

灌木铁线莲对水分胁迫的生理响应

刘雁南¹, 王林和^{1,2}, 张力君³, 韩若霜¹, 张国盛⁴

(1. 内蒙古农业大学 生态环境学院, 内蒙古 呼和浩特 010019; 2. 内蒙古和信园蒙草抗旱绿化股份有限公司, 内蒙古 呼和浩特 010020; 3. 内蒙古农业大学 农学院, 内蒙古 呼和浩特 010019; 4. 内蒙古农业大学 林学院, 内蒙古 呼和浩特 010019)

摘要:以灌木铁线莲为试材, 采用盆栽方法, 研究测定了水分亏缺对灌木铁线莲体内过氧化物酶(POD)活性、脯氨酸(Pro)含量、丙二醛(MDA)含量、净光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度(Gs)、叶绿素含量及植株冠幅增量的影响。结果表明:随着土壤相对含水量(RWC)下降, MDA含量、POD活性与Pro含量表现为显著升高, 净光合速率与蒸腾速率显著降低, 冠幅面积净增量显著减小, MDA、POD、Pro与RWC呈显著负相关, 其中Pro对RWC下降变化最敏感。叶绿素a+b含量对RWC下降变化最不敏感。

关键词:灌木铁线莲; 水分胁迫; 生理响应; 冠幅生长

中图分类号:Q 949.746.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)17-0071-04

耐旱植物的筛选应用是发展节水型园林重要技术手段^[1]。李芳等^[2]、张奕勤等^[3]曾指出应用耐旱乡土树种改善干旱区城市环境。选用耐旱植物不仅经济、易成活, 而且能营造出与当地自然环境相融的植物景观^[4]。秦皇岛汤河公园利用生命力顽强的乡土野生草种改造垃圾场, 在较短时间内恢复了原生态景观^[5]。

灌木铁线莲(*Clematis fruticosa*)属毛茛科铁线莲属植物, 主要分布于甘、陕、晋、冀、内蒙等地区, 生于海拔1 000~1 800 m的山坡灌丛中或路旁^[6], 耐旱性强, 具观赏性^[7], 景观效果好。将其应用于干旱区园林建设中, 不仅可实现亲近自然的生态建设, 还可增加园林植物的多样性和景观效果。目前铁线莲属植物绣球藤、威灵仙、秦岭铁线莲、圆锥铁线莲、大瓣铁线莲、须蕊铁线莲、棉团铁线莲、大瓣铁线莲、黄花铁线莲、大叶铁线莲等^[8]已在园林建设中得到应用。

对灌木铁线莲耐旱节水规律的探索既具有实践意义, 也具有理论意义, 应用抗氧化酶等理化指标考察灌木铁线莲耐热、耐旱、耐寒特性^[9]报道较少。该研究拟对水分胁迫下灌木铁线莲净光合速率(Pn)、过氧化物酶(POD)活性等生理响应进行综合分析, 探索灌木铁线莲对水分胁迫的响应规律。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试植物为灌木铁线莲; 供试土壤为沙壤土, 田间持水量22.1%。花盆直径为30 cm, 高34 cm。

1.2 试验方法

试验于2013年在呼和浩特市内蒙古农业大学塑料大棚内进行。设4个处理, 土壤含水量分别为12.0%、7.6%、5.2%和2.9%, 对应田间持水量为54.3%、34.5%、23.5%和13.2%, 每处理8次重复。

1.3 项目测定

选取功能叶在自然光下用Li-6400于10:00—12:00测定净光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度(Gs)。测量植株南北向(a)和东西向(b)冠径, 计算冠幅面积 $S=1/4\pi ab$ 。

丙二醛(MDA)含量测定采用硫代巴比妥酸法; 过氧化物酶(POD)活性测定采用愈创木酚法; 脯氨酸(Pro)含量测定采用酸性茚三酮比色法; 叶绿素含量测定采用紫外分光光度法^[10]; 土壤含水量测定采用TDR-300。

2 结果与分析

2.1 MDA、POD、Pro、叶绿素含量对干旱胁迫的响应

从图1可以看出, 在土壤相对含水量(RWC)54.3%~13.2%的范围, 随着RWC的降低, 水分亏缺的加剧使MDA含量有升高的趋势, 当RWC由23.5%降至13.2%时, MDA含量随着RWC的降低升高不显著。从图2可以看出, 不同的水分胁迫对POD活性的影响表现出与MDA相似的规律。在土壤相对含水量54.3%~13.2%的范围, 随着RWC的降低, POD活性呈升高的趋势, 当RWC降至23.5%时, POD活性不再继续升高。

第一作者简介:刘雁南(1989-), 女, 硕士研究生, 研究方向为水土保持与荒漠化防治。E-mail:827684682@qq.com.

责任作者:王林和(1949-), 男, 博士, 教授, 现主要从事水土保持与荒漠化防治的教学与科研工作。E-mail:wlinhe@hotmail.com.

基金项目:内蒙古自治区科技计划资助项目。

收稿日期:2014-04-21

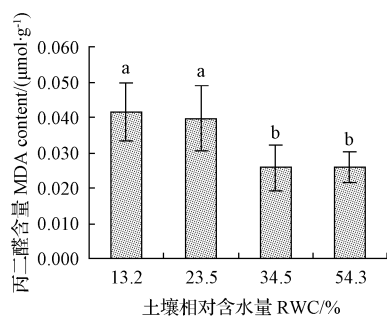


图1 不同水分梯度灌木铁线莲叶片MDA含量比较

Fig. 1 Comparison of MDA content of *C. fruticosa* under different soil relative water content

由图3可知,Pro含量在RWC 54.3%~13.2%的范围,随RWC降低,除RWC 54.3%与RWC 34.5%之间差异不显著外,其它则表现出显著的逐级上升。RWC 23.5%相比RWC 34.5%,Pro含量增加约2倍;

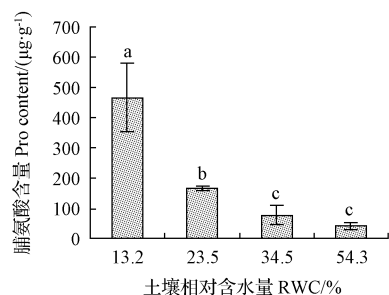


图3 不同水分梯度灌木铁线莲叶片Pro含量比较

Fig. 3 Comparison of Pro content of *C. fruticosa* under different soil relative water content

2.2 干旱胁迫对净光合速率、蒸腾速率的影响

从图5、6可以看出,Pn在4个处理间表现为54.3%>34.5%>23.5%>13.2%。同时,Tr也表现出54.3%>34.5%>23.5%>13.2%。这说明Pn与Tr均随RWC下降而降低。该研究没有设计田间持水量作为对照,RWC 54.3%也仅为对照的一半,属于中度的水分

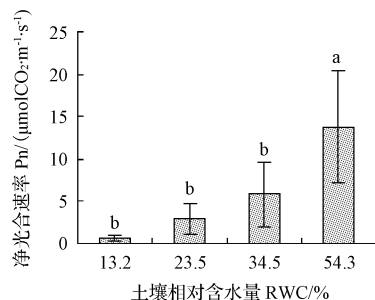


图5 不同水分梯度灌木铁线莲净光合速率比较

Fig. 5 Comparison of net photosynthetic rate of *C. fruticosa* under different soil relative water content

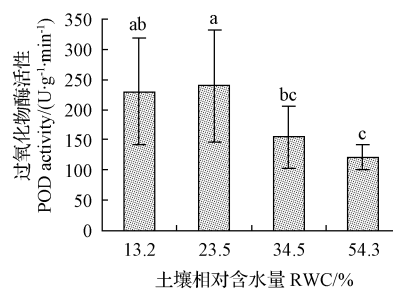


图2 不同水分梯度灌木铁线莲叶片POD活性比较

Fig. 2 Comparison of POD activity of *C. fruticosa* under different soil relative water content

RWC13.2%相比RWC 23.5%,Pro含量增加约3倍,即RWC越低,Pro含量越高。图4表明,叶绿素总量在4个处理间未表现出显著的逐级降低的趋势,表明不同水分处理没有引起叶绿素含量的显著变化。

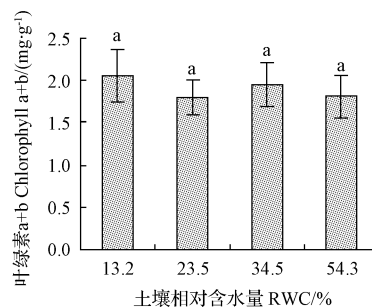


图4 不同水分梯度灌木铁线莲叶片叶绿素总量比较

Fig. 4 Comparison of chlorophyll a+b content of *C. fruticosa* under different soil relative water content

亏缺,仍然表现出较高的光合作用和蒸腾速率,其它3个处理已经严重制约其Pn和Tr的提高。在RWC 54.3%~13.2%范围,气孔导度与净光合速率、蒸腾速率表现出一致的规律,即随RWC降低而不显著地降低。可见,净光合速率、蒸腾速率下降与气孔导度下降密切相关。

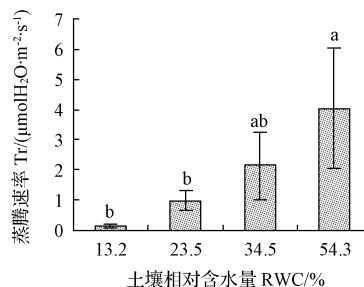


图6 不同水分梯度灌木铁线莲蒸腾速率比较

Fig. 6 Comparison of transpiration rate of *C. fruticosa* under different soil relative water content

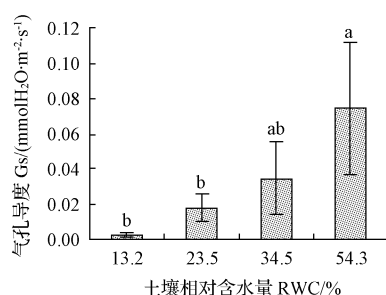


图7 不同水分梯度灌木铁线莲叶气孔导度比较

Fig. 7 Comparison of the stomatal conductance of *C. fruticosa* under different soil relative water content

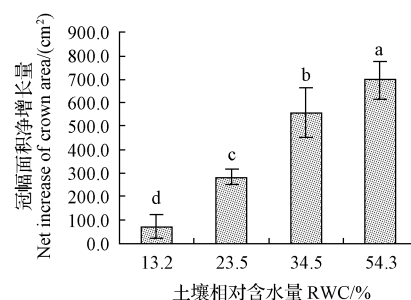


图8 灌木铁线莲单株冠幅面积净增量比较

Fig. 8 Comparison of the net increase of single plant crown area for *C. fruticosa*

2.3 不同水分梯度下冠幅面积净增量的变化

对于观赏植物而言,需要较大的营养面积保证其能观赏。该试验中在 RWC 54.3%~13.2% 范围,随着 RWC 下降,冠幅面积净增量显著减小。RWC 34.5%冠幅面积约为 RWC 54.3%的 0.8 倍,RWC 23.5%约为 RWC 34.5%的 0.5 倍,RWC 13.2%约为 RWC 23.5%的 0.4 倍。可见 RWC 越低,对冠幅面积净增量的抑制越大。所以为了节水,又不严重抑制冠幅面积增加,RWC 维持在 34.5%较合适。

2.4 RWC、POD、MDA 和 Pro 的 Spearman 相关性

对 RWC 与 POD、MDA 和 Pro 进行相关分析,由于 RWC 这一变量不服从正态分布,所以使用 Spearman 方法计算相关系数。由表 1 可知,MDA、POD、Pro 3 个变量与 RWC 均呈极显著负相关关系。其中,Pro 与土壤含水量相关系数绝对值最大,可见 Pro 对 RWC 变化敏感。MDA 与 POD、Pro 两两之间呈显著正相关关系。这可能因为干旱胁迫下,产生的大量活性氧自由基作用下,脂质过氧化作用的主要产物 MDA 升高,POD 作为活性氧清除系统中一种抗氧化酶也升高,这可能是供试植物为了避免、减轻伤害,进行自我保护适应干旱的策略。在适应干旱过程中,Pro 可能发挥了保持原生质与环境渗透平衡的作用。

表 1 RWC、POD、MDA 和 Pro 的 Spearman 相关系数

Table 1 The Spearman correlations between RWC with other physiological index of *C. fruticosa* Turcz

	RWC	MDA	POD	Pro
RWC	1	-0.56**	-0.48**	-0.89**
MDA		1	0.53**	0.49*
POD			1	0.58**
Pro				1

注:** 在 0.01 水平下显著,* 在 0.05 水平下显著。

Note:** shows significant at the 0.01 level,* shows significant at the 0.05 level.

3 讨论

MDA 是脂质过氧化作用的主要产物之一,其含量

的高低在一定程度上反映脂膜过氧化程度,可间接反映植物组织抗氧化能力的大小^[10]。杨传杰等^[11]指出 MDA 含量可以用来表征棉花受干旱程度。

过氧化物酶(POD)是植物活性氧清除系统中一种抗氧化酶,能维持活性氧自由基的产生与清除系统的平衡^[10]。POD 与其它抗氧化酶活性测定相比,其操作方法简单,得以广泛应用。张盼盼等^[12]指出糜子叶片内 POD 活性是抗旱性鉴定的有效指标之一,抗旱性强则品种 POD 活性增加程度高。

在正常条件下 Pro 含量很低,干旱时大量积累,可比正常条件下增加几十倍,具有保持原生质与环境渗透平衡,防止失水等功能,可用作抗旱的生理指标^[13]。吴芹等^[14]指出抗旱性较强的油松的 Pro 含量增幅较大,明显大于抗旱性相对较弱的山杏和沙棘。

气孔导度(Gs)是对气孔张开或关闭程度的度量。轻度水分亏缺使气孔导度减小或关闭,阻碍 CO₂ 吸收,即光合速率降低的原因是气孔因子。严重水分亏缺时,叶绿体结构特别是光合膜系统受到损伤,还使 PSII 失活损伤等,即非气孔因子起决定因素^[15]。植物在干旱胁迫下,PSII 的活性降低导致激发能的上升就会发生能量过剩,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^[16]。目前张仁和等^[17]指出活性氧自由基代谢失调而引发的生物膜结构与功能的破坏,是光合作用非气孔限制的主要原因。但并未指出具体抑制光合作用的哪些环节。

为了模拟供试植物自然生境的特点,试验中即使是最高含水率也表现为中度水分胁迫。Pn 与 Tr 在 4 个处理间差异显著,二者均随 RWC 下降显著降低。这与张慕黎^[18]在刺槐和侧柏上的研究结果类似。在 RWC 54.3%~13.2% 范围,Gs 与 Pn、Tr 表现出一致的规律,即随 RWC 降低而不显著地降低。可见,Pn、Tr 下降与 Gs 下降密切相关。

当 RWC 23.5%时,膜质过氧化产物 MDA 含量显著上升,此时 Pn 表现为下降。因此膜结构的损伤可能

是 Pn 下降的原因。

有研究指出适当干旱胁迫下叶绿素含量并不降低甚至有提高^[19-20]。叶绿素总量在 4 个处理间差异不显著,随着 RWC 下降,叶绿素总量并未显著下降。因此 Pn 下降的原因可能不是叶绿素 a+b 含量的变化。

综上,水分亏缺条件下,可能由于气孔导度的下降,阻碍 CO₂ 吸收,以及生物膜结构与功能的破坏引起了 Pn、Tr 下降,从而导致植株生长变缓慢,冠幅面积净增量下降。

参考文献

- [1] 庄陆婷,王思麒,李彬,等.耐旱植物在节水型绿地建设中的应用研究[J].北方园艺,2012(5):105-108.
- [2] 李芳,李延明.北京市节水型园林绿地建设现状[J].节水灌溉,2009(2):71-73.
- [3] 张奕勤,乔倩,傅微,等.干旱区城市居住区绿地景观设计-内蒙古自治区二连浩特市居住区绿地规划设计[J].北京农学院学报,2010(4):55-58.
- [4] 张晓叶.工业废弃地的生态恢复与景观更新[J].山西农业科学,2008,36(4):77-78.
- [5] 俞孔坚.绿林中的红飘带-秦皇岛市汤河滨河公园设计[J].园林,2008(12):102-106.
- [6] 中科院中国植物志编辑委员会.中国植物志[M].北京:北京科学出版社,1980:150.
- [7] 裴会明,毛浩龙.甘肃南部野生铁线莲属植物种质资源及观赏应用[J].中国野生植物资源,2004(6):30-32.
- [8] 陈书文,李娟娟,雷新彦,等.陕西野生铁线莲属植物种质资源及观赏应用研究[J].杨凌职业技术学院学报,2005,4(3):7-9.
- [9] 甄宏宇.两种灌木铁线莲的引种栽培及适应性研究[D].北京:北京林业大学,2011.
- [10] 李玲.植物生理学模块实验指导[M].北京:科学出版社,2009:37,80,86,97.
- [11] 杨传杰,罗毅,孙林,等.水分胁迫对覆膜滴灌棉花根系活力和叶片生理的影响[J].干旱区研究,2012(5):802-810.
- [12] 张盼盼,冯佰利,王鹏科,等.PEG 胁迫下糜子苗期抗旱指标鉴定研究[J].中国农业大学学报,2012(1):53-59.
- [13] 李合生.现代植物生理学[M].2 版.北京:高等教育出版社,2010:337,354.
- [14] 吴芹,张光灿,裴斌,等.3 个树种对不同程度土壤干旱的生理生化响应[J].生态学报,2013(12):3648-3656.
- [15] 张继澍.植物生理学[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [16] 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.
- [17] 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):1303-1311.
- [18] 张慕黎.刺槐和侧柏苗木对干旱胁迫及早后复水的生理反应研究[D].西安:西北农林科技大学,2009.
- [19] 郭相平,张烈君,王琴,等.拔节孕穗期水分胁迫对水稻生理特性的影响[J].干旱地区农业研究,2006,24(2):125-129.
- [20] 刘丽平,欧阳竹,武兰芳,等.阶段性干旱及复水对小麦光合特性和产量的影响[J].生态学报,2012(11):2797-2803.

Physiological Response of *Clematis fruticosa* Under Water Stress

LIU Yan-nan¹, WANG Lin-he^{1,2}, ZHANG Li-jun³, HAN Ruo-shuang¹, ZHANG Guo-sheng⁴

(1. College of Ecological Environment, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010019; 2. Inner Mongolia Hexinyuan Meng Cao Afforestation Co. Ltd, Hohhot, Inner Mongolia 010020; 3. College of Agriculture, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010019; 4. College of Forestry, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010019)

Abstract: Taking *Clematis fruticosa* as test material, using pot experiment method, the effect of water stress on peroxidase (POD) activity, proline (Pro) content, malondialdehyde (MDA) content, net photosynthetic rate, transpiration rate, stomatal conductance chlorophyll content and crown growth of *Clematis fruticosa* was studied. The results showed that as the soil relative water content (RWC) decreased, malondialdehyde (MDA) content, peroxidase (POD) activity and proline (Pro) content significantly increased. Net photosynthetic rate and transpiration rate decreased significantly. The content of chlorophyll in four RWC had no significant difference. As the RWC decreased, the net increase of single plant crown area decreased significantly. The spearman correlation analysis indicated that RWC had a negative correlation with Pro, POD and MDA. Pro content was sensitive to the change of the RWC, the content of chlorophyll a+b was not sensitive to the change of the RWC.

Keywords: *Clematis fruticosa*; water stress; physiological response; crown growth