

# 生物炭对黄河中游采动地裂缝发育区土壤特性的修复试验研究

薛珺华<sup>1</sup>, 宋世杰<sup>2</sup>, 李 权<sup>1</sup>, 马海珍<sup>1</sup>, 田 雨<sup>2</sup>, 谈庆钰<sup>2</sup>

(1. 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司, 陕西 西安 710065;

2. 西安科技大学 地质与环境学院, 陕西 西安 710054)

**[摘要]** 采动地裂缝损害周围土壤特性的修复是实现黄河中游采煤沉陷区生态修复和水土保持的重要内容 and 关键抓手。以陕北煤炭基地采动地裂缝发育区土壤为研究对象,通过野外采样、室内土培试验、对比分析等方法,研究并揭示了添加外源生物炭对采动地裂缝发育区土壤物理、化学、微生物特性的修复作用。研究表明:添加外源生物炭可以对采动地裂缝周围土壤物理、化学、微生物特性产生修复效应,其中生物炭对土壤微生物特性的改善最为显著,较修复前的最大改善幅度为84%;添加外源生物炭对采动地裂缝两侧水平距离20 cm土壤物理、化学、微生物特性的修复作用最为明显;3%的外源生物炭添加量是修复改善采动地裂缝发育区土壤物理、化学、微生物特性的最佳添加量。

**[关键词]** 生物炭; 土壤特性; 采动地裂缝; 修复

**[中图分类号]** TD88

**[文献标志码]** A

**[文章编号]** 2097-2423(2025)04-0023-07

**DOI:** 10.19610/j.cnki.cn10-1873/tf.2025.04.004

## 0 引言

在煤炭生产重心西移战略和“双碳”目标的双重推动下,黄河中游面临的煤炭资源安全保供和生态环境保护修复的双重压力越来越大<sup>[1-2]</sup>。2024

年,我国煤炭总产量达47.8亿t<sup>[3]</sup>,再创历史新高。其中,黄河中游的煤炭生产总量接近30亿t,约占全国总产量的62%<sup>[4]</sup>,在国家能源安全中发挥着兜底保障的重要作用。黄河中游又是我国重要的生态屏障,具有不可替代的生态功能价值。因此,中共中央、国务院联合印发的《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》明确指出“黄河中游要突出做好水土保持”<sup>[5]</sup>。然而,黄河中游采煤沉陷区普遍发育的采动地裂缝等采动损害类型不仅直接改变地表原有形态,而且间接导致土壤质量恶化<sup>[6]</sup>、植被覆盖率下降<sup>[7]</sup>等生态损害,这些问题相互叠加,最终导致区域水土流失的加剧。特别是,黄河中游的6大国家级煤炭生产基地均与全国水土流失重点治理区存在空间一致性,尤其是陕北基地与黄河多沙粗沙国家级水土流失重点治理区几乎完全重叠<sup>[5]</sup>,以致科学认识与防控采动地裂缝的生态损害效应和水土流失效应已经成为黄河中游煤炭开采区生态环境保护与修复的关键科学技术问题之一。因此,2024年9月召开的全面推动黄河流域生态保护和高质量发展座谈会特别强调:采煤沉陷区综合治理是重点

**[收稿日期]** 2025-06-25

**[基金项目]** 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司一般科技项目(XBY-YBKJ-2023-20)。

**[作者简介]** 薛珺华(1983—),女,陕西宝鸡人,高级工程师,主要从事国土空间生态修复研究工作。

**[通信作者]** 宋世杰(1983—),男,山东济南人,副教授,主要从事矿山生态保护与修复研究工作。

**[引用格式]** 薛珺华,宋世杰,李权,等.生物炭对黄河中游采动地裂缝发育区土壤特性的修复试验研究[J].绿色矿冶,2025,41(4):23-29,42.

XUE Junhua, SONG Shijie, LI Quan, et al. Experimental study on the remediation of soil characteristics by biochar in the mining ground fissure development area in the middle reaches of the Yellow River[J]. Sustainable Mining and Metallurgy, 2025, 41(4):23-29,42.

突破的方向<sup>[8]</sup>。

土壤作为地表生态系统的关键构成要素,既可以体现生态环境的质量状况<sup>[9]</sup>,又是水土流失的重要方面<sup>[10]</sup>。因此,采动地裂缝对土壤物理、化学、微生物特性的影响规律和机理受到国内外相关学者的普遍关注。QUADROS 等<sup>[11]</sup>研究发现采动地裂缝可以提高土壤孔隙度,降低土壤有机质含量;MA 等<sup>[12]</sup>研究认为采动地裂缝周围 0~30 cm 土壤的全氮、氨氮、硝态氮、有效钾、有效磷、溶解有机碳等养分含量以及蔗糖酶、脲酶、碱性磷酸酶等活性显著恶化;许传阳<sup>[13]</sup>、张延旭<sup>[14]</sup>等认为采动地裂缝是土壤含水量、有效氮含量下降的主要原因,且裂缝宽度越大,土壤含水率和有效氮含量下降程度越高;宋世杰等<sup>[15]</sup>研究发现采动地裂缝对土壤微生物和酶活性的负效应随着水平距离的增加而明显减弱,主要作用范围在裂缝两侧 1 m 以内。史沛丽等<sup>[16]</sup>研究发现采动地裂缝通过引起土壤有机质的流失而导致土壤微生物和酶的碳源缺少,最终抑制土壤微生物的生长繁殖,降低土壤酶的活性。张慧敏等<sup>[17]</sup>研究认为采动地裂缝通过引起土壤氮素的流失而造成微生物生长繁殖所需的氮源减少,进而导致土壤微生物的数量减少。

生物炭是以农业秸秆或废弃木材为原料,经高温裂解(裂解温度常低于 700 ℃)炭化形成的产物。生物炭具有表面官能团丰富、孔隙度大的特点<sup>[18]</sup>,施加到土壤中可以改善土壤特性,提高土壤有机质含量及持水能力<sup>[19]</sup>,是一种环境友好型的土壤改良剂<sup>[20]</sup>。目前,生物炭在改良土壤应用方面已经发展出多种技术方法,主要集中在新型土壤肥料、新型土壤调理剂、土壤污染修复剂制备等方面。兰宇等<sup>[21]</sup>以玉米秸秆生物炭、化肥为原料,采用物理化学的方法制备了生物炭基复合肥,肥料具有养分缓释的特点;周子军等<sup>[22]</sup>研制了新型的生物炭基包膜释肥料,延长了肥料的控释期;Sunginthara 等<sup>[23]</sup>以生物炭和堆肥制备了新型的生物炭基土壤调理剂,大幅提升了土壤养分的利用效率;Lv 等<sup>[24]</sup>将制备的生物炭基土壤修复剂用于水稻土壤 Cd 污染的治理中,取得良好效果;任静等<sup>[25]</sup>认为生物炭具有固定多环芳烃高效降解微生物的特点,在土壤有机污染的修复中应用潜力巨大。鉴于此,本文以黄河中游陕北煤炭基地采动地裂缝发育区土壤为研究对象,通过野外采样、室内土培试验等方法,研究添加外源生物炭对采动地裂缝发育区土壤物理、化学、微生物

特性的修复作用,以期为黄河中游采煤沉陷区生态修复和水土保持提供科学依据。

## 1 研究区概况

研究区位于陕北矿区柠条塔井田北翼,区内地貌以黄土沟壑为主。研究区属中温带半干旱大陆性气候带,年均降雨量 380~415 mm。区内土壤以黄绵土为主,植被以柠条灌丛、白羊草草丛为主。柠条塔煤矿采用长壁综采方法主采 2<sup>-2</sup> 煤层,以致开采区内采动地裂缝发育非常显著。采动地裂缝一般在回采工作面沉陷区内部以多条成群出现,展布方式一般为直线形或弧形,其长度为 10~1 000 m,裂缝宽度以 20~40 cm 最为多见,约占裂缝总数的 80% 以上<sup>[10]</sup>。

## 2 材料与方法

### 2.1 试验材料

#### 2.1.1 土壤样品与采集

以柠条塔煤井田北翼单一煤层开采典型工作面范围作为采样区,中心坐标为 110°11'E~110°15'E, 39°05'N~39°08'N。根据采样区的实际情况,设计如下采样方案:随机选择采煤沉陷区复地平行于工作面布置方向的宽度为 20~40 cm 的 5 条裂缝区作为采样目标,在每条裂缝上布设间距为 10 m 的 5 个采样断面,每个断面上沿裂缝法向方向布设水平距离为 20 cm、40 cm、60 cm 等 3 个采样点;每个采样点用土钻采集垂直深度为 0~40 cm 的土壤;共采集 75 个土壤样品,总质量为 112.5 kg,所有样品标记后立即放于便携冷藏箱内带回实验室,并置于 -80 ℃ 冰箱内保存;每个土壤样品的一半用于测定土壤理化特性指标,另一半用于测定土壤微生物特性指标。

#### 2.1.2 外源生物炭

生物炭购自陕西亿鑫生物能源科技开发有限公司,其原材料主要为废弃的果树枝条,在 500 ℃ 高温无氧条件下裂解,pH 值为 9.84,比重为 1.10 g/cm<sup>3</sup>,碳含量为 60%~70%。根据国内外关于生物炭改良土壤的已有研究成果<sup>[26]</sup>,同时参考生物炭在黄土区施用的推广经验,设置生物炭施用比例为 1%、3%、5%。

### 2.2 试验过程

将生物炭(过 2 mm 筛)与调配好的土壤按炭土比 1%、3%、5% 进行充分混合。根据实际测定的土壤容重,将其装填在绝热泡沫盒中。装填完毕后,在室温下陈化 28 天,使土壤自然沉降并保证装填土壤

具有足够的粘结力,更接近自然状态下的原状土壤。陈化期结束后,取样并测定其含水率、孔隙度、有机质含量、速效氮含量、速效磷含量、速效钾含量等8项主要理化特性指标,以及细菌、真菌、放线菌3种微生物数量和蔗糖酶、脲酶、过氧化氢酶、磷酸酶4种土壤酶活性等7项主要微生物特性指标。

### 2.3 测试方法

土壤含水率采用烘干法测定;土壤孔隙度采用环刀法测定;土壤有机质采用燃烧氧化-非分散红外法测定;土壤速效氮采用KCl浸提-A33流动分析仪法测定;土壤速效磷采用NaHCO<sub>3</sub>浸提-钼锑抗比色法测定;土壤速效钾采用乙酸铵浸提-原子吸收

分光光度计法测定;土壤微生物数量采用绝对定量PCR方法测定;土壤酶活性采用酶标仪测定。所有指标均平行测定3次。

### 2.4 数据处理方法

采用SPSS 24.0软件对试验数据进行统计分析,并使用Origin 2024软件绘制图件。

## 3 结果与分析

### 3.1 外源生物炭对采动地裂缝周围土壤物理特性指标的影响

添加外源生物炭前后采动地裂缝周围土壤物理特性变化对比如图1和表1~表2所示。

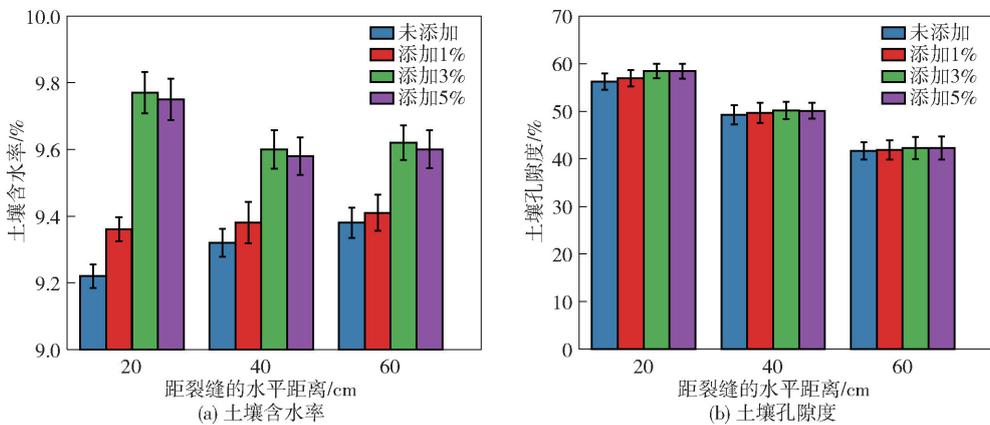


图1 添加外源生物炭前后采动地裂缝周围土壤物理特性变化对比

表1 添加生物炭后土壤含水率相对于未添加组增加趋势

与裂缝的水平 距离/cm	生物炭添加量/%		
	1	3	5
20	1.52	5.97	5.75
40	0.64	3.00	2.79
60	0.32	2.56	2.35

表2 添加生物炭后土壤孔隙度相对于未添加组增加趋势

与裂缝的水平 距离/cm	生物炭添加量/%		
	1	3	5
20	1.24	3.93	3.88
40	0.77	1.81	1.73
60	0.43	1.46	1.46

由图1和表1~表2可知,①外源生物炭的添加可产生提高采动地裂缝周围土壤含水率和孔隙度的效应;②添加外源生物炭对提高距采动地裂缝水平距离为20 cm的土壤含水率和孔隙度最为明显,平均增幅分别超过4%和3%;③在采动地裂缝周围土壤中添加1%、3%、5%的外源生物炭后,水平距

离60 cm以内土壤的平均含水率依次提高了0.75%、3.76%、3.54%,平均孔隙度依次提高了0.86%、2.53%、2.47%,表明3%的外源生物炭是修复改良采动地裂缝发育区土壤物理特性的最佳添加量。

### 3.2 外源生物炭对采动地裂缝周围土壤化学特性指标的影响

添加外源生物炭前后采动地裂缝周围土壤化学特性变化对比如图2和表3~表6。

由图2和表3~表6可见:①外源生物炭的添加可产生提高采动地裂缝周围土壤有机质、速效氮、速效磷、速效钾含量的效应;②添加外源生物炭对距采动地裂缝水平距离为20 cm的土壤有机质、速效氮、速效钾含量的提高最为明显,平均增幅依次超过50%、11%和15%,而对提高距采动地裂缝水平距离为40 cm的土壤速效磷含量最为明显,平均增幅超过29%;③在采动地裂缝周围土壤中添加1%、3%、5%的外源生物炭后,水平距离60 cm以内土壤的平均有机质含量依次提高了12.57%、42.51%、

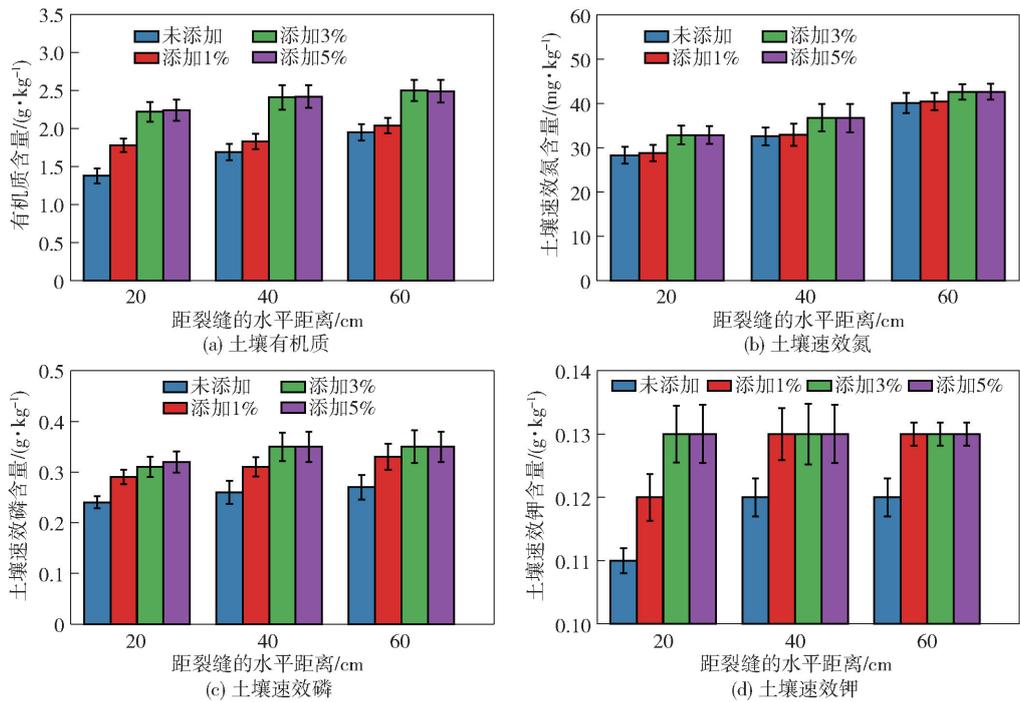


图2 添加外源生物炭前后采动地裂缝周围土壤化学特性变化对比图

表3 添加生物炭后土壤有机质含量相对于未添加组增加趋势

与裂缝的水平 距离/cm	生物炭添加量/%		
	1	3	5
20	28.99	60.87	62.32
40	8.28	42.60	43.20
60	4.62	28.21	27.70

表4 添加生物炭前后土壤速效氮含量相对于未添加组增加趋势

与裂缝的水平 距离/cm	生物炭添加量/%		
	1	3	5
20	1.84	16.22	16.11
40	1.19	12.79	12.70
60	0.87	0.63	0.64

表5 添加生物炭前后土壤速效磷含量相对于未添加组增加趋势

与裂缝的水平 距离/cm	生物炭添加量/%		
	1	3	5
20	20.83	29.17	33.33
40	19.23	34.62	34.62
60	22.22	29.63	29.63

表6 添加生物炭后土壤速效钾含量相对于未添加组增加趋势

与裂缝的水平 距离/cm	生物炭添加量/%		
	1	3	5
20	9.09	18.18	18.18
40	8.33	8.33	8.33
60	8.33	8.33	8.33

30.77%,速效钾含量均提高了8.33%,表明3%的外源生物炭是修复改良采动地裂缝发育区土壤化学特性的最佳添加量。

### 3.3 外源生物炭对采动地裂缝周围土壤微生物特性指标的影响

添加外源生物炭前后采动地裂缝周围土壤微生物特性变化对比如图3和表7~表13所示。

由图3和表7~表13可见:①外源生物炭的添加可显著产生提高采动地裂缝周围土壤微生物数量和土壤酶活性的效应;②添加外源生物炭对提高距采动地裂缝水平距离为20 cm的土壤细菌数量、放线菌数量、真菌数量、蔗糖酶活性、脲酶活性、过氧化氢酶活性、磷酸酶活性最为明显,平均增幅依次超过了38%、27%、63%、63%、84%、19%、70%;③在采动地裂缝周围土壤中添加1%、3%、5%的外源生物炭后,水平距离60 cm以内土壤的细菌数量平均依次提高了6.00%、21.20%、20.40%,土壤的放线菌

42.51%,速效氮含量依次提高了1.25%、11.17%、11.11%,速效磷含量依次提高了19.23%、30.77%、

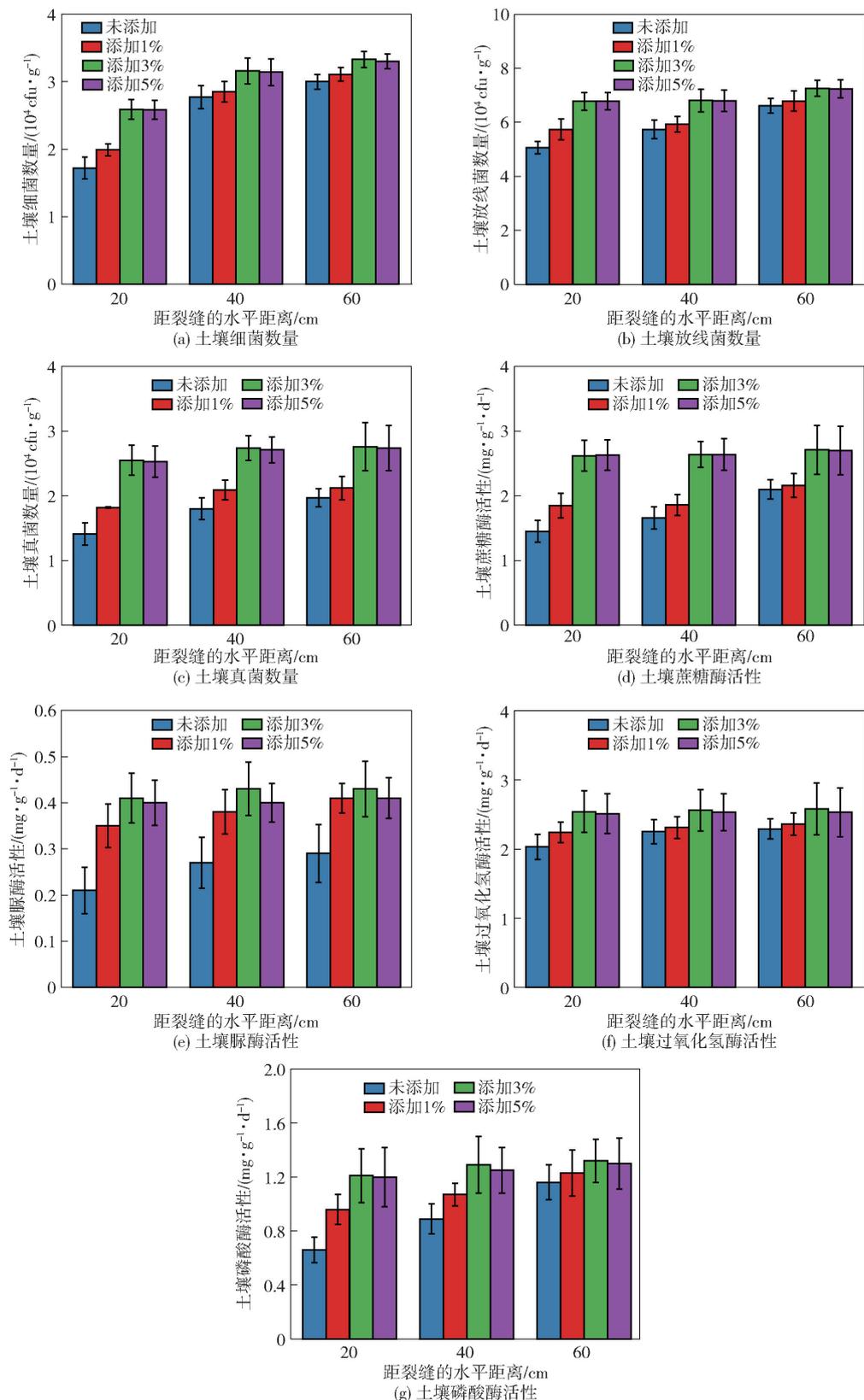


图3 添加外源生物炭前后采动地裂缝周围土壤微生物特性变化对比

数量平均依次提高了 5.85%、19.21%、19.45%，土壤的真菌数量平均依次提高了 16.19%、54.91%、

53.76%，土壤的蔗糖酶活性平均依次提高了 12.64%、52.87%、52.87%，土壤的脲酶活性平均依

表 7 添加生物炭后土壤细菌数量相对于未添加组增加趋势

与裂缝的水平 距离/cm	生物炭添加量/%		
	1	3	5
20	15.70	50.58	50.00
40	2.89	14.08	13.36
60	3.67	11.00	10.00

表 8 添加生物炭后土壤放线菌数量相对于未添加组增加趋势

与裂缝的水平 距离/cm	生物炭添加量/%		
	1	3	5
20	13.44	33.99	34.19
40	3.31	18.64	18.47
60	2.57	9.67	9.37

表 9 添加生物炭后土壤真菌数量相对于未添加组增加趋势

与裂缝的水平 距离/cm	生物炭添加量/%		
	1	3	5
20	29.08	80.85	79.43
40	16.11	52.22	50.56
60	7.61	40.10	39.09

表 10 添加生物炭后土壤蔗糖酶活性相对于未添加组增加趋势

与裂缝的水平 距离/cm	生物炭添加量/%		
	1	3	5
20	27.59	80.69	81.38
40	12.05	59.04	59.04
60	2.86	29.05	28.57

表 11 添加生物炭后土壤脲酶活性相对于未添加组增加趋势

与裂缝的水平 距离/cm	生物炭添加量/%		
	1	3	5
20	66.67	95.24	90.48
40	40.74	59.26	48.15
60	41.38	48.28	41.38

表 12 添加生物炭后土壤过氧化氢酶活性相对于未添加组增加趋势

与裂缝的水平 距离/cm	生物炭添加量/%		
	1	3	5
20	10.34	25.12	23.65
40	2.67	13.78	12.44
60	3.06	12.66	10.48

表 13 添加生物炭后土壤磷酸酶活性相对于未添加组增加趋势

与裂缝的水平 距离/cm	生物炭添加量/%		
	1	3	5
20	45.45	83.33	81.82
40	20.22	44.94	40.45
60	6.03	13.79	12.07

21.11%、41.11%、38.89%，表明 3% 的外源生物炭是修复改良采动地裂缝发育区土壤微生物特性的最佳添加量。

究其原因,当外源生物炭添加到土壤后,一方面通过生物炭表面催化作用将吸附的土壤小有机质分子聚合形成有机质,另一方面生物炭本身的缓慢分解也会促进腐殖质的形成<sup>[27]</sup>,最终提高了土壤的有机质、氮磷钾养分含量(3.2 小节中结果已验证),进而增加了土壤微生物及酶生长繁殖的营养来源,以致外源生物炭添加量由 1% 增加至 3% 后土壤微生物数量及酶活性明显提高。但当生物炭添加量继续增加时,生物炭在土壤中的吸附、催化、分解等作用的效率不再提高,甚至会产生抑制易降解化合物的微生物利用效率<sup>[28]</sup>,这可能是外源生物炭添加量由 3% 继续增加至 5% 后土壤微生物数量及酶活性并没有明显变化的主要原因。

## 4 结论

1) 添加外源生物炭可以对采动地裂缝周围土壤物理、化学、微生物特性产生修复效应,其中土壤微生物特性的改善最为显著,最大改善幅度为 84%。

2) 添加外源生物炭对采动地裂缝两侧水平距离 20 cm 土壤物理、化学、微生物特性的修复作用最为明显。

3) 3% 的外源生物炭添加量是修复改善采动地裂缝发育区土壤物理、化学、微生物特性的最佳添加量。

次提高了 46.15%、61.54%、53.85%，土壤的过氧化氢酶活性平均依次提高了 5.02%、16.90%、15.07%，土壤的磷酸酶活性平均依次提高了

## [参考文献]

- [1] 王双明,宋世杰,魏江波,等. 陕北黄土覆盖区煤层上覆岩系层状结构对开采区土壤损伤效应研究[J]. 煤炭学报,2025,50(1):23-42.
- [2] 宋世杰,成星,王双明,等. 黄河中游陕北煤矿区采动地裂缝对土壤入渗特性的影响及其侵蚀效应[J]. 煤炭学报,2025,50(2):1234-1248.
- [3] 国家统计局. 中华人民共和国2024年国民经济和社会发展统计公报[Z]. [https://www.stats.gov.cn/sj/zxfb/202502/t20250228\\_1958817.html](https://www.stats.gov.cn/sj/zxfb/202502/t20250228_1958817.html),2025-02-28.
- [4] 国家矿山安全监察局宁夏局. 2024年我国原煤生产及煤炭进出口情况[EB/OL]. (2025-03-17) [https://nx.chinamine-safety.gov.cn/gzdt/202503/t20250317\\_985343.html](https://nx.chinamine-safety.gov.cn/gzdt/202503/t20250317_985343.html).
- [5] 宋世杰,张家杰,杨帅,等. 黄河上中游采煤沉陷区水土流失效应的探索与思考[J]. 绿色矿山,2024,2(2):169-182.
- [6] 毕银丽,刘京,尚建选,等. 陕北采煤沉陷区土壤水分入渗和蒸发特征研究[J]. 中国矿业大学学报,2022,51(5):839-849.
- [7] 彭苏萍,毕银丽. 西部干旱半干旱煤矿区生态环境损伤特征及修复机制[J]. 煤炭学报,2024,49(1):57-64.
- [8] 宋世杰,阮豪,王双明,等. 黄河中游陕北煤矿区不同宽度的采动地裂缝对土壤抗冲性的影响[J]. 煤炭科学技术,2025,53(2):382-395.
- [9] HU Z Q, WANG X J, HE A M. Distribution characteristic and development rules of ground fissures due to coal mining in windy and sandy region[J]. Journal of China Coal Society,2014,39(1):11-18.
- [10] 宋世杰,彭芮思,左靖,等. 陕北煤矿区采动地裂缝对土壤抗蚀性的影响规律研究[J]. 煤炭科学技术,2024,52(2):378-393.
- [11] QUADROS P D D, ZHALNINA K, DAVIS-RICHARDSON A G, et al. Coal mining practices reduce the microbial biomass, richness and diversity of soil[J]. Applied Soil Ecology,2016,98(2):195-203.
- [12] MA Kang, ZHANG Yuxiu, RUAN Mengying, et al. Land subsidence in a coal mining area reduced soil fertility and led to soil degradation in arid and semi-arid regions[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health,2024,16(20):3929.
- [13] 许传阳,张合兵,王锐,等. 煤矿沉陷区沉陷裂缝对土壤特性和作物生长的影响[J]. 中国生态农业学报,2015,23(5):597-604.
- [14] 张延旭,毕银丽,陈书琳,等. 半干旱风沙区采煤后裂缝发育对土壤水分的影响[J]. 环境科学与技术,2015,38(3):11-14.
- [15] 宋世杰,张玉玲,王双明,等. 陕北煤矿区采动地裂缝对土壤微生物和酶活性的影响[J]. 煤炭学报,2021,46(5):1630-1640.
- [16] 史沛丽,张玉秀,胡振琪,等. 采煤塌陷对中国西部风沙区土壤质量的影响机制及修复措施[J]. 中国科学院大学学报,2017,34(3):318-328.
- [17] 张慧敏,李希来,杨帆. 增温和氮添加对高寒草甸土壤微生物氮素生理群的影响[J]. 草地学报,2020,28(3):606-612.
- [18] SINGH B, SINGH B P, COWIE A L. Characterisation and evaluation of biochars for their application as a soil amendment[J]. Soil Research, 2010, 48(7): 516.
- [19] 刘祥宏. 生物炭在黄土高原典型土壤中的改良作用[D]. 中国科学院研究生院(教育部水土保持与生态环境研究中心),2013.
- [20] 马群,刘铭,周玉玲,等. 生物炭与有机无机肥配施对土壤质量的影响[J]. 西南大学学报(自然科学版),2024,46(7):115-126.
- [21] 兰宇,孟军,韩晓日,等. 生物炭基产品及其对土壤培肥改良效应的研究进展[J]. 植物营养与肥料学报,2024,30(7):1396-1412.
- [22] 周子军,杜昌文,申亚珍,等. 生物炭改性聚丙烯酸酯包膜控释肥料的研制[J]. 功能材料,2013,44(9):1305-1308.
- [23] SUNG-IN THARA T, JUNTAHUM S, SENAWONG K, et al. Pelletization of soil amendment: Optimizing the production and quality of soil amendment pellets from compost with water and biochar mixtures and their impact on soil properties[J]. Environmental Technology & Innovation, 2024, 33: 103505.
- [24] LV G F, YANG T, CHEN Y H, et al. Biochar-based fertilizer enhanced Cd immobilization and soil quality in soil-rice system[J]. Ecological Engineering, 2021, 171: 106396.
- [25] 任静,沈佳敏,张磊,等. 生物炭固定化多环芳烃高效降解菌剂的制备及稳定性[J]. 环境科学学报,2020,40(12):4517-4523.
- [26] 吴媛媛,杨明义,张凤宝,等. 添加生物炭对黄绵土耕层土壤可蚀性的影响[J]. 土壤学报,2016,53(1):81-92.
- [27] 彭芮思. 冻融作用下采动地裂缝影响区黄土抗蚀性的变化规律研究[D]. 西安:西安科技大学,2024.
- [28] JINDO K, SANCHEZ-MONEDERO M A, MASTROLO-NARDO G, et al. Role of biochar in promoting circular economy in the agriculture sector. Part 2: A review of the biochar roles in growing media, composting and as soil amendment[J]. Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 2020, 7(16): 10.

plants and soil as the research object, and simulated the influence of sodium sulfate concentration on plants and soil in the leaching process through seed germination, planting experiment and soil column experiment. The results of seed germination and planting experiments show that when the concentration of sodium sulfate is not higher than 0.5%, the seed germination rate, bud length, root length and biomass of typical plants, as well as the number of plants, plant height, leaf fresh weight and dry weight of plants, are less affected and within an acceptable range. The results of soil column experiments show that sodium sulfate has little effect on soil pH at the experimental concentration. The content of SSC and sodium ions increase significantly with the increase of sodium sulfate concentration, and the content of SSC and sodium ions decrease significantly after washing with clear water, and the washing effect is obvious. The results of soil ESP and EC are lower than the critical value of sodium soil, and decrease significantly after washing with clear water. The above results show that the entry of sodium ions into the mountain will have a certain impact on the soil environment. After the mining is completed, clean water leaching can effectively reduce its impact on the soil environment.

**Key words:** ionic rare earth deposit; plant germination experiment; stress experiment; soil column experiment

(上接第 29 页)

## Experimental Study on the Remediation of Soil Characteristics by Biochar in the Mining Ground Fissure Development Area in the Middle Reaches of the Yellow River

XUE Junhua<sup>1</sup>, SONG Shijie<sup>2</sup>, LI Quan<sup>1</sup>, MA Haizhen<sup>1</sup>, TIAN Yu<sup>2</sup>, TAN Qingyu<sup>2</sup>

(1. Power China Northwest Engineering Corporation Limit, Xi'an 710065, China;

2. College of Geology and Environment, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** The restoration of soil characteristics around mining-induced ground fissures is an important content and key to realize ecological restoration and soil and water conservation in coal mining subsidence areas in the middle reaches of the Yellow River. Taking the soil in the mining-induced ground fissure development area of the coal base in northern Shaanxi as the research object, through field sampling, indoor soil culture test, comparative analysis and other methods, the remediation effect of adding exogenous biochar on the physical, chemical and microbial properties of the soil in the mining-induced ground fissure development area was studied and revealed. The results show that the addition of exogenous biochar could repair the physical, chemical and microbial properties of the soil around the mining ground fissures, and the improvement of soil microbial properties is the most significant, with the maximum improvement of 84% compared with that before repair. The addition of exogenous biochar has the most obvious repair effect on the physical, chemical and microbial properties of the soil at a horizontal distance of 20 cm on both sides of the mining ground fissure. The addition of 3% exogenous biochar is the best addition amount to repair and improve the physical, chemical and microbial properties of the soil in the mining-induced ground fissure development area.

**Key words:** biochar; soil characteristics; mining ground fissure; restoration