

陈 凯,刘经伦,徐 玲,等. 不同品种小粒咖啡幼苗对干旱胁迫的响应差异[J]. 江苏农业科学,2017,45(18):145–149.
doi:10.15889/j.issn.1002–1302.2017.18.036

不同品种小粒咖啡幼苗对干旱胁迫的响应差异

陈 凯¹, 刘经伦¹, 徐 玲¹, 柴连周², 汪建云¹, 李晓娇¹, 杨春贵¹

(1. 保山学院资源与环境学院, 云南保山 678000; 2. 保山中医药高等专科学校, 云南保山 678000)

摘要:以云南热区广泛种植的小粒咖啡品种铁毕卡、卡蒂姆₁及卡蒂姆₂幼苗为材料,比较了3种小粒咖啡幼苗在干旱胁迫下的受伤害程度、根系与渗透调节响应差异,并基于相关指标变化进行聚类分析。结果显示,干旱胁迫过程中铁毕卡的丙二醛(malondialdehyde,简称MDA)含量最高,其质膜受损害最严重;3个品种的根系体积变化差异不显著,但卡蒂姆系列的根冠比大于铁毕卡;铁毕卡的渗透调节物质积累早于卡蒂姆系列,其中脯氨酸含量高于卡蒂姆系列,可溶性糖含量小于卡蒂姆系列。聚类分析结果显示,卡蒂姆₁与卡蒂姆₂聚为一类,铁毕卡单独聚为一类,这一关系与3个品种的亲缘关系一致。结果表明,小粒咖啡卡蒂姆系列耐旱力强于铁毕卡;不同小粒咖啡品种对干旱胁迫的响应存在差异,这种差异与耐旱力有关,而耐旱力应该与亲缘关系有关。

关键词:小粒咖啡;干旱胁迫;幼苗;渗透调节;聚类分析;耐旱力

中图分类号: S571.201 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002–1302(2017)18–0145–04

小粒咖啡(*Coffea arabica* L.)为茜草科(Rubiaceae)咖啡属(*Coffea* L.)小灌木,喜阴凉、潮湿环境^[1–3],对干旱敏感^[4]。干旱下小粒咖啡的形态、生理代谢发生改变,产量降低,甚至死亡。干旱抑制小粒咖啡苗生长,降低生长速率^[5–6],使其株高^[7]、叶面积^[8–10]、鲜质量^[8]、根系体积^[7]及节间长度^[7]降低;生物量分配发生改变,根与茎中分配增加,叶中减少^[6,11]。干旱降低小粒咖啡叶片水势^[1,10,12]、相对含水量^[8],导致萎焉^[10,12],同时叶片气孔导度^[13]、叶绿素含量^[14–15]、电子传递链效率^[15]、光合速率^[14]、淀粉含量^[13]及蒸腾速率^[13]都降低。咖啡树在干旱下新叶减少、老叶提前脱落、挂果枝缩短、顶梢枯死、花质量降低、花器发育和幼果形成受阻^[16]、咖啡豆变黄以及种子变黑、衰弱^[17]。干旱可使小粒咖啡碳、氮代谢^[1]及有机物积累^[18]异常,因此旱区的咖啡产量低^[19]。在旱地小粒咖啡幼苗移植成活率低,春旱或初夏干旱常出现死苗或僵苗的现象^[20]。干热区小粒咖啡因降雨不足、干燥度大,常出现落花落果、枯枝及干果^[21]等问题。

云南小粒咖啡因其高品质而闻名世界,是云南热区重要的经济作物,目前云南生产性种植的小粒咖啡品种有铁毕卡(Typica)及卡蒂姆(Catimor)系列等^[22]。笔者前期的研究表明,干旱胁迫对小粒咖啡幼苗造成伤害,幼苗对干旱胁迫产生强烈响应,幼苗抗旱性的形成与渗透调节物质、抗氧化酶活性密切相关^[23]。但小粒咖啡不同品种的耐旱力尚不清楚,本研究拟通过比较不同小粒咖啡品种对干旱胁迫响应的差异,评估不同品种的耐旱力,并试图探明响应差异的大小与品种间亲缘关系的远近是否一致,对小粒咖啡育种及农业生产具有

一定意义。

1 材料与方法

1.1 材料

选用云南热区大面积种植的小粒咖啡品种铁毕卡、卡蒂姆78677(卡蒂姆₁)及卡蒂姆7963(卡蒂姆₂)作为试验材料,小粒咖啡种子由云南省农业科学院热带经济作物研究所与云潞咖啡股份有限公司提供;所用试剂有酸性茚三酮、脯氨酸、萘酚及浓硫酸等,均为国产或进口分析纯;主要仪器有紫外-可见分光光度计等。

1.2 方法

1.2.1 小粒咖啡种子萌发及幼苗培养 幼苗培养时间为2015年3—10月,用10% H₂O₂将咖啡种子消毒30 min,再用无菌水(室温)冲洗3次。浸种24 h后随机分别播种在3块苗圃中,播种深度为1.5 cm,苗圃白天最高温35℃,晚上最低温15℃,待幼苗出土后再培育50 d,幼苗培育过程中每3 d喷洒1次水,每块苗圃每次1 L。

1.2.2 干旱胁迫处理及取材 对苗圃中的小粒咖啡幼苗进行自然干旱胁迫(持续不浇水)处理15 d,每3 d取1次材料,将根、茎、叶分开,并用电子天平称质量。

1.2.3 相关形态指标测定 用水位取代法^[24]测定根系体积,称质量法^[24]测定根冠比。

1.2.4 相关生理指标测定 用硫代巴比妥酸法^[25]测定丙二醛含量,萘酚比色法^[24]测定可溶性糖含量,磺基水杨酸法^[26]测定脯氨酸含量。

1.2.5 数据处理及分析 每组试验重复3次,用R3.2.1的stat包做两因素方差分析、多重比较及作图。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对3种小粒咖啡幼苗的伤害

干旱胁迫引起植物体缺水,导致次生氧化胁迫,氧化细胞膜中的不饱和脂肪酸生成丙二醛(malondialdehyde,简称

收稿日期:2016–04–06

基金项目:云南省应用基础研究计划(编号:2014FD057、2015FD056);云南省保山市第一批青年学术和技术带头人(编号:bszqnxshjsdtr2012–04)

作者简介:陈 凯(1985—),男,湖南邵阳人,硕士,助教,主要从事植物生理生态研究。Tel:(0875)3115198;E-mail:kchen1985@163.com。

MDA), 改变细胞膜的通透性^[27], 因此干旱胁迫下的膜伤害是干旱伤害的本质之一^[28]。抗旱品种在干旱胁迫下质膜受伤程度低^[28]。为比较干旱胁迫对 3 种小粒咖啡幼苗的伤害程度, 本研究分别测定干旱胁迫过程中 3 种幼苗叶片 MDA 含量的变化。由图 1-A 可看出, 随着胁迫强度增加, 卡蒂姆_1、卡蒂姆_2、铁毕卡幼苗叶片 MDA 含量都呈现不断上升的趋势; 两因素方差分析表明, 小粒咖啡品种 ($F = 7.606, P =$

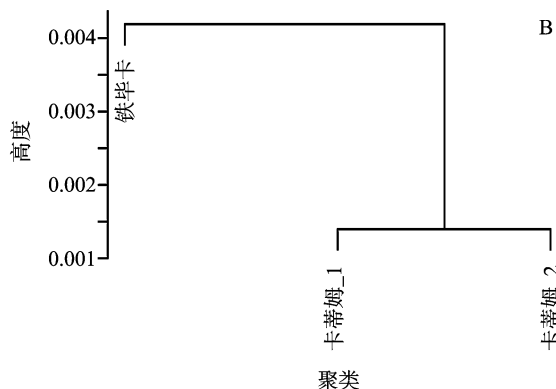
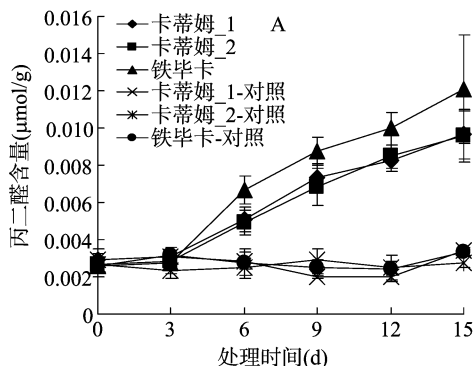
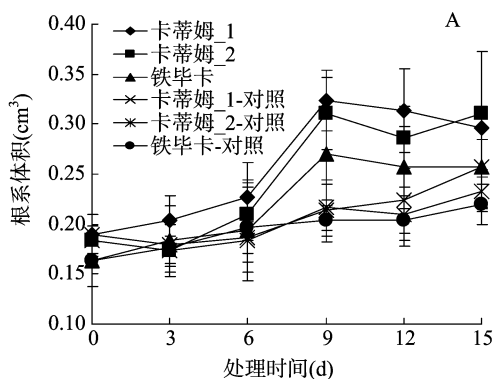


图1 干旱胁迫过程中3种小粒咖啡幼苗叶片丙二醛含量变化 (A)、聚类分析 (B)

2.2 3 种小粒咖啡幼苗根系对于干旱胁迫的响应

根系发达程度是衡量作物抗旱的重要指标, 发达的根系提高作物吸水效率, 从而缓解旱情^[28]。有研究表明, 根系发达程度与作物的抗旱力呈正相关^[28]。由图 2-A 可看出, 随着胁迫强度的增加, 卡蒂姆_1、卡蒂姆_2、铁毕卡幼苗根系体积呈现先上升后下降的趋势; 两因素方差分析表明, 小粒咖啡



品种 ($F = 6.383, P = 0.0058$)、胁迫强度 ($F = 26.129, P \approx 0$) 极显著影响幼苗根系体积; 多重比较结果表明, 在胁迫 0 ~ 15 d, 铁毕卡、卡蒂姆_1 及卡蒂姆_2 两两之间根系体积差异不显著 ($P > 0.05$)。但聚类分析结果 (图 2-B) 表明, 卡蒂姆_1 与卡蒂姆_2 聚为一类, 铁毕卡单独聚为一类, 卡蒂姆_1 与卡蒂姆_2 的根系体积对于干旱胁迫的响应方式更接近。

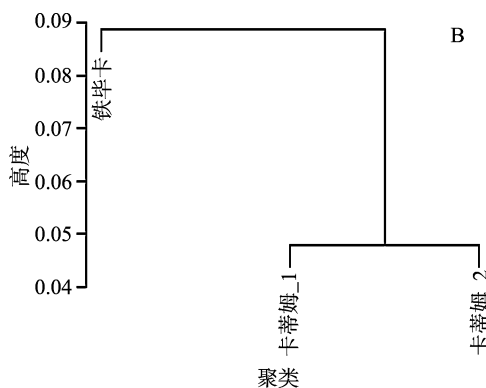


图2 干旱胁迫过程中 3 种小粒咖啡幼苗根系体积变化 (A)、聚类 (B)

根冠比是指植物地上部分与地下部分生物量的比值, 较高的根冠比表明植物有发达的根系, 故作物根冠比与抗旱力呈正相关^[28]。由图 3-A 可看出, 干旱胁迫过程中, 卡蒂姆_1、卡蒂姆_2、铁毕卡的幼苗根冠比, 随胁迫强度增加呈现先上升后下降的趋势, 卡蒂姆_1 与卡蒂姆_2 在胁迫 12 d 幼苗根冠比达到峰值, 铁毕卡在胁迫 9 d 达到峰值; 两因素方差分析表明, 小粒咖啡品种 ($F = 8.43, P = 0.0058$)、胁迫强度 ($F = 20.45, P \approx 0$) 极显著影响幼苗根冠比; 多重比较结果表明, 在胁迫 0、3、6、9 d, 铁毕卡、卡蒂姆_1 及卡蒂姆_2 两两之间根冠比差异不显著 ($P > 0.05$), 在胁迫 12、15 d, 卡蒂姆_1 与卡蒂姆_2 幼苗根冠比都显著 ($P < 0.05$) 高于铁毕卡, 根冠比最大值分别为铁毕卡的 1.63、1.49 倍, 而卡蒂姆_1、卡蒂姆_2 间

的差异不显著 ($P > 0.05$)。聚类分析结果 (图 3-B) 表明, 干旱胁迫过程中卡蒂姆_1 与卡蒂姆_2 幼苗的根冠比变化相对于铁毕卡更接近。

2.3 3 种小粒咖啡幼苗主要渗透调节物质对于干旱胁迫的响应

渗透调节指植物在干旱胁迫下, 通过代谢活动增加细胞内的溶质浓度, 降低渗透势, 从而保持细胞中的水分以维持正常生命活动, 脯氨酸、可溶性糖等是主要的细胞渗透调节物质^[28-29]。一般认为, 耐旱品种比不耐旱品种渗透调节能力更强^[28]。

脯氨酸不仅能提高细胞的保水能力, 还能保护酶结构, 维持酶活性^[30]。作物在干旱条件下会积累大量脯氨酸, 且不同

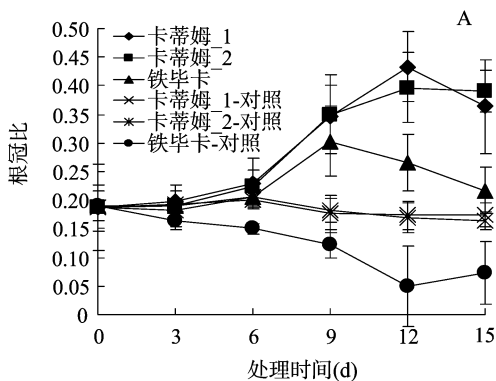
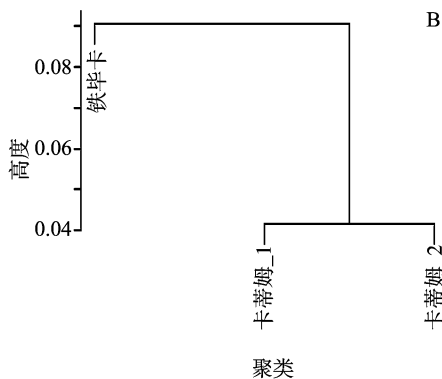


图3 干旱胁迫过程中 3 种小粒咖啡幼苗根/冠比变化(A)、聚类(B)



品种积累量有差异^[29]。由图 4 - A 可看出,干旱胁迫过程中,卡蒂姆_1、卡蒂姆_2、铁毕卡幼苗叶片脯氨酸含量随胁迫强度增加呈现先上升后下降的趋势,3 个品种的叶片脯氨酸含量均在胁迫 12 d 达到峰值;两因素方差分析表明,小粒咖啡品种显著($F=3.515, P=0.038$)、胁迫强度极显著($F=29.67, P\approx 0$)影响叶片脯氨酸含量;多重比较结果表明,在胁迫 6 d,

铁毕卡叶片脯氨酸含量显著($P=0.04$)高于卡蒂姆_1,为卡蒂姆_1 的 1.18 倍,而铁毕卡与卡蒂姆_2、卡蒂姆_1 与卡蒂姆_2 差异都不显著($P>0.05$),在胁迫 0、3、9、12、15 d,3 个品种两两之间脯氨酸含量差异均不显著($P>0.05$)。由图 4 - B 可看出,干旱胁迫过程中卡蒂姆_1 与卡蒂姆_2 幼苗的脯氨酸含量变化更接近。

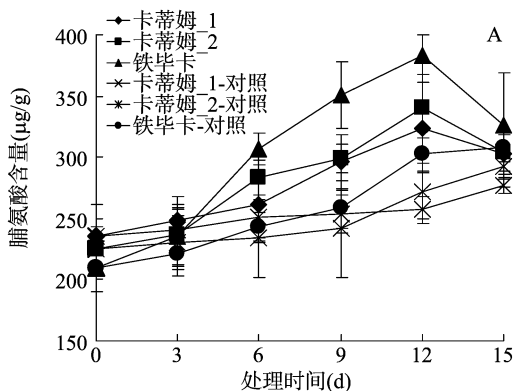
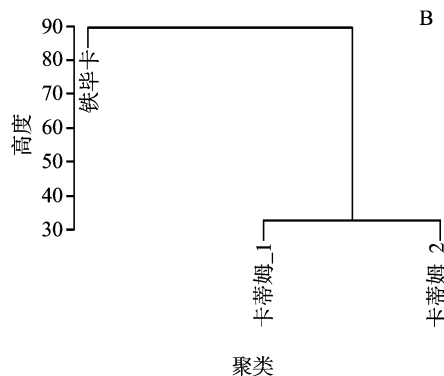


图4 干旱胁迫过程中3种小粒咖啡幼苗叶片脯氨酸含量变化(A)、聚类分析(B)



可溶性糖在细胞内含量高、种类多,是细胞渗透调节的主要贡献者,还原性的可溶性糖如海藻糖,同时具有保护酶、细胞结构的作用^[31]。由图 5 - A 可看出,干旱胁迫过程中,卡蒂姆_1、卡蒂姆_2、铁毕卡幼苗叶片可溶性糖含量呈先上升后下降的趋势,都在胁迫 9 d 可溶性糖含量达到峰值;两因素方差分析表明,小粒咖啡品种($F=9.423, P=0.0004$)、胁迫强度

($F=14.559, P\approx 0$)均极显著影响叶片可溶性糖含量;多重比较结果表明,在胁迫 9、12、15 d,卡蒂姆_1、卡蒂姆_2 的可溶性糖含量均显著($P<0.05$)高于铁毕卡,最高含量均为铁毕卡的 1.39 倍,在胁迫 0、3、6 d,3 个品种之间差异不显著($P>0.05$)。图 5 - B 基于胁迫过程中可溶性糖含量变化聚类,结果表明,卡蒂姆_1 与卡蒂姆_2 聚为一类,铁毕卡为另一类。

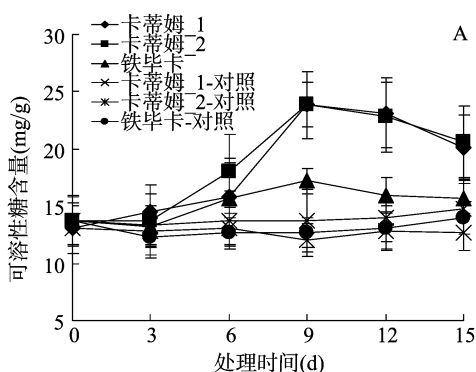
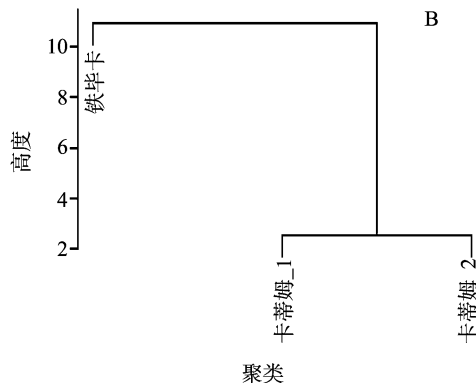


图5 干旱胁迫过程中 3 种小粒咖啡幼苗叶片可溶性糖含量变化(A)、聚类(B)



3 讨论

质膜透性变化实际上反映了作物的耐旱性,是一种可靠的抗旱鉴定指标^[28],已有的研究表明,作物耐旱品种在干旱下质膜结构更稳定^[32]。干旱对小粒咖啡幼苗造成伤害,导致其细胞膜通透性增加、电解质外渗及 MDA 含量增加^[23]。本研究表明,干旱胁迫引起铁毕卡、卡蒂姆₁ 及卡蒂姆₂ 幼苗的细胞质膜损伤,胁迫强度越大质膜受损伤程度越大,胁迫过程中铁毕卡幼苗受伤害程度越大。

作物对干旱胁迫作出响应,但由于品种间耐旱力的差异而应答方式不一致^[33]。干旱下小粒咖啡生物量分配发生改变,地下生物量增加,地上生物量减少^[6,11]。本研究结果表明,铁毕卡、卡蒂姆₁ 及卡蒂姆₂ 幼苗根系体积、根冠比在干旱胁迫早期增加,胁迫后期减小;胁迫过程中品种间根系体积变化差异不显著($P > 0.05$),卡蒂姆₁、卡蒂姆₂ 的根冠比大于铁毕卡,表明卡蒂姆₁、卡蒂姆₂ 的地上生物量比铁毕卡少,水分蒸腾量相对较低,对土壤水分的需求也较低。作物叶片中的有机渗透调节物质可对干旱胁迫作出强烈响应^[23,28]。干旱下小粒咖啡叶片中的脯氨酸、可溶性糖等大量积累^[23],且在胁迫的不同时期积累不同的渗透调节物质。本研究表明,干旱胁迫过程中铁毕卡叶片中的脯氨酸含量高于卡蒂姆₁、卡蒂姆₂,可溶性糖含量低于卡蒂姆₁、卡蒂姆₂,由于可溶性糖的含量在小粒咖啡幼苗叶片中远高于脯氨酸,故卡蒂姆₁、卡蒂姆₂ 具有更高的渗透调节能力,铁毕卡叶片中的渗透调节物质积累早于卡蒂姆₁、卡蒂姆₂,表明铁毕卡对干旱胁迫更敏感。综合考虑干旱对 3 种小粒咖啡幼苗的伤害程度及幼苗在干旱下的根系、渗透调节物质的响应,笔者认为小粒咖啡的卡蒂姆系列比铁毕卡更耐旱。

进化生态学认为不同的植物来源于共同的祖先,因此植物之间具有一定的亲缘关系,植物在进化上保守的功能性状具有相关性,亲缘关系越近则对应的功能性状越相似^[34-36]。植物生理指标在植物生态学中归属于响应功能性状^[37]。本研究的所有聚类结果表明,卡蒂姆₁、卡蒂姆₂ 聚为一类,铁毕卡单独聚为一类,这一结果与 3 个品种亲缘关系的远近一致,故笔者推测作物的耐旱力与亲缘关系有关,亲缘关系近则耐旱力接近,对干旱应答的方式也类似。

参考文献:

- [1] da Matta F M, Ramalho J D C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review[J]. Braz J Plant Physiol, 2006, 18(1): 55-81.
- [2] Alvim P T, Kozłowski T T. 热带作物生态生理学[M]. 中国热带作物学会,译. 北京:中国农业出版社,1984:225-228.
- [3] 彭磊,周玲,杨惠仙,等. 低海拔干热河谷山地小粒咖啡栽培技术[J]. 中国农学通报,2002,18(1):117-119.
- [4] 蔡传涛,蔡志全,解继武,等. 田间不同水肥管理下小粒咖啡的生长和光合特性[J]. 应用生态学报,2004,15(7):1207-1212.
- [5] Tesha A J, Kumar D. Effect of fertilizer nitrogen on drought resistance in *Coffea arabica* L. [J]. The Journal of Agricultural Science, 1978, 90(3): 625-631.
- [6] Dias P C, Araujo W L, Moraes G A, et al. Morphological and physiological responses of two coffee progenies to soil water availability

- [J]. Journal of Plant Physiology, 2007, 164(12): 1639-1647.
- [7] Worku M, Astatkie T. Growth responses of arabica coffee (*Coffea arabica* L.) varieties to soil moisture deficit at the seedling stage at Jimma, Southwest Ethiopia [J]. Journal of Food Agriculture & Environment, 2010, 8(1): 195-200.
- [8] Worku M, Astatkie T. Dry matter partitioning and physiological responses of *Coffea arabica* varieties to soil moisture deficit stress at the seedling stage in Southwest Ethiopia [J]. African Journal of Agricultural Research, 2010, 5(15): 2066-2072.
- [9] da Matta F M. Drought as a multidimensional stress affecting photosynthesis in tropical tree crops [M]. Hemantaranjan A. Advances in Plant Physiology. Jodhpur: Scientific Publishers, 2003: 227-265.
- [10] da Matta F M, Maestri M, Barros R S, et al. Water relations of coffee leaves (*Coffea arabica* and *C. canephora*) in response to drought [J]. Journal of Horticultural Science, 1993, 68(5): 741-746.
- [11] Cavatte P C, Oliveira A A, Morais L E, et al. Could shading reduce the negative impacts of drought on coffee? A morphophysiological analysis [J]. Physiologia Plantarum, 2012, 144(2): 111-122.
- [12] Caramori L P C, Caramori P H, Filho J M. Effect of leaf water potential on cold tolerance of *Coffea arabica* L. [J]. Brazilian Archives of Biology and Technology, 2002, 45(4): 439-443.
- [13] da Matta F M, Maestri M, Barros R S. Photosynthetic performance of two coffee species under drought [J]. Photosynthetica, 1998, 34(2): 257-264.
- [14] Cai Z Q, Chen Y J, Guo Y H, et al. Responses of two field-grown coffee species to drought and re-hydration [J]. Photosynthetica, 2005, 43(2): 187-193.
- [15] Dealmeida A F, Maestri M. Characteristics of slow chlorophyll fluorescence emission in four *Coffea arabica* genotypes submitted to water stress [J]. Photosynthetica, 1996, 32(2): 161-169.
- [16] 周华,李文伟,张洪波,等. 咖啡种质资源的引进、研究及利用 [J]. 云南热作科技, 2002, 25(2): 1-6.
- [17] Carr M V. The water relations and irrigation requirements of coffee [J]. Experimental Agriculture, 2002, 37(1): 1-36.
- [18] dos Santos T B, Budzinski I G F, Marur C J. Expression of three galactinol synthase isoforms in *Coffea arabica* L. and accumulation of raffinose and stachyose in response to abiotic stresses [J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2011, 49(4): 441-448.
- [19] 李建洲. 干热区小粒咖啡抗旱节水与抗寒防冻高产栽培技术 [J]. 云南热作科技, 2001, 24(4): 41-42.
- [20] 朗关富,韩东亮,李德义,等. 旱地小粒咖啡栽培中存在的问题与对策 [J]. 中国热带农业, 2012, 44(1): 32-34.
- [21] 李建洲. 干热区小粒咖啡栽培技术措施 [J]. 云南热作科技, 2000, 23(3): 36-37.
- [22] 周华,李文伟,李锦红,等. 云南小粒咖啡优良品种比较试验及丰产栽培示范 [J]. 热带农业科技, 2006, 29(3): 1-5, 28.
- [23] 陈凯,刘经纶,徐玲,等. 小粒咖啡幼苗对干旱胁迫的响应 [J]. 西南农业学报, 2015, 28(5): 2004-2008.
- [24] 张志良,瞿伟菁,李小方,等. 植物生理学实验指导 [M]. 3 版. 北京:高等教育出版社, 2012: 29-30.
- [25] 侯福林. 植物生理学实验教程 [M]. 北京:科学出版社, 2004: 89-90.
- [26] 史树德,孔亚卿,魏磊,等. 植物生理学实验指导 [M]. 北京:中国林业出版社, 2011: 142-144.

杜俊卿. 接种丛枝菌根真菌对不同绿化植物根际微环境的影响[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(18): 149–152.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.18.037

接种丛枝菌根真菌对不同绿化植物根际微环境的影响

杜俊卿

(呼和浩特职业学院生物化学工程学院, 内蒙古呼和浩特 010051)

摘要:为改善城市绿化土壤环境,提升绿化苗木的栽培效率,以常见绿化植物大叶女贞、法国冬青、桂花、三叶草、芍药为试验材料,采用盆栽试验研究丛枝菌根真菌(AM 真菌)接种对不同绿化植物根际微环境的影响。结果表明,5 种不同绿化植物接种后均会发生侵染,法国冬青侵染率最大,达到 72.1%;接种 AM 真菌后,不同绿化植物 pH 值均显著下降;接种 AM 真菌的绿化植株根际土壤微生物数量较对照显著增加,法国冬青中细菌、真菌、放线菌增加幅度最大,分别为 56.54%、70.83%、72.51%;接种 AM 真菌的植株根际土壤酶活性较对照显著增加,法国冬青磷酸酶、蛋白酶、脱氢酶、蔗糖酶增加幅度最大,分别为 18.95%、43.64%、41.46%、17.17%;接种组植株根际土壤养分含量较对照显著增加,法国冬青有机质、速效氮、速效磷、速效钾含量增幅最大,分别为 10.63%、11.51%、5.99%、9.87%;接种组植株生物量较对照显著增加,法国冬青株高、地径、总干质量增幅最大,分别为 23.29%、41.07%、26.73%。这说明丛枝菌根真菌可改善绿化植物的根际微环境,提高土壤肥力,从而促进绿化植物生长发育。

关键词:丛枝菌根真菌;根际微环境;绿化植物;土壤;微生物;养分;生长发育

中图分类号: S182 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)18-0149-04

丛枝菌根真菌(arbuscular mycorrhizae, 简称 AM 真菌)是土壤中分布最广泛的一类真菌,类型丰富,可与大多数植物结合形成互惠共生体—丛枝菌根^[1-3]。关于丛枝菌根的生物学效应,前人在小麦^[4]、紫苜蓿^[5]、甜椒^[6]、南方红豆杉^[7]、翅果油树^[8]、红花^[9]、枳椇^[10]、紫穗槐^[11]等植物上进行了大量的研究,认为丛枝菌根可降低植株根际的 pH 值,改善土壤微环境,提升土壤养分含量,促进作物生长和增强抗逆性。大叶女贞、法国冬青、桂花、三叶草、芍药是最常见的城市绿化植物,在城市环境美化中发挥着非常重要的作用,为人们提供了文明、健康的生活、学习及工作环境。近年来,随着城市化建设的飞速发展,城市绿化土壤生态环境日益恶化,对绿化植株生长产生了严重的影响,如何改善绿化土壤生态环境已成为当务之急。大量研究表明,丛枝菌根可改善土壤环境,促进植株

生长,提升植株抗逆性,但相关研究大都集中在作物栽培等方面,而关于丛枝菌根真菌对绿化植物根际微环境的影响尚未见相关报道。因此,本试验以常见的绿化植物大叶女贞、法国冬青、桂花、三叶草、芍药为材料,研究 AM 真菌接种对不同绿化植物生物量和根际土壤微环境的影响,并初步对 AM 真菌促进绿化植物生长的机理进行探讨,以期改善城市绿化土壤环境、促进绿化植物生长提供借鉴。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试植物为常见的城市绿化植物:大叶女贞(*Ligustrum lucidum*)、法国冬青(*Viburnum odoratissimum*)、桂花(*Osmanthus fragrans*)、三叶草(*Galium odoratum*)、芍药(*Paeonia lactiflora*)。供试 AM 菌种为摩西球囊霉属(*Glomus mosseae*),由北京市农林科学院丛枝菌根真菌种质库提供。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计 试验于 2016 年 3 月 20 日开始实施,选购长势一致的大叶女贞、法国冬青、桂花、三叶草及芍药幼苗各

收稿日期:2017-03-20

基金项目:内蒙古自治区教育厅项目(编号:NJZY16451)。

作者简介:杜俊卿(1975—),女,内蒙古太仆寺旗人,硕士,讲师,研究方向为园艺作物栽培。E-mail:dujunqing7511@163.com。

[27]黄升谋. 干旱对植物的伤害及植物的抗旱机制[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(22): 10370–10372.

[28]龚明. 作物抗旱性鉴定方法与指标及其综合评价[J]. 云南农业大学学报, 1989, 4(1): 73–81.

[29]胡荣海. 农作物抗旱鉴定方法和指标[J]. 作物品种资源, 1986, 8(4): 36–39.

[30]Yang S L, Lan S S, Gong M. Hydrogen peroxide-induced proline and metabolic pathway of its accumulation in maize seedlings[J]. Journal of Plant Physiology, 2009, 166(15): 1694–1699.

[31]赵江涛, 李晓峰, 李航, 等. 可溶性糖在高等植物代谢调节中的生理作用[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(24): 6423–6425, 6427.

[32]宋英淑, 尹田夫, 王以芝, 等. 大豆对干旱胁迫的抗性效应[J].

大豆科学, 1987, 6(4): 277–282.

[33]陆茂林. 水分胁迫下小麦品种间几类渗透调节物质积累的比较[J]. 云南农业大学学报, 1987, 2(2): 107–122.

[34]Westoby M, Wright I J. Land-plant ecology on the basis of functional traits[J]. Trends in Ecology and Evolution, 2006, 21(5): 261–268.

[35]Felsenstein J. Phylogenies and the comparative method[J]. The American Naturalist, 1985, 125(1): 1–15.

[36]Swenson N G. Functional and phylogenetic ecology in R[M]. New York: Springer-Verla, 2014: 147–150.

[37]孟婷婷, 倪健, 王国宏. 植物功能性状与环境和生态系统功能[J]. 植物生态学报, 2007, 31(1): 150–165.