



文章编号: 1000-4025(2009)07-1387-07 \*

## 土壤干旱对 2 个种源野生酸枣 幼苗生长和生理特性的影响

贺少轩<sup>1</sup>, 梁宗锁<sup>1,2\*</sup>, 蔚丽珍<sup>3</sup>, 周自云<sup>1</sup>

(1 西北农林科技大学 生命科学学院, 陕西杨陵 712100; 2 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西杨陵 712100; 3 西北农林科技大学 园艺学院, 陕西杨陵 712100)

**摘要:**以采自陕西杨陵和安塞的 2 个 1 年生酸枣幼苗为材料, 采用盆栽称重控水法研究了中度和重度土壤干旱胁迫对它们生长和生理特性的影响。结果表明, 不同程度的水分胁迫均使 2 种源酸枣新生侧枝长度受到极显著抑制, 其苗高和基径也受到一定程度抑制, 同时分别使叶片相对含水量和水分饱和亏有一定程度的降低和升高; 2 种源酸枣叶片的叶绿素 a 含量在各水分胁迫均极显著降低, 它们的总叶绿素含量也在重度干旱下显著降低; 随土壤干旱胁迫时间的延续, 2 种源酸枣叶片保护酶 SOD、CAT、APX 活性上下波动, 其脯氨酸和可溶性糖含量逐渐升高, 而超氧阴离子含量在较低水平下波动, 丙二醛含量逐渐降低。杨陵酸枣在土壤水分较好的条件下表现良好, 而安塞酸枣则具有更强的适应旱生能力。研究发现, 在不同程度的土壤干旱胁迫下, 2 个种源酸枣的生长均受到一定程度的抑制, 但它们均能调节自身的保护酶系统活性和渗透调节物质含量来减轻干旱伤害, 维持植物体的正常生理代谢功能, 表现出较强的抗旱耐旱能力。

**关键词:**酸枣; 种源; 土壤干旱; 生长; 生理特征

**中图分类号:** Q945.78      **文献标识码:** A

## Growth and Physiological Characteristics of Wild Sour Jujube Seedlings from Two Provenances under Soil Water Stress

HE Shao-xuan<sup>1</sup>, LIANG Zong-suo<sup>1,2\*</sup>, YU Li-zhen<sup>3</sup>, ZHOU Zi-yun<sup>1</sup>

(1 College of Life Sciences, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2 Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3 College of Horticulture, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** With two provenances of one-year-old wild sour jujube seedlings, named as "SY" from Yangling and "SA" from Ansai in Shaanxi, the effects of water stress on growth and physiological characteristics were studied with controlling water by potted planting. The results showed that water stress decreased the height, basal diameter and newborn lateral branch, and decreased the contents of chlorophyll a (Chl a), chlorophyll b (Chl b) and relative water content (RWC) of leaves on two provenances of seedlings. With the stretch of stress, the activities of protective enzyme, including superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and ascorbate peroxidase (APX), are in the state of fluctuation, proline and soluble sugar contents increased slowly, which kept superoxide anion ( $O_2^-$ ) down in a low level, and malondialdehyde (MDA) content decreased. The SY seedling showed better under adequate soil water content, and the SA seedling showed better drought-adaptability potential. Both of them were drought-resistant.

\* 收稿日期: 2008-12-01; 修改稿收到日期: 2009-04-27

基金项目: 中国科学院知识创新项目 (KZCX2-XB2-05-01) 资助

作者简介: 贺少轩 (1983-), 男 (汉族), 在读硕士研究生, 主要从事植物水分与抗旱生理研究。E-mail: xuanaSA003@yahoo.com.cn

\* 通讯作者: 梁宗锁, 教授, 博士生导师, 主要从事植物水分与抗旱生理研究。E-mail: Liangzs@ms.iswc.ac.cn

**Key words** :sour jujube ;provenance ;water stress ;growth ;physiological characteristic

对黄土高原的研究和实践均已证明,大面积有效的人工林建设在黄土高原水土流失综合治理和西部生态环境建设中已经和正在发挥着重要的作用,然而干旱缺水则是提高黄土高原区造林成活率的主要限制性因素<sup>[1]</sup>。大量的研究表明<sup>[2,3]</sup>,干旱对植物最明显的外在生理效应是生长受抑,而在细胞水平上则最先体现在膜系统结构和功能的破坏。逆境条件下,植物体内自由基的大量产生引发的膜脂过氧化是导致植物组织伤害和衰老的重要诱因。但植物在水分胁迫时可以通过调节体内的一系列生理生化反应或改变物质的代谢而产生一定的适应性变化。如调整植物体内保护酶的活性并共同协调作用清除自由基,保护细胞膜免遭氧化伤害;或增加渗透调节物质的含量,降低细胞渗透势,维持细胞膨压基本不变来保证生长及体内一系列生理生化进程的正常运转;或调整光合色素的含量及不同色素间的比值,从而保证植物生物合成等生理过程的正常进行。因此,植物在长期进化过程中演化出了一系列适应干旱的机制和策略。

酸枣(*Ziziphus jujuba* var. *spinosa*),为鼠李科枣属的一种灌木或小乔木,种仁、果肉、叶和根均可入药,能起到镇静安神、敛汗生津、养肝宁心的作用<sup>[4]</sup>,是具有较高经济价值和药用价值的野生果树资源。因其兼有良好的耐寒、耐旱、耐瘠薄性能,还是防风固沙、保持水土的先锋树种。迄今众多学者对酸枣进行过一些研究,但主要集中在酸枣仁的化学成分和药理药效方面<sup>[5-7]</sup>,而对其受水分变化的影响和抗旱机制等方面研究不多。本研究采用2个不同生态型的酸枣幼苗进行水分控制试验,测定不同种源酸枣在不同水分条件下的新生枝条、株高、基径生长,以及光合色素含量、保护酶活性和渗透调节物质变化,以揭示水分变化对酸枣幼苗生长和生理特征指标的影响以及不同种源之间抗旱性的差异,为黄土高原人工酸枣林营建、生态环境建设及优良抗旱酸枣资源的综合利用提供参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料来源

实验材料包括杨陵酸枣(SY)和安塞酸枣(SA)两个生态型。SY幼苗采自陕西杨陵区西北农林科技大学植物科学试验园北1 km处,位于北纬34°16'18",东经108°4'59",平均海拔为500.4 m;属于暖温

带半湿润气候区,夏季炎热多雨,冬季寒冷干燥,1月平均气温-1.4℃,7月平均气温26.2℃,年平均气温12.9℃,绝对最高气温42.0℃,绝对最低气温-9.4℃,年降水量637.0 mm;土壤类型主要为黄绵土。SA幼苗采自陕西延安黄土高原丘陵沟壑区的安塞县高桥乡,该区属中温带半干旱大陆性季风气候,年均日照时数2300~2570 h,年均气温8.8℃,0℃的活动积温3824.1℃·h,10℃有效积温3524.1℃·h,无霜期157 d,年均降水量490.5~663.3 mm,土壤类型为黄绵土。

### 1.2 胁迫处理

选择大小基本一致的苗木于2008年4月份植入高27 cm、上口口径35 cm、下口径22 cm的塑料桶中,每桶植3株,桶中生长介质由过筛的土和蚯蚓粪按3:1(W:W)混匀,田间持水量为24%。盆栽桶放置于中国科学院水土保持研究所透光防雨棚内。栽植苗木后,首次浇透水,使其萌芽,缓苗生长2个月,6月份进行水分处理。不浇水至土壤水分自然消耗到设定标准后,用感量为0.005 kg的电子秤称重控制土壤含水量在设定范围。试验设置3个水分处理,即控制盆中土壤含水量分别为田间持水量的75%(适宜水分,CK)、55%(中度干旱,MD)和40%(重度干旱,SD)。每处理重复6次。

### 1.3 测定指标及方法

在处理第30天,各取10株于标记处测定苗高(H,cm)、基径(D,mm)和新生侧枝长度(Lb,cm);叶绿素a(Chl a)、叶绿素b(Chl b)、总叶绿素(Chl)和类胡萝卜素(Car)含量参照李合生<sup>[8]</sup>方法测定。

从7月1日至9月15日,每隔15 d于早上取第3~5叶位成熟叶片,立即带回实验室测定有关指标。超氧化物歧化酶(SOD)采用氮蓝四唑(NBT)法测定<sup>[9]</sup>;过氧化氢酶(CAT)采用紫外吸收法测定<sup>[9]</sup>;抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性采用维生素C氧化法<sup>[10]</sup>;丙二醛含量(MDA)采用硫代巴比妥酸法测定<sup>[11]</sup>;超氧阴离子(O<sub>2</sub><sup>-</sup>)含量测定采用盐酸羟胺法<sup>[12]</sup>;叶片相对含水量(RWC)采用烘干法测定<sup>[11]</sup>,水分饱和亏(WSD)=1-RWC;可溶性糖含量测定采用苯酚法测定<sup>[11]</sup>;游离脯氨酸含量采用茚三酮-酸性茚三酮比色法<sup>[13]</sup>。

### 1.4 数据分析

试验数据用Excel 2003整理,用DPS 7.55数

据分析软件进行统计分析、新复极差多重比较及显著水平字母法标记。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤干旱对酸枣苗高、基径和新生侧枝长度的影响

水分胁迫对植物的影响,首先表现在对其生长的抑制,而新生枝条长度、株高和基径是反映植株生长的重要指标。从表 1 可见,水分胁迫均可极显著抑制 SY 和 SA 的新生枝条长度 ( $P < 0.01$ ),SY 的新生枝长在中度和重度胁迫下分别比对照降低了 25.7% 和 60.2%,SA 的枝条长度则分别下降了 30.8% 和 50.4%。SY 和 SA 的株高、基径均随土壤水分含量的降低而减小,但仅重度水分胁迫下的 SA 株高受到显著的抑制 ( $P < 0.05$ ),而其他处理下的株高和基径均与对照无明显差异。可见,本实验条件下,野生酸枣幼苗生长受到的抑制随水分胁迫强度的增加而增强,且新生枝长对胁迫最敏感,基茎的反应最迟钝。

### 2.2 土壤干旱对酸枣幼苗叶片相对含水量和水分饱和和亏缺的影响

表 2 表明,在不同的土壤干旱处理下,2 个种源酸枣叶片的相对含水量 (RWC) 均有不同程度的降

低,水分饱和亏 (WSD) 却同时有不同程度的升高,如在严重干旱处理下 (SD),2 种源酸枣叶片的减小最多,WSD 也最大。在同一水分条件下,随着水分胁迫时间的延续,SY 叶片 RWC 均高于同期的 SA。这说明水分胁迫引起土壤中可利用水分减少,它直接反映在叶片相对含水量的降低和水分饱和亏的增加,也在一定程度上反映出 SY 根系对水分的吸收能力要强于 SA。在整个干旱胁迫过程中,2 种源酸枣叶片相对含水量降幅不大且均能维持在较高的水平,这有利于酸枣适应干旱逆境。

### 2.3 土壤干旱对酸枣幼苗叶片光合色素含量的影响

由表 3 可见,2 个种源酸枣叶片叶绿素含量均随水分胁迫程度的加剧而有所下降,而类胡萝卜素的含量则有所上升。其中,在 MD 和 SD 处理下,SY 和 SA 叶片的叶绿素 a 含量均降低,且极显著低于对照,而同一水分处理下,SY 叶片叶绿素 a 含量均高于 SA 且差异极显著;在水分胁迫条件下,2 个种源酸枣叶片叶绿素 b 含量亦有所下降,但与对照差异均不显著,且同一水分处理下两材料间亦无显著性差异;水分胁迫均使 SY 和 SA 叶片的总叶绿素含量下降,且与对照相比,SY 叶片总叶绿素差异显著,而 SA 则表现极显著;2 个种源酸枣叶片的类

表 1 不同土壤干旱下酸枣幼苗新生侧枝长、株高和基径的变化

Table 1 Changes of length of newborn branch,height and basal diameter of wild sour jujube seedlings under different soil water stress

处理 Treatment	新生枝长 Length of newborn branch/cm		株高 Height/cm		基径 Basal diameter/mm	
	SY	SA	SY	SA	SY	SA
CK	22.6Aa	13.3Cc	33.6Aa	35.3Aa	1.6Aa	1.6 Aa
MD	16.8Bb	9.2Dd	22.7Aab	24.5Aab	1.3 Aa	1.3 Aa
SD	9.0Dd	6.6De	28.4Aab	19.7Ab	1.2 Aa	1.3Aa

注:CK. 对照;MD. 中度干旱;SD. 严重干旱;同栏中不同大小写字母分别表示处理间在 1% 和 5% 水平有显著差异。下同。

Note:CK. Control;MD. Moderate drought stress;SD. Severe drought stress;Different capital and normal letters in the same treatment mean significant difference among treatments at 1% and 5% levels, respectively. The same as follow.

表 2 不同土壤干旱下酸枣幼苗叶片相对含水量和水分饱和和亏缺的变化

Table 2 Changes of relative water content (RWC) and water saturation deficit (WSD) of wild sour jujube seedling leaves under different soil water stress/ %

种源 Provenance	处理 Treatment	7月1日 Jul.1		7月16日 Jul.16		8月15日 Aug.15		8月30日 Aug.30		9月14日 Sep.14	
		RWC	WSD	RWC	WSD	RWC	WSD	RWC	WSD	RWC	WSD
SY	CK	82.54	17.46	91.16	8.84	88.28	11.72	88.28	11.72	90.63	9.37
	MD	82.51	17.49	90.45	9.55	83.02	16.98	83.08	16.92	88.22	11.78
	SD	71.98	28.02	84.00	16.00	83.02	16.98	82.01	17.99	81.39	18.61
SA	CK	72.66	27.34	88.81	11.19	79.51	20.49	79.51	20.49	86.44	13.56
	MD	72.33	27.67	87.41	12.59	78.71	21.29	78.71	21.29	84.58	15.42
	SD	65.02	34.98	83.22	16.78	74.92	25.08	74.92	25.08	77.32	22.68

表3 不同土壤水分下酸枣叶片的光合色素含量

Table 3 The photosynthetic pigment content of wild sour jujube leaves under soil water stress

种源 Provenance	处理 Treatment	光合色素含量 Photosynthetic pigment content/ (mg · g <sup>-1</sup> FW)			
		叶绿素 a Chl a	叶绿素 b Chl b	总叶绿素 Chl (a + b)	类胡萝卜素 Car
SY	CK	1.74Aa	0.30Aa	2.05Aa	0.53Ab
	MD	1.70Bb	0.30Aab	2.00Aab	0.58Aa
	SD	1.69Bb	0.28Aab	1.97Ab	0.55Aab
SA	CK	1.62Cc	0.28Aab	1.89Bc	0.47Cc
	MD	1.52Dd	0.25Aab	1.77Cd	0.57Aa
	SD	1.50Dd	0.25Ab	1.74Cd	0.48Bc

胡萝卜素含量在不同水分胁迫下的升高幅度不同,均在 MD 处理下达到最大值,且 SY 和 SA 分别显著和极显著高于对照。

## 2.4 土壤干旱对酸枣幼苗叶片丙二醛(MDA)和超氧阴离子(O<sub>2</sub><sup>-</sup>)含量的影响

### 2.4.1 MDA 含量

如图 1 所示,2 个种源酸枣幼苗叶片 MDA 含量受干旱程度和干旱时间的影响不同,但变化趋势大体相同,即都在 7 月末有一个低值,9 月初升高到一个峰值后降低。SY 在中度和重度胁迫下的叶片 MDA 含量变化趋势一致,前期稍有升高后下降并保持在较低的水平;SA 在中度胁迫下的 MDA 含量逐渐降低,且明显低于适宜水分处理,而在重度胁迫下则表现为:前期较高,但后期大幅度降低且最终低于适宜水分处理。

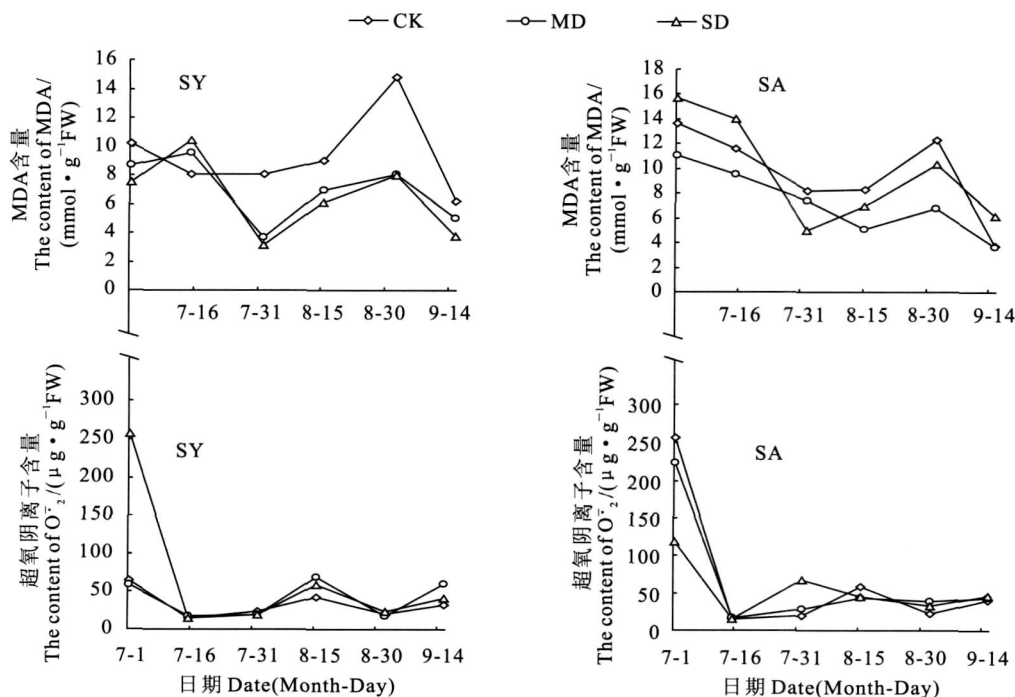
### 2.4.2 O<sub>2</sub><sup>-</sup> 含量

由图 1 还可以看出,2 个种源酸枣幼苗间以及同一个种源幼苗的 3 个土壤水分梯度间的含量变化规律相同,即随着胁迫时间的延长,均呈逐渐降低的趋势且后期在较低范围内波动。各个水分处理下的 O<sub>2</sub><sup>-</sup> 含量在持续胁迫初期较高,后期阶段均非常接近。O<sub>2</sub><sup>-</sup> 含量在胁迫后期的平稳波动,反映了 2 个种源酸枣幼苗体内活性氧的产生与其保护系统的清除之间趋于平衡。

## 2.5 土壤干旱对酸枣幼苗叶片 SOD、CAT 和 APX 活性的影响

### 2.5.1 SOD 活性

由图 2 可以看出,2 个种源酸枣幼苗间以及同一个种源的 3 个土壤水分梯度间的 SOD 活性变化规律相同,即随着胁迫时间的延长,均呈先降低后增加的趋势且差异不显著;各个水分

图 1 不同土壤水分下酸枣叶片 MDA 和 O<sub>2</sub><sup>-</sup> 含量的变化Fig. 1 Changes of MDA content and O<sub>2</sub><sup>-</sup> content in leaves of wild sour jujube under different soil water stress

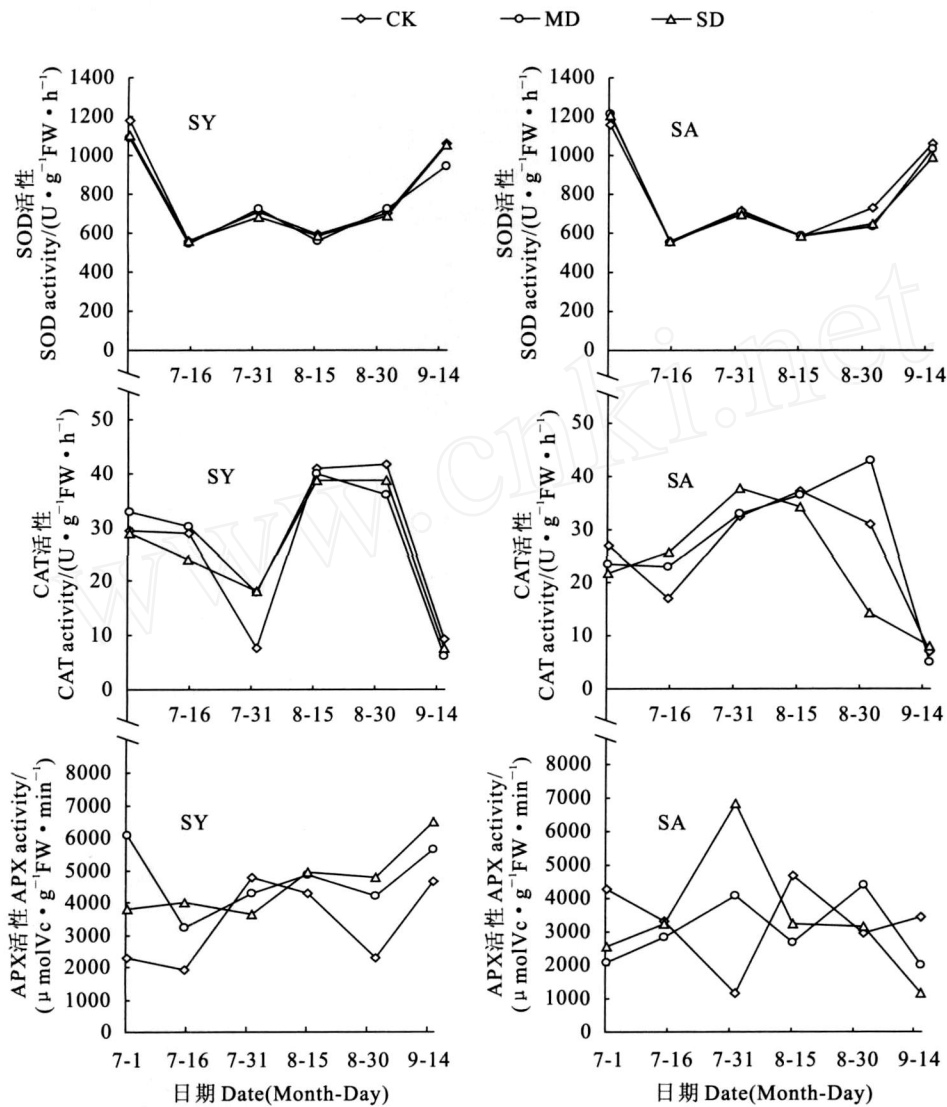


图 2 不同土壤水分下酸枣叶片 SOD、CAT 和 APX 活性变化

Fig. 2 Changes of SOD, CAT and APX activity in leaves of wild sour jujube under different soil water stress

处理下的 SOD 活性在持续胁迫期间的任一阶段均非常接近,而且在胁迫中期有上下稳定的波动。这说明在中度和重度水分胁迫下,与适宜水分处理相比,2 个种源酸枣幼苗中 SOD 的活性无显著差异,它在清除活性氧方面均起到重要的作用。

**2.5.2 CAT 活性** 2 个种源酸枣幼苗叶片 CAT 活性在不同的水分处理下随时间的变化有所不同(图 2)。SY 酸枣幼苗叶片 CAT 活性在 3 个水分处理下的变化趋势基本一致,即 CAT 活性在前期降低,进入 8 月份后逐渐升高且达到峰值,保持相对平稳后,于 9 月份开始降低;SA 酸枣幼苗叶片 CAT 活性在 3 个水分处理下的变化趋势也趋于一致,即在水分处理前期稍降低后,中期升高且出现一个峰值,后逐渐降低,且前期 CAT 活性在中度和重度胁迫下均高于适宜水分处理。这说明不同种源的酸枣幼

苗 CAT 活性对土壤干旱的响应不尽相同,SY 在中度与重度胁迫和对照无明显差异,而 SA 则仅在中度干旱下保持了较高的活性。

**2.5.3 APX 活性** 图 2 显示,不同土壤水分下 2 个种源酸枣幼苗叶片 APX 活性的变化差异较大。SY 叶片 APX 活性在中度和重度胁迫下大多数时间高于适宜水分处理,后期活性均表现出一致逐渐升高的变化趋势,且变化幅度较大;SA,叶片 APX 活性在中度和重度胁迫下的变化趋势一致,但在重度胁迫下的活性变化幅度更大且在中期出现一个峰值,而中度胁迫下活性变化幅度较小且呈双峰曲线变化。总之,2 个种源酸枣幼苗叶片中 APX 活性在水分胁迫下保持较高水平且表现出错落有序的升降变化,反映出酸枣幼苗具有很强的干旱伤害修复能力。

## 2.6 土壤干旱对酸枣幼苗叶片脯氨酸和可溶性糖含量的影响

脯氨酸是植物体内重要的渗透调节物质。正常情况下,植物体内游离脯氨酸的含量很低。在逆境胁迫下,植物体内游离脯氨酸含量的增加起到了保持细胞水分和生物大分子稳定性的作用,因而它的积累被认为是植物抗性的一个标志。如表4所示,水分胁迫导致2个种源酸枣叶片内脯氨酸大量积累,且随着胁迫程度的增强和胁迫时间的延续而逐渐增加。但2个酸枣材料叶片脯氨酸积累的绝对量明显不同,如在干旱胁迫的后期,SA叶片在各个胁迫处理下的脯氨酸积累量均大于SY,说明SA在干

旱胁迫下能更有效地积累脯氨酸含量来提高自身抗旱能力。

可溶性糖是一种植物在干旱逆境下较为有效的渗透调节物质。由表4可见,干旱胁迫使2个种源叶片的可溶性糖呈现不同程度的增加。其中,在胁迫初期可溶性糖增加较缓慢,后期其含量积累则明显加快,2个种源酸枣叶片各个水分处理的可溶性糖含量于8月16日均达到最大值,随后稍有降低。另外,MD处理下,SY酸枣在各个时期的叶片可溶性糖含量均显著高于其他处理;而在SD处理下,SA酸枣在各个时期的叶片可溶性糖含量均显著高于其他处理。

表4 不同土壤干旱胁迫下酸枣幼苗叶片的游离脯氨酸和可溶性糖含量

Table 4 The free proline content and soluble sugar content of wild sour jujube seedlings under different soil water stress

种源 Provenance	日期 Date (Month·Day)	游离脯氨酸含量 Free proline content/(mg·g <sup>-1</sup> DW)			可溶性糖含量 Soluble sugar content/(mg·g <sup>-1</sup> DW)		
		CK	MD	SD	CK	MD	SD
SY	7-1	0.293Ij	0.388Ii	0.774Ff	44.555Ee	49.322Ee	47.451Ee
	7-16	0.515Hh	0.657FGg	0.756Ff	29.372Ee	35.233Ee	33.609Ee
	7-31	0.188Jk	0.224Jjk	0.613GHg	148.792Dd	163.658CDd	156.702Dd
	8-15	1.888Ee	2.356Dd	2.561Cc	250.565Bb	323.305Aa	257.627Bb
	8-30	2.363Dd	2.684Bb	3.477Aa	157.345Dd	184.887Cc	168.644CDc
SA	7-1	0.394J Kj	0.567J Kij	0.754Ii	39.753GHij	48.333Ghi	50.805Gh
	7-16	0.692Ii	0.776Ii	0.727Ii	30.855Hj	38.125GHij	46.815Ghi
	7-31	1.318Kj	1.412Hh	1.953Gg	77.323Fg	101.088Ef	107.161Ef
	8-15	3.384Ff	3.941Ee	4.446Dd	184.887Cc	230.791Bb	270.339Aa
	8-30	5.438Cc	5.971Bb	6.761Aa	129.802De	173.588Cd	183.475Ccd

## 3 结论与讨论

### 3.1 酸枣抗旱性与生长指标的关系

土壤干旱对植物个体的形态发育具有重要影响,整体表现为抑制植物的生长。本实验结果表明,水分胁迫显著地降低了杨陵酸枣的侧枝生长,而对枝条的直立性(苗高)和基径生长无显著影响,重度胁迫则显著抑制了安塞酸枣侧枝的生长和苗高,即本实验的3个酸枣幼苗生长指标中,新生枝生长对水分胁迫的反应比株高和基径更为敏感。大量研究表明,耐旱性强的植物组织水分状况的主要特点是含水量较低,保水力强,自由水和束缚水比值高<sup>[14]</sup>。本实验中不同时期同一水分处理下2种源酸枣叶片相对含水量和水分饱和亏的结果证实,安塞酸枣叶片因其保持较低的组织含水量,反映出更强的干旱胁迫适应性;这个研究结果与种源地生态环境及酸枣幼苗的生长情况也较为一致,杨陵酸枣植株长势良好,而安塞酸枣植株则冠幅小且长势低矮。由于

本实验区设在杨陵,所以取得的结果还需要在安塞酸枣种源地做进一步的验证。

### 3.2 酸枣抗旱性与叶片光合色素的关系

大量的研究表明,水分胁迫下,植物体内活性氧的大量积累是引发叶绿素特别是特殊状态的叶绿素a降解的直接原因<sup>[15]</sup>。本试验中,2个种源酸枣叶片叶绿素a对土壤干旱的敏感性明显强于叶绿素b(叶绿素b变化幅度较小),这说明酸枣体内叶绿素a不及叶绿素b稳定,在活性氧的作用下更易于分解而遭到破坏,这与邹春静等<sup>[16]</sup>的研究结果相似。同时,杨陵酸枣叶片叶绿素a含量显著高于安塞酸枣,而2种源叶片的类胡萝卜素含量均在中度干旱胁迫处理下最高。综合以上分析可知,杨陵酸枣的光合性能优于安塞酸枣。

### 3.3 酸枣抗旱性与保护酶和渗透调节物质的关系

大量的研究证实<sup>[17-18]</sup>,抗旱性强的植物在干旱逆境下的保护酶活性能维持较高的水平,能减轻由膜脂过氧化造成的伤害;同时,在轻度和中度干旱胁

胁迫下,植物细胞会积累大量的渗透调节物质来调节细胞质的渗透势,使细胞维持一定的膨压,保持一定的气孔开度,维持正常细胞的生理代谢,由此表现出渗透调节能力。本研究发现,在水分胁迫条件下,2 种源酸枣叶片的 SOD、CAT、APX 的活性均表现出上下波动的变化趋势,从而使  $O_2^-$  含量降低并保持较低的水平上波动,这反映了酸枣体内活性氧的产生和清除两大系统之间的相互作用,也说明 2 个种源酸枣幼苗体内的保护酶系统在干旱条件下非常

活跃,从而及时地消除活性氧,维持叶片的光合、呼吸等生理代谢的正常进行。从另一方面,本研究也同样显示,2 个种源酸枣叶片游离脯氨酸含量在干旱胁迫的后期连续积累,可溶性糖也在后期加快累积,这些渗透调节物质与保护酶共同作用,使 MDA 含量在胁迫的中期和后期均呈下降趋势,从而证明渗透调节在酸枣幼苗抵抗水分胁迫中也发挥着重要的作用。

### 参考文献:

- [1] 梁宗锁,韩蕊莲. 黄土高原树木水分生理生态学特征[M]. 北京:中国林业出版社,2008:1-2.
- [2] WANG H ZH(王海珍),LIANG Z S(梁宗锁),HAN R L(韩蕊莲),HAN L(韩路). Effect of soil drought on seedling growth and dry matter allocation of four native tree species on Loess Plateau[J]. *Journal of Plant Resources and Environment* (植物资源与环境学报), 2005,14(1):10-15(in Chinese).
- [3] AN Y Y(安玉艳),LIANG Z S(梁宗锁),HAN R L(韩蕊莲),et al. Effect of soil drought on seedling growth and water metabolism of three tree species in Loess Plateau[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.* (西北植物学报),2007,27(1):91-97(in Chinese).
- [4] LI H J(李会军),LI P(李萍),YU G D(余国冀). Advance of research and prospect of development of *Zizyphus jujuba* var. *spinosa* (Bunge) Hu ex H F Chow[J]. *Chinese Wild Plant Resources* (中国野生植物资源),1999,18(3):15-19(in Chinese).
- [5] WANG SH Y(王身艳),LIU Q F(刘清飞),QIN M ZH(秦明珠). Study progresses of semen,folium,fructus and radix *Zizyphi spinosae* [J]. *Chinese Traditional Patent Medicine* (中成药),2000,22(11):794-796(in Chinese).
- [6] PENG ZH C(彭智聪),ZHU J J(朱建军). Advances in study on chemical constituents and pharmacological effects of semen *Zizyphi spinosae*[J]. *Lishizhen Medicine and Materia Medica Research* (时珍国医国药),2001,12(1):86-87(in Chinese).
- [7] PENG SH X(彭善祥). The results of chemical constituents and pharmacological activity of semen *Zizyphi spinosae*[J]. *Guide of China Medicine* (中国医药指南),2009,7(4):46-47(in Chinese).
- [8] 李合生,孙群,赵世杰,章文华. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000:119-263.
- [9] 赵世杰,刘华山,董新纯. 植物生理实验指导[M]. 北京:中国农业出版社,1997:152-154;161-163.
- [10] SUN Y(孙云),JIANG CH L(江春柳),LAI ZH X(赖钟雄),et al. Determination and observation of the changes of the ascorbate peroxidase activities in the fresh leaves of tea plants[J]. *Chinese Journal of Tropical Crop* (热带作物学报),2008,29(5):562-563(in Chinese).
- [11] 高俊凤. 植物生理学实验技术[M]. 世界图书出版公司,2000:921.
- [12] 中国科学院上海植物生理研究所. 现代植物生理学实验指南[M]. 上海:科学出版社,1999.
- [13] 张宪政. 作物生理研究法[M]. 北京:农业出版社,1992:208-212.
- [14] SUN J K(孙景宽),ZHANG W H(张文辉),LIU X CH(刘新成). Physiological characteristics of *Elaeagnus angustifolia* and *Grewia biloba* G. Don var. *parviflora* seedlings under drought stress[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.* (西北植物学报),2008,28(9):1868-1874(in Chinese).
- [15] FAN W G(樊卫国),LIU G Q(刘国琴),HE S T(何嵩涛),et al. Physiological response to soil drought stress in *Rosa roxburghii*[J]. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学),2002,35(10):1243-1248(in Chinese).
- [16] ZOU CH J(邹春静),HAN SH J(韩士杰),XU W D(徐文铎),et al. Eco-physiological responses of *Picea mongolica* ecotypes to drought stress[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报),2003,14(9):1446-1450(in Chinese).
- [17] SHI ZH J(时忠杰),DU A P(杜阿朋),HU ZH S(胡哲森),et al. Effect of soil water stress on active oxygen metabolism of Chestnut seedling leaves[J]. *Forest Research* (林业科学研究),2007,20(5):683-687(in Chinese).
- [18] KE SH S(柯世省),YANG M W(杨敏文). Effects of water stress on antioxidant system and lipid peroxidation in leaves of *Rhododendron fortunei*[J]. *Acta Horticulturae Sinica* (园艺学报),2007,34(5):1217-1222(in Chinese).