

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

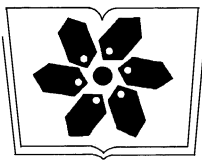
Acta Ecologica Sinica



第31卷 第9期 Vol.31 No.9 **2011**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 9 期

2011 年 5 月 (半月刊)

目 次

EAM 会议专刊述评——气候变化下旱区农业生态系统的可持续性	李凤民, Kadambot H. M Siddique, Neil C Turner, 等 (I)
第二届生态系统评估与管理(EAM)国际会议综述	李朴芳, 赵旭喆, 程正国, 等 (2349)
应对全球气候变化的干旱农业生态系统研究——第二届 EAM 国际会议青年学者论坛综述	赵旭喆, 李朴芳, Kadambot H. M Siddique, 等 (2356)
微集雨模式与降雨变律对燕麦大田水生态过程的影响	强生才, 张恒嘉, 莫非, 等 (2365)
黑河中游春小麦需水量空间分布	王 瑶, 赵传燕, 田风霞, 等 (2374)
祁连山区青海云杉林蒸腾耗水估算	田风霞, 赵传燕, 冯兆东 (2383)
甘肃小陇山不同针叶林凋落物量、养分储量及持水特性	常雅军, 陈 琦, 曹 靖, 等 (2392)
灌水频率对河西走廊绿洲菊芋生活史对策及产量形成的影响	张恒嘉, 黄高宝, 杨 斌 (2401)
玛纳斯河流域水资源可持续利用评价方法	杨 广, 何新林, 李俊峰, 等 (2407)
西北旱寒区地理、地形因素与降雨量及平均温度的相关性——以甘肃省为例	杨 森, 孙国钧, 何文莹, 等 (2414)
黑河河岸植被与环境因子间的相互作用	许莎莎, 孙国钧, 刘慧明, 等 (2421)
干旱胁迫对高山柳和沙棘幼苗光合生理特征的影响	蔡海霞, 吴福忠, 杨万勤 (2430)
树锦鸡儿、柠条锦鸡儿、小叶锦鸡儿和鹰嘴豆干旱适应能力比较	方向文, 李凤民, 张海娜, 等 (2437)
胡杨异形叶绿素荧光特性对高温的响应	王海珍, 韩 路, 徐雅丽, 等 (2444)
柠条平茬处理后不同组织游离氨基酸含量	张海娜, 方向文, 蒋志荣, 等 (2454)
玛河流域扇缘带盐穗木土壤速效养分的“肥岛”特征	涂锦娜, 熊友才, 张 霞, 等 (2461)
摩西球囊霉对三叶鬼针草保护酶活性的影响	宋会兴, 钟章成, 杨万勤, 等 (2471)
燕麦属不同倍性种质资源抗旱性状评价及筛选	彭远英, 颜红海, 郭来春, 等 (2478)
光周期对燕麦生育时期和穗分化的影响	赵宝平, 张 娜, 任长忠, 等 (2492)
水肥条件对新老两个春小麦品种竞争能力和产量关系的影响	杜京旗, 魏盼盼, 袁自强, 等 (2501)
猪场沼液对蔬菜病原菌的抑制作用	尚 斌, 陈永杏, 陶秀萍, 等 (2509)
不同夏季填闲作物种植对设施菜地土壤无机氮残留和淋洗的影响	王芝义, 郭瑞英, 李凤民 (2516)
不同群体结构夏玉米灌浆期光合特征和产量变化	卫 丽, 熊友才, Baoluo Ma, 等 (2524)
脱硫废弃物对碱胁迫下油菜幼叶细胞钙分布及 Ca^{2+} -ATPase 活性的影响	毛桂莲, 许 兴, 郑国琦, 等 (2532)
过去 30a 玛纳斯河流域生态安全格局与农业生产力演变	王月健, 徐海量, 王 成, 等 (2539)
基于 RS 和转移矩阵的泾河流域生态承载力时空动态评价	岳东霞, 杜 军, 刘俊艳, 等 (2550)
毛乌素沙地农牧生态系统能值分析与耦合关系	胡兵辉, 廖允成 (2559)
民勤绿洲农田生态系统服务价值变化及其影响因子的回归分析	岳东霞, 杜 军, 巩 杰, 等 (2567)
青岛市城市绿地生态系统的环境净化服务价值	张绪良, 徐宗军, 张朝晖, 等 (2576)
基于 3S 技术的祖厉河流域农村人均纯收入空间相关性分析	许宝泉, 施为群 (2585)
专论与综述	
全球变化下植物物候研究的关键问题	莫 非, 赵 鸿, 王建永, 等 (2593)
区域气候变化统计降尺度研究进展	朱宏伟, 杨 森, 赵旭喆, 等 (2602)
干旱胁迫下植物根源化学信号研究进展	李冀南, 李朴芳, 孔海燕, 等 (2610)
山黧豆毒素 ODAP 的生物合成及与抗逆性关系研究进展	张大伟, 邢更妹, 熊友才, 等 (2621)
旱地小麦理想株型研究进展	李朴芳, 程正国, 赵 鸿, 等 (2631)
小麦干旱诱导蛋白及相关基因研究进展	张小丰, 孔海燕, 李朴芳, 等 (2641)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 306 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-05



封面图说: 覆膜-垄作燕麦种植——反映了雨水高效利用和农田水生态过程的优化(详见强生才 P2365)。

彩图提供: 兰州大学干旱与草地生态教育部重点实验室莫非 E-mail: mofei371@163.com

摩西球囊霉对三叶鬼针草保护酶活性的影响

宋会兴^{1,2}, 钟章成², 杨万勤³, 陈其兵^{1,*}

(1. 四川农业大学 风景园林学院, 四川 成都 611130; 2. 西南大学 生命科学学院, 重庆 北碚 400715;
3. 四川农业大学 林学院, 四川 雅安 625014)

摘要:旱地农田入侵杂草三叶鬼针草 (*Bidens pilosa* L.) 与摩西球囊霉 (*Glomus mosseae*) (AM 真菌) 经常形成长效的共生体, 该霉菌对三叶鬼针草的入侵能力起到促进作用, 但机理并不清楚。盆栽试验对正常浇水、中度干旱和重度干旱条件下接种 AM 真菌的三叶鬼针草植株与未接种植株之间叶片丙二醛 (MDA) 含量及超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化氢酶 (CAT)、抗坏血酸氧化酶 (ASP) 和过氧化物酶 (POD) 等保护酶活性进行了比较研究。结果表明, 干旱胁迫导致三叶鬼针草叶片内 MDA 含量升高, SOD、CAT、ASP 和 POD 的活性升高; 正常浇水条件下, 接种 *G. mosseae* 对 MDA 含量, SOD、ASP 和 CAT 活性影响不显著; 中度干旱条件下, 接种没有显著影响 ASP 活性, 但对 SOD 和 CAT 活性影响显著; 在处理前期 (7, 14, 21d) POD 活性影响不显著, 在处理后期 (28, 35d) 接种植株显著低于未接种植株; 重度干旱条件下, 未接种植株 MDA 含量、CAT 活性显著高于接种植株, POD 活性差异不显著。ASP 活性在 21d 前差异不显著, 之后, 未接种植株显著高于接种植株。因此, AM 真菌 *G. mosseae* 有效地降低了干旱胁迫对三叶鬼针草的伤害程度, 随着土壤含水量的严重亏缺和胁迫时间的延长, 摩西球囊霉对三叶鬼针草的保护作用逐渐减弱。由于三叶鬼针草和 AM 真菌之间普遍存在着共生关系, 该共生关系可能是三叶鬼针草入侵能力强的关键生物因子之一。

关键词:干旱胁迫; 摩西球囊霉; 三叶鬼针草; 保护酶; 入侵能力

Analysis of the activities of protective enzymes in *Bidens pilosa* L. inoculated with *Glomus mosseae* under drought stress

SONG Huixing^{1,2}, ZHONG Zhangcheng², YANG Wanqin³, CHEN Qibing^{1,*}

1 School of Landscape Architecture, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, Sichuan Province, China

2 School of Life Science, Southwest University, Chongqing 400715, China

3 School of Forestry, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, Sichuan Province, China

Abstract: Biological invasion not only led to the loss of species biodiversity and the destruction of ecological balance but also resulted in the significant economic losses. Bidden (*Bidens pilosa* L.), originating from south America, is recorded as a tenacious annual weed in many countries and has been spread into the most tropical and subtropical areas of China. Previous studies have shown that *Glomus mosseae* (one of AM fungi) can form a long-lasting symbiosis with bidden. Under drought stress, this AM fungus greatly increased stomatal conductance and carboxylation efficiency, which improved plant growth and productivity. The objective of this study was to clarify the drought resistance ability of bidden under a symbiotic relationship with AM fungus and gave support to the invasive mechanism of bidden. The experiment was carried out at the ecological farm located at Southwest University, Chongqing and included three treatments including well-watered (as control), moderate drought stress, and severe drought stress accompanied with AM fungus inoculation. The lipid peroxidation and antioxidant system from the AM and non-AM seedlings were analyzed under the controlled drought stress conditions. Our results showed that drought stress led to the accumulation of reactive oxygen species, subsequently resulted in the rise of MDA content and the significant increase of the antioxidative enzymes (SOD, CAT, ASP and POD) activities. The MDA content within leaf was significantly higher in the moderate and severe drought stress treatments than that in well-watered

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30670334); 国家科技部“十一五”科技支撑计划项目 (2008BADA9B00-08)

收稿日期: 2010-10-17; 修订日期: 2010-12-27

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: cqb@sicau.edu.cn

(control) after seven days treatment both in the AM and non-AM plants. Only under severe stress, the MDA content was significantly higher in non-AM seedlings than that in AM seedlings after 14 days drought stress treatment. The antioxidant enzymes (SOD, CAT, ASP and POD) activities were also significantly higher in the moderate and severe drought stress treatments than those in control after seven days treatments or during the whole experimental period, and the difference increased dramatically with the aggravation of drought stress both in the non-AM and AM seedlings. Under the control condition, there was no significant difference on the activities of antioxidant enzymes (SOD, ASP and CAT) between the non-AM and AM plants, while the POD activity was dramatically lower in AM seedlings than that in non-AM seedlings after 21 days drought treatment. Under the moderate drought stress, the activities of CAT and SOD in non-AM plants were significantly higher than those in AM plants within the whole experimental period, while the increased activity of POD in non-AM plants was only observed 28 days after drought stress treatment. Under the severe stress treatment, the AM inoculation only led to the decrease of ASP and CAT activity, and did not affect the activity of SOD and POD. The ASP activity was greatly higher in non-AM plants than that in AM plants 28 days after drought treatment. While the increased CAT activity during the whole treatment time. Our results indicated that this AM fungus greatly decreased the damage of plant cell membrane through adjusting the antioxidant system and reactive oxygen species, thus it accelerated *B. pilosa* growth and improved plant vigor under the drought stress. These results suggested that the prevalent symbiotic relationship between *B. pilosa* and the AM fungus was presumably one of the key biological factors affecting the tenacious invasive ability of *B. pilosa* weeds.

Key Words: drought stress; *Glomus mosseae*; *Bidens pilosa* L.; protective enzymes; invasive ability

生物多样性是人类赖以生存和发展的物质基础。然而,生物多样性目前受到了严重威胁,其中外来物种入侵已经成为生物多样性丧失的重要原因之一^[1]。通常认为,影响生境可侵入性的原因主要有 5 个方面:进化历史、群落结构、繁殖体压力、干扰以及胁迫,且这些因素往往相互交织、共同作用的,其中以群落结构,包括群落物种组成、物种多样性等方面对入侵影响较大^[2]。由于可控实验能力的限制,有关生境与生物入侵机制的实验性研究尚不多见。

丛枝菌根真菌(arbuscular mycorrhizal fungi, AM 真菌)是一类土壤中广泛存在的共生真菌,它与宿主植物营养根系形成共生体,进而调节土壤资源的有效性、促进宿主植物获取营养等^[3]。生理生态学的研究表明,丛枝菌根能够改变植物组织水分状态进而影响宿主植物的抗逆性^[4]。因此,土壤中 AM 真菌可能会改变地上植物群落物种间的竞争关系^[5-6]。它对外来种与土著物种之间竞争关系的影响尤为引人注目^[7]。

三叶鬼针草(*Bidens pilosa* L.),又称鬼针草,由于其强烈的入侵性,目前已广泛分布于我国华东、华中、华南、中南、西南以及河北兴隆县(雾灵山)^[8]。已有研究发现 AM 真菌能够侵染三叶鬼针草,并能够改善干旱胁迫条件下三叶鬼针草气孔导度和羧化效率,从而减弱水分亏缺对三叶鬼针草的伤害^[9-11]。水分亏缺是生境易受外来物种入侵的重要因素之一^[12]。水分亏缺造成植物体内的氧化胁迫,引发膜质过氧化作用,造成膜系统破坏。因此,水分胁迫条件下的膜质过氧化反应和保护酶系统的变化是植物对水分胁迫反应机理研究的重要内容。本研究的目的即通过模拟干旱胁迫处理,测定 AM 真菌对外来物种三叶鬼针草保护酶活性等的变化,探讨 AM 真菌对三叶鬼针草抗旱性的影响,为进一步研究三叶鬼针草入侵的机理奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

三叶鬼针草(*Bidens pilosa* L.)种子采自重庆市北碚近郊鸡公山。取籽粒饱满的种子,在 10% 的双氧水中表面消毒 20min,无菌水冲洗 5 次后播种于无菌土中,待幼苗长出 3 对真叶后选取生长整齐、高矮一致的实生苗进行移栽。培养基质为黑色石灰土,理化性质为 pH 值 6.77,全氮 1.337g/kg,有效磷 2.095mg/kg,有效钾 133.08mg/kg,田间持水量 18.7%,土壤有机质含量为 3.02%。试验用土在高压灭菌锅压力 0.14 MPa,124—

126 ℃连续灭菌 1.5h 备用。

试验用盆为塑料盆,规格为上口内径 27cm,盆底内径 24cm,高度 26cm。每盆装培养基质 3.540Kg,另施加尿素 2g,以避免土壤贫瘠对三叶鬼针草水分状态的干扰。供试 AM 真菌为摩西球囊霉(*Glomus mosseae*) (中国丛枝菌根种质资源库编号:BGC XJ01,约 300 个孢子/20g),由北京市农林科学院植物营养与资源研究所提供。

1.2 试验设计与处理

根据 Hsiao 的方法选择 3 个水分梯度^[13],即土壤含水量控制在田间持水量的 80%—90% 作为对照,正常浇水(记作 A);中度干旱胁迫(记作 B)土壤含水量为田间持水量的 65%—75%;重度干旱胁迫(记作 C)土壤含水量为田间持水量的 35%—45%。每一水分梯度设不接种(T0)和接种(T1)处理,每个处理 5 盆重复,共 150 盆,每盆栽植三叶鬼针草实生苗 3 株。接种处理的植株按照 20g 菌土/盆的剂量进行,菌土在移栽时均匀撒在实生苗根系周围。考虑到干旱可能对 AM 真菌孢子萌发的抑制作用,故水分处理试验在接种 *G. mosseae* 10d 后开始水分处理。通过称重法控制土壤含水量,每天计算失水量并补充,使土壤含水量控制在试验条件下。试验在西南大学生态学园地完成,生态学园地海拔高度为 249m。

水分处理开始后每隔 7d 10:00 定时采样,选取植株倒数第 2 至第 3 对真叶进行生理指标测定。每次测定设 3 个重复,每项测定重复 3 次,数据为各处理的平均值。并运用 SPSS 11.5 进行有关的统计分析。

1.3 酶活性等参数的测定

丙二醛(MDA)含量的测定按林植芳等^[14]的方法;过氧化物酶(POD)活性测定参照 Chance 和 Maehly^[15]的方法,定义在测定条件下以 A_{470} 值在 1min 内增加 0.01 为 1 个酶活单位 U;SOD 活性测定参照 Stewert 和 Bewley 的 NBT 法^[16],以单位时间内抑制光化还原 50% 的氮蓝四唑(NBT)为 1 个酶活单位;抗坏血酸过氧化物酶(ASP)活性测定结合 Nakano 和 Asada^[17]以及 Knorzer 等^[18]的方法,以单位时间内抗坏血酸减少量计算酶活性;过氧化氢酶(CAT)活性测定参照 He^[19]的方法,以单位时间内每克鲜重的吸光值的降低来表示。

丛枝菌根的侵染率依照 Phillips 和 Hayman 的方法^[20]进行,以感染根段数占检查根段数的百分比为菌根侵染率。

2 研究结果

在实验全部结束时,正常浇水、中度胁迫和重度胁迫条件下接种三叶鬼针草植株菌根侵染率分别为 $(73.48 \pm 12.47)\%$ 、 $(63.33 \pm 8.52)\%$ 、 $(60.70 \pm 9.89)\%$,表现为随着土壤含水量的降低而降低,但差异不显著($P > 0.05$)。未接种植株侵染率低于 5.0%,因此试验过程中忽略杂菌感染。

2.1 接种摩西球囊霉对植株 MDA 含量的影响

在水分处理 7d 时,只有重度胁迫条件下未接种植株(CT0)MDA 含量显著高于正常浇水的接种处理组 AT1,其它处理组之间没有显著性差异(图 1)。随着时间的延长,植株 MDA 含量都明显高于正常浇水植株,并且这种差异随着水分处理时间的延长更加明显。

接种植株与未接种植株之间 MDA 含量因土壤含水量的不同而不同。正常浇水条件下,接种植株与未接种植株之间没有显著性差异(图 1);在中度干旱条件下,未接种植株(BT0)通常具有比接种植株(BT1)更高的丙二醛含量,但差异不显著;在重度干旱条件下,未接种植株均高于接种植株,并差异显著。

2.2 接种摩西球囊霉对植株叶片 SOD 活性的影响

土壤水分亏缺导致三叶鬼针草叶片中 SOD 活性升高,并且这种变化随着处理时间的延长而更加明显(图 2)。在正常浇水条件下,接种植株与未接种植株之间 SOD 活性除 28d 外没有显著性差异;在中度干旱条件下,未接种植株 SOD 活性明显高于接种植株,在水分处理的 14、21、35d,差异达到显著水平;重度干旱条件下,未接种植株在 7、21、28d 时 SOD 活性高于接种植株,但差异不显著。

2.3 接种摩西球囊霉对植株组织内 POD 活性的影响

图 3 表明,在水分处理的初期(7d),三叶鬼针草体内 POD 活性非常低,处理组之间没有显著性差异。随

着处理时间的延长,POD 活性升高,表现为中度干旱 POD 活性高于正常浇水组,重度干旱处理组高于中度处理组的趋势。

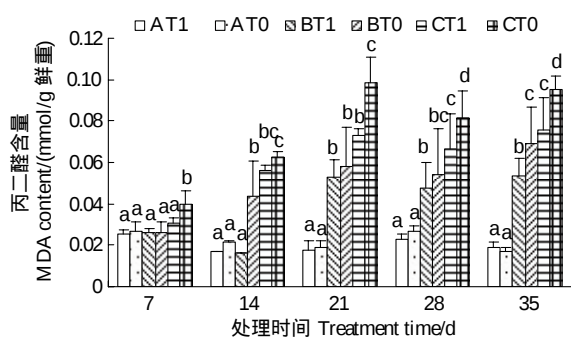


图1 土壤水分和 AM 真菌接种对三叶鬼针草叶片中 MDA 含量的影响

Fig.1 Effects of AM fungi and soil moisture on MDA content of *B. pilosa* L. in leaves

A 为正常浇水, B 为中度干旱, C 为重度干旱; T1 为接种 AM 真菌, T0 为未接种; 同一列中字母的差异意味着在 5% 水平上差异显著

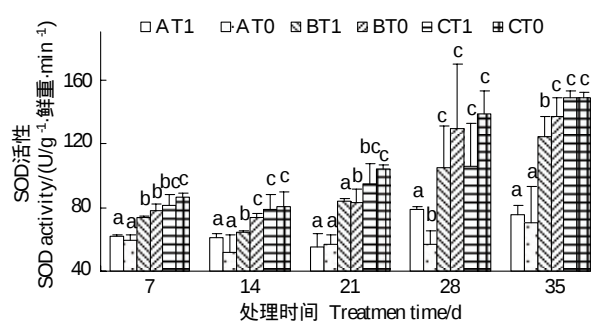


图2 土壤水分和 AM 真菌接种对三叶鬼针草叶片中超氧化物歧化酶活性的影响

Fig.2 Effects of AM fungi and soil moisture on SOD activity of *B. pilosa* L. in leaves

A 为正常浇水, B 为中度干旱, C 为重度干旱; T1 为接种 AM 真菌, T0 为未接种; 同一列中字母的差异意味着在 5% 水平上差异显著

接种同样影响了三叶鬼针草叶片内 POD 的活性变化。正常浇水时, 未接种植株比接种植株具有更高的 POD 活性, 在水分处理后期(21、28、35d), 二者差异显著; 在中度胁迫条件下, 未接种植株在处理的 28d 和 35d 时显著高于接种植株; 在重度胁迫条件下, 则只在处理的 35d 时未接种植株显著高于接种植株。

2.4 接种摩西球囊霉对植株叶片 ASP 活性的影响

随着土壤含水量的降低, 三叶鬼针草叶片内 ASP 活性有升高的趋势, 并随处理时间的延长, 趋势越来越明显(图 4)。在处理 7d 时, 只有重度胁迫条件下未接种植株叶片内 ASP 活性显著高于正常浇水处理组; 在处理的 28d 和 35d, 干旱胁迫处理组的 ASP 活性都高于正常浇水组, 且差异显著。

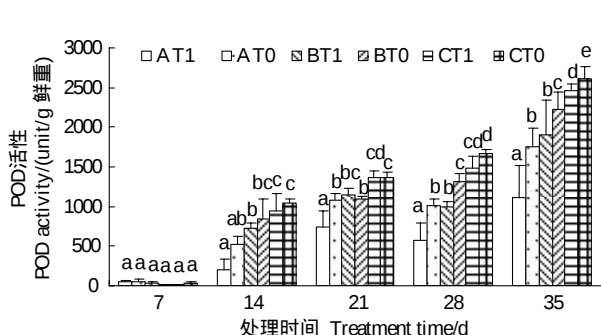


图3 土壤水分和 AM 真菌接种对三叶鬼针草叶片中过氧化物酶活性的影响

Fig.3 Effects of AM fungi and soil moisture on POD activity of *B. pilosa* L. in leaves

A 为正常浇水, B 为中度干旱, C 为重度干旱; T1 为接种 AM 真菌, T0 为未接种; 同一列中字母的差异意味着在 5% 水平上差异显著

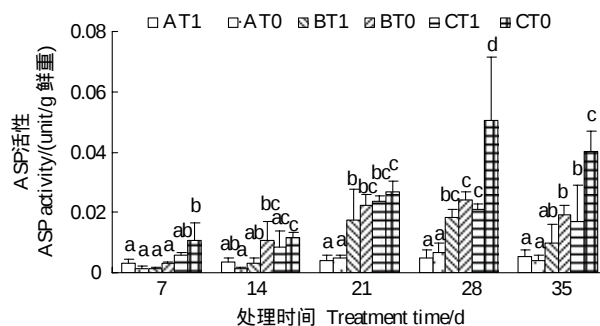


图4 土壤水分和 AM 真菌接种对三叶鬼针草叶片中 ASP 活性的影响

Fig.4 Effects of AM fungi and soil moisture on ASP activity of *B. pilosa* L. in leaves

A 为正常浇水, B 为中度干旱, C 为重度干旱; T1 为接种 AM 真菌, T0 为未接种; 同一列中字母的差异意味着在 5% 水平上差异显著

正常浇水条件下, 接种摩西球囊霉没有显著影响 ASP 活性; 中度干旱条件下, 未接种植株 ASP 活性高于接种植株, 但并不显著; 重度胁迫条件下, 未接种植株在胁迫处理的 28d 和 35d, ASP 活性显著高于接种植株。

2.5 接种摩西球囊霉对植株 CAT 活性的影响

不同水分处理间三叶鬼针草 CAT 活性在水分处理 7d 时就出现了差异,表现为重度干旱处理组、中度干旱处理组和正常浇水处理组依次降低,并且重度胁迫处理组与正常浇水处理组差异显著(表 1)。在处理的 14、21、28d 研究的结果与 7d 的结果是一致的。在水分处理的 35d,中度胁迫处理组也显著高于正常浇水处理组。水分胁迫条件下,接种 AM 真菌使得三叶鬼针草叶片内 CAT 活性发生变化,无论在中度胁迫条件下还是在重度胁迫条件下,未接种植株的 CAT 活性显著高于接种植株。

3 讨论

外来物种在新栖息地环境条件下可以通过排挤土著物种而造成生物入侵。入侵物种与土著物种之间的竞争关系在很大程度上由所在群落的物种组成及环境条件所决定^[21]。Marler 等在研究入侵物种 *Centaurea maculosa* 和土著物种 *Festuca idahoensis* 的竞争关系时发现,AM 真菌增加了入侵物种对土著物种的负面影响^[7]。因此,AM 真菌侵染可能对外来物种的入侵能力产生了影响。

干旱胁迫是生境中常见的干扰之一,其对植物的伤害首先表现为膜脂过氧化。丙二醛 MDA 是膜脂过氧化作用的主要产物之一,其含量高低被认为是反映细胞膜脂过氧化作用强弱以及质膜破坏程度的重要指标^[22-23]。SOD、CAT 和 POD 等酶类是细胞抵御活性氧伤害的重要保护酶系统,它们共同构成细胞内防御活性氧毒害的保护体系^[24]。本研究中,三叶鬼针草叶片 MDA 含量随土壤含水量降低而升高,表明水分亏缺导致细胞内部自由基积累,加剧了细胞膜脂过氧化;细胞内 SOD、POD、CAT 和 ASP 随土壤含水量降低而活性增强是三叶鬼针草为保持体内自由基的平衡而启动的应激机制,表明三叶鬼针草物种本身具有一定耐受土壤水分胁迫的生理适应能力。

表 1 土壤水分和 AM 真菌接种对三叶鬼针草叶片中过氧化氢酶活性的影响

Table 1 Effects of AM fungi and soil moisture on CAT activity of *Bidens pilosa* L. in leaves

	7d	14d	21d	28d	35d
AT1	0.3807 ± 0.0811a	0.7303 ± 0.3981a	33.9271 ± 9.3075a	21.4652 ± 2.5515a	46.288 ± 27.288a
AT0	2.9935 ± 0.8302a	1.0450 ± 0.3452a	55.2314 ± 36.257a	19.6906 ± 4.2934a	22.0339 ± 25.2a
BT1	3.0828 ± 0.7237a	4.3227 ± 1.3589a	62.6094 ± 52.011a	197.8442 ± 35.26b	174.4519 ± 88.97b
BT0	8.5963 ± 0.5247b	5.4030 ± 0.9011b	177.483 ± 19.465b	417.256 ± 178.46c	206.91 ± 164.355c
CT1	10.5118 ± 2.672bc	12.9944 ± 1.6365b	151.932 ± 28.423b	220.58 ± 188.83bc	236.723 ± 156.33c
CT0	15.3378 ± 4.6351d	32.8061 ± 12.05c	304.85 ± 226.725c	504.96 ± 319.25d	373.865 ± 63.069d

AM 真菌侵染对物种适应水分胁迫的能力也产生了影响。Ruiz-Lozano 等发现,干旱胁迫条件下接种 AM 真菌的莴苣幼苗较未接种植株具有更高的 SOD 活性^[25];Wu 等对 *Citrus tangerine* 根系的研究也表明,水分胁迫条件下接种植株较未接种植株具有更高的 SOD、CAT 活性^[26]。Porcel 等^[27]与 Ruiz-Lozano 等^[28]认为,丛枝菌根通过提高保护酶活性减少活性氧自由基从而降低干旱胁迫对宿主植物的伤害。在本研究中,同等胁迫条件下接种植株保护酶活性通常低于未接种植株,尤其在干旱胁迫处理的后期更为明显。Alguacil 等^[29]也发现,干旱胁迫使得 *Juniperus oxycedrus* 植株 SOD 与 POD 活性升高,未接种植株的升高的比例高于接种植株,并认为接种植株具有更高的抗旱性。丛枝菌根的外延菌丝数量远远超过根毛,能够吸收到非菌根植株根系不能吸收到的水分,减弱了土壤水分亏缺对宿主植物的伤害,这是接种植株较未接种植株保护酶活性更低的原因。

同时,不同的保护酶对外界环境的刺激反应亦不一致。阎秀峰等对红松幼苗的研究发现,SOD 与 CAT 活性在土壤自然干旱处理的 4d 内持续升高,POD 活性则是在前 2d 提高,随后下降,ASP 活性则是持续下降;使用 PEG 处理造成的干旱使得红松体内酶活性变化则与此不同^[23]。在本研究中,SOD 和 CAT 活性在试验初期变化就非常明显,而 POD 初始并无显著性变化;随着处理时间的延长,SOD 与 POD 随处理时间的延长而升高,CAT 活性在 28d 达到峰值;ASP 活性在整个试验期间变化不大。有关保护酶系统与植物耐旱关系的研究已有许多报道,结果都不尽相同。这可能与不同植物的抗旱能力不同,体内保护酶系统的活力及钙离子等

营养元素的含量、分布和抗氧化物质含量等因子的不同都有关系^[30]。

不同的保护酶活性对 AM 真菌接种的响应也不完全相同。例如,在正常浇水条件下,接种植株与未接种植株在保护酶活性上通常没有显著性差异,但在处理 28、35d 时,未接种植株却有着显著高于接种植株的 POD 活性。在中度胁迫条件下,ASP 活性接种植株与未接种植株差异不显著;在重度胁迫条件下 AM 真菌接种没有对 SOD 活性产生显著性差异。由于 AM 真菌接种对宿主保护酶活性的影响研究相对较少,并且植物体内保护细胞免遭氧化伤害的是一个复杂的防御体系,因此 AM 真菌接种对宿主抗氧化作用体系的影响机制尚需进一步的研究。尽管其机理尚未十分明确,但本研究已表明 AM 真菌接种后有效地降低了干旱胁迫对三叶鬼针草的伤害程度,因此 AM 真菌侵染可能对外来物种的入侵能力产生影响,这可能是旱地农田入侵杂草三叶鬼针草强入侵能力的原因之一。

References:

- [1] Petren K, Case T J. An experimental demonstration of exploitation competition in an ongoing invasion. *Ecology*, 1996, 77(1): 118-132.
- [2] Da L J, Tian Z H, Wang C X, Wang J. Biological invasion from the perspective of ecology. *Chinese Journal of Nature*, 2007, 29(3): 152-158.
- [3] Li X L, Yao Q. VA mycorrhiza and mineral nutrition of plants. *Progress in Natural Science*, 2000, 10(6): 524-531.
- [4] Augé R M. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza*, 2001, 11(1): 3-42.
- [5] Read D. Mycorrhizal fungi: the ties that bind. *Nature*, 1997, 388(6642): 517-518.
- [6] Zhi G Y, Chen X, Tang J J. Mediations of arbuscular mycorrhizal fungi on plant community. *Mycosystema*, 2003, 22(4): 678-682.
- [7] Marler M J, Zabinski C A, Callaway R M. Mycorrhizae indirectly enhance competitive effects of an invasive forb on a native bunchgrass. *Ecology*, 1999, 80(4): 1180-1186.
- [8] Hong L, Shen H, Yang Q H, Cao H L, Ye W H. Studies on seed germination and storage of the invasive alien species *Bidens pilosa* L. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 2004, 22(5): 433-438.
- [9] Stampe E D, Daehler C C. Mycorrhizal species identity affects plant community structure and invasion: a microcosm study. *Oikos*, 2003, 100(2): 362-372.
- [10] Corkidi L, Rincón E. Arbuscular mycorrhizae in a tropical sand dune ecosystem on the Gulf of Mexico: I. Mycorrhizal status and inoculum potential along a successional gradient. *Mycorrhiza*, 1997, 7(1): 9-15.
- [11] Song H X, Peng Y Y, Zhong Z C. Photosynthesis responses of AMF-infected and AMF-free *Bidens pilosa* L. to drought stress conditions. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(8): 3744-3751.
- [12] Crawley M J. What makes a community invisable? // Gray A J, Crawley M J, Edwards P J, eds. *Colonization, Succession, Stability and Diversity*. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1987: 429-453.
- [13] Hsiao T C. Plant response to water stress. *Annual Review of Plant Physiology*, 1973, 24(6): 519-570.
- [14] Lin Z F, Li S S, Lin G Z, Sun G C, Guo J Y. Superoxide dismutase activity and lipid peroxidation in relation to senescence of rice leaves. *Journal of Integrative Plant Biology*, 1984, 26(6): 605-615.
- [15] Chance B, Maehly A C. Assay of catalyses and peroxidases. *Methods in Enzymology*, 1955, 2: 746-755.
- [16] Stewart R R C, Bewley J D. Lipid peroxidation associated with accelerated aging of soybean axes. *Plant Physiology*, 1980, 65(2): 245-248.
- [17] Nakano Y, Asada K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant Cell and Physiology*, 1981, 22(5): 867-880.
- [18] Knörzer O C, Burner J, Boger P. Alterations in the antioxidative system of suspension-cultured soybean cells (*Glycine max*) induced by oxidative stress. *Physiologia Plantarum*, 1996, 97(2): 388-396.
- [19] He A. Catalase // Bergmeyer H U, ed. *Methods of Enzymatic Analysis*. Weinheim: Verlag Chemie, 1983: 273-282.
- [20] Phillip J M, Hayman D S. Improved procedures for cleaning roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, 1970, 55(1): 158-161.
- [21] Lodge D M. Biological invasion: lessons for ecology. *Trends in Ecology & Evolution*, 1993, 8(4): 133-137.
- [22] Chen S Y. Membrane-lipid peroxidation and plant stress. *Chinese Bulletin of Botany*, 1989, 6(4): 211-217.
- [23] Yan X F, Li J, Zu Y G. Effect of drought stress on activity of cell defense enzymes and lipid peroxidation in Korean pine seedlings. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(6): 850-854.
- [24] Fridovich I. Superoxide dismutase. *Annual Review of Biochemistry*, 1975, 44: 147-159.
- [25] Ruiz-Lozano J M, Azcón R, Palma J M. Superoxide dismutase activity in arbuscular mycorrhizal *Lactuca sativa* plants subjected to drought stress.

New Phytologist, 1996, 134(2): 327-333.

- [26] Wu Q S, Zou Y N, Xia R X. Effects of water stress and arbuscular mycorrhizal fungi on reactive oxygen metabolism and antioxidant production by citrus (*Citrus tangerine*) roots. *European Journal of Soil Biology*, 2006, 42(3): 166-172.
- [27] Porcel R, Barea J M, Ruiz-Lozano J M. Antioxidant activities in mycorrhizal soybean plants under drought stress and their possible relationship to the process of nodule senescence. *New Phytologist*, 2003, 157(1): 135-143.
- [28] Ruiz-Lozano J M. Arbuscular mycorrhizal symbiosis and alleviation of osmotic stress. *New perspectives for molecular studies. Mycorrhiza*, 2003, 13(6): 309-317.
- [29] Alguacil M, Caravaca F, Díaz-Vivancos P, Hernández J A, Roldán A. Effect of arbuscular mycorrhizae and induced drought stress on antioxidant enzyme and nitrate reductase activities in *Juniperus oxycedrus* L. grown in a composted sewage sludge-amended semi-arid soil. *Plant and Soil*, 2006, 279: 209-218.
- [30] Wan M L, Kuang Y H, Chen J X. Studies on membrane lipid peroxidation and protective enzyme activity of sugarcane under phosphorus deficiency. *Journal of South China Agricultural University*, 1999, 2: 58-61.

参考文献:

- [2] 达良俊, 田志慧, 王晨曦, 王娟. 从生态学角度对生物入侵的思考. *自然杂志*, 2007, 29(3): 152-158.
- [3] 李晓林, 姚青. VA 菌根与植物的矿质营养. *自然科学进展*, 2000, 10(6): 524-531.
- [6] 职桂叶, 陈欣, 唐建军. 丛枝菌根真菌 (AMF) 对植物群落调节的研究进展. *菌物系统*, 2003, 22(4): 678-682.
- [8] 洪岚, 沈浩, 杨期和, 曹洪麟, 叶万辉. 外来入侵植物三叶鬼针草种子萌发与贮藏特性研究. *武汉植物学研究*, 2004, 22(5): 433-438.
- [11] 宋会兴, 彭远英, 钟章成. 干旱生境中接种丛枝菌根真菌对三叶鬼针草 (*Bidens pilosa* L.) 光合特征的影响. *生态学报*, 2008, 28(8): 3744-3751.
- [14] 林植芳, 李双顺, 林桂珠, 孙谷畴, 郭俊彦. 水稻叶片衰老与超氧化物歧化酶活性及脂质过氧化作用的关系. *植物学报*, 1984, 26(6): 605-615.
- [22] 陈少裕. 膜脂过氧化与植物逆境胁迫. *植物学通报*, 1989, 6(4): 211-217.
- [23] 阎秀峰, 李晶, 祖元刚. 干旱胁迫对红松幼苗保护酶活性及脂质过氧化作用的影响. *生态学报*, 1999, 19(6): 850-854.
- [30] 万美亮, 邝炎华, 陈建勋. 缺磷胁迫对甘蔗膜脂过氧化及保护酶系统活性的影响. *华南农业大学学报*, 1999, 2: 58-61.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 9 May, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Guest Editorial from EAM Workshop—Sustainability of agricultural ecosystems in arid regions in response to climate change	
..... LI Fengmin, Kadambot H. M Siddique, Neil C Turner, et al (I)	
Overview on the 2 nd international workshop on ecosystem assessment and management (EAM)	
..... LI Pufang, ZHAO Xuzhe, CHENG Zhengguo, et al (2349)	
Arid agricultural ecology in response to global change: Overview on Young Scholar Forum of the 2 nd International Workshop on	
EAM	ZHAO Xuzhe, LI Pufang, Kadambot H. M Siddique, et al (2356)
The effects of micro-rainwater harvesting pattern and rainfall variability on water ecological stoichiometry in oat (<i>Avena sativa</i> L.)	
field	QIANG Shengcai, ZHANG Hengjia, MO Fei, et al (2365)
Spatial variation of water requirement for spring wheat in the middle reaches of Heihe River basin	
..... WANG Yao, ZHAO Chuanyan, TIAN Fengxia, et al (2374)	
Model-based estimation of the canopy transpiration of Qinghai spruce (<i>Picea crassifolia</i>) forest in the Qilian Mountains	
..... TIAN Fengxia, ZHAO Chuanyan, FENG Zhaodong (2383)	
Litter amount and its nutrient storage and water holding characteristics under different coniferous forest types in Xiaolong Mountain,	
Gansu Province	CHANG Yajun, CHEN Qi, CAO Jing, et al (2392)
Effect of irrigation frequency on life history strategy and yield formation in Jerusalem artichoke (<i>Helianthus tuberosus</i> L.) in oasis	
of Hexi Corridor	ZHANG Hengjia, HUANG Gaobao, YANG Bin (2401)
The evaluation method of water resources sustainable utilization in Manas River Basin	
..... YANG Guang, HE Xinlin, LI Junfeng, et al (2407)	
Correlation of topographic factors with precipitation and surface temperature in arid and cold region of Northwest China: a case	
study in Gansu Province	YANG Sen, SUN Guojun, HE Wenying, et al (2414)
The relationship between riparian vegetation and environmental factors in Heihe River Basin	
..... XU Shasha, SUN Guojun, LIU Huiming, et al (2421)	
Effects of drought stress on the photosynthesis of <i>Salix paraqulesia</i> and <i>Hippophae rhamnoides</i> seedlings	
..... CAI Haixia, WU Fuzhong, YANG Wanqin (2430)	
The comparison of drought resistance between <i>Caragana species</i> (<i>Caragana arborescens</i> , <i>C. korshinskii</i> , <i>C. microphylla</i>) and two	
chickpea (<i>Cicer arietinum</i> L.) cultivars	FANG Xiangwen, LI Fengmin, ZHANG Haina, et al (2437)
Response of chlorophyll fluorescence characteristics of <i>Populus euphratica</i> heteromorphic Leaves to high temperature	
..... WANG Haizhen, HAN Lu, XU Yali, et al (2444)	
Free amino acid content in different tissues of <i>Caragana korshinskii</i> following all shoot removal	
..... ZHANG Haina, FANG Xiangwen, JIANG Zhirong, et al (2454)	
“Fertile Island” features of soil available nutrients around <i>Halostachys caspica</i> shrub in the alluvial fan area of Manas River watershed	
..... TU Jinna, XIONG Youcai, ZHANG Xia, et al (2461)	
Analysis of the activities of protective enzymes in <i>Bidens pilosa</i> L. inoculated with <i>Glomus mosseae</i> under drought stress	
..... SONG Huixing, ZHONG Zhangcheng, YANG Wanqin, et al (2471)	
Evaluation and selection on drought-resistance of germplasm resources of <i>Avena</i> species with different types of ploidy	
..... PENG Yuanying, YAN Honghai, GUO Laichun, et al (2478)	
Ecophysiological mechanism of photoperiod affecting phenological period and spike differentiation in oat (<i>Avena nuda</i> L.)	
..... ZHAO Baoping, ZHANG Na, REN Changzhong, et al (2492)	
Effects of water and fertilization on relationship between competitive ability and seed yield of modern and old spring wheat varieties	
..... DU Jingqi, WEI Panpan, YUAN Ziqiang, et al (2501)	

- Inhibitory effect of biogas slurry from swine farm on some vegetable pathogen SHANG Bin, CHEN Yongxing, TAO Xiuping, et al (2509)
- Effects of different summer catch crops planting on soil inorganic N residue and leaching in greenhouse vegetable cropping system WANG Zhiyi, GUO Ruiying, LI Fengmin (2516)
- Photosynthetic characterization and yield of summer corn (*Zea mays* L.) during grain filling stage under different planting pattern and population densities WEI Li, XIONG Youcai, Baoluo Ma, et al (2524)
- Effects of desulfurization waste treatment on calcium distribution and calcium ATPase activity in oil-sunflower seedlings under alkaline stress MAO Guilian, XU Xing, ZHENG Guoqi, et al (2532)
- The evolution between ecological security pattern and agricultural productive force in Manas River Basin for the past 30 years WANG Yuejian, XU Hailiang, WANG Cheng, et al (2539)
- Spatio-temporal analysis of ecological carrying capacity in Jinghe Watershed based on Remote Sensing and Transfer Matrix YUE Dongxia, DU Jun, LIU Junyan, et al (2550)
- The coupling relationship and emergy analysis of farming and grazing ecosystems in Mu Us sandland HU Binghui, LIAO Yuncheng (2559)
- Dynamic analysis of farmland ecosystem service value and multiple regression analysis of the influence factors in Minqin Oasis YUE Dongxia, DU Jun, GONG Jie, et al (2567)
- Environment purification service value of urban green space ecosystem in Qingdao City ZHANG Xuliang, XU Zongjun, ZHANG Zhaohui, et al (2576)
- The spatial relationship analysis of rural per capital revenue based on GIS in Zulihe River basin, Gansu Province XU Baoquan, SHI Weiqun (2585)

Review and Monograph

- The key issues on plant phenology under global change MO Fei, ZHAO Hong, WANG Jianyong, et al (2593)
- Recent advances on regional climate change by statistical downscaling methods ZHU Hongwei, YANG Sen, ZHAO Xuzhe, et al (2602)
- Current progress in eco-physiology of root-sourced chemical signal in plant under drought stress LI Jinan, LI Pufang, KONG Haiyan, et al (2610)
- ODAP biosynthesis: recent developments and its response to plant stress in grass pea (*Lathyrus sativus* L.) ZHANG Dawei, XING Gengmei, XIONG Youcai, et al (2621)
- Current progress in plant ideotype research of dryland wheat (*Triticum aestivum* L.) LI Pufang, CHENG Zhengguo, ZHAO Hong, et al (2631)
- Recent advances in research on drought-induced proteins and the related genes in wheat (*Triticum aestivum* L.) ZHANG Xiaofeng, KONG Haiyan, LI Pufang, et al (2641)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

客座编辑 Guest Editors LI Fengmin XIONG Youcai Neil Turner Kadambot Siddique

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 31 卷 第 9 期 (2011 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 9 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元