

4种宿主植物对根内球囊霉和摩西球囊霉的扩繁效果及菌根接种效应

张海娟¹, 芦光新^{1*}, 范月君^{2,3}, 马坤¹, 赵阳安¹

(1. 青海大学农牧学院, 青海 西宁 810016; 2. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海省寒区恢复生态学重点实验室, 青海 西宁 810008; 3. 青海农牧科技职业学院, 青海 湟源 812100)

摘要:【目的】拓宽丛枝菌根(Arbuscular mycorrhizal, AM)真菌扩繁的宿主植物范围, 推进AM真菌在退化草地生态修复中的应用进程。【方法】以阿坝垂穗披碱草(*Elymus nutans* cv. Aba)、川草2号老芒麦(*Elymus sibiricus* cv. Chuancao No 2)、北林201紫花苜蓿(*Medicago sativa* cv. Beilin201)和白三叶草(*Trifolium repens*)为宿主植物, 对根内球囊霉(*Glomus intraradices*, GI)和摩西球囊霉(*Glomus mossae*, GM)进行了扩繁, 并测定了4种宿主的菌根接种效应。【结果】4种宿主植物均能与GI和GM识别共生形成菌根, 菌根侵染率均为: 白三叶草>北林201紫花苜蓿>阿坝垂穗披碱草>川草2号老芒麦; 栽培两个月后, 用白三叶扩繁的GI组和GM组的孢子密度均最高。接种GI和GM后, 4种宿主植物的株高、生物量和叶绿素含量均不同程度增加。【结论】多年生禾本科牧草和豆科牧草均可作为扩繁根内球囊霉和摩西球囊霉的宿主植物, 以白三叶草为宿主时扩繁效果最佳。

关键词:丛枝菌根真菌; 宿主植物; 菌根侵染率; 孢子密度; 植物生长

中图分类号: S812 文献标志码: A 文章编号: 1009-5500(2023)03-0084-08

DOI: 10.13817/j.cnki.cyyep.2023.03.011



高寒草地是青藏高原最主要的生态系统, 具有支撑草牧业发展、调节气候、涵养水源和维护生物多样性等生态功能^[1-2]。然而在全球气候变化和人类活动的共同驱动下, 高寒草地遭受严重退化^[3]。补播是修复退化草地受损植被和土壤的有效措施之一^[4-6], 而禾本科牧草是目前应用于高寒草地的主要播种植物, 但是由于受高寒地区极端气候的影响, 牧草生长极不稳定, 易发生二次退化, 给退化高寒草地治理带来了难题^[7]。因此, 借助土壤微生物调控等辅助措施来促进禾本科牧草生长和抵抗力, 增加草地生态系统稳定性成为当前退化草地生态修复的必要手段^[8]。

丛枝菌根(Arbuscular mycorrhizal, AM)真菌是一种重要的共生微生物, 它能与禾本科(Graminoids)、豆科(Leguminosae)等80%以上的陆生高等植物互惠共生形成菌根^[9], 菌根在促进植物生长、提高宿主抗逆性, 优化植物群落结构以及改善土壤环境等方面发挥着重要作用, 因而被逐渐引入退化高寒草地生态恢复当中。本课题组前期的研究也已经证实, AM真菌对多年生禾本科牧草的生长具有一定的促进作用, 如能增加牧草生物量, 促进根系发育^[10-11]。因此研究AM真菌对禾本科牧草生长的影响对退化高寒草地生态修复具有重要意义。然而, AM真菌是专性活体营养微生物, 其无性繁殖具有丰富的遗传多样性^[12], 迄今不能在离体条件下纯培养, 只能通过与宿主植物共生的方式实现繁殖, 严重制约了AM真菌在退化草地生态修复等领域的应用。

AM真菌扩繁的方法有多种, 盆钵培养法和雾化培养法是目前商业化生产的主要方法^[13]。宿主植物是影响AM真菌扩繁的重要因素, 人们通常采用须根

收稿日期: 2022-06-06; 修回日期: 2022-07-13

基金项目: 青海省科技厅科技成果转化专项项目, 禾/豆混播的微生物调控及菌肥研发(2022-SF-147)

作者简介: 张海娟(1990-), 女, 青海湟中人, 博士研究生。

E-mail: 1205590222@qq.com

*通信作者。E-mail: lugx74@qq.com

系比较发达的植物作为扩繁的宿主植物,涉及豆科、禾本科和百合科(Liliaceae)等多科植物,繁殖质量因宿主植物种类而异。任玮等^[14]研究发现,玉米(*Zea mays*)是根内球囊霉(*Glomus intraradices*, GI)和摩西球囊霉(*Glomus mosseae*, GM)扩繁的最佳宿主植物。王亚军^[15]等研究表明,以红三叶草(*Trifolium pretense*)和玉米为宿主植物可以扩繁出高质量的 AM 真菌菌剂。周国英等^[16]研究认为,摩西球囊霉的最佳宿主植物是高粱(*Sorghum bicolor*)。然而,不同宿主植物对不同 AM 真菌的扩繁效果存在差异,因地制宜的选择宿主植物对于 AM 真菌在当地生态修复中的应用具有重要意义。

为此,本研究以当地退化高寒草地恢复中常用的多年生禾本科牧草阿坝垂穗披碱草(*Elymus nutans* cv. Aba)和川草 2 号老芒麦(*Elymus sibiricus* cv. Chuancao No 2)以及豆科牧草北林 201 紫花苜蓿(*Medicago sativa* cv. Beilin201)和白三叶草(*Trifolium repens*)为宿主植物,对球囊霉属(*Glomus*)的两种 AM 真菌根内球囊霉和摩西球囊霉进行了扩繁,以期基于菌

根侵染率和孢子密度来判定供试 AM 真菌的扩繁效果,并根据接种后宿主植物的株高、生物量和叶绿素的变化等指标来分析供试 AM 真菌对其生长的影响,进而为退化高寒草地生态修复中 AM 真菌的应用提供科学指导和理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

宿主植物信息见表 1。种子播种前,10% H₂O₂ 消毒 10 min,无菌水冲洗 5 次,滤纸吸干水分使用。供试 AM 真菌菌剂为长江大学吴楚教授馈赠的根内球囊霉和摩西球囊霉,用白三叶草扩繁筛选后使用,扩繁筛选后的孢子密度分别为(4.10±1)个/g 和(4.84±1)个/g。栽培基质为田间土和河沙(3:1, V/V)的混合物,经 121 °C 高压蒸汽灭菌 2 h 后用于栽培。田间土养分含量为:总氮 703 mg/kg,氨态氮 1.72 mg/kg,硝态氮 35.62 mg/kg 和有机碳 0.87%。培养盆钵为 18 cm×15 cm×13 cm(上口口径×下口径×高)的塑料花盆,用 75% 的酒精反复擦拭消毒。

表 1 宿主植物基本信息
Table1 Basic information of hosts

宿主植物	来源	发芽率/%
川草 2 号老芒麦	四川省川草生态草业科技发展有限公司	90
阿坝垂穗披碱草	四川省川草生态草业科技发展有限公司	95
白三叶草	江苏省康顺种业有限公司	92
北林 201 紫花苜蓿	甘肃酒泉圣源生态农业公司	95

1.2 试验设计

试验设置接种根内球囊霉(GI)、摩西球囊霉(GM)和不接种(Control check, CK)3 个处理,每个处理重复 3 次,每种宿主植物有 9 盆,共有 36 盆。称 400 g 灭菌基质装盆,浇 100 mL 无菌水,均匀铺撒 20 g 供试 AM 真菌菌剂^[17-19],覆灭菌基质 60 g,以 50 粒每盆的播量分别播种 4 种牧草种子,覆土 40 g,喷适量无菌水。所有操作完成后放在光照培养箱中培养,温度设为 22 °C/18 °C(光/暗,16/8 h),湿度均为 60%,光照为 4 000 lx(光/暗,16 h/8 h)。培养周期为 2 个月(2021

年 6 月 9 日至 2021 年 8 月 9 日),栽培期间每周浇 1 次 Hoagland 营养液^[20-22],每次每盆 100 mL。

1.3 测定指标与方法

菌根侵染率:试验结束后,每个处理随机取 15 株完整的植物根系(每盆为一个重复,每个重复取 5 株),抖落根际土后用水漂洗干净,剪成 1 cm 左右的根段,置于甲醛-乙酸-乙醇固定液(Formaldehyde acetic acid, FAA)中固定过夜,次日全部根系洗净后,采用台盼蓝染色法检测 4 种宿主植物的菌根侵染率^[22],并按 Biermann 等的方法计算菌根侵染率^[23],公式如下:

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

孢子密度:试验结束后,每个处理随机称取 20 g

风干后混匀的根际土,采用湿筛倾析-蔗糖离心法分

离孢子^[22],分离出来的孢子在体式显微镜下观察形态并用直接计数法计数,每个处理重复3次。

牧草生长指标:分别于栽培的第30天和第60天用直尺测定每个处理的植物株高,每盆随机测定10株,共测两次;试验结束前,用叶绿素速测仪(SPAD-502)测定每个处理的叶绿素含量,重复10次;试验结束后,每个处理随机挖取5株健康植株,表面清洗干净后用滤纸擦干,分别称取单株地上和地下生物量鲜重,每个处理重复3次。

1.4 数据分析

用Excel软件整理数据及作图,IBM SPSS 26.0

软件做单因素方差分析(One-way ANOVA),Duncan法做多重比较。

2 结果与分析

2.1 4种宿主植物根系菌根形成情况

由图1可知,4种宿主植物的根系在不接种AM真菌的处理下均无菌根侵染的迹象(图1-A),而接种根内球囊霉(图1-B)和摩西球囊霉(图1-C)的处理均能检测到孢子、泡囊和菌丝等菌根结构。

2.2 2种AM真菌对4种宿主植物的菌根侵染率

经分析,GI和GM对4种宿主植物的菌根侵染率

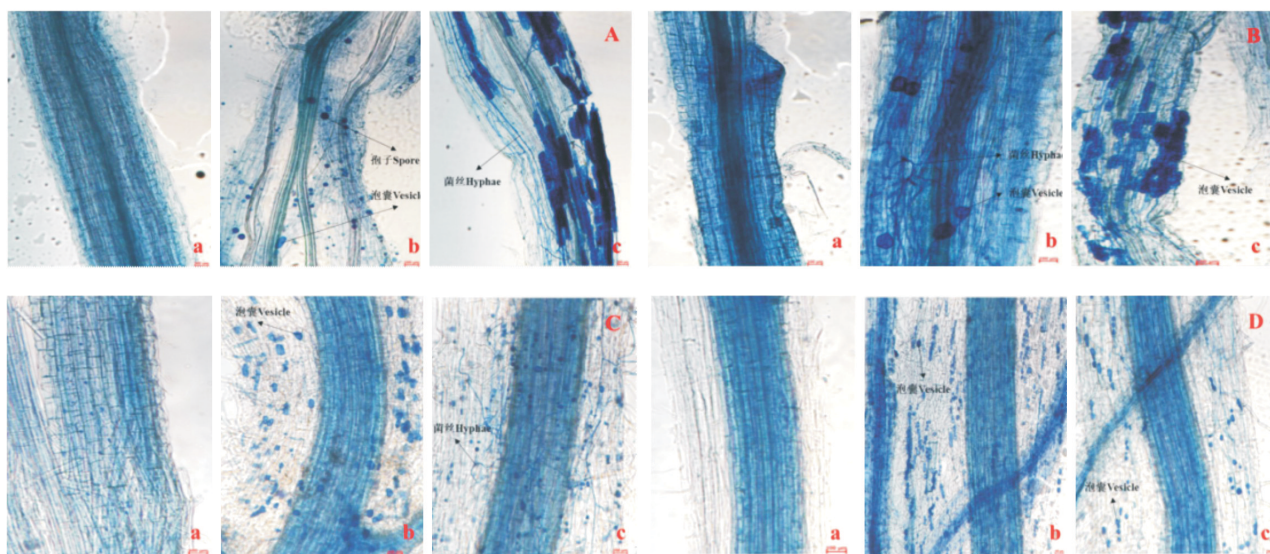


图1 4种宿主植物根系菌根形成情况

Fig. 1 Mycorrhizal formation of four host plants

注:A 白三叶草;B 北林201紫花苜蓿;C 川草2号老芒麦;D 阿坝垂穗披碱草;a 不接种;b 接种根内球囊霉;c 接种摩西球囊霉

存在差异(表2),但是菌根侵染率均为:白三叶草>北林201紫花苜蓿>阿坝垂穗披碱草>川草2号老芒麦。GI对白三叶草和北林201紫花苜蓿的菌根侵染率无显著差异,但显著高于川草2号老芒麦和阿坝垂穗披碱草($P<0.05$);对北林201紫花苜蓿和阿坝垂穗披碱草的菌根侵染率无显著差异,但显著高于川草2号老芒麦($P<0.05$)。GM对白三叶草与其余3种宿主植物的菌根侵染率之间差异均显著($P<0.05$),北林201紫花苜蓿与阿坝垂穗披碱草之间无显著差异,但均显著高于川草2号老芒麦($P<0.05$)。GM对白三叶草的菌根侵染率显著高于GI($P<0.05$),但对其余3种宿主植物的菌根侵染率之间无显著差异。

2.3 4种宿主植物对2种AM真菌的扩繁效果

直接观测计数后分析发现,不接种的CK处理均无孢子出现,而接种GI和GM的处理均能分离出孢子。接种GI和GM 2个月后,4种宿主植物根围土中的孢子密度存在差异。GI组的孢子密度依次为:白三叶草>阿坝垂穗披碱草>北林201紫花苜蓿>川草2号老芒麦,白三叶草与阿坝垂穗披碱草之间差异不显著,却显著高于北林201紫花苜蓿和川草2号老芒麦($P<0.05$)。GM组的孢子密度依次为:白三叶草>北林201紫花苜蓿>阿坝垂穗披碱草>川草2号老芒麦,北林201紫花苜蓿、阿坝垂穗披碱草和川草2号老芒麦之间无显著差异,但均显著低于白三叶草($P<0.05$)(表3)。

表 2 两种 AM 真菌对 4 种宿主植物的菌根侵染率

Table 2 Mycorrhizal infection rate of two AM fungi on four host plants

处理	菌根侵染率/%			
	白三叶草	北林 201 紫花苜蓿	川草 2 号老芒麦	阿坝垂穗披碱草
CK	0 ^c	0 ^b	0 ^b	0 ^b
GI	57.00±1.00 ^{bA}	52.67±1.53 ^{aAB}	36.00±3.00 ^{aC}	49.33±6.11 ^{aB}
GM	66.00±5.57 ^{aA}	54.00±8.19 ^{aB}	29.67±6.03 ^{aC}	42.67±3.51 ^{aB}

注:CK:不接种;GI:接种根内球囊霉;GM:接种摩西球囊霉;同列不同小写字母表示同种植物在不同处理间差异显著($P<0.05$),同行不同大写字母表示不同植物在相同处理间差异显著($P<0.05$)。下同

表 3 4 种宿主植物对两种 AM 真菌孢子密度的影响

Table 3 Effect of four hostplants on spore density of two AM fungi

处理	孢子密度/Pcs·(20 g) ⁻¹			
	白三叶草	北林 201 紫花苜蓿	川草 2 号老芒麦	阿坝垂穗披碱草
CK	0 ^b	0 ^c	0 ^c	0 ^b
GI	74.33±6.11 ^{aA}	59.00±2.00 ^{bB}	57.33±1.53 ^{aB}	65.00±14.00 ^{aAB}
GM	83.33±8.50 ^{aA}	67.33±4.16 ^{aB}	52.33±2.08 ^{bB}	59.00±12.29 ^{aB}

2.4 2 种 AM 真菌对 4 种宿主植物生长的影响

2.4.1 株高 对 4 种宿主植物分别接种 GI 和 GM 1 个月后,各处理的株高存在一定差异。与不接种的 CK 处理相比,接种 GM 能显著增加 Tr、Ms 和 Es 的株高($P<0.05$),而接种 GI 组的株高与 CK 组和 GM 组相比均无显著差异,接种 GI 或 GM 对 En 的株高均无显著影响。栽培 2 个月后,除了 En 外,各处理的株高发生了一定的变化,两种豆科牧草 Tr 和 Ms 的株高均是接种组显著高于 CK 组($P<0.05$),GI 组和 GM 组之间无显著差异。多年生禾本科牧草 Es 的株高为

GM 组显著高于 GI 组和 CK 组($P<0.05$),GI 组与 CK 组之间无显著差异(图 2)。

2.4.2 生物量 方差分析结果表明,Tr、Ms 和 Es 3 种宿主植物的单株地上部分鲜重和单株地下部分鲜重在 CK、GI 和 GM 处理间均无显著差异。然而,En 的单株地上部分鲜重则是 GM 组显著高于 CK 组($P<0.05$),地下部分鲜重为 GM 组显著高于 GI 组和 CK 组($P<0.05$)(图 3)。

2.4.3 叶绿素含量 如图 4 所示,接种 GI 和 GM 对 4 种宿主植物的叶绿素含量产生了一定的促进作用,但是与不接种的 CK 处理相比均无显著差异。

3 讨论

3.1 不同宿主植物对不同 AM 真菌的扩繁效果

宿主植物根系分泌的信号物质如无机离子和粘液等会刺激 AM 真菌孢子萌发和芽管菌丝不断生长并向宿主植物根系延伸和分枝^[24-25]。本研究对 4 种不同的宿主植物分别接种同种 AM 真菌后发现,4 种宿主植物的菌根侵染率存在差异。这可能是因为不同宿主植物根系产生的信号物质对同种 AM 真菌的刺激程度不同所致,也可能是因为不同宿主植物的菌根依赖性存在差异^[26]。很多研究者也得出了与本研究一致的结论。如杨婷等研究发现苏格兰球囊霉(*Glomus*

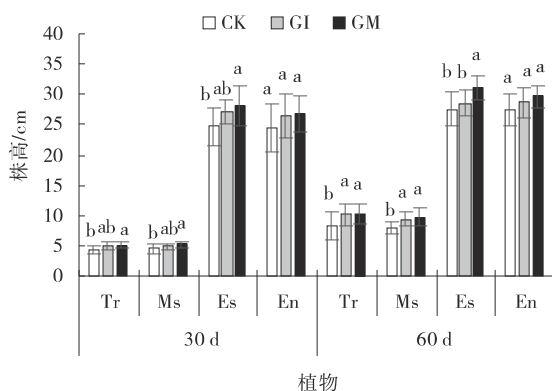


图 2 2 种 AM 真菌对 4 种宿主植物株高的影响

Fig. 2 Effects of two AM fungi on height of four hostplants

注:Tr 白三叶草;Ms 北林 201 紫花苜蓿;Es 川草 2 号老芒麦;En 阿坝垂穗披碱草;CK 不接种;GI 接种根内球囊霉;GM 接种摩西球囊霉。下同

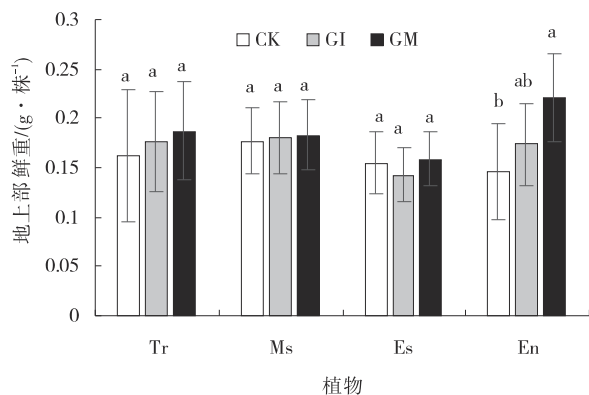


图3 2种AM真菌对4种宿主植物生物量的影响

Fig. 3 Effects of two AM fungi on biomass of four host plants

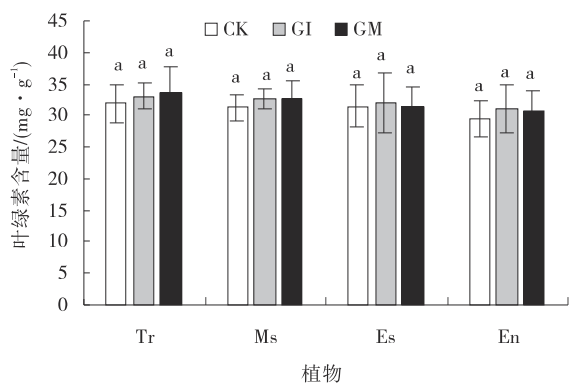
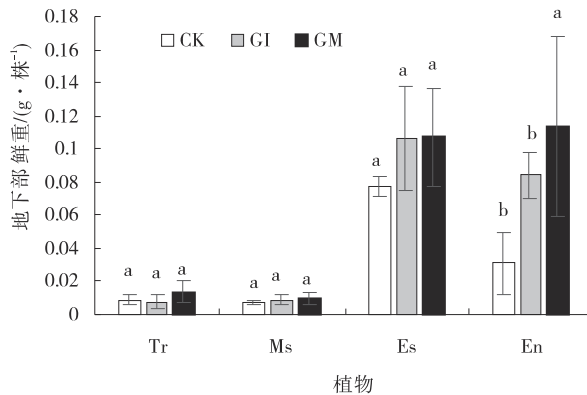


图4 2种AM真菌对4种宿主植物叶绿素含量的影响

Fig. 4 Effects of two AM fungi on chlorophyll content of four host plants

caledonium)对紫花苜蓿的菌根侵染率高于黑麦草 (*Lolium perenne*)^[27]; 宁楚涵等对芦苇 (*Phragmites communis*)和狼尾草 (*Pennisetum alopecuroides*)分别接种摩西斗管囊霉 (*Funnelformis mosseae*)后菌根侵染率为55.3%和52.7%^[28]。本研究对同种宿主植物接种不同AM真菌后菌根侵染率亦有所不同,这与很多研究者得出的结果相似。如肖雪毅等对黑麦草分别接种3种不同的AM真菌后菌根侵染率分别为2%、14%和3%^[29];马放等^[30]发现根内球囊霉和摩西球囊霉对早熟禾 (*Poa pratensis*)的菌根侵染率分别为49.49%和41.81%;贾振宇等^[31]测得摩西球囊霉和地表多抱囊霉 (*Dive versiforme*)对羊草 (*Leymus chinensis*)的菌根侵染率分别为17%和56%。这可能是因为AM真菌存在一定的宿主专一性,不同AM真菌对同种宿主植物的亲和力不同导致^[32]。

本研究以2种多年生禾本科牧草和2种豆科牧草为宿主植物分别扩繁根内球囊霉和摩西球囊霉2个月

后,各处理的孢子密度表现出差异,但其变化规律与菌根侵染率有很大的一致性,即菌根侵染率较高的处理其孢子密度也相对较大。这与很多研究者的结果相似,如龙良鲲等用白三叶等4种不同的宿主植物扩繁2种AM真菌后发现,孢子密度存在显著差异,其变化规律与根系侵染强度基本一致^[33]。穆巧梅等^[34]发现,当以紫花苜蓿为宿主植物时,孢子产量和AM真菌侵染率均最高。以上结果表明,菌根侵染率和孢子密度的影响因素相似,而筛选最适宿主植物是保证AM真菌扩繁质量的关键。

3.2 不同AM真菌对不同宿主植物生长的影响

已有研究对AM真菌促生效果的探讨结论不一致。多数研究表明,AM真菌能促进植物生长,如提高植物株高,增加生物量,增强光合能力,促进根系发育等。师艳丽等^[35]对宽叶雀稗 (*Paspalum wettsteinii*)分别接种3种不同的AM真菌后,其株高高于不接种的CK处理;徐雅梅等^[36]对垂穗披碱草接种AM真菌后,其总根长、根系总表面积、根系平均直径和根尖数均显著高于CK;高亚敏等^[37]对燕麦 (*Avenasativa*)接种AM真菌后,燕麦幼苗的株高、茎粗和叶绿素b含量等增加。谢开云等^[38]研究表明,接种AM真菌能显著增加无芒雀麦 (*Bromus inermis*)的叶绿素含量及单株地上和地下生物量干重。本研究也得出了相似的结论,即接种根内球囊霉和摩西球囊霉能增加白三叶草等4种宿主植物的株高、单株地上和地下部分鲜重,增幅因宿主植物不同而异。原因可能是不同宿主植物对不同AM真菌的菌根依赖性不同所致,同时栽培基质和培养条件等也会对宿主植物生长产生影响。但也

有研究认为接种 AM 真菌会抑制植物的某些生长指标,如潘越等^[39]和郭艳娥等^[40]研究表明,多年生黑麦草接种 AM 真菌后,黑麦草的地上和地下生物量显著低于 CK;甄莉娜等^[41]对冷蒿(*Artemisia frigida*)接种 AM 真菌后研究表明,地上部生物量、根系生物量和总生物量均显著低于对照处理。这可能是受栽培基质等因素干扰所致。以上结果表明,不同 AM 真菌对不同宿主植物的促生效应不同。

4 结论

多年生禾本科牧草阿坝垂穗披碱草和川草 2 号老芒麦以及豆科牧草白三叶草和北林 201 紫花苜蓿均可作为根内球囊霉和摩西球囊霉扩繁的宿主植物,以白三叶草为宿主时可以获得较高密度的孢子。接种根内球囊霉和摩西球囊霉可以增加白三叶草等 4 种宿主植物的株高、生物量和叶绿素含量,但增幅因宿主种类不同而表现出不同。

参考文献:

- [1] 孙建,刘国华. 青藏高原高寒草地:格局与过程[J]. 植物生态学报,2021,45(5):429—433.
- [2] Sun J, Zhou T C, Liu M, *et al.* Linkages of the Dynamics of Glaciers and Lakes with the Climate Elements over the Tibetan Plateau[J]. *Earth—Science Reviews*, 2018, 185: 308—324.
- [3] 王晓芬,马源,张格非,等. 高寒草甸退化阶段植物群落多样性与系统多功能性的联系[J]. 草地学报,2021,29(5): 1053—1060.
- [4] 周富斐,王宏,张飞宇,等. 玛曲县高寒草甸鼠害治理措施效果评价[J]. 草原与草坪,2020,40(4):80—87.
- [5] 李以康,杜岩功,张正芝,等. 种子补播恢复退化草地研究进展[J]. 草地学报,2017,25(6):1171—1177.
- [6] 陈子萱,田福平,武高林,等. 补播禾草对玛曲高寒沙化草地各经济类群地上生物量的影响[J]. 中国草地学报, 2011,33(4):58—62.
- [7] 贺金生,刘志鹏,姚拓,等. 青藏高原退化草地恢复的制约因子及修复技术[J]. 科技导报,2020,38(17):66—80.
- [8] Zhou T, Liu M, Sun J, *et al.* The Patterns and Mechanisms of Precipitation use Efficiency in Alpine Grasslands on the Tibetan Plateau[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2020, 292:106822.
- [9] 张亮,王晓娟,王强,等. 青藏高原高寒生境中丛枝菌根真菌研究进展[J]. 菌物研究,2017,15(1):58—69.
- [10] 张海娟,芦光新,范月君,等. 丛枝菌根真菌对高寒草地 6 种禾本科牧草生长的影响[J]. 草地学报,2022,30(4): 1013—1020.
- [11] 张海娟,芦光新,范月君,等. 不同染色方法对两种禾本科牧草菌根侵染率的影响[J]. 草地学报,2021,29(12): 2838—2844.
- [12] 刘延鹏, Bokyun Sohn, 王森焱,等. AM 真菌遗传多样性研究进展[J]. 生物多样性,2008,16(3):225—228.
- [13] 梁林洲,陈香,董晓英,等. 丛枝菌根真菌领域专利情报分析[J]. 植物营养与肥料学报,2020,26(12):2127—2136.
- [14] 任玮,杨韧,唐明. 不同培养基质和寄主植物对 AMF 扩繁的影响[J]. 菌物研究,2017,15(1):46—52.
- [15] 王亚军,安巍,罗青,等. 丛枝菌根真菌菌剂扩繁及菌根化枸杞育苗技术研究[J]. 北方园艺,2014(5): 139—143.
- [16] 周国英,徐海舟,晏俊,等. 不同培养条件对摩西球囊霉生长发育的影响[J]. 中南林业科技大学学报,2014,34(10):10—13+25.
- [17] Oehl F, Schneider D, Sieverding E, *et al.* Succession of Arbuscular Mycorrhizal Communities in the Foreland of the Retreating Morteratsch Glacier in the Central Alps [J]. *Pedobiologia*, 2011, 54(5—6):321—331.
- [18] 刘芳,景成旋,胡健,等. 镉污染和接种丛枝菌根真菌对紫花苜蓿生长和氮吸收的影响[J]. 草业学报,2017,26(2):69—77.
- [19] 李欢,张俊伶,王冲,等. 丛枝菌根真菌对紫花苜蓿凋落物降解的研究[J]. 草业科学,2009,26(7):40—43.
- [20] 薛峥,张昆,唐海洋,等. 营养水平对紫花苜蓿苗期根系生长的影响[J]. 草地学报,2015,23(5):951—956.
- [21] 杨鑫光,傅华,牛得草. 干旱胁迫下幼苗期霸王的生理响应[J]. 草业学报,2007,16(5):107—112.
- [22] 王幼珊,张淑彬,张美庆. 中国丛枝菌根真菌资源与种质资源[M]. 北京:中国农业出版社,2012:165—168+176.
- [23] Biermann B, Linderman R G. Quantifying vesicular mycorrhizae: A proposed method towards standardization [J]. *New Phytologist*, 1981, 87(1):63—67.
- [24] 郝晓红,索培芬,王俊,等. 丛枝菌根真菌与宿主植物识别共生的分子机制[J]. 草地学报,2012,20(5):

- 800—804.
- [25] 董昌金. 丛枝菌根真菌孢子萌发及类黄酮对丛枝菌根形成影响的研究[D]. 武汉:华中农业大学,2004.
- [26] Tawaray K, Tokairin K, Wagatuma T. Dependence of *Allium fistulosum* cultivars on the arbuscular mycorrhizal fungus, *Glomus fasciculatum* [J]. *Applied Soil Ecology*, 2001,17:119—124.
- [27] 杨婷,林先贵,胡君利,等. 丛枝菌根真菌对紫花苜蓿与黑麦草修复多环芳烃污染土壤的影响[J]. *生态与农村环境学报*,2009,25(4):72—76.
- [28] 宁楚涵,李文彬,徐启凯,等. 丛枝菌根真菌促进湿地植物对污染水体中镉的吸收[J]. *应用生态学报*,2019,30(6):2063—2071.
- [29] 肖雪毅,陈保冬,朱永官. 丛枝菌根真菌对铜尾矿上植物生长和矿质营养的影响[J]. *环境科学学报*,2006,26(2):312—317.
- [30] 马放,刘贵祥,王立,等. AMF对早熟禾建植及氮、磷截留能力的强化作用[J]. *中国给水排水*,2013,29(13):64—68.
- [31] 贾振宇,于洁,德英,等. 丛枝菌根真菌接种对羊草抗旱性的影响[J]. *干旱区资源与环境*,2017,31(1):132—136.
- [32] Klironomos J N. Variation in plant response to native and exotic arbuscular mycorrhizal fungi[J]. *Ecology*,2003,84(9):2292—2301.
- [33] 龙良鲲,姚青,羊宋贞,等. 扩繁条件对两种 AMF 菌剂接种势的影响[J]. *微生物学通报*,2007,34(2):204—207.
- [34] 穆巧梅,贺学礼,王蒙. 不同宿主植物对井陉矿区 AM 真菌繁殖的影响[J]. *河南农业科学*,2013,42(4):85—88.
- [35] 师艳丽. 离子型稀土废弃矿区 AM 真菌多样性及对宽叶雀稗氮降解能力的影响[D]. 南昌:江西理工大学,2020:29—30.
- [36] 徐雅梅,褚希彤,吴叶,等. 接种丛枝菌根真菌对低温胁迫下垂穗披碱草影响的研究[J]. *草地学报*,2016,24(5):1009—1015.
- [37] 高亚敏,罗慧琴,姚拓,等. 高寒退化草地委陵菜根围丛枝菌根菌(AMF)分离鉴定及促生效应[J]. *草业学报*,2020,29(1):145—154.
- [38] 谢开云,孙伶俐,张力文,等. 菌根真菌和根瘤菌接种对紫花苜蓿和无芒雀麦混播牧草生物量的影响[J]. *草地学报*,2021,29(1):182—188.
- [39] 郭艳娥,李应德,高萍,等. 不同磷水平下幼套球囊霉与禾草内生真菌对多年生黑麦草生长的影响[J]. *草地学报*,2018,26(6):1458—1466.
- [40] 潘越,周冀琼,郭川,等. 丛枝菌根真菌与根瘤菌对3种豆禾混播植物种间互作的影响[J]. *草地学报*,2021,29(4):644—654.
- [41] 甄莉娜,周禾,于肯明,等. 丛枝菌根真菌与磷添加对成株与幼苗间生长关系的影响[J]. *草地学报*,2015,23(4):823—829.

Propagation effect and mycorrhizal inoculation effect of 4 host plants on 2 AM fungi

ZHANG Hai-juan¹, LU Guang-xin^{1*}, FAN Yue-jun^{2,3}, MA Kun¹, ZHAO Yang-an¹

(1. College of Agriculture and Animal Husbandry, Qinghai University, Xining, Qinghai Province 810016, China; 2. Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Qinghai Provincial Key Laboratory of Restoration Ecology of Cold Area, Xining, Qinghai Province 810008, China; 3. Qinghai Agriculture and Animal Husbandry Science and Technology Vocational College, Huangyuan, Qinghai Province 812100, China)

Abstract: 【Objective】 In order to expand the host plant range for propagation of arbuscular mycorrhizal fungi, 【Method】 Perennial grasses *Elymus Nutans* 'Aba', *Elymus Sibiricus* 'Chuancao No 2' and leguminous forage *Medicago sativa* 'Beilin 201' and *Trifolium repens* were selected as host plants of *Glomus intraradices* and *Glomus Mosseae*, and effects of mycorrhizal inoculation on four hosts was measured. 【Result】 The results showed that four

host plants can be infected by both *Glomus intraradices* and *Glomus Mosseae*, and the infection rates of four host plants were *Trifolium repens* > *Medicago sativa* 'Beilin201' > *Elymus nutans* 'Aba' > *Elymus sibiricus* 'Chuancao No 2'. After two months of cultivation, the spore density of treatment propagated by *Trifolium repens* was the highest. After inoculation with *Glomus intraradices* and *Glomus Mosseae*, plant height, biomass and chlorophyll content of the four host plants were increased. 【Conclusion】 Both perennial gramineous and legume forages could be used as host plants of *Glomus intraradices* and *Glomus Mosseae*, and *Trifolium repens* was the best host for propagation.

Key words: arbuscular mycorrhizal fungi; host plant; mycorrhizal infection rate; spore density

(上接 83 页)

Physiological response and drought resistance evaluation of invasive plants *Cenchrus pauciflorus* to drought

CHEN Jia-ning¹, FENG Hai-xu^{1,2}, SU Hui¹, LUO Ya-yong³, ZHOU Li-ye^{1*}

(1. College of Agriculture, Inner Mongolia Minzu University, Tongliao 028000, China; 2. Shanxi Agricultural University, Taiyuan 030031, China; 3. Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: 【Objective】 In order to investigate the difference of physiological responses of invasive plant *Cenchrus pauciflorus* and its native associated species *Setaria viridis* to drought stress. 【Method】 The seedlings of two plants were used as the research object and PEG 6000 solution was used to simulate drought stress. Four treatment levels were set (CK, mild LD, moderate MD and severe SD) and PEG concentrations were 0%, 5%, 10% and 15%, respectively. The relative water content (RWC), chlorophyll (Ch l) content, protective enzyme, soluble protein (SP) and other physiological indexes of the two plants were determined. The comprehensive evaluation of drought resistance was carried out by membership function analysis. 【Result】 The results showed that: 1) with the increase of the degree of the drought stress, the contents of free amino acids (FAA), soluble protein (SP) and the activities of peroxidase (POD) and catalase (CAT) increased firstly and then decreased, RWC content decreased gradually, malondialdehyde (MDA) and soluble sugar (SS) contents increased continuously, The Ch l content of *Cenchrus pauciflorus* showed a decreasing trend, and that of *Setaria viridis* showed a decreasing first and then increasing trend; 2) POD activity of *C. pauciflorus* was the highest under moderate stress (224.867 U/g), and CAT activity of *S. viridis* was the highest under moderate drought stress (72.667 U/g); 3) The comprehensive evaluation of drought resistance showed that the drought resistance level of the seedlings of the two plants was basically the same. 【Conclusion】 The two plants showed different physiological characteristics to adapt to the arid habitat under drought stress. Although there were differences in physiological response, both plants had strong drought tolerance.

Key words: *Cenchrus pauciflorus*; *Setaria viridis*; drought stress; tolerance