

干旱胁迫对 3 种槭树科植物生理特性的影响

毛永成, 刘璐, 王小德

(浙江农林大学 风景园林与建筑学院, 浙江 临安 311300)

摘要: 以鸡爪槭 *Acer palmatum*, 复叶槭 *Acer negundo* 和羽毛槭 *Acer palmatum* ‘Dissectum’ 2 年生实生苗为试材, 采用聚乙二醇 6000(PEG 6000)模拟干旱胁迫方法, 研究干旱胁迫对鸡爪槭、复叶槭、羽毛槭幼苗生理特性的影响。结果显示: 随着干旱胁迫程度的增强, 3 种槭树科 *Aceraceae* 植物幼苗总生物量、地上生物量、根生物量呈降低趋势; 根冠比、丙二醛(MDA)质量摩尔浓度、脯氨酸(Pro)质量分数逐渐增加; 鸡爪槭和羽毛槭叶片过氧化物酶(POD)活性先升高后降低, 复叶槭过氧化物酶活性持续升高; 羽毛槭叶片超氧化物歧化酶(SOD)活性呈先升后降的趋势, 其他 2 种则持续升高。3 种槭树科植物幼苗均可通过调节自身生物量、MDA 质量摩尔浓度、游离脯氨酸质量分数以及提高保护酶活性来适应轻度 and 中度干旱胁迫环境; 通过隶属函数综合评价分析, 3 种槭树科植物幼苗耐旱性由强到弱为复叶槭 > 鸡爪槭 > 羽毛槭。图 4 表 2 参 11

关键词: 植物学; 逆境生理; 干旱胁迫; 槭树科植物; 生理特性

中图分类号: S718.43; Q945.78 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2016)01-0060-05

Effect of drought stress on physiological characteristics of three plants of *Aceraceae*

MAO Yongcheng, LIU Lu, WANG Xiaode

(School of Landscape Architecture, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: The effect of drought stress on physiological characteristics of three *Aceraceae* species, namely, *Acer palmatum*, *Acer negundo*, *Acer palmatum* ‘Dissectum’ were studied, an experiment was conducted using 2-year-old seedlings with polyethylene glycol (PEG 6000) simulated drought stress. Results showed that with the enhancement of drought stress intensity, the total biomass, above ground biomass, and root biomass of three plants of *Aceraceae* plants tend to decrease, while root-shoot ratio, malondialdehyde (MDA) content, and proline content increased gradually; the peroxidase activity in *Acer palmatum* and *Acer palmatum* ‘Dissectum’ increased first and then decreased, but continuously elevated in *Acer negundo*; the superoxide dismutase activity in *Acer palmatum* ‘Dissectum’ increased first and then decreased, while the other two continuously elevated. Conclusions showed that three plants of *Aceraceae* seedlings adapt to mild and moderate drought stress through adjust its own biomass, MDA content, free proline content and improve protective enzyme activity; through membership function comprehensive evaluation and analysis, the drought tolerance of three plants of *Aceraceae* plants from high to low is: *Acer negundo* > *Acer palmatum* > *Acer palmatum* ‘Dissectum’. [Ch, 4 fig. 2 tab. 11 ref.]

Key words: botany; stress physiology; drought stress; *Aceraceae* plants; physiological characteristics

收稿日期: 2015-02-16; 修回日期: 2015-04-01

基金项目: 浙江省重大科技攻关项目(2006C12061)

作者简介: 毛永成, 从事风景园林与景观设计、园林植物及其应用研究。E-mail: 649972859@qq.com。通信作者: 王小德, 教授, 博士, 从事园林植物引种与应用、植物造景和生态园林等研究。E-mail: mycaky@163.com

近年来全球气候不断变暖，长江中下游地区夏季气温逐年上升，干旱半干旱地区不断扩大，干旱胁迫已经成为园林植物生长的主要限制因素^[1]。鸡爪槭 *Acer palmatum*，复叶槭 *Acer negundo*，羽毛槭 *Acer palmatum* ‘Dissectum’ 等槭树科 *Aceraceae* 植物是园林绿化中较为常见的彩叶树种^[2]，关于其耐旱能力方面的研究较少。干旱胁迫严重影响植物幼苗形态结构、生理生化等方面的变化，对槭树科植物进行抗旱性研究有重要意义。本研究以鸡爪槭、复叶槭、羽毛槭 2 年生实生苗为材料，采用聚乙二醇 6000 (PEG 6000) 模拟干旱胁迫方法，测定地被植物抗旱性生长生理指标，比较 3 种槭树科植物抗旱性，探讨干旱胁迫对鸡爪槭、复叶槭、羽毛槭幼苗生理特性的影响。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

以浙江省开化林场 2 年生鸡爪槭、复叶槭、羽毛槭实生苗为材料，2013 年 11 月将 3 种植物幼苗移栽到浙江农林大学风景园林与建筑学院教学实习基地内，栽植于准备好的花盆（口径 25 cm，高 30 cm）中，苗木的培养基质按 V(园土):V(基质)=1:1 配比，1 株·盆⁻¹，同时进行相同水分、光照的养护管理，保证生长正常稳定，缓苗期为 9 个月。2014 年 8 月初从恢复苗中选取大小、长势基本一致的正常苗木进行试验。

1.2 试验方法

采用 PEG 6000 模拟干旱胁迫方法，PEG 6000 质量浓度分别为 50 g·L⁻¹（轻度干旱胁迫），100 g·L⁻¹（中度干旱胁迫），150 g·L⁻¹（重度干旱胁迫），设置不加 PEG 6000 的为对照(ck)，分别于第 0，5，10 天用上述溶液对 3 种幼苗进行干旱胁迫浇灌处理，待盆下方有液体刚刚溢出为宜。将试验用苗分成 3 组·种⁻¹，随机区组设计，3 盆·组⁻¹，3 次重复。第 15 天早上取叶位成熟叶片，测定各项指标。形态指标测定随机选取 3 株·处理⁻¹，用清水除去根部土壤，蒸馏水洗净，用滤纸和吸水纸把植株表面水渍擦干，将根、干枝和叶分开，分别称取其鲜质量，装于牛皮纸袋，放入烘箱中 105 ℃ 杀青 30 min，降低烘箱温度至 80 ℃，继续烘干直至恒量，再分别称量各根、枝干和叶的干质量，计算总生物量和根冠比。丙二醛(MDA)质量摩尔浓度采用硫代巴比妥酸(TBA)法^[3]测定；脯氨酸(Pro)质量分数采用磺基水杨酸提取茚三酮显色法^[3]测定；过氧化物酶(POD)活性测定采用愈创木酚显色法^[4]测定；超氧化物歧化酶(SOD)活性采用氮蓝四唑(NBT)光化还原法^[4]测定。实验结果用 Excel 2007，SPSS 16.0，MATLAB 7.0 进行统计分析。采用图基(Tukey)检验干旱胁迫下生长量和生物量差异显著性。

2 结果与分析

2.1 幼苗形体与生物量的变化

干旱胁迫 3 d 后 3 种植物形体均部分叶片出现褶皱。干旱胁迫 9 d 植株大部分叶片褶皱，逐渐表现出缺水，部分植株发生萎蔫，其中羽毛槭和鸡爪槭变化最为明显。干旱胁迫 12 d 植株大部分萎蔫，表现严重缺水，3 种植物部分叶片变红；干旱 15 d 大部分叶片变红后枯萎，羽毛槭叶片脱落现象最明显，中度和重度干旱条件下其部分植株死亡。如表 1 所示：随着干旱强度的增加，3 种植物幼苗总生物量、根生物量和地上生物量出现不同程度的降低。干旱胁迫引起总生物量下降，下降幅度最大的是羽毛槭，其次鸡爪槭。3 种植物幼苗在同一水平干旱处理下，地上生物量下降幅度明显大于根生物量下降幅度。说明干旱胁迫对 3 种植物幼苗的地上部分影响超过地下部分，干旱胁迫引起植物体内生物量分配发生变化，各器官生物量向地下根部转移较多，地上生物量分配比例下降，根冠比随着干旱时间的延长出现上升的趋势。复叶槭幼苗在轻度和中度干旱条件下根生物量、地上生物量以及根冠比与对照差异性不显著，但高于同处理其他 2 种植物，生物量分配能力优于其他 2 种植物。

2.2 丙二醛(MDA)质量摩尔浓度与渗透调节物的变化

植物在干旱胁迫中细胞内的活性氧逐渐得到积累，最终发生膜脂过氧化和膜脂脱氧化反应，导致过氧化物丙二醛的产生和积累^[5]。如图 1，随着干旱胁迫的增强，3 种植物幼苗叶片丙二醛质量摩尔浓度出现逐渐增加的趋势。在轻度和中度干旱条件下，丙二醛质量摩尔浓度缓慢增加；当胁迫达到重度后，丙二醛质量摩尔浓度开始迅速积累。重度干旱条件下丙二醛质量摩尔浓度增加幅度明显大于轻度和中度

表1 干旱胁迫对3种槭树科植物幼苗生物量和根冠比的影响

Table 1 Effect of drought stress on biomass and root shoot ratio of three plants of Aceraceae

植物	处理	总生物量/g	根生物量/g	地上生物量/g	根冠比/%
复叶槭	对照	8.08 ± 0.25 a	4.91 ± 0.19 a	6.28 ± 0.14 a	47.26 ± 0.26 c
	轻度干旱	7.09 ± 0.18 b	4.89 ± 0.28 a	6.52 ± 0.19 b	50.45 ± 0.48 bc
	中度干旱	7.44 ± 0.10 c	4.83 ± 0.12 a	6.10 ± 0.17 ab	54.42 ± 0.31 b
	重度干旱	6.44 ± 0.17 d	4.57 ± 0.16 b	5.39 ± 0.23 b	58.05 ± 0.22 a
鸡爪槭	对照	8.21 ± 0.26 a	4.28 ± 0.14 a	7.45 ± 0.12 a	22.55 ± 0.32 d
	轻度干旱	7.03 ± 0.20 b	4.10 ± 0.11 ab	6.45 ± 0.19 b	23.26 ± 0.33 c
	中度干旱	6.31 ± 0.15 c	4.40 ± 0.25 ab	5.79 ± 0.15 bc	25.52 ± 0.35 b
	重度干旱	5.46 ± 0.16 d	3.89 ± 0.18 b	5.09 ± 0.18 c	28.17 ± 0.38 a
羽毛槭	对照	7.89 ± 0.12 a	4.53 ± 0.12 a	6.88 ± 0.13 a	34.98 ± 0.36 d
	轻度干旱	6.83 ± 0.11 b	4.33 ± 0.15 b	6.01 ± 0.17 b	36.61 ± 0.27 c
	中度干旱	5.86 ± 0.25 c	4.16 ± 0.21 c	5.22 ± 0.16 c	40.66 ± 0.26 b
	重度干旱	5.12 ± 0.21 c	4.01 ± 0.11 c	4.63 ± 0.12 d	49.29 ± 0.20 a

干旱。3种植物幼苗丙二醛质量摩尔浓度增加幅度最大的是鸡爪槭，最小的是复叶槭。鸡爪槭幼苗在各干旱程度处理中丙二醛质量摩尔浓度明显大于其他2种植物，干旱胁迫对其细胞膜伤害程度最大。

在干旱胁迫下，脯氨酸的积累可以增加酶的稳定性和保护酶的活性^[6]。许多植物在逆境环境中，体内游离脯氨酸含量会有所增加^[7]。如图2，3种植物幼苗随着干旱程度的加剧脯氨酸质量分数总体上呈上升趋势，重度干旱处理脯氨酸质量分数最大，复叶槭、鸡爪槭、羽毛槭分别是对照的3.3倍、1.6倍和2.3倍。轻度和中度干旱处理迫使植物体内的脯氨酸缓慢积累，随着胁迫的加强，脯氨酸的积累现象表现显著。

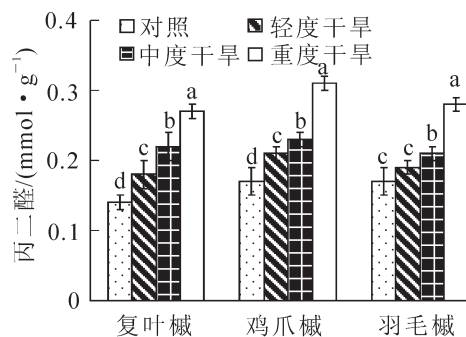


图1 干旱胁迫对槭树科植物幼苗叶片丙二醛质量摩尔浓度的影响

Figure 1 Effects of drought stress on MDA content in leaves of three Aceraceae plants

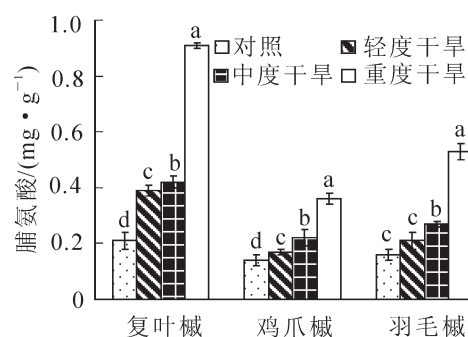


图2 干旱胁迫对槭树科植物幼苗叶片脯氨酸质量分数的影响

Figure 2 Effects of drought stress on proline(Pro) content in leaves of three Aceraceae plants

2.3 过氧化物酶(POD)与超氧化物歧化酶(SOD)活性的变化

如图3，干旱胁迫过程中，复叶槭和鸡爪槭幼苗随着干旱胁迫加强表现逐渐增加的趋势，中度和重度处理增加幅度较大，重度处理POD增量分别是对照的90.4%和77.5%。羽毛槭幼苗POD活性随着干旱强度的增加，呈现先上升再下降的趋势，其中中度胁迫处理POD活性最大，比对照增加了45.1%。

如图4，羽毛槭幼苗SOD活性随着干旱胁迫强度的增加先升高再下降。复叶槭和鸡爪槭幼苗SOD活性随着干旱胁迫强度的增加缓慢上升，鸡爪槭幼苗SOD活性上升幅度较大，中度和重度胁迫处理无显著差异。说明鸡爪槭和复叶槭在干旱胁迫处理下具有较强的SOD酶活性的调节能力，羽毛槭在轻度和中度胁迫下酶调节能力较强，但是随着胁迫加重，植株受损严重，抗氧化能力下降。

2.4 耐旱性综合评价

如表2，通过不同强度的干旱胁迫处理，采用多指标对槭树科3种植物幼苗的耐旱能力进行综合评

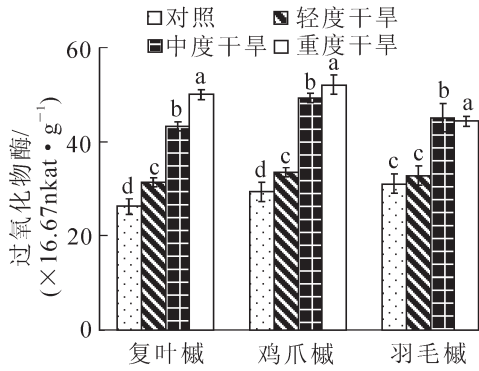


图 3 干旱胁迫对槭树科植物幼苗叶片过氧化物酶的影响

Figure 3 Effects of drought stress on POD activity in leaves of three Aceraceae plants

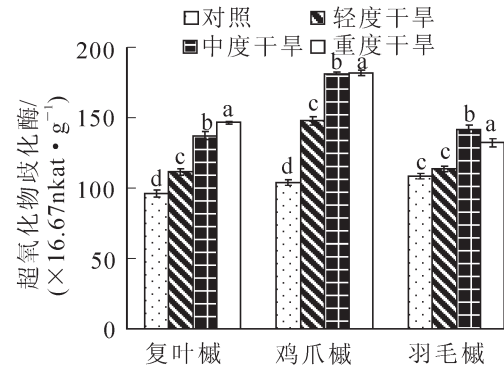


图 4 干旱胁迫对槭树科植物幼苗叶片超氧化物歧化酶的影响

Figure 4 Effects of drought stress on SOD activity in leaves of three Aceraceae plants

价。基于 MATLAB 7.0 的隶属函数综合评判法^[8]可知，槭树科 3 种植物幼苗耐旱能力由强到弱依次为复叶槭 > 鸡爪槭 > 羽毛槭。

表 2 槭树科植物幼苗各指标隶属函数值及抗旱性综合评价

Table 2 Function value of subordination and synthetical evaluation on drought-resistance of three Aceraceae plants

植物	各指标隶属函数值								
	总生物量	地上生物量	根生物量	根冠比	丙二醛	脯氨酸	过氧化物酶	超氧化物歧化酶	平均
复叶槭	0.759	0.547	0.892	0.845	0.368	0.445	0.444	0.310	0.576
鸡爪槭	0.528	0.555	0.272	0.065	0.529	0.107	0.574	0.670	0.413
羽毛槭	0.422	0.374	0.360	0.507	0.426	0.198	0.467	0.322	0.385

3 讨论与结论

生长量是植物对干旱胁迫的综合反应，也是评估干旱胁迫程度和植物抗旱能力的可靠标准。研究表明：干旱胁迫导致植物生长受到抑制，随着胁迫强度的增加，受抑制现象越显著^[9]。随着干旱胁迫程度的增加对复叶槭、鸡爪槭、羽毛槭幼苗生长和生物量的分配有明显影响，总生物量、根生物量和地上生物量表现出不同程度的降低。生物量下降幅度地上部分显著大于地下部分。3 种植物幼苗通过不断调整其生长和生物量的分配来适应干旱胁迫。复叶槭幼苗在轻度和中度干旱条件下根生物量、地上生物量以及根冠比高于同水平处理的其他 2 种植物，生物量分配能力最强。

脯氨酸是植物体内重要的渗透调节物质。脯氨酸质量分数的增加对防止细胞内水分的过分丢失、维持细胞膜的完整起重要作用，当植物受到干旱胁迫时，通过积累大量的脯氨酸来提高细胞的渗透调节能力，从而保证组织水势下降时细胞膨压得以维持^[10]。研究表明：在轻度干旱胁迫时脯氨酸质量分数缓慢积累，植物通过脯氨酸积累增强自身抗逆性。重度干旱促使脯氨酸合成加强、氧化作用受抑制、蛋白质合成减弱，在此处理下脯氨酸质量积累加剧。复叶槭幼苗随着胁迫加强，脯氨酸质量分数急剧增加且增加幅度最大，对干旱胁迫适应能力较强，鸡爪槭和羽毛槭幼苗在重度干旱胁迫处理下脯氨酸质量分数也会急剧增加，但增幅较小，适应能力相对较弱。

SOD 和 POD 作为植物体内参与活性氧代谢的主要酶，能够清除植物体内积累的活性氧，保护细胞膜的结构功能，缓解逆境胁迫对植物的损伤，其活性变化能够较好地反映植物对逆境的适应能力^[11]。MDA 是膜脂过氧化的最终产物与保护酶活性存在一定的相关性。在轻度和中度干旱胁迫处理下，复叶槭、鸡爪槭、羽毛槭 POD 和 SOD 酶活性总体呈小幅度升高，叶片通过保护酶活性来抵御干旱逆境造成的伤害，从而使 3 种植物幼苗表现出较强的抗旱能力。干旱胁迫初期，2 种保护酶活性的增强，能够有效地清除活性氧，降低对细胞膜的膜脂氧化，因此，干旱初期鸡爪槭幼苗 MDA 含量积累较少，说明轻度干旱植物体内的保护酶协同作用使膜脂过氧化物程度在较低的水平。随着干旱程度的加剧，复叶槭和

鸡爪槭 POD 和 SOD 酶活性持续升高, 羽毛槭呈小幅度下降, 可能是复叶槭和鸡爪槭幼苗体内保护酶系统的活力和平衡受到破坏程度较小, 自由基积累量较少。羽毛槭幼苗体内保护酶系统的活力和平衡受到严重破坏, 导致酶活性下降和膜脂过氧化产物 MDA 的大量产生。因而在重度干旱时, 3 种植物幼苗体内的 MDA 含量大幅度上升。

复叶槭、鸡爪槭、羽毛槭幼苗在受到干旱胁迫时通过调整其生长和生物量的分配、调节根冠比值、增加脯氨酸的含量、提高 POD 和 SOD 酶活性来提高抗旱性。研究发现: 在中度和重度干旱处理下膜脂过氧化物和脯氨酸积累加剧, POD 酶活性开始下降。羽毛槭在重度干旱处理时, SOD 和 POD 酶活性下降, 其他 2 种植物 SOD 和 POD 酶活性持续上升。通过综合评价槭树科 3 种植物幼苗耐旱能力由强到弱依次为复叶槭 > 鸡爪槭 > 羽毛槭。因此, 在干旱半干旱地区园林绿化可以优先选择耐旱性强的复叶槭和鸡爪槭应用。

4 参考文献

- [1] 任磊, 赵夏陆, 许靖, 等. 4 种茶菊对于干旱胁迫的形态和生理响应[J]. 生态学报, 2015, **35**(15): 5131 – 5139.
REN Lei, ZHAO Xialu, XU Jing, *et al.* Varied morphological and physiological responses to drought stress among four tea *Chrysanthemum* cultivars [J]. *Acta Ecol Sin*, 2015, **35**(15): 5131 – 5139.
- [2] 方文培. 中国植物志: 第 46 卷[M]. 北京: 科学出版社, 1981.
- [3] 蔡庆生. 植物生理实验[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2013.
- [4] 路文静, 李奕松. 植物生理学实验教程[M]. 北京: 中国林业出版社, 2012.
- [5] 樊秀彩, 关军锋, 周厚成, 等. 外源乙烯对桃果实微粒体膜 Ca²⁺-ATPase 活性和膜脂过氧化水平的影响[J]. 西北植物学报, 2005, **25**(5): 944 – 947.
FAN Xiucui, GUAN Junfeng, ZHOU Houcheng, *et al.* Effects of exogenous ethylene on Ca²⁺-ATPase activity and membrane lipid peroxidation in postharvest peach fruits [J]. *Acta Bot Boreali-Occident Sin*, 2005, **25**(5): 944 – 947.
- [6] RUDOLPH A S, GROWE J H, GROWE LM. Effects of three stabilizing agents-proline betaine and trehalos-on membrane phospholipids [J]. *Arch Biochem Biophys*, 1986, **245**(1): 134 – 141.
- [7] 钟楚, 张明达, 胡雪琼, 等. 温度变化对烟草光合作用光响应特征的影响[J]. 生态学杂志, 2012, **32**(2): 337 – 341.
ZHONG Chu, ZHANG Mingda, HU Xueqiong, *et al.* Effects of temperature variation on the light-response characteristics of tobacco leaf photosynthesis [J]. *Chin J Ecol*, 2012, **32**(2): 337 – 341.
- [8] 牛素贞, 樊卫国. 喀斯特地区古茶树幼苗对于干旱胁迫的生理响应及其抗旱性综合评价[J]. 园艺学报, 2013, **40**(8): 1541 – 1552.
NIU Suzhen, FAN Weiguo. The physiological responds of cutting seedlings of ancient tea plant to drought stress and the comprehensive evaluation on their drought resistance capacity in karst region [J]. *Acta Horti Sin*, 2013, **40**(8): 1541 – 1552.
- [9] 吴磊, 陈展宇, 张治安, 等. 不同旱稻品种灌浆期抗旱生理适应性的研究[J]. 干旱地区农业研究, 2008, **26**(4): 163 – 165.
WU Lei, CHEN Zhanyu, ZHANG Zhian, *et al.* Study on physiological adaptation of drought stress on up-rice at filling stage [J]. *Agric Res Arid Areas*, 2008, **26**(4): 163 – 165.
- [10] 裴宗平, 余莉琳, 汪云甲, 等. 4 种干旱区生态修复植物的苗期抗旱性研究[J]. 干旱区资源与环境, 2014, **28**(3): 204 – 208.
PEI Zongping, YU Lilin, WANG Yunjia, *et al.* Comparative research on drought resistance of 4 plant species in ecological regeneration on arid area [J]. *J Arid Land Resour Environ*, 2014, **28**(3): 204 – 208.
- [11] 刘遵春, 包东娥. 水分胁迫对金光杏梅幼苗生长及其生理指标的影响[J]. 河北农业大学学报, 2007, **30**(5): 28 – 31, 88.
LIU Zunchun, BAO Dong'e. Effect of water stress on growth and physiological indexes in Jinguang plum seedling [J]. *J Agric Univ Hebei*, 2007, **30**(5): 28 – 31, 88.