

几种苹果中间砧的抗寒性评价

井俊丽, 刘铭潇, 魏欣, 徐继忠, 李中勇, 张学英*, 周莎莎*

(河北农业大学园艺学院, 河北保定 071000)

摘要:【目的】评价几种苹果中间砧的抗寒性,旨在筛选出抗寒性强的优良砧木,为苹果抗寒砧木的栽培生产应用、引种和选育提供理论依据。【方法】以9种苹果中间砧(5种新选育的抗寒性未知的砧木,编号分别为100、147、9-3、1-8、22#46;4种抗寒性已被评价过的砧木,分别为GM256、SH40、M9、MM106,作为对照)的1年生休眠枝条为试材,在自然越冬胁迫期间,测定各砧木枝条半致死温度、SOD和POD酶活性、MDA、ABA、超氧阴离子、可溶性蛋白、可溶性糖、淀粉和脯氨酸含量等生理指标,采用主成分分析综合评价不同苹果中间砧抗寒性。【结果】在自然越冬低温胁迫下,各苹果砧木均呈现出动态的生理特性变化。抗寒性好的砧木,有较高的SOD、POD酶活性和ABA、可溶性糖、可溶性蛋白、淀粉和脯氨酸含量,以及较低的MDA含量、冻害指数和超氧阴离子产生速率。【结论】几种苹果中间砧的抗寒性由强到弱顺序为:100 > 147 > 9-3 > GM256 > SH40 > 1-8 > 22#46 > M9 > MM106。

关键词: 苹果砧木;自然越冬;抗寒性;生理指标;主成分分析

中图分类号:S661.1

文献标志码:A

文章编号:1009-9980(2022)06-0970-12

Evaluation of cold hardiness of several apple interstocks

JING Junli, LIU Mingxiao, WEI Xin, XU Jizhong, LI Zhongyong, ZHANG Xueying*, ZHOU Shasha*

(College of Horticulture, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, Hebei, China)

Abstract: 【Objective】China is the world's largest apple producer and consumer, with more than 50% of the world's total apple planting area and output. Apple industry plays an important role in promoting farmers' poverty alleviation, rural revitalization and agricultural supply-side structural reform in China. Severe freezing injury will damage the tree, affect the yield and quality, and cause serious economic losses. Low temperature freezing injury has become a main limiting factor for the development of apple industry in China. In order to avoid or reduce the freezing injury, it is necessary to improve the cold resistance of apple trees, and rootstocks have a great influence on the cold resistance. In this study, through the determination of semilethal temperature under low-temperature conditions, cold resistance related physiological indexes and morphological index, as well as the cold resistance of several apple rootstocks were comprehensively evaluated by principal component analysis, the aim was to screen out rootstocks with strong cold resistance and provide a theoretical basis for the cultivation, production, application, introduction and breeding of apple rootstocks with strong cold resistance. 【Methods】The annual dormant branches of 9 types of apple interstocks (5 newly selected rootstocks with unknown cold resistance, i.e., 100, 147, 9-3, 1-8 and 22#46, and 4 types of rootstocks with known cold resistance such as GM256, SH40, M9 and MM106 as the control) were used as test materials. All rootstocks were grafted on apomictic *Malus hupehensis* Rehd.. During natural overwintering stress, strong and consistent annual dormant branches of each rootstock were sampled. The branches of various rootstocks were treated in two parts: One part of the branches was treated at low temperature after sampled, the relative electro-

收稿日期:2021-09-10 接受日期:2022-03-07

基金项目:河北省重点研发计划项目(19226317D);河北省自然科学基金项目(C2020204015)

作者简介:井俊丽,女,在读硕士研究生,研究方向为果树结实生理与分子生物学。Tel:18730277283, E-mail:439638296@qq.com

*通信作者 Author for correspondence. Tel:13831280535, E-mail:yyzhshsh@hebau.edu.cn; Tel:13930838717, E-mail:zhangxueying1996@163.com

lyte conductivity (REC) was measured, and the semilethal temperature was calculated; another part of the branches were frozen in liquid nitrogen after sampled and stored in the refrigerator at $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ for measuring the physiological and biochemical indexes such as superoxide dismutase (SOD) and peroxidase (POD) activities, the contents of malondialdehyde (MDA), abscisic acid (ABA), superoxide anion (O_2^-), soluble protein, soluble sugar, starch and proline of rootstock branches. The cold resistance of apple rootstocks was comprehensively evaluated by principal component analysis. 【Results】During the whole process of natural overwintering stress, the physiological characteristics showed dynamic changes of all apple rootstocks. The morphological indicators (freezing injury index) and physiological indexes such as SOD and POD enzyme activities, the contents of MDA, ABA, superoxide anion, soluble sugar, soluble protein and proline were negatively correlated with the natural overwintering temperature, and the semilethal temperature and starch content were positively correlated with the natural overwintering temperature, and all these physiological indexes reached the maximum or minimum value when the temperature achieved the lowest in January, but may have slight difference among some rootstock species due to different variety characteristics. The rootstocks with higher cold resistance had higher SOD and POD activities, as well as ABA, soluble sugar, soluble protein, starch and proline contents, and lower MDA and superoxide anion production rate. The rootstocks with poorer cold resistance had lower SOD and POD enzyme activities, as well as ABA, soluble sugar, soluble protein, starch and proline contents, and higher MDA content, freezing injure index and superoxide anion production rate. 【Conclusion】The order of cold resistance of these apple interstocks was as following in a descending order: 100 > 147 > 9-3 > GM256 > SH40 > 1-8 > 22#46 > M9 > MM106. GM256 was an excellent apple rootstock with strong cold resistance. In this study, the apple rootstocks with better cold resistance than GM256 were 100, 147 and 9-3. It is expected to provide valuable reference for the cultivation, production, application, introduction and breeding of apple rootstocks with strong cold resistance.

Key words: Apple rootstock; Natural overwintering; Cold resistance; Physiological indexes; Principal component analysis

苹果属于蔷薇科苹果属植物,是世界四大水果之一^[1],中国是世界上最大的苹果生产和消费国,苹果种植面积和产量均超过世界总量的50%。苹果产业在促进农民脱贫致富、助力乡村振兴以及推进农业供给侧结构性改革等方面起到重要作用^[2]。由于我国复杂的地理条件和气候条件,苹果春冬季易遭到冻害,严重的低温冻害会使树体受损,影响来年的产量和品质,造成严重经济损失,温度是影响苹果产业发展、降低经济产量和效益及限制苹果栽培区域扩大的一个重要因素。我国北方冬季容易发生冻害,抗寒性差的苹果树枝干受冻严重,甚至有些地区会使树木出现抽条现象^[3]。低温冻害成为我国苹果产业发展的限制因素^[4]。由此,提高苹果树的抗寒性尤为重要。嫁接是苹果主要的繁殖方式,砧木直接影响接穗的抗寒性,正确选择砧木,可以提高苹果树的抗寒性^[5]。评价和鉴定不同苹果砧木的抗寒性,筛选出抗寒性强的苹果砧木,对促进苹果产业发

展、提高苹果经济产量及效益、扩大苹果的栽培区域具有重要的指导意义。

近年来,采用人工模拟低温处理的方法研究抗寒性的报道有很多。赵国栋等^[6]和王依等^[7]采用人工低温模拟的方法通过半致死温度及生理生化指标的测定,综合评价出野生苹果和酿酒葡萄的抗寒性。有研究指出,在自然越冬条件下研究抗寒性比采用人工模拟低温处理的方法研究抗寒性更能真实反映抗寒能力且更具现实意义^[8]。因此,笔者在本试验中以5种新选育的苹果砧木和4种抗寒性已被评价过的砧木^[9-10]为试材,对其自然越冬胁迫下的1年生苹果休眠枝条的半致死温度、SOD和POD酶活性,以及超氧阴离子、可溶性蛋白、MDA、游离脯氨酸、ABA、可溶性糖、淀粉含量等生理指标进行测定,研究各苹果中间砧木枝条在自然越冬胁迫下生理特性的变化,并利用主成分分析法综合评价比较各苹果中间砧的抗寒性,筛选出抗寒性强的优良苹

果中间砧,以期为苹果抗寒砧木的栽培生产应用、引种和选育提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试材为9种苹果中间砧(5种新选育的抗寒性未知的砧木,编号分别为100、147、9-3、1-8、22#46,4种抗寒性已被评价过的砧木(GM256、SH40、M9、MM106)作为对照,采取1年生休眠期枝条为试验材料,所用试材都嫁接在无融合生殖的平邑甜茶(*Malus hupehensis* Rehd.)砧木上。试材生长地点位于保定市河北农业大学西校区,该地区属暖温带大陆性季风气候区,四季分明,春秋凉爽,夏季多雨,冬季寒冷干燥。

1.2 试验方法

1.2.1 半致死温度和生理指标 (1)取材与处理。分别于2020年11月7日、2020年12月7日、2021年1月5日、2021年3月5日取样,各取样日的日最高气温分别为20.4、-2、10℃,日最低气温分别为3、-7、-15、1℃,日平均气温分别为12.21、-1.96、-7.33、4.29℃。每种砧木采取长势一致、健壮无病虫害的1年生休眠枝条(直径约0.5 cm)。各种砧木枝条分为2部分:一部分枝条采后立即清洗干净,带回实验室后立即取其枝皮,迅速用锡纸包好,液氮速冻,保存于-80℃冰箱,用于测定生理生化指标;另一部分枝条采后用蒸馏水和去离子水清洗干净,每种砧木按6个低温处理温度分装6个塑料自封袋中(袋中喷去离子水防止枝条发生过硬现象),每个袋中放5个枝段(每段长约3 cm),然后放置于盛有保鲜冰块的取样箱中带回实验室进行不同低温处理,测定相对电导率,求低温半致死温度。

(2)低温处理。低温处理参照金明丽^[5]的方法。使用可变温的超低温冰箱进行人工冷冻处理,每次设定6个温度梯度(表1),以4℃为空白对照,

表1 4次低温处理测定抗寒性所设温度

Table 1 Set temperature for cold resistance determination after 4 low temperature treatments

日期 Date	设定温度 Temperature/℃					
2020-11-07	4	-8	-22	-34	-45	-55
2020-12-07	4	-8	-22	-34	-50	-60
2021-01-05	4	-10	-22	-45	-55	-65
2021-03-05	4	-4	-20	-28	-36	-45

其他几个温度包括所有使样品成活的温度和所有使样本致死的温度。降温速率为6℃·h⁻¹,在温度达到设定温度后放置12 h。之后拿出在0℃冰箱中静置解冻8 h,再于4℃冰箱中解冻放置24 h后测定相对电导率。

(3)测定相对电导率。参照金明丽^[5]、杨雪^[11]和张钢^[12]的方法计算相对电导率(E)和半致死温度(LT_{50}),测定电导率的方法略有改动。将已低温处理好的枝条切成15 mm长的枝段,从中间劈开,放入装有10 mL超纯水的试管中,每个处理5次重复。放到摇床上震荡24 h,震荡完毕后用DDS-307A型电导率仪(上海仪电科学仪器股份有限公司)测定初电导值 R_1 和空白电导值 R_0 。然后于水浴锅中沸水浴30 min,再次放到摇床上震荡24 h,之后测终电导值 R_2 。按 $E(\%)=(R_1-R_0)/(R_2-R_0)\times 100$ 计算得出各处理的相对电导率 E 。将各处理温度和相对电导率用SPSS 21.0软件拟合Logistic方程,求拐点温度,即为低温半致死温度(LT_{50})。

(4)测定相关生理指标。丙二醛含量采用硫代巴比妥酸(TBA)法测定^[13];超氧化物歧化酶活性采用四唑氮蓝光还原法测定^[5];过氧化物酶活性采用愈创木酚法测定^[5];超氧阴离子含量采用羟胺氧化法测定^[14];可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定^[5];可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝G-250染色法测定^[5];脯氨酸含量采用茚三酮显色法测定^[5];淀粉含量采用蒽酮比色法测定^[5];脱落酸含量采用酶联免疫吸附法(ELISA)测定^[16]。

1.2.2 冻害形态指标测定 分别于2021年11月20日、2021年12月16日、2022年1月11日、2022年3月2日取样,各取样日的日最高气温分别为9、8.6、3、13.6℃,日最低气温分别为4.5、-5.8、-12.7、-4.6℃,日平均气温分别为7.28、0.57、-5.25、5.61℃。每种砧木采取长势一致、健壮无病虫害的1年生休眠枝条,带回实验室进行观察记录。采用目测观察结合显微镜观察记录枝条切面的褐变情况^[17],参照赵同生等^[18]的方法进行冻害分级,按木质部变褐面积的大小将冻害分为10级,计算冻害指数,3次重复,每次4个枝段。

冻害指数($\%$)= $[\sum(\text{冻害级次}\times\text{枝段数})/(10\times\text{枝段总数})]\times 100$ 。

1.3 数据处理

利用SPSS 21.0软件进行logistic方程拟合求低

温半致死温度。采用Microsoft Excel 2010软件对试验数据进行整理和作图。利用SPSS 21.0进行单因素方差分析,并用Duncan检验($p < 0.05$)进行差异显著性分析。运用SPSS 21.0并采用Z-score对数据进行标准化处理和主成分分析,综合评价抗寒性。

2 结果与分析

2.1 人工低温胁迫处理下各苹果砧木枝条半致死温度(LT50)的变化

根据在不同低温胁迫处理下测得各苹果砧木枝条的相对电导率,并结合Logistic方程求得各苹果砧木的低温半致死温度及拟合度,结果如表2所示。在整个自然越冬胁迫过程中,各苹果砧木枝条

半致死温度变化与自然冬季气温变化趋势相对应,呈先降低后升高的趋势。即在2020年11月7日至2021年1月5日,随自然气温的逐渐降低,各苹果砧木在适应外界冷胁迫环境条件的变化后,抗寒性提高,相应的半致死温度随之降低,且均在1月份自然温度最低、胁迫最严重时半致死温度最低。随后在2021年1月5日至2021年3月5日,气温回升时,半致死温度也随之上升。各苹果砧木枝条在低温胁迫下利用Logistic方程拟合的回归曲线拟合程度较好,拟合结果较精确可靠,可信度高。在整个自然越冬过程中,100、147、9-3和GM256半致死温度较低,表现出较强的抗寒性。MM106、M9和22#46半致死温度较高,表现出较差的抗寒性。

表2 人工低温胁迫处理下各苹果砧木枝条半致死温度(LT50)及拟合度
Table 2 Half lethal temperature (LT50) and fitting degree of branches of apple rootstocks under artificial low temperature stress

砧木 Stock	2020-11-07		2020-12-07		2021-01-05		2021-03-05	
	LT50/°C	相关系数R ²	LT50/°C	相关系数R ²	LT50/°C	相关系数R ²	LT50/°C	相关系数R ²
SH40	-16.172	0.990	-23.430	0.993	-31.321	0.991	-24.818	0.954
MM106	-14.751	0.978	-21.304	0.996	-26.618	0.991	-26.549	0.994
M9	-15.587	0.973	-22.763	0.968	-30.943	0.994	-26.778	0.975
GM256	-17.737	0.986	-23.156	0.995	-35.890	0.987	-31.026	0.970
100	-18.279	0.982	-26.926	0.981	-44.240	0.988	-23.458	0.990
147	-17.180	0.980	-23.643	0.994	-45.337	0.984	-24.808	0.992
1-8	-17.655	0.974	-23.799	0.992	-32.278	0.987	-26.225	0.989
22#46	-14.052	0.987	-23.413	0.995	-31.028	0.983	-23.531	0.975
9-3	-16.117	0.997	-27.783	0.96	-45.087	0.989	-25.310	0.979

2.2 自然越冬胁迫下各苹果砧木枝条的冻害指数情况

对自然越冬胁迫下各苹果砧木枝条的组织褐变程度进行观察,求得的冻害指数情况如表3所示。各苹果砧木枝条的冻害指数变化与自然冬季气温变化趋势相反,呈先升高后降低的趋势。在2021年11月20日MM106、M9和22#46表现出轻微冻害,其他砧木未出现冻害。2021年12月16日至2022年1月11日,低温胁迫加剧,各苹果砧木枝条均发生轻微冻害,木质部出现变褐情况加重,冻害指数升高,在2022年1月11日至2021年3月2日随着冬季气温的回升,低温胁迫减轻,冻害指数有所降低。在整个自然越冬胁迫过程中,100、147、9-3和GM256的冻害指数相对较低,说明受冻害影响小。而MM106、M9和22#46的冻害指数相对较高,褐变情况严重,说明受低温影响较大。

表3 自然越冬胁迫下各苹果砧木枝条的冻害指数变化情况
Table 3 Changes of freezing injury index of branches of apple rootstocks under natural overwintering stress

砧木 Stock	冻害指数 Freeze injury index of branches/%			
	2021-11-20	2021-12-16	2022-01-11	2022-03-02
SH40	0.00 b	4.17 ab	5.00 b	2.50 bc
MM106	0.83 ab	6.67 a	10.83 a	4.17 ab
M9	0.83 ab	5.00 ab	10.00 a	4.17 ab
GM256	0.00 b	3.33 b	4.17 b	2.50 bc
100	0.00 b	3.33 b	4.17 b	1.67 c
147	0.00 b	3.33 b	4.17 b	2.50 bc
1-8	0.00 b	5.00 ab	5.00 b	2.50 bc
22#46	1.67 a	6.67 a	10.00 a	5.83 a
9-3	0.00 b	3.33 b	4.17 b	1.67 c

注:表中数据为2021—2022年各砧木冻害发生情况。不同小写字母表示砧木间差异显著($p < 0.05$)。下同。

Note: The data in the table showed the freezing damage of rootstocks during 2021 to 2022. Different small letters indicate significant difference among different rootstocks ($p < 0.05$). The same below.

2.3 自然越冬胁迫下各苹果砧木枝条生理指标的变化

2.3.1 丙二醛(MDA)含量的变化 自然越冬胁迫下各苹果砧木枝条中MDA的含量变化情况如图1所示。大多数苹果砧木枝条MDA含量变化与自然冬季气温变化趋势相反,呈先升高后降低的趋势。即在2020年11月7日至2021年1月5日随自然温度的下降和低温胁迫的加剧,各苹果砧木枝条的MDA含量随之升高,在2021年1月5日至2021年3月5日

随着自然冬季气温的回升,低温胁迫减轻,MDA含量有所降低。1-8的MDA含量变化略有差异,在整个越冬胁迫中MDA持续升高,且在3月份MDA含量升至最高。SH40、MM106、M9、GM256、100、147、22#46和9-3均在1月份温度胁迫最严重时MDA含量升至最高,且各品种间表现出显著差异。在整个自然越冬胁迫过程中,100和147的MDA含量始终处于较低水平,显著低于其他砧木。22#46的MDA含量一直处于较高水平。

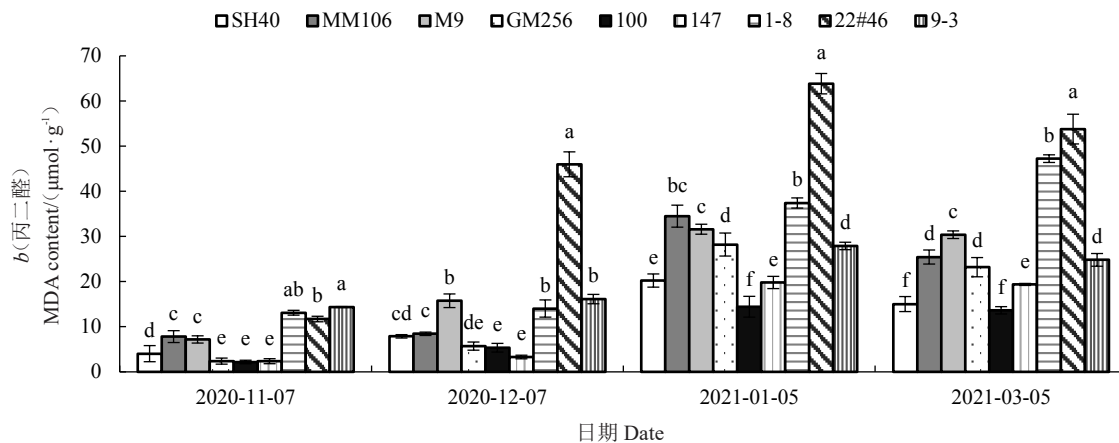


图1 自然越冬胁迫下各苹果砧木枝条丙二醛(MDA)含量的变化

Fig. 1 Changes of malondialdehyde (MDA) content in branches of apple rootstocks under natural overwintering stress

2.3.2 保护酶活性及超氧阴离子产生速率的变化 (1)超氧化物歧化酶(SOD)活性的变化。自然越冬胁迫下各苹果砧木枝条中SOD活性变化如图2所示。各苹果砧木枝条SOD活性变化与自然冬季气温变化趋势相反,呈先升高后降低的趋势。即在2020年11月7日至2021年1月5日随自然温度的下

降和低温胁迫的加剧,各苹果砧木枝条的SOD活性随之升高,且各苹果砧木均在1月份温度胁迫最严重时SOD活性升至最高。在2021年1月5日至2021年3月5日气温逐渐回升时,随着低温胁迫的减轻,各苹果砧木枝条SOD活性有所降低。在整个自然越冬胁迫过程中,100、147和GM256的SOD活

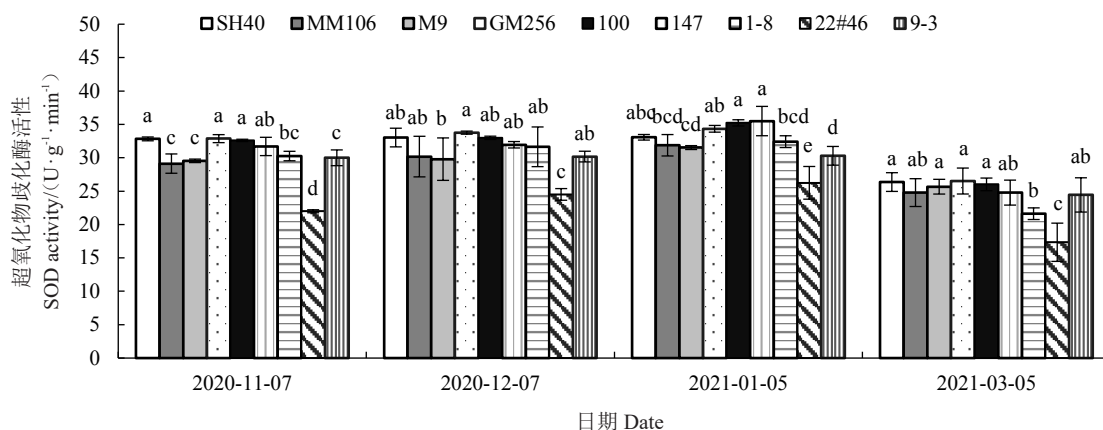


图2 自然越冬胁迫下各苹果砧木枝条超氧化物歧化酶(SOD)活性的变化

Fig. 2 Changes of superoxide dismutase (SOD) activity in branches of apple rootstocks under natural overwintering stress

性始终处于较高水平,显著高于其他砧木。M9和22#46的SOD活性总体来说处于相对较低水平。

(2)过氧化物酶(POD)活性的变化。自然越冬胁迫下各苹果砧木枝条中POD活性变化如图3所示。各苹果砧木枝条POD活性变化与自然冬季气温变化趋势相反,呈先升高后降低的趋势。即在2020年11月7日至2021年1月5日随自然温度的下降和低温胁迫的加剧,各苹果砧木枝条的POD含量

活性随之升高,且各苹果砧木均在1月份温度胁迫最严重时POD活性升至最高。在2021年1月5日至2021年3月5日气温逐渐回升时,随着低温胁迫的减轻,各苹果砧木枝条POD活性有所降低。在整个自然越冬胁迫过程中,100、147和9-3的POD活性始终处于较高水平,显著高于其他砧木。M9和MM106的POD活性一直处于较低水平,显著低于其他砧木。

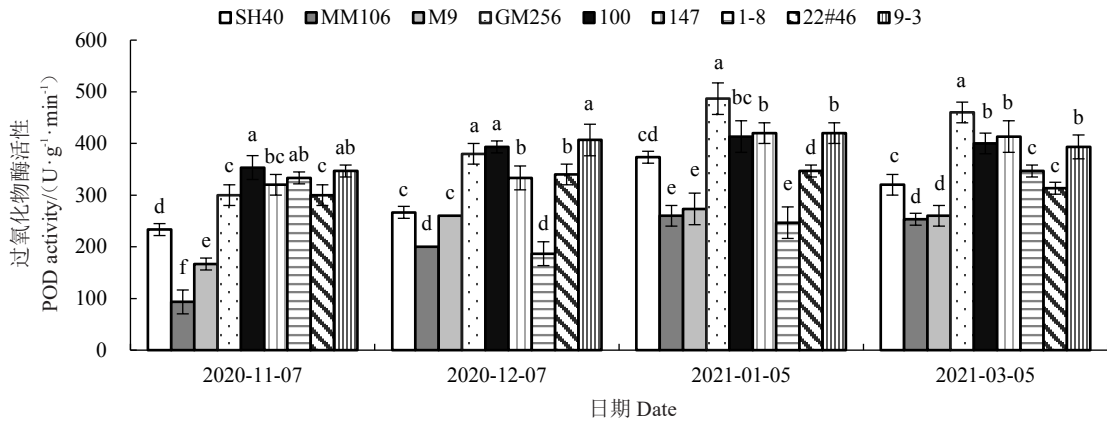


图3 自然越冬胁迫下各苹果砧木枝条过氧化物酶活性(POD)的变化

Fig. 3 Changes of peroxidase activity (POD) in branches of apple rootstocks under natural overwintering stress

(3)超氧阴离子(O₂⁻)产生速率的变化。自然越冬胁迫下各苹果砧木枝条中O₂⁻产生速率变化如图4所示。各苹果砧木枝条O₂⁻产生速率变化与自然冬季气温变化趋势相反,呈先升高后降低的趋势。即在2020年11月7日至2021年1月5日随自然温度的下降和低温胁迫的加剧,各苹果砧木枝条的O₂⁻产生速率呈升高趋势,且各苹果砧木均在1月份温度胁迫最严重时O₂⁻产生速率加快,升至最高。在2021年1月5日至2021年3月5日气温逐渐回升时,随着低

温胁迫的减轻,各苹果砧木枝条O₂⁻产生速率有所降低。在整个自然越冬胁迫过程中,100和147的O₂⁻产生速率始终处于较低水平,显著低于其他砧木。M9、22#46和MM106的O₂⁻产生速率总体来说处于相对较高水平。

2.3.3 渗透调节物质含量的变化 (1)可溶性糖含量的变化。自然越冬胁迫下各苹果砧木枝条中可溶性糖的含量变化如图5所示。各苹果砧木枝条可溶性糖含量变化与自然冬季气温变化趋势相反,呈先

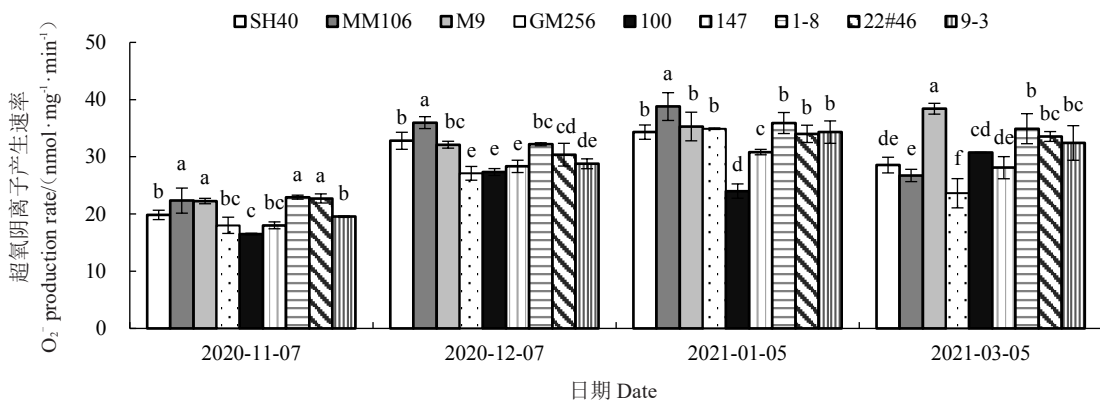


图4 自然越冬胁迫下各苹果砧木枝条超氧阴离子(O₂⁻)产生速率的变化

Fig. 4 Changes of superoxide anion (O₂⁻) production rate in branches of apple rootstocks under natural overwintering stress

升高后降低的趋势。即在2020年11月7日至2021年1月5日随自然温度的下降和低温胁迫的加剧,各苹果砧木枝条的可溶性糖含量呈升高趋势,且各苹果砧木均在1月份温度胁迫最严重时可溶性糖含量升至最高。在2021年1月5日至2021年3月5日气

温逐渐回升时,随着低温胁迫的减轻,各苹果砧木枝条可溶性糖含量有所降低。在整个自然越冬胁迫过程中,100和147的可溶性糖含量总体来说处于相对较高水平。22#46和MM106的可溶性糖含量一直处于较低水平,显著低于其他砧木。

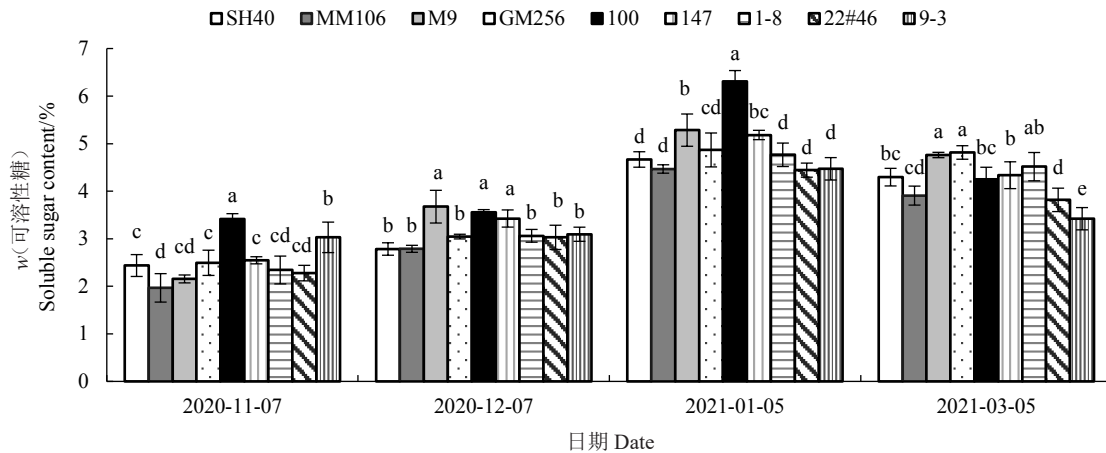


图5 自然越冬胁迫下各苹果砧木枝条可溶性糖含量的变化

Fig. 5 Changes of soluble sugar content in branches of apple rootstocks under natural overwintering stress

(2)可溶性蛋白含量的变化。自然越冬胁迫下各苹果砧木枝条中可溶性蛋白含量的变化如图6所示。各苹果砧木枝条可溶性蛋白含量变化与自然冬季气温变化趋势相反,呈先升高后降低的趋势。即在2020年11月7日至2021年1月5日随自然温度的下降和低温胁迫的加剧,各苹果砧木枝条的可溶性蛋白含量随之升高,且各苹果砧木均在1月份温度胁迫最严重时可溶性蛋白含量升至最高。在2021年1月5日至2021年3月5日气温逐渐回升时,随着低温胁迫的减轻,各苹果砧木枝条可溶性蛋白含量

有所降低。在整个自然越冬胁迫过程中,100和147的可溶性蛋白含量总体来说处于较高水平。M9、22#46和MM106的可溶性蛋白含量一直处于较低水平,显著低于其他砧木。

(3)脯氨酸含量的变化。自然越冬胁迫下各苹果砧木枝条中脯氨酸含量的变化如图7所示。大多数苹果砧木枝条脯氨酸含量变化与自然冬季气温变化趋势相反,呈先升高后降低的趋势。即在2020年11月7日至2021年1月5日随自然温度的下降和低温胁迫的加剧,各苹果砧木枝条的脯氨酸含量随之

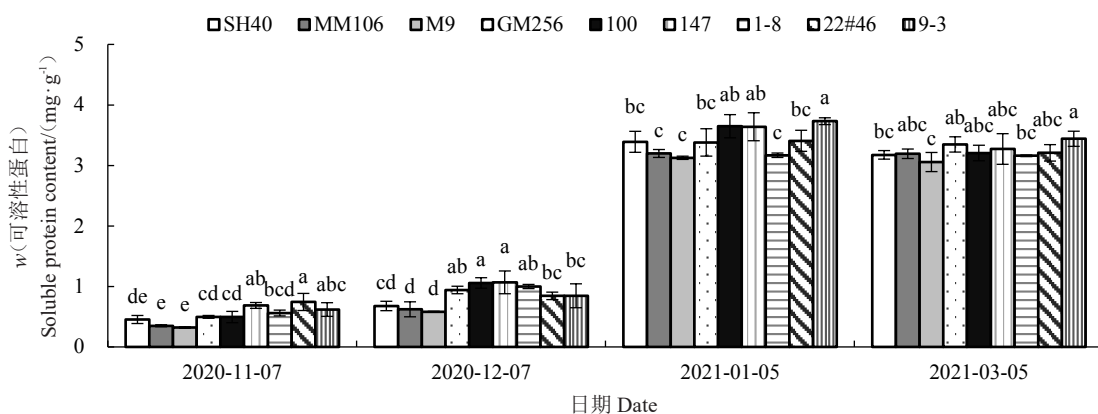


图6 自然越冬胁迫下各苹果砧木枝条可溶性蛋白含量的变化

Fig. 6 Changes of soluble protein content in branches of apple rootstocks under natural overwintering stress

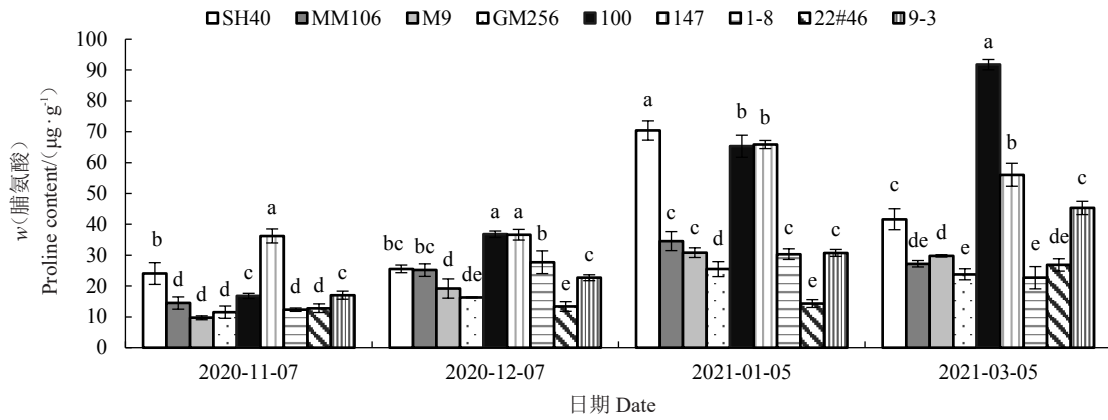


图7 自然越冬胁迫下各苹果砧木枝条游离脯氨酸含量的变化

Fig. 7 Changes of free proline content in branches of apple rootstocks under natural overwintering stress

升高,在2021年1月5日至2021年3月5日随着自然冬季气温的回升,低温胁迫减轻,脯氨酸含量有所降低。100、22#46和9-3的脯氨酸含量变化略有差异,在整个越冬胁迫中脯氨酸含量持续升高,且在3月份脯氨酸含量升至最高。SH40、MM106、M9、GM256、147和1-8均在1月份温度胁迫最严重时脯氨酸含量升至最高,且各砧木间表现出显著差异。在整个自然越冬胁迫过程中,100和147的脯氨酸含量总体来说处于相对较高水平。M9、22#46和

MM106的脯氨酸含量总体来说处于相对较低水平。
 2.3.4 淀粉含量的变化 自然越冬胁迫下各苹果砧木枝条中淀粉含量变化如图8所示。各苹果砧木枝条淀粉含量变化与自然冬季气温变化趋势相对应,呈先降低后升高的趋势。即在2020年11月7日至2021年1月5日随自然温度的下降和低温胁迫的加剧,各苹果砧木枝条的淀粉含量随之降低,且各苹果砧木均在1月份温度胁迫最严重时淀粉含量降至最低。在2021年1月5日至2021年3月5日气温逐渐

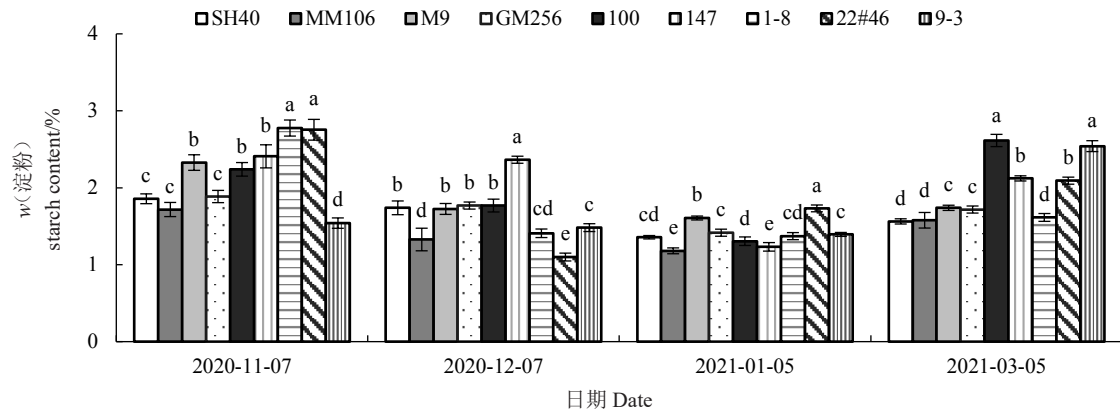


图8 自然越冬胁迫下各苹果砧木枝条淀粉含量的变化

Fig. 8 Changes of starch content in branches of apple rootstocks under natural overwintering stress

回升时,随着低温胁迫的减轻,各苹果砧木枝条淀粉含量有所升高。在整个自然越冬胁迫过程中,100、147和22#46的淀粉含量总体来说处于相对较高水平。MM106的淀粉含量总体来说处于相对较低水平。
 2.3.5 脱落酸(ABA)含量的变化 自然越冬胁迫下各苹果砧木枝条中ABA的含量变化如图9所示。大多数苹果砧木枝条ABA含量变化与自然冬

季气温变化趋势相反,呈先升高后降低的趋势。即在2020年11月7日至2021年1月5日随自然温度的下降和低温胁迫的加剧,各苹果砧木枝条的ABA含量随之升高,在2021年1月5日至2021年3月5日随着自然冬季气温的回升,低温胁迫减轻,ABA含量有所降低。100、M9和GM256的ABA含量变化略有差异。100在整个越冬胁迫中ABA含量持续降低,M9和GM256则呈先降低后升高随后又降低的

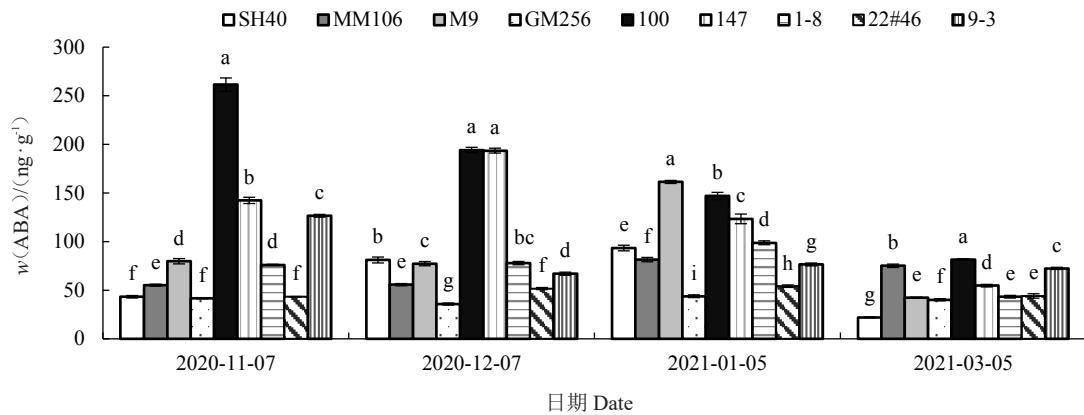


图 9 自然越冬胁迫下各苹果砧木枝条脱落酸(ABA)含量的变化

Fig. 9 Changes of abscisic acid (ABA) content in branches of apple rootstocks under natural overwintering stress

趋势。在整个自然越冬胁迫过程中,100和147的ABA含量始终处于较高水平。22#46、MM106和GM256的ABA含量总体来说处于相对较低水平。

2.4 各苹果砧木枝条抗寒性的综合评价

2.4.1 苹果砧木枝条各指标的主成分因子得分分析 利用SPSS标准数据主成分分析得到主成分特征值(表4)和主成分初始因子载荷矩阵(表5)。由表4所示,利用SPSS选择了特征值大于1的前3个主成分,且前3个主成分的累计贡献率达到76.881%,包含了所测定的11个指标的大部分信息,所以主要提取前3个主成分来综合分析比较9个苹果砧木的抗寒性。由表5可知,主成分1主要反映可溶性糖含量、可溶性蛋白含量、半致死温度、冻害指数、超氧阴离子产生速率和丙二醛含量6个变量的信息。主成分2主要反映SOD活性、POD活性、脯氨酸和ABA含量4个变量的信息。主成分3主要反映淀粉含量的信息。

表 4 主成分特征值

Table 4 Component eigenvalue

主成分 Principal component	初始特征值 Initial eigenvalue		
	特征根 Characteristic root	贡献率 Contribution rate/%	累积贡献率 Cumulative contribution rate/%
1	4.676	42.513	42.513
2	2.217	20.159	62.673
3	1.563	14.209	76.881

2.4.2 苹果砧木抗寒性综合评价 由特征值与初始因子计算得出各主成分特征向量值,特征向量值再与标准化后的原始数据计算得出各主成分值,再根据各个主成分所占贡献率求得综合得分,最后根据综合得分的值判断其抗寒力强弱,得分值越高表示

表 5 主成分初始因子载荷矩阵

Table 5 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
可溶性糖含量 Soluble sugar content	0.903	0.272	0.078
可溶性蛋白含量 Soluble protein content	0.891	0.040	0.341
半致死温度 LT50	-0.863	-0.341	0.084
超氧阴离子产生速率 O ₂ ⁻ production rate	0.763	-0.361	-0.181
冻害指数 Freezing injury index	0.704	-0.339	-0.436
丙二醛含量 MDA content	0.691	-0.576	0.129
超氧化物歧化酶活性 SOD activity	-0.059	0.684	-0.640
脱落酸含量 ABA content	-0.095	0.678	-0.209
脯氨酸含量 Proline content	0.489	0.537	0.316
过氧化物酶活性 POD activity	0.437	0.480	0.477
淀粉含量 Starch content	-0.570	0.055	0.644

抗寒力越强^[14]。评价结果如表6所示,各苹果砧木品种抗寒性的强弱顺序为:100 > 147 > 9-3 > GM256 > SH40 > 1-8 > 22#46 > M9 > MM106。

3 讨 论

3.1 组织褐变法与枝条抗寒性的关系

组织褐变法是目前鉴定植物抗寒性和描述冻害形态指标常用的方法^[19]。本研究中,随温度降低,各苹果砧木枝条的冻害指数升高,褐变程度加重。这与高爱农等^[20]研究结果一致。本研究中,100、147、9-3和GM256的冻害指数相对较低,褐化情况较轻,说明抗寒性强;MM106、M9和22#46冻害指数较高,褐化情况相对较重,说明抗寒性较差。这一研究结果与半致死温度所得结果一致。

表6 各苹果砧木主成分值和抗寒力排序

Table 6 Main component values and cold resistance ranking of apple rootstocks

砧木 Stock	主成分值 Component value			综合得分 Comprehensive score	抗寒力排序 Cold resistance sorting
	主成分1 Component 1	主成分2 Component 2	主成分3 Component 3		
100	0.156 341	9.705 602	1.907 879	2.294 108	1
9-3	0.609 578	1.167 378	1.828 509	0.754 294	3
147	-0.318 850	6.392 314	2.223 145	1.468 962	2
GM256	-0.591 010	1.421 754	0.493 033	0.105 412	4
SH40	-1.022 850	1.032 363	-1.198 820	-0.397 070	5
1-8	0.105 706	-2.958 900	-0.678 740	-0.647 990	6
MM106	-0.724 440	-4.713 030	-4.903 460	-1.954 810	9
M9	-0.031 600	-2.893 480	-2.640 380	-0.971 900	8
22#46	1.817 088	-9.153 970	2.968 858	-0.651 010	7

3.2 丙二醛(MDA)含量与抗寒性的关系

Campos等^[21]认为,低温胁迫下,可通过MDA含量的变化判断细胞膜受损伤程度和判断植物的抗寒性。本研究中,在整个自然越冬胁迫条件下,随自然气温的降低加剧了膜脂过氧化作用,MDA含量增加,温度最低时,MDA含量最大。抗寒性弱的22#46的MDA含量一直处于较高水平,抗寒性强的100和147的MDA含量较其他苹果砧木均始终处于较低水平。这与范宗民等^[22]和刘兴禄等^[23]研究结果一致。

3.3 抗氧化系统与抗寒性的关系

正常情况下,植物体内的活性氧含量处于动态平衡阶段,但遇到低温胁迫后会加重生物体内超氧阴离子自由基等活性氧的积累,引起体内活性氧清除系统失衡,导致膜脂过氧化作用加剧而使植物受到伤害^[24],超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化物酶(POD)是植物体内的重要保护酶,能够清除活性氧和自由基,防止脂膜过氧化,使植物免受损伤^[25]。本研究中,在自然越冬胁迫条件下,抗寒性强的砧木有较高的SOD和POD酶活性和较低的超氧阴离子含量,抗寒性差的砧木有较低的SOD、POD保护酶活性和较高的超氧阴离子产生速率。这与田景花等^[26]研究结果相同。

3.4 渗透调节物质含量与抗寒性的关系

脯氨酸、可溶性糖和可溶性蛋白是植物中最常见的渗透调节物质^[27],植物能够调节自身的渗透调节物质含量来应对逆境低温伤害^[28]。本研究中,在自然越冬胁迫条件下,各苹果砧木枝条的可溶性糖、可溶性蛋白和脯氨酸含量变化与自然冬季气温变化趋势相反,呈先升高后降低的趋势。且抗寒性强的100和147枝条中均始终有较高的可溶性糖、可溶性蛋白和脯氨酸含量。说明在低温胁迫下,这些渗透

物质的增加能够提高植物的抗寒性,且渗透调节物质含量高的砧木抗寒性好。这与王飞雪^[29]和王海鸥等^[8]的研究结果一致。

3.5 淀粉含量与抗寒性的关系

淀粉主要通过可溶性糖等物质的相互转化间接影响植物的抗寒性^[30]。本研究中,在自然越冬胁迫条件下,淀粉含量随气温的降低而降低,在气温回升时又有所升高。说明在低温胁迫下,各苹果砧木需要淀粉转化为糖来提供的能量抵抗寒冷,所以呈现下降趋势。这一变化规律与王丽雪等^[31]和杨雪^[11]的研究结果一致,但与代汉萍等^[32]的研究结果不一致,可能与试验材料不一样有关,不同品种对低温的适应性不同。本研究中,100、147和22#46的淀粉含量处于相对较高水平,且100和147的可溶性糖含量也较高,说明100和147抗寒性较好。22#46虽然淀粉含量较高,但其可溶性糖含量较低,因此,并不能说明22#46抗寒性强。MM106的淀粉含量处于相对较低水平,且可溶性糖含量也低,说明抗寒性较差。

3.6 脱落酸(ABA)含量与抗寒性的关系

低温胁迫下,植物能够增加自身的ABA含量来抑制生长,从而使其更好地适应低温环境,提高抗寒性^[33]。本研究中,在整个自然越冬胁迫条件下,ABA含量随气温的降低而升高,且抗寒性强的100和147的ABA含量较其他苹果砧木一直处于较高水平,而抗寒性弱的22#46和MM106的ABA含量较其他苹果砧木一直处于较低水平。这与袁月等^[34]的研究结果一致。

3.7 主成分分析综合评价抗寒性

影响植物抗寒性的因素有很多,因此不能凭单个或少数几个指标下定论,主成分分析是一种可以

综合多个指标的贡献值来判断抗寒性的综合评价方法。运用主成分可以降低多因素之间的影响,能够可靠的反映植物的抗寒性^[35]。因此,笔者在本研究中运用主成分分析的方法结合11个指标对9种苹果砧木做出抗寒性综合评价。

4 结 论

通过测定9种苹果中间砧的1年生休眠枝条在自然越冬低温胁迫下的生理指标的变化,结果显示:抗寒性强的中间砧有较高的SOD、POD酶活性和ABA、可溶性糖、可溶性蛋白、淀粉和脯氨酸含量,以及较低的冻害指数、MDA和超氧阴离子产生速率。对测定指标进行主成分分析综合评价,各苹果中间砧的抗寒性由强到弱的顺序为:100 > 147 > 9-3 > GM256 > SH40 > 1-8 > 22#46 > M9 > MM106。

参考文献 References:

- [1] 刘畅. 苹果抗寒矮化砧的评价与筛选[D]. 北京:中国农业科学院,2013.
LIU Chang. The evaluation and screening on cold resistance of apple dwarfing rootstocks[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2013.
- [2] 霍学喜,刘天军,刘军弟,魏延安,姚心省,马晓燕,卢斐. 2020年度中国苹果产业发展报告(精简版)[J]. 中国果菜,2022,42(2):1-6.
HUO Xuexi, LIU Tianjun, LIU Jundi, WEI Yan'an, YAO Xinsheng, MA Xiaoyan, LU Fei. China apple industry development report in 2020 (simplified version)[J]. China Fruit & Vegetable, 2022,42(2):1-6.
- [3] 崔晓玲. 苹果树栽培与冻害预防技术[J]. 种子科技,2021,39(8):72-73.
CUI Xiaoling. The cultivation and prevention technology of freezing injury of apple tree[J]. Seed Science & Technology, 2021,39(8):72-73.
- [4] 黄金凤,闫忠业,王冬梅,吕天星,王颖达,刘志. 辽宁熊岳地区苹果树冻害调查分析[J]. 中国果树,2020(5):127-129.
HUANG Jinfeng, YAN Zhongye, WANG Dongmei, LÜ Tianxing, WANG Yingda, LIU Zhi. Investigation and analysis on freezing injury of apple trees in Xiongyue, Liaoning province[J]. China Fruits, 2020(5): 127-129.
- [5] 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,2011.
JIN Mingli. Identification of cold resistant of apple seedling rootstocks[D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2011.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 王海鸥,高展,艾克拜尔·毛拉,杨小平,周龙,李树德. 自然越冬条件下17个葡萄砧木品种几个生理指标变化分析[J]. 经济林研究,2019,37(4):120-128.
WANG Haiou, GAO Zhan, Iqbal·Mullah, YANG Xiaoping, ZHOU Long, LI Shude. Analysis on changes of several physiological indexes of 17 grape rootstock cultivars under natural wintering conditions[J]. Non-wood Forest Research, 2019, 37(4): 120-128.
- [9] 李翠红,张永茂,冯毓琴,慕钰文,李长亮,魏丽娟. 苹果矮化砧木抗寒性的评价与比较[J]. 西南农业学报,2017,30(5):1183-1188.
LI Cuihong, ZHANG Yongmao, FENG Yuqin, MU Yuwen, LI Changliang, WEI Lijuan. Screening and contrast of different apple dwarfed rootstocks hardiness[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2017,30(5):1183-1188.
- [10] 赵玲玲,宋来庆,李支成,刘美英,唐岩,孙燕霞,姜中武. 不同营养系苹果砧木的抗寒性评价[J]. 烟台果树,2015(2):9-11.
ZHAO Lingling, SONG Laiqing, LI Zhicheng, LIU Meiying, TANG Yan, SUN Yanxia, JIANG Zhongwu. Evaluation of cold resistance of different apple rootstock clone lines [J]. Yantai Fruits, 2015(2):9-11.
- [11] 杨雪. 苹果和梨不同品种的抗寒性比较[D]. 保定:河北农业大学,2014.
YANG Xue. Comparative on frost hardiness of several varieties of pear and apple trees[D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2014.
- [12] 张钢. 国外木本植物抗寒性测定方法综述[J]. 世界林业研究,2005,4(5):16-22.
ZHANG Gang. Review on methods for measuring frost hardiness in woody plants abroad[J]. World Forestry Research, 2005, 4(5):16-22.
- [13] 高木旺. 苹果矮化砧木抗寒性评价及其对结果性状的影响[D]. 泰安:山东农业大学,2017.
GAO Muwang. Evaluation of apple dwarf rootstocks cold resistance and its effect on fruiting traits[D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2017.
- [14] 李捷. 8个杏树品种的抗寒性研究[D]. 兰州:甘肃农业大学,2008.
LI Jie. A study on the cold resistance of eight cultivars of apricot[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2008.
- [15] 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]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2007.
- [16] YANG Y M, XU C N, WANG B M, JIA J Z. Effects of plant growth regulators on secondary wall thickening of cotton fibres[J]. Plant Growth Regulation, 2001,35(3):233-237.
- [17] 田景花,王红霞,高仪,张志华. 核桃属植物休眠期的抗寒性鉴定[J]. 园艺学报,2013,40(6):1051-1060.
TIAN Jinghua, WANG Hongxia, GAO Yi, ZHANG Zhihua. As-

- assessment of freezing tolerance of *Juglans* germplasms by using annual dormant branches[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2013, 40(6):1051-1060.
- [18] 赵同生,赵国栋,张新生,李春敏,付友.应用恢复生长法和组织褐变法比较几种苹果矮化砧木抗寒性[J]. *中国果树*, 2018(3):23-25.
ZHAO Tongsheng, ZHAO Guodong, ZHANG Xinsheng, LI Chunmin, FU You. Using restoring growth method and tissue browning method to compare cold resistance of several apple dwarf rootstocks[J]. *China Fruits*, 2018(3):23-25.
- [19] 郭燕,张树航,李颖,张馨方,王广鹏,杨阳.板栗抗寒性相关指标筛选与评价方法建立[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2018, 46(10):40-48.
GUO Yan, ZHANG Shuhang, LI Ying, ZHANG Xinfang, WANG Guangpeng, YANG Yang. Screening of cold resistance related indexes and establishment of evaluation method for Chinese chestnut[J]. *Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition)*, 2018, 46(10):40-48.
- [20] 高爱农,姜淑荣,赵锡温,邓继光,沙守峰,刘志,张敏.苹果品种抗寒性测定方法的研究[J]. *果树科学*, 2000, 17(1):17-21.
GAO Ainong, JIANG Shurong, ZHAO Xiwen, DENG Jiguang, SHA Shoufeng, LIU Zhi, ZHANG Min. Study on the hardness of apple cultivars[J]. *Journal of Fruit Science*, 2000, 17(1):17-21.
- [21] CAMPOS P S, QUARTIN V, RAMALHO J C, NUNES M A. Electrolyte leakage and lipid degradation account for cold sensitivity in leaves of *Coffea* sp. plants[J]. *Journal of Plant Physiology*, 2003, 160(3):283-292.
- [22] 范宗民,孙军利,赵宝龙,刘怀锋,于坤,章智钧,刘晶晶.不同砧木‘赤霞珠’葡萄枝条抗寒性比较[J]. *果树学报*, 2020, 37(2):215-225.
FAN Zongmin, SUN Junli, ZHAO Baolong, LIU Huaifeng, YU Kun, ZHANG Zhijun, LIU Jingjing. Evaluation of cold resistance of one-year shoots from ‘Cabernet Sauvignon’ grape vine grafted on different rootstocks[J]. *Journal of Fruit Science*, 2020, 37(2):215-225.
- [23] 刘兴禄,王红平,孙文泰,董铁,牛军强,马明.5个苹果砧木枝条的抗寒性评价[J]. *果树学报*, 2021, 38(8):1264-1274.
LIU Xinglu, WANG Hongping, SUN Wentai, DONG Tie, NIU Junqiang, MA Ming. Cold resistance evaluation of the shoot of 5 apple rootstocks[J]. *Journal of Fruit Science*, 2021, 38(8):1264-1274.
- [24] 李文明,辛建攀,魏驰宇,田如男.植物抗寒性研究进展[J]. *江苏农业科学*, 2017, 45(12):6-11.
LI Wenming, XIN Jianpan, WEI Chiyu, TIAN Ru'nan. Research progress of plant cold resistance[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2017, 45(12):6-11.
- [25] 张旭,朱珍珍,孙鲁龙,李凤龙,韦德闯,朱佳顺,樊良栋,赵政阳.陇东地区不同矮化中间砧对‘长富2号’苹果抗寒性的影响[J]. *果树学报*, 2020, 37(7):985-996.
ZHANG Xu, ZHU Zhenzhen, SUN Lulong, LI Fenglong, WEI Dechuang, ZHU Jiashun, FAN Liangdong, ZHAO Zhengyang. Effects of different dwarfing interstocks on cold resistance of ‘Changfu 2’ apple in Longdong area[J]. *Journal of Fruit Science*, 2020, 37(7):985-996.
- [26] 田景花,王红霞,张志华,高仪.低温逆境对不同核桃品种抗氧化系统及超微结构的影响[J]. *应用生态学报*, 2015, 26(5):1320-1326.
TIAN Jinghua, WANG Hongxia, ZHANG Zhihua, GAO Yi. Effects of chilling stress on antioxidant system and ultrastructure of walnut cultivars[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, 26(5):1320-1326.
- [27] HUANG Z, ZHAO N, QIN M F, XU A X. Mapping of quantitative trait loci related to cold resistance in *Brassica napus* L. [J]. *Journal of Plant Physiology*, 2018, 231:147-154.
- [28] 欧欢,王绪春,王振磊,徐崇志,王新建,林敏娟.自然越冬过程中扁桃枝条生理特性变化与抗寒性评价[J]. *新疆农业科学*, 2017, 54(10):1785-1795.
OU Huan, WANG Xuchun, WANG Zhenlei, XU Chongzhi, WANG Xinjian, LIN Minjuan. Changes of physiological indexes and comprehensive evaluation of cold resistance of almond during natural overwintering[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2017, 54(10):1785-1795.
- [29] 王飞雪.不同苹果砧木实生后代抗寒性研究[D].塔里木:塔里木大学, 2020.
WANG Feixue. Study on cold resistance of progeny offspring of different apple rootstocks[D]. Tarim: Tarim University, 2020
- [30] 王红宁. SH40矮化中间砧苹果幼树抗寒性及其相关因子分析[D].保定:河北农业大学, 2013.
WANG Hongning. Studies on cold resistance and its related factor of young apple trees on the SH40 dwarfing interstocks[D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2013.
- [31] 王丽雪,张福仁,李荣富,梁艳荣,刘艳.葡萄枝条中淀粉粒形态结构与抗寒力的关系[J]. *园艺学报*, 2000, 27(2):85-89.
WANG Lixue, ZHANG Furen, LI Rongfu, LIANG Yanrong, LIU Yan. The morphologic characteristics of starch grain in grape shoots and its relationship to cold resistance[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2000, 27(2):85-89.
- [32] 代汉萍,薛志杰,郭修武.树莓自然越冬枝条生理生化特性研究[J]. *吉林农业大学学报*, 2009, 31(5):573-577.
DAI Hanping, XUE Zhijie, GUO Xiuyu. Studies on physiological and biochemical characteristics of raspberry canes under natural overwintering condition[J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2009, 31(5):573-577.
- [33] 张昭.软枣猕猴桃抗寒性研究[D].哈尔滨:东北农业大学, 2019.
ZHANG Zhao. Study on cold resistance of *Actinidia arguta* [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2019.
- [34] 袁月,代志国,张丙秀,王天鹤,张昭,姜婷,蔚明月.自然越冬期软枣猕猴桃枝条组织结构及内源激素的变化特征[J]. *西北植物学报*, 2020, 40(2):279-286.
YUAN Yue, DAI Zhiguo, ZHANG Bingxiu, WANG Tianhe, ZHANG Zhao, JIANG Ting, WEI Mingyue. Changes in tissue structure and endogenous hormones of *Actinidia arguta* branches during over-wintering period[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2020, 40(2):279-286.
- [35] 王治军,李秀珍,畅凌冰,梁臣,魏素玲.四个仁用杏品种(系)抗寒性的测定与评价[J]. *北方园艺*, 2017(5):5-10.
WANG Zhijun, LI Xiuzhen, CHANG Lingbing, LIANG Chen, WEI Suling. Determination and evaluation of cold resistance of four kernel apricot varieties (lines) [J]. *Northern Horticulture*, 2017(5):5-10.