

不同砧木‘赤霞珠’葡萄枝条抗寒性比较

范宗民¹, 孙军利¹, 赵宝龙^{2*}, 刘怀锋¹, 于坤¹, 章智钧¹, 刘晶晶¹

(¹特色果蔬栽培生理与种质资源利用兵团重点实验室;²绿洲生态农业兵团重点实验室;
石河子大学农学院, 新疆石河子 832003)

摘要:【目的】对不同砧木的‘赤霞珠’(Cabernet Sauvignon, 简称为CS)葡萄枝条进行抗寒性综合评价,旨在筛选能提高‘赤霞珠’葡萄抗寒性的优良砧木,为新疆地区‘赤霞珠’葡萄抗寒栽培和砧木引进提供理论依据。【方法】将嫁接在5个砧木(5BB、SO4、kangzhen3、5C、140R)的‘赤霞珠’葡萄及自根砧的一年生成熟枝条分别放在-12℃、-15℃、-18℃、-21℃、-24℃、-27℃下进行低温胁迫处理,以4℃为对照,测定其相对电导率(REC)、丙二醛(MDA)含量、游离脯氨酸含量、可溶性蛋白含量、可溶性糖含量、萌芽率、过氧化物酶(POD)活性、过氧化氢酶(CAT)活性、超氧化物歧化酶(SOD)活性等生理指标,通过相对电导率结合 Logistic 方程获得鉴定植物抗寒性强弱的半致死温度(LT₅₀)。利用主成分分析对各项生理指标进行综合评价。【结果】随着处理温度的下降,所有处理枝条相对电导率值、MDA含量、可溶性蛋白含量、CAT活性呈增加趋势,但增加幅度不同;游离脯氨酸含量、可溶性糖含量、POD活性先上升后下降;SOD活性呈“升高—降低—升高—降低”的变化趋势;CS/5BB、CS/SO4、CS/kangzhen3、CS/5C、CS/140R、CS的半致死温度从低到高,分别为-20.09℃、-19.37℃、-16.94℃、-16.31℃、-14.74℃、-13.43℃。【结论】6种供试葡萄枝条耐寒性由高到低依次为CS/5BB、CS/SO4、CS/5C、CS/140R、CS/kangzhen3、CS。

关键词: 葡萄砧木; 低温胁迫; 抗寒性; 生理指标; 主成分分析

中图分类号: S663.1

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2020)02-0215-11

Evaluation of cold resistance of one-year shoots from ‘Cabernet Sauvignon’ grape vine grafted on different rootstocks

FAN Zongmin¹, SUN Junli¹, ZHAO Baolong^{2*}, LIU Huaifeng¹, YU Kun¹, ZHANG Zhijun¹, LIU Jingjing¹

(¹Xinjiang Production and Construction Corps Key Laboratory of Special Fruits and Vegetables Cultivation Physiology and Germplasm Resources Utilization; ²The Key Laboratory of Oasis Ecoagriculture, Xinjiang Production and Construction Corps; Agricultural College of Shihezi University, Shihezi 832000, Xinjiang, China)

Abstract:【Objective】The unique climatic conditions such as abundant sunshine and great temperature difference between day and night contribute to the excellent quality of wine grapes in Xinjiang, which is the largest grape producing area in China. ‘Cabernet Sauvignon’, as an excellent wine grape variety, accounts for 70%-80% of the cultivated area of wine grapes in Xinjiang. However, affected by continental monsoon climate, grapes are prone to freezing injury, resulting in a significant reduction in grape yield and quality. In order to avoid or alleviate freezing injury of winter grapes, cold-resistant rootstocks have been applied to wine grapes. This study was conducted to comprehensively evaluate the cold resistance of the shoots of ‘Cabernet Sauvignon’ grape grafted on different rootstocks, to screen out the excellent rootstocks that can improve the cold resistance of ‘Cabernet Sauvignon’ grape. The study provides a reference for cold-resistant cultivation of ‘Cabernet Sauvignon’ grape and rootstock application in Xinjiang.【Methods】Five resistant rootstocks (5BB, SO4, kangzhen3, 5C and 140R) tested in this ex-

收稿日期:2019-09-24 接受日期:2019-11-22

基金项目:国家自然科学基金(31560542)

作者简介:范宗民,在读硕士研究生,主要从事果树栽培生理研究。Tel:18290772450, E-mail:1468285076@qq.com

*通信作者 Author for correspondence. Tel:18009935729, E-mail:1504201794@qq.com

periment were introduced from Zhengzhou Fruit Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, and the scion was 'Cabernet Sauvignon' (CS). The rootstock-scion combinations included CS/5BB, CS/SO4, CS/kangzhen3, CS/5C and CS/140R. The self-rooted 'Cabernet Sauvignon' plants (CS) were used as the control. The experimental rootstocks were planted in 2014 and hardwood grafting was carried out in 2015. On November 10, 2018, winter pruning was carried out and shoots from the 6 scion-rootstock combinations or self-rooted plants grown under the same conditions were selected and stored in sand. The shoots were exposed to artificial low temperatures of $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$, and $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$. Physiological and biochemical indicators, such as relative conductivity (REC), malondialdehyde (MDA), free proline, soluble sugars, soluble proteins, bud germination rate, activities of peroxidase (POD), catalase (CAT) and superoxide dismutase (SOD), and other physiological indicators were analyzed. Shoots stored at $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ were used as the control. Semi-lethal temperature (LT_{50}) was obtained from the regressed logistic equation of relative electrical conductivity vs temperature. The data were subject to principal component analysis for comprehensive evaluation of cold tolerance. 【Results】With the decrease in temperature, the relative electrical conductivity, malondialdehyde content, soluble protein content and CAT activity of all the varieties showed an increasing trend, but the increase range was different. The sprouting rate of shoots decreased gradually with the decrease in temperature in the range from $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$. The sprouting rate of CS/5BB was reached 5% at $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$, which was significantly higher than those of the other grafted plants. The sprouting rate of self-rooted CS plants was the lowest, being 0% at $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$. The contents of free proline, soluble sugars and the activity of POD increased first and then decreased during temperature drop from $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$. The content of free proline reached a maximum at $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$, while the SOD activity showed a "rise-decline-rise-decline" trend. The semi-lethal temperatures of CS/5BB, CS/SO4, CS/kangzhen3, CS/5C, CS/140R and CS were $-20.09\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-19.37\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-16.94\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-16.31\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-14.74\text{ }^{\circ}\text{C}$, and $-13.43\text{ }^{\circ}\text{C}$, respectively. The principal component analysis indicated that MDA content, free proline content, soluble protein content, POD activity, germination rate, soluble sugar content and CAT activity were important indexes for evaluating the cold resistance of grapes. 【Conclusion】The cold tolerance of 'Cabernet Sauvignon' plants grafted on the six rootstocks from high to low was CS/5BB> CS/SO4> CS/5C> CS/140R> CS/kangzhen3> CS.

Key words: Grape rootstocks; Low temperature stress; Cold resistance; Physiological index; Principal component analysis

‘赤霞珠’葡萄(*Cabernet sauvignon*)被誉为“红葡萄品种之王”，是世界上公认的优良酿酒品种，原产法国波尔多地区，与‘蛇龙珠’‘品丽珠’为姊妹系^[1]。据国际葡萄与葡萄酒组织(OIV)发布的《2018年世界葡萄酒行业统计报告》，世界上‘赤霞珠’酿酒葡萄种植面积最大，为34.1万 hm^2 ，中国种植面积最大的酿酒葡萄品种也是‘赤霞珠’，种植面积达到6万 hm^2 ，占全国葡萄种植总面积的7.2%。新疆作为中国最大的葡萄产区，其酿酒葡萄的栽培面积超过了3.67万 hm^2 ，其中‘赤霞珠’栽培面积占70%~80%。

埋土防寒是北方葡萄产区避免遭受低温伤害

使葡萄安全越冬的主要手段，但埋土防寒费工费时，在严寒地区，尤其是冬季无积雪或少有积雪的地区取土体量更大，耗费成本更高。新疆地区冬季寒冷干旱，受大陆性季风气候影响，葡萄容易发生冻害，造成葡萄产量和品质明显降低，严重影响种植效益。采用优良砧木嫁接栽培，不仅能提高葡萄的生态抗逆性^[2-3]和生物抗逆性^[4]，还可调控葡萄生长势、成熟期及营养吸收，从而影响葡萄的产量和品质^[5-6]。为避免或减轻冬季葡萄冻害，基于嫁接蒙导^[7]的作用，通过抗寒砧木的嫁接栽培能提高酿酒葡萄的抗寒越冬能力。目前，抗性砧木嫁接栽培已成为世界葡萄生产发展的趋势。因此，进一步研究

抗性砧木对接穗品种枝条的抗寒性的影响对葡萄产业发展具有重要意义。

近年来,关于酿酒葡萄砧木枝条抗寒性鉴定方法及生理生化指标测定的研究已有很多报道。曹建东等^[8]通过对多种葡萄砧木生理生化测定指标进行主成分分析,筛选出相对电导率、丙二醛、脯氨酸、可溶性糖含量、可溶性蛋白质含量等指标可作为评价抗寒性强弱的指标,并得出7个葡萄砧木品种的抗寒性强弱依次为:‘5BB’>‘山河系’>‘通化-3’>‘5A2’>‘SO4’>‘420’>‘225’;李鹏程等^[9]结合 Logistic 方程计算出8个葡萄砧木品种的半致死温度,并通过隶属函数对葡萄砧木的各指标进行综合评价,得出8个葡萄砧木品种抗寒性强弱顺序依次为:‘BK-1’>‘双红’>‘贝达’>‘山河1号’>‘5BB’>‘北冰红’>‘抗砧3号’>‘SO4’;李桂荣等^[10]通过对‘山葡萄’‘贝达’‘北醇’‘无核白’‘奥迪亚无核’‘京可晶’等6个葡萄品种抗寒性研究,得出抗寒性强弱依次为‘山葡萄’>‘贝达’>‘北醇’>‘无核白’>‘奥迪亚无核’>‘京可晶’。但关于嫁接苗木接穗的抗寒性研究较少,特别是针对‘赤霞珠’嫁接苗木抗寒性鲜有报道。笔者通过人工模拟低温环境的方法,对5种抗性砧木嫁接酿酒葡萄品种‘赤霞珠’和‘赤霞珠’自根一年生枝条进行低温诱导,并对枝条相对电导率、丙二醛含量、渗透调节物质(可溶性糖、可溶性蛋白、脯氨酸)含量、保护酶(POD、CAT和SOD)活性等生理指标进行测定,应用主成分分析,结合半致死温度,对酿酒葡萄枝条的抗寒性进行综合评价分析,旨在筛选提高‘赤霞珠’葡萄抗寒性的优良砧木,为新疆地区筛选出适宜的‘赤霞珠’葡萄抗性砧木提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验地及试验材料

试验在石河子大学农学院试验站葡萄标准试验园内进行。供试材料选用‘赤霞珠’嫁接苗木‘CS/5C’‘CS/5BB’‘CS/140R’‘CS/SO4’‘CS/Kangzhen3’‘赤霞珠’(CS,对照),2014年定植,采用东西向篱架低“厂”字形“V”叶幕栽培模式种植,田间管理水平一致,植株生长良好。每嫁接组合选择6株长势相近的葡萄植株作为试验材料。

1.2 试验方法

2018年11月10日冬季修剪时,采集粗细均匀一致、充分成熟的一年生枝条(枝条长度25~30 cm左右,至少含5个饱满芽)100枝进行沙藏处理。

2018年12月12日取出沙藏枝条,每个品种的枝条分成7份,每份14枝,其中一份作为对照(4℃);其余6份放入低温冰箱(温度误差=±0.01℃),降至目的温度(-12℃、-15℃、-18℃、-21℃、-24℃、-27℃)后保存24 h,之后逐步升温至4℃,并保持12 h,升降温速率均为4℃·h⁻¹。随后用蒸馏水冲洗干净,每个处理设3次重复,每个重复剪取30个长5 cm左右的饱满单芽段进行恢复发芽试验。其余枝条避开芽眼切成1~2 mm薄片,每个温度处理薄片平均分成3份,混合均匀后随机取样3次作为3次重复,测定其相关指标。

1.3 主要仪器及试剂

本试验主要仪器:DDSJ-308A电导率仪,上海仪电科学仪器股份有限公司;UV-2600/2007岛津紫外可见分光光度计,岛津仪器有限公司;JA2003N电子分析天平,上海精密科学仪器有限公司;电热恒温水浴锅,北京市永光明医疗仪器厂。

主要试剂:三氯乙酸(500 g),成都市科龙化工试剂厂;2-硫代巴比妥酸(25 g),国药集团化学试剂有限公司;磺基水杨酸(100 g)、愈创木酚(100 mL),天津市光复精细化工研究所;茛三酮(5 g)、葱酮(25 g),上海科丰实业有限公司;冰乙酸(500 mL)、蔗糖(500 g),天津市致远化学试剂有限公司;甲苯(500 mL),洛阳市化学试剂厂;浓硫酸(500 mL),天津市大茂化学试剂厂;考马斯亮蓝(10 g),上海蓝季生物;牛血清蛋白(5 g),上海生工生物工程股份有限公司;30% H₂O₂(500 mL),西安化学试剂厂;磷酸(500 mL),天津市富宇精细化工有限公司。上述试剂均为分析纯。

1.4 项目测定

1.4.1 恢复发芽试验调查^[11] 将剪成的单芽芽段挨个扦插在已通电一天的温床(地热线长100 cm,功率800 W 1根,线距5 cm,床面积5 m²)上进行恢复发芽试验,基质湿度保持在50%~60%,空气湿度保持在80%以上,30 d后调查芽段萌发情况。

计算公式:芽段萌发率/%=(萌发芽段总数/扦插芽段总数)×100

1.4.2 相对电导率值测定 相对电导率测定参照王依等^[12]、赵宝龙等^[13]的方法,略有改动。处理后的材料每份称取1 g放入25 mL刻度试管中(每个处理3次重复),加20 mL蒸馏水,用封口膜封严,摇匀在室温下放置12 h,用DDSJ-308A型电导仪测初电导率R₁,然后于100℃沸水浴中煮30 min,冷却至室温后测定终电导率R₂。按以下公式计算相对电导

率并结合何伟等^[14]有关组织半致死温度的计算方法,配合 Logistic 方程,计算出不同砧木赤霞珠葡萄枝条半致死温度(LT₅₀:材料达到 50%伤害度的温度);计算公式如下:

$$\text{相对电导率} = R_1/R_2 \times 100\%$$

1.4.3 相关抗寒指标测定 (1)MDA 含量采用硫代巴比妥酸(TBA)法测定^[15]。

(2)可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定^[16]。

(3)可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝 G—250 染色法测定^[16]

(4)游离脯氨酸含量采用酸性茚三酮染色法测定^[15]

(5) POD 活性采用愈创木酚法测定^[17],用每 min 内 ΔA_{470} 变化 0.01 为 1 个过氧化物酶活性单位(U)表示。

(6)CAT 活性的测定每个处理准确称取 3 份,每份 0.3 g。具体方法参考过氧化氢酶(Catalase, CAT)试剂盒。

(7)SOD 活性的测定时每个处理准确称取 3 份,每份 0.3 g。具体方法参考过氧化氢酶(Superoxide Dismutase, SOD)试剂盒。

1.5 数据分析

以沙藏后 4 °C 保存枝条测定值为对照值,以 -24 °C 低温诱导处理后枝条测定值为处理值,计算变化率 $a: a = (\text{处理值} - \text{对照值}) / \text{对照值}$ ^[18],对变化率 a 进行主成分分析^[19]。方差分析、主成分分析均采用 SPSS 19.0,其余经低温处理后得到的数据用 Microsoft Excel 计算。

2 结果与分析

2.1 低温胁迫对不同砧木‘赤霞珠’葡萄枝条萌芽率比较

萌芽率是衡量葡萄枝芽经防寒越冬后是否发生冻害及冻害轻重的重要指标。从图 1 可以看出,随着低温胁迫的加剧,6 种供试葡萄枝条萌芽率均呈显著下降趋势。其中,在 4 °C 温度处理下,各品种枝条萌芽率均 $\geq 93.33\%$,说明所有酿酒葡萄枝条芽段的营养物质积累和成熟度均较高,芽段萌发能力都很强。在 -24~-12 °C 降温阶段内,各品种芽段萌芽率差异显著,CS/5C、CS、CS/140R、CS/SO4、CS/ Kangzhen3 芽段萌芽率极显著低于 CS/5BB。经 -27 °C 低温处理后,CS/5C、CS/140R、CS 萌芽率均为 0,说明该低温已对 CS/5C、CS/140R、CS 枝条造成了不可逆转的伤害,CS/5BB、CS/SO4、CS/

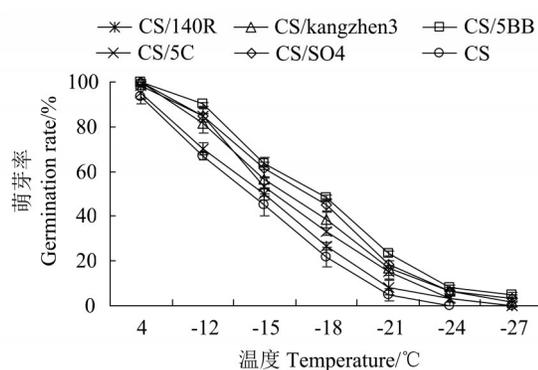


图 1 低温胁迫后不同砧木‘赤霞珠’葡萄枝条萌芽率的变化

Fig. 1 Changes in sprouting rate of ‘Cabernet Sauvignon’ grape under low temperature stress

Kangzhen3 品种仍有不同程度的萌发,萌发率分别为 5.00%、3.33%和 1.67%。

2.2 低温胁迫对不同砧木的‘赤霞珠’葡萄枝条相对电导率的影响

研究表明,随着处理温度的降低,枝条的伤害程度加重,相对电导率越来越大,呈增加的趋势。由图 2 可知,各酿酒葡萄品种在 -27~4 °C 温度依次降低的情况下,枝条的相对电导率总体呈上升趋势,其变化近似呈“S”形曲线分布。但 -27~4 °C 的降温过程中,各品种相对电导率增幅明显不同,CS 和 CS/140R 的增幅较大,分别达到了 47.15%和 43.09%,CS/5C 增幅居中,为 39.29%;CS/5BB、CS/SO4 和 CS/kangzhen3 的增幅最小,分别达到了 33.60%、34.69%和 35.28%。

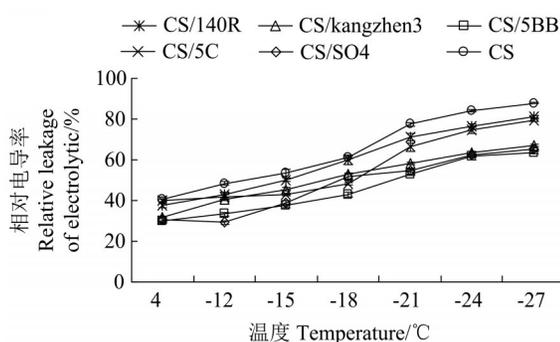


图 2 低温胁迫下不同砧木‘赤霞珠’葡萄枝条相对电导率拟合 Logistic 方程曲线

Fig. 2 Logistic equation curve fitting for relative electrical conductivity of grape branches of ‘Cabernet Sauvignon’ with different rootstocks under low temperature stress

由表 1 所示, Logistic 方程拟合 6 种供试葡萄枝条的半致死温度(LT₅₀)后,其相关系数 r 都大于 0.900,均达显著水平。其中,抗寒性最强的是 CS/5BB 和 CS/SO4,其半致死温度分别为 -20.09 °C 和 -19.37 °C,抗寒性最弱的是 CS/140R 和 CS 半致

表1 低温胁迫下枝条相对电导率 Logistic 方程和低温半致死温度(LT₅₀)

Table 1 Logistic model and semi-lethal temperatures of shoots

品种 Cultivar	回归方程 Regression equation	相关系数(r) Correlation coefficient	LT ₅₀ = -(lna) / b/°C
CS/140R	$y=100/(1+6.221e^{-0.124x})$	0.982	-14.74
CS/kangzhen3	$y=100/(1+3.564e^{-0.075x})$	0.992	-16.94
CS/5BB	$y=100/(1+6.227e^{-0.091x})$	0.975	-20.09
CS/5C	$y=100/(1+7.553e^{-0.124x})$	0.940	-16.31
CS/SO4	$y=100/(1+7.071e^{-0.112x})$	0.950	-19.37
CS	$y=100/(1+7.294e^{-0.148x})$	0.970	-13.43

死温度分别为-14.74 °C和-13.43 °C。根据半致死温度,6种供试葡萄枝条的抗寒性强弱顺序为:CS/5BB>CS/SO4>CS/kangzhen3>CS/5C>CS/140R>CS。

2.3 低温胁迫对不同砧木的‘赤霞珠’葡萄枝条MDA含量的影响

低温胁迫下,6种供试葡萄枝条MDA含量变化如图3所示,随着低温胁迫的加剧,MDA含量均呈现逐渐上升趋势,且其余低温处理均高于对照(4 °C)。其中,在-15~4 °C低温处理阶段内,随处理温度的降低,各供试品种枝条MDA含量缓慢升高;CS/5BB和CS/SO4枝条MDA含量在-18~-15 °C温度处理下急剧升高,分别达到5.22 μmol·g⁻¹和6.13 μmol·g⁻¹;此后,在-27~-21 °C温度处理下,CS/5BB和CS/SO4枝条MDA含量升高较为平缓,但CS、CS/140R、CS/kangzhen3、CS/5C枝条MDA含量迅速升高,在-27 °C时6种酿酒葡萄砧穗组合均达到最大值,且-27 °C下MDA含量差异显著(p < 0.05)。同时,CS/5BB和CS/SO4的MDA含量较其他品种相比处于较低水平,CS/5C和CS/kangzhen3的MDA含量居中,而CS/140R和CS的MDA含量一直处于较高水平,且显著高于其他品种;6个供

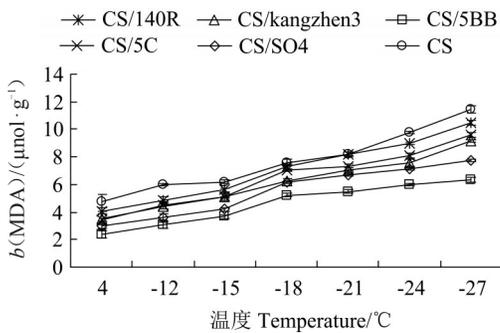


图3 低温胁迫下不同砧木‘赤霞珠’葡萄枝条MDA含量的变化
Fig. 3 Changes in MDA content in grape shoots of ‘Cabernet Sauvignon’ with different rootstocks under low temperature stress

试酿酒葡萄砧穗组合品种枝条的MDA含量从4 °C到-27 °C的增量分别是CS/140R为6.42 μmol·g⁻¹, CS/kangzhen3为5.64 μmol·g⁻¹, CS/5BB为3.95 μmol·g⁻¹, CS/5C为6.15 μmol·g⁻¹, CS/SO4为4.74 μmol·g⁻¹, CS为6.63 μmol·g⁻¹。

2.4 低温胁迫下不同砧木‘赤霞珠’葡萄枝条渗透调节物质含量变化

2.4.1 低温胁迫对不同砧木的‘赤霞珠’葡萄枝条可溶性糖含量的影响 低温胁迫下,6种供试葡萄枝条可溶性糖含量变化如图4所示,随处理温度降低,各品种枝条可溶性糖含量总体呈现先上升后下降趋势,但峰值存在差异。其中,在-15~4 °C低温处理阶段内,随处理温度的降低,各供试品种枝条可溶性糖含量均缓慢升高;CS/140R枝条可溶性糖含量在-21 °C低温处理后急剧升高,达到最大值,为1.9%;CS/5BB、CS/kangzhen3、CS枝条可溶性糖含量也在-24 °C低温处理后急剧升高,达到最大值,分别为2.08%、1.74%、1.78%、1.56%,其中增幅最大的是CS/5BB,达到了1.4%。;CS/SO4枝条可溶性糖含量最大峰值出现在-27 °C,达到了1.97%。

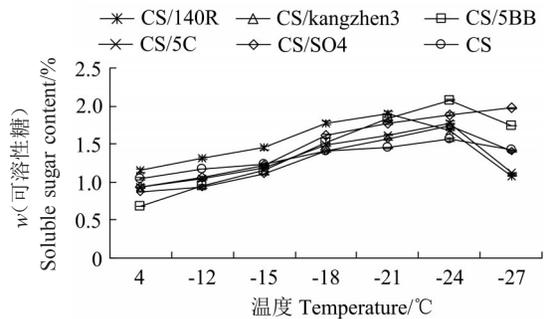


图4 低温胁迫下不同砧木‘赤霞珠’葡萄枝条可溶性糖含量的变化
Fig. 4 Changes in soluble sugar content in shoots of ‘Cabernet Sauvignon’ with different rootstocks under low temperature stress

2.4.2 低温胁迫对不同砧木的‘赤霞珠’葡萄枝条可溶性蛋白含量的影响 低温胁迫下,6种供试葡萄枝条可溶性蛋白含量变化如图5所示,随处理温度降低,各品种枝条中可溶性蛋白含量逐渐升高,并呈现缓慢—急剧—缓慢的递增趋势。其中,在-15~4℃内,各品种枝条可溶性蛋白含量缓慢升高,CS可溶性蛋白含量分别在-21℃处理后急剧升高,达到 $0.262\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$;随后,CS/140R、CS/SO4在-27℃处理后也出现急剧升高趋势,而CS/5BB和CS/kangzhen3在-27℃处理后才达到最大值,分别为 $0.551\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 $0.415\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。同时,随处理温度的降低,各品种枝条可溶性蛋白含量增幅不同,其中CS/5BB品种和CS/SO4品种增幅最大,分别为 $0.525\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 $0.407\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,CS增幅最小,为 $0.289\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

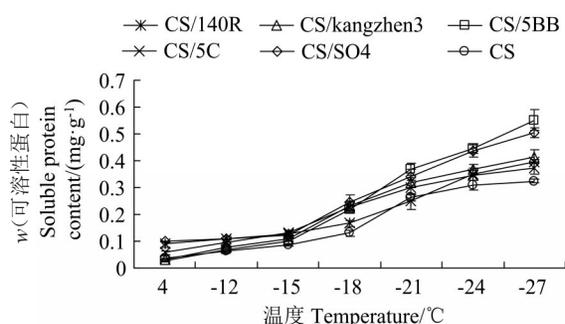


图5 低温胁迫下不同砧木‘赤霞珠’葡萄枝条可溶性蛋白含量的变化

Fig. 5 Changes in soluble protein content in shoots of ‘Cabernet Sauvignon’ with different rootstocks under low temperature stress

2.4.3 低温胁迫对不同砧木‘赤霞珠’葡萄枝条游离脯氨酸含量的影响 低温胁迫下,6种供试葡萄枝条游离脯氨酸含量变化如图6所示,在-15~4℃,各

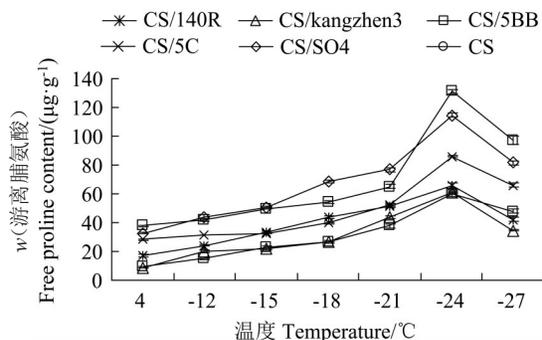


图6 低温胁迫下不同砧木‘赤霞珠’葡萄枝条游离脯氨酸含量的变化

Fig. 6 Changes in free proline content in shoots of ‘Cabernet Sauvignon’ with different rootstocks under low temperature stress

品种脯氨酸含量缓慢升高,且差异不显著($p > 0.05$),在-24~-18℃,各品种脯氨酸含量出现急剧升高趋势,且在-24℃时各品种脯氨酸含量达到最大值,之后,随着低温胁迫加剧,在-27℃时各品种枝条脯氨酸含量降低,且各品种间差异显著($p < 0.05$)。另外,在-24~4℃在处理温度降低的过程中,各品种枝条脯氨酸含量增幅不同,并以CS/5BB和CS/SO4增幅最大,分别为 $93.17\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 $81.69\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,CS增幅最小,为 $50.68\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,其他品种介于中间。

2.5 低温胁迫下不同砧木‘赤霞珠’葡萄枝条保护酶活性的变化

2.5.1 低温胁迫下不同砧木‘赤霞珠’葡萄枝条POD活性变化 低温胁迫下,6种供试葡萄枝条POD活性变化如图7所示,随处理温度降低,各品种枝条中的POD活性总体呈现为先升高后降低的变化趋势,即大多数品种POD活性在-24~-21℃温度处理阶段内出现一个小高峰,然后在-27℃温度处理下开始下降。其中,CS/SO4、CS/5BB的酶活性一直较其他品种高,在-21℃峰值时其POD活性分别比对照提高了34.12%和33.33%,而CS品种的酶活性一直处于较低的水平,CS/140R、CS/kangzhen3和CS/5C品种居中。

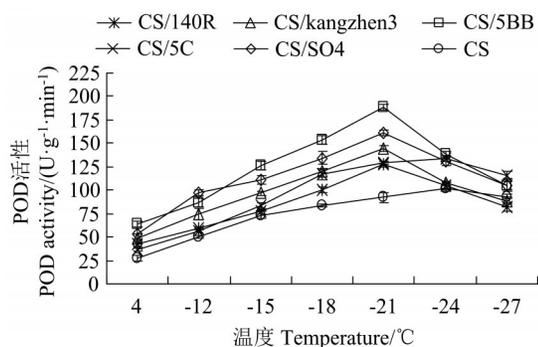


图7 低温胁迫对不同砧木‘赤霞珠’葡萄枝条POD活性的影响

Fig. 7 Effects of low temperature stress on POD activity in shoots of ‘Cabernet Sauvignon’ on different rootstocks

2.5.2 低温胁迫下不同砧木‘赤霞珠’葡萄枝条CAT活性变化 低温胁迫下,6种供试葡萄枝条CAT活性变化如图8所示,随着低温处理的下降,各品种枝条CAT活性总体变化趋势在-12℃之前变化比较平缓,自-15℃开始CAT活性出现明显增加的趋势,其中CS/5BB品种和CS/SO4品种的酶活性在整个温度处理中一直较其他品种高,而CS、CS/140R和CS/5C一直较低,CS/kangzhen3的CAT活

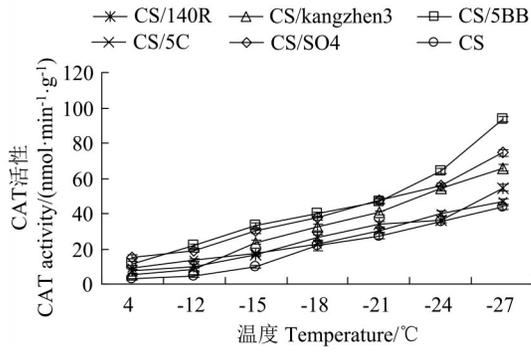


图8 低温胁迫对不同砧木‘赤霞珠’葡萄枝条CAT活性的影响

Fig.8 Effects of low temperature stress on CAT activity in shoots of ‘Cabernet Sauvignon’ on different rootstocks

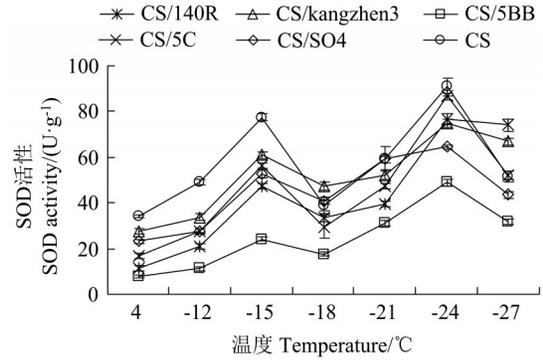


图9 低温胁迫对不同砧木‘赤霞珠’葡萄枝条SOD活性的影响

Fig.9 Effects of low temperature stress on SOD activity in shoots of ‘Cabernet Sauvignon’ grape on different rootstocks

性居中。同时,在-27~4 °C降温阶段内,6种酿酒葡萄砧穗组合品种枝条 POD 活性增加量分别是 CS/5BB 为 81.96 nmol·min⁻¹·g⁻¹, CS/SO4 为 58.99 nmol·min⁻¹·g⁻¹, CS 为 40.67 nmol·min⁻¹·g⁻¹, CS/140R 为 47.46 nmol·min⁻¹·g⁻¹, CS/5C 为 37.67 nmol·min⁻¹·g⁻¹, CS/kangzhen3 为 60.50 nmol·min⁻¹·g⁻¹。

2.5.3 低温胁迫下不同砧木‘赤霞珠’葡萄枝条 SOD 活性变化 低温胁迫下,6种供试葡萄枝条 SOD 活性变化如图 9 所示,各品种葡萄枝条低温处理后,与 4 °C 温度处理相比,-18 °C 温度处理时 SOD 活性均降低,-24 °C 时到达最大值,且 6 个品种之间的差异显著。从-27~4 °C 降温阶段内,6种

酿酒葡萄砧穗组合品种枝条 SOD 活性增加量分别是 CS/5BB 为 24 U·g⁻¹, CS/SO4 为 20.32 U·g⁻¹, CS 为 17.32 U·g⁻¹, CS/140R 为 6.51 U·g⁻¹, CS/5C 为 35.3 U·g⁻¹, CS/kangzhen3 为 39.32 U·g⁻¹。

2.6 不同砧木‘赤霞珠’葡萄枝条抗寒性的综合评价

2.6.1 低温胁迫后各指标的变化率的标准化利用 应用 SPSS 19.0 分析软件对各项抗寒生理生化指标进行主成分分析。首先,利用-24 °C 低温胁迫后各指标的变化率,变化率 $\alpha = (\text{测定值} - \text{对照值}) / \text{对照值}$ 。作为综合评价的原始数据,得到标准化数据(表 2)。

表2 综合评价不同砧木‘赤霞珠’葡萄枝条抗寒性的标准化数据

Table 2 Standardized data for comprehensive evaluation of cold resistance of shoots of ‘Cabernet Sauvignon’ grape on different rootstocks

品种 Cultivars	相对电导率 Relative conductivity	萌芽率 Germination rate	丙二醛 MDA	脯氨酸 Proline	可溶性糖 Soluble sugar	可溶性蛋白 Soluble protein	过氧化物酶 POD	过氧化氢酶 CAT	超氧化物歧化酶 SOD
CS/140R	-0.541 0	-0.289 6	0.551 2	0.840 6	0.242 3	0.441 6	0.738 6	-0.428 0	0.402 5
CS/kangzhen3	-0.288 0	-0.627 6	-0.025 0	-0.275 0	0.253 7	1.162 4	-0.548 0	1.903 8	1.397 5
CS/5BB	0.069 6	1.676 4	-1.176 0	-1.512 0	0.448 3	1.332 6	1.545 0	-0.613 0	1.679 3
CS/5C	-0.157 0	-0.060 1	-0.097 0	0.123 2	0.363 2	0.506 3	0.016 1	-0.843 0	0.020 6
CS/SO4	1.700 3	0.632 7	-0.531 0	-0.607 0	0.200 5	0.893 3	0.967 7	-0.595 0	0.082 1
CS	-0.784 0	-1.331 6	1.278 2	1.430 5	0.515 9	1.128 2	1.210 0	0.575 3	0.745 7

2.6.2 低温胁迫后各指标的变化率的主成分因子分析 利用 SPSS 标准数据主成分分析后的特征向量和主成分 1、2、3 对综合评价抗寒性的贡献率如表 3 所示,可以得知,主成分 1 各指标总和具有较大的特征向量,达到了 5.673,累积贡献率(累积解释方差)为 63.035%,主成分 2 各指标特征值为 1.313,贡献率(解释方差)为 14.590%,累积贡献率(累积解释方差)达 77.625%,主成分 3 各指标特征值为 1.106,

表3 主成分特征值

Table 3 Component eigenvalue

主成分 Principal component	起始特征值 Initial eigenvalues		
	特征值 Characteristic values/ λ	解释方差 Variance explained/%	累积解释方差 Cumulative variance explained/%
1	5.673	63.035	63.035
2	1.313	14.590	77.625
3	1.106	12.285	89.910

贡献率为 12.285%，累积贡献率(累积解释方差)达 89.910%，表明前 3 个主成分代表了 9 个原始指标 89.910%的信息，所以主要提取前 3 个主成分用作综合评价。

利用 SPSS 标准数据主成分分析产生的主成分载荷矩阵如表 4 所示，主成分 1 主要携带的 MDA 含量、脯氨酸含量、可溶性蛋白含量、POD、萌芽率的信息，主成分 2 主要携带的是可溶性糖含量的信息，主成分 3 主要携带的是 CAT 信息。

表 4 主成分初始因子荷载矩阵

Table 4 Component Matrix

生化指标 Biochemical indexes	主成分 1 Component one	主成分 2 Component two	主成分 3 Component three
相对电导率值 Relative conductivity	0.537	-0.313	0.467
丙二醛含量 MDA content	-0.800	-0.581	-0.079
脯氨酸含量 Proline content	-0.832	-0.086	-0.453
可溶性糖含量 Soluble sugar content	0.443	0.801	-0.313
可溶性蛋白含量 Soluble protein content	0.965	-0.141	-0.126
过氧化物酶活性 POD	0.963	-0.040	0.193
过氧化氢酶活性 CAT	-0.662	0.308	0.618
超氧化物歧化酶活性 SOD	-0.794	0.325	0.367
萌芽率 Germination rate	0.963	-0.089	0.088

2.6.3 不同砧木‘赤霞珠’葡萄枝条综合抗寒力的确定 据抗寒力 Ft 大小给 6 个供试葡萄枝条排序如表 5 所示，排序结果为 CS/5BB>CS/SO4>CS/5C>CS/140R>CS/kangzhen3>CS。

表 5 不同砧木‘赤霞珠’葡萄主成分值和抗寒力排序

Table 5 Principal component value and cold tolerance of ‘Cabernet Sauvignon’ on different rootstocks

品 种 Cultivar	主成分 1 Component one	主成分 2 Component two	主成分 3 Component three	抗寒力(Ft) Cold resistance(Ft)	排序 Order
CS/140R	-0.987 1	-0.491 0	-1.071 1	-0.917 8	4
CS/kangzhen3	-1.949 6	1.053 5	1.661 7	-0.968 4	5
CS/5BB	3.595 3	0.014 3	-0.045 4	2.516 5	1
CS/5C	0.423 7	0.0587 7	-0.780 5	0.200 1	3
CS/SO4	2.013 1	-0.385 6	0.742 0	1.450 0	2
CS	-3.095 4	-0.250 5	-0.506 5	-2.280 5	6

3 讨 论

3.1 恢复生长、相对电导率及半致死温度(LT₅₀)与抗寒性的关系

生长恢复是根据植物在自然环境或人工处理条件下，受低温胁迫后恢复生长或形成愈伤组织的能力来判断其抗寒性强弱的一种方法，是果树抗寒性鉴定较为传统的方法^[20]，在苹果^[21]、葡萄^[14]、樱桃^[22]等树种上已有大量的应用。在应用该方法时，以萌芽率进行调查统计比较方便^[14]。本试验通过相对电导率拟合 Logistic 曲线方程计算半致死温度，发现 LT₅₀ 和恢复生长法的结果基本一致，说明通过 Logistic 曲线方程结合恢复生长法萌芽率的强弱能直观体现枝条抗寒性的强弱，对抗寒性的评价上比较准确。

当植物受到逆境(寒冷、干旱、高温、盐渍等)影响时，细胞膜遭到破坏，膜透性增大，从而使细胞内电解质外渗，导致植物细胞浸提液的电导率增大。在低温胁迫下，抗寒性较强的砧木品种细胞质膜通透性较小^[23]。相对电导率(REC)是反映植物组织冷冻后细胞膜通透性大小的重要指标，也是鉴定植物抗寒性的常用方法，尤其是配以 Logistic 曲线方程，利用拐点温度获得半致死温度(LT₅₀)更能准确地反映植物所耐受的低温极限，在植物抗寒性研究中已广泛应用^[12, 14, 19, 24]。本试验结果显示，随着胁迫温度的降低，6 种供试葡萄枝条相对电导率逐渐增加和各温度处理间呈现明显的“S”型曲线，这与曹建东等^[8]和郑晓翠等^[25]的研究结果一致。此外，本试验通过相对电导率配以 Logistic 方程拟合半致死温度得出赤霞珠自根的 LT₅₀ 结果与王依等^[12]和马小河等^[26]的 LT₅₀ 结果存在差异，可能跟地域差异、试验材料、取材时间、低温处理持续的时间、枝条薄片煮沸时间长短等因素有关，从而影响相对电导率值，导致

Logistic 拟合半致死温度存在很大差异;而‘赤霞珠’嫁接不同葡萄砧木后发现 LT_{50} 均有提高,说明受砧穗互作的影响,抗寒砧木能明显提高接穗抗寒性,这与赵宝龙等^[13]报道的 1103、101-14 可提高‘赤霞珠’接穗葡萄枝条抗寒性的研究结果一致。

3.2 丙二醛(MDA)含量与抗寒性的关系

MDA 是膜脂过氧化最重要的产物之一,具有很强的细胞毒性,它的产生能加剧膜的损伤^[8]。因此,在植物衰老生理和抗性生理研究中 MDA 含量是一个常用指标,可通过 MDA 反映膜脂过氧化的程度,以间接测定膜系统受损程度和反映植物在逆境条件下抗逆性的强弱。本试验结果表明,6 种供试葡萄枝条在低温胁迫下,随着低温处理的降低,枝条 MDA 含量均有升高趋势,MDA 含量越高,抗寒性越差,MDA 含量越低,抗寒性越强。同时,达到峰值时抗寒性越弱的品种其增加幅度越大,抗寒性越强的品种其增加幅度越小。这与曹建东等^[8]和谢丽芬等^[27]的研究结果一致。

3.3 渗透调节物质含量与抗寒性的关系

在逆境条件下,各种渗透物质(K^+ 、 Cl^- 、脯氨酸、可溶性蛋白、可溶性糖等)在植物体内积累,使其具有渗透调节能力。而渗透调节的关键是溶质在细胞中的主动积累,导致细胞液渗透势降低,以防止细胞液过度失水。一般认为,糖类物质的积累和可溶性蛋白含量与植物的抗寒性呈显著正相关。细胞内可溶性糖含量高可增加细胞液浓度降低水势,增加植株的持水能力,减少细胞质的过度脱水,使细胞质在低温条件下胶化程度降低,同时还具有保护蛋白质避免低温所引起的凝固作用,因而提高植物抗寒性^[28]。可溶性蛋白质的亲水性较强,能增加细胞的保水能力,从而提高植物抗寒性。脯氨酸是植物体内普遍存在的保护物质,具有水溶性和水势高、细胞内积累无毒性的特点。作为一种理想的有机溶剂,许多植物在受到冷胁迫时,游离脯氨酸能促进蛋白质水合作用,在水溶液中形成亲水胶体,产生与其相互作用的疏水骨架蛋白,从而对细胞起到一定的保护作用。本试验中 6 种供试葡萄枝条可溶性糖含量随着低温胁迫的下降呈先上升后下降趋势,这与鲁金星等^[29]的研究结果一致,但不同嫁接苗木枝条可溶性糖含量达到最大值的低温不同,这可能就与品种的特性有关;可溶性蛋白含量随着低温胁迫的降低逐渐上升,这与王依等^[12]的研究结果一致;游离脯氨酸含量随着低温胁迫的下降呈先上升后下降趋势,在 $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时游离

脯氨酸含量下降,这可能是葡萄枝条遭受严重冻害胁迫后,细胞内相应酶系统和代谢活动遭到破坏而导致的。

3.4 保护酶活性与抗寒性的关系

SOD、POD 和 CAT 是植物在逆境条件下,体内细胞中存在的用于消除生物氧自由基的产生和累积、使细胞免于伤害或增强抗性的保护酶。一般认为,通过 SOD、POD 和 CAT 三种酶的协同作用可以使细胞内的自由基维持在一个较低的水平,用于防御活性氧或其他过氧化物自由基对细胞膜系统的伤害。本研究表明,随着处理温度的降低,6 种供试葡萄枝条 POD 活性呈现先上升后下降变化,CAT 活性呈上升趋势,而 SOD 活性呈现升高—降低—升高—降低趋势,这与王依等^[12]、鲁金星等^[29]的研究结果不一致,可能与试验材料及处理时间有关。

3.5 抗寒性的主成分分析综合评价

主成分分析是考察多个变量间相关性的一种多元统计方法,通过 SPSS 软件主成分分析可以从原始变量中导出少数几个主成分,使它们尽可能多地保留原始变量的信息,且彼此间互不相关作为新的综合指标。杨凤翔^[19]等针对不同草莓品种抗寒性进行了主成分分析,综合评价后的结果与其观察结果一致。本试验通过 SPSS 主成分分析对 6 种供试‘赤霞珠’葡萄枝条抗寒性进行综合评价得出的结果中,CS/kangzhen3、CS/5C 和 CS/140R 的综合排序与结合相对电导率值拟合后半致死温度的计算结果不一致,造成这种结果的原因可能是利用半致死温度评价葡萄品种抗寒性强弱比较单一,而主成分分析法是结合 9 个指标综合评价作用的结果,对植物抗寒性的综合评价分析较为准确。

4 结论

本试验通过测定 6 种供试‘赤霞珠’葡萄 1 年生枝条在不同低温胁迫下各项生理生化指标的变化,结合对测定指标主成分分析综合评价,各品种抗寒性强弱顺序为 CS/5BB>CS/SO4>CS/5C>CS/140R>CS/kangzhen3>CS。

参考文献 References:

- [1] 李红娟,周新明,刘勇强,李记明.‘蛇龙珠’亲缘关系鉴定在营养系选种中的应用[J].中国农学通报,2012,28(28):153-157.
LI Hongjuan, ZHOU Xinming, LIU Yongqiang, LI Jiming. The application of phylogenetic analysis on selection new clones of ‘Cabernet Gernischt’ [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28 (28): 153-157.

- [2] 孙聪,李连国,刘勇翔,李晓艳,任鹏达,郭金丽. 干旱胁迫下不同砧木对酿酒葡萄‘Syrah’光合作用的影响[J]. 北方园艺, 2019,433(10):44-50.
SUN Cong, LI Lianguo, LIU Yongxiang, LI Xiaoyan, REN Pengda, GUO Jinli. Effects of different rootstocks on photosynthesis of wine grape ‘Syrah’ under drought stress[J]. Northern Horticulture, 2019, 433(10):44-50.
- [3] DA SILVA M J R, DA SILVA PADILHA C V, DOS SANTOS LIMA M, PEREIRA G E, FILHO W G V, MOURA M F, TECHIO M A. Grape juices produced from new hybrid varieties grown on Brazilian rootstocks-bioactive compounds, organic acids and antioxidant capacity[J]. Food Chemistry, 2019 (289) : 714-722.
- [4] 刘崇怀,冯建灿,董丹丹,王忠跃. 葡萄杂交后代对葡萄根瘤蚜抗性的遗传分析[J]. 果树学报, 2012, 29(2): 184-187.
LIU Chonghuai, FENG Jiancan, DONG Dandan, WANG Zhongyue. Inheritance trend in resistance to phylloxera in grape cross progenies[J]. Journal of Fruit Science, 2012, 29(2) : 184-187.
- [5] 李超,白世践,耿新丽,陈光,赵荣华,蔡军社. 不同砧木对‘赤霞珠’葡萄生长发育的影响[J]. 果树学报, 2016, 33(10): 1241-1250.
LI Chao, BAI Shijian, GENG Xinli, CHEN Guang, ZHAO Ronghua, CAI Junshe. Effects of rootstocks on growth and development of ‘Cabernet Sauvignon’ grape[J]. Journal of Fruit Science, 2016, 33(10): 1241-1250.
- [6] 高展,王海鸥,蒋丽丽,周龙,杨小平,杜展成. ‘贝达’砧木嫁接 9 个酿酒葡萄品种产量及果实品质的比较[J/OL]. 经济林研究, 2019, 37(3): 180-187.
GAO Zhan, WANG Haiou, JIANG Lili, ZHOU Long, YANG Xiaopin, DU Zhancheng. Comparison of yield and fruit quality in nine wine grape cultivars grafted with ‘Beida’ rootstock[J/OL]. Non-wood Forest Research, 2019, 37(3): 180-187.
- [7] 刘用生. 果树嫁接杂交及其应用[J]. 果树科学, 1999, 16(S1): 20-26.
LIU Yongsheng. Graft Hybridization of fruit plants and its application[J]. Fruit Science, 1999, 16(S1): 20-26.
- [8] 曹建东,陈佰鸿,王利军,毛娟,赵鑫. 葡萄抗寒性生理指标筛选及其评价[J]. 西北植物学报, 2010, 30(11): 2232-2239.
CAO Jiandong, CHEN Baihong, WANG Lijun, MAO Juan, ZHAO Xin. Cold resistance indexes identification and comprehensive evaluation of grape varieties[J]. Acta Bot Boreal-Occident Sinica, 2010, 30(11): 2232-2239.
- [9] 李鹏程,苏学德,王晶晶,郭绍杰,李铭,符小发. 8 种葡萄砧木品种的低温半致死温度与抗寒性综合评价[J]. 甘肃农业大学学报, 2017, 52(1): 92-96.
LI Pengcheng, SU Xuede, WANG Jingjing, GUO Shaojie, LI Ming, FU Xiaofa. Semi-lethal temperature and comprehensive evaluation of hardiness on eight kinds of grape rootstock[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2017, 52(1): 92-96.
- [10] 李桂荣,连艳会,程珊珊,全冉,扈惠灵. 低温胁迫对山葡萄等 6 个葡萄品种抗寒性的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(8): 130-134.
LI Guirong, LIAN Yanhui, CHEN Shanshan, QUAN Ran, HU Huiling. Effect of low temperature stress on cold resistance of several kinds of seedless grape cultivars[J]. Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, 2019, 47(8): 130-134.
- [11] 孙军利,赵宝龙,叶秀勇. 葡萄营养袋单芽扦插育苗技术[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2005(3): 40.
SUN Junli, ZHAO Baolong, YE Xiuyong. Single bud cutting seedling raising technology of grape nutrition bag[J]. Sino-Overseas Grapevine & Wine, 2005(3): 40.
- [12] 王依,靳娟,罗强勇,杨怡帆,吕新民,樊新民,鲁晓燕. 4 个酿酒葡萄品种抗寒性的比较[J]. 果树学报, 2015, 32(4): 612-619.
WANG Yi, JIN Juan, LUO Qiangyong, YANG Yifan, LÜ Xinmin, Fan Xinmin, LU Xiaoyan. Comparison of cold resistance among 4 grapevine cultivars[J]. Journal of Fruit Science, 2015, 32(4): 612-619.
- [13] 赵宝龙,李歆玥,张连杰. 不同砧木的赤霞珠和弗蕾无核葡萄枝条抗寒性差异研究[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2014(4): 6-11.
ZHAO Baolong, LI Xinyue, ZHANG Lianjie. Study on the difference of cold resistance of Cabernet Sauvignon and Flame Seedless on different rootstocks[J]. Sino-Overseas Grapevine & Wine, 2014(4): 6-11.
- [14] 何伟,艾军,杨义明,范书田,王振兴. 山葡萄种质资源枝条的低温半致死温度研究[J]. 北方园艺, 2014(21): 19-22.
HE Wei, AI Jun, YANG Yiming, FAN Shutian, WHANG Zhenxing. Study on the semi-lethal temperature of germplasm resources of Vitis amurensis branches[J]. Northern Horticulture, 2014 (21): 19-22.
- [15] 张志良,瞿伟菁,李小芳. 植物生理学实验指导[M]. 4 版. 北京: 高等教育出版社, 2009: 7.
ZHANG Zhiliang, QU Weijing, LI Xiaofang. Plant physiology experiment guidance[M]. 4th ed. Beijing: China Agricultural Press, 2009: 7.
- [16] 李合生,孙群,赵世杰,章文华. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 164-165.
LI Hesheng, SUN Qun, ZHAO Shijie, ZHANG Wenhua. Principles and techniques of plant physiological biochemical experiment[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000: 164-165.
- [17] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 163-165.
ZOU Qi. Guide of plant physiology experiments[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2000: 163-165.
- [18] 杨凤翔,金芳,颜霞. 不同草莓品种抗寒性综合评价[J]. 果树学报, 2010, 27(3): 368-372.
YANG Fengxiang, JIN Fang, YAN Xia. Comprehensive evaluation of different strawberry varieties’ tolerance to coldness[J]. Journal of Fruit Science, 2010, 27(3): 368-372.
- [19] 袁军伟,郭紫娟,马爱红,刘长江,韩斌,赵胜建. 葡萄砧木抗

- 寒性的鉴定与综合评价[J]. 中国农学通报, 2013, 29(4): 99-103.
- YUAN Junwei, Guo Zijuan, MA Aihong, LIU Changjiang, HAN Bin, ZHAO Shengjian. Cold resistance identification and comprehensive evaluation of grape rootstocks[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2013, 29(4): 99-103.
- [20] 尹杰. 温度处理对8个杨树无性系休眠枝条生长恢复的影响及抗寒性比较[J]. 安徽农学通报, 2017, 23(11): 118, 141.
- YIN Jie. Effects of temperature treatment on growth and recovery of dormant branches of eight poplar clones and comparison of cold resistance[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2017, 23(11): 118, 141.
- [21] 赵国栋, 赵同生, 李春敏, 付友, 张新生. 11个苹果野生砧木品种低温处理抗性指标的综合评价[J]. 西北林学院学报, 2018, 33(6): 145-151.
- ZHAO Guodong, ZHAO Tongsheng, LI Chunmin, FU You, ZHANG Xinsheng. Comprehensive evaluation on cold resistance of eleven wild apple rootstocks[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2018, 33(6): 145-151.
- [22] 李勃, 刘成连, 刘庆忠, 杨瑞红. 樱桃砧木抗寒性鉴定[J]. 果树学报, 2006, 23(2): 196-199.
- LI Bo, LIU Chenglian, LIU Qingzhong, YANG Ruihong. Study on the cold resistance of cherry rootstocks[J]. Journal of Fruit Science, 2006, 23(2): 196-199.
- [23] NIYAZ A, ABLAT P, DONG S L, DU R Q, ZHANG S K, XU L, LI W H. Comparative study on the cold resistance of four cherry cultivars under chilling stress[J]. Agricultural Science and Technology, 2014, 15(11): 1919 - 1922.
- [24] 张鸥. 不同穗醋栗品种枝条抗寒性研究[J]. 中国果树, 2018(5): 43-45.
- ZHANG Kun. Study on branch hardy of different Ribes cultivars [J]. China Fruits, 2018(5): 43-45.
- [25] 郑晓翠, 王海波, 王孝娣, 王宝亮, 魏长存, 刘万春, 何锦兴, 刘凤之. 14个葡萄砧木品种抗寒性评价[J]. 中国果树, 2014(1): 36-39.
- ZHENG Xiaocui, WANG Haibo, WANG Xiaodi, WANG Bao-liang, WEI Changcun, LIU Wanchun, HE Jinxin, LIU Fengzhi. Evaluation of cold resistance of 14 grape rootstock varieties[J]. China Fruits, 2014(1): 36-39.
- [26] 马小河, 唐晓萍, 董志刚, 赵旗峰, 李晓梅, 王敏, 任瑞. 6个酿酒葡萄品种抗寒性比较[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2013, 33(1): 1-5.
- MA Xiaohe, TANG Xiaoping, DONG Zhigang, ZHAO Qifeng, LI Xiaomei, WANG Min, REN Rui. Comparison of cold resistance for 6 grape wine cultivars[J]. Journal of Shanxi Agricultural University(Natural Science Edition), 2013, 33(1): 1-5.
- [27] 谢丽芬. 葡萄砧木抗寒性鉴定及抗寒机理的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2007.
- XIE Lifen. Studies on cold resistance identification and mechanism of grapevine rootstocks[D]. Huhehaote: Inner Mongolia Agricultural University, 2017.
- [28] 吕春晶, 孙凌俊, 魏潇, 高圣华. 可溶性糖与葡萄抗寒性的关系研究进展[J]. 辽宁农业科学, 2017(4): 50-53.
- LV Chunjing, SUN Lingjun, WEI Xiao, GAO Shenghua. Research advances in relationship between soluble sugar and cold resistance in grape[J]. Liaoning Agricultural Sciences, 2017(4): 50-53.
- [29] 鲁金星, 姜寒玉, 李唯. 低温胁迫对砧木及酿酒葡萄枝条抗寒性的影响[J]. 果树学报, 2012, 29(6): 1040-1046.
- LU Jinxing, JIANG Hanyu, LI Wei. Effects of low temperature stress on the cold resistance of rootstock and branch of wine grapes[J]. Journal of Fruit Science, 2012, 29(6): 1040-1046.