

文章编号:1000-694X(2012)03-691-07

柠条适应极端干旱的生理生态机制

——叶片脱落和枝条中叶绿体保持完整性

徐当会^{1,2}, 方向文¹, 宾振钧¹, 王刚¹, 苏培玺²

(1. 兰州大学 生命科学学院/草地农业生态系统国家重点实验室, 甘肃 兰州 730000; 2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 为了探讨柠条适应极端干旱的生理生态机制,对盆栽柠条停止浇水造成土壤持续干旱直到叶片完全脱落,然后复水。干旱和复水期间,对土壤、叶片和枝条的相对含水量、叶片和枝条中的叶绿素含量以及超微结构进行了测定和观察。结果表明,干旱脱水过程中叶片中的色素含量下降,枝条中类胡萝卜素含量下降。复水 4 d 后,叶片中色素含量和枝条中类胡萝卜素含量上升并逐步达到正常水平。超微结构研究表明,柠条嫩枝的亚细胞组织中普遍含有叶绿体。正常条件下,无论是枝条还是叶片的亚细胞组织,叶绿体紧贴细胞壁。叶绿体中的类囊体排列整体有序。随着干旱的加剧,叶绿体脱离细胞壁,向细胞中央靠近。严重干旱造成了叶片叶肉细胞和叶绿体结构不可恢复性的破坏,包括外膜和膜片层结构,类囊体膜解体,淀粉粒消失,部分细胞器裂解成碎片。而嫩枝的亚细胞组织和叶绿体都保持完整。因此,柠条通过叶片脱落减少光照面积来适应极端干旱对自身造成的伤害,通过保持枝条中叶绿体的完整性和一部分叶绿素为复水条件下光合作用的快速恢复提供了保证。

关键词: 柠条; 极端干旱; 叶片脱落; 叶绿体超微结构

中图分类号: Q945

文献标识码: A

干旱造成的植物水分亏缺或水分胁迫达到一定程度将破坏植物内部的生理过程^[1]。光合作用对水分胁迫更加敏感^[2-3],它不仅受下降的气孔导度的影响,而且还受严重胁迫下造成的叶绿体水平破坏的影响^[4-5]。通常,植物需要一种保护机制或对已经造成的破坏进行修复的机制或者是此二者的结合来度过胁迫环境^[6-7]。不少研究认为,植物抵御夏季干旱必须依赖于形态和生理特征的结合,如深的根系^[8]、叶片蒸腾速率的降低^[9]、资源利用效率的提高、渗透物质的大量累积以及耐脱水能力的提高等^[10-11]。近些年来许多研究则集中于植物在强光和干旱双重胁迫下的光保护方面的研究^[11-14],但对极端干旱过程中叶片和枝条的超微结构研究很少,而且无人研究旱生植物因干旱导致叶片脱落后其存活的生理生态机理以及复水后重新生长的生理生态机理。

柠条(*Caragana korshinskii* Kom)是一种多年生的能忍耐干旱的半灌木,生存于多种环境胁迫条件下,这些胁迫包括可利用水分少、极端的温度波动、高辐射以及营养匮乏等。其中水资源是限制植物生长的最主要的因素。柠条在中国从东到西都有分布^[15]。对柠条的研究到目前为止集中于它的分

类、群落分布、生物和生态学特性以及物种多样性^[16-21]等,很少有研究重视它的抗胁迫机制和适应干旱的策略。我们研究发现柠条在极端干旱环境下,叶片枯萎死亡,随后植物的生长停止。复水后它仍然能够长出新叶。本实验是为了研究柠条在持续土壤干旱期间适应极端干旱和重新生长的生理机制,通过研究植物个体水平上对干旱的响应策略来提高对植物适应干旱环境机制的理解。

1 材料和方法

1.1 植物材料和生长环境

实验在兰州大学植物园进行。2005年3月在盛花盆中种植3个柠条种子,盆的容积为6L,等到出苗后每个花盆留下生长较好的一株。为了使植株生长的环境接近自然环境,将花盆埋在事先挖好的隧道中,花盆的上沿高出地面2~3cm。植株每隔半月灌溉一次,待生长良好,选取30株旺盛生长的植株于2006年5月18日灌溉后停止浇水进行自然干旱处理。为防止植物吸收周围的水分,在花盆下面的土壤层平铺两层厚塑料膜阻断地下水分,在地

收稿日期:2011-08-26; 改回日期:2011-11-29

基金项目:国家自然科学基金项目(30900171)和博士后基金项目(20090450186)共同资助

作者简介:徐当会(1976—),女(汉族),甘肃正宁人,主要从事植物生理生态研究。Email: dhxu@lzu.edu.cn

上用可移动的遮雨棚防止自然降雨。干旱处理的时间从 5 月 15 日到植物叶片完全死亡进入休眠期后(7 月 8 日)共 53 d, 然后再对植物浇水, 到植物生长正常 8 月 18 日, 共 40 d, 干旱和复水过程共 94 d。

1.2 土壤相对含水量和叶片相对含水量测定

土壤相对含水量(%)测定分为上下两层, 上层为 0~15 cm, 下层为 15~30 cm, 按照称重法测定(Mao 等, 2004)。在每次测定的中午取 3 次不同位置的土样称鲜土重, 再置于 105 °C 烘箱中烘干至恒重称重计算相对含水量。叶片相对含水量的测定为, 从 10~15 株植物上取 0.5 g 左右的叶片, 立即称重, 计为 FW(鲜重)。将立即称重过的叶片在室温下浸泡过夜, 吸取表皮的水分, 称重, 计为 TW(饱和鲜重)。将浸泡过夜的叶片置于 80 °C 烘箱中烘 24 h, 称重, 计为 DW(干重), 植物叶片含水量的测定按照 $RWC = [(FW - DW) / (TW - DW)] \times 100$ 。

1.3 总叶绿素含量测定

叶片中色素的提取按照 Cooper 等^[22]的方法, 提取溶液的光谱吸收在 647 nm、663 nm 和 470 nm 下用分光光度计测定。色素含量根据 Sims 等^[23]的方法计算。

1.4 叶和枝条超微结构变化的观察

选取处理的材料分别取叶片和嫩枝, 立即用 3% 的戊二醛固定。固定 24 h 后的上述材料用 0.1 M 的磷酸缓冲液(pH 7.2)漂洗两次各 10 min。然后用 1% 四氧化锇固定过夜, 再用磷酸缓冲液漂洗。依次用 50%, 70%, 80%, 90%, 100% 的乙醇脱水各 20 min, 再用 100% 丙酮漂洗两次各 20 min。1:1 的 100% 丙酮:Epon812 浸透过夜。在 35 °C 24 h、45 °C 12 h 和 65 °C 24 h 的条件下包埋。聚合后用超薄切片机(瑞典 LKB-V)作横截面切片(70 nm), 将切片用 3%~5% 的醋酸双氧铀和柠檬酸铅双染色, 在透射电镜(日本 JEM-1230)下观察照相。

2 结果

2.1 干旱和复水过程中土壤含水量和叶片、枝条相对含水量的变化

图 1 是干旱和复水过程中土壤和叶片、枝条相对含水量。干旱期间, 0~10 cm 层土壤含水量从 87% 下降到 3.9%、10~25 cm 层土壤含水量从 89% 下降到 13% (图 1A)。与土壤含水量变化相比, 叶片和枝条的相对含水量下降较慢, 干旱 42 d

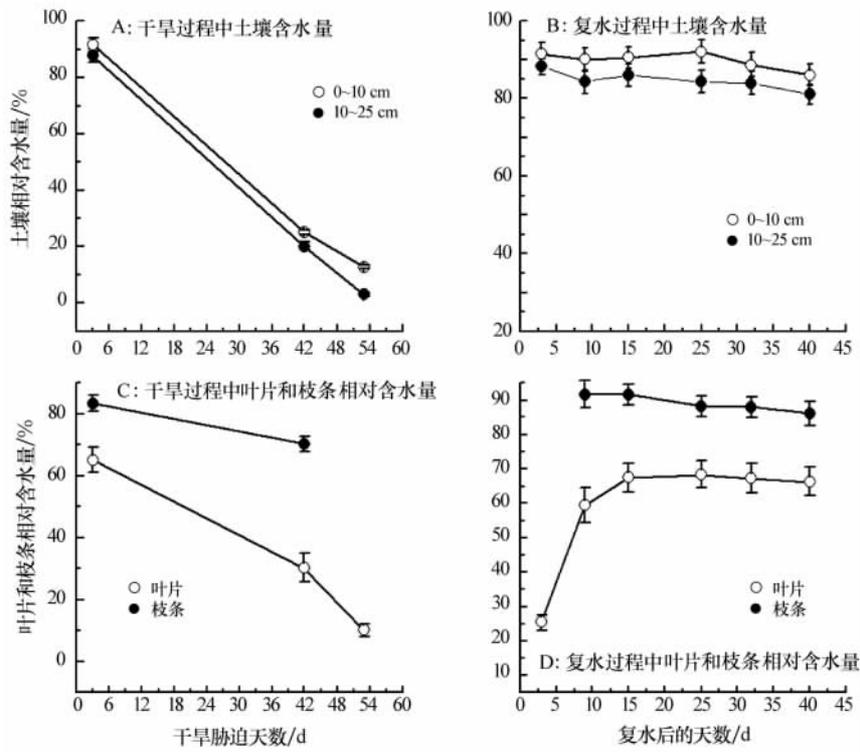


图 1 干旱和复水过程中土壤、叶片和枝条相对含水量的变化

Fig. 1 Changes of relative water contents in soil, leaves and stems of *Caragana korshinskii* during dehydration and rehydration process

以后还保持在 50% 和 68% 左右, 随着干旱时间的延长, 叶片很快脱落, 枝条的相对含水量下降到 10% (图 1C)。复水后土壤含水量很快恢复到 80% 以上 (图 1B), 而枝条相对含水量恢复相对很慢, 直到长出新的叶片时才恢复到正常状态 (图 1D)。

2.2 干旱和复水过程中叶绿素的变化

干旱脱水过程中叶片的叶绿素 *a*、叶绿素 *b* 和类胡萝卜素含量下降, 枝条中类胡萝卜素含量也下

降, 而在叶片脱落之前, 枝条中叶绿素 *a*、叶绿素 *b* 保持不变, 叶片脱落后, 枝条中叶绿素 *a* 含量显著增加。复水致使枝条中类胡萝卜素含量上升, 但对叶绿素 *a* 含量影响不大。叶片长出后, 叶片中叶绿素 *a*、叶绿素 *b* 和类胡萝卜素含量在复水 25 d 后达到了正常水平。枝条中叶绿素 *a* 和类胡萝卜素含量分别与复水后第 15 天和第 9 天恢复正常水平。在干旱脱水和复水过程中枝条中叶绿素 *b* 含量保持不变 (表 1)。

表 1 干旱和复水过程中柠条叶片和枝条中叶绿素 *a*, 叶绿素 *b* 和类胡萝卜素含量的变化

Table 1 Changes of chlorophyll *a* and *b*, and carotenoid contents in *C. korshinskii* leaves and stems during progressive dehydration and rehydration process

处理	天数/d		干物质含量/(g · kg ⁻¹)			
			叶绿素 <i>a</i>	叶绿素 <i>b</i>	叶绿素 <i>a</i> + <i>b</i>	类胡萝卜素 (<i>x</i> + <i>c</i>)
干旱	3	叶片	1.572±0.005 ^a	0.553±0.017 ^a	2.126±0.013 ^a	0.321±0.009 ^a
		枝条	0.115±0.008 ^d	0.037±0.002 ^d	0.143±0.012 ^d	0.034±0.012 ^c
	42	叶片	0.975±0.007 ^b	0.339±0.003 ^b	1.314±0.011 ^b	0.138±0.003 ^b
		枝条	0.098±0.004 ^d	0.031±0.041 ^d	0.131±0.024 ^d	0.029±0.006 ^d
	53	枝条	0.085±0.003 ^e	0.033±0.008 ^d	0.113±0.006 ^e	0.020±0.005 ^d
	复水	3	枝条	0.084±0.012 ^e	0.031±0.003 ^d	0.114±0.002 ^e
叶片			0.849±0.022 ^c	0.256±0.025 ^c	1.105±0.019 ^c	0.131±0.015 ^b
9		枝条	0.084±0.041 ^e	0.033±0.024 ^d	0.113±0.033 ^e	0.020±0.005 ^d
		叶片	0.896±0.041 ^c	0.372±0.03 ^b	1.268±0.070 ^b	0.128±0.008 ^b
15		枝条	0.105±0.081 ^d	0.038±0.007 ^d	0.144±0.013 ^d	0.017±0.000 ^d
		叶片	1.508±0.088 ^a	0.532±0.036 ^a	2.04±0.062 ^a	0.300±0.024 ^a
25		枝条	0.114±0.092 ^d	0.049±0.006 ^e	0.164±0.017 ^d	0.024±0.003 ^d
		叶片	1.429±0.011 ^a	0.559±0.019 ^a	1.919±0.011 ^a	0.282±0.010 ^a
31		枝条	0.115±0.103 ^d	0.041±0.008 ^d	0.156±0.010 ^d	0.034±0.004 ^c
		叶片	1.542±0.031 ^a	0.566±0.004 ^a	2.108±0.029 ^a	0.290±0.010 ^a
40		枝条	0.115±0.094 ^d	0.050±0.005 ^e	0.165±0.009 ^d	0.029±0.006 ^d

注: 同列中相同小写字母表示不存在差异性显著 ($P < 0.05$)。

2.3 干旱和复水过程叶片和枝条超微结构的变化

通过透射电镜观察, 结果表明, 未处理材料叶片的叶肉细胞, 叶绿体依次紧贴细胞壁整齐排列并几乎占满细胞壁空间, 细胞以及叶绿体结构都完整, 细胞核可见 (图 2A)。叶绿体为椭圆形或长形, 类囊体膜排列整齐, 由基质类囊体组成而很少见基粒类囊体。处理 42 d 后叶片的叶肉细胞里, 部分叶绿体脱离了细胞壁, 向中央靠近。叶绿体膜完整可见, 但类囊体的有序性被打乱, 其完整性仍然保存 (图 2B)。即将脱落的叶片的叶肉细胞已经遭受相当程度的破坏, 叶绿体结构已经完全破坏并脱离细胞壁, 叶绿体

膜散乱地分布在细胞中, 部分叶绿体和一些细胞器已解体 (图 2C)。新生长叶片的叶肉细胞里, 叶绿体依次紧贴细胞壁整齐排列并几乎占满细胞壁空间, 细胞以及叶绿体结构都完整, 细胞核可见。叶绿体中, 类囊体膜完整, 无论是基质类囊体还是基粒类囊体, 都整体排列。在柠条的叶绿体中, 淀粉粒的数量增加 (图 2D)。

然而, 与叶片中完全不同的是, 在枝条中 (图 2E, 2F, 3E 和 3F), 无论是干旱落叶后的还是未处理的材料, 其亚细胞的结构都保持完整。细胞中的液泡 (V), 叶绿体 (Cp) 和线粒体 (M) 在两种材料中都清晰可见并且结构完整。叶绿体的类囊体膜结构仍

然以基质类囊体膜排列,但脱水的枝条中叶绿体中

的淀粉粒数量增加。

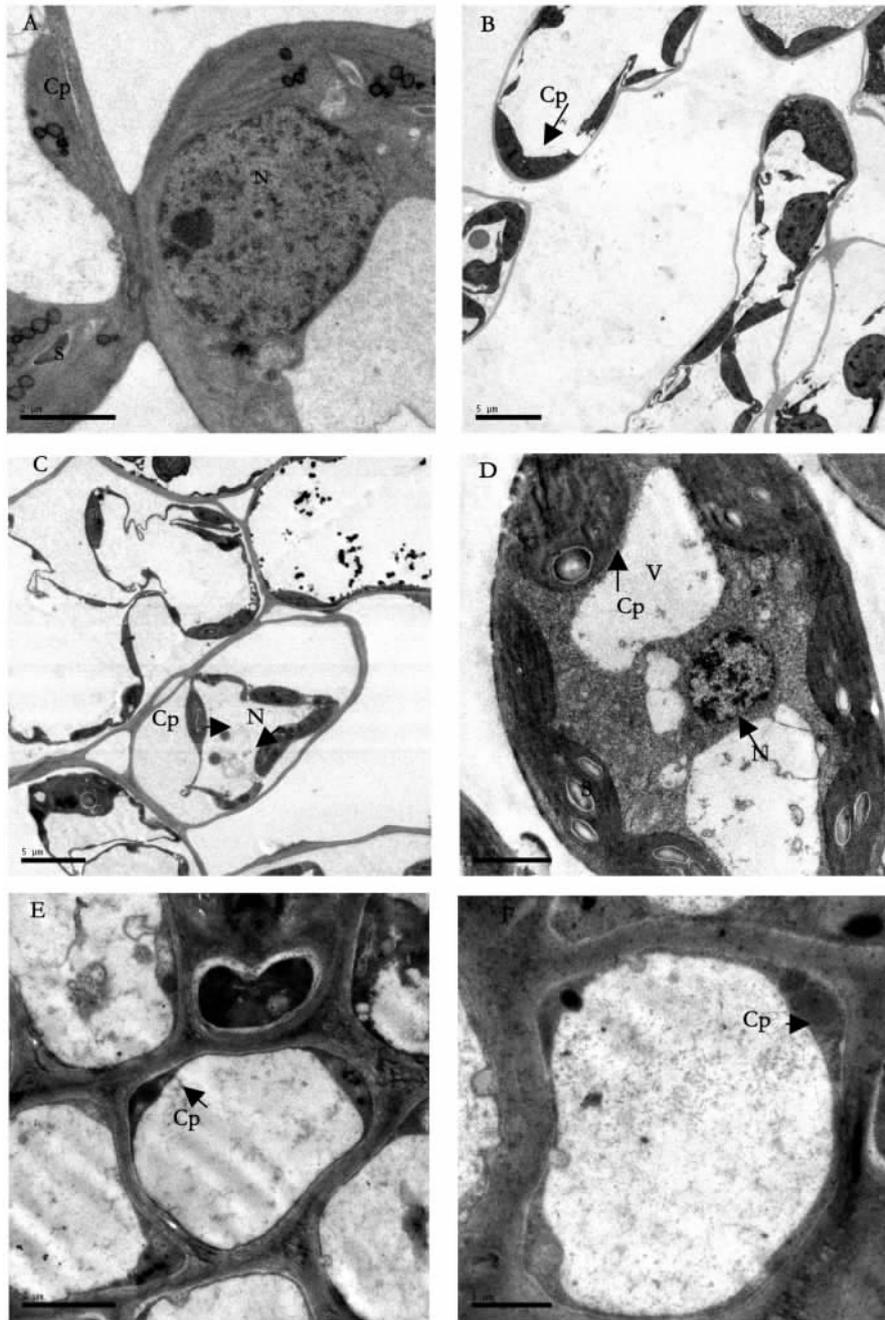


图 2 干旱和复水过程中柠条叶片叶肉细胞和枝条的亚细胞结构透射电镜观察

(A: 处理 3 d 的叶片; B: 处理 42 d 的叶片; C: 即将脱落的叶片; D: 新生长出的叶片; E: 处理 3 d 的枝条; F: 处理 53 d 的枝条)

Fig. 2 Transmission electron microscopy of mesophyll cells in leaves and epidermis cell in stems of *C. korshinskii*

3 讨论

在自然生境下,可预见的季节性干旱造成植物的落叶是普遍发生的,而由此引起蒸腾面积的减少通常被认为是一种重要的干旱响应策略^[24]。我们的研究发现柠条突然遭遇干旱引起的叶片脱落,不同于生长季末期所观察到的落叶。干旱促使叶片死亡脱落,叶片数量减少,这也是生长季末的典型特

征,但是这种死亡落叶在长日照条件下更加明显,而秋季落叶主要是由短日照引起的。另一方面,一些一年生作物的干旱落叶是随着植物个体发生的不同而不同^[25],但对于多年生植物,干旱速率相对于植物生长的起始和终止时间更为重要。Nilsen 等^[26]在对丛林灌木 *Lotus scoparius* 的研究中提出水分胁迫的速率是叶片脱落的一个重要原因。同时,夏季干旱在柠条的自然生境中随时可见,而这种干旱

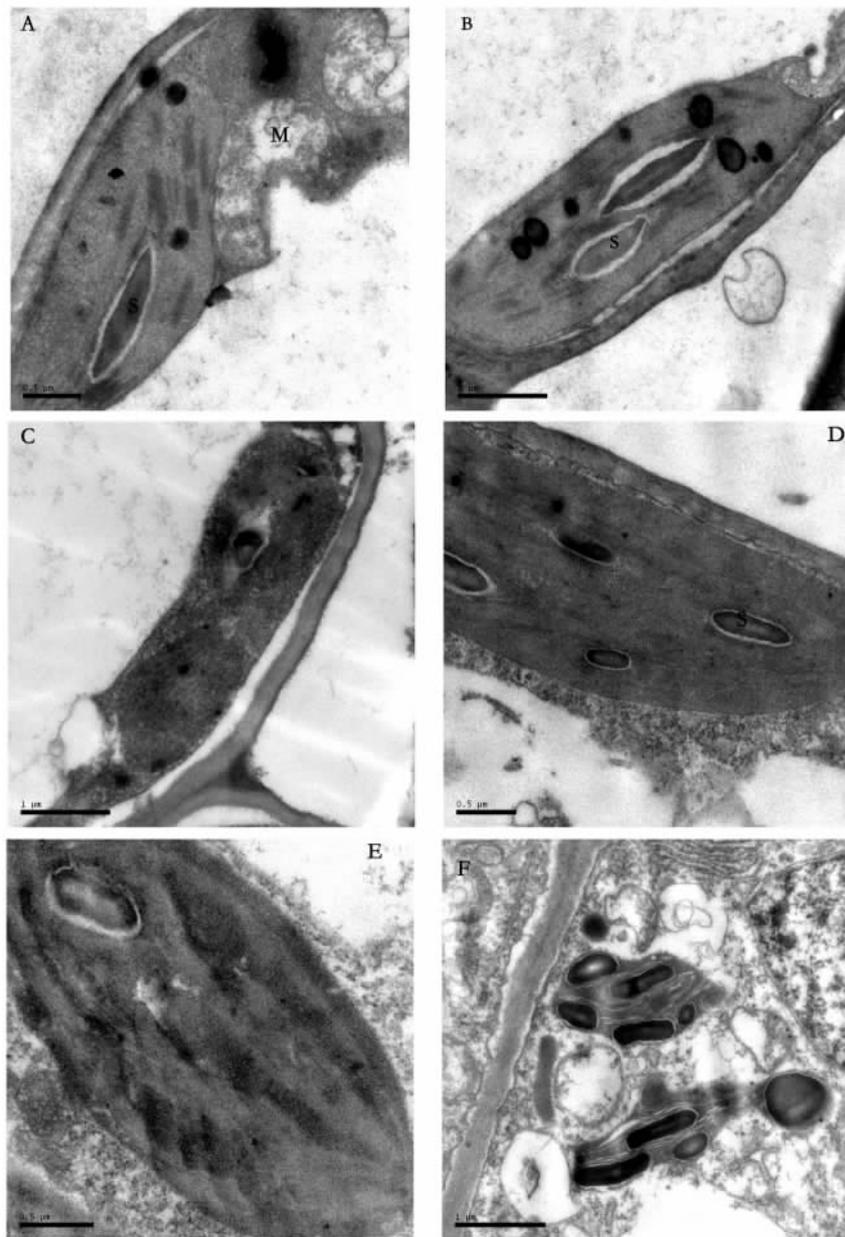


图 3 干旱和复水过程中柠条叶片和枝条叶绿体变化的透射电镜观察

(A: 处理 3 d 的叶片; B: 处理 42 d 的叶片; C: 即将脱落的叶片; D: 新生长出的叶片; E: 处理 3 d 的枝条; F: 处理 53 d 的枝条)

Fig. 3 Transmission electron microscopy of chloroplasts in leaves and stems of *C. korshinskii*

引起的叶片脱落降低了水分散失但并不损失植物潜在的碳源。对于这类植物,在极端干热期的休眠或落叶(枝)等,都是为了保护植物水分的收支平衡,适应干旱的环境而具有的特征^[27]。河西走廊生长的棉刺(*Potaninia mongolica* Maxim)忍耐干旱的能力并不强,在严重干旱下以“假死”休眠来逃避干旱^[28]。柠条遇旱休眠,遇水复苏,与复苏植物在干旱和复水过程中形态特征变化一致。

干旱处理期间植物保持叶绿素含量和叶绿素 *a/b* 比率的稳定说明捕光色素复合体(HLC II)的破坏很弱,因为有一定量的叶绿素 *b* 存在于 HLC II

中^[29]。这反过来会使植物在干旱期间维持一定的光合能力。柠条适度干旱并不引起叶片叶绿素含量的减少,只有在严重胁迫时叶绿素含量才减少。类胡萝卜素是天线色素的重要成分,因此,类胡萝卜素含量不变对于捕光色素复合体的稳定起很重要的作用,它有利于多余的能量的耗散。柠条的枝条中含有一定量的叶绿素,随着干旱胁迫的增加,枝条中叶绿素的含量也有小幅度的增加,这为植物落叶后枝条继续进行光合作用提供了保障。

柠条是荒漠地区旱生灌木的典型代表,在枝条中相对含水量失去 90%,土壤上下层相对含水量分

别降低到 3.9% 和 12.89% 的条件下,依然能够生存。枝条和叶片的叶肉细胞和叶绿体的超微结构变化表明,柠条通过保护部分细胞的完整性来实现在脱水条件下的生存。因为即使在极端干旱条件下,柠条枝条中的亚细胞和叶绿体都没有大的变化。叶片叶绿体膜对干旱的伤害是非常敏感的^[30-31]。在干旱处理 42 d 后,虽然类囊体膜没有太大的变化,这中现象也在 *Talbotia elegans* 植物叶片中观察到^[32],但类囊体组织的有序性打乱了,形成大的、弯曲的和楼梯状的基粒堆或基质堆。这种类囊体堆在其他植物的干叶片中也观察到^[33]。类囊体膜表面的弯曲被认为是对干旱的一种适应^[34]。在将要脱落的叶片中,叶绿体和类囊体膜解体,淀粉粒消失。在其他植物中也发现这一现象,被认为是保持细胞完整性的一种机制,它与可溶性糖的合成有关。而可溶性糖在保护类囊体膜和其他膜免受干旱伤害方面是非常有用的^[33,35-36]。

因此,在干旱脱水过程中,柠条通过外形和超微结构的同时变化控制水分的丧失,防止和限制干旱的破坏,因而在某些程度上维持了亚细胞的完整性。复水后的快速长出叶片也是这一现象进一步得到了证实。柠条在复水后的第 4 天新的叶片完全伸展开,并且合成了大量的叶绿素。这样重新组织了光合细胞器,这些功能的恢复为植物生存打下了良好的基础。

参考文献 (References):

- [1] 郭卫华,李波,黄永梅,等. 不同程度的水分胁迫对沙棘幼苗生理生态特征的影响[J]. 植物学报,2003,45(10):1238-1244.
- [2] Griffiths H, Parry M A J. Plant responses to water stress[J]. *Annals of Botany*, 2002, 89: 801-802.
- [3] Chaitanya K V, Jutur P P, Sundar D, et al. Water stress effects on photosynthesis in different mulberry cultivars[J]. *Plant Growth Regulation*, 2003, 40: 75-80.
- [4] Boyer T S, Wong S C, Farquhar D. CO₂ and water vapor exchange across leaf cuticle (epidermis) at various water potentials[J]. *Plant Physiology*, 1997, 114: 185-191.
- [5] Lawlor D W. Limitation to photosynthesis in water-stressed leaves: Stomata vs. metabolism and the role of ATP[J]. *Annals of Botany*, 2002, 89: 871-885.
- [6] Oliver M J. Desiccation tolerance in vegetative plant cells[J]. *Physiologia Plantarum*, 1996, 97: 779-787.
- [7] Cooper K, Farrant J M. Recovery of the resurrection plant *Craterostigma wilmsii* from desiccation: Protection versus repair[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2002, 53: 1805-1813.
- [8] Qian Y L, Fry J D, Upham W S. Rooting and drought avoidance of warm-season turfgrasses and tall fescue in Kansas[J]. *Crop Science*, 1997, 37: 699-704.
- [9] Maroco J P, Pereira J S, Chaves M M. Stomatal responses to leaf-to-air vapour pressure deficit in Sahelian species[J]. *Australian Journal of Plant Physiology*, 1997, 24: 381-387.
- [10] Volaire F, Thomas H, Lelievre F. Survival and recovery of perennial forage grasses under prolonged Mediterranean drought. I. Growth, death, water relations and solute content in herbage and stubble[J]. *New Phytologist*, 1998, 140: 439-449.
- [11] Balaguer L, Pugnaire F I, Martinez-Ferri E, et al. Ecophysiological significance of chlorophyll loss and reduced photochemical efficiency under extreme aridity in *Stipa tenacissima* L [J]. *Plant & Soil*, 2002, 240: 343-352.
- [12] Niyogi K K. Photoprotection revisited: Genetic and molecular approaches[J]. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 1999, 50: 333-359.
- [13] Donald R. When there is too much light[J]. *Plant Physiology*, 2001, 125: 29-32.
- [14] 赵长明,王根轩. 干旱胁迫对沙冬青叶片防御光破坏机制的影响[J]. 植物学报, 2002, 44(11): 1309-1313.
- [15] 王志会,夏新莉,尹伟伦. 不同种源的柠条锦鸡儿的生理特性与抗旱性[J]. 东北林业大学学报, 2007, 35(9): 27-29.
- [16] 牛西午. 柠条生物学特性研究[J]. 华北农学报, 1998, 13(4): 122-129.
- [17] 张志山,李新荣,王新平,等. 沙漠人工植被区蒸腾测定[J]. 中国沙漠, 2005, 25(3): 374-379.
- [18] 张金林,陈托兄,王锁民. 阿拉善荒漠区几种抗旱植物游离氨基酸和游离脯氨酸的分布特征[J]. 中国沙漠, 2004, 24(4): 193-199.
- [19] 那日,杨生,杨休强,等. 模拟沙地干旱环境研究电场对两种沙生植物抗旱性的影响[J]. 中国沙漠, 2005, 25(1): 113-117.
- [20] 李彦瑾,赵忠,孙德祥,等. 干旱胁迫下柠条锦鸡儿的水分生理特征[J]. 西北林学院学报, 2008, 23(3): 1-4.
- [21] 刘永俊,冯虎元. 不同演替阶段人工柠条林丛枝菌根真菌分子多样性研究[J]. 中国沙漠, 2009, 29(6): 1141-1147.
- [22] Cooper K, Farrant J M. Recovery of the resurrection plant *Craterostigma wilmsii* from desiccation: Protection versus repair[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2002, 53: 1805-1813.
- [23] Sims D A, Gamon J A. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 81: 337-354.
- [24] Casper B B, Forseth I N, Kempenich H. Drought prolongs leaf life span in the herbaceous desert perennial *Cryptantha flava* [J]. *Functional Ecology*, 2001, 15: 740-747.
- [25] Blum A. Crop responses to drought and the interpretation of adaptation[J]. *Plant Growth Regulation*, 1996, 20: 135-148.
- [26] Nilsen E T, Muller W H. Phenology of the drought-deciduous shrub *Lotus scoparius*: Climatic controls and adaptive significance[J]. *Ecological Monographs*, 1981, 51: 323-341.

- [27] 潘晓玲, 党荣理, 伍光和. 西北干旱荒漠植物区系地理与资源利用[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 50—54.
- [28] 王继和, 吴春荣, 张晓明, 等. 甘肃荒漠区濒危植物绵刺生理生态学特性的研究[J]. 中国沙漠, 2000, 20(4): 397—403.
- [29] Lawlor D W. Photosynthesis. Molecular, Physiological and Environmental Processes [M]. Essex, UK: Longman Scientific and Technical, 1993.
- [30] Heterington S E, Hallam N D, Smillie R M. Ultrastructural and compositional changes in chloroplast thylakoids of leaves of *Borya nitida* during humidity-sensitive degreening [J]. Australia Journal of Plant Physiology, 1982, 9: 601—609.
- [31] Markovska Y, Tsonev T, Kimenov G, et al. Physiological changes in higher poikilohydric plants—*Haberlea rhodopensis* Friv. and *Ramonda serbica* Panc. during drought and rewatering at different light regimes[J]. Journal of Plant Physiology, 1994, 144: 100—108.
- [32] Hallam N D, Luff S E. Fine structural changes in the leaves of the desiccation-tolerant plant *Talbotia elegans* during extreme water stress[J]. Botanical Gazette, 1980, 141: 180—187.
- [33] Francesca D V, Toufik E, Roberto C, et al. Morphological and ultrastructural aspects of dehydration and rehydration in leaves of *Sporobolus stapfianus* [J]. Plant Growth Regulation, 1998, 24: 219—228.
- [34] Schonbeck M W, Bewley J D. Responses of the moss *Tortula ruralis* to the desiccation treatments. I. Effects of minimum water content and rates of dehydration and rehydration[J]. Canada Journal of Botany, 1981, 59: 2698—2706.
- [35] Bianchi G, Gamba A, Murelli C, et al. Low molecular weight solutes in desiccated and ABA treated calli and leaves of *Cra-terostigma plantagineum* [J]. Phytochemistry, 1992, 31: 1917—1922.
- [36] Drennan P M, Smith M T, Goldsworthy D, et al. The occurrence of trehalose in the leaves of the desiccation-tolerant angiosperm *Myrothamnus flabellifolius* Welw [J]. Journal of Plant Physiology, 1993, 142: 493—496.

Eco-physiological Mechanism of *Caragana korshinskii* Kom Adaptation to Extreme Drought Stress :

Leaf abscission and keeping chloroplast integrity in stem

XU Dang-hui^{1,2}, FANG Xiang-wen¹, BIN Zhen-jun¹, WANG Gang¹, SU Pei-xi²

(1. State Key Laboratory of Grassland and Agro-ecosystems/school of Life Science, Lanzhou University, Lanzhou, 730000, China ; 2. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, 730000, China)

Abstract: In order to study the eco-physiological mechanism of *C. korshinskii* adaptation to extreme drought stress, we investigated variations of relative water content, Chlorophyll *a* and *b*, and carotenoid contents in leaves and stems of 2-year-old *C. korshinskii* and its chloroplast ultrastructure change during progressive soil drought and rehydration process, and also investigated the variation of soil relative water content during the process. Results showed that during dehydration process, contents of Chlorophyll *a* and *b*, and carotenoid in leaf decreased, and carotenoid contents in stem decreased too. After rehydration for about 4 days, the contents of Chlorophyll *a* and *b*, and carotenoid in leaves and stems reached normal level again. In most case, chloroplasts appear in subcellular organization of *C. korshinskii* and chloroplasts cling the cell wall, and chloroplasts are surrounded by a persistent envelope and with abundant and ordered thylakoid system. With the ongoing of drought stress, chloroplasts in leaves broke away from the cell wall and appeared in the center of the cell. The mesophyll ultrastructure and chloroplasts configuration in leaves were disturbed beyond retrieve in the leaves under severe drought stress, and the inner and outer membranes is destroyed, thylakoid is disintegrated, starch grain disappeared and parts of cell tissue dismantled into debris. But the mesophyll ultrastructure and chloroplasts configuration in stems remained complete. *Caragana korshinskii* utilizes leaf abscission to reduce the surface area exposed to light to avoid the hurt from the extreme drought stress, and retains chloroplast integrity and a considerable amount of chlorophyll to enable a rapid recovery of photosynthesis under rehydration process.

Keywords: *Caragana korshinskii*; extreme drought stress; leaf abscission; chloroplast ultrastructure