

# 土壤干旱胁迫对九头狮子草和圆苞金足草幼苗形态和生理特性的影响

令狐昱慰<sup>①</sup>, 李汝娟, 李思锋, 黎斌, 张莹

(陕西省西安植物园 陕西省植物研究所, 陕西 西安 710061)

**摘要:** 采用称重控水法控制土壤相对含水量分别为(85.0±2.5)% (对照)、(67.5±2.5)% (轻度干旱)、(50.0±2.5)% (中度干旱)和(32.5±2.5)% (重度干旱),对土壤干旱胁迫条件下九头狮子草[*Peristrophe japonica* (Thunb.) Bremek.]和圆苞金足草(*Goldfussia pentstemonoides* Nees)2年生苗的植株形态及生理特性变化进行了研究。结果表明:经土壤干旱胁迫处理30 d后供试2种植物的外部形态均有一定变化,其中九头狮子草主要变化为叶片失绿、变薄且萎蔫、枝条下垂;圆苞金足草主要变化为茎干倒伏、叶片变软且叶柄低垂。随土壤干旱胁迫程度的增加,供试2种植物叶片的自然饱和亏、临界饱和亏、需水程度、束缚水含量、束缚水与自由水的含量比值、脯氨酸含量和可溶性糖含量均呈逐渐增加的趋势且均高于对照,而自由水含量、最高水势、最低水势和可溶性蛋白质含量均逐渐降低且总体上低于对照。总体上看,在重度干旱胁迫条件下供试2种植物各生理特性均与对照有极显著或显著差异,而在轻度或中度干旱胁迫条件下部分指标与对照无显著差异。供试2种植物各生理指标的变化幅度有明显差异,在同一干旱胁迫条件下九头狮子草叶片的自然饱和亏、需水程度、自由水含量、最高水势和最低水势的降幅、脯氨酸含量和可溶性蛋白质含量的降幅均高于圆苞金足草,其临界饱和亏、束缚水含量、束缚水与自由水的含量比值和可溶性糖含量均低于圆苞金足草。综合分析结果表明:供试2种植物对土壤干旱胁迫均具有一定的耐性,但圆苞金足草具有更强的抵御干旱的生理机制。

**关键词:** 土壤干旱胁迫; 九头狮子草; 圆苞金足草; 生理指标; 耐旱性

中图分类号: Q945.78; Q688.4 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2013)03-0025-08

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2013.03.04

**Effect of drought stress in soil on morphology and physiological characteristics of *Peristrophe japonica* and *Goldfussia pentstemonoides* seedlings** LINGHU Yuwei<sup>①</sup>, LI Rujuan, LI Sifeng, LI Bin, ZHANG Ying (Xi'an Botanical Garden of Shaanxi Province, Institute of Botany of Shaanxi Province, Xi'an 710061, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2013, 22(3): 25-32

**Abstract:** Using weighting method for controlling relative water content in soil with (85.0±2.5)% (the control), (67.5±2.5)% (light drought), (50.0±2.5)% (moderate drought) and (32.5±2.5)% (heavy drought), changes of plant morphology and physiological characteristics of 2-year-old seedlings of *Peristrophe japonica* (Thunb.) Bremek. and *Goldfussia pentstemonoides* Nees under drought stress in soil were studied. The results show that after soil drought stress treating for 30 d, there are some changes in external morphology of two species, in which, the change in *P. japonica* is mainly leaf chlorosis, thinning and wilting, and branch weeping; that in *G. pentstemonoides* mainly stem lodging, leaf softening and petiole weeping. As increasing of soil drought stress degree, natural saturation deficit, critical saturation deficit, water requirement, bound water content, content ratio of bound water to free water, contents of proline and soluble sugar in leaf of two species all gradually increase and all are higher than those of the control, while, their free water content, maximum and minimum water potentials, and soluble protein

收稿日期: 2012-12-03

基金项目: 陕西省科学院科技攻关重大项目(2009k-06); 陕西省科技攻关项目(2009k01-11; 2011k01-21); 陕西省科学院科技计划重点项目(2011k-03)

作者简介: 令狐昱慰(1980—),女,山西平陆人,硕士,助理研究员,主要从事植物生理学和药用植物的研究。

<sup>①</sup>通信作者 E-mail: amandalh1980@sina.com.cn

content all gradually decrease and all are lower than those of the control. General, as compared with the control, there are extremely significant or significant differences in every physiological index of two species tested under heavy drought stress, while no significant difference in some physiological indexes under light and moderate drought stresses. There are obvious differences in change range of every physiological index between two species. Under the same drought stress, natural saturation deficit, water requirement, free water content, decreasing range of maximum and minimum water potentials, content of proline, and decreasing range of soluble protein content in leaf of *P. japonica* all are higher while its critical saturation deficit, bound water content, content ratio of bound water to free water and soluble sugar content all lower than those in leaf of *G. pentstemonoides*. Comprehensive analysis result indicates that two species tested possess a certain resistance to drought stress in soil, and *G. pentstemonoides* has a more advantaged physiological resistant mechanism to drought stress.

**Key words:** drought stress in soil; *Peristrophe japonica* (Thunb.) Bremek.; *Goldfussia pentstemonoides* Nees; physiological index; drought resistance

干旱对草本观赏园艺植物的基础代谢、形态特征和生长发育均有不同程度的影响<sup>[1-4]</sup>,研究植物在干旱条件下的生理特性变化及其抗逆性,对于选育耐旱园艺植物新品种具有重要意义。

爵床科(Acanthaceae)多年生草本植物九头狮子草(*Peristrophe japonica* (Thunb.) Bremek.)和圆苞金足草(*Goldfussia pentstemonoides* Nees)均为野生耐阴植物,具有较高的观赏性,已在华南地区作为林下或林缘植被用于观赏配置<sup>[5]</sup>。长江流域以南的潮湿气候环境为九头狮子草和圆苞金足草的生长提供了良好的生长条件,但在长江以北的部分区域,尤其是西安地区夏季的高温少雨气候环境,是影响这类亚热带观赏植物推广应用的主要环境因素之一。

目前关于干旱胁迫对九头狮子草和圆苞金足草生理特性的影响研究尚未见报道。为此,作者对土壤干旱胁迫条件下九头狮子草和圆苞金足草的外部形态及生理特征的变化进行了研究,比较二者对土壤干旱耐性的差异,以期对九头狮子草和圆苞金足草的科学栽培及在北方地区园林绿化中的合理推广应用提供基础研究数据。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

供试九头狮子草和圆苞金足草幼苗栽植于西安植物园试验地,分别取冠幅与丛高(株高)基本一致的2年生健康植株盆栽;栽培盆内径38 cm、高45 cm,每盆栽土18 kg,盆土为试验地田园土;每盆栽植1个自然丛(或相当的植株),2种植物各栽植12盆,共24盆。置于四面通风但顶部搭有遮雨塑料布的大棚内

于自然光照条件下生长;各盆间保持一定距离,避免冠层接触形成的干扰,栽培盆位置每周交换1次。

### 1.2 方法

1.2.1 土壤干旱胁迫处理方法 实验于2010年9月进行。土壤含水量以水的质量占干土质量的百分数表示,盆土的田间饱和持水量为31.3%,按照土壤相对含水量(土壤含水量占田间持水量的百分率)设置4个干旱胁迫处理组。CK:对照,土壤相对含水量(85.0±2.5)%;T<sub>1</sub>:轻度干旱胁迫,土壤相对含水量(67.5±2.5)%;T<sub>2</sub>:中度干旱胁迫,土壤相对含水量(50.0±2.5)%;T<sub>3</sub>:重度干旱胁迫,土壤相对含水量(32.5±2.5)%。每处理设3次重复。

通过自然失水使盆栽土中土壤相对含水量达到预设的水平,再用称重法每天定时定量补充损失的水分,使各处理的土壤相对含水量维持恒定。胁迫处理30 d后终止胁迫,观察各处理组2种植物外部形态的变化并取样进行生理指标测定。

1.2.2 生理指标测定方法 胁迫结束后采集各处理组供试植株的上部健康叶片,混合后待测。采用烘干称重法<sup>[6]</sup>测定叶片水分饱和亏;采用阿贝折射仪法<sup>[7]105-109</sup>测定自由水和束缚水含量;参照张志良<sup>[8]</sup>的方法测定叶片水势,其中最高水势在早晨6:00测定,最低水势在中午14:00测定;采用磺基水杨酸法<sup>[7]258-260</sup>测定脯氨酸含量;采用苯酚-硫酸法<sup>[7]199-200</sup>测定可溶性糖含量;采用考马斯亮蓝G-250染色法<sup>[7]184-185</sup>测定可溶性蛋白质含量。各指标均重复测定3次。

### 1.3 数据分析

采用SPSS 16.0统计分析软件对实验数据进行统计分析。

## 2 结果和分析

### 2.1 干旱胁迫对九头狮子草和圆苞金足草外部形态的影响

经不同程度的土壤干旱胁迫处理 30 d 后九头狮子草和圆苞金足草植株的外部形态均有一定变化(见图 1)。对照组九头狮子草的叶片鲜活、平展、色绿,且叶片和叶柄具有一定厚度和硬度;经轻度干旱胁迫后其叶色由绿转黄且叶片变薄;经中度干旱胁迫后其植株 90% 以上的叶片变为黄绿色,且叶片更加薄瘦、叶柄由斜上转而下垂;经重度干旱胁迫后九头狮子草的叶片几乎完全失绿且叶色偏黄,叶片萎蔫、内卷并完全下垂,枝条嫩梢也由挺立变为弯垂(图 1-1~4)。对照组以及经轻度和中度干旱胁迫后圆苞金足草的外部形态基本没有变化,叶片色绿且枝条挺括;但经重度干旱胁迫后虽然其叶色仍保持绿色但茎干倒伏、叶片变软且叶柄低垂(图 1-5~8)。

### 2.2 干旱胁迫对九头狮子草和圆苞金足草生理指标的影响

**2.2.1 对水分状况的影响** 经不同程度土壤干旱胁迫处理后九头狮子草和圆苞金足草叶片水分状况 3 个指标的测定结果见表 1。随土壤干旱胁迫程度的增大九头狮子草和圆苞金足草叶片的自然饱和亏、临界饱和亏和需水程度均逐渐增加。

在轻度、中度和重度干旱条件下,九头狮子草的自然饱和亏分别为 14.15%、18.53% 和 37.07%,分别为对照的 1.38 倍、1.81 倍和 3.62 倍;圆苞金足草的自然饱和亏分别为 11.86%、15.34% 和 22.42%,分别为对照的 1.63 倍、2.11 倍和 3.08 倍。差异显著性分析结果显示:九头狮子草的自然饱和亏在轻度干旱条件下与对照无显著差异,但在中度干旱条件下与对照有显著差异,在重度干旱条件下与对照及其他处理有极显著差异;圆苞金足草的自然饱和亏在对照组与处理组间以及各处理组间均有极显著差异。说明土壤干旱胁迫导致供试 2 种植物体内水分亏缺,且胁迫越严重亏缺越大。相比较而言,在同一干旱条件下九头狮子草叶片的自然饱和亏均高于圆苞金足草,说明九头狮子草体内水分亏缺更严重。

在土壤轻度、中度和重度干旱条件下,九头狮子草叶片的临界饱和亏分别为 22.55%、28.19% 和 44.15%,分别为对照的 1.10 倍、1.38 倍和 2.16 倍;

圆苞金足草叶片的临界饱和亏则分别为 59.30%、63.13% 和 69.54%,分别为对照的 1.41 倍、1.50 倍和 1.66 倍。差异显著性分析结果显示:九头狮子草叶片的临界饱和亏在轻度干旱条件下与对照差异不显著,但在中度和重度干旱条件下与对照有极显著差异;圆苞金足草叶片的临界饱和亏在轻度和中度干旱条件下差异不显著,但各处理组与对照组间均有极显著差异。由此可见:轻度干旱对九头狮子草叶片的水分临界饱和亏影响较小,中度干旱则有一定的影响;而在轻度干旱条件下圆苞金足草叶片的临界饱和亏显著增大,之后增幅趋缓。说明供试 2 种植物对土壤干旱胁迫的响应方式不同,且在土壤干旱条件下圆苞金足草的临界饱和亏均高于九头狮子草,说明圆苞金足草的抗脱水能力比九头狮子草强。

在轻度、中度和重度干旱条件下,九头狮子草叶片的需水程度分别为 62.75%、65.73% 和 83.96%,圆苞金足草叶片的需水程度分别为 20.00%、24.30% 和 32.24%,均高于对照。差异显著性分析结果显示:在轻度干旱条件下九头狮子草的需水程度与对照差异显著,但与中度干旱条件下差异不显著,而在重度干旱条件下其需水程度与对照组及其他处理组均有显著差异;圆苞金足草的需水程度在对照组及各处理组间均有显著差异。可见,随干旱胁迫程度的加剧,供试 2 种植物的需水程度增大,但圆苞金足草的需水程度均维持在较低水平,说明圆苞金足草对干旱环境的适应性强于九头狮子草。

**2.2.2 对自由水和束缚水含量的影响** 经不同程度土壤干旱胁迫处理后九头狮子草和圆苞金足草叶片中自由水与束缚水含量的测定结果见表 2。由表 2 可以看出:供试 2 种植物叶片中自由水含量随干旱程度的加剧逐渐减少,而束缚水含量以及束缚水与自由水的含量比值则呈增加趋势。

在轻度和中度干旱胁迫条件下,九头狮子草叶片中自由水含量分别比对照下降了 9.84% 和 12.89%,束缚水含量分别比对照增加了 90.86% 和 93.47%,束缚水与自由水的含量比值分别比对照增加了 112.50% 和 125.00%,各指标与对照组间均无显著差异;但在重度干旱胁迫条件下,九头狮子草叶片中的自由水含量比对照下降了 23.35%、束缚水含量比对照增加了 135.56%、束缚水与自由水的含量比值比对照增加了 212.5%,各指标与对照组及其他处理组间均有极显著差异。



1-4: 九头狮子草 *Peristrophe japonica*; 5-8: 圆苞金足草 *Goldfussia pentstemonoides*. 1, 5: 对照, 土壤相对含水量 ( $85.0 \pm 2.5\%$ ) The control with relative water content ( $85.0 \pm 2.5\%$ ) in soil; 2, 6: 轻度干旱, 土壤相对含水量 ( $67.5 \pm 2.5\%$ ) Light drought with relative water content ( $67.5 \pm 2.5\%$ ) in soil; 3, 7: 中度干旱, 土壤相对含水量 ( $50.0 \pm 2.5\%$ ) Moderate drought with relative water content ( $50.0 \pm 2.5\%$ ) in soil; 4, 8: 重度干旱, 土壤相对含水量 ( $32.5 \pm 2.5\%$ ) Heavy drought with relative water content ( $32.5 \pm 2.5\%$ ) in soil.

图 1 土壤干旱胁迫对九头狮子草和圆苞金足草外部形态的影响

Fig. 1 Effect of drought stress in soil on external morphology of *Peristrophe japonica* (Thunb.) Bremek. and *Goldfussia pentstemonoides* Nees

表1 土壤干旱胁迫对九头狮子草和圆苞金足草叶片水分状况的影响<sup>1)</sup>Table 1 Effect of drought stress in soil on water status in leaf of *Peristrophe japonica* (Thunb.) Bremek. and *Goldfussia pentstemonoides* Nees<sup>1)</sup>

处理 <sup>2)</sup> Treatment <sup>2)</sup>	自然饱和亏/% Natural saturation deficit	临界饱和亏/% Critical saturation deficit	需水程度/% <sup>3)</sup> Water requirement <sup>3)</sup>
九头狮子草 <i>Peristrophe japonica</i>			
CK	10.24Bc	20.48Cc	50.00Cc
T <sub>1</sub>	14.15Bbc	22.55BCc	62.75Bb
T <sub>2</sub>	18.53Bb	28.19Bb	65.73Bb
T <sub>3</sub>	37.07Aa	44.15Aa	83.96Aa
圆苞金足草 <i>Goldfussia pentstemonoides</i>			
CK	7.28Dd	41.98Cc	17.34Dd
T <sub>1</sub>	11.86Cc	59.30Bb	20.00Cc
T <sub>2</sub>	15.34Bb	63.13ABb	24.30Bb
T <sub>3</sub>	22.42Aa	69.54Aa	32.24Aa

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写和大写字母分别表示同一种类不同处理间差异显著 ( $P < 0.05$ ) 和极显著 ( $P < 0.01$ ) The different small letters and capitals in the same column mean the significant difference ( $P < 0.05$ ) and the extremely significant difference ( $P < 0.01$ ) among different treatments of same species, respectively.

<sup>2)</sup> CK: 对照,土壤相对含水量 ( $85.0 \pm 2.5$ )% The control with relative water content ( $85.0 \pm 2.5$ )% in soil; T<sub>1</sub>: 轻度干旱,土壤相对含水量 ( $67.5 \pm 2.5$ )% Light drought with relative water content ( $67.5 \pm 2.5$ )% in soil; T<sub>2</sub>: 中度干旱,土壤相对含水量 ( $50.0 \pm 2.5$ )% Moderate drought with relative water content ( $50.0 \pm 2.5$ )% in soil; T<sub>3</sub>: 重度干旱,土壤相对含水量 ( $32.5 \pm 2.5$ )% Heavy drought with relative water content ( $32.5 \pm 2.5$ )% in soil.

<sup>3)</sup> 需水程度 = (自然饱和亏/临界饱和亏) × 100% Water requirement = (Natural saturation deficit/critical saturation deficit) × 100%.

在轻度和中度干旱胁迫条件下,与对照相比,圆苞金足草叶片中的自由水含量分别下降了24.33%和31.63%,其叶片中束缚水含量分别增加了101.64%和123.54%,均有极显著差异,但轻度与中度干旱处理组间差异不显著;而圆苞金足草叶片中束缚水与自由水的含量比值虽较对照分别增加了172.73%和236.36%,但差异不显著。而在重度干旱条件下,圆苞金足草叶片中自由水含量、束缚水含量和束缚水与自由水的含量比值与其他处理组间有极显著差异。

实验结果表明:在轻度和中度干旱条件下,九头狮子草叶片中自由水含量下降幅度较小,自由水向束缚水转化率低;而圆苞金足草则对轻度干旱胁迫有一定的响应,自由水含量下降幅度较大,自由水向束缚水转化率高;九头狮子草叶片中束缚水与自由水含量比值的增加幅度也低于圆苞金足草。由此可见,在轻度和中度干旱条件下,圆苞金足草较九头狮子草具有一定的耐旱优势。

2.2.3 对叶片水势的影响 经不同程度土壤干旱胁迫处理后九头狮子草和圆苞金足草叶片水势的测定

表2 土壤干旱胁迫对九头狮子草和圆苞金足草叶片中自由水和束缚水含量的影响<sup>1)</sup>Table 2 Effect of drought stress in soil on contents of free water and bound water in leaf of *Peristrophe japonica* (Thunb.) Bremek. and *Goldfussia pentstemonoides* Nees<sup>1)</sup>

处理 <sup>2)</sup> Treatment <sup>2)</sup>	自由水含量/% Content of free water	束缚水含量/% Content of bound water	束缚水与自由水的含量比值 Content ratio of bound water to free water
九头狮子草 <i>Peristrophe japonica</i>			
CK	74.72Aa	6.13Bb	0.08Bc
T <sub>1</sub>	67.37ABa	11.21ABb	0.17Bbc
T <sub>2</sub>	65.09ABab	11.86ABb	0.18Bb
T <sub>3</sub>	57.27Bb	14.44Aa	0.25Aa
圆苞金足草 <i>Goldfussia pentstemonoides</i>			
CK	64.97Aa	14.61Cc	0.22Bb
T <sub>1</sub>	49.16Bb	29.46Bb	0.60Bb
T <sub>2</sub>	44.42Bb	32.66Bb	0.74Bb
T <sub>3</sub>	24.96Cc	50.88Aa	2.04Aa

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写和大写字母分别表示同一种类不同处理间差异显著 ( $P < 0.05$ ) 和极显著 ( $P < 0.01$ ) The different small letters and capitals in the same column mean the significant difference ( $P < 0.05$ ) and the extremely significant difference ( $P < 0.01$ ) among different treatments of same species, respectively.

<sup>2)</sup> CK: 对照,土壤相对含水量 ( $85.0 \pm 2.5$ )% The control with relative water content ( $85.0 \pm 2.5$ )% in soil; T<sub>1</sub>: 轻度干旱,土壤相对含水量 ( $67.5 \pm 2.5$ )% Light drought with relative water content ( $67.5 \pm 2.5$ )% in soil; T<sub>2</sub>: 中度干旱,土壤相对含水量 ( $50.0 \pm 2.5$ )% Moderate drought with relative water content ( $50.0 \pm 2.5$ )% in soil; T<sub>3</sub>: 重度干旱,土壤相对含水量 ( $32.5 \pm 2.5$ )% Heavy drought with relative water content ( $32.5 \pm 2.5$ )% in soil.

结果见表3。由表3可以看出:随土壤干旱胁迫程度的加剧,供试2种植物叶片的最高水势和最低水势均逐渐下降,但下降幅度有一定差异。

在轻度、中度和重度干旱条件下,九头狮子草叶片的最高水势分别为-1.12、-1.35和-1.59 MPa,较对照分别下降250%、325%和400%;而其叶片最低水势分别为-1.30、-1.38和-1.70 MPa,较对照分别下降300%、325%和425%。各处理组的最高水势和最低水势均与对照有显著差异,但轻度与中度干旱处理组间差异不显著。

在轻度、中度和重度干旱条件下,圆苞金足草叶片的最高水势分别为-0.72、-0.96和-1.12 MPa,分别比对照下降50%、100%、133%;其最低水势分别为-1.30、-1.62和-1.78 MPa,分别比对照下降167%、233%和267%。其中度和重度干旱处理组的最高水势与对照有显著差异,而各处理组的最低水势与对照均有显著差异。

对比来看,随干旱程度的加剧,九头狮子草叶片最高水势和最低水势的降幅均大于圆苞金足草。

表 3 土壤干旱胁迫对九头狮子草和圆苞金足草叶片水势的影响<sup>1)</sup>  
Table 3 Effect of drought stress in soil on water potential of leaf of *Peristrophe japonica* (Thunb.) Bremek. and *Goldfussia pentstemonoides* Nees<sup>1)</sup>

处理 <sup>2)</sup> Treatment <sup>2)</sup>	水势/MPa Water potential	
	最高 Maximum	最低 Minimum
九头狮子草 <i>Peristrophe japonica</i>		
CK	-0.32a	-0.32a
T <sub>1</sub>	-1.12b	-1.29b
T <sub>2</sub>	-1.35bc	-1.37b
T <sub>3</sub>	-1.59c	-1.70c
圆苞金足草 <i>Goldfussia pentstemonoides</i>		
CK	-0.47a	-0.49a
T <sub>1</sub>	-0.72ab	-1.30b
T <sub>2</sub>	-0.96bc	-1.62c
T <sub>3</sub>	-1.12c	-1.78c

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示同一种类不同处理组间差异显著 ( $P < 0.05$ ) The different small letters in the same column mean the significant difference ( $P < 0.05$ ) among different treatments of same species.

<sup>2)</sup> CK: 对照, 土壤相对含水量 (85.0±2.5)% The control with relative water content (85.0±2.5)% in soil; T<sub>1</sub>: 轻度干旱, 土壤相对含水量 (67.5±2.5)% Light drought with relative water content (67.5±2.5)% in soil; T<sub>2</sub>: 中度干旱, 土壤相对含水量 (50.0±2.5)% Moderate drought with relative water content (50.0±2.5)% in soil; T<sub>3</sub>: 重度干旱, 土壤相对含水量 (32.5±2.5)% Heavy drought with relative water content (32.5±2.5)% in soil.

2.2.4 对渗透调节物质含量的影响 经不同程度土壤干旱胁迫处理后九头狮子草和圆苞金足草叶片中脯氨酸、可溶性糖和可溶性蛋白质含量的测定结果见表 4。由表 4 可见: 在轻度、中度和重度干旱条件下, 随土壤干旱程度的加剧, 供试 2 种植物叶片中脯氨酸和可溶性糖含量均逐渐增加且均高于对照, 而可溶性蛋白质含量则逐渐降低且总体上低于对照。

在轻度和中度干旱条件下, 九头狮子草叶片中脯氨酸含量均高于对照但差异不显著; 但在重度干旱胁迫条件下, 其叶片中脯氨酸含量激增至对照的 5.05 倍, 与对照和其他处理组均有显著差异。在轻度干旱条件下, 圆苞金足草叶片中脯氨酸含量高于对照但差异不显著; 而在中度和重度干旱条件下, 圆苞金足草叶片中脯氨酸含量分别为对照的 1.68 倍和 2.03 倍, 均与对照有显著差异。相比较而言, 随土壤干旱胁迫程度的加剧, 九头狮子草叶片中脯氨酸含量的增幅明显高于圆苞金足草, 因而前者更易受到外界不良影响的影响。

随土壤干旱胁迫程度的加剧, 供试 2 种植物叶片中可溶性糖含量均呈逐渐增加的趋势。在轻度、中度和重度干旱条件下, 九头狮子草叶片中可溶性糖含量分别为对照的 1.37 倍、1.52 倍和 2.02 倍, 圆苞金足

草叶片中可溶性糖含量分别为对照的 1.12 倍、1.30 倍和 2.22 倍; 二者的可溶性糖含量在轻度干旱条件下均与对照无显著差异, 而在重度干旱条件下与对照有显著差异。这一现象说明供试的 2 种植物均可通过提高可溶性糖含量来维持细胞的渗透平衡、增加防御干旱逆境的能力; 而在重度干旱条件下圆苞金足草的可溶性糖含量明显高于九头狮子草, 因此在防御干旱逆境方面前者具有一定优势。

表 4 土壤干旱胁迫对九头狮子草和圆苞金足草叶片中脯氨酸、可溶性糖和可溶性蛋白质含量的影响<sup>1)</sup>

Table 4 Effect of drought stress in soil on contents of proline, soluble sugar and soluble protein in leaf of *Peristrophe japonica* (Thunb.) Bremek. and *Goldfussia pentstemonoides* Nees<sup>1)</sup>

处理 <sup>2)</sup> Treatment <sup>2)</sup>	脯氨酸 含量/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ Proline content	可溶性糖 含量/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ Soluble sugar content	可溶性蛋白质 含量/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ Soluble protein content
	九头狮子草 <i>Peristrophe japonica</i>		
CK	53.64b	71.48b	22.12a
T <sub>1</sub>	55.32b	98.26b	22.49a
T <sub>2</sub>	82.65b	108.51ab	21.15b
T <sub>3</sub>	270.89a	144.68a	19.92c
圆苞金足草 <i>Goldfussia pentstemonoides</i>			
CK	20.43b	86.46c	19.31a
T <sub>1</sub>	26.48b	96.72bc	18.78ab
T <sub>2</sub>	34.27a	112.71b	18.60b
T <sub>3</sub>	41.42a	191.71a	17.59c

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示同一种类不同处理组间差异显著 ( $P < 0.05$ ) The different small letters in the same column mean the significant difference ( $P < 0.05$ ) among different treatments of same species.

<sup>2)</sup> CK: 对照, 土壤相对含水量 (85.0±2.5)% The control with relative water content (85.0±2.5)% in soil; T<sub>1</sub>: 轻度干旱, 土壤相对含水量 (67.5±2.5)% Light drought with relative water content (67.5±2.5)% in soil; T<sub>2</sub>: 中度干旱, 土壤相对含水量 (50.0±2.5)% Moderate drought with relative water content (50.0±2.5)% in soil; T<sub>3</sub>: 重度干旱, 土壤相对含水量 (32.5±2.5)% Heavy drought with relative water content (32.5±2.5)% in soil.

在轻度干旱条件下, 九头狮子草叶片中可溶性蛋白质含量略高于对照, 而圆苞金足草叶片中可溶性蛋白质含量则略低于对照, 但二者与对照均无显著差异; 在中度和重度干旱条件下, 九头狮子草叶片中可溶性蛋白质含量分别比对照下降 4.41% 和 9.96%, 圆苞金足草叶片中可溶性蛋白质含量分别比对照下降 3.66% 和 8.89%, 与对照均有显著差异。说明干旱胁迫对供试 2 种植物体内的蛋白质合成或分解均有一定影响; 但胁迫初期这种影响并不明显, 随干旱胁迫程度的加剧, 影响程度明显增大, 可溶性蛋白质含量显著低于对照。虽然九头狮子草叶片可溶性蛋

白质含量本底值较高,但在土壤干旱胁迫条件下其可溶性蛋白质含量的降幅比圆苞金足草稍大,因此九头狮子草的抗旱性稍弱于圆苞金足草。

### 3 讨论和结论

水分缺乏会导致植物生理干旱、影响植物的生理特性<sup>[9]</sup>,常用水分饱和亏这一指标衡量植物耐旱性<sup>[10]</sup>。在土壤水分含量相同的条件下,自然饱和亏越大,表示植物体内水分亏缺越严重;临界饱和亏越大,表示植物抗脱水能力越强<sup>[11]</sup>。本实验结果表明:在相同的土壤干旱条件下,九头狮子草的自然饱和亏均大于圆苞金足草、其临界饱和亏均小于圆苞金足草,说明在土壤干旱条件下前者水分亏缺严重且耐脱水能力弱于后者,需水程度大且耐旱能力弱于后者。

束缚水和自由水的含量比值是衡量植物生理活性的指标之一。通常耐旱植物具有较高的束缚水含量以及束缚水和自由水含量比值<sup>[12]</sup>。在轻度和中度干旱条件下,九头狮子草叶片中自由水含量降幅较小,自由水向束缚水的转化率较低;而在轻度干旱条件下,圆苞金足草叶片中自由水含量降幅较大,自由水向束缚水转化率较高,对干旱胁迫有明显响应。相比较而言,在轻度和中度干旱条件下,圆苞金足草较九头狮子草具有一定的耐旱优势。这种状况也可通过束缚水和自由水含量比值的大小反映出来。通常较耐旱的种类能维持适当的自由水与束缚水比例,而耐旱性较弱的种类自由水与束缚水含量比值向自由水急剧减少的方向变动<sup>[13]</sup>。在轻度和中度干旱条件下,圆苞金足草的自由水与束缚水含量比值与对照无明显差异,反映出其具有较强的抗旱能力。

水势是反映植物被动吸水能力的一个生理指标<sup>[14]</sup>,水势越低则植物的被动吸水能力越强,反之则被动吸水能力越弱。在本研究中,随土壤干旱胁迫程度的加剧,九头狮子草叶片最高水势和最低水势的降幅均大于圆苞金足草,表明在干旱环境下其水分消耗较大,较低的水势有利于九头狮子草从外界环境中吸收水分以维持正常生理代谢活动;在持续干旱且不能及时补充水分的条件下,九头狮子草的正常生理代谢受到影响甚至死亡,这也说明其耐旱能力较弱。而圆苞金足草叶片的水势降幅小于九头狮子草,说明其水分消耗量较小、有较强的耐旱能力。这一研究与张友焱等<sup>[15]</sup>和李秀媛等<sup>[16]</sup>对其他植物的研究结果一致。

可溶性糖是植物在干旱胁迫时普遍积累的渗透调节物质,以提高植物细胞液浓度、降低渗透压,使植物保水力提高以适应干旱环境<sup>[17-20]</sup>。本实验结果表明:随土壤干旱胁迫程度的增加,九头狮子草与圆苞金足草叶片中可溶性糖含量均明显增加,尤其在重度干旱条件下供试2种植物叶片中可溶性糖含量均为对照的2倍以上,说明可溶性糖含量增加也是供试2种植物防御干旱逆境的生理反应之一。

对于干旱胁迫下脯氨酸积累的生理功能不同学者存在分歧。虽然一些研究者认为脯氨酸作为植物体内活性氧的非酶清除剂之一,其积累指数与植物抗逆性有关<sup>[17,19,21-22]</sup>;但也有研究者指出脯氨酸积累更适宜作为胁迫敏感性的指标,即在同一胁迫条件下,耐性强的植物脯氨酸积累较少,而敏感植物脯氨酸积累较多<sup>[23-24]</sup>。在土壤干旱条件下九头狮子草叶片中脯氨酸含量均明显高于圆苞金足草,说明前者对干旱胁迫的敏感性可能高于后者,而圆苞金足草叶片中脯氨酸含量的变化幅度相对较小,其耐旱性则较强。

对干旱条件下植物叶片可溶性蛋白质含量变化的研究很多,但不同学者持不同的观点。观点之一,可溶性蛋白质含量与植物细胞渗透势的调节有关,其维持在较高水平可有助于植物细胞维持较低的渗透势,抵抗干旱胁迫的伤害<sup>[25]</sup>,即耐旱性强的植物可溶性蛋白质含量较高;观点之二,在干旱条件下植物体内蛋白质的分解速率大于其合成速率,可溶性蛋白质含量水平下降<sup>[12,26-28]</sup>;观点之三,植物的耐旱性与可溶性蛋白质的绝对含量无相关性,仅与干旱胁迫后可溶性蛋白质含量的变幅有关,即耐旱性强的植物其体内可溶性蛋白质含量维持在比较稳定的水平<sup>[29-31]</sup>。本研究结果表明:在轻度土壤干旱胁迫条件下虽然九头狮子草叶片中可溶性蛋白质含量稍有增加,但随胁迫程度的加剧其含量逐渐递减;而随胁迫程度加剧圆苞金足草叶片中可溶性蛋白质含量逐渐递减,说明干旱胁迫对2种植物体内蛋白质的合成或分解均有一定影响,且这种影响与胁迫程度相关。虽然九头狮子草本身可溶性蛋白质含量高于圆苞金足草,但其降幅略大于圆苞金足草,因此九头狮子草的耐旱性也小于圆苞金足草。此结果也印证了上述的观点之三。

土壤干旱胁迫对九头狮子草和圆苞金足草的外部形态有影响,这种影响因胁迫程度和植物种类的不同而有差异,并随胁迫程度的加剧呈现加重趋势,且与生理指标的变化趋势基本一致。综合田间观察与

生理指标的测定结果可见:九头狮子草与圆苞金足草对土壤干旱胁迫均有一定的生理响应,从各项生理指标的变化看,圆苞金足草的耐旱性强于九头狮子草,在干旱环境中九头狮子草更易受到伤害。从栽培角度看,九头狮子草栽植土壤的相对含水量应不低于(67.5±2.5)%,而圆苞金足草栽植土壤的相对含水量在(50.0±2.5)%较为适宜。2种植物对土壤干旱的耐受极限为土壤相对含水量(32.5±2.5)%,因此,在这2种植物的栽培中,除施肥除草等相应的管理措施外,还应加强水分管理。在夏季高温少雨条件下,对九头狮子草应及时补充水分,尤其应注重栽植于阳光充足环境中的植株的水分供应,以满足其生理代谢的需要。通过科学栽培与管护,九头狮子草与圆苞金足草可以成为西安地区较好的园林绿化新品种。

#### 参考文献:

- [1] 孙景宽,张文辉,刘新成. 干旱胁迫对沙枣和孩儿拳头的生理特性的影响[J]. 西北植物学报, 2008, 28(9): 1868-1874.
- [2] 王爱英,蒋艳娟,郝广友,等. 季节性干旱胁迫对石灰山三种常绿优势树种的水分和光合生理的影响[J]. 云南植物研究, 2008, 30(3): 325-332.
- [3] 李芳兰,包维楷,吴宁. 白刺花幼苗对不同强度干旱胁迫的形态与生理响应[J]. 生态学报, 2009, 29(10): 5406-5415.
- [4] 孙景波,孙广玉,刘晓东,等. 盐胁迫对桑树幼苗生长、叶片水分状况和离子分布的影响[J]. 应用生态学报, 2009, 20(3): 543-548.
- [5] 任全进,陈晓萱,于金平. 耐阴地被植物及其在园林中的应用[J]. 中国野生植物资源, 2012, 31(6): 62-68.
- [6] 高俊凤. 植物生理学实验技术[M]. 西安:世界图书出版公司, 2000: 15-16.
- [7] 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.
- [8] 张志良,瞿伟菁. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社, 2003: 7-8.
- [9] GUO W H, LI B, HUANG Y M, et al. Effects of different water stresses on eco-physiological characteristics of *Hippophae rhamnoides* seedlings[J]. Acta Botanica Sinica, 2003, 45(10): 1238-1244.
- [10] SCHONFELD M A, JOHNSON R C, CARVER B F, et al. Water relations in winter wheat as drought resistance indicators[J]. Crop Science, 1988, 28(3): 526-531.
- [11] 颜淑云,周志宇,邹丽娜,等. 干旱胁迫对紫穗槐幼苗生理生化特性的影响[J]. 干旱区研究, 2011, 28(1): 139-145.
- [12] 黄子琛. 干旱对固沙植物的水分平衡和氮素代谢的影响[J]. 植物学报, 1979, 21(4): 314-319.
- [13] ВАСИЛЬБЕВА Н Т. 论植物叶片中自由水和束缚水的比例与植物抗旱性的关系[J]. 植物生理学通讯, 1956, 2(3): 50-53.
- [14] 付爱红,陈亚宁,李卫红,等. 干旱、盐胁迫下的植物水势研究与进展[J]. 中国沙漠, 2005, 25(5): 744-749.
- [15] 张友焱,周泽福,党宏忠,等. 毛乌素沙地油蒿不同生长期的枝条水势和叶片气体交换特性[J]. 植物资源与环境学报, 2010, 19(3): 17-22.
- [16] 李秀媛,刘西平, DUONG H, 等. 美国海滨柃木和薄叶柃木水分生理特性的比较[J]. 植物生态学报, 2011, 35(1): 73-81.
- [17] 孙国荣,张睿,姜丽芬,等. 干旱胁迫下白桦(*Betula platyphylla*)实生苗叶片的水分代谢与部分渗透调节物质的变化[J]. 植物研究, 2001, 21(3): 413-415.
- [18] 孙存华,李扬,贺鸿雁,等. 藜对干旱胁迫的生理生化反应[J]. 生态学报, 2005, 25(10): 2556-2561.
- [19] 刘瑞香,杨劫,高丽. 中国沙棘和俄罗斯沙棘叶片在不同土壤水分条件下脯氨酸、可溶性糖及内源激素含量的变化[J]. 水土保持学报, 2005, 19(3): 148-169.
- [20] 刘长成,刘玉国,郭柯. 四种不同生活型植物幼苗对喀斯特生境干旱的生理生态适应性[J]. 植物生态学报, 2011, 35(10): 1070-1082.
- [21] 李海亮,赵庆芳,王秀春,等. 兰州市大气污染对绿化植物生理特性的影响[J]. 西北师范大学学报:自然科学版, 2005, 41(1): 55-57.
- [22] 陶玲,任珺,杜忠. 二氧化硫对绿化树种生理指标的影响[J]. 环境化学, 2007, 26(5): 710-711.
- [23] 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.
- [24] 颌建明,郁继华,颌敏华,等. 低温弱光下辣椒3种渗透调节物质含量变化及其与品种耐性的关系[J]. 西北植物学报, 2009, 29(1): 105-110.
- [25] 张莉,续九如. 水分胁迫下刺槐不同无性系生理生化反应的研究[J]. 林业科学, 2003, 39(4): 162-167.
- [26] DHINDSA R S, BEWLEY J D. Water stress and protein synthesis V. Protein synthesis, protein stability, and membrane permeability in a drought-sensitive and a drought-tolerant moss [J]. Plant Physiology, 1977, 59: 295-300.
- [27] BARNETT N M, NAYLOR A W. Amino acid and protein metabolism in bermuda grass during water stress[J]. Plant Physiology, 1966, 41: 1222-1230.
- [28] 韩苗苗,张仁和,朱永波,等. 不同玉米品种对干旱胁迫的响应[J]. 种子, 2008, 27(10): 49-55.
- [29] 魏良民. 几种旱生植物碳水化合物和蛋白质变化的研究[J]. 干旱区研究, 1991, 8(4): 38-41.
- [30] 陈立松,刘星辉. 水分胁迫对荔枝叶片氮和核酸代谢的影响及其与抗旱性的关系[J]. 植物生理学报, 1999, 25(1): 49-56.
- [31] 王俊刚,陈国仓,张承烈. 水分胁迫对2种生态型芦苇(*Phragmites communis*)的可溶性蛋白含量、SOD、POD、CAT活性的影响[J]. 西北植物学报, 2002, 22(3): 561-565.

(责任编辑:惠红)