19 种高原绿化灌木的抗寒性评价

王 丽[1,2],耿生莲[1,2*],郑长禄[3,4],永嘎拉毛[5]

(1. 青海大学农林科学院,青海西宁 810016;2. 青海省高原林木遗传育种实验室,青海西宁 810016;3. 青海省经济研究院,青海西宁 810008;4. 青海省生态文明研究中心,青海西宁 810008;5. 青海省玉树州林业和草原综合服务中心,青海玉树 815099)

摘要 [目的]揭示 19 种高原灌木对低温胁迫的生理响应和抗寒性差异。[方法]以栽植苗木的一年生枝条为材料,研究低温处理(-5、-15 和-25 ℃)对参试树种相对电导率、超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化物酶(POD)活性、丙二醛(MDA)含量及脯氨酸含量的影响,并采用隶属函数法对参试树种的抗寒性进行了综合评价。[结果]随胁迫程度的加剧,参试树种的相对电导率均呈逐渐升高趋势;多数参试树种的 SOD 和 POD 活性呈现先升高后降低的趋势,其活性在-15 ℃或-25 ℃胁迫条件下达到峰值;大部分树种中脯氨酸含量随胁迫程度加剧而增加,MDA 含量则呈先增加后减少或逐步增加的趋势。参试树种的抗寒性强弱顺序依次为水柏枝>甘蒙柽柳>黄刺玫>紫丁香>金叶榆>乌柳>四川丁香>红刺玫>香荚蒾>山杏>香茶藨子>沙棘>连翘>牡丹>珍珠梅>紫叶李>紫叶矮樱>榆叶梅>暴马丁香。[结论]该研究可为筛选适宜高海拔地区城镇园林栽培灌木树种提供依据。

关键词 低温胁迫;灌木;生理指标;隶属函数;综合评价

中图分类号 S718.3 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2021)21-0149-05

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2021.21.036

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Evaluation of Cold-resistance of 19 Plateau Shrubs

WANG Li[1,2], GENG Sheng-lian[1,2], ZHENG Chang-lu[3,4] et al (1. Qinghai Academy of Agriculture and Forestry, Xining, Qinghai 810016; 2. Qinghai Plateau Key Laboratory of Tree Genetics and Breeding, Qinghai University, Xining, Qinghai 810016; 3. Qinghai Economic Research Institute, Xining, Qinghai 810008; 4. Qinghai Research Center of Ecological Civilization, Xining, Qinghai 810008)

Abstract [Objective]To reveal the physiological response and cold resistance of 19 plateau shrubs to low temperature stress. [Method]Taking annual branches of seedlings as materials, the effects of low temperature treatment (-5 ℃, -15 ℃ and -25 ℃) on the relative conductivity, superoxide dismutase (SOD) activity, peroxidase (POD) activity, malondialdehyde (MDA) content and proline content of the tested tree species were studied, and the cold resistance of the tested tree species was comprehensively evaluated by membership function method. [Result]The results showed that the relative electric conductivity (REC) increased with the development of the stress levels. For most of the testing species, the activity of leaf superoxide dismutase (SOD) and peroxidase (POD) first increased with stress level, and peaked at stress treatment of -15 ℃ or -25 ℃. The content of proline in most tree species increased with the aggravation of stress, while the content of MDA increased first and then decreased or gradually increased. The content of MDA increased first and then decreased or gradually increased. The order of cold-resistance from high to low was as follows: *Myricaria laxiflora*>*Tamarix austromongolica*> *Rosa xanthina*>*Syringa oblata*>*Ulmus pumila* cv 'Jinye'>*Salix cheilophila*>*Syringa sweginzowii*>*Rosa rugosa* var. *cathayensis*>*Viburnum farreri*>*Armeniaca sibirica*>*Ribes odoratum*> *Hippophae rhamnoides*> *Forsythia suspensa*>*Paeonia suffruticosa*>*Sorbaria sorbifolia*>*PrunusCerasifera*>*Prunus×cisterna*>*Amygdalustriloba*>*Syringa reticulate*. [Conclusion]The study can provide a basis for screening shrub species suitable for urban garden cultivation in high altitude areas.

Key words Low-temperature stress;Shrub;Physiological index;Subordinate function;Comprehensive evaluation

绿化是改善城市生态环境的有效途径,可有效吸收大气污染物,调节局地气候。但绿化树种的选择需考虑区域气候条件,坚持"适地适树"基本原则。青海省地处青藏高原东北部,平均海拔在 3 500 m 以上[1],年均气温低,热量条件不足。高原城镇的绿化需选择抗寒性较强的适生种,开展树种的抗寒性评价对城市绿化树种的选择具有指导意义。

在冬季来临之际,随着气温的逐渐降低,植株体内会发生一系列适应低温的生理生化变化[2]。冷胁迫导致的生理指标变化与膜透性的改变关系密切,膜损伤引发电解质外渗[3],导致代谢紊乱。以相对电导率来指示质膜透性的大小,部分研究表明植物的抗寒性与质膜透性呈负相关[3-5]。除相对电导率外,部分其他生理指标也被证实与植物的冷胁迫响应有关,被广泛用于抗寒性的综合评价。黎继岚等[6]研究了低温胁迫对高原水稻幼苗叶片超氧化物歧化酶(SOD)活性的影响,证实低温胁迫可提高水稻 SOD 活性,对植物起到保护作用,提高抗寒能力。SOD 活性随着冷胁迫程度波动,零下冰冻时上升,温度回升后下降。以栀子叶片为材料,自然降温过程中,SOD、POX 活性增强,丙二醛含量(MDA)含量下降等适应性变化是植物抗寒性适应和提高的基础[7]。为评价江苏省徐州市 8 种常绿阔叶树的抗寒性,卢芳[8]通过观察叶片结构,测定相对电导率、可溶性糖含量、MDA、SOD 活性等生理指标,阐明了上述树种的低温适应生理变化,对其抗寒性的综合评价基本真实地反映了它们的抗寒能力,评价方法可靠。

耿生莲等[9]在三江源区通过实地调查,明确了三江源区城镇园林种植的树种组成。该研究以三江源区城镇园林绿化种植的 19 种灌木树种为研究对象,于 2019 年 9 月取一年生枝条进行人工模拟低温处理,测定分析了抗寒相关生理指标的变化,综合评价了 19 种灌木树种的抗寒性。通过建立科学的抗寒评价体系,为筛选适宜高海拔地区城镇园林栽培用灌木树种提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 试验材料 参试材料于 2019 年 9 月采集于三江源地区部分城镇,具体采集地点见表 1,于 2019 年 9—10 月进行抗

基金项目 青海省科学技术厅科技攻关项目(2018-NK-A3-4)。

作者简介 王丽(1985—),女,内蒙古商都人,工程师,在读博士,从事植物抗逆生理研究。*通信作者,副研究员,从事城市林业、生态修复研究。

收稿日期 2021-03-31;**修回日期** 2021-07-22

寒性研究试验。采集一年生枝条,石蜡封口,塑料自封袋带回实验室后进行低温胁迫处理和相关生理指标测定。处理前,将离体枝条先用自来水冲洗 1 遍,再用去离子水冲洗 3 遍,吸水纸吸干水分。冷胁迫处理设置-5、-15、-25 ℃ 3 个温度梯度,5 ℃为对照(CK),各温度梯度下,每个树种设置 3 个生物学重复。枝条装入自封袋后置于低温冰箱中进行人工模拟降温处理,降温速率 5 ℃/h。达到设定温度后,保持 24 h,处理结束。将处理后的材料全部转入 5 ℃冰箱中暂存,进行相关生理指标测定。

1.2 电解质渗透率的测定 采用电导率法测定电解质的相对外渗率。将叶片取出后,避开叶脉和叶缘,剪成 0.5 cm×1.0 cm 的细条,准确称取 0.1 g 装入 15 mL 试管中,加入 10 mL 去离子水,充分振荡后于室温下静置 4 h,使用雷磁 DDSJ-308F 型电导率仪测定叶片浸提液电导率,记录为 R_1。将试管煮沸 30 min,流水冷却至室温后摇匀,再次测定电导率,记录为 R_2。以相对电导率(REC)表示电解质的相对外渗率,即细胞膜透性的大小。相对电导率计算公式:相对电导率(REC)= $R_1/R_2\times100\%$。

表 1 参试树种信息

Table 1 Background information of the tested shrubs

编号 No.	种名 Species name	拉丁名 Latin name	采集地 Collection place
1	香荚蒾	*Viburnum farreri*	玉树市格萨尔广场
2	暴马丁香	*Syringa reticulata*	玉树市格萨尔广场
3	珍珠梅	*Sorbaria sorbifolia*	玉树市格萨尔广场
4	榆叶梅	*Amygdalus triloba*	玉树市格萨尔广场
5	黄刺玫	*Rosa xanthina*	玉树市格萨尔广场
6	红刺玫	*Rosa rugosa* var. *cathayensis*	玉树市格萨尔广场
7	紫丁香	*Syringa oblata*	玉树市滨河路
8	沙棘	*Hippophae rhamnoides*	玉树市公园
9	牡丹	*Paeonia suffruticosa*	玉树市公园
10	甘蒙柽柳	*Tamarix austromongolica*	玉树州政府街道
11	连翘	*Forsythia suspensa*	班玛县政府
12	水柏枝	*Myricaria laxiflora*	班玛县政府
13	四川丁香	*Syringa sweginzowii*	玛沁州政府
14	香茶藨子	*Ribes odoratum*	河南县
15	山杏	*Armeniaca sibirica*	玉树市格萨尔广场
16	金叶榆	*Ulmus pumila* cv'Jinye'	玉树市格萨尔广场
17	紫叶李	*Prunus cerasifera*	玉树市市政府
18	紫叶矮樱	*Prunus* × *cistena*	玉树市市政府
19	乌柳	*Salix cheilophila*	玉树市公园

1.3 其他生理指标的测定

1.3.1 MDA、SOD、POD 活性的测定。准确称取 0.5 g 叶片并剪成小段,将材料转移至研钵中,加入液氮快速研碎。向研磨后的组织中加入 4.5 mL 0.1 mmol/L(pH 7.0)预冷的磷酸盐缓冲液,研磨混合均匀。将匀浆液转入离心管,4 ℃ 6 000 r/min 离心 10 min。取上清液进行后续测定,每组试验 3 次重复。POD、SDO 活性和 MDA 含量的测定和计算均使用南京建成生物工程研究所提供的试剂盒进行。

1.3.2 脯氨酸含量的测定。称取 0.1 g 叶片并剪成小段,液氮研磨后,加入 9 倍体积的匀浆介质(南京建成生物工程研究所研制试剂盒提供)。将匀浆液转入离心管,4 ℃ 6 000 r/min 离心 10 min,取上清液使用试剂盒进行测定,每组试验 3 次重复。

1.4 数据处理

1.4.1 抗寒性综合评价。采用隶属函数法对各项指标进行综合分析,评价树种抗寒性[10]。与抗寒性正相关的脯氨酸含量、SOD 活性、过氧化氢酶(CAT)活性和 POD 活性,其隶属函数法计算公式如下:

$$R_{ij}=\frac{X_{ij}-X_{j\min}}{X_{j\max}-X_{j\min}}$$

与抗寒性负相关的电解质渗透率、MDA 含量,其隶属函数法计算公式如下:

$$R_{ij}=1-\frac{X_{ij}-X_{j\min}}{X_{j\max}-X_{j\min}}$$

式中,X_{ij} 为树种指标的测定值;$X_{j\min}$ 为各树种中 j 指标的最小值;$X_{j\max}$ 为各树种中 j 指标的最大值;R_{ij} 为 i 树种 j 性状的隶属值($0<R_{ij}<1$)。将每个树种所有指标的隶属函数值累加,求其平均数,数值越大的抗寒性越强。

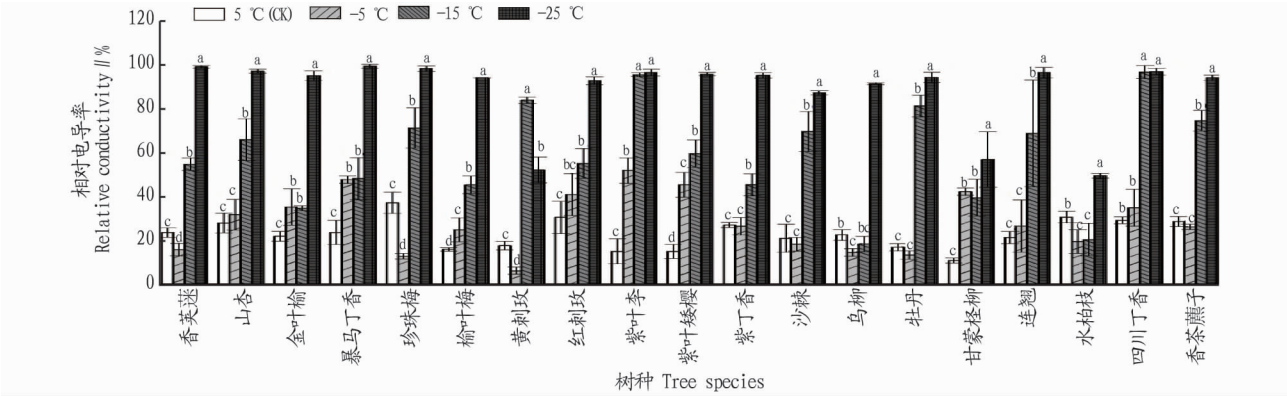
1.4.2 数据处理与分析。所有试验数据采用 SAS 统计软件进行显著性分析,使用 Origin 8 软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 低温胁迫对细胞膜透性的影响 图 1 显示,5 ℃条件下,参试 19 种灌木树种叶片的相对电导率均保持在较低水平(10.7%~30.38%)。低温处理显著促进了叶片电解质释放,增加了相对电导率。所有树种叶片经-25 ℃胁迫处理后,其相对电导率均显著高于 CK。在参试的 19 种灌木中,低温胁迫对水柏枝和甘蒙柽柳叶片的相对电导率影响最小,说明上述 2 种灌木在冷胁迫条件下调控电解质外渗的能力较强。

2.2 低温胁迫对叶片 MDA 含量的影响 图 2 显示,低温胁

迫显著促进了 MDA 在参试树种叶片中的积累,但不同树种 MDA 含量的积累规律有所不同。在香荚蒾、珍珠梅、榆叶梅、紫叶李、紫叶矮樱 5 个树种中,MDA 含量随胁迫程度加剧而增加;沙棘、连翘和香茶藨子在-5 ℃低温胁迫下 MDA 含量出现下降,之后 MDA 含量随胁迫程度加剧而增加。显示在一定温度范围内,上述树种叶片 MDA 含量与胁迫程度间可能存在正相关关系。山杏、金叶榆、暴马丁香、红刺玫、紫丁香、乌柳、牡丹、水柏枝、四川丁香 9 个树种中,-5 ℃或-15 ℃温度处理可使 MDA 含量达到峰值。总体上看,低温胁迫条件下,甘蒙柽柳在 19 个参试树种中叶片 MDA 含量最低,且处理间差异不显著。

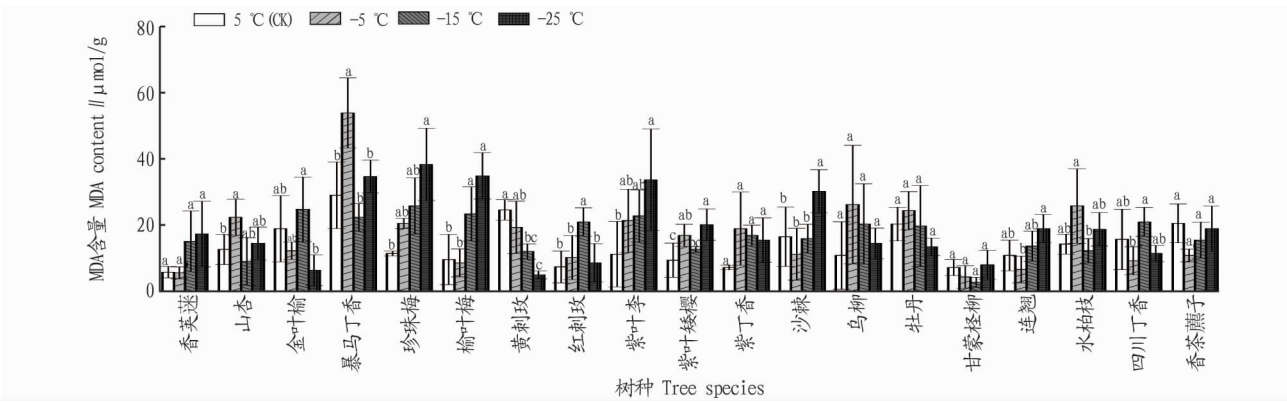


注:不同小写字母表示不同低温胁迫程度间差异显著($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters indicated significant difference under different levels of low-temperature stress ($P<0.05$)

图 1　低温胁迫下不同灌木叶片相对电导率变化

Fig. 1　Changes of relative conductivity of the tested shrubs under low temperature stresses



注:不同小写字母表示不同低温胁迫程度间差异显著($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters indicated significant difference under different levels of low temperature stress ($P<0.05$)

图 2　低温胁迫下不同灌木叶片 MDA 含量变化

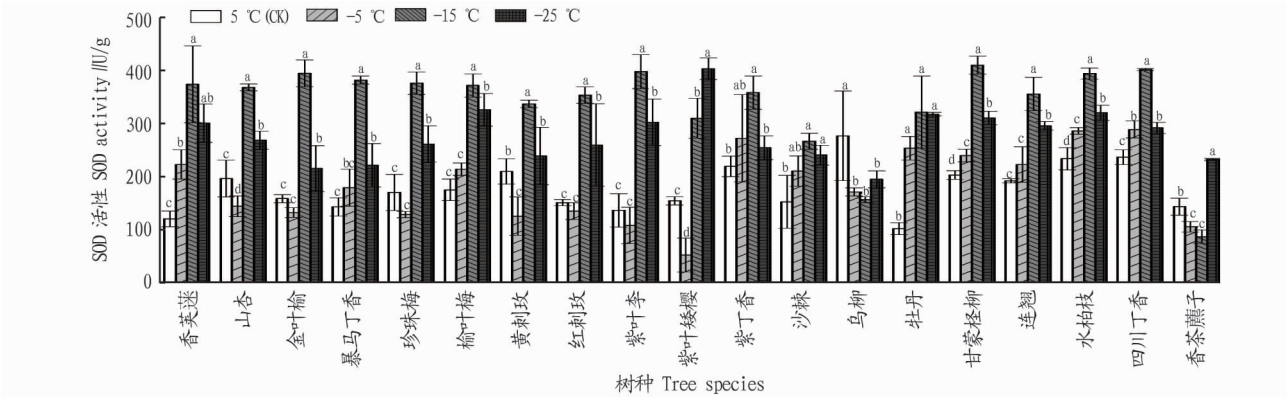
Fig. 2　Changes of MDA content of leaves of the tested shrubs under low temperature stresses

2.3　低温胁迫对叶片 SOD 活性的影响　从图 3 可见,在香荚蒾、暴马丁香、榆叶梅、紫丁香、沙棘、牡丹、甘蒙柽柳、连翘、水柏枝、四川丁香 10 个树种中,-5、-15 ℃胁迫处理均使叶片 SOD 活性增强,并在-15 ℃条件下达到最高值。说明在一定温度范围内,叶片 SOD 活性可能与胁迫温度正相关。在山杏、金叶榆、珍珠梅、黄刺玫、红刺玫、紫叶李、紫叶矮樱、香茶藨子 8 个树种中,-5 ℃胁迫处理使叶片 SOD 受到抑制,此后随着胁迫加剧,叶片 SOD 活性迅速增强,并于-15 ℃或-25 ℃处理条件下达到峰值。低温胁迫对乌柳叶片 SOD 活性的影响与其他参试树种不同,3 种不同温度胁迫条件下的活性均显著低于 CK。上述结果说明 19 种参试灌木叶片的 SOD 活性对冷胁迫存在明显响应,但其响应规律在不同树种间存在差异。

2.4　低温胁迫对叶片 POD 活性的影响　由图 4 可见,低温胁迫对叶片 POD 活性的影响在参试的 19 个树种中存在明显差异。低温处理显著增强了香荚蒾、山杏、金叶榆、黄刺玫、沙棘、牡丹、水柏枝、四川丁香 8 个树种叶片 POD 活性,表明 POD 参与了上述树种对冷胁迫的适应。在珍珠梅、榆叶梅、红刺玫、乌柳、甘蒙柽柳、连翘、香茶藨子、紫丁香 8 个参试树种中,温度胁迫对叶片 POD 活性无显著影响。而在暴马丁香、紫叶矮樱、紫叶李 3 个树种中,低温胁迫对叶片 POD 活性表现出显著的抑制效果。上述结果表明不同树种 POD 对冷胁迫的响应存在差异。

2.5　低温胁迫对叶片脯氨酸含量的影响　从图 5 可见,低温胁迫显著促进了脯氨酸在山杏、金叶榆、暴马丁香、珍珠梅、黄刺玫、红刺玫、紫叶李、紫丁香、沙棘、牡丹、甘蒙柽柳、连翘、水柏枝、四川丁香、香茶藨子叶片中的积累,说明脯氨酸作为渗透调节物质可能参与了大部分参试树种的低温胁

迫响应。在香荚蓬、榆叶梅、紫叶矮樱 3 个树种中,低温胁迫虽然可使叶片脯氨酸含量增加,但与 CK 相比,增加幅度不显著。总体上看,部分树种如甘蒙柽柳、水柏枝等叶片脯氨酸含量相对较高,且对低温胁迫响应敏感。而部分树种如紫叶矮樱、榆叶梅、连翘、四川丁香等叶片脯氨酸含量保持在较低水平,且对低温胁迫的敏感性较低。

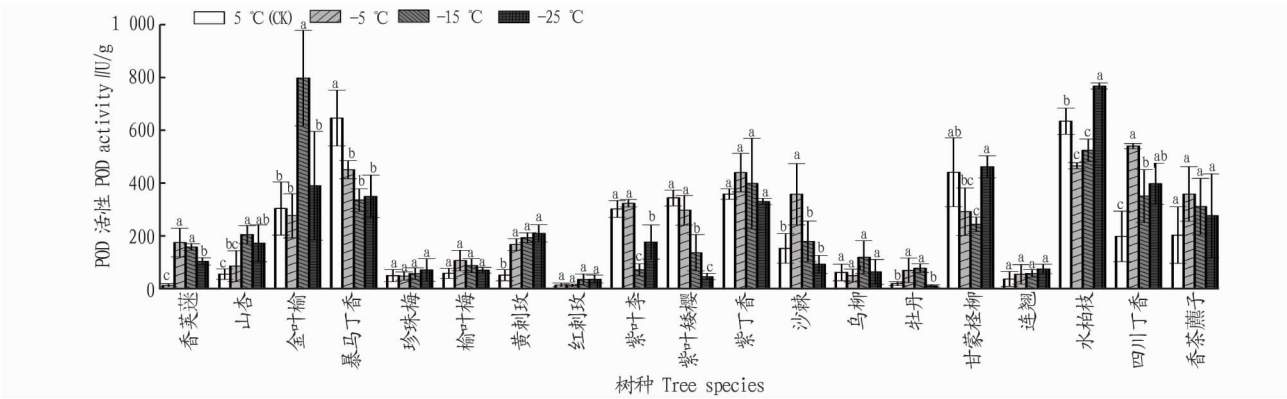


注:不同小写字母表示不同低温胁迫程度间差异显著($P<0.05$)

Note:Different lowercase letters indicated significant difference under different levels of low temperature stress ($P<0.05$)

图 3 低温胁迫下不同树种叶片 SOD 活性变化

Fig. 3 Changes of superoxide dismutase activity of leaves of the tested shrubs under low temperature stresses

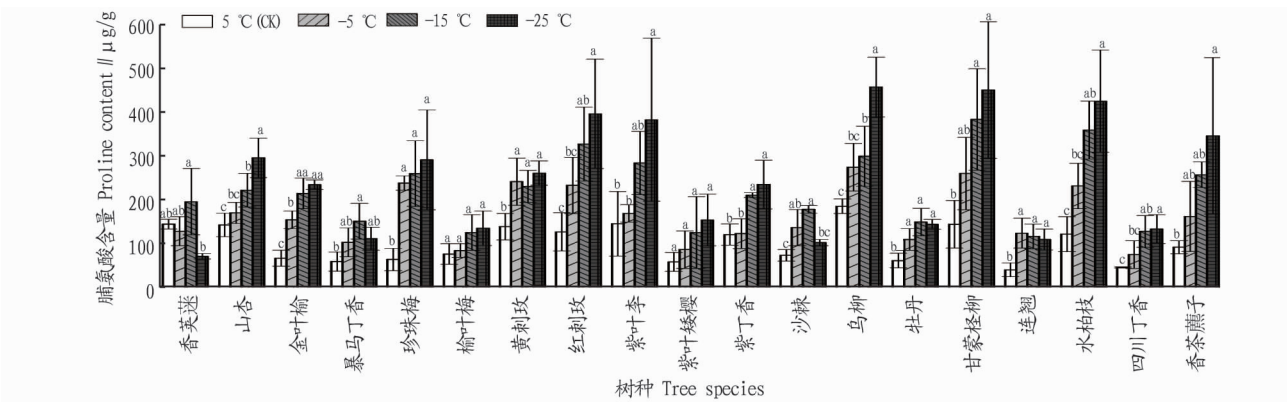


注:不同小写字母表示不同低温胁迫程度间差异显著($P<0.05$)

Note:Different lowercase letters indicated significant difference under different levels of low temperature stress ($P<0.05$)

图 4 低温胁迫下不同树种叶片 POD 活性变化

Fig. 4 Changes of peroxidase activity of leaves of the tested shrubs under low temperature stresses



注:不同小写字母表示不同低温胁迫程度间差异显著($P<0.05$)

Note:Different lowercase letters indicated significant difference under different levels of low temperature stress ($P<0.05$)

图 5 低温胁迫下不同树种叶片脯氨酸含量变化

Fig. 5 Changes of proline content of leaves of the tested shrubs under low temperature stresses

2.6 抗寒性综合评价 采用单一指标评价植物的抗寒性具有片面性,难以准确反映植物耐受冷胁迫的整体表现。采用隶属函数法,对多个耐寒相关指标进行综合性评价可避免片面性。表 2 采用相对电导率、MDA 含量、SOD 活性、POD 活

性和脯氨酸含量 5 个指标,对参试的 19 个树种的抗寒性进行了综合性评价。结果表明,19 个树种的抗寒性为水柏枝>甘蒙柽柳>黄刺玫>紫丁香>金叶榆>乌柳>四川丁香>红刺玫>香荚蒾>山杏>香茶藨子>沙棘>连翘>牡丹>珍珠梅>紫叶李>紫叶矮樱>榆叶梅>暴马丁香。

表 2　不同灌木抗寒性的综合评价

Table 2　Comprehensive evaluation of cold-resistance of different shrubs

序号 No.	种名 Species name	相对电导率 Relative conductivity	MDA 含量 MDA content	SOD 活性 SOD activity	POD 活性 POD activity	脯氨酸含量 Proline content	综合评价 Comprehensive evaluation
1	水柏枝	0.894 1	0.581 0	0.847 2	0.833 4	0.870 1	0.805 2
2	甘蒙柽柳	0.597 6	0.969 7	0.782 1	0.466 2	0.970 3	0.757 2
3	黄刺玫	0.703 7	0.764 8	0.431 8	0.254 6	0.584 4	0.547 9
4	紫丁香	0.431 0	0.592 3	0.685 3	0.569 2	0.338 7	0.523 3
5	金叶榆	0.413 5	0.614 1	0.463 1	0.667 1	0.395 7	0.510 7
6	乌柳	0.658 4	0.503 7	0.239 3	0.083 6	0.895 2	0.476 1
7	四川丁香	0.139 7	0.639 5	0.813 4	0.641 5	0.067 7	0.460 4
8	红刺玫	0.300 6	0.661 0	0.495 5	0.011 2	0.808 0	0.455 3
9	香荚蒾	0.442 9	0.690 2	0.706 0	0.197 3	0.188 1	0.444 9
10	山杏	0.292 8	0.693 3	0.537 7	0.191 2	0.484 7	0.440 0
11	香茶藨子	0.315 8	0.632 9	0.134 6	0.456 2	0.558 4	0.419 6
12	沙棘	0.440 8	0.511 2	0.481 4	0.317 2	0.206 8	0.391 5
13	连翘	0.322 4	0.687 7	0.679 3	0.065 0	0.114 6	0.373 8
14	牡丹	0.380 1	0.534 8	0.722 2	0.054 8	0.161 3	0.370 7
15	珍珠梅	0.400 0	0.224 5	0.512 2	0.058 7	0.641 7	0.367 4
16	紫叶李	0.023 9	0.309 4	0.571 6	0.285 5	0.635 6	0.365 2
17	紫叶矮樱	0.229 5	0.620 9	0.563 7	0.239 4	0.101 3	0.350 9
18	榆叶梅	0.450 7	0.374 2	0.731 3	0.108 6	0.081 4	0.349 2
19	暴马丁香	0.236 7	0.086 1	0.525 8	0.557 2	0.124 4	0.306 0

3　结论与讨论

植物的抗逆性是与多种性状密切相关的综合性表现,因此对其评价也涉及形态结构、生理生化和基因表达等多个层级的指标[11]。相对电导率通过测定电解质渗漏引发的电导率变化来衡量胁迫引发的质膜受损程度,是应用广泛的单一抗逆评价指标[12]。虽然现阶段多采用综合性指标体系评价植物抗逆性,但该指标仍是抗逆评价指标体系的重要组成部分,被广泛应用于植物抗寒、抗盐[13]、抗旱[14]等抗性评价。该研究中,低温胁迫均显著增加了 19 种参试树种的相对电导率,但胁迫条件下甘蒙柽柳和水柏枝叶片的相对电导率保持在较低水平,暗示低温胁迫对上述 2 个树种细胞膜的损伤较轻,抗寒性较强。通过隶属函数法进行综合分析发现,水柏枝和甘蒙柽柳在 19 种参试树种中的抗寒性最强,该结果与相对电导率的测定结果具有一致性,印证了相对电导率作为评价植物抗寒性指标的可靠性。

包括低温在内的多种胁迫可诱导细胞内活性氧的产生与积累,造成细胞损伤[15]。因此,具有自由基清除作用的抗氧化酶活性被认为与植物抗寒性存在紧密关系。李清亚等[16]在对 8 个豆梨品种的抗寒性评价研究中发现,随着胁迫程度的加深,各品种的 POD 和 SOD 活性整体均呈先上升后下降的趋势,这一结果与近期发表的关于杏[17]、苹果[18]、牧草[19]、北美冬青[20]等植物中的活性变化规律一致。该研究中,随着胁迫程度的加剧,大部分参试树种的 SOD 和 POD 活性也呈现先上升后下降的规律,说明大部分参试树种中这 2 种抗氧化酶对冷胁迫的响应模式可能具有保守性。作为植物胁迫响应的关键酶,SOD 和 POD 在植物的低温胁迫响应中发挥着重要作用,一般认为这 2 种保护酶的活性与抗寒性正相关,因此这 2 项指标常被作为抗寒性综合评价的参试指标。

指标体系和评价方法是量化分析的基础,对准确评价植物抗寒性具有实践指导意义。从已有报道来看,形态、生理、分子指标均可用于抗寒性评价[21],而基于相对电导率、SOD 活性、POD 活性、MDA 含量、可溶性糖含量、脯氨酸含量等生理指标的评价研究最多,是应用最为广泛的指标体系。抗寒性属多基因控制的复杂性状,因而其评价应采用与抗寒性直接相关的复合指标体系。基于隶属函数的模糊数学方法是植物抗寒性评价中使用最为广泛的方法,经该方法综合评价的抗寒性更能反映实际结果。综合评价 19 种高原灌木后发现,参试树种的抗寒性为水柏枝>甘蒙柽柳>黄刺玫>紫丁香>金叶榆>乌柳>四川丁香>红刺玫>香荚蒾>山杏>香茶藨子>沙棘>连翘>牡丹>珍珠梅>紫叶李>紫叶矮樱>榆叶梅>暴马丁香。榆叶梅和暴马丁香抗寒性最弱,紫丁香、金叶榆的抗寒性强于紫叶矮樱,这与前人的研究结果一致[22-23]。该研究对上述 19 个树种的抗寒性综合评价可为高原耐寒适栽灌木的选择提供借鉴与参考。

参考文献

[1]《三江源自然保护区生态环境》编辑委员会. 三江源自然保护区生态环境[M]. 西宁:青海人民出版社,2002:52-54.

(下转第 188 页)

上该温度下焙烤时间偏长,容易得到颜色较浅的果仁产品。160~170 ℃属于中等的焙烤温度,焙烤 15、20、25、30 min 分别对应浅、中、中深、深焙烤程度,当时间延长至 20 min 以上时进入深度焙烤阶段,该温度和时间的焙烤条件适合实际生产时控制榛子果仁的颜色品质的一致性和稳定性,且耗时较 150 ℃的焙烤工艺短,生产效率较高。180 ℃属于较高的焙烤温度,焙烤 10、20、30 min 分别对应浅、中深、深度焙烤程度,焙烤 10 min 以上则进入深度焙烤,总体上该温度下果仁颜色变化迅速而剧烈,不易得到颜色浅、口感脆甜的果仁产品。

带壳榛子 150 ℃焙烤 25~30 min 和 170 ℃焙烤 25 min 得到的果仁品质较为理想,150 ℃烘焙烤 25~30 min 时脆度脆,种皮不剥离,有香味,果仁颜色为黄褐色到褐色。相较于 150 ℃焙烤 25~30 min,170 ℃焙烤 25 min 时种皮剥离度较高,脆度脆,带香味,果仁颜色为黄褐色,是更为理想的焙烤时间和温度。要想得到更理想的果仁颜色并提高剥离度,需要进一步试验。

去壳榛子 160 ℃焙烤 20 min 和 170 ℃焙烤 15 min 得到的果仁品质较为理想,170 ℃焙烤 15 min 种皮剥离度更高,果仁颜色为淡黄色,观感佳,但 160 ℃焙烤 25 min 口感风味更佳,从生产条件上 160 ℃更容易满足,但焙烤时间较长。160~170 ℃下有更理想的焙烤温度和焙烤时间,可以得到在果仁颜色、种皮剥离度、脆度、香味、甜味、含水量各方面品质更加优质的榛子果仁,这需要今后进一步进行试验。

参考文献

[1] 珍珍. 榛子的营养与人类健康[J]. 中外食品,2005(6):52-53.
[2] 刘亚娜,杨小红,耿阳阳,等. 不同野生榛子果实特性及营养成分分析[J]. 中国粮油学报,2021,36(1):117-122.
[3] 静玮,苏子鹏,林丽静. 不同焙烤温度和时间对澳洲坚果果仁颜色的影响[J]. 热带农业科学,2016,36(8):56-61,75.
[4] 贺熙勇,陶丽,倪书邦,等. 15 个澳洲坚果品种在云南的产量及品质[J]. 热带作物学报,2009,30(10):1399-1407.
[5] 左慧,王明坤,安学征. 榛果采收后的处理及深加工[J]. 种子科技,2021,39(1):50-51,54.
[6] 黄克昌. 带皮澳洲坚果不同贮存形式及贮存期对果仁品质的影响[J]. 热带农业科技,2006,29(1):17-18.
[7] 丁浩. 即食板栗休闲产品加工工艺研究[D]. 合肥:安徽农业大学,2015.
[8] 邓晓雨. 焙烤平欧榛子挥发性成分分析及酶法生香工艺初探[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2017.
[9] 王佳兴. 温度联合气调贮藏对平欧杂种榛坚果主要油脂品质的影响[D]. 北京:北京林业大学,2014.
[10] MOSS J R,OTTEN L. A relationship between colour development and moisture content during roasting of peanuts[J]. Canadian institute of food science and technology,1989,22(1):34-39.
[11] DONNO D,BECCARO G L,MELLANO G M,et al. Setting a protocol for hazelnut roasting using sensory and colorimetric analysis:Influence of the roasting temperature on the quality of Tonda gentile delle Langhe cv. Hazelnut[J]. Czech journal of food sciences,2013,31(4):390-400.

(上接第 153 页)

[2] 潘瑞炽. 植物生理学[M]. 4 版. 北京:高等教育出版社,2003:283-284.
[3] 邓令毅,王洪春. 葡萄的抗寒性与质膜透性[J]. 植物生理学通讯,1984,20(2):12-16.
[4] 朱根海,刘祖祺,朱培仁. 应用 logistic 方程确定植物组织低温半致死温度的研究[J]. 南京农业大学学报,1986,9(3):11-16.
[5] 李静,宁德鲁,马婷,等. 12 个核桃品种低温半致死温度与抗寒性的关系[J]. 湖南农业科学,2015(3):73-75.
[6] 黎继岚,陈善娜. 低温胁迫对高原水稻幼苗叶片膜超氧物歧化酶(SOD)活性的影响[J]. 云南大学学报(自然科学版),1996,18(2):163-166.
[7] 严寒静,谈锋. 自然降温过程中栀子叶片膜保护系统的变化与低温半致死温度的关系[J]. 植物生态学报,2000,24(1):91-95.
[8] 卢芳. 徐州市 8 种常绿阔叶树种抗寒性研究[D]. 南京:南京林业大学,2012.
[9] 耿生莲,辛永清,王彬,等. 青海省三江源区高海拔城镇园林树种的组成与生长调查[J]. 陕西林业科技,2019,47(6):31-34.
[10] 付超,周雪玲,朱春林. 应用隶属函数法综合评价高酸苹果抗寒性及果实品质[J]. 北方园艺,2017(2):11-15.
[11] 丛日征,张吉利,王思瑶,等. 植物抗寒性鉴定及其生理生态机制研究进展[J]. 温带林业研究,2020,3(1):27-33.
[12] 郭伟珍,赵京献,李莹,等. 以电导法评价 10 个梨品种(系)的抗寒性[J]. 落叶果树,2020,52(6):18-22.
[13] 沈季雪,蒋景龙. 不同浓度 NaCl 处理对 6 种黄瓜种子萌发的影响[J]. 江苏农业科学,2017,45(7):111-115.
[14] 张星,张剑侠. 葡萄砧木杂种的抗旱性评价[J]. 中国果树,2020(5):59-64,70.
[15] 谢鹏远,戚晓利. 植物低温响应研究进展[J]. 佳木斯大学学报(自然科学版),2020,38(4):117-118,128.
[16] 李清亚,路斌,赵佳伟,等. 不同豆梨品种对低温胁迫的生理响应及抗寒性评价[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2020,48(1):86-94,110.
[17] 陈钰,郭爱华,姚月俊,等. 不同杏树品种的抗寒性比较[J]. 西部林业科学,2007,36(2):71-74.
[18] 张旭,朱珍珍,孙鲁龙,等. 陇东地区不同矮化中间砧对‘长富 2 号’苹果抗寒性的影响[J]. 果树学报,2020,37(7):985-996.
[19] 贾祥,多吉格桑,赵爱民,等. 4 种禾本科牧草苗期抗寒性综合评价[J]. 草地学报,2020,28(5):1372-1378.
[20] 马娟娟,赵斌,陈颖,等. 4 个北美冬青品种苗对低温胁迫的生理响应及抗寒性比较[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2020,44(5):34-40.
[21] 何俊平,朱家成,王建平,等. 甘蓝型油菜幼苗显微组织结构与抗寒性的关系[J]. 江苏农业学报,2017,33(1):19-26.
[22] 张义. 青海省西宁市 22 种城市森林植物抗旱抗寒性研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2014.
[23] 冯英慧. 朔州市 9 种园林树种的抗寒性研究[D]. 太原:山西师范大学,2017.