

DOI: 10.5846/stxb201411192291

孙龙燕, 李士美, 李伟, 郭绍霞. 林火对植物根围丛枝菌根真菌多样性的影响. 生态学报, 2016, 36(10): - .

Sun L Y, Li S M, Li W, Guo S X. Effects of forest fire on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere of plants. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(10): - .

林火对植物根围丛枝菌根真菌多样性的影响

孙龙燕^{1,2}, 李士美², 李 伟², 郭绍霞^{1,2,*}

1 青岛农业大学菌根生物技术研究所, 青岛 266109

2 青岛农业大学园林与林学院, 青岛 266109

摘要:林火是森林生态系统的一种主要干扰因子,以青岛市三标山林火迹地为研究对象,采集荆条(*Vitex negundo*)、胡枝子(*Lespedeza bicolor*)、花木蓝(*Indigofera kirilowii*)、青花椒(*Zanthoxylum schinifolium*)和野青茅(*Deyeuxia arundinacea*) 5种优势植物根围土壤,研究不同林火强度对丛枝菌根(AM)真菌多样性的影响。结果表明,AM真菌感染率和孢子密度随火灾强度的加强而降低;非过火区植物根围土壤中,分离鉴定出AM真菌3属11种,轻度过火区分离鉴定出AM真菌3属10种,中度过火区分离鉴定出AM真菌3属9种,重度过火区分离鉴定出AM真菌3属8种。过火区AM真菌种丰度低于非过火区。过火区和非过火区AM真菌的重要值和优势种不同,非过火区植物根围的优势种是地球囊霉(*Glomus geosporum*)、台湾球囊霉(*G. taiwanensis*)、分支巨孢囊霉(*Gigaspora ramisporophora*)、极大巨孢囊霉(*Gi. gigantean*)、福摩萨球囊霉(*G. formosanum*)、悬钩子球囊霉(*G. rubiforme*)、柯氏无梗囊霉(*Acaulospora koskei*)和松蜜无梗囊霉(*A. thomii*);轻度过火区植物根围的优势种的是地球囊霉和台湾球囊霉;中度过火区的是台湾球囊霉和地球囊霉(野青茅除外);重度过火区植物根围的优势种是地球囊霉。不同强度的过火区对AM真菌群落组成有不同程度的影响。认为林火降低植物根围土壤中AM真菌多样性。

关键词:林火;AM真菌多样性;孢子密度;物种多样性指数;种丰度;RDA

Effects of forest fire on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere of plants

SUN Longyan^{1,2}, LI Shimei², LI Wei², GUO Shaoxia^{1,2,*}

1 Institute of Mycorrhizal Biotechnology, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China

2 College of Landscape and Forestry, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China

Abstract: Forest fires are a major disturbance factor in forest ecosystems. We investigated the diversity of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi in the rhizosphere of plants grown in areas experienced forest fire disturbances on Sanbiao Mountain, Qingdao, China. Five dominant plants, *Vitex negundo*, *Lespedeza bicolor*, *Indigofera kirilowii*, *Zanthoxylum schinifolium* and *Deyeuxia arundinacea* were selected based on the fire intensity of the area, and sub-divided into non-burned area, light burned area, moderate burned area, and heavy burned area. The results show that the colonization percentage and spore density of AM fungi decreased as the fire intensity increased. A total of 11 species in 3 genera of AM fungi were isolated in the non-burned soil sampling sites for all plants. There were 10 species in 3 genera, 9 species in 3 genera, and 8 specie in 3 genera in the light, moderate, and heavy burned areas, respectively. AM fungal species richness in the burned areas was lower than that in the non-burned area. The important value and dominant species of AM fungi were different in the burned and non-burned areas. *Glomus geosporum*, *G. taiwanensis*, *Gigaspora ramisporophora*, *Gi. gigantean*, *G. formosanum*, *G. rubiforme*, *Acaulospora koskei*, and *A. thomii* were the dominant species in the non-burned area. *G.*

基金项目:青岛市科技计划基础研究项目(12-1-4-5-(4)-jch)

收稿日期:2014-10-23; 修订日期:2015-09-06

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gsx2309@126.com

taiwanensis and *G. geosporum* were the dominant species in light burned area. *G. taiwanensis* and *G. geosporum* were the dominant species in the rhizosphere of *Vitex negundo*, *Lespedeza bicolor*, *Indigofera kirilowii* and *Zanthoxylum schinifolium* in the moderate burned area except *Deyeuxia arundinacea*. *G. geosporum* was the dominant species in heavy burned area. There were different effects of burned areas with different intensity on AM fungal community composition. It was suggested that forest fire reduce the diversity of AM fungi.

Key Words: forest fire; AM fungal diversity; spore density; species diversity index; species richness; RDA

丛枝菌根(arbuscular mycorrhizal, AM)真菌是陆地生态系统中重要生物组份之一,其生态适应性强,不仅存在于森林、高山、海滩等土壤中,还广泛存在于各种逆境环境中,如荒漠、火山、酸土和盐碱地等,能改善植物的营养状况、提高植物的抗逆性,对植物生长、林火区域植被恢复和重建具有重要意义^[1]。然而,随着全球变化,高温、干旱、气候异常、火山喷发、林火等不断发生,AM真菌的发育和功能也受到挑战和深刻影响^[2]。其中,林火是影响生物多样性的重要因子之一。火烧会对森林生物多样性、土壤物理与化学性质及土壤微生物多样性等造成不同程度的影响;森林过火后,对土壤理化特性的影响最大^[3]。Piotrowaki等^[4]认为土壤因子对AM真菌作用尤为突出,因此林火必然会影响到AM真菌的生长发育,如林火降低土壤表面AM真菌的密度^[5]。土壤因子对AM真菌生态分布、生长繁殖和侵染有显著作用^[6]。郭绍霞等^[7]发现AM真菌种属分布受土壤pH值及各种营养成分的影响;钱伟华等^[8]认为AM真菌孢子密度、种丰度、物种多样性指数等与土壤肥力有显著相关性。而目前,有关森林过火区AM真菌生态分布、物种多样性和土壤化学性质对AM真菌多样性影响的研究尚比较薄弱。本文以青岛市三标山林火迹地为研究对象,对不同林火强度下土壤化学性质和AM真菌多样性的变化进行了研究,分析过火区与非过火区AM真菌的物种多样性与土壤化学性质之间的关系,旨在明确林火对AM真菌多样性的影响,确定林火区域影响AM真菌多样性的关键因子,为林火迹地的植被恢复与重建提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

三标山位于青岛市城阳区,海拔高度683 m,为崂山第二高峰,面积约为 2.5×10^7 m²,植物覆盖率为40%;属温带季风气候,光资源充足,热资源较丰富,降水量较多,湿润温和,四季分明,年平均气温12.1℃,月平均相对湿度为72%。三标山于2013年3月发生森林火灾,森林过火面积约40 hm²。由于遭受到火灾的严重破坏,乔木较稀,主要是黑松(*Pinus thunbergii*),还有刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、赤松(*Pinus densiflora*)、毛白杨(*Populus tomentosa*)、臭椿(*Ailanthus altissima*)、板栗(*Castanea mollissima*)和君迁子(*Diospyros lotus*)等;灌木稀疏,主要是荆条(*Vitex negundo*)、胡枝子(*Lespedeza bicolor*)、花木蓝(*Indigofera kirilowii*)和青花椒(*Zanthoxylum schinifolium*),还有紫穗槐(*Amorpha fruticosa*)、黄荆(*Vitex negundo*)和火炬树(*Rhus Typhina*)等;草本较多,主要有野青茅(*Deyeuxia arundinacea*),还有唐松草(*Thalictrum aquilegifolium*)、蕨(*Pteridium aquilinum*)、萱草(*Hemerocallis fulva*)和一年蓬(*Erigeron annuus*)等。母岩主要是花岗岩,土壤类型为山地棕壤土,地表岩石裸露。

1.2 土壤样品的采集

2013年10月在过火区及其临近区域根据林火强度的不同,依据火烧迹地内乔木是否存活和树干熏黑高度等,分别设立取样区,以临近未火烧样地作为对照样地。具体为:(1)非过火区,植物全部存活,树干无熏黑痕迹,为对照;(2)轻度过火区,乔木全部存活,所有树干熏黑高度小于1 m;(3)中度过火区,乔木全部存活,所有树干熏黑高度在1—5 m;(4)重度过火区,乔木全部死亡,树干熏黑高度大于5 m。在坡度60°、经度120.6°、纬度36.3°、海拔214 m处,每个取样区设置3块标准样地,采集样地内优势植物花木蓝、胡枝子、青花

椒、荆条和野青茅根围土样,每份土样采用五点取样法,去掉表土 2 cm,取植物根围 2—10 cm 土层的土壤和根系,混合后保留 2 kg 左右。每个取样区重复 3 次。

1.3 土壤的化学性质

测定项目包括土壤 pH 值、有机质、全氮、碱解氮、速效磷和速效钾。测定方法分别为:pH 值采用 PHSJ-3F 型 pH 计、有机质采用重铬酸钾氧化法测定、全氮采用半微量开氏法测定、碱解氮采用碱解扩散法测定、速效磷采用 $\text{NH}_4\text{F-HCl}$ -钼锑抗比色法测定、速效钾采用中性 NH_4OAc 浸提火焰光度法测定^[9]。每个处理重复 3 次,取其平均值。

1.4 AM 真菌侵染率的测定

用染色镜检法来测定植物根系的侵染率^[10],每个处理重复 3 次,计算公式如下:

$$\text{侵染率}(\%) = \frac{\sum (0 \times \text{根段数} + 10\% \times \text{根段数} + 20\% \times \text{根段数} + \dots + 100\% \times \text{根段数})}{\text{观察总根段数}}$$

1.5 AM 真菌的分离鉴定

取风干土样 100 g,湿筛倾注—蔗糖离心法分离、镜检孢子,记录孢子数和孢子分类特征。根据 Schenck 和 Perez 和 INVAM (<http://invam.caf.wvu.edu>) 的鉴定资料等对 AM 真菌孢子进行分类鉴定。

1.6 AM 真菌丰度、孢子密度、相对多度、频度、重要值、多样性指数的计算

种的丰度(SR):指植物根围 100 g 土壤中含有的 AM 真菌种数, $\text{SR} = \text{AM 真菌总种次数} / \text{土壤样本数}$ 。

孢子密度(SD):每 100 g 土样中的 AM 真菌孢子数。 $\text{SD} = \text{AM 真菌所有种的孢子数} / \text{土壤样本数}$ 。

分布频度(F): $\text{F} = \text{AM 真菌某属或种的出现次数} / \text{土壤样本数} \times 100\%$ 。

相对多度(RA): $\text{RA} = \text{该采样点 AM 真菌某属或种的孢子数} / \text{该采样点 AM 真菌总孢子数} \times 100\%$ 。

重要值(IV),即频度和相对多度的平均值: $\text{IV} = (\text{F} + \text{RA}) / 2$ 。

AM 真菌的优势度的划分本文按重要值(I)分为 4 个等级^[11],即: $\text{IV} > 50\%$ 为优势属(种), $30\% < \text{IV} \leq 50\%$ 为最常见属(种), $10\% < \text{IV} \leq 30\%$ 为常见属(种), $\text{IV} \leq 10\%$ 为稀有属(种)。

多样性采用 Shannon-Wiener 指数(H)和 Simpson 指数(D)来测度:

$$H = - \sum_{i=1}^s (P_i \times \ln P_i) ; D = 1 - \sum_{i=1}^s (P_i \times P_i)$$

其中,S 为某样地中 AM 真菌的种数, P_i 为某 AM 真菌的孢子占该样地所有孢子的百分比。

1.7 数据处理

数据经 Excel 处理后,利用 SPSS 19.0、Canoco 4.5 软件进行方差、相关性、差异性分析。

2 结果与分析

2.1 林火对 AM 真菌侵染率的影响

AM 真菌对植物的侵染率随着火灾强度的加强而降低(图 1)。除荆条的侵染率在非过火区与轻度过火区差异不显著外,其余植物在非过火区与过火区域差异显著。胡枝子的侵染率,在非过火区、轻度过火区、中度过火区和重度过火区的侵染率分别为 62.4%、43.0%、28.5%和 11.0%,差异显著;野青茅侵染率的变化表现出相同的规律。荆条在轻度过火区、中度过火区和重度过火区 AM 真菌的侵染率差异显著,而青花和花木蓝在轻度过火区、中度过火区和重度过火区 AM 真菌的侵染率差异不显著。

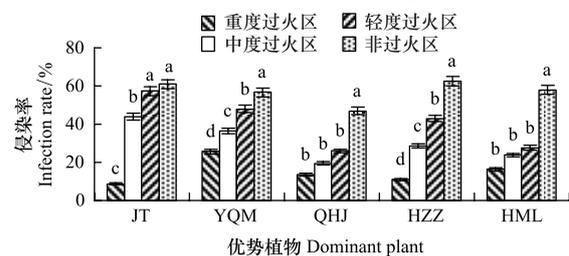


图 1 林火对 AM 真菌侵染率的影响

Fig.1 Impact of forest fire on the infection rate of AM fungi)

A, 重度过火区 Heavy burned area; B, 中度过火区 Moderate burned area; C, 轻度过火区 Light burned area; D, 非过火区 Non-burned area. JT, 荆条 *Vitex negundo*; YQM, 野青茅 *Deyeuxia arundinacea*; QHJ, 青花 *Zanthoxylum schinifolium*; HZZ, 胡枝子 *Lespedeza bicolor*; HML, 花木蓝 *Indigofera kirilowii*. 不同小写字母表示不同植物在不同过火区的差异显著($P < 0.05$)

2.2 林火对 AM 真菌种属构成的影响

过火区分离鉴定出的 AM 真菌种类少于非过火区。

非过火区土壤样品共分离鉴定出 3 属 11 种 AM 真菌,其中球囊霉属(*Glomus*)6 种,无梗囊霉属(*Acaulospora*)2 种,巨孢囊霉属(*Gigaspora*)3 种。轻度过火区分离鉴定出 AM 真菌 3 属 10 种,中度过火区分离鉴定出 AM 真菌 3 属 9 种,重度过火区分离鉴定出 AM 真菌 3 属 8 种(表 1—4)。

非过火区和过火区 AM 真菌的重要值和优势种不同。非过火区植物根围的优势种是地球囊霉(*G. geosporum*)、台湾球囊霉(*G. taiwanensis*)、分支巨孢囊霉(*Gi. ramisporophora*)、极大巨孢囊霉(*Gi. gigantean*)、福摩萨球囊霉(*G. formosanum*)、悬钩子球囊霉(*G. rubiforme*)、柯氏无梗囊霉(*A. koskei*)和松蜜无梗囊霉(*A. thomii*);轻度过火区优势种是地球囊霉和台湾球囊霉;中度过火区的优势种是台湾球囊霉(*G. taiwanensis*)和地球囊霉(野青茅除外);重度过火区的优势种是地球囊霉(表 1—4)。

表 1 非过火区植物根围分离的 AM 真菌种类及重要值

Table 1 Diversity and importance value of arbuscular mycorrhizal fungi isolated from the rhizosphere in non-burned area

AM 真菌种类 AM fungi	荆条 <i>Vitex negundo</i>	野青茅 <i>Deyeuxia arundinacea</i>	青花椒 <i>Zanthoxylum schinifolium</i>	胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i>	花木蓝 <i>Indigofera kirilowii</i>
球囊霉属 <i>Glomus</i>					
透光球囊霉 <i>G. diaphanum</i>	34.7±0.08	50.4±0.01	34.4±0.08	53.4±0.06	52.5±0.08
福摩萨球囊霉 <i>G. formosanum</i>	56.1±0.42	54.8±0.06	54.3±0.14	53.8±0.14	54.4±0.04
地球囊霉 <i>G. geosporum</i>	59.6±0.15	51.5±0.04	59.2±0.27	56.0±0.14	58.5±0.17
摩西球囊霉 <i>G. mosseae</i>	51.6±0.08	51.0±0.02	54.3±0.13	55.4±0.24	34.9±0.07
悬钩子球囊霉 <i>G. rubiforme</i>	55.3±0.28	50.7±0.04	53.8±0.13	55.3±0.24	54.3±0.10
台湾球囊霉 <i>G. taiwanensis</i>	55.7±0.24	50.7±0.03	56.4±0.12	53.1±0.09	55.4±0.04
无梗囊霉属 <i>Acaulospora</i>					
柯氏无梗囊霉 <i>A. koskei</i>	53.7±0.04	50.6±0.01	53.6±0.22	54.8±0.15	53.7±0.05
松蜜无梗囊霉 <i>A. thomii</i>	55.0±0.11	50.7±0.02	52.9±0.07	53.6±0.09	53.9±0.12
巨孢囊霉属 <i>Gigaspora</i>					
极大巨孢囊霉 <i>Gi. gigantean</i>	52.3±0.17	50.8±0.07	55.7±0.15	53.3±0.12	9.0±0.20
珠状巨孢囊霉 <i>Gi. margarita</i>	53.6±0.19	33.9±0.02	53.9±0.07	51.4±0.13	55.2±0.04
分支巨孢囊霉 <i>Gi. ramisporophora</i>	55.8±0.08	50.6±0.04	54.8±0.17	55.9±0.17	56.1±0.10

“—”表示未发现该属

表 2 轻度过火区植物根围分离的 AM 真菌种类及重要值

Table 2 Diversity and importance value of arbuscular mycorrhizal fungi isolated from the rhizosphere in light burned area

AM 真菌种类 AM fungi	荆条 <i>Vitex negundo</i>	野青茅 <i>Deyeuxia arundinacea</i>	青花椒 <i>Zanthoxylum schinifolium</i>	胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i>	花木蓝 <i>Indigofera kirilowii</i>
球囊霉属 <i>Glomus</i>					
透光球囊霉 <i>G. diaphanum</i>	—	—	—	53.3±0.08	—
福摩萨球囊霉 <i>G. formosanum</i>	55.8±0.28	55.2±0.09	36.9±0.09	53.7±0.10	38.5±0.05
地球囊霉 <i>G. geosporum</i>	60.1±0.56	60.2±0.15	44.3±0.01	60.9±0.15	59.7±0.16
摩西球囊霉 <i>G. mosseae</i>	34.4±0.09	40.3±0.07	54.5±0.09	38.9±0.13	34.8±0.10
悬钩子球囊霉 <i>G. rubiforme</i>	55.4±0.06	53.7±0.15	53.6±0.09	38.4±0.13	54.0±0.06
台湾球囊霉 <i>G. taiwanensis</i>	56.1±0.32	54.6±0.16	57.5±0.04	53.6±0.20	55.9±0.14
无梗囊霉属 <i>Acaulospora</i>					
柯氏无梗囊霉 <i>A. koskei</i>	53.8±0.10	36.7±0.15	53.9±0.14	55.0±0.30	37.0±0.16
松蜜无梗囊霉 <i>A. thomii</i>	55.2±0.15	37.5±0.11	35.3±0.10	53.1±0.08	36.5±0.08
巨孢囊霉属 <i>Gigaspora</i>					
极大巨孢囊霉 <i>Gi. gigantean</i>	35.3±0.14	21.3±0.11	55.6±0.06	36.4±0.12	54.2±0.12
珠状巨孢囊霉 <i>Gi. margarita</i>	53.8±0.26	36.4±0.08	36.9±0.14	—	39.5±0.14
分支巨孢囊霉 <i>Gi. ramisporophora</i>	56.2±0.15	54.1±0.11	54.9±0.06	56.6±0.25	56.6±0.12

表 3 中度过火区植物根围分离的 AM 真菌种类及重要值

Table 3 Diversity and importance value of arbuscular mycorrhizal fungi isolated from the rhizosphere in moderate burned area

AM 真菌种类 AM fungi	荆条 <i>Vitex negundo</i>	野青茅 <i>Deyeuxia arundinacea</i>	青花椒 <i>Zanthoxylum schinifolium</i>	胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i>	花木蓝 <i>Indigofera kirilowii</i>
球囊霉属 <i>Glomus</i>					
透光球囊霉 <i>G. diaphanum</i>	—	—	—	37.0±0.29	—
福摩萨球囊霉 <i>G. formosanum</i>	57.2±0.11	38.4±0.13	37.1±0.16	36.1±0.28	37.8±0.13
地球囊霉 <i>G. geosporum</i>	62.9±0.27	63.1±0.22	44.4±0.11	62.8±0.08	61.9±0.22
摩西球囊霉 <i>G. mosseae</i>	—	41.7±0.07	37.9±0.17	39.8±0.27	—
悬钩子球囊霉 <i>G. rubiforme</i>	57.5±0.27	36.6±0.13	52.8±0.15	38.3±0.17	37.5±0.27
台湾球囊霉 <i>G. taiwanensis</i>	57.9±0.37	38.7±0.17	59.6±0.11	53.7±0.25	57.8±0.19
无梗囊霉属 <i>Acaulospora</i>					
柯氏无梗囊霉 <i>A. koskei</i>	51.3±0.18	36.2±0.13	36.6±0.14	38.7±0.12	36.2±0.16
松蜜无梗囊霉 <i>A. thomii</i>	57.7±0.20	—	—	—	35.8±0.12
巨孢囊霉属 <i>Gigaspora</i>					
极大巨孢囊霉 <i>Gi. gigantean</i>	18.6±0.16	21.3±0.13	40.0±0.16	18.7±0.15	21.7±0.10
珠状巨孢囊霉 <i>Gi. margarita</i>	36.2±0.18	36.8±0.25	18.9±0.16	—	21.3±0.17
分支巨孢囊霉 <i>Gi. ramisporophora</i>	52.0±0.16	54.0±0.11	39.4±0.21	41.6±0.08	56.8±0.18

表 4 重度过火区植物根围分离的 AM 真菌种类及重要值

Table 4 Diversity and importance value of arbuscular mycorrhizal fungi isolated from the rhizosphere in heavy burned area

AM 真菌种类 AM fungi	荆条 <i>Vitex negundo</i>	野青茅 <i>Deyeuxia arundinacea</i>	青花椒 <i>Zanthoxylum schinifolium</i>	胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i>	花木蓝 <i>Indigofera kirilowii</i>
球囊霉属 <i>Glomus</i>					
透光球囊霉 <i>G. diaphanum</i>	—	—	—	37.3±0.33	—
福摩萨球囊霉 <i>G. formosanum</i>	40.9±0.50	22.3±0.10	37.1±0.17	39.2±0.53	37.4±0.26
地球囊霉 <i>G. geosporum</i>	64.7±0.76	62.0±0.28	62.9±0.17	65.2±0.35	62.7±0.48
摩西球囊霉 <i>G. mosseae</i>	—	41.8±0.24	36.2±0.17	38.4±0.33	—
悬钩子球囊霉 <i>G. rubiforme</i>	21.4±0.35	36.8±0.18	36.1±0.17	39.8±0.41	37.3±0.27
台湾球囊霉 <i>G. taiwanensis</i>	39.5±0.46	21.9±0.37	60.9±0.17	21.4±0.15	57.7±0.26
无梗囊霉属 <i>Acaulospora</i>					
柯氏无梗囊霉 <i>A. koskei</i>	20.4±0.26	19.1±0.22	20.4±0.17	21.4±0.15	—
松蜜无梗囊霉 <i>A. thomii</i>	37.1±0.26	—	—	—	20.0±0.43
巨孢囊霉属 <i>Gigaspora</i>					
极大巨孢囊霉 <i>Gi. gigantean</i>	—	22.7±0.63	23.5±0.29	20.7±0.33	20.7±0.27
珠状巨孢囊霉 <i>Gi. margarita</i>	37.1±0.26	—	—	—	21.6±0.27
分支巨孢囊霉 <i>Gi. ramisporophora</i>	38.9±0.51	40.0±0.09	39.3±0.34	—	59.9±0.42

2.3 林火对 AM 真菌孢子密度、种丰度和物种多样性指数的影响

随火灾强度的加强,植物根围 AM 真菌孢子密度、种丰度和 Shannon-Wiener 指数降低, Simpson 指数随着火灾强度的加强而显著降低(荆条除外)。不同样地植物根围 AM 真菌孢子密度差异显著(青花椒除外),过火区与非过火区青花椒根围 AM 真菌孢子密度差异显著。花木蓝在非过火区根围 AM 真菌孢子密度最高,为 79 个/100g 土;在轻度过火区、中度过火区、重度过火区的 AM 真菌孢子密度分别为 61 个/100g 土、39 个/100g 土、18 个/100g 土。重度过火区植物根围 AM 真菌种丰度和物种多样性指数显著低于轻度过火区和非过火区(青花椒除外),荆条在非过火区和轻度过火区 AM 真菌 Simpson 指数显著高于中度过火区和重度过火区,分别为 0.886、0.879、0.834、0.836(表 5)。

表 5 不同样地不同植物根围分离的 AM 真菌孢子密度、种丰度和物种多样性指数

Table 5 Spore density, species richness and species diversity indices of arbuscular mycorrhizal fungi isolated from the rhizosphere of different plants of different samples

植物 Plants	地点 Sites	孢子密度 Spore density	种丰度 Species richness	Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index	Simpson 指数 Simpson index
荆条 <i>Vitex negundo</i>	非过火区	67±0.78a	10.7±0.33a	2.27±0.01a	0.886±0.01a
	轻度过火区	51±0.73b	9.3±0.33ab	2.16±0.01b	0.879±0.01a
	中度过火区	32±0.56c	8.0±0.58b	2.00±0.03c	0.834±0.01b
	重度过火区	12±0.73d	5.0±0.58c	1.95±0.02c	0.836±0.01b
野青茅 <i>Deyeuxia arundinacea</i>	非过火区	73±1.09a	10.7±0.33a	0.85±0.02d	0.988±0.01a
	轻度过火区	59±0.29b	8.3±1.45ab	2.23±0.01a	0.873±0.01b
	中度过火区	39±0.33c	6.0±1.00bc	2.07±0.01b	0.855±0.01c
	重度过火区	16±0.80d	3.0±0.58c	1.98±0.01c	0.850±0.01d
青花椒 <i>Zanthoxylum schinifolium</i>	非过火区	70±0.22a	10.7±0.33a	2.30±0.01a	0.892±0.01a
	轻度过火区	53±0.44b	8.0±0.58ab	2.20±0.01b	0.877±0.01b
	中度过火区	34±0.29c	6.3±0.67b	2.07±0.01c	0.858±0.01c
	重度过火区	32±0.22c	5.3±0.33b	1.91±0.01d	0.835±0.01d
胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i>	非过火区	71±0.44a	11.0±0.33a	2.30±0.01a	0.889±0.01a
	轻度过火区	57±0.38b	9.0±0.58ab	2.21±0.01b	0.879±0.01b
	中度过火区	36±0.22c	7.0±0.58bc	2.05±0.01c	0.853±0.01c
	重度过火区	15±0.67d	4.7±0.33c	1.95±0.01d	0.835±0.01d
花木蓝 <i>Indigofera kirilowii</i>	非过火区	79±0.51a	10.7±0.33a	2.32±0.01a	0.895±0.01a
	轻度过火区	61±0.44b	8.0±0.88ab	2.21±0.01b	0.881±0.01b
	中度过火区	39±0.33c	6.0±1.00bc	2.08±0.01c	0.861±0.01c
	重度过火区	18±0.33d	5.7±0.33c	1.97±0.01d	0.845±0.01d

2.4 林火对 AM 真菌多样性与土壤因子相关性的影响

选取的 7 个环境因子对 AM 真菌群落组成均有不同程度的影响(图 2)。

非过火区植物根围的环境因子对 AM 真菌群落组成影响最大的是全氮,影响较小是碱解氮。侵染率与全氮呈极显著正相关($P<0.01$),相关系数为 0.90;AM 真菌孢子密度与 pH 值呈显著正相关($P<0.05$)。

轻度过火区植物根围的环境因子对 AM 真菌群落组成影响最大的是 pH 值,影响较小是全氮。侵染率与全磷呈极显著正相关($P<0.01$),相关系数为 0.90;AM 真菌重要值和分布频度与 pH 值呈显著负相关($P<0.05$)。

中度过火区植物根围的环境因子对 AM 真菌群落组成影响最大的是全磷,影响较小是速效钾。AM 真菌种丰度与 pH 值呈极显著负相关($P<0.01$),与全磷、速效磷呈极显著正相关($P<0.01$),相关系数分别为-0.92、0.93、0.93;AM 真菌孢子密度与 pH 值呈显著正相关,与全磷呈显著负相关($P<0.05$);AM 真菌重要值与全磷、速效磷呈显著正相关($P<0.05$),AM 真菌分布频度和相对多度与全磷、速效磷呈极显著正相关($P<0.01$)。

重度过火区植物根围的环境因子对 AM 真菌群落组成影响最大的是速效磷,影响较小是速效钾。植物根围侵染率与速效磷呈显著负相关($P<0.05$);AM 真菌种丰度与 pH 值呈极显著负相关($P<0.01$),相关系数为-0.95;AM 真菌分布频度与 pH 值呈显著负相关($P<0.05$)。

3 结论与讨论

林火作为一类自然或人为发生的干扰,通过改变土壤有机质及矿质养分、植物组成、生态系统生产力及土壤微生物等对森林生态系统的结构与功能产生深刻影响^[12]。林火直接降低植物的多样性,而地上植物群落多样性在一定程度上决定 AM 真菌的多样性,植物种类越丰富,AM 真菌物种多样性就越高^[12]。Sykorovfi

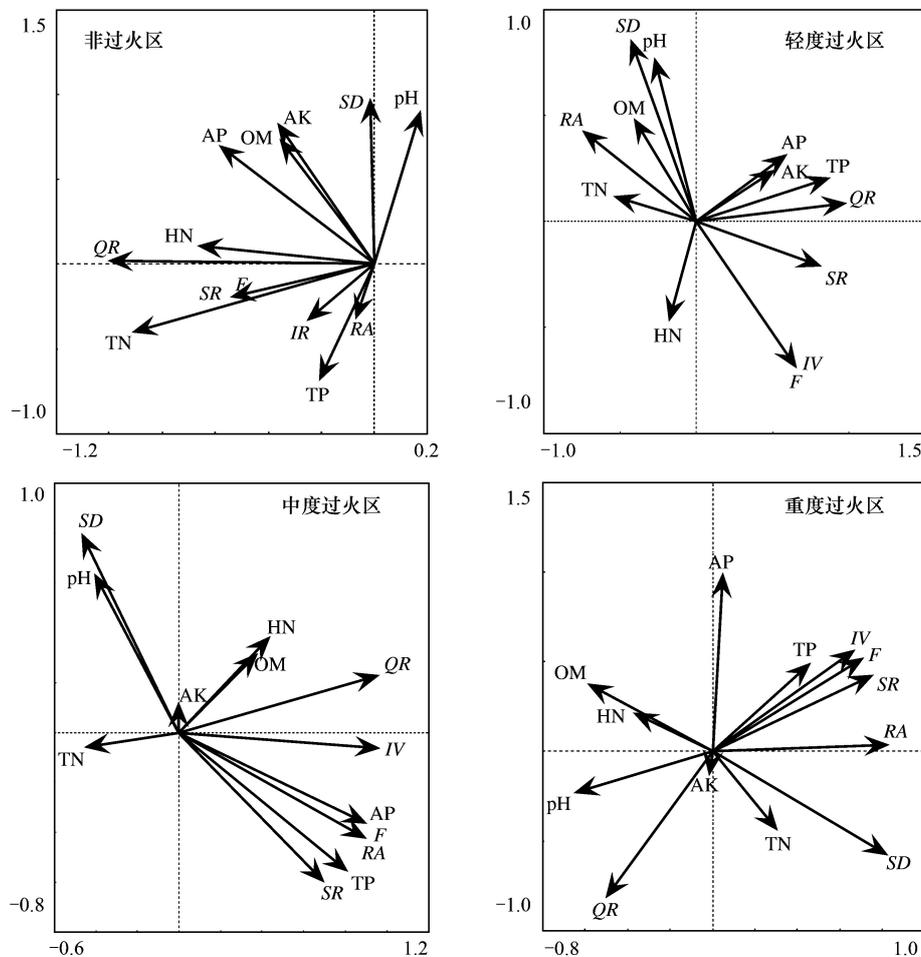


图2 不同样地环境因子与 AM 真菌群落组成的 RDA 二维排序图

Fig.2 RDA ordination diagram of the analysis of environmental factors and community composition of AM fungi isolated from different samples

AP: 速效磷, AK: 速效钾, TN: 全氮, HN: 碱解氮, OM: 有机质, TP: 全磷, QR: 侵染率, SD: 孢子密度, SR: 种丰度, IV: 重要值, F: 分布频度, RA: 相对多度

等^[13]利用分子生物学技术证实 AM 真菌群落组成受寄主植物种类的影响。例如,不同生长习性或起源、遗传背景复杂的一些多年生木本植物影响 AM 真菌的多样性。随着林火灾害的加重,植物多样性减少,AM 真菌多样性降低。重度过火区 AM 真菌物种多样性最低。林火通过加热和氧化作用引起土壤理化性质和生物环境的改变,而土壤因子影响 AM 真菌侵染率、种属组成、种丰度、分布频度以及孢子密度等;AM 真菌反过来也影响宿主植物和土壤微生物及其群落多样性^[14]。土壤 pH 值、速效 N、P、K 和有机质等因子不仅直接影响植物生长发育,也可通过宿主植物间接影响 AM 真菌生长和繁殖^[15]。

植物根围土壤 pH 值随着火灾强度的增加呈上升趋势,这主要是由于火烧后地表的枯枝落叶、活立木、活地被物等不同程度地转化成土壤灰分,并且随着雨水渗到土壤中,与土壤中的酸性物质发生反应;火灾过程中产生的高温不仅促使土壤的有机酸分解,并且放出大量的碱金属和游离的碱金属离子^[16],增加了土壤金属离子的含量,这些都使土壤的 pH 值升高。本研究发现,植物根围土壤 pH 值与 AM 真菌重要值呈负相关;除重度过火区外,其它样地植物根围土壤 pH 值与侵染率呈负相关,与 AM 真菌孢子密度呈正相关。而 AM 真菌适宜于中性—微酸性土壤,pH 值能够改变土壤中 H^+ 和 OH^- 的比例以及微生物的活动,从而影响土壤养分的有效性,进而影响 AM 真菌的产孢和孢子萌发^[17]。pH 值除了对孢子发芽和菌丝生长有直接影响外,还可通过提高土壤中的一些物质的可溶性,从而对菌根形成产生间接作用,土壤 pH 值过高或过低均不利于 AM 真

菌侵染和菌根形成^[17]。

植物根围土壤碱解氮含量在火灾后都有所增加,增加的趋势是:轻度过火区>中度过火区>重度过火区>非过火区;全氮含量随火灾强度的增强呈递趋势;除轻度过火区外,其它样地植物根围土壤碱解氮与侵染率呈正相关;除中度过火区外,其它样地植物根围土壤全氮与 AM 真菌相对多度呈正相关。主要是由于发生火灾后,土壤受到侵蚀使得土壤全氮含量减少。另外由于火烧以后,植被尚未恢复,灌木层盖度和草本层盖度较低,郁闭度小,不仅土壤受到雨水冲刷强度大,导致了土壤的营养元素流失^[18],而且光照使得地表土壤温度升高,加速了氮的矿化,使得土壤有机氮下降,而土壤有机氮占土壤全氮的 95%,从而导致土壤全氮质量分数的下降;而火烧后,地表枯枝落叶物较少,补充给土壤的有效性氮质量分数也较少^[19]。火灾后土壤表面的枯枝落叶层中的氮进入土壤,可以看出经过轻度火烧后有利于土壤碱解氮的积累,而中度火烧和重度火烧使土壤中的氮挥发,进入土壤中的少^[20]。AM 真菌与寄主植物共生,能将吸收的铵态氮、硝态氮、氨基酸和复杂有机氮素在根外菌丝转化为精氨酸,运输到根内菌丝,进一步转化为 NH_4^+ 后参与植物氮素代谢^[21]。同时,土壤碱解氮也会影响土壤 P 素的转运和释放、土壤有机质的合成和分解、土壤中其他微生物活动等。一定程度上土壤养分含量增加能提高 AM 真菌物种多样性,但含量过高或过低都会降低了 AM 真菌产孢能力,均不利于菌根生长发育^[3]。

过火区植物根围土壤有机质含量的变化趋势是:轻度过火区和中度过火区的增加,而重度过火区的降低;过火区和非过火区土壤有机质含量与 AM 真菌种丰度呈负相关;除重度过火区外,其它样地植物根围土壤有机质含量与 AM 真菌孢子密度呈正相关。中度过火区和轻度过火区短期内植物燃烧产生的灰分及燃烧不完全的植物残体输入导致土壤有机质增加,增加程度与火烧前地被可燃物载量、地上生物量及它们的元素含量有关,还与火灾强度和火烧时间有关。重度过火区的温度比较高,对下层土壤产生增温效应,使土表及表层土壤中有有机物质的氧化分解过程通过燃烧缩短到一个非常短的时间间隔,使得有机质含量降低,这与任乐等^[22]研究一致。土壤有机质对 AM 真菌的发育、侵染及其属的构成具有不同程度的影响。不同样地不同植物根围土壤有机质对 AM 真菌的物种多样性、孢子密度、种丰度、侵染率影响不同。但总体而言,在一定范围内,有机质与 AM 真菌的孢子密度、种丰度、侵染率呈正相关关系,这与王发园等^[23]的研究结果一致。

植物根围土壤速效磷、速效钾含量随着火灾强度的增强而升高;除中度过火区外,其它样地植物根围土壤速效磷与相对多度呈负相关,全磷与 AM 真菌孢子密度呈负相关;样地植物根围土壤速效磷与 AM 真菌种丰度呈正相关,全磷与 AM 真菌重要值呈正相关。有研究表明,土壤中的 K 素主要是以硅酸盐矿物质形态存在,而含钾矿物很难被植物直接吸收利用,但经火烧后灰分可补充土壤部分钾素;同时因火烧增温,破坏了矿物质,使部分非活性态的 K 素成为活性态的 K 进而提高了钾的有效性,增加了有效态钾的含量。轻度火烧后,土壤破坏不大,灰分进入土壤补充土壤营养,并使土壤营养成分升高;而中度火烧和重度火烧会使土壤全磷不同程度的下降,因为中度和重度火烧使土壤环境变化大,土壤燃烧的灰分大部分挥发、土壤磷的有效性增加、水溶性加大,导致磷的流失,很少补充到土壤之中,这样使土壤磷的含量下降;特别是火烧强度较大的火烧迹地的有效磷含量增加明显^[16]。而高磷土壤环境对 AM 真菌产孢、种丰度、菌根侵染所具有的不利影响和抑制作用,其原因可能在于高磷土壤环境中植株体内磷含量的增加所导致的根系细胞膜透性降低与根系分泌物数量下降(或分泌物成分发生变化)对 AM 真菌繁殖和菌根侵染所产生的抑制作用^[24]。

通过对火灾对土壤理化性质和 AM 真菌多样性影响的研究,筛选高效菌种,为火灾菌种资源开发利用提供依据,促进火灾后植被恢复和生态恢复。

参考文献 (References):

- [1] 李素美, 王银娇, 刘润进. 特殊生境中丛枝菌根真菌多样性. 应用生态学报, 2013, 24(11): 3325-3332.
- [2] 孙向伟, 王晓娟, 陈牧, 豆存艳, 高飞翔, 金樑. 生态环境因子对 AM 真菌孢子形成与分布的作用机制. 草业学报, 2011, 20(1): 214-221.
- [3] 张玉红, 孙铭隆, 刘彤. 林火对大兴安岭典型植被土壤理化性质的影响. 东北林业大学学报, 2012, 40(6): 41-43, 107-107.

- [4] Piotrowski J S, Morford S L, Rillig M C. Inhibition of colonization by a native arbuscular mycorrhizal fungal community via *Populus trichocarpa* litter, litter extract, and soluble phenolic compounds. *Soil Biology and Biochemistry*, 2008, 40(3): 709-717.
- [5] Pattinson G S, Hammill K A, Sutton B G, Mcgee P A. Simulated fire reduces the density of arbuscular mycorrhizal fungi at the soil surface. *Mycological Research*, 1999, 103(4): 491-496.
- [6] 盖京苹, 刘润进. 土壤因子对野生植物 AM 真菌的影响. *应用生态学报*, 2003, 14(3): 470-472.
- [7] 郭绍霞, 张玉刚, 李敏, 刘润进. 我国洛阳与菏泽牡丹主栽园区 AM 真菌多样性研究. *生物多样性*, 2007, 15(4): 425-431.
- [8] 钱伟华, 贺学礼. 荒漠生境油蒿根围 AM 真菌多样性. *生物多样性*, 2009, 17(5): 506-511.
- [9] 戴伟. 人工油松林火烧前后土壤化学性质变化的研究. *北京林业大学学报*, 1994, 16(1): 102-105.
- [10] 刘润进, 陈应龙. 菌根学. 北京: 科学出版社, 2007: 376-388.
- [11] 张英, 郭良栋, 刘润进. 都江堰地区丛枝菌根真菌多样性与生态研究. *植物生态学报*, 2003, 27(4): 537-544.
- [12] 吴丽莎, 王玉, 李敏, 丁兆堂, 刘润进. 崂山茶区茶树根围 AM 真菌多样性. *生物多样性*, 2009, 17(5): 499-505.
- [13] Sykorovfi Z, Wiemken A, Redecker D. Co-occurring *Gentiana verna* and *Gentiana acaulm* and their neighboring plants in two Swiss upper montane meadows harbor distinct arbuscular mycorrhizal fungal communities. *Applied Environmental Microbiology*, 2007, 73: 5426-5434.
- [14] 卢鑫萍, 杜茜, 闫永利, 马琨, 王占军, 蒋齐. 盐渍化土壤根际微生物群落及土壤因子对 AM 真菌的影响. *生态学报*, 2012, 32(13): 4071-4078.
- [15] 安秀娟, 贺学礼. 土壤因子对毛乌素沙地豆科植物 AM 真菌侵染的影响. *河北农业大学学报*, 2007, 30(1): 45-48.
- [16] 孔健健, 杨健. 火烧对中国东北部兴安落叶松林土壤性质和营养元素有效性的影响. *生态学杂志*, 2013, 32(11): 2837-2843.
- [17] Van Aarle I M, Olsson P A, Söderström B. Arbuscular mycorrhizal fungi respond to the substrate pH of their extraradical mycelium by altered growth and root colonization. *New Phytologist*, 2002, 155(1): 173-182.
- [18] 金海如, 蒋湘艳. AM 真菌氮代谢与运转研究新进展. *菌物学报*, 2009, 28(3): 466-471.
- [19] Gimeno-García E, Andreu V, Rubio J L. Influence of vegetation recovery on water erosion at short and medium-term after experimental fires in a Mediterranean shrubland. *Catena*, 2007, 69(2): 150-160.
- [20] 许鹏波, 屈明, 薛立. 火对森林土壤的影响. *生态学杂志*, 2013, 32(6): 1596-1606.
- [21] 李侠, 张俊伶. 丛枝菌根真菌对氮素的吸收作用和机制. *山西大同大学学报: 自然科学版*, 2008, 24(6): 75-78.
- [22] 任乐, 马秀枝, 李长生. 林火干扰对土壤性质及温室气体通量的影响. *生态学杂志*, 2014, 33(2): 502-509.
- [23] 王发园, 刘润进. 环境因子对 AM 真菌多样性的影响. *生物多样性*, 2001, 9(3): 301-305.
- [24] Chen B D, Li X L, Peter C. Two arbuscular mycorrhizal fungi colonizing maize under different phosphorus regimes in a compartment cultivation system. *Pedosphere*, 2002, 12(2): 121-130.