

# 干旱胁迫对大丽花生理生化指标的影响\*

范苏鲁<sup>1,2</sup> 苑兆和<sup>1\*\*</sup> 冯立娟<sup>1</sup> 王晓慧<sup>1,2</sup> 丁雪梅<sup>1,2</sup> 甄红丽<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup> 山东省果树研究所, 山东泰安 271000; <sup>2</sup> 山东农业大学林学院, 山东泰安 271018)

**摘要** 以大丽花品种‘粉西施’扦插苗为试材,研究不同程度干旱胁迫及复水处理对大丽花品种‘粉西施’叶片生理生化指标的影响.结果表明:随着干旱胁迫程度的增加和时间的延长,大丽花叶片的相对含水量、水势和叶绿素含量显著下降;叶片相对电导率、丙二醛含量显著增加,质膜遭到损害,大量离子外渗,严重胁迫下质膜的损害最严重,复水后无法恢复到对照水平;可溶性糖、脯氨酸含量显著增加,脯氨酸含量在中度和重度胁迫后期增加显著,说明其对干旱亏缺的敏感性较低;可溶性蛋白呈降-升-降的变化趋势;抗氧化酶 SOD、POD 和 CAT 活性先上升后下降,3 种酶对干旱胁迫和活性氧的响应存在一定差异,表现为相互协调的作用.

**关键词** 大丽花 干旱胁迫 抗旱性 生理变化

**文章编号** 1001-9332(2011)03-0651-07 **中图分类号** S682.2 **文献标识码** A

**Effects of drought stress on physiological and biochemical parameters of *Dahlia pinnata*.** FAN Su-lu<sup>1,2</sup>, YUAN Zhao-he<sup>1</sup>, FENG Li-juan<sup>1</sup>, WANG Xiao-hui<sup>1,2</sup>, DING Xue-mei<sup>1,2</sup>, ZHEN Hong-li<sup>1,2</sup> (<sup>1</sup>Shandong Institute of Pomology, Tai'an 271000, Shandong, China; <sup>2</sup>College of Forestry, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, Shandong, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2011, 22(3): 651-657.

**Abstract:** Taking *Dahlia pinnata* ‘Fenxishi’ as test material, this paper studied its leaf physiological and biochemical responses to different degrees of drought stress and re-watering. With the increasing extent and duration of drought stress, the leaf relative water content, water potential, and chlorophyll content of *D. pinnata* ‘Fenxishi’ decreased significantly, leaf relative electric conductivity and malondialdehyde (MDA) content had a significant increase, plasma membrane was damaged, and massive ions were leaked out. The damage of plasma membrane was most serious under severe stress, and could not recover to the control level after re-watering. The leaf soluble sugar and proline contents also increased significantly with increasing extent and duration of drought stress. Especially for proline content, it was increased significantly in the later period of moderate and severe stresses, suggesting its lower sensitivity to water deficit. The leaf soluble protein content had a trend of down-up-down, while the activities of superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD) and catalase (CAT) decreased after an initial increase. There were some differences in the responses of the three enzymes to drought stress and reactive oxygen, exhibiting their coordinating role.

**Key words:** *Dahlia pinnata*; drought stress; drought resistance; physiological change.

大丽花(*Dahlia pinnata*)原产于墨西哥、危地马拉及哥伦比亚一带,是菊科大丽花属的多年生球根草本花卉,花期长,色彩绮丽,具有极高的观赏价值<sup>[1]</sup>.目前对大丽花的研究主要集中在栽培技术<sup>[2]</sup>、花芽分化<sup>[3]</sup>、品种资源与分类<sup>[4]</sup>、组织培养技术<sup>[5]</sup>、突变体<sup>[6]</sup>和病虫害防治<sup>[7]</sup>等方面,对大丽花在水分胁迫下反应机理方面的研究尚未见报道.

干旱是影响植物分布和生长发育的主要环境因子之一,其危害程度在诸多非生物胁迫中占首位.全球有三分之一以上的土地位于干旱半干旱地区,其他地区在作物生长季节也发生不同程度的干旱,其实质是植物缺水,即干旱胁迫<sup>[8]</sup>.研究表明,植物在逆境下(如干旱)会引起膜伤害和膜透性的增加,以及生物自由基的累积,而植物体内一系列的抗氧化酶类和小分子物质可以清除这些活性氧自由基,即植物对不良环境的适应性反应<sup>[9-10]</sup>.因此,研究干旱胁迫下植物体内抗氧化酶类活性及渗透调节物质含

\* 山东省农业良种产业化开发项目(2010-6)资助.

\*\* 通讯作者. E-mail: zhyuan88@hotmail.com

2010-09-21 收稿,2010-12-20 接受.

量的变化,是了解植物在长期进化过程中所演化出适应干旱的机制和策略的重要基础。

本研究分析了干旱胁迫下大丽花品种‘粉西施’叶片生理生化指标及抗氧化酶活性的变化,以期为今后的栽培应用及抗性品种的选育提供基础数据,为大丽花抗旱种质的改良、创新等研究提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验于2010年7-8月在山东省果树研究所观赏园艺室实验室进行。供试材料为大丽花品种‘粉西施’,4月底在山东省果树研究所苗圃扦插育苗,扦插苗长到15 cm时,选取生长健壮、长势一致的扦插苗于7月定植于塑料容器中,容器上口口径28 cm、高30 cm,每盆装基质(壤土:草炭:沙土=5:3:2)共10 kg,进行正常栽培管理。

### 1.2 试验方法

**1.2.1 试验设计** 2010年7月底进行水分胁迫,每盆充分灌溉,使土壤含水量一致,停止灌溉后等土壤自然落干进行干旱胁迫,测定的田间持水量为28.2%。试验共设4个土壤水分处理:1)正常水分处理,田间持水量的75%~80%(对照,CK);2)轻度干旱胁迫,田间持水量的55%~60%(LD);3)中度干旱胁迫,田间持水量的40%~45%(MD);4)重度干旱胁迫,田间持水量的30%~35%(SD)。每处理10盆,每盆1株。每天18:00采用称量法控制水分,在胁迫开始后的3 d、6 d、9 d、12 d、15 d和18 d(第15天采样后进行复水),每处理选取新梢3~5节位

的成熟叶片,采样后放入冰壶中,迅速带回实验室进行相关指标的测定。

**1.2.2 测定方法** 叶片相对含水量采用烘干称量法测定;叶片水势采用小液流法测定<sup>[11]</sup>;叶绿素含量采用丙酮浸提法测定<sup>[12]</sup>;叶片电解质渗透率采用电导仪法测定<sup>[12]</sup>;叶片丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸法测定;叶片脯氨酸含量采用磺基水杨酸提取茚三酮显色法测定<sup>[13]</sup>;叶片可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定<sup>[12]</sup>;叶片可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝G-250法测定;叶片SOD活性采用氮蓝四唑(NBT)光还原法测定;叶片POD活性采用愈创木酚法测定;叶片CAT活性采用紫外分光光度法<sup>[12]</sup>。UV-2450型紫外可见分光光度计测定吸光值,测定均重复3次。

### 1.3 数据处理

采用SPSS 17.0统计软件进行数据统计,用单因素方差分析(one-way ANOVA)和最小显著差异法(LSD)比较不同处理组数据的差异,用Pearson相关系数评价不同指标间的相关关系。

## 2 结果与分析

### 2.1 干旱胁迫下粉西施叶片水势和相对含水量的变化

由表1可以看出,随着时间的延长和胁迫程度的加深,粉西施叶片水势降低。各水分胁迫处理条件下,粉西施叶片水势均显著小于对照,重度胁迫下叶片水势较对照的降幅(1.04~1.56 MPa)高于轻度(0.25~0.73 MPa)和中度胁迫(0.79~1.21 MPa)。复水后3 d,轻度与中度胁迫下叶片水势差异不显

表1 干旱胁迫下大丽花叶片的水势和相对含水量

Table 1 Water potential and relative water content in dahlia leaves under drought stress (mean±SD)

指标 Index	处理时间 Treatment time (d)	处理 Treatment			
		CK	LD	MD	SD
水势 Water potential (MPa)	3	-0.27±0.04a	-0.52±0.10b	-1.06±0.06c	-1.31±0.06d
	6	-0.21±0.04a	-0.60±0.14b	-1.23±0.04c	-1.60±0.04d
	9	-0.23±0.04a	-0.83±0.24b	-1.37±0.06c	-1.73±0.04d
	12	-0.31±0.06a	-1.08±0.10b	-1.45±0.04c	-1.83±0.10d
	15	-0.33±0.07a	-1.06±0.16b	-1.54±0.07c	-1.89±0.04d
	18	-0.31±0.06a	-0.46±0.04b	-0.48±0.04b	-1.85±0.10c
相对含水量 Relative water content (%)	3	97.4±0.00a	93.9±0.04ab	88.4±0.06b	78.1±0.04c
	6	95.8±0.03a	92.4±0.05a	86.0±0.01b	76.9±0.01c
	9	95.7±0.03a	88.4±0.04b	85.5±0.03b	76.7±0.04c
	12	92.8±0.07a	88.3±0.05ab	83.7±0.02bc	76.1±0.03c
	15	92.8±0.07a	87.1±0.03ab	80.5±0.04bc	75.0±0.03c
	18	92.0±0.00a	91.5±0.03a	83.8±0.01b	72.8±0.03c

CK:对照 Control;LD:轻度干旱 Light drought;MD:中度干旱 Middle drought;SD:重度干旱 Serious drought。同一行不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ ) Different letters in the same line meant significant difference at 0.05 level.下同 The same below.

著, 接近对照水平 (较对照分别低 0.15 和 0.17 MPa), 重度胁迫下的叶片水势显著小于对照水平 (较对照低 1.54 MPa)。

随着时间的延长和胁迫程度的加深, 粉西施叶片相对含水量逐渐降低。水分胁迫初期 (6 d), 轻度胁迫下, 粉西施叶片相对含水量与对照的差异不显著, 中度和重度胁迫下显著小于对照。胁迫后期 (12 ~ 15 d), 中度和重度胁迫显著小于对照, 轻度与中度胁迫差异不显著, 中度与重度胁迫差异不显著。复水后, 轻度和中度胁迫条件下的叶片相对含水量升高, 对照和重度胁迫条件下降低。轻度胁迫下, 粉西施叶片相对含水量与对照差异不显著, 中度和重度仍显著小于对照。

## 2.2 干旱胁迫下粉西施叶片叶绿素含量的变化

由表 2 可以看出, 随着时间的延长和胁迫程度的加深, 粉西施叶片中叶绿素含量不断降低, 而对照水平的叶绿素含量下降幅度较小。水分胁迫下粉西施叶片叶绿素含量为轻度胁迫 > 中度胁迫 > 重度胁迫。复水后, 轻度胁迫下, 大丽花叶片叶绿素含量逐渐升高, 与对照差异不显著; 中度和重度胁迫下, 叶绿素含量均显著小于对照。

## 2.3 干旱胁迫下粉西施叶片相对电导率和丙二醛含量的变化

由表 2 可以看出, 粉西施叶片相对电导率和 MDA 含量在胁迫期间随着时间的延长逐渐升高, 均

高于对照, 增加幅度依次为重度胁迫 > 中度胁迫 > 轻度胁迫。各胁迫处理叶片相对电导率和 MDA 含量均显著高于对照。

复水后, 轻度和中度胁迫条件下, 叶片相对电导率和 MDA 含量逐渐降低。轻度胁迫下, 叶片相对电导率与对照差异不显著, 可基本恢复到对照; 中度、重度胁迫虽有所恢复, 但仍显著高于对照水平。轻度、中度胁迫条件下, 叶片中 MDA 含量接近对照水平; 重度胁迫下 MDA 含量显著高于对照。

## 2.4 干旱胁迫下粉西施叶片渗透调节物质含量的变化

随着胁迫程度的加深和时间的延长, 粉西施叶片中脯氨酸和可溶性糖含量逐渐升高, 各胁迫处理的可溶性糖和脯氨酸含量均显著大于对照 (表 3)。复水后, 轻度胁迫下, 叶片中可溶性糖含量逐渐降低, 各胁迫处理可溶性糖含量差异显著。叶片中脯氨酸含量在中度和重度胁迫下与对照差异显著。

由表 3 可以看出, 随着时间的延长和胁迫程度的加深, 粉西施叶片可溶性蛋白含量呈降-升-降的变化趋势, 胁迫处理条件下叶片可溶性蛋白含量均高于对照。在中度和重度胁迫下, 可溶性蛋白含量与对照差异显著。

## 2.5 干旱胁迫下粉西施叶片抗氧化酶活性的变化

由表 4 可知, 随着胁迫程度的加深, 粉西施叶片 SOD、POD 和 CAT 活性均呈先上升后下降的变化趋

表 2 干旱胁迫下大丽花叶片的叶绿素和丙二醛含量及相对电导率

Table 2 Chlorophyll and MDA content and relative electric conductivity in dahlia leaves under drought stress (mean±SD)

指标 Index	处理时间 Treatment time (d)	处理 Treatment			
		CK	LD	MD	SD
叶绿素含量 Chlorophyll content (mg · g <sup>-1</sup> FM)	3	3.24±0.18a	2.76±0.21ab	2.46±0.20b	2.25±0.46b
	6	2.89±0.15a	2.66±0.34a	2.43±0.19ab	2.00±0.29b
	9	2.78±0.12a	2.58±0.48a	2.37±0.37ab	1.92±0.17b
	12	2.75±0.22a	2.24±0.05b	1.92±0.25bc	1.74±0.34c
	15	2.65±0.18a	2.32±0.42ab	1.84±0.55b	1.64±0.13b
	18	2.55±0.19a	2.33±0.17a	1.80±0.09b	0.91±0.06c
相对电导率 Relative electric conductivity (%)	3	16.1±0.02c	31.4±0.02b	35.6±0.02ab	39.2±0.07a
	6	17.8±0.02b	35.9±0.04a	38.3±0.02a	42.5±0.06a
	9	21.8±0.06b	41.5±0.04a	43.5±0.07a	43.8±0.08a
	12	22.2±0.03b	44.9±0.06a	45.1±0.04a	50.6±0.08a
	15	24.3±0.02c	46.2±0.02b	50.7±0.04b	57.8±0.04a
	18	27.6±0.04c	32.4±0.03c	50.1±0.05b	57.9±0.01a
丙二醛含量 MDA content (μmol · kg <sup>-1</sup> FM)	3	2.91±0.81c	5.12±0.27b	6.41±0.61ab	6.87±1.46a
	6	3.14±1.08b	5.23±0.58b	6.77±0.62ab	7.87±0.93a
	9	4.08±0.60c	5.32±0.37bc	7.92±0.64ab	8.37±2.36a
	12	4.83±1.13c	6.62±1.35bc	8.18±1.13ab	8.81±1.03a
	15	4.85±0.74b	7.78±0.75a	8.39±1.00a	9.02±0.71a
	18	5.06±0.42b	6.76±0.32ab	7.65±0.46ab	9.46±0.64a

势. 这说明一定强度的干旱胁迫可使大丽花叶片的抗氧化酶 SOD、POD 和 CAT 活性上升; 但严重的干旱胁迫可能抑制了 SOD、POD 和 CAT 活性, 使之降低.

粉西施叶片中 SOD 活性在轻度胁迫下最大, POD 和 CAT 在中度胁迫下活性最大, 而在重度胁迫下活性均下降. 复水后各胁迫处理条件下 SOD 活性

差异显著, POD 活性各胁迫处理差异不显著. CAT 活性在中度胁迫下显著大于对照, 重度胁迫下显著小于对照, 轻度胁迫与对照差异不显著.

## 2.6 干旱胁迫下粉西施叶片各生理生化指标的相关分析

干旱胁迫下粉西施叶片各生理生化指标的相关分析结果表明(表5), 叶片相对含水量与叶绿素含

表3 干旱胁迫下大丽花叶片的可溶性糖、脯氨酸和可溶性蛋白含量

Table 3 Contents of soluble sugar, proline and soluble protein in dahlia leaves under drought stress (mean±SD)

指标 Index	处理时间 Treatment time (d)	处理 Treatment			
		CK	LD	MD	SD
可溶性糖含量 Soluble sugar content (mg · g <sup>-1</sup> FM)	3	34.25±4.42c	71.32±2.47b	74.20±4.75b	99.20±2.08a
	6	47.47±8.28c	72.76±3.55b	83.39±8.50b	106.95±2.77a
	9	51.49±3.59d	85.11±0.10c	93.74±4.98b	107.53±1.32a
	12	53.79±4.80c	96.03±8.49b	102.07±7.76ab	112.13±9.69a
	15	58.10±4.56c	100.92±9.06b	103.79±7.37b	123.33±10.26a
	18	63.85±6.47d	91.15±6.35c	107.24±3.11b	126.78±6.47a
脯氨酸含量 Proline content (μg · g <sup>-1</sup> FM)	3	23.83±1.83c	32.13±2.44bc	34.35±3.36b	49.23±2.89a
	6	24.05±7.63b	41.93±5.81a	47.80±5.73a	53.30±3.87a
	9	26.19±4.95c	47.15±2.68b	49.94±6.81ab	59.10±5.84a
	12	27.05±1.18c	54.81±9.41b	63.03±9.67b	90.00±9.32a
	15	28.13±6.17c	100.30±6.26b	120.76±4.22a	122.19±5.55a
	18	32.70±6.69c	34.21±4.54c	83.56±7.22b	122.98±9.79a
可溶性蛋白含量 Soluble protein content (μg · g <sup>-1</sup> FM)	3	24.61±1.50c	23.50±1.62c	49.35±2.19a	37.06±1.46b
	6	23.42±1.27b	19.49±2.17b	38.06±0.84a	34.25±5.83a
	9	28.62±1.16c	25.34±3.53c	49.24±2.31a	39.10±3.34b
	12	31.47±3.69c	28.12±2.73c	52.74±2.67a	39.06±3.63b
	15	31.36±3.99b	29.78±4.60b	41.22±1.28a	34.79±2.76b
	18	28.97±2.60a	26.00±1.25a	31.51±5.44a	33.53±1.47b

表4 干旱胁迫下大丽花叶片的 SOD、POD 和 CAT 活性

Table 4 Activities of SOD, POD and CAT in dahlia leaves under drought stress (mean±SD)

指标 Index	处理时间 Treatment time (d)	处理 Treatment			
		CK	LD	MD	SD
SOD 活性 SOD activity (U · g <sup>-1</sup> FM)	3	88.93±1.68bc	119.93±7.79a	94.40±3.30b	81.40±4.16c
	6	90.20±1.25c	136.93±5.86a	114.20±6.26	96.80±3.14c
	9	92.60±6.08b	132.27±3.60a	86.40±7.12b	83.33±8.77b
	12	92.00±8.58b	115.53±8.90a	84.27±1.70bc	78.60±3.30c
	15	90.73±8.26ab	103.00±8.74a	77.67±1.21bc	70.93±9.65c
	18	86.53±2.10b	107.07±5.23a	64.67±7.23c	34.07±3.01d
POD 活性 POD activity (ΔOD <sub>470</sub> · min <sup>-1</sup> · g <sup>-1</sup> FM)	3	34.27±9.70c	82.20±16.11ab	123.27±13.68a	52.07±8.21c
	6	39.80±4.51c	104.53±18.15b	157.47±14.07a	62.60±6.51c
	9	42.00±9.78b	70.80±10.31a	88.33±2.72a	69.87±5.70a
	12	36.93±6.00b	63.40±5.92a	70.67±9.41a	59.00±2.55ab
	15	53.73±9.20b	67.00±4.18ab	73.10±3.92a	58.60±7.50a
	18	35.27±5.70a	58.87±12.41a	60.13±2.60a	42.40±3.24a
CAT 活性 CAT activity (ΔOD <sub>240</sub> · min <sup>-1</sup> · g <sup>-1</sup> FM)	3	2.30±0.10c	2.70±0.00b	2.97±0.15a	1.23±0.12d
	6	2.63±0.51b	2.97±0.29ab	3.60±0.26a	1.47±0.38c
	9	2.67±0.12c	3.27±0.21b	5.20±0.26a	1.57±0.38d
	12	2.53±0.55c	3.87±0.68b	6.03±0.06a	1.73±0.55c
	15	2.50±0.50c	4.03±0.12b	6.13±0.32a	1.13±0.15d
	18	2.03±0.06b	2.43±0.45ab	2.90±0.36a	1.03±0.05c



表 5 干旱胁迫下大丽花叶片各生理生化指标的相关系数

Table 5 Correlation coefficients of physiological and biochemical indexes in dahlia leaves under drought stress

	相对含水量 Relative water content	水势 Water potential	叶绿素含量 Chlorophyll content	相对电导率 Relative electric conductivity	丙二醛 MDA	脯氨酸 Proline	可溶性糖 Soluble sugar	可溶性蛋白 Soluble protein	SOD 活性 SOD activity	POD 活性 POD activity	CAT 活性 CAT activity
相对含水量 Relative water content	1										
水势 Water potential	0.267	1									
叶绿素含量 Chlorophyll content	0.847 *	-0.149	1								
相对电导率 Relative electric conductivity	-0.909 *	0.078	-0.914 *	1							
丙二醛 MDA	-0.873 *	-0.372	-0.746	0.856 *	1						
脯氨酸 Proline	-0.948 **	-0.106	-0.830 *	0.888 *	0.725	1					
可溶性糖 Soluble sugar	-0.864 *	0.071	-0.917 **	0.965 **	0.881 *	0.772	1				
可溶性蛋白 Soluble protein	0.274	-0.648	0.340	-0.401	0.074	-0.425	-0.315	1			
SOD 活性 SOD activity	0.566	-0.370	0.807	-0.821 *	-0.629	-0.619	-0.781	0.230	1		
POD 活性 POD activity	0.665	-0.116	0.839 *	-0.850 *	-0.810	-0.624	-0.861 *	0.020	0.948 **	1	
CAT 活性 CAT activity	-0.667	-0.829 *	-0.371	0.448	0.821 *	0.471	0.482	0.486	-0.160	-0.432	1

\*  $P < 0.05$ ; \*\*  $P < 0.01$ .

量呈显著正相关,与脯氨酸含量呈极显著负相关,与相对电导率、丙二醛含量和可溶性糖含量呈显著负相关.相对电导率与丙二醛含量、脯氨酸含量均呈显著正相关,与可溶性糖呈极显著正相关,与SOD、POD活性均呈显著负相关.丙二醛含量与可溶性糖、CAT活性均呈显著正相关.POD活性与可溶性糖、SOD活性分别呈显著负相关和极显著正相关.

### 3 讨 论

#### 3.1 干旱胁迫对粉西施叶片膜脂过氧化作用的影响

细胞膜具有选择透性,各种逆境伤害都会造成细胞膜选择透性的改变或丧失,导致大量离子外渗,从而使组织浸出液的相对电导率升高.研究表明,植物在遭受水分胁迫时,细胞膜发生过氧化作用而受到损伤,MDA是膜脂过氧化作用的产物之一,是检测膜损伤程度的公认指标<sup>[14]</sup>.本研究中,随水分胁迫程度的加深,大丽花叶片的MDA含量和相对电导率升高,与叶片相对含水量呈显著负相关,复水后重度胁迫处理仍较对照显著降低,说明在水分胁迫下,植物代谢紊乱发生膜脂过氧化,质膜遭到损害,大量离子外渗,MDA积累.严重胁迫下其损害最严重,复水后无法恢复到对照水平,说明质膜损害难以恢复.

#### 3.2 干旱胁迫对粉西施叶片渗透调节物质的影响

植物受到环境胁迫时,植物体内游离脯氨酸积累增加,在植物的渗透调节中起重要作用,而且即使

在含水量很低的细胞内,脯氨酸溶液仍能提供足够的自由水,以维持正常的生命活动.植株体内脯氨酸含量在一定程度上反映了植株体内的水分状况,因而可以作为植物缺水情况的参考性生理指标<sup>[15]</sup>.但是,水分胁迫下植物体内脯氨酸的积累与植物抗旱性的关系颇有争论.有研究认为,可以用脯氨酸的积累来衡量作物的抗旱性<sup>[16-18]</sup>.也有一些研究发现,二者之间相关性并不明显<sup>[19-20]</sup>.本研究中,水分胁迫下大丽花叶片中脯氨酸含量显著增加,与曹帮华等<sup>[18]</sup>的研究结果一致.脯氨酸与相对含水量呈极显著的负相关关系,在中度和重度胁迫后期显著增加,说明脯氨酸积累对干旱等渗透胁迫有反应,这与李霞等<sup>[21]</sup>对黄槿的研究结果一致.

植物体内的可溶性蛋白质大多是参与各种代谢的酶类,在受到干旱胁迫时会发生变化,测定其含量变化是了解植物抗逆性的一种重要方法<sup>[22]</sup>.研究表明,干旱抑制蛋白质的合成并诱导蛋白质的降解,从而使植株体内的总蛋白质含量降低<sup>[23]</sup>.葛体达等<sup>[24]</sup>研究认为,可溶性蛋白质在水分胁迫下下降;李妮亚等<sup>[25]</sup>认为,在多种逆境胁迫下,植物体内正常的蛋白质合成常会受到抑制,同时会有一些被诱导出的新蛋白出现或原有蛋白质含量明显增加.本研究中,大丽花叶片中可溶性蛋白含量随着胁迫程度的加深先降低后升高,说明水分胁迫抑制了蛋白质的合成,含量升高可能是在胁迫下促进某些特殊种类的蛋白质即“逆境蛋白”或“胁迫蛋白”合成的结果.这与李妮亚等<sup>[25]</sup>在小麦上的研究结果一致.

胁迫末期可溶性蛋白含量减小,可能是胁迫蛋白的调节能力有限,具体机理还有待于进一步探讨.

### 3.3 干旱胁迫与粉西施叶片的保护酶系统

研究表明,SOD、POD和CAT活性与植物抗逆性相关.在适度逆境诱导下,SOD、POD和CAT活性增加,以提高植物适应力.在胁迫试验中,酶活性一般随胁迫增加而增加,或者呈先增加后降低的基本态势<sup>[26]</sup>.本研究结果表明,大丽花抗氧化酶活性先升高后降低,在一定干旱胁迫范围内,通过增加酶活性来提高适应干旱胁迫的能力.但当胁迫超出其忍耐范围,保护酶活性则会下降,说明大丽花忍耐干旱胁迫的能力是有限的.这与张文辉等<sup>[27]</sup>在栓皮栎上的研究结果一致.

SOD、POD和CAT是细胞内清除活性氧的主要保护酶,对活性氧的清除能力是决定细胞对胁迫抗性的关键因素.整个保护酶系统防御能力的变化取决于这几种酶彼此协调的综合结果<sup>[28]</sup>.本研究中,在不同程度水分胁迫下,大丽花叶片这几种保护酶活性的变化有所不同.SOD是一种诱导酶,水分胁迫促进超氧阴离子的生成,在轻度胁迫下,诱导了SOD基因的表达,所以活性增加,由SOD歧化超氧阴离子产生的 $H_2O_2$ 也必然增多;而在中度和重度胁迫下,植物体内的代谢趋于混乱,从而抑制其基因表达,SOD活性在中度胁迫下开始下降.而清除 $H_2O_2$ 的CAT、POD活性在轻度胁迫下均上升,中度水分胁迫下继续升高,重度胁迫才开始下降,表明这3种酶对水分胁迫和活性氧的响应可能存在一定差异,表现为相互协调的作用.

SOD、POD和CAT活性能较好地反映植物对逆境的适应能力<sup>[27,29]</sup>.POD活性一方面可在逆境或衰老初期表达,清除 $H_2O_2$ ,表现为保护效应;另一方面,也可在逆境或衰老后期表达,参与活性氧的生成、叶绿素的降解,并能引发膜脂过氧化作用,表现为伤害效应<sup>[30]</sup>.本研究结果表明,水分胁迫下大丽花相对电导率与SOD、POD活性均呈显著负相关;MDA含量与二者呈负相关,与CAT活性显著正相关.这说明在水分胁迫下,自由基产生和清除失衡,膜系统发生过氧化反应破坏膜结构,使离子渗透率增大,MDA积累.同时,MDA的积累又抑制了SOD、POD的活性,从而丧失了保护酶系统的功能,促使膜系统受损加重,而CAT可能发生像POD的伤害效应,参与活性氧的生成,引发膜脂过氧化作用.

### 参考文献

- [1] Yuan Z-H (苑兆和). *Dahlia*. Ji'nan: Shandong Science and Technology Press, 2008 (in Chinese)
- [2] Feng L-J (冯立娟), Yuan Z-H (苑兆和), Yin Y-L (尹燕雷), et al. Studies on the cutting propagation and culture techniques for dahlias. *Shandong Forestry Science and Technology* (山东林业科技), 2008(6): 30-32 (in Chinese)
- [3] Wei S-L (韦三立), Chen Y (陈琰), Han B-W (韩碧文). Studies on bud differentiation of dahlia flower. *Acta Horticulturae Sinica* (园艺学报), 1995, 22(3): 272-276 (in Chinese)
- [4] Yao M-G (姚梅国). On the variety classification and the cultivation of garden dahlias (*Dahlia pinnata* Cav.). *Acta Horticulturae Sinica* (园艺学报), 1980, 7(2): 39-48 (in Chinese)
- [5] Li D-W (李大卫), Liu Z-Q (刘志强), Diao X-G (刁晓歌). Tissue culture of garden dahlia. *Journal of Henan Normal University* (Natural Science) (河南师范大学学报·自然科学版), 1986(3): 124-129 (in Chinese)
- [6] Dong X-C (董喜存), Li W-J (李文建), Yu L-X (余丽霞), et al. Preliminary study on flower color mutant induced by 80MeV/u  $^{12}C^{+6}$  ions in *Dahlia pinnata* Cav using RAPD technique. *Journal of Radiation Research and Radiation Processing* (辐射研究与辐射工艺学报), 2007, 25(1): 62-64 (in Chinese)
- [7] Yang Q-L (杨群力). Damage and control of *Dahlia pinnata* by *Polyphylla gracilicornis*. *Journal of Shaanxi Normal University* (Natural Science) (陕西师范大学学报·自然科学版), 2001, 29(suppl.): 96-97 (in Chinese)
- [8] Liu Y-L (刘友良). *Water Stress on Physiological Property in Plant*. Beijing: China Agriculture Press, 1992 (in Chinese)
- [9] Sun C-X (孙彩霞), Liu Z-G (刘志刚), Jing Y-D (荆艳东). Effect of water stress on activity and isozyme of the major defense-enzyme in maize leaves. *Journal of Maize Sciences* (玉米科学), 2003, 11(1): 63-66 (in Chinese)
- [10] Wang J (王娟), Li D-Q (李德全), Gu L-K (谷令坤). The response to water stress of the antioxidant system in maize seedling roots with different drought resistance. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica* (西北植物学报), 2002, 22(2): 285-290 (in Chinese)
- [11] Zhang X-Z (张宪政). *Research Method for Crop Physiology*. Shenyang: Liaoning Science and Technology Press, 1989 (in Chinese)
- [12] Li H-S (李合生). *Principles and Techniques of Plant Physiological and Biochemical Experiment*. Beijing: Higher Education Press, 2000 (in Chinese)
- [13] Zhang Z-L (张志良), Qu W-Q (瞿伟菁). *Experiment*

- Guide of Plant Physiology. Beijing: Higher Education Press, 2003 (in Chinese)
- [14] Hodges DM, Delong JM, Fomey CF, *et al.* Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds. *Planta*, 1999, **207**: 604–611
- [15] Yu J-M (俞建妹), Tang S-S (唐树生), Wang L-H (王凌晖), *et al.* Effects of water stress on the seedling growth and physiological characteristics of *Osmanthus fragrans* (Thunb.) Lour. *Journal of Anhui Agricultural Sciences* (安徽农业科学), 2010, **38**(4): 2107–2109 (in Chinese)
- [16] Ma H-M (马红梅), Chen M-C (陈明昌), Zhang Q (张强). Mechanisms of peashrub's biological forms in adapting to adversity. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences* (山西农业科学), 2005, **33**(3): 47–49 (in Chinese)
- [17] Chen M (陈敏), Chen Y-N (陈亚宁), Li W-H (李卫红). Drought resistance mechanism of three plant species in the middle reaches of Tarim River, China. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica* (西北植物学报), 2007, **27**(4): 747–754 (in Chinese)
- [18] Cao B-H (曹帮华), Zhang M-R (张明如), Zhai M-P (翟明普), *et al.* Growth and osmotic adjustment of *Robinia pseudoacacia* clones under drought stress. *Journal of Zhejiang Forestry College* (浙江林学院学报), 2005, **22**(2): 161–165 (in Chinese)
- [19] Zhang JX, Nguyen HT, Blum A. Genetic analysis of osmotic adjustment in crop plants. *Journal of Experimental Botany*, 1999, **50**: 291–302
- [20] Dong L-H (董丽华). Studies on Drought Resistance in Different Bluegrass Cultivars. PhD Thesis. Yinchuan: Ningxia University, 2005 (in Chinese)
- [21] Li X (李霞), Yan X-F (阎秀峰), Yu T (于涛). Effects of water stress on protective enzyme activities and lipid peroxidation in *Phellodendron amurense* seedlings. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2005, **16**(12): 2353–2356 (in Chinese)
- [22] Shi Y-W (史玉炜), Wang Y-L (王燕凌), Li W-B (李文兵). Effects of water stress on soluble protein, soluble sugar and proline content in *Tamarix hispida*. *Journal of Xinjiang Agricultural University* (新疆农业大学学报), 2007, **30**(2): 5–8 (in Chinese)
- [23] Wei L-M (魏良民). A study on carbohydrate and protein of several xerophytes. *Arid Zone Research* (干旱区研究), 1991(4): 38–41 (in Chinese)
- [24] Ge T-D (葛体达), Sui F-G (隋方功), Bai L-P (白莉萍), *et al.* Effects of water stress on the protective enzyme activities and lipid peroxidation in roots and leaves of summer maize. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 2005, **38**(5): 922–928 (in Chinese)
- [25] Li N-Y (李妮亚), Gao J-F (高俊凤), Wang P-H (汪沛洪). The characteristics of induced protein in shoots of wheat seedlings under water stress. *Acta Photophysiological Sinica* (植物生理学报), 1998, **24**(1): 65–71 (in Chinese)
- [26] Ren A-Z (任安芝), Gao Y-B (高玉葆), Liu S (刘爽). Response of protective enzymes in *Brassica chinensis* seedlings to Pb<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup>, Cr<sup>6+</sup> stress. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2002, **13**(4): 510–512 (in Chinese)
- [27] Zhang W-H (张文辉), Duan B-L (段宝利), Zhou J-Y (周建云). Water relations and activity of cell defense enzymes to water stress in seedling leaves of different provenances of *Quercus variabilis*. *Acta Phytoecologica Sinica* (植物生态学报), 2004, **28**(4): 483–490 (in Chinese)
- [28] Sun C-H (孙存华), Li Y (李扬), He H-Y (贺鸿雁), *et al.* Physiological and biochemical responses of *Chenopodium album* to drought stresses. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2005, **25**(10): 2556–2561 (in Chinese)
- [29] Yang M-S (杨敏生), Pei B-H (裴保华), Cheng Z-P (程志鹏). Physiologic indexes of cold resistance in hybrid white poplar clones. *Acta Phytoecologica Sinica* (植物生态学报), 1997, **21**(4): 367–375 (in Chinese)
- [30] Zhao L-Y (赵丽英), Deng X-P (邓西平), Shan L (山仑). The response mechanism of active oxygen species removing system to drought stress. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica* (西北植物学报), 2005, **25**(2): 413–418 (in Chinese)

作者简介 范苏鲁,女,1986年生,硕士研究生.主要从事园林植物种质资源评价研究. E-mail: fansulu@163.com

责任编辑 李凤琴