

水分胁迫下 AM 真菌对紫花苜蓿生长及抗旱性的影响

孔 静^{1,2}, 裴宗平^{1,2}, 杜 旻^{1,2}, 孙 干^{1,2}

(1. 中国矿业大学 环境与测绘学院, 江苏 徐州 221116; 2. 江苏省资源环境信息工程重点实验室, 江苏 徐州 221116)

摘 要:以摩西球囊霉(*Glomus mosseae*)为接种菌剂,以紫花苜蓿为研究对象,利用盆栽控水法,研究了水分胁迫下接种 AM 真菌对紫花苜蓿生长状况与抗旱性的影响。结果表明:水分胁迫时,接种 AM 真菌的植株体内叶片相对含水量、脯氨酸含量和可溶糖含量显著增加,细胞膜通透性、MDA 含量和 3 种保护酶的活性明显下降;说明接种 AM 真菌可促进植物细胞渗透调节物质的累积,降低超氧自由基的产生,减缓水分胁迫对植物带来的伤害,促使植物更好地适应矿区干旱环境。

关键词:水分胁迫;AM 真菌;紫花苜蓿;抗旱性

中图分类号:Q 945.78 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)09-0179-04

水是我国西部干旱矿区植被恢复、生态重建的关键因素。干旱严重抑制植物的生长,并对植物造成一系列的伤害,甚至导致植物干枯死亡^[1]。因此,如何使植物适应干旱条件并健康生长,是近年来矿区生态修复研究的热点。AM(Arbuscular mycorrhiza)真菌是一类可与绝大多数陆地维管植物形成菌根共生体的土壤真菌^[2-3]。已有研究发现,它可以与植物相互作用,促进植物根系对土壤水分的吸收,提高植物的抗旱性,亦可改善土壤的健康状况,稳定土壤生态系统,对于干旱矿区生态系统植被恢复和重建具有重要作用^[4-5]。

紫花苜蓿(*Medicago sativa*)属多年生豆科草本植物,其根系发达,适应性广,有较强的抗旱能力,在我国栽培面积超 100 万 hm^2 。紫花苜蓿多用作牧草,也可作为煤矿复垦区的前期绿化用草,为土壤提供大量的有机物质,提高土壤肥力,改善土壤理化性状,有助于水土保持^[6]。

现以摩西球囊霉(*Glomus mosseae*)为接种菌剂,以紫花苜蓿为研究对象,利用盆栽控水法,研究不同水分条件下接种菌根真菌对紫花苜蓿生长状况及抗旱性的影响,以期干旱地区菌根技术的应用及矿区生态修复提供依据。

第一作者简介:孔静(1991-),女,山东曲阜人,硕士研究生,研究方向为矿山生态修复。E-mail:shandongkongjing@163.com.

责任作者:裴宗平(1963-),男,江苏丰县人,博士,教授,硕士生导师,现主要从事矿区生态修复与环境规划等研究工作。E-mail:peizp689@163.com.

基金项目:山西省科技重大专项资助项目(20121101008)。

收稿日期:2013-12-17

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试植物为紫花苜蓿;摩西球囊霉(BGC NM03D)菌根真菌由北京市农林科学院提供。供试土壤采自中国矿业大学南湖校区,基本理化性质为:pH(水土比为 5:1)7.7;有机质含量 1.23%;碱解氮含量 19.92 mg/kg;速效磷含量 30.58 mg/kg。供试土壤经高温高压蒸汽灭菌(121℃,2 h)后使用。试验装置为方形泡沫箱(48 cm×34 cm×20 cm),土壤过 2 mm 筛后与沸沙 1:1 混合,每箱装混合沙土 10 kg。

1.2 试验方法

试验设正常供水(土壤相对含水量 80%)和水分胁迫(土壤相对含水量为 50%)2 种土壤水分状况水平,在各水平下设置接种菌根(G+)和不接种菌根(G-)2 个处理,共 4 组处理,每个处理重复 3 次,随机排列共 12 箱。于 2013 年 5 月 25 日播种,6 月 12 日接种菌剂,每盆 40 g 穴施,对照组每盆加入等量灭菌菌剂,试验前期各组水分供应正常。8 月 25 日开始水分胁迫处理,每 20 d 测定 1 次,选取叶片大小相似、生长位置相同的叶片测定其叶绿素含量、脯氨酸含量等生理指标及其保护酶(POD、CAT、SOD)活性,连续胁迫 40 d。采用称重法始终控制对照组和试验组土壤相对含水量分别为 80%和 50%。

1.3 项目测定

菌根侵染率采用墨水醋染色法^[7]测定;叶绿素含量采用直接浸提法测定;脯氨酸含量采用磺基水杨酸法测定;丙二醛(MDA)与可溶糖含量采用双组分光度计法测定;可溶性蛋白质含量采用紫外吸收法测定;细胞膜通

透性采用电导仪法测定;植物叶片相对含水量采用烘干法测定;POD 活性采用愈创木酚法测定;CAT 活性采用紫外吸收法测定;SOD 活性采用氮蓝四唑光化还原法测定^[8]。菌根侵染率=每厘米根段真菌侵染的百分比之和/总观察根段长度×100%;菌根依赖性=(接种地下部分干重-不接种地下部分干重)/接种地下部分干重×100%。

1.4 数据分析

采用 Excel 软件对试验数据进行预处理,用 DPS 7.05 软件进行统计分析。

表 1 不同处理对紫花苜蓿生长状况和菌根侵染状况的影响

Table 1 Effect of different treatment on growth and mycorrhizal infection status of alfalfa

处理 Treatment		株高 Plant height/cm	根长 Root length/cm	地上干重 Shoot dry mass/g	地下干重 Root dry mass/g	分枝数 Branch number/个	侵染率 Infection rate/%	菌根依赖性 Mycorrhizal dependency/%
土壤相对含水量为 50%	G-	15.41±1.26c	9.82±1.40c	13.10±0.43c	1.66±0.08d	14.03±0.86c	11.15±1.10c	
50% soil relative water content	G+	19.39±1.33b	13.32±1.33b	15.75±0.78b	1.90±0.07c	17.87±0.31b	74.49±4.32a	26.67
土壤相对含水量为 80%	G-	22.46±1.87a	17.43±1.24a	20.64±1.11a	2.30±0.17b	17.53±1.59b	15.29±3.44c	
80% soil relative water content	G+	23.18±0.78a	19.88±0.83a	20.68±0.93a	2.47±0.11a	19.47±0.91a	65.49±3.78b	7.08
	S	*	**	**	**	**	*	
显著性 Significance	G	*	**	*	**	**	**	
	S×G	NS	NS	NS	NS	**	**	

注:G-:未接种菌根真菌;G+:接种摩西球囊霉。表中同一列数据后不同字母表示 5% 差异显著水平,下同。* $P<0.05$, ** $P<0.01$, NS 无显著差异,下同。

Note: G-, Unvaccinated mycorrhizal fungi; G+ *Glomus mosseae*. Different letters in the same column mean significant difference at 0.05 level. * $P<0.05$, ** $P<0.01$, NS mean no significant difference, the same below.

2.2 水分和 AM 真菌对紫花苜蓿叶片相对含水量和细胞渗透调节物质含量的影响

由表 2 可知,水分胁迫使植株叶片相对含水量降低。与之相反,植株的脯氨酸和可溶糖含量均不同程度增加,且试验后期增加更加明显。接种 AM 真菌后在试验前期对叶片相对含水量没有影响,在试验后期可显著

2 结果与分析

2.1 水分和 AM 真菌对紫花苜蓿生长量的影响

由表 1 可知,受到水分胁迫时,植株生长量显著降低,但低水分促进了菌根真菌对植株的侵染。在土壤含水量相同的情况下,接种 AM 真菌可以提高植株的侵染率、地下干重以及分枝数。AM 菌根与土壤相对含水量共同作用显著提高了植株的分枝数和侵染率,对其它生长量无显著影响。

提高叶片的相对含水量;接种 AM 真菌后,水分胁迫组植株脯氨酸和可溶糖含量有所增加,正常供水组植株脯氨酸和可溶糖含量基本无变化。AM 菌根与土壤相对含水量共同作用对植株叶片相对含水量无明显影响,对植株脯氨酸和可溶糖含量有显著影响。

表 2 不同处理对紫花苜蓿含水量和细胞渗透调节物质含量的影响

Table 2 Effect of different treatment on relative water content, osmotic regulation substances of alfalfa

处理 Treatments		相对含水量		脯氨酸含量干重		可溶性糖含量	
		Relative water content/%		Proline dry content/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}\text{DW}$		Soluble sugar content/ $\text{mmol} \cdot \text{g}^{-1}$	
		20 d	40 d	20 d	40 d	20 d	40 d
土壤相对含水量为 50%	G—	78.09±1.10b	55.40±3.04c	122.87±7.07b	320.68±8.96b	16.86±0.97b	38.85±1.83b
50% soil relative water content	G+	81.53±1.03ab	63.56±2.14b	141.07±5.52a	435.60±10.57a	25.96±0.77a	49.35±2.02a
土壤相对含水量为 80%	G—	81.83±2.30ab	81.62±1.06a	76.46±5.16c	94.88±7.15c	15.31±0.87b	19.64±2.67d
80% soil relative water content	G+	83.24±2.92a	82.72±1.55a	79.12±4.15c	95.67±3.33c	16.52±0.88b	23.29±2.35c
显著性 Significance	S	*	**	**	**	**	**

2.3 水分和 AM 真菌对紫花苜蓿细胞膜通透性、MDA 含量和叶绿素含量的影响

由表 3 可知,细胞膜通透性与 MDA 含量随土壤相

对含水量的降低而增加,干旱胁迫时间越长,降低越明显。试验前期,水分胁迫组植株叶绿素含量较高,后期正常供水的植株叶绿素含量较高。

表 3 不同处理对紫花苜蓿细胞膜通透性、丙二醛和叶绿素含量的影响

Table 3 Effect of different treatment on cell membrane permeability, MDA content and chlorophyll content of alfalfa

处理 Treatments		细胞膜通透性		丙二醛含量		叶绿素含量	
		Membrane permeability/%		MDA content/ $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$		Chlorophyll content/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$	
		20 d	40 d	20 d	40 d	20 d	40 d
土壤相对含水量为 50%	G—	8.97±0.68a	14.91±1.45a	1.77±0.08a	2.31±0.21a	3.35±0.17a	1.56±0.05b
50% soil relative water content	G+	8.59±0.56a	11.82±1.38b	1.61±0.06b	1.74±0.10b	3.16±0.10b	2.02±0.19a
土壤相对含水量为 80%	G—	6.83±0.43b	8.47±1.22c	0.83±0.04c	1.37±0.10b	2.45±0.18c	2.09±0.23a
80% soil relative water content	G+	6.76±0.83c	7.93±0.70c	0.80±0.04c	1.45±0.20b	2.53±0.14c	2.19±0.12a
	S	**	**	**	**	**	**
显著性 Significance	G	NS	**	*	**	*	**
	S×G	NS	*	NS	**	**	**

表 4

不同处理对紫花苜蓿保护酶系统的影响

Table 4 Effect of different treatment on protective enzyme system of alfalfa

处理 Treatments		过氧化氢酶活性 CAT activity		过氧化物酶活性 POD activity		超氧化物歧化酶活性 SOD activity	
		/U · g ⁻¹ FW · min ⁻¹		/U · g ⁻¹ FW · min ⁻¹		/U · g ⁻¹ FW	
		20 d	40 d	20 d	40 d	20 d	40 d
土壤相对含水量 50%	G—	89.11±3.22a	146.18±2.95a	2 510±86a	3 391±195a	103.93±3.62a	133.12±2.09a
50% soil relative water content	G+	77.26±2.46b	109.67±5.27b	1 774±41b	2 258±115b	85.13±3.68b	115.67±3.79b
土壤相对含水量 80%	G—	40.38±2.10c	50.67±1.87c	490±27c	1 559±107c	38.97±2.48c	70.65±5.18c
80% soil relative water content	G+	40.53±7.86c	56.18±2.30c	555±31c	1 187±182c	39.86±3.10c	66.43±2.32c
	S	**	**	**	**	**	**
显著性 Significance	G	*	*	*	*	*	*
	S×G	*	*	*	*	*	*

接种 AM 真菌后,水分胁迫组细胞膜通透性与 MDA 含量降低,且试验后期差距变大;正常供水组接种 AM 真菌对这 2 个指标影响不大;随胁迫时间的增加,接种 AM 真菌对植株叶绿素含量影响逐渐增加,且相对于正常供水组,其对水分胁迫组植株影响更加显著。

AM 菌根与土壤相对含水量共同作用在试验前期对细胞膜通透性与 MDA 含量无显著影响,在后期有显著影响,对叶片叶绿素含量有极显著影响。

3 讨论与结论

该试验结果表明,水分胁迫提高了菌根侵染率,在土壤相对含水量为 50% 时接种 AM 菌根可以显著提高植株的生长量,而含水量为 80% 时接种 AM 真菌对植株生长量影响不大,说明水分是影响植株生长的关键因素,AM 真菌在水分胁迫时对植物的生长影响更加显著。

具有极强亲水性的脯氨酸,能稳定原生质胶体,维持组织内代谢,可溶性糖是细胞能量的来源^[9]。水分胁迫时,二者含量在植物体内不断累积,从而降低细胞内水势,维持胞内较高的渗透压,保证细胞的正常生理功能。有关脯氨酸含量变化的研究结果不一^[10]。该试验中,受到水分胁迫的植株二者含量皆有所增加,接种 AM 真菌后增加显著。说明,接种 AM 真菌使植物主动提高了细胞内渗透调节物质含量,促进了细胞对水分的吸收,提高了植物叶片的相对含水量,减缓了水分胁迫对植株的伤害。

水分胁迫时,大量的超氧自由基在植物细胞内产生,导致活性氧过量累积^[11]。超氧自由基经再反应可生成 H₂O₂ 和 O₂,或生成氧化活性更强的羟基自由基^[12],攻击植物细胞的膜系统,导致细胞膜渗透性增大,内容物外渗;细胞内活性氧积累,诱发膜脂过氧化作用,导致细胞内 MDA 含量上升。

植物本身内部有一套保护酶系统,主要由 SOD、CAT 与 POD 组成,用来平衡细胞内超氧自由基的含量,其中起关键作用的是 SOD。SOD 可以催化超氧自由基发生歧化作用,使其生成过氧化氢以达到消除的目的,CAT 与 POD 能够清除植物体内产生的 H₂O₂,并且利用 H₂O₂ 来催化分解对植物自身有毒害物质,维持自身的正常代谢^[13]。试验结果表明,土壤相对含水量较低时,接种 AM 真菌的植株其细胞膜通透性、MDA 含量均小于未接种植株,3 种保护酶含量也均小于未接种植株,这与刘盛林等^[14]对甘草的研究基本一致。说明接种 AM 真菌,促进了植物细

胞内渗透调节物质含量的提高,增强了植物对水分的吸收,从而减少了超氧自由基的产生,减缓了植株受到的伤害,使植株在较低活性的保护酶作用下仍能维持正常的代谢,从而提高了紫花苜蓿的耐受性。

植物的生长发育不仅受到水分变化的影响,也受到周围环境及自身生长状况的调节。试验中,植株的叶绿素含量变化较大。试验前期,土壤相对含水量较低且未接种的植株叶绿素含量最高,而到试验后期,此处理叶绿素含量最低。说明 AM 真菌对紫花苜蓿的调节作用也受到试验时间长度的影响。

逆境下植物得以生存,与其自身渗透调节物质的积累和抗氧化能力的提高息息相关^[15]。该试验结果表明,土壤相对含水量和接种 AM 真菌对紫花苜蓿生长发育状况及抗旱性有交互作用,水分胁迫严重抑制了植株的生长发育,改变了植物的代谢状况;接种菌根可促进植株细胞内渗透调节物质如脯氨酸、可溶性糖的累积,降低细胞内水势,维持胞内较高的渗透压,从而减少了植物体内超氧自由基的产生,降低细胞膜通透性,减少植株体内 MDA 的累积,改善植株的生理活动,减缓胁迫给植物带来的伤害,促使其更好地适应干旱环境。因此,接种 AM 真菌可以提高植物抗旱性,这为干旱矿区生态修复提供了可行方法。

参考文献

- [1] 王立,贾文奇,马放,等.菌根技术在环境修复领域中的应用及展望[J].生态环境学报,2010,19(2):487-493.
- [2] Bolandnaza S, Aliasgarzad N, Neishabur M R. Mycorrhizal colonization improves onion (*Allium cepa* L.) yield and water use efficiency under water deficit condition[J]. Scientia Horticulturae, 2007, 114: 11-15.
- [3] 刘润进,陈应龙.菌根学[M].北京:科学出版社,2007.
- [4] Hartnen D C, Wilson G W T. Mycorrhiza influence plant community structure and diversity in tall grass prairie[J]. Ecology, 1999, 80(4): 1187-1195.
- [5] Klironomos J N, McCune J, Hart M, et al. The influence of arbuscular mycorrhizae on the relationship between plant diversity and productivity[J]. Ecology Letters, 2000(3): 137-141.
- [6] 元炳成.紫花苜蓿改良盐渍土对土壤微生物和养分含量的影响[J].生态环境学报,2011,20(3):415-419.
- [7] 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,2007.
- [8] 李合生.植物生理生化实验原理与技术[M].北京:高等教育出版社,2001.
- [9] 郭辉娟,贺学礼.水分胁迫下 AM 真菌对沙打旺生长和抗旱性的影响[J].生态学报,2010,30(27):5933-5940.

氮肥用量对温室草莓生理特性的影响

王学林¹, 彭晓丹¹, 韩秀君², 杨再强¹, 孙 擎¹, 赵 翔¹

(1. 南京信息工程大学 江苏省农业气象重点实验室, 江苏 南京 210044; 2. 沈阳中心气象台, 辽宁 沈阳 110016)

摘 要:以草莓品种“丰香”为试材,研究了温室栽培条件下,0、40、80、120 mg/kg不同土壤氮素水平对草莓果实发育阶段叶片的光合色素、最大光合速率、硝酸还原酶活性和可溶性蛋白质含量的影响,以期为设施草莓土壤氮素管理提供参考依据。结果表明:在花期和坐果期,草莓叶片叶绿素含量、最大光合速率、硝酸还原酶活性和可溶性蛋白质含量随氮素水平的增加而增加,以120 mg/kg 氮素处理促进作用最强;在果实膨大期、果实转色期和成熟期,草莓叶片叶绿素含量、最大光合速率、硝酸还原酶活性和可溶性蛋白质含量随氮素水平增加呈先增加后减小趋势,以80 mg/kg氮素处理促进作用最强。

关键词:设施草莓;氮素水平;生理特性

中图分类号:S 668.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)09-0182-04

草莓(*Fragaria ananassa* Duch.)属蔷薇科草莓属多年生草本植物,在世界小浆果生产中栽培面积和产量均

居世界首位。草莓以其柔软多汁、营养丰富而著称,尤其含有大量的维生素,素有“水果皇后”的美称^[1]。

植物生长需要多种营养元素,而以氮素最为重要,比其它营养元素更能限制植物的生产力^[2-4]。氮素对植物生理代谢和生长发育具有重要作用,氮素既是蛋白质、核酸、磷脂的主要成分,又是原生质、细胞核和生物膜的重要组成部分,通常被称为生命元素^[5]。国内外关于氮肥对作物的影响已有相关报道。夏彦辉等^[6]研究表明,适量的氮肥可促进莴苣产量,提高产品品质,使莴苣的可溶性糖和维生素C含量显著增加;但超过一定施氮量则对植株生长产生抑制作用。不同氮素水平会影

第一作者简介:王学林(1986-),男,硕士研究生,现主要从事农业气象灾害等研究工作。E-mail: wangxuelin19860104@163.com.

责任作者:杨再强(1967-),男,四川安岳人,博士,教授,博士生导师,现主要从事设施作物环境调控等研究工作。E-mail: yzq@nuist.edu.cn.

基金项目:国家公益性行业(气象)科研专项资助项目(GY-HY201206024;GYHY201006028);江苏省科技支撑计划资助项目(社会发展)(BE2010734)。

收稿日期:2013-12-28

[10] 贺学礼,高露,赵丽莉.水分胁迫下丛枝菌根 AM 真菌对民勤绢蒿生长与抗旱性的影响[J].生态学报,2011,31(4):1029-1037.

[11] 余玲,王彦荣,Garnett T,等.紫花苜蓿不同品种对干旱胁迫的生理响应[J].草业学报,2006,15(3):75-85.

[12] 包爱科,杜宝强,王锁民.紫花苜蓿耐盐、抗旱生理机制研究进展[J].草业科学,2011,28(9):1700-1705.

[13] 桂枝,高建明.盐胁迫对6个苜蓿品种脯氨酸含量和超氧化物歧化

酶活性的影响[J].天津农学院学报,2007,14(4):18-21.

[14] 刘盛林,贺学礼.水分胁迫下 AM 真菌对甘草生长的影响[J].核农学报,2009,23(4):692-696.

[15] 韩冰,贺超兴,郭世荣,等.丛枝菌根真菌对盐胁迫下黄瓜幼苗渗透调节物质含量和抗氧化酶活性的影响[J].西北植物学报,2011,31(2):2492-2497.

Effects of AM Fungi on Alfalfa Growth and Drought Resistance Under Water Stress

KONG Jing^{1,2}, PEI Zong-ping^{1,2}, DU Min^{1,2}, SUN Gan^{1,2}

(1. School of Environmental and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, Xuzhou, Jiangsu 221116; 2. Jiangsu Key Laboratory of Resources and Environmental Information Engineering, Xuzhou, Jiangsu 221116)

Abstract: Taking *Glomus hosseae* as microbial inoculum, taking alfalfa as research object, the effects of AM fungi on alfalfa growth and drought resistance were studied by pot experiment under different water conditions. The results showed that when the soil relative water content was 40%, the plant leaf relative water content, proline content and soluble sugar content increased significantly after the vaccination of AM fungi, the cell membrane permeability, MDA content and three kinds of protective enzyme activities decreased obviously. Inoculation of AM fungi could promote the accumulation of plant cell osmotic regulation substances content, reduced the super oxygen free radicals, reduced the damage to the plant water stress, prompting them to better adapt to mining area drought environment.

Key words: water stress; AM fungi; alfalfa; drought resistance