

3 种乡土园林地被植物对干旱胁迫的生理响应

洪震¹, 练发良¹, 刘术新², 胡有金³

(1. 丽水市林业科学研究院, 浙江 丽水 323000; 2. 丽水职业技术学院, 浙江 丽水 323000; 3. 浙江九龙山国家级自然保护区 管理局, 浙江 遂昌 323312)

摘要: 为了更好地开发利用小叶蚊母 *Distylium buxifolium*, 厚皮香 *Ternstroemia gymnanthera* 和轮叶蒲桃 *Syzygium grijsii* 等 3 种优新乡土园林地被植物, 采用盆栽试验研究了 3 种植物 2 年生幼苗对适宜水分、轻度干旱、中度干旱和重度干旱(土壤田间持水量的 75%~80%, 55%~60%, 40%~45%和 30%~35%)条件下的生理响应。结果表明: 随着干旱胁迫程度的增加, 3 个树种的叶片相对含水量、叶绿素质量分数急剧下降; 叶片细胞膜透性和丙二醛(MDA)质量分数急剧上升($P<0.05$); 游离脯氨酸、可溶性糖和可溶性蛋白质等渗透调节物质质量分数快速上升, 其中游离脯氨酸对抵御干旱起到重要的渗透调节作用。小叶蚊母叶片超氧化物歧化酶(SOD), 过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)活性显著升高($P<0.05$), 表明小叶蚊母对干旱的主动响应调节能力较强; 而轮叶蒲桃和厚皮香先上升, 在重度干旱胁迫后下降, 这时可能达到植物耐受干旱的极限, 清除氧自由基的能力降低。通过隶属函数法分析得出 3 种乡土园林地被植物的抗旱性强弱顺序为小叶蚊母>厚皮香>轮叶蒲桃。表 4 参 30

关键词: 植物学; 乡土园林地被植物; 抗旱性; 生理响应; 隶属函数法

中图分类号: S945.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2016)04-0636-07

Physiological response of three native garden ground cover plant seedlings to increasing drought stress

HONG Zhen¹, LIAN Faliang¹, LIU Shuxin², HU Youjin³

(1. Lishui Academy of Forestry, Lishui 323000, Zhejiang, China; 2. Lishui Vocational & Technical College, Lishui 323000, Zhejiang, China; 3. Management office of Jiulongshan Nature Reserve, Suichang 323312, Zhejiang, China)

Abstract: To develop and utilize three native garden ground cover plants (*Distylium buxifolium*, *Ternstroemia gymnanthera*, and *Syzygium grijsii*), a water controlling experiment was conducted to measure the physiological responses of soil water conditions to differing soil water contents: suitable soil moisture (field moisture capacity of 75%–80%), mild drought (55%–60%), medium drought (40%–45%), and severe drought (30%–35%). A subordinate function method was used to rank drought-resistance. Results showed that as drought stress increased, the content of leaf relative water and chlorophyll for the three plants decreased rapidly, but membrane permeability and malondialdehyde (MDA) content increased rapidly. The content of free proline, soluble sugar, and soluble protein increased with free proline playing a key role in resisting drought stress. With an increase in drought stress, the superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD), and catalase (CAT) activity of *D. buxifolium* increased; however, *T. gymnanthera* and *S. grijsii* only increased with suitable soil moisture to medium drought conditions, and decreased with severe drought. The subordinate function method ranking drought-resistance was *D. buxifolium* > *T. gymnanthera* > *S. grijsii*. Thus, *D. buxifolium* could conduct physiological regulation by antioxidant enzyme systems; whereas *T. gymnanthera* and *S. grijsii* reached a tolerable limit where the ability to scavenge oxygen free radicals decreased rapidly. [Ch, 4 tab. 30 ref.]

Key words: botany; native garden ground cover plant; drought stress; physiological responses; subordinate

收稿日期: 2015-09-07; 修回日期: 2015-11-19

基金项目: 浙江省科技计划项目(2010C02004-3); 浙江省花卉新品种选育重大新技专项重点项目(2012C12909-9)

作者简介: 洪震, 高级工程师, 从事观赏植物开发利用研究。E-mail: 452451651@qq.com

function method

土壤水分是影响植物体内水分状况的重要因素。干旱引起植物细胞失水, 导致植物体形态、生理生化发生重大变化, 限制许多物种的生长范围和生存空间^[1-2]。干旱条件下, 植物体内产生一系列生理和生化变化来适应干旱胁迫生境, 主要表现在通过积累渗透调节物质来保持一定的膨压, 质膜透性抗氧化保护酶系统清除活性氧等^[3]。随着全球气候变暖干热化, 干旱胁迫普遍存在, 而且呈加剧的趋势^[4], 而良好的抗旱性是绿化植物度过高温干旱等特殊天气的基本条件, 应用抗旱性强的树种有助于提高园林绿化效果并降低管护成本。小叶蚊母 *Distylium buxifolium*, 厚皮香 *Ternstroemia gymnanthera* 和轮叶蒲桃 *Syzygium grijsii* 是华东地区优新的乡土园林地被植物。小叶蚊母树形紧凑, 枝叶繁茂, 生态适应性强; 厚皮香枝叶平展成层, 树冠浑圆, 叶厚光亮, 花果皆适宜观赏; 轮叶蒲桃枝叶密集、冠形紧凑, 具较高观赏价值。目前, 国内外对轮叶蒲桃、小叶蚊母和厚皮香的研究主要集中在繁育方面的研究^[5-9], 在抗盐性^[10]、光合作用^[11]等方面有少量报道。本实验通过盆栽控水试验研究了小叶蚊母、厚皮香和轮叶蒲桃等 2 年生扦插苗在不同干旱胁迫下的生理响应, 以探讨 3 个树种对不同土壤水分条件的适应能力, 为苗木培育和园林绿化及其管护提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料为小叶蚊母、厚皮香和轮叶蒲桃的 2 年生扦插苗, 材料源自丽水市林业科学研究院白口苗圃。栽培用基质为壤土, 有机质质量分数为 $16.77 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 碱解氮、有效磷、速效钾质量分数分别为 157.65, 50.74, 56.01 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, pH 5.35。

1.2 试验方法

采用盆栽控水试验。盆栽容器规格为高 17 cm, 上口径 14 cm, 下口径 19 cm, 装入壤土 3.5 kg。选用植株生长状况良好, 无病虫害, 大小基本一致的 3 种植株苗木, 于 2014 年 2 月将其移栽到花盆中, 1 株·盆⁻¹。盆栽适应 30 d 后进行控水处理。3 种苗木设置 4 个土壤水分处理, 即 T₁(对照, 适宜水分, 田间持水量的 75%~80%), T₂(轻度干旱, 田间持水量的 55%~60%), T₃(中度干旱, 田间持水量的 40%~45%) 和 T₄(重度干旱, 田间持水量的 30%~35%)。5 株·处理⁻¹, 3 次重复, 随机区组设计。定植后各处理均充分供水, 保证成活和正常生长。至 5 月底移置于防雨棚内, 适应 1 个月后开始进行控水栽培, 使土壤田间持水量分别控制在适宜水分(75%~80%), 轻度干旱(55%~60%), 中度干旱(40%~45%) 和重度干旱(30%~35%)。

盆栽控水栽培 30 d 后采集植株中部叶片进行测定。叶片采集时去除叶柄后入袋封存编号, 置入冰桶中带回实验室, 立即剪碎混合均匀后对样品进行理化测试。采用相对电导率法测定叶片细胞膜透性, 烘干法测定叶片含水量, 小叶滴法测定叶片水势, 丙酮浸提法测定叶绿素质量分数, 硫代巴比妥酸法测定丙二醛(MDA)质量摩尔浓度^[12], 磺基水杨酸提取茚三酮显色法测定叶片游离脯氨酸质量分数^[13], 蒽酮比色法测定叶片可溶性糖质量分数^[14], 考马斯亮蓝法测定叶片可溶性蛋白质质量分数^[15], 紫外吸收法测定过氧化物氢活性(CAT), 氮蓝四唑(NBT)光化还原法测定叶片超氧化物歧化酶(SOD)活性, 愈创木酚法测定叶片过氧化物酶(POD)活性, 丙酮浸提法测定叶绿素质量分数^[16]。

1.3 数据分析

数据采用 Microsoft Excel 2010 和 PASW Statistics 软件进行统计分析。抗旱性综合评价采用模糊数学隶属函数值法, 将各项抗旱生理指标换算成隶属函数值, 然后对各项指标的隶属函数值求平均值。平均值越大, 说明抗旱性越强。隶属函数计算公式如下: 若指标与抗旱性成正相关, 则 $z_{ij} = (x_{ij} - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min})$; 若指标与抗旱性成负相关, 则 $z_{ij} = 1 - (x_{ij} - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min})$ 。其中: z_{ij} 表示 i 树种 j 指标的抗旱隶属函数值, x_{ij} 表示 i 树种 j 指标的测定值, $x_{\min}$ 和 $x_{\max}$ 分别表示各树种中对应指标的最小值和最大值。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对3个树种叶片相对含水量、细胞膜透性和叶绿素质量分数的影响

3种植物叶片相对含水量均随着干旱胁迫程度的加剧而显著下降($P<0.05$, 表1)。胁迫处理30 d时, 重度干旱处理下小叶蚊母、厚皮香和轮叶蒲桃叶片相对含水量分别为 $(53.38 \pm 2.60)\%$, $(46.61 \pm 0.52)\%$ 和 $(44.65 \pm 1.73)\%$, 与对照相比分别下降了23.77%, 27.73%和30.84%。3个树种叶片细胞膜透性均随干旱胁迫程度的加剧而上升($P<0.05$)。胁迫处理30 d, 小叶蚊母叶片细胞膜透性增幅最小, 仅为22.06%; 厚皮香其次, 增加42.78%; 轮叶蒲桃最大, 达到47.92%。小叶蚊母叶片细胞膜透性在4个水分处理下均存在显著差异, 而厚皮香和轮叶蒲桃在轻度干旱胁迫处理与适宜水分处理间的差异不显著, 其他处理下均存在显著差异($P<0.05$)。

3个树种叶绿素质量分数随干旱胁迫程度的加深而下降, 与叶片相对含水量的变化趋势一致, 且在不同水分供应条件下均达到差异显著性($P<0.05$)。其中小叶蚊母叶绿素质量分数降幅最小, 仅为27.17%; 厚皮香次之, 为31.80%; 轮叶蒲桃下降幅度最大, 达到42.00%。

表1 干旱胁迫对3种乡土园林地被植物叶片相对含水量、细胞膜透性和叶绿素的影响

Table 1 Effect of drought stress on leaf relative water content, membrane permeability and chlorophyll content of three native garden ground cover plants

树种	处理	叶片相对含水量/%	叶片细胞膜透性/%	叶绿素/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)
小叶蚊母	ck	$58.57 \pm 2.15 \text{ a}$	$18.10 \pm 0.37 \text{ c}$	$2.80 \pm 0.07 \text{ a}$
	T ₁	$56.29 \pm 1.35 \text{ b}$	$21.31 \pm 0.49 \text{ b}$	$2.53 \pm 0.12 \text{ b}$
	T ₂	$53.22 \pm 1.95 \text{ c}$	$21.57 \pm 0.23 \text{ b}$	$2.15 \pm 0.09 \text{ c}$
	T ₃	$44.65 \pm 1.73 \text{ d}$	$22.09 \pm 0.61 \text{ a}$	$2.04 \pm 0.30 \text{ d}$
厚皮香	ck	$73.86 \pm 1.49 \text{ a}$	$11.49 \pm 0.38 \text{ c}$	$2.93 \pm 0.22 \text{ a}$
	T ₁	$70.33 \pm 2.86 \text{ b}$	$11.61 \pm 0.13 \text{ c}$	$2.58 \pm 0.11 \text{ b}$
	T ₂	$66.64 \pm 2.71 \text{ c}$	$12.28 \pm 0.17 \text{ b}$	$2.17 \pm 0.06 \text{ c}$
	T ₃	$53.38 \pm 2.60 \text{ d}$	$16.40 \pm 0.05 \text{ a}$	$2.00 \pm 0.07 \text{ d}$
轮叶蒲桃	ck	$67.40 \pm 0.96 \text{ a}$	$7.58 \pm 0.31 \text{ c}$	$2.61 \pm 0.25 \text{ a}$
	T ₁	$62.13 \pm 1.70 \text{ b}$	$7.68 \pm 0.11 \text{ c}$	$2.49 \pm 0.07 \text{ b}$
	T ₂	$60.58 \pm 1.34 \text{ c}$	$10.87 \pm 0.21 \text{ b}$	$2.20 \pm 0.04 \text{ c}$
	T ₃	$46.61 \pm 0.52 \text{ d}$	$11.22 \pm 0.16 \text{ a}$	$1.51 \pm 0.12 \text{ d}$

说明:不同小写字母表示处理间存在显著差异($P<0.05$)。

2.2 干旱胁迫对3个树种叶片渗透调节物质质量分数的影响

3种植物叶片游离脯氨酸、可溶性蛋白质、可溶性糖质量分数均随干旱胁迫程度的加剧而增加(表2)。小叶蚊母在4个处理下游离脯氨酸、可溶性蛋白质、可溶性糖质量分数均达到差异显著($P<0.05$); 厚皮香仅可溶性蛋白质质量分数在轻度干旱和中度干旱条件下差异不显著, 其余均达到差异显著; 轮叶蒲桃在游离脯氨酸和可溶性蛋白质质量分数在适宜水分和轻度干旱条件下差异不显著, 其余均达到差异显著。不同干旱条件下, 3个树种的渗透调节物质以游离脯氨酸质量分数增幅最大, 小叶蚊母、厚皮香和轮叶蒲桃在重度干旱条件下分别达到31.5, 26.1和14.2 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 分别是适宜水分的3.09, 1.96和1.92倍; 可溶性糖质量分数增幅其次, 增幅分别为1.65, 1.21和1.42倍; 可溶性蛋白质质量分数增幅最小, 增幅分别为1.24, 1.19倍和1.11倍。说明游离脯氨酸是3种植物抵御干旱最敏感的渗透调节物质。

2.3 干旱胁迫对3个树种叶片丙二醛质量摩尔浓度和保护酶活性的影响

在干旱胁迫下, 3种植物叶片丙二醛质量摩尔浓度均随着干旱胁迫程度的增加而升高($P<0.05$, 表3)。重度干旱胁迫下, 小叶蚊母、厚皮香和轮叶蒲桃叶片丙二醛质量摩尔浓度分别比适宜水分条件下高42.88%, 31.42%和57.80%。随干旱胁迫程度的增加, 小叶蚊母3种保护酶均显著上升, 而厚皮香超氧化物歧化酶和过氧化物酶活性先上升, 在重度干旱胁迫下显著降低; 而轮叶蒲桃3种保护酶在适宜水分、轻度干旱、中度干旱下随着干旱程度的增加而上升, 在重度干旱条件下, 显著下降。说明小叶蚊母

表 2 干旱胁迫对 3 种乡土园林地被植物渗透调节物质的影响

Table 2 Effect of drought stress on contents of osmotic adjustment substances of three native garden ground cover plants

树种	处理	游离脯氨酸/(g·kg ⁻¹)	可溶性糖/(mg·g ⁻¹)	可溶性蛋白质/(mg·g ⁻¹)
小叶蚊母	ck	10.2 ± 3.4 d	77.80 ± 3.80 d	44.25 ± 0.89 d
	T ₁	11.7 ± 4.4 c	85.37 ± 5.91 c	47.51 ± 0.11 c
	T ₂	13.6 ± 1.4 b	107.23 ± 1.96 b	51.32 ± 0.75 b
	T ₃	31.5 ± 3.8 a	128.28 ± 1.85 a	54.89 ± 0.25 a
厚皮香	ck	13.3 ± 3.3 d	14.90 ± 1.06 c	21.55 ± 3.05 c
	T ₁	15.2 ± 1.4 c	16.07 ± 1.37 b	23.99 ± 0.20 b
	T ₂	16.4 ± 1.4 b	17.77 ± 0.63 ab	24.02 ± 0.48 b
	T ₃	26.1 ± 3.8 a	18.04 ± 0.63 a	25.72 ± 0.17 a
轮叶蒲桃	ck	7.4 ± 0.9 c	123.17 ± 4.85 d	21.63 ± 0.67 c
	T ₁	8.9 ± 0.5 c	125.72 ± 4.62 c	21.98 ± 0.32 c
	T ₂	12.7 ± 3.8 b	139.63 ± 9.76 b	23.54 ± 0.94 b
	T ₃	14.2 ± 1.4 a	174.62 ± 4.07 a	24.60 ± 0.57 a

说明：不同小写字母表示处理间存在显著差异(P<0.05)。

和厚皮香保护酶系统对于干旱胁迫的主动适应能力较强，轮叶蒲桃保护酶系统在重度干旱胁迫下最先达到能调节的极限值，抗氧化能力减弱。

表 3 干旱胁迫对 3 种乡土园林地被植物叶片保护酶活性和丙二醛质量摩尔浓度的影响

Table 3 Effect of drought stress on protective enzyme activity and MDA content of three native garden ground cover plants

树种	处理	丙二醛/(mmol·g ⁻¹)	超氧化物歧化酶活性/ (×16.67 nkat·g ⁻¹ ·h ⁻¹)	过氧化物酶活性/ (μg·g ⁻¹ ·min ⁻¹)	过氧化氢酶活性/ (×16.67 nkat·g ⁻¹ ·min ⁻¹)
小叶蚊母	ck	8.86 ± 0.75 d	838.61 ± 51.54 d	21.35 ± 1.20 d	18.36 ± 1.69 d
	T ₁	9.36 ± 0.34 c	1 127.74 ± 118.51 c	25.98 ± 0.24 c	26.79 ± 1.78 c
	T ₂	10.79 ± 0.49 b	1 294.21 ± 114.53 b	35.81 ± 1.07 b	28.31 ± 1.28 b
	T ₃	12.66 ± 1.17 a	1 381.08 ± 136.14 a	38.98 ± 1.68 a	31.54 ± 0.52 a
厚皮香	ck	6.12 ± 0.23 d	2 022.56 ± 91.52 d	28.82 ± 2.01 d	16.96 ± 1.33 c
	T ₁	7.57 ± 0.65 c	2 099.77 ± 28.08 c	36.32 ± 0.44 c	22.23 ± 1.05 b
	T ₂	8.38 ± 0.14 b	2 624.32 ± 74.47 a	46.20 ± 0.99 a	24.99 ± 2.56 a
	T ₃	10.05 ± 0.36 a	2 427.84 ± 161.12 b	43.98 ± 1.91 b	24.66 ± 1.08 a
轮叶蒲桃	ck	13.34 ± 1.47 d	603.58 ± 83.55 d	22.98 ± 1.68 d	10.46 ± 0.55 d
	T ₁	16.30 ± 0.54 c	667.02 ± 36.57 c	24.32 ± 0.80 c	11.87 ± 0.18 c
	T ₂	18.94 ± 0.86 b	866.96 ± 11.72 a	36.51 ± 1.20 a	16.15 ± 0.23 a
	T ₃	21.05 ± 0.70 a	760.79 ± 23.00 b	32.18 ± 1.36 b	14.98 ± 0.68 b

说明：不同小写字母表示处理间存在显著差异(P<0.05)。

2.4 3 种植物抗旱性的综合评价

植物对于干旱胁迫的响应是一个由多因素控制的复杂性状，利用某一指标单独评价树种的抗旱能力有很大的局限性。利用模糊数学隶属函数法是目前被普遍应用于树种抗旱性评价的一种方法^[17-18]。利用上述 10 个生理指标的隶属函数法对 3 个乡土园林地被植物耐旱性进行综合评价，表明耐旱性强弱顺序为小叶蚊母>厚皮香>轮叶蒲桃(表 4)。其中，小叶蚊母在中度和重度干旱条件下的综合隶属函数值分别达到 0.53 和 0.52，耐旱性最强，轮叶蒲桃的综合隶属函数值为 0.46，耐旱性最差。

3 讨论与结论

干旱引起植物水分亏缺，诱导植物细胞膜脂过氧化发生从而使细胞膜受到伤害，细胞膜透性增加^[19]，同时引起光合色素质量分数以及叶绿素 a/叶绿素 b 的变化，进而引起光合功能的改变^[20-21]。本研究发

现：小叶蚊母、厚皮香和轮叶蒲桃随干旱胁迫程度的增加叶片相对含水量和叶绿素质量分数均显著降

表4 3种乡土园林地被植物抗旱性综合评价

Table 4 Comprehensive evaluation on the drought resistance of three native garden ground cover plants

处理	树种	叶片相对含水量(+)	细胞膜透性(-)	叶绿素(+)	脯氨酸(+)	可溶性糖(+)	可溶性蛋白质(+)	超氧化物歧化酶活性(+)	过氧化物酶活性(+)	过氧化氢酶活性(+)	丙二醛(-)	综合隶属函数值	抗旱性
T2	小叶蚊母	0.45	0.55	0.37	0.56	0.56	0.67	0.42	0.47	0.65	0.64	0.53	1
	厚皮香	0.55	0.51	0.40	0.56	0.50	0.64	0.44	0.51	0.55	0.42	0.51	2
	轮叶蒲桃	0.48	0.38	0.35	0.46	0.38	0.35	0.59	0.61	0.62	0.40	0.46	3
T3	小叶蚊母	0.58	0.51	0.50	0.46	0.52	0.65	0.44	0.46	0.48	0.56	0.52	1
	厚皮香	0.42	0.57	0.60	0.50	0.44	0.45	0.66	0.50	0.57	0.32	0.50	2
	轮叶蒲桃	0.40	0.45	0.38	0.44	0.53	0.54	0.58	0.27	0.49	0.52	0.46	3

说明：“+”表示该指标与抗旱性成正相关，“-”表示该指标与抗旱性成负相关。

低，与适宜水分条件相比，重度干旱胁迫下叶片相对含水量分别下降了23.77%，27.73%和30.84%，叶绿素质量分数分别下降了27.17%，31.80%和42.00%；而细胞膜透性和丙二醛摩尔质量浓度显著升高，与适宜水分条件相比，重度干旱胁迫下细胞膜透性分别提高了22.06%，42.78%和47.92%，丙二醛摩尔质量浓度分别提高了57.80%，42.88%和31.42%，表明3个树种在干旱胁迫下叶片细胞膜均受到不同程度的损伤，这与努塌滨藜 *Atriplex gardneri*^[22]，黄枝槐 *Sophora japonica* ‘Goldenstem’^[23]，柏木 *Cupressus funebris*^[24]等在干旱胁迫下的研究结果一致。

渗透调节是植物忍耐干旱的一种适应性反应，细胞通过积累渗透调节物质来维持膨压，以维持植物正常的生理过程^[25-26]。游离脯氨酸、可溶性糖和可溶性蛋白质是植物体内重要的渗透调节物质^[27]。在干旱胁迫条件下，渗透调节物质积累有利于提高植物的抗逆适应性^[28]。本研究发现：小叶蚊母、厚皮香和轮叶蒲桃3个树种渗透调节物质质量分数均随着干旱程度的增加而上升，且游离脯氨酸的增幅最大，可溶性糖次之，可溶性蛋白质最小；重度干旱胁迫条件下，小叶蚊母游离脯氨酸和可溶性糖质量分数的增幅分别达到3.09倍和1.65倍(与适应水分相比)。

逆境胁迫下，植物体内自由基的产生与清除的平衡被破坏，自由基的浓度上升，其诱发的脂质过氧化作用增强，导致脂质过氧化作用终产物丙二醛积累^[29]；超氧化物歧化酶、过氧化物酶、过氧化氢酶保护酶活性是主要的氧自由基清除剂，其活性越高，清除活性的能力越强，植物的抗逆性越强^[30]。本研究发现：随着干旱胁迫程度的加重，轮叶蒲桃和厚皮香叶片保护酶活性呈现先升后降的趋势，小叶蚊母呈现不断升高的变化趋势。在重度干旱胁迫下，小叶蚊母叶片超氧化物歧化酶、过氧化物酶、过氧化氢酶活性仍然增加，说明小叶蚊母叶片通过增加保护酶活性来抵御干旱对其所造成的伤害的能力最强。3个树种超氧化物歧化酶、过氧化物酶、过氧化氢酶的活性变化规律基本一致，说明3种保护酶活性在干旱胁迫下具有较高的协同作用。

抗旱性是一个受多种因素影响的复杂数量性状。应用隶属函数法分析了3种植物在干旱胁迫下主要生理响应因子，结果表明：干旱胁迫下3个树种的抗旱能力从高到低依次为小叶蚊母>厚皮香>轮叶蒲桃。

4 参考文献

- [1] 欧立军, 陈波, 邹学校. 干旱对辣椒光合作用及相关生理特性的影响[J]. 生态学报, 2012, **32**(8): 2612 – 2619.
OU Lijun, CHEN Bo, ZOU Xuexiao. Effects of drought stress on photosynthesis and associated physiological characters of pepper [J]. *Acta Ecol Sin*, 2012, **32**(8): 2612 – 2619.
- [2] DITMAROVÁ L, KURJAK D, PALMROTH S, *et al*. Physiological responses of norway spruce (*Picea abies*) seedlings to drought stress [J]. *Tree Physiol*, 2010, **30**(2): 205 – 213.
- [3] 安玉艳, 梁宗锁. 植物应对干旱胁迫的阶段性策略[J]. 应用生态学报, 2012, **23**(10): 2907 – 2915.
AN Yuyan, LIANG Zongsuo. Staged strategy of plants in response to drought stress [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2012, **23**(10): 2907 – 2915.
- [4] RYAN M G. Tree responses to drought [J]. *Tree Physiol*, 2011, **31**(3): 237 – 239.

- [5] 徐涛, 王跃华, 蒋连计. 厚皮香植物的种子特性与扦插繁殖的初步研究[J]. 云南大学学报: 自然科学版, 2004, **26**(5): 442 – 444.
XU Tao, WANG Yuehua, JIANG Lianji. Some characteristics about seed and cutting propagation of *Terstroemia gymnanthera* Beddome [J]. *J Yunnan Univ Nat Sci Ed*, 2004, **26**(5): 442 – 444.
- [6] 练发良, 雷珍, 柳新红. 轮叶蒲桃夏季移栽成活率试验[J]. 江苏农业科学, 2010(3): 223 – 224.
LIAN Faliang, LEI Zhen, LIU Xinhong. Transplanting survival rate of *Syzygium grijsii* in summer [J]. *Jiangsu Agric Sci*, 2010(3): 223 – 224.
- [7] 袁惠燕, 顾林平, 黄雷芳, 等. 厚皮香全光照弥雾扦插技术研究[J]. 北方园艺, 2010(21): 32 – 34.
YUAN Huiyan, GU Linping, HUANG Leifang, et al. Study on cutting propagation technique of *Ternstroemia gymnanthea* under full-illumination and mist [J]. *Northern Hortic*, 2010(21): 32 – 34.
- [8] 付素静, 刘胜梅, 莫大美, 等. 生长激素对蚊母树扦插繁殖效果的影响[J]. 南方农业学报, 2013, **44**(7): 1160 – 1164.
FU Sujing, LIU Shengmei, MO Damei, et al. Effects of growth hormone on cutting propagation of *Distylium racemosum* [J]. *J Southern Agric*, 2013, **44**(7): 1160 – 1164.
- [9] 孙晓萍, 陈丽庆. 日本厚皮香的扦插繁殖及光照强度对其幼苗生长的影响[J]. 浙江林业科技, 2011, **31**(4): 40 – 42.
SUN Xiaoping, CHEN Liqing. Seedling cultivation by cutting of *Ternstroemia japonica* and effect of light intensity on seedling growth [J]. *J Zhejiang For Sci Technol*, 2011, **31**(4): 40 – 42.
- [10] 王妍婷, 车文玉, 商侃侃, 等. 小叶蚊母及其不同品系的耐盐性研究[J]. 西北植物学报, 2014, **34**(8): 1588 – 1595.
WANG Yanting, CHE Wenyu, SHANG Kankan, et al. Tolerance and physiological response of *Distylium buxifolium* and its cultivars to salt stress [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 2014, **34**(8): 1588 – 1595.
- [11] 练发良, 向盛萍, 吴平荷, 等. 小叶蚊母的光合特性研究[J]. 浙江林业科技, 2010, **30**(4): 6 – 9.
LIAN Faliang, XIANG Shengping, WU Pinghe, et al. Photosynthetic characteristics of *Distylium buxifolium* [J]. *J Zhejiang For Sci Technol*, 2010, **30**(4): 6 – 9.
- [12] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [13] BATES L S, WALDREN R P, TEARE I D. Rapid determination of free proline for water-stress studies [J]. *Plant Soil*, 1973, **39**(1): 205 – 207.
- [14] YEMM E W, WILLIS A J. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone [J]. *Biochemistry*, 1954, **57**(3): 508 – 514.
- [15] BRADFORD M M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding [J]. *Anal Biochem*, 1976, **72**(s1/2): 248 – 254.
- [16] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [17] 杨俊, 马健, 王婷婷, 等. 5种荒漠植物抗旱性及其抗旱指标相关性的定量评价[J]. 干旱区资源与环境, 2009, **23**(6): 143 – 146.
YANG Jun, MA Jian, WANG Tingting, et al. The quantitative evaluation on drought-resistance and its relationship with drought resistance indexes of five desert plants [J]. *J Arid Land Resour Environ*, 2009, **23**(6): 143 – 146.
- [18] 陈闻, 赵颖, 叶正钱, 等. 干旱胁迫对5个海岛树种生长及生理特性的影响[J]. 浙江农林大学学报, 2013, **30**(4): 490 – 498.
CHEN Wen, ZHAO Ying, YE Zhengqian, et al. Growth and physiological characteristics of five island trees species with drought stress [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2013, **30**(4): 490 – 498.
- [19] 韩瑞宏, 卢欣石, 高桂娟, 等. 紫花苜蓿(*Medicago sativa*)对干旱胁迫的光合生理响应[J]. 生态学报, 2007, **27**(12): 5229 – 5237.
HAN Ruihong, LU Xinshi, GAO Guijuan, et al. Photosynthetic physiological response of alfalfa (*Medicago sativa*) to drought stress [J]. *Acta Ecol Sin*, 2007, **27**(12): 5229 – 5237.
- [20] 姜英淑, 陈书明, 王秋玉, 等. 干旱胁迫对2个欧李种源生理特征的影响[J]. 林业科学, 2009, **45**(6): 6 – 10.
JIANG Yingshu, CHEN Shuming, WANG Qiuyu, et al. Effects of the drought stress on physiological characteristics of two *Cerasus humilis* provenances [J]. *Sci Silv Sin*, 2009, **45**(6): 6 – 10.

- [21] MARSHALL J G, RUTLEDGE R G, BLUMWALD E, *et al.* Reduction in turgid water volume in jack pine, white spruce and black spruce in response to drought and paclobutrazol [J]. *Tree Physiol*, 2000, **20**(10): 701 – 707.
- [22] 王宇超, 王得祥, 彭少兵, 等. 干旱胁迫对木本滨藜生理特性的影响[J]. 林业科学, 2010, **46**(1): 61 – 67.
WANG Yuchao, WANG Dexiang, PENG Shaobing, *et al.* Effects of drought stress on physiological characteristics of woody saltbush [J]. *Sci Silv Sin*, 2010, **46**(1): 61 – 67.
- [23] 刘文瑛, 廖飞勇, 刘智慧. 不同水分胁迫对黄枝槐生理特性的影响研究[J]. 中国农学通报, 2012, **28**(13): 47 – 52.
LIU Wenying, LIAO Feiyong, LIU Zhihui. The effect of water stress on the physiology of *Sophora japonica* ‘Golden-stem’ [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2012, **28**(13): 47 – 52.
- [24] 刘锦春, 钟章成, 何跃军. 干旱胁迫及复水对喀斯特地区柏木幼苗活性氧清除系统的影响[J]. 应用生态学报, 2011, **22**(11): 2836 – 2840.
LIU Jinchun, ZHONG Zhangcheng, HE Yuejun. Effects of drought stress and re-watering on the active oxygen scavenging system of *Cupressus funebris* seedlings in Karst area [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2011, **22**(11): 2836 – 2840.
- [25] LIU Changcheng, LIU Yuguo, GUO Ke, *et al.* Effect of drought on pigments, osmotic adjustment and antioxidant enzymes in six woody plant species in Karst habitats of southwestern China [J]. *Environ Exp Bot*, 2011, **71**(2): 174 – 183.
- [26] 范苏鲁, 苑兆和, 冯立娟, 等. 干旱胁迫对大丽花生理生化指标的影响[J]. 应用生态学报, 2011, **22**(3): 651 – 657.
FAN Sulu, YUAN Zhaohe, FENG Lijuan, *et al.* Effects of drought stress on physiological and biochemical parameters of *Dahlia pinnata* [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2011, **22**(3): 651 – 657.
- [27] 安玉艳, 梁宗锁, 郝文芳. 杠柳幼苗对不同强度干旱胁迫的生长与生理响应[J]. 生态学报, 2011, **31**(3): 716 – 725.
AN Yuyan, LIANG Zongsuo, HAO Wenfang. Growth and physiological responses of the *Periploca sepium* Bunge seedlings to drought stress [J]. *Acta Ecol Sin*, 2011, **31**(3): 716 – 725.
- [28] 黄承玲, 陈训, 高贵龙. 3种高山杜鹃对持续干旱的生理响应及抗旱性评价[J]. 林业科学, 2011, **47**(6): 48 – 55.
HUANG Chengling, CHEN Xun, GAO Guilong. Physiological response of seedlings of three *Azalea* species of drought stress and evaluation of drought resistance [J]. *Sci Silv Sin*, 2011, **47**(6): 48 – 55.
- [29] 冯慧芳, 薛立, 任向荣, 等. 4种阔叶幼苗对PEG模拟干旱的生理响应[J]. 生态学报, 2011, **31**(2): 371 – 382.
FENG Huifang, XUE Li, REN Xiangrong, *et al.* Physiological responses of four broad leaved seedlings to drought stress simulated by PEG [J]. *Acta Ecol Sin*, 2011, **31**(2): 371 – 382.
- [30] 孔祥生, 张妙霞, 王学永, 等. 水分胁迫下2个牡丹品种生理生化差异比较[J]. 林业科学, 2011, **47**(9): 163 – 167.
KONG Xiangsheng, ZHANG Miaoxia, WANG Xueyong, *et al.* Comparative studies on the physiological and biochemical characteristics of two *Paeonia suffruticosa* varieties under water stress [J]. *Sci Silv Sin*, 2011, **47**(9): 163 – 167.