

# 干旱胁迫对 4 种观赏草枯叶率及生理指标的影响

李秀玲<sup>1,2</sup>, 刘开强<sup>1</sup>, 杨志民<sup>2</sup>, 李立志<sup>1</sup>, 卜朝阳<sup>1</sup>, 邓俭英<sup>1</sup>, 刘 君<sup>2\*</sup>

(1. 广西壮族自治区农业科学院, 广西南宁 530007; 2. 南京农业大学园艺学院, 江苏南京 210095)

**摘要:**为了解观赏草的抗旱机制,在盆栽控水条件下,对红叶白茅(*Imperata cylindrical* ‘Red Baron’)、花叶芒(*Miscanthus sinensis* ‘Variegatus’)、斑叶芒(*Miscanthus sinensis* ‘Zebrinus’)和花叶藜草(*Phalaris arundinacea* var. *picta*)4 种观赏草进行了外观形态及生理生化响应研究。结果表明:随着干旱胁迫的加剧,4 个草种的土壤含水量、叶片相对含水量(RWC)均呈下降趋势,枯叶率、叶片细胞质膜透性(REC)、丙二醛(MDA)含量、脯氨酸(Pro)含量均呈上升趋势;超氧化物歧化酶(SOD)活性和可溶性蛋白含量均呈先上升后下降的变化趋势。抗旱性强的草种 RWC 下降最慢,枯叶率、REC,以及 MDA 和 Pro 含量上升幅度低于抗旱性弱的草种。综合评价 4 种观赏草的抗旱性顺序为斑叶芒>花叶芒>红叶白茅>花叶藜草。

**关键词:**观赏草;抗旱性;枯叶率;生理指标

中图分类号:Q945.78

文献标识码:A

文章编号:1007-0435(2012)01-0076-07

## Effect of Drought Stress on Withered Leaf Rate and Physiological Indices of Four Ornamental Grasses

LI Xiu-ling<sup>1,2</sup>, LIU Kai-qiang<sup>1</sup>, YANG Zhi-min<sup>2</sup>, LI Li-zhi<sup>1</sup>, BU Zhao-yang<sup>1</sup>, DENG Jian-ying<sup>1</sup>, LIU Jun<sup>2\*</sup>

(1. Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning, Guangxi Province 530007, China;

2. Horticulture College of Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu Province 210095, China)

**Abstract:** Drought and water shortage have become significant factors restricting quick development of garden landscape in China. The response of the morphological and physiological parameters of four ornamental grass species [Japanese blood grass (*Imperata cylindrical* ‘Red Baron’), Variegated miscanthus (*Miscanthus sinensis* ‘Variegatus’), Zebra grass (*Miscanthus sinensis* ‘Zebrinus’) and Gardener’s garters (*Phalaris arundinacea* var. *picta*)] to drought stress was investigated by measuring soil water content, withered leaf rate, leaf relative water content (RWC), leaf relative electrolytic leakage (REC), malondialdehyde (MDA) content, superoxide dismutase (SOD) activity, proline (Pro) and soluble protein content for 21 days. Results showed that soil water content and leaf relative water content of four grass species decreased continuously; withered leaf rate, leaf relative electrolytic leakage, MDA and Pro content of four species increased continuously with prolonged drought stress; SOD activity and soluble protein content increased at initial drought stress then decreased. According to all morphological and physiological parameters evaluation, the drought tolerance of four species was ranked in order: Zebra grass > Variegated miscanthus > Japanese blood grass > Gardener’s garters.

**Key words:** Ornamental grasses; Drought tolerance; Withered leaf rate; Physiological indices

随着城市化力度的加快,园林景观已成为衡量一个城市经济、文化发展程度的重要标志<sup>[1]</sup>。但是,水资源短缺早已成为一个世界性的问题,并伴随着全球气候的变暖而显得日益严重<sup>[2]</sup>,且已成为严重抑制城市园林景观发展的瓶颈。现代城市园林景观如何在水资源短缺的残酷现实下可持续发展,抗旱

性强的园林植物已成为园林景观从业者的首选。

大多数观赏草具有观赏价值高、抗逆性强、低养护管理的特性。近几年,国内外逐渐引进可持续旱景园林的理念,促进了耐旱多年生观赏草的推广应用<sup>[3~6]</sup>,大大节省了水资源。国外对观赏草的研究主要集中在观赏草园林景观应用<sup>[7]</sup>、生物学发育特

收稿日期:2011-07-20;修回日期:2011-09-08

基金项目:国家科技支撑计划(2006BAD01A19-4-5);江苏省自然科学基金(BK2009480)资助

作者简介:李秀玲(1987-),女,山东东阿人,硕士,主要从事观赏植物种质资源评价及生理生态研究,E-mail: congzzxiao@163.com; \* 通信

作者 Author for correspondence, E-mail: liujun7715778@sina.com

征<sup>[8,9]</sup>、区域新种类开发应用<sup>[10]</sup>、抗虫性<sup>[11,12]</sup>等方面,未见对观赏草抗旱性的定量研究。国内先后有刘建秀<sup>[6]</sup>、武菊英<sup>[1]</sup>、张智<sup>[13,14]</sup>、孔兰静<sup>[15,16]</sup>、李秀玲<sup>[17,18]</sup>等对耐旱性观赏草的观赏价值、园林应用、生理机制等进行了研究。在观赏草抗旱性方面主要有张智等<sup>[13,14]</sup>分别于夏季和秋季研究了灯心草(*Juncus effusus*)和斑叶芒(*Miscanthus sinensis* ‘Zebrinus’)、狼尾草(*Pennisetum alopecuroides*)和斑叶芒以及矮蒲苇(*Cortaderia selloana* ‘Pumila’)的抗旱性,夏季试验得到灯心草的抗旱性高于斑叶芒,秋季抗旱性试验得到 3 种观赏草的耐旱能力强弱次序为:狼尾草>斑叶芒>矮蒲苇;孔兰静等<sup>[15,16]</sup>研究了弯叶画眉草(*Eragrostis curvula*)、蒲苇(*Cortaderia selloana*)、狼尾草 3 种观赏草的抗旱性及干旱胁迫对叶片渗透调节的影响,弯叶画眉草对干旱胁迫最为敏感,其次为狼尾草,蒲苇的抗旱能力最强;李秀玲等<sup>[17]</sup>对红叶白茅(*Imperata cylindrica* ‘Red Baron’)、花叶芒(*Miscanthus sinensis*

‘Variegatus’)、细茎针茅(*Stipa tenuissima*)和金叶苔草(*Carex oshimensis* ‘Evergold’)进行了夏季抗旱性研究,得出耐旱性依次为金叶苔草>细茎针茅>花叶芒>红叶白茅。

观赏草种类繁多,且在不同气候地区耐旱性表现迥异,因此,对观赏草抗旱性进行深入系统的研究,引进、评价、筛选并推广耐旱多年生观赏草,对我国城市园林的发展和节约型生态城市的建设具有重要意义。本研究选取了 4 种园林常见观赏草进行干旱胁迫处理,探讨不同草种在干旱胁迫下的外观形态及生理生化变化,研究各类观赏草的耐旱性差异,以期为观赏草耐旱资源筛选和园林应用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试的 4 种多年生观赏草均由南京农业大学芳华园艺中心提供。基本特性如表 1 所示。

表 1 试验材料的基本特性

Table 1 Main characters of four ornamental grasses

| 草种              | 学名                                               | 英文名                     | 商品名、俗名                   | 科属               | 观赏特性                             |
|-----------------|--------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------|------------------|----------------------------------|
| Grasses species | Scientific name                                  | English name            | Trade name, trivial name | Family and genus | Ornamental character             |
| 红叶白茅            | <i>Imperata cylindrical</i><br>‘Red Baron’       | Japanese<br>blood grass | 日本血草、血草                  | 禾本科白茅属           | 叶丛生,剑形,春季叶尖血红色,基部绿色,秋季整株呈深血红色    |
| 花叶芒             | <i>Miscanthus sinensis</i><br>‘Variegatus’       | Variegated miscanthus   | 花叶芒                      | 禾本科芒属            | 叶直立,花叶,绿色纵向间有白色或淡黄色条纹,圆锥花序呈扇形    |
| 斑叶芒             | <i>Miscanthus sinensis</i><br>‘Zebrinus’         | Zebra grass             | 斑叶芒、劲芒、斑玛草               | 禾本科芒属            | 叶片条形,绿色含黄色横向不规则斑马条纹,主脉白色,圆锥花序呈扇形 |
| 花叶藨草            | <i>Phalaris arundinacea</i><br>var. <i>picta</i> | Gardener’s garters      | 玉带草、丝带草                  | 禾本科藨草属           | 叶扁平、线形,质地柔软,绿色间有白色或黄色条纹,形似玉带     |

### 1.2 试验设计

采用单因素试验设计,盆栽控水处理。2008 年 9 月初从田间小区选择生长整齐一致的优良植株萌蘖分株苗移栽至规格为 240 mm×200 mm 的白色聚乙烯塑料花盆中,盆土按泥炭和园土体积比为 1:1 进行配置,土壤有机质 1.61%,pH 6.01。每盆 1 株,每草种各 10 盆,缓苗后待测。10 月进行干旱胁迫处理,以正常浇水 1 d 后作为干旱胁迫基点,处理时间分别为 1 d(CK),5 d,9 d,13 d,17 d,21 d,每 4 d 观察记载植株失水形态,取功能叶测定各项生理生化指标,3 次重复,取平均值。叶片采取混合取样法,统一在上午 8:00—8:30 采样。试验期间,为

了避免外界降水的影响,下雨时在网室内遮盖塑料薄膜,晴天打开。试验地温度如图 1 所示。

### 1.3 测定内容

测定指标有土壤含水量(烘干法<sup>[19]</sup>)、枯叶率(50%出现干枯症状的叶片数占总叶片数的百分比<sup>[14]</sup>)、叶片相对含水量(RWC)(组织烘干法<sup>[19]</sup>)、质膜透性(REC)(电导率仪法<sup>[20]</sup>)、丙二醛(MDA)含量(巴比妥酸比色法<sup>[19]</sup>)、超氧化物歧化酶(SOD)活性(氮蓝四唑-NBT 比色法<sup>[20]</sup>)、脯氨酸(Pro)含量(李合生<sup>[20]</sup>方法)、可溶性蛋白含量(考马斯亮蓝 G-250 染色法<sup>[20]</sup>)。

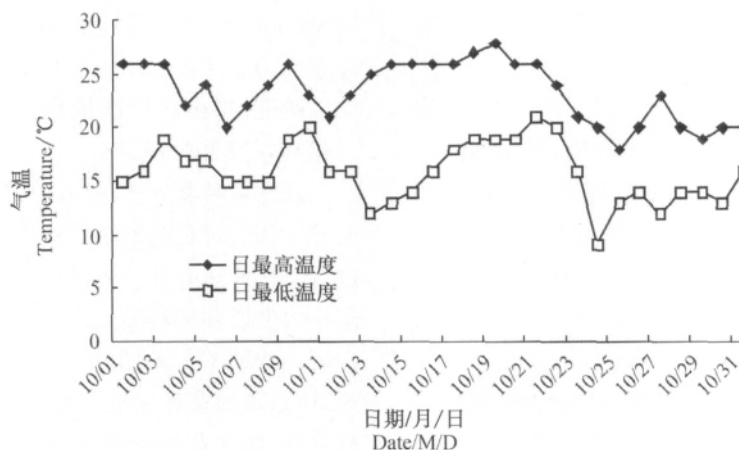


图1 试验期间试验地温度

Fig. 1 Temperature of experimental field during experimental period

## 1.4 数据分析

采用 Excel 2003 处理数据,采用 SPSS 16.0 软件中邓肯新复极差法(SSR 法)进行差异比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 干旱胁迫对土壤含水量及枯叶率的影响

#### 2.1.1 土壤含水量

在干旱胁迫过程中,4 种观赏草的土壤含水量

均呈明显下降趋势(表 2)。其中花叶藜草和花叶芒的土壤含水量在胁迫 1~13 d 后下降明显,之后较为平缓;红叶白茅和斑叶芒的土壤含水量在整个胁迫期间基本上呈直线下降,下降趋势较花叶藜草和花叶芒平缓,说明不同草种在不同的干旱胁迫阶段生理需水量不同。至胁迫末期(21 d),红叶白茅、花叶藜草、花叶芒和斑叶芒的土壤含水量分别为 10.99%,6.35%,7.19%和 9.62%,下降幅度为花叶藜草>花叶芒>斑叶芒>红叶白茅。

表2 干旱胁迫下土壤含水量的变化

Table 2 Changes of soil water content of four ornamental grasses under drought stress

%

| 干旱天数<br>Drought stress periods/d | 草种 Grass species             |                            |                              |                          |
|----------------------------------|------------------------------|----------------------------|------------------------------|--------------------------|
|                                  | 红叶白茅<br>Japanese blood grass | 花叶藜草<br>Gardener's garters | 花叶芒<br>Variegated miscanthus | 斑叶芒<br>Zebra grass       |
| 1                                | 29.32±0.10 <sup>aA</sup>     | 28.81±0.47 <sup>aA</sup>   | 28.51±0.10 <sup>aA</sup>     | 29.70±0.78 <sup>aA</sup> |
| 5                                | 25.87±0.87 <sup>aB</sup>     | 19.71±0.53 <sup>bB</sup>   | 20.92±0.23 <sup>bB</sup>     | 26.08±0.75 <sup>aB</sup> |
| 9                                | 23.08±0.68 <sup>aC</sup>     | 11.93±0.84 <sup>bC</sup>   | 15.73±0.84 <sup>bC</sup>     | 23.86±2.51 <sup>aC</sup> |
| 13                               | 20.67±0.53 <sup>aD</sup>     | 9.51±0.15 <sup>bD</sup>    | 11.99±0.98 <sup>bD</sup>     | 20.33±0.23 <sup>aD</sup> |
| 17                               | 17.07±1.44 <sup>aE</sup>     | 8.37±0.40 <sup>bE</sup>    | 8.44±0.31 <sup>bE</sup>      | 15.20±0.65 <sup>aE</sup> |
| 21                               | 10.99±0.29 <sup>aF</sup>     | 6.35±0.22 <sup>bF</sup>    | 7.19±0.15 <sup>bF</sup>      | 9.62±0.15 <sup>bF</sup>  |

注:上标表示横向极差比较,下标表示纵向极差比较。同行或同列中不同大、小写字母分别表示在 0.01 和 0.05 下差异显著;下表同

Note: Superscript indicates crosswise comparison, subscript indicates longitudinal comparison. The big and small letters in the same column indicate significant difference at the 0.01 and 0.05 levels, respectively. The same as below

#### 2.1 枯叶率

由图 2 可知,干旱胁迫下 4 种观赏草的枯叶率均呈不同程度的上升趋势,以花叶藜草上升幅度最大,其次为红叶白茅和花叶芒,斑叶芒枯叶率增幅最小。至胁迫第 9 d 开始,花叶藜草枯叶率明显上升,18 d 时枯叶率为 58.17%,胁迫末期枯叶率高达 80.43%,叶片枯黄萎焉,几乎接近死亡,植株处于严重缺水状态;至胁迫第 9 d 时红叶白茅叶片内卷,枯叶显现,枯叶率呈先急剧增加后缓慢增加最后又急

剧增加的趋势,胁迫末期红叶白茅枯叶率达 38.07%;花叶芒和斑叶芒于胁迫第 13 d 时枯叶显现,胁迫末期枯叶率分别为 25.9%和 15.07%。方差分析表明,至胁迫第 5 d 时,红叶白茅、花叶藜草与花叶芒、斑叶芒之间差异显著( $P<0.05$ );胁迫第 13~21 d,4 种观赏草之间枯叶率差异显著( $P<0.05$ )。这说明干旱胁迫下观赏草的生长明显受到抑制,抗旱性强的草种受抑制的程度较低,抗旱性弱的草种受抑制的程度较高。

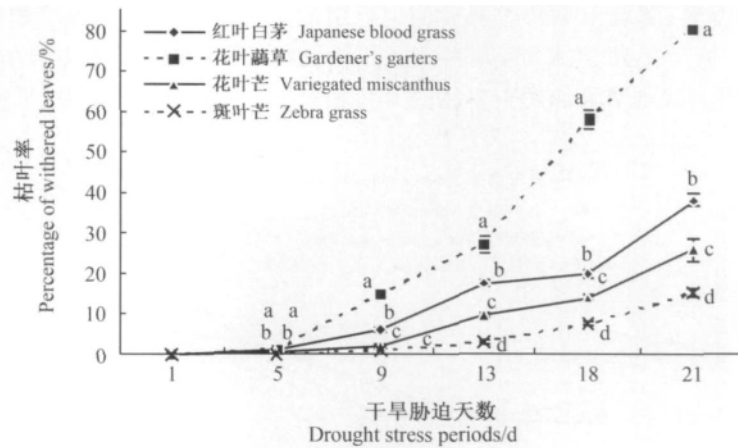


图2 干旱胁迫下观赏草枯叶率变化

Fig. 2 Changes of withered leaf rate under drought stress

注:不同小写字母表示同一时间不同草种之间在5%水平上差异显著;下同

Note: Different letter indicates significant difference among different grass species at the same day ( $P < 0.05$ ), the same as below

## 2.2 干旱胁迫下植株的生理响应

**2.2.1 叶片相对含水量(RWC)** 由图3可知,干旱胁迫期间不同草种叶片RWC均呈不同程度的下降趋势。其中花叶藜草的RWC基本呈直线趋势下降,斑叶芒下降趋势最为轻缓。胁迫初期草种RWC差异不大,但随着干旱程度的加剧,草种间的

差异显现。胁迫第9d时,花叶藜草RWC显著低于其他草种,降幅最大,胁迫末期花叶藜草RWC的下降率为57.36%。其他3个草种RWC于胁迫第13d后显著下降,降幅为红叶白茅>花叶芒>斑叶芒,且草种间差异显著( $P < 0.05$ )。

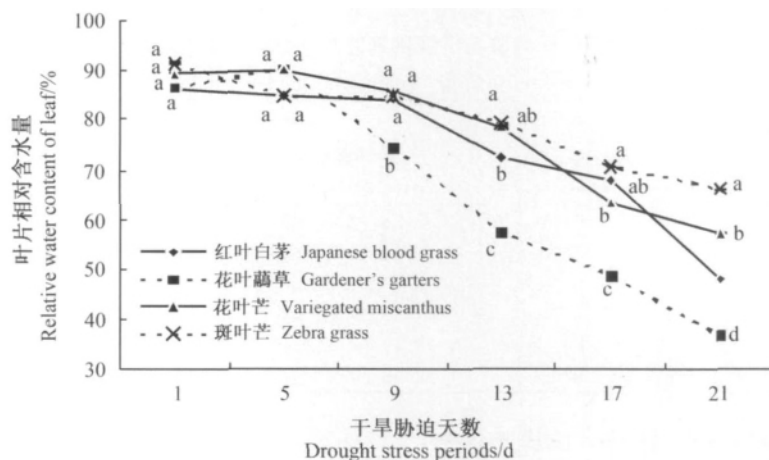


图3 干旱胁迫下观赏草叶片相对含水量变化

Fig. 3 Relative water contents of four ornamental grasses under drought stress

**2.2.2 叶片质膜透性(REC)** 由图4可知,干旱胁迫下4种观赏草的REC均呈上升趋势,胁迫第5d时,处理组REC均较对照降低,这可能是浇透水1d后,草种出现轻微涝害胁迫的缘故。胁迫5d后,4种观赏草的REC均呈现先缓慢上升,后急剧上升的趋势。其中,花叶藜草和红叶白茅呈“S”型曲线上升,细胞内溶质外渗量在胁迫9~17d上升量最大,在胁迫第13d和第17d时,分别是花叶藜

草和红叶白茅REC上升的拐点,以后上升速率开始变缓,这说明干旱胁迫致使花叶藜草和红叶白茅基本处于半致死状态;花叶芒和斑叶芒未出现拐点,基本呈小速率直线增长。至于干旱胁迫末期,花叶藜草、红叶白茅、花叶芒和斑叶芒的REC分别为80.78%,68.50%,61.20%和53.24%,其中花叶藜草REC的上升幅度最大,其次为红叶白茅,然后为花叶芒,斑叶芒的增幅最小。由方差分析可知,胁迫

至 5 d 时各草种 REC 无差异,随着干旱胁迫强度的增加,草种间差异显著,至干旱胁迫末期,草种间 REC 差异显著( $P<0.05$ )。试验结果说明干旱胁迫

引起了 4 种观赏草细胞膜的伤害,细胞内含物质外渗,膜渗透性增加,导致电导率升高,抗旱性强的植物相对电导率上升较小,而抗旱性弱的上升幅度较大。

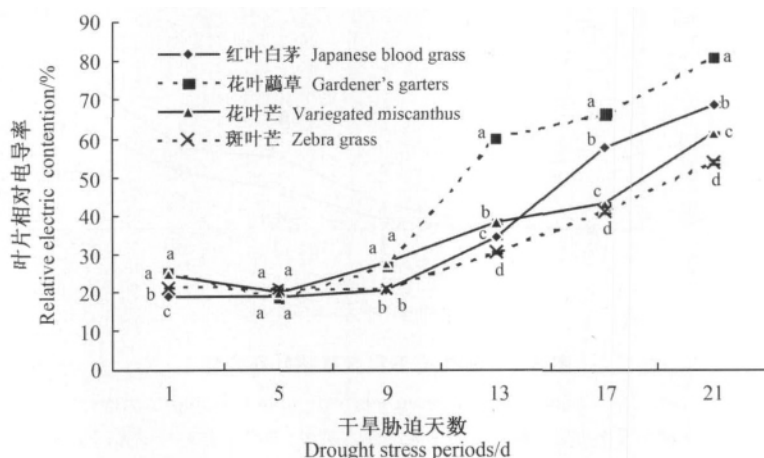


图 4 干旱胁迫下观赏草叶片相对电导率变化

Fig. 4 Relative electric conductions of four ornamental grasses under drought stress

**2.2.3 丙二醛(MDA)含量** MDA 是膜脂过氧化作用的主要产物之一,其含量的高低是反映细胞膜脂过氧化作用强弱和质膜破坏程度的重要指标。由表 3 可知,随着干旱胁迫时间的延长,胁迫强度的增加,4 种观赏草的 MDA 含量均呈上升趋势。红叶

白茅的增幅最大,且其 MDA 含量较高,与其他 3 个草种之间存在极显著差异( $P<0.01$ );其余 3 个草种之间差异不显著。胁迫期间,4 种观赏草的 MDA 含量的增幅依次为红叶白茅>花叶藓草>花叶芒>斑叶芒。

表 3 干旱胁迫下观赏草叶片 MDA 含量变化

Table 3 MDA contents of four ornamental grasses under drought stress

mmol · g<sup>-1</sup>

| 干旱天数<br>Drought stress periods/d | 草种 Grass species                        |                                       |                                        |                                        |
|----------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|
|                                  | 红叶白茅<br>Japanese blood grass            | 花叶藓草<br>Gardener's garters            | 花叶芒<br>Variegated miscanthus           | 斑叶芒<br>Zebra grass                     |
| 1                                | 63.87±0.64 <sup>aA</sup> <sub>FE</sub>  | 7.93±0.08 <sup>cE</sup> <sub>D</sub>  | 13.81±0.12 <sup>bB</sup> <sub>CE</sub> | 12.24±0.14 <sup>bB</sup> <sub>FE</sub> |
| 5                                | 87.64±0.88 <sup>aA</sup> <sub>ED</sub>  | 8.43±0.08 <sup>cD</sup> <sub>DE</sub> | 14.68±0.14 <sup>bB</sup> <sub>DE</sub> | 13.81±0.15 <sup>bB</sup> <sub>ED</sub> |
| 9                                | 96.50±0.97 <sup>aA</sup> <sub>DC</sub>  | 9.29±0.09 <sup>cD</sup> <sub>D</sub>  | 15.01±0.15 <sup>bB</sup> <sub>D</sub>  | 14.76±0.15 <sup>bB</sup> <sub>D</sub>  |
| 13                               | 126.74±1.27 <sup>aA</sup> <sub>CB</sub> | 11.34±0.11 <sup>cC</sup> <sub>C</sub> | 16.55±0.16 <sup>bB</sup> <sub>C</sub>  | 15.94±0.16 <sup>bB</sup> <sub>C</sub>  |
| 17                               | 134.62±1.35 <sup>aA</sup> <sub>BB</sub> | 22.17±0.22 <sup>bB</sup> <sub>B</sub> | 19.72±0.19 <sup>bB</sup> <sub>B</sub>  | 18.51±0.20 <sup>bB</sup> <sub>B</sub>  |
| 21                               | 156.11±1.56 <sup>aA</sup> <sub>AA</sub> | 32.08±0.32 <sup>bA</sup> <sub>A</sub> | 29.61±0.28 <sup>bA</sup> <sub>A</sub>  | 27.94±0.30 <sup>bA</sup> <sub>A</sub>  |

**2.2.4 超氧化物歧化酶(SOD)活性** 由表 4 可知,自然失水胁迫下 4 种观赏草 SOD 活性呈现先升高后降低的趋势,其中红叶白茅、花叶芒和斑叶芒均在胁迫第 13 d 出现峰值,SOD 活性峰值大小为斑叶芒>花叶芒>红叶白茅,花叶藓草的 SOD 活性于胁迫第 17 d 出现峰值,且其峰值明显低于其他草种,随后其活性迅速下降。4 种试验材料 SOD 活性增幅由高到低依次为花叶芒、斑叶芒、红叶白茅和花叶藓草。

方差分析可知,4 种草种的 SOD 活性变化之间存在显著差异,而种内干旱胁迫前后的差异也达显著水平( $P<0.05$ )。说明在干旱胁迫初期,植物体内的 SOD 会剧烈上升,来抵御或减轻植物体所受的

伤害;随着干旱胁迫时间的延长,水分亏缺的加重,SOD 活性下降,下降的程度因草种耐旱能力的不同而不同。

**2.2.5 脯氨酸(Pro)含量** 4 种观赏草在干旱胁迫下叶片脯氨酸含量的动态变化如表 5 所示。4 种观赏草受到干旱胁迫后 Pro 含量均有不同程度的增加。红叶白茅的 Pro 含量较高,显著或极显著高于其他草种。Pro 含量增加幅度以花叶藓草和红叶白茅的增幅最大,花叶芒次之,斑叶芒增幅最小。方差分析结果表明,花叶藓草和红叶白茅与斑叶芒和花叶芒之间差异极显著( $P<0.01$ )。

表 4 干旱胁迫下观赏草叶片 SOD 活性变化

Table 4 SOD activities of four ornamental grasses under drought stress  $U \cdot g^{-1} FW$

| 干旱天数<br>Drought stress periods/d | 草种 Grass species                        |                                           |                                          |                                         |
|----------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|
|                                  | 红叶白茅                                    | 花叶藜草                                      | 花叶芒                                      | 斑叶芒                                     |
|                                  | Japanese blood grass                    | Gardener's garters                        | Variegated miscanthus                    | Zebra grass                             |
| 1                                | 533.52±2.77 <sup>aA</sup> <sub>eE</sub> | 478.26±6.31 <sup>bAB</sup> <sub>bBC</sub> | 467.52±10.00 <sup>bB</sup> <sub>fF</sub> | 523.71±4.14 <sup>aA</sup> <sub>dD</sub> |
| 5                                | 576.96±2.03 <sup>aB</sup> <sub>dD</sub> | 460.79±3.53 <sup>bB</sup> <sub>bBC</sub>  | 541.03±4.53 <sup>aB</sup> <sub>eE</sub>  | 635.17±1.80 <sup>aA</sup> <sub>cC</sub> |
| 9                                | 684.68±2.37 <sup>cC</sup> <sub>bB</sub> | 545.06±1.84 <sup>dDa</sup> <sub>bAB</sub> | 723.66±2.95 <sup>aA</sup> <sub>bB</sub>  | 704.44±3.06 <sup>bB</sup> <sub>bB</sub> |
| 13                               | 733.88±2.06 <sup>cC</sup> <sub>aA</sub> | 524.93±0.17 <sup>dD</sup> <sub>bAB</sub>  | 761.22±3.80 <sup>bB</sup> <sub>aA</sub>  | 780.45±1.41 <sup>aA</sup> <sub>aA</sub> |
| 17                               | 593.70±2.60 <sup>cC</sup> <sub>cC</sub> | 621.15±4.45 <sup>dD</sup> <sub>aA</sub>   | 670.99±1.27 <sup>bB</sup> <sub>cC</sub>  | 699.59±3.55 <sup>aA</sup> <sub>bB</sub> |
| 21                               | 537.47±1.59 <sup>cC</sup> <sub>eE</sub> | 365.95±7.81 <sup>dD</sup> <sub>cC</sub>   | 589.80±4.54 <sup>bB</sup> <sub>dD</sub>  | 629.17±3.53 <sup>aA</sup> <sub>cC</sub> |

表 5 干旱胁迫下观赏草叶片脯氨酸含量变化

Table 5 Free proline contents of four ornamental grasses under drought stress  $\mu g \cdot g^{-1}$

| 干旱天数<br>Drought stress periods/d | 草种 Grass species                         |                                         |                                        |                                        |
|----------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|
|                                  | 红叶白茅                                     | 花叶藜草                                    | 花叶芒                                    | 斑叶芒                                    |
|                                  | Japanese blood grass                     | Gardener's garters                      | Variegated miscanthus                  | Zebra grass                            |
| 1                                | 164.47±0.47 <sup>aA</sup> <sub>eE</sub>  | 9.56±0.28 <sup>bB</sup> <sub>fF</sub>   | 5.59±0.20 <sup>dD</sup> <sub>fF</sub>  | 7.84±0.36 <sup>cC</sup> <sub>fF</sub>  |
| 5                                | 168.37±0.63 <sup>aA</sup> <sub>eDE</sub> | 12.21±0.35 <sup>bB</sup> <sub>eE</sub>  | 7.12±0.10 <sup>dD</sup> <sub>eE</sub>  | 10.40±0.27 <sup>cC</sup> <sub>eE</sub> |
| 9                                | 173.84±2.18 <sup>aA</sup> <sub>dD</sub>  | 44.26±0.23 <sup>bB</sup> <sub>dD</sub>  | 10.13±0.06 <sup>cC</sup> <sub>dD</sub> | 12.50±0.30 <sup>cC</sup> <sub>dD</sub> |
| 13                               | 220.54±0.47 <sup>aA</sup> <sub>cC</sub>  | 67.42±0.60 <sup>bB</sup> <sub>cC</sub>  | 11.23±0.06 <sup>dD</sup> <sub>cC</sub> | 15.34±0.33 <sup>cC</sup> <sub>cC</sub> |
| 17                               | 235.46±2.70 <sup>aA</sup> <sub>bB</sub>  | 78.88±1.04 <sup>bB</sup> <sub>bB</sub>  | 12.50±0.28 <sup>dD</sup> <sub>bB</sub> | 23.48±0.21 <sup>cC</sup> <sub>bB</sub> |
| 21                               | 259.91±0.53 <sup>aA</sup> <sub>aA</sub>  | 107.00±0.96 <sup>bB</sup> <sub>aA</sub> | 35.83±0.11 <sup>dD</sup> <sub>aA</sub> | 25.44±3.27 <sup>cC</sup> <sub>aA</sub> |

2.2.6 可溶性蛋白含量

由图 5 可知,随着干旱时间的推进,可溶性蛋白含量均呈现出一定的上升趋势,不同草种上升幅度不同。斑叶芒和花叶芒均在胁迫的第 13 d 可溶性蛋白含量达到峰值,随后开始下降;红叶白茅在胁迫的第 17 d 可溶性蛋白含量达到峰值,之后下降;而花叶藜草的可溶性蛋白含量则一直处于上升状态。

这说明,干旱胁迫时受害草种积累可溶性蛋白,使渗透势下降,进而从外界吸水,保持正常的生理状态,可溶性蛋白含量积累到一定程度开始下降,说明蛋白的分解已经开始大于合成,草种免不了受到外界干旱的伤害。方差分析表明,草种间可溶性蛋白含量差异显著( $P<0.05$ ),随着胁迫程度的加剧,种内可溶性蛋白含量差异显著( $P<0.05$ )。

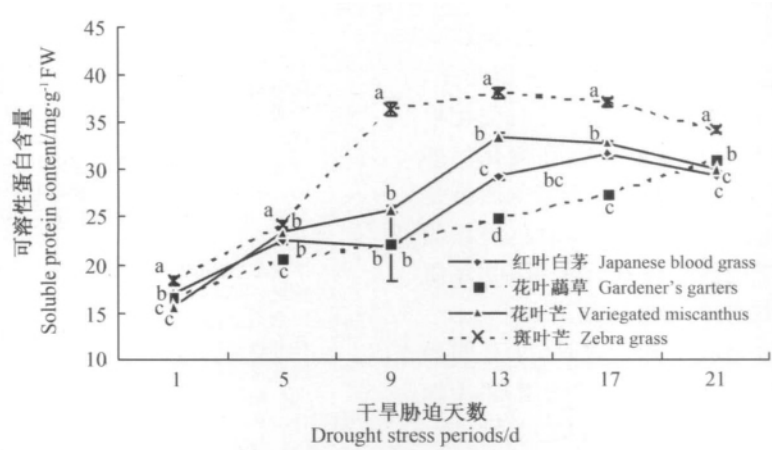


图 5 干旱胁迫下观赏草可溶性蛋白含量变化

Fig. 5 Soluble protein contents of four ornamental grasses under drought stress

3 讨论与结论

耐旱性形态指标具有简单易测的优点,反应植物在遭受干旱胁迫后植株的整体表现。本研究主要采用枯叶率作为衡量观赏草在干旱胁迫下的形态变

化。结果表明,花叶藜草对干旱胁迫最为敏感,其次为红叶白茅,再次为花叶芒,斑叶芒的枯叶率增加量最少,对干旱胁迫最不敏感。可见,枯叶率能够从表观上较好的反应植物抗旱性,可作为观赏草耐旱性的形态判断指标,这与张智等<sup>[14]</sup>研究结果一致。

干旱胁迫下,植物体内活性氧的产生与清除的代谢平衡被破坏,会积累过量的  $H_2O_2$  等活性氧物质,导致膜脂过氧化产物(如 REC,MDA)增加,膜的完整性与生理功能受到破坏,膜透性增大。结果显示,随着干旱胁迫的加剧,4 种观赏草 REC 与 MDA 含量均基本呈增加趋势,且 REC 与 MDA 含量增加的幅度可能与其抗旱性存在一定的关联,即 REC 与 MDA 含量增加的越快,其抗旱性越差,这与孙宗玖等<sup>[2]</sup>、段慧荣等<sup>[21]</sup>研究结果一致。

已有研究表明,植物在遭遇逆境后,体内会主动积累一些渗透调节物质,如可溶性蛋白、脯氨酸等来提高细胞的保水及持水能力。高含量的可溶性蛋白质有助于维持植物细胞较低的渗透势水平、增强耐脱水能力、保护细胞结构并且延缓衰老,以抵御干旱胁迫引起的伤害<sup>[22]</sup>。本研究结果表明,干旱胁迫过程中 4 种观赏草叶片中可溶性蛋白呈现出先上升后下降趋势,且抗旱性强的草种其增加量大于抗旱性弱的草种。脯氨酸是一种理想的渗透调节物质,逆境下可用作反映植物抗逆性的参考性生理指标。但关于其积累的量与抗旱性之间的关系,不同的植物研究有不同的结论。许多学者认为干旱胁迫下脯氨酸的积累可作为评判抗旱性强弱的生理指标<sup>[23~25]</sup>。本试验表明,观赏草的 Pro 合成及累积是一个受干旱胁迫调节的生理生化过程,Pro 增加量越高,抗旱性越弱,反之则越强。这与卢少云等<sup>[26]</sup>、史燕山等<sup>[27]</sup>观点一致。关于干旱条件下不同植物叶片中脯氨酸含量变化的机理尚需深入研究。

值得一提的是,红叶白茅具有较高的 MDA、Pro 含量和变化量,可能是因其叶色具有季相变化,在秋季呈血红色,随着干旱胁迫的加重,叶色变化更为明显,导致植物体内相应指标发生剧烈变化。如何消除红叶白茅叶色季相变化对指标测量的影响是亟待解决的问题。因此,红叶白茅与其他草种比较时,应首要比较植株形态变化、叶片含水量、叶片质膜透性等指标,使评价结果更具有可信度。

干旱胁迫下不同植物既有相似表现,又有明显不同的反应。本研究中,随着胁迫强度的增加,4 种观赏草 RWC 降低,枯叶率、REC、MDA 含量、Pro 含量升高,SOD 活性、可溶性蛋白含量先上升后下降,表现出相似的规律性,但草种之间指标的变化幅度差异较大,表现出不同的抗旱能力。花叶藜草对干旱胁迫的反应最为敏感,枯叶率、细胞质膜透性以及 Pro 含量的积累上升较快,RWC 的下降也最早最剧烈,SOD 保护酶活性下降迅速,认为其抗旱性明显低于其他 3 种观赏草。4 种观赏草的抗旱性顺序为斑叶芒>花叶芒>红叶白茅>花叶藜草。

## 参考文献

- [1] 武菊英,滕文军,王庆海.耐旱多年生观赏草春季观赏性评价[J].华北农学报,2006,21(1):129-132
- [2] 孙宗玖,李培英,阿不来提.4 份偃麦草资源对干旱胁迫的生理响应[J].草地学报,2010,18(5):678-682,688
- [3] 武菊英,王国进.可持续旱景园林与观赏草[J].科技潮,2003(10):42-43
- [4] Llewellyn M, Jerry C. Xeriscape ornamental perennial grass trial for low water use landscaping[C]//Larson. 2002 Annual Report. Dickinson; Dickinson Research Extension Center, 2002:2-6
- [5] 兰茜 J·奥德诺.观赏草及其景观配置[M].刘建秀,译.北京:中国林业出版社,2003:3
- [6] 刘建秀.草坪·地被植物·观赏草[M].南京:东南大学出版社,2001:3-4
- [7] Thetford M, Norcini J G, Ballard B, et al. Ornamental landscape performance of native and nonnative grasses under low-input conditions [J]. HortTechnology, 2009, 19(2): 267-290
- [8] Padhye S R, Groninger J K. Influence of benzyladenine, trinexapac-ethyl, or uniconazole applications on height and tillering of six ornamental grasses [J]. HortTechnology, 2009, 19(4):737-742
- [9] Cole J T, Cole J C. Ornamental grass growth response to three shade intensities [J]. Journal of Environmental Horticulture, 2000, 18(1):18-22
- [10] Pudelska K. Evaluation of growing and flowering of five species of ornamental grasses in the region of Lublin [J]. Acta Agrobotanica, 2008, 61(1):173-178
- [11] Cole J T, Cole J C. Tolerance of lilyturf (*Liriope muscari*) and four perennial ornamental grasses to preemergent herbicides [J]. Journal of Applied Horticulture, 2007, 9(1):31-36
- [12] Der J F. Tolerance of ornamental grasses to preemergence herbicides [J]. Journal of Environmental Horticulture, 2002, 20(3):161-165
- [13] 张智,夏宜平,常乐,等.3 种观赏草在自然失水胁迫下的生理变化与耐旱性关系[J].东北林业大学学报,2007,35(12):17-20
- [14] 张智,夏宜平,徐伟伟.两种观赏草的自然失水胁迫初步研究[J].园艺学报,2007,34(4):1029-1032
- [15] 孔兰静,李红双,张志国.三种观赏草对土壤干旱胁迫的生理响应[J].中国草地学报,2008,30(4):40-44
- [16] 孔兰静,彭卫东,柳玉芳,等.干旱胁迫对三种观赏草叶片渗透调节的影响[J].中国草地学报,2010,32(3):82-87
- [17] 李秀玲,刘君,杨志民.干旱胁迫对 4 种观赏草枯叶率及生理指标的影响[J].草业科学,2010,27(11):26-32
- [18] 李秀玲,刘君,杨志民.九种观赏草在南京地区的适应性评价[J].中国草地学报,2010,32(3):76-81,87
- [19] 邹琦.植物生理生化实验指导[M].北京:中国农业出版社,2000:11-174
- [20] 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,2000:167-263
- [21] 段慧荣,马彦军,李毅.模拟干旱和盐胁迫下沙冬青种子硬实特性和抗逆性的研究[J].草地学报,2011,19(1):75-80
- [22] 时丽冉,刘志华.干旱胁迫对苜蓿抗氧化酶和渗透调节物质的影响[J].草地学报,2010,18(5):673-677
- [23] 许桂芳. PEG 胁迫对 2 种过路黄抗性生理生化指标的影响[J].草业学报,2008,17(1):66-70
- [24] 赵瑞雪,朱慧森,程钰宏,等.植物脯氨酸及其合成酶系研究进展[J].草业科学,2008,25(2):90-95
- [25] Blum A, Ebercon A. Genotypic responses in sorghum to drought stress 3 free proline accumulation and drought resistance [J]. Crop Science, 1976, 16: 428-431
- [26] 卢少云,陈思平,陈思曼,等.三种暖季型草坪草在干旱胁迫下脯氨酸含量和抗氧化酶活性的变化[J].园艺学报,2003,30(3):303-306
- [27] 史燕山,骆建霞,王煦,等.5 种草本地被植物抗旱性研究[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2005,33(5):130-134

(责任编辑 李美娟)