

张 曼, 胡雪丹, 徐锦华, 等. 葫芦砧木种质资源耐冷性评价[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(6): 1390-1395.

doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2016.06.030

葫芦砧木种质资源耐冷性评价

张 曼¹, 胡雪丹^{1,2}, 徐锦华¹, 刘 广¹, 姚协丰¹, 李苹芳¹, 任润生¹, 羊杏平¹

(1. 江苏省农业科学院蔬菜研究所/江苏省高效园艺作物遗传改良重点实验室, 江苏 南京 210014; 2. 扬州大学园艺与植物保护学院, 江苏 扬州 225000)

摘要: 为筛选适宜低温环境的耐冷葫芦砧木品种, 本研究以 11 份葫芦砧木种质资源为材料, 分析其在 8 ℃ 低温胁迫下的冷害指数, 测定与耐冷性相关的 7 项生理生化指标, 利用隶属函数法和聚类分析对其耐冷性进行综合评价。结果表明, 低温处理下, 冷害指数、抗氧化酶(*SOD*、*CAT*)活性、氧化损伤指标(*MDA* 含量)、渗透物质(脯氨酸、可溶性蛋白)含量, 可作为苗期耐冷性鉴定的评价指标。通过隶属函数法和聚类分析将 11 份供试葫芦砧木材料分为 3 大类群: 强耐冷性品种(*NZ*、*CF*、*AS*、*RS*、*HG* 和 *QY*)、中度耐冷性品种(*JX*、*Y1*、*JZ* 和 *Y3*) 和冷敏感性品种(*KC*)。强耐冷葫芦砧木 *NZ*、*CF*、*AS*、*RS*、*HG* 和 *QY* 可以作为耐冷葫芦砧木资源种质改良的候选材料。

关键词: 葫芦砧木; 低温胁迫; 生理生化指标; 耐冷性评价

中图分类号: S642.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2016)06-1390-06

Evaluation on seedling cold tolerance of bottle gourd rootstock accessions

ZHANG Man¹, HU Xue-dan^{1,2}, XU Jin-hua¹, LIU Guang¹, YAO Xie-feng¹, LI Ping-fang¹, REN Run-sheng¹, YANG Xing-ping¹

(1. Institute of Vegetable, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences/Jiangsu Key Laboratory for Horticultural Crop Genetic Improvement, Nanjing 210014, China; 2. School of Horticulture and Plant Protection, Yangzhou University, Yangzhou 225000, China)

Abstract: This work aims to select cold tolerance bottle gourd rootstock varieties. Eleven bottle gourd rootstock accessions were used to analyze their cold tolerant ability. Chilling injury index and seven physiological and biochemical indices that were related to cold tolerance were evaluated. The cold tolerant ability of 11 bottle gourd germplasms was comprehensively evaluated by the methods of subordinate function value and cluster analysis. Chilling injury index, antioxidant enzymes (*SOD*, *CAT*), oxidative damage parameter (*MDA* content), osmolytes (Pro and soluble protein content) had significant correlation with seedling's cold tolerant ability, which meaning that these six physiological and biochemical indices

could be used as an effective assessment index for the cold tolerant ability of bottle gourd rootstock seedling. The cold tolerant ability of analyzed bottle gourd samples was classified into three levels by using the subordinate function and the cluster analysis: strong cold tolerance varieties (*NZ*, *CF*, *AS*, *RS*, *HG* and *QY*), intermediated cold tolerance varieties (*JX*, *Y1*, *JZ* and *Y3*) and cold sensitive variety (*KC*). *NZ*, *CF*, *AS*, *RS*, *HG* and *QY* were cold-tolerant bottle gourd rootstock varieties, which could be used as candidate materials for improvement of cold tolerant bottle gourd rootstocks.

Key words: *Lagenaria siceraria* (Molina) Standl.; cold

收稿日期: 2016-02-23

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2012BAD02B03-14); 国家西甜瓜产业技术体系岗位科学家项目(CARS-NO. 26); 江苏省农业三新工程项目[SXGC(2015)337]; 江苏省农业科技自主创新基金项目[CX(14)2004]

作者简介: 张 曼(1981-), 女, 山西运城人, 博士, 副研究员, 研究方向为西瓜分子育种。(Tel) 025-84390434; (E-mail) fldzm04@126.com

通讯作者: 羊杏平, (Tel) 025-84390222; (E-mail) xingping@jaas.ac.cn。

stress; physiological and biochemical indices; evaluation of cold tolerance

葫芦(*Lagenaria siceraria* Standl.)为葫芦科(Cucurbitaceae)葫芦属,一年生草本植物,起源于非洲,其嫩果可食用,成熟果可做容器。此外,葫芦作为瓜类蔬菜作物的嫁接砧木在生产上具有广泛应用^[1]。最初采用葫芦嫁接的目的是控制西瓜枯萎病(*Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*)^[2]。随着葫芦砧木的普及和应用研究的深入,研究人员发现砧木嫁接还可以增强瓜类作物的耐低温能力^[3-7]。耐冷砧木的选择是提高瓜类作物抗冷性和品质的关键因素,开展葫芦砧木耐冷种质资源筛选及耐冷机理研究,对优良耐冷葫芦砧木新品种选育及嫁接植株耐冷性研究具有重要意义。

目前关于砧木品种耐冷性的研究已有较多报道。孙吉庆等^[8]发现5℃低温处理幼苗2 d后,砧木南瓜种间杂交F₁代(印度南瓜×中国南瓜)的根系活力最强,相对电导率和MDA含量最低,SOD(超氧化物歧化酶)、POD(过氧化物酶)和CAT(过氧化氢酶)活性最高,其次是母本印度南瓜,父本中国南瓜最低。徐光东等^[9]对14种甜瓜砧木的抗冷性进行了研究,确定德甜砧1号抗冷性最强,佐藤锦抗冷性最弱。徐光东等^[9]提出冷害指数的大小与抗冷性强弱的关系最为密切,通过低温胁迫条件下幼苗冷害指数的变化,可基本确定不同甜瓜砧木材料的抗冷性。王金茹^[10]对低温胁迫下4种甜瓜砧木幼苗的生长发育和保护酶活性进行了研究,发现在低温处理下,各砧木幼苗保护酶活性是先增强后降低,呈有规律的变化,筛选出砧木抗病王子抗寒性最强,FR-2最弱。以上研究为筛选耐寒性强的砧木材料提供了参考。而关于葫芦砧木种质资源受低温胁迫影响的研究和报道相对比较少。本研究以11份葫芦砧木种质资源为材料,从生理生化水平比较不同葫芦砧木品种间的耐冷性差异,分析各指标与幼苗耐冷性的相关性,并采用隶属函数法综合评价幼苗耐冷性,以期在常用的葫芦砧木中筛选出适应低温胁迫的砧木资源,同时为耐低温砧木筛选及新品种选育提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

11份供试葫芦砧木材料编号分别为:RS、NZ、

JZ、QY、KC、CF、AS、JX、Y3、Y1、HG,由江苏省农业科学院蔬菜研究所瓜类研究室收集并保存。将葫芦砧木种子置于55℃温汤浸种8 h,清洗干净后用纱布包裹,于28℃催芽4~5 d,露白后播于消毒的营养基质中,置于人工气候箱(28℃/18℃,16 h/8 h光/暗周期,70%湿度)中培养,至三叶一心时用于低温处理。

1.2 低温处理及低温冷害调查

选取长势一致的幼苗,在8℃/5℃昼夜温度,5 000 lx光照度、16 h/8 h光/暗周期、70%湿度的环境下进行低温处理,每个品种设3个重复,每个重复15株苗。每天观察并统计植株冷害情况,并分别在处理0 d、1 d、3 d、5 d、7 d时取样,进行抗冷指标测定。参考许勇等^[11]的冷害症状分级标准,统计冷害指数。冷害指数的计算方法如下:

冷害指数 = $\sum (\text{每个级别的植株数} \times \text{级别数}) / \text{总植株数} \times \text{最高级别数}$

1.3 酶活性测定

抗坏血酸氧化酶(AAO)活性采用抗坏血酸氧化法测定,多酚氧化酶(PPO)活性采用碘滴定法测定^[12],过氧化物酶(POD)活性测定采用愈创木酚氧化法^[12],MDA含量测定采用硫代巴比妥酸法^[13]。各项指标测定3次重复,取平均值。

1.4 数据统计与分析

采用Excel 2010和SAS 9.2(SAS Institute, Cary, NC)软件进行数据处理和统计分析。参考周广生等^[14]的方法计算隶属函数值 $X(u)$,方法如下:

$$X(u) = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (\text{正相关})$$

$$X(u) = 1 - (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (\text{负相关})$$

式中 X 为指标测定值, X_{\max} 为该指标最大值, X_{\min} 为该指标最小值。

2 结果与分析

2.1 低温处理下不同葫芦砧木幼苗的冷害指数

低温处理下不同葫芦砧木的冷害指数见表1。由表1可知,随着低温胁迫时间的延长,不同葫芦砧木品种冷害指数均呈上升趋势。根据低温处理7 d冷害指数的大小,初步判断供试葫芦砧木的耐冷性强弱依次为:RS、HG、CF、QY、KC、JX、NZ、Y3、AS、JZ、Y1。

表 1 低温处理下葫芦砧木幼苗的冷害指数

Table 1 Chilling injury index of bottle gourd rootstock accessions

砧木品种	低温处理天数(d)					耐冷性排序
	0	1	3	5	7	
RS	0	0.116	0.228	0.423	0.456	1
NZ	0	0.114	0.325	0.657	0.661	7
JZ	0	0.063	0.412	0.614	0.687	10
QY	0	0.143	0.282	0.543	0.555	4
KC	0	0.086	0.425	0.567	0.635	5
CF	0	0.045	0.314	0.455	0.531	3
AS	0	0.125	0.419	0.625	0.670	9
JX	0	0.125	0.328	0.588	0.652	6
Y3	0	0.114	0.434	0.604	0.669	8
Y1	0	0.124	0.426	0.684	0.696	11
HG	0	0.071	0.300	0.479	0.509	2

2.2 葫芦砧木对低温胁迫的生理响应

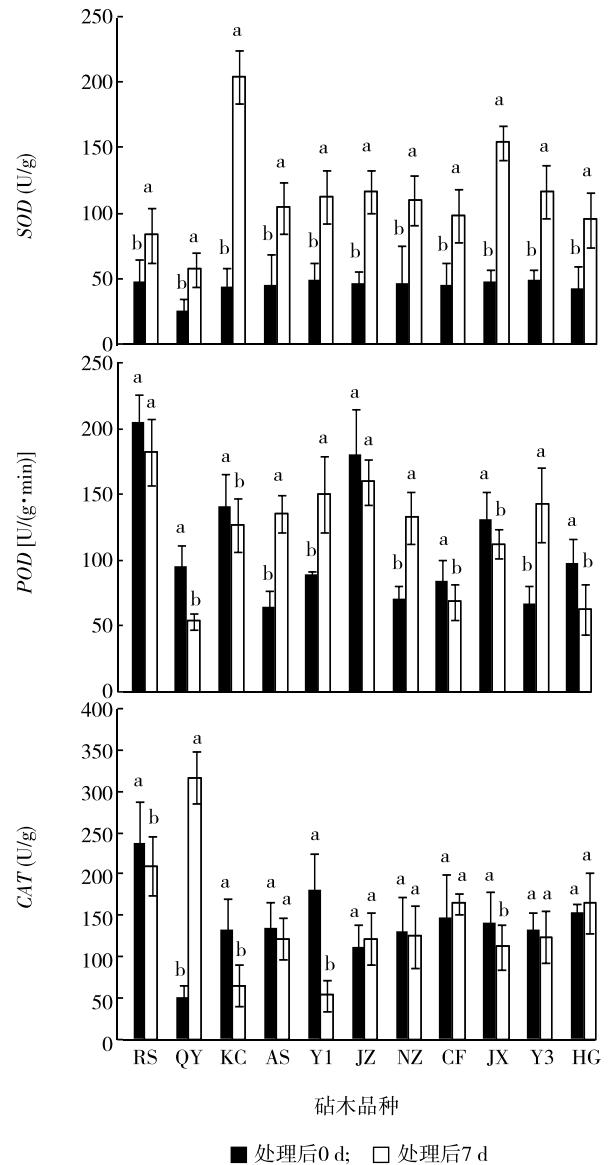
2.2.1 低温对葫芦砧木抗氧化酶活性的影响

由图 1 可知, 本研究中, 低温胁迫显著激活了 *SOD* 酶的活性, 在低温胁迫第 7 d 时, 所有参试的葫芦砧木材料中 *SOD* 活性均显著升高, 增幅为 41.9% ~ 78.1%。*POD* 活性在所有材料中的增幅不尽相同, AS、Y1、NZ 和 Y3 4 个材料的 *POD* 活性显著增加, 增幅为 40.6% ~ 52.6%, 其余 7 份材料的 *POD* 活性则降低, 降幅为 11.0% ~ 78.7%。低温胁迫第 7 d 时, QY、JZ、CF、HG 4 份材料的 *CAT* 活性增加, 增幅为 7.2% ~ 84.2%, 其余 7 份材料的 *CAT* 活性显著降低, 降幅为 3.7% ~ 102.4%。

2.2.2 低温对葫芦砧木氧化胁迫水平的影响

MDA 是细胞膜脂过氧化反应的重要产物, 其含量的多少反映了细胞膜被破坏的程度。低温胁迫下, 葫芦砧木 MDA 含量变化如图 2 所示, 不同砧木品种 MDA 含量增幅差异较大, RS 的 MDA 含量下降, 降幅为 35.9%, 而其余 10 份葫芦砧木材料除 NZ 外 MDA 含量均显著增加, 增幅为 27.3% ~ 76.3%。其中, CF、KC 的增幅最大, 分别为 71.9%、76.3%, NZ 的增幅最小, 为 27.3%。

2.2.3 低温对葫芦砧木渗透物质的影响 逆境条件下, 细胞通过主动积累溶质来降低细胞液的渗透势, 以防止细胞过度失水。由图 3 可知, 低温处理第

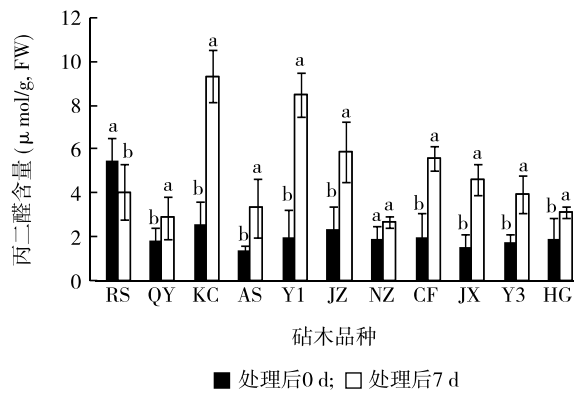


不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著 ($P < 0.05$)。

图 1 低温对葫芦砧木种质资源抗氧化酶活性的影响

Fig. 1 Effect of cold stress on activities of antioxidant enzymes of bottle gourd rootstock seedlings

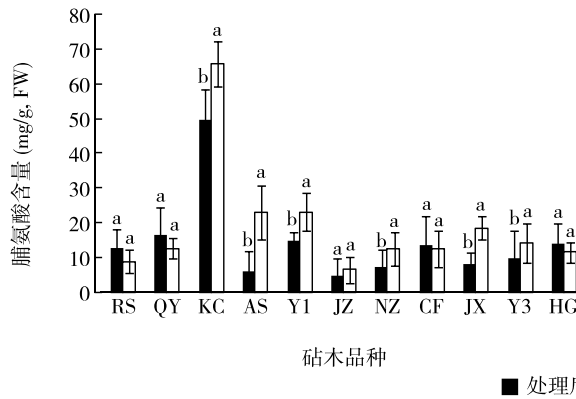
7 d 时, RS、QY、CF、HG 4 个材料的脯氨酸含量略有下降, 降幅分别为 44.9%、33.2%、7.6%、23.0%。其余 7 份材料除 JZ 外脯氨酸含量均显著增加, AS 和 JX 增幅较大, 分别为 73.4% 和 54.2%。可溶性蛋白含量变化趋势与脯氨酸含量趋势一致, 在 RS、QY、CF、HG 4 个材料中含量降低, 降幅分别为 9.4%、78.6%、3.3%、29.2%。其余材料除 NZ 外含量显著增加, 增幅为 18.2% ~ 57.0%, 其中, KC 增幅最大, 为 57.0%。



不同小写字母表示在 0.05 水平上的差异显著 ($P < 0.05$)

图2 低温对葫芦砧木种质资源丙二醛含量的影响

Fig. 2 Effect of cold stress on MDA content of bottle gourd rootstock seedlings



不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著 ($P < 0.05$)。

图3 低温对葫芦砧木种质资源渗透物质含量的影响.

Fig. 3 Effect of cold stress on osmotic adjustments content of bottle gourd rootstock seedlings

2.3 耐冷指标间的相关性分析

由表 2 可知,低温胁迫下,冷害指数与 *CAT* 活性呈显著负相关。*SOD* 活性与 *CAT* 活性呈极显著负相关,与脯氨酸含量和可溶性蛋白含量呈极显著正相关。*CAT* 活性与 MDA 含量和可溶性蛋白含量呈显著负相关。MDA 含量与脯氨酸含量呈显著正相关,与可溶性蛋白含量呈极显著正相关。脯氨酸含量与可溶性蛋白含量呈极显著正相关。*POD* 活性与其他 6 项指标相关性不显著。因此,冷害指数、*SOD* 活性、*CAT* 活性、MDA 含量、脯氨酸含量、可溶性蛋白含量可以作为葫芦砧木耐冷性的鉴定指标。

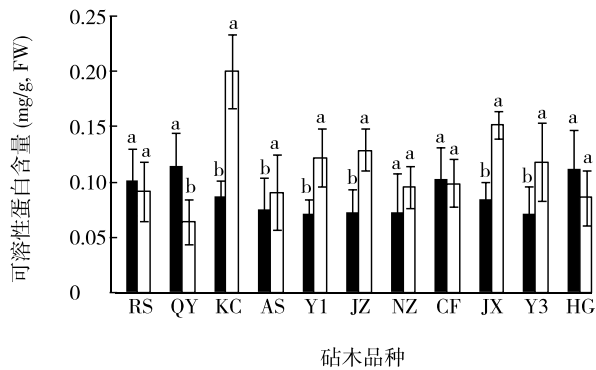


表 2 葫芦砧木种质资源耐冷性指标的相关性分析

Table 2 Correlation matrix of cold toleration indices of bottle gourd rootstock accessions

指标	冷害指数	<i>SOD</i> 活性	<i>POD</i> 活性	<i>CAT</i> 活性	MDA 含量	脯氨酸含量	可溶性蛋白含量
冷害指数	1.000						
<i>SOD</i> 活性	0.454	1.000					
<i>POD</i> 活性	0.355	0.247	1.000				
<i>CAT</i> 活性	-0.662 *	-0.746 **	-0.483	1.000			
MDA 含量	0.316	0.664 *	0.271	-0.628 *	1.000		
脯氨酸含量	0.247	0.807 **	0.058	-0.483	0.689 *	1.000	
可溶性蛋白含量	0.437	0.968 **	0.316	-0.710 *	0.772 **	0.766 **	1.000

* 表示显著相关; ** 表示极显著相关。

2.4 隶属函数法评价不同葫芦砧木品种的耐冷性

耐冷性受多种因素影响,单个指标不能准确反映植株的耐冷性强弱。为了全面分析葫芦砧木幼苗的耐冷性,利用模糊隶属函数法,对与葫芦砧木耐冷

性显著相关的 6 个生理指标进行隶属函数值计算,求其总平均值,对 11 份葫芦砧木进行耐冷性综合评价。由表 3 可知,葫芦砧木耐冷性从强到弱依次为: HG、RS、QY、NZ、CF、AS、Y3、JZ、JX、Y1、KC。

表 3 葫芦砧木种质资源耐冷性综合评价

Table 3 Comprehensive evaluation of bottle gourd rootstock accessions under cold stress

砧木品种	耐冷指标隶属函数值							耐冷性排序
	冷害指数	SOD 活性	CAT 活性	MDA 含量	脯氨酸含量	可溶性蛋白含量	平均隶属度	
RS	1.000	0.825	0.407	0.794	0.960	0.798	0.797	2
NZ	0.146	0.642	0.732	1.000	0.899	0.771	0.698	4
JZ	0.037	0.596	0.742	0.520	1.000	0.523	0.570	8
QY	0.588	1.000	0	0.970	0.898	1.002	0.743	3
KC	0.254	0	0.958	0	0	0.001	0.202	11
CF	0.688	0.722	0.579	0.558	0.896	0.745	0.698	5
AS	0.108	0.679	0.741	0.903	0.720	0.806	0.660	6
JX	0.183	0.342	0.778	0.707	0.796	0.353	0.526	9
Y3	0.113	0.599	0.733	0.805	0.870	0.603	0.620	7
Y1	0	0.626	1.000	0.127	0.719	0.573	0.507	10
HG	0.779	0.741	0.577	0.937	0.915	0.839	0.798	1

2.5 不同葫芦砧木品种耐冷性聚类分析

以平均隶属度为指标,对 11 份葫芦砧木进行聚类分析。结果(图 4)表明,当欧式距离为 4 时,11 份葫芦砧木可分为 3 种耐冷类型:第 1 类群为强耐冷性品种,包括 NZ、CF、AS、RS、HG 和 QY;第 2 类群为中度耐冷性品种,包括 JX、Y1、JZ 和 Y3;第 3 类群为冷敏感性品种 KC。

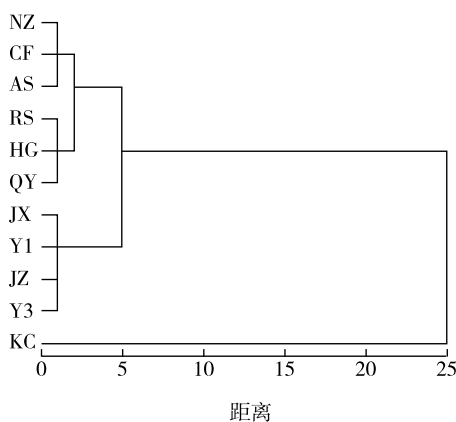


图 4 葫芦砧木种质资源耐冷性的聚类分析

Fig. 4 Cluster analysis of bottle gourd rootstock accessions under cold stress

3 讨论

低温是瓜类作物生产上影响最大、最为普遍的主要非生物胁迫因素之一。低温胁迫下,植株通过调节生理生化代谢和基因表达等进行自我防御^[15-17]。大量研究表明,低温胁迫可引起植株叶片抗氧化酶活

性增强、MDA 含量增加和渗透调节物质增加等现象^[18-19]。因此相关生理生化指标的变化可以作为鉴定植物耐冷性的标准。外部形态的变化和冷害指数能够直观地反映植株受低温伤害的情况^[20-21]。根据低温冷害后叶片枯萎度,曾亚文等^[21]将冷害程度划分为 7 级,并以此标准对 598 份云南稻核心种质进行耐冷性筛选。徐光东等^[9]根据冷害指数及 MDA 含量等 3 项生理生化指标对 14 种甜瓜砧木的抗冷性进行了鉴定。高山等^[22]分析了 11 份 HG 种质的冷害指数、相对电导率和 4 种生理指标与植株耐冷性的关系,结果表明,冷害指数与相对电导率、MDA 含量呈显著正相关,与脯氨酸含量呈显著负相关,而与 SOD 和 POD 活性相关性不显著。苗永美等^[23]对 13 份黄瓜材料在低温下的冷害指数和生理生化指标进行了相关性分析,研究结果表明冷害指数与恢复后成活率的相关性显著,而与总蛋白、电导率、SOD、POD、CAT 和 APX 酶活性的相关性不显著。本研究结合形态指标和生理生化指标,并通过相关性分析对葫芦种质资源进行耐冷性评价。发现冷害指数与 CAT 活性呈显著负相关,而与其他几个生理指标(SOD 活性、POD 活性、MDA 含量等)相关性不显著。该结果与前人的结论不完全一致。这可能与试验材料、生育阶段、处理温度等因素有关,不同的材料对低温响应的机制也存在差异。

本研究中 11 份葫芦砧木材料对低温的响应趋势及变化幅度差异较大。低温处理后,除 SOD 活性在所有材料中均升高以外,其他 5 项生理指标则呈现不规则的变化,说明植物的耐冷性是一个综合性指标,受多种因素影响,单一的鉴定指标不能准确反

映植株的耐冷性本质。本研究采用冷害指数、SOD 活性、POD 活性、CAT 活性、MDA 含量、脯氨酸含量、可溶性蛋白含量等 7 个耐冷性指标对 11 份葫芦砧木进行了评价。研究中发现,不同的葫芦砧木品种对低温的耐受能力各异,若根据单一指标数据进行耐冷性排序,则有多种不同的耐冷性强弱顺序。因此,应结合多个鉴定指标建立一套更加科学的耐冷性评价体系。根据模糊数学的原理,隶属函数法首先将各项指标的数据进行标准化处理,做单向评估,然后再根据各单因素隶属度进行性状的综合评估。目前应用该方法进行多个指标的综合评价已广泛应用于葫芦^[24]、黄瓜^[23]、甜瓜砧木^[9]、瓠瓜^[22]、水稻^[25]等多种作物的抗逆性评价中。在耐冷资源筛选方面,高山等^[22]从 11 份瓠瓜种质中筛选出 2 份耐冷型种质。赵杨等^[25]利用隶属函数法和聚类分析将 19 个早稻品种分为强耐冷性、中耐冷性和冷敏感性 3 个耐冷性等级。本研究通过对与葫芦砧木耐冷性显著相关的 6 项指标的隶属函数值的计算,得出 11 份葫芦砧木中 HG 耐冷性最强,KC 耐冷性最弱。进一步的聚类分析将 11 份葫芦砧木种质分为强耐冷性(NZ、CF、AS、RS、HG 和 QY)、中度耐冷性(JX、Y1、JZ 和 Y3)和冷敏感性(KC)3 个等级,为耐冷葫芦砧木的筛选和品种选育提供了参考。

综上,植物的耐冷性是一个复杂性状,受多种因素影响。本研究采用冷害指数、SOD 活性、POD 活性、CAT 活性、MDA 含量、脯氨酸含量、可溶性蛋白含量等指标和隶属函数法对 11 份葫芦砧木进行了综合耐冷性评价,筛选到了耐冷的葫芦砧木材料。下一步的研究将对筛选获得的耐冷材料进行西瓜嫁接试验,研究嫁接西瓜植株的耐冷性及对西瓜产量和品质的影响。

参考文献:

- [1] 刘 广,羊杏平,侯 茜,等. 2014 年西瓜甜瓜砧木育种领域国内外研究进展[J]. 江西农业学报, 2015, 27(9): 11-16.
- [2] MURATA J, OHARA K. Prevention of watermelon *Fusarium* wilt by grafting *Lagenaria* [J]. Jpn J Phytopathol, 1936, 6:183-189.
- [3] YETISIR H, SARI N. Effect of different rootstock on plant growth, yield and quality of watermelon [J]. Aust J Exp Agr, 2003, 43:1269-1274.
- [4] LIN K H, KUO W S, CHIANG C M, et al. Study of sponge gourd ascorbate peroxidase and winter squash superoxide dismutase under respective flooding and chilling stresses [J]. Sci Hort, 2013, 162:333-340.
- [5] 卢昱宇,冯伟民,陈 罡,等. 蔬菜嫁接技术研究进展及应用[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(7):167-169.
- [6] 李 瑶. 嫁接提高甜瓜耐低温生理机制的研究[D]. 长春:吉林大学, 2014.
- [7] 王文英,刘喜存,董彦琪,等. 不同生理指标对几个砧木嫁接西瓜效果的影响[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(8):144-145.
- [8] 孙吉庆,孙令强,李 敏. 低温胁迫对砧木南瓜 F₁ 代及其亲本幼苗的影响[J]. 北方园艺, 2013(2):20-22.
- [9] 徐光东,张春沂,陶士会,等. 不同甜瓜砧木抗冷性鉴定试验[J]. 山东农业科学, 2012, 44(7):32-33, 36.
- [10] 王金茹. 甜瓜耐低温砧木的筛选及嫁接对品质的影响[D]. 长春:吉林大学, 2014.
- [11] 许 勇,王永健,张 峰,等. 西瓜幼苗耐低温研究初报[J]. 华北农学报, 1997, 12(2):93-96.
- [12] 张志良,翟伟菁. 植物生理学实验指导[M]. 3 版. 北京:高等教育出版社, 2003.
- [13] 箫浪涛,王三根. 植物生理学试验技术[M]. 北京:中国农业出版社, 2005:110.
- [14] 周广生,梅方竹,周竹青,等. 小麦不同品种耐湿性生理指标综合评价及其预测[J]. 中国农业科学, 2003, 36(11):1378-1382.
- [15] 姜振升,孙晓琦,艾希珍,等. 低温弱光对黄瓜幼苗 Rubisco 与 Rubisco 活化酶的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(8):2045-2050.
- [16] 毕焕改,王美玲,姜振升,等. 亚适温弱光对黄瓜幼苗光合酶活性和基因表达的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(11):2894-2900.
- [17] YANG G, ZOU H D, WU Y, et al. Identification and characterization of candidate genes involved in chilling responses in maize (*Zea mays* L.) [J]. Plant Cell Tiss Org, 2011, 106:127-141.
- [18] HUANG M, GUO Z. Responses of antioxidative system to chilling stress in two rice cultivars differing in sensitivity [J]. Biol Plantarum, 2005, 9(1):81-84.
- [19] VICTORIA B, OMAR B, PEDRO D, et al. Response to photoxidative stress induced by cold in japonica rice is genotype dependent [J]. Plant Sci, 2011, 180(5):726-732.
- [20] 李晓明. 黄瓜耐冷指标的筛选及 Ca²⁺ 在黄瓜耐冷中作用的研究[D]. 南京:南京农业大学, 2006.
- [21] 曾亚文,李绅崇,普晓英,等. 云南稻核心种质苗期耐冷性及其地理生态差异[J]. 生态环境, 2006, 15(2):345-349.
- [22] 高 山,许端详,林碧英,等. 低温弱光胁迫下 11 份瓠瓜种质幼苗的耐寒性[J]. 福建农业学报, 2009, 24(1):60-63.
- [23] 苗永美,宁 宇,曹玉杰,等. 黄瓜萌芽期和苗期耐冷性评价[J]. 应用生态学报, 2013, 24(7):1914-1922.
- [24] 阳燕燕,来可可,陈文明,等. 砧用葫芦种质资源耐热性评价[J]. 南方农业学报, 2015, 46(6):1047-1052.
- [25] 赵 杨,魏颖娟,邹应斌. 早稻苗期耐冷性的品种间差异及其评价[J]. 作物杂志, 2015(2):53-58.

(责任编辑:陈海霞)