Seeds germination of alfalfa and surface crust situation of these soil materials were also obtained from pot experiments to check their effectiveness as topsoil. The results showed that soil textures of Layer II and its weathering material contained 94.75% and 62.32% of clay respectively, which were clay and silty clay. Such soil could be relatively good topsoil alternatives, but the aggregate contents were lower, the pH values were slightly higher (8.02 and 9.22 respectively), and some nutrients such as organic matter contents, rapidly available K and available P were deficient. The serious surface crust of Layer II and its weathering material decreased emergence rate of seeds. Layer III and its weathering material contained almost 100% of clay, which were brown and heavy clay soil, but they had lower aggregate contents, moderate pH values (7.75 and 7.83 respectively), rich available K and lower other nutrient contents. All the samples of the five soil materials had lower contents of heavy metals such as As, Cr, Cu, Ni, Zn and Pb, meeting with the first class of the national soil environment standard. The surface crust situation of Layer III and its weathering material were not serious and had better emergence rate of seeds, which were all larger than 55%, compared with the 65% of control treatment and the 25% of Layer II. The results indicated that Layer III had similar soil chemical and physical properties and better seed germination compared with the original topsoil, and could be good topsoil alternatives. The weathering material of Layer III was the best for topsoil alternatives.

Key words: land reclamation, soils, reconstruction, surface mine, topsoil alternatives, overburden

(责任编辑: 张俊芳)