

平朔矿区开采受损及治理区土壤养分特征对比分析

王颖, 冯仲科

(北京林业大学 精准林业北京市重点实验室 北京 100083)

摘要: [目的] 了解山西省朔州市平朔矿区土壤养分分布的空间规律, 为以后施肥决策提供依据, 加速改善矿区土壤状况。[方法] 以平朔矿区为研究区域, 分别采集开采未损区、开采受损区、受损治理区 3 个区域的土壤样本各 30 组, 再通过试验测得土壤的养分含量并用 R 和 Sufer 等进行分析处理获取不同区域的养分变化情况, 最后根据样本各养分因子的隶属度值和权重系数对土壤养分情况进行了综合评价。[结果] 通过和土壤养分含量分级与丰缺度标准相对比, 结果表明平朔矿区的养分丰缺度为急缺或缺状态, 除 pH 值外其他养分指标变异系数及含量波动大, 尤其开采未损区。土地复垦虽然可以一定程度地改善矿区的受损土壤, 但是受损治理区土壤要想恢复到开采前状态, 还需要很长时间。[结论] 平朔矿区的采矿和土地复垦对土壤养分含量和土壤养分分布有重要影响。

关键词: 土壤养分; 平朔矿区; 复垦; 综合评价

文献标识码: A **文章编号:** 1000-288X(2019)01-0091-07 **中图分类号:** S158.2, S151.9⁺3, S151.9⁺5

文献参数: 王颖, 冯仲科. 平朔矿区开采受损及治理区土壤养分特征对比分析[J]. 水土保持通报, 2019, 39(1):91-97. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2019.01.015; Wang Ying, Feng Zhongke. Comprehensive study on soil nutrient in damaged and controlled areas in Pingshuo mining area[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(1):91-97.

Comprehensive Study on Soil Nutrient in Damaged and Controlled Areas in Pingshuo Mining Area

Wang Ying, Feng Zhongke

(Precision Forestry Key Laboratory of Beijing, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: [Objective] We aim to understand the spatial distribution law of soil nutrient in Pingshuo mining area in Shuozhou City, Shanxi Province, in order to provide the basis for fertilization decision in the future, and to accelerate the improvement in soil condition in mining area. [Methods] We took Pingshuo mining area as the research area, and collected 30 groups of soil samples respectively from mining undamaged areas, mining damaged areas and harnessing areas. The soil nutrient content was then measured by experiments and analyzed by R and Sufer, to obtain nutrient changes in different areas. Finally, the soil nutrient status was comprehensively evaluated based on the membership value and weight coefficient of each nutrient factor in the sample. [Results] Compared with soil nutrient content grading and the standard of nutrient abundance and deficiency, the nutrient was in a status of deficient or acute deficient in Pingshuo mining area. Except for pH value, the variation coefficients and content of other nutrient indexes fluctuated greatly, especially in the undisturbed areas. Although land reclamation could improve the damaged soil of the mining area to a certain extent, it would take a long time for the damaged soil to be recovered to the status before mining. [Conclusion] Mining and land reclamation in Pingshuo mining area have important influence on soil nutrient content and distribution.

Keywords: soil nutrient; Pingshuo mining area; reclaim; comprehensive evaluation

收稿日期: 2018-06-13

修回日期: 2018-08-11

资助项目: 北京林业大学青年教师科学研究中长期项目“精准林业关键技术与装备研究”(2015ZCQ-LX-01); 北京市自然科学基金项目“环首都圈森林植被空间环境效应模型与造林决策支持系统研究”(6161001); 国家自然科学基金项目“平朔矿区煤炭开采植被受损及退化机理研究”(U1710123)

第一作者: 王颖(1992—), 女(汉族), 河北省唐山市人, 硕士研究生, 研究方向为 3S 技术集成与开发。E-mail: wangying920205@126.com。

通讯作者: 冯仲科(1962—), 男(汉族), 甘肃省灵台县人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事精准林业、测绘与 3S 技术集成研究。E-mail: fengzhongke@126.com。

煤矿露天开采会导致土壤肥力下降^[1],进而会导致矿区植被生态环境受到严重破坏^[2],土壤肥力大小的重要标志是土壤养分^[3]。为了恢复植被,改善土壤,提升肥力,大量学者对复垦区土壤养分状况做了研究。

马桦薇等^[4]、杨玉敏等^[5]等通过运用地统计学和 GIS 相结合的方法对复垦区土壤养分分布情况进行分析研究;黎炜^[6]采用时空对比法对复垦土壤的理化性质和肥力质量进行研究和评价;仝婕^[7]、张雅楠^[8]通过设置对照组,研究矿区的土壤指标情况并且综合评价矿区的土壤肥力状况;张菁等^[9]、李智兰^[10]、薛燕琴^[11]等研究随着土地复垦年限或土层深度的增加,复垦区土壤养分变化情况;王义等^[12]根据《第二次全国土壤普查技术规程》中对应的指标,对神东矿区的土壤肥力状况进行了分析和评价;叶凌枫^[13]研究 4 种土壤修复措施对土壤养分的影响以及不同措施下土壤的肥力评价;裴忠雪^[14]研究东北垦区物理指标与肥力因子的相关关系及其造林与否和造林树种对土壤理化指标的影响;李俊颖^[15]研究不同复垦方法下的土壤化学肥力情况和同一复垦方式不同年限下的土壤的肥力特点;为了加快复垦进程,栗丽等^[16]通过肥料和与复合生物菌剂配施找到最适配施组合;乔志伟等^[17]通过室内摇瓶培养找到磷细菌的最佳组合;郭汉清等^[18]研究了菌肥和煤基复混肥的不同配施对土壤养分情况和植物生长情况的影响;贾俊香等^[19]、李克中等^[20]等通过盆栽试验和钵钵生物试验,研究生物炭和中小型土壤动物组成对复垦区土壤养分的影响;为对土壤肥力情况进行综合评价,宋小园等^[21]等采用改进的突变级数法对复垦区的土壤质量进行评价;赵韵美^[22]设置附近荒草裸地为对照组,探究不同植被对土壤养分的改变情况且进行综合评价。

大量研究主要是通过设置对照组或设置其他变量,着重研究复垦区的土壤养分变化情况、养分指标之间的关系、养分分布情况、土壤质量综合评价,或者研究采用特定某种措施进行土地复垦,加快改善土壤养分状况的方法。但很少有人比较开采未损区、开采受损区和受损治理区土壤养分指标情况,通过对比,清楚地认识露天开采对土壤的损坏程度和土地复垦对土壤肥力的改善情况。

本研究拟通过采集开采未损区、开采受损区、受损治理区 3 个区域的土壤样本,利用室内室外相结合的方法测得土壤的养分含量,然后对各养分因子进行描述性统计,用 Suffer 绘制出平朔矿区 pH 值、全氮、速效磷、速效钾以及有机质的等值线图,进一步了解平朔矿区养分因子的分布规律,最后利用模糊数学的加乘法原理对矿区土壤肥力进行综合评价,对比分析

开采未损区、开采受损区,受损治理区整体肥力情况。以期通过分析平朔土壤养分的特点和空间分布情况,为林业精准管理和合理施肥提供依据,加快平朔矿区土壤复垦进程。

1 技术路线

为了更好地评价平朔矿区土壤养分状况,本研究选取平朔矿区作为研究区域,在研究区域内按照开采未损区、开采受损区、受损治理区 3 个区域利用 GPS 进行定位采样,选取土壤采集样地并采集土壤样本土样,获取待测样地的大地经度 L ,大地纬度 B ,大地高程 H 以及土壤采集样地的立木生长状况。然后在室内对土样养分因子进行测定并对测量数据进行统计分析,根据平朔矿区养分分析统计表中指标、采集样本养分分析折线图和利用 Surfer 生成的等值线图,分别对开采受损区、受损治理区和开采未受损区土壤养分情况进行对比分析,最后用模糊数学的加乘法对平朔矿区养分情况进行综合评价。具体技术路线如图 1 所示。

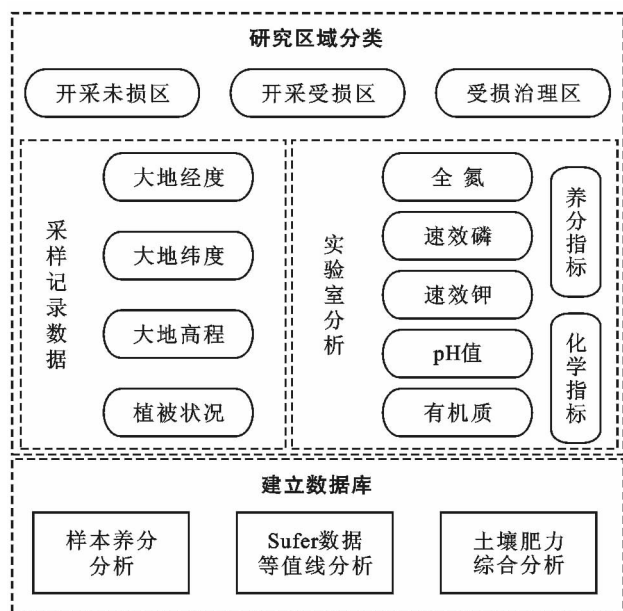


图 1 研究技术路线图

2 材料与方法

2.1 研究区概况

平朔矿区地处山西省朔州市,拥有安太堡、东露天和安家岭 3 座特露天矿,矿区处在黄土高原丘陵区,属于温带半干旱大陆性季风气候,年降雨量主要集中在 7—9 月。大规模的露天采矿,形成了大规模的人工挖损地貌和重塑地貌,造成严重的侵蚀。土壤为栗褐土,在缓坡丘陵区,存在明显的碳酸盐沉淀和弱粘化,在丘陵沟壑区,水土流失严重,土层过渡不明

显,土壤结构差,有机质含量低。

2.2 数据采集

针对平朔矿区的开采受损区、受损治理区、开采未损区 3 种不同的地类条件,分别设置 30 个监测样地,利用 GPS 测量其经纬度 B, L 和海拔高度 H , 获取三维坐标并记录入库,并且记录立木生长情况,然后在每块样地内收集土壤样品,土壤样品的规格为 0.5 kg,挖坑深度离地面的为 0.6 m,对土样进行编号,然后带土样回实验室分析化验土壤主要养分含量,鉴定土壤质量。

2.3 数据处理

将野外采集的土样平铺在干净的牛皮纸上,放在

干燥、阴凉和通风处进行风干,待样品干燥后,进行研磨,去除里边的杂物。然后用 2 mm 筛孔筛土样,装瓶标记用于测定速效养分和 pH 值,留出一部分土样继续研磨,用 0.25 mm 筛出样品标记用于测定有机质和全氮成分。本试验速效磷用 NaHCO_3 浸提钼锑抗比色法测定;速效钾用 $\text{NH}_4 \text{Ac}$ 浸提火焰光度法测定;pH 值用 pH 酸度计电位法测定;全氮用半微量开氏蒸馏法测定;有机质用重铬酸钾容量法测定。将测定好的 pH 值、全氮、速效磷、速效钾以及有机质进行数据分析,分别计算开采受损区、受损治理区、开采未损区土壤肥力因子的最小值、最大值、平均值和变异系数等参数,结果见表 1。

表 1 平朔矿区养分分析统计

变量	开采受损区				受损治理区				开采未受损区			
	最小值	最大值	平均值	变异系数/%	最小值	最大值	平均值	变异系数/%	最小值	最大值	平均值	变异系数/%
pH 值	7.02	8.28	7.90	0.04	7.07	8.48	7.92	0.05	7.54	8.48	7.94	0.03
全氮/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	0.01	0.06	0.03	0.40	0.01	0.06	0.03	0.43	0.02	0.25	0.07	0.81
速效磷/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	0.42	4.53	1.87	0.59	1.04	8.83	2.71	0.61	0.18	10.95	2.67	0.77
速效钾/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	14.22	120.44	66.86	0.40	70.87	240.81	135.31	0.30	28.38	254.97	122.09	0.41
有机质/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	4.10	31.43	8.82	0.57	4.45	16.79	9.86	0.35	4.28	76.17	25.21	0.85

3 结果与分析

3.1 数据分析

根据 pH 值、全氮、速效磷、速效钾和有机质的室内测定结果,绘制平朔矿区开采受损区、受损治理区、开采未损区的土壤养分折线图如图 2 所示。

从平朔矿区养分分析统计表(表 1)可知:①平朔矿区土壤整体偏碱性,pH 值离散度不大;②在开采受损区和受损治理区全氮含量都只有 0.03 g/kg,参考土壤养分含量分级与丰缺度标准(表 2),含氮量属于 6 级,属于急缺状态,开采未受损区氮含量在 0.02~0.25 g/kg 之间,平均值为 0.07 g/kg,土壤含氮量属于 6 级,丰缺度为缺,说明土壤复垦还没有改善土壤的全氮含量,平朔土壤整体缺氮,土壤供氮能力弱;③在受损治理区和开采未受损区平均速效磷含量分别为 2.71 mg/kg 和 2.67 mg/kg,然而开采受损区平均速效磷含量只有 1.87 mg/kg,虽然 3 个地区速效磷含量与第二次全国土壤普查土壤丰缺度标准相比都为急缺状态,但是复垦区相比开采受损区的速效磷含量增加 44.9%,说明土壤微生物使难以利用的磷转化成了有效磷或者磷肥改善了复垦区的磷含量;④速效钾含量复垦区比开采受损区平均值提高了 68.45 mg/kg,复垦区速效钾含量已经恢复甚至超过

未受损区的速效钾含量,受损治理区和开采未受损区速效钾含量已经达到了中等水平;⑤开采未受损区有机质土壤养分分级属于 3 级,丰缺度为中等,开采受损区、受损治理区有机质含量属于 5 级,丰缺度为缺,但是受损治理区比开采受损区含有机质量平均值提高了 1.04 g/kg,说明土地复垦对土壤有机质含量有一定的改善作用。除了 pH 值变异系数小外,其他养分指标变异系数都很大,说明平朔矿区除了 pH 值含量较为均匀外,其他养分指标的含量波动性大。

土壤 pH 值开采受损区、受损治理区和开采未受损区的折线几乎重叠,在 8 附近上下浮动,说明露天开采和土地复垦对平朔矿区土壤的酸碱性影响不大;相比开采受损区和受损治理区,全氮含量在开采未损区波动性最大,说明母质土层过渡不明显;平朔地区速效磷含量离散性大,但受损治理区和开采未受损区速效磷含量波动尤其大,说明平朔矿区母质土层速效磷过渡不均匀,经土地复垦后,并没有改善土层速效磷过渡不均匀的问题;速效钾含量在开采受损区、受损治理区和开采未受损区波动性很大,速效钾最大值大于 200 mg/kg,最小值却小于 20 mg/kg;与全氮折线图类似,有机质在未受损区折线波动很大,说明母质土壤土层过渡不明显,但土地复垦均衡了有机质分布。

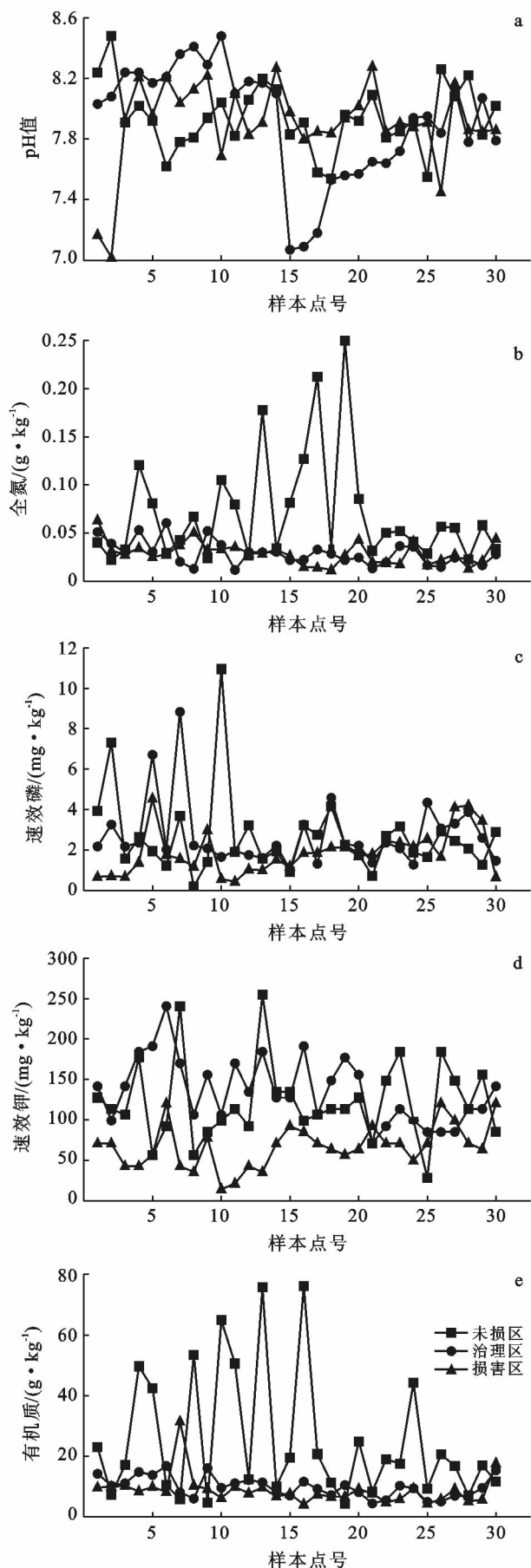


图 2 平朔矿区采集样本养分分析结果

分别将 pH 值、全氮、速效磷、速效钾和有机质的含量导入 Suffer, 结合实地坐标, 绘制出整个平朔区相关肥力因子的等值线图, 从 pH 值、全氮、速效磷、速效钾和有机质含量等值线图可知, 5 个测量指标在等值线图上都表现为北部值大于南部值, 其中全氮、速效磷和有机质在等值线图上出现两个极大值点。从 pH 值等值线图可知, 平朔矿区 pH 值从东北向西南逐渐减小, 但整体变化不大, 东南方向等值线分布密集, 说明东南方向土层 pH 值过渡不明显; 从全氮和有机质等值线图上可以看出, 两个极大值处出现在开采未损区, 然后含量围绕坡峰逐渐递减; 从速效磷含量等值线图上可以看出, 极大值出现在未损区和治理区, 然后速效磷含量向周围依次递减; 从速效钾含量等值线图可以看出, 速效钾含量整体上西北方向大于东南方向, 其中几个极大值出现在未损区和治理区。

3.2 土壤肥力综合评价

3.2.1 权重的确定 为了准确地评价各指标对土壤肥力影响的大小, 需要对指标进行科学赋权。为了使赋权减少人工参与, 从客观赋权法中选取了主成分分析法进行指标赋权。平朔矿区开采受损区、受损治理区和开采未损区样地分别用 SSQ_01—SSQ_30, ZLQ_01—ZLQ_30 和 WSQ_01—WSQ_30 进行编号, 然后将 90 个样地导入 R 中进行主成分分析, 按累计贡献率大于 85% 的原则, 获取权重, 得到结果表 3 所示。

3.2.2 评价指标隶属度 权重确定后需要将土壤肥力指标进行归一化处理, 来解决各评价指标量纲上的差异。根据土壤化学肥力指标对植物生长的效应, 将土壤化学肥力指标与植物生长关系归纳为 S 型隶属度函数[公式(1)]和抛物线隶属度函数[公式(2)]。S 型隶属度函数表示当指标数值低于一定数值时, 基本不促进植物生长, 在一定范围内含量越大对植物生长促进越大, 当大于一定数值时, 对于植物生长的促进趋于稳定, 根据前人研究经验, 符合该规律的一般为全氮、速效磷、速效钾、有机质。抛物线隶属度函数表现为当指标含量小于或大于一定数值后, 基本不促进植物生长, 在一段区间内指标含量越大对植物促进作用越大, 当指标含量超过某个值, 指标含量对植物的促进作用趋于稳定, 当指标含量达到另一个数值时, 指标含量会对植物生长有抑制作用, 符合该规律的指标因子为 pH 值。

$$f(x) = \begin{cases} 1 & (x \geq b) \\ \frac{x-a}{b-a} & (a < x < b) \\ 0 & (x \leq a) \end{cases} \quad (1)$$

式中: $f(x)$ ——关于指标因子的植物生长隶属度函数;

x ——指标因子的实测值; a, b ——两个临界值, 根据大量的试验和参考文献上阈值 a 一般取 0, 下阈值 b 有机

质取 20.0 g/kg, 全氮取 1.2 g/kg, 速效磷取 10.0 mg/kg, 速效钾取 100 mg/kg 为最优值。下同。

表 2 土壤养分含量分级与丰缺度标准

级别	丰缺度	有机质/ (g · kg ⁻¹)	全氮/ (g · kg ⁻¹)	速效氮/ (mg · kg ⁻¹)	全磷/ (g · kg ⁻¹)	速效磷/ (mg · kg ⁻¹)	全钾/ (g · kg ⁻¹)	速效钾/ (mg · kg ⁻¹)
1	丰	>40	>2.0	>150	>1.0	>40	>25.0	>200
2	稍丰	30~40	1.5~2.0	120~150	0.81~1.0	20~40	20.1~25.0	150~200
3	中等	20~30	1.0~1.5	90~120	0.61~0.80	10~20	15.1~20.0	100~150
4	稍缺	10~20	0.75~1.0	60~90	0.41~0.60	5~10	10.1~15.0	50~100
5	缺	6~10	0.5~0.75	30~60	0.20~0.40	3~5	5.1~10.0	30~60
6	急缺	<6	<0.5	<30	<0.20	<3	<5.0	<30

引自《第二次全国土壤普查技术规程》

表 3 平朔矿区养分权重系数

指标	pH 值	全氮/ (g · kg ⁻¹)	速效磷/ (mg · kg ⁻¹)	速效钾/ (mg · kg ⁻¹)	有机质/ (g · kg ⁻¹)
F ₁	0.297	0.750	0.412	0.590	0.791
F ₂	0.634	-0.465	0.669	0.242	-0.326
F ₃	0.635	0.124	-0.206	-0.595	0.195
F ₄	0.325	-0.010	-0.576	0.486	-0.175
公因子方差	0.999	0.794	0.991	0.997	0.800
权重	0.218	0.173	0.216	0.218	0.175

表 4 平朔矿区各养分因子隶属度值

样地号	pH	全氮/ (g · kg ⁻¹)	速效磷/ (mg · kg ⁻¹)	速效钾/ (mg · kg ⁻¹)	有机质/ (g · kg ⁻¹)
SSQ_01	1	0.053 1	0.065 8	0.708 7	0.481 5
SSQ_02	1	0.026 7	0.070 5	0.708 7	0.497 9
SSQ_03	1	0.023 3	0.065 8	0.425 4	0.512 0
SSQ_04	0.58	0.028 9	0.136 6	0.425 4	0.421 8
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
SSQ_30	1	0.037 0	0.065 4	1.000 0	0.882 3
WSQ_01	0.52	0.033 7	0.391 6	1.000 0	1.000 0
WSQ_02	0.04	0.018 7	0.731 6	1.000 0	0.360 4
WSQ_03	1	0.027 6	0.155 5	1.000 0	0.858 8
WSQ_04	0.96	0.100 8	0.264 1	1.000 0	1.000 0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
WSQ_30	0.96	0.027 8	0.287 7	0.850 3	0.582 1
ZLQ_01	0.94	0.042 7	0.216 9	1.000 0	0.710 1
ZLQ_02	0.84	0.032 7	0.325 5	0.991 9	0.516 0
ZLQ_03	0.52	0.025 0	0.216 9	1.000 0	0.555 3
ZLQ_04	0.52	0.044 5	0.235 8	1.000 0	0.739 4
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
ZLQ_30	1	0.023 3	0.146 0	1.000 0	0.766 3

$$f(x) = \begin{cases} 1 & (b_1 \leq x \leq b_2) \\ \frac{x-a_1}{b_1-a_1} & (a_1 < x < b_1) \\ \frac{a_2-x}{a_2-b_2} & (b_2 < x < a_2) \\ 0 & (x \leq a_1 \text{ 或 } x \geq a_2) \end{cases} \quad (2)$$

式中: a_1, b_1, a_2, b_2 ——4 个临界值, 根据大量的试验和参考文献 pH 值的 a_1 值取 4.5, b_1 取 6.5, a_2 取 8.0, b_2 取 8.5 为最优值。

将原始指标因子带入隶属函数表达式, 结果得到每个养分因子的隶属度值见表 4。

3.2.3 土壤养分综合肥力评价 养分和化学指标影响的土壤肥力综合评价采用模糊数学的加乘法原理, 公式如下

$$IFI = \sum_{i=1}^5 f(x_i) \times w_i \quad (3)$$

式中: IFI——土壤养分综合评价值; $f(x_i)$ ——第 i 个因子的隶属度值; w_i ——第 i 个因子的权重系数。

最后根据样本各养分因子的隶属度值和权重系数对土壤养分情况进行综合评价, 并将 90 块样地按综合评价得分进行排序, 土壤养分综合评价详细结果参见表 5。

根据土壤养分综合评价结果可知, 除了 SSQ_30 样地土壤肥力综合排名为 16, 其他受损区样地土壤肥力综合排名均靠后, 主要集中在 60 以后; 治理区除 ZLQ_08, ZLQ_10 和 ZLQ_21 少数样地土壤肥力综合排名靠后, ZLQ_05, ZLQ_16, ZLQ_18, ZLQ_30 等样地土壤肥力综合排名已经追上或者超过大部分开采未损区的样地, 受损治理区仍有一部分样地在土壤养分综合评价中排名中等; 开采未损区除少数样地土壤肥力综合排名靠后, 大部分样地土壤肥力综合排名靠前。开采受损区的土壤养分情况相比开采未损区土壤肥力综合排名明显靠后, 说明煤矿开采导致土壤恶化, 开采受损区可能出现土壤养分流失等情况; 受损治理区土壤肥力综合排名相比开采受损区明显靠前, 说明受损治理区人工施肥或者种植植物等措施改善

了受损治理区的土壤养分状况,一些违反规律的个别样地可能由于矿区开采受损区、受损治理区和开采未受损区的划分边界误差或者环境的其他因素共同影响了矿区的养分含量。土壤养分综合评价情况与外

业记录的树木生长状况大致吻合,土壤肥力综合排名靠前,树木生长相对旺盛,土壤肥力综合排名靠后,树木生长情况相对不好,该结论也说明了选择的土壤肥力因子和综合评价方法的合理性。

表 5 平朔矿区土壤养分综合评价结果

样地号	pH 值	全 N/ (g·kg ⁻¹)	速 P/ (mg·kg ⁻¹)	速 K/ (mg·kg ⁻¹)	有机质/ (g·kg ⁻¹)	综合 评价	排名	样地号	pH 值	全 N/ (g·kg ⁻¹)	速 P/ (mg·kg ⁻¹)	速 K/ (mg·kg ⁻¹)	有机质/ (g·kg ⁻¹)	综合 评价	排名		
SSQ_01	1	0.053	0.065	0.708	0.481	0.479	8	61	SSQ_16	1	0.012	0.183	0.850	0.204	0.480	8	60
SSQ_02	1	0.026	0.070	0.708	0.497	0.479	1	63	SSQ_17	1	0.012	0.183	0.708	0.371	0.479	0	64
SSQ_03	1	0.023	0.065	0.425	0.512	0.418	3	79	SSQ_18	1	0.010	0.212	0.637	0.333	0.462	7	70
SSQ_04	0.58	0.028	0.136	0.425	0.421	0.327	3	88	SSQ_19	1	0.022	0.212	0.567	0.329	0.448	9	75
SSQ_05	1	0.021	0.452	0.567	0.493	0.529	2	44	SSQ_20	0.96	0.036	0.169	0.637	0.460	0.471	5	67
SSQ_06	0.58	0.023	0.174	1.000	0.411	0.457	6	72	SSQ_21	0.44	0.017	0.178	0.921	0.382	0.404	8	82
SSQ_07	0.92	0.031	0.155	0.425	1.000	0.506	9	54	SSQ_22	1	0.016	0.240	0.708	0.240	0.469	2	68
SSQ_08	0.74	0.042	0.117	0.354	0.515	0.361	4	84	SSQ_23	1	0.015	0.235	0.708	0.290	0.476	7	66
SSQ_09	0.56	0.027	0.297	0.779	0.461	0.441	3	77	SSQ_24	1	0.034	0.216	0.496	0.468	0.460	8	71
SSQ_10	1	0.028	0.056	0.142	0.314	0.320	9	90	SSQ_25	1	0.014	0.254	0.708	0.218	0.468	0	69
SSQ_11	0.8	0.029	0.042	0.213	0.495	0.321	6	89	SSQ_26	1	0.018	0.164	1.000	0.288	0.524	9	45
SSQ_12	1	0.024	0.103	0.425	0.389	0.405	2	80	SSQ_27	0.66	0.023	0.410	0.991	0.459	0.532	9	41
SSQ_13	1	0.024	0.098	0.354	0.482	0.405	1	81	SSQ_28	1	0.011	0.419	0.708	0.256	0.509	8	53
SSQ_14	0.46	0.027	0.150	0.708	0.335	0.350	5	87	SSQ_29	1	0.017	0.344	0.637	0.284	0.484	2	58
SSQ_15	1	0.022	0.117	0.921	0.379	0.514	1	51	SSQ_30	1	0.037	0.065	1.000	0.882	0.610	3	16
ZLQ_01	0.94	0.042	0.216	1.000	0.710	0.600	9	20	ZLQ_16	1.00	0.018	0.325	1.000	0.581	0.610	8	15
ZLQ_02	0.84	0.032	0.325	0.991	0.516	0.565	2	30	ZLQ_17	1.00	0.027	0.131	1.000	0.462	0.549	8	34
ZLQ_03	0.52	0.025	0.216	1.000	0.555	0.479	2	62	ZLQ_18	1.00	0.023	0.457	1.000	0.360	0.601	8	19
ZLQ_04	0.52	0.044	0.235	1.000	0.739	0.518	8	48	ZLQ_19	1.00	0.018	0.226	1.000	0.524	0.579	4	24
ZLQ_05	0.66	0.025	0.670	1.000	0.689	0.631	4	11	ZLQ_20	1.00	0.020	0.221	1.000	0.407	0.558	3	32
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
ZLQ_09	0.42	0.043	0.207	1.000	0.804	0.502	1	56	ZLQ_24	1.00	0.029	0.127	0.991	0.469	0.548	7	35
ZLQ_10	0.04	0.031	0.164	1.000	0.478	0.351	1	86	ZLQ_25	1.00	0.014	0.434	0.850	0.247	0.542	6	39
ZLQ_11	0.80	0.009	0.193	1.000	0.555	0.532	5	42	ZLQ_26	1.00	0.012	0.306	0.850	0.253	0.515	8	49
ZLQ_12	0.64	0.025	0.174	1.000	0.606	0.505	1	55	ZLQ_27	0.74	0.020	0.330	0.850	0.348	0.482	3	59
ZLQ_13	0.66	0.025	0.160	1.000	0.569	0.500	1	57	ZLQ_28	1.00	0.019	0.386	1.000	0.343	0.582	7	22
ZLQ_14	0.80	0.025	0.221	1.000	0.408	0.515	7	50	ZLQ_29	0.86	0.013	0.259	1.000	0.477	0.547	1	36
ZLQ_15	1.00	0.018	0.103	1.000	0.351	0.522	6	46	ZLQ_30	1.00	0.023	0.146	1.000	0.766	0.605	1	18
WSQ_01	0.52	0.033	0.391	1.000	1.000	0.596	2	21	WSQ_16	1.00	0.106	0.320	0.991	1.000	0.696	2	3
WSQ_02	0.04	0.018	0.731	1.000	0.360	0.450	7	73	WSQ_17	1.00	0.176	0.273	1.000	1.000	0.700	1	2
WSQ_03	1	0.027	0.155	1.000	0.858	0.624	1	13	WSQ_18	1.00	0.029	0.415	1.000	0.566	0.629	4	12
WSQ_04	0.96	0.100	0.264	1.000	1.000	0.676	2	4	WSQ_19	1.00	0.208	0.226	1.000	0.214	0.558	1	33
WSQ_05	1	0.067	0.193	0.567	1.000	0.569	6	28	WSQ_20	1.00	0.071	0.179	1.000	1.000	0.661	4	8
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
WSQ_09	1	0.020	0.141	0.850	0.236	0.478	3	65	WSQ_24	1.00	0.034	0.188	0.991	1.000	0.655	2	9
WSQ_10	0.92	0.087	1.000	0.991	1.000	0.822	6	1	WSQ_25	1.00	0.024	0.164	0.283	0.463	0.400	6	83
WSQ_11	1	0.066	0.188	1.000	1.000	0.662	6	7	WSQ_26	0.48	0.047	0.292	1.000	1.000	0.568	2	29
WSQ_12	0.88	0.022	0.320	0.921	0.621	0.574	1	26	WSQ_27	0.84	0.046	0.245	1.000	0.842	0.608	9	17
WSQ_13	0.6	0.148	0.155	1.000	1.000	0.582	3	23	WSQ_28	0.56	0.018	0.207	1.000	0.352	0.449	4	74
WSQ_14	0.74	0.028	0.193	1.000	0.503	0.513	6	52	WSQ_29	1.00	0.048	0.127	1.000	0.848	0.619	8	14
WSQ_15	1	0.068	0.089	1.000	0.981	0.638	1	10	WSQ_30	0.96	0.027	0.287	0.850	0.582	0.563	1	31

根据土壤养分综合评价结果可知,虽然受损治理区土壤肥力综合排名相比开采受损区有了很大的提

升,但是受损治理区土壤肥力综合评价排名与开采未受损区的土壤养分综合评价排名相比,还有一段距离。

4 讨论与结论

(1) 平朔矿区除了速效钾在受损治理区、开采未受损区和有机质在开采未受损区的丰缺度达到中等水平外,其他状况下所研究的养分丰缺度都表现为急缺或缺状态,说明平朔矿区整体缺少养分。受损治理区相比开采受损区的速效磷含量增加 44.9%,受损治理区比开采受损区速效钾含量平均值提高了 68.45 mg/kg,平均有机质量提高了 1.04 g/kg,说明土地复垦对速效磷、速效钾和有机质的含量具有一定的改善作用,但是目前没有改善全氮的含量,土壤供氮能力较弱。

(2) 平朔矿区除了 pH 值直线图波动小,其他养分指标含量波动都较大,尤其表现在开采未损区波动大,说明平朔矿区母质土壤土层过渡不明显,土地复垦后并没有改善土层速效磷过渡不均匀的问题,但是土地复垦均衡了土壤有机质、速效钾和全氮的养分分布。

(3) 平朔矿区整体上北部养分含量大于南部,其中全氮、速效磷和有机质极大值点主要出现在开采未损区或者受损治理区。

(4) 从土壤样本养分综合排名看出,除了个别样本外,开采受损区的土壤养分排名比开采未损区排名靠后,受损治理区土壤养分排名相比开采受损区明显靠前,说明露天开采可能导致土壤养分流失,受损治理区人工施肥或者种植植物等措施改善了受损治理区的土壤养分状况,但是开采区治理区土壤养分排名主要集中在中等水平,所以需要根据分析结果继续采取措施改善矿区的受损土壤,争取土壤恢复或超过开采前的状态。

综合以上分析可知土地复垦可以改善因露天开采导致的土壤养分流失问题,但是本次治理区树木都在 5~10 a 之间,如果想恢复甚至超过未损区的土壤养分情况,只靠自然植物修复可能需要更长时间。由于原土壤母质图层的或者露天开采等人为因素的影响,各个地区的土壤养分情况不尽一样,为了加快土壤修复进程,可以通过野外均匀采样,再通过数据统计分析和根据养分含量插值等值线图等措施综合分析,最后进行养分综合评价分析,有目的地进行人工干预,用最少的投入,最大程度地改善土壤养分情况,为林业精准管理和合理施肥提供依据。

[参 考 文 献]

[1] 胡振琪,魏忠义. 煤矿区采动与复垦土壤存在的问题与对策[J]. 能源环境保护,2003,17(3):1-7.

- [2] 王丽. 神木矿区采煤对土壤和植被的影响[D]. 陕西 杨凌:西北农林科技大学,2012.
- [3] 刘孝阳,周伟,白中科,等. 平朔矿区露天煤矿排土场复垦类型及微地形对土壤养分的影响[J]. 水土保持研究,2016,23(3):6-12.
- [4] 马桦薇,师学义,张美荣,等. 待复垦村庄土壤养分特征研究:以山西省西部村为例[J]. 水土保持研究,2015,22(4):107-112.
- [5] 杨玉敏,师学义,马桦薇,等. 煤炭基地村庄复垦前后土壤养分时空变化研究:以山西省西部村为例[J]. 江西农业大学学报,2017,39(3):633-640.
- [6] 黎炜. 煤矿充填复垦区土壤肥力质量变化与地下水重金属污染研究[D]. 北京:中国矿业大学,2011.
- [7] 全婕. 陕北煤矿区土壤肥力质量评价[D]. 西安:西安科技大学,2016.
- [8] 张雅楠. 黑岱沟排土场复垦地植被类型及土壤理化性质的研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2013.
- [9] 张菁,江山,王改玲. 安太堡露天矿不同复垦年限苜蓿地土壤养分和酶活性剖面特征[J]. 灌溉排水学报,2018,37(1):42-48.
- [10] 李智兰. 矿区复垦对土壤养分和酶活性以及微生物数量的影响[J]. 水土保持通报,2015,35(2):6-13.
- [11] 薛燕琴. 孝义矿区不同复垦年限复垦土壤理化性状和肥力研究[D]. 山西 晋中:山西农业大学,2013.
- [12] 王义,刘美英,陈士超,等. 神东矿区土壤肥力与盐分特征研究[J]. 干旱区资源与环境,2014,28(9):63-68.
- [13] 叶凌枫. 不同修复措施对矿区土壤肥力质量的影响及评价[D]. 西安:长安大学,2016.
- [14] 裴忠雪. 东北典型垦区土壤物理性质与肥力关系及其对造林的响应[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2016.
- [15] 李俊颖. 济宁市煤矿区土地复垦方式对土壤养分状况的影响[D]. 泰安:山东农业大学,2017.
- [16] 栗丽,李廷亮,孟会生,等. 菌剂与肥料配施对矿区复垦土壤养分及微生物学特性的影响[J]. 应用与环境生物学报,2016,22(6):1156-1160.
- [17] 乔志伟,洪坚平,李林轩,等. 溶磷细菌对复垦土壤养分、酶活性及磷解析的影响[J]. 水土保持学报,2017,31(2):166-170,203.
- [18] 郭汉清,谢英荷,洪坚平,等. 煤基复混肥对复垦土壤养分、玉米产量及水肥利用的影响[J]. 水土保持学报,2016,30(2):213-218.
- [19] 贾俊香,谢英荷. 生物炭对采煤塌陷复垦区土壤养分与酶活性的影响[J]. 灌溉排水学报,2016,35(11):88-91.
- [20] 李克中,朱永恒. 中小型土壤动物组成对复垦铜尾地土壤养分的影响[J]. 生态学报,2015,35(12):3979-3987.
- [21] 宋小园,朱仲元,韩永明,等. 基于改进的突变级数法在复垦区土壤恢复评价中的应用[J]. 干旱区地理,2014,37(5):1012-1018.
- [22] 赵韵美. 阜新煤矿废弃地不同植被恢复模式对土壤养分的影响[D]. 陕西 杨凌:西北农林科技大学,2014.