

淮南潘一矿采煤沉陷复垦区土壤肥力时空变化特征

陈永春^{1,2}, 赵萍³, 郑刘根^{4*}, 姜春露⁴, 杨思楠⁴

(1. 煤矿生态环境保护国家工程实验室, 安徽 淮南 232001; 2. 平安煤炭开采工程技术研究院
有限责任公司, 安徽 淮南 232001; 3. 合肥工业大学资源与环境工程学院, 安徽 合肥 230009;
4. 安徽大学资源与环境工程学院, 安徽省矿山生态修复工程实验室, 安徽 合肥 230601)

摘要:通过采集淮南潘一矿采煤沉陷复垦区不同深度覆土样品,检测土壤中有机质、总氮、速效磷、速效钾等指标,分析采煤沉陷复垦区土壤肥力时空变化特征。结果表明:复垦9年,0 cm~20 cm、20 cm~40 cm、40 cm~60 cm覆土厚度土壤中有机质增长率分别为61.68%、69.44%、55.68%,总氮增长率分别为71.60%、67.86%、57.95%,速效磷增长率分别为72.56%、75.32%、52.09%,速效钾增长率分别为72.96%、68.77%、47.51%。复垦区土壤肥力有机质处于IV级较缺乏水平,总氮处于II级和I级,较丰富水平及以上,速效磷处于III级,中等水平,速效钾处于II级,较丰富水平。

关键词:土壤肥力;采煤沉陷复垦区;煤矸石;淮南潘一矿

中图分类号:S158;TD88

文献标志码:B

文章编号:1006-2009(2021)03-0021-04

Temporal and Spatial Variation Characteristics of Soil Fertility in Coal Mining Subsidence Reclamation Area in Huainan Panyi Mine

CHEN Yong-chun^{1,2}, ZHAO Ping³, ZHENG Liu-gen^{4*}, JIANG Chun-lu⁴, YANG Si-nan⁴

(1. National Engineering Laboratory for Coal Mine Ecological Environment Protection, Huainan, Anhui 232001, China; 2. Ping An Coal Mining Engineering Technology Research Institute Co., Ltd., Huainan, Anhui 232001, China; 3. School of Resources and Environmental Engineering, Hefei University of Technology, Hefei, Anhui 230009, China; 4. School of Resources and Environmental Engineering, Anhui University, Anhui Province Engineering Laboratory for Mine Ecological Remediation, Hefei, Anhui 230601, China)

Abstract: The temporal and spatial variation characteristics of soil fertility was analyzed by detecting organic matter, total nitrogen, available phosphorus, available potassium in the samples collected from different depths of reclamation soil in Huainan Panyi coal mining subsidence area. The results showed that after 9 years of reclamation, the growth rate of organic matter in the depths of 0 cm~20 cm, 20 cm~40 cm, and 40 cm~60 cm of covering soil were 61.68%, 69.44%, and 55.68%, respectively, the growth rate of total nitrogen were 71.60%, 67.86%, 57.95%, respectively, the growth rate of available phosphorus were 72.56%, 75.32%, 52.09%, respectively, and the growth rate of available potassium were 72.96%, 68.77%, 47.51%, respectively. Organic matter of soil fertility in the reclamation area was in grade IV which was relatively deficient level, total nitrogen was in grade II and I which was relatively rich or above level. Available phosphorus was in grade III, medium level, and available potassium was in grade II, rich level.

Key words: Soil fertility; Mining subsidence reclamation area; Coal gangue; Huainan Panyi mine

收稿日期:2020-04-23;修订日期:2021-03-16

基金项目:国家重点研发计划基金资助项目(2016YFC0501105);淮南矿业直管基金资助项目[HNKY-JTJS-2018(162)]

作者简介:陈永春(1978—),男,山西大同人,教授级高级工程师,博士,主要从事矿区生态环境综合治理工作。

*通信作者:郑刘根 E-mail:lgzheng@ustc.edu.cn

煤矿沉陷区土地复垦是保护耕地资源,实现矿区可持续发展的重要途径之一^[1]。煤矸石充填土地复垦既有消化煤矸石的效果,又可以获得土地,

是煤矿塌陷区综合治理与利用的首选措施^[2],而复垦土壤质量的高低是土地复垦成功与否的关键所在^[3],故开展采煤塌陷区复垦土壤肥力方面的研究十分必要。目前,国内外有关煤矸石充填复垦的研究包括复垦技术及策略^[4]、复垦土壤环境效应及重构地理化特征^[5]、土壤质量方法选择和评价标准指标选取^[6]、复垦土壤生产力评价等方面^[7],对复垦土壤的综合质量研究较少,且注重复垦土壤单一时间段的分析。相比较而言,从时间和空间方面系统开展复垦土壤肥力的研究不足。今在前人研究的基础上,对淮南潘一矿复垦区土壤有机质、总氮、速效磷、速效钾等肥力指标的时空变化进行研究,采用单因子分析法评判煤矸石充填复垦效果,分析煤矸石作为充填物的复垦效应,为土地复垦规划提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

潘一矿位于安徽省淮南市潘集区境内,矿井经过多年开采,采空区上方地表形成了许多大小不一的沉陷积水塘和沉陷坑,塘内积水对井下煤层的安全开采有一定影响。2005年以来,淮南矿业集团实施了潘一矿矿山地质环境治理工程,采用煤矸石、生活垃圾等进行填埋,设计覆土深度为60 cm左右;沿225省道两旁,采用煤矸石充填,设计覆土深度为100 cm左右。

1.2 样品采集与处理

在潘一矿煤矸石山北侧,225省道东侧,沉陷水域东侧研究区域内,采用简单随机布点法采集土壤样品,用GPS记录采样点坐标,并埋设标记物。于2008年(复垦当年)、2013年(复垦5年)和2017年(复垦9年)在采样点按土壤剖面层次共采集土壤样品12个,其中距地表0 cm~20 cm深度为第一层、20 cm~40 cm为第二层、40 cm~60 cm为第三层。每个样品质量约1 kg,采集的样品装入自封袋并贴上标签。同时,选取一定面积的非矸石充填复垦农田作为对照采样区。

1.3 分析方法与数据处理

为保证监测数据质量和可比性,土壤样品按照《土壤环境监测技术规范》(HJ/T 166—2004)进行测定分析,其中有机质采用重酸氧化-外加热法,总氮采用元素分析仪(AOD-CHN5000型,北京爱欧德仪器设备有限公司),速效磷采用氟化铵-盐

酸浸提法,速效钾采用乙酸铵浸提-火焰光度法。采用SPSS 24软件对数据作均值统计分析,用Excel 2013软件制图。为控制样品预处理及仪器分析质量,采用土壤有效态成分分析标准物质(GBW07461)进行检验,回收率控制在92%~110%之间。

2 结果与讨论

2.1 复垦区土壤肥力时空变化特征

土壤有机质、总氮、速效磷、速效钾是土壤重要的肥力因子,可以综合反映土壤肥力质量的高低^[8]。土壤养分水平的高低是土壤肥力质量状态的重要指标^[9]。矿区复垦过程不仅引起土壤物理性质发生变化,而且化学性质也随之改变。图1(a)~(d)为研究区不同复垦年限土壤中有有机质、总氮、速效磷、速效钾质量比的变化。

(1) 土壤有机质变化特征。土壤中含碳有机化合物被称为土壤有机质,一般是指土壤中所有来源于生命的物质,可分为腐殖质和非腐殖质,包括土壤植物、动物、微生物的残体、分泌物、排泄物^[10]。土壤有机质是土壤重要组成部分,其有助于土壤的稳定性、养分和水分的保持,以及抵抗风蚀和水蚀,具有保持土壤耕作、吸收和降解污染物等重要作用^[11],是土壤肥力水平的一个重要指标。

由图1(a)可见,2008年、2013年和2017年期间,复垦区土壤有机质呈逐年增长趋势,2017年第一层土壤有机质质量比超过了对照农田。2008年第一、二、三层土壤中有有机质平均质量比分别为 (8.69 ± 2.53) g/kg、 (7.33 ± 2.20) g/kg、 (7.04 ± 1.35) g/kg。复垦5年第一、二、三层土壤中有有机质增长率分别为25.38%、22.95%、15.97%,复垦9年有机质增长率分别为61.68%、69.44%、55.68%。

2017年土壤第一层有机质质量比虽然略高于对照农田,但第二、三层仍低于对照农田,其原因可能是充填基质层煤矸石块度的颗粒大、结构坚硬,不容易风化,煤矸石中的养分不易快速释放,不能有效保存水分和养分,以及为上层覆盖土壤提供有机质,导致有机质含量低^[12]。

(2) 土壤总氮变化特征。土壤总氮是土壤肥力的重要指标,能改善土壤化学性质、物理性质和生物性质,具有缓冲性能,也有利于改善土壤吸附、离子交换性能和综合能力等。土壤总氮是土壤氮

素总量及供应植物的有效氮素的源和库,反映了土壤中氮素状况。土壤中氮含量通常用于衡量土壤氮素的基础肥力^[13]。中国耕地土壤的总氮质量分数不高,一般为0.1%~0.2%^[14]。

由图1(b)可见,2008年、2013年和2017年期间,复垦区土壤总氮呈逐年增长趋势。2008年第一、二、三层土壤中总氮平均质量比分别为 (1.789 ± 0.33) g/kg、 (1.811 ± 0.32) g/kg、 (1.767 ± 0.28) g/kg。复垦5年第一、二、三层土壤中总氮的增长率分别为22.64%、17.45%、14.37%,复垦9年总氮增长率分别为71.60%、67.86%、57.95%。

2017年土壤第一、二层中总氮质量比超过对照农田。复垦初期总氮增长较快,随后增速放缓,可能是由于土壤中氮肥主要依靠耕作施肥供给^[15],而复垦区土壤耕作较少,故在复垦区管理过程中应及时补充氮肥。

(3) 土壤速效磷变化特征。速效磷是最能反映土壤对作物供给水平的一个综合指标,其取决于土壤反应、总磷含量、有机质含量和颗粒组成等多种因子^[16]。速效磷作为评价土壤供磷能力的重要指标,可直接供作物吸收利用。

由图1(c)可见,2008年、2013年和2017年期间,复垦区土壤速效磷呈逐年增长趋势。2008年第一、二、三层土壤中速效磷平均质量比分别为 (8.82 ± 2.66) mg/kg、 (7.78 ± 1.56) mg/kg、 (7.16 ± 2.13) mg/kg,对照农田速效磷平均质量比为 (18.33 ± 0.51) mg/kg。复垦5年第一、二、三层土壤中速效磷的增长率分别为30.39%、31.32%、15.78%,复垦9年速效磷增长率分别为72.56%、75.32%、52.09%。

矿区复垦后速效磷质量比均低于对照农田,这是由于复垦土壤相较于对照农田缺少人工翻耕和施肥,导致含量低于农田^[17]。表明复垦土壤供磷能力明显较弱,故土壤速效磷含量是制约该复垦模式下土壤质量的关键因子。

(4) 土壤速效钾变化特征。在自然条件下植物生长所需要的钾来自含钾矿物的风化,尤其是土壤表层的速效钾含量直接决定了植物的生长状况^[18]。土壤速效钾是表征土壤钾素供应强度的指标。速效钾指易被作物吸收利用的钾,包括水溶性钾和交换性钾。尽管速效钾只占土壤全钾的1%~2%,但由于能被当季作物所吸收,对植物的钾素营养状况有直接影响,其含量高低是判断土

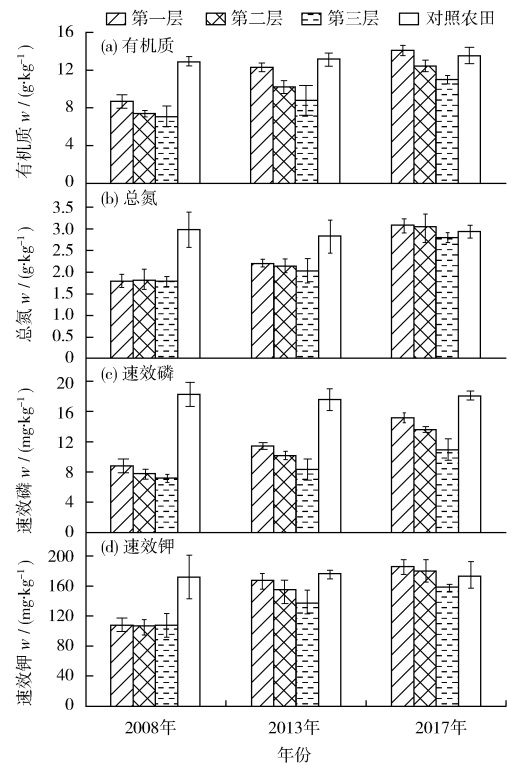


图1 研究区不同复垦年限土壤中有有机质、总氮、速效磷、速效钾质量比的变化

Fig. 1 Changes of mass ratio of organic matter, total nitrogen, available phosphorus and available potassium in different years of soil reclamation in the study area

壤钾素丰缺的重要指标。

由图1(d)可见,2008年、2013年和2017年期间,复垦区土壤速效钾呈逐年增长趋势。2008年第一、二、三层土壤中速效钾平均质量比分别为 (107.28 ± 15.35) mg/kg、 (106.55 ± 20.52) mg/kg、 (106.94 ± 22.93) mg/kg,对照农田速效钾平均质量比为 (170.8 ± 12.31) mg/kg。复垦5年第一、二、三层土壤中速效钾的增长率分别为55.88%、44.91%、27.58%,复垦9年速效钾增长率分别为72.96%、68.77%、47.51%,这说明复垦初期土壤速效钾增幅较大,其中表层土壤中速效钾增幅达到55.88%。导致这一现象的原因可能是土壤填充物煤矸石风化程度的加强,以及填充物的不断分解^[19],土壤速效钾含量逐渐增多且增速较快。

2.2 煤矸石充填复垦土壤肥力质量评价

由于土壤肥力质量水平差异较大,这种差异不仅体现在空间尺度上,而且在时间尺度上也有变化,故数量化分级指标在不同区域、不同时期之间很难比较^[20]。参照各类评价体系,同时结合淮南

矿区土壤的特点,通过对研究区土壤肥力状况全面的调查分析,在获取大量土壤肥力数据的基础上,以土壤有机质、总氮、速效磷、速效钾指标的测定值为评判指标,采用土壤肥力水平单因子分析法评价土壤肥力质量。

根据2017年测得的数据,对照全国第二次土壤普查肥力分级标准(见表1),潘一矿复垦区土壤不同剖面有机质的质量分数在1%~2%之间,达到Ⅳ级,较缺乏水平;总氮质量分数在0.18%~0.22%之间,达到Ⅱ级和Ⅰ级,较丰富水平及以上;速效磷平均质量比在10.86 mg/kg~13.02 mg/kg之间,肥力等级Ⅲ级,中等水平;速效钾平均质量比在157.75 mg/kg~188.55 mg/kg之间,肥力等级处于Ⅱ级,较丰富水平。

由矿复垦区土壤肥力等级水平可以看出,土壤营养元素中有机质和速效磷比较缺乏,特别是有机质较缺乏。其产生原因可能是复垦区土壤类型为砂姜黄土,复垦后土壤容重较大,孔隙度较小^[21],与正常农田相比,复垦区土壤肥力水平较差。

表1 全国第二次土壤普查肥力分级标准

Table 1 Fertility classification standard for the second national soil survey

级别	丰富度	有机质 w/%	总氮 w/%	速效磷 w/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾 w/ (mg·kg ⁻¹)
Ⅰ级	丰富	>4	>0.200	>40	>200
Ⅱ级	较丰富	3~4	0.150~0.200	20~40	150~200
Ⅲ级	中等	2~3	0.100~0.150	10~20	100~150
Ⅳ级	较缺乏	1~2	0.075~0.100	5~10	50~100
Ⅴ级	缺乏	0.6~1	0.050~0.075	3~5	30~50
Ⅵ级	极缺乏	<0.6	<0.050	<3	<30

3 结论

(1) 在复垦9年内,随着复垦年限的增加,第一、二、三层土壤中有机质、速效钾质量比逐渐增多且增速较快,有机质增长率为61.68%、69.44%、55.68%,速效钾增长率为72.96%、68.77%、47.51%;总氮增长率为71.60%、67.86%、57.95%,增速随复垦年限放缓;速效磷增长率为72.56%、75.32%、52.09%,质量比均低于对照农田,供磷能力较弱。

(2) 潘一矿复垦区土壤中有机质处于Ⅳ级,较缺乏水平,总氮处于Ⅱ级和Ⅰ级,较丰富水平及以上,速效磷处于Ⅲ级,中等水平,速效钾处于Ⅱ级,较丰富水平。由于利用煤矸石、生活垃圾等对复垦区进行填埋,可能会释放一些有害物质在土壤中,

相关部门需要加强对复垦区土壤的监测与管理。

[参考文献]

- [1] 胡振琪. 我国土地复垦与生态修复30年:回顾、反思与展望[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(1): 25-35.
- [2] 王禹昊. 淮南新庄孜矿煤矸石充填复垦土壤中镉的迁移特征[J]. 煤田地质与勘探, 2018, 46(1): 135-138.
- [3] BISWAS A, CRESSWELL H P, VISCARRA ROSSEL R A, et al. Curvelet transform to study scale-dependent anisotropic soil spatial variation[J]. Geoderma, 2014, 213: 589-599.
- [4] 卞正富, 雷少刚, 金丹, 等. 矿区土地修复的几个基本问题[J]. 煤炭学报, 2018, 43(1): 190-197.
- [5] 陈孝杨, 周育智, 严家平, 等. 覆土厚度对煤矸石充填重构土壤活性有机碳分布的影响[J]. 煤炭学报, 2016, 41(5): 1236-1243.
- [6] 陈龙乾, 邓喀中, 徐黎华, 等. 矿区复垦土壤质量评价方法[J]. 中国矿业大学学报, 1999, 28(5): 449-452.
- [7] RODIONOV A, NII-ANNANG S, BENS O, et al. Impacts of soil additives on crop yield and C-sequestration in post mine substrates of Lusatia, Germany[J]. Pedosphere, 2012, 22(3): 343-350.
- [8] 吴玉红, 田霄鸿, 同延安, 等. 基于主成分分析的土壤肥力综合指数评价[J]. 生态学杂志, 2010, 29(1): 173-180.
- [9] 黄晶, 蒋先军, 曾跃辉, 等. 稻田土壤肥力评价方法及指标研究进展[J]. 中国土壤与肥料, 2017(6): 1-8.
- [10] 冯国明. 土壤有机质的作用与培育[J]. 四川农业科技, 2013(2): 53-54.
- [11] AMELUNG W, BRODOWSKI S, SANDHAGE-HOFMANN A, et al. Combining biomarker with stable isotope analyses for assessing the transformation and turnover of soil organic matter[J]. Advances in Agronomy, 2008, 100: 155-250.
- [12] 马利芳, 熊黑钢, 王宁, 等. 不同干扰程度下土壤盐分和有机质空间变异特征[J]. 环境工程, 2019, 37(2): 179-183.
- [13] 甘曼琴, 刘佩诗, 黄瑜, 等. 稻田氮磷流失控制技术[J]. 环境监测管理和技术, 2020, 32(2): 8-11, 21.
- [14] 鲍士旦. 土壤农业化学分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 123-126.
- [15] 金容, 李兰, 郭萍, 等. 控释氮肥比例对土壤氮含量和玉米氮素吸收利用的影响[J]. 水土保持学报, 2018, 32(6): 214-221.
- [16] 王霞, 刘雷, 何跃, 等. 洪泽湖水体富营养化时空分布特征与影响因素分析[J]. 环境监测管理和技术, 2019, 31(2): 58-61.
- [17] 迟美静, 侯玮, 孙莹, 等. 东北黑土区荒地开垦种稻后土壤养分及pH值的变化特征[J]. 土壤通报, 2018, 49(3): 546-551.
- [18] 黄航. 武夷山土壤有效钾垂直分异研究[J]. 太原师范学院学报(自然科学版), 2008, 7(3): 132-134.
- [19] 程伟. 煤矿区充填复垦土壤生物学特性及其变化研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2015.
- [20] 赵蛟, 徐梦洁, 庄舜尧, 等. 基于模糊综合评价法的建瓯市毛竹林地土壤肥力评价[J]. 土壤通报, 2018, 49(6): 1428-1435.
- [21] 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.