

土壤干旱胁迫对 4 种藁草植物生理生化特性的影响

朱小楼¹, 楼炉焕², 王 慧¹

(1. 浙江林学院 园林学院, 浙江 临安 311300; 2. 浙江林学院 林业与生物技术学院, 浙江 临安 311300)

摘要: 为发展节水型园林, 提供抗旱性强的植物种类, 试验以条穗藁草 *Carex nemostachys*, 仲氏藁草 *C. chungii*, 栗褐藁草 *C. brunnea* 和三穗藁草 *C. tristachya* 为试材, 采用盆栽干旱处理, 研究在干旱胁迫下 4 种藁草的形态和生理生化的变化。结果表明: 随着干旱胁迫加重, 4 种藁草的叶片逐渐卷曲、变黄, 相对电导率不断上升。干旱胁迫 30 d 后, 栗褐藁草和仲氏藁草的相对电导率为 50%, 而条穗藁草达到了 90%。在干旱胁迫期间, 4 种藁草的可溶性糖、游离脯氨酸质量分数和保护酶活性的变化存在着显著差异 ($P < 0.05$), 条穗藁草和三穗藁草呈先升后降趋势, 而栗褐藁草和仲氏藁草呈不断上升的趋势。与对照相比, 栗褐藁草和仲氏藁草的可溶性糖分别增加了 435% 和 491%, POD 活性升高了 93% 和 102%, SOD 活性升高了 82% 和 79%。通过隶属函数法对 4 种藁草的抗旱性进行综合分析, 得出其抗旱性强弱为: 栗褐藁草 > 仲氏藁草 > 三穗藁草 > 条穗藁草。图 5 表 4 参 18

关键词: 植物学; 干旱胁迫; 生理生化指标; 条穗藁草; 仲氏藁草; 栗褐藁草; 三穗藁草

中图分类号: Q945 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5692(2009)05-0656-07

Physiological and biochemical characteristics of four species of *Carex* with drought stress

ZHU Xiao-lou¹, LOU Lu-huan², WANG Hui¹

(1. School of Landscape Architecture, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: To choose drought-resistant plant species for the water-saving gardens plan, four *Carex* species including *Carex nemostachys*, *C. chungii*, *C. brunnea*, and *C. tristachya* were as subjects. Changes in morphological index, relative conductivity, soluble sugar, proline, protective enzyme activities of four *Carex* species were studied under the different content of soil water by artificial controlling in pot, measured every 5 days during the period of 30 days. Results showed that leaves of the four *Carex* species became curly and yellow with relative conductivity as drought stress increased. After thirty days of drought, the relative conductivity of *C. brunnea* and *C. chungii* was 50%, however the one of *C. nemostachys* was 90%. During drought stress, there were scientific differences in soluble sugars, proline, protective enzyme activities by variance analysis ($P < 0.05$). Soluble sugar, proline, and protective enzyme activities for *C. nemostachys* and *C. tristachya* increased firstly and then declined, whereas those of *C. brunnea* and *C. chungii* increased continuously. Compared with the antitheses, soluble sugar of *C. brunnea* increased by 435% and *C. chungii* increased by 491%, peroxidase activities of *C. brunnea* increased by 93% and *C. chungii* increased by 102%, and superoxide dismutase of *C. brunnea* increased by 82% and *C. chungii* increased by 79%. Through subordinate function analysis according to the data acquired and combining observation, the drought-tolerance ability of four *Carex* species was concluded: *C. brunnea* > *C. chungii* > *C. tristachya* >

收稿日期: 2008-11-06; 修回日期: 2008-12-26

基金项目: 浙江省科学技术攻关项目(2004C32009)

作者简介: 朱小楼, 从事园林植物开发与应用研究。E-mail: zxl_260@126.com。通信作者: 楼炉焕, 教授, 从事种子植物分类和观赏植物开发利用研究。E-mail: louluhuan@zjfc.edu.cn

C. nemostachys. [Ch, 5 fig. 4 tab. 18 ref.]

Key words: botany; drought stress; physiological and biochemical indexes; *Carex nemostachys*; *Carex chungii*; *Carex brunnea*; *Carex tristachya*

发展节水型园林的主要措施之一便是大量应用耐旱植物, 尤其是具有较强抗逆性的乡土植物。中国有着丰富的野生观赏地被草本植物资源, 但目前园林上应用的观赏草主要从国外引进, 国内只有上海、杭州、宁波等少数几个城市的公司(如上海房艺)和个别科研机构如(北京农林科学院草业中心)开始培育观赏草, 但种类和品种有限^[1]。藁草属 *Carex* 植物具有宽生态幅, 分布广, 数量多等特点。许多为返青早, 色泽好, 生长持续时间长, 适应性强, 美化环境效果好的优良草坪地被植物, 具有很大的开发价值和前景^[2-3]。笔者选择 4 种常绿藁草即条穗藁草 *Carex nemostachys*, 仲氏藁草 *C. chungii*, 栗褐藁草 *C. brunnea* 和三穗藁草 *C. tristachya* 为研究对象, 对它们进行抗旱性试验, 为藁草属植物在园林绿化美化中的选择与利用, 提供参考依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

试验于 2008 年 8 月在浙江林学院园林温室内进行。以采自浙江临安的野生条穗藁草(丛生, 株高 50 cm, 叶宽 4.0 ~ 6.0 mm), 仲氏藁草(丛生, 株高 35 cm, 叶宽 2.0 ~ 3.0 mm), 栗褐藁草(丛生, 株高 40 cm, 叶宽 2.0 ~ 3.0 mm)和三穗藁草(丛生, 株高 38 cm, 叶宽 2.5 ~ 3.5 mm)为试验材料, 因条穗藁草植株较大, 8 株·盆⁻¹, 其他的 1 丛·盆⁻¹, 18 ~ 20 株·盆⁻¹, 盆栽于高为 30 cm, 口径为 25 cm 的塑料盆中; 盆土为黄壤(校园土): 珍珠岩: 泥炭 = 5 : 1 : 1, 保持每盆土量基本一致。

1.2 试验设计

采用单因素试验设计, 采取盆栽自然干旱法。2008 年 5 月从苗圃中将植株整齐、生长健壮、高度及丰满程度一致的优良植株带土球移入盆中放入浙江林学院园林温室大棚内, 进行统一管理, 选生长一致的植株做为试验对象, 4 个种各 6 个重复, 试验前统一浇透水, 开始干旱胁迫, 每隔 5 d 测其生理生化指标, 以正常浇水的为对照。

1.3 测定方法

形态指标测定: 根据植株的生长表现(生长旺盛或受抑)、叶状况(色泽变化、枯叶量、萎蔫与否和发新叶状况), 进行综合分级评定^[4], 共分为 6 级。I 级: 生长旺盛, 叶枯死量 < 10%; II 级: 生长一般, 叶色基本正常; III 级: 失水卷曲或发黄, 下垂, 叶枯死量占 20% ~ 40%; IV 级: 生长受到严重抑制, 叶失水卷曲发干或发黄枯萎, 色泽不正常, 灰绿色, 叶枯死量占 40% ~ 60%; V 级: 植物停止生长, 叶失水, 发干, 枯死率 > 60%; VI 级: 半致死状。

土壤相对含水量(RWC)用土壤水分速测仪 TDR200 测定; 保水力采用在室内自然干燥法, 温度 28 ~ 32 ℃, 湿度在 50% ~ 55%, 每隔 2 h 用电子天平称量, 至基本恒定后将叶片烘干, 计算不同离体时间叶片累积失水量占总含水量的百分比^[5]; 相对电导率采用电导仪法测定^[6]; 超氧化物歧化酶(SOD)活性采用硝基四唑氮蓝(NBT)还原法^[6], 过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚比色法^[5-6]; 可溶性糖采用苯酚法^[6]; 游离脯氨酸(Pro)采用酸性茚三酮比色法^[7]。实验数据用 Excel 2003 和 DPS V8.5 软件分析, 采用隶属函数法^[8]综合评价 4 种常绿藁草的抗旱能力。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫下土壤相对含水量的变化动态

从图 1 可知, 随着水分胁迫的加强, 土壤水分含量逐渐降低, 前 10 d 下降较快, 后期变化较平缓。同时, 可以看出, 4 种藁草植物的土壤相对含水量及下降趋势基本一致。经方差分析, 在同一干旱胁迫时间内, 在 0.05 水平下, 差异不显著, 这说明 4 种藁草所受胁迫强度基本一致, 各个种的生长及生理生化指标变化与自身相关, 保证了干旱条件下种间差异分析的可靠性。

2.2 干旱条件下叶片保水力和植物形态的变化

2.2.1 叶片保水力 保水力的高低与植物遗传特性有关,与细胞特性,特别是原生质胶体特性有关。它反映了植物组织的抗脱水能力^[5]。单位时间内失水量越多,则保水力越差;反之,则越强,可依据其大小判断植物的抗旱性^[9]。

从表1可知,4种藁草的叶片保水力在初期失水率较快,后期渐趋于平缓。在2 h内仲氏藁草和三穗藁草水分散失的最多,超过50%;条穗藁草散失水分最少,约为20%。同时,还可从表中得知,三穗藁草水分散失最快,在6 h内水分基本已散失完,叶子已基本变干。最慢的是条穗藁草需14 h,栗褐藁草需10 h,仲氏藁草需8 h。根据这4种藁草的保水力,可得其抗旱强弱:条穗藁草>栗褐藁草>仲氏藁草>三穗藁草。

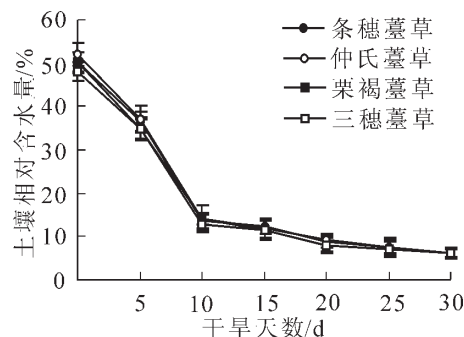


图1 土壤相对含水量在干旱胁迫下的变化趋势
Figure 1 Changes of water content of RWC in soil under drought stress

表1 4种藁草叶片在24 h内的保水力变化

Table 1 Changes of content of holding water in twenty-four hours on four *Carex* species leaves

处理时间/h	不同藁草的失水量/%			
	条穗藁草	仲氏藁草	栗褐藁草	三穗藁草
2	20.05 ± 5.65 fF	60.55 ± 0.31 dD	36.99 ± 0.21 fG	56.31 ± 4.03 cC
4	35.56 ± 7.75 eEF	78.48 ± 0.72 cC	63.16 ± 1.16 eF	78.79 ± 2.27 bB
6	48.67 ± 8.72 deDE	84.24 ± 3.53 bB	77.25 ± 0.53 dE	88.87 ± 1.26 aA
8	59.93 ± 8.66 cdCD	90.32 ± 1.11 aA	84.58 ± 0.07 cD	92.85 ± 0.35 aA
10	67.63 ± 8.03 bcBCD	91.92 ± 1.16 aA	88.10 ± 0.04 bC	94.19 ± 0.19 aA
12	72.91 ± 7.21 bcABC	91.98 ± 1.00 aA	88.45 ± 0.30 bBC	93.55 ± 0.13 aA
14	77.59 ± 6.56 abABC	91.57 ± 0.18 aA	88.86 ± 0.59 bABC	93.45 ± 0.14 aA
20	90.25 ± 4.79 aAB	93.13 ± 0.01 aA	90.58 ± 0.91 aAB	89.32 ± 4.64 aA
24	93.37 ± 3.20 aA	93.31 ± 0.76 aA	90.98 ± 0.91 aA	91.84 ± 2.23 aA

说明:采用多重比较法,小写英文字母表示不同处理阶段同一种植物在0.05水平上的显著差异,大写英文字母表示在0.01水平上的显著差异,字母不同表示存在差异。

2.2.2 干旱胁迫下4种藁草的形态特征的变化 在干旱胁迫下,条穗藁草在15 d后,叶子开始发黄枯萎,30 d后,条穗藁草叶子已经基本枯萎,处于半致死状态(表2)。这一过程中不像其他藁草一样,在胁迫下叶子发生卷曲来减少水分的散失,从条穗藁草在干旱胁迫下的表现特征和结果,可知它的抗旱性没有其他3种藁草强。仲氏藁草和栗褐藁草叶子开始下垂、卷曲、枯萎的时间差不多,不同

表2 干旱胁迫下4种藁草的生长状况

Table 2 Growth condition of four *Carex* species under drought stress

植物种类	不同干旱时间藁草的生长状况						
	0	5	10	15	20	25	30 d
条穗藁草	I	I	II	III	III	V	VI
仲氏藁草	I	I	II	II	III	III	IV
栗褐藁草	I	I	II	II	III	III	IV
三穗藁草	I	I	II	III	III	IV	V

的是栗褐藁草叶子的卷曲幅度比仲氏藁草的大。从表 2 的观测结果看，三穗藁草的耐旱性比条穗藁草强，比仲氏藁草、栗褐藁草弱。

2.3 干旱胁迫对 4 种藁草细胞膜透性的影响

在干旱胁迫下，植物细胞常因细胞膜受到伤害而引起细胞膜透性增大，细胞内含物不同程度外渗，使外渗电导率值增大。在持续干旱条件下，电导率增幅越小，细胞膜受伤害程度越轻，其抗旱性越强，反之，抗旱性越弱^[10-12]。

从图 2 中，4 种藁草的电导率随干旱时间的延长，而不断增大，初期增幅较小，后期变大，其中条穗藁草增幅最大。经过 30 d 干旱胁迫后，与对照的相比，条穗藁草的电导率增加了 2.48 倍，栗褐藁草 1.27 倍，仲氏藁草 1.82 倍，三穗藁草 1.95 倍。经方差分析，在 0.05 水平下存在显著差异。根据 4 种藁草电导率的增幅大小，其抗旱性强弱排列为：栗褐藁草 > 仲氏藁草 > 三穗藁草 > 条穗藁草。

2.4 干旱胁迫对 4 种藁草渗透调节物质的影响

2.4.1 干旱胁迫下可溶性糖的变化 可溶性糖是植物体内一种重要的渗透调节物质，在干旱胁迫下，能增加细胞液浓度，提高对水分的吸收能力及保水能力，从而有利于适应干旱缺水的环境。所以植物在干旱胁迫时可溶性糖质量分数的变化在一定程度上能反映其对干旱环境的适应能力^[8,13]。

由表 3 可知，在干旱胁迫下，4 种藁草可溶性糖质量分数呈上升趋势，初期增幅相对较小，后期增幅较大，其中条穗藁草、三穗藁草在后期可溶性糖呈下降的趋势，并且条穗藁草下降幅度较大，说明其抗旱能力较弱。仲氏藁草和栗褐藁草可溶性糖的质量分数，与其对照相比分别增加了 4.91 倍和 4.35 倍。根据可溶性糖质量分数高峰出现的早晚和所增加幅度的大小，4 种藁草抗旱性强弱可排为：仲氏藁草 > 栗褐藁草 > 三穗藁草 > 条穗藁草。

表 3 干旱胁迫下 4 种藁草可溶性糖的变化

Table 3 Changes of soluble carbohydrate content under drought stress

干旱天数/d	可溶性糖的变化/(mg·g ⁻¹)			
	条穗藁草	仲氏藁草	栗褐藁草	三穗藁草
ck	8.01 ± 1.01 dD	9.44 ± 1.07 gF	10.66 ± 0.21 gG	10.55 ± 1.01 fF
5	13.43 ± 1.09 cC	11.81 ± 1.00 fF	15.05 ± 1.39 fF	14.84 ± 0.82 eE
10	17.01 ± 0.42 bB	17.34 ± 0.55 eE	24.45 ± 0.64 eE	24.22 ± 1.91 dD
15	26.68 ± 1.14 aA	26.13 ± 0.46 dD	32.86 ± 1.56 dD	35.53 ± 0.74 cC
20	24.89 ± 1.18 aA	37.63 ± 2.27 cC	36.10 ± 0.49 cC	40.27 ± 1.28 bB
25	25.27 ± 1.91 aA	52.48 ± 0.39 bB	47.23 ± 0.74 bB	48.77 ± 1.81 aA
30	12.23 ± 1.89 cC	55.78 ± 0.93 aA	56.99 ± 1.21 aA	47.42 ± 0.58 aA

说明：采用 Duncan 多重比较法，小写英文字母表示不同处理阶段同一种植物在 0.05 水平上的显著差异，大写英文字母表示在 0.01 水平上的显著差异，字母不同表示存在差异。

2.4.2 干旱胁迫下游离脯氨酸的变化 游离脯氨酸在植物体内作为渗透物质，起渗透调节作用；当植物受到干旱胁迫时，体内的游离脯氨酸会大量增加。游离脯氨酸具有较强的水合能力，可结合较多的水，而减少水分的散失；也可能作为受早期间植物生成氨的解毒剂^[13-14]。由此可见，游离脯氨酸质量分数高，持续时间长的种类，抗旱性强。

由图 3 可知，在胁迫初期 4 种藁草的游离脯氨酸质量分数低，并且变化幅度不大，到胁迫后期各

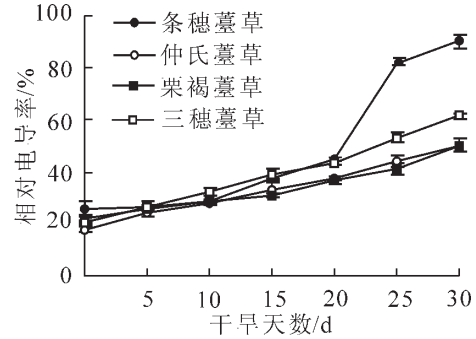


图 2 干旱胁迫下相对电导率的变化趋势

Figure 2 Changes of relative conductivity under drought stress

个种的游离脯氨酸质量分数迅速提高,且增幅较大,来抵御外界的胁迫。但不同种的增幅大小和变化趋势具很大的差异。条穗藁草在胁迫的第25天游离脯氨酸达到高峰,到第30天游离脯氨酸迅速下降。三穗藁草和仲氏藁草的游离脯氨酸在胁迫的第20天开始大幅度上升,三穗藁草的游离脯氨酸质量分数在胁迫第30天达到高峰,而仲氏藁草在干旱胁迫的35d内没有出现下降,但其叶枯量已经达到50%。栗褐藁草游离脯氨酸出现大幅度增加的时间最迟,在胁迫的第30天,增幅没有仲氏藁草的大,生长状况比仲氏藁草好,可推断其出现的峰值比仲氏藁草迟。根据游离脯氨酸质量分数峰值出现的早晚,可知4种藁草出抗旱性强弱为:栗褐藁草>仲氏藁草>三穗藁草>条穗藁草。

2.5 干旱胁迫对4种藁草组织中保护酶活性的影响

2.5.1 干旱胁迫下超氧化物歧化酶(SOD)的活性变化

SOD和POD作为防御活氧自由基对细胞膜系统伤害的酶,在评价植物受胁迫下抗性的强弱具有重大意义。许多研究表明:在干旱胁迫下,抗旱性强的种类SOD和POD的活性高,与植物抗性的强弱呈正相关^[14-18]。

在图4中可以看出,4种藁草的SOD活性,随干旱胁迫的加剧,不断上升,条穗藁草和三穗藁草在干旱胁迫的第20天出现了峰值,而条穗藁草维持的时间很短,在胁迫的第25天开始大幅度下降,在第30天SOD的活性明显低于刚开始的对照。三穗藁草在干旱胁迫20d后,SOD活性开始缓慢下降,但不明显。栗褐藁草和仲氏藁草在胁迫期间一直处于上升阶段,根据SOD活性高低,栗褐藁草的抗旱性强于仲氏藁草。根据SOD活性高低4种藁草抗旱性趋势为:栗褐藁草>仲氏藁草>三穗藁草>条穗藁草。

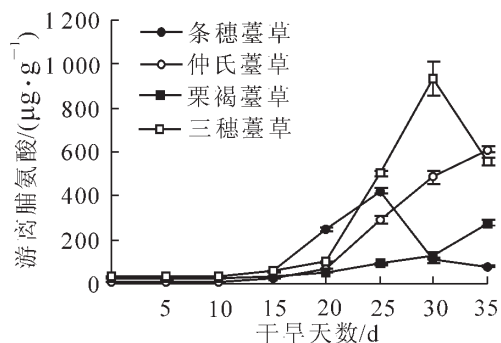


图3 干旱胁迫下游离脯氨酸的变化趋势

Figure 3 Changes of Pro content under drought stress

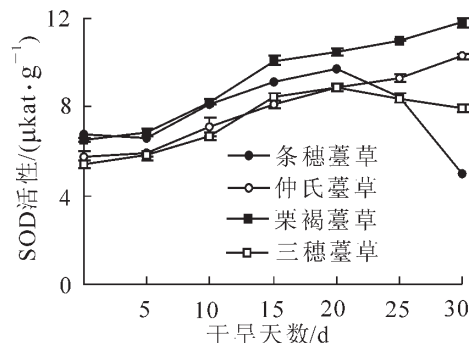


图4 4种藁草在干旱胁迫下SOD的活性变化

Figure 4 Changes of SOD activity on four species of *Carex* under drought stress

2.5.2 干旱胁迫下过氧化物酶(POD)的活性变化

由图5可知,4种藁草的POD的活性,在干旱条件下,在初期有小幅度的上升,在中后期先升后降。条穗藁草在干旱胁迫的第15天开始迅速上升,第20天POD活性达到最高,而后开始大幅度下降,POD活性维持时间较短。三穗藁草POD的活性变化比较平缓,在干旱胁迫的第20天有个小幅度的高峰,而后开始缓慢下降,其POD总体活性低于栗褐藁草、仲氏藁草和条穗藁草。栗褐藁草POD的活性在胁迫期间内变化的幅度也不是很大,一直保持缓慢上升的趋势。仲氏藁草POD活性的上升幅度比三穗藁草和栗褐藁草大,在胁迫的第30天出现小幅度下降。4种藁草干旱胁迫30d后,其POD活性分别增加了条穗藁草0.4倍,仲氏藁草1.02倍,栗褐藁草0.93倍,三穗藁草0.17倍。根据POD活性的高低,表明4种藁草的抗旱性强弱为:仲氏藁草>栗褐藁草>条穗藁草>三穗藁草。

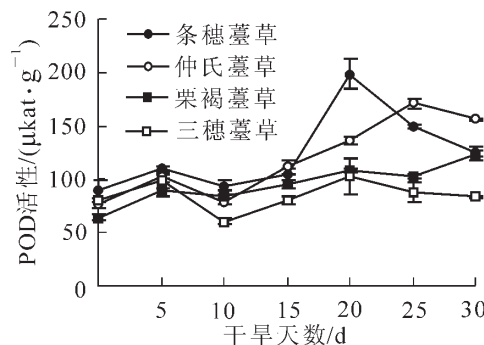


图5 干旱胁迫下过氧化物酶的活性变化

Figure 5 Changes of POD activity under drought stress

2.6 抗旱性指标综合评价

植物的抗旱性受多种因素影响,不同植物的抗旱

机理也各不相同，所以单个生理指标不能完全反映植物的抗旱特性，应对多个指标综合分析，来研究植物的抗旱能力。通过隶属函数法综合分析可知，4 种藁草植物的抗旱性强弱为：栗褐藁草 > 仲氏藁草 > 三穗藁草 > 条穗藁草(表 4)。

表 4 4 种藁草的抗旱能力综合评价

Table 4 Comprehensive appraisal of drought-resistance ability of four *Carex* species

植物种类	生理指标								抗旱能力排序
	形态指标	保水力	相对电导率	可溶性糖	游离脯氨酸	SOD 活性	POD 活性	隶属平均值	
条穗藁草	0	1.00	0	0	0	0	0.27	0.18	4
仲氏藁草	1.00	0.25	0.55	1.00	0.67	0.78	1.00	0.75	2
栗褐藁草	1.00	0.50	1.00	0.87	1.00	1.00	0.89	0.89	1
三穗藁草	0.50	0	0.44	0.68	0.33	0.43	0	0.34	3

说明：形态指标根据划分等级打分，第几个等级就几分，再根据隶属函数计算隶属值。

3 讨论

根据形态指标、细胞膜透性、游离脯氨酸、SOD 的活性，在 4 种藁草中，栗褐藁草抗旱性最强，条穗藁草抗旱性最弱，与野外生长的生境相符，条穗藁草主要生长在河沟、湿地中，其他 3 种主要生长在林下。从可溶性糖、POD 的活性来看，抗旱性最强的是仲氏藁草，与栗褐藁草的差异不是很大，其抗旱性可进一步试验比较。从保水力来看，条穗藁草抗旱性最强，与抗旱能力综合评价得出的结果恰好相反，与其植物生长实际环境也不相符，而其他 3 种藁草保水力所体现的抗性强弱与前面的指标基本相符，这可能与条穗藁草叶片的组织结构相关，有待于进一步研究、考证。从中可知以离体叶片的保水力来评价条穗藁草的抗旱性似乎不是一个很可靠的指标。

从 4 种藁草的抗旱能力综合评价可知，其抗旱性强弱可排列为栗褐藁草 > 仲氏藁草 > 三穗藁草 > 条穗藁草，但在野外调查发现，栗褐藁草、仲氏藁草、三穗藁草虽然都生长在林下，但三穗藁草生长在郁闭度不是很高的林下，一般为 40% ~ 50%，而栗褐藁草分布在郁闭度为 60% ~ 80% 的林下，表现出较强的耐荫性，仲氏藁草介于两者之间，说明它们的生长状况不仅与水分状况相关，并且与光照、温度也有密切的关系，其在园林绿化、美化上的应用还待于进一步研究和实践。

在园林应用上，条穗藁草虽是湿生植物，抗旱性相对较弱，但能耐一定时期的干旱缺水的环境。它可用于要忍受每年 1 次淹水和干旱循环的沼泽、水库边和河道旁等的绿化美化。栗褐藁草和仲氏藁草的抗旱性和观赏性都比三穗藁草强，可作为草坪地被用于林下地被，雨水淋不到的地方如建筑物、桥梁下的空地等。

致谢：试验得到了浙江林学院吴家森、郑钢、张庆宝等的支持与帮助，谨致谢忱。

参考文献：

- [1] 张智. 观赏草耐旱性研究与景观配置应用[D]. 杭州：浙江大学，2007：22 - 23.
ZHANG Zhi. *Research on Drought-tolerance of Ornamental Grasses and Its Application in Landscape* [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2007: 22 - 23.
- [2] 吉文丽, 朱清科, 李卫忠, 等. 藁草植物分类、利用及物质循环研究进展[J]. 草业科学, 2006, 23 (2): 15 - 21.
JI Wenli, ZHU Qingke, LI Weizhong, et al. Review of studies on the classification, application and material cycle of plants in genus *Carex* [J]. *Pratacultural Sci*, 2006, 23 (2): 15 - 21.
- [3] 薛红, 沙伟, 倪洪伟. 藁草属植物研究概况[J]. 齐齐哈尔大学学报, 2005, 21 (4): 81 - 86.
XUE Hong, SHA Wei, NI Hongwei. General situation of studies on *Carex* L.[J]. *J Qiqihar Univ*, 2005, 21 (4): 81 - 86.
- [4] 武涛. 园林地被植物抗旱性及应用研究[D]. 南京：南京林业大学，2002：23 - 25.
WU Tao. *Study on the Ability of Tolerance to Drought and the Application of Ornamental Groud Cover Plant* [D]. Nan-

- jing: Nanjing Forestry University, 2002: 23 - 25.
- [5] 高俊凤. 植物生理学试验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 16 - 218.
- [6] 郑炳松. 现代植物生理生化研究技术[M]. 北京: 气象出版社, 2006.
- [7] 郝再彬, 苍晶, 徐仲. 植物生理实验[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2004: 67 - 106.
- [8] 陈娟. 6种野生灌木的抗旱性研究及园林应用[D]. 雅安: 四川农业大学, 2005: 17 - 29.
CHEN Juan. *Study on the Drought Resistance and Gardening Application of Six Wild Bushes* [D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2005: 17 - 29.
- [9] 张建国, 李吉跃. 北方主要造林树种耐旱机理及其分类模型的研究——叶保水力及维持膨压 [J]. 河北林学院学报, 1995, 10 (3): 187 - 193.
ZHANG Jianguo, LI Jiyue. Studies on classification models and mechanisms of drought tolerance of major afforestation species in north China—water-holding ability and maintenance of turgor [J]. *J Hebei For Coll*, 1995, 10 (3): 187 - 193.
- [10] 沈艳. 几个苜蓿品种抗旱性研究及评价[D]. 银川: 宁夏大学, 2004: 15.
SHEN Yan. *The Characteristics of Drought Resistance of Some Alfalfa Varieties* [D]. Yinchuan: Ningxia University, 2004: 15.
- [11] 孙振雷, 刘海学, 刘鹏, 等. 不同绿豆品种苗期抗旱性的比较研究[J]. 内蒙古民族大学学报, 2002, 17 (1): 34 - 37.
SUN Zhenlei, LIU Haixue, LIU Peng, *et al.* Comparison on anti-dry in seedling stage of different mung bean breeds [J]. *J Inner Mongolia Univ Nat*, 2002, 17 (1): 34 - 37.
- [12] 王启明, 徐心诚, 吴诗光. 干旱胁迫对不同大豆品种苗期叶片渗透调节物质含量和细胞膜透性的影响[J]. 种子, 2005, 24 (8): 9 - 12.
WANG Qiming, XU Xincheng, WU Shiguang. The effect of drought stress on the content of osmotic adjusting substance in leaves and cell membrane permeability of different soybean varieties in seedling period [J]. *Seed*, 2005, 24 (8): 9 - 12.
- [13] 蒲光兰, 袁大刚, 胡学华, 等. 土壤干旱胁迫对3个杏树品种生理生化特性的影响[J]. 浙江林学院学报, 2005, 22 (4): 375 - 379.
PU Guanglan, YUAN Dagang, HU Xuehua, *et al.* Effect of soil drought stress on physiological and biochemical characteristics in three *Armeniaca vulgaris* cultivars [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2005, 22 (4): 375 - 379.
- [14] 范杰英. 9个树种抗旱性的分析与评价[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2005: 22 - 23.
FAN Jieying. *The Analysis and Appraising on the Drought Resistance of Nine Tree Species* [D]. Yangling: Northwest A & F University, 2005: 22 - 23.
- [15] 张涌兵. 4种含笑抗旱性研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2006: 12 - 13.
ZHANG Yongbing. *Study on the Drought Resistance of Four Species of Michelia* [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2006: 12 - 13.
- [16] 徐兴友, 王子华, 张凤娟, 等. 干旱胁迫对6种野生耐旱花卉幼苗根系保护酶活性及脂质过氧化作用的影响[J]. 林业科学, 2008, 44 (2): 41 - 47.
XU Xingyou, WANG Zihua, ZHANG Fengjuan, *et al.* Effect of drought stress on activities of cell defense enzymes and membrane lipid peroxidation of the roots of six wild flowers in the eastern section of Yanshan Mountain [J]. *Sci Silv Sin*, 2008, 44 (2): 41 - 47.
- [17] 赵艳. 2种暖季型草坪草抗旱性研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2006: 21 - 22.
ZHAO Yan. *Studies on Drought Resistance of Two Warm-season Turfgrasses* [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2006: 21 - 22.
- [18] 陈柯, 王小德. 常春油麻藤等3种藤本植物抗旱性生理指标研究[J]. 浙江林学院学报, 2008, 25 (3): 314 - 318.
CHEN Ke, WANG Xiaode. Physiological indices of three liana species with drought resistance [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2008, 25 (3): 314 - 318.