



# 丛生福禄考对高温胁迫的栽培性状及生理响应

朱军杰,张国威,胥 明

(上海辰山植物园,上海 201612)

**摘要:**为评价丛生福禄考种间耐热性,以丛生福禄考为试验材料,设置 20、25、30、35、40 ℃ 五个温度,观察生长情况并测定其叶绿素含量、组织含水量、细胞膜伤害率、可溶性蛋白含量、丙二醛含量以及脯氨酸含量等生理指标。结果表明:在 20 和 25 ℃ 时,长势好,生理指标没有显著变化;在 30 和 35 ℃ 环境下,叶子开始枯黄,脯氨酸含量升高、丙二醛和可溶蛋白含量降低。在 40 ℃ 环境下,植株长势差。丛生福禄考在 30 ℃ 以下环境生长时,长势较好。35 ℃ 及以上时,长势受到影响,生理指标出现显著变化。具有一定的耐热性。伤害率、丙二醛含量、可溶性蛋白含量和脯氨酸含量可作为丛生福禄考品种耐热性鉴定的指标。

**关键词:**丛生福禄考;高温;生理指标

丛生福禄考,属花荵科,原产于北美东部堤岸及草原上,为春化型多年生常绿耐寒宿根草本花卉,老茎半木质化,匍匐性草甸状多年生。叶针状,簇生,革质,长约 1.3 cm。花有紫红色、白色、粉红色等。花期为 4-5 月和 8-9 月,是春秋两季重要的节日花卉。近年来,丛生福禄考已经在北方地区被引种栽培并推广。丛生福禄考于 2004 年引进山东,经过长期试验观察具有良好的耐寒、耐旱性,是良好的花坛栽植品种。郑州市于 2006 年引进丛生福禄考,经试验观察总结出栽培要点,并推广。而在上海地区,上海辰山植物园内栽植的丛生福禄考长势却逐年变差,且秋季开花不如春季开花。南方地区夏季常有持续高温且部分地区最高气温可达 35 ℃ 以上,由于对丛生福禄考耐热性的研究鲜有报道,因此鉴定丛生福禄考的耐热性,判断它在夏天是否能安全越夏,具有十分重要的意义。植物耐热性研究可以采用生理指标及形态指标的方法。曲彦婷等<sup>[1]</sup>对进行福禄考属植物耐寒性试验,对脯氨酸、叶绿素、丙二醛含量和超氧化物歧化酶进行测定,认定丛生福禄考品种的抗寒性优于宿根福禄考。孙黎黎<sup>[2]</sup>将丛生福禄考与五芒雀麦进行抗旱性试验,对脯氨酸、丙二醛等生理指标的测定,判断出丛生福禄考也具有较强的抗旱性。研究高温对丛生福禄考生理指标的影响,探究其耐热性,并为丛生福禄考种间耐热性评价提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

试验材料为丛生福禄考品种 *Phlox subulata* 一年生扦插苗。

### 1.2 方法

1.2.1 试验设计 试验于 2016 年 12 月至 2017 年 1 月在上海辰山植物园后备温室内进行。将选取规格,生长势一致的一年生扦插苗,上盆。置于人工气候箱内进行高温处理。处理温度设置为:20 ℃/15 ℃(昼/夜)、25 ℃/20 ℃(昼/夜)、30 ℃/25 ℃(昼/夜)、35 ℃/30 ℃(昼/夜)、40 ℃/35 ℃(昼/夜)。各温度处理 28 d。处理期间光照强度为 8 000 lx,光周期为 10 h/14 h(昼/夜)。相对湿度 60%。定期适度浇水,保持基质湿润。每组处理重复 3 次,每重复 10 株植株。

1.2.2 测定指标及方法 每处理 7 d,剪取成熟的叶片,洗净并用干净纱布拭干,混合取样,用于测定生理指标。除叶绿素含量外,各生理指标均按照《植物生理学实验教程》测定<sup>[3]</sup>。

叶绿素含量使用 SPAD-502 测定,每个处理选取 3 个叶片进行测定。

组织含水量使用常压干燥法。称取一定量的叶片进行称量,记为鲜重  $W_1$ 。之后将叶片放入装有 100 ml 蒸馏水的的烧杯中,24 h 之后测量叶片鲜重,记为饱和鲜重  $W_2$ 。随后将叶片放入 80 ℃ 的干燥箱中进行烘干,24 h 之后取出,称量干重,记为  $W_3$ 。组织含水量按公式计算。

$$\text{组织含水量}(\%) = \frac{W_1 - W_3}{W_2 - W_3} \times 100$$

称取植物叶片 0.5 g,放入装有少量蒸馏水的

收稿日期:2018-06-20

基金项目:上海市绿化和市容管理局科学技术资助项目(G16 2413)。

第一作者简介:朱军杰(1993-),男,学士,助理工程师,从事观赏植物研究。E-mail:xum@shlingang.com。

试管中抽气至植物叶片下沉至底部,再转移到烧杯中定容至 100 mL,静置 20 min,用电导仪测量。随后放入 100 ℃ 的沸水浴中 20 min,取出冷却后再次测量电导率。细胞膜伤害率(下文简称伤害率)按下式计算。

$$\text{伤害率}(\%) = \frac{\text{处理电导率}}{\text{煮沸电导率}} \times 100$$

脯氨酸含量采用酸性茚三酮法测定。称取叶片 1 g,用 4 mL 3% 磺基水杨酸研磨,匀浆液装入离心管中沸水浴 10 min,冷却后 3 000 g 离心 10 min,取上清液定容至 5 mL 备用。取 2 mL 脯氨酸提取液,加入 2 mL 蒸馏水、2 mL 冰乙酸及 4 mL 2.5% 茚三酮,沸水浴 60 min,冷却后加入 4 mL 甲苯萃取红色物质。静置后,取甲苯相在 520 nm 下测定 OD 值。根据 OD 值从标准曲线上查出对应的脯氨酸含量,按下式计算样品中的脯氨酸含量。

$$\text{脯氨酸含量}(\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}) = \rho \times V / m$$

式中, $\rho$  为从标准曲线上查出的测定液中脯氨酸的含量, $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ;  $V$  为脯氨酸提取液总体积,mL;  $m$  为植物材料的质量,g。

植物在逆境或衰老条件下,会发生膜脂的过氧化作用。丙二醛(MDA)是膜脂过氧化产品之一,其浓度表示细胞膜脂质的过氧化强度和膜系统的伤害程度,所以是逆境生理指标。丙二醛含量采用硫代巴比妥酸法测定。

称取叶片 0.5 g,加入 50 mmol · L<sup>-1</sup> 磷酸缓冲液(pH7.8)研磨,10 000 g 离心 10 min,上清液定容至 5 mL,取上清液备用。取上清液 1.5 mL,加入 0.5% BAT 溶液 2.5 mL,混合后于沸水浴上反应 30 min,冷却后 4 000 g 离心 10 min,上清液分别于 532、600 及 450 nm 波长下测定 OD 值。结果按下式计算。

$$\text{MDA}(\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}) = 6.45 \times (\text{OD}_{532} - \text{OD}_{600}) - 0.56 \times \text{OD}_{450}$$

使用考马斯亮蓝 G-250 染色法测定。称取 2 g 叶片剪碎,加入 10 mL 0.1 mol · L<sup>-1</sup> 的磷酸缓冲液(pH7.0),研磨提取,13 000 g 离心 15 min,取上清液置 4 ℃ 备用。准确吸取 0.1 mL 样品提取液,加入 4.9 mL 考马斯亮蓝 G-250 蛋白试剂,将试管溶液倒转充分混合,放置 2 min 后在 595 nm 下比色。根据吸光度,结果按下式计算。

$$\text{蛋白质含量}(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}) = \frac{M_0 \times \frac{V_0}{V_1}}{M_1}$$

式中, $M_0$  为查标准曲线得到的样品测定管中蛋白质的质量,mg;  $V_0$  为提取液总体积,mL;  $V_1$  为测定时取样液体积,mL;  $M_1$  为取样量,g。

1.2.3 数据分析 数据计算使用 Excel 2010 完成,统计分析使用 SPSS 22.0 完成,图形绘制使用 Excel 2010 完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 高温胁迫对丛生福禄考栽培性状的影响

定期对各温度胁迫处理的植株形态进行观察,初步得到:高温处理 7 d 后,40 ℃ 处理组的植株部分叶片开始发黄。其余处理组植株长势良好,叶片深绿色。高温处理 14 d 后,各处理组植株茎段开始生长,新叶细窄,新茎变细,叶片间距变大。40 ℃ 处理组植株,茎段开始枯死,新茎生长量小。高温处理 21 d 后,35 ℃ 处理植株开始出现老茎枯死,老叶枯黄的现象,新茎长势良好。40 ℃ 处理植株叶片黄化和茎段枯死的现象加剧。其余处理组长势良好。高温处理 28 d,20 和 25 ℃ 处理植株生长良好,叶片翠绿。30 ℃ 处理植株叶片绿色,基部少量叶片枯死。35 ℃ 处理植株苗木死亡一半,基部有萌蘖。40 ℃ 处理植株均枯死。

### 2.2 相同温度不同时间处理对丛生福禄考生理指标的影响

2.2.1 叶绿素含量 由表 1 可知,随着处理时间的增加,植株 20 ℃ 时叶绿素含量相对稳定;25 ℃ 处理组呈下降趋势,28 d 处理组与其它时间处理组相比降幅较大,差异显著;30 ℃ 组呈下降趋势,28 d 处理组与其它时间处理组相比降幅较大;35 ℃ 组叶绿素呈下降趋势。

2.2.2 相对含水量 各温度处理组的植株组织相对含水量没有显著变化。

2.2.3 伤害率 20 和 25 ℃ 处理组的伤害率没有显著变化;30 和 35 ℃ 组的伤害率随着时间的增加而增加,均在 14 d 时伤害率显著上升。

2.2.4 脯氨酸含量 各温度处理组植株脯氨酸含量均随着时间的增加而增加,只是达到峰值所需时间不同。20 ℃ 处理组在第 28 d 时达到峰值,25 ℃ 处理组在第 14 天时达到峰值,30 ℃ 处理组在第 7 天达到峰值,之后下降。35 ℃ 处理组在第 21 天时达到峰值。

2.2.5 丙二醛含量 20 和 30 ℃ 处理组植株的丙二醛含量在第 14 天时达到峰值后,开始下降;25 ℃ 处理组的丙二醛含量没有随时间变化而变

化;35℃处理组的丙二醛含量呈上升趋势,在第28天时达到峰值。

2.2.6 可溶性蛋白含量 各温度处理组植株的可溶性蛋白含量随着时间的增加而减少,20℃时

在第21天达到最小值后,趋于平稳。25℃时在第14天和21天时,降幅显著。30℃时可溶性蛋白含量在第14和28天降幅显著;35℃在第28天时降幅显著。

表 1 同温度不同时间处理对丛生福禄考生理指标的影响

Table 1 The effect of different time processing with the same temperature on physiological index of <i>Phlox subulata</i>							
温度 /℃ Temperature	时间/d Time	叶绿素/SPAD Chlorophyll	组织含水量/% Tissue moisture content	伤害率/% Damage rate	脯氨酸/ (μg·g <sup>-1</sup> ) Proline	丙二醛/ (μmol·g <sup>-1</sup> FW) MDA	可溶性蛋白/ (mg·g <sup>-1</sup> FW) Soluble protein
20	7	28.28±3.01 a	84.00±3.60 a	15.45±4.01 a	5.69±3.82 b	0.97±0.09 b	3.67±0.69 a
	14	29.67±4.51 a	80.53±1.26 a	24.19±1.65 a	3.09±1.22 b	1.21±0.13 a	2.74±0.40 a
	21	26.14±5.33 a	82.73±1.57 a	16.15±11.48 a	5.69±3.08 b	0.8±0.04 b	1.11±0.58 b
	28	22.40±5.58 a	80.43±1.30 a	12.79±0.95 a	16.26±1.73 a	0.68±0.02 c	1.54±0.15 b
25	7	24.23±1.16 ab	77.49±3.32 a	16.39±3.88 b	13.50±3.98 b	0.93±0.07 a	4.85±0.43 a
	14	27.41±3.78 a	83.39±2.75 a	29.69±5.32 a	20.18±5.14 a	1.22±0.13 a	2.87±0.20 b
	21	20.69±3.72 b	81.67±0.50 a	20.30±1.21 b	7.39±1.09 b	0.92±0.15 a	2.27±0.51 bc
	28	14.13±0.80 c	83.44±3.10 a	21.62±1.94 b	19.74±5.22 a	1.15±0.25 a	1.77±0.06 c
30	7	26.42±4.71 a	77.63±8.01 a	12.81±1.49 c	41.90±10.80 a	0.94±0.06 ab	4.74±0.42 a
	14	22.44±6.34 ab	80.72±0.40 a	20.42±1.26 a	6.60±1.19 c	1.15±0.02 a	2.67±0.22 b
	21	22.50±1.51 ab	83.35±3.36 a	16.89±0.90 b	8.97±0.78 bc	0.75±0.38 b	2.56±0.26 b
	28	13.63±5.95 b	84.32±1.71 a	21.18±1.24 a	18.93±4.63 b	0.77±0.12 b	1.75±0.06 c
35	7	21.41±3.22 ab	81.22±1.10 a	14.86±0.78 b	9.31±5.49 b	0.90±0.08 b	3.88±0.53 a
	14	23.61±1.83 a	81.55±0.94 a	27.54±4.33 a	19.38±6.79 ab	1.08±0.09 ab	3.12±0.65 a
	21	17.37±1.39 b	80.90±0.95 a	9.28±1.13 b	32.28±3.58 a	1.06±0.12 ab	3.48±0.25 a
	28	20.38±2.06 ab	84.96±4.29 a	25.61±9.78 a	20.04±12.41 ab	1.24±0.13 a	1.90±0.01 b

同温度同一列数据内不同小写字母表示在 0.05 水平下差异显著。下同。  
Different lowercase letters in the same column of data at the same temperature indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

2.3 相同时间内不同温度对丛生福禄考生理指标的影响

2.3.1 叶绿素含量 由表 2 可知,随着温度的上升,7、14 和 21 d 处理组的叶绿素没有显著变化,28 d 处理组的叶绿素随着温度的上升呈先降后升的趋势。

2.3.2 含水量 各时间处理组植株的组织含水量并没有随着温度的上升而发生明显变化。

2.3.3 伤害率 伤害率在不同高温胁迫下,7 d 处理组的伤害率呈上升趋势,在 40℃时达到峰值,差异显著;14 d 处理组的伤害率呈波动性,25 和 35℃与其它温度处理组相比较大;21 d 处理组呈下降趋势,35℃时降幅明显;28 d 处理组的伤害率随着温度上升而上升。

2.3.4 脯氨酸含量 脯氨酸含量在各时间处理

下,随着温度的上升而上升。7 d 处理组的植株在 30 和 40℃含量较大,差异显著;14 d 处理组植株在 25 和 35℃时含量较大,差异显著;21 d 处理组植株在 35℃时脯氨酸含量明显上升,与其它温度处理组相比增幅大;28 d 处理组植株的脯氨酸含量没有显著变化。

2.3.5 丙二醛含量 7 d 处理组植株的丙二醛在 40℃时达到最大值,差异显著;14 和 21 d 处理组的丙二醛没有随着温度变化而变化;28 d 时,25 和 40℃处理组与其它温度处理组相比,丙二醛含量降幅较大,差异显著。

2.3.6 可溶性蛋白含量 不同时间处理组,可溶性蛋白含量随着温度的上升而上升。7 和 14 d 处理组的可溶性蛋白没有随温度变化而变化;21 d 处理组在 25 和 35℃时增幅较大;28 d 处理组在

35 ℃时达到最大值,差异显著。

表 2 相同时间内不同温度对丛生福禄考生理指标的影响

Table 2 The effect of same time processing with the different temperature on physiological index of *Phlox subulata*

时间/d Time	温度 /℃ Temperature	叶绿素/SPAD Chlorophyll	组织含水量/% Tissue moisture content	伤害率/% Damage rate	脯氨酸/ (μg·g <sup>-1</sup> ) Proline	丙二醛/ (μmol·g <sup>-1</sup> FW) MDA	可溶性蛋白/ (mg·g <sup>-1</sup> FW) Soluble protein
7	20	28.28±3.01 a	84.00±3.60 a	15.45±4.01 b	5.69±3.82 c	0.97±0.09 b	3.68±0.69 a
	25	24.23±1.16 ab	77.49±3.32 a	16.39±3.88 b	13.50±3.98 c	0.93±0.07 b	4.85±0.44 a
	30	26.42±4.70 ab	77.63±8.01 a	12.81±1.49 b	41.90±10.80 b	0.94±0.06 b	4.74±0.42 a
	35	21.41±3.22 ab	81.22±1.10 a	14.86±0.78 b	9.31±5.49 c	0.90±0.08 b	3.88±0.53 a
	40	26.88±5.91 ab	79.13±0.03 a	29.69±0.92 a	120.21±22.13 a	1.18±0.13 a	4.38±0.45 a
14	20	29.67±4.51 a	80.53±1.26 a	24.19±1.65 ab	3.09±1.23 b	1.21±0.12 a	2.74±0.40 a
	25	27.41±3.78 a	83.39±2.75 a	29.69±5.32 a	20.18±5.14 a	1.22±0.13 a	2.87±0.20 a
	30	22.45±6.34 a	80.72±0.40 a	20.42±1.26 b	6.60±1.19 b	1.15±0.02 a	2.67±0.22 a
	35	23.61±1.83 a	81.55±0.95 a	27.54±4.33 a	19.38±6.79 a	1.08±0.09 a	3.13±0.64 a
21	20	26.14±5.33 a	82.73±1.57 a	16.15±11.48 ab	5.69±3.08 b	0.87±0.04 a	1.11±0.59 c
	25	20.69±3.73 ab	81.67±0.51 a	20.30±1.21 a	7.39±1.09 b	0.92±0.15 a	2.27±0.52 b
	30	22.5±1.51 ab	83.35±3.36 a	16.89±0.895 ab	8.97±0.76 b	0.75±0.37 a	2.56±0.26 b
	35	17.37±1.38 b	80.90±0.55 a	9.28±1.13 b	32.28±3.58 a	1.06±0.12 a	3.49±0.25 a
28	20	22.40±5.58 a	80.43±1.30 a	12.79±0.95 b	16.26±1.74 a	0.68±0.0 b	1.54±0.15 b
	25	14.13±0.80 b	83.44±3.10 a	21.62±1.94 ab	19.74±5.22 a	1.15±0.25 a	1.77±0.06 ab
	30	13.63±5.95 b	84.32±1.71 a	21.18±1.24 ab	18.93±4.63 a	0.77±0.12 b	1.75±0.06 ab
	35	20.38±2.05 ab	84.96±4.29 a	25.61±9.78 a	20.0±12.41 a	1.24±0.13 a	1.90±0.01 a

3 结论与讨论

植物细胞膜对于维持细胞的微环境与正常的代谢有着重要的作用。在正常情况下,细胞膜对物质有选择透性能力。当植物收到逆境环境影响时,细胞膜遭到破坏,膜透性增大,从而导致植物细胞浸提液的电导率增大。因此电导法已经成为了鉴定植物抗逆性强弱的一个重要的指标。陈娅琼<sup>[4]</sup>在荷兰菊耐热实验中发现电导率值越大,植株抗性越差。吴斌<sup>[5]</sup>对不同萝卜耐热性研究发现,耐热材料积累脯氨酸的能力强于不耐热材料。杨华庚等<sup>[6]</sup>在对蝴蝶兰进行在高温胁迫下生理反应的研究时,证明高温胁迫下耐热性强的材料丙二醛积累量低于耐热性弱的材料。

试验证明,20 和 25 ℃温度胁迫 28 d,植株栽培性状表现良好,说明该温度下植株能正常生长。此时除脯氨酸,丙二醛呈波动性,可溶性蛋白含量降低,其余指标没有变化;当温度上升到30 ℃时,植株出现部分黄叶,开始影响正常生长。此时伤害率呈波动性,脯氨酸含量呈先降后升的趋势,说

明植株合成脯氨酸抵抗高温。可溶性蛋白呈下降趋势;温度上升到 35 ℃时,一半植株出现死亡,此时伤害率呈上升趋势,膜透性增加,脯氨酸和丙二醛含量上升。当环境温度上升到 40 ℃,植株长势变差,胁迫时间过长,引起植株死亡。

丛生福禄考耐高温,但过高的温度或过长的胁迫时间会影响植株的正常生长。在受到高温胁迫时,叶绿素和组织含水量的变化不显著,不能作为评判抗逆性强弱的指标。其它指标均有明显的差异,可以作为丛生福禄考耐热性评价指标。

本试验初步证明,通过形态观察和生理指标测定,认为丛生福禄考具有一定的耐热性,温度超过 35 ℃开始对其生长产生影响。细胞膜透性、丙二醛、可溶性蛋白、脯氨酸可以作为丛生福禄考品种耐热性鉴定的指标。

参考文献:

[1] 曲彦婷,熊燕,韩辉,等. 不同福禄考品种对低温胁迫的生理响应及抗寒性综合评价[J]. 植物生理学报,2016,52(4): 487-496.

(下转第 89 页)

- 2004,53(2):391-403.
- [5] Shui Y M, Janssens S, Huang S H, et al. Three New Species of *Impatiens* L. from China and Vietnam: Preparation of Flowers and Morphology of Pollen and seeds[J]. Systematic Botany, 2011, 36(2): 428-439.
- [6] Li G F, Shui Y M, Chen W H, et al. A new species of *Impatiens* (Balsaminaceae) from Yunnan, China[J]. Brittonia, 2011, 63(4): 452-456.
- [7] 裴仁济, 陈小强, 孙宁, 等. 火焰原子吸收光谱法测定不同花色非洲紫罗兰金属元素[J]. 江苏农业科学, 2010(6): 444-445.
- [8] 包雪英, 刘翠珍. 原子吸收法测定黄芩中的矿质元素[J]. 北方园艺, 2007(12): 50-51.
- [9] 李荣华, 张媛, 方正. 铜对紫色新几内亚凤仙开花性状的影
- 响[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(8): 4490-4491.
- [10] 李荣华, 张媛, 方正. 铝对新几内亚凤仙生长发育及花色的影响[J]. 河北农业大学学报, 2006(5): 32-36.
- [11] 管海波, 黄忠京, 银小玲, 等. 当归藤红色素稳定性研究[J]. 食品研究与开发, 2012(10): 232-235.
- [12] 李颖畅, 孟宪军, 周艳, 等. 金属离子和食品添加剂对蓝莓花色苷稳定性的影响[J]. 食品科学, 2009(9): 80-84.
- [13] 付红岩, 李自强, 姚晶, 等. 金属离子和食品添加剂对紫甘薯花色苷稳定性的影响[J]. 食品工业技术, 2013(15): 273-276.
- [14] 赵起灵, 陈俊愉, 刘雪兰, 等. 理化因素对梅花‘南京红须’花色色素颜色呈现的效应[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2004(2): 27-32.

## Determination and Analysis of Metal Elements Content in Four Different Colors of *Impatiens uliginosa*

HUANG Qi, GUO Jia-wei, WANG Qiong, WEN Yong-hui, HUANG Mei-juan, HUANG Hai-quan

(College of Landscape Architecture, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China)

**Abstract:** In order to explore the ways of flowercolor improvement of *Impatiens uliginosa* in Yunnan province, the contents of eight metal elements of K, Na, Fe, Ca, Mn, Cu, Mg and Zn in the four kinds of *Impatiens uliginosa* were determined by flame atomic absorption spectrometry (FAAS). The results showed that the contents of eight metal elements in the four kinds of *Impatiens uliginosa* were significant differences. The contents of K, Na, Mg and Ca were higher than other elements, and the contents of Cu were lower than other elements. The contents of Fe and Mn in two kinds of *Impatiens uliginosa* Franch were different, although which was in the same collection site.

**Keywords:** *Impatiens uliginosa*; metal content; flame atomic absorption spectrometry

(上接第 85 页)

- [2] 孙黎黎. 丛生福禄考与无芒雀麦抗旱性比较试验[J]. 中国城市林业, 2014, 12(4): 23-25.
- [3] 张以顺, 黄霞, 陈云凤. 植物生理学实验教程[M]. 北京: 高等教育出版社, 2009.
- [4] 陈娅琼, 蒋文伟, 黄建荣, 等. 4 种荷兰菊品种耐热性生理指标初探[J]. 江苏林业科技, 2009, 36(1): 15-28.
- [5] 吴斌, 蒋秋玮, 顾婷婷, 等. 高温胁迫下不同耐热性萝卜幼苗生理响应分析[J]. 中国蔬菜, 2010(10): 25-28.
- [6] 杨华庚, 杨重法, 陈慧娟, 等. 蝴蝶兰不同耐热性品种幼苗对高温胁迫的生理反应[J]. 中国农学通报, 2011, 27(1): 144-150.

## Cultivation Characteristics and Physiology Responses of *Phlox subulata* to High Temperature Stress

ZHU Jun-jie, ZHANG Guo-wei, XU Ming

(Shanghai Chenshan Botanical Garden, Shanghai 201612, China)

**Abstract:** In order to evaluate the interspecific heat resistance of *Phlox subulata*, *Phlox subulata* were used as experimental material and five treatments of 20, 25, 30, 35 and 40 °C set to measure content of chlorophyll, content of water, cell membrane injury rate, content of soluble protein, content of malondialdehyde (MDA) and free proline content (PRO). The results showed that when it was 20 and 25 °C, plants were a better growth, physiochemical indexes did not change significantly; At 30 and 35 °C environment, leaves were beginning to yellow, content of PRO increased, contents MDA and soluble protein decreased. At 40 °C environment, plants grew worse. They could grow well at 30 °C environment. But there will be significant change on growth and physiochemical indexes when the temperature was 35 °C. The cell membrane injury rate, MDA content, soluble protein, free proline content were selected as physiochemical indexes of evaluating on heat tolerance of different *Phlox subulata*.

**Keywords:** *Phlox subulata*; high temperature stress; physiochemical indexes