

网络出版时间:2014-05-28 11:34

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.06.012

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.06.012.html>

平欧杂交榛抗寒生理特性研究

韩俊威^{1,2}, 董玉芝¹, 宋锋惠^{1,2}, 史彦江², 韩 强¹

(1 新疆农业大学 林学与园艺学院, 新疆 乌鲁木齐 830052; 2 新疆林科院 经济林研究所, 新疆 乌鲁木齐 830063)

【摘 要】 【目的】研究不同低温处理对平欧杂交榛枝条抗寒生理指标的影响,探讨杂交榛抗寒性与膜透性、渗透调节物质含量、膜脂过氧化性、过氧化物酶活性及萌芽率的关系,为杂交榛的高抗寒性育种和栽培提供依据。**【方法】**以平欧杂交榛品种新榛 1 号(84-254)、新榛 2 号(82-11)、新榛 3 号(84-310)和平顶黄(80-43)的 1 年生枝条为试验材料,分别于-15,-20,-25,-30,-35 和-40 ℃的低温下处理 24 h,以-15 ℃处理的枝条为对照,研究在低温条件下杂交榛枝条的电解质渗出率、游离脯氨酸(游离 Pro)和丙二醛(MDA)含量、过氧化物酶(POD)活性及萌芽率的变化。**【结果】**在不同低温处理下,各榛子品种的电解质渗出率和 MDA 含量均随温度的降低而增高,其中新榛 2 号、平顶黄的电解质渗出率和 MDA 含量均高于新榛 1 号和新榛 3 号,2 个指标以新榛 1 号最小;4 个品种的游离 Pro 含量均随温度的降低而增高,以新榛 1 号最大,新榛 3 号次之,新榛 2 号和平顶黄较接近;POD 活性和萌芽率均随温度的降低而降低,其中新榛 1 号始终保持最大。4 个品种的上述生理指标、萌芽率与处理温度呈显著相关性;电解质渗出率与 MDA 含量、游离 Pro 含量、POD 活性、萌芽率呈极显著相关性。同一品种的 MDA 含量在不同处理温度间差异达显著水平,而其他生理指标差异达极显著水平。**【结论】**综合分析各品种抗寒性生理指标,推测其抗寒性强弱顺序为:新榛 1 号最强,新榛 3 号次之,新榛 2 号较弱,平顶黄最弱;电解质渗出率、MDA 含量、游离 Pro 含量、POD 活性和萌芽率可以作为评价杂交榛抗寒性的生理指标。

【关键词】 杂交榛;抗寒性;生理指标;萌芽率;相关性分析

【中图分类号】 S664.403.4

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2014)06-0138-07

Study on character of cold-resistance physiological of *Corylus heterophylla* × *Corylus avellana*

HAN Jun-wei^{1,2}, DONG Yu-zhi¹, SONG Feng-hui^{1,2}, SHI Yan-jiang², HAN Qiang¹

(1 College of Forestry and Horticulture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China;

2 Xinjiang Academy of Forestry Sciences, Urumqi, Xinjiang 830063, China)

Abstract: 【Objective】 Effects of low temperature treatment on physiological indexes of hybrid hazel branches, and the relationship of hybrid hazel cold resistance and membrane permeability, content of osmotic adjustment material, membrane lipid peroxidation, peroxidase and germination rate, were investigated to improve breeding and cultivation planting of hybrid hazel varieties with cold resistance. **【Method】** 1-year-old twigs of hybrid hazelnut varieties, Xinzhen 1(84-254), Xinzhen 2(82-11), Xinzhen 3(84-310), and Pingdinghuang (80-43) were pretreated for 24 hours with low temperatures of -15, -20, -25, -30, -35, and -40 ℃, respectively. Treatment with temperature of -15 ℃ was taken as the control. Changes of electrolyte leakage, contents of proline (Pro) and malondialdehyde (MDA), peroxidase (POD) activity and germination rate of branches were analyzed. **【Result】** Electrolyte leakage rate and MDA content of each hazelnut

【收稿日期】 2013-09-22

【基金项目】 中央财政林业科技推广示范项目(xjlk(2013)007号)

【作者简介】 韩俊威(1988-),男,河南周口人,在读硕士,主要从事果树抗逆性育种研究。E-mail: hanjunwei2012@126.com

【通信作者】 宋锋惠(1967-),女,山东聊城人,研究员,主要从事果树栽培与生理研究。E-mail: sfh1111@126.com

variety increased as the decrease of temperature. The electrolyte leakage rate and MDA content of Xinzhen 2 and Pingdinghuang were higher than those of Xinzhen 3, and those of Xinzhen 1 were the minimum. Pro contents of all four varieties increased along with the decrease of temperature, Xinzhen 1 had the maximum value, followed by Xinzhen 3, and contents of Xinzhen 2 and Pingdinghuang were similar. POD activity and germination rate decreased as the decrease of temperature, and those of Xinzhen 1 were the maximum. The physiological indexes and germination rate significantly correlated with the treatment temperature. Electrolyte leakage was significantly related to MDA content, Pro content, POD activity and germination rate. At different temperatures, MDA content of each variety was significant different, while other indexes were extremely significant different. 【Conclusion】 Based on comprehensive analysis of different physiological and biochemical indexes, the cold resistances of the varieties were in a decreasing order of: Xinzhen 1 > Xinzhen 3 > Xinzhen 2 > Pingdinghuang. Electrolyte leakage, MDA, Pro, POD and germination rate could be used to evaluate cold-resistance of hazel varieties.

Key words: hazel; cold-resistance; physiological index; germination rate; correlation analysis

榛子为桦科(Corylaceae)榛属(*Corylus*)植物,全球约有16个种,中国天然分布的有8个种和2个变种。自20世纪90年代末平欧杂交榛(*Corylus heterophylla* × *Corylus avellana*)选育成功后,已逐渐取代平榛(*C. heterophylla*)和欧洲榛(*C. avellana*)成为我国北方的主要栽培种^[1]。榛子营养丰富,其果仁含油量47%~68%,含蛋白质23%,脂肪56%~65%,淀粉6.6%,还含有维生素A、B、E以及铁、钙等矿质元素,具有极高的营养价值和经济价值^[2]。新疆地处欧亚大陆腹地,具有丰富的光、热资源,与平欧杂交榛原产地(东北地区)有相似的地理纬度和生态环境,新疆林科院自2001年开始从东北地区引进平欧杂交榛,这不仅丰富了新疆的坚果种类,而且可促进当地的经济发展^[3],增加农民的经济收入;同时,种植榛树还能固结土壤、涵养水源,起到水土保持的作用^[2],有助于改善新疆种植区的土壤和水环境,因此杂交榛在新疆的种植发展前景较好。平欧杂交榛可以在北纬42°以南良好生长,耐低温;而在北纬42°~47°会出现冻害、抽条等现象^[4]。新疆北部地区处于此纬度区间内,冬季较长,温度较低,易出现极端低温,果树常会遭受不同程度的冻害,影响产量,给生产带来损失。由于新疆独特的气候地理和环境因素,使得该区域发展榛子经济有很大潜力,然而该树种的冻害、抽条等问题成为其大面积推广的一个制约因子。因此,研究榛子抗寒性生理特性和选育高抗寒性榛子品种尤为重要。

目前,关于果树的抗寒适应性已有不少报道,如对梨^[5]、扁桃^[6]、樱桃^[7]、葡萄^[8]、杏^[9]、枣^[10]等的抗寒性研究,不仅探究了低温胁迫使得质膜透性改变或丧失而使其透性增大的原因^[11],而且也对渗透调

节物质及酶活性等指标在低温胁迫下的变化规律有了一定认识。但迄今有关榛子的抗寒研究,特别是对引种到新疆的杂交榛抗寒性方面的研究报道还很少。

为了深入研究杂交榛的抗寒生理特性,本试验以平欧杂交榛4个品种的1年生休眠枝条为试验材料,在不同低温条件下处理24 h,对其电解质渗出率、丙二醛含量、游离脯氨酸含量、过氧化物酶活性及萌芽率等指标进行测定,研究各项抗寒生理指标在低温胁迫下的变化情况,分析其与低温的相关性,以期筛选出抗寒性较强的品种,为杂交榛的高抗寒性育种和栽培提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

2013-01月上旬在新疆伊犁州霍城县大西沟乡果树站榛子资源汇集圃采集平欧杂交榛品种新榛1号(84-254)、新榛2号(82-11)、新榛3号(84-310)和平顶黄(80-43)的枝条,选取植株中上部、充分成熟、无病虫害、粗度接近、长度为30~40 cm的1年生枝条作为试材,所选枝条的朝向和部位尽量一致,用凡士林涂抹剪口,按品种贴上标签装入聚乙烯袋中,带回实验室,贮存于0~4℃冰箱内。

1.2 方法

1.2.1 低温胁迫处理 将采回的1年生枝条剪成30 cm长的小段,用自来水、蒸馏水冲洗干净,再用吸水纸吸干水分,放入密封袋内。将每个品种分成6份,每份有6根枝条,用干净纱布包裹放入塑料袋中,置于可控超低温冰箱中进行人工低温处理,设-15(对照),-20,-25,-30,-35和-40℃共6

个低温梯度,冷冻时的降温幅度和解冻时的升温幅度均为 4 ℃/h,冷冻降温到处理温度时,维持 24 h,然后解冻,室温下放置 2 h 后,进行有关生理指标的测定。

1.2.2 生理指标测定 (1)电解质渗出率。参照王飞等^[12]的方法并加以改进:将处理后的枝条剪成约 2 cm 长的小段(避开芽眼),放置于铺有去离子水润湿滤纸的培养皿中,用电子天平称取 1 g 样品,放入三角瓶中(每个处理重复 3 次),标记后加入 20 mL 去离子水,在室温下浸提 12 h,用 DDS-307 型电导率仪测定浸提液煮沸前的电导率,然后将样品置于沸水浴中煮沸 15 min,将浸提液定容至 20 mL,待冷却至室温时,摇匀,测定浸提液煮沸后的电导率,用下式计算电解质渗出率:

电解质渗出率=煮沸前的电导率/煮沸后的电导率×100%。

(2)丙二醛(MDA)含量。采用硫代巴比妥酸比色法测定^[13],分别在波长 450,532 和 600 nm 下测定其吸光度值,计算其含量。

(3)游离脯氨酸(游离 Pro)含量。采用茆三酮法^[14]测定。

(4)过氧化物酶(POD)活性。采用愈创木酚法^[13]测定。

(5)萌芽率。将处理后的枝条扦插于温室(温度 20~25 ℃)花盆内,每个花盆内扦插 6 根枝条,以体积比为 1:1 的蛭石和珍珠岩作为基质,每处理重复 3 次,1 个月后统计枝条上芽的萌发情况,按下式计算萌芽率:

萌芽率=萌发芽个数/扦插枝条芽的总数×100%。

1.2.3 数据分析 采用 Excel 2007 和 SPSS 17.0 软件,对试验数据进行预处理及方差分析和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 低温胁迫后不同杂交榛品种枝条的电解质渗出率

外渗电导率法是植物抗寒性研究的一种常用方法,电解质渗出率越低,则抗寒性越强;反之电解质渗出率越高,则抗寒性越弱^[6,15]。由图 1 可以看出,榛子枝条经不同低温处理后,电解质渗出率随处理温度的降低而升高,但上升速度并不均匀。处理温度与电解质渗出率之间呈负相关,相关系数为-0.957~-0.989,达到极显著水平($P<0.01$)。

在-15~-25 ℃,4 个品种的电解质渗出率均逐渐升高;到达 -25 ℃ 时,平顶黄和新榛 2 号的电解质渗出率较大,分别是对照(CK)的 1.27 倍和 1.21 倍,而新榛 1 号和新榛 3 号分别是对照的 1.17 倍和 1.14 倍;在 -25~-35 ℃,各品种电解质渗出率增幅较大,平顶黄、新榛 2 号、新榛 1 号和新榛 3 号的电解质渗出率增幅分别达 39.7%,46.0%,55.1%和 53.7%;在 -35~-40 ℃,电解质渗出率上升速率变缓,平均增长了 4.2%,表明细胞膜组织受损较为严重,渗出的电解质接近饱和量,细胞膜受到不可逆伤害。在不同低温处理下,电解质渗出率变化趋势呈“S”型曲线。

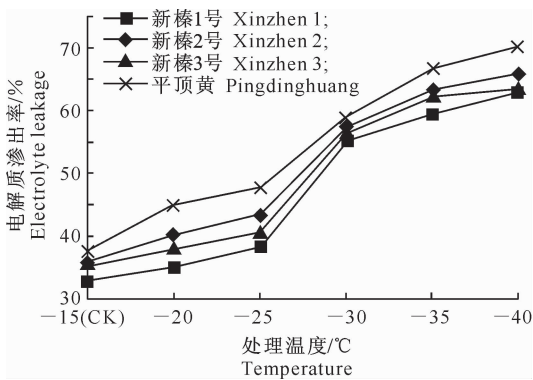


图 1 低温胁迫下平欧杂交榛不同品种枝条的电解质渗出率

Fig. 1 Changes of electrolyte leakage in branches from different hybrid hazelnut varieties under low temperature stress

方差分析结果显示,各品种电解质渗出率平均值在不同低温处理间的差异性达到极显著水平($P<0.01$),经多重比较,其在-25~-35 ℃间差异显著($P<0.05$),此阶段随着温度的降低枝条受侵害程度加重,电解质渗出率急骤上升,说明枝条组织细胞受到的伤害加剧,膜透性增加,细胞内电解质大量外渗。

2.2 低温胁迫后不同杂交榛品种枝条的 MDA 含量

许多研究认为,植物材料中的 MDA 含量可以用来评价植物的抗寒性^[16]。植物器官衰老或在逆境条件下往往发生膜脂过氧化损伤,导致 MDA 含量上升。通常将 MDA 含量作为膜脂过氧化指标,表示细胞膜脂过氧化程度及对逆境反应的强弱,MDA 含量高说明植物抗寒性弱,反之则抗寒性强^[10]。由图 2 可以看出,4 个杂交榛品种的 MDA 含量均随温度的降低而升高,处理温度与 MDA 含量呈负相关,相关系数为-0.889~-0.985,达到显著水平($P<0.05$)。在-15~-20 ℃,新榛 1 号的

MDA 含量增长幅度较大,为 28.2%,之后增幅趋缓,这是因为新榛 1 号在低温胁迫开始时不适应,应激反应较大,之后随着自身调节的进行,MDA 含量增长维持平稳状态;新榛 2 号在 $-25\sim-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, MDA 含量增长较为剧烈, $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 后,基本保持恒定状态,但在处理低温内,新榛 2 号 MDA 含量始终最大;在处理低温内,新榛 3 号 MDA 含量的增长速率较为均衡,平均增幅 31.3%;平顶黄在 $-15\sim-25\text{ }^{\circ}\text{C}$,MDA 含量增长幅度为 58%,表明在此温度区间膜脂过氧化反应较剧烈,在 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 后,MDA 含量维持恒定状态,并超越新榛 1 号和新榛 3 号,仅次于新榛 2 号。

方差分析结果显示,各品种 MDA 平均含量在不同低温处理间的差异性达到显著水平($P<0.05$),经多重比较, $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的 MDA 平均含量与 -35 和 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 间差异显著,在 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时 MDA 平均含量达到最大值。由图 2 可知,在各低温处理下,新榛 2 号的 MDA 含量始终高于其余品种,最大值为 $9.747\text{ }\mu\text{mol/g}$;平顶黄次之,MDA 含量最大值为 $8.581\text{ }\mu\text{mol/g}$;新榛 3 号和新榛 1 号较小,MDA 含

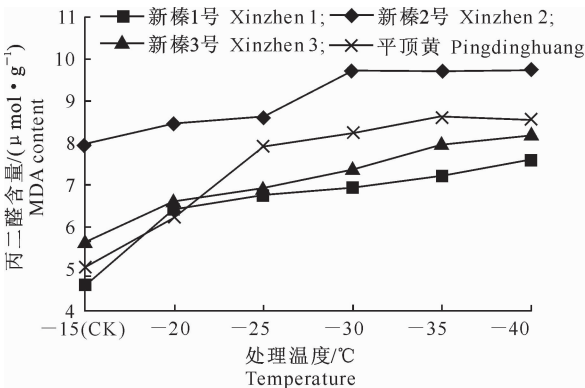


图 2 低温胁迫下平欧杂交榛不同品种枝条的 MDA 含量

Fig. 2 Changes of MDA content in branches from different hybrid hazelnut varieties under low temperature stress

方差分析结果显示,各品种游离 Pro 平均含量在不同处理低温间的差异性达极显著水平($P<0.01$);经多重比较可知,4 个杂交榛品种的游离 Pro 含量在 $-25\sim-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时均有显著性差异($P<0.05$),此阶段游离 Pro 含量急剧升高,表明随着温度的降低,植株受到的伤害加剧,其通过提高游离 Pro 含量进行自我调节,抵御逆境。

2.4 低温胁迫后不同杂交榛品种枝条的 POD 活性

POD 是与膜保护有关的酶,杨向娜等^[9]通过研究 POD 活性与仁用杏抗寒性的关系,确定 POD 活

量最大值分别为 8.230 和 $7.599\text{ }\mu\text{mol/g}$ 。

2.3 低温胁迫后不同杂交榛品种枝条的游离 Pro 含量

游离 Pro 是参与植物细胞抗寒的主要渗透调节物质,可以提高细胞液浓度,降低水势,增强保水能力,从而降低冰点,使植物能够忍受一定程度的低温胁迫^[17]。游离 Pro 普遍存在于植物体内,通常在植物体内的含量并不高,但当植物受到逆境胁迫时,其体内游离 Pro 含量会迅速增加^[16]。游离 Pro 含量越高,植物的抗寒性越强,反之,则抗寒性越弱。由图 3 可知,在低温胁迫下,4 个杂交榛品种的游离 Pro 含量随温度的降低而增加,处理温度与游离 Pro 含量呈负相关,相关系数为 $-0.956\sim-0.993$,达极显著水平($P<0.01$)。在 $-15\sim-35\text{ }^{\circ}\text{C}$,4 个品种游离 Pro 含量均保持增长状态, $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,新榛 1 号、新榛 2 号、新榛 3 号和平顶黄的游离 Pro 含量分别较对照(CK)增加了 28.9%,31.3%,31%和 39.2%;此后,游离 Pro 含量增长较为平缓,至 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时平均增长了 3.6%。

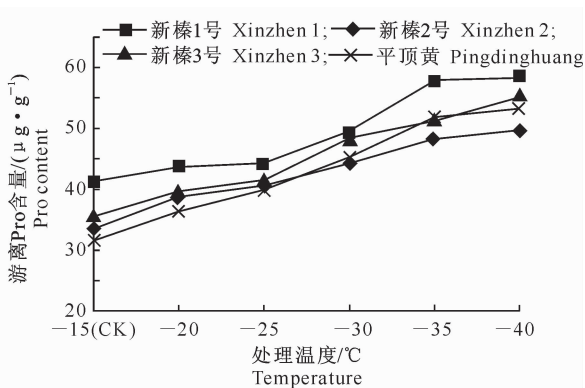


图 3 低温胁迫下平欧杂交榛不同品种枝条的游离 Pro 含量

Fig. 3 Changes of Pro content in branches from different hybrid hazelnut varieties under low temperature stress

性可作为仁用杏抗寒性的鉴定指标,用其鉴定仁用杏抗寒性不但简便快捷,而且可靠。由图 4 可以看出,4 个杂交榛品种的 POD 活性随温度的降低而降低,处理温度与 POD 活性间呈正相关,相关系数为 $0.950\sim0.994$,达极显著水平($P<0.01$)。在处理低温内,新榛 1 号、新榛 2 号、新榛 3 号和平顶黄的 POD 活性降低幅度均较大,分别达 92.7%,96.7%,97.1%和 91.7%。新榛 3 号在 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,POD 活性较对照降低了 212.2%,下降速率较快,之后降幅较为平缓;其余 3 个品种在供试温度范围内 POD 活

性均呈缓慢下降态势。

方差分析结果显示,各品种 POD 活性平均值在不同低温处理间的差异性达极显著水平 ($P<0.01$),经多重比较,其在 $-15\sim-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 间差异显著 ($P<0.05$),此阶段 POD 活性下降速度较快,表明受低温侵害时,POD 对低温较为敏感,在初期就出现剧烈反应。

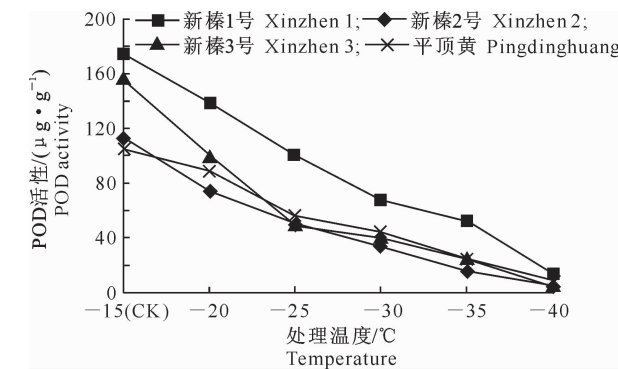


图 4 低温胁迫下平欧杂交榛不同品种枝条的 POD 活性

Fig. 4 Changes of POD activity in branches from different hybrid hazelnut varieties under low temperature stress

表 1 低温胁迫下 4 个平欧杂交榛品种的枝条萌芽率

品种 Varieties	处理温度/℃ Temperature						%
	-15(CK)	-20	-25	-30	-35	-40	
新榛 1 号 Xinzen 1	100.00 a	77.78 b	69.23 b	64.71 b	60.00 c	35.71 d	
新榛 2 号 Xinzen 2	90.00 a	72.78 b	63.64 b	63.16 b	50.00 c	13.33 d	
新榛 3 号 Xinzen 3	95.65 a	77.78 b	65.54 b	63.40 b	55.56 c	33.33 d	
平顶黄 Pingdinghuang	83.33 a	62.50 b	50.00 b	38.10 b	36.26 c	13.33 d	

注:同行数据后标不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。
Note:Mark up the different lower case letters after peer data means significant difference ($P<0.05$).

2.6 低温胁迫下不同杂交榛品种枝条各生理指标间的相关性

对 4 个杂交榛品种在不同低温诱导下的 MDA

表 2 低温胁迫下不同平欧杂交榛品种枝条的 5 个生理指标间的相关性分析

指标 Index	电解质渗出率 Electrolyte leakage	MDA 含量 MDA content	游离 Pro 含量 Pro content	POD 活性 POD activity	萌芽率 Germination rate
电解质渗出率 Electrolyte leakage	1				
MDA 含量 MDA content	0.681**	1			
游离 Pro 含量 Pro content	0.826**	0.428*	1		
POD 活性 POD activity	-0.889**	-0.800**	-0.686**	1	
萌芽率 Germination rate	-0.879**	-0.687**	-0.697**	0.878**	1

注: ** 表示在 $P=0.01$ 的水平上相关显著, * 表示在 $P=0.05$ 的水平上相关显著。
Note: ** means significant correlation at $P=0.01$,and * means significant correlation at $P=0.05$.

表 2 表明,MDA 含量、游离 Pro 含量与电解质

2.5 低温胁迫对不同杂交榛品种萌芽率的影响

树体受冻后能否存活,关键在于枝条能否恢复发芽能力。因此,经人工模拟低温处理后,枝条恢复发芽的能力可以客观反映出不同品种的实际抗寒水平^[18]。由表 1 可知,随着温度的降低,4 个杂交榛品种枝条的萌芽率逐渐降低,处理温度与萌芽率呈正相关,相关系数 $0.933\sim0.978$,达到极显著水平 ($P<0.01$)。由方差分析结果可知,不同低温处理间各品种的平均萌芽率差异达显著水平 ($P<0.05$)。低温处理时 4 个品种的萌芽率均低于对照 ($-15\text{ }^{\circ}\text{C}$),且差异显著 ($P<0.05$); $-20\sim-35\text{ }^{\circ}\text{C}$,萌芽率缓慢下降,且 $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的萌芽率显著低于 $-20,-25$ 和 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($P<0.05$);随着温度的进一步降低, $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的萌芽率显著低于其他低温处理 ($P<0.05$)。由试验结果可知,低温对杂交榛的枝条萌发可产生一定影响,当 $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 持续 24 h,供试的 4 个品种的枝条萌芽率在 $35\%\sim60\%$;当 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 持续 24 h,新榛 1 号和新榛 3 号仅有 1/3 的枝条能够萌发,新榛 2 号和平顶黄的萌芽率仅有 13%。在处理低温内,平顶黄的萌芽率始终最低。

含量、游离 Pro 含量、POD 活性、萌芽率与电解质渗出率的相关性进行分析,结果见表 2。

渗出率呈极显著正相关,相关系数分别为 0.681 和

0.826; POD活性、萌芽率与电解质渗出率呈极显著负相关,相关系数分别为 -0.889 和 -0.879 。MDA含量与游离Pro含量呈显著正相关,相关系数为 0.428 ;与POD活性和萌芽率呈极显著负相关,相关系数分别为 -0.800 和 -0.687 。游离Pro含量与POD活性和萌芽率呈极显著负相关,相关系数分别为 -0.686 和 -0.697 。POD活性与萌芽率呈极显著正相关,相关系数为 -0.878 。

3 讨 论

植物的抗寒性机制较为复杂,衡量一个品种的抗寒性不能单纯用1~2个指标,而应用多个指标进行综合评估^[19]。Lyons^[20]认为,植物受到低温影响时,细胞质膜透性增加的程度较大,电解质会有不同程度的外渗,以致电导率加大,抗寒性较强的细胞或受害轻者不仅渗透性增大的程度较小,而且渗透性的变化可以逆转,易于恢复正常;反之,抗寒性弱的细胞或受害重者不能恢复正常,以致造成伤害甚至死亡,这种变化明显地出现在外部形态变化之前。电导法就是依据以上原理来鉴定植物抗寒性的强弱,电解质渗出率是评价植物抗寒性的主要生理指标。

在低温逆境下,可以通过MDA含量、游离Pro含量和POD活性的大小来判断某一植物抗寒性的强弱,也可以通过观察萌芽率来判断植株的抗寒能力。本研究由相关性分析可知,电解质渗出率与以上4个指标呈极显著相关,说明这些指标均可作为评价杂交榛抗寒性的生理指标。

MDA是植物受低温冻害后膜脂氧化的产物,对细胞有一定的毒害作用,随着温度的降低,细胞伤害加剧,当膜脂过氧化达到不可逆程度时,MDA含量增加缓慢^[21],维持平稳状态;游离Pro可以调节细胞渗透压,防止细胞过度脱水^[22],保护植物不受或少受伤害。本研究表明,低温胁迫后4个杂交榛品种的电解质渗出率、MDA和游离Pro含量均表现为随温度降低而增加的趋势,且4个品种的变化规律较为明显,新榛1号的电解质渗出率和MDA含量始终最小,可知其抗寒性相对较强;新榛1号和新榛3号的游离Pro含量相对较大,表明其适应低温逆境的能力优于其余2个品种。当植物受到低温胁迫时,体内自由基大量积累,毒害植物细胞,而POD通过酶促降解 H_2O_2 来避免自由基对细胞膜的过氧化伤害和防止其他伤害^[23],以保护植株细胞具有活力。本研究表明,低温胁迫后4个品种

杂交榛的POD活性和萌芽率均随温度的降低而降低,在 $-15\sim-40\text{ }^{\circ}\text{C}$,新榛1号的POD活性和萌芽率始终最大,新榛3号次之,表明其对低温的忍耐力相对较强。

本研究发现,平顶黄和新榛2号的MDA、游离Pro含量和POD活性较为接近,但平顶黄的电解质渗出率大于新榛2号,且萌芽率也远低于后者。由此可知,平顶黄的抗寒性相对弱于新榛2号。综合以上结果得知,4个品种杂交榛的抗寒力强弱顺序为:新榛1号>新榛3号>新榛2号>平顶黄。

4 结 论

4个平欧杂交榛品种经24 h不同低温处理后,其电解质渗出率、游离Pro含量与处理温度呈极显著负相关,MDA含量与处理温度呈显著负相关;POD活性、萌芽率与处理温度呈极显著正相关;电解质渗出率、游离Pro含量、POD活性和萌芽率在各低温处理间的差异性达极显著水平,MDA含量在各低温处理间的差异性呈显著水平;MDA含量、游离Pro含量与电解质渗出率呈极显著正相关,POD活性、萌芽率与电解质渗出率呈极显著负相关。

[参考文献]

- [1] 梁维坚,董德芬.大果榛子育种与栽培[M].北京:中国林业出版社,2002.
Liang W J, Dong D F. Big hazelnut breeding and cultivation [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2002. (in Chinese)
- [2] 张宇和,柳 鏊,梁维坚,等.中国果树志·板栗榛子卷[M].北京:中国林业出版社,2005:193-199.
Zhang Y H, Liu L, Liang W J, et al. Chinese fruit chi·chestnut hazelnut volume [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2005:193-199. (in Chinese)
- [3] 宋锋惠,史彦江,卡得尔.大果杂交榛子引种及优良品种的选育[J].东北林业大学学报,2007,35(5):87-90.
Song F H, Shi Y J, Ka D E. Introduction of hybrid hazel producing large nuts and breeding of superior species [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2007, 35(5): 87-90. (in Chinese)
- [4] 吕跃东,董凤祥,王贵禧,等.平欧杂交榛抗寒性综合评价体系的建立与应用[J].林业科学,2008,44(9):31-35.
Lü Y D, Dong F X, Wang G X, et al. Establishment and application of integrated assessment system on cold resistance of hybrid hazelnut [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(9): 31-35. (in Chinese)
- [5] 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.

- Li J C, Liu C, Wang J Z, et al. Study on the semilethal temperatures for european pear cultivars [J]. *Journal of Fruit Science*, 2007, 24(4): 529-532. (in Chinese)
- [6] 潘晓云, 王根轩, 曹琴东. 兰州地区引种的美国扁桃的越冬伤害与临界致死低温 [J]. *园艺学报*, 2002, 29(1): 63-65.
Pan X Y, Wang G X, Cao Q D. Winter injury index and lethal low temperature for introduced American almond in Lanzhou, China [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2002, 29(1): 63-65. (in Chinese)
- [7] 李 勃, 刘成连, 杨瑞红, 等. 樱桃砧木抗寒性鉴定 [J]. *果树学报*, 2006, 23(2): 196-199.
Li B, Liu C L, Yang R H, et al. Study on the cold resistance of cherryroot stocks [J]. *Journal of Fruit Science*, 2006, 23(2): 196-199. (in Chinese)
- [8] 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.
Wang W J, Zhang Y H, Niu J F, et al. Study on cold tolerance of table grape cultivars by meaning the conductivity [J]. *Journal of Fruit Science*, 2007, 24(1): 34-37. (in Chinese)
- [9] 杨向娜, 魏安智, 杨途熙, 等. 仁用杏 3 个生理指标与抗寒性的关系研究 [J]. *西北林学院学报*, 2006, 21(3): 30-33.
Yang X N, Wei A Z, Yang T X, et al. Study on relationships between soluble protein contents, SOD and POD activity and cold resistant ability of 3 apricot varieties [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2006, 21(3): 30-33. (in Chinese)
- [10] 施 征. 三个枣品种抗寒生理特性的研究 [D]. 河北保定: 河北农业大学, 2003.
Shi Z. Study on character of cold resistance physiology in three jujube cultivars [D]. Baoding, Hebei: Hebei Agricultural University, 2003. (in Chinese)
- [11] 李合生. 现代植物生理学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2008.
Li H S. Modern plant physiology [M]. Beijing: Higher Education Press, 2008. (in Chinese)
- [12] 王 飞, 李嘉瑞. 用电导法配合 Logistic 方程确定杏花期的抗寒性 [J]. *西北农业大学学报*, 1997, 25(5): 59-63.
Wang F, Li J R. Cold resistance determination of apricot flower dates with electrolyte leakage and Logistic equation [J]. *Acta Universitatis Agriculturae Boreali-occidentalis*, 1997, 25(5): 59-63. (in Chinese)
- [13] 邹 琦. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
Zou Q. Plant physiology experimental guidance [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000. (in Chinese)
- [14] 赵世杰, 史国安, 董新纯. 植物生理学实验指南 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2002.
Zhao S J, Shi G A, Dong X C. Plant physiology experiment guidebooks [M]. Beijing: Sciences and Technology of China Agricultural Press, 2002. (in Chinese)
- [15] 孙程旭, 曹红星, 陈思婷, 等. 应用电导率法及 Logistic 方程测试蛇皮果抗寒性研究 [J]. *江西农业学报*, 2009, 21(4): 33-35.
Sun C X, Cao H X, Chen S T, et al. Study on cold resistance of snake fruit by application of electrical conductivity and Logistic equation [J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2009, 21(4): 33-35. (in Chinese)
- [16] 杨凤军, 李宝江, 高玉刚. 果树抗寒性的研究进展 [J]. *黑龙江八一农垦大学学报*, 2003, 15(4): 23-29.
Yang F J, Li B J, Gao Y G. Recent progress in the study of cold resistance of fruit tree [J]. *Heilongjiang August First Land Reclamation University*, 2003, 15(4): 23-29. (in Chinese)
- [17] 利容千, 王建波. 植物逆境细胞及生理学 [M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2002.
Li R Q, Wang J B. Plant adversity cell and physiology [M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2002. (in Chinese)
- [18] 郑 元, 杨途熙, 魏安智, 等. 低温胁迫对仁用杏几个抗寒生理指标的影响 [J]. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2008, 36(1): 164-167.
Zheng Y, Yang T X, Wei A Z, et al. Effects of low temperature stress on several cold resistance indexes of apricot [J]. *Journal of Northwest A&F University: Nat Sci Ed*, 2008, 36(1): 164-167. (in Chinese)
- [19] 郑 楠. 嫁接提高甜椒幼苗耐冷性的研究 [D]. 山东泰安: 山东农业大学, 2009.
Zheng N. Grafting increases chilling tolerance in sweet paper-seedlings [D]. Tai'an, Shandong: Shandong Agricultural University, 2009. (in Chinese)
- [20] Lyons J M. Chilling injury in plants [J]. *Am Rev Plant Physiol*, 1973, 24: 445-446.
- [21] 王 华, 王 飞, 陈登文, 等. 低温胁迫对杏花 SOD 活性和膜脂过氧化的影响 [J]. *果树科学*, 2000, 17(3): 197-201.
Wang H, Wang F, Chen D W, et al. Effects of low temperature stress on SOD activity and membrane deroxidization of apricot flowers [J]. *Journal of Fruit Science*, 2000, 17(3): 197-201. (in Chinese)
- [22] 艾鹏飞, 金晓静, 靳占忠, 等. 仁用杏抗寒性生理指标评价的研究 [J]. *河北科技大学学报*, 2013, 34(1): 48-53.
Ai P F, Jin X J, Jin Z Z, et al. Evaluation of cold resistant physiological indices of kernel apricot [J]. *Journal of Hebei University of Science and Technology*, 2013, 34(1): 48-53. (in Chinese)
- [23] 王 勇, 乔永胜, 梅 霞, 等. 不同低温下核桃枝条抗寒性生理生化指标分析 [J]. *中国农学通报*, 2013, 29(10): 40-44.
Wang Y, Qiao Y S, Mei X, et al. Physiological and biochemical indexes of change of cold hardiness of different branches of walnut under low temperature [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2013, 29(10): 40-44. (in Chinese)