

煤矸石山土壤微生物数量和理化性质的时空变化

李侠^{1,2},梅振芳³,韩志平^{1*},何广²,张弘弛¹

(1. 山西大同大学 生命科学学院,山西 大同 037009; 2. 中国农业大学 资源与环境学院,北京 100193;

3. 陕西师范大学 生命科学学院,陕西 西安 710000)

摘要:为探明煤矸石山各类群微生物数量的时空变化及其驱动因子,以大同市3座不同排矸年限和空间位置的煤矸石山为研究对象,并以未受排矸影响的文瀛湖公园为对照,对其土壤各类群微生物进行培养分析。结果表明,煤矸石山土壤细菌数量最多,放线菌数量次之,真菌和病原菌数量较少;细菌、真菌、病原菌数量随煤矸石山排矸年限增加而增加,且与土壤有机质、全氮含量呈显著正相关;放线菌数量随排矸年限增加而减少,与土壤速效磷含量呈显著正相关;不同年限煤矸石山间各类群微生物数量的变化大于不同空间位置煤矸石山间的变化,有机质和全氮含量的变化则低于不同空间位置煤矸石山间的变化。

关键词:煤矸石;土壤微生物;土壤理化性质;时空变化

中图分类号:S154.3;S158 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-3268(2018)05-0053-04

Temporal and Spatial Variation of Soil Microbial Populations and Soil Physiochemical Properties in Coal Gangue Mountain

LI Xia^{1,2}, MEI Zhenfang³, HAN Zhiping^{1*}, HE Guang², ZHANG Hongchi¹

(1. School of Life Science, Shanxi Datong University, Datong 037009, China;

2. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

3. College of Life Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710000, China)

Abstract: To explore the temporal and spatial variation in microbial populations of coal gangue and analyze the driving factors, we selected three major coal gangue hills under different weathering ages and geographical positions, meanwhile one park which was not affected by coal gangue was selected as control. Then we conducted cultivate experiment to analyze microbial populations. The results showed that bacterial number was the most in coal gangue, actinomycete number was the second, fungi and pathogen numbers were less. With the increase of weathering ages, numbers of bacteria, fungi and pathogen increased, and were linearly related to soil organic matter and nitrogen concentrations, but actinomycete number decreased, and were linearly related to soil Olsen phosphorus content. Temporal variation of microbial populations in coal gangue was higher than their spatial variation, but spatial variation was higher in soil organic matter and nitrogen concentration.

Key words: Coal gangue; Soil microbes; Soil physiochemical properties; Temporal and spatial variation

煤矸石是煤炭开采过程中排放最多的固体废物,堆放的煤矸石向周围土壤和空气中不断释放有毒有害物质。植物修复是废弃地最常采用的一种土壤修复方式,然而煤矸石山由于土壤养分含量低、结

构恶劣,尤其是土壤微生物的缺乏和不平衡,严重制约着植物的生长。土壤微生物可以分解煤矸石中难溶物质,促进风化和养分的释放,还可以帮助植物固定空气中的氮气,菌根真菌通过根外菌丝可以吸收

收稿日期:2018-01-19

基金项目:国家自然科学基金(31400479);山西省科技攻关项目(20150311010-1);大同市科技攻关项目(2015099)

作者简介:李侠(1981-),女,山西稷山人,讲师,硕士,主要从事环境微生物研究。E-mail:lixia810504@163.com

*通讯作者:韩志平(1976-),男,山西盂县人,副教授,博士,主要从事植物逆境生理研究。

E-mail:hanzhiping0215@163.com

煤研石风化物中难移动性养分^[1];同时还参与土壤团聚体的形成,改良土壤结构^[2]。然而,也有一些微生物会引起植物病害甚至死亡。因此,土壤微生物是衡量土壤健康的一项重要指标^[3]。

近年来,关于不同生态系统中微生物的研究异常活跃。阎爱华等^[4]研究核桃生态保持林时发现,土壤微生物数量随核桃种植年限增长、土壤深度增加而逐渐增多,微生物可以有效改善土壤理化条件。在荒漠灌区发现,随苜蓿种植年限的增加,细菌和放线菌数量均呈先增加后降低再增加的趋势,真菌数量呈先增加后降低的趋势^[5]。王喜枝等^[6]在农田生态系统研究中发现,随着大蒜连作时间的延长,土壤微生物数量呈现先下降后上升的趋势。苏成西等^[7]研究表明,退耕还林可显著增加土壤微生物数量,不同退耕还林模式土壤微生物数量均表现为细菌>真菌>放线菌。然而,目前国内外关于煤矸石区各类群微生物数量的研究相对较少,且极少有解析引起微生物差异的驱动因子研究。为此,选取大同市3座排矸年限和空间位置不同的煤矸石山进行微生物数量的时空变化研究,同时分析土壤理化性质以探讨可能导致微生物数量发生变化的驱动因子,从而为我国北方煤矿区生态重建提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

本研究在大同市矿区进行,该区属于温带大陆性半干旱季风气候,夏季短暂少雨,冬季漫长寒冷,全年温差较大,干燥多风,年平均气温为5℃,年平均降水量为500 mm。选取矿区3座排矸年限和空间位置不同的煤矸石山进行土样采集,分别是忻州窑矿旧煤矸石山(简称忻州窑矿),排矸年限50~60 a;晋华宫矿旧煤矸石山(简称晋华宫旧矿),排矸年限50~60 a;晋华宫矿新煤矸石山(简称晋华宫新矿),排矸年限10~20 a。

1.2 土样采集

2016年6月,分别在忻州窑矿、晋华宫旧矿和晋华宫新矿区取样,同时以未受采煤影响的文瀛湖公园作为对照地取样,在每个取样地随机选取3个样方。每个样方选5个点,去除表面的杂草后用土钻取0~20 cm土样,然后将5个点的土样充分混匀作为一个待测样品,每个样品分成两部分,一部分新鲜样品用于微生物培养和计数,一部分风干后测定土壤理化性质。

1.3 测定项目及方法

细菌、真菌及放线菌分别使用牛肉膏蛋白胨固

体培养基、改良的马丁氏培养基和高氏一号培养基进行培养,病原菌采用PCNB培养基进行培养^[8],采用稀释平板法分离计数。土壤pH值采用酸度计测定,土壤EC值采用电导法测定,土壤全氮含量采用浓H₂SO₄消煮、全自动凯氏定氮仪测定,土壤有机质含量采用重铬酸钾—稀释热法测定,速效磷含量采用NaHCO₃—钼锑抗比色法测定^[9]。

1.4 各类群微生物数量的变异强度和时空变异系数计算

不同煤矸石山间的时空变化用变异系数表示^[10-11],计算公式如下:

$$\bar{x} = \frac{x_i + x_j}{n}, S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{(x_i - x_j)^2}{n-1}}, CV = \frac{S_{\bar{x}}}{\bar{x}} \times 100\%$$

式中, \bar{x} 为平均值, $S_{\bar{x}}$ 为标准差,CV为变异系数。在计算煤矸石山间的时间变异系数时,i指晋华宫矿旧煤矸石山,j指晋华宫新矿煤矸石山;在计算煤矸石山间的空间变异系数时,i指晋华宫矿旧煤矸石山,j指忻州窑矿旧煤矸石山。

1.5 数据分析

用Excel 2010进行数据整理和作图,SPSS 22.0进行数据统计分析,其中多重比较采用Duncan's新复极差法。

2 结果与分析

2.1 不同煤矸石山土壤微生物数量分析

从表1可发现,不同煤矸石山土壤微生物总量表现为忻州窑矿旧煤矸石山>晋华宫矿旧煤矸石山>文瀛湖公园>晋华宫矿新煤矸石山,彼此间差异显著,忻州窑矿旧煤矸石山、晋华宫矿旧煤矸石山土壤微生物总量分别是晋华宫矿新煤矸石山的2.83、2.53倍,说明随着排矸年限增加,微生物总量显著增加。

进一步对各类微生物数量进行分析(表1)发现,不同矿区煤矸石山间土壤细菌、真菌、放线菌和病原菌数量总体上均存在显著差异,不同微生物数量总体表现为细菌>放线菌>真菌>病原菌。细菌、真菌、病原菌数量均表现为忻州窑矿旧煤矸石山>晋华宫矿旧煤矸石山>晋华宫矿新煤矸石山,且差异均达到显著水平,前两者细菌数量分别是后者的3.09、2.73倍,真菌数量分别是后者的2.89、1.91倍,病原菌数量分别是后者的2.98、2.32倍;不同煤矸石山间放线菌数量则表现出相反的变化趋势,表现为晋华宫矿新煤矸石山>晋华宫矿旧煤矸石山>忻州窑矿旧煤矸石山,且差异达到显著水平,前者分别为后两者的1.54、1.99倍,文瀛湖公园与晋华宫矿新煤矸石山差

异不显著。可见,随着排矸年限增加,细菌、真菌和病原菌数量增加,而放线菌数量减少。

表1 不同煤矸石山土壤微生物数量

采样地	细菌/($\times 10^5$ cfu/g)	真菌/($\times 10^3$ cfu/g)	放线菌/($\times 10^4$ cfu/g)	病原菌/($\times 10^3$ cfu/g)	微生物总量/($\times 10^5$ cfu/g)
忻州窑矿	60.50 ± 0.71a	16.72 ± 0.28a	10.78 ± 0.29c	10.61 ± 0.32a	61.85 ± 0.71a
晋华宫旧矿	53.61 ± 0.57b	11.06 ± 0.36b	13.94 ± 0.42b	8.28 ± 0.34b	55.20 ± 0.59b
晋华宫新矿	19.61 ± 0.38d	5.78 ± 0.36c	21.50 ± 0.58a	3.56 ± 0.51c	21.85 ± 0.34d
文瀛湖公园	32.50 ± 0.60c	10.67 ± 0.64b	20.28 ± 0.38a	7.56 ± 0.25b	34.71 ± 0.61c

注:同列数据后不同小写字母表示处理间在0.05水平上差异显著,下同。

2.2 不同煤矸石山土壤理化性质分析

从表2可以看出,土壤有机质和全氮含量均表现为忻州窑矿旧煤矸石山>晋华宫矿旧煤矸石山>晋华宫矿新煤矸石山,三者之间差异显著,前二者土壤有机质含量分别是后者的5.99、1.87倍,全氮含量分别是后者的3.80、1.67倍;速效磷含量则表现为晋华宫矿新煤矸石山显著高于晋华宫矿旧煤矸石山和忻州窑矿旧煤矸石山,分别是后两座煤矸石山的3.18、3.45倍;3座煤矸石山土壤pH值和EC值均无显著差异。

表2 不同煤矸石山土壤理化性质

采样地	pH	EC/($\mu\text{S}/\text{cm}$)	有机质/(g/kg)	全氮/(g/kg)	速效磷/(mg/kg)
忻州窑矿	7.07ab	0.47a	64.43a	1.71a	4.85b
晋华宫旧矿	6.84b	0.19a	20.15c	0.75b	5.26b
晋华宫新矿	6.85b	0.13a	10.76d	0.45c	16.74a
文瀛湖公园	7.33a	0.12a	38.78b	0.95b	13.71a

2.3 不同煤矸石山土壤理化性质与微生物数量的相关分析

从表3可以发现,煤矸石山土壤细菌、真菌和病原菌数量与土壤有机质、全氮含量呈显著或极显著正相关,与土壤速效磷含量呈显著或极显著负相关,而放线菌数量表现出相反的规律;这几类微生物数量与土壤pH、EC值均无显著相关关系。

表3 煤矸石山土壤养分含量与微生物数量的相关性

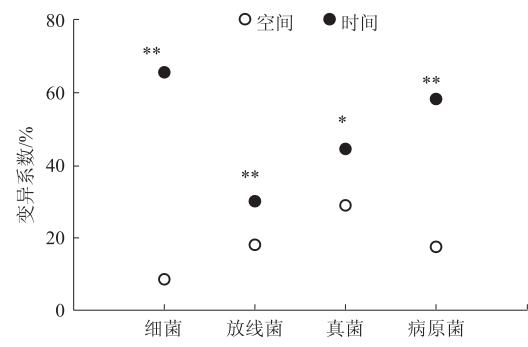
微生物	有机质	全氮	速效磷
细菌	0.745 *	0.774 *	-0.834 **
真菌	0.915 **	0.920 **	-0.769 *
放线菌	-0.836 **	-0.856 **	0.809 **
病原菌	0.837 **	0.828 **	-0.864 **

注: *、** 分别表示在0.05、0.01水平上显著、极显著相关。

2.4 煤矸石山土壤微生物数量和养分含量的时空变化

从图1可以看出,煤矸石山土壤各类群微生物数量的空间变异系数均显著低于时间变异系数,即不同年限的两座煤矸石山间土壤微生物数量的变化要大于不同空间位置的两座煤矸石山间的变化。从图2可以看出,煤矸石山间土壤有机质和全氮含量的空间变异系数均显著高于时间变异系数,即不同

空间位置的两座煤矸石山间有机质、全氮含量的变化大于不同年限的两座煤矸石山间的变化,土壤速效磷含量表现出相反的趋势。



*、** 分别表示在0.05、0.01水平上显著、极显著,下同

图1 煤矸石山土壤微生物数量的时空变化

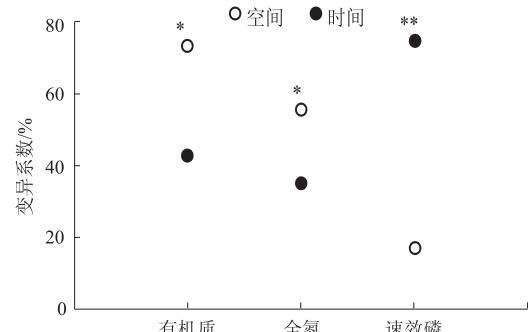


图2 煤矸石山土壤养分含量的时空变化

3 结论与讨论

本研究发现,所有煤矸石山土壤微生物总体上均表现为细菌>放线菌>真菌,细菌在总微生物数量中占绝对优势,这与甄莉娜等^[12]在农牧交错带不同土地利用方式下及张唤等^[13]在盐碱化草地上的研究结果相似。本研究发现,随排矸年限增加,煤矸石山细菌、真菌和病原菌数量均大幅增加,且与土壤有机质和全氮含量呈显著正相关。张威等^[14]也发现,在沙演化土壤修复过程中可培养微生物数量与土壤碳、氮含量呈极显著正相关关系。可能原因是随着风化年限增加,植被恢复程度较高,植物生长过程中释放的分泌物及凋亡后的残体为微生物提供了丰富的食物来源,提高了微生物数量,本研究中有机

质和全氮含量随着排矸年限增加而提高也证实了这一点。郑彬^[15]研究也表明,有机质等养分含量随排矸年限增加而升高,与本研究结果基本一致。

马守臣等^[16]在山西长治司马矿煤矸石山研究发现,随着复垦年限增加,放线菌所占比例呈增加的趋势,而本研究中放线菌数量却随着排矸年限增加而减少。可能原因是放线菌喜好水分含量低的环境,相比长治地区,大同地区水分含量较低,水分成为放线菌生长的首要制约因子,随着排矸年限增加,植被覆盖程度提高,相应增加了煤矸石山水分含量,一定程度上抑制了放线菌生长。严家平等^[17]研究风化 0~25 a 的煤矸石发现,煤矸石表层土壤的 pH、EC 值在风化 10 a 后达到一个相对稳定的平衡状态。本研究中煤矸石山土壤 pH、EC 值没有显著变化的原因可能是采样的 3 座煤矸石山风化年限均超过 10 a,pH、EC 值已处于较稳定的状态。

本研究发现,微生物数量在时间尺度上的变化大于空间尺度,原因可能是相比不同空间位置,不同年限煤矸石山的植被覆盖程度差异较大,而微生物受植被覆盖的影响较强,即对生物因素的依赖程度较高。王尚义等^[18]对山西省河东矿区的研究发现,随着煤矸石植被恢复年限增加植被盖度和生物量明显提高;董小培^[19]在研究乌鲁木齐河源区土壤微生物时空变化时发现,相比海拔高度,植被类型在一定程度上决定细菌的生长;Vályi 等^[20]研究也表明,在较小取样范围丛枝菌根真菌群落主要受生物因素即植物的制约,这些研究从不同角度佐证了本研究中微生物数量对时间尺度有较强的敏感性。而土壤理化性质,如有机质和全氮含量在空间尺度的变化大于时间尺度,原因可能是土壤理化性质受煤矸石山初始组成成分的影响较强,即对非生物因素的依赖程度较高。赵明松等^[21]研究结果表明,土壤有机质含量主要受土壤机械组成、成土母质等非生物因素的制约。

总之,随着排矸年限增加,煤矸石山细菌、真菌和病原菌数量大幅提高,均与土壤有机质和全氮含量呈显著正相关;而放线菌数量随排矸年限增加而降低;排矸年限对煤矸石山微生物生长起主要的决定作用,空间位置对煤矸石山有机质和全氮含量起主要的决定作用。

参考文献:

- [1] 毕银丽,吴王燕,刘银平.丛枝菌根在煤矸石山土地复垦中的应用[J].生态学报,2007,27(9):3738-3743.
- [2] 罗娅婷,汤利,郑毅,等.不同施氮水平下小麦蚕豆间作对作物产量和蚕豆根际镰刀菌的影响[J].土壤通报,2012,43(4):826-831.
- [3] Bossio D A, Fleck J A, Scow K M, et al. Alteration of soil microbial communities and water quality in restored wetlands [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2006, 38: 1223-1233.
- [4] 阎爱华,王志刚,李保国,等.不同运行年限核桃生态经济型水土保持林土壤微生物数量的变化[J].安徽农业科学,2012,40(22):11326-11327.
- [5] 南丽丽,师尚礼,郁继华.荒漠灌区不同种植年限苜蓿草地土壤微生物特性[J].草地学报,2016,24(5):975-980.
- [6] 王喜枝,姚丽娟,王艳丽,等.不同连作年限对大蒜根际土壤养分含量、微生物数量及酶活性的影响[J].河南农业科学,2016,45(9):58-63.
- [7] 苏成西,尚宇南.不同退耕还林模式的土壤抗冲性研究[J].河南农业科学,2014,43(8):57-63.
- [8] Booth C. 镰刀菌属[M]. 陈其成,译.北京:农业出版社,1988.
- [9] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3 版.北京:中国农业出版社,2000.
- [10] Ercole E, Adamo M, Rodda M, et al. Temporal variation in mycorrhizal diversity and carbon and nitrogen stable isotope abundance in the wintergreen meadow orchid *Anacamptis morio* [J]. New Phytologist, 2015, 205 (3): 1308-1319.
- [11] 李春喜.生物统计学[M].5 版.北京:科学出版社,2013.
- [12] 甄莉娜,王康,杨俊霞,等.农牧交错带不同利用方式下土壤菌群数量及剖面分布特征[J].中国草地学报,2012,34(2):87-92.
- [13] 张唤,黄立华,王鸿斌,等.不同盐碱化草地土壤微生物差异及其与盐分和养分的关系[J].吉林农业大学学报,2016,38(6):703-709.
- [14] 张威,章高森,刘光琇,等.腾格里沙漠东南缘可培养微生物群落数量与结构特征[J].生态学报,2012,32(2):567-577.
- [15] 郑彬.煤矸石自然风化进程中风化物理化性质变化研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2009.
- [16] 马守臣,张合兵,王锐,等.煤矸石填埋场土壤微生物学特性的时空变异[J].煤炭学报,2015,40(7):1608-1614.
- [17] 严家平,陈孝杨,蔡毅,等.不同风化年限的淮南矿区煤矸石理化性质变化规律[J].农业工程学报,2017,33(3):168-174.
- [18] 王尚义,石瑛,牛俊杰,等.煤矸石山不同植被恢复模式对土壤养分的影响——以山西省河东矿区 1 号煤矸石山为例[J].地理学报,2013,68(3):372-379.
- [19] 董小培.乌鲁木齐河源区土壤微生物的时空分布特征[D].兰州:兰州大学,2010.
- [20] Vályi K, Mardhiah U, Rillig M C, et al. Community assembly and coexistence in communities of arbuscularmycorrhizal fungi [J]. ISME Journal, 2016, 10 (10): 2341-2351.
- [21] 赵明松,张甘霖,王德彩,等.徐淮黄泛平原土壤有机质空间变异特征及主控因素分析[J].土壤学报,2013,50(1):1-11.