

火龙果种质资源的耐寒性综合评价

高国丽¹ 张冰雪¹ 乔光¹ 刘涛²
彭志军² 王彬² 蔡永强² 文晓鹏¹

1. 贵州大学贵州省农业生物工程重点实验室/山地植物资源保护与种质创新省部共建教育部重点实验室/
贵州大学生命科学学院, 贵阳 550025;
2. 贵州省农业科学院果树科学研究所, 贵阳 550006

摘要 以9种基因型火龙果组培苗为材料, 探讨低温胁迫对组培苗冻害率、冻害指数及生理生化指标的影响, 并利用主成分分析及隶属函数分析法, 对供试种质的耐寒性进行综合评价, 旨在筛选出火龙果耐寒新种质。结果表明: -3℃低温处理48h后, 不同种质的冻害率与冻害指数差异较大, 2个指标呈极显著正相关, 耐寒性表现最好的是B7, 冻害率为31.14%, 冻害指数20.67, 其次是B, 冻害率为38.40%, 寒害指数22.10, 最差的是B2、B4和ZY; 各生理生化指标在不同种质间差异显著, 可溶性糖含量及POD活性与种质的耐寒力相关性不大, SOD、CAT活性和脯氨酸、丙二醛及可溶性蛋白含量与种质的耐寒性呈极显著相关, 可作为火龙果种质耐寒力鉴定的初选指标。耐寒顺序依次为: B7>B>紫红龙>红龙果>红宝石>红龙>B2>B4>ZY。

关键词 火龙果; 耐寒性; 生理生化指标; 主成分分析; 隶属函数分析

中图分类号 S 667.902.4 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2014)03-0026-07

火龙果(*Hylocereus undatus*)为仙人掌科(*Caetaceae*)三角柱属(*Hylocereus*)的果用栽培种^[1], 自20世纪90年代以来, 我国南方已陆续引种, 2001年贵州省从海南引进栽培, 取得了较好的经济和生态效益, 已成为农业新、特、优、高开发项目^[2-4]。近年来贵州极端灾害天气呈上升趋势, 低温造成的损失越来越严重, 严重影响火龙果的栽培及推广。因此, 发掘耐寒性强的火龙果新种质具有重要现实意义, 但火龙果耐寒性研究在国内外鲜有报道^[5-6]。本研究以9种基因型的火龙果试管苗为试材, 探究低温胁迫对火龙果冻害及生理生化指标的影响, 并对不同种质的耐寒性进行综合评价, 以期揭示其耐寒机制及发掘耐寒新种质提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

以9种基因型火龙果种质组织培养苗为试材, 9种基因型分别是红肉种质3份: 引自海南的红龙果、引自广州的红宝石、贵州省农业科学院果树科学研

究所选育的红龙; 白肉种质5份: B、B7、B2、B4、ZY, 贵州省农业科学院果树科学研究所选育; 紫红肉种质1份, 贵州省农业科学院果树科学研究所选育的紫红龙, 以上材料均为采自贵州火龙果基地且经过2008年和2011年冬季低温冻害后存活下来的种质。

1.2 低温胁迫

将生长100d的长势一致的组织培养苗随机分为2组, 一组于原培养室中继续生长(对照), 另一组移至-3℃冰柜处理48h, 然后移回原培养室恢复生长。分别于低温处理前、低温处理48h、室温恢复生长2d后取样, 测定生理生化指标。另一部分组织培养苗低温胁迫后在室温下恢复生长20d(图1), 调查其冻害率及冻害指数, 每种基因型各调查1000株。各项指标的测定均重复3次。

1.3 冻害调查统计

参照李静等^[7]的方法, 对火龙果的冻害指数进行等级划分, 共划分为6个等级: 0级冻害为生长正常, 未受冻; 1级冻害为仅顶芽受害; 2级冻害为冻梢长度不超过苗高1/3; 3级冻害为冻梢长度为苗高

收稿日期: 2013-11-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(31060256、31260464)和贵州省重大专项(20126006-01)

高国丽, 硕士研究生, 研究方向: 分子生物学与基因工程. E-mail: 853883972@qq.com

通信作者: 文晓鹏, 博士, 教授, 研究方向: 果树生物技术及遗传育种. E-mail: xpwensc@hotmail.com

1/3~2/3;4级冻害为冻梢长度为苗高2/3以上,近全冻死;5级冻害为试管苗全部冻死。

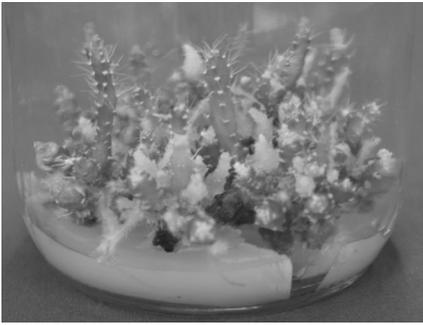


图1 低温处理后红龙果的表型

Fig.1 Phenotype of Honglongguo after cold stress

1.4 生理生化指标的测定

游离脯氨酸(Pro)含量采用磺基水杨酸提取、茚三酮比色的方法测定^[8];丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸(TBA)法测定^[9];可溶性糖(SS)含量采用蒽酮比色法测定^[10];可溶性蛋白(SP)采用考马斯亮蓝G-250染色法测定^[11];超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化氢酶(POD)活性与过氧化物酶(CAT)活性采用南京建成生物有限公司生产的

试剂盒进行测定。

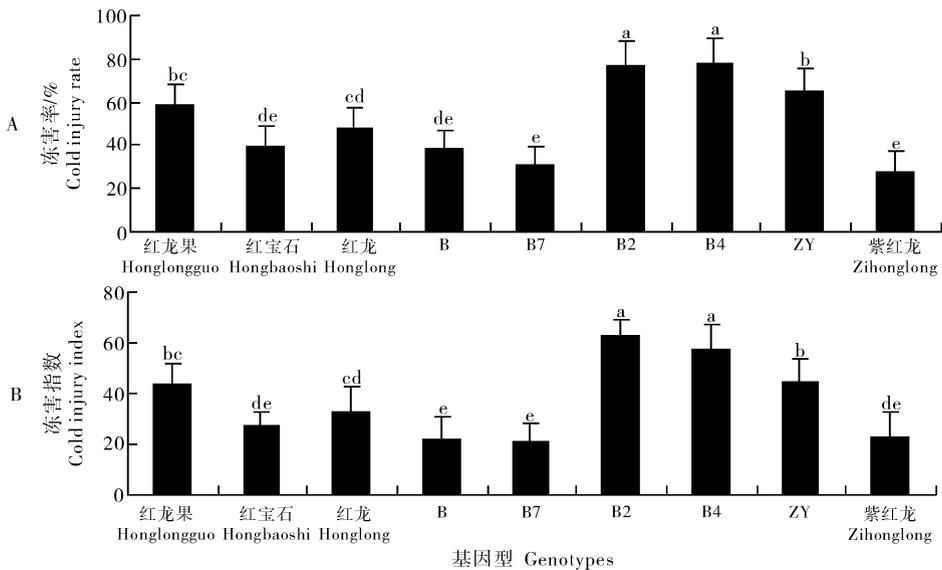
1.5 数据统计分析

采用DPS统计软件和SPSS 19.0进行方差与主成分分析。根据各主成分的贡献率分别求出其隶属函数值和权重,据此计算出各种质耐寒性综合评价D,根据D值对火龙果种质的耐寒性进行综合评价^[12-14]。

2 结果与分析

2.1 不同种质冻害率和冻害指数比较

由图2可知,在低温胁迫下,不同基因型火龙果的冻害率和冻害指数存在较大差异。表现最好的是B7,冻害率为31.14%,冻害指数只有20.67;其次是B,冻害率和冻害指数分别为38.40%和22.10;耐寒性最差的是ZY、B4及B2。经相关性分析,不同种质的冻害率与冻害指数间呈显著正相关($r=0.976$),因此,二者都可以用作火龙果种质耐寒性的评价指标。冻害调查结果显示,供试种质的耐寒性顺序为: B7>B>紫红龙>红宝石>红龙>红龙果>ZY>B2>B4。



图中标有不同字母者表示差异显著($P<0.05$),下同。Mean values marked with lowercase letters within a panel are significantly different at $P<0.05$, the same as follows.

图2 低温胁迫下不同火龙果种质的冻害率(A)及冻害指数(B)

Fig.2 The cold injury rate(A) and cold injury index(B) of pitaya germplasm genotypes under cold stress

2.2 低温处理后几个生理生化指标变化

1)保护酶活性的变化。与低温胁迫前相比,-3℃处理2d后,ZY种质的POD及CAT活性差异不显著($P>0.05$),而CAT活性受到抑制

(-5.46%);其他基因型的SOD、POD及CAT的活性显著上升(图3),增幅较大的是B7、B和红龙果,而红龙、ZY和B4上升幅度相对较小。室温恢复生长2d后,多数种质的保护酶活性呈现不同程

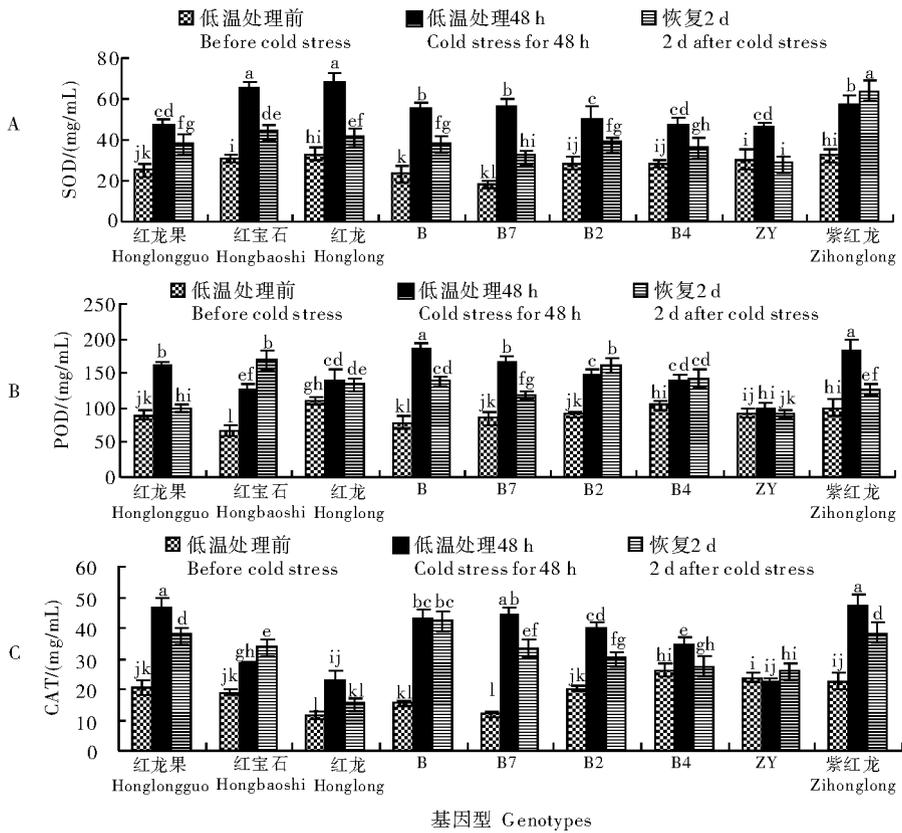


图 3 低温胁迫对火龙果 SOD(A)、POD(B)和 CAT(C)活性的影响

Fig. 3 Effects of cold stress on activities of SOD(A), POD(B) and CAT(C) of pitaya

度的下降趋势,只有紫红龙的 SOD 活性,红宝石、B2、B4 的 POD 活性和红宝石与 ZY 的 CAT 活性继续上升;与处理前相比,ZY 的 SOD 与 POD 活性受到抑制,抑制率分别为 5.46%、1.89%,其他种质保护酶活性显著上升 ($P < 0.05$),增幅较大的是红龙果、B7、B 和紫红龙,增幅最小的是红龙、B4、ZY。

2)可溶性蛋白(SP)浓度的变化。与低温胁迫前相比,低温处理后,9 种基因型的 SP 浓度显著增加(图 4A),其中 B7(127.45%)、紫红龙(111.45%)与红龙果(103.33%)增幅较大,B2、ZY 与 B4 增幅较小,分别增加 40.42%、24.83%与 20.87%。室温恢复 2 d 后,红宝石的 SP 浓度继续上升,其他种质呈现下降趋势,但都显著高于低温处理前的水平,其增幅较大的是红宝石(75.06%)及紫红龙(72.89%),其次是 B7(54.58%)及红龙果(50.67%),增幅较小的是 B(13.71%)、B4(9.53%)及 ZY(5.09%)。

3)可溶性糖(SS)含量变化。与低温胁迫前相比,低温处理后,9 种基因型的 SS 含量显著增加(图 4B),其增幅较大的是 B(270.52%)、紫红龙(190.71%)和红龙(144.24%),其次是

B7(127.31%)和红宝石(117.62%),而增幅较小的是 B4(61.84%)。室温恢复 2 d 后,SS 含量呈下降的趋势,但都显著高于低温处理前的水平,其增幅较大的是 B(217.06%),其次是紫红龙(98.32%)、B7(85.86%)和 ZY(81.73%),增幅较小的是红龙果(30.81%)和 B4(30.70%)。

4)脯氨酸(Pro)含量变化。与低温胁迫前相比,低温处理后,ZY 种质的 Pro 含量受到抑制(-0.17%),其他基因型的 Pro 含量显著上升(图 4C),增幅较大的是 B7(223.34%)、B(216.49%)和红宝石(190.30%),均增加 2 倍以上,其次是紫红龙(180.52%)和红龙(170.82%),增幅较小的是红龙果(154.22%)。室温恢复 2 d 后,Pro 含量呈下降的趋势,与低温处理前相比,ZY 的 Pro 含量受到抑制(-21.44%),而其他种质 Pro 含量显著上升 ($P < 0.05$),其增幅较大的是红宝石、紫红龙和 B7,分别增加 1.69%、1.34%和 1.28%,增幅较小的是 B4(68.53%)和 B2(46.77%)。

5)丙二醛(MDA)含量变化。与低温胁迫前相比,低温处理后,9 种基因型的 MDA 含量显著上升(图 4D),其增幅较大的是 ZY 和 B4,分别增加

198.57%和 183.44%，其次是 B2(103.29%)和 红 龙(88.39%)，增幅较小的是 B7、B、紫红龙，分别 增加 69.48%、57.12%、53.25%。室温恢复 2 d 后，B 的 MDA 含量继续上升，其他种质呈下降趋势，但都

显著高于低温处理前的水平，其增幅较大的是 ZY、 B2 与 B4，分别增加 127.09%、92.93%与 91.59%， 增幅较小的是紫红龙、B7 和红龙，分别增加 55.27%、47.19%和 30.62%。

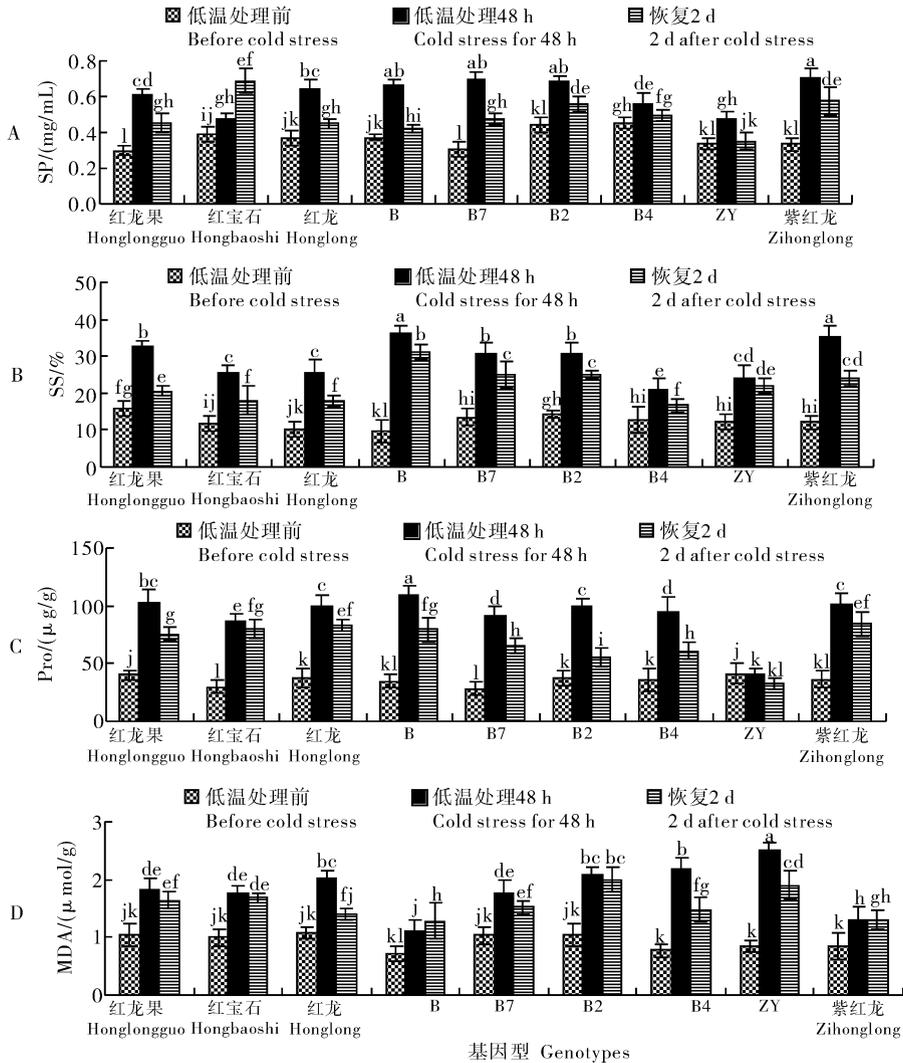


图 4 低温胁迫对火龙果 SP(A)、SS(B)、Pro(C)和 MDA(D)含量的影响

Fig. 4 Effect of cold stress on the contents of soluble protein(A), soluble sugar(B), proline (C) and malonaldehyde(D) of pitaya

2.3 耐寒性综合评价

对 9 种不同基因型火龙果种质的 7 个理化指标进行主成分分析(表 1)，3 个主成分的贡献率分别为 45.26%、25.88%、19.00%，累积贡献率达 90.14%。第 1 个主成分主要包括 SP 和 MDA 的含量 2 个指标；第 2 个主成分主要包括 POD 活性和 Pro 含量 2 个指标；第 3 个主成分主要包括 CAT 活性及 SS 含量 2 个指标。根据主成分得分系数及各项理化指标的标准化值，求出 9 种不同基因型火龙果种质的

3 个主成分的得分值(表 2)。

根据得分值，求出火龙果种质每个主成分的隶属函数值 $u(Z_j)$ ，然后根据各主成分的贡献率求出各主成分的权重，计算出供试材料耐寒性综合评价值 D (表 4)。 D 值反映各品种综合耐寒能力，值越大表明越耐寒，9 种基因型的耐寒力大小依次为 B7>B>紫红龙>红龙果>红宝石>红龙>B2>B4>ZY，这一结果与冻害调查的分析结果基本一致。

表 1 成分得分系数矩阵与贡献率

Table 1 Component score coefficient and their contribution

指标 Indexes	成分 1 Component 1	成分 2 Component 2	成分 3 Component 3
SP	0.477	-0.293	-0.149
POD	-0.288	0.746	-0.035
SOD	0.223	0.007	0.081
CAT	0.209	-0.156	0.313
MDA	0.290	0.035	-0.138
SS	-0.158	-0.182	0.931
Pro	0.046	0.513	-0.292
贡献率/% Contribution rate	45.26	25.88	19.00
累计贡献率/% Cumulative contribution rate	90.14		

表 2 供试种质的主成分值、权重、 $u(Z_j)$ 值、 D 值和排名

Table 2 The principal component value, index weight, $u(Z_j)$, value D and ranks of the tested genotypes

基因型 Genotypes	Z1	Z2	Z3	$u(Z1)$	$u(Z2)$	$u(Z3)$	D	排名 Rank
红龙果 Honglongguo	1.245	1.096	1.309	0.611	0.419	0.174	0.464	4
红宝石 Hongbaoshi	0.817	2.086	1.197	0.185	1.000	0.121	0.406	5
红龙 Honglong	1.046	1.161	1.517	0.413	0.457	0.272	0.396	6
B	0.877	1.474	3.059	0.245	0.641	1.000	0.518	2
B7	1.640	1.257	1.895	1.000	0.513	0.451	0.744	1
B2	0.834	1.309	1.538	0.202	0.544	0.282	0.317	7
B4	0.740	1.354	0.939	0.108	0.570	0.000	0.218	8
ZY	0.631	0.384	1.663	0.000	0.000	0.341	0.072	9
紫红龙 Zihonglong	1.206	1.200	1.84	0.572	0.48	0.425	0.514	3
权重 Weight				0.502	0.287	0.211		

2.4 耐寒性与生理生化指标的相关性分析

用 SPSS19.0 对冻害率、冻害指数、生理生化指标和综合评价值 D 进行相关性分析,得出各数据间的相关系数矩阵(表 3)。综合评价值 D 与冻害率和冻害指数的相关性达到显著水平,相关系数分别为 -0.766 和 -0.697 ,说明利用生理生化指标综合评价耐寒性与利用冻害调查评价火龙果种质耐寒性基本相一致;综合评价值 D 与 SOD、CAT、MDA、SP 及 Pro 呈现极显著相关,与 SS 和 POD 相关性不显

著,表明低温胁迫后,各生理生化与火龙果耐寒性的相关程度依次为 $SOD > CAT > MDA > SP > Pro > POD > SS$;各生理生化指标之间也存在相关性,其中 SOD 与 CAT、SOD 与 Pro、MDA 与 Pro、MDA 与 SP 之间存在极显著正相关,SS、POD 与 SP 之间呈现不显著相关。但低温胁迫下,SOD 活性高的种质并非 CAT 活性与 Pro 含量都高,MDA 含量高的种质并非 SP 与 Pro 含量都高,表明各理化指标所提供的信息存在叠加现象,且各指标在耐

表 3 冻害指标与生理生化指标的相关系数矩阵¹⁾

Table 3 Correlation coefficient matrix between the cold injury parameters and the physiological and biochemical parameters

指标 Indexes	SP	POD	SOD	CAT	MDA	SS	Pro	冻害率 Cold injury rate	冻害指数 Cold injury index
POD	0.200								
SOD	0.731*	0.542							
CAT	0.681	0.485	0.943**						
MDA	0.800**	0.416	0.741*	0.672					
SS	0.191	0.448	0.441	0.539	0.395				
Pro	0.540	0.714*	0.800**	0.645	0.825**	0.345			
冻害率 Cold injury rate	-0.725*	-0.439	-0.767*	-0.644	-0.794*	-0.558	-0.645		
冻害指数 Cold injury index	-0.595	-0.414	-0.729*	-0.622	-0.716*	-0.601	-0.590	0.976**	
D	0.843**	0.499	0.967**	0.924**	0.857**	0.398	0.813**	-0.756*	-0.697*

1) * 表示在 0.05 水平上显著相关; ** 表示在 0.01 水平上极显著相关。* shows correlation is significant at the 0.05 level; ** shows correlation is highly significant at the 0.01 level.

寒性中所起的作用也不尽相同。用单项指标去评价火龙果的耐寒性存在一定局限性,应选择相关性最大的指标,或采用多项指标进行综合评价。

3 讨论

利用冻害率和冻害指数对9种基因型火龙果的耐寒性进行评价,耐寒性较强的是B7、B、紫红龙和红宝石,其次是红龙和红龙果,最差的种质是ZY、B2和B4;利用主成分分析法和隶属函数分析法进行综合评价,耐寒性由强至弱依次为 $B7 > B > \text{紫红龙} > \text{红龙果} > \text{红宝石} > \text{红龙} > B2 > B4 > ZY$ 。冻害调查结果与主成分分析法和隶属函数法综合评价对耐寒性的评价结果基本一致,综合评价值 D 与冻害率的相关性($r = -0.766$)略高于与冻害指数($r = -0.697$),且不同种质的冻害率与冻害指数间呈显著正相关($r = 0.976$),而冻害率统计比冻害指数调查更简便,因此,可以采用冻害率调查分析来评判火龙果种质的耐寒性。

植物体通过CAT、SOD与POD三者协同作用,使自由基维持在一个相对较低水平,从而防止自由基伤害,使植物体得以生存,故被称为保护酶系统^[15]。CAT可以分解代谢过程中产生的 H_2O_2 ^[16];SOD能以超氧阴离子为基质进行歧化反应,清除植物内的超氧阴离子自由基,缓减氧自由基对细胞膜的损伤^[14,17];POD主要作用是酶促降解 H_2O_2 ,解除细胞内有害自由基^[18]。郭爱华等^[19]研究发现,CAT、SOD与POD活性与植物耐寒性呈正相关。本研究表明,低温处理后,SOD和CAT与火龙果耐寒性的相关性较大,利用SOD和CAT对9种基因型的耐寒性进行评价,耐寒性较强的种质是B7、B和红龙果,最弱的是B4和ZY,这与主成分分析法和隶属函数分析法综合评价的结果基本相符,因此,低温处理后SOD和CAT活性可以作为火龙果种质耐寒力的评价指标。

SP、Pro和SS是植物体内重要的渗透调节物质,它们的大量积累有助于减轻低温对植物的伤害^[20],低温胁迫过程中其含量的升高,有助于增加细胞液浓度,降低冰点,防止细胞膜因结冰引起伤害,从而增强植物耐寒性。有研究认为SP、Pro和SS含量与植物耐寒性呈正相关^[21]。本研究表明,低温胁迫后,SP和Pro与耐寒性相关性较大,利用SP和Pro对9种基因型的耐寒性进行评价,耐寒性

较强的种质是B7和红龙果,最弱的是B4和ZY,这与主成分分析法和隶属函数分析法综合评价的结果基本相符,因此,低温胁迫后,SP和Pro也可作为火龙果种质耐寒性评价的生理指标。

MDA具有细胞毒性,能够引起细胞膜功能紊乱,是膜脂氧化的最终产物,其含量与植物耐寒性呈负相关^[17,22]。在低温处理过程中,耐寒性弱的材料MDA含量显著上升,从而加剧细胞膜脂过氧化程度;反之,耐寒性强的材料则可以通过调节,使MDA含量维持在相对较低水平,使细胞结构及功能得到保护,降低了低温对细胞的伤害,从而表现出较强的耐寒能力。本研究发现,低温处理后,耐寒性弱的种质(ZY、B2和B4)MDA含量增幅较大,而耐寒性强的种质(B7和紫红龙)MDA含量增幅较小,这与主成分分析法和隶属函数分析法综合评价的结果基本相符,因此低温胁迫后,MDA含量可以作为火龙果种质耐寒力评价指标。

参 考 文 献

- [1] 刘颖,刘艳军,黄俊轩,等.火龙果的组培快繁研究[J].园艺与种苗,2011(6):27-29.
- [2] 余志雄,陈明贤,袁亚芳,等.火龙果ISSR优化体系的建立[J].福建农业学报,2010,25(6):711-715.
- [3] 陈明贤.福建省火龙果种质资源ISSR分析及耐盐生理研究[D].福州:福建农林大学图书馆,2012.
- [4] 李胜海,张兴无.火龙果果实和花及茎的应用研究现状[J].安徽农业科学,2009,37(9):4007-4009.
- [5] 金吉芬,郑伟,刘涛.贵州亚热带地区火龙果抗寒性调查[J].中国热带农业,2010(2):33.
- [6] 邓仁菊,范建新,王彬,等.火龙果抗寒性检测初探[J].植物生理学报,2009(10):45.
- [7] 李静,樊秀成,范广吉,等.垂榆冻害调查及其影响因素的分析[J].吉林林业科技,2010,39(5):37-39.
- [8] 邹琦.植物生理生化实验指导[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [9] 张立军,樊金娟.植物生理学实验教程[M].北京:中国农业大学出版社,2007:95-98.
- [10] 孔祥生,易现锋.植物生理学实验技术[M].北京:中国农业出版社,2008:135-137.
- [11] 孔群,胡景江.植物生理学实验技术[M].杨凌:西北农林科技大学出版社,2005:171-172.
- [12] 黄其椿,赵洪涛,刘吉敏,等.实生苗嫁接对红麻细胞质雄性不育系与保持系的生长发育及越冬抗寒性的影响[J].华中农业大学学报,2013,32(3):8-14.
- [13] 武艳,肖斌,游新才,等.陕西茶树种质资源抗寒性综合评价[J].热带作物学报,2012,33(5):792-798.

- [14] 胡彦师,蔡海滨,安泽伟,等. 橡胶树新种质抗寒性综合评价[J]. 广东农业科学,2012(16):51-55.
- [15] CHEN S Y. Injury of membrane lipid peroxidation to plant cell[J]. Plant Physiolcummun,1991,27(2):84-90.
- [16] GECHEV T,WILLEKENS H,MONTAGU M V. Different responses of tobacco antioxidant enzymes to light and chilling stress[J]. Journal of Plant Physiology,2003,160(5):509-515.
- [17] 李婷,梁机,谢乐,等. 低温胁迫对厚荚相思不同家系抗寒生理生化特征的影响[J]. 东北林业大学学报,2013,41(2):6-9.
- [18] ALHERL H M. Chilling injury:a review of possible causes[J]. Hort Science,1986,21(6):1329-1333.
- [19] 郭爱华,陈钰,姚月俊,等. 杏品种抗寒性主成分分析[J]. 山西农业大学学报:自然科学版,2007,27(3):234-237.
- [20] 赵红星,姜俊,胡应北. 39份柿属种质资源的抗寒性综合评价[J]. 西北农业学报,2010,19(12):128-133.
- [21] 金明丽. 苹果砧木实生后代抗寒性鉴定[D]. 保定:河北农业大学图书馆,2011.
- [22] 赵剑颖,宋晓莉,杨蕊,等. 4℃胁迫过程中大叶黄杨和北海道黄杨叶片抗寒生理生化指标的变化[J]. 北京农学院学报,2010,25(2):57-61.

Comprehensively evaluating the cold tolerance of pitaya germplasms

GAO Guo-li¹ ZHANG Bing-xue¹ QIAO Guang¹ LIU Tao²
 PENG Zhi-jun² WANG Bin² CAI Yong-qiang² WEN Xiao-peng¹

1. Key Laboratory of Agricultural Bioengineering at Guizhou Province, Guizhou University/
 Key Laboratory of Plant Resources Conservation and Germplasm Innovation in Mountainous
 region (Guizhou University), Ministry of Education/College of Life Sciences, Guizhou University,
 Guiyang 550025, China;

2. Institute of Fruit Tree of Guizhou Academy of Agricultural Sciences,
 Guizhou Province, Guiyang 550006, China

Abstract To identify the cold-tolerant ability of pitaya germplasms, the tissue cultured seedlings of 9 pitaya genotypes were treated under $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ stress for 48 h. The cold injury rate, cold injury index, the physiological and biochemical parameters were investigated under low temperature stress. A comprehensive evaluation of the cold tolerance was carried out with the combination of principal component analysis and subordinate function value analysis. The results showed that the cold injury rate and the cold injury index significantly varied among the tested genotypes. The cold injury rate was closely related with cold injury index. Genotype B7 ranked the first in cold tolerance with the cold injury rate and cold injury index of 31.14% and 20.67, respectively. Genotype B ranked the second in cold tolerance with the cold injury rate and cold injury index of 38.40% and 22.10, respectively. Genotype B2, B4 and ZY showed the least ability of cold tolerance. The physiological and biochemical parameters are highly diverse among the tested genotypes as exposure to low temperature stress. There was no close correlation between either soluble sugar contents or peroxidase (POD) activities and cold tolerances of pitaya germplasms. There was significant correlation between either superoxide dismutase (SOD) activities, catalase (CAT) activities, POD activities, soluble protein contents, or proline content and malonaldehyde (MDA) content and the cold tolerance, which may be used as a primary indicator for evaluating cold tolerance for this crop. Among the tested genotypes, the order of cold tolerance was B7>B>Zihonglong>Honglongguo>Hongbaoshi>Honglong>B2>B4>ZY.

Key words *Hylocereus undatus*; cold tolerance; physiological and biochemical indexes; principal component analysis; subordinate function value analysis

(责任编辑:张志钰)