



自然越冬期姜花属植物生理指标变化及抗寒性评价

谢雨萱, 包苹, 郭莺, 蔡长福, 王金英, 魏钰倩, 蔡邦平

引用本文:

谢雨萱, 包苹, 郭莺, 等. 自然越冬期姜花属植物生理指标变化及抗寒性评价[J]. 热带亚热带植物学报, 2021, 29(5): 509–518.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11926/jtsb.4333>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

7种木莲属植物抗寒性评价及其生理机制

Evaluation of Cold Resistance and Physiological Mechanism of Seven *Manglietia* Species

热带亚热带植物学报. 2021, 29(5): 519–529 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4349>

广义凹唇姜, 中国姜科凹唇姜属一新记录种

Boesenbergia quangngaiensis N. S. L, A Newly Recorded Species of Zingiberaceae from China

热带亚热带植物学报. 2020, 28(3): 241–244 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4153>

NaCl胁迫对大黄龙船花生长及生理生化的影响

Growth and Physiological Indexes of *Ixora collinea* ‘Gillette How’ under NaCl Stress

热带亚热带植物学报. 2015(3): 262–267 <https://doi.org/10.11926/j.issn.1005-3395.2015.03.005>

灰岩山姜, 中国山姜属(姜科)一新记录种

Alpinia calcicola Q. B. Nguyen & M. F. Newman, A Newly Recorded Species of *Alpinia* (Zingiberaceae) from China

热带亚热带植物学报. 2021, 29(3): 328–330 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4303>

井冈山植物群落优势种空间分布格局与种间关联

Spatial Pattern and Interspecific Relationship of Dominant Species in Plant Community in Jinggang Mountain

热带亚热带植物学报. 2015, 23(1): 74–80 <https://doi.org/10.11926/j.issn.1005-3395.2015.01.011>

向下翻页, 浏览PDF全文

自然越冬期姜花属植物生理指标变化及抗寒性评价

谢雨萱^{1,2}, 包苹^{1,2}, 郭莺³, 蔡长福², 王金英², 魏钰倩¹, 蔡邦平^{1,2*}

(1. 福建农林大学园林学院, 福州 350002; 2. 厦门市园林植物园, 福建 厦门 361003; 3. 福建省亚热带植物研究所, 福建 厦门 361005)

摘要: 为了解姜花属(*Hedychium*)植物的抗寒性并筛选抗寒种质, 测定了3种姜花属植物和11个品种在自然越冬过程中的相对电导率、可溶性蛋白质和MDA含量及SOD、POD活性的变化, 采用主成分分析结合隶属函数法对姜花属植物抗寒性进行综合评价及聚类分析。结果表明, 姜花属植物的5个生理指标随越冬时间的延长均呈先上升后下降的变化趋势, 多数于气温最低月(2月)达到最大值。同一时期, 抗寒性强的种类或品种的相对电导率和MDA含量较低, 而SOD和POD活性及可溶性蛋白含量则较高。SOD活性与MDA和可溶性蛋白含量分别呈显著负相关和极显著正相关; MDA含量与可溶性蛋白含量呈极显著负相关; 相对电导率与MDA含量呈极显著正相关。主成分分析表明, 5个指标可转化为2个主成分, 累积贡献率达81.29%。综合评价结果表明, 姜花属植物的抗寒性由强到弱为: ‘橙汁’姜花、‘橙塔’姜花、‘活宝’姜花、‘黄白’姜花、白姜花、‘西里岛’金姜花、‘伊丽莎白’姜花、‘粉红色’姜花、峨眉姜花、‘塔拉’金姜花、‘绝色’姜花、‘美梦成真’姜花、‘白星’姜花、‘星爆’姜花。这为筛选姜花属优良的抗寒种类和品种资源的推广与应用提供了理论和实践依据。

关键词: 姜花属; 抗寒性; 生理指标; 越冬; 综合评价

doi: 10.11926/jtsb.4333

Changes in Physiological Characteristics of Cold Resistance of *Hedychium* and Evaluation during Natural Overwintering Period

XIE Yuxuan^{1,2}, BAO Ping^{1,2}, GUO Ying³, CAI Changfu², WANG Jinying², WEI Yuqian¹, CAI Bangping^{1,2*}

(1. College of Landscape Architecture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. Xiamen Botanical Garden, Xiamen 361003, Fujian, China; 3. Fujian Institute of Subtropical Botany, Xiamen 361005, Fujian, China)

Abstract: In order to explore the cold resistance of *Hedychium* species and select the cold-tolerance species, the changes in relative conductivity, contents of soluble protein and malondialdehyde (MDA), activities of superoxide dismutase (SOD) and peroxidase (POD) of 3 species and 11 cultivars of *Hedychium* were studied under natural overwintering condition and then their cold resistance were comprehensively evaluated by principal component analysis combined with subordinate function method. The results showed that the five physiological indexes increased at first and then decreased along the winter, and most of them reached the maximum value in the coldest month (February). In the same period, the species or varieties with strong cold resistance had low relative conductivity and MDA content, and high activities of SOD and POD, as well as soluble protein content. The correlation analysis showed that SOD activity was significantly negatively correlated with MDA content, and soluble protein content was extremely significantly positively correlated. MDA content and soluble protein were significantly negatively correlated. Principal component analysis showed that the five indicators could be converted into two principal components, with a cumulative contribution rate of 81.29%. The decreased order of cold resistance of *Hedychium* germplasm and cultivars by

收稿日期: 2020-11-05 接受日期: 2021-01-11

基金项目: 厦门市社会科技指导性项目(3502Z20199003); 国家林木种质资源共享服务平台项目(2005DKA21003)资助

This work was supported by the Project for Social Science and Technology Guidance in Xiamen (Grant No. 3502Z20199003), and the Project for National Forest Germplasm Resources Sharing Service Platform (Grant No. 2005DKA21003).

作者简介: 谢雨萱(1996-), 女, 硕士研究生, 主要从事园林植物研究。E-mail: xxieyuxuan@163.com

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: cbangping@163.com

comprehensive evaluation was *H. 'Orange Crush'*, *H. coccineum* var. *aurantiacum* 'Orange Brush', *H. 'Clown Suit'*, *H. chrysoleucum*, *H. coronarium*, *H. gardnerianum* 'Kahili', *H. coronarium* 'Elizabeth', *H. 'Pink V'*, *H. flavescens*, *H. gardnerianum* 'Tara', *H. 'Tarissima'*, *H. 'Fireflies'*, *H. stenopetalum* 'White Stars', and *H. coronarium* 'White Starburst'. Therefore, these would provide theoretical and practical basis for the selection of excellent cold-resistant species of *Hedychium* and the promotion and application of variety resources.

Key words: *Hedychium*; Cold resistance; Physiological index; Overwinter; Comprehensive evaluation

姜花属(*Hedychium*)隶属于姜科(Zingiberaceae),为多年生草本植物,原产于热带和亚热带地区^[1]。由于含有多种功效成分,该属植物最早以其在民间医药和香料中的重要地位闻名^[2],如今也被广泛运用于观赏植物栽培以及精油、香水等领域,是极具发展潜力的重要观赏植物。该属植物喜高温高湿的环境,大多数物种和品种的最适生长温度为 25℃~30℃,冬季最低气温不得低于 16℃,当温度达到 10℃左右时进入休眠状态^[3]。低温是造成植株直接伤害的非生物胁迫因子之一^[4],而姜花属植物抗寒性则是制约其由南至北产业发展及市场推广的重要因素。

植物的抗寒性是一个复杂的生理生化过程,表现为抗氧化酶活性、渗透调节物质等生理指标的变化^[5],目前多应用主成分分析和隶属函数法对它们的抗寒性进行综合评价^[6-7]。但目前有关姜科植物抗寒性的研究甚少,通过测定生理指标对姜花属品种进行抗寒性综合评价的研究未曾见报道。朱丽霞等对自然降温过程中姜荷花(*Curcuma alsimatifolia*)叶片的部分生理指标进行测定,认为姜荷花各指标值在 11 月中旬较大,建议在此之前采取抗寒措施^[8]。何雪娇等对 40 份热带花卉资源在自然低温下的生理指标进行测定,认为'白雪公主'姜荷花('Snow White')属弱抗冷型^[6]。本研究以 14 个姜花属植物材料为研究对象,对越冬过程中与抗寒性密切相关的生理指标进行测定,同时结合隶属函数法、主成分分析法进行抗寒性综合评价与聚类分析,以期姜花属植物的抗寒品种选育、抗寒性评价,以及优良的抗寒种类或品种资源的推广与应用提供理论和实践依据。

1 材料和方法

1.1 材料

试验材料姜花属 3 种植物和 11 个品种均采自厦门市园林植物园姜目园,地处 117°53'~118°15'E, 24°13'~24°46'N,属南亚热带海洋性季风气候,年均温 20.8℃,最冷月(2月)均温 12℃,最热月(7月)

均温 28.7℃。姜花属 3 种植物为白姜花(*Hedychium coronarium*)、黄白姜花(*H. chrysoleucum*)和峨眉姜花(*H. flavescens*),11 个品种分别为'橙塔'姜花(*H. coccineum* var. *aurantiacum* 'Orange Brush')、'塔拉'金姜花(*H. gardnerianum* 'Tara')、'橙汁'姜花(*H. 'Orange Crush'*)、'西里岛'金姜花(*H. gardnerianum* 'Kahili')、'美梦成真'姜花(*H. 'Fireflies'*)、'活宝'姜花(*H. 'Clown Suit'*)、'星爆'姜花(*H. coronarium* 'White Starburst')、'粉红色'姜花(*H. 'Pink V'*)、'绝色'姜花(*H. 'Tarissima'*)、'伊丽莎白'姜花(*H. coronarium* 'Elizabeth')和'白星'姜花(*H. stenopetalum* 'White Stars')。

经田间观察,厦门地区 12 月气温较高,日温仍处于姜花属植物生长的适宜温度,此时植株并未在形态上表现出胁迫症状,之后随着气温逐渐下降,植株逐渐出现叶缘反卷、叶片枯黄的现象,因此分别于 2019 年 12 月、2020 年 2、3 和 5 月进行越冬期取样,采样当日的平均气温分别为 21.5℃、10.5℃、18℃和 25℃。每个品种或种随机选取 10 株多年生长势一致、无病虫害的样株,采集顶部以下第 3 至 4 片完全展开的叶片,3 次重复。取样后以湿纱布包裹,迅速带回实验室,用去离子水洗净并擦干。相对电导率取材后即测定。其余指标测定使用的材料放入液氮中,研磨标记后置于-80℃冰箱中保存备用。

1.2 方法

细胞膜透性采用电导法测定,以膜电解质外渗率表示^[9];可溶性蛋白质含量采用考马斯亮蓝比色法测定^[9];超氧化物歧化酶(SOD)活性采用氮蓝四唑(NBT)显色法测定,以抑制 NBT 光还原为对照 50%的酶量为 1 个酶活性单位(U)^[9];过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚比色法测定,以 1 min 内 OD₄₇₀变化 0.01 为 1 个酶活性单位(U)^[9];丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸(TBA)比色法测定^[9]。

1.3 数据处理

采用 Excel 2019 整理数据并绘制图表,利用

SPSS 24.0 对 5 个指标间的相关性分析, 用 Duncan 检验法进行显著性分析。将标准化后的数据进行主成分分析^[6]: 以特征值大于 1, 累计贡献率达到 80% 为标准保留主成分, 通过 Varimax 法进行因子旋转, 得到各主成分的得分值 $[C(x)]$ 和贡献率, 分别计算隶属函数值 (U) 、主成分权重值和最终抗寒性综合评价 (D) , D 值为 0~1, 值越大则抗寒性越强^[5]。最后根据 D 值利用欧氏距离对 14 个姜花属种质进行聚类分析^[6-7]。 $U_{ij}=(X_{ij}-X_{jmin})/(X_{jmax}-X_{jmin})$, 式中, U_{ij} 表示 i 种质在 j 主成分的隶属函数值, X_{ij} 表示 i 种质在 j 主成分的得分值, X_{jmin} 表示所有种质 j 主成分的最小值, X_{jmax} 表示所有种质 j 主成分的最大值。 $W_j=P_j/\sum P_j$, 式中, W_j 表示第 j 个主成分的权重, P_j 表示 j 主成分的贡献率。 $D_i=\sum(U_{ij}\times W_j)$, 式中, D_i 表示 i 种质的综合评价, U_{ij} 表示 i 种质 j 主成分的隶属函数值, W_j 表示 j 主成分的权重。

2 结果和分析

2.1 叶片生理指标的变化

相对电导率 14 个姜花属种质叶片的相对电导率随越冬期均呈先上升后下降的变化趋势, 且于气温最低的 2 月达到峰值(表 1)。4 个采样期姜花属种质叶片的电导率分别为 9.47%~20.42%、17.61%~55.27%、16.57%~45.08% 和 14.13%~32.73%。越冬

期从 12 月到翌年 2 月, 除‘西里岛’金姜花外, 其余种质叶片的相对电导率均显著增加, 增幅达 20.6%~75.3%, 以‘美梦成真’姜花增幅最大, ‘西里岛’金姜花的最小; 2020 年 2 月, ‘星爆’姜花叶片的相对电导率最大, 其次是‘绝色’姜花、‘塔拉’金姜花、峨眉姜花, 比 2019 年 12 月的增幅均接近 50%, 说明温度下降叶片的细胞膜受到显著伤害, 导致细胞膜透性增大, 电解质外渗。而‘西里岛’金姜花、‘橙汁’姜花、‘橙塔’姜花的相对电导率较低, 说明对低温有一定的适应能力。从 2 月至 5 月气温回升, 各种质叶片的相对电导率均下降。方差分析表明, ‘西里岛’金姜花越冬期的相对电导率变化不显著, 其余种质的相对电导率的差异显著, 且相同时间不同种质间的差异也显著。

可溶性蛋白含量 各种质的可溶性蛋白含量随越冬期呈先上升后下降的变化趋势(图 1), 除峨眉姜花外, 其余种质均于 2 月达到最大值, 表明自然低温诱导产生的膜蛋白或信号蛋白等保护蛋白, 促进了植株抗寒性的提高。同一时期抗寒性强的种质可溶性蛋白含量高、增幅大, 抗寒性弱的则相反。在 12、2、3 和 5 月姜花的可溶性蛋白含量分别为 0.236~0.756、0.301~0.830、0.205~0.700 和 0.146~0.669 mg/g。2 月时, 除‘星爆’姜花、‘西里岛’金姜花、‘粉红色’姜花和‘绝色’姜花与 12 月的差异不显著外, 其余种质均显著增加, 其中, ‘橙汁’姜

表 1 自然越冬期姜花属种质叶片的相对电导率(%)

Table 1 Relative electrical conductivity (%) in leaves of *Hedychium* germplasms during natural overwintering period

编号 No.	种质 Germplasm	采样时间 Sampling time (Y-M)			
		2019-12	2020-02	2020-03	2020-05
1	‘橙塔’姜花 <i>H. coccineum</i> var. <i>aurantiacum</i> ‘Orange Brush’	14.49±1.23bcd	25.70±2.45h	23.67±0.81h	21.80±1.79cd
2	‘塔拉’金姜花 <i>H. gardnerianum</i> ‘Tara’	17.28±5.44ab	49.55±1.02b	39.77±4.00bc	23.76±1.26bcd
3	‘橙汁’姜花 <i>H.</i> ‘Orange Crush’	9.47±0.33e	25.90±2.35h	16.57±1.59i	14.13±1.92g
4	‘西里岛’金姜花 <i>H. gardnerianum</i> ‘Kahili’	13.99±2.66bcde	17.61±0.52i	17.24±1.08i	15.83±1.19fg
5	‘美梦成真’姜花 <i>H.</i> ‘Fireflies’	11.22±1.39de	45.35±3.02de	45.08±4.25a	26.71±1.68b
6	‘活宝’姜花 <i>H.</i> ‘Clown Suit’	11.96±3.09cde	36.69±0.73f	27.40±2.48gh	18.12±1.02ef
7	‘星爆’姜花 <i>H. coronarium</i> ‘White Starburst’	20.42±1.27a	55.27±0.68a	42.33±0.92ab	24.53±0.98bc
8	‘粉红色’姜花 <i>H.</i> ‘Pink V’	15.70±2.21abcd	29.22±0.41g	26.27±0.67gh	22.12±1.52cd
9	‘绝色’姜花 <i>H.</i> ‘Tarissima’	14.52±3.00bcd	50.42±0.68b	28.47±3.42fg	31.13±1.03a
10	‘伊丽莎白’姜花 <i>H. coronarium</i> ‘Elizabeth’	16.60±0.31abc	38.70±0.72f	36.11±0.63cd	32.73±3.21a
11	‘白星’姜花 <i>H. stenopetalum</i> ‘White Stars’	16.79±3.97abc	45.65±1.89de	34.53±2.06de	32.64±3.30a
12	白姜花 <i>H. coronarium</i>	15.39±2.33bcd	43.28±2.33e	31.88±1.55ef	27.12±0.25b
13	黄白姜花 <i>H. chrysoleucum</i>	13.36±1.21bcde	46.73±0.93cd	27.61±0.80gh	16.83±4.19fg
14	峨眉姜花 <i>H. flavescens</i>	15.99±0.64abcd	48.40±0.25bc	27.44±1.60gh	20.78±0.76de

同列数据后不同字母表示差异显著($P<0.05$)。以下图表同。

Data followed different letters within column indicate significant differences at 0.05 level. The same is following Tables and Figures.

花可溶性蛋白含量最大,‘黄白’姜花、‘橙塔’姜花次之,‘美梦成真’姜花、‘星爆’姜花最小,各种质的可溶性蛋白含量增幅为 0.9%~28.2%,增幅最大的为‘白星’姜花,最小的为‘西里岛’金姜花。方差分析表明,除‘橙汁’姜花和‘黄白’姜花、‘西里岛’金姜花和‘粉红色’姜花间的差异较不显著外,其余种质间的差异均显著。2 至 5 月气温回升,各种质的可溶性蛋白含量均有显著下降,且基本能够恢复正常。

超氧化物歧化酶活性 姜花属不同种质叶片的超氧化物歧化酶(SOD)活性整体上呈先升后降的趋势(表 2)。各种质在 12、2、3 和 5 月的 SOD 活性分别为 89.51~184.97、97.72~188.06、81.87~187.57 和 76.83~178.84 U/g,均于 2020 年 2 月达到最高值,且除峨眉姜花、‘活宝’姜花外,其余种质相对于越冬前(12 月)均显著增强,增加幅度为 1.7%~26.4%,其中‘星爆’姜花的增幅最大,‘橙汁’姜花的最小,说明 2 月植株叶片的清除超氧化物阴离子能力增强,从而维持了体内活性氧代谢的平衡。SOD 活性的高低能间接说明种质耐寒性的强弱^[4],2 月‘橙汁’姜花的 SOD 活性最强,‘橙塔’姜花、‘黄白’姜花次之,‘白星’姜花、‘美梦成真’姜花最小。越冬后(2-5 月),各种质叶片的 SOD 活性逐渐降低,低于或与越冬前水平相当。同时,除 5 月时各种质间的 SOD 活性差异不显著外,其余时期各种质 SOD 活性均差异

显著($P<0.05$)。

过氧化物酶活性 过氧化物酶(POD)与 SOD 酶同为植物体内的保护性酶,能够通过酶促降解清除 H_2O_2 ,避免细胞膜的过氧化,从而起到保护作用。越冬期姜花属种质的 POD 活性变化与 SOD 活性的变化趋势基本一致,12、2、3、5 月各种质叶片的 POD 活性分别为 885.6~3 370.8、943.3~3 570.2、677.9~3 054.2 和 558.5~2 286.0 U/g(图 2)。14 个种质叶片的 POD 活性均于 2 月达到最大值,除‘白星’姜花、‘美梦成真’姜花、‘橙汁’姜花、‘西里岛’金姜花外,其余种质叶片的 POD 活性均显著增加($P<0.05$),增幅为 3.2%~50.3%,其中,‘星爆’姜花的增幅最小,白姜花的最大,除‘美梦成真’姜花和‘白星’姜花外,其余种质间的 POD 活性均差异显著($P<0.05$),其中,‘橙汁’姜花的 POD 活性最大(3 570.2 U/g),‘白星’姜花的最小(943.3 U/g),说明‘橙汁’姜花的抗氧化能力较‘白星’姜花强。越冬后(2-5 月),各种质的 POD 活性均下降且能恢复正常。

丙二醛含量 越冬期各种质叶片的丙二醛(MDA)含量均呈先增长后下降的变化趋势(表 3)。14 个种质叶片在 12、2、3、5 月的 MDA 含量分别为 3.63~20.92、5.24~25.26、5.38~19.62 和 2.94~13.43 $\mu\text{mol/g}$ 。除‘星爆’姜花、峨眉姜花、‘活宝’姜花、‘橙汁’姜花、‘黄白’姜花、‘白星’姜花、‘塔拉’金姜花和‘粉红

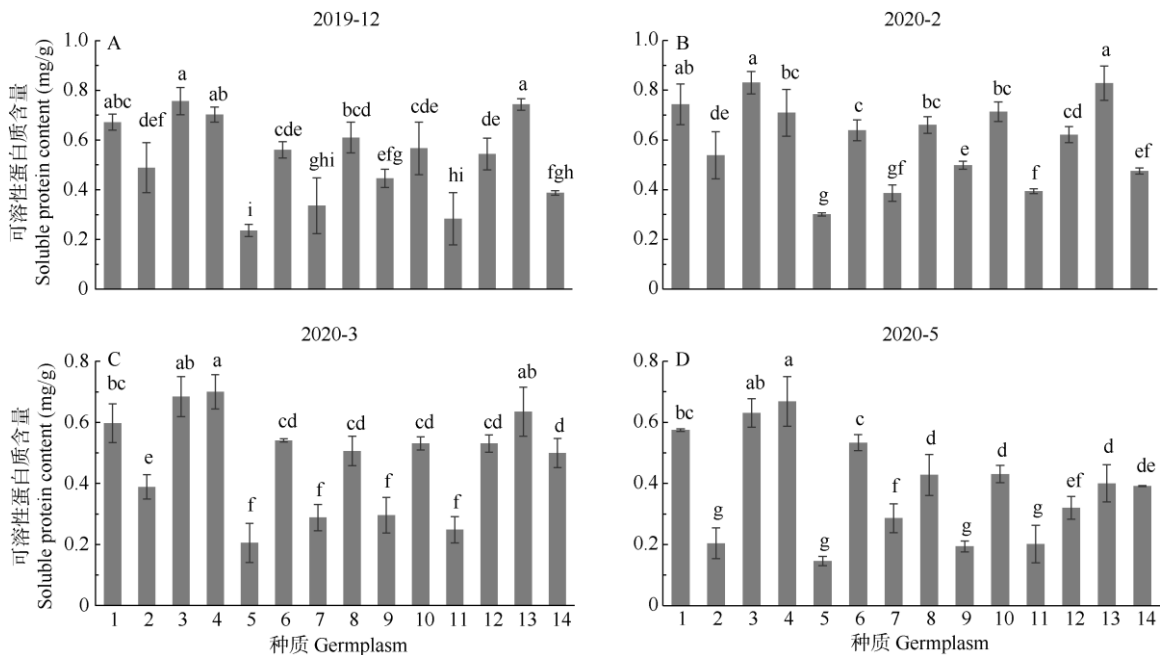


图 1 自然越冬期姜花属植物叶片可溶性蛋白含量的变化。1~14 见表 1。

Fig. 1 Changes in soluble protein content in leaves of *Hedychium* germplasm during natural overwintering period. 1-14 see Table 1.

表2 自然越冬期姜花属植物叶片超氧化物歧化酶活性(U/g)的变化

Table 2 Changes in superoxide dismutase activity in leaves of *Hedychium* germplasm during natural overwintering period

种质 Germplasm	采样时间 Sampling time (Y-M)			
	2019-12	2020-2	2020-3	2020-5
‘橙塔’姜花 <i>H. coccineum</i> var. <i>aurantiacum</i> ‘Orange Brush’	176.20±6.67ab	183.51±2.17ab	168.66±5.75bcd	151.16±5.88bc
‘塔拉’金姜花 <i>H. gardnerianum</i> ‘Tara’	120.29±4.36f	137.61±3.03g	126.46±1.66f	116.35±5.46e
‘橙汁’姜花 <i>H. ‘Orange Crush’</i>	184.97±1.66a	188.06±0.86a	187.57±7.75a	178.84±2.52a
‘西里岛’金姜花 <i>H. gardnerianum</i> ‘Kahili’	146.81±10.52e	169.89±5.19cde	123.39±3.65fg	129.67±13.73d
‘美梦成真’姜花 <i>H. ‘Fireflies’</i>	94.83±4.68gh	111.36±8.36h	105.16±5.68h	88.23±3.43g
‘活宝’姜花 <i>H. ‘Clown Suit’</i>	163.82±12.99bc	174.28±5.96cd	178.80±6.64ab	158.37±1.73b
‘星爆’姜花 <i>H. coronarium</i> ‘White Starburst’	101.76±1.08gh	128.66±2.64g	113.62±8.24gh	86.04±4.51g
‘粉红色’姜花 <i>H. ‘Pink V’</i>	145.06±13.37e	171.86±3.89cde	169.77±6.14bc	134.55±7.34d
‘绝色’姜花 <i>H. ‘Tarissima’</i>	108.07±11.63fg	136.49±5.29g	125.56±5.25f	101.60±3.02f
‘伊丽莎白’姜花 <i>H. coronarium</i> ‘Elizabeth’	140.03±3.74e	166.49±1.91def	145.21±6.53e	137.82±7.60d
‘白星’姜花 <i>H. stenopetalum</i> ‘White Stars’	89.51±2.42h	97.72±6.68i	81.87±3.55i	76.83±4.90g
白姜花 <i>H. coronarium</i>	147.51±4.58de	164.70±7.34ef	158.31±11.39d	153.85±16.07bc
黄白姜花 <i>H. chrysoleucum</i>	161.24±7.96cd	178.66±6.92bc	166.39±4.62cd	141.55±8.37cd
峨眉姜花 <i>H. flavescens</i>	154.55±9.67cde	158.84±4.75f	142.28±3.49e	133.28±2.90d

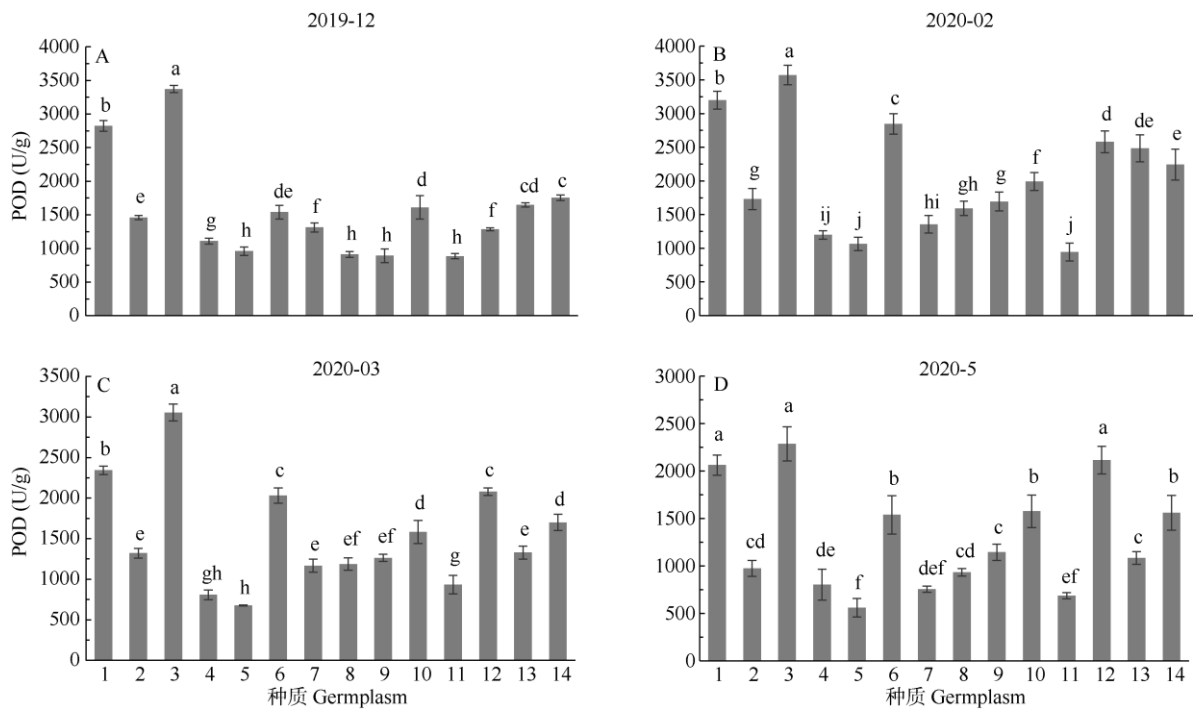


图2 自然越冬期姜花属植物叶片过氧化物酶(POD)活性的变化

Fig. 2 Changes in peroxidase (POD) activity in leaves of *Hedychium* during natural overwintering period

色’姜花于2月达到最大值外,其余种质均于3月才达到峰值,这可能是由于种质的抗寒性不同所导致。各采样期‘星爆’姜花叶片的MDA含量均最高,‘西里岛’金姜花的最低。各种质叶片的MDA含量最大值比初始值增加11.2%~45.8%。方差分析表明,除‘橙汁’姜花、‘白星’姜花叶片的MDA含量变化不显著外,其余12个种质的均差异显著,其中,‘西

里岛’金姜花的增幅最大,‘粉红色’姜花、峨眉姜花次之,‘橙塔’姜花的最小。越冬后各种质叶片的MDA含量均下降,说明植物机体细胞膜结构可能发生了变化,阻止了膜脂过氧化程度的加剧,而大部分种质出现了甚至低于越冬前(12月)的值,说明14个种质均能较好的适应冬季的自然降温,并基本能够通过自我调节恢复。

表 3 自然越冬期姜花属植物叶片丙二醛含量的变化

Table 3 Changes in malondialdehyde content in leaves of *Hedychium* during natural overwintering period

种质 Germplasm	采样时间 Sampling time			
	2019-12	2020-2	2020-3	2020-5
‘橙塔’姜花 <i>H. coccineum</i> var. <i>aurantiacum</i> ‘Orange Brush’	5.60±0.52fg	6.23±0.78e	6.40±1.18ef	4.63±0.16c
‘塔拉’金姜花 <i>H. gardnerianum</i> ‘Tara’	7.78±0.55e	9.95±0.46d	8.84±0.69d	6.06±0.09c
‘橙汁’姜花 <i>H.</i> ‘Orange Crush’	4.37±1.03gh	5.45±0.73e	5.38±0.95f	4.61±0.83c
‘西里岛’金姜花 <i>H. gardnerianum</i> ‘Kahili’	3.63±0.87h	5.24±0.70e	6.70±0.59ef	5.36±0.54c
‘美梦成真’姜花 <i>H.</i> ‘Fireflies’	7.12±0.70ef	9.19±1.41d	11.07±2.13c	4.94±2.25c
‘活宝’姜花 <i>H.</i> ‘Clown Suit’	7.22±1.99ef	9.30±0.71d	7.94±0.31de	5.45±0.71c
‘星爆’姜花 <i>H. coronarium</i> ‘White Starburst’	20.92±0.41a	25.26±0.63a	19.62±0.55a	13.43±1.59a
‘粉红色’姜花 <i>H.</i> ‘Pink V’	8.83±0.50de	12.76±1.29c	11.87±0.91c	9.84±0.69b
‘绝色’姜花 <i>H.</i> ‘Tarissima’	11.08±1.89c	13.73±1.42c	15.42±0.45b	9.69±0.51b
‘伊丽莎白’姜花 <i>H. coronarium</i> ‘Elizabeth’	4.86±0.95gh	6.63±0.55e	7.01±0.91def	5.97±0.19c
‘白星’姜花 <i>H. stenopetalum</i> ‘White Stars’	10.22±0.98cd	12.92±2.45c	12.48±1.77c	2.94±0.34d
白姜花 <i>H. coronarium</i>	4.86±0.58gh	6.83±0.09e	7.95±0.66de	4.99±0.63c
黄白姜花 <i>H. chrysoleucum</i>	5.01±0.77gh	6.74±0.65e	5.85±1.11f	5.20±0.07c
峨眉姜花 <i>H. flavescens</i>	13.49±1.01b	19.48±0.23b	11.43±0.39c	6.16±0.07c

2.2 相关性分析

在 5 项生理指标中, POD 与 SOD 活性、可溶性蛋白含量呈极显著正相关关系; SOD 活性与 MDA 含量、可溶性蛋白含量分别呈显著负相关和极显著正相关关系; MDA 含量与可溶性蛋白含量呈极显著负相关关系; 相对电导率与 MDA 含量呈极显著正相关关系(表 4)。其中, POD、SOD 活性、可溶性蛋白含量间的相关系数较高, 均大于 0.6, 说明在越冬过程中, 植物的抗氧化酶系统和渗透调节物质共同发挥作用, 起到正向协同的效果。各指标之间均存在

一定程度的相关性, 说明指标间存在信息重叠, 因此不能仅用单一指标来确定种质间的抗寒性大小, 因此, 需要结合多个指标进行综合评价^[13]。

2.3 抗寒性综合评价

主成分分析

对自然越冬过程中 14 个姜花属种质叶片的 5 项生理指标进行标准化处理, 然后进行主成分分析。由表 5 可见, 前两个主成分贡献率分别为 54.76% 和 26.53%, 累积贡献率达到 81.29%, 说明变量之间高度相关, 基本可代表 5 个生理指标

表 4 自然越冬过程中姜花属植物叶片生理指标间的相关性分析

Table 4 Correlation analysis of physiological indexes of *Hedychium* germplasm in natural overwintering period

	POD	SOD	相对电导率 Relative electric conductivity	MDA	可溶性蛋白含量 Soluble protein content
POD	1				
SOD	0.792**	1			
相对电导率 Relative electric conductivity	0.005	-0.144	1		
MDA	-0.205	-0.305*	0.495**	1	
可溶性蛋白含量 Soluble protein content	0.642**	0.828**	-0.211	-0.369**	1

** : $P < 0.01$; * : $P < 0.05$.

表 5 姜花属植物抗寒性的主成分贡献率

Table 5 Contribution rate of main components of cold resistance of *Hedychium*

主成分 Principal component	特征值 Eigenvalue	贡献率 Contribution rate / %	累积贡献率 Cumulative contribution rate / %
1	2.74	54.76	54.76
2	1.33	26.53	81.29
3	0.48	9.65	90.94
4	0.32	6.49	97.43
5	0.13	2.57	100.00

的变量信息, 因此只选择前两个主成分进行综合评价。由表 6 可见, 第一主成分主要包含 POD、SOD、可溶性蛋白, 反映抗氧化酶活性和渗透调节物质与抗寒能力间的关系; 第二主成分主要为相对电导率和 MDA, 反映植物抗寒性与渗透调节物质和细胞膜透性间的关系, 即通过降低 MDA 含量, 从而降低膜脂过氧化程度来维持细胞膜的稳定, 提高植物的抗寒能力。

隶属函数分析及综合评价 通过主成分得分值 $[C(x)]$ 和隶属函数值 $[U(x)]$, 得出前两个主成分

的权重系数分别为 0.674 和 0.326, 最终获得 14 个姜花属种质越冬期的综合评价价值 (D) (表 7), 除‘星爆’姜花、‘白星’姜花和‘塔拉’金姜花在 12 月的 D 值已达到最大, 其余种质的 D 值均随越冬期呈先升后降的趋势。根据 4 个月份的平均 D 值对 14 个姜花属种质的抗寒能力进行排序^[7], 由强到弱依次为‘橙汁’姜花、‘橙塔’姜花、‘活宝’姜花、‘黄白’姜花、白姜花、‘西里岛’金姜花、‘伊丽莎白’姜花、‘粉红色’姜花、峨眉姜花、‘塔拉’金姜花、‘绝色’姜花、‘美梦成真’姜花、‘白星’姜花、‘星爆’姜花。

表 6 综合评价主成分生理指标系数

Table 6 Comprehensive evaluation of principal component physiological index coefficient

	主成分 Principal component	
	1	2
POD	0.390	-0.152
SOD	0.382	-0.033
细胞膜透性 Membrane permeability	-0.132	0.618
MDA	-0.013	0.532
可溶性蛋白含量 Soluble protein content	0.333	0.056

表 7 自然越冬过程中姜花属植物叶片生理指标的主成分分析

Table 7 Principal component analysis of physiological indexes of *Hedychium* leaves during the overwintering period

种质 Germplasm	时间 Time (Y-M)	C(1)	C(2)	U(1)	U(2)	D
‘橙塔’姜花 <i>H. coccineum</i> var. <i>aurantiacum</i> ‘Orange Brush’	2019-12	1.272	0.778	0.766	0.863	0.797
	2020-2	1.821	0.064	0.900	0.713	0.838
	2020-3	0.887	0.298	0.673	0.762	0.701
	2020-5	0.454	0.667	0.567	0.840	0.655
‘塔拉’金姜花 <i>H. gardnerianum</i> ‘Tara’	2019-12	-0.450	0.668	0.347	0.840	0.507
	2020-2	0.358	-1.299	0.544	0.425	0.504
	2020-3	-0.385	-0.618	0.362	0.568	0.429
	2020-5	-1.221	0.549	0.159	0.815	0.372
‘橙汁’姜花 <i>H. ‘Orange Crush’</i>	2019-12	1.772	1.081	0.888	0.927	0.900
	2020-2	2.230	0.123	1.000	0.725	0.909
	2020-3	1.584	0.640	0.843	0.834	0.839
	2020-5	0.938	1.005	0.685	0.911	0.758
‘西里岛’金姜花 <i>H. gardnerianum</i> ‘Kahili’	2019-12	0.038	1.426	0.466	1.000	0.639
	2020-2	0.431	1.014	0.561	0.913	0.675
	2020-3	-0.372	0.992	0.365	0.908	0.542
	2020-5	-0.374	1.204	0.365	0.953	0.556
‘美梦成真’姜花 <i>H. ‘Fireflies’</i>	2019-12	-1.571	1.111	0.073	0.933	0.354
	2020-2	-0.810	-0.903	0.259	0.508	0.340
	2020-3	-1.268	-1.049	0.147	0.477	0.255
	2020-5	-1.871	0.625	0.000	0.831	0.271
‘活宝’姜花 <i>H. ‘Clown Suit’</i>	2019-12	0.204	0.967	0.506	0.903	0.635
	2020-2	1.453	-0.801	0.811	0.530	0.718
	2020-3	0.788	-0.033	0.648	0.692	0.662
	2020-5	0.149	0.852	0.493	0.879	0.618
‘星爆’姜花 <i>H. coronarium</i> ‘White Starburst’	2019-12	-0.974	-0.998	0.219	0.488	0.306
	2020-2	-0.128	-3.312	0.425	0.000	0.286

续表(Continued)

种质 Germplasm	时间 Time (Y-M)	C(1)	C(2)	U(1)	U(2)	D
‘星爆’姜花 <i>H. coronarium</i> ‘White Starburst’	2020-3	-0.755	-1.971	0.272	0.283	0.275
	2020-5	-1.534	-0.232	0.082	0.650	0.267
‘粉红色’姜花 <i>H. ‘Pink V’</i>	2019-12	-0.228	0.756	0.401	0.859	0.550
	2020-2	0.720	-0.545	0.632	0.584	0.616
	2020-3	0.160	-0.253	0.495	0.645	0.544
	2020-5	-0.609	0.257	0.308	0.753	0.453
‘绝色’姜花 <i>H. ‘Tarissima’</i>	2019-12	-1.006	0.551	0.211	0.815	0.408
	2020-2	0.271	-1.783	0.522	0.323	0.457
	2020-3	-0.705	-0.808	0.284	0.528	0.364
	2020-5	-1.242	-0.268	0.153	0.642	0.313
‘伊丽莎白’姜花 <i>H. coronarium</i> ‘Elizabeth’	2019-12	0.002	1.012	0.457	0.913	0.605
	2020-2	1.053	-0.391	0.713	0.617	0.681
	2020-3	0.207	-0.252	0.507	0.646	0.552
	2020-5	-0.114	0.021	0.428	0.703	0.518
‘白星’姜花 <i>H. stenopetalum</i> ‘White Stars’	2019-12	-1.520	0.503	0.086	0.805	0.320
	2020-2	-0.857	-1.278	0.247	0.429	0.306
	2020-3	-1.454	-0.681	0.102	0.555	0.249
	2020-5	-1.784	0.552	0.021	0.816	0.280
白姜花 <i>H. coronarium</i>	2019-12	-0.134	1.128	0.424	0.937	0.591
	2020-2	1.224	-0.797	0.755	0.531	0.681
	2020-3	0.593	-0.259	0.601	0.644	0.614
	2020-5	0.102	0.259	0.481	0.754	0.569
黄白姜花 <i>H. chrysoleucum</i>	2019-12	0.577	1.186	0.597	0.949	0.711
	2020-2	1.767	-0.896	0.887	0.510	0.763
	2020-3	0.430	0.382	0.561	0.780	0.632
	2020-5	-0.565	1.017	0.318	0.914	0.512
峨眉姜花 <i>H. flavescens</i>	2019-12	-0.053	-0.049	0.443	0.689	0.523
	2020-2	0.792	-2.483	0.649	0.175	0.494
	2020-3	0.089	-0.340	0.478	0.627	0.526
	2020-5	-0.382	0.611	0.363	0.828	0.514

C(x): 主成分得分值; U(x): 隶属函数值; D: 综合评价值。

C(x): Principal component score value; U(x): Subordinate function value; D: Comprehensive evaluation value.

2.4 自然越冬期不同姜花属植物抗寒性聚类分析

以自然越冬期姜花属种质抗寒性综合评价值(D)为依据,利用欧氏距离进行聚类分析^[6,14],14个姜花属种质可分为6类(图3)。第1类为强抗寒,包括‘橙汁’姜花、‘橙塔’姜花;第2类为较抗寒,包括‘活宝’姜花、‘黄白’姜花;第3类为中等抗寒,包括峨眉姜花、‘粉红色’姜花、‘伊丽莎白’姜花、‘西里岛’金姜花、白姜花;第4类为弱抗寒,包括‘绝色’姜花、‘塔拉’金姜花;第5类为较不抗寒,包括‘白星’姜花、‘美梦成真’姜花;第6类为不抗寒,有‘星爆’姜花。

3 结论和讨论

本研究对14个姜花属种质越冬过程中叶片的

相对电导率、可溶性蛋白含量、SOD活性、POD活性、MDA含量等5个生理指标进行了测定,整体上看,各指标随越冬期均呈先上升后下降的变化趋势,但各种质各指标的变化幅度、到达峰值的速率和数值均有所不同,抗寒性强的种质叶片的抗氧化酶(POD、SOD)活性和渗透调节物质(可溶性蛋白)含量更高,相对电导率和MDA含量则更低,这与何雪娇^[6]、李叶云^[7]、何海旺^[14]等的研究结果一致,也反映了植物是通过膜系统、抗氧化酶系统、渗透调节物质等的共同作用来抵御逆境的胁迫。膜系统是植物受温度影响的最初部位^[7],植物受低温伤害越大,细胞膜透性越大,电解质渗出越多,相对电导率则越大^[15]。同时,细胞膜中的不饱和脂肪酸会在活性氧的作用下发生膜脂过氧化反应,有毒

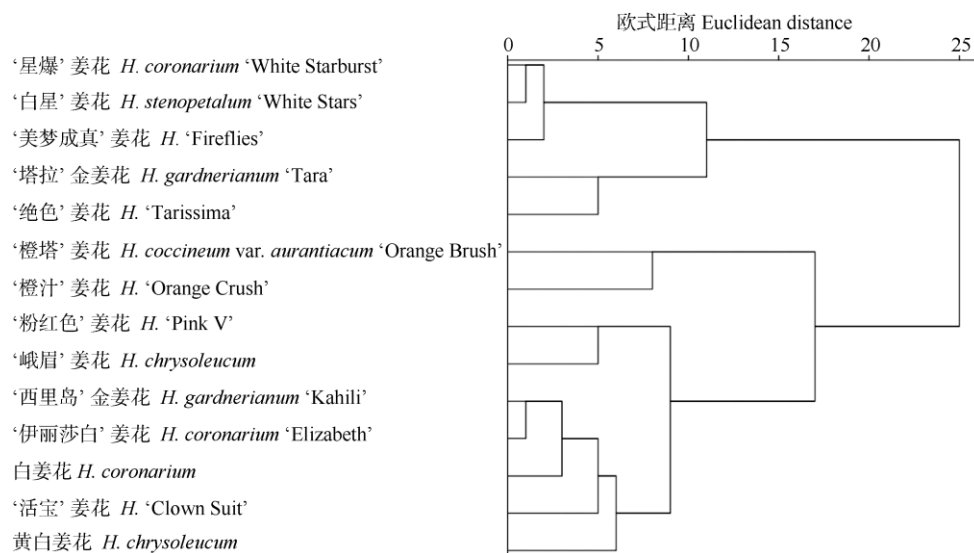


图 3 基于综合评价价值的姜花属植物抗寒性的系统聚类分析

Fig. 3 Hierarchical cluster analysis of cold resistance of *Hedychium* based on comprehensive evaluation value

过氧化产物 MDA 含量便会升高, 从而破坏细胞内多种反应的进行^[16], 也使膜透性进一步增大; 而 SOD、POD 是植物体内能够清除活性氧自由基的酶, SOD 主要通过歧化反应将超氧阴离子 O_2^- 转化为歧化物 H_2O_2 , POD 则有助于催化 H_2O_2 的降解, 防止细胞膜的过氧化, 从而增强植物抵御逆境的能力^[17]。另外, 在植物越冬过程中, 体内也会不断聚集亲水性极强的渗透调节物质可溶性蛋白来增加细胞束缚水的含量, 以减少原生质体结冰^[19], 从而提高植物的抗寒能力。故相对电导率和 MDA 含量越小, POD、SOD 活性和可溶性蛋白质含量越高, 则植物抗寒性相对越强。

在厦门, 2 月为气温最低月, 采样当日气温为 10.5°C , 14 个姜花属种质在形态上没有表现出明显的寒害症状, 但其抗寒生理指标达到最大值, 这与杜兴锋等^[3]的研究结果吻合。本研究采用主成分分析和隶属函数法相结合, 根据综合评价价值(D)进行排序及聚类分析, 14 个姜花属种质可分为强抗寒、较抗寒、中等抗寒、弱抗寒、较不抗寒和不抗寒六类, 抗寒性由强到弱依次为‘橙汁’姜花、‘橙塔’姜花、‘活宝’姜花、‘黄白’姜花、白姜花、‘西里岛’金姜花、‘伊丽莎白’姜花、‘粉红色’姜花、峨眉姜花、‘塔拉’金姜花、‘绝色’姜花、‘美梦成真’姜花、‘白星’姜花和‘星爆’姜花。因此, 在姜花属植物栽培应用推广中, 若冬季温度在 10°C 以上, 大多种类或品种可以露地安全越冬; 而在冬季温度为 10°C 以下的地区栽培姜花属植物, 露地栽培则需要采取防寒措施越冬, 也

可以选择强抗寒性的种类或品种, 逐步由南向北推广应用。鉴于本研究中, 仅有 14 个姜花属种质的自然越冬期生理指标测定和抗寒性评价, 种类和品种较少, 还需要进一步扩大该属植物种类与品种的抗寒性研究, 才能够筛选更多的强抗寒性种类或品种, 以利于扩大栽培应用范围。

参考文献

- [1] MORIKAWA T, MATSUDA H, SAKAMOTO Y, et al. New farnesane-type sesquiterpenes, hedychiols A and B 8,9-diacetate, and inhibitors of degranulation in RBL-2H3 cells from the rhizome of *Hedychium coronarium* [J]. Chem Pharm Bull (Tokyo), 2002, 50(8): 1045–1049. doi: 10.1248/cpb.50.1045.
- [2] SHANMUGAM P V, YADAV A, CHANOTIYA C S. Enantiomer differentiation of key volatile constituents from leaves, stems, rhizome and flowers of cultivated *Hedychium coronarium* Koenig from India [J]. J Essent Oil Res, 2015, 27(2): 101–106. doi: 10.1080/10412905.2014.987929.
- [3] DU X F, ZHAO J H. Characteristics of *Hedychium coronarium* in northern China and greenhouse cultivation techniques [J]. Mod Agric Sci Technol, 2012, 41(9): 206. doi: 10.3969/j.issn.1007-5739.2012.09.136. 杜兴锋, 赵济红. 北方地区白姜花特征特性及温室栽培技术 [J]. 现代农业科技, 2012, 41(9): 206. doi: 10.3969/j.issn.1007-5739.2012.09.136.
- [4] JI S X, DAI S J, LIU W. The advances of plants in response and adaption to low temperature stress [J]. Chin Bull Life Sci, 2010, 22(10): 1013–1019. doi: 10.13376/j.cbls/2010.10.006. 计淑霞, 戴绍军, 刘炜. 植物应答低温胁迫机制的研究进展 [J]. 生

- 命科学, 2010, 22(10): 1013–1019. doi: 10.13376/j.cbbs/2010.10.006.
- [5] ZENG L, GU Y K, WU Y, et al. Effect of cryopreservation on structure, physiology and biochemical characteristics of *Dipterocarpus turbinatus* seeds [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2018, 26(3): 249–254. doi: 10.11926/jtsb.3824.
- 曾琳, 顾雅坤, 吴怡, 等. 超低温冷冻对羯布罗香种子结构和生理生化特性的影响 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2018, 26(3): 249–254. doi: 10.11926/jtsb.3824.
- [6] HE X J, YU Z C, LIN J S, et al. Comprehensive evaluation on cold resistance of forty tropical flower resources [J]. *J NW Agric For Univ (Nat Sci)*, 2018, 46(8): 89–98. doi: 10.13207/j.cnki.jnwafu.2018.08.012.
- 何雪娇, 余智城, 林金水, 等. 40份热带花卉种质资源的抗冷性综合评价 [J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2018, 46(8): 89–98. doi: 10.13207/j.cnki.jnwafu.2018.08.012.
- [7] LI Y Y, SHU X T, ZHOU Y Q, et al. Change in physiological characteristics and cold resistance evaluation of three cultivars of *Camellia sinensis* during natural overwintering period [J]. *J Plant Resour Environ*, 2014, 23(3): 52–58. doi: 10.3969/j.issn.1674-7895.2014.03.07.
- 李叶云, 舒锡婷, 周月琴, 等. 自然越冬过程中 3 个茶树品种的生理特性变化及抗寒性评价 [J]. *植物资源与环境学报*, 2014, 23(3): 52–58. doi: 10.3969/j.issn.1674-7895.2014.03.07.
- [8] ZHU L X, SHEN X H, LU L M, et al. Part physiological index of *Curcuma alismatifolia* influenced by natural falling temperature [J]. *Fujian Sci Technol Trop Crops*, 2020, 45(1): 3–5.
- 朱丽霞, 沈小华, 陆鑫眉, 等. 自然降温对姜荷花部分生理指标的影响 [J]. *福建热作科技*, 2020, 45(1): 3–5.
- [9] LIU Z Q, ZHANG S C. *Physiology of Plant Resistance* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1994: 39–60.
- 刘祖祺, 张石城. *植物抗性生理学* [M]. 北京: 中国农业出版社, 1994: 39–60.
- [10] GAO J F. *Experimental Guidance for Plant Physiology* [M]. Beijing: Higher Education Press, 2006: 142,208–217.
- 高俊凤. *植物生理学实验指导* [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 142,208–217.
- [11] LI H S. *Principles and Techniques of Plant Physiological Biochemical Experiment* [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000: 1–8,164,167–168,184,260–261.
- 李合生. *植物生理生化实验原理和技术* [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 1–8,164,167–168,184,260–261.
- [12] ZHANG Z L, QU W J, LI X F. *Experimental Guidance of Plant Physiology* [M]. 4th ed. Beijing: Higher Education Press, 2009: 1–3, 123,159,268,274.
- 张志良, 瞿伟菁, 李小方. *植物生理学实验指导* [M]. 第 4 版. 北京: 高等教育出版社, 2009: 1–3,123,159,268,274.
- [13] ZENG X L, FANG S G, CHEN W H, et al. Comprehensive evaluation on heat tolerance of various Chinese cabbage seedlings [J]. *Fujian J Agric Sci*, 2010, 25(2): 183–186. doi: 10.3969/j.issn.1008-0384.2010.02.013.
- 曾小玲, 方淑桂, 陈文辉, 等. 不同大白菜品种苗期耐热性的综合评价 [J]. *福建农业学报*, 2010, 25(2): 183–186. doi: 10.3969/j.issn.1008-0384.2010.02.013.
- [14] HE H W, ZHAO M, WU P, et al. Evaluation on cold resistance of 18 banana germplasm seedlings [J]. *SW China J Agric Sci*, 2017, 30(2): 315–321. doi: 10.16213/j.cnki.scjas.2017.2.013.
- 何海旺, 赵明, 武鹏, 等. 18 个香蕉种质幼苗的抗寒性鉴定 [J]. *西南农业学报*, 2017, 30(2): 315–321. doi: 10.16213/j.cnki.scjas.2017.2.013.
- [15] TIAN X, FAN J F, ZHANG J M. Evaluation of cold resistance of 8 *Populus deltoids* clones [J]. *J SW For Univ*, 2018, 38(3): 80–86. doi: 10.11929/j.issn.2095-1914.2018.03.012.
- 田星, 樊军锋, 张锦梅. 8 种美洲黑杨无性系抗寒性评价 [J]. *西南林业大学学报*, 2018, 38(3): 80–86. doi: 10.11929/j.issn.2095-1914.2018.03.012.
- [16] YU H X, JIANG C Y, WANG C, et al. Physiological response of high quality forage *Desmodium intortum* to low temperature stress and rapid identification of its cold tolerance [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2019, 27(6): 649–658. doi: 10.11926/jtsb.4046.
- 余涵霞, 姜朝阳, 王纯, 等. 优质牧草旋扭山绿豆对低温胁迫的生理响应及其耐寒性快速鉴定 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2019, 27(6): 649–658. doi: 10.11926/jtsb.4046.
- [17] CHEN J X, ZHANG L L, ZHANG G Q, et al. Drought tolerance of six garden species [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2020, 28(3): 310–316. doi: 10.11926/jtsb.4128.
- 陈嘉欣, 张玲玲, 张国庆, 等. 6 种园林植物耐旱性分析 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2020, 28(3): 310–316. doi: 10.11926/jtsb.4128.
- [18] CHEN X, ZHOU Z H, WANG R Q, et al. Effect of low temperature stress on antioxidant ability in *Ilex verticillata* leaves [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2016, 24(6): 689–695. doi: 10.11926/j.issn.1005-3395.2016.06.013.
- 陈茜, 周之涵, 王瑞琪, 等. 低温处理对北美冬青叶片抗氧化能力的影响 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2016, 24(6): 689–695. doi: 10.11926/j.issn.1005-3395.2016.06.013.
- [19] GAO Z Z, LI J N, YU F Y. Differences of physiological parameters of cold hardiness in *Styrax suberifolius*, *Styrax tonkinensis* and *Styrax dasyanthus* seedlings [J]. *J CS Univ For Technol*, 2018, 38(2): 36–42. doi: 10.14067/j.cnki.1673-923x.2018.02.006.
- 高振洲, 李洁宁, 喻方圆. 安息香属 3 个树种苗木抗寒生理差异研究 [J]. *中南林业科技大学学报*, 2018, 38(2): 36–42. doi: 10.14067/j.cnki.1673-923x.2018.02.006.