

蒋媛, 位杰, 林彩霞, 等. 6个香梨品种的低温半致死温度比较及耐寒性评价[J]. 江苏农业学报, 2017, 33(6): 1358-1363.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2017.06.023

6个香梨品种的低温半致死温度比较及耐寒性评价

蒋媛¹, 位杰¹, 林彩霞¹, 王刚¹, 王丙太², 徐其涛², 赵文团¹, 唐震超¹, 李永丰¹

(1. 新疆生产建设兵团第二师农业科学研究所, 新疆 铁门关 841005; 2. 新疆生产建设兵团第二师二十七团八连, 新疆 博湖 841102)

摘要: 研究库尔勒香梨品种的半致死温度与耐寒性的关系及抗寒能力水平, 为杂交育种工作中抗寒亲本的选择以及品种区域性引进栽培提供科学依据。以1年生枝条为试验材料, 采用电导率法测定各品种枝条在-18℃、-22℃、-26℃、-30℃、-34℃、-38℃低温处理下细胞膜透性的变化, 配合 Logistic 方程, 求得半致死温度(LT_{50}), 并与自然条件下的冻害指数进行相关性比较。结果表明, 不同低温处理下各品种枝条的相对电导率和细胞膜伤害率的增加呈“S”形曲线, 与相应的低温呈极显著负相关; 6个香梨品种的低温半致死温度为-24.31℃(新梨6号)、-24.19℃(新梨7号)、-20.53℃(新梨8号)、-25.70℃(新梨9号)、-23.43℃(新梨10号)、-21.37℃(香梨), 半致死温度与田间冻害指数呈显著正相关。半致死温度能准确反映库尔勒香梨的抗寒能力, 供试香梨品种的抗寒力大小为: 新梨9号>新梨6号>新梨7号>新梨10号>香梨>新梨8号。

关键词: 库尔勒香梨; 半致死温度; 耐寒性

中图分类号: S661.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2017)06-1358-06

Evaluation on the cold resistance ability and the semi-lethal temperatures of six Korla fragrant pear varieties

JIANG Yuan¹, WEI Jie¹, LIN Cai-xia¹, WANG Gang¹, WANG Bing-tai², XU Qi-tao², ZHAO Wen-tuan¹, TANG Zhen-chao¹, LI Yong-feng¹

(1. Agricultural Scientific Institute of 2nd Division of Xinjiang Production and Construction Corps, Tiemenguan 841005, China; 2. The 27th Regimental Farm of 2nd Division of Xinjiang Production and Construction Corps, Bohu 841102, China)

Abstract: To provide scientific basis for choosing parents of cold resistance for cross breeding work and regional introduction and cultivation of pear cultivars, the relationship between the semi-lethal temperature and the cold resistance and the cold resistance ability level of hybrid varieties of Korla fragrant pear were studied. Using annual dormant branches in

收稿日期: 2017-05-07

基金项目: 新疆生产建设兵团第二师铁门关市农业科技攻关计划项目(2015NYGG10、2014NYGG13、2011NYGG12); 河北省科技支撑计划项目(16246327D); 新疆生产建设兵团科技支撑项目(2014AB003); 河北省科技支撑计划项目(12246803D)

作者简介: 蒋媛(1989-), 女, 新疆库尔勒人, 硕士, 助理研究员, 主要从事果树栽培生理生态与遗传育种的研究。(Email) 360315184@qq.com

通讯作者: 位杰, (Email) 627weijie@sina.com

five pear cultivars as materials, the changes of cell membrane permeability at -18℃, -22℃, -26℃, -30℃, -34℃ and -38℃ were determined after treatment for 12 hours by using conductance method (control group was not treated with low temperature), and the semi-lethal temperature (LT_{50}) was calculated on the basis of relative electric conductivity combined with Logistic equation. The semi-lethal temperature was compared with the freezing injury index of the natural condition to evaluate the cold resistance ability of these cultivars. The result

showed that the relative electric conductivity of pear branches and membrane injury percentage increased following an “S” curve with the decrease of temperature. The semi-lethal temperature of Xinli No.6, Xinli No.7, Xinli No.8, Xinli No.9, Xinli No.10 and Fragrant pear were $-24.31\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-24.19\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-20.53\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-25.70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-23.43\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $-21.37\text{ }^{\circ}\text{C}$, respectively. Correlation analysis found that the semi-lethal temperature of these cultivars had significant positive correlation with their field freezing injury index. The cold resistance of hybrid progeny of Korla fragrant pear could be accurately reflected by the semi-lethal temperature, the cold resistance of six pear varieties had significant difference, and the order of cold resistance for five pear cultivars was: Xinli No.9>Xinli No.6>Xinli No.7>Xinli No.10>Fragrant pear>Xinli No.8.

Key words: Korla fragrant pear; semi-lethal temperature; cold resistance

库尔勒香梨(*Pyrus sinkiangensis* Yu)简称香梨,属蔷薇科(Rosaceae)梨亚科(Romaceae)梨属(*Pyrus*)植物,栽培历史悠久,是新疆特色林果业中最具代表性的优良树种,因其色泽鲜艳、皮薄肉细、酥脆多汁、果香馥郁等特点而驰名国内外,深受消费者的青睐^[1-2]。随着农业产业结构的优化调整,香梨的特色优势效应日益显著,已成为新疆特色林果业中重要的经济支柱性产业,在出口创汇、农业增效、农民增收等方面发挥着重要的作用^[3-4]。温度是影响果树生长和地理分布的一个重要环境因子,对果树的生长发育起着重要的作用。低温冻害是西北地区梨产业发展的主要限制因子,影响着梨品种的区域性分布^[5]。冻害往往突袭性强、防范不及、破坏面积大、影响时间长,不仅可使花芽冻死而造成大量减产,还能造成枝干冻死,甚至树体整株死亡和毁园,损害数年无法弥补。此外,冻害还常常导致香梨树体在次年发生腐烂病,造成树势衰弱,产量下降,品质变劣,严重影响香梨的健康持续发展^[6-7]。选育抗寒品种是防寒的主要途径之一,近年来,新疆生产建设兵团第二师农业科学研究所及国内其他单位围绕“红色、抗寒、大果”的育种目标开展了以香梨为亲本的一系列杂交育种工作,先后选育出多个优良品种,丰富了香梨种质资源,对这些优良品种的抗寒性进行评价是种质资源鉴定工作中的一项重要内容,也是其能否推广应用的前提。

电导法是一种比较简便、快速、灵敏的植物抗寒性测定方法之一,通过测定植物细胞的电解质外渗率配合 Logistic 曲线方程,推导出半致死温度,能准确地反映植物所忍受的低温极限,进而评价植物抗寒性的强弱^[5,8]。目前,该方法已被广泛应用于多种植物抗寒能力的鉴定,如苹果^[9]、越橘^[10-11]、葡萄^[12-13]、核桃^[14]、枣^[15]、莲雾^[16]、火龙果^[17]、李^[18]、杏^[19]、雀舌黄杨和大叶黄杨^[20]等。关于梨树的抗寒性,李俊才等^[21]用电导法配合 Logistic 方程对洋

梨及洋梨杂种后代的抗寒能力进行了鉴定,并与田间冻害发生级别比较,结果表明,电导法测定梨树枝条抗寒力是比较准确可靠的;王玮等^[5]对7个梨品种的抗寒性进行了测定分析,结果表明电导法测定梨树枝条的电解质外渗率,并与 Logistic 方程配合可以准确地反映梨品种的抗寒能力。目前关于香梨抗寒性的研究多集中在生理生化指标的分析和比较上,而对于电导法配合 Logistic 方程在香梨及其杂交后代抗寒性上的研究则鲜见报道。

本研究以新疆生产建设兵团第二师农业科学研究所选育的4个香梨杂交后代品种(新梨6号、新梨8号、新梨9号、新梨10号)、塔里木大学选育的1个香梨杂交后代品种(新梨7号)和香梨为材料,测定不同低温处理下的电解质外渗率,并配合 Logistic 方程求得各品种的低温半致死温度,确定各品种的抗寒水平,结合自然条件下的田间冻害指数进行比较分析,旨在为香梨及其杂交后代抗寒生理的深入研究、优良品种的选育及生产上品种结构的调整提供科学的参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料取自新疆生产建设兵团第二师农业科学研究所梨种质资源保存圃中,供试品种为新梨6号(香梨♀×苹果梨♂)、新梨7号(香梨♀×早酥梨♂)、新梨8号(香梨♀×鸭梨♂)、新梨9号(香梨♀×苹果梨♂)、新梨10号(香梨♀×鸭梨♂),以香梨为对照。2017年1月中旬取各品种生长势相近、长度一致、4个方位的1年生休眠枝条,带回实验室进行低温处理。低温处理采用 DW-40L92 海尔超低温冰箱,控温精度 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

1.2 方法

1.2.1 材料处理 将采集来的1年生枝条先用自来水冲洗2~3次,然后用蒸馏水和去离子水各冲洗

2~3次,洗后用干净的细纱布将水擦干,用石蜡将枝条两端的剪口封闭。每个品种分成7组,每组10条枝段,其中1组作为对照(CK),其余6组用纱布和保鲜膜依次包裹后分别放置在-18℃、-22℃、-26℃、-30℃、-34℃、-38℃低温下进行处理,降温 and 升温速率均为4℃/h,到达设定的温度后保持12h,之后逐步升温至4℃,然后取出转入4℃冰箱冷藏室中进行保存。以-8℃(取样时的田间温度)保存的枝条为对照,进行电导率的测定。

1.2.2 测定方法 剪取对照和冷冻处理后枝条的中间部分,避开芽眼,切成厚度为0.2cm的薄片,混合均匀后每个处理分别称取3.0g样品,放入50ml的三角瓶中,加入30ml的去离子水,在室温条件下浸提18h,摇匀后用DDS-307型电导率仪测定初电导率(C_1), C_1 代表低温处理后枝条的电解质渗出量。然后再将其放入沸水中水浴60min(用保鲜膜封住瓶口),同样在室温条件下浸提18h,测定终电导率(C_2), C_2 代表低温处理后枝条的原生质膜被全部破坏后所渗出的电解质总量。各处理重复测定3次,取平均值。

用下列公式计算相对电导率和细胞膜伤害率:

$$\text{相对电导率} = C_1 / C_2 \times 100\%$$

$$\text{细胞膜伤害率} = [(R_t - R_{CK}) / (100 - R_{CK})] \times 100\%$$

其中: R_t 为低温处理下的电解质渗出率, R_{CK} 为对照样品的电解质渗出率^[17]。

将各温度处理下的相对电导率拟合 Logistic 方程 $y = k / (1 + ae^{-bx})$, y 为相对电导率, x 为相应的处理温度, k 为细胞伤害率的饱和容量(在本试验中为100), a 、 b 为参数。为了确定 a 、 b 的值,令 $y' = \ln[(k-y)/y]$, 将 Logistic 方程 $y = k / (1 + ae^{-bx})$ 转化为 $\ln[(k-y)/y] = \ln a - bx$, 变成转化相对电导率(y')与处理温度(x)的直线方程,通过直线回归的方法求出对应参数 a 和 b 的值及相关系数 r ,进而求得拐点温度(x), $x = \ln a / b$, 即为半致死温度(LT_{50})值^[5,22-23]。

田间冻害的分级标准:

0级:无冻害。

1级:一年生枝条的横切面髓部变为褐色,木质部及皮层完好。

2级:一年生枝条的横切面髓部变为黑色,木质部、皮层变褐。

每个品种选择10株调查冻害级别,计算冻害指数。

$$\text{冻害指数} = \sum (\text{各级冻害发生枝} \times \text{相应代表值}) / (\text{调查总枝数} \times \text{最高级代表值}) \times 100\%$$

用 Excel 进行数据统计,用 SPSS 18.0 软件分析相关系数和获得 Logistic 方程拟合参数。

2 结果与分析

2.1 不同低温处理下6个香梨品种的相对电导率

6个香梨品种枝条在不同温度处理下的相对电导率的变化如图1所示。从图1可以看出,6个香梨品种的枝条相对电导率随温度的降低总体上呈现不断上升的趋势,处理温度与相对电导率之间呈现极显著的负相关性,相关系数为-0.9002~-0.9643,但上升的速度并不均匀。低温处理初期相对电导率上升相对较为缓慢,随着温度的进一步降低,相对电导率迅速上升,随后又趋于平缓,处理温度与相对电导率之间呈典型的“S”型变化。-18~-22℃时,香梨、新梨7号和新梨8号的相对电导率逐渐增加,增幅分别为9.28个百分点、1.43个百分点和8.50个百分点,新梨6号、新梨9号和新梨10号的相对电导率略有下降;-22~-26℃时,6个香梨品种的相对电导率均开始迅速上升,6个香梨品种相对电导率均在-22~-26℃增幅最大,尤以新梨6号增幅最大(21.08个百分点),6个香梨品种相对电导率平均上升17.36个百分点,说明细胞电解质渗出量较大,细胞膜受到的不可逆伤害程度加剧。在-26~-30℃时,各品种枝条的相对电导率上升速率变慢,平均上升了10.43个百分点;在-30~-34℃时,各品种枝条的相对电导率上升速率也较为缓慢,平均上升了8.35个百分点;在-34~-38℃时,各品种枝条的相对电导率上升速率明显变缓,平均只上升了2.87个百分点,其中,新梨6号的相对电导率略有下降。从-8℃到-38℃的降温过程中,6个香梨品种相对电导率的增幅明显不同,从高到低依次为新梨8号(49.80个百分点)>香梨(47.35个百分点)>新梨10号(46.40个百分点)>新梨6号(45.12个百分点)>新梨7号(41.69个百分点)>新梨9号(41.18个百分点)。

2.2 不同低温处理下6个香梨品种的细胞膜伤害率

6个香梨品种枝条在不同温度处理下的细胞膜

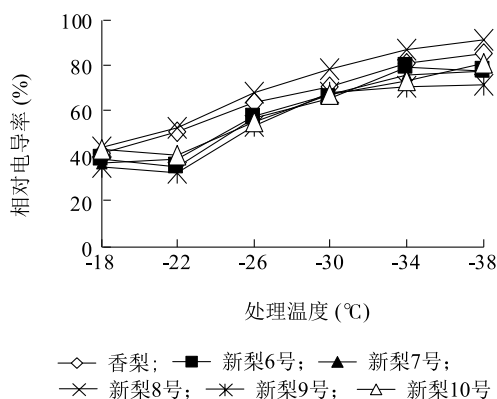


图1 低温处理后枝条相对电导率的变化

Fig.1 Changes of relative electric conductivity in shoots after low temperature treatments

伤害率的变化如图2所示,由图2可以看出,低温处理后,6个香梨品种枝条的细胞膜伤害率与相对电导率具有相似的变化规律,处理温度与细胞膜伤害率之间也呈典型的“S”型变化。在处理温度范围内,各品种枝条的细胞膜伤害率随着温度的降低总体上呈现不断上升的趋势,经-18℃到-38℃的低温处理,6个品种枝条的细胞膜伤害率增幅从高到低依次为新梨8号(84.32个百分点)>香梨(76.00个百分点)>新梨10号(70.64个百分点)>新梨7号(65.96个百分点)>新梨6号(65.62个百分点)>新梨9号(58.93个百分点)。相关性分析结果表明,处理温度与细胞膜伤害率之间呈现极显著的负相关,相关系数为-0.898 9~-0.987 0。

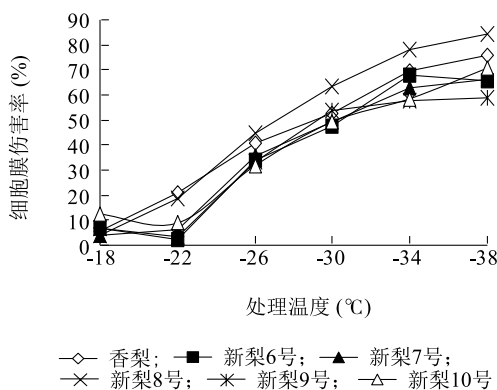


图2 低温处理后枝条细胞膜伤害率的变化

Fig.2 Changes of membrane injury rate in shoots after low temperature treatments

6个香梨品种枝条的细胞膜伤害率随温度的降

低变化的速率有所不同。-18℃时各品种的细胞膜所受的伤害程度较轻,其中新梨10号的细胞膜伤害率明显较高,新梨7号的细胞膜伤害率明显较低。-18~-22℃时,香梨和新梨8号枝条的细胞膜伤害率不断上升,尤以香梨的增幅最大(14.89个百分点),新梨7号的增幅较小(2.16个百分点),新梨6号、新梨9号和新梨10号的细胞膜伤害率略微下降;-22~-26℃时,各品种枝条的细胞膜伤害率急剧升高,新梨6号的增幅最大(31.77个百分点),其次为新梨9号(29.64个百分点)和新梨7号(29.51个百分点),香梨的增幅较小(19.89个百分点);-26~-30℃时,新梨8号、新梨9号和新梨10号枝条的细胞膜伤害率仍在加剧增加,增幅分别为18.65个百分点、20.83个百分点和17.53个百分点,香梨、新梨6号和新梨7号的增幅明显减缓;-30~-34℃时,香梨、新梨6号、新梨7号和新梨8号枝条的细胞膜伤害率又迅速增大,新梨9号和新梨10号的细胞膜伤害率增幅较为平缓;-34~-38℃时,新梨6号的细胞膜伤害率略微下降,除新梨10号外,其他品种的增加幅度已明显减小。此时,细胞膜已受到不可逆的严重伤害。

2.3 不同低温处理下6个香梨品种的半致死温度

应用 Logistic 方程对不同低温处理下的相对电导率进行拟合。结果表明,供试梨品种相对电导率与温度之间能较好地用 Logistic 方程进行拟合,相关系数为-0.935 5~-0.997 5,均达极显著水平,拟合结果可靠,精确度较高。6个香梨品种的半致死温度为-20.53~-25.70℃,其中,抗寒能力最强的是新梨9号,其 LT_{50} 为-25.70℃;其次是新梨6号,其 LT_{50} 为-24.31℃;然后是新梨7号、新梨10号,其 LT_{50} 分别为-24.19℃、-23.43℃;抗寒性最差的是新梨8号,抗寒性比香梨低(表1)。6个香梨品种抗寒性强弱顺序为新梨9号>新梨6号>新梨7号>新梨10号>香梨>新梨8号。

2.4 半致死温度与田间冻害指数的相关性分析

2011年1月,新疆库尔勒地区出现了54年来的极端最低温度(-28℃),试验区6个香梨品种均发生了不同程度的冻害。通过相关性分析,田间冻害指数与所测的枝条半致死温度呈显著正相关,相关系数为0.961 7,达到极显著水平(表2),表明电导法拟合 Logistic 方程评价香梨树枝条抗寒性的强弱是较为准确的。

表 1 不同香梨品种的 Logistic 拟合回归方程及半致死温度

Table 1 Logistic fitting equation and semi-lethal temperature of different pear cultivars

品种	Logistic 方程	相关系数	半致死温度 (°C)
香梨	$y = 100 / (1 + 9.9513e^{-0.1075x})$	-0.997 5 **	-21.37
新梨 6 号	$y = 100 / (1 + 12.8135e^{-0.1049x})$	-0.953 5 **	-24.31
新梨 7 号	$y = 100 / (1 + 11.5640e^{-0.1012x})$	-0.975 6 **	-24.19
新梨 8 号	$y = 100 / (1 + 15.6865e^{-0.1341x})$	-0.996 7 **	-20.53
新梨 9 号	$y = 100 / (1 + 11.0276e^{-0.0934x})$	-0.935 5 **	-25.70
新梨 10 号	$y = 100 / (1 + 9.2387e^{-0.0949x})$	-0.967 4 **	-23.43

** 表示相关性达 0.01 极显著水平。

表 2 田间冻害级别与半致死温度的相关性分析

Table 2 Correlation analysis between semi-lethal temperature and freezing injury index in field

品种	半致死温度 (°C)	田间冻害指数 (%)
香梨	-21.37	60
新梨 6 号	-24.31	20
新梨 7 号	-24.19	20
新梨 8 号	-20.53	60
新梨 9 号	-25.70	15
新梨 10 号	-23.43	25

田间自然温度达 -28 °C, 已经超过了 6 个香梨品种的半致死温度, 除香梨和新梨 8 号发生较为严重的冻害外, 其余 4 个品种只发生了轻微的不明显冻害, 春季树液流动后即恢复生长, 表明在自然条件下, 6 个香梨品种枝条的抗寒能力相对高于室内离体状态下的抗寒性。

3 讨论

膜系统是植物遭受低温伤害和抗低温伤害的关键结构, 当植物遭受低温胁迫时, 生物膜由液晶态变为凝胶态, 膜透性会发生不同程度的增大, 主动运输机制受到损害, 电解质外渗量增加, 导致电导率增大^[24-25]。相对电导率是反映植物组织受冻后细胞原生质膜透性大小的重要指标, 细胞膜伤害率能反映植物细胞膜所受伤害的程度, 二者是间接评价植物抗寒能力强弱的有效方法。外渗电解质越多, 电导率越大, 细胞膜受伤害程度越大, 植物抗寒性越弱, 反之则抗寒性越强。随着温度的降低, 6 个香梨品种的细胞膜透性逐渐改变或丧失, 细胞内的物质

大量渗出, 相对电导率和细胞膜伤害率变化的总趋势是升高的, 相对电导率和细胞膜伤害率随处理温度的降低呈现典型的“S”型变化。低温处理初期, 相对电导率的变化较为平缓, 新梨 6 号、新梨 9 号和新梨 10 号在 -18 °C ~ -22 °C 相对电导率略有下降, 这可能是一种低温逆境条件下的自我保护反应, 该阶段质膜所受的伤害尚处于可逆阶段, 能够进行正常的主动运输, 从而调整细胞质的外渗量, 导致相对电导率变化平缓或下降, 但这种自我保护因品种的不同而有差异, 与各品种对低温的应激反应能力有关, 这与王玮等^[5]、李俊才等^[21]、高爱农等^[26]的研究结果相一致。随着温度的进一步降低, 相对电导率迅速升高, 细胞膜受到的伤害程度加剧, 相对电导率升高的幅度因品种而异, 这是各品种枝条在细胞结构上存在差异的表现。低温处理后, 各品种相对电导率变化较为平缓, 说明此时细胞膜透性已遭到严重破坏, 运输功能受损, 膜透性呈不可逆的状态。而新梨 6 号在 -34 ~ -38 °C 时相对电导率出现下降, 有可能是质膜已被严重破坏, 完全丧失了主动运输功能, 低温造成离子的活性下降, 从而导致相对电导率的下降, 这与王玮等^[5]在丰水、美人酥和玉露香梨上的研究结果相一致。

低温半致死温度是指植物在该温度时达到半致死状态, 当温度继续降低时, 植物所遭受的伤害将不能恢复, 严重的甚至死亡。利用电导法配合 Logistic 方程估算半致死温度, 评价植物组织的抗寒性差异在多种植物上取得了良好的效果。任俊杰等^[14]在核桃抗寒性上的研究发现, 半致死温度可以衡量不同核桃品种叶片和子房的抗霜冻能力的强弱; 付晓伟等^[27]认为半致死温度与其他生理生化指标的相关性极高, 可以作为葡萄根系抗寒性鉴定的主要指标之一; 克热木·伊力等^[28-29]的研究结果表明, 在与香梨抗寒性相关的指标中, 相对电导率的贡献率最大, 可单独作为香梨树抗寒性的鉴定指标。本研究利用相对电导率拟合 Logistic 方程计算各品种的低温半致死温度, 相关系数达极显著水平, 表明拟合结果准确度较高。6 个香梨品种的低温半致死温度从高到低依次为新梨 8 号 -20.53 °C、香梨 -21.37 °C、新梨 10 号 -23.43 °C、新梨 7 号 -24.19 °C、新梨 6 号 -24.31 °C 和新梨 9 号 -25.70 °C, 抗寒性强弱顺序为新梨 9 号 > 新梨 6 号 > 新梨 7 号 > 新梨 10 号 > 香梨 > 新梨 8 号, 这与田间调

查结果相一致,表明利用电导法配合 Logistic 方程估算半致死温度可以便捷、准确地评价香梨杂交后代抗寒性的强弱。

半致死温度与田间冻害指数结合更能客观地反映不同香梨品种的抗寒性强弱。王文举等^[30]认为半致死温度是基于人工模拟低温环境下测定的,不能完全反映出自然条件下的冻害,而且供试材料的选择也会影响结果的准确性。李俊才等^[21]的研究结果也表明,自然条件下洋梨枝条的抗寒能力相对高于室内离体状态。本研究采用的是人工模拟低温环境对6个香梨品种的离体休眠枝条进行抗寒性测定的结果,不能完全反映田间复杂的自然条件下的气候变化情况,但本试验是在同一条件下进行测定的,其结果在品种之间具有可比性,可以比较出品种间的抗寒性差异。综合分析结果表明,半致死温度与田间冻害指数结合可以客观真实反映各香梨品种的抗寒能力。

参考文献:

- [1] 江振斌,廖 康,庞洪翔,等.库尔勒香梨3种树形树干液流变化及其与气象因子的关系[J].果树学报,2016,33(7):814-822.
- [2] 何子顺,李芳芳,张绍铃,等.套袋对‘库尔勒香梨’果实中游离脂肪酸和游离氨基酸含量的影响[J].果树学报,2016,33(7):804-813.
- [3] 孙晓霞,牛建新,王博慧,等.‘库尔勒香梨’脱萼组与宿萼组样品差异表达基因的筛选[J].果树学报,2015,32(6):1020-1027.
- [4] 徐 超,王雪梅,陈波浪,等.不同树龄‘库尔勒香梨’园土壤养分的特征[J].果树学报,2016,33(3):275-282.
- [5] 王 玮,李红旭,赵明新,等.7个梨品种的低温半致死温度及耐寒性评价[J].果树学报,2015,32(5):860-865.
- [6] 李海燕,杨诗芳,巴哈古丽·买买提.2000年以来库尔勒市果树冻害气象条件综合分析[J].沙漠与绿洲气象,2010,4(4):55-58.
- [7] 林彩霞,吴运建,鲁晓燕,等.不同冻害程度对香梨生理指标的影响[J].安徽农业科学,2015,43(10):121-123,125.
- [8] 万仲武,王文举.用电导法配合 Logistic 方程确定灵武长枣抗寒性的研究[J].宁夏农林科技,2012,53(11):89-90.
- [9] 李淑玲,冯建荣,李亚兰,等.引入石河子地区的苹果品种抗寒性检测[J].果树学报,2013,30(5):798-802.
- [10] 魏 鑫,刘 成,王兴东,等.6个高丛越橘品种低温半致死温度的测定[J].果树学报,2013,30(5):798-802.
- [11] EHLENFELDT M K, OGDEN E L, ROWLAND L J. Evaluation of midwinter cold hardness among 25 rabbiteye blueberry cultivars [J]. Hortscience, 2006, 41(3): 579-581.
- [12] 王 依,靳 娟,罗强勇,等.4个酿酒葡萄品种抗寒性的比较[J].果树学报,2015,32(4):612-619.
- [13] 高登涛,白 茹,鲁晓燕,等.引入石河子地区的5个葡萄砧木抗寒性比较[J].果树学报,2015,32(2):232-237.
- [14] 任俊杰,赵 爽,李美美,等.不同核桃品种抗霜冻能力的评价[J].林业科学,2014,50(9):67-72.
- [15] 王长柱,高京草,李新岗,等.西北地区枣树主栽品种抗寒性研究[J].果树学报,2011,28(5):898-902.
- [16] 张绿萍,蔡永强,金吉林,等.莲雾不同种的低温半致死温度及抗冷适应性[J].果树学报,2012,29(2):291-295.
- [17] 邓仁菊,范建新,王永清,等.低温胁迫下火龙果的半致死温度及抗寒性分析[J].植物生理学报,2014,50(11):1742-1748.
- [18] 赵 蕾,廖 康,王 瑾,等.野生欧洲李抗寒性研究初探[J].中国农学通报,2009,25(6):97-100.
- [19] FRANCKO D A, WILSON K G, LI Q S Q, et al. A topical spray to enhance plant resistance to cold injury and mortality [J]. Hort Technology, 2011, 21(1): 109-118.
- [20] 马俊青,卢绍辉,袁国军,等.利用电导法测定雀舌黄杨和大叶黄杨的耐寒性[J].江苏农业科学,2016,44(5):209-210.
- [21] 李俊才,刘 成,王家珍,等.洋梨枝条的低温半致死温度[J].果树学报,2007,24(4):529-532.
- [22] 刘世红,田耀华,魏丽萍,等.西双版纳30个橡胶树品种的低温半致死温度计低温对抗氧化系统的影响[J].植物生理学报,2011,47(5):505-511.
- [23] 章文才.果树研究法[M].北京:中国农业出版社,1979:324.
- [24] 曹红星,宋唯一,孙程旭,等.应用电导率法及 Logistic 方程测试椰子幼苗耐寒性的研究[J].广西植物,2009,29(4):510-513.
- [25] 魏秀清,许 玲,章希娟,等.莲雾对低温胁迫的生理响应及抗寒性分析[J].果树学报,2016,33(1):73-80.
- [26] 高爱农,姜淑荣,赵锡温,等.苹果品种抗寒性测定方法的研究[J].果树学报,2000,17(1):17-21.
- [27] 付晓伟,张 倩,刘崇怀,等.评价葡萄根系抗寒性指标的确定[J].果树学报,2014,31(1):52-59.
- [28] 克热木·伊力,买合木提·卡热,龙春跃,等.不同产量库尔勒香梨枝条抗寒性的评价[J].新疆农业科学,2010,47(2):230-236.
- [29] 克热木·伊力,龙春跃,买合木提·卡热,等.不同药剂处理对库尔勒香梨枝条抗冻性的影响[J].新疆农业大学学报,2009,32(5):56-62.
- [30] 王文举,张亚红,牛锦凤,等.电导法测定鲜食葡萄的抗寒性[J].果树学报,2007,24(1):34-37.

(责任编辑:陈海霞)