

接种丛枝菌根对玉米生长与抗旱性的影响

张延旭¹, 毕银丽¹, 裘浪¹, 郝艳晓², 邓穆彪¹, 洪天才¹, 于森¹

(1. 中国矿业大学(北京) 地球科学与测绘工程学院, 北京 100083;
2. 北京中显一水环境工程技术开发有限公司, 北京 100012)

摘要: 采用盆栽试验,研究了水分胁迫下接种丛枝菌根真菌对玉米生长及其抗旱性的影响。结果表明:玉米与丛枝菌根可形成良好的共生关系,接种丛枝菌根显著提高了玉米生物量、株高、地径。与未接菌相比,接菌提高了植株水分利用效率,水分胁迫和正常供水条件下,较对照分别提高 117%和 24.6%。接菌后玉米叶片 SPAD 值和可溶性蛋白含量增加,叶片过氧化氢酶活性增强。同时,接种菌根显著降低了植株叶片脯氨酸、丙二醛含量,干旱胁迫和正常供水条件下,较未接菌处理分别降低了 14.1%、18.9%和 59%、69%。由此可见,接种丛枝菌根真菌能够促进玉米的生长,缓解干旱胁迫对玉米生长造成的不利影响,提高了玉米的抗旱性。

关键词: 丛枝菌根真菌;玉米;干旱胁迫;抗旱性
中图分类号: S144 **文献标志码:** A

Influence of mycorrhiza on the growth and drought resistance of maize

ZHANG Yan-xu¹, BI Yin-li¹, QIU Lang¹, HAO Yan-xiao², DENG Mu-biao¹, HONG Tian-cai¹, YU Miao¹

(1. School of Geoscience and Surveying Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China;
2. Beijing Zhongyuyishui Environmental Engineering Technologies Co., Ltd., Beijing 100012, China)

Abstract: A pot experiment was conducted in this research to study the influence of mycorrhiza on maize growth and its drought tolerance under water stress. The results indicated that good symbiosis could be formed between maize and arbuscular mycorrhizal, and the inoculation of arbuscular mycorrhizal significantly improved maize biomass, plant height, and ground diameter. Compared with non-mycorrhizal plants, the inoculation under drought stress and normal water supply increased plant water use efficiency by 117% and 24.6%, respectively. The SPAD value and soluble protein contents in maize with inoculation were also increased. In addition, the inoculation was favorable for the increase of plant catalase activity. Meanwhile, mycorrhizal inoculation significantly reduced proline and malondialdehyde contents in leaf by 14.1% and 18.9% respectively under drought stress, and 59% and 69% respectively with normal water supply. In conclusion, arbuscular mycorrhizal fungi could promote the growth of maize, relieve the adverse impact of drought stress on maize growth, and improve the drought resistance capability of maize.

Keywords: arbuscular mycorrhiza fungi; maize; drought stress; drought resistance

干旱是一个长期存在的世界性问题,世界总耕地面积的 43%处于干旱和半干旱地区,在其它许多地区,作物也常因受到周期性或难以预期的干旱威胁而减产^[1]。目前我国有三分之一以上的地区为干旱或半干旱地区,干旱成为农业发展和高产优质的限制因子之一^[2]。玉米是全世界广泛种植的主要粮食作物之一,但是其对水分胁迫较为敏感,气候的旱与涝直接影响着玉米的产量^[3]。合理的水分管理是发展旱地农业的核心,如何提高作物对水分的利用效率,增强其抗旱性,是干旱半干旱地区农业理论研究和生产实践中需要解决的重要课题^[4]。

丛枝菌根真菌 (Arbuscular Mycorrhiza Fungi, AMF)广泛分布于自然界和农业生态系统中,能与 80%以上高等植物形成丛枝菌根共生体。接种 AMF 能够促进宿主植物生长发育,改善水分代谢和矿质营养的吸收利用,提高作物产量和产品品质,增

收稿日期: 2014-05-28
基金项目: 863 计划(2013AA102904); 十二五科技支撑计划—晋陕蒙接壤区煤炭基地生态建设关键技术与示范(2012BAC10B03); 中央高校基本科研基金项目(2009KD01)
作者简介: 张延旭(1984—),男,山东兖州人,博士生,研究方向为矿区环境治理和生态重建。E-mail: zhangyanxu911@163.com。
通信作者: 毕银丽(1971—),女,陕西西脂人,博士,教授,博士生导师,研究方向为微生物在矿区生态重建中的应用。E-mail: ylb88@126.com。

强作物的抗逆性^[5-8]。近年来,利用菌根生物技术提高宿主在干旱环境中的成活率和生产力已成为研究的热点领域。基于此,本试验以玉米为试材,研究正常供水和干旱胁迫下接种丛枝菌根真菌对玉米生长和抗旱性的影响,以便为充分利用丛枝菌根真菌资源和菌根生物技术提高玉米生物量,促进农业生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

所用玉米种子为从中国农科院种子公司购买的糯玉 2 号。所用菌剂为本实验室扩繁的根内球囊霉菌(*Glomus intraradices*, Gi.)。供试基质为沙土。

1.2 试验方法

实验设接种菌根(+M)和不接种菌根(CK),正常供水(+W)和中度干旱胁迫(-W)共 2 个因子 4 个处理,每个处理重复 3 次。盆栽试验于 2013 年 8 月在中国矿业大学(北京)玻璃温室内进行。栽种玉米的塑料盆规格为:12 cm(高),14.5 cm(盆口直径),10 cm(盆底直径),基质在装盆前经高温高压蒸汽灭菌(121℃,2 h),风干。每盆加土量为 1.5 kg,接种处理每盆施菌剂 50 g,对照处理加同等质量的灭菌菌剂。种植玉米前向土壤加入 NH₄NO₃、KH₂PO₄、K₂SO₄ 配置营养液底肥,使供试土壤中 N、P、K 含量分别为 100,20,150 mg·kg⁻¹。浇水达到最大饱和持水量,水分平衡后,播种。将玉米种子用 10% H₂O₂ 溶液浸泡 10 min 做表面消毒,再用去离子水清洗数次,每个小盆播种 5 粒玉米种子,玉米出苗后间苗,每盆保持 1 株。利用称重法控制浇水量,干旱胁迫浇水量为土壤最大持水量的 55% 左右(中度干旱)。正常供水组每盆土壤含水量维持在最大持水量的

75%~80% 内。

1.3 测定指标及方法

于玉米生长 60 天测定玉米株高、地径,叶色值(SPAD)采用 SPAD-502 叶绿素仪测定。分别收割玉米地上和地下部分,用自来水清洗根系附着的泥土,同时将植物地上部分和根系分开,在 105℃ 烘箱内杀青 20 min,然后放到 80℃ 烘箱内直至烘干。分别称量每盆玉米的地上部分和根系的干质量^[9-10]。

菌根侵染率采用 Phillips 等的方法测定^[11],植株形态学指标采用测量法测定。脯氨酸测定采用磺基水杨酸法,丙二醛采用三氯乙酸-巴比妥酸法,过氧化氢酶测定采用分光光度计法,可溶性蛋白用考马斯亮蓝法测定^[12-13]。

相关公式如下^[14]:

$$\text{菌根侵染率} = \text{感染根段数} / \text{总根段数} \times 100\%$$

$$\text{菌根依赖性}(\%) = \text{接种处理干重} / \text{不接种处理干重} \times 100$$

2 结果与分析

2.1 侵染率与植株生长

由表 1 可知,植株在遭受干旱逆境条件时生长受到抑制,植株生长迟缓。无论正常供水还是干旱条件下,接种丛枝菌根均增加了植株地上、地下生物量,且接菌增加了植株根冠比,植株株高、地径等亦高于未接菌组。与正常供水处理相比,干旱条件下植株对菌根的依赖性增强,说明在干旱逆境条件下,丛枝菌根对玉米生长起到了重要的促进作用。干旱胁迫下接菌组菌根侵染率下降,说明干旱胁迫对丛枝菌根自身也产生了一定的影响,抑制了其对玉米根系的侵染。

表 1 接种菌根对玉米生长的影响
Table 1 Effects of different treatments on the growth of maize

水分条件 Moisture condition	处理 Treatment	株高 Height /cm	地径 Ground diameter /mm	侵染率 Infection rate /%	地上干重 Shoot dry weight /g	地下干重 Root dry weight /g	根冠比 Root-shoot ratio /%	菌根依赖性 Mycorrhizal dependency /%
- W	+ M	45.0b	10.2a	74.44a	3.00c	1.54c	51.3	—
	CK	34.7c	7.1b	0b	1.41d	0.52d	36.9	157.5
+ W	+ M	64.3a	11.1a	92.22a	8.27a	4.79a	57.9	—
	CK	44.3b	9.6ab	0b	6.17b	3.49b	56.6	126.0

2.2 接菌对植株叶片 SPAD 值、可溶性蛋白的影响

SPAD 值能够较好地反映植株叶绿素含量,叶绿素含量高低在一定程度上决定着光合速率的大小^[15]。由图 1 可知,干旱胁迫导致植株叶片 SPAD

值降低,平均比正常供水降低 13.5%。接种丛枝菌根玉米叶片 SPAD 值均高于未接菌,相同控制水分条件下接菌组增幅分别为 7.8% 和 19.2%,且均达到显著差异。同时,干旱胁迫下接菌处理 SPAD 值

略高于正常供水处理对照,说明接种菌根一定程度上可缓解干旱胁迫对叶片叶绿素含量的影响,有利

于植物干旱逆境下的生长。

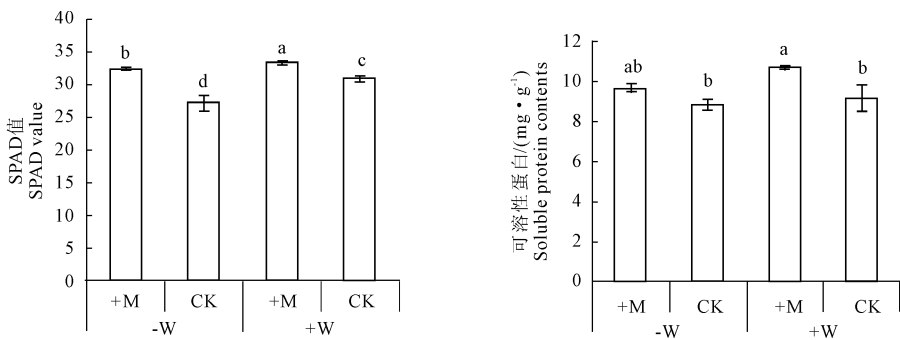


图 1 不同处理对玉米叶片 SPAD 值、可溶性蛋白的影响
Fig.1 Effects of different treatments on the SPAD values and soluble protein contents

植物可溶性蛋白是植株代谢的重要组成部分。图 1 可知,干旱胁迫下植株叶片的可溶性蛋白积累量低于正常供水处理。接种丛枝菌根后,植株叶片可溶性蛋白含量增加,均高于相应水分条件未接菌组,且干旱胁迫接菌处理略高于正常供水处理未接菌组。接菌后可显著缓解干旱胁迫造成的可溶性蛋白分解。这对植株在正常或逆境条件下完成自身体内新陈代谢具有重要意义。

2.3 接菌对植株脯氨酸、丙二醛及过氧化氢酶的影响

脯氨酸(Pro)是目前所知分布最广的渗透保护物质,在逆境胁迫条件下,植物通过提高体内脯氨酸的含量调节渗透平衡,从而保护细胞的结构,很多实验证明脯氨酸的累积与植物对环境胁迫的耐受能力正相关^[16]。干旱胁迫下,玉米叶片脯氨酸含量显著高于正常供水条件。未接菌玉米叶片脯氨酸含量高达 14.36 μg·g⁻¹,而接种菌根可显著降低其体内脯氨酸的积累,降幅达到 14.1%。正常供水条件下其脯氨酸含量也表现为接菌<未接菌,降低了18.9%,且均表现为差异显著($P<0.05$)。

丙二醛(MDA)是膜脂过氧化作用的最终产物,其含量的多少能反映细胞膜脂过氧化强弱程度^[17]。由表 2 看出,干旱胁迫下玉米叶片的丙二醛增加,在干旱胁迫和正常供水条件下,接菌均显著降低了植株叶片内丙二醛的积累,较不接菌处理分别降低了 59%和 69%。膜质过氧化速度减慢,从而减轻了水分胁迫对玉米叶片膜质系统的损伤。同时由表 2 可以看出,接种菌根能够增加植株叶片过氧化氢酶活性,干旱和正常供水条件下分别提高 163.2%、90.2%,酶活性的增强消除了玉米叶片内的超氧自由基,这就能够大大提高玉米叶片对不利环境的适应能力。

表 2 接菌对植株叶片生理指标的影响

Table 2 Effects of different treatments on plant leaf physiological indexes

水分状况 Moisture condition	处理 Treatment	脯氨酸 Pro /(μg·g ⁻¹)	丙二醛 MDA /(μmol·g ⁻¹)	过氧化氢酶 CAT /(U·min ⁻¹ ·g ⁻¹)
- W	+ M	12.34b	55.40b	1641.03b
	CK	14.36a	135.63a	623.59d
+ W	+ M	9.75c	14.63c	1903.59a
	CK	11.59b	47.4b	1001.03c

2.4 不同处理植株水分利用效率

植物水分利用效率取决于植株耗水量和其干物质积累量。表 3 所示为不同处理植株生育期总耗水量及水分利用情况。无论是在干旱胁迫还是正常供水条件下,接菌处理植株水分利用系数均显著高于相应水分的对照处理,分别提高 117%和 24.6%。接菌提高了植株水分利用效率,尤其是在干旱胁迫环境下这种作用更为突出,这对于干旱地区农业的节水具有重要意义。

表 3 不同处理植株生育期耗水量及水分利用系数

Table 3 Total water consumptions and water utilization coefficients with different treats

水分状况 Moisture condition	处理 Treatment	总干重 Biomass dry weight /mg	生育期耗 水量 The total water consumption /ml	植株水分 利用系数 Water utilization coefficient /(mg·ml ⁻¹)
- W	+ M	4540c	2681a	1.69d
	CK	1930d	2488b	0.78c
+ W	+ M	130600a	4283c	3.04a
	CK	9660b	3960c	2.44b

3 讨 论

干旱是影响植物生长发育最主要的逆境因子,

对作物产量及产品质量均有较大影响。本实验证实了丛枝菌根对植株生长的促进作用,接菌处理的玉米植株株高、地径和植株地上、地下生物量均高于未接菌处理。这可能是由于接种菌根后,菌根结构的形成产生了大量的菌丝,扩大了根系的吸收面积,从而有利于对矿质养分和土壤水分的吸收,促进了植株生物量的增加^[18]。

叶绿素含量的多少能够影响植物的光合作用,从而影响植株的有机物质的积累。已有研究表明,干旱胁迫会造成植株叶片中叶绿素含量降低^[19]。而玉米接种菌根真菌后,促进了叶绿素合成,叶片 SPAD 值无论是在干旱胁迫还是正常供水条件下均显著提高,有利于叶片光合作用的进行。有研究表明,干旱胁迫会影响植物中蛋白质的合成,降低植株叶片内可溶性蛋白含量,且胁迫时间越长表现越为明显^[20]。接种丛枝菌根后可促进叶片可溶性蛋白含量增加,从而保证了植物叶片正常酶代谢活动。

植物在干旱胁迫下,其体内会产生过量的活性氧,若不及时清除会造成氧化胁迫,引起膜脂过氧化,导致膜系统受到破坏^[21]。植株体内形成了一套活性氧的清除体系,可以清除植物体内产生的活性氧,如 O_2^- , $\cdot OH$ 和 H_2O_2 ,干旱胁迫下植株体内活性氧的产生与清除平衡状态遭到了破坏,活性氧大量积累,膜脂过氧化作用加剧,引起膜脂过氧化物产物(MDA)增加,降低叶片光合能力^[22]。本研究表明,接种丛枝菌根后,叶片脯氨酸和丙二醛含量下降,过氧化氢酶活性增加,从而减轻了干旱对玉米叶片过氧化膜质的伤害。

综上所述,丛枝菌根真菌由于其自身的结构和功能可与玉米建立良好的共生关系,对玉米的生长具有一定的促生作用,能改善植物的水分状况,显著提高了植物的水分利用效率和抗旱能力。

参 考 文 献:

[1] 齐 健,宋凤斌,韩希英,等.干旱胁迫下玉米苗期根系和光合生理特性的研究[J].吉林农业大学学报,2007,(3):9-14.
[2] 吴强盛,夏仁学,胡利明.土壤未灭菌条件下丛枝菌根对枳实生苗生长和抗旱性的影响[J].果树学报,2004,(4):315-318.
[3] 张艳霞,沙 伟,徐忠文.干旱胁迫对玉米幼苗生理特性的影响

[J].种子,2007,(6):41-43.
[4] 毕银丽,李晓林,丁保健.水分胁迫条件下接种菌根对玉米抗旱性的影响[J].干旱地区农业研究,2003,21(2):11-16.
[5] 夏建国,李 静.利用丛枝菌根真菌(AMF)提高植物抗旱性的研究进展[J].中国农学通报,2005,(2):326-329.
[6] 杨振寅,廖声熙.丛枝菌根对植物抗性的影响研究进展[J].世界林业研究,2005,(2):26-29.
[7] 田 蜜,陈应龙,李 敏,等.丛枝菌根结构与功能研究进展[J].应用生态学报,2013,(8):2369-2376.
[8] 张 燕,李 娟,姚 青,等.丛枝菌根真菌对水分胁迫下枇杷实生苗生长和养分吸收的影响[J].园艺学报,2012,(4):757-762.
[9] 耿 彬,徐礼根,唐建军,等.两种土壤基质条件下鸡眼草对水分胁迫和丛枝菌根真菌的响应[J].科技通报,2008,(3):315-319,378.
[10] 李少朋,毕银丽,陈皓圳,等.干旱胁迫下 AM 真菌对矿区土壤改良与玉米生长的影响[J].生态学报,2013,(13):298-305.
[11] Phillips J M, Hayman D S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular - arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection[J]. Transactions of the British Mycological Society, 1970,55:158-161.
[12] 陆文静,李奕松.植物生理学实验教程[M].北京:中国林业出版社,2012.
[13] 蔡庆生.植物生理学实验[M].北京:中国农业大学出版社,2013.
[14] 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,(4):1029-1037.
[15] 黄承建,赵思毅,王龙昌,等.干旱胁迫对苧麻叶绿素含量的影响[J].中国麻业科学,2012,(5):208-212.
[16] 全先庆,张渝洁,单 雷,等.脯氨酸在植物生长和非生物胁迫耐受中的作用[J].生物技术通讯,2007,(1):166-169.
[17] 秦子娴,朱 敏,郭 涛.干旱胁迫下丛枝菌根真菌对玉米生理生化特性的影响[J].植物营养与肥料学报,2013,(2):510-516.
[18] 吴强盛,夏仁学,胡正嘉.丛枝菌根对枳实生苗抗旱性的影响研究[J].应用生态学报,2005,(3):459-463.
[19] 刘 灵,何若天.干旱胁迫对玉米光合和产量的影响[J].广西农业大学学报,1995,(4):263-266,268.
[20] 骆 强.VAM 真菌对大豆幼苗抗旱性的影响[J].湖北农业科学,2013,(5):1017-1019.
[21] Reddy A R, Chaitanya K V, Vivekanandan M. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants [J]. Journal of Plant Physiology, 2004,161(11):1189-1202.
[22] 张仁和,郑友军,马国胜,等.干旱胁迫对玉米苗期叶片光合作用和保护酶的影响[J].生态学报,2011,(5):111-119.