

排土场不同恢复措施下土壤微生物数量特征初探

闫 晗, 吴祥云, 黄 静, 蔡楠楠

(辽宁工程技术大学 理学院, 辽宁 阜新 123000)

摘要:通过研究辽宁省海州露天矿排土场恢复措施对土壤微生物数量特征的影响,分析了土壤微生物的数量分布、组成及主要生理类群的数量特征。结果表明:微生物总量为人工林地>天然草地>工程复垦地>荒裸地,3种林地中,榆树林地高于刺槐和紫穗槐林地;在微生物组成中,真菌数量最低,不足微生物总量的1%,细菌和放线菌所占的比例相当;在0~10 cm土层,三种林地均为放线菌占优势,其它恢复措施地为细菌占优势,随着土壤深度的加深放线菌比例略有提高;荒裸地的生理类群数量显著低于修复地($P<0.05$),氨化细菌在0~10 cm土层为紫穗槐林地最高,在10~20 cm土层为刺槐林地最高,好气性自生固氮菌数量为刺槐林地最高,好气性纤维素分解菌为天然草地中最高;各类微生物的垂直分布表现为0~10 cm高于10~20 cm。修复地能明显提高排土场土壤微生物数量和主要生理类群的数量,在各修复地中具体表现为人工林地>天然草地>工程复垦地。

关键词:排土场;恢复措施;土壤微生物;数量特征

中图分类号:S154.3

文献标识码:A

文章编号:1002-2767(2010)11-0030-05

露天矿排土场不仅侵占了大量土地,而且能够对土壤和地下水等造成污染,严重影响了周边的生态系统^[1]。排土场是煤炭开采活动的产物,随着其数量的增多,对其进行治理、恢复周边的生态环境已成为了一个全球性问题。植被恢复是一种较为理想、有效的治理排土场的途径和方法,植被恢复与土壤质量演变相互制约,互为动力。国内目前对煤矿排土场生态恢复模式和土壤质量的研究大多从土壤理化性质、人工种植树木的长势、草本植物的种类和水土流失的防治效果等方面进行^[2-3],关于恢复措施对土壤微生物数量的影响报道则较少。土壤微生物是生态系统的重要成员,在生态系统的物质循环和能量转化中占有重要地位^[4]。现从海州露天矿排土场不同生态恢复措施对土壤微生物的数量特征的影响方面进行初步研究,为露天矿排土场生态系统的恢复,合理开发利用微生物资源提供理论依据。

1 研究区概况

研究区为辽宁省海州露天矿排土场,位于阜

新市区西南部,年均降水量 539 mm,蒸发量达 1 800 mm,是典型的北温带半干旱大陆型季风气候区。所处地理位置为 E121°41', N 41°58', 东西长 7 km, 南北宽 3 km, 占地面积约 14 km²。排土场有不同年限的排放层形成了十几个梯田平台,平台间由陡坡相连,相对高差在 3~60 m, 边坡较陡(>30°), 平盘较为平坦, 其土质是由露天矿排出的页岩、砂岩构成, 部分土地得到了良好的风化^[5]。

由于排土场存在的时间较长,一些耐旱、耐碱、耐地表高温的草本植物“入侵”了排土场,在一定程度上降低了排土场的危害,其覆盖率达 50%, 相对高度约 55 cm。为了改善排土场的生态环境,采用人工种植林地和工程复垦 2 种方式进行生态恢复,树种主要由榆树(*Ulmus pumila*)和刺槐(*Robinia pseudoacacia*)及少量的紫穗槐(*Amorpha fruticosa*)组成,树木间生长少量的草本植物。排土场工程复垦采取了客土回填的方式,在排放层上覆土 35 cm,覆土后分布着旱生草本植物相对高度约 50 cm,盖度达到 75%,无林地覆盖。

2 研究方法

2.1 样品的采集

根据排土场生态恢复措施的不同,选取了工程复垦和人工林地 2 种人工恢复措施,以及属于自然恢复模式的天然草地作为修复地,以荒裸地

收稿日期:2010-09-20

基金项目:辽宁省教育厅科研基金资助项目(20060391)

第一作者简介:闫晗(1980-),女,辽宁省阜新市人,博士,讲师,从事土壤生态治理方面研究。E-mail: yanh112@163.com。

通讯作者:吴祥云(1962-),男,辽宁省辽阳市人,博士,教授,从事水土保持与恢复生态学领域的研究。E-mail: wuxyun2003@yahoo.com.cn。

作为对照。分别于 2008 年 5 月 7 日(春)、7 月 11 日(夏)、9 月 14 日(秋)和 11 月 7 日(冬)4 个季节进行取样,将每个样地 4 次采样测定数据的总和作为该样地的微生物数量。每个样地按“之”型取 5 个样点,5 点土样混匀后作为该取样小区的样品。每个样地分别取距离地表 0~10 cm 和 10~20 cm 处土样。其中,工程复垦为覆土 2 a;人工林地选择人工种植乔木榆树(YS)(树龄 5 a)和刺槐(CH)(树龄 5 a)以及灌木紫穗槐(ZSH)(树龄 4 a);天然草地(CD)为排土年限在 15~25 a,“入侵”的草本植物种类较多;荒裸地(HD)为排土年限在 8~15 a,植被稀少。前 5 种为修复地,均在平盘取样,荒裸地作为对照,在边坡取样。

将新鲜土样打碎,混匀,去除杂质、石砾、粗根等,过筛(2 mm),装入无菌塑料袋内,贮存于 4℃ 的冰箱中备用,并尽快进行分析。以 $\text{cfu} \cdot \text{g}^{-1}$ (即 1 g 干土中的菌落数)表示土壤微生物数量。

2.2 土壤微生物数量的测定

2.2.1 土壤微生物三大类群数量的测定 采用混合平板计数法来测定细菌、放线菌和真菌的数量,每种稀释度重复 3 次。细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基;放线菌采用改良高氏 1 号培养基;真菌采用马丁氏培养基^[6]。

2.2.2 土壤微生物主要生理类群数量的测定 氨化细菌和好气性固氮菌的数量均采用混合平板计数法来测定,每个稀释度重复 3 次。氨化细菌采用蛋白胨琼脂培养基;好气性自生固氮菌采用阿须贝无氮琼脂培养基。好气性纤维素分解菌采用最大似然计数法(MPN)来测定其数量,每个稀释度取 3 个重复,采用赫奇逊培养基对其进行培养^[7]。

2.3 数据统计

采用 SPSS 16.0 统计软件对所测定的数据进行数据处理、相关性分析和单因素方差分析(one-way ANOVA),并进行 LSD 检验(lowest standard deviation test, $P=0.05$)。

3 结果与分析

3.1 不同恢复措施下土壤微生物的数量分布及其比例

土壤微生物是维持土壤健康的重要组成部分,细菌、放线菌和真菌是土壤微生物的主要组成类群。细菌在土壤有机质的转化中起重要的作用,而真菌和放线菌则是参与土壤有机质分解的主要成员。土壤微生物数量组成可以敏感地反映

土壤环境质量的变化^[8]。研究表明(见表 1),露天矿排土场的恢复措施不同,其土壤微生物的总量存在差异。其中,荒裸地(HD)的微生物总量在 0~10 cm 和 10~20 cm 土层中均显著低于其它恢复措施($P<0.05$)。在不同的土壤深度中,不同恢复措施土壤微生物总量间略有差异。在 0~10 cm 土层,3 种人工林地(YS、CH 和 ZSH)间无显著差异($P>0.05$),却显著高于天然草地(CD)和工程复垦(FK)2 种恢复措施,而天然草地则显著高于工程复垦地。10~20 cm 土层,人工种植榆树林地显著高于其它恢复模式;刺槐林地、紫穗槐林地和天然草地间无显著差异,却显著高于工程复垦地,在 0~10 cm 和 10~20 cm 土层荒裸地的微生物总量均显著低于修复地($P<0.05$)。

综合来看,与荒裸地相比,排土场经过生态修复后在提高土壤微生物数量方面表现突出,所涉及的三种恢复措施中,人工种植林地优于自然恢复的天然草地,工程复垦地最差。榆树、刺槐和紫穗槐的地上部较草本植物高大,且根系较为发达,根系的代谢产物以及由枯枝烂叶所形成的腐殖质较多,为土壤微生物提供了较为丰富的营养环境。土壤深层的腐殖质较土壤上层部分少,可能是导致在深层土壤中林地与天然草地的微生物数量无明显差异的原因。工程复垦地的覆土年限较短,至取样时仅 2 a,土壤并未熟化,土壤肥力较低,因此土壤微生物的数量较少。

表 1 结果表明,在 0~10 cm 和 10~20 cm 土层,各恢复措施中真菌数量所占的比例均为最低,这与真菌喜酸性的特性相关^[9],排土场土壤属于碱性土壤,较高的 pH 在一定程度上抑制了真菌的生长。0~10 cm 土层中,工程复垦地、天然草地和荒裸地的微生物组成中均以细菌占优势,占微生物总量的 60.18%~66.56%;放线菌次之,占总量的 33.16%~39.13%。3 种林地则表现为放线菌占优势,占微生物总量的 56.02%~66.75%,细菌次之。在 10~20 cm 土层,除刺槐林地和紫穗槐林地以外,其余恢复措施的细菌数量所占比例均比 0~10 cm 土层低,而放线菌比例则有所提高。露天矿排土场不同恢复措施的微生物组成存在明显差异,总体来看,真菌数量最少仅占不到 1%,细菌和放线菌的比例较高,两者所占的比例相当。这与东祁连山高寒草地土壤微生物分布的研究报道一致^[10],而与其它文献报道的土

壤中细菌占优势的结果略有差异^[11-13]。这可能是由于土壤养分含量及其生态环境间的差异造成的。细菌适宜中性环境^[14],放线菌则更适宜在干燥而偏碱的土壤中生长,而且它的菌丝体比细菌营养体抗干燥的能力更强。海州露天矿排土场气

候干旱,土壤中含有大量的煤页岩和煤矸石,其中含有较多难分解的惰性有机碳,土壤的 pH 为中性偏碱且含水量较低,这些因素均刺激了参与难分解物质转化的放线菌数量增加^[15],从而导致土壤中放线菌的比例高于其它土壤。

表 1 不同恢复措施下土壤微生物数量分布及差异

| 恢复措施 | 0~10 cm | | | | 10~20 cm | | | |
|------|--------------------|--------|---------|--------|--------------------|--------|---------|--------|
| | 总量 | 细菌比例/% | 放线菌比例/% | 真菌比例/% | 总量 | 细菌比例/% | 放线菌比例/% | 真菌比例/% |
| FK | 19.51 ^c | 63.34 | 36.20 | 0.46 | 17.67 ^c | 34.96 | 64.55 | 0.49 |
| YS | 66.14 ^a | 42.46 | 57.34 | 0.20 | 42.06 ^a | 36.42 | 63.24 | 0.34 |
| CH | 65.63 ^a | 33.04 | 66.75 | 0.21 | 26.35 ^b | 46.82 | 52.86 | 0.32 |
| ZSH | 63.31 ^a | 43.75 | 56.02 | 0.23 | 24.48 ^b | 52.91 | 46.83 | 0.26 |
| CD | 41.82 ^b | 66.56 | 33.16 | 0.28 | 26.25 ^b | 41.41 | 58.39 | 0.20 |
| HD | 8.82 ^d | 60.18 | 39.13 | 0.69 | 3.37 ^d | 55.68 | 43.49 | 0.83 |

注:测得土壤微生物数量为 10⁶cfu·g⁻¹干土。

3.2 土壤微生物的数量垂直分布

从表 1 可以看出,无论是微生物总量还是细菌、放线菌和真菌的数量,均随着土层深度的增加而下降,即 0~10 cm 高于 10~20 cm,除工程复垦地外,土层间微生物数量的差异均达到显著水平($P<0.05$),与文献报道一致^[12-13]。土壤表层的草本植物或林木的根系密集,且根系的代谢产物和枯枝落叶积累较多、腐殖质层较厚,为微生物活动提供了丰富的介质,因此土壤微生物多分布在土壤的表层。3 种人工林地 0~10 cm 土层中的微生物总量无显著差异,在 10~20 cm 土层中,榆树林地却显著高于刺槐和紫穗槐林地,这与榆树属于落叶乔木,具有较发达的根系密切相关;而紫穗槐为灌木,植株较乔木矮小且根系欠发达;刺槐虽属乔木,但其根系分布较浅,呈放射状伸展。紫穗槐和刺槐在深层土壤中分布较少的根系,根系的代谢产物量较榆树低,缺乏微生物生长的基质,因此这 2 种林地深层土壤中的微生物总量低于榆树林地。

3.3 不同恢复措施下排土场主要生理类群的数量分布

土壤微生物的主要生理类群直接参与土壤中的碳循环或氮循环,在土壤物质转化中发挥着重要的作用。研究结果表明(见表 2),与荒裸地相比,修复地的主要生理类群数量均有所提高。0~10 cm 土层中修复地土壤氨化细菌、好气性自生固氮菌和好气性纤维素分解菌数量分别是荒裸地土壤的 1.12~3.69 倍、2.29~5.25 倍和 2.80~24.38 倍;10~20 cm 土层则分别为 3.60~9.37 倍、1.94~8.73 倍和 4.25~55.38 倍。氨化细菌和固氮菌是土壤中与氮循环相关的生理类群,纤维素是枯枝落叶物的主要组成部分,纤维素分解菌是分解纤维素的主要微生物类群,在生态系统的碳素循环中具有重要作用^[16]。修复地由于地上植被较为丰富,根系的分泌物以及较丰富的腐殖质为生理菌群提供了更适宜的生存环境,增强了土壤的供 N 及供 C 的能力。

表 2 土壤微生物主要生理类群数量

| 恢复措施 | 氨化细菌(10 ⁶ cfu·g ⁻¹) | | 好气性自生固氮菌(10 ⁶ cfu·g ⁻¹) | | 好气性纤维素分解菌(10 ² cfu·g ⁻¹) | |
|------|--|--------------------|--|-------------------|---|--------------------|
| | 0~10 cm | 10~20 cm | 0~10 cm | 10~20 cm | 0~10 cm | 10~20 cm |
| FK | 34.01 ^c | 23.46 ^d | 8.49 ^c | 1.90 ^d | 4.19 ^c | 3.15 ^c |
| YS | 78.06 ^c | 47.88 ^b | 19.49 ^a | 8.56 ^a | 1.93 ^d | 1.02 ^d |
| CH | 95.84 ^b | 61.00 ^a | 14.47 ^b | 6.25 ^b | 12.57 ^b | 4.70 ^b |
| ZSH | 112.20 ^a | 28.96 ^c | 15.05 ^b | 6.45 ^b | 2.49 ^d | 1.16 ^d |
| CD | 53.11 ^d | 27.77 ^c | 16.64 ^{ab} | 3.75 ^c | 16.82 ^a | 13.29 ^a |
| HD | 30.37 ^c | 6.51 ^e | 3.71 ^d | 0.98 ^d | 0.69 ^e | 0.24 ^e |

由表 2 可见,氨化细菌,在 0~10 cm 土层中林地显著高于天然草地($P<0.05$);荒裸地为最低但与工程复垦地间无显著差异($P>0.05$);在 3 种林地中,紫穗槐地>刺槐地>榆树地,三者之间

的差异均达到显著水平($P<0.05$)。10~20 cm 土层中荒裸地显著低于修复地,在各修复地中,工程复垦为最低,而刺槐为最高。榆树林地的好气性自生固氮菌数量显著高于其它修复地,刺槐和

紫穗槐间无显著差异,工程复垦地为修复地中最低。排土场多种恢复措施土壤中好气性纤维素分解菌数量由高到低为天然草地>刺槐林地>工程复垦地>紫穗槐林地>榆树林地>荒裸地。其中,榆树林地和紫穗槐林地之间无显著差异,其它恢复措施间的差异均达到显著水平。

由此可见,露天矿排土场土壤微生物的生态环境遭到了破坏,属于自然恢复措施的天然草地能够改善对纤维素的分解能力,但是对于 N 素的转化能力一般;人工种植林地能够显著提高排土场土壤的 C、N 转化能力,而工程复垦地对于 C、N 素的利用能力较弱。

从垂直分布看,各类微生物生理菌群数量在不同恢复措施下均为 0~10 cm 土层高于 10~20 cm 土层。生理功能类群的生态分布与其生理特性密切相关,氨化细菌、好气性自生固氮菌和好气性纤维素分解菌均对氧有一定的要求,土壤表层的含氧量高于土壤深层,且由于表层土壤中植物根系分泌物和腐殖质较丰富,因此好氧性的功能菌群大多分布在表层土壤中,这与文献报道的结果一致^[10]。

4 结论

海州露天矿排土场不同恢复措施微生物数量差异显著。荒裸地的微生物总量显著低于修复地($P<0.05$);在修复地中,人工种植林地高于天然草地,工程复垦地的微生物总量显著低于其它修复地($P<0.05$)。在 3 种林地中,榆树林地在 0~10 cm 和 10~20 cm 土层中的微生物总量均高于刺槐和紫穗槐林地。

在微生物组成方面,真菌所占比例最低,不足 1%;0~10 cm 土层,工程复垦地、天然草地和荒裸地为细菌占优势,占微生物总量的 60.18%~66.56%,3 种林地放线菌占优势,占微生物总量的 56.02%~66.75%;在 10~20 cm 土层,除刺槐林地和紫穗槐林地以外,其余恢复措施地放线菌所占的比例均有所提高。

人工修复地能够明显提高排土场主要生理类群的数量,其中,工程复垦地的生理类群数量显著低于其它修复地($P<0.05$)。紫穗槐林地在 0~10 cm 土层中的氨化细菌最高,10~20 cm 土层中则为刺槐林地最高;刺槐林地的自生固氮菌数量为最高;天然草地的纤维素分解菌数量为

最高。

各类微生物数量均随着土壤深度的增加而减少,其主要分布在 0~10 cm 土层,10~20 cm 土层较少。

修复地能明显提高排土场土壤微生物总量和主要生理类群的数量,在各修复地中表现为人工林地>天然草地>工程复垦地。

参考文献:

- [1] 王志宏,李爱国,范良千.海州露天煤矿排土场土壤现状评价[J].安全与环境学报,2006,6(4):70-73.
- [2] 贾宏宇,台培东,孙铁珩,等.天然地形和人工沙棘风障对排土场平台植被恢复的影响[J].水土保持学报,2001,15(1):74-76.
- [3] Cheng J L, Lu Z H. Natural vegetation recovery on waste dump in opencast coalmine area [J]. Journal of Forestry Research, 2005, 16(1): 55-57.
- [4] 周桔,雷霆.土壤微生物多样性影响因素及研究方法的现状与展望[J].生物多样性,2007,15(3):306-311.
- [5] 吴祥云,孙广树,卢慧,等.阜新矿区矸石废弃地立地质量的研究[J].辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2006,25(2):42-47.
- [6] 章家恩.生态学常用实验研究方法与技术[M].北京:化学工业出版社,2006:149-150.
- [7] 姚槐应,黄昌勇.土壤微生物生态学及其实验技术[M].科学出版社,2006:160-162.
- [8] 龙建,黄昌勇,腾应,等.我国南方红壤矿山复垦土壤的微生物特征研究[J].水土保持学报,2002,16(2):127-132.
- [9] 陈文新.土壤和环境微生物学[M].北京:北京农业大学出版社,1989:10-43.
- [10] 韩玉竹,陈秀蓉,王国荣,等.东祁连山高寒草地土壤微生物分布特征初探[J].草业科学,2007,24(4):14-18.
- [11] 龙建,黄昌勇,腾应,等.我国南方红壤矿区复垦土壤的微生物生态特征研究 I.对土壤微生物活性的影响[J].应用生态学报,2003,14(11):1925-1928.
- [12] 王海英,宫渊波,陈林武.嘉陵江上游不同植被恢复模式土壤微生物及土壤酶活性的研究[J].水土保持学报,2008,22(3):172-177.
- [13] 方晰,田大伦,武丽花,等.植被修复对锰矿渣废弃地土壤微生物数量与酶活性的影响[J].水土保持学报,2009,23(4):221-226.
- [14] 刘久俊,方升佐,谢宝东,等.生物覆盖对杨树人工林根际土壤微生物、酶活性及林木生长的影响[J].应用生态学报,2008,19(6):1204-1210.
- [15] 杨玉盛,邱仁辉,俞新妥,等.杉木连栽土壤微生物及生化特性的研究[J].生物多样性,1999,7(1):1-7.
- [16] 许冬梅,王堃.毛乌素沙地南缘生态过渡带土壤微生物特征[J].中国沙漠,2007,27(5):805-808.

Preliminary Study on Soil Microbial Quantity Characteristics with Different Restoration Measures in Coalmine Dump

YAN Han, WU Xiang-yun, HUANG Jing, CAI Nan-nan

(Science College of Liaoning Technical University, Fuxin, Liaoning 123000)

Abstract: An investigation was made on soil microbial quantity characteristics in Haizhou opencast coal mine dump of Liaoning. The quantity distribution of soil microbe, microbial composition and quantitative characteristics of the main microbial physiological groups were studied. The results showed that the order of microbe quantity was planted forests land > natural grassland > engineering reclamation land > bare land, and the microbial number was higher in *Ulmus pumila* soils than in *Robinia pseudoacacia* and *Amorpha fruticosa* soils. Among soil microbes, the quantity of fungi was the lowest with accounting for less than 1%, and the percentage of bacteria and the percentage of actinomycetes were almost equal. In the 0~10 cm soil layer, actinomycetes were dominant in planted forests land, while bacteria was dominant in other plots. The percentage of actinomycete increased with the increase of soil depth. The quantities of the main microbial physiological groups were significantly lower in bare land than in restoration land ($P < 0.05$). The number of ammonifiers was the highest in *Amorpha fruticosa* land at 0~10 cm layer, while it was the highest in *Robinia pseudoacacia* land at 10~20 cm layer. The number of aerobe azotobacteria was the highest in *Robinia pseudoacacia* land and the number of cellulose-decomposing bacteria was the highest in natural grassland. For the vertical distribution, the microbial quantities and microbial physiological groups were higher in 0~10 cm layers than in 10~20 cm layers. It was concluded that ecological restoration could significantly improve soil microbe quantities and main microbial physiological groups' quantities. The relation among restoration lands was planted forests land > natural grassland > engineering reclamation land.

Key words: coalmine dump; restoration measures; soil microorganism; quantity characteristics

欢迎订阅 2011 年《杂交水稻》

《杂交水稻》是由国家杂交水稻工程技术研究中心和湖南杂交水稻研究中心主办的、对国内外公开发行的专业技术刊物,刊号:ISSN 1005-3956, CN 43-1137/S。获第二届全国期刊奖提名奖,为全国中文核心期刊、中国科学引文数据库(CSCD)核心库来源期刊、《中国核心期刊(遴选)数据库》收录期刊、中国科技论文统计源期刊、中国学术期刊综合评价数据库来源期刊、《中国期刊网》和《中国学术期刊(光盘版)》全文收录期刊、万方数据资源系统数字化期刊群全文收录期刊、湖南省一级期刊、湖南省优秀科技期刊、湖南省十佳科技期刊、全国优秀科技期刊、中国期刊方阵双效期刊。主要宣传报道我国及国外杂交水稻研究、应用中的最新成果、进展、动态、技术经验和信息等。辟有专题与综述、选育选配、栽培技术、繁殖制种、新组合、基础理论、国外动态和简讯等栏目。

双月刊,大 16 开本,96 页,逢单月出版,每册定价 8.00 元,全年定价 48.00 元。订阅办法:(1)可到当地邮局订阅,邮发代号:42-297。(2)直接向本刊杂志社订阅,另加收挂号费每个订户全年 18.00 元。请将汇款邮至长沙市马坡岭远大二路 736 号《杂交水稻》杂志社或电汇中国农业银行长沙马坡岭支行,账户为湖南杂交水稻研究中心,账号 18035801040000507(务请注明为杂交水稻 2011 年杂志款),邮编 410125,电话 0731-82872955, 82872954, 82872961; E-mail: jhybrice@2118.cn; http://zjsd.chinajournal.net.cn。

欢迎订阅、欢迎投稿、刊登广告