

# 高温胁迫对孔雀草和万寿菊不同品种生长和生理的影响

田治国<sup>1</sup>, 王 飞<sup>2,\*</sup>, 张文娥<sup>2,3</sup>, 赵秀明<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>西北农林科技大学林学院, 陕西杨凌 712100; <sup>2</sup>西北农林科技大学园艺学院, 陕西杨凌 712100; <sup>3</sup>贵州大学农学院, 贵阳 550025)

**摘 要:** 以万寿菊属 (*Tagetes*) 的 6 个孔雀草品种和 3 个万寿菊品种为试材, 研究了 38 °C/21 °C (昼/夜) 高温胁迫对其株高、根长、根数、干样质量、热害指数以及叶绿素 [Chl. (a + b)] 含量、叶片相对电导率 (REC)、丙二醛 (MDA) 含量、叶片相对含水量 (RWC)、抗氧化酶 (SOD、POD、CAT、APX) 活性等指标的影响。结果表明: 持续 4 d 的高温胁迫下, 9 个品种叶片、株高等形态表现出不同的受害症状。REC 和 MDA 明显上升, 叶片叶绿素含量和相对含水量均明显下降。同时高温胁迫提高了 SOD、POD 和 CAT 酶的活性, 降低了 APX 酶的活性。叶片相对电导率与热害指数之间呈极显著正相关 ( $P < 0.01$ ); SOD、POD 和 CAT 与热害指数之间均呈极显著负相关 ( $P < 0.01$ )。9 个品种耐热性可评定为: ‘发现’、‘拳王’、‘巨人’和‘金门’耐热性强; ‘大英雄’和‘珍妮’次之; ‘迪阿哥’、‘小英雄’和‘鸿运’耐热性差。

**关键词:** 孔雀草; 万寿菊; 品种; 高温胁迫; 耐热性; 抗氧化酶

**中图分类号:** S 681

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0513-353X (2011) 10-1947-08

## Effects of Heat Stress on Growth and Physiology of Marigold Cultivars

TIAN Zhi-guo<sup>1</sup>, WANG Fei<sup>2,\*</sup>, ZHANG Wen-e<sup>2,3</sup>, and ZHAO Xiu-ming<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>College of Forestry, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; <sup>2</sup>College of Horticulture, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; <sup>3</sup>Agricultural College, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

**Abstract:** The effects of high temperature 38 °C/21 °C (day/night) on plant growth, leaf chlorophyll content, relative electric conductivity (REC), malon dialdehyde (MDA) content, relative water content (RWC), the activities of superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD), catalase (CAT) and ascorbate peroxidase (APX) were investigated in 9 marigold cultivars. The results showed that 9 cultivar seedlings showed different degrees of damage symptom under high temperature for 4 days. MDA contents and REC increased significantly, whereas leaf chlorophyll content, RWC and APX decreased under high temperature treatment, which also increased SOD, POD and CAT activities. The path coefficient analysis showed a significantly positive correlation between REC and heat injury index, but significantly negative correlations between SOD, POD and CAT activities and heat injury index. The heat tolerance of the tested

收稿日期: 2011 - 07 - 07; 修回日期: 2011 - 09 - 14

基金项目: 国家林业局社会公益项目 (200704009); 陕西省农业科技攻关项目 (2009K01-11)

\* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: xnwangfei521@126.com)

9 cultivars decreased in the order of ‘Discovery’, ‘Chokdee’, ‘Giant’, ‘Gate Gold’, ‘Great Hero’, ‘Janie’, ‘Durango’, ‘Little Hero’ and ‘Bonanza’.

**Key words:** french marigold; marigold; cultivar; heat stress; heat tolerance; antioxidant enzyme

随着工业化进程的加快,全球温度普遍持续升高。高温热害越来越严重地影响植物的生理特性,也逐渐成为限制植物分布、生长和生育的重要生态因子(Gulen & Eris, 2004)。目前对植物耐热性方面的研究主要集中在番茄、小麦、高粱、黄瓜(毛胜利等, 2005; 陈锋等, 2006; Gao et al., 2010; Mukesh et al., 2010)等农作物上,对于观赏植物的研究较少。

万寿菊属(*Tagetes*)植物为菊科(Compositae)一年生草本,花期在6—10月,夏季高温胁迫会导致植株叶片萎蔫,叶色发黄,花期缩短等,影响其观赏效果。前人对万寿菊属植物的研究主要集中在提取物抑菌作用(师光禄等, 2007; 范志宏等, 2010; 张天柱等, 2010),花器官形态结构(曾丽等, 2010)以及栽培技术和色素提取等方面,对抗性方面研究较少。

本研究中针对生产上常用的万寿菊属的9个品种,分析高温胁迫对其外部形态、叶绿素含量、质膜透性(叶片相对电导率和MDA含量)、抗氧化酶活性(SOD、POD、CAT、APX)以及叶片相对含水量的影响,探讨其适应高温的某些生理机制,同时进行耐热性评价,旨在为耐热机理研究和耐热育种及环境绿化提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试材料为目前广泛应用的菊科万寿菊属的孔雀草(*Tagetes patula*)品种‘大英雄’、‘鸿运’、‘金门’、‘珍妮’、‘小英雄’、‘迪阿哥’和万寿菊(*Tagetes erecta*)品种‘巨人’、‘拳王’、‘发现’。种子从内蒙古赤峰卉源园艺公司购买,在西北农林科技大学园艺学院温室内育苗。

2010年6月中旬播种于育苗盘中,3对真叶时,将幼苗定植到16 cm × 14 cm的营养钵中,以泥炭土与园土(1:2)为栽培基质,正常管理。

### 1.2 处理方法

7月下旬选取长势基本一致的植株进行昼/夜温度为38℃/21℃的高温胁迫(经预备试验确定),空气相对湿度50%,光周期14 h,光照强度10 000 lx。处理前统一浇水,使盆中土壤湿度基本保持一致。

试验过程中隔24 h加一定量的水,并观察植株受害情况,以25℃/20℃(昼/夜)环境下生长的植株为对照。

每处理设3次重复,每重复6株。高温处理4 d取样后将植株置于室温,恢复生长2 d后观测其恢复情况。

### 1.3 生长指标和热害指数测定

用游标卡尺测量高温胁迫前、后所有植株的株高以及处理后的根长和根数。分别选取植株地上部分和根系,置105℃烘箱杀青15 min再转至60℃下烘干,测定干样质量。

按以下标准进行耐热分级。0级,植株生长正常;1级,少于1/4的叶片表现萎蔫;2级,1/4~1/2的叶片表现萎蔫或发黄;3级,1/2~3/4的叶片表现萎蔫或发黄;4级,3/4以上的叶片表现萎蔫

或发黄；5 级：植株枯死。通过公式计算热害指数。热害指数 (%) =  $\Sigma$  (级别株数 × 级别数) / 最高级数 × 处理总株数 × 100 (易金鑫和侯喜林, 2002)。

#### 1.4 生理指标测定

高温胁迫 4 d 后于上午 8:00—9:00 对顶叶下 3~4 枚功能叶片进行混合取样, 用于以下生理指标的测定。

叶绿素含量采用 80% 丙酮浸提法; 叶片相对含水量 (RWC) 采用浸泡法; 质膜透性采用相对电导率 (REC) 法; 丙二醛 (MDA) 含量用硫代巴比妥酸法; 超氧化物歧化酶 (SOD) 采用 NBT 光化还原法; 过氧化物酶 (POD) 采用愈创木酚显色法; 过氧化氢酶 (CAT) 活性采用紫外分光光度法, 以上指标测定均参照高俊凤 (2000) 的文献。抗坏血酸过氧化物酶 (APX) 活性测定采用 Nakano 和 Asada (1981) 的方法, 略作改动。

#### 1.5 隶属函数分析

应用隶属函数法 (高俊凤, 2000) 对 9 个品种的 8 项生理指标进行综合评价。隶属函数公式: 如果某个指标与耐热性呈正相关,  $X(u) = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$ ; 如果与耐热性为负相关,  $X(u) = 1 - (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$  式中:  $X$  是某一种指标的当测值。  $X_{\min}$  是 9 种植物对应指标的最小值,  $X_{\max}$  是 9 种植物对应指标的最大值。对供试植物各个指标的隶属值进行累加, 求其平均数, 以评定耐热性。平均数越大, 耐热性越强, 反之, 则耐热性较差。

#### 1.6 数据分析

采用 Excel 软件处理数据、制表, 用 SPSS18.0 软件进行方差分析和相关性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 高温胁迫对孔雀草和万寿菊热害指数和生长指标的影响

热害指数能客观反映植株在高温胁迫中的耐热能力, 热害指数越低, 植株的耐热性越强。38 °C/21 °C 高温胁迫后, ‘拳王’、‘发现’、‘巨人’和 ‘金门’ 4 个品种整体长势好, 叶片未有黄叶, 有个别植株略萎蔫, 其热害指数小, 耐热性强; ‘大英雄’和 ‘珍妮’ 次之; ‘鸿运’、‘小英雄’和 ‘迪阿哥’ 前期叶色变淡, 后期叶色变黄, 热害指数明显高于其他品种, 耐热性较弱 (表 1)。其中, ‘迪阿哥’ 胁迫前期叶片边缘变黄, 后期蔓延到整个叶片, 同时植株整体萎蔫严重。‘大英雄’和 ‘鸿运’ 后期叶片叶缘卷曲焦黄, 部分植株萎蔫下垂, ‘小英雄’ 基部叶片叶色变黄较多。

如表 1 所示, 高温抑制了根的生长。其中, 高温对 ‘鸿运’和 ‘迪阿哥’ 根长的抑制率最高, 均降低了 40% 以上, 与对照差异分别达到显著 ( $P < 0.05$ ) 或极显著 ( $P < 0.01$ ) 水平; 而对 ‘大英雄’ 根数的抑制率最高, 与对照相比下降了 33%; 其他品种高温处理与对照差异均不显著。高温胁迫后植株茎叶和根的干样质量都有所下降, 而且对根的抑制普遍都高于茎叶, 9 个品种处理与对照差异均达到极显著。其中, 根相对变化率最高的是 ‘珍妮’、‘迪阿哥’和 ‘鸿运’, 均在 75% 以上, 茎降低幅度最大的是 ‘鸿运’、‘珍妮’和 ‘大英雄’, 均在 55% 以上。

高温处理 4 d 后将植株置于室温恢复培养 2 d 发现, 大部分植株长势明显差于正常环境下生长的植株, 其中不耐热的 ‘鸿运’、‘小英雄’和 ‘迪阿哥’ 品种叶片大面积出现黄化并逐渐脱落, 不能恢复正常生长状态。

表 1 高温胁迫对孔雀草和万寿菊生长指标和热害指数的影响  
Table 1 Effects of heat stress on growth index and heat injury index in marigold cultivars

种名 Species	品种 Cultivar	处理 Treatment	株高/cm Height	根数 Root number	根长/cm Root length	干样质量/g Dry mass		热害指数/% Heat injury index
						茎叶 Stem and leaf	根 Root	
孔雀草 <i>Tagetes patula</i>	大英雄	38/21 ℃	96.67	40*	22.71	0.19*	0.10**	33.33
	Great Hero	对照 Control	102.63	60	25.87	0.43	0.19	0
	鸿运	38/21 ℃	97.66	66	11.57*	0.17*	0.05**	64.44
	Bonanza	对照 Control	94.31	71	20.36	0.43	0.22	0
	金门	38/21 ℃	85.05	38	12.01	0.11	0.04**	8.89
	Gate Gold	对照 Control	74.49	41	18.17	0.16	0.12	0
	珍妮	38/21 ℃	70.25	41	14.98	0.12*	0.04**	31.11
	Janie	对照 Control	75.04	43	19.75	0.29	0.22	0
	小英雄	38/21 ℃	72.44*	65	11.48*	0.17*	0.06**	35.56
	Little Hero	对照 Control	102.04	78	17.39	0.30	0.21	0
	迪阿哥	38/21 ℃	88.28	32	18.67**	0.16*	0.05**	44.44
	Durango	对照 Control	102.63	38	32.48	0.32	0.20	0
万寿菊 <i>Tagetes erecta</i>	巨人	38/21 ℃	103.23	92	18.47*	0.12	0.05**	6.67
	Giant	对照 Control	114.84	95	24.73	0.22	0.15	0
	拳王	38/21 ℃	105.56	72	24.22*	0.24*	0.09**	2.22
	Chokdee	对照 Control	135.94	74	38.26	0.50	0.27	0
	发现	38/21 ℃	110.64	81	20.99*	0.21*	0.11**	4.44
	Discovery	对照 Control	119.37	92	33.05	0.44	0.25	0

注：\*和\*\*分别表示处理与对照差异达显著（ $P < 0.05$ ）和极显著水平（ $P < 0.01$ ），下同。  
Note: \* and \*\* indicate the significant difference at 0.05 and 0.01 level, respectively. The same below.

2.2 高温胁迫对孔雀草和万寿菊生理指标的影响

由表 2 可见，高温胁迫普遍降低了叶绿素含量（除‘金门’、‘拳王’外）和叶绿素 a/b，但经方差分析差异均不显著。

高温胁迫后相对含水量也均出现下降，其中耐热性较弱的‘大英雄’、‘鸿运’、‘小英雄’和‘迪阿哥’下降幅度大，且与对照差异显著。

9 个品种的相对电导率均表现增加，且与对照差异显著。其中，耐热性较弱的‘大英雄’、‘鸿运’、‘小英雄’、‘珍妮’和‘迪阿哥’增加幅度明显高于其他品种（ $P < 0.01$ ）。MDA 是膜脂过氧化的最终产物，其含量越高，说明膜脂过氧化程度越大。

38 ℃/21 ℃高温处理下，9 个品种的 MDA 含量均增加，其中‘大英雄’、‘小英雄’和‘迪阿哥’分别比对照增加了 1.19、1.27 和 1.25 倍，差异达到了极显著（‘大英雄’）或显著，其他品种高温处理与对照间差异不显著。

高温处理明显提高了 9 个品种的 SOD、POD 和 CAT 的活性。其中‘金门’、‘巨人’、‘拳王’和‘发现’的 SOD 活性均提高了 13.40%以上，与其对照差异显著；‘大英雄’、‘金门’、‘巨人’和‘发现’的 POD 活性增加幅度高于其他品种，分别增加了 12.38%、31.26%、27.61%和 12.98%，差异极显著（‘金门’）或显著，其他品种处理和对照间的差异不明显；表 2 表明，高温提高了各品种 CAT 的活性（除‘鸿运’外），其中‘巨人’和‘金门’增加幅度最大，分别提高了 35.82%和 21.81%，差异分别达极显著或显著。

由表 2 还可以看出，高温胁迫降低了 APX 的活性（除‘发现’外），且 9 个品种高温处理与对照差异均极显著或显著。

表 2 高温胁迫对孔雀草和万寿菊生理指标的影响  
Table 2 Effects of heat stress on physiological index in marigold cultivars

种名 Species	品种 Cultivar	处理 Treatment	Chl.(a+b)/ (mg · g <sup>-1</sup> FW)	Chl. a/b	相对含水 量/% RWC	相对电导 率/% REC	丙二醛/ (mmol · g <sup>-1</sup> ) MDA	SOD/ (U · g <sup>-1</sup> FW)	POD/ (U · min <sup>-1</sup> · g <sup>-1</sup> FW)	CAT/ (U · min <sup>-1</sup> · g <sup>-1</sup> FW)	APX/ (U · min <sup>-1</sup> · g <sup>-1</sup> FW)
孔雀草 <i>Tagetes patula</i>	大英雄 Great Hero	38/21 °C	8.13	5.01	89.94*	41.52**	6.70**	222.70	81.94*	131.91	28.80**
		对照	9.31	5.02	95.91	20.75	5.62	205.96	72.92	130.86	40.80
	鸿运 Bonanza	38/21 °C	6.59	4.96	86.51*	58.86**	5.92	195.13	50.51	131.56**	16.40**
		对照	7.53	5.12	92.52	18.40	4.86	190.41	55.63	234.31	40.80
	金门 Gate Gold	38/21 °C	6.64	5.15	90.51	29.91*	4.52	238.79	50.71**	231.64*	38.40**
		对照	4.92	5.16	92.68	15.39	3.89	209.34	38.63	191.11	61.20
	珍妮 Janie	38/21 °C	6.89	5.05	88.39	40.99**	5.96	214.18	90.08	201.42	12.40**
		对照	8.29	5.06	90.73	19.38	4.85	205.17	82.63	186.67	36.00
	小英雄 Little Hero	38/21 °C	6.98	4.85	86.09*	41.57**	5.42*	196.41	48.56	162.13	25.20*
		对照	8.59	4.93	90.89	19.75	4.26	184.30	44.77	151.64	36.40
	迪阿哥 Durango	38/21 °C	5.49	4.63	88.63*	41.64**	6.87*	213.53	48.23	198.93	21.60**
		对照	7.61	5.05	92.62	15.67	5.51	204.56	42.42	197.87	40.00
	巨人 Giant	38/21 °C	8.64	4.76	84.60	29.58*	8.47	333.86	96.30*	272.36**	25.60**
		对照	9.45	4.84	90.17	15.20	8.24	261.29	75.47	200.53	41.20
	拳王 Chokdee	38/21 °C	9.78	4.38	89.07	29.67*	7.05	312.84	95.20	167.47	30.80**
		对照	7.63	4.85	94.85	14.49	6.41	244.32	87.27	154.49	40.40
万寿菊 <i>Tagetes erecta</i>	发现 Discovery	38/21 °C	7.89	4.51	87.87	30.05*	7.49	339.42	104.80*	199.64	56.40*
		对照	9.18	5.09	93.69	15.12	6.17	299.23	92.76	183.29	42.40
		Control									

2.3 高温胁迫下孔雀草和万寿菊各生理指标相对变化率与热害指数之间的关系

高温胁迫下，各生理指标相对变化率与热害指数间的相关性分析表明，9 个品种叶片相对电导率的变化率与热害指数之间呈极显著正相关 ( $P < 0.01$ )，相关系数为 0.841，而 SOD 和 CAT 酶活性的相对变化率与热害指数之间呈极显著负相关，POD 的呈显著负相关，相关系数分别为 -0.822、-0.814 和 -0.703。(表 3)。

表 3 高温胁迫下孔雀草和万寿菊生理指标的变化率与热害指数间的相关分析  
Table 3 Coefficient analysis between rate of change of physiological index and heat injury index in marigold cultivars under heat stress

指标 Index	Chl.(a+b)	Chl.a/b	RWC	REC	MDA	SOD	POD	CAT	APX	热害指数 Heat index
Chl.(a+b)	1.000									
Chl.a/b	0.031	1.000								
RWC	0.229	0.364	1.000							
REC	-0.358	-0.126	-0.190	1.000						
MDA	-0.514	-0.024	0.247	0.381	1.000					
SOD	0.583	-0.230	-0.278	-0.551	-0.906**	1.000				
POD	0.401	0.180	0.405	-0.720*	-0.505	0.514	1.000			
CAT	0.284	0.089	0.287	-0.872**	-0.529	0.634	0.897**	1.000		
APX	0.082	-0.606	0.373	-0.479	-0.049	0.334	0.187	0.287	1.000	
热害指数 Heat index	-0.582	0.241	-0.054	0.841**	0.630	-0.822**	-0.703*	-0.814**	-0.609	1.000

## 2.4 隶属函数分析

以叶绿素总含量、RWC、REC、MDA、SOD、POD、CAT 和 APX 等 8 项生理指标为依据, 计算其隶属函数值, 结果见表 4。根据隶属函数得分, 供试品种的耐热性由强到弱依次为: ‘发现’、‘拳王’、‘巨人’、‘金门’、‘大英雄’、‘珍妮’、‘迪阿哥’、‘小英雄’和‘鸿运’, 与热害指数的评价基本一致。

表 4 孔雀草和万寿菊各生理指标隶属函数值  
Table 4 Subordinate function value of physiology index

种名 Species	品种 Cultivar	Chl.(a+b)	RWC	REC	MDA	SOD	POD	CAT	APX	平均值 Average value	耐热 排序 Range
孔雀草 <i>Tagetes patula</i>	大英雄 Great Hero	0.71	0.81	0.53	0.57	0.23	0.58	0.06	0.29	0.47	5
	鸿运 Bonanza	0.46	0.43	0.05	0.69	0.09	0.19	0.50	0.16	0.32	9
	金门 Gate Gold	0.26	0.62	0.82	0.92	0.29	0.05	0.65	0.75	0.55	4
	珍妮 Janie	0.54	0.39	0.55	0.69	0.20	0.73	0.53	0.04	0.46	6
	小英雄 Little Hero	0.57	0.30	0.55	0.80	0.07	0.09	0.25	0.18	0.35	8
	迪阿哥 Durango	0.39	0.53	0.62	0.53	0.19	0.06	0.57	0.20	0.39	7
万寿菊 <i>Tagetes erecta</i>	巨人 Giant	0.75	0.18	0.85	0.11	0.79	0.71	0.82	0.27	0.56	3
	拳王 Chokdee	0.69	0.71	0.87	0.42	0.66	0.80	0.28	0.31	0.59	2
	发现 Discovery	0.68	0.57	0.89	0.41	0.96	0.92	0.51	0.61	0.70	1

## 3 讨论

在逆境条件下, 植物形态特征的变化能直接反映植物受伤害的状况, 也是评价植物对逆境抗性强弱最为直接的指标(周广等, 2010)。本研究中发现连续 4 d 38 °C/21 °C (昼/夜) 高温处理抑制了孔雀草和万寿菊的株高、根长和根数, 对植株叶色和干样质量的积累也有不同程度的影响。其中, 根系干样质量的积累比茎叶受到了更强地抑制, 说明其根系对高温更敏感。耐热性不同, 品种外部形态表现不同。本试验中, 耐热性差的品种叶色不同程度的失绿发黄并萎蔫, 尤其‘鸿运’、‘迪阿哥’和‘小英雄’生长指标相对变化率较高, 热害指数也明显高于其他品种, 耐热性较差。

邱勇波等(2008)和 Wang 等(2009)认为耐热性强的植物在受到高温胁迫后, 叶绿素含量下降的速度和幅度比不耐热品种小。本研究结果表明高温胁迫降低了叶绿素含量和叶绿素 a/b, 其中‘小英雄’和‘迪阿哥’叶绿素总含量下降幅度最大。本研究中, 植物叶片相对含水量在高温胁迫后均有所下降, 尤其是‘大英雄’、‘鸿运’、‘小英雄’和‘迪阿哥’。Xu 等(2006)在高温胁迫冷季型草坪草的研究中也有相似的结果。

Martineau 和 Specht (1979) 研究表明, 植物细胞膜在高温胁迫下, 膜的通透性增加, 电解质扩散, 从而导致电导率升高, 产生大量的自由基, 引起或加剧膜脂过氧化作用。MDA 含量作为膜脂过氧化的最终产物会严重影响生物膜, 它的积累能间接地反映植物体内受氧化胁迫伤害的状况。本研究中, 供试的 9 个品种在高温胁迫下, 叶片相对电导率和 MDA 含量均不同程度的增加, 其中‘迪阿哥’和‘小英雄’细胞膜受到伤害更为严重, 叶片相对电导率和 MDA 含量相对变化率最高。这与李敏等(2004)和 Zhang 等(2009)分别在研究高温处理菠菜和水稻耐热品种与不耐热品种膜透性和 MDA 含量变化的结果一致。本研究还发现供试品种的叶片相对电导率与热害指数呈极显著正相关性 ( $P < 0.01$ ), 相关系数达 0.841, 所以叶片相对电导率可作为孔雀草和万寿菊耐热性鉴定的指标之一。

高温胁迫下活性氧增多, 为避免活性氧过量积累对生物膜及其他大分子物质的伤害, 植物清除活性氧的酶促系统活性会随之发生变化 (Tibor et al., 2003)。SOD、POD、CAT 和 APX 是植物体内清除活性氧的重要酶类, 可以减轻膜脂过氧化程度, 保持膜系统的稳定性。本研究高温胁迫提高了 SOD、POD 和 CAT 3 个酶的活性, 而且耐热品种 3 种酶活性的增幅高于不耐热品种。各品种 SOD 和 POD 的活性变化普遍高于 CAT, 可见孔雀草和万寿菊在高温胁迫下, SOD 和 POD 在清除活性氧方面起了主要作用。9 个品种中除了‘发现’ APX 活性增加, 其他品种 APX 活性均出现下降。因此, 不同品种 SOD、POD、CAT 和 APX 活性对高温响应方式不同。另外, SOD、POD、CAT 与热害指数呈极显著负相关, 因此高温胁迫下 SOD、POD 和 CAT 的相对变化可作为生理上评价孔雀草和万寿菊品种耐热性的重要指标。

本试验采用热害指数结合隶属函数方法, 将其应用于孔雀草和万寿菊品种耐热性的综合评定, 更具可靠性和准确性。综上所述, 9 个供试品种的耐热性评定为: ‘发现’、‘拳王’、‘巨人’和‘金门’耐热性强; ‘大英雄’和‘珍妮’次之; ‘迪阿哥’、‘小英雄’和‘鸿运’耐热性差。因此, 今后高温地区孔雀草和万寿菊品种栽培和选育以及城市花坛选择中, 建议选用耐热性强的‘发现’、‘拳王’、‘巨人’和‘金门’品种。

本研究中只是在室内模拟高温条件下进行的耐热性研究, 但在实际生产中, 植株在遭受高温胁迫的同时存在干旱等逆境。所以, 今后应以应用型研究和机理研究为主要方向, 进一步选育综合抗逆性强的品种。

## References

- Chen Feng, Tian Ji-chun, Meng Qing-wei, Zhao Shi-jie. 2006. Effects of short term high temperature stress on flag leaf photosystem II functions of high-yielding wheat at late grain-filling stage. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 17 (10): 1854 - 1858. (in Chinese)
- 陈 锋, 田纪春, 孟庆伟, 赵世杰. 2006. 短期高温胁迫对高产小麦品系灌浆后期旗叶光系统 II 功能的影响. *应用生态学报*, 17 (10): 1854 - 1858.
- Fan Zhi-hong, Guo Chun-rong, Wang Jin-sheng. 2010. Active antifungal component of extracts from *Tagetes patula* root against *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* and its mechanism. *Acta Phytopathologica Sinica*, 40 (2): 195 - 201. (in Chinese)
- 范志宏, 郭春绒, 王金胜. 2010. 万寿菊根提取物对西瓜枯萎病菌的抑菌活性成分及作用机理研究. *植物病理学报*, 40 (2): 195 - 201.
- Gao Jun-feng. 2000. *Plant physiology laboratory technology*. Xi'an: World Publishing Corporation. (in Chinese)
- 高俊凤. 2000. *植物生理学实验技术*. 西安: 世界图书出版公司.
- Gao Y, Guo Y K, Lin S H, Fang Y Y, Bai J G. 2010. Hydrogen peroxide pretreatment alters the activity of antioxidant enzymes and protects chloroplast ultrastructure in heat-stressed cucumber leaves. *Scientia Horticulturae*, 126: 20 - 26.
- Gulen H, Eris A. 2004. Effects of heat stress on peroxidase activity and total protein content in strawberry plants. *Plant Science*, 166 (3): 739 - 744.
- Li Min, Wang Wei-hua, Wang Ran, Liu Run-jin. 2004. Influences of high temperature stress on activity of cell defense enzymes and membrane permeability in leaves of spinach. *Acta Horticulturae Sinica*, 31 (1): 99 - 100. (in Chinese)
- 李 敏, 王维华, 王 然, 刘润进. 2004. 高温胁迫对菠菜叶片保护酶活性和膜透性的影响. *园艺学报*, 31 (1): 99 - 100.
- Mao Sheng-li, Du Yong-chen, Wang Xiao-xuan, Zhu De-wei, Gao Jian-chang, Dai Shan-shu. 2005. Changes of endogenous abscisic acid and the effect of exogenous ABA on pollen germination under heat stress tomato. *Acta Horticulturae Sinica*, 32 (2): 234 - 238. (in Chinese)
- 毛胜利, 杜永臣, 王孝宣, 朱德蔚, 高建昌, 戴善书. 2005. 高温胁迫下番茄体内 ABA 水平的变化及其对花粉萌发的影响. *园艺学报*, 32 (2): 234 - 238.
- Martineau J R, Specht J E. 1979. Temperature tolerance in soybeans. *Crop Science*, 19: 75 - 81.
- Mukesh J, Prem S C, Kenneth J B, Leon H Allen J. 2010. Short-term high temperature growth conditions during vegetative-to-reproductive phase transition irreversibly compromise cell wall invertase-mediated sucrose catalysis and microspore meiosis in grain sorghum (*Sorghum bicolor*) .

- Journal of Plant Physiology, 167: 578 – 582.
- Nakano Y, Asada K. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant Cell Physiology*, 22 (5): 867 – 880.
- Qiu Yong-bo, Luo Feng-xia, Bai Rui-qin, Zhang Li. 2008. Changes on morphological and physiological indexes of heat resistance in *Petunia hybrida* Vilm. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 31 (1): 88 – 92. (in Chinese)
- 邱勇波, 罗凤霞, 白瑞琴, 张 丽. 2008. 热胁迫下矮牵牛幼苗的形态和生理变化. *河北农业大学学报*, 31 (1): 88 – 92.
- Shi Guang-lu, Wang You-nian, Wang Hong-lei, Zhao Li-lin, Liu Su-qi, Cao Hui, Yu Tong-quan, Lu Ping. 2007. Effects of *Tagetes erecta* extracts on glutathione S-transferase and protease activities and protein content in *Tetranychus viennensis*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 18 (2): 400 – 404. (in Chinese)
- 师光禄, 王有年, 王鸿雷, 赵莉蔺, 刘素琪, 曹 挥, 于同泉, 路 苹. 2007. 万寿菊根提取物对山楂叶螨谷胱甘肽 S - 转移酶和蛋白酶及蛋白质含量的影响. *应用生态学报*, 18 (2): 400 – 404.
- Tibor J, Gabriella S, Krisztina R G. 2003. Comparative study of frost tolerance and antioxidant activity in cereals. *Plant Science*, 164: 301 – 306.
- Wang J Z, Cui L J, Wang Y, Li J L. 2009. Growth, lipid peroxidation and photosynthesis in two tall fescue cultivars differing in heat tolerance. *Biologia Plantarum*, 53 (2): 237 – 242.
- Xu Sheng, Li Jian-Long, Zhang Xin-quan, Wei Hong. 2006. Effects of heat acclimation pretreatment on changes of membrane lipid peroxidation, antioxidant metabolites, and ultrastructure of chloroplasts in two cool-season turfgrass species under heat stress. *Environmental and Experimental Botany*, 56: 274 – 285.
- Yi Jin-xin, Hou Xi-lin. 2002. Inheritance of high temperature tolerance in eggplant (*Solanum melongena* L.). *Acta Horticulturae Sinica*, 29 (6): 529 – 532. (in Chinese)
- 易金鑫, 侯喜林. 2002. 茄子耐热性遗传表现. *园艺学报*, 29 (6): 529 – 532.
- Zeng Li, Zhao Liang-jun, Zhang Hua-li, Sun Jia, Zhao Zi-gang, Yang Fan, Maihe Mutijiang, Wang Lei. 2010. Observation of floral organogenesis and development of *Tagetes erecta* L. *Acta Horticulturae Sinica*, 37 (5): 785 – 793. (in Chinese)
- 曾 丽, 赵梁军, 张华丽, 孙 佳, 赵子刚, 杨 帆, 买和木提江, 王 雷. 2010. 万寿菊花器官发生与发育的观察. *园艺学报*, 37 (5): 785 – 793.
- Zhang Gui-lian, Chen Li-yun, Zhang Shun-tang, Zheng Hua, Liu Guo-hua. 2009. Effects of high temperature stress on microscopic and ultrastructural characteristics of mesophyll cells in flag leaves of rice. *Rice Science*, 16 (1): 65 – 71.
- Zhang Tian-zhu, Zeng Yong, Li Hui, Chen Guo-jie, Su Jun-sen, Weng Qun-fang. 2010. Photoactivated toxicity of extracts from 14 Compositae plants against *Bursaphelenchus xylophilus* and *Culex pipiens pallens*. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 30 (4): 821 – 826. (in Chinese)
- 张天柱, 曾 勇, 李 辉, 陈国杰, 苏俊森, 翁群芳. 2010. 14 种菊科植物提取物对松材线虫和淡色库蚊的光活化毒杀作用. *西北植物学报*, 30 (4): 821 – 826.
- Zhou Guang, Sun Bao-teng, Zhang Le-hua, Xiong Ying-jie, Wang Shu-sheng. 2010. Responses of antioxidant system in leaves of *Rhododendron jinggangshanicum* to high temperature stress. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 30 (6): 1149 – 1156. (in Chinese)
- 周 广, 孙宝腾, 张乐华, 熊英杰, 王书胜. 2010. 井冈山杜鹃叶片抗氧化系统对高温胁迫的响应. *西北植物学报*, 30 (6): 1149 – 1156.