

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2018.03.004

持续干旱下杜鹃花类菌根真菌对桃叶杜鹃内源激素的影响^①

陈荣建¹, 熊丹¹, 欧静¹, 龙海燕¹,
熊贤荣¹, 何跃军¹, 李朝婵²

1. 贵州大学 林学院, 贵阳 550025; 2. 贵州师范大学 贵州省山地环境重点实验室, 贵阳 550001

摘要: 以桃叶杜鹃为材料, 采用播种法接种 2 株杜鹃花类菌根(ericoid mycorrhizas, ERM)菌株培育桃叶杜鹃菌根苗, 研究在持续干旱下 ERM 菌株对桃叶杜鹃内源激素生长素(indole-3-acetic acid, IAA)、脱落酸(abscisic acid, ABA)、赤霉素(Gibberellin A₃, GA₃)和玉米素核苷(trans-Zeatin-riboside, ZR)的影响. 结果表明: 接种 ERM 菌株显著增加了桃叶杜鹃在正常水分及持续干旱条件下 IAA, ABA, GA₃, ZR 的质量比. 持续干旱下, 桃叶杜鹃 IAA 和 GA₃ 的质量比呈升高降低变化, 接种 ERM 菌株桃叶杜鹃 IAA 和 GA₃ 的质量比呈升高变化在重度胁迫时达到最大值; ABA 的质量比呈升高变化, 当田间持水量低于 30% 时接种 ERM 菌株桃叶杜鹃 ABA 的质量比急剧上升并维持在较高水平; ZR 的质量比变化不一, 对照组和 TY29 根系 ZR 的质量比呈降低升高变化, TY35 根系 ZR 的质量比呈降低变化. 持续干旱下, 桃叶杜鹃 IAA/ABA, ZR/ABA, (IAA+ZR+GA₃)/ABA 比值呈下降变化, 其中 ZR/ABA 比值急剧下降, 接菌处理显著低于对照组. 试验表明: ERM 菌株能有效增加桃叶杜鹃内源激素 IAA, ABA, GA₃ 和 ZR 的质量比, 增加干旱胁迫下的内源激素调节及协作能力, 增强桃叶杜鹃的抗旱能力.

关键词: 桃叶杜鹃; 杜鹃花类菌根(ERM); 内源激素; 持续干旱

中图分类号: S688.9

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2018)03-0026-08

杜鹃是我国十大名花之一, 被喻为“花中西施”, 自古有“花中此物为西施, 芙蓉芍药皆嫫母”的佳句^[1], 具有极高的观赏及园林应用价值. 桃叶杜鹃(*Rhododendron annae*)为杜鹃花科杜鹃花属常绿灌木, 冠形优美, 花色丰富, 花期集中于 5, 6 月木本少花季节, 主要分布于贵州的高山地区, 花色艳丽, 观赏价值极高^[2], 但桃叶杜鹃为浅根系树种, 耐旱性较差, 严重阻碍其引种栽培及在园林中的应用. 杜鹃花类菌根(ericoid mycorrhizas, ERM)是指杜鹃花科(Ericaceae)几个属植物的根系在自然生境中形成一种特殊类型的内生菌根共生体, 具有促进和改善宿主植物营养元素的吸收、促进宿主植物生长以及增强宿主植物对逆境环境的适应性等作用^[3-4], 是杜鹃花科植物全球广泛分布的重要原因. 现已证实接种 ERM 真菌可以促进氮源的吸收^[5], 在不同的氮源培养基上, 接种 ERM 真菌能增加云锦杜鹃对氮源的吸收, 特别是促进硝态氮和有机氮的吸收^[6]. ERM 菌株对锦绣杜鹃^[7]、桃叶杜鹃^[8]和毛棉杜鹃^[9]等有明显的促生效应, 可以提高杜鹃“淡妆”的抗热性^[10]和毛棉杜鹃幼苗干旱胁迫的适应性^[11].

① 收稿日期: 2017-05-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(31560223, 31460136, 31660156); 贵州省科技计划项目(黔科合支撑[2016]2522 号, [2016]2805 号).

作者简介: 陈荣建(1989-), 男, 贵州镇远人, 硕士研究生, 主要从事园林植物栽培机理及技术研究.

通信作者: 欧静, 教授, 硕士研究生导师.

植物激素作为植株内重要信号分子,在调节植物的生长发育和对外界环境的响应过程起十分重要的作用.研究表明:外源植物激素有利于增强植物的生理活性、提高植物的抗逆性^[12-13].干旱胁迫下,植物生长受到抑制,内源激素生长素(indole-3-acetic acid, IAA)、赤霉素(Gibberellin A₃, GA₃)和玉米素核苷(trans-Zeatin-riboside, ZR)合成受阻,含量呈下降变化,使植株生长速率减慢,以缓解水分不足对植株完成正常生理活动的压力^[14-16];脱落酸(abscisic acid, ABA)作为逆境信号因子则迅速累积,在根部快速合成大量 ABA 并通过木质部蒸腾流将 ABA 输送到地上部分参与叶片气孔调节,降低气孔导度,减少蒸腾失水提高植株的保水能力^[17].接种菌根真菌能显著增加植株 IAA,ABA,GA₃,ZR 的质量比、改变其平衡状况^[18],增强干旱胁迫下的内源激素调节能力,促进植物碳素和矿质营养元素代谢,改善植物营养状况,增强植物抗逆性^[19].现已证实接种 ERM 真菌对桃叶杜鹃有明显的促生效应^[8];干旱胁迫下 ERM 真菌能提高桃叶杜鹃生理效应和光合效应^[20-21],但 ERM 真菌如何通过内源激素来影响桃叶杜鹃抗旱能力还不清楚.

本试验以接种 2 株 ERM 真菌对桃叶杜鹃进行持续干旱试验,研究持续干旱下 ERM 真菌对桃叶杜鹃内源激素的影响,从内源激素的方向揭示 ERM 真菌与桃叶杜鹃抗旱能力的关系,为促进桃叶杜鹃及常绿杜鹃的引种栽培、园林应用提供理论依据.

1 材料与方 法

1.1 试验材料

PDA 培养基:马铃薯 200.0 g,葡萄糖 20.0 g,琼脂粉 20.0 g,蒸馏水 1 000.0 mL,121 °C 条件下高温高压蒸汽灭菌 20 min.

菌株:2 个供试菌株:TY29(AB158314: *Trametes ochracea*)和 TY35(AB378554: *Pochonia bulbillosa*)(括号中前者为国际 GenBank 中的登录号,后者为与试验菌株亲缘关系最近种)是从桃叶杜鹃根系分离的优良备选菌株^[8].将 2 个供试菌株(TY29, TY35)进行平板培养,接种后置于 25 °C 培养箱中黑暗培养 2 周,待菌丝长满基质后作为菌剂使用.

供试桃叶杜鹃种子:育苗所用种子于 2015 年 11 月采自贵州省百里杜鹃风景区方家坪.播种前种子经 0.5% KMnO₄ 溶液中消毒 15 min,再用无菌水漂洗 10 次.选生长势和苗木大小基本一致的幼苗参加试验.

培养基质:育苗基质采自百里杜鹃风景区桃叶杜鹃林下腐殖质土. pH 值为 4.77,有机质为 44.15 g/kg,全氮为 1.56 g/kg,全磷为 0.161 g/kg,有效磷为 7.04 mg/kg,碱解氮为 268.55 mg/kg,速效钾为 205.91 mg/kg.

1.2 试验设计

1.2.1 播种及接菌处理

2015 年 12 月进行桃叶杜鹃播种.育苗基质用腐殖土和珍珠岩按照体积比为 3:1 的比例配制,在 121 °C 条件下高温高压蒸汽灭菌 20 min,自然冷却后于 80 °C 条件下烘干 2 h.桃叶杜鹃种子细小,千粒质量为 (0.206±0.001) g.将籽粒饱满的桃叶杜鹃种子及播种花盆(上口径×底径×高度为 21 cm×15 cm×18.5 cm)在 0.5% KMnO₄ 溶液中消毒 15 min,用蒸馏水冲洗至无色、晾干.在消毒后的花盆中装入 2/3 高度的灭菌基质,均匀地铺上长满菌丝的 PDA 培养基,在菌丝上覆盖少量基质并将消毒后的种子均匀播撒其上,播种完毕用剪细并灭菌后的松针进行均匀覆盖放入人工气候箱内恒温培养(温度 25 °C、湿度 85%、光照 24 h).

1.2.2 桃叶杜鹃菌根苗培育

待幼苗出土生长 120 d 后,将以上各接种处理移出人工气候箱,移栽到用 0.5% KMnO₄ 浸泡 10 min 消毒清洗后的塑料花盆中(上口径×底径×高度为 11 cm×8.7 cm×10 cm),每盆 1 株,放置贵州大学林学院苗圃大棚内进行菌根苗培育、管理.

1.2.3 试验设计

采取随机区组试验,试验设计 2 个接种处理(TY29 和 TY35),1 个对照 CK(不接菌),每处理 20 盆,

每盆 1 株, 每处理重复 3 次. 2016 年 7 月选取各处理生长一致的 1 年生桃叶杜鹃菌根苗, 统一浇水管理一个月后采用自然干旱方式进行胁迫处理. 干旱胁迫前, 将栽培基质浇至饱和持水量, 置于温室大棚内模拟自然干旱, 使水分不断消耗. 在持续干旱当天(0 d)和持续干旱的第 4 d、第 8 d 和第 12 d 进行内源激素含量测定, 同时在干旱胁迫的第 12 d 对苗木进行复水, 并在复水 4 d 后进行内源激素含量测定. 采用烘干称重法对土壤进行相对含水量测定, 测得第 0 d、第 4 d、第 8 d 和第 12 d 土壤相对含水量分别为 85.7%、59.57%、27.62% 和 13.6%.

1.3 测定方法

桃叶杜鹃内源激素采用酶联免疫吸附检测法(ELISA)进行测定, 参照 Yang Y M 方法进行^[22]. 每个处理叶片取样部位为顶芽向下第 4 或第 5 片成熟功能叶、根系取样部位为须根, 取样时迅速称取 0.5 g 叶片、0.1 g 根系进行液氮速冻 30 min, 放入 -20 °C 冰箱中进行低温保存, 每个处理重复 3 次, 待全部取样完成后统一测定(样品送中国农业大学进行测定).

1.4 数据处理

采用 Execl 2010 记录数据及绘图, 使用 SPSS 20.0 软件进行统计分析, 采用单因素方差分析和 Duncan 多重比较法进行方差检验分析.

2 结果与分析

2.1 持续干旱下 ERM 菌株对桃叶杜鹃 IAA 的影响

IAA 是促进植物生长发育的激素. 由图 1 可见, 持续干旱下, 桃叶杜鹃 IAA 的质量比呈升高变化, 复水后 IAA 呈下降变化, 差异具有统计学意义($p < 0.05$). 在正常水分条件下(第 0 d), 接菌处理桃叶杜鹃叶片、根系 IAA 的质量比均高于 CK, 在第 4 d 和第 8 d, TY35 叶片及根系 IAA 的质量比变化较第 0 d 变化不大, CK 和 TY29 叶片及根系 IAA 的质量比呈增加变化, 第 12 d 时, CK 根系 IAA 的质量比下降, 较第 8 d 下降了 27.58%, TY29 叶片 IAA 的质量比迅速下降, 较第 8 d 下降了 24.37%, TY35 叶片及根系 IAA 的质量比呈迅速增加, 分别较第 8 d 增加了 35.19% 和 26.48%, 说明此时干旱严重影响了 CK 组根系的正常生理活动, 而 ERM 菌株能保持较高的生理活动, 以 TY35 的表现为最好. 复水后, 桃叶杜鹃叶片和根系 IAA 的质量比均有所降低, 根系 IAA 的质量比恢复至接近正常水分条件下的含量.

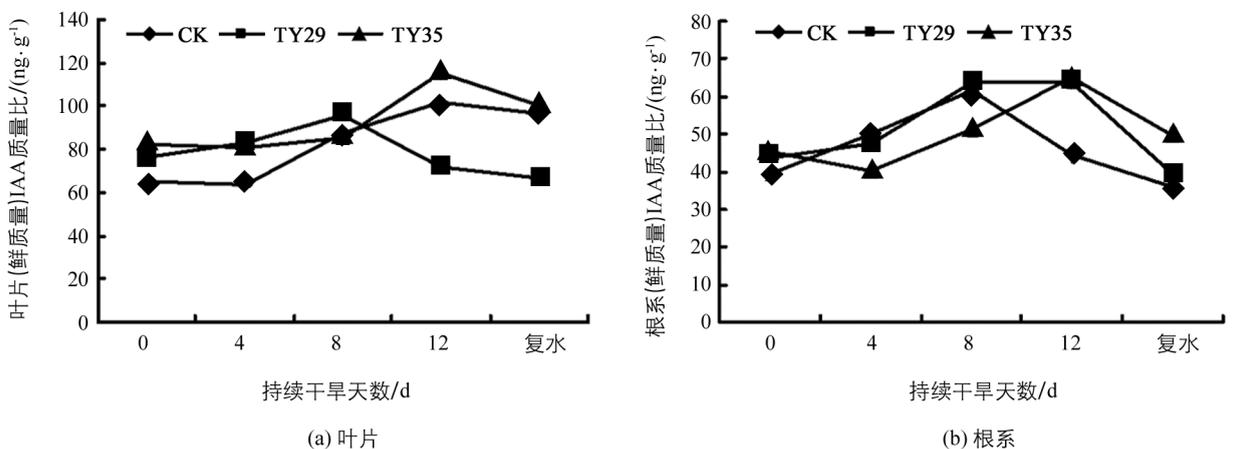


图 1 持续干旱下 ERM 菌株对桃叶杜鹃 IAA 的影响

2.2 持续干旱下 ERM 菌株对桃叶杜鹃 ABA 的影响

ABA 作为一种逆境信号因子, 是逆境条件下重要的调节物质. 由图 2 可见, 持续干旱下, 桃叶杜鹃 ABA 的质量比迅速累积, 复水后 ABA 的质量比下降, 接种 ERM 菌株显著高于 CK, 差异具有统计学意义($p < 0.01$). 在正常水分条件下(第 0 d), 桃叶杜鹃叶片 ABA 的质量比差异不大, TY35 根系 ABA 的质量比显著高于 CK 和 TY29, 随着胁迫加剧, 叶片和根系 ABA 的质量比迅速增加并在第 8 d 和第 12 d 维持在

较高水平,以第 8 d 增幅最大, TY29 和 TY35 叶片和根系 ABA 增幅分别为 62.13%, 18.97% 和 55.62%, 38.12%。随着干旱胁迫的加剧,接种 ERM 菌株较 CK 能迅速累积桃叶杜鹃 ABA 进行生理调节,表现出较强的抗旱调节能力。复水后,桃叶杜鹃 ABA 的质量比迅速下降,叶片和根系 ABA 的质量比基本恢复到正常水平,表明桃叶杜鹃能承受短期的持续干旱,表现出较强的干旱适应能力。

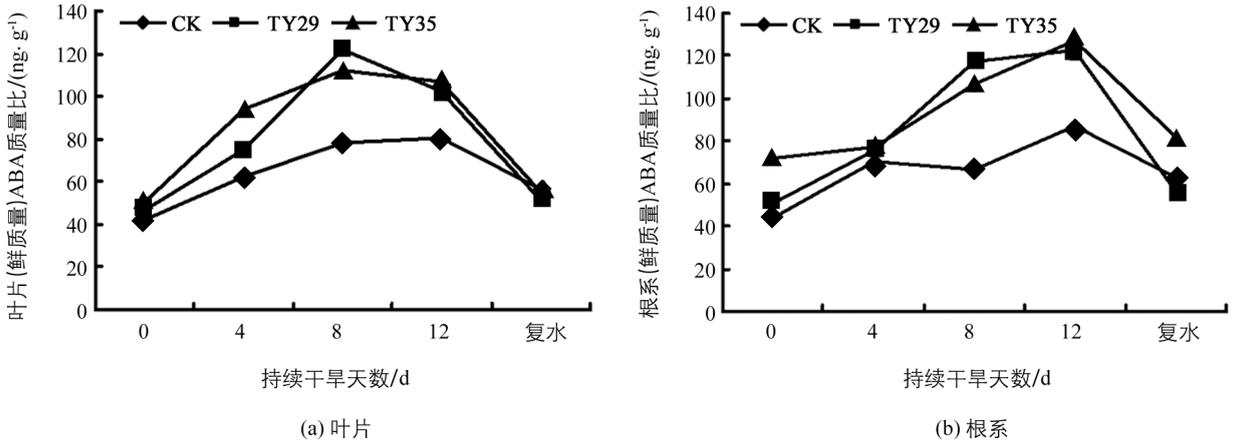


图 2 持续干旱下 ERM 菌株对桃叶杜鹃 ABA 的影响

2.3 持续干旱下 ERM 菌株对桃叶杜鹃 GA₃ 的影响

GA₃ 是促进植物生长发育的植物激素。持续干旱下,不同处理的桃叶杜鹃 GA₃ 的质量比呈不同变化。由图 3 可见,在正常水分条件下(0 d),接种 ERM 菌株桃叶杜鹃叶片及根系 GA₃ 的质量比高于 CK,差异具有统计学意义($p < 0.01$)。随着胁迫持续,CK 在第 4 d 时 GA₃ 的质量比迅速升高,在第 8 d 和第 12 d 呈下降变化,叶片和根系 GA₃ 的质量比在第 4 d 分别增加了 49.7%, 126.1%, TY29 和 TY35 GA₃ 的质量比在第 4 d 有所下降,在第 8 d 和第 12 d 呈升高变化,且接菌处理叶片及根系 GA₃ 的质量比均高于 CK,差异具有统计学意义($p < 0.01$),可能是 ERM 菌株对土壤水分变化适应后的结果。复水后,CK 较复水前变化不大, TY29 根系 GA₃ 的质量比下降, TY35 叶片及根系 GA₃ 的质量比均下降,不同处理在持续干旱下的不同表现说明不同 ERM 菌株对持续干旱有不同的适应方式。

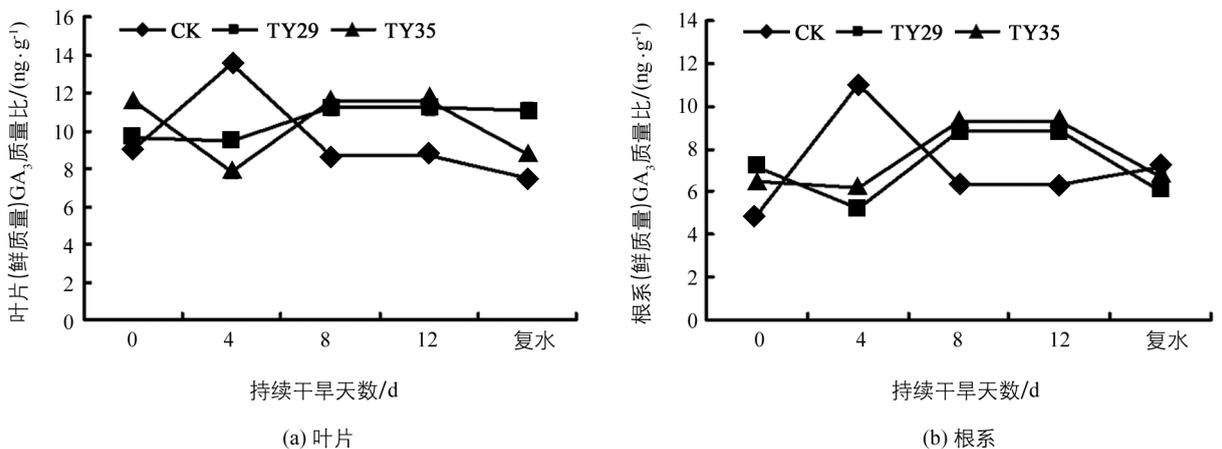


图 3 持续干旱下 ERM 菌株对桃叶杜鹃 GA₃ 的影响

2.4 持续干旱下 ERM 菌株对桃叶杜鹃 ZR 的影响

ZR 为高等植物体内主要并可转运的细胞分裂素之一,其含量变化也是植物应对干旱胁迫的重要生理措施。由图 4 可见,持续干旱下不同处理的桃叶杜鹃 ZR 的质量比呈现不同变化,CK 和 TY29 呈升高变化, TY35 呈下降变化,差异具有统计学意义($p < 0.05$)。在正常水分条件下(第 0 d),TY35 的 ZR 的质量比远高于 CK 和 TY29,其中叶片 ZR 的质量比分别较 CK 和 TY29 增加 49.0% 和 103.68%。随着干旱持续,CK

和 TY29 叶片 ZR 的质量比变化不大, 根系 ZR 的质量比呈升高变化, 以第 12 d 的 ZR 的质量比为最高; TY35 的叶片 ZR 的质量比呈下降变化, 以第 4 d 时 41.7% 的降幅为最大, 根系 ZR 的质量比在第 4 d 增加 85.55%, 在第 8 d 和第 12 d 随着土壤含水量的减少呈下降变化, 在第 12 d 分别较 CK 和 TY29 下降了 56.15% 和 58.92%。复水后, CK 叶片和根系 ZR 的质量比下降并低于正常水分条件下的含量, TY29 与复水前变化不大, TY35 较复水前增加, 表明接种 ERM 菌株在干旱胁迫解除后有利于桃叶杜鹃 ZR 的恢复。

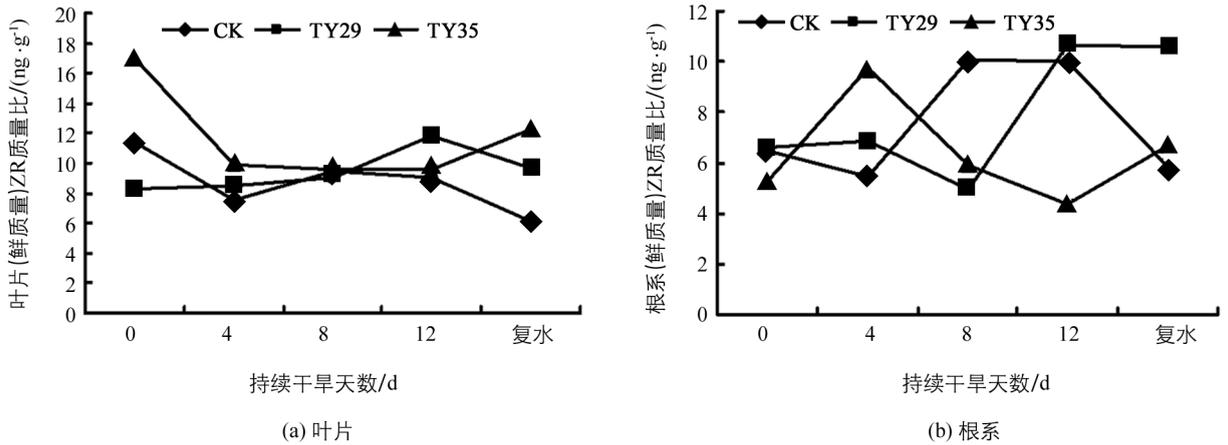


图 4 持续干旱下 ERM 菌株对桃叶杜鹃 ZR 的影响

2.5 持续干旱下 ERM 菌株对桃叶杜鹃 IAA/ABA、ZR/ABA、(IAA+ZR+GA₃)/ABA 比值影响

干旱胁迫下, 植物是通过多种激素共同调节作用的. 由表 1 可见, 持续干旱下 IAA/ABA, ZR/ABA 和 (IAA+ZR+GA₃)/ABA 比值呈下降变化, 其中 ZR/ABA 比值急剧下降, 复水后, IAA/ABA, ZR/ABA 和 (IAA+ZR+GA₃)/ABA 比值呈升高变化. 持续干旱下, CK 组 IAA/ABA, ZR/ABA 和 (IAA+ZR+GA₃)/ABA 比值均高于接菌组, 差异具有统计学意义. 在第 12 d 时, TY29 和 TY35 的 IAA/ABA 比值分别低于 CK 31.05% 和 34.93%, ZR/ABA 比值分别低于 CK 12.28% 和 47.37%, (IAA+ZR+GA₃)/ABA 比值分别低于 CK 26.57% 和 14.91%. 复水后, 各处理 IAA/ABA, ZR/ABA 和 (IAA+ZR+GA₃)/ABA 比值均有不同程度回升, 以 TY35 处理的 IAA/ABA, ZR/ABA 和 (IAA+ZR+GA₃)/ABA 比值增幅最快, 较复水前分别增加了 91.93%, 130% 和 46.35%, 说明干旱胁迫解除后, TY35 有较强的激素综合调节恢复能力.

表 1 持续干旱下 ERM 菌株对桃叶杜鹃 IAA/ABA, ZR/ABA, (IAA+ZR+GA₃)/ABA 比值变化

激素组合	菌株	0 d	4 d	8 d	12 d	复水
IAA/ABA	CK	1.215±0.023a	0.858±0.011a	1.031±0.006a	0.876±0.004a	1.113±0.039a
	TY29	1.234±0.036a	0.867±0.005a	0.665±0.01b	0.604±0.021c	0.986±0.009b
	TY35	1.045±0.034b	0.708±0.053b	0.624±0.025c	0.57±0.007b	1.094±0.017a
ZR/ABA	CK	0.207±0.01a	0.158±0.001a	0.135±0.004a	0.114±0.005a	0.1±0.001c
	TY29	0.153±0.002c	0.102±0.002b	0.059±0.001c	0.1±0.002b	0.189±0.009a
	TY35	0.182±0.004b	0.115±0.008b	0.071±0.001b	0.06±0.001c	0.138±0.007b
IAA+ZR+GA ₃ /ABA	CK	1.583±0.035a	1.141±0.01a	1.269±0.011a	1.08±0.012a	1.336±0.039a
	TY29	1.56±0.039a	1.066±0.001a	0.808±0.011b	0.793±0.024c	1.334±0.007a
	TY35	1.375±0.043b	0.904±0.067b	0.791±0.027b	0.919±0.006b	1.345±0.026a

注: * $p < 0.05$; 同列不同小写字母表示差异具有统计学意义 ($p < 0.05$).

3 结论

3.1 ERM 菌株对桃叶杜鹃内源激素的影响

逆境条件下, 植物通过激素水平的变化来调节其生理机能和生长节律以适应逆境. 秦双双^[23]、贾瑞丰

等人^[24]的研究表明干旱胁迫下植株体内 IAA 的质量比总体呈下降变化,何卫军^[25]、王霞等人^[26]的研究表明不同的品种或材料对干旱胁迫下 IAA 的响应方式不同. 本研究结果表明:ERM 菌株显著增加桃叶杜鹃 IAA 的质量比,随着胁迫持续,IAA 的质量比呈增加变化与赵文魁^[27]、敖红等人^[16]的研究结果相似;在重度胁迫时桃叶杜鹃根系 IAA 的质量比呈下降变化可能是桃叶杜鹃通过降低生长来主动防御干旱,而接种 ERM 菌株桃叶杜鹃根系 IAA 的质量比达到最大值,可能是菌根共生体通过菌丝网络扩大根系吸收面积缓解干旱带来的伤害,维持较高的 IAA 水平来主动增强根系吸收能力,从而增强桃叶杜鹃的抗旱能力.

ABA 是植物体内最重要的逆境信号激素,可作为信号分子诱导和启动逆境防御反应,提高植物体内保护酶的活性,降低膜脂过氧化程度,保护膜结构的完整性,增强植物逆境胁迫下的抗氧化能力^[28]. 持续干旱下,桃叶杜鹃 ABA 的质量比迅速累积,随着胁迫加剧,接种 ERM 菌株桃叶杜鹃迅速增加根系和叶片 ABA 的质量比,在重度干旱时根系和叶片 ABA 的质量比均保持在较高水平,可能是菌根共生体为了应对干旱通过根系合成大量的 ABA 运输至叶片来启动逆境防御反应,提高保护酶活性,降低膜脂过氧化程度,同时高的质量比的 ABA 有利于调节叶片气孔运动来减少水分散失,增强桃叶杜鹃的保水能力和同化能力.

GA₃ 是促进植物生长发育一类的激素,具有促进种子发芽和植物生长、提早开花结果等作用. 干旱胁迫对 GA₃ 影响结论不一,韩瑞宏等人^[29]对紫花苜蓿研究表明 GA₃ 的质量比呈下降变化,敖红等人^[16]对云杉的研究表明干旱对 GA 影响不明显. 持续干旱下,桃叶杜鹃 GA₃ 的质量比随胁迫呈增加降低变化,与贾瑞丰等人^[24]的研究结果相似,接种 ERM 菌株桃叶杜鹃 GA₃ 的质量比呈降低升高变化. 吴玉香等人^[30]证实一定范围内,GA₃ 能提高西洋杜鹃的 SOD 活性,降低 MDA 含量的生成. 在重度干旱胁迫下,接菌处理叶片及根系 GA₃ 的质量比均高于 CK,差异具有统计学意义($p < 0.01$),有助于提高桃叶杜鹃 SOD 活性,降低细胞膜的受伤害程度,维持桃叶杜鹃对干旱的耐受性.

ZR 可以促进细胞分裂,影响根系发育,延缓叶片衰老,与植物抗逆性密切相关. 汤章城^[31]认为生长素可以降低根系对水分的透性,减少气孔阻力,因此胁迫期间 ZT 含量的降低,减少了细胞分裂,不利于叶片的伸长,但有利于植物保持较高的水分状态,是一种保护性的生理反应^[32]. 持续干旱下,各处理桃叶杜鹃叶片 ZR 的质量比呈下降变化,可能是为了降低叶片细胞生命活动来降低水分消耗,提高水分利用效率;不同处理的桃叶杜鹃根系 ZR 的质量比呈现不同的变化可能是不同菌株对干旱胁迫的影响方式不同,CK 和 TY29 可能是根系受到干旱胁迫后改变 ZR 的质量比来影响根系发育的结果,TY35 可能是通过降低根系 ZR 的质量比来减慢生长速率,降低水分消耗提高水分利用率缓解干旱造成的压力,从而提高杜鹃杜鹃的抗旱能力.

3.2 ERM 菌株对桃叶杜鹃内源激素组合的影响

干旱胁迫下,植物是通过多种激素共同调节作用的. 持续干旱下桃叶杜鹃 IAA/ABA, ZR/ABA 和 (IAA+ZR+GA₃)/ABA 比值呈下降变化,其中 ZR/ABA 比值急剧下降,接菌处理比值显著低于 CK. 这种干旱胁迫下激素互作的变化在很多研究中得到了证实^[33-34]. 干旱胁迫下,多数植物生长促进型激素 (IAA, GA₃, ZR) 含量呈下降变化,生长抑制型激素 ABA 升高,植物通过减缓生长、促进气孔关闭、降低蒸腾等生理活动来降低水分的消耗,以主动、互作和协调的形式来响应干旱胁迫,降低干旱对植株的伤害. 接菌处理比值显著小于对照组表明 ERM 菌株对桃叶杜鹃有更强的干旱调节及抗旱能力. 复水后,IAA/ABA, ZR/ABA 和 (IAA+ZR+GA₃)/ABA 各比值都有不同程度的回升,进一步证实在干旱胁迫及胁迫解除后植物是通过多种激素共同互作、共同调节作用的.

综上所述:ERM 菌株增加桃叶杜鹃 IAA, ABA, GA₃, ZR 的质量比,随着干旱胁迫的持续及加强,接种 ERM 菌株迅速累积并维持桃叶杜鹃较高的 ABA 的质量比来诱导防御基因的表达、保护酶活性增加、增强气孔运动调节,提高 IAA, GA₃, ZR 的质量比增强根系主动吸收能力和 SOD 活性来降低干旱带来的伤害,表现出较强的抗旱能力.

参考文献:

- [1] 朱春艳,李志炎,鲍淳松,等.我国杜鹃花资源的保护与开发利用[J].中国野生植物资源,2007,26(2):28-30.
- [2] 陈训,巫华美.中国贵州杜鹃花[M].贵阳:贵州科技出版社,2003:21.
- [3] JANSÁ J, VOSÁTKA M. In Vitro and Post Vitro Inoculation of Micropropagated Rhododendrons with Ericoid Mycorrhizal Fungi [J]. Applied Soil Ecology, 2000, 15(2): 125-136.
- [4] STRANDBERG M, JOHANNSSON M. Uptake of Nutrients in Calluna Wlgaris Seed Plants Growth with and Without Mycorrhiza [J]. For Ecol Mgmt, 1999, 114: 129-135.
- [5] 欧静,刘仁阳,张仁媛,等.杜鹃花类菌根菌株对桃叶杜鹃幼苗硝酸还原酶活性和氮的影响[J].浙江农林大学学报,2014,31(6):926-931.
- [6] 尹丽娟,张春英,杨兵.云锦杜鹃菌根真菌吸收氮源特性及其接种效应[J].中国农业科学,2010,43(4):868-872.
- [7] 陈真,杨兵,张春英,等.锦绣杜鹃菌根真菌 rDNA ITS 序列分析及接种效应研究[J].菌物学报,2011,30(5):729-737.
- [8] 欧静,韦小丽,何跃军,等.接种ERM真菌对桃叶杜鹃幼苗的促生效应及生理生化影响[J].林业科学,2013,49(7):48-56.
- [9] 宋慧娟,赵富群,洪文君,等.杜鹃花属植物内生真菌对毛棉杜鹃幼苗生长的影响[J].广东林业科技,2015,31(4):47-51.
- [10] 罗倩,何颖,宋卓达,等.接种ERM的杜鹃在高温胁迫下生理指标变化[J].林业与环境科学,2016,32(1):41-46.
- [11] 洪文君,王盼,刘强,等.毛棉杜鹃接种菌苗对干旱胁迫的生理响应研究[J].西南农业学报,2016,29(4):805-809.
- [12] 陈锡娟,汤绍虎,周启贵. IBA 和 NAA 处理对杜鹃水培插条生长的影响 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2017, 42(6): 54-58.
- [13] 李琳琳,刘佳,苏贝贝,等.茉莉酸甲酯对颠茄毛状根的生理指标及托品烷类生物碱积累的影响[J].西南大学学报(自然科学版),2017,39(5):70-75.
- [14] 刘瑞香,杨劼,高丽.中国沙棘和俄罗斯沙棘叶片在不同土壤水分条件下脯氨酸、可溶性糖及内源激素含量的变化[J].水土保持学报,2005,19(3):148-151,169.
- [15] 闫志利,轩春香,牛俊义,等.干旱胁迫及复水对豌豆根系内源激素含量的影响[J].中国生态农业学报,2009,17(2):297-301.
- [16] 敖红,王炎.干旱胁迫下云杉内源激素的响应及其气孔调节[J].经济林研究,2011,29(3):28-34.
- [17] TAKAHASHI S, KATAGIRI T, YAMAGUCHISHINOZAKI K, et al. An Arabidopsis Gene Encoding a Ca²⁺-Binding Protein is Induced by Abscisic Acid During Dehydration [J]. Plant and Cell Physiology, 2000, 41(7): 898-903.
- [18] 齐国辉,郝荣庭. VA 菌根真菌对苹果组培苗内源激素含量的影响 [J]. 河北农业大学学报, 1997, 20(4): 51-54.
- [19] LIU Run-jin, LI Min, MENG Xiang-xia, et al. Effects of Am Fungi on Endogenous Hormones in Corn and Cotton Plants [J]. 菌物系统, 2000, 19(1): 91-96.
- [20] 王丽娟.桃叶杜鹃菌根苗对干旱胁迫的生理响应[D].贵阳:贵州大学,2016.
- [21] 谌端玉,欧静,王丽娟,等.干旱胁迫对接种ERM真菌桃叶杜鹃幼苗叶绿素含量及荧光参数的影响[J].南方农业学报,2016,47(7):1164-1170.
- [22] 张立军,樊金娟.植物生理学实验教程[M].北京:中国农业大学出版社,2007:77-81.
- [23] 秦双双,陈顺钦,黄璐琦,等.水分胁迫对黄芩内源激素与有效成分相关性的影响[J].中国实验方剂学杂志,2010,16(7):99-101.
- [24] 贾瑞丰,杨曾奖,徐大平,等.干旱胁迫对降香黄檀幼苗生长及内源激素含量的影响[J].生态环境学报,2013,22(7):1136-1140.
- [25] 何卫军,焦旭亮,张振文,等.不同干旱胁迫水平下赤霞珠和黑比诺幼苗内源激素水平比较[J].干旱地区农业研究,2008,26(3):142-145.
- [26] 王霞,侯平,尹林克,等.土壤缓慢水分胁迫下柽柳植物内源激素的变化[J].新疆农业大学学报,2000,23(4):

41-43.

- [27] 赵文魁, 童建华, 谢深喜, 等. 干旱胁迫对枳橙内源激素含量的影响 [J]. 现代生物医学进展, 2008, 8(9): 1662-1664.
- [28] 姚满生, 杨小环, 郭平毅. 脱落酸与水分胁迫下棉花幼苗水分关系及保护酶活性的影响 [J]. 棉花学报, 2005, 17(3): 141-145.
- [29] 韩瑞宏, 张亚光, 田 华, 等. 干旱胁迫下紫花苜蓿叶片几种内源激素的变化 [J]. 华北农学报, 2008, 23(3): 81-84.
- [30] 吴玉香, 魏建康, 沈少炎, 等. GA₃ 对西洋杜鹃花期及生理生化指标的影响 [J]. 江西农业学报, 2016, 28(12): 18-22.
- [31] 汤章城. 植物对水分胁迫的反应和适应性(I)——抗逆性的一般概念和植物的抗涝性 [J]. 植物生理学通讯, 1983(3): 21-29.
- [32] 潘根生, 吴伯千, 沈生荣, 等. 水分胁迫过程中茶树新梢内源激素水平的消长及其与耐旱性的关系 [J]. 中国农业科学, 1996, 29(5): 9-15.
- [33] 李玉梅, 李建英, 王根林, 等. 水分胁迫对大豆幼苗叶片内源激素的影响 [J]. 大豆科学, 2007, 26(4): 627-629.
- [34] 俞 玲, 马晖玲. 甘肃几种早熟禾内源激素水平及干旱适应性 [J]. 中国沙漠, 2015, 35(1): 182-188.

Influences of ERM Strain on Endogenous Hormones of *Rhododendron annae* Franch in Continuous Drought

CHEN Rong-jian¹, XIONG Dan¹, OU Jing¹, LONG Hai-yan¹,
XIONG Xian-rong¹, HE Yue-jun¹, LI Chao-chan²

1. College of Forestry, Guizhou University, Guiyang 550025, China;

2. Key Laboratory of Mountainous Environment of Guizhou, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China

Abstract: Two strains of ERM (ericoid mycorrhiza) were inoculated at sowing to cultivate the rhizome of *Rhododendron annae* to study their effects on indole-3-acetic acid (IAA), abscisic acid (ABA), gibberellin A₃ (GA₃) and trans-zeatin-riboside (ZR) in *R. annae* under continuous drought. Inoculation of ERM significantly increased IAA, ABA, GA₃ and ZR contents in *R. annae* plants under conditions of normal water and continuous drought. The content of IAA and GA₃ in *R. annae* increased first and then decreased in continuous drought. In ERM inoculation treatment IAA and GA₃ contents of *R. annae* increased and reached the maximum at severe stress. When the field water holding capacity was less than 30%, ABA content increased sharply and was maintained at a fairly high level. ZR content varied: the ZR content increased in the control group and TY29 root, and decreased in TY35 root. The ratios of IAA/ABA, ZR/ABA and (IAA + ZR + GA₃)/ABA decreased, and the ratio of ZR/ABA decreased sharply. They were significantly lower in inoculation treatments than in the control group. The above results showed that ERM strains could enhance the contents of IAA, ABA, GA₃ and ZR in *R. annae* to increase the ability of regulation and cooperation of its endogenous hormones under drought stress and improve the drought resistance of the plant.

Key words: *Rhododendron annae*; ericoid mycorrhizas(ERM); endogenous hormone; continuous drought

