

# 矿区不同复垦年限土壤养分及有机碳特性研究

## ——以抚顺矿区碳质页岩区复垦土壤为例

丁青坡<sup>\*</sup> 王秋兵<sup>\*</sup>, 韩春兰, 王洪禄, 王晓峰 (沈阳农业大学, 辽宁沈阳110161)

**摘要** 以抚顺矿区碳质页岩风化物区域的复垦土壤为例, 对不同年限不同深度的复垦土壤进行分析, 揭示了抚顺矿区复垦土壤养分的时空演变规律。结果表明, 随着复垦年限的增加, 矿山土壤pH值逐年降低, 其变化范围在6.47~7.80; 全氮、有效磷、碱解氮等呈现逐年增加的趋势, 尤其以0~10 cm土层内增长幅度明显; 随着深度增加, pH值、全氮、有效磷、氮等逐渐降低。矿山土壤中由于排弃物中含有含碳矿物和少量煤块的原因导致总有机碳含量较高; 矿山土壤中有机碳随着复垦年限的增加及自然、人为活动影响, 碳黑、颗粒状碳趋向于减少, 而易氧化碳的数量增加。

**关键词** 碳质页岩; 矿山土壤; 养分特征; 复垦年限; 有机碳特性; 抚顺市

中图分类号 S153.6 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2005)17-4360-04

### Study on Soil Nutrients and Organic Carbon in the Soil Reclaimed for Different Years

DING Qingpo et al (Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110161)

**Abstract** Through sampling from different years and depth reclaimed areas in Fushun coal mine, we found pH value in the soil of reclaimed reduced year by year and the range of variation of pH was between 6.47~7.80. The entire nitrogen, the effective phosphorus, the alkaline hydrolysis nitrogen and so on present the increasing tendency year by year in the mine soil. The total organic carbon content was high. With the increase of soil depth, the effective phosphorus, the nitrogen and so on reduced gradually. As the human influence on the soils was increased, the concentrations of black carbon soil and particulate organic carbon tended to be decreased and the active carbon tended to be increased.

**Key words** Soil in colliery; Nutrient character; Different reclaimed years; Character of organic carbon; Fushun city

随着经济的高速增长, 矿产资源开发强度不断加大, 使得矿区土地资源破坏十分严重, 矿区生态环境日趋恶化。为了恢复矿区生态环境, 遏制土地锐减的局面, 促进矿区经济与环境协调发展, 开展矿区土地复垦工作已成为当今亟需解决的问题<sup>[1]</sup>。国外的复垦工作研究较早, 对于复垦土壤重构及其基本特性等方面进行了深入研究; 在我国, 土地复垦工作起步较晚, 近年来, 在复垦土壤研究方面取得一些进展, 初步建立了煤矸石、露天矿排土场等固体废弃物复垦土壤重构的原理和方法及其土壤特性的基础理论<sup>[2]</sup>。但是对于矿区复垦土壤养分方面的研究多是针对复垦年限在10 a内的覆土矿区土壤进行, 对较长时序以碳质页岩为主的矸石风化物形成的复垦土壤养分相对研究较少。

抚顺市地处辽宁省东部, 是我国重要的煤炭生产基地, 素有煤都之称, 其城市规模已有100多a的历史, 是随抚顺煤田的开采和相关产业的发展而形成。据记载, 早在1920年, 人们就充分利用采煤剥离物(碳质页岩)易风化的特性, 在排土场等矿区废弃土地直接进行农业种植和林木栽植。这在我国是极为难得的研究由碳质页岩占主体风化形成的矿山土壤养分特征随时间变化的研究场所。笔者以抚顺市排土场土地复垦区为试点, 选取不同复垦年限的主要由碳质页岩风化形成的矿山土壤进行研究, 通过对矿区不同年限复垦土壤野外调查和室内试验分析, 探讨复垦土壤养分和有机碳特性变化, 对解释复垦土壤养分的演变规律, 改善矿区土壤复垦工艺, 促进矿区土壤的可持续利用具有重要的意义。

### 1 研究区概况

抚顺煤矿地处中纬度地带, 属典型的中温带东亚大陆性季风气候, 年平均气温为4~7℃, 年均降雨量为800 mm; 区

域地层自下而上为远古代花岗片麻岩层, 中生代白垩纪紫色页岩及砂页岩层, 新生代第三纪含煤层, 最上部为新生代第四纪冲积层<sup>[3]</sup>。矿区排弃物主要以煤层上下底层的碳质页岩为主, 此外还混有一些泥质页岩和砂质页岩, 以及一些在挖掘煤层时排弃的砂岩、石灰岩和其他岩类。

排土场又被称作矸石山, 是随着采煤所产生的固体废弃物堆积而成。抚顺煤矿近百年的开采形成了多座排土场, 原有的植被、地貌被排弃物覆盖。抚顺煤矿的排弃物主要是含煤地层中的夹石, 其岩性主要是碳质页岩、砂页岩以及部分的硅质页岩及少量的石灰岩和石英岩, 而在抚顺露天煤矿开采过程中还有剥离的一些中生代和新生代的沉积物。此外在洗煤过程很难洗净, 因此还含有20%~30%的碳块。排弃的矸石是一种成分复杂具有薄片层理易风化的页岩, 经过多年的复垦活动, 表层呈现风化状态, 形成所谓的“矸石土壤”。即一种无层次、无组成的混乱的因人为堆垫受人为影响较大的土壤。

抚顺市平顶山、胜利矿前是矸石堆积时间最长的地区, 自20世纪初期开始堆积, 在堆积过程中发现在矸石山周围有煤矿存在, 20世纪20年代末期停止堆积, 停排后一直存在小面积的复垦活动, 复垦年限亦已达到60 a; 东、西排土场堆积历史较晚, 自20世纪中期开始堆积, 末期停排。矸石采取逐层堆积的方式, 因此对于东、西排土场来说, 矸石堆积年限最长的地区位于整个排土场底部, 最上层为堆积年限较短矸石。西排土场顶层近年来开始大面积的复垦活动, 复垦时间距采样时有5 a的复垦历史。

### 2 材料与方法

**2.1 供试土壤样品的采集** 通过实地调查、查阅历史资料以及访问当地老矿工, 根据矸石山堆积和复垦的历史, 以复垦60、20、10、5 a的矿山土壤作为研究对象, 并且以未复垦的新鲜矸石为对照。根据复垦后土壤风化深度状况, 该研究从地表向下0~10、10~20、20~30、30~40 cm 4个层次分别进行

基金项目 辽宁省自然科学基金项目(20040520)资助。

作者简介 丁青坡(1979-), 女, 内蒙古赤峰人, 硕士研究生, 研究方向: 土地复垦和土壤地理。\* 通讯作者。

收稿日期 2006-05-10

采样,采至矽石未风化或风化较微弱处为止。采样时间为2005年8月,采回后风干并剔除植物根系,过筛后供养分的测定分析。供试矿山土壤基本情况如表1所示。

表1 采样点基本情况

采样号	地理坐标	复垦年限 a	采样地点描述
剖面1	N41°49'37.6 E123°48'23.9	5	采自抚顺西排土场林地,主要树种为槐树,长势良好,地表植被稀疏,以蒿类植物为主。表层可见较大块矽石,夹杂风化的细小矽石。随着深度增加,矽石逐渐增加增大。整体剖面基本没有分层现象
剖面2	N41°54'07.6 E123°54'07.9	20	采自抚顺胜利矿前林地,主要树种为槐树,长势良好,地表植被茂盛,以蒿草类植物为主。表层可见较大块矽石,夹杂风化的细小矽石。随着深度增加,矽石逐渐增多增大
剖面3	N41°51'13.0 E123°55'18.8	60	采自抚顺平顶山林内,主要树种为槐树,长势良好,地表植被茂盛,出现大量草本植物。少见大块矽石,以细小矽石为主,但是,随着深度增加,矽石逐渐增多增大

2.2 样品处理和分析方法 所有的土壤样品风干后,剔除植物根系,矽石手工敲碎并研磨后过不同孔径尼龙土筛。

测定方法:pH值用电极法;有机质用重铬酸钾容量法;全氮用元素分析仪(Henerta,德国);全磷用钼锑抗比色法;全钾用NaOH熔融火焰光度法;碱解氮用碱解扩散法;有效磷用0.5 mol/L NaHCO<sub>3</sub>浸提钼锑抗比色法;速效钾用1 mol/L NH<sub>4</sub>OAc浸提火焰光度法测定。

### 3 结果与分析

3.1 不同年限矿山土壤养分含量变化 从图1和表2可以看出,pH值的变化范围在6.47~7.80,其最大值出现在复垦20a的矽石土壤内,随着复垦时间的增加,pH值逐年增加后降低。我们知道土壤酸碱性反应是土壤在其形成中受生物、气候、地质、水文等综合因素的作用所产生的重要属性。抚顺复垦区的矽石是以碳质页岩为主的较容易风化的粘土矿物,由于受季风气候、生物和人为因素的影响,矽石风化速度加快。在风化过程中,碳质页岩中伴生的黄铁矿在风化过程中析出硫酸使得土壤呈现酸性,随着复垦时间的增加,矽石所含钾、钠等盐基物质在外界作用(如淋溶作用)影响下流失,而矿物晶格中的铝离子被置换出来,使得矿山复垦土壤呈现碱性,当碱性盐基离子淋失后,土壤朝向酸性发展。从图2和表2可以看出,总有机碳呈现近似于增长的趋势,其

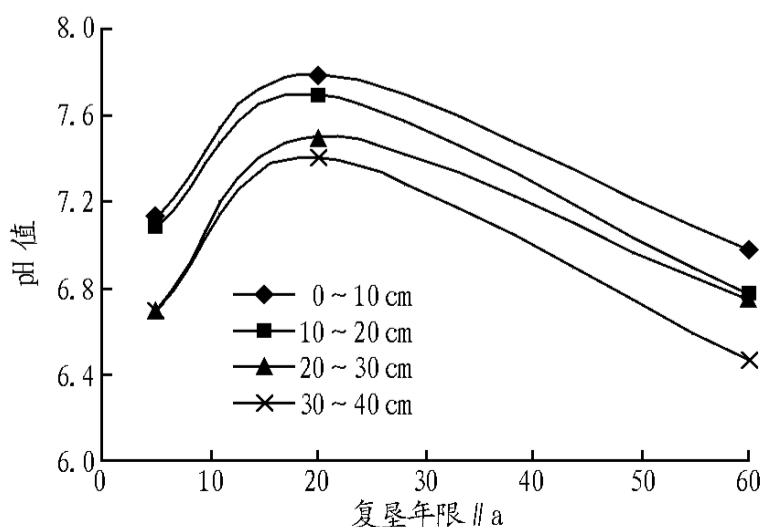


图1 不同复垦年限矿区土壤pH变化

表2 不同年限矿山复垦土壤养分含量垂直变化

样品代号	深度 cm	pH 值	有机碳 g/kg	全氮 g/kg	碱解氮 ng/kg	全磷 g/kg	有效磷 ng/kg	全钾 g/kg	速效钾 ng/kg
1号	0~10	7.12	62.61	6.59	152.49	1.19	10.89	24.60	710.67
	10~20	7.07	52.76	5.56	94.34	1.02	8.78	16.06	263.05
	20~30	6.69	60.49	7.00	64.05	0.79	6.86	16.89	321.24
2号	0~10	7.80	75.02	7.77	134.09	2.19	13.84	14.31	294.06
	10~20	7.69	47.09	6.83	73.53	1.70	10.46	12.76	170.95
	20~30	7.50	49.83	6.85	68.11	1.80	7.60	11.59	137.50
3号	0~10	6.98	72.47	8.43	242.55	1.25	12.92	11.39	559.28
	10~20	6.77	52.12	6.86	83.76	0.83	8.84	10.55	446.93
	20~30	6.74	50.64	6.42	45.36	1.15	9.17	10.31	307.58
	30~40	6.47	54.89	6.68	30.00	1.15	8.56	11.15	276.00

变化范围在30.58~75.021 g/kg。因为页岩本身是含碳矿物并且在排弃堆积过程中混有煤块使得土壤中总有机碳含量较高,因此,尽管整体数值与国家有机碳分级标准相比较,在一级以上,但这并不表示这种“矽石土壤”是一种肥力较高的有机土壤。从土壤氮素水平上(图3、4)可以看出,全氮变化在5.56~8.43 g/kg,而碱解氮变化在44.84~242.55 ng/kg,全氮最大值出现在复垦60a的矿山土壤中,最小值出现在复垦5a的矿山土壤内,碱解氮的最大值出现在复垦60a的土壤中,最小值则出现在复垦20a的土层。从矿山土壤磷素水平(图5、6)得知,全磷含量变化在0.79~2.19 g/kg,有效磷变化在6.86~13.84 ng/kg;全磷最大值出现在复垦20a的矿山土壤内,最小值在复垦5a的矿山土壤内,土壤全磷与土壤酸碱性呈现正相关;速效磷最大值则出现在复垦60a的矿山土壤中,最小值与全磷一样。从矿山土壤钾素水平看,全钾变化在10.31~24.60 g/kg,速效钾变化在137.50~710.67 ng/kg,与氮素和磷素水平不同的是其最大值分别出现在复垦5a的矿山土壤中,最小值分别在复垦60、20a的矿山土壤的深层土壤内。随着复垦年限的增加,风化程度不断加强,矽石内部钾素不断释放,复垦区域内植物对钾素不断的吸收利用及淋溶作用的影响使得复垦土壤内部全钾、速效钾含量逐年减少。由此可知,随着复垦年限的增长,除钾外矿山土壤中养分含量不断增多,尤其是全量态和有效态的N、P含量变化趋势比较明显。这说明矿区土壤在长期的自然、人为因素影响下,风化作用加强,土壤开始熟化。矿山土壤在复垦初期风化速度较快,尤其是在外界因素作用下,如西排土场复垦项目的实施,施肥较多的原因导致其养分增长幅度更加明显,这也是复垦5a的矿山土壤速效养分含量较高的原因。

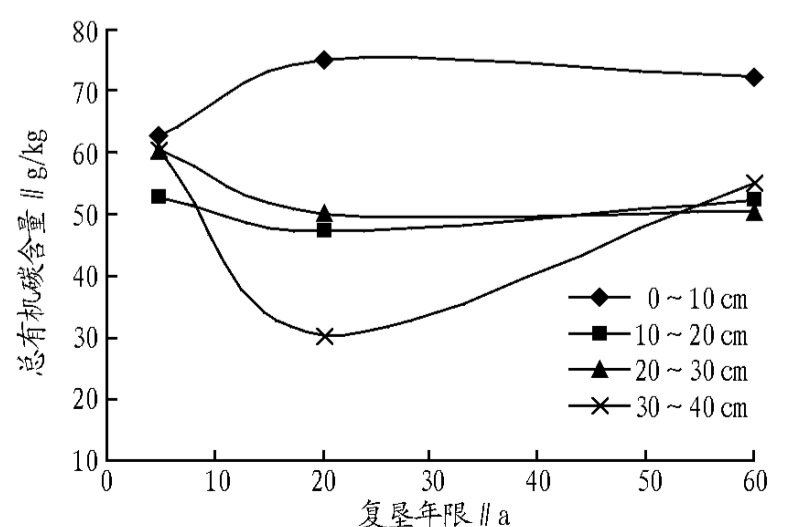


图2 不同复垦年限矿区土壤总有机碳变化

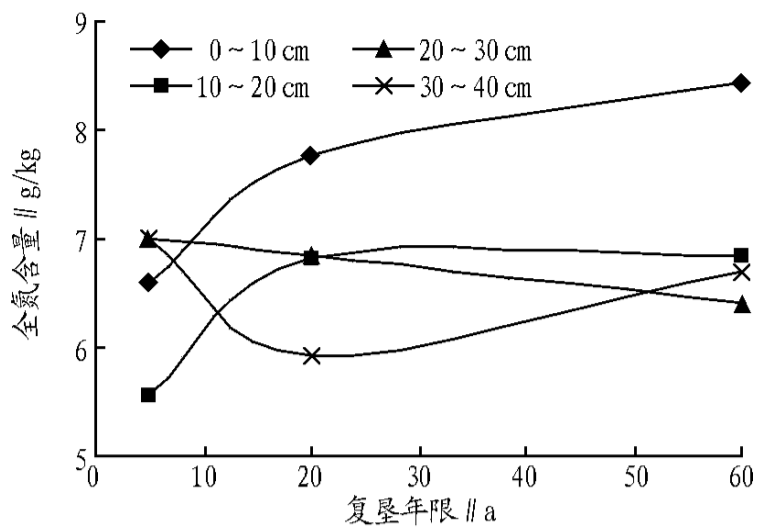


图3 不同复垦年限矿区土壤全氮变化

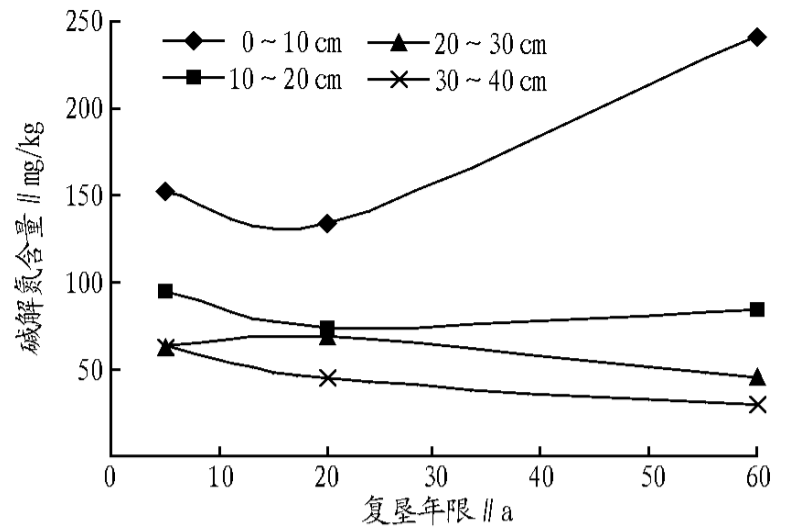


图4 不同复垦年限矿区土壤碱解氮变化

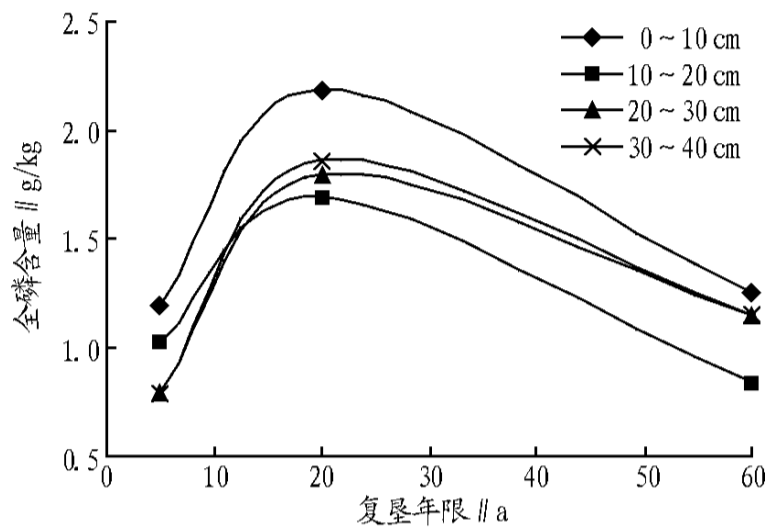


图5 不同复垦年限矿区土壤全磷变化

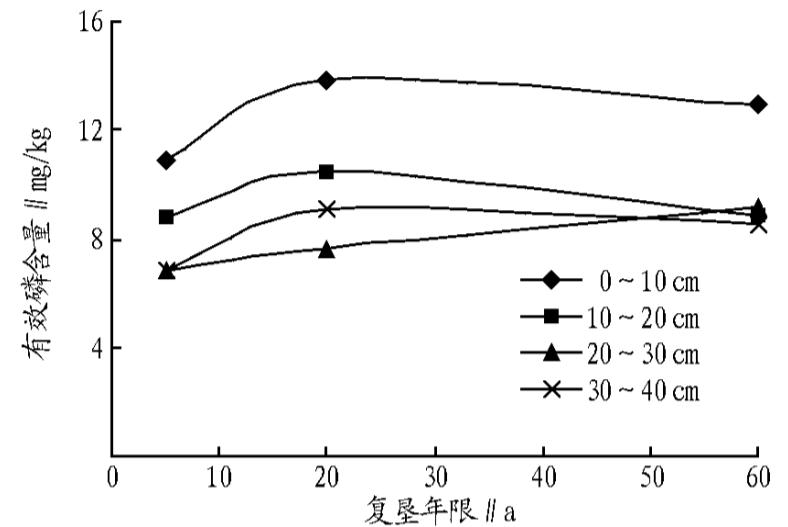


图6 不同复垦年限矿区土壤有效磷变化

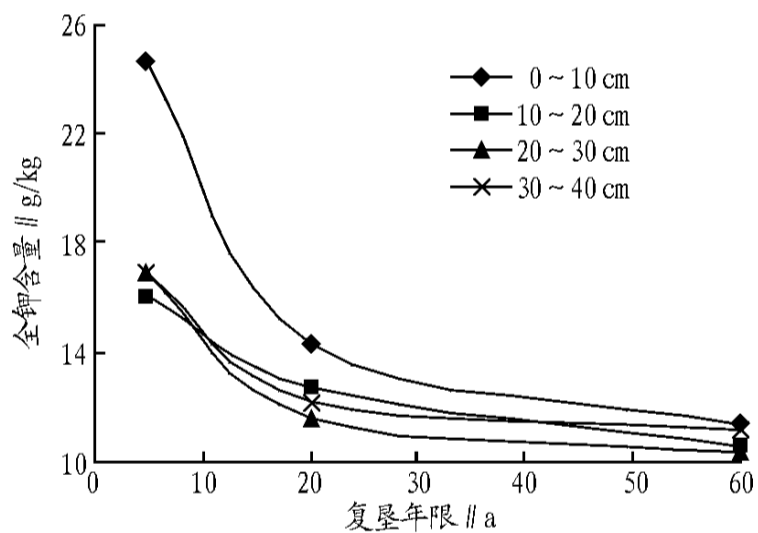


图7 不同复垦年限矿区土壤全钾变化

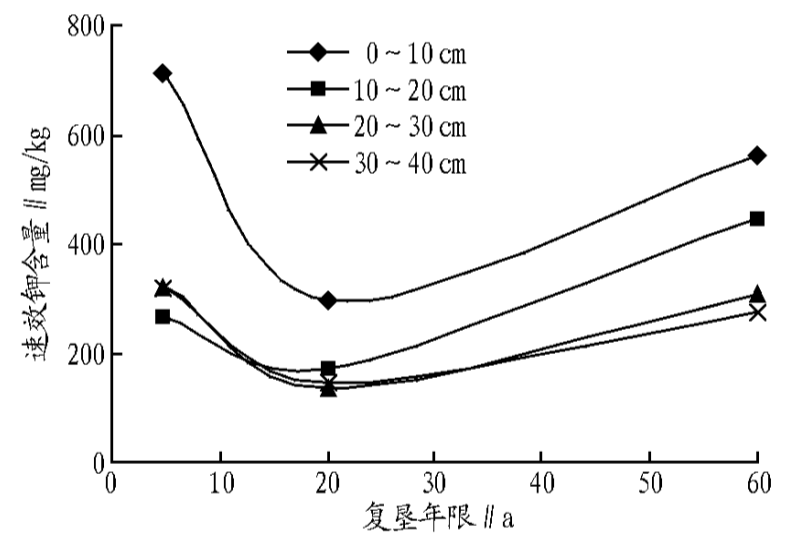


图8 不同复垦年限矿区土壤速效钾变化

表3 不同复垦年限矿山土壤中碳黑、颗粒状碳和易氧化碳占总碳的百分比

样品代号	深度/cm	复垦年限/a	碳黑总碳/%	颗粒状碳总碳/%	易氧化碳总碳/%
1号	0~10	5	59.00	89.55	41.12
	10~20	5	67.00	79.99	32.91
	20~30	5	73.00	80.86	26.87
2号	0~10	20	51.00	30.43	49.27
	10~20	20	62.00	27.65	37.83
	20~30	20	66.00	23.63	34.07
	30~40	20	59.00	29.54	40.77
3号	0~10	60	37.00	28.43	63.16
	10~20	60	48.00	26.95	51.64
	20~30	60	67.00	38.08	32.56
	30~40	60	71.00	22.11	29.50

**3.2 不同年限矿山土壤养分割面变化** 从矿山土壤全量N、P、K和速效N、P、K来看(表2),不同剖面之间呈现相似的变化规律,即从上向下逐渐降低,复垦时间短的剖面层次之间养分含量相差不大,而对于复垦时间长的剖面出现一定差异。整体来讲,剖面层次越向下,层次之间的含量越接近,其中以0~10cm土层内的养分含量较高,几乎是以下几层的1倍多,主要是与表层风化程度较强同时又受人为活动影响较大有关。一般认为土壤中碱解氮含量100 mg/kg以下,为不肥沃的土壤,表层土壤由于人为活动的影响(施入有机肥等)碱解氮含量较高,矿山土壤基本上仍然属于缺氮不肥沃的矿山土壤。此外,矿山土壤中磷素也十分贫乏,但钾素含量丰富,因此抚顺矿山土壤中生长的植被不会因缺钾影响其正常生长。

**3.3 矿山土壤有机碳特性** 在不同复垦区域,矿山土壤有机碳的组成有着较大的改变(表3)。从不同复垦年限上来讲,复垦5a的矿山土壤中碳黑与总有机碳的比例平均为66%左右,复垦20a的比例平均为60%,复垦60a的比例平

均为51%。随着复垦年限的增加,碳黑与总有机碳的比例逐年减少,矿山复垦土壤碳黑主要来源于洗煤过程混入的煤块和未曾完全燃烧的物质。从不同复垦年限的矿山土壤剖面上来看,碳黑与总有机碳的比例变化较大,矿山土壤中的易

氧化碳与总有机碳的比值逐年升高,说明随着年限的增加,在自然(气候、降水等)和人为条件(施肥、耕作、秸秆还田等)影响下矿山土壤不断风化和熟化,土壤组成结构、环境发生变化,同时动植物残体不断归还土壤,土体内微生物种群含量增加,使得土壤中易氧化碳含量增加。从复垦土壤的剖面来看,0~10 cm 变化较为明显。由此可以推断出,在矿山复垦过程中,由于矸石风化程度不同的原因,矿山土壤中碳黑、颗粒态碳随着复垦时间的增加逐渐减少,而易氧化态碳逐年增加。矿山复垦土壤质量随着复垦时间的增加而有所提高。

#### 4 结论

(1) 随着复垦年限的增加,复垦土壤的表层养分含量增加明显。其中土壤中的有效磷、碱解氮呈现增加趋势,主要与复垦后土壤结构、环境变化、植物生物量增加有利于氮磷积累及人为影响(如施肥、深耕等)有关;由于矿山复垦土壤风化程度不同,钾素被不断释放,也不断被地表植被吸收利用及淋失,同时也由于钾肥的很少施用使得钾含量逐年降低。在矿山土壤深部,土壤养分含量变化趋势不是很大。

(2) 复垦区域碳质页岩是一种极容易风化的岩石,伴随着风化过程的进行,复垦土壤剖面养分含量发生变化。由于表层的矸石受外界影响较大,相比剖面下层的矸石风化程度强,此外由于施(培)肥、表层微生物活动、植物吸收利用以及

淋溶作用使得复垦土壤剖面养分(除钾外)含量上高下低。

(3) 矿区复垦土壤中易氧化碳随着复垦年限的增加而增加,颗粒态碳逐渐减少,说明复垦土壤中有机碳组分发生变化,土壤中有机碳品质得到改善,矿山土壤朝向更有利于植被生长的方向发展。

(4) 在这种由碳质页岩风化物形成的复垦土壤中,土壤酸性污染问题应该引起重视。

#### 参考文献

- [1] 张乃明,武雪萍,谷晓滨,等. 矿区复垦土壤养分变化趋势研究[J]. 土壤通报,2003,34(1):58-60.
- [2] 陈龙乾,邓喀中,唐宏. 矿区泥浆泵复垦土壤物理特性的时空演化规律[J]. 土壤学报,2001,38(2):277-283.
- [3] 于君宝,王金达,刘景双,等. 矿山复垦土壤营养元素时空变化研究[J]. 土壤学报,2002,39(5):750-753.
- [4] 章明奎,周翠. 杭州市城市土壤有机碳的积累和特性[J]. 土壤通报,2006,37(1):19-21.
- [5] 赵广东,王兵,苏铁成,等. 煤矸石山废弃地不同植物复垦措施及其对土壤化学性质的影响[J]. 中国水土保持科学,2005,3(2):65-69.
- [6] 林大仪. 加速阳泉露天矿区复垦地成土速度的研究初报[J]. 土壤通报,1993,24(5):200-201.
- [7] 谢英荷,洪坚平. 煤矸石复垦中的氮素积累途径[J]. 应用与环境生物学报,2002,8(2):215-218.
- [8] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国环境科学出版社,1999.
- [9] 沈宏,曹志洪,徐志红. 施肥对土壤不同碳形态及碳库管理指数的影响[J]. 土壤学报,2003,37:166-173.
- [10] 涂从,郑春荣,陈怀满. 铜矿尾矿库土壤—植被体系的现状研究[J]. 土壤学报,2000,37(2):284-287.