

大同晋华宫矿煤矸石山丛枝菌根植物多样性的调查

甄莉娜¹, 杨牧之¹, 祁建英¹, 闫晓雪², 张丽婷¹

(1.山西大同大西生命科学学院,山西大同 037009;2.四川大学生命科学学院,四川成都 610065)

摘要:煤矸石是煤炭生产和加工过程中产生的主要固体废弃物,煤矸石在矿区附近堆积形成煤矸石山。本文以大同晋华宫矿煤矸石山的植物多样性为基础,调查研究了每种植物根系的丛枝菌根真菌的侵染情况。结果表明,所研究的 27 种植物属 11 科,23 属,其中 26 种为菌根植物,占到所研究植物的 96.3%。多年生草本和灌木类植物根系的丛枝菌根真菌侵染率及侵染强度较高,一年生或一二年生草本植物相对较低;豆科、禾本科和菊科植物为优势种且菌根侵染率及侵染强度较高,蒺藜科蒺藜(*Tribulus terrestris*)没有发现被侵染现象;须根系植物的菌根侵染率及侵染强度较高,直根系植物较低。丛枝菌根真菌的侵染率和侵染强度与宿主植物的生活型和根系类型有一定的关系。

关键词:煤矸石山;植物多样性;丛枝菌根真菌;侵染率;生活型

中图分类号:Q948.116 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-8759(2015)03-0040-05

RESEARCH ABOUT DIVERSITY OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL PLANTS ON JINHUAGONG COAL GANGUE MOUNTAIN IN DATONG

ZHEN Li-na¹, YANG Mu-zhi², QI Jian-ying¹, YAN Xiao-xue², ZHANG Li-ting¹

(1.College of Life Science, Shanxi Datong University, 2.Datong 037009; College of Life Science, Si Chuan University, Chengdu 610065)

Abstract:Coal gangue is the main solid waste of coal production and processing, and they formed coal gangue mountain near the mining area. Based on the diversity of plants on Jinhuaogong coal gangue mountain in Datong, we have surveyed the Arbuscular mycorrhizal Fung infection rate and infection intensity of the root of each plant. The results showed that a total area of plants, 27 species belong to 11 family and 23 genus. It also showed that 26 species (96.3%) of plants which in surveyed are infected by arbuscular mycorrhizal fungi, and there are 27 kinds of plants in total. It is found that perennial herbs and shrubs plants have higher infection rate and infection intensity of AM fungi than annual and biennial herb plants; the infection rate and infection intensity of AM fungi are relatively higher in fibrous root plants than that in tap root plants. Leguminosae, Poaceae and Asteraceae plants have higher infection rate and infection intensity of arbuscular mycorrhizal fungi, while the introduced plants such as *Tribulus terrestris* appears no AM infection. The results showed that infection rate and infection intensity of AM fungi have a certain relationship with the root type and life form of the certain host plants.

Key words: Coal gangue mountain; diversity of plant; Arbuscular mycorrhiza fungi; Infection rate; Life form

煤矸石是煤矿在建井、采煤和洗选煤等过程中产生的燃点达不到要求的固体废弃混合物^[1],其主要成分包括煤炭、质页岩及砂岩等。在现阶段,煤矸石的处理多以堆放为主。煤矸石大量堆积,形成煤矸石山,不仅占用大量土地,引起土地资源的浪费,更会对生态环境造成影响。由于煤矸石本身携带有一定的能量,因此也会发生不同程度的自燃现象,并排放大量有害气体,污染大气环境^[1]。因此,近年来,通过生物强化技术,对煤矸石山进行生态恢复受到了广泛关注^[2]。

丛枝菌根真菌 (Arbuscular mycorrhizal Fungi, AMF) 是一类土壤微生物。它分布极为广泛,能与 90% 以上植物根系形成菌根共生体,其菌丝可在根皮层形成典型的丛枝状结构^[2]。相关研究表明,AMF 与植物根系形成共生体既能增加植物对磷等矿质营养的吸收,也可以增强植物对干旱、重金属等恶劣生境的抗逆性。在各种逆境生态系统的恢复中,AMF 具有极大的研究价值和应用潜力。

大同地区煤矿资源丰富,是闻名全国的“煤都”。但在过去长期的开采过程中,矿区生态被严重破坏,水土流失严重,煤矸石污染治理和生态恢复中存在诸多问题。煤矸石山理化条件恶劣,重金属含量高,养分贫瘠,水分含量低,植物难以生长,而 AMF 遍布各种生态系统,广泛存在于各种逆境环境中。AMF 与植物共生可以提高植物的生存能力。本文对晋华宫矿煤矸石山植物多样性进行调查,并以植物多样性为基础,菌根侵染率和侵染强度为生态指标,探讨煤矸石山植物的菌根侵染情况,以期为矸石生态恢复提供可用的植物种类和 AMF 菌种资源。

1 调查研究方法

1.1 研究区域概况

大同市位于山西省北部,,属于温带季风型气候。晋华宫矿位于大同市西 12.5 公里处,海拔 1 200 m 左右。以晋华宫矿的排矸年限为 30 年、高度为 50 m 的矸石废弃地为研究对象,采样点地处东经 113°9′,北纬 40°4′。晋华宫矿煤矸石山的植被出现了一定程度的退化,植被覆盖度低。

1.2 植物多样性调查

于 2014 年 6 月对其植物多样性进行调查。将该煤矸石山分为上、中、下三个层次,随机选取样方:草本面积为 1×1 m,灌木为 2×2 m,乔木为 4×4

m。每个层次分别取 4×4 样方 4 个,2×2 样方 5 个,1×1 样方 6 个,共计 45 个样方,调查植物的多样性。每个样方记录的内容有:植物种的名称、盖度、高度、频度等数量指标以及在取样过程中设置的坡度。

1.3 样品采集

用挖掘法^[2]采集植物的根样。每种植物的根样在其所出现的每个样方内各采集 1 株。把各类植物的根样用清水冲洗干净,吸干水分,装入提前准备好的离心管中并编号,分别加入 FAA 固定液^[2]进行保存,带回实验室检测。

1.4 测定指标与方法

采用曲利苯蓝染色法^[3]和形态学鉴定法^[4]对菌根侵染频率及侵染强度进行测定^[3]。

侵染频率=(丛枝菌根真菌定殖根段数/镜检根段数)×100%^[5]

侵染强度= $\sum(0\% \times \text{根段数} + 10\% \times \text{根段数} + 20\% \times \text{根段数} + \dots + 100\% \times \text{根段数}) / \text{镜检总根段数}$ ^[5]

2 结果与分析

2.1 植物多样性

2.1.1 以科、属、种的数量为指标

所调查的晋华宫矿煤矸石山植物多样性的调查统计结果见表 1。所调查的植物共 27 种,属 11 科 23 属。在该区植物的 11 个科中,含 1 属的科 7 个;23 个属中,含 1 种的属 22 个,含 2 种以上的属 1 个,为蒿属。由此统计结果可知,该区的单种科和单种属占有优势。

表 1 晋华宫矿煤矸石山植物名录

科	属	种	科	属	种
禾本科	披碱草属	披碱草	菊科	鬼针草属	鬼针草
	马唐属	马唐	豆科	苜蓿属	紫苜蓿
	狗尾草属	狗尾草		胡枝子属	尖叶铁扫帚
	芨芨草属	芨芨草		野豌豆属	野豌豆
	虎尾草属	虎尾草	牦牛儿科	牦牛儿属	牦牛儿苗
	鹅观草属	鹅观草		老鹳草属	老鹳草
	早熟禾属	硬质早熟禾	胡颓子科	沙棘属	沙棘
菊科	蒿属	白蒿	车前草科	车前草属	车前草
		茵陈蒿	榆科	榆属	榆树
		野艾蒿	萝藦科	鹅绒藤属属	牛皮消
		黄花蒿	蒺藜科	蒺藜属	蒺藜
		白莲蒿	鸢尾科	鸢尾属	马蔺
	蒲公英属	蒲公英	败酱科	败酱属	败酱草
	鼠耳草属	鼠耳草			

2.1.2 以重要值^[1]为指标

植物种的数据采用重要值为综合指标,对每个样方的植物分别记录其高度、盖度、频度,以综合数值表示植物物种在群落中的相对重要值。

相对重要值=(相对盖度+相对频度+相对密度【即相对多度】)/3

针对乔木而言:重要值=(相对盖度【即相对优势度】+相对频度+相对高度)/3

针对灌木而言:重要值=(相对盖度【即相对优势度】+相对频度+相对高度)/3

对每个样方里的植物进行重要值的计算,得到以下的结果:

(1)低坡度:该坡度植被的草本总盖度基本达到 83%,其中,芨芨草的相对盖度达到 35%,重要值 24.33%;鬼针草的相对盖度达到 30%,相对重要值达到 19.33%;这两种植物在该样方中出现最多。马唐的相对盖度为 9.7%,重要值为 8.23%;白莲蒿的相对盖度为 10%,重要值为 8.25%。该样方中还有蒲公英、狗尾草、蒺藜、黄花蒿等。榆树为该样方种稀有的乔木,盖度仅为 0.1%,重要值为 0.08%。

(2)中坡度:该坡度基本是草本居多,总植被的盖度为 73%,其中,披碱草的相对盖度为 45%,重要值为 21.33%,是该坡度的优势种;狗尾草的盖度为 17%,重要值为 9%。该样方中还有牛皮消、野豌豆、车前草等草本植物。该样方的灌木有尖叶铁扫帚,其盖度为 2%,重要值为 0.09%;乔木为榆树,盖度为 0.1%,重要值为 0.005%。

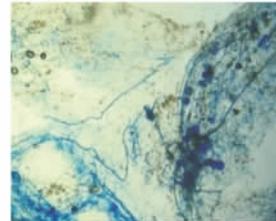
(3)高坡度:高坡度相对来说植物的种类相对于其他两个坡度的种类多,但仍以草本植物居多,草本的相对盖度达到 85%。牛皮消的盖度为 37%,重要值位 17%;狗尾草的盖度为 41%,重要值为 18.3%。该样方种还有紫苜蓿、马蔺、茵陈蒿等草本植物。乔木为榆树,相对盖度为 0.1%,重要值为 0.007%。

2.2 丛枝菌根真菌的结构及侵染部位

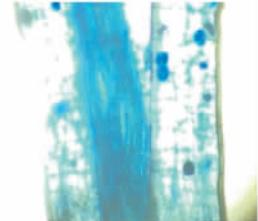
以野豌豆 (*Vicia sepium*)、白蒿 (*Herba Artemisiae Sieversianae*)、车前草 (*Plantago asiatica*)、榆树 (*Ulmus pumila*)和硬质早熟禾 (*Poa sphondylodes*) 的根样为例显示光学显微镜下的菌根结构如图 1 所示。

根样经过处理以后镜检,可以观察到植物根段切片中显示的丛枝菌根真菌的菌丝、泡囊和丛

枝为深蓝色,而其余细胞和组织呈无色或浅蓝色,丛枝呈现交叉的树枝状,泡囊大多为圆形或椭圆形。菌丝和泡囊可以存在于细胞间隙,也可以存在于细胞中;丛枝只存在于细胞中,有些也可在根系的表皮细胞中形成孢子^[4]。



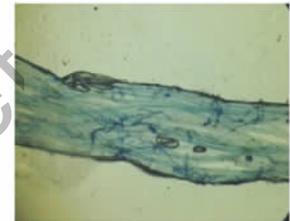
野豌豆菌根中的丛枝和泡囊



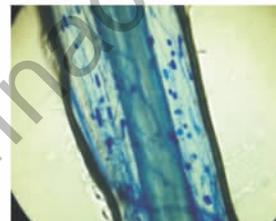
白蒿菌根中的泡囊



车前草菌根中的丛枝和泡囊



榆树菌根中的菌丝



硬质早熟禾菌根中的泡囊和菌丝



硬质早熟禾菌根中的丛枝

图 1 不同宿主植物菌根中 AMF 的形态结构

2.3 菌根植物多样性

本次调查在大同晋华宫矿煤矸石山上共采集 27 种植物根样,丛枝菌根真菌侵染率及侵染强度见表 2。

从表 2 中可以看出,该煤矸石山上的优势植物为禾本科、菊科和豆科植物。不同的植物种类表现出不同的菌根侵染率及侵染强度。本次调查发现,禾本科、菊科、豆科、车前科和鸢尾科等植物大多数侵染率及侵染强度较高。其中禾本科植物有 7 种,平均侵染率达到 60.9%,平均侵染强度为 36.54%;豆科植物有 3 种,平均侵染率为 53.33%,平均侵染强度为 27.19%;菊科植物有 8 种,平均侵染率为 45.13%,平均侵染强度为 29.46%。蒺藜科植物未发现丛枝菌根真菌侵染现象。

从所调查植物的生活型来看,禾本科植物是研究区的优势种。此次调查所采集的禾本科植物

表2 晋华宫矿煤矸石山主要植物的生活型、根系类型以及 AMF 的侵染情况

植物种类	生活型	根系类型	侵染率 /%	侵染强度 / %	植物种类	生活型	根系类型	侵染率 /%	侵染强度 / %
披碱草	多年生草本	须根	92	72.91	鹅观草	多年生草本	须根	79	32.09
蒲公英	多年生草本	直根	52	19.79	硬质早熟禾	多年生草本	须根	94	33.84
野豌豆	多年生草本	直根	54	43.21	马唐	一年生草本	须根	30	28.87
鼠耳草	多年生草本	须根	50	37.74	狗尾草	一年生草本	须根	33	60.00
牛皮消	多年生草本	直根	30	10.12	鬼针草	一年生草本	直根	27	12.57
车前草	多年生草本	直根	45	44.69	黄花蒿	一年生草本	直根	30	21.19
野艾蒿	多年生草本	直根	51	45.00	蒺藜	一年生草本	直根	0	0
牻牛儿苗	多年生草本	直根	12	14.51	虎尾草	一年生草本	须根	34	7.35
芨芨草	多年生草本	须根	64	20.73	白蒿	一二年生草本	直根	37	42.90
老鹳草	多年生草本	须根	67	29.21	紫苜蓿	一二年生草本	直根	38	5.21
白莲蒿	多年生草本	直根	42	21.44	尖叶铁扫帚	灌木	直根	68	33.16
马蔺	多年生草本	须根	92	56.25	沙棘	灌木	直根	15	13.33
败酱草	多年生草本	须根	82	67.21	榆树	乔木	直根	44	26.68
茵陈蒿	多年生草本	直根	72	35.03					

的根样都受到了丛枝菌根真菌不同程度的侵染。其中禾本科植物披碱草是所调查植物中最具优势的植物。野豌豆、尖叶铁扫帚和紫苜蓿属于豆科植物,其侵染率和侵染强度都较高;沙棘也出现了一定程度的 AMF 侵染现象,其侵染频率为 15%,侵染强度为 13.33%。这可能和豆科植物与丛枝菌根真菌共生的同时也与根瘤菌混合共生,而沙棘与丛枝菌根真菌共生的同时也与放线菌混合共生有一定的关系。相对于单一共生而言,植物同时与其他微生物混合共生,可以明显改善宿主植物对于矿质营养和水分的吸收^[6]。

从根系类型来看,直根系植物共有 16 种,占到所调查植物的 59.3%,其中菌根植物有 15 种,占到直根系植物的 93.7%,平均侵染率为 38.56%,平均侵染强度为 14.13%;须根系植物共 11 种,占到所调查植物的 40.7%,且全为菌根植物,平均侵染率为 65.18%,平均侵染强度为 40.56%。调查结果表明,须根系植物更易被丛枝菌根真菌侵染,且具有更高的侵染强度。丛枝菌根真菌更易定殖在植物根系的较细部分及幼嫩部分。

从植物的类型来看,单子叶植物共有 9 种,占到所调查植物的 33.3%,全部为菌根植物,其平

均侵染率为 66.6%,平均侵染强度为 42.14%;双子叶植物共 18 种,占到所调查植物的 66.7%,其中除蒺藜未被侵染外,其余都是菌根植物,比例为 94.4%,其平均侵染率为 40.8%,平均侵染强度为 26.81%。调查结果表明,与双子叶植物相比,单子叶植物的菌根侵染率及侵染强度更高,这可能与单子叶植物大多数为须根系而双子叶植物大多数为直根系,且丛枝菌根真菌更易侵染植物根系的幼嫩部分有关。

3 结论与讨论

对植物根系的研究结果显示,在所调查的 27 种植物中,大多数植物为菌根植物,且表现出较高的菌根侵染率和侵染强度。除蒺藜科蒺藜未发现侵染外,多数一年生或一二年生草本、多年生草本、灌木以及乔木都是菌根植物。禾本科、菊科、豆科等各科植物都有侵染,且大多数表现出较高的侵染率及侵染强度。由于所调查煤矸石山植物中灌木及乔木类植物较少,但所调查的尖叶铁扫帚和沙棘等灌木以及乔木类植物榆树都出现了一定程度的 AMF 侵染现象。同时,调查结果也显示,菌根侵染率与根系类型也有一定的关系,须根系植

物更易被丛枝菌根真菌侵染。

在所调查的植物中, 菌根植物占到 96.3%, 说明菌根植物更易在有机质含量极低、pH 极端、土壤结构不良、持水保肥能力差等性质极端的煤矸石山上生长。AMF 有助于提高植物对土壤中有有效磷和其他矿质元素的吸收, 有助于改良土壤结构, 提高植物抗旱能力等, 从而提高植物在逆境中的生存竞争能力。植物多样性的调查结果显示, 所调查的晋华宫矿煤矸石山的主要优势植物有 5 种, 分别是披碱草、芨芨草、狗尾草、鬼针草、和牛皮消, 其侵染率和侵染强度分别为 92%、72.91%、64% 和 20.73%、33% 和 60%、27% 和 12.57%、30% 和 10.12%, 这说明菌根真菌对于植物在煤矸石山这种理化性质极端的环境中的生存和繁殖具有一定的积极作用。菌根侵染情况在一定程度上可以反映煤矸石山各种植物的菌根亲和性。通过调查哪些植物更易在煤矸石山上生长, 进而可以为煤矸石山的生态恢复提供一定的参考。菌根技术在矿区土壤改良以及对其脆弱的生态系统进行恢复和重建方面可以起到一定作用^[7]。有针对性地对大同矿区煤矸石废弃地中的丛枝菌根真菌及其侵染的宿主植物进行调查研究, 并与其他生物技术相结合, 把菌根技术应用于大同煤矸石山的生态恢复具有重要的现实意义和环境价值。

参考文献

- [1]刘汪洋, 李素清. 山西大同煤矸石山自然定居植物群落数量分类与排序分析[J]. 山西师范大学学报, 2011, 25(1): 84-90.
- [2]孟晓燕, 尹林克, 陈理. 塔里木河下游丛枝菌根植物的侵染[J]. 干旱区地理, 2008, 31(1): 102-108.
- [3]盛萍萍, 刘润进, 李敏. 丛枝菌根观察与侵染率测定方法的比较[J]. 菌物学报, 2011, 30(4): 519-525.
- [4]程俐陶, 郭巧生, 刘作易. 半夏丛枝菌根真菌侵染模式及侵染率动态变化[J]. 贵州农业科学, 2009, 37(2): 37-39.
- [5]陈永亮. 集约化玉米生产体系丛枝菌根真菌多样性及磷吸收研究[D]. 北京, 中国农业大学, 2010.
- [6]李晓林, 冯固. 丛枝菌根生态[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [7]王发园, 刘润进, 林先贵, 等. 几种生态环境中 AM 真菌多样性比较研究[J]. 生态学报, 2003, 23(12): 2666-2671.
- [8]包玉英, 闫伟. 内蒙古中西部草原主要植物的丛枝菌根及其结构类型研究[J]. 生物多样性, 2004, 12(5): 501-508.
- [9]乌恩, 李重祥, 张宇, 等. 草原退化对典型草原羊草菌根共生的影响[J]. 草地学报, 2009, 17(6): 731-734.
- [10]Bidartondo M I, Redecker D, H ijri I, et al. Epiparasitic plants specialized on arbuscular mycorrhizal fungi [J]. Nature, 2002, 419: 389-392.
- [11]李登武, 薛玲, 张万红. 黄土丘陵沟壑区丛枝菌根真菌多样性及其分布[J]. 林业科学, 2011, 47 (7): 116-121.
- [12]张静雯, 张成梁, 宋楠, 等. 煤矸石山不同坡面土壤营养元素与植被配置模式研究[J]. 山西农业科学, 2011, 39(8): 841-845.
- [13]Turnau K, Ryszka P, Gianizzi-Pearson V, et al. Identification of arbuscular mycorrhizal fungi in soils and roots of plants colonizing zinc wastes in southern Poland. Mycorrhiza, 2001, 10: 169-174.

(上接第 13 页)

小, 利用烟气进行脱硫废水处理工艺过程中 Cl⁻去除率越高, 对脱硫废水的增加量影响越小。

(5) 对脱硫废水进行烟气蒸发处理前先对其进行废水的中和反应预处理, 可以有效减小 HCL 对锅炉系统的影响。

参考文献

- [1]康梅强. 脱硫废水烟道蒸发处理工艺系统设计与试验研究[D]. 重庆大学, 2013.
- [2]吴志勇. 废水蒸发浓缩工艺在脱硫废水处理中的应用[J]. 华电技术, 2012, (11): 63-66.
- [3]李泊娇, 王旭东, 张占梅, 等. 石灰石-石膏湿法脱硫废水的处理及利用研究[J]. 电力科技与环保, 2014.

- [4]朱志强, 祁利明. 火力发电厂烟气脱硫废水处理工艺[J]. 水处理技术, 2010, 36(3): 133-135.
- [5]张志荣. 火电厂湿法烟气脱硫废水喷雾蒸发处理方法关键问题研究[D]. 重庆大学, 2011.
- [6]应春华, 刘柏辉, 戴豪波, 等. 脱硫废水排放的控制项目及标准探讨[J]. 热力发电, 2005, 34(9): 69-71.
- [7]罗渊涛, 姜威. 火力发电厂烟气脱硫废水处理[J]. 黑龙江电力, 2007, 29(3): 161-168.
- [8]谭文轶. 脱硫废水水量计算及烟道处理技术 [J]. 热力发电, 2009, 38(3): 85-87.
- [9]Liming Chen, Cliff Ramsier, Jerry Bigham. Oxidation of Fe²⁺ to Fe³⁺ and its effect on soil chemical properties when applied to the soil surface. Fule, 2009, 88(7): 1137-1172.
- [10]李伟娜. 燃煤电厂湿法烟气脱硫系统节水及废水处理技术研究[D]. 华北电力大学, 2011.