

# 德国鸢尾 6 个品种的耐寒性比较

王冠群, 李丹青, 张佳平, 夏宜平\*

(浙江大学农业与生物技术学院园艺系, 杭州 310058)

**摘 要:** 以 6 个不同花色的德国鸢尾 (*Iris germanica*) 品种为试材, 通过田间鉴定与测定冬季自然降温过程中叶片相对电导率, 结合 Logistic 方程计算各品种的半致死温度 ( $LT_{50}$ ), 评价其在自然降温过程中的耐寒性, 并测定叶片中游离脯氨酸、丙二醛和可溶性蛋白的含量。结果表明: 自然低温期 6 个品种寒害指数范围为 1.20 ~ 3.65, 半致死温度 ( $LT_{50}$ ) 范围为 -13.81 ~ -5.73 °C。耐寒性强的品种为 ‘Cherry Falls’ 和 ‘Bedtime Story’, 其次为 ‘Brown Lasso’ 和 ‘Black Swan’, 耐寒性弱的为 ‘China Dragon’ 和 ‘Caligula’。在自然降温过程中, 6 个德国鸢尾品种的低温半致死温度均随温度的下降而降低, 下降幅度为 1.46 ~ 6.51 °C 不等, 并且叶片相对电导率随温度降低呈 “S” 型上升, 丙二醛、脯氨酸和可溶性蛋白含量均呈现先上升后下降的趋势。

**关键词:** 德国鸢尾; 电解质外渗率; 半致死温度; 冻害指数; 耐寒性; 生理响应

**中图分类号:** S 682.1<sup>9</sup>

**文献标志码:** A

**文章编号:** 0513-353X (2014) 04-0773-08

## Comparison of Cold Tolerance Within 6 Cultivars of *Iris germanica*

WANG Guan-qun, LI Dan-qing, ZHANG Jia-ping, and XIA Yi-ping\*

(Department of Horticulture, College of Agriculture and Biotechnology, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

**Abstract:** The relative electric conductivity (REC) and field inspection were determined in leaves of six cultivars of *Iris germanica* during the natural winter along with dropping temperature. The logistic equation was constructed based on the relationship between REC and temperature, then the semi-lethal temperature was determined. Malondialdehyde (MDA) contents, soluble protein contents and free proline contents were analyzed. The results showed that the index of chilling injury was intervenient 1.20 and 3.65, and the range of semi-lethal temperature ( $LT_{50}$ ) was from -13.81 °C to -5.73 °C. ‘Cherry Falls’ and ‘Bedtime Story’ had high cold tolerance. ‘Brown Lasso’ and ‘Black Swan’ had medium cold tolerance. ‘China Dragon’ and ‘Caligula’ had poor cold tolerance. The  $LT_{50}$  decreased with the drop in temperature, the decrease of  $LT_{50}$  was cultivar dependent. The decrease of  $LT_{50}$  varied from 1.46 °C to 6.51 °C. The REC of the all cultivars increased following an S-curve as the temperature dropped. The contents of soluble protein, free proline and MDA increased firstly, then decreased.

**Key words:** *Iris germanica*; relative electric conductivity; semi-lethal temperature; cold injury index; cold tolerance; physiological response

收稿日期: 2013-10-08; 修回日期: 2014-03-18

基金项目: 浙江省科技厅公益性项目 (2010C32073); 浙江省花卉新品种选育重大科技专项重点项目 (2012C12909)

\* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: ypxia@zju.edu.cn)

近年来园林绿化对耐寒草本植物的需求不断增加,植物的耐寒能力成为绿化设计中植物选择的重要参考因素,耐寒研究与耐寒资源开发是园林植物合理应用的理论依据(Ameglio et al., 2003)。德国鸢尾(*Iris germanica*)是鸢尾科鸢尾属多年生宿根花卉,其形态优美,花形及色系均较丰富,作为城市节约型绿化的重要地被材料被广泛应用。目前对德国鸢尾的研究主要集中在分类育种、繁育及抗旱性等方面(黄苏珍, 2004; 郭晋燕 等, 2007)。德国鸢尾在浙江西北地区栽培绿叶期长,可延长观赏期,弥补了秋冬季缺少绿色的不足。因此,研究并筛选出耐寒性强的德国鸢尾品种具有实际应用价值。

植物的半致死温度(LT<sub>50</sub>)具有遗传特征,是衡量植物耐寒力的稳定指标(赵昌琼 等, 2003)。运用电解质外渗法测定植物的耐寒力,已在菊花、茶梅、锦带花、风箱果、佛手等观赏植物上进行过大量的研究(徐康 等, 2005; 许瑛和陈发棣, 2008; 郭卫东 等, 2009; 刘晓东 等, 2011; 王玲 等, 2012)。本研究中以从荷兰引进的不同花色的 6 个德国鸢尾品种为试验材料,通过田间耐寒性鉴定、细胞膜透性测定和生理指标的测定,分析其在自然低温期耐寒性差异,以期在德国鸢尾的引种、品种筛选和选育提供试验依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

试验于 2012 年 12 月至 2013 年 1 月在浙江大学园艺系宿根花卉种质资源圃内进行。供试德国鸢尾(*Iris germanica*) 6 个品种为引自荷兰的‘Black Swan’(紫色)、“Bedtime Story”(蓝色)、“Brown Lasso”(黄、蓝复色)、“Cherry Falls”(黄、紫红复色)、“Caligula”(黄色)和“China Dragon”(橘色)的 2 年生植株,常规栽培管理。

试验地处于亚热带季风区,四季分明;夏季气候炎热,湿润;冬季寒冷,干燥,年最低温度在 1 月份。试验期间田间日气温变化见图 1 所示,2012 年 12 月初受到较强冷空气影响,出现寒潮天气,降温幅度较大,12 月 9 日最低气温为 0 °C;12 月底再次受到冷空气的影响,2013 年 1 月 1 日气温下降至 -4 °C,1 月下旬气温开始回升。

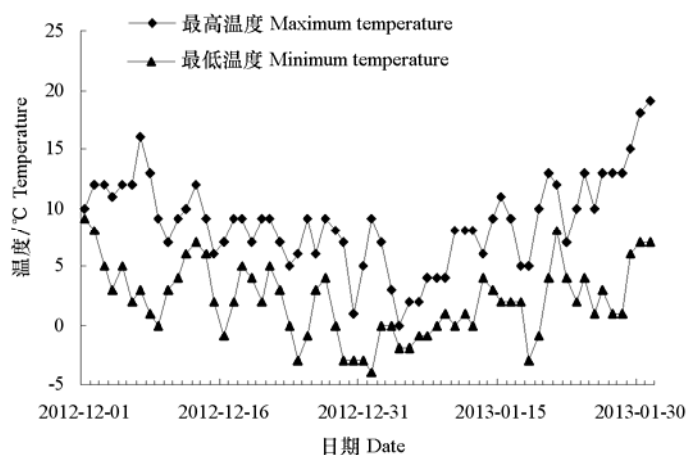


图 1 田间日气温变化

Fig. 1 Changes in air temperature during the experiment period

## 1.2 测定方法

冻害指数 (CI): 参照李冬林等 (2005) 的方法进行田间调查。设叶片无冻害为 0 级; 叶片有 1/3 面积出现褐渍状冻害为 1 级 (轻度冻害); 叶面积有 1/2 冻害为 2 级 (中度冻害); 叶面积有 2/3 冻害为 3 级 (中重度冻害); 整个叶片出现褐渍状冻害为 4 级 (重度冻害)。冻害指数  $CI = (\sum \text{各冻害级数} \times \text{该级叶片数}) / \text{调查总叶片数}$ 。绿期: 参照袁学军和刘建秀 (2007) 的方法, 叶片 1/3 枯黄算为枯叶, 枯黄叶片的覆盖度达到 40% 即为枯黄期, 返青时绿叶覆盖度达到 60% 即为返青期, 绿期即为叶片返青至枯黄的时间。

半致死低温 ( $LT_{50}$ ): 分别设置两个人工低温处理梯度, 即自然低温初期 (12 月初) 的温度梯度为 4、1、-2、-5、-8、-11、-14 和 -17 °C; 自然低温期 (1 月初) 的温度梯度为 -2、-5、-8、-11、-14、-17、-20 和 -23 °C。分别随机选取长势一致的成熟叶片, 自来水冲洗干净, 用去离子水漂洗 3 次, 滤纸吸干表面水分。每个品种取样重复 3 次, 每一个重复用 2 株。按照每品种 8 个处理分装于取样袋中在低温循环仪中进行低温处理 3 h。先将试验材料置于 8 °C 预冷 12 h, 然后降温 10 min 至 4 °C, 于 4 °C 停留 3 h 取出第 1 组样品, 再从 4 °C 开始降温 10 min 至 1 °C, 在 1 °C 停留 3 h 后取出第 2 组样品, 依此类推, 直至降温到 -23 °C。低温处理后 4 °C 冰箱缓慢化冻 12 h。选择叶片中上部位的功能叶, 将其用剪刀均匀地剪成 5 mm 宽的小叶片待测, 每处理设 3 个重复, 每个重复 1 g 放入离心管中, 加入去离子水 30 mL。浸提 12 h 后用 DDS-12A 型数显电导率仪测定各样品浸提液的冰冻电导率; 最后沸水浴 15 min 后缓慢恢复至室温, 测定煮沸电导率。计算相对电导率  $[\text{REC} (\%) = (\text{冰冻电导率} / \text{煮沸电导率}) \times 100]$ 。

按照李合生 (2000) 的方法测定自然低温期叶片丙二醛含量 (MDA)、游离脯氨酸含量和可溶性蛋白质含量。

采用 Excel 2007 对数据进行处理并作图, 用 SPSS 20.0 统计软件对生理指标间的显著性和相关性进行分析。利用 OriginPro 8.6 进行 Logistic 非线性拟合, 拐点温度即为半致死温度。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同品种耐寒性的田间观察

田间观察发现, 6 个供试品种在自然低温期 (1 月初) 均有不同程度的冻害, 冻害指数范围为 1.20 ~ 3.65 (表 1)。*‘Cherry Falls’* 耐寒性强, 受冻害最轻, 部分植株的叶片叶尖呈水渍状, 大部分植株完好无损; *‘Bedtime Story’*、*‘Black Swan’* 和 *‘Brown Lasso’* 耐寒性中等, 长势良好, 有少部分叶片出现红褐色水渍状; *‘China Dragon’* 和 *‘Caligula’* 耐寒性弱, 部分植株的叶片整个叶面呈现红褐色水渍状或呈焦黄、褐色脱落, 长势差。

此外, 6 个品种的枯黄期和返青期有所差异: *‘Bedtime Story’* 枯黄期为 1 月下旬, 返青期为 2 月下旬, 其绿期最长为 330 d; *‘Cherry Falls’* 和 *‘Black Swan’* 枯黄期为 1 月中旬, 返青期为 3 月上旬, 其绿期分别为 305 和 309 d; *‘Brown Lasso’*、*‘China Dragon’* 和 *‘Caligula’* 枯黄期为 12 月中下旬, 返青期为翌年 3 月上中旬, 绿期分别为 290、264 和 269 d。

表 1 德国鸢尾不同品种冻害指数  
Table 1 The index of chilling injury result of different *Iris germanica* cultivars

品种 Cultivar	绿期/d Green period	冻害指数 Index of chilling injury
Cherry Falls	305	1.20
Bedtime Story	330	2.50
Brown Lasso	290	2.85
Black Swan	309	2.76
China Dragon	264	3.34
Caligula	269	3.65

## 2.2 不同品种叶片相对电导率及其低温半致死温度

### 2.2.1 叶片相对电导率的变化

细胞在致死性伤害出现之前往往有一个从可逆到不可逆伤害的逐渐发展过程,在这一过程中,有的细胞有“修复”能力,因而整个组织在不同温度下电导率总是呈“S”形曲线,故用 Logistic 方程进行拟合,与真实情况较为接近(朱根海等,1986)。将相对电导率拟合成 Logistic 方程,求得相关系数及半致死温度。两个时期 6 个品种回归方程的相关系数均达到 0.9 以上,说明经低温胁迫后,6 个品种的 REC 遵循 Logistic 方程的变化规律,拟合结果准确可靠。以自然低温期 1 月初测得的 6 个品种的相对电导率变化为代表,6 个品种测得的相对电导率均随着处理温度的下降而上升,且呈明显的 S 型曲线,拟合度不同, S 型不同(图 2)。

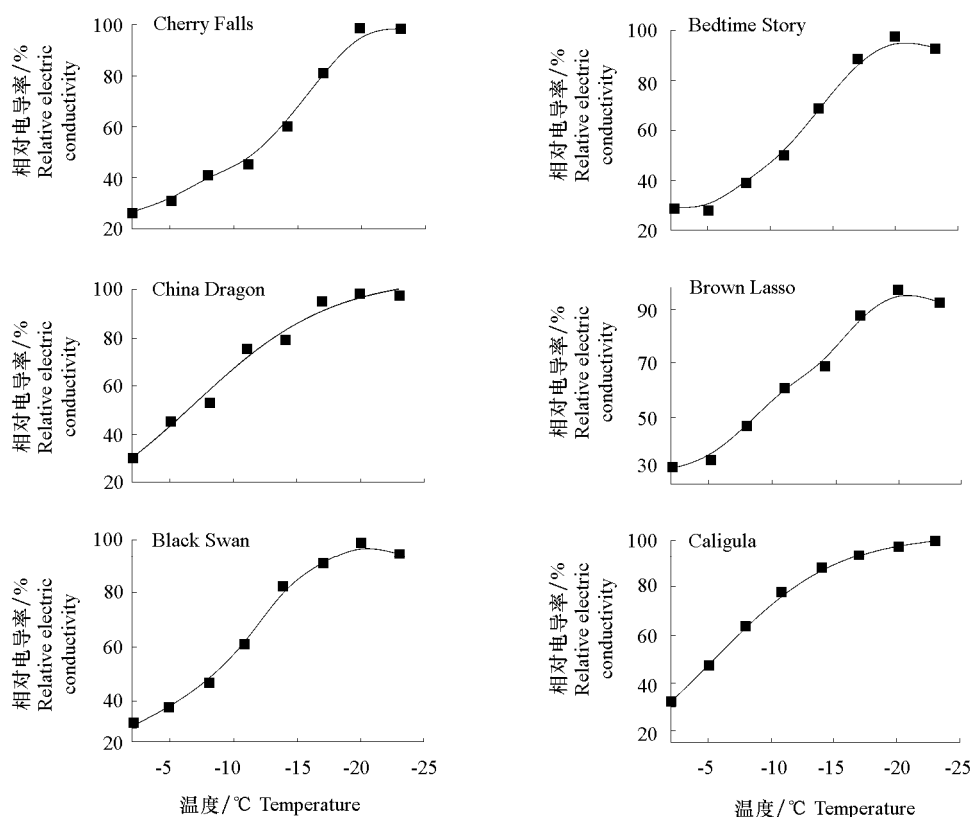


图 2 德国鸢尾不同品种相对电导率随温度变化的 Logistic 曲线 (2013 - 01)

Fig. 2 Logistic curve of relative electric conductivity to temperature of different *Iris germanica* cultivars (2013 - 01)

### 2.2.2 半致死温度比较

在自然低温初期(12月初)和自然低温期(1月初)两个阶段,各品种的低温半致死温度随气温的下降都有不同程度的降低,降低程度因品种而异,反映出各品种对低温的反应不同。其中‘Cherry Falls’从2012年12月初的 $-7.3^{\circ}\text{C}$ 降到2013年1月的 $-13.81^{\circ}\text{C}$ ,降幅最大,达 $6.51^{\circ}\text{C}$ ;‘China Dragon’从 $-5.46^{\circ}\text{C}$ 降到 $-6.92^{\circ}\text{C}$ ,降幅最小,  $1.46^{\circ}\text{C}$ (图3)。

根据  $LT_{50}$ (图3)判断,‘Cherry Falls’和‘Bedtime Story’耐寒性强;‘Brown Lasso’和‘Black Swan’耐寒性中等;‘China Dragon’和‘Caligula’耐寒性弱。

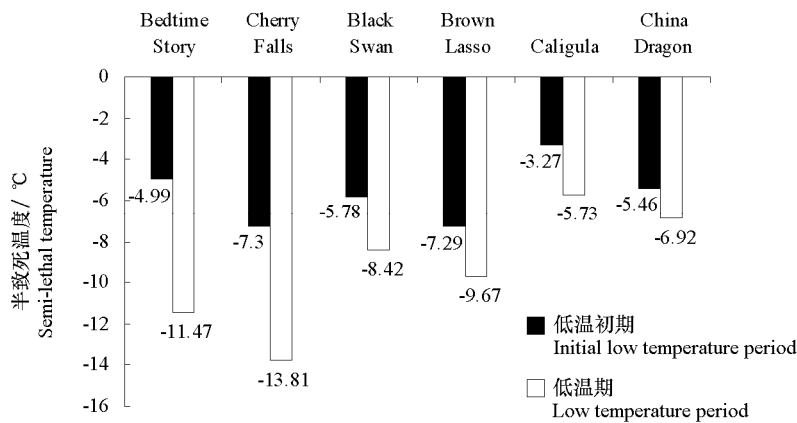


图 3 德国鸢尾不同品种自然降温过程半致死温度比较 (LT<sub>50</sub>)

Fig. 3 Comparison of the semi-lethal temperature (LT<sub>50</sub>) within different cultivars of *Iris germanica* during a natural drop in temperature

2.2.3 低温处理后 6 个德国鸢尾品种叶片生理指标的变化

在低温胁迫范围内，6 个德国鸢尾品种的叶片 MDA 含量随温度的降低呈先上升后下降的趋势，但不同的品种其 MDA 含量达到峰值的温度有所不同。LT<sub>50</sub> 低的 ‘Cherry Falls’、‘Bedtime Story’ 和 ‘Brown Lasso’ 在 -14 °C 时达到最高峰，含量分别为 27.85、31.32 和 33.74  $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ ；LT<sub>50</sub> 中等的 ‘Black Swan’ 和 ‘China Dragon’ 在 -11 °C 时达到峰值，分别为 39.03 和 44.19  $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ ；LT<sub>50</sub> 最高的 ‘Caligula’ 在 -5 °C 时达到最高，为 46.84  $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ （表 2）。由此可知，LT<sub>50</sub> 低的品种受低温胁迫后膜脂过氧化水平较低，而 LT<sub>50</sub> 高的品种膜脂过氧化水平较高。

表 2 不同低温处理下 6 个德国鸢尾品种叶片 MDA、游离脯氨酸及可溶性蛋白质含量的变化

Table 2 Changes of MDA, proline, and soluble protein content in the leaves of 6 *Iris germanica* cultivars on low temperature treatments

温度/°C Temperature	品种 Cultivar	MDA/ ( $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ )	游离脯氨酸/ ( $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ ) Proline	可溶性蛋白质/ ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ ) Soluble protein
- 2	Cherry Falls	10.20 ± 1.75 a	37.46 ± 0.68 e	3.24 ± 0.10 d
	Bedtime Story	20.59 ± 0.35 b	21.78 ± 2.08 d	2.60 ± 0.22 c
	Brown Lasso	24.75 ± 1.29 c	20.70 ± 0.74 cd	2.32 ± 0.14 ab
	Black Swan	27.12 ± 0.91 c	18.78 ± 0.24 c	2.13 ± 0.07 ab
	China Dragon	30.02 ± 1.28 d	15.25 ± 1.97 b	2.34 ± 0.08 b
	Caligula	34.98 ± 2.55 e	10.76 ± 1.04 a	2.08 ± 0.12 a
- 5	Cherry Falls	11.77 ± 0.57 a	42.46 ± 1.22 d	4.84 ± 0.16 e
	Bedtime Story	22.04 ± 0.95 b	31.99 ± 2.28 c	3.49 ± 0.34 d
	Brown Lasso	27.42 ± 0.18 c	42.57 ± 0.41 d	3.43 ± 0.11 cd
	Black Swan	34.54 ± 0.26 d	23.97 ± 1.36 b	2.84 ± 0.13 b
	China Dragon	36.64 ± 1.47 e	19.55 ± 1.17 a	3.11 ± 0.04 bc
	Caligula	46.84 ± 1.87 f	17.34 ± 0.16 a	2.38 ± 0.20 a
- 8	Cherry Falls	16.41 ± 0.62 a	51.36 ± 1.40 d	5.31 ± 0.23 f
	Bedtime Story	23.99 ± 0.94 b	26.10 ± 1.77 a	4.05 ± 0.09 e
	Brown Lasso	30.46 ± 0.33 c	36.46 ± 0.37 c	3.64 ± 0.17 d
	Black Swan	34.13 ± 1.92 d	31.92 ± 0.14 b	3.24 ± 0.24 c
	China Dragon	36.66 ± 2.75 d	24.63 ± 0.11 a	2.67 ± 0.12 b
	Caligula	41.03 ± 2.17 e	26.92 ± 2.15 a	2.37 ± 0.05 a

续表 2

温度/℃ Temperature	品种 Cultivar	MDA/ (μmol · g <sup>-1</sup> FW)	游离脯氨酸/ (μg · g <sup>-1</sup> FW) Proline	可溶性蛋白质/ (mg · g <sup>-1</sup> FW) Soluble protein
- 11	Cherry Falls	21.71 ± 0.69 a	57.98 ± 0.84 e	5.53 ± 0.26 e
	Bedtime Story	26.05 ± 1.08 b	32.47 ± 0.32 c	4.32 ± 0.16 d
	Brown Lasso	26.80 ± 0.47 b	35.41 ± 1.07 d	3.17 ± 0.08 bc
	Black Swan	39.03 ± 0.39 c	27.19 ± 1.22 b	3.24 ± 0.07 c
	China Dragon	44.19 ± 1.29 e	27.31 ± 0.71 b	2.83 ± 0.31 b
	Caligula	41.94 ± 1.53 e	23.52 ± 2.31 a	2.26 ± 0.19 a
- 14	Cherry Falls	27.85 ± 1.44 a	78.04 ± 2.46 f	7.31 ± 0.27 d
	Bedtime Story	31.32 ± 1.45 b	58.28 ± 1.85 e	6.10 ± 0.19 c
	Brown Lasso	33.74 ± 1.73 c	39.57 ± 0.88 d	3.42 ± 0.16 b
	Black Swan	36.11 ± 1.48 d	33.09 ± 2.38 c	2.87 ± 0.11 a
	China Dragon	38.10 ± 0.44 d	25.16 ± 1.12 b	3.21 ± 0.17 b
	Caligula	40.85 ± 0.45 e	20.51 ± 0.74 a	2.77 ± 0.09 a
- 17	Cherry Falls	24.23 ± 0.71 a	67.06 ± 1.50 f	6.78 ± 0.20 e
	Bedtime Story	28.75 ± 1.26 b	62.98 ± 2.60 e	5.14 ± 0.25 d
	Brown Lasso	31.42 ± 1.69 c	34.29 ± 1.35 d	2.92 ± 0.10 c
	Black Swan	32.34 ± 2.13 c	28.68 ± 0.67 c	2.38 ± 0.14 a
	China Dragon	35.45 ± 0.97 d	22.58 ± 2.14 b	2.82 ± 0.14 bc
	Caligula	37.90 ± 0.41 e	18.62 ± 0.66 a	2.53 ± 0.21 ab
- 20	Cherry Falls	25.49 ± 0.58 ab	56.40 ± 2.63 e	5.49 ± 0.17 d
	Bedtime Story	24.37 ± 1.26 a	45.73 ± 2.68 d	4.76 ± 0.20 c
	Brown Lasso	27.62 ± 2.22 b	28.19 ± 1.63 c	2.68 ± 0.31 b
	Black Swan	33.71 ± 1.84 c	26.06 ± 1.56 c	2.10 ± 0.14 a
	China Dragon	33.38 ± 0.79 c	20.45 ± 0.58 b	2.45 ± 0.11 b
	Caligula	35.82 ± 2.10 c	16.40 ± 1.02 a	2.12 ± 0.13 a
- 23	Cherry Falls	17.82 ± 0.42 a	48.04 ± 0.31 e	4.37 ± 0.08 d
	Bedtime Story	22.88 ± 2.47 b	31.52 ± 1.45 d	3.28 ± 0.21 c
	Brown Lasso	23.10 ± 0.30 b	26.01 ± 2.13 c	2.69 ± 0.16 b
	Black Swan	28.02 ± 0.81 c	22.94 ± 3.20 c	1.98 ± 0.29 a
	China Dragon	32.32 ± 1.96 d	19.54 ± 0.41 b	2.19 ± 0.15 a
	Caligula	34.88 ± 2.41 d	12.98 ± 2.01 a	1.91 ± 0.17 a

注：同列数据后标注不同的小写字母表示在 5%水平上不同品种在同一温度下差异显著。

Note: The lowercase after the figure in the same column indicate the same temperatures under different cultivar had significant difference at 5% level.

在低温胁迫下，6 个德国鸢尾品种的蛋白质含量随着温度的下降整体呈现先上升后下降的趋势，LT<sub>50</sub> 低的品种可溶性蛋白质的含量高于 LT<sub>50</sub> 高的品种。- 5 ℃时，各个品种的蛋白质含量急剧增加，半致死温度最低的 ‘Cherry Falls’ 增加最高，为 49.4%，半致死温度最高的 ‘Caligula’ 增加最低，为 14.6%。在 - 17 ℃后，可溶性蛋白质的含量又逐渐降低。

6 个德国鸢尾品种的游离脯氨酸含量变化差异较大，但总体呈现先上升后下降的趋势： ‘Bedtime Story’、 ‘Brown Lasso’ 和 ‘Black Swan’ 的含量呈双峰变化，其达到峰值的温度不同；其余品种呈单峰变化；同一温度处理下不同品种间差异显著（表 2）。

3 讨论

研究发现：6 个品种的电导率随着温度的降低，呈 “S” 曲线变化；6 个品种的半致死温度经过低温初期的锻炼后在低温期均有所降低。各品种的冻害指数和低温半致死温度显著相关（ $r =$

0.987<sup>\*\*</sup>)。这可以说明测定植物的半致死温度可以较为准确的判断植物的耐寒能力。

德国鸢尾品种有 500 多个, 花大色艳, 有红、黄、白、蓝、紫和复色, 6 个色系 (Warburton, 1978)。本研究选择了 6 个绿期差异显著的不同花色的品种为试材。根据耐寒能力的综合评价结果为 ‘Cherry Falls’ (复色) 耐寒能力最强, 大于 ‘Bedtime Story’ (蓝色); 而 ‘Bedtime Story’ (蓝色) 的耐寒能力大于 ‘Brown Lasso’ (复色); ‘Black Swan’ (紫色)、‘China Dragon’ (橘色) 和 ‘Caligula’ (黄色) 的耐寒能力依次降低。尚无直接证据证明花色与耐寒性有关系, 值得进一步的研究。

此外经田间观测发现, 在浙江西北地区德国鸢尾叶绿期持续时间长, 为 264 ~ 330 d, 相对于花菖蒲、黄菖蒲、溪荪等鸢尾属植物叶绿期长。因此对德国鸢尾不同品种进行耐寒性研究, 可以筛选出在浙江西北地区几乎常绿越冬, 观赏价值高的品种, 有利于德国鸢尾品种的推广和园林应用。

MDA 含量的增加是植物受到逆境胁迫后细胞膜透性增加的一个重要标志, 其含量高低可以反映植物膜系统的受伤程度 (王树刚 等, 2011)。在本研究中德国鸢尾各品种随着温度的降低, 叶片内 MDA 含量呈先上升后下降的趋势, 这与王玲等 (2012) 的研究结果一致。说明随着温度的降低, 经低温胁迫后叶片受到一定程度的伤害, 膜脂发生了过氧化, MDA 含量升高; 当温度继续降低, MDA 含量大幅上升达到峰值, 说明在此温度下叶片受到严重伤害, 膜脂过氧化程度加剧; 而后 MDA 含量又呈下降趋势, 可能是脯氨酸与可溶性蛋白质在起作用, 减少了膜脂不饱和脂肪酸发生过氧化, 从而抑制了 MDA 的合成。

可溶性蛋白质的含量与植物的耐寒性存在密切关系, 蛋白质含量的增加, 有助于提高细胞内的束缚水含量, 降低冰点, 从而成为防止细胞内结冰、避免细胞冰冻死亡 (Foyer & Kunert, 1994)。本研究中, 随温度的降低, 叶片内可溶性蛋白质含量上升, 可溶性蛋白质含量与 LT<sub>50</sub> 显著负相关。说明叶片在适应低温锻炼通过积累可溶性蛋白质增强细胞的持水力, 束缚更多的水分, 从而减少原生质因结冰而伤害致死的几率, 以提高其耐寒性; 当温度继续降低含量达到最大值后又呈现下降趋势, 说明叶片受到严重胁迫, 可溶性蛋白质合成减弱或降解速率上升。并且耐寒性强的品种可溶性蛋白质含量比耐寒性弱的高。

游离脯氨酸是渗透胁迫下易积累的一种氨基酸, 也是一种重要的渗透调节物质, 具有稳定细胞蛋白质结构、保护细胞内大生物分子和保持氮含量的作用 (Verbruggen & Hermans, 2008)。本研究中德国鸢尾各品种叶片的游离脯氨酸含量随处理温度的降低亦呈先上升后下降的趋势, LT<sub>50</sub> 与游离脯氨酸含量成负相关性。这可能是植物在低温胁迫下细胞失水, 通过提高体内的游离脯氨酸含量, 增加细胞液的浓度, 作为细胞冰冻保护剂而对原生质体表面起保护作用, 以保持质膜的稳定。但当胁迫温度超过植物所能忍耐的阈值, 使得酶活性丧失、抗氧化系统遭到破坏, 造成游离脯氨酸合成受阻, 含量下降。

本研究从冻害指数和 LT<sub>50</sub> 入手, 结合生理生化指标研究德国鸢尾的耐寒性, 筛选出耐寒性强的德国鸢尾品种, 促进德国鸢尾品种资源的引种栽培和园林绿化应用。但德国鸢尾品种众多, 本研究中仅仅对 6 个不同花色的品种进行了耐寒性鉴定。因此, 今后德国鸢尾品种耐寒鉴定工作还需要进一步加强。

## References

- Ameglio T, Pigeon D, Archilla O. 2003. Adaptation to cold temperature and response to freezing in roses. *Acta Hort*, 1: 515 - 520.
- Foyer C H, Kunert K J. 1994. Protection against oxygen radicals an important defence mechanism studied in transgenic plants. *Plant Cell Environ*, 17: 507 - 523.
- Guo Jin-yan, Zhang Jin-zheng, Sun Guo-feng, Shi Lei. 2007. Effects of 6-BA application on promotion of offset formation in *Iris germanica*. *Acta*

- Horticulturae Sinica, 34 (2): 461 – 464. (in Chinese)
- 郭晋燕, 张金政, 孙国峰, 石 雷. 2007. 喷施 6-BA 促进德国鸢尾根茎芽的萌发. 园艺学报, 34 (2): 461 – 464.
- Guo Wei-dong, Zhang Zhen-zhen, Jiang Xiao-wei, Chen Min-guan, Zheng Jian-shu, Chen Wen-rong. 2009. Semilethal temperature of fingered citron (*Citrus medica* var. *sarcodactylis* Swingle) under low temperature stress and evaluation on their cold resistance. Acta Horticulturae Sinica, 36 (1): 81 – 86. (in Chinese)
- 郭卫东, 张真真, 蒋小韦, 陈民管, 郑建树, 陈文荣. 2009. 低温胁迫下佛手半致死温度测定和抗寒性分析. 园艺学报, 36 (1): 81 – 86.
- Huang Su-zhen. 2004. Studies on evaluation and germplasm innovation for some plant resources of *Iris* L. [Ph. D. Dissertation]. Nanjing: Nanjing Agricultural University. (in Chinese)
- 黄苏珍. 2004. 鸢尾属 (*Iris* L.) 部分植物资源评价及种质创新研究[博士学位论文]. 南京: 南京农业大学.
- Li Dong-lin, Jin Ya-qin, Xiang Qi-bai. 2005. Survey of the freezing injury of *Phoebe chekiangensis* seedlings around Nanjing. Journal of Jiangsu Forestry Science & Technology, 32 (4): 11 – 14. (in Chinese)
- 李冬林, 金雅琴, 向其柏. 2005. 南京地区浙江楠苗期冻害调查研究. 江苏林业科技, 32 (4): 11 – 14.
- Li He-sheng. 2000. Plant physiological and biochemical principles and experimental techniques. Beijing: Higher Education Press: 167 – 169, 184 – 185, 258 – 263. (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: 167 – 169, 184 – 185, 258 – 263.
- Liu Xiao-dong, Zhai Xiao-yu, Shi Bing. 2011. Cold resistances of *Physocarpus opulifolius* ‘Lutein’ and *P. opulifolius* ‘Summer Wine’. Journal of Northeast Forestry University, 39 (4): 18 – 20. (in Chinese)
- 刘晓东, 翟晓宇, 施 冰. 2011. 金叶风箱果和紫叶风箱果的抗寒性. 东北林业大学学报, 39 (4): 18 – 20.
- Verbruggen N, Hermans C. 2008. Proline accumulation in plants. A review. Amino Acids, 35 (4): 753 – 759.
- Wang Ling, Wang Chun-lei, Ma Xi-juan, Song Hong, Ma Li-hua. 2012. Cold resistance of new weigela varieties. Journal of Northeast Forestry University, 40 (12): 43 – 46. (in Chinese)
- 王 玲, 王春雷, 马喜娟, 宋 红, 马立华. 2012. 锦带花新品种抗寒性. 东北林业大学学报, 40 (12): 43 – 46.
- Wang Shu-gang, Wang Zhen-lin, Wang Ping, Wang Hai-wei, Li Fu, Huang Wei, Wu Yu-guo, Yin Yan-ping. 2011. Evaluation of wheat freezing resistance based on the responses of the physiological indices to low temperature stress. Acta Ecologica Sinica, 31 (4): 1064 – 1072. (in Chinese)
- 王树刚, 王振林, 王 平, 王海伟, 李 府, 黄 玮, 武玉国, 尹燕桦. 2011. 不同小麦品种对低温胁迫的反应及抗冻性评价. 生态学报, 31 (4): 1064 – 1072.
- Warburton B. 1978. The world of *Irises*. Utah: The Publishers Press: 136 – 144.
- Xu Kang, Xia Yi-ping, Xu Bi-yu, Lin Tian, Yang Xia. 2005. Measurement of cold tolerance based on REC and the Logistic equation in *Camellia hiemalis* ‘Shishi Gashira’. Acta Horticulturae Sinica, 32 (1): 148 – 150. (in Chinese)
- 徐 康, 夏宜平, 徐碧玉, 林 田, 杨 霞. 2005. 以电导法配合 Logistic 方程确定茶梅 ‘小玫瑰’ 的抗寒性. 园艺学报, 32 (1): 148 – 150.
- Xu Ying, Chen Fa-di. 2008. The  $LT_{50}$  and cold tolerance adaptability of chrysanthemum during a natural drop in temperature. Acta Horticulturae Sinica, 35 (4): 559 – 564. (in Chinese)
- 许 瑛, 陈发棣. 2008. 菊花 8 个品种的低温半致死温度及其抗寒适应性. 园艺学报, 35 (4): 559 – 564.
- Yuan Xue-jun, Liu Jian-xiu. 2007. Study on the effect of 6-BA on green period of *Eleocharis acicularis*. Pratacultural Science, 24 (8): 83. (in Chinese)
- 袁学军, 刘建秀. 2007. 6-BA 对假俭草绿期影响的研究. 草业科学, 24 (8): 83.
- Zhao Chang-qiong, Lu Zhan-gen, Pang Yong-zhen, Tan Feng. 2003. Half lethal temperature and low temperature adaptability of *Taxus media*. Journal of Chongqing University, 26 (6): 86 – 88. (in Chinese)
- 赵昌琼, 芦站根, 庞永珍, 谈 锋. 2003. 曼地亚红豆杉的半致死温度与对低温的适应性. 重庆大学学报, 26 (6): 86 – 88.
- Zhu Gen-hai, Liu Zu-qi, Zhu Pei-ren. 1986. A study on determination of lethal temperature with logistic function. Journal of Nanjing Agricultural University, (3): 11 – 16. (in Chinese)
- 朱根海, 刘祖祺, 朱培仁. 1986. 应用 Logistic 方程确定植物组织低温半致死温度研究. 南京农业大学学报, (3): 11 – 16.