

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.06.018

土壤水分胁迫对红砂幼苗生长和渗透调节物质的影响

单立山, 李毅, 石万里, 杨彩红

(甘肃农业大学 林学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: [目的] 探讨干旱与半干旱区受损红砂种群幼苗适宜生长的土壤水分条件, 为红砂植被保护、恢复、重建提供理论依据。[方法] 采用盆栽试验研究不同土壤水分条件下红砂幼苗生长及渗透调节物质差异。[结果] 随土壤水分胁迫程度的加剧, 红砂幼苗茎叶总生物量呈明显的减少趋势, 其株高呈逐渐降低的变化趋势, 而根冠比、根长和根表面积均呈逐步增大的变化趋势, 根系生物量呈先增加后减少的变化趋势。随土壤水分胁迫程度的加剧, 红砂幼苗茎叶、根组织中脯氨酸含量均表现出明显的增加趋势, 而可溶性糖和可溶性蛋白含量的变化相对不明显。[结论] 土壤水分胁迫下红砂幼苗可通过调整自身生长和生物量分配来加大根冠比以及通过积累脯氨酸来适应干旱胁迫, 维持植株正常生长。

关键词: 红砂; 土壤水分胁迫; 根冠比; 脯氨酸; 可溶性糖; 可溶性蛋白

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)06-0106-04

中图分类号: Q948

Effects of Dehydration Stress on Growth of *Reaumuria Soongorica* Seedlings and Regulation of Osmotic Substances

SHAN Lishan, LI Yi, SHI Wanli, YANG Caihong

(College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: [Objective] We aimed to sort out condition of soil moisture which is fitted for the growth of *Reaumuria soongorica* seedlings in arid or semi-arid area, and further provide a support for the preservation and reestablishment of *Reaumuria soongorica* population, and for the restoration of its community. [Methods] Pot experiment was carried out to study the effects of soil water limited stress on the growth of *Reaumuria soongorica* seedlings and the regulation of osmotic substances. [Results] Stem and leaf biomasses of *Reaumuria soongorica* seedlings were significantly decreased with the increasing of soil water limited stress, and seedling height also decreased gradually. Whereas, root-shoot ratio, root length and root surface area gradually increased. Root biomass experienced a decrease at light stress, and began to increase at server stress. Proline contents of stem-leaf and root in *Reaumuria soongorica* seedlings significantly increased with the increasing of soil water stress. However, changes of soluble sugar and protein contents in *Reaumuria soongorica* seedlings were not obvious. [Conclusion] *Reaumuria soongorica* seedlings have its adaption ways to drought through employing seedling growth adjustment, biomass reallocation, increase of root-shoot ratio, and accumulation of proline.

Keywords: *Reaumuria soongorica*; soil water stress; root/shoot ratio; proline; soluble sugar; soluble protein

水分胁迫是干旱、半干旱区最常见的环境压力之一, 是影响该区植被恢复的重要因素^[1], 植物在长期的进化过程中, 形成了一套自适应机制和策略。一方面植物通过一定的形态变化有效增强水分的吸收, 减少水分丧失, 如角质层加厚、叶面积减小^[2]; 根系生长

加速, 根冠比加大, 导管发达等^[3-4]。另一方面植物通过合适的生理生化反应抵御干旱胁迫。其中, 水分胁迫下植株能够快速积累小分子渗透调节物质来降低细胞水势, 增强细胞的吸水和保水能力, 进而维持细胞膨压, 确保植物生理代谢功能的正常进行, 是其抵

收稿日期: 2014-10-21

修回日期: 2014-12-04

资助项目: 国家自然科学基金项目“红砂幼苗发生及根系生长对降水变化的响应”(41361100), “荒漠环境梯度下红砂—珍珠混生群落种间根系相互作用关系的研究”(31560135), “红砂自然更新过程的生态学研究”(31360205); 甘肃省科技支撑计划项目(1204NKCA084); 科技部农业科技成果转化资金项目(2014GB2G100134); 中国博士后科学基金(2014M552514)

第一作者: 单立山(1975—), 男(蒙古族), 湖南省衡东县人, 博士, 副教授, 主要从事荒漠植物生理生态方面的研究。E-mail: shanls@gsau.edu.cn.

通信作者: 李毅(1962—), 男(汉族), 湖北省汉川市人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事林木遗传育种方面的研究。E-mail: liyi@gsau.edu.cn.

御水分胁迫的重要生理生化反应^[5]。因此,渗透调节物质的积累是植物在干旱胁迫下得以生存的一种重要机制。

红砂(*Reaumuria soongorica*)隶属柽柳科(Tamaricaceae),是一种耐旱、耐盐碱、抗逆性很强的超旱生小灌木^[6]。在黄土丘陵沟壑区和西部风沙区有大面积的天然红砂植被分布,它具有抗严寒和酷热、耐瘠薄、适应性强、分布广、面积大、集沙能力强等特点^[7-8],对该地区的生态保护具有重要作用。目前,关于红砂干旱胁迫下的研究主要集中在叶片抗旱生理^[9]、解剖学特征^[10]、光合特性、叶绿素荧光^[11-12]和种子萌发^[13]。而关于红砂在干旱胁迫下幼苗生长以及渗透调节物质也有一些研究,如马剑英等^[14]研究发现,红砂脯氨酸含量与土壤含水量呈显著负相关,即随着土壤含水量的降低,红砂脯氨酸含量明显增加。王茜石等^[15]发现,在干旱胁迫早期,红砂叶片的脯氨酸含量明显增加,而红砂叶片的可溶性糖含量明显降低。白娟等^[9]发现红砂叶片可溶性蛋白含量随着干旱胁迫的加剧而降低。这些研究结果在一定程度上为认识红砂抗旱特性累积了大量的信息,但是,这些研究大多以叶片为材料。根、叶作为植物进行水分吸收和水分蒸腾的重要器官,在植物水分代谢活动中发挥着极其重要的作用。分别以根和叶片为研究材料,在土壤水分胁迫下,综合分析二者形态和生理生化变化,是阐明红砂抗旱机理的关键内容。因此,本试验以红砂幼苗为材料,采用人工控制土壤含水量的方法,研究土壤水分胁迫条件下红砂茎叶和根系的生长状况与几种主要渗透调节物质的积累特性以及分配特征,以期探讨土壤水分对红砂幼苗生长和渗透调节物质分配的影响机理,揭示红砂幼苗对土壤水分胁迫的反应和适应机制,进而为红砂植被保护、恢复、重建提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试苗木为超旱生灌木红砂的 2 年生容器苗。供试土壤为兰州黄土丘陵黄壤土(田间持水量为 20.12%)。在进行栽培前,对土壤进行过筛去杂。

1.2 试验设计

采用盆栽控水试验。在花盆中装入供试土壤,设置 3 个土壤水分处理,即对照 CK(田间持水量的 80%,即土壤含水量为 16%)、中度胁迫 MS(medium water stress,田间持水量的 50%,即土壤含水量为 10%)和重度胁迫 SS(severe water stress,田间持水

量的 30%,即土壤含水量为 6%)。每个处理 20 盆(以防后期控水过程中出现死苗,剩余材料不够试验所用),于 4 月初每盆植入 1 株。定植后充分灌水,以保证其成活和正常生长。6 月初置于可移动的防雨棚内,开始按设计要求控水。为消除苗木重量对控水的影响,各处理均毁苗 1 盆测定苗木鲜重,并确定称重标准。自然落干至土壤含水量达到设定标准后,对花盆称重。每天在同一时间(18:00)称重,之后加水至土壤含水量达到控水要求。为了减少苗木生长温度和湿度等环境变化给土壤水分控制带来的误差,以初次测算供水量相同的方法和测定时间,每 7 d 测定 1 次土壤含水量,重新计算每个花盆的日供水量。9 月开始测定叶片的叶绿素荧光参数和各项生理指标。10 月份开始采集根样,进行根系生理指标、形态及功能特征的观测。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 植株生长指标的测定 分别取不同处理的植株测量株高,再用水将材料冲洗干净,用吸水纸吸干水分,称取茎叶和根系的鲜重,再将材料置于 105 °C 下杀青 10 min,80 °C 下烘干至恒重,测量干重,并进一步计算生物量和根冠比。

1.3.2 生理指标的测定 采用磺基水杨酸法测定脯氨酸含量,采用苯酚法测定可溶性糖含量,采用考马斯亮蓝 G-250 染色法测定可溶性蛋白含量^[16]。

1.4 数据统计分析

采用统计分析软件 SPSS 进行方差分析,用 Duncan 法进行多重比较,并用字母法标记。

2 结果与分析

2.1 土壤水分胁迫对红砂幼苗生长的影响

一般植物生长量的变化是对水分胁迫最直观的反应。从表 1 可以看出,不同土壤水分胁迫下,红砂幼苗株高、根系总生物量、茎叶总生物量、根冠比、根长和根表面积也各不相同。在土壤水分胁迫下,红砂幼苗茎叶总生物量受到显著影响($p < 0.05$),随土壤水分胁迫程度的加剧,其茎叶总生物量呈降低的变化趋势,与对照组相比,中度和重度土壤水分胁迫下的红砂幼苗茎叶总生物量分别减少了 43.09%,63.68%。但土壤水分胁迫对其株高、根系总生物量、根冠比、根长和根表面积的影响均未达到显著性水平($p > 0.05$)。随土壤水分胁迫程度的加剧,其株高呈降低的变化趋势,而根冠比、根长和根表面积均呈逐步增大的变化趋势,根系生物量呈先增加后减少的变化趋势。说明在土壤水分胁迫下,红砂幼苗能够通过茎叶的变化来保证其生长,适应逆境。

表 1 土壤水分胁迫下红砂幼苗生长的变化

水分胁迫处理	株高/cm	根系总生物量/g	茎叶总生物量/g	根冠比	根长/m	根表面积/cm ²
CK	33.3±3.5 ^a	1.56±0.20 ^a	6.80±4.54 ^a	0.46±0.11 ^a	698.10±167.16 ^a	72.47±14.18 ^a
MS	31.0±3.8 ^a	2.34±1.28 ^a	3.87±1.67 ^b	0.66±0.13 ^a	756.54±269.37 ^a	67.17±23.74 ^a
SS	30.5±5.9 ^a	1.86±0.33 ^a	2.47±0.42 ^b	0.71±0.29 ^a	873.75±47.11 ^a	91.71±7.72 ^a

注:CK 为对照, MS 为中度胁迫处理, SS 为重度胁迫处理; 不同字母表示差异显著($p < 0.05$)。下同。

2.2 土壤水分胁迫对红砂幼苗渗透调节物质含量的影响

2.2.1 对脯氨酸含量的影响 从表 2 可知, 随土壤水分胁迫程度的加剧, 红砂幼苗茎叶、根组织中脯氨酸含量均表现出明显的增加趋势。与对照组相比, 中度和重度土壤水分胁迫下的红砂幼苗茎叶脯氨酸含量分别增加了 74.06% 和 101.24%, 根组织中分别增加了 6.83% 和 61.22%。由此可见, 遇旱时红砂会积

累大量的脯氨酸, 但根组织中的脯氨酸累积量较茎叶组织中的少。

2.2.2 对可溶性糖含量的影响 从表 2 可知, 随土壤水分胁迫的加剧, 红砂幼苗茎叶中可溶性糖含量呈逐渐增加的趋势, 而根组织中表现为先明显减小后逐渐增加的变化趋势。与对照组相比, 中度和重度土壤水分胁迫下的红砂幼苗茎叶可溶性糖含量分别增加了 5.74% 和 12.05%, 根组织中分别降低了 39.42% 和 20.19%。

表 2 土壤水分胁迫下红砂幼苗脯氨酸、可溶性糖和可溶性蛋白含量的变化

水分胁迫处理	脯氨酸/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)		可溶性糖/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)		可溶性蛋白/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	
	茎叶	根系	茎叶	根系	茎叶	根系
CK	27.77±5.59 ^a	39.07±4.13 ^a	13.28±0.57 ^a	2.08±0.20 ^a	0.01±0.00 ^a	0.06±0.00 ^a
MS	48.34±3.44 ^b	41.74±12.20 ^a	14.05±0.68 ^a	1.26±0.05 ^b	0.02±0.00 ^a	0.07±0.01 ^a
SS	55.89±4.10 ^c	62.99±3.72 ^b	14.88±1.44 ^a	1.67±0.25 ^{ab}	0.01±0.00 ^a	0.05±0.010 ^a

2.2.3 对可溶性蛋白含量的影响 从表 2 可知, 随土壤水分胁迫程度的加剧, 红砂幼苗茎叶和根组织中可溶性蛋白含量表现为先升高后降低的变化趋势, 且重度胁迫下, 其含量会略微低于正常水分条件下的。这有可能是其脯氨酸含量增加的一种途径, 由于重度水分胁迫促使可溶性蛋白的降解, 形成了脯氨酸等氨基酸。

2.3 土壤水分胁迫对红砂幼苗渗透调节物分配的影响

由表 3 可知, 土壤水分胁迫对红砂幼苗渗透调节物质的分配有一定程度的影响。对照组红砂幼苗茎叶和根组织中脯氨酸和可溶性蛋白含量的比值均小于 1, 而与可溶性糖的比值远远大于 1; 中度胁迫下红砂幼苗茎叶和根组织中脯氨酸和可溶性糖含量的比值大于 1, 而与可溶性蛋白的比值小于 1; 重度胁迫下红砂幼苗茎叶和根组织中脯氨酸和可溶性蛋白含量的比值均小于 1, 而与可溶性糖的比值远大于 1。同时, 红砂幼苗茎叶组织中可溶性糖含量远远高于根组织中的, 但其根组织中脯氨酸和可溶性蛋白含量高于茎叶组织中的。这说明在整个胁迫阶段红砂幼苗脯氨酸和可溶性蛋白主要积累于根组织中, 而可溶性糖积累于茎叶组织中。但在不同胁迫进程阶段和不同器官中渗透调节物的累积量有很大差异。

表 3 土壤水分胁迫下红砂幼苗茎叶与根组织中渗透调节物含量的比值

土壤水分胁迫	脯氨酸比值	可溶性糖比值	可溶性蛋白比值
CK	0.71	6.39	0.22
MS	1.16	11.15	0.16
SS	0.89	8.97	0.22
均值	0.91	8.87	0.20

3 讨论与结论

生长量是植物对水分胁迫的综合反应, 但也是评估水分胁迫程度以及植物抗旱能力的一个可靠指标。许多研究^[17]发现, 干旱胁迫条件下, 植株的生长受到抑制, 且胁迫程度越高, 抑制作用越明显。本研究结果显示, 随着土壤水分胁迫的加剧, 红砂幼苗茎叶总生物量呈明显的减少趋势, 其株高呈逐渐降低的变化趋势, 而根冠比、根长和根表面积均呈逐步增大的变化趋势, 根系生物量呈先增加后减少的变化趋势。显然, 土壤水分胁迫下红砂幼苗根叶生长的上述变化有利于植株的吸水和保水, 是红砂幼苗抵御干旱胁迫的适应性反应。这说明, 在一定土壤水分胁迫条件下, 红砂幼苗主要通过茎叶的变化来保证其生长、适应逆境。渗透调节是植物御旱的重要途径。大量的研

究^[18-20]表明,植物渗透调节能力的有无和强弱同胁迫条件下渗透调节物质的积累量密切相关。本研究结果显示,随土壤水分胁迫程度的加剧,红砂幼苗茎叶、根组织中脯氨酸含量均表现出明显的增加趋势,而可溶性糖和可溶性蛋白含量的变化不明显。这说明在土壤水分胁迫下,红砂幼苗主要通过积累脯氨酸来降低细胞渗透势,使细胞、组织水分生理平衡,从而有效抵御干旱胁迫环境。同时,不同植物的渗透调节能力不同,参与渗透调节的物质种类也存在差异^[5]。本研究发现,在不同胁迫阶段和不同器官中渗透调节物的累积量存在很大差异。由此推测,它们赋予红砂幼苗的渗透调节能力也存在差异。其中,土壤水分胁迫下脯氨酸和可溶性蛋白在根中积累较茎叶中多,而可溶性糖在茎叶中累积较多,所以认为脯氨酸和可溶性蛋白可能是红砂幼苗根中的主要渗透调节物质,而可溶性糖可能是茎叶中的主要渗透调节物质。但在土壤水分胁迫条件下红砂幼苗中可溶性糖和可溶性蛋白含量的变化均不明显,且脯氨酸在不同土壤水分胁迫阶段于红砂幼苗不同器官中的含量会交错配合的明显增加。所以,脯氨酸是其主要的渗透调节物质。

总之,土壤水分胁迫下红砂幼苗通过调整自身生长和生物量分配,加大根冠比,提高吸水 and 保水能力;同时,红砂幼苗主要通过积累脯氨酸提高渗透调节能力来降低细胞渗透势,使细胞、组织水分生理平衡,从而有效抵御干旱胁迫,维持植株正常生长。

[参 考 文 献]

- [1] 刘国花,韩素英,齐力旺. 植物抗旱耐盐基因工程研究及应用前景[J]. 世界农业,2003,29(7):44-46.
- [2] Shao Hongbo, Chu Liye, Jaleel C A, et al. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants [J]. Comptes Rendus Biologies, 2008,331(3):215-225.
- [3] Cui Shimao, Chen Guilin, Nii Naosuke. Effects of water stress on sorbitol production and anatomical changes in the nuclei of leaf and root cells of young loquat tress [J]. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science, 2003,72(5):359-365.
- [4] 桑子阳,马履一,陈发菊. 干旱胁迫对红花玉兰幼苗生长和生理特性的影响[J]. 西北植物学报,2011,31(1):109-115.
- [5] 郭华军. 水分胁迫过程中的渗透调节物质及其研究进展[J]. 安徽农业科学,2010,38(15):7750-7753.
- [6] 刘家琼,邱明新,蒲锦春,等. 我国荒漠典型超旱生植物:红砂[J]. 植物学报,1982,24(5):485-488.
- [7] 黄培佑. 荒漠区耐旱树种在异质生境中完成生活周期现象初探[J]. 新疆大学学报,1988,5(4):87-93.
- [8] 马茂华,孔令韶. 新疆呼图壁绿洲外缘的琵琶柴生物学特性研究[J]. 植物生态学报,1998,22(3):237-244.
- [9] 白娟,龚春梅,王刚,等. 干旱胁迫下荒漠植物红砂叶片抗氧化特性[J]. 西北植物学报,2010,30(12):2444-2450.
- [10] 刘玉冰. 荒漠复苏植物红砂抗旱机理的生理生态学特性研究[D]. 甘肃 兰州:兰州大学,2006.
- [11] 刘玉冰,张腾国,李新荣,等. 红砂(*Reaumuria soongorica*)忍耐极度干旱的保护机制:叶片脱落和茎中蔗糖累积[J]. 中国科学,2006,36(4):328-333.
- [12] 周生荟,刘玉冰,谭会娟,等. 荒漠植物红砂在持续干旱胁迫下的光保护机制研究[J]. 中国沙漠,2010,30(1):69-73.
- [13] 宋雪梅,杨九艳,吕美婷,等. 红砂种子萌发对盐胁迫及适度干旱的响应[J]. 中国沙漠,2012,32(6):1674-1680.
- [14] 马剑英,周邦才,夏敦胜,等. 荒漠植物红砂叶绿素和脯氨酸累积与环境因子的相关分析[J]. 西北植物学报,2007,27(4):0769-0775.
- [15] 王酋石. 荒漠植物红砂在干旱胁迫和盐胁迫下的渗透调节研究[D]. 甘肃 兰州:兰州大学,2009.
- [16] 李玲. 植物生理学模块试验指导[M]. 北京:科学出版社,2009.
- [17] 贺少轩,梁宗锁,蔚丽珍,等. 土壤干旱对2个种源野生酸枣幼苗生长和生理特性的影响[J]. 西北植物学报,2009,29(7):1387-1393.
- [18] 杨顺强,任广鑫,杨改河,等. 水分胁迫对引进牧草渗透调节物质及叶绿素荧光参数的影响[J]. 西北植物学报,2007,27(9):1826-1832.
- [19] 陈明涛,赵忠,权金娥. 干旱对4种苗木根尖可溶性蛋白组分和含量的影响[J]. 西北植物学报,2010,30(6):1157-1165.
- [20] 王蕊,孙广玉. 干旱对大豆叶片葫芦巴碱含量和渗透调节的影响[J]. 中国沙漠,2010,30(3):552-555.