

# 百合花瓣抗氧化酶系统对干旱胁迫响应的研究

黄尧瑶<sup>1</sup>, 邓明华<sup>2</sup>, 彭春秀<sup>2</sup>, 文锦芬<sup>1,\*</sup>

(<sup>1</sup>昆明理工大学建筑与城市规划学院, 昆明 650500; <sup>2</sup>云南农业大学园林与园艺学院, 昆明 650201)

**摘要:** 以‘诺宾’(Robina)、‘索蚌’(Sorbonne)、‘西伯利亚’(Siberia) 3个云南产量较大的观赏百合品种切花为试验材料, 研究了干旱胁迫对花瓣相对含水量、可溶性蛋白和丙二醛含量、抗氧化酶活性和抗氧化酶相关基因表达量的影响, 并采用隶属函数法对其抗旱性进行了综合评价。结果表明: 随着干旱胁迫增强, 花瓣相对含水量和可溶性蛋白含量下降, 而代表膜质过氧化程度的丙二醛(MDA)含量持续上升。干旱胁迫下花瓣的超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)、谷胱甘肽还原酶(GR)、抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性在处理的前期、中期持续上升, 后期下降, 说明前中期有较高的活性氧(ROS)清除能力, 之后抗氧化能力下降; 抗氧化酶基因 *Cu-ZnSOD*、*MnSOD*、*CAT*、*APX* 和 *GR* 的表达先升后降, 而 *Fe-SOD* 的表达一直下降, *POD* 则一直保持升高的趋势。根据隶属函数平均值大小百合品种抗旱性由强到弱为: ‘索蚌’ > ‘诺宾’ > ‘西伯利亚’。

**关键词:** 百合; 鲜切花; 干旱胁迫; 抗氧化酶活性

**中图分类号:** S 68

**文献标志码:** A

**文章编号:** 0513-353X (2020) 04-0788-09

## Studies on the Response of Lily Petal Antioxidant Enzyme System to Drought Stress

HUANG Yaoyao<sup>1</sup>, DENG Minghua<sup>2</sup>, PENG Chunxiu<sup>2</sup>, and WEN Jinfen<sup>1,\*</sup>

(<sup>1</sup>School of Architecture and Urban Planning, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China;

<sup>2</sup>College of Horticulture and Landscape, Yunnan Agriculture University, Kunming 650201, China)

**Abstract:** This study selected three varieties of lily, ‘Robina’, ‘Sorbonne’ and ‘Siberia’ as materials, to determine the effects of drought stress on their relative water, soluble protein, malondialdehyde content, antioxidant enzyme activity and expression of antioxidant enzyme related genes. Drought resistance was evaluated comprehensively by membership function method. Results showed that relative water content and soluble protein content of petals decreased with the increase of drought stress, while the content of malondialdehyde (MDA), which represents the degree of membrane peroxidation, continued to rise until the end of drought stress. Under drought stress, activities of superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidase (POD), glutathione reductase (GR) and ascorbic acid peroxidase (APX) of petals continued to rise in the early and middle stages of treatment, but declined in the later stage, showed that petal cells had higher ROS scavenging capacity at early and middle stages, and then antioxidant capacity decreased. Expression of *Cu-ZnSOD*, *MnSOD*, *CAT*, *APX* and *GR* increased first and then decreased, while the

**收稿日期:** 2019-11-07; **修回日期:** 2020-03-17

**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (31760588)

\* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: wenjf888@163.com)

expression of *Fe-SOD* decreased all the time, and the *POD* kept increasing. According to the average value of membership function, drought resistance of these three lily varieties ranked from strong to weak was Sorbonne > Nobina > Siberia.

**Keywords:** lily; cut flower; drought stress; antioxidant enzyme activity

干旱胁迫是植物经常遭受的主要环境胁迫之一(邓振镛等, 2008)。由干旱引起的氧化胁迫, 通过活性氧对膜系统损伤而对植物造成伤害。但植物在长期进化过程中形成了抵抗氧化胁迫的机制, 能通过感受刺激和传导信号, 进而启动各种生理生化反应响应干旱胁迫(郝敬虹等, 2012)。以超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)、谷胱甘肽还原酶(GR)、抗坏血酸过氧化物酶(APX)等抗氧化酶类组成的酶促清除系统在植物抵抗氧化胁迫中具有重要作用, 它们协同作用可清除由干旱胁迫形成的大量活性氧, 进而抑制膜脂过氧化反应, 使代谢活动正常进行, 增强植株的抗旱能力(Ahang & Kirkhan, 1994)。

百合是优良的切花品种, 但是鲜切花离体后极易萎蔫(邱家德, 2016)。目前对百合胁迫处理后抗氧化酶活性变化的研究还不全面, 这些研究主要集中在温度和外源植物生长调节剂等胁迫处理后对其单个品种植株或鳞茎中抗氧化酶活性的影响(尹慧等, 2007; 师桂英等, 2010), 均未全面阐述干旱胁迫对百合抗氧化酶系统的影响及其响应胁迫的协调方式, 并且缺乏对云南当地主产百合品种的研究。

本研究中选取云南产量较大的3个百合品种为试验材料, 研究干旱处理后鲜切花抗氧化酶系统及膜脂过氧化物的变化规律, 以期探讨干旱诱导的氧化伤害和植物适应性与抗氧化酶系统之间的关系。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料与试验设计

供试材料为温室种植的3个百合(*Lilium brownii* var. *viridulum*)品种‘诺宾’(Robina)、‘索蚌’(Sorbonne)、‘西伯利亚’(Siberia)。2017年5月收割正常生长的百合, 在距花蕾1 m处进行切割, 刚收获的鲜花插入装有蒸馏水的容器中, 在2 h内带回实验室进行预处理。在蒸馏水中修剪花枝长度为30 cm, 为2~3片叶。挑选花蕾直径和大小一致的花枝插入蒸馏水中以适应室内环境, 取同天同时开放的百合作为试验材料。

试验设干旱组(百合置于空的500 mL锥形瓶中持续干旱胁迫处理, 直至试验结束)和正常补水对照组(百合置于装有蒸馏水的500 mL锥形瓶中); 分组后放入光照培养箱中(昼温22 °C/夜温17 °C, 光照16 h/黑暗8 h, 相对湿度控制为60%左右); 每隔24 h取样1次, 样品迅速置于液氮中, 然后于-80 °C超低温冰箱保存, 以备测定3种百合花瓣的各生理生化和分子指标。

### 1.2 测定项目与测定方法

#### 1.2.1 相对含水量

参照高俊凤(2006)的方法测定。1、剪取花瓣样品迅速称出鲜样质量(Wf)。2、将花瓣样品放入已升温至105 °C的烘箱中15 min, 然后于80 °C下烘干, 称出干样质量(Wd)。3、在称鲜样质量后, 将样品浸入蒸馏水中或包裹在吸饱水分的湿纱布中6~8 h, 取出用吸水纸擦干样品表面水分, 称质量; 再次将材料放入水中浸泡一段时间后取出, 吸干表面水分, 称质量, 直到两次的结果基本

相等，最后的结果即为饱和鲜样质量 (WT)。百合花瓣相对含水量 (RWC) 指组织含水量占饱和含水量百分数： $RWC = (W_f - W_d) / (W_t - W_d) \times 100$ 。每次测定重复 3 次。

### 1.2.2 MDA 以及抗氧化酶活性

MDA 含量测定采用硫代巴比妥酸 (TBA) 法 (赵世杰 等, 1994); 可溶性蛋白质 (SPC) 含量测定采用考马斯亮蓝 G-250 染色法; 过氧化物酶 (POD) 活性测定采用愈创木酚 (二甲氧基酚) 法; 超氧化物歧化酶 (SOD) 活性测定采用氮蓝四唑 (NBT) 法; 过氧化氢酶 CAT 活性按李合生 (2000) 的方法测定; 抗坏血酸过氧化物酶 APX 活性根据 Nakano 和 Asada (1981) 的方法测定; 谷胱甘肽还原酶 GR 活性按照 Grace 和 Logan (1996) 的方法测定。测定均重复 3 次。

### 1.2.3 基因表达分析

用实时荧光定量 PCR (qPCR) 进行基因表达定量分析。各材料 RNA 用 Trizol 提取, cDNA 合成用 PrimeScript™ RT reagent Kit with gDNA Eraser (Perfect Real Time) 试剂盒。荧光定量 PCR 用 SYBR® Premix Ex Taq™ II (Tli RNaseH Plus) 试剂盒, 在罗氏 LightCycler 480 系统上进行, 定量引物序列如表 1。每个材料做 3 次独立重复, 采用  $2^{-\Delta\Delta CT}$  方法分析处理数据 (Livak & Schmittgen, 2001)。

表 1 抗氧化酶基因引物  
 Table 1 Primers of antioxidase genes

基因名 Gene name	正向引物序列 Forward Primer	反向引物序列 Reverse Primer
<i>Cu/Zn-SOD</i>	5'-CAGCAATAGCACCCGAGTCAG-3'	3'-TTGGTCGTATCCCCAAAGGAA-5'
<i>Mn-SOD</i>	5'-CTCCCCGACCTCCCGTACGAC-3'	3'-AATAGCCCAGCCAAGTGCCCC-5'
<i>Fe-SOD</i>	5'-GCTTCAGCAAATCGAAAAGGA-3'	3'-GAGAATCGGAATATCACCCCA-5'
<i>CAT</i>	5'-ACAACAACAACCTCGCTCACC-3'	3'-GGAATTCGTTCCCTATCAAAC-5'
<i>GR</i>	5'-GGGTTGGAGGAGGCTGGAGTG-3'	3'-ACCGATTGGTGGCTGGGAAAA-5'
<i>APX</i>	5'-GGTGGGGATGGTTCCTCTTA-3'	3'-CCAATTTGTGTCGGACGGTGT-5'
<i>POD</i>	5'-GGAGGACAAGCCTGAACCC-3'	3'-GTGCCACCAGACAGAGCAAC-5'

## 1.3 数据分析

试验数据采用 SPSS13.0 进行方差分析, 邓肯氏新复极差法进行差异显著性检测。利用 Excel 2007 进行作图。采用模糊数学隶属函数法对数据进行分析, 以确定各指标对百合耐旱性影响的程度, 评价其抗旱性。

隶属函数值计算公式:  $R(X_i) = (X_i - X_{min}) / (X_{max} - X_{min})$ ; 如某一个指标与抗旱性为负相关, 则使用反隶属函数值进行计算, 反隶属函数值计算公式:  $R(X_i) = 1 - (X_i - X_{min}) / (X_{max} - X_{min})$ , 式中:  $X_i$  为指标测定值,  $X_{min}$ 、 $X_{max}$  分别为所有参试材料某一指标的最小值和最大值 (丁龙 等, 2017)。

## 2 结果与分析

### 2.1 干旱胁迫对 3 种百合花开放外观和花瓣相对含水量的影响

图 1 为连续干旱处理 5 d 3 种百合花瓣外观的变化情况, 索蚌变化最小, 西伯利亚变化最明显。由图 2 可知, 干旱胁迫期间, 3 种百合花瓣相对含水量显著低于对照组, 花瓣相对含水量下降幅度由大到小依次为西伯利亚 (24.86%) > 诺宾 (23.67%) > 索蚌 (19.39%)。相同干旱胁迫时间处理下, 西伯利亚相对含水量下降最快, 干旱胁迫后含水率显著低于其他 2 个百合品种 ( $P < 0.05$ ), 表明西伯利亚的持水能力较其他 2 个品种差。



图 1 干旱胁迫下‘诺宾’、‘索蚌’和‘西伯利亚’花瓣变化过程

Fig. 1 Petal appearance changes of Nobina, Sorbonne and Siberia lilies under drought stress

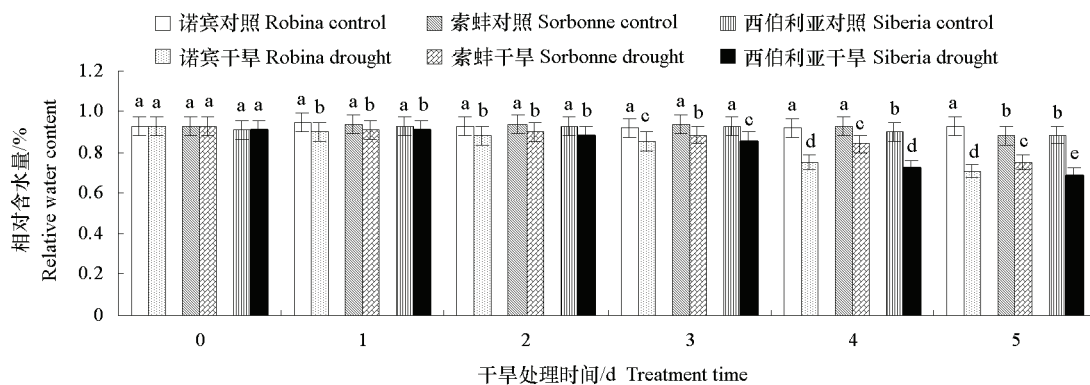


图 2 干旱胁迫下百合花瓣的相对含水量

不同小写字母表示相同时间不同处理在 0.05 水平差异显著。下同。

Fig. 2 Relative water content in cut lily petals under drought stress

The different letters indicated significance at 0.05 level. The same below.

## 2.2 干旱胁迫对百合花瓣生理生化的影响

### 2.2.1 花瓣可溶性蛋白和 MDA 含量

由图 3, A 可知, 3 种百合花品种在整个干旱胁迫中可溶性蛋白均呈现下降趋势, 干旱处理下降幅度显著高于对照组 ( $P < 0.05$ ), 表明干旱加速了百合可溶性蛋白的分解。

3 个百合花品种花瓣的 MDA 含量在整个开花衰老过程中随着时间逐渐升高, 其中西伯利亚 MDA 含量高于其他 2 个品种 (图 3, B), 说明干旱胁迫对其细胞膜的伤害程度最大。各百合品种干旱处理 MDA 含量显著高于对照 ( $P < 0.05$ ), 表明干旱加剧了 MDA 的产生, 加速了膜系统的损伤和细胞的死亡。

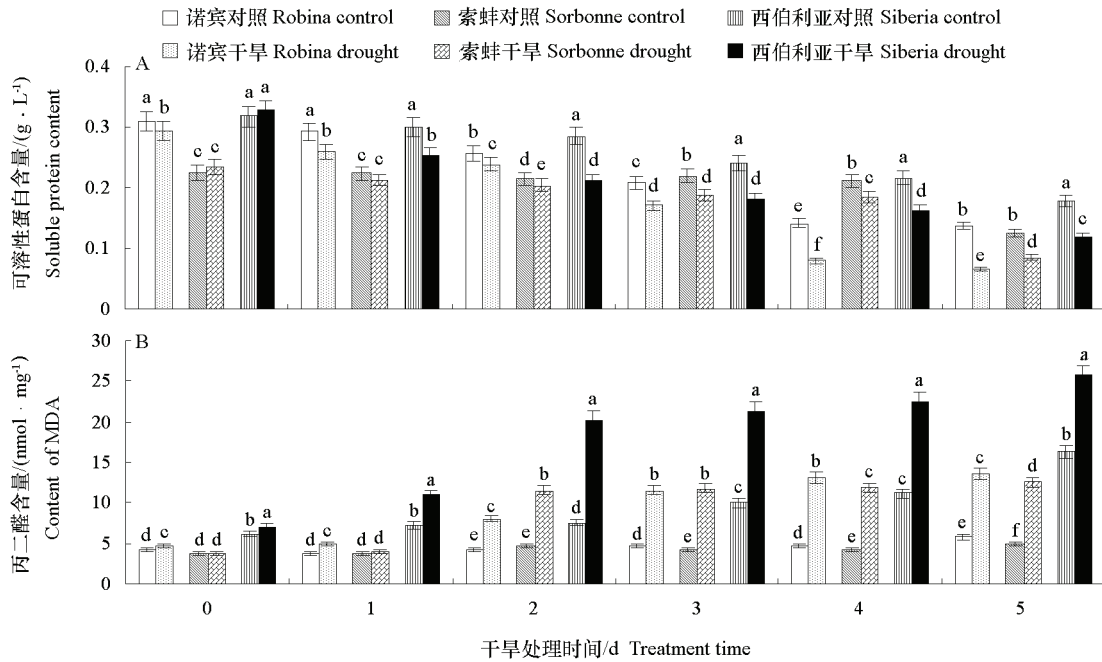


图3 干旱对鲜切百合花瓣可溶性蛋白(A)和丙二醛(B)含量的影响

Fig. 3 Effects on soluble protein (A) and MDA (B) contents of cut lily petals under drought stress

### 2.2.2 SOD 活性

由图4可知,随着干旱胁迫的增强,百合花花瓣SOD活性总体呈现先上升后下降趋势,3种百合都在胁迫处理3d时达到峰值后下降。干旱处理SOD活性均大于对照,索蚌SOD酶活性最大。

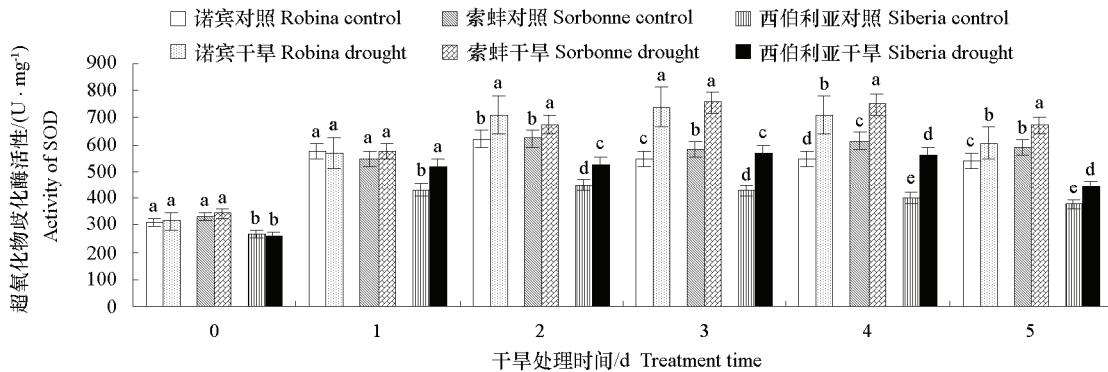


图4 干旱对鲜切百合花瓣SOD活性的影响

Fig. 4 Effects on SOD activities of cut lily petals under drought stress

### 2.2.3 CAT 活性

如图5所示,随着干旱胁迫加强,3种百合花瓣CAT活性呈先上升后下降趋势,干旱处理均大于对照组。不同百合花品种CAT活性的上升幅度由大到小依次为索蚌 > 诺宾 > 西伯利亚。干旱胁迫处理CAT活性在胁迫3d到达峰值。

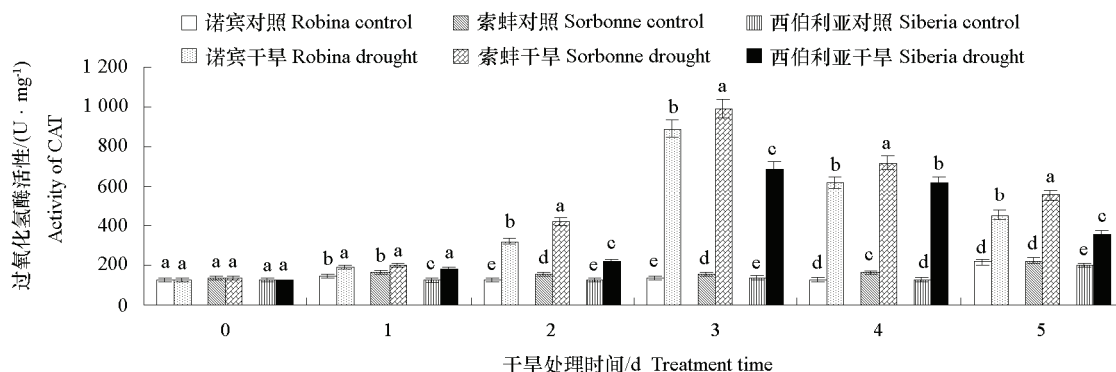


图 5 干旱对鲜切百合花瓣 CAT 活性的影响

Fig. 5 Effects on CAT activities of cut lily petals under drought stress

### 2.2.4 干旱胁迫对百合花瓣 POD 活性的影响

图 6 结果表明, 随着干旱胁迫加强, 3 种百合花瓣 POD 活性均呈现先上升后下降趋势, 对照组均低于干旱组, 索蚌 POD 活性最高, 胁迫 3 d 达到最大值, 是诺宾的 1.8 倍, 西伯利亚的 2.53 倍 ( $P < 0.05$ )。

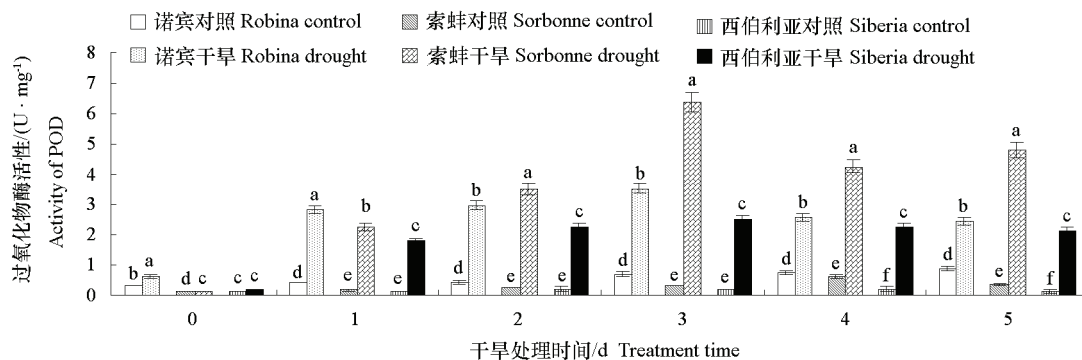


图 6 干旱对鲜切百合花瓣 POD 活性的影响

Fig. 6 Effects on POD activities of cut lily petals under drought stress

### 2.2.5 GR 活性

由图 7 可知, 随着干旱胁迫增强, 百合 GR 活性呈现先上升后下降趋势, 索蚌 GR 活性受干旱胁迫影响最大, 对诺宾影响显著, 而对西伯利亚影响不显著。

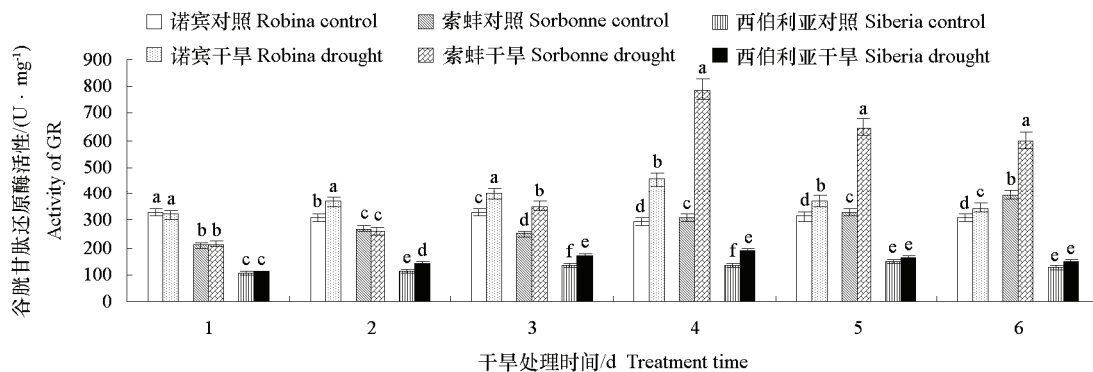


图 7 干旱对鲜切百合花瓣 GR 活性的影响

Fig. 7 Effects on GR activities of cut lily petals under drought stress

### 2.2.6 APX 活性

图 8 表明, 随着干旱胁迫时间的延长, 百合花瓣 APX 活性逐渐增强, 处理后 3 d 达到峰值, 之后略有下降, 并一直保持相对较高的活性直至试验结束。其中诺宾 APX 活性最高 ( $P < 0.05$ )。

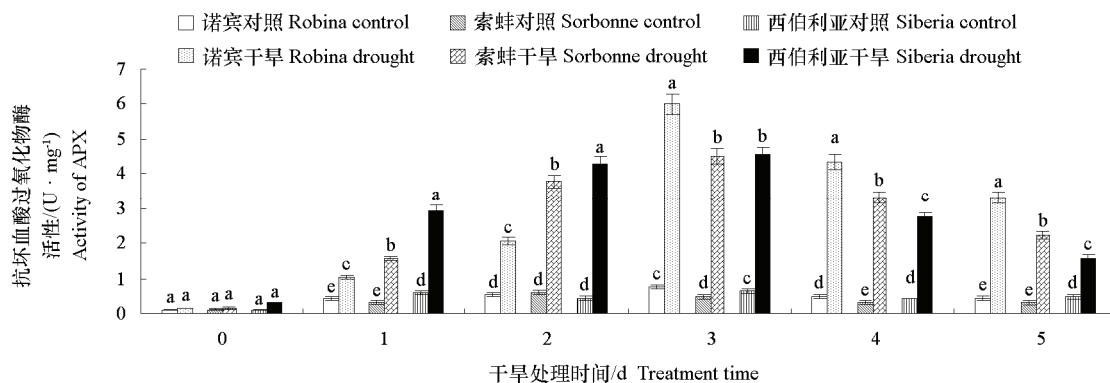


图 8 干旱对鲜切百合花瓣 APX 活性的影响

Fig. 8 Effects on APX activities of cut lily petals under drought stress

### 2.3 干旱胁迫对百合花瓣抗氧化酶基因表达的影响

用 qPCR 研究干旱胁迫下诺宾花瓣中抗氧化酶基因表达的变化。如表 2 所示, 3 种 SOD 酶基因中, *Cu-ZnSOD* 和 *MnSOD* 的表达首先升高然后下降, 其中 *Cu-ZnSOD* 在 3 d 时达到高峰, 而 *MnSOD* 在 5 d 时开始下降, *Fe-SOD* 则是一直降低; *CAT*、*APX* 和 *GR* 先增加然后降低, *CAT* 在 3 d 时达到峰值, 但 *GR* 只是略微增加, 从 4 d 开始下降; *APX* 在 2 d 时最高; *POD* 一直保持上升趋势。

表 2 干旱胁迫下百合抗氧化酶基因的相对表达

Table 2 Relative expression of antioxidant enzyme genes in lily petals under drought stress

处理时间/d Treatment time	<i>Cu-ZnSOD</i>	<i>MnSOD</i>	<i>Fe-SOD</i>	<i>CAT</i>	<i>APX</i>	<i>GR</i>	<i>POD</i>
1	0.730 ± 0.096	0.915 ± 0.045	7.859 ± 0.392	167.01 ± 13.35	0.099 ± 0.004	35.66 ± 1.78	1.54 ± 0.08
2	0.867 ± 0.042	1.475 ± 0.073	7.026 ± 0.351	192.29 ± 9.61	0.621 ± 0.031	37.50 ± 1.87	1.86 ± 0.09
3	1.472 ± 0.073	1.537 ± 0.076	2.972 ± 0.148	244.22 ± 12.21	0.207 ± 0.01	38.64 ± 1.93	6.01 ± 0.36
4	0.859 ± 0.042	2.019 ± 0.107	1.529 ± 0.076	147.99 ± 7.399	0.329 ± 0.016	26.45 ± 1.32	7.65 ± 0.38
5	0.629 ± 0.031	1.843 ± 0.106	0.104 ± 0.005	92.92 ± 4.646	0.379 ± 0.018	14.56 ± 0.73	19.80 ± 0.99
6	0.321 ± 0.012	0.831 ± 0.021	0.031 ± 0.001	42.39 ± 1.312	0.145 ± 0.003	6.23 ± 0.21	19.92 ± 1.00

### 2.4 百合耐旱性综合评价

3 种百合在干旱胁迫期间不同指标的变化不同, 采用单一指标评价其耐旱能力具有一定的片面性, 隶属函数提供了在多指标测定基础上对植物抗旱性进行综合评价的途径 (龙海涛 等, 2015)。表 3 表明, 3 种百合抗旱能力大小为索蚌 > 诺宾 > 西伯利亚, 其各项指标隶属函数的平均值分别为 0.492、0.436、0.376。

表 3 干旱胁迫下 3 种百合各测定指标的隶属函数值

Table 3 Synthetically membership function value of three lily observed indicators under drought stress

品种 Variety	相对含水量 Relative water content	MDA	可溶性蛋白含量 Content of soluble protein	SOD	POD	CAT	GR	APX	平均值 Mean
诺宾 Robina	0.475	0.368	0.404	0.598	0.325	0.416	0.381	0.519	0.436
索蚌 Sorbonne	0.501	0.462	0.483	0.639	0.384	0.463	0.426	0.575	0.492
西伯利亚 Siberia	0.416	0.401	0.304	0.534	0.301	0.323	0.222	0.503	0.376

### 3 讨论

本研究结果表明, 3 种百合中西伯利亚受干旱胁迫损伤最明显, 持水能力最差。可溶性蛋白具有明显的增强细胞的持水能力、增加束缚水含量和原生质弹性等功能(陈明涛等, 2010), 是细胞内重要的渗透调节物质和营养物质, 对细胞的生命物质及生物膜起到保护作用(Hodges et al., 1999)。干旱处理百合花瓣可溶性蛋白含量随着时间的延长显著下降, 与花瓣相对含水量成正相关关系, 这可能是蛋白的合成需要水参与, 而抵抗干旱胁迫加速了蛋白的分解。

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(Elstner, 1991)。MDA 不断积累引起酶和细胞膜的破坏。本研究结果表明 3 种百合花瓣的 MDA 含量随着干旱胁迫的时间延长而增加, 与相对含水量和可溶性蛋白含量呈负相关关系, 这与对茶菊(任磊等, 2015)、芍药(史国安等, 2008)的研究结果相符合。本研究中干旱胁迫下‘西伯利亚’衰老最快, MDA 含量最高, 细胞膜受损程度最大。

植物抗氧化酶相互协同作用提高抵抗活性氧的毒害和环境胁迫的能力。本研究结果表明, 3 个百合品种的花瓣 SOD、POD、CAT、APX、GR 活性呈现相同的先上升后降低的趋势, 说明百合在一定干旱胁迫范围内通过增加酶活性来提高抗干旱能力, 但当胁迫超出其忍耐范围时, 体内活性氧的形成和清除系统之间的平衡被打破, 导致酶活性下降。试验结果还显示, 干旱胁迫下 3 种百合花 APX 活性稳定增长并在后期依然保持较高活性, 说明 APX 是百合受到高强度干旱胁迫时的主要抗氧化酶, 这与小麦离体叶片试验(Jolán et al., 2012)结果相同。进一步 qPCR 分析发现, *Fe-SOD* 的表达一直下降, *POD* 的则保持增加的趋势, *Cu-ZnSOD*、*MnSOD*、*CAT*、*APX* 和 *GR* 的表达则均表现为先升高然后下降, 这些与所测的酶活性的变化基本一致。

不同品种百合对干旱胁迫的适应能力不同, 将 3 种百合的各项指标运用隶属函数法进行综合分析, 其耐旱性大小顺序依次为: 索蚌(0.492) > 诺宾(0.436) > 西伯利亚(0.376)。这与百合在干旱胁迫期间外观变化、生理生化等指标相吻合, 即索蚌受到伤害较小, 西伯利亚受损严重。

### References

- Ahang J X, Kirkhan M B. 1994. Drought stress induced changes in activities of super oxidized ismutase, catalase and peroxidase in wheat species. *Plant Cell Physiology*, 35 (5): 785 - 791.
- Chen Ming-tao, Zhao Zhong, Quan Jin-e. 2010. Variation of soluble protein components and contents in seedling root tips of four trees under drought stress. *Acta Ecologica Sinica*, 30 (6): 1157 - 1165. (in Chinese)
- 陈明涛, 赵忠, 权金娥. 2010. 干旱对 4 种苗木根尖可溶性蛋白组分和含量的影响. *西北植物学报*, 30 (6): 1157 - 1165.
- Deng Zhen-yong, Zhang Qiang, Xin Ji-wu, Zhao Hong, Wang Quan-fu, Wang He-lin. 2008. Research of arid ecological environment and water resource response to global warming. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 30 (1): 57 - 63. (in Chinese)
- 邓振镛, 张强, 辛吉武, 赵鸿, 王全福, 王鹤龄. 2008. 干旱生态环境及水资源对全球气候变暖响应的研究进展. *冰川冻土*, 30 (1): 57 - 63.
- Ding Long, Zhao Hui-min, Zeng Wen-jing, Li Qing, Wang Yang, Wang Si-qing. 2017. Physiological responses of five plants in northwest China arid area under drought stress. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 28 (5): 1455 - 1463. (in Chinese)
- 丁龙, 赵慧敏, 曾文静, 李晴, 汪洋, 王四清. 2017. 五种西北旱区植物对干旱胁迫的生理响应. *应用生态学报*, 28 (5): 1455 - 1463.
- Elstner E F. 1991. Mechanisms of oxygen activation in different compartments of plant cells. *Current Topics in Plant Physiology*, 15 (10): 342 - 343.
- Gao Jun-feng. 2006. *Experimental guidance of plant physiology*. Xi'an: Higher Education Press.
- 高俊凤. 2006. *植物生理学实验指导*. 西安: 高等教育出版社
- Grace S C, Logan B A. 1996. Acclimation of foliar antioxidant systems to growth irradiance in three broad-leaved evergreen species. *Plant*



- Physiology, 112: 1631 - 1640.
- Hao Jing-hong, Yi Yang, Shang Qing-mao, Dong Chun-juan, Zhang Zhi-gang. 2012. Effect of exogenous salicylic acid on nitrogen assimilation of cucumber seedling under drought stress. *Acta Horticulturae Sinica*, 39 (1): 81 - 90. (in Chinese)
- 郝敬虹, 易 旻, 尚庆茂, 董春娟, 张志刚. 2012. 水杨酸处理对干旱胁迫下黄瓜幼苗氮素同化及其关键酶活性的影响. *园艺学报*, 39 (1): 81 - 90.
- Hodges D M, Delong J M, Fomey C F, Prange R K. 1999. Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds. *Planta*, 207: 604 - 611.
- Jolán C, Agnes G, Edit H, Piroška D, Magdolna G, Zsolt V, László E, János G, Irma T. 2012. Different peroxidase activities and expression of abiotic stress-related peroxidases in apical root segments of wheat genotypes with different drought stress tolerance under osmotic stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 52: 119 - 129.
- Li He-sheng. 2000. Principles and techniques of plant physiological and biochemical experiment. Beijing: Higher Education Press: 164 - 169. (in Chinese)
- 李合生. 2000. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社: 164 - 169.
- Livak K J, Schmittgen T D. 2001. Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the  $2^{-\Delta\Delta CT}$  method. *Methods*, 25: 402 - 408.
- Long Hai-tao, Li Li-mei, Xie Ze-hong, Liu Shuai, Li Xiao-yun, Deng Bin, Liu Hai-yan, Li Ling. 2015. Relationship between drought resistance evaluated by comprehensive subordinate function values and *AhNCED1* expression in peanut varieties. *Chinese Bulletin of Botany*, 50 (6): 706 - 712. (in Chinese)
- 龙海涛, 李丽梅, 谢泽虹, 刘 帅, 李晓云, 邓 斌, 刘海燕, 李 玲. 2015. 综合隶属函数法评价花生品种抗旱性与 *AhNCED1* 基因表达的关系. *植物学报*, 50 (6): 706 - 712.
- Nakano Y, Asada K. 1980. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant & Cell Physiology*, 22 (5): 867 - 880.
- Qiu Jia-de. 2016. Discussion on postharvest physiology and preservation technology of fresh cut flowers of lily. *Agriculture & Technology*, 36 (6): 5 - 6. (in Chinese)
- 邱家德. 2016. 浅谈百合鲜切花的采后生理与保鲜技术. *农业与技术*, 36 (6): 5 - 6.
- Ren Lei, Zhao Xia-lu, Xu Jing. 2015. Varied morphological and physiological responses to drought stress among four tea chrysanthemum cultivars. *Acta Ecologica Sinica*, 35 (15): 5131 - 5139. (in Chinese)
- 任 磊, 赵夏陆, 许 靖. 2015. 4 种茶菊对干旱胁迫的形态和生理响应. *生态学报*, 35 (15): 5131 - 5139.
- Shi Guo-An, Guo Xiang-Feng, Zhang Guo-Hai. 2008. Physiological changes during florescence and flower senescence of Chinese peony. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 28 (3): 507 - 511. (in Chinese)
- 史国安, 郭香凤, 张国海. 2008. 芍药花开放与衰老过程中生理指标的变化. *西北植物学报*, 28 (3): 507 - 511.
- Shi Gui-ying, Xu Qiong, He Xing-hong, Liang Qiao-lan, Wang Yan-xiu. 2010. Changes of antioxidant enzymes in the bulbs of lily stored at low temperature and its effect on the dormancy release. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 26 (7): 156 - 165. (in Chinese)
- 师桂英, 徐 琼, 贺 新, 梁巧兰, 王延秀. 2010. 百合种球低温处理过程中抗氧化酶活性的变化及其与休眠解除的关系. *中国农学通报*, 26 (7): 156 - 165.
- Yin Hui, Chen Qiu-ming, He Xiu-li, Yi Ming-fang. 2007. Effects of high temperature on the activities of antioxidant enzymes in lily plants. *Acta Horticulturae Sinica*, 34 (2): 509 - 512. (in Chinese)
- 尹 慧, 陈秋明, 何秀丽, 义鸣放. 2007. 短暂高温对百合植株抗氧化酶系统的影响. *园艺学报*, 34 (2): 509 - 512.
- Zhao Shi-jie, Xu Chang-chen, Zou Qi. 1994. Improvements of method for measurement of malonaldehyde in plant tissues. *Plant Physiology Communications*, (3): 207 - 210. (in Chinese)
- 赵世杰, 许长成, 邹 琦. 1994. 植物组织中丙二醛测定方法的改进. *植物生理学报*, (3): 207 - 210.