

草原区露天煤矿排土场复垦土壤质量演替规律与模型

王金满^{1,2}, 杨睿璇¹, 白中科^{1,2*}

(1. 中国地质大学土地科学技术学院, 北京 100083; 2. 国土资源部土地整治重点实验室, 北京 100035)

摘要: 土壤质量变化是衡量排土场复垦土壤生产力大小和土壤环境质量优劣的量度。该文通过典型小区调查的方法, 总结了内蒙古伊敏矿区排土场不同复垦年限土壤质量(体积质量、有机质、有效磷、速效钾、全氮、碱解氮、pH 值、电导率)的动态演变规律, 并运用指数和法构建了研究区土壤演替模型。结果表明: 研究区土壤中有机质、速效钾、全氮、碱解氮的含量均呈递增趋势, 土壤质量逐渐接近原地貌含量。运用指数和法得出的土壤演替模型表明研究区土壤质量状况已得到改善, 逐渐接近原地貌土壤质量。该研究可为草原生态脆弱矿区露天矿排土场土地复垦与生态恢复提供理论依据。

关键词: 土地复垦, 煤矿, 土壤, 排土场, 演替规律

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.14.035

中图分类号: S153.6

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-14-0229-06

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.

Wang Jinman, Yang Ruixuan, Bai Zhongke. Succession law and model of reclaimed soil quality of opencast coal mine dump in grassland[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(14): 229-235. (in Chinese with English abstract)

0 引言

随着社会经济的快速发展对矿产资源的需求不断增大, 矿产资源的开发强度也不断加大, 这就使得开采对矿区的土地资源损毁十分严重, 使土地失去利用价值。中国是全世界最大的煤炭生产国和消费国, 目前中国露天煤矿大约占煤矿的 4%, 露天矿开采对地表土层和植被的摧毁, 极大地损毁了土地资源, 有关部门预测到 2020 年, 中国露天开采煤损毁土地 0.22 hm²/万 t, 随着露天煤矿的建设和发展, 对矿区土地资源和生态环境的破坏日趋严重^[1]。中国的大型露天煤矿大多处于干旱、半干旱的生态脆弱区, 而这里又是中国重要的草原区之一, 长期的资源开发带来严重的环境和灾害问题。排土场因废弃物对土地的大量占用导致生态环境和自然条件的变化, 成为草原区露天矿区复垦的一个重要内容。土地复垦的根本目的是要恢复土地的生产力, 因此, 复垦土壤就成为了土地复垦的一个重要的研究对象。

研究排土场复垦土壤的演替规律, 是为了更好地揭示排土场重构土壤是如何变化的, 以及土壤理化性状、养分情况的动态变化。有助于露天煤矿排土场生态重建与恢复工作, 对矿区的治理有着十分重要的意义。在国

外, 对复垦土壤质量演替规律研究起步较早, 已经对复垦土壤的重构及其基本特性等方面进行了深入的研究^[2]。针对复垦土壤质量演替模型的研究主要集中在复垦土壤生产力评价上, 主要有 Neill 提出的土壤生产力指数模型、模糊 PI 模型以及复垦土壤生产力的修正模型等^[3-4]。而中国复垦土壤质量变化研究起步较晚。陈龙乾等^[5]对复垦后第一年的泥浆泵复垦土壤的物理性质进行了研究; 卢铁光等^[6]运用相对土壤质量指数法对土壤质量变化进行了评价与分析; 樊文华等^[7]分析了黄土区大型露天煤矿煤矸石自燃对复垦土壤质量的影响; 李新举等^[8-10]研究了矿区复垦土壤压实时空变异特性与露天煤矿复垦土地质量变化; 戚家忠等^[11]分析了铲运机复垦重构土壤容重值的时空变异特性。但是当前关于草原区露天煤矿复垦土壤质量变化的研究较少, 本文通过对内蒙古伊敏矿区排土场复垦土壤动态演变规律的研究, 探讨草原区露天煤矿排土场复垦土壤演替的一般规律, 以期揭示复垦土壤演替规律和生态脆弱草原露天矿区排土场土地复垦与生态恢复提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

伊敏煤矿位于内蒙古自治区呼伦贝尔市鄂温克族自治旗境内, 北距海拉尔区 85 km, 距滨洲铁路及 301 国道 78 km。地理坐标为 E119°30'~119°50', N48°30'~48°50'。矿区地处海拉尔盆地东部, 伊敏河中游地区, 地貌呈盆地状, 东西两侧为丘陵, 南为台地。属寒温带大陆性季风气候, 冬季寒冷漫长, 夏季温凉短促, 本区处于黑钙土向暗栗钙土的过渡带, 区内有植物 300 多种, 其中 80% 以上都是优良牧草。伊敏煤矿地理位置见图 1。

收稿日期: 2011-10-17 修订日期: 2012-06-19

基金项目: 中央高校基本科研业务费; 国土资源部公益性行业科研专项(200911015)。

作者简介: 王金满(1979-), 男, 内蒙古赤峰人, 副教授, 博士, 主要从事土地整理复垦与生态修复研究。北京 北京市海淀区学院路 29 号, 100083。Email: wangjinman2002@163.com

*通信作者: 白中科(1963-), 男, 山西运城人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事土地整理复垦与生态修复研究。北京 北京市海淀区学院路 29 号, 100083。Email: baizk@cugb.edu.cn

1.2 土壤样品采集方法

本研究主要采用空间序列代替时间序列的方法。采样时间是2010年,采样地点在伊敏矿区的排土场,按照复垦后的时间为标准,选取同一复垦模式(覆土20~30 cm种植草本,草种为披碱草和羊草,播种方式为1:1混播,播种量均为25 kg/hm²,行间距为20~30 cm;施肥N 10 kg/hm²、P₂O₅ 15 kg/hm²、K₂O 15 kg/hm²),排土

场平台复垦土壤作为土样采集对象,以矿区内部未受影响的区域作为对照。样地选取共6个区域(见表1),其复垦时间分别为2、4、6、9和14 a。在这5个区域和原地貌各选取一个10 m×10 m的样地。在每个样地中取3个大小为1 m×1 m的样点,用土钻垂直取每个样点表面20 cm的土壤为一个土样,每个样点取3个土样,将这9个样点土壤充分混合,用“四分法”弃去多余土壤。

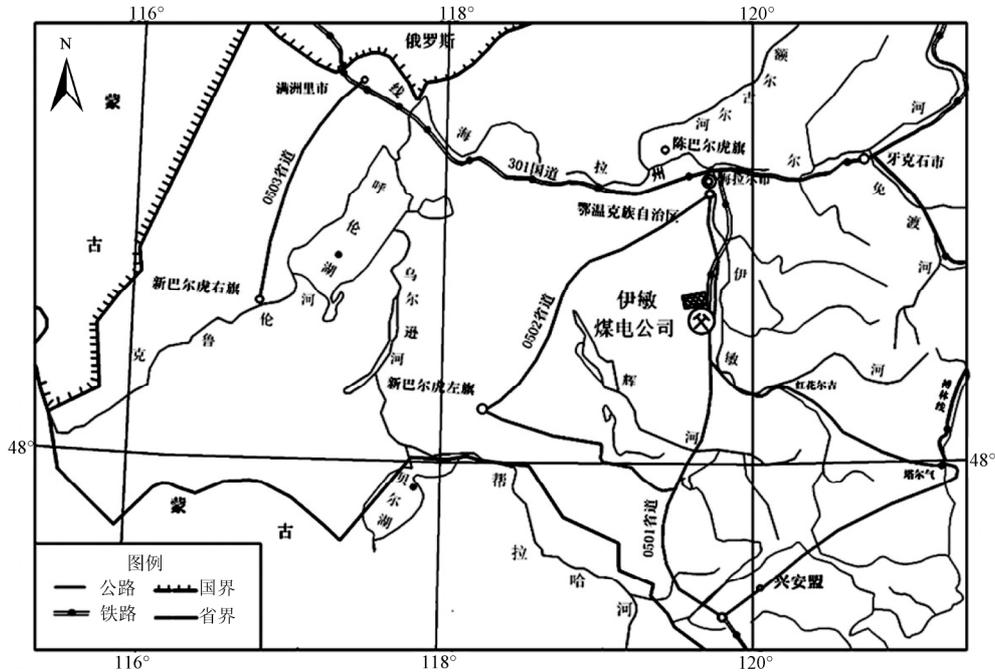


图1 研究区地理位置示意图

Fig.1 Schematic diagram of geographic location of study region

表1 样地情况表

Table 1 Sample situation list

样地代码	样地坐标		复垦年限/a	样地位置	所在区植被类型
	X	Y			
I	119.7086	48.5817	2	西排土场平台	菊叶委灵菜、车前、扁蓐、猪毛菜
II	119.7063	48.5595	4	内排土场南坡平台	羊草、大针茅、羽毛、隐子
III	119.6882	48.56927	6	西排土场平台	猪毛菜、芦苇、黄蒿、藜
IV	119.6924	48.5598	9	西排土场平台	羊草、大针茅、二裂、黄蒿、阿狗、隐子
V	119.708	48.55727	14	内排土场平台	沙打旺、黄蒿、黄花苜蓿、狗尾草
VI	119.754	48.53952	原地貌	矿区内部原地貌	针茅、冰草、羊草、双齿葱

1.3 测试指标

体积质量、有机质、速效钾、有效磷、碱解氮、全氮、pH值、电导率。

1.4 土壤样品检测方法

体积质量采用环刀法测量,有机质采用油浴加热K₂CrO₇容量法;全氮采用采用半微量凯氏定氮法测定;有效磷采用Olsen法;速效钾采用1.0 mol/L NH₄Oac浸提-火焰光度法;pH值采用电位法;碱解氮采用碱解扩散法;电导率采用电导率仪测定。

2 排土场复垦土壤质量演替模型

本次研究通过相对土壤质量指数法来反映土壤质量的演替规律,将不同复垦年限土壤质量综合值经过回归

拟合后,最终求出能够计算任意复垦年限复垦土壤质量的公式,即排土场复垦土壤质量演替模型。土壤质量的综合评价一般分为3个步骤:因子的选择、权重的确定和综合指标的获得^[12]。

2.1 土壤质量指标的选取

土壤质量分析选用所检测的体积质量、有效磷、速效钾、全氮、碱解氮、有机质、PH值、电导率8个指标。体积质量是土壤重要物理性质。土壤有机质占土壤总量的很少一部分,但是在土壤肥力、环境保护、农业可持续利用等方面都发挥着重要的作用。而氮、磷、钾是植物生长发育的三要素,氮可以促进蛋白质和叶绿素的形成;磷既是植物体内许多重要有机化合物的组成,同时又以多种方式参与植物体内各种代谢过程;钾是植物体内含量最高的金

属元素，且作物所需的钾主要来源于土壤。土壤酸碱性和土壤微生物的活性、对矿物质和有机质的分解起到重要作用，从而影响土壤养分元素的释放、固定和迁移等。土壤电导率是反应土壤电化学性质和肥力特性的基础指标，近

年来被广泛用于评定土壤肥力的一个综合指标^[13-15]。

2.2 指标权重的确定

本研究利用相关系数法确定权重，其计算方法是：先计算各个单项指标之间的相关系数，见表 2。

表 2 各评价指标相关系数
Table 2 Correlation coefficient among various indices

评价指标	体积质量	有效磷	速效钾	全氮	碱解氮	pH 值	有机质	电导率
体积质量	1.0							
有效磷	0.8613	1.0						
速效钾	0.4263	0.2451	1.0					
全氮	0.8018	0.6209	0.5738	1.0				
碱解氮	0.9379	0.8604	0.6452	0.8655	1.0			
pH 值	0.4936	0.3855	0.9296	0.5870	0.7237	1.0		
有机质	0.0629	0.1054	0.8756	0.4640	0.3388	0.7385	1.0	
电导率	0.8688	0.7588	0.7342	0.9059	0.9794	0.7592	0.5065	1.0

从表 2 可以看出，土壤碱解氮和体积质量、电导率的相关系数较高（相关系数 > 0.9），这样评价结果偏差较大，不客观。因此将这碱解氮指标剔除，只保留体积质量、有效磷、速效钾、全氮、pH 值、有机质、电导率 7 个指标进行演替模型的构建。然后求出各个指标相关系数的平均值，用此平均值除以评价指标相关系数平均值之和，这样就得到各个单项评价指标的权重（见表 3）。

表 3 各评价指标权重
Table 3 Weight of each index

评价指标	相关系数平均值	权重
体积质量	0.5858	0.1383
有效磷	0.4962	0.1172
速效钾	0.6308	0.1489
全氮	0.6589	0.1556
pH 值	0.6489	0.1532
有机质	0.4588	0.1083
电导率	0.7556	0.1784

2.3 隶属度的确定

隶属函数实际上是评价指标与作物生长效应曲线之间的数学关系表达式，对土壤质量的评价首先要对各评价指标的优劣状况进行评价，由于各评价指标的优劣具有模糊性和连续性^[16]，因此本次研究通过建立隶属度函数来评定各评价指标的优劣状况。

本次研究假设各个指标对土壤质量的影响呈 S 型和抛物线型，所以采用 S 型隶属函数和抛物线型隶属函数来确定隶属度。按照土壤质量的影响不同，S 型隶属函数分为戒上型和戒下型 2 种。根据经验法，其中适宜于戒上型函数是有机质、全氮、速效钾、有效磷的样点，电导率采用戒下型函数^[16]。函数公式为

戒上型函数

$$f(X) = \begin{cases} 0.1 & X \leq X_1 \\ 0.9 \times \frac{X - X_1}{X_2 - X_1} + 0.1 & X_1 \leq X \leq X_2 \\ 1.0 & X \geq X_2 \end{cases} \quad (1)$$

戒下型函数

$$f(X) = \begin{cases} 0.1 & X \leq X_1 \\ 0.9 \times \frac{X_2 - X_1}{X_2 - X_1} + 0.1 & X_1 \leq X \leq X_2 \\ 1.0 & X \geq X_2 \end{cases} \quad (2)$$

式中， X_1 和 X_2 分别为最小值和最大值。

对于 pH 值比较特殊，不能直接采用戒上型或戒下型函数，根据经验对其进行打分，确定隶属度^[17]，具体打分标准见下列

$$\left. \begin{matrix} 6.5 \leq X < 7.0 & 1 \\ 6.0 \leq X < 6.5 \text{ 或 } 7.0 \leq X < 7.5 & 0.9 \\ 7.5 \leq X < 8.0 & 0.7 \\ 8.0 \leq X < 8.25 & 0.5 \\ 8.25 \leq X < 8.5 & 0.2 \\ 8.5 \leq X & 0.1 \end{matrix} \right\}$$

体积质量采用抛物线型隶属函数，函数公式为

$$f(X) = \begin{cases} 1 & b_1 \leq X \leq b_2 \\ \frac{X - a_1}{b_1 - a_1} & a_1 \leq X \leq b_1 \\ \frac{a_2 - X}{a_2 - b_2} & b_2 \leq X \leq a_2 \\ 0 & X \leq a_1 \text{ 或 } X \geq a_2 \end{cases} \quad (3)$$

式中， a_1 、 a_2 、 b_1 、 b_2 分别为评价指标的临界值，根据研究区实际土壤性质状况，确定了体积质量的临界值， $a_1=0.8$ ， $a_2=1.6$ ， $b_1=1.1$ ， $b_2=1.2$ 。

依据此方法，计算出不同复垦年限各指标隶属度如表 4 所示。

2.4 排土场复垦土壤质量综合值的确定

土壤质量是多个评价指标的综合作用，本次研究根据各评价指标权重和隶属度，采用指数和法计算复垦土壤质量综合值。其模型为

$$SQI = \sum_{i=1}^n K_i C_i \quad (4)$$

式中，SQI (soil quality index) 为土壤质量指数； K_i 为第 i 个评价指标的权重，反映各评价指标的重要性； C_i 为第 i 个评价指标的隶属度，反映各评价指标的优劣性； n 为评价指标的个数。

表 4 不同复垦年限各评价指标隶属度

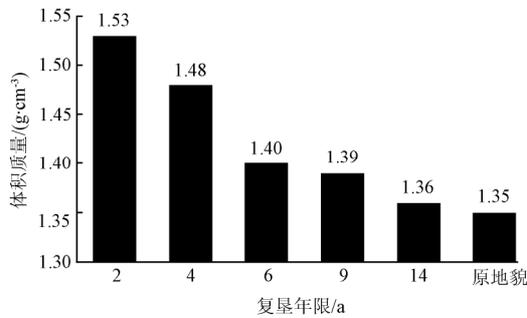
Table 4 Membership of each index in different reclamation years

复垦年限/a	体积质量	有效磷	速效钾	全氮	pH 值	有机质	电导率
2	0.1750	1.0	0.7087	0.1	0.5	0.5091	0.1
4	0.3	0.4	1.0	0.4	0.2	0.7779	0.3444
6	0.5	0.1662	0.7919	0.2	0.5	1.0	0.4457
9	0.5250	0.2324	0.9012	0.6	0.5	0.9883	0.4368
14	0.6	0.3351	0.7815	0.8	0.2	0.7545	0.6513
原地貌	0.6	0.1	0.1	1.0	0.9	0.1000	1.0

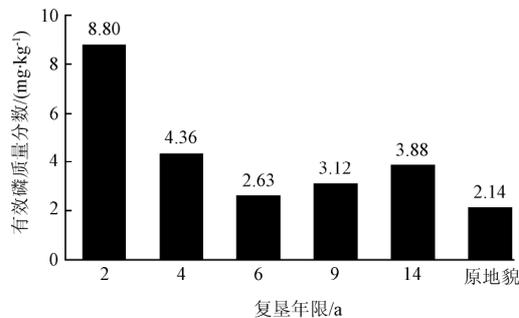
3 结果与分析

3.1 排土场复垦土壤质量演替规律

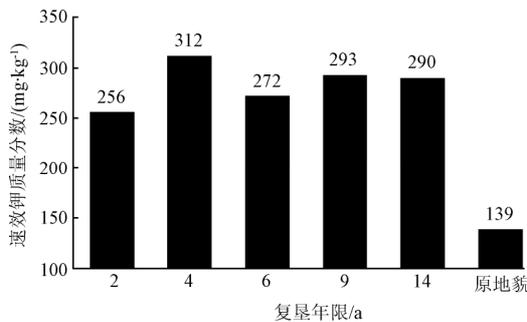
土壤体积质量是土壤最重要的物理性质, 土壤中的 N、P、K 是作物生长的必要元素, 有机质、pH 值、电导率是反映土壤质量好坏的重要间接指标。伊敏矿区排土场复垦土壤质量演替规律如图 2 所示。



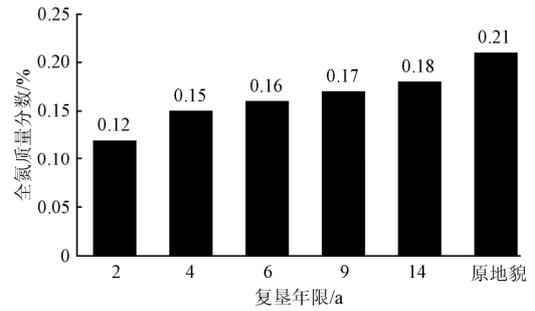
a. 土壤有效体积质量变化



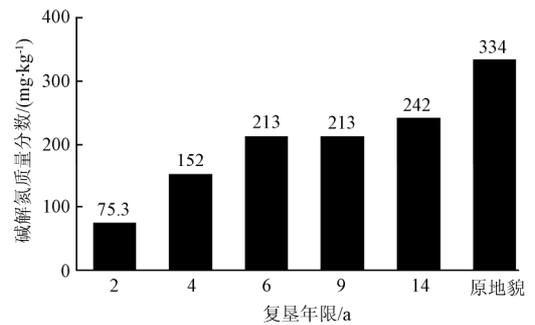
b. 土壤有效磷变化



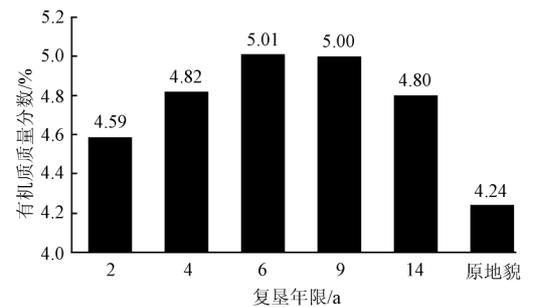
c. 土壤速效钾变化



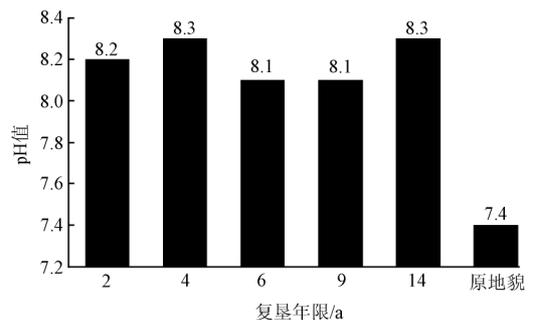
d. 土壤全氮变化



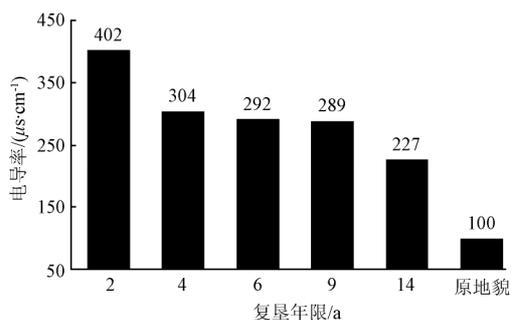
e. 土壤碱解氮变化



f. 土壤有机质变化



g. 土壤 pH 值变化



h. 土壤电导率变化

图 2 不同复垦年限排土场土壤 8 个指标的变化

Fig.2 Changes of eight indicators in different reclamation years

3.1.1 土壤体积质量的变化

体积质量是土壤重要物理性质，其大小是衡量土壤紧实度和土壤肥力高低的重要指标之一^[17]。从图 2a 可以看出，随着复垦年限的增加研究区复垦土壤体积质量总体呈下降趋势，在复垦后期，土壤体积质量已经接近于原地貌。最大值出现在复垦 2 a 的西排土场平台，最小值出现在原地貌土壤。变化范围在 1.35~1.53。

3.1.2 土壤养分的变化

从图 2b 可以看出，有效磷在复垦初期高于原地貌，然后呈下降的趋势，在复垦后期土壤中有效磷含量高于原地貌，其变化范围在 2.63~8.8 mg/kg，最大值出现在复垦 2 a 的西排土场平台，最小值出现在复垦 6 a 的西排土场平台。从图 2c 中可以看出，速效钾含量随着复垦年限的增加略有下降，变化不明显，其变化幅度在 256~312 mg/kg，最大值出现在复垦 4 a 的内排土场南坡平台，最小值出现在复垦 2 a 的西排土场平台。氮素水平上，全氮质量分数变化范围在 0.12%~0.18%，总体呈向原地貌值逐渐接近的趋势，最大值出现在复垦 14 a 的内排土场平台，最小值出现在复垦 2 a 的西排土场平台。碱解氮含量呈波动上升的趋势，复垦初期增长较快，后期逐渐变慢，其变化范围在 75.3~242 mg/kg，最大值出现在复垦 14 a 的内排土场平台，最小值出现在复垦 2 a 的西排土场平台。

就总体的情况看，复垦初期复垦土壤的养分状况较差，有效磷含量初始高于原地貌，在复垦初期其呈下降趋势可能是由于复垦施肥导致有效磷含量较高，但随着复垦时间的增加，土壤中植物或动物的出现消耗了磷元素；但在复垦后期，土壤中凋落物的增加又使磷元素还原回土壤中，有效磷含量略微增加。速效钾含量初始高于原地貌并呈缓慢增加的趋势也可能是由于复垦施肥导致速效钾含量较高。全氮、碱解氮都在复垦初期变化速度快，复垦后期变化速度慢，含量均逐渐接近原地貌水平。这说明随着复垦年限的增加，土壤养分状况逐渐得到改善，复垦工作取得了效果。

3.1.3 土壤有机质的变化

土壤有机质是植物矿物营养和有机营养的源泉，是

形成土壤结构的重要因素，直接影响土壤的耐肥、保墒、缓冲性和土壤结构等^[18-19]。从图 2f 可以看出，土壤中有有机质含量随复垦年限的增加呈先增加后缓慢减少的趋势，这表明土壤的复垦有利于有机质的累积。土壤有机质初始阶段略高于原地貌的原因可能是由于复垦土壤为表土，其土壤有机质含量本身就较高，另外通过施加肥料等促进有机物质分解。但是随着有机物质的分解，其缓慢减少，但仍高于原地貌。

3.1.4 土壤 pH 值的变化

土壤 pH 值是土壤的基本性质，它决定和影响土壤元素和养分的存在状态、转化和有效性^[18-19]。由图 2g 可知，随着排土场复垦年限的增加，排土场土壤的 pH 值呈波动状态，没有明显变化，最大值出现在复垦 4 和 14 a 的土壤中，最小值出现在复垦 6 和 9 a 的土壤中，始终比原地貌的 pH 值偏高。

3.1.5 土壤电导率的变化

在土壤分析中，含盐量是一个重要的综合指标，而土壤电导率是以数字形式表示土壤溶液的导电能力，反映了土壤的水盐状况^[20]。图 2h 表明了土壤电导率高于原地貌，同时随着复垦年限的增加，排土场土壤的电导率总体呈下降趋势，最大值出现在复垦 2 a 的排土场，最小值出现在复垦 14 a 的土壤。说明采矿活动增加了土壤盐分含量，随着复垦年限的增加土壤盐分得到了改善。土壤电导率高说明土壤中水溶性盐的含量较高，有碍作物生长，随着复垦时间的增长土壤中水溶性盐含量逐渐降低，接近原地貌，对植物生长的阻碍减小。

3.2 排土场复垦土壤综合质量变化模型

3.2.1 排土场复垦土壤质量综合质量变化

根据隶属度计算方法和土壤综合指标值计算方法得出不同复垦年限土壤质量综合值如图 3 所示。

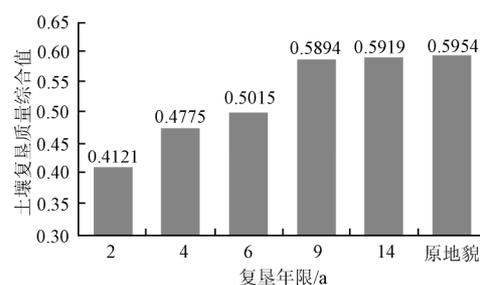


图 3 不同复垦年限复垦土壤质量综合值

Fig.3 Comprehensive value of land quality in different reclamation years

根据图 3 显示，不同复垦年限排土场土壤质量的综合值随着复垦年限波动上升，逐渐接近原地貌土壤。复垦初期的土壤质量最差，土壤质量综合值只有 0.4121，随着复垦年限的增加，土壤质量也在提高，在复垦第 14 年，土壤质量综合值达到了 0.5919，很接近原地貌土壤质量。从这一情况可以看出，随着时间

的发展,复垦土壤的质量逐步得到了改善,逐渐接近原地貌土壤质量。

3.2.2 排土场复垦土壤质量变化模型

由图 3 可以看出,研究区复垦土壤的质量随着复垦时间的增加呈渐近线变化趋势不断增加,在复垦初期增长速度较快,随着复垦年限的增加,土壤质量增长速度逐渐缓慢,最后会逐渐接近原地貌土壤质量。通过利用 matlab7.0 选用式(5)目标渐近线模型进行拟合,得 $a=0.5681$ 、 $b=1.8042$ 。

则研究区排土场复垦土壤质量变化模型为

$$y = 0.5681(1 - e^{-0.5543x}), R^2 = 0.92 \quad (5)$$

式中, x 为复垦年限, a 。

本式即为研究区复垦土壤质量变化模型,通过此模型可以求出任意复垦年限的大致复垦土壤质量综合值。

4 结 论

本文通过对内蒙古伊敏矿区排土场复垦土壤质量养分及土壤间接指标入手,对不同复垦年限之间这些含量的变化和与原地貌土壤中含量的差异进行了对比和研究,并且在总结这些含量变化规律的基础上,确定了土壤综合质量的变化趋势。得出了以下结论:

1) 研究区复垦土壤中有有机质、速效钾初始高于原地貌,且随着复垦年限有机质呈先增加后又缓慢减少趋势,速效钾呈先增加后减少而后又增加的趋势;全氮、碱解氮的含量都是随着复垦年限的增加总体呈波动增加的趋势;有效磷在复垦初期高于原地貌,然后呈下降的趋势然后增加的趋势,在复垦后期土壤中有效磷含量高于原地貌。土壤 pH 值随复垦时间的变化规律不明显,其含量和原地貌尚有差距;体积质量、电导率随着复垦时间呈波动下降状态,含量在逐渐接近原地貌。

2) 研究区复垦土壤质量随复垦年限的增加而增加。复垦时间在 2~14 a 土壤质量综合值呈渐近线变化趋势,复垦初期增长速度较快,随着复垦时间的增长,土壤质量的恢复速度逐渐缓慢,接近原地貌。并得出研究区复垦土壤质量随复垦时间变化的演替模型。

[参 考 文 献]

- [1] 陕永杰,郝蓉,白中科,等. 矿区复合生态系统中土壤演替和植被演替的互相影响[J]. 煤矿环境保护, 2001, 15(5): 28—30.
Shan Yongjie, Hao Rong, Bai Zhongke, et al. Interaction of soil successions and vegetation successions in complex ecosystem of mine area[J]. Coal Mine Environmental Protection, 2001, 15(5): 28—30. (in Chinese with English abstract)
- [2] Potter K N, Carter F S, Doll E C. Physical properties of constructed and undisturbed soils[J]. Soil Sci Soc Am J, 1988, 52(5): 1435—1438.
- [3] Xie H Q, Hen Q J. Digital reclamation soil characteristic model based on GIS[C]// 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [4] 胡振琪. 采煤沉陷土地资源的管理与复垦[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1996.
- [5] 陈龙乾, 邓喀中, 唐宏, 等. 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, 28(2): 277—282.
Chen Longqian, Deng Kazhong, Tang Hong, et al. Law of temporal and spatla ecoution of physical properties of soil reclaimed by hydraulic fredge pump in mining area[J]. Acta Pedologica Sinaca, 2001, 28(2): 277—282. (in Chinese with English abstract)
- [6] 卢铁光, 杨广林, 王利坤. 基于相对土壤质量指数法的土壤质量变化评价与分析[J]. 东北农业大学学报, 2003, 34(1): 56—59.
Lu Tieguang, Yang Guanglin, Wang Likun. Evaluation and analysis on soil quality changes based on relative soil quality index method[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2003, 34(1): 56—59. (in Chinese with English abstract)
- [7] 樊文华, 李慧峰, 白中科, 等. 黄土区大型露天煤矿煤矸石自燃对复垦土壤质量的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(2): 319—324.
Fan Wenhua, Li Huifeng, Bai Zhongke, et al. Effect of gangue spontaneous combustion on reclaimed soil quality of large-scaled opencast mine in loess area[J]. Transactions of the Chinese Society Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(2): 319—324. (in Chinese with English abstract)
- [8] 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 Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2007, 23(6): 276-280. (in Chinese with English abstract)
- [9] 孙海运, 李新举, 胡振琪, 等. 马家塔露天矿区复垦土壤质量变化[J]. 农业工程学报, 2008, 24(12): 205—209.
Sun Haiyun, Li Xinju, Hu Zhenqi, et al. Variance of reclamation soil quality in Majiata opencast mine region[J]. Transactions of the Chinese Society Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2008, 24(12): 205—209. (in Chinese with English abstract)
- [10] 王煜琴, 李新举, 胡振琪, 等. 煤矿区复垦土壤压实时空变异特征[J]. 农业工程学报, 2009, 25(5): 223—227.
Wang Yuqin, Li Xinju, Hu Zhenqi, et al. Spatial-temporal variability of reclamation soil compaction in coal mine region[J]. Transactions of the Chinese Society Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2009, 25(5): 223—227. (in Chinese with English abstract)
- [11] 戚家忠, 胡振琪, 赵艳玲. 铲运机复垦重构土壤容重值的时空变异特性[J]. 中国矿业大学学报, 2006, 34(4): 467—471.

- Qi Jiazhong, Hu Zhenqi, Zhao Yanling. Time-space variation of bulk density of reconstructing soil reclaimed by scraper[J]. *Journal of China University of Mining & Technology*, 2006, 34(4): 467–471. (in Chinese with English abstract)
- [12] 周玮, 周运超. 花江峡谷喀斯特区土壤质量两种定量评价方法研究[J]. *中国岩溶*, 2009, 28(3): 313–318.
Zhou Wei, Zhou Yunchao. Study on two quantitative methods of soil quality assessment in Huajiang karst canyon[J]. *Carsologica Sinica*, 2009, 28(3): 313–318. (in Chinese with English abstract)
- [13] 刘雪冉, 李新举, 李海龙. 邹城市采煤塌陷区复垦土壤质量变化研究[J]. *安徽农业科学*, 2008, 38(32): 14206–14209.
Liu Xueran, Li Xinju, Li Hailong, et al. Study on quality change of reclaimed soil in coal mining subsidence area in Zoucheng city[J]. *Journal of Anhui Agri Sci*, 2009, 36(32): 14206–14209. (in Chinese with English abstract)
- [14] 陈秋计. 基于 GIS 的矿区土地复垦信息系统与辅助规划研究[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2007.
- [15] 李树志, 高荣久. 塌陷地复垦土壤特性变异研究[J]. *辽宁工程技术大学学报*, 2006, 25(5): 792–794.
Li Shuzhi, Gao Rongjiu. Variability of reclaimed soil properties in subsided land[J]. *Journal of Liaoning Technical University*, 2006, 25(5): 792–794. (in Chinese with English abstract)
- [16] 李新举, 方玉东, 田素锋, 等. 黄河三角洲垦利县可持续土地利用障碍因素分析[J]. *农业工程学报*, 2007, 23(7): 71–75.
Li Xinju, Fang Yudong, Tian Sufeng, et al. Analysis of obstacle factors to sustainable land use of Kenli County in Yellow River Delta[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2007, 23(7): 71–75. (in Chinese with English abstract)
- [17] 刘美英. 马家塔复垦区土壤质量评价及其平衡施肥研究[D]. 内蒙古, 内蒙古农业大学, 2009: 1–136.
Liu Meiyang. Study on Assessment of Soil Quality and Balanced Fertilization in Reclamation Area of Majiata[D]. Inner Mongolia, Inner Mongolia Agricultural University, 2009: 1–136. (in Chinese with English abstract)
- [18] 樊文华, 李惠峰, 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.
Fan Wenhua, Li Hui Feng, Bai Zhongke, et al. The research of the soil fertility changes in Loess Area Large Opencast Coal Mine's different reclamation models and reclamation years: Taking Pingshuo ATB Opencast Mine as example[J]. *Journal of Shanxi Agricultural University*, 2006, 26(4): 313–316. (in Chinese with English abstract)
- [19] 王健, 高永, 魏江生, 等. 采煤塌陷对风沙区土壤理化性质影响的研究[J]. *水土保持学报*, 2006, 20(5): 52–55.
Wang Jian, Gao Yong, Wei Jiangsheng, et al. Influence of mining subsidence on physical and chemical properties of soil in windy desert area[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(5): 52–55. (in Chinese with English abstract)
- [20] 李淑敏, 李红, 周连第. 土壤电导率的快速测量(EM38)与数据的研究应用[J]. *安徽农业科学*, 2009, 37(29): 14001–14004, 14015.
Li Shumin, Li Hong, Zhou Liandi, et al. Study on the rapid measurement of soil conductivity (EM38) and data application[J]. *Journal of Anhui Agri Sci*, 2009, 37(29): 14001–14004, 14015. (in Chinese with English abstract)

Succession law and model of reclaimed soil quality of opencast coal mine dump in grassland

Wang Jinman^{1,2}, Yang Ruixuan¹, Bai Zhongke^{1,2*}

(1. College of Land Science and Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Key Laboratory of Land Consolidation and Rehabilitation Ministry of Land and Resources, Beijing 100035, China)

Abstract: Soil quality change is to measure soil productivity level and soil environmental quality. The dynamic succession law of Inner Mongolia mining waste dump reclaimed soil quality (Soil bulk density, Organic matter, Available P, Available K, Total N, Alkali Hydrolyzable N, pH value, Electrical Conductivity) were summarized through the typical residential survey in this paper, and soil succession model of the study area were constructed by using indexes sum method. Results showed that the Organic matter, Available P, Available K, Total N, Alkali Hydrolyzable N content in study area soil increased and all the soil quality gradually closed to its content in original landform. Soil succession model using indexes sum method showed study area already improved soil quality status, and gradually closed to the original landform soil quality. This study provides the theoretical basis for land reclamation and ecological restoration in ecological fragile mining area of opencast dump.

Key words: land reclamation, coal mines, soils, waste dump, succession law