

## 4 种报春苣苔对干旱胁迫的生理响应及抗旱性评价

陈简村<sup>1,2,3,4</sup>, 史莹莹<sup>1,2,3,4</sup>, 何 栋<sup>1,2,3,4</sup>, 李悦雅<sup>1,2,3,4</sup>, 罗 乐<sup>1,2,3,4\*</sup>

(1. 花卉种质创新与分子育种北京市重点实验室, 北京 100083; 2. 国家花卉工程技术研究中心, 北京 100083; 3. 城乡生态环境北京实验室, 北京 100083; 4. 北京林业大学园林学院, 北京 100083)

**摘 要:** 采用盆栽自然干旱法模拟干旱胁迫, 测定叶片 11 个抗旱相关生理指标。结合隶属函数法和主成分分析法, 对‘翔鸟’报春苣苔、‘启明星’报春苣苔、永福报春苣苔和尖萼报春苣苔 4 种报春苣苔在干旱胁迫下相关生理指标的影响和抗旱性的综合评价进行了研究。结果表明: 随着干旱胁迫的加重, 4 种报春苣苔的 POD、SOD、CAT 的活性以及叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素 a+b 的含量呈上升趋势, Pro 和 ABA 的含量呈先上升后下降的变化, ROS 和 MDA 含量呈先下降后上升的变化; 叶绿素 a/b 的含量随着干旱胁迫的加重变化不显著。4 种报春苣苔的抗旱能力强弱为: ‘翔鸟’报春苣苔>永福报春苣苔>‘启明星’报春苣苔>尖萼报春苣苔。

**关键词:** 报春苣苔属; 干旱胁迫; 生理响应; 抗旱性评价

中图分类号: S682.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2021)05-0757-06

### Physiological response and drought resistance evaluation of four kinds of primulina

CHEN Jiancun<sup>1,2,3,4</sup>, SHI Yingying<sup>1,2,3,4</sup>, HE Dong<sup>1,2,3,4</sup>, LI Yueya<sup>1,2,3,4</sup>, LUO Le<sup>1,2,3,4</sup>

(1. Beijing Key Laboratory of Flower Germplasm Innovation and Molecular Breeding, Beijing 100083; 2. National Flower Engineering Technology Research Center, Beijing 100083; 3. Beijing Laboratory of Urban and Rural Ecological Environment, Beijing 100083; 4. School of Landscape Architecture, Beijing Forestry University, Beijing 100083)

**Abstract:** In this paper, a potted natural drought method was used to artificially simulate drought stress, and 11 related physiological indexes were measured. Combined subordinate function value method with principle component analysis, the influences of related physiological indexes under drought stress and drought resistance comprehensive evaluation of 4 species of primulina such as ‘Flying Wings’, *Primulina* ‘Venus’, *Primulina yungfuensis* and *Primulina pungentisepala* were explored. The results showed: with the deepening of drought stress, the activities of POD, SOD and CAT and the contents of chlorophyll a, chlorophyll b and chlorophyll a+b were increased, the contents of Pro and ABA were increased firstly and then decreased, and the contents of ROS and MDA were decreased firstly and then increased; there was no significant change in the content of chlorophyll a/b with the deepening of drought stress. The order for the drought tolerance abilities of 4 species were: *Primulina* ‘Flying Wings’ > *Primulina yungfuensis* > *Primulina* ‘Venus’ > *Primulina pungentisepala*.

**Key words:** *Primulina*; drought stress; physiological response; drought resistance evaluation

苦苣苔科植物分布广泛, 多生长于石灰岩山的峭壁上, 种类丰富, 花朵美丽, 是很好的观赏植物材料<sup>[1]</sup>。目前中国已有苦苣苔科植物 45 属 778 种, 其中报春苣苔属(*Primulina*)的种数最多, 并以奇特的叶型、丰富的花色著称, 可以作为室内花卉应用, 是重要的新花卉资源<sup>[2]</sup>。

苦苣苔科植物在新种的发现<sup>[3-4]</sup>、栽培繁殖技术<sup>[5-6]</sup>、新品种选育<sup>[7]</sup>和园林应用<sup>[8-9]</sup>等方面已经有一定的研究基础。近年来, 在抗逆性方面也有了一些进展, 例如对牛耳朵<sup>[10]</sup>、欧洲苣苔<sup>[11]</sup>在逆境下生理指标的变化以及一些野生的苦苣苔花卉的耐阴性和抗旱性综合评价<sup>[12]</sup>。研究苦苣苔科植物的抗逆性可

收稿日期: 2021-02-05

基金项目: 北京市支持中央在京高校共建项目 (2019GJ-03), 横向课题“北京园林植物高效栽培养护技术研究” (2015ZCQ-YL-03) 和“北京特色花卉新优品种培育与商品化生产研究” (2020HXFWYL20) 共同资助。

作者简介: 陈简村, 硕士研究生。E-mail: 18171221365@163.com

\* 通信作者: 罗 乐, 副教授。E-mail: luolebjfu@163.com

以为之后的生产应用提供理论基础,而抗旱性是抗逆性中重要的性质之一。

植物的抗旱性受到多种因素的影响,包括内部基因和外部环境<sup>[13]</sup>。了解植物的抗旱性,能为抗旱性品种选育提供参考。抗旱性能的鉴定方法可以采用生理指标法<sup>[14]</sup>,结合隶属函数法,对如油菜<sup>[15]</sup>、观赏草<sup>[16]</sup>、黑果枸杞<sup>[17]</sup>等作物及观赏植物进行抗旱性能的综合评定。报春苜蓿属植物观赏价值高,未来有机会成为室内盆栽的新花卉资源。为了促进新优花卉的商品化生产,本研究拟采用生理指标法对

4种报春苜蓿属的植物进行抗旱性的鉴定及综合评价,以期报春苜蓿属植物的盆花栽培提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

以永福报春苜蓿 (*P. yungfuensis*)、尖萼报春苜蓿 (*P. pungentisepala*)、‘翔鸟’报春苜蓿 (*P. ‘Flying Wings’*)和‘启明星’报春苜蓿 (*P. ‘Venus’*) 4种报春苜蓿作为研究材料,均在北京温室生长良好。4种报春苜蓿的主要观赏特征如表1。

表1 试验材料简介

Table 1 Brief introduction to materials

编号	材料简称	中文名	拉丁名	主要观赏特征
1	YF	永福报春苜蓿	<i>Primulina yungfuensis</i>	花冠浅紫色,叶片有深色斑纹
2	JE	尖萼报春苜蓿	<i>Primulina pungentisepala</i>	花量较大,花冠浅白色,叶子有银白色斑纹
3	XN	‘翔鸟’报春苜蓿	<i>Primulina ‘Flying Wings’</i>	花量大,花冠粉紫色
4	QMX	‘启明星’报春苜蓿	<i>Primulina ‘Venus’</i>	花量大,花冠紫色到蓝紫色

### 1.2 处理方法

采用盆栽自然干旱法,选取生长良好、长势一致的4种报春苜蓿,每种各36株,栽植于0.17 m × 0.15 m的花盆中,基质配比为  $V_{\text{草炭}}:V_{\text{珍珠岩}}=2:1$ ,缓苗一个月,期间土壤含水量保持在75%以上。试验前一天对所有植株浇透水,使其基质处于饱和含水状态,这天之后作为干旱胁迫试验的开始。试验设置4个处理,即自然干旱0 d(土壤含水量75%以上)、15 d(土壤含水量50%~60%)、30 d(土壤含水量30%~40%)和45 d(土壤含水量10%以下),分别在固定时间段内连续测定各项生理指标,每个处理3盆,重复3次。

### 1.3 测定指标

测定的生理指标有过氧化物酶、超氧化物歧化酶、过氧化氢酶的活性,脯氨酸、脱落酸、活性氧、丙二醛的含量,叶绿素a、叶绿素b、叶绿素a+b和叶绿素a/b的含量共11项。

将健康成熟的叶片去除中脉、叶尖和叶基,剩余部分剪碎后放入锡纸内包好,暂时存于液氮中。本试验中各生理指标采用上海沪宇生物科技有限公司生产的试剂盒测定,并进行酶联免疫分析。叶绿素相关指标的测定采用丙酮乙醇浸提法<sup>[18]</sup>。

结合生理指标的检测结果,利用主成分分析法结合隶属函数法对4种报春苜蓿的抗旱性进行综合评价,即通过主成分分析对生理指标进行归类得到综合指标,再利用综合指标的隶属函数值及权重得到4种报春苜蓿属植物最终的综合抗旱能力值  $D$

值,使结果更加可靠。

### 1.4 有关指标的计算方法

抗旱系数=45 d干旱下各项指标测定值/温室自然条件下各项指标测定值 (1)

综合指标隶属函数的计算公式:

$$U(x_i) = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (i=1,2,3,\dots,n) \quad (2)$$

式(2)中: $x_i$ 为某一综合指标测定值, $x_{\max}$ 和 $x_{\min}$ 分别为某一综合指标的最大值和最小值。

综合指标的权重:

$$W_i = \frac{P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (i=1,2,3,\dots,n) \quad (3)$$

式(3)中, $P_i$ 为第*i*个综合指标的贡献率。

综合抗旱能力值  $D$  值:

$$D = \sum_{i=1}^n [u(X_i) \times W_i] \quad (i=1,2,3,\dots,n) \quad (4)$$

式(4)中, $u(X_i)$ 为第*i*个综合指标隶属函数值, $W_i$ 为第*i*个综合指标权重。

### 1.5 数据处理

用SPSS26.0及Excel2019对试验数据进行分析处理,采用Duncan法进行显著性比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 干旱胁迫对报春苜蓿属生理特性的影响

#### 2.1.1 干旱胁迫下POD(过氧化物酶)活性的变化

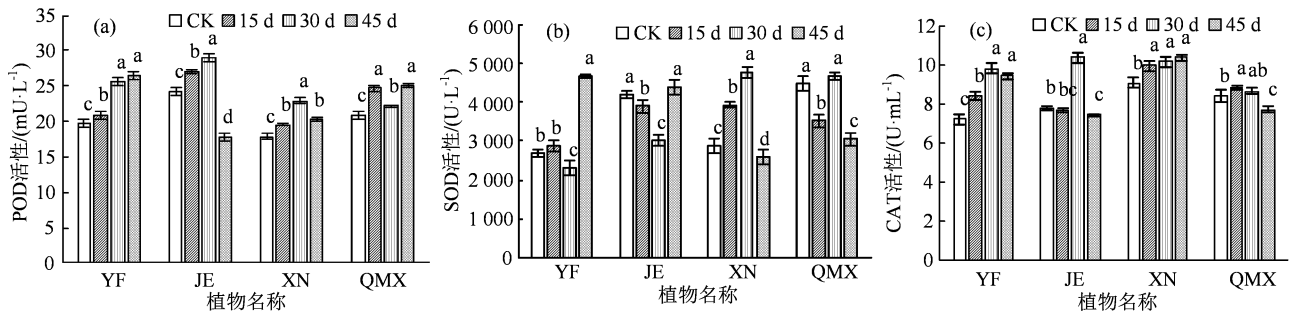
干旱胁迫对4种报春苜蓿属的植物的POD活性都有显著的影响。随着干旱胁迫的加重,整体上,4种报春苜蓿植物的POD活性变化基本为上升趋势。

其中尖萼报春苣苔和翔鸟报春苣苔在 30 d 有下降趋势。永福报春苣苔和‘启明星’报春苣苔 POD 活性的最高值在 45 d, 与对照组差异显著; ‘翔鸟’报春苣苔和尖萼报春苣苔 POD 活性的最高值在 30 d, 与对照组差异显著 (图 1 (a))。

**2.1.2 干旱胁迫下 SOD (超氧化物歧化酶) 活性的变化** 干旱胁迫对 4 种报春苣苔属的植物的 SOD 活性有显著的影响。整体上, 4 种报春苣苔植物的 SOD 活性变化基本为上升趋势。其中永福报春苣苔和尖萼报春苣苔 SOD 活性的最高值在 45 d, 与对照组差异显著; ‘翔鸟’报春苣苔和‘启明星’报春苣苔 SOD

活性的最高值在 30 d, 与对照组差异显著 (图 1 (b))。

**2.1.3 干旱胁迫下 CAT (过氧化氢酶) 活性的变化** 不同时间的干旱处理对 4 种报春苣苔属的植物的 CAT 活性都有显著的影响。整体上, 4 种报春苣苔植物的 CAT 活性变化基本为上升趋势。其中‘启明星’报春苣苔在 45 d 有下降趋势, 尖萼报春苣苔在 30 d 突然升高后又突然降低。永福报春苣苔和尖萼报春苣苔 CAT 活性的最高值在 30 d, 与对照组差异显著。尖萼报春苣苔最高值在 30 d, 与对照组差异显著, ‘启明星’报春苣苔在 15 d 达到最高值, 与对照组差异显著 (图 1 (c))。



柱状图上无相同小写字母表示各处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。下同。

图 1 干旱胁迫对 4 种报春苣苔 POD、SOD 和 CAT 活性的影响

Figure 1 Effects of drought stress on the activities of POD, SOD and CAT in 4 species of primilina

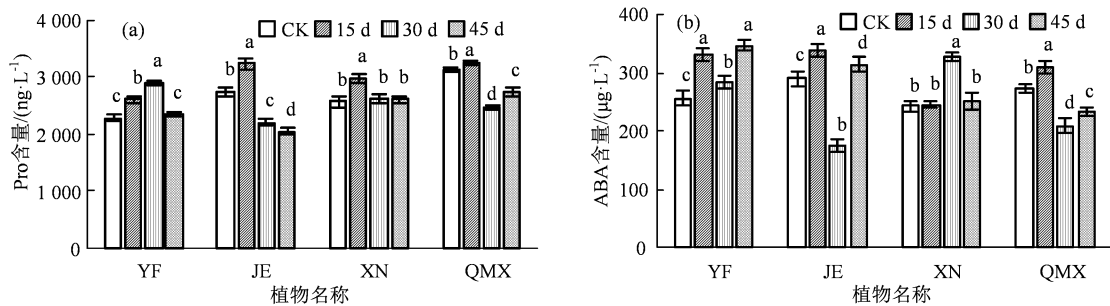


图 2 干旱胁迫对 4 种报春苣苔 Pro 和 ABA 含量的影响

Figure 2 Effects of drought stress on the contents of Pro and ABA in 4 species of primilina

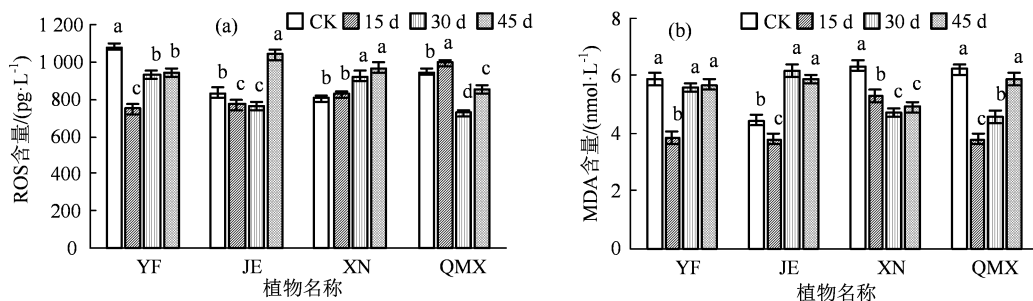


图 3 干旱胁迫对 4 种报春苣苔 ROS 和 MDA 含量的影响

Figure 3 Effects of drought stress on the contents of ROS and MDA in 4 species of primilina

**2.1.4 干旱胁迫下 Pro (脯氨酸) 含量的变化** 不同时间的干旱处理对 4 种报春苣苔属的植物的 Pro 含量都有显著的影响。整体上, 4 种报春苣苔植物

的 Pro 含量变化基本为先上升后下降的趋势。其中, 永福报春苣苔在 30 d 干旱处理时达到最高值, 与对照组差异显著。尖萼报春苣苔, ‘翔鸟’报春苣苔和

‘启明星’报春苣苔在 15 d 干旱处理时达到最高值，与对照组差异显著（图 2 (a)）。

**2.1.5 干旱胁迫下 ABA (脱落酸) 含量的变化** 不同时间的干旱处理对 4 种报春苣苔属的植物的 ABA 含量都有显著的影响。整体上，4 种报春苣苔植物的 ABA 含量变化基本为先上升后下降的趋势。其中，永福报春苣苔在 45 d 时含量最高，尖萼报春苣苔和‘启明星’报春苣苔在 15 d 含量最高，‘翔鸟’报春苣苔在 30 d 含量最高，都与对照组差异显著（图 2 (b)）。

**2.1.6 干旱胁迫下 ROS (活性氧) 含量的变化** 不同时间的干旱处理对 4 种报春苣苔属的植物的 ROS 含量都有显著的影响。整体上，4 种报春苣苔植物的 ROS 含量变化基本为先下降后上升的趋势。其中，永福报春苣苔在对照组时含量最高，与其他组差异显著；尖萼报春苣苔和‘翔鸟’报春苣苔在 45 d 含量最高，‘启明星’报春苣苔在 15 d 含量最高，与对照组差异显著（图 3 (a)）。

**2.1.7 干旱胁迫下 MDA (丙二醛) 含量的变化** 不同时间的干旱处理对 4 种报春苣苔属的植物的 MDA 含量都有显著的影响。整体上，4 种报春苣苔植物的 MDA 含量变化基本为先下降后上升的趋势。其中永福报春苣苔，尖萼报春苣苔和‘启明星’报春苣苔都在 15 d 干旱处理时达到最低值，与对照组差异显著。‘翔鸟’报春苣苔在 30 d 达到最低值，

与对照组差异显著（图 3 (b)）。

## 2.2 干旱胁迫下叶绿素含量的变化

**2.2.1 叶绿素 a 含量的变化** 不同时间的干旱处理对 4 种报春苣苔属的植物的叶绿素 a 含量都有显著的影响。整体上，4 种报春苣苔植物的叶绿素 a 含量变化基本为上升的趋势。其中永福报春苣苔在对照组时含量最高，其他 3 种报春苣苔属的植物均在 45 d 含量最高，都与对照组差异显著（图 4 (a)）。

**2.2.2 叶绿素 b 含量的变化** 不同时间的干旱处理对 4 种报春苣苔属的植物的叶绿素 b 含量都有显著的影响。整体上，4 种报春苣苔植物的叶绿素 b 含量变化基本为上升的趋势。4 种报春苣苔属的植物都在 45 d 含量最高，都与对照组差异显著（图 4 (b)）。

**2.2.3 叶绿素 a+b 含量的变化** 不同时间的干旱处理对 4 种报春苣苔属的植物的叶绿素 a+b 含量都有显著的影响。整体上，4 种报春苣苔植物的叶绿素 a+b 含量变化基本为上升的趋势。其中，永福报春苣苔变化趋势较为平缓，且在对照组时含量最高，其他 3 种报春苣苔属的植物在 45 d 含量最高，都与对照组差异显著（图 4 (c)）。

**2.2.4 叶绿素 a/b 比值的变化** 整体上，不同时间的干旱处理对 4 种报春苣苔属的植物的叶绿素 a/b 比值影响不显著。其中‘启明星’报春苣苔在 30 d 时比值最高，与对照组差异显著，其他数据均无显著变化（图 4 (d)）。

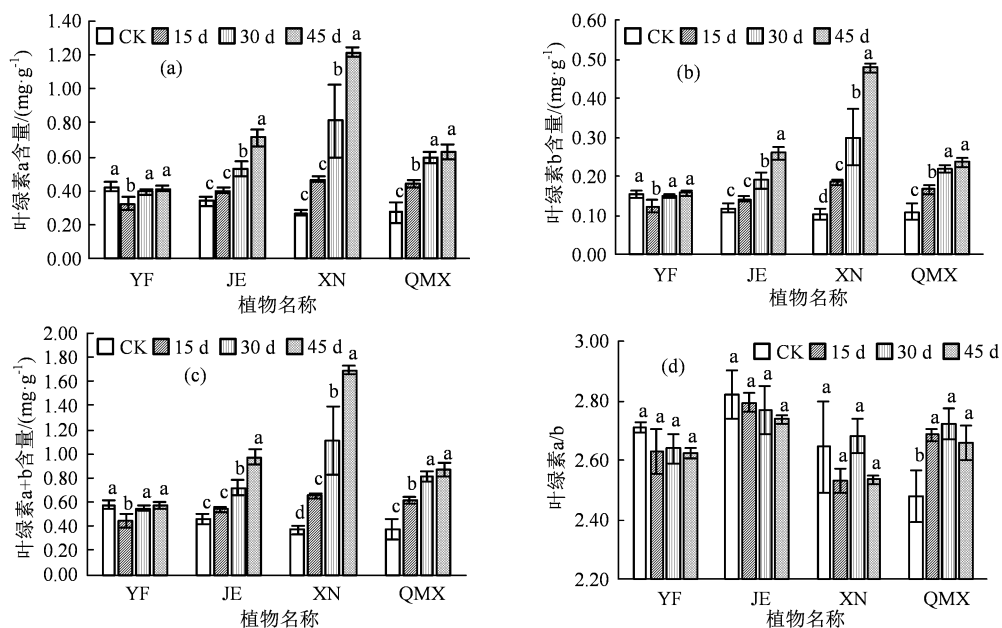


图 4 干旱胁迫对 4 种报春苣苔叶绿素含量的影响

Figure 4 Effects of drought stress on the content of chlorophyll in 4 species of primilina

## 2.3 4 种报春苣苔属植物抗旱性综合评价

对 4 种报春苣苔属植物的 11 个生理指标的抗旱

系数进行主成分分析，转化为三大主成分及其贡献率，第一大主成分贡献率达 37.943%，包括 Chlb、

Chla+b、Chla 和 ROS; 第二大主成分贡献率达 31.065%, 包括 POD、Pro、ROS 和 MDA; 第三大主成分贡献率达 27.789%, 包括 Chla/b、SOD、ABA 和 CAT; 三大主成分总贡献率达 96.798%, 代表性

强。

三大主成分所代表的三大综合指标的权重分别

为 39.20%、32.09%和 28.71%。根据综合指标的隶属函数值及其权重计算 4 种报春苣苔的 D 值, 最后得出每种报春苣苔的 D 值平均值, 分别为: 永福报春苣苔 0.600, 尖萼报春苣苔 0.290, ‘翔鸟’报春苣苔 0.848, ‘启明星’报春苣苔 0.409 (表 2)。

表 2 4 种报春苣苔的综合评价 D 值

Table 2 Comprehensive evaluation values of four species of primulina

材料名称	重复	$u(X1)$	$u(X2)$	$u(X3)$	D 值	D 值平均值	排名
永福报春苣苔	1	0.035	0.964	0.934	0.591	0.600	2
	2	0.035	1	1	0.622		
	3	0	0.988	0.937	0.586		
尖萼报春苣苔	1	0.071	0	0.716	0.233	0.290	4
	2	0.272	0.040	0.617	0.297		
	3	0.353	0.008	0.696	0.341		
‘翔鸟’ 报春苣苔	1	0.982	0.804	0.789	0.869	0.848	1
	2	1	0.828	0.822	0.894		
	3	0.813	0.892	0.611	0.780		
‘启明星’ 报春苣苔	1	0.251	0.808	0.155	0.402	0.409	3
	2	0.205	0.776	0.208	0.389		
	3	0.364	0.912	0	0.435		
权重		39.20%	32.09%	28.71%			

### 3 讨论与结论

植物的抗氧化胁迫能力和 SOD 活性呈正相关, SOD、POD 和 CAT 3 种酶相互协同, 共同抵抗干旱胁迫造成的伤害<sup>[19]</sup>, 所以植物在受到干旱胁迫后, 3 种酶的含量通常会升高; 但当干旱胁迫过强时, 这种防御机制遭到破坏, 3 种酶的含量会呈现下降的趋势, 如白栎幼苗<sup>[20]</sup>和红三叶<sup>[21]</sup>等。在本试验中, 4 种报春苣苔属的植物在受到干旱胁迫后, 3 种保护酶的含量呈现先升高后下降的趋势, 说明报春苣苔属植物能抵抗干旱胁迫带来的伤害, 但当胁迫过强时, 抵抗能力有下降。

干旱胁迫会使植物的内源激素发生变化, 尤其是 ABA 的含量, 因为其能抑制与生长相关的基因<sup>[19]</sup>。在干旱胁迫下, ABA 含量的增加可以促进气孔关闭、降低蒸腾作用等生理活动, 从而减轻干旱造成的伤害, 如干旱胁迫下的杜鹃花<sup>[22]</sup>、澳洲茶树<sup>[23]</sup>、葡萄<sup>[24]</sup>等。在本试验中, 4 种报春苣苔植物在干旱胁迫下 ABA 含量显著升高, 随着干旱胁迫加剧, 永福和‘翔鸟’报春苣苔的 ABA 含量继续升高, 但尖萼和‘启明星’报春苣苔的 ABA 含量上升趋势不明显, 甚至含量显著下降, 说明永福和‘翔鸟’

报春苣苔在 ABA 含量上的抗旱性更强。

植物受到干旱胁迫, 叶片中 Pro 的含量会增加, 以此维持细胞的膨压来抵抗干旱的伤害<sup>[25]</sup>, 但当胁迫过强无法承受时, Pro 含量会呈下降的趋势, 如兰州百合<sup>[26]</sup>、‘边儿红’甘薯<sup>[27]</sup>等随着干旱胁迫的加重, Pro 含量均呈现先增后减的趋势。在本试验中, 4 种报春苣苔叶片中 Pro 含量随着干旱胁迫的加重, 呈现先升高后下降的趋势, 但永福和‘翔鸟’报春苣苔的下降程度相比其他两种较小, 说明永福和‘翔鸟’报春苣苔在 Pro 含量上的抗旱性更强。

干旱胁迫会让植物细胞内的 ROS 过量积累, 进而使 MDA 含量增加, 让植物的细胞膜透性改变、细胞结构被破坏等<sup>[28]</sup>, 如干旱胁迫下的无花果<sup>[29]</sup>和花生<sup>[30]</sup>等。本试验中, 4 种报春苣苔随着干旱胁迫的加强, ROS 和 MDA 含量基本为先下降后上升的趋势, 说明都受到了氧化伤害。但‘翔鸟’报春苣苔的 MDA 含量随着干旱胁迫的加重有下降趋势, 说明其对氧化伤害有一定的抗性。

干旱胁迫会造成叶绿体结构的破坏, 从而导致叶绿素含量的下降。大部分的研究<sup>[29-32]</sup>中, 随着干旱胁迫的加重, 叶绿素含量的变化呈下降趋势。但是本试验中, 4 种植物的叶绿素含量却显著增加,

可能是在长时间的干旱胁迫下报春苣苔适应了环境的结果<sup>[25]</sup>。也有文献指出适宜浓度的外源 ALA 能提高植物的抗旱能力<sup>[33]</sup>，而 ALA 是合成叶绿素的前体物质。在干旱胁迫下，抗旱性强的植物能否通过增加 ALA 含量以提高抗旱能力，而出现叶绿素含量升高的现象还有待进一步讨论和验证。

综上所述，4 种报春苣苔属的植物在干旱胁迫下的生理指标都受到了显著的影响。对 4 种报春苣苔属的植物进行抗旱性综合评价，得出了 4 种报春苣苔属植物抗旱性的排序为：‘翔鸟’报春苣苔>永福报春苣苔>‘启明星’报春苣苔>尖萼报春苣苔。

## 参考文献:

- [1] 严彩霞, 马凯, 徐步青. 我国苦苣苔科植物研究进展[J]. 中国园艺文摘, 2013, 29(6): 64-66, 117.
- [2] 齐清文, 郝转, 陶俊杰, 等. 报春苣苔属植物钙形态多样性[J]. 生物多样性, 2013, 21(6): 715-722.
- [3] CHEN W H, GUO S W, WU J Y, et al. Two new species of *Allocheilos* (Gesneriaceae) from the Karst regions in Yunnan, China[J]. *PhytoKeys*, 2020, 157: 155-166.
- [4] 辛子兵, 黄章杰, 周伟权, 等. 中国广西石灰岩地区苦苣苔科一新种: 覃塘报春苣苔[J]. 西北植物学报, 2020, 40(8): 1424-1427.
- [5] 姚晓妍, 罗乐, 张启翔, 等. 报春苣苔新品种选育初见成效[J]. 中国花卉园艺, 2019(6): 17-19.
- [6] 姚晓妍. 矮壮素对永福报春苣苔生长发育的影响[D]. 北京: 北京林业大学, 2019.
- [7] 华新. 14 个苦苣苔科植物新品种获国际登录[J]. 中国花卉园艺, 2020(8): 50-51.
- [8] 徐慧, 钟汉东, 刘宝勇. 10 种野生苦苣苔科植物的引种栽培及园林应用价值分析[J]. 中国园艺文摘, 2013, 29(12): 1-4.
- [9] 朱成平, 孙卫明. 野生苦苣苔科植物的引种栽培及在山东园林应用的价值分析[J]. 现代园艺, 2018(22): 34.
- [10] 孙国胜. 不同温度及光照对苦苣苔科牛耳朵相关生理生化特征的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2013.
- [11] FERNÁNDEZ-MARÍN B, NADAL M, GAGO J, et al. Born to revive: molecular and physiological mechanisms of double tolerance in a paleotropical and resurrection plant[J]. *New Phytol*, 2020, 226(3): 741-759.
- [12] 王辉. 三种苦苣苔科野生花卉的繁育与抗逆性研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2011.
- [13] 严美玲, 李向东, 矫岩林, 等. 不同花生品种的抗旱性比较鉴定[J]. 花生学报, 2004, 33(1): 8-12.
- [14] 敬礼恒. 水稻早期抗旱性的鉴定与苗期生理基础的研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2013.
- [15] 李素, 李心昊, 刘晨, 等. 三种类型油菜苗期抗旱性综合评价及抗旱指标筛选[J]. 分子植物育种 2021, 19(12): 4108-4116.
- [16] 王竞红, 陈鹏, 陈艾, 等. 3 种观赏草苗期对干旱胁迫的响应及抗旱性评价[J]. 草业科学, 2019, 36(5): 1266-1274.
- [17] 李捷, 崔永涛, 柏延文, 等. 两种枸杞对干旱胁迫的生理响应及抗旱性评价[J]. 甘肃农业大学学报, 2019, 54(5): 79-87, 99.
- [18] 邱念伟, 王修顺, 杨发斌, 等. 叶绿素的快速提取与精密测定[J]. 植物学报, 2016, 51(5): 667-678.
- [19] 黄升谋. 干旱对植物的伤害及植物的抗旱机制[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(22): 10370-10372.
- [20] 熊仕发, 吴立文, 陈益存, 等. 不同种源白栎幼苗叶片对干旱胁迫的响应及抗旱性评价[J]. 生态学杂志, 2020, 39(12): 3924-3933.
- [21] 杨丹, 田新会, 杜文华. 红三叶新品系的抗旱性研究[J]. 草原与草坪, 2020, 40(5): 108-115.
- [22] 李丹丹, 李晓花, 张乐华. 杜鹃花属植物干旱胁迫研究进展[J]. 广西植物, 2020. DOI: 10.11931/guihaia.gxzw202004006.
- [23] 陈博雯, 覃子海, 张焯, 等. 干旱胁迫下澳洲茶树生理活性及内源激素动态变化研究[J]. 山东农业科学, 2019, 51(10): 55-59.
- [24] 邹燕. 模拟干旱胁迫下葡萄的抗旱生理生化机理研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2019.
- [25] 王兴荣, 张彦军, 李玥, 等. 干旱胁迫对大豆生长的影响及抗旱性评价方法与指标筛选[J]. 植物遗传资源学报, 2018, 19(1): 49-56.
- [26] 蔺予曼, 白瑞琴, 鱼泳, 等. 几种食用百合抗旱生理研究与评价[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2020, 41(3): 16-20, 49.
- [27] 李欢, 陈雷, 王晨静, 等. 4 个观赏甘薯品种的抗旱性比较[J]. 浙江农业学报, 2015, 27(11): 1945-1952.
- [28] 崔琦. 西瓜叶片蜡质特性与抗旱性关系研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019.
- [29] 孔维鹏, 张小艾. 四个无花果品种对干旱胁迫的生理响应及抗旱性评价[J]. 华北农学报, 2019, 34(S1): 105-113.
- [30] 董奇琦, 艾鑫, 张艳正, 等. 干旱胁迫对不同耐性花生品种生理特性及产量的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2020, 51(1): 18-26.
- [31] 董斌, 蓝来娇, 黄永芳, 等. 干旱胁迫对油茶叶片叶绿素含量和叶绿素荧光参数的影响[J]. 经济林研究, 2020, 38(3): 16-25.
- [32] 权伍荣. 干旱胁迫下不同文冠果品种抗氧化酶活性及叶绿素含量变化[J]. 延边大学农学学报, 2020, 42(1): 15-21.
- [33] 李丹丹, 梁宗锁, 杨宗岐, 等. 外源-5 氨基乙酰丙酸对干旱胁迫下紫花苜蓿生理特性及次生代谢物含量的影响[J]. 西北植物学报, 2019, 39(10): 1827-1834.