

3 种不同地理起源葡萄种质资源的抗旱性比较

薛加楠,崔小月,张琪,吴梦晓,张剑侠*

(西北农林科技大学 园艺学院;旱区作物逆境生物学国家重点实验室;农业部 西北园艺植物种质资源利用重点开放实验室,
陕西 杨陵 712100)

摘要:研究 3 种不同地理起源的葡萄种质资源河岸葡萄‘河岸(♀)’、燕山葡萄‘燕山-1’和欧洲葡萄‘红地球’的抗旱性差异,为进一步挖掘葡萄的抗旱基因提供依据。以 3 种不同葡萄的试管苗为材料,在培养基中加入 PEG-6000 模拟干旱胁迫,研究其形态变化和 6 项生理生化指标的变化,进而评价其抗旱性。结果表明,干旱胁迫后,3 种葡萄试管苗叶片边缘开始出现干枯的时间不同,‘河岸(♀)’、‘红地球’和‘燕山-1’分别出现于 3、12 h 和 27 h;随着干旱胁迫时间的延长,受害程度最大的是‘河岸(♀)’,其次是‘红地球’,‘燕山-1’仅有轻微的伤害。叶片中脯氨酸含量总体呈上升趋势,胁迫 72 h 时,‘燕山-1’分别是‘红地球’和‘河岸(♀)’的 1.14 倍和 4.84 倍;POD、CAT 和 SOD 含量呈先升高后下降趋势,72 h 时,‘燕山-1’的 POD 含量分别是‘红地球’和‘河岸(♀)’的 6.2 倍和 49.2 倍,CAT 含量分别是‘红地球’和‘河岸(♀)’的 0.44 倍和 1.47 倍,SOD 含量分别是‘红地球’和‘河岸(♀)’的 1.95 倍和 1.05 倍;超氧阴离子自由基含量(O_2^-)呈先升高后下降趋势,72 h 时,‘燕山-1’的 O_2^- 含量分别是‘红地球’和‘河岸(♀)’的 1.9 倍和 3.0 倍;MDA 含量呈先升高后下降趋势,72 h 时‘燕山-1’分别是‘红地球’和‘河岸(♀)’的 1.4 倍和 1.26 倍。综合形态变化及各项生理生化指标的变化,以‘燕山-1’的抗旱性最强,其次是‘红地球’,抗旱性最差的是‘河岸(♀)’。
关键词:葡萄;种质资源;试管苗;聚乙二醇(PEG-6000);干旱胁迫;抗旱性
中图分类号:S722 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2017)02-0136-07

Comparison of Drought Tolerance of Three Grape Germplasm Resources from Different Geographic Origins

XUE Jia-nan, CUI Xiao-yue, ZHANG Qi, WU Meng-xiao, ZHANG Jian-xia*

(College of Horticulture, State Key Laboratory of Crop Stress Biology in Arid Areas, Key Laboratory of Northwest Horticulture Plant Germplasm and Application of Ministry of Agriculture, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The objective of this study was to examine the differences in drought resistance of three grapevines from different geographic origins, including *Vitis yeshanensis* accession ‘Yanshan-1’ (Y), *Vitis riparia* accession ‘He’an (♀)’ (H) and *Vitis vinifera* cv. ‘Red Globe’ (R). The plantlets of the three were used as materials, the changes of morphology, proline, MDA, the activities of protective enzymes and superoxide anion free radicals contents in the blades were investigated under the stress of PEG-6000. The occurrence of the dry spots in the blades was different among the three: the spots appeared 3, 12 and 27 hours after the stress for H, R, and Y, respectively. With the increase of drought stress time, H was injured most, followed by R, and Y was slightly injured. The proline contents in the blades of the three increased with time. Seventy-two hours after the stress, the proline content in the blades of Y was 1.14 and 4.48 folds to R and H, respectively. The activities of POD, CAT and SOD initially presented an upward trend but all de-

收稿日期:2016-06-06 修回日期:2016-10-31

基金项目:国家科技支撑计划子课题(2013BAD02B04-06)。

作者简介:薛加楠,女,在读硕士,研究方向:葡萄种质资源与生物技术。E-mail: xuejn2016@sina.com

* 通信作者:张剑侠,男,教授,博士生导师,研究方向:葡萄种质资源与生物技术。E-mail: zhangjx666@126.com

clined later. Seventy-two hours after the stress, the POD activity of Y was 6.2 and 49.2 folds to R and H, the CAT activity of Y was 0.44 and 1.47 folds R and H, and the SOD activity of Y was 1.95 and 1.05 folds to R and H, respectively. The superoxide anion free radicals content initially increased, and then decreased. At 72 h after the stress, the superoxide anion free radicals content of Y was 1.9 and 3.0 folds to R and H, respectively. The MDA content initially increased, but declined later. At 72 h after stress, the MDA content of Y was 1.4 and 1.26 folds to R and H, respectively. Considering morphological changes and the changes of the physiological and biochemical indexes comprehensively, Y demonstrated the highest drought resistance, followed by R and H.

Key words: *Vitis*; germplasm resource; tube seedling; PEG-6000; drought stress; drought tolerance

近年来全球气候呈变暖趋势,干旱半干旱地区不断扩大,干旱已经成为一个非常突出的世界性问题,严重制约着植物的生长发育。据统计,我国干旱、半干旱地区面积占全国土地面积的一半以上(52.5%),这些地区自然条件比较恶劣,干旱少雨,蒸发量大,造成土地水分亏缺,严重影响葡萄的产量和品质^[1]。

葡萄作为重要的果树之一,具有结果早、产量高和经济效益显著等优势。近年来我国葡萄产业发展很快,已成为很多农民脱贫致富的重要途径。针对干旱问题,很多学者研究植物对干旱的生态适应性和生物学机理^[2-4],如通过发展节水灌溉^[5]、合理施肥增强植株抗旱能力^[6]、喷施抗旱蒸腾剂^[7]等措施来缓解干旱问题,但并不能解决植物抗旱的本质问题。植物的抗旱能力主要由基因决定,因此选择抗旱性强的葡萄资源,克隆其抗旱关键基因,遗传转化至优良栽培品种中,是提高葡萄抗旱能力的一种有效途径^[8]。

由于葡萄的树体较大,田间对大树进行抗旱性研究有一定难度,利用组织培养研究葡萄的抗旱性不受季节、气候等因素的限制,已被不少研究者所采用。聚乙二醇(PEG)是一种亲水性很强的大分子有机物,利用 PEG 溶液模拟干旱环境,具有简单易行、重复性好、周期短等特点,近年来被广泛用于水稻^[9]、沙枣^[10]、苹果^[11]、香蕉^[12]等植物的耐旱性研究。李予霞^[13]等对欧洲葡萄‘红地球’试管苗的生理形态和叶片组织形态进行相关研究的结果表明,在 PEG 模拟干旱环境处理条件下,葡萄生长发育迟滞、植株节间变短、株高变矮,但发根数量增加且根变长,迅速积累脯氨酸和内源 ABA 提高耐旱能力。潘学军^[14]等对野生毛葡萄‘花溪-4’试管苗用相似的方法进行抗旱性鉴定,结果显示,随着 PEG 胁迫时间的延长,毛葡萄‘花溪-4’叶片内的 MDA 和 H₂O₂ 含量与旱害指数呈极显著正相关,POD 与旱害指数呈极显著负相关,而 SOD、CAT 与旱害指数相关性不显著。这表明利用 PEG 模拟干旱环境研

究葡萄的抗旱性是可行的。

在世界不同地理起源的三大葡萄种群中,欧亚种种群是品质最优良的种质资源,北美种群和东亚种群是重要的抗病、抗逆种质资源。本研究选择北美种群河岸葡萄‘河岸(♀)’、东亚种群燕山葡萄‘燕山-1’及欧亚种群栽培品种‘红地球’作为研究对象,采用 PEG-6000 模拟干旱胁迫处理 3 种葡萄试管苗,研究其形态变化及生理生化指标变化,比较它们的抗旱性差异,为进一步挖掘葡萄资源的抗旱基因提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为西北农林科技大学葡萄种质资源圃中保存的美国野生河岸葡萄株系‘河岸(♀)’(*Vitis riparia* acc. He'an(♀))、中国野生燕山葡萄株系‘燕山-1’(*Vitis yeshanensis* acc. Yanshan-1)和欧洲葡萄品种‘红地球’(*Vitis vinifera* cv. Red globe),取半木质化枝条为外植体,通过组织培养建立试管苗。

1.2 方法

1.2.1 葡萄试管苗的建立 5—6 月份从田间取‘河岸(♀)’、‘燕山-1’、‘红地球’的半木质化枝条,剪成单芽茎段,先用清水冲洗,然后在超净工作台中用 75%酒精消毒 10 s,再用 0.1%升汞消毒 6 min,最后用无菌水冲洗 4~5 次,每次 5 min,将单芽茎段接入 MS+IBA 0.2 mg/L+NAA 0.05 mg/L+琼脂 7 g(pH=5.8)培养基中,每瓶接种 1 个,在 25℃、16 h 昼/8 h 夜光周期下培养。待新梢长高后,剪切单芽茎段接入 1/2 MS+IBA 0.2 mg/L+琼脂 7 g(pH=5.8)继代培养基中培养生根苗。

1.2.2 葡萄试管苗的水分胁迫 继代生长 40 d 后,选取‘河岸(♀)’、‘燕山-1’和‘红地球’大小一致的试管苗进行模拟干旱胁迫。在前期对 PEG-6000 浓度预试验的基础上,选择 60 g/L 的 PEG-6000 溶液体作为渗透液(中度干旱胁迫),经高压灭菌并冷

却至室温后,沿瓶壁倒入生长试管苗的三角瓶中,模拟干旱胁迫环境,然后分别于 0、3、12、24、30、48 h 和 72 h 观察叶片形态及测定生理生化指标,每个处理 3 个重复,每重复选取 10 株测定。

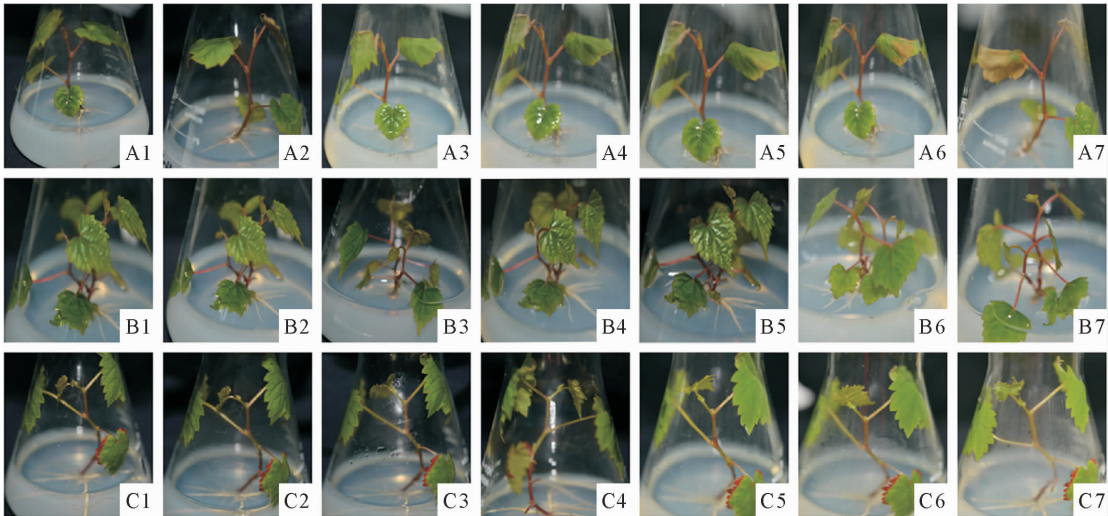
1.2.3 生理指标测定 干旱胁迫后的试管苗,丙二醛含量采用硫代巴比妥酸比色法测定^[15];脯氨酸含量采用茚三酮比色法测定^[15];超氧阴离子自由基含量采用羟胺氧化法测定^[16];超氧化物歧化酶(SOD)活性采用氮蓝四唑(NBT)测定^[17];过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚显色法测定^[17];过氧化氢酶(CAT)活性采用紫外吸收法测定^[17]。

1.2.4 数据处理 采用 Microsoft Excel 2007 软件计算、处理数据,并作图。数据显著性差异利用 SPSS 17.0 方差分析。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫下葡萄试管苗的形态变化

随着 PEG-6000 干旱胁迫时间的延长,不同葡萄表现的生理症状不同。如图 1,‘河岸(♀)’在 3 h 叶片边缘卷曲干枯;12 h 叶片边缘出现卷曲干枯,另一叶出现萎焉;24 h 萎焉加重;48 h 叶片干枯变黄;72 h 叶片已经完全干枯变黄。‘燕山-1’在 27 h 仅在叶缘有微量干枯,之后无明显变化。‘红地球’在 12 h 叶片边缘出现很小的干枯,24 h 叶片干枯萎焉,30 h 叶片干枯加重,48 h 叶片干枯现象明显,72 h 叶片卷曲干枯加重。根据试管苗形态变化,反映出‘燕山-1’耐干旱胁迫最强,其次是‘红地球’,以‘河岸(♀)’的耐干旱胁迫最差。



注: A. ‘河岸(♀)’; B. ‘燕山-1’; C. ‘红地球’; 1~7 分别表示处理时间为 0、3、12、24、30、48 h 和 72 h。

图 1 60 g/L PEG-6000 干旱胁迫下 3 种葡萄试管苗的形态变化

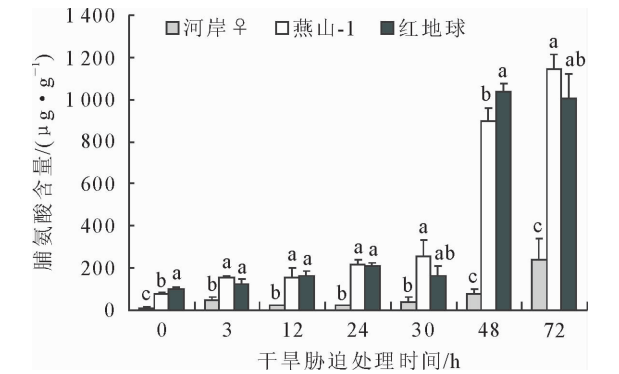
Fig. 1 Changes of leaf morphology of the three different tube seedlings under 60 g/L PEG-6000 stress at different stress time

2.2 干旱胁迫下葡萄试管苗的生理生化变化

2.2.1 叶片脯氨酸含量 如图 2,随着 PEG-6000 模拟干旱胁迫时间的延长,3 种葡萄叶片的脯氨酸含量在 0~72 h 呈上升趋势。‘河岸(♀)’在 30~72 h 缓慢上升,72 h 达到最高值 $236.7 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,与 CK 相比显著上升 2122.1% ($P<0.05$);‘燕山-1’在 30~72 h 快速升高,48 h 上升到 $899.3 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,与 CK 相比显著上升 1096.6% ($P<0.05$),72 h 上升到 $1146.5 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,与 CK 相比显著上升 1425.5% ($P<0.05$);‘红地球’在 30~72 h 快速升高后缓慢下降,48 h 达到最大值 $1038.7 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,与 CK 相比显著上升 908.8% ($P<0.05$),72 h 含量下降到 $1004.0 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,与 CK 相比显著上升 875.1% ($P<0.05$)。干旱胁迫 72 h 时,‘燕山-1’叶片脯氨酸含量分别是‘红地球’和‘河岸(♀)’的 1.14 倍和 4.84 倍,这表明‘燕山-1’和‘红地球’均明显高

于‘河岸(♀)’。

2.2.2 叶片丙二醛含量 如图 3,随着 PEG-6000 模拟干旱胁迫时间的延长,‘河岸(♀)’叶片 MDA 含量在 12~72 h 先升高后下降再缓慢升高,30 h 达到最高值 $21.83 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$,与 CK 相比显著上升 132.07% ($P<0.05$);‘燕山-1’叶片 MDA 含量在 12~72 h 先升高后下降,48 h 时达到最高值 $29.4 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$,与 CK 相比显著上升 147.81% ($P<0.05$),72 h 下降到 $23.83 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$,与 CK 相比显著上升 100.85% ($P<0.05$);‘红地球’叶片 MDA 含量在 0~12 h 先升高后下降,在 12~72 h 先升高后下降再缓慢升高,但与 CK 相比差异不显著,3 h 达到最高值 $20.0 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ 。干旱胁迫 72 h 时,‘燕山-1’叶片丙二醛含量分别是‘红地球’和‘河岸(♀)’的 1.4 倍和 1.26 倍。



注:小写字母表示相同胁迫时间下不同品种间的差异显著($P<0.05$), * $P<0.05$; ** $P<0.01$; *** $P<0.001$; ns 没有差异,下同。

图2 60 g/L PEG-6000 干旱胁迫下3种葡萄试管苗叶片脯氨酸含量的变化

Fig. 2 Changes of proline in leaves of three different tube seedlings under 60 g/L PEG-6000 stress at different stress time

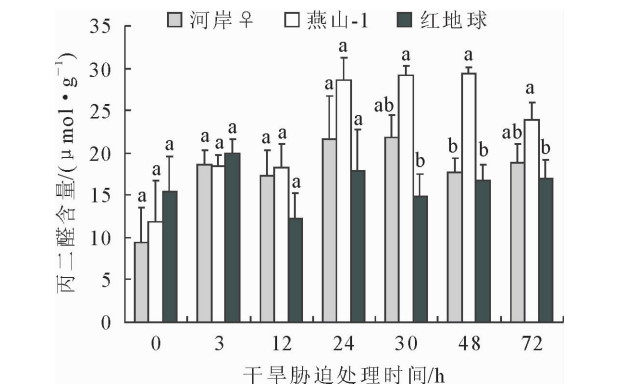


图3 60 g/L PEG-6000 干旱胁迫下3种葡萄试管苗叶片丙二醛含量的变化

Fig. 3 Changes of MDA content in leaves of the three different tube seedlings under 60 g/L PEG-6000 stress at different stress time

2.2.3 叶片 POD 活性 如图4,随着 PEG-6000 干旱胁迫时间的延长,‘河岸(♀)’叶片的 POD 活性在 0~12 h 先升高后下降,在 12~72 h 先升高后缓慢下降,但与 CK 相比差异不显著,3 h 达到最大值 $176.97 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$;‘燕山-1’叶片的 POD 活性在 0~12 h 快速升高,3 h 上升到 $3896.6 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,与 CK 相比显著上升 19.13% ($P<0.05$),12 h 上升到最高值 $4524.8 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,与 CK 相比显著上升 38.33% ($P<0.05$),在 12~72 h 先下降后持平;‘红地球’叶片的 POD 活性在 0~12 h 先升高后下降,3 h 达到最高值 $1005.1 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,与 CK 相比显著上升 921.6% ($P<0.05$),在 12~72 h 先升高后缓慢下降。干旱胁迫 72 h 时,‘燕山-1’叶片 POD 活性达到 $3451.4 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,分别是‘红地球’和‘河岸(♀)’的 6.2 倍和 49.2 倍,表明‘燕山-1’明显高于‘河岸(♀)’和‘红地球’。

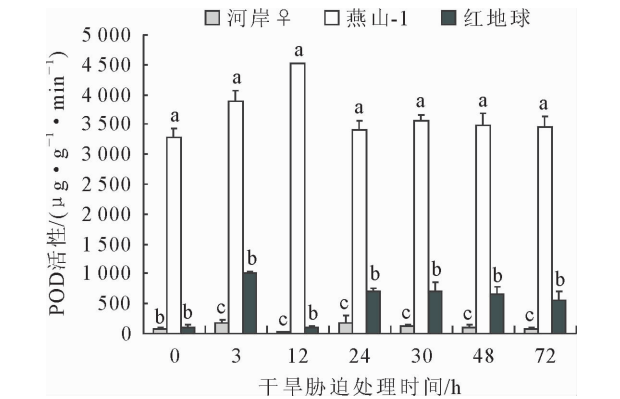


图4 60 g/L PEG-6000 干旱胁迫下3种葡萄试管苗叶片 POD 活性的变化

Fig. 4 Changes of POD activities of in leaves of the three different tube seedlings under 60 g/L PEG-6000 stress at different stress time

2.2.4 叶片 CAT 活性 如图5,随着 PEG-6000 干旱胁迫时间的延长,‘河岸(♀)’叶片的 CAT 活性在 0~24 h 先升高后下降,12 h 达到最高值 $423.68 \text{U} \cdot \text{g}^{-1}$,与 CK 相比显著上升 116.2% ($P<0.05$),在 24~72 h 先升高后下降;‘燕山-1’叶片的 CAT 活性在 0~24 h 先升高后下降,12 h 达到最高值 $488.05 \text{U} \cdot \text{g}^{-1}$,与 CK 相比显著上升 506.0% ($P<0.05$),在 24~72 h 下降;‘红地球’在 0~12 h 先升高后下降,3 h 达到最高值 $241.15 \text{U} \cdot \text{g}^{-1}$,与 CK 相比显著上升 115.6% ($P<0.05$)。干旱胁迫 72 h 时,‘燕山-1’叶片 CAT 活性达到 $89.82 \text{U} \cdot \text{g}^{-1}$,分别是‘红地球’和‘河岸(♀)’的 0.44 倍和 1.47 倍。

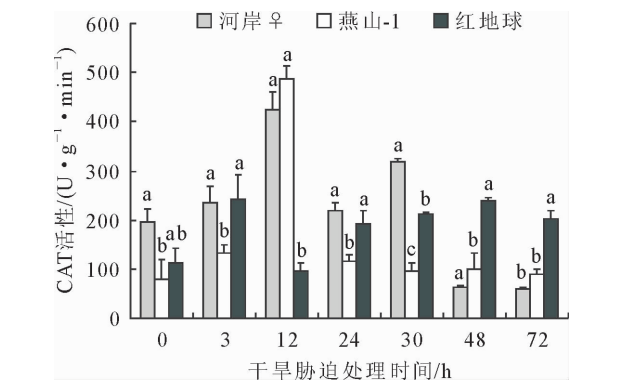


图5 60 g/L PEG-6000 干旱胁迫下3种葡萄试管苗叶片 CAT 活性的变化

Fig. 5 Changes of CAT activities in leaves of the three different tube seedlings under 60 g/L PEG-6000 stress at different stress time

2.2.5 叶片 SOD 活性 如图6,随着 PEG-6000 干旱胁迫时间的延长,‘河岸(♀)’叶片的 SOD 活性在 0~12 h 升高,12 h 达到 $692.77 \text{U} \cdot \text{g}^{-1}$,与 CK 相比显著上升 71.0% ($P<0.05$),在 12~72 h 先下降

后升高,48 h 达到 $843.1 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$,与 CK 相比显著上升 108.1% ($P<0.05$),72 h 达到最高值 $884.3 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$,与 CK 相比显著上升 118.3% ($P<0.05$);‘燕山-1’叶片的 SOD 活性在 $0\sim12 \text{ h}$ 先升高后下降,在 $12\sim72 \text{ h}$ 先升高后下降再升高,且所有处理与 CK 相比差异显著,24 h 达到最高值 $939.9 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$,与 CK 相比显著上升 35.25% ($P<0.05$);‘红地球’叶片的 SOD 活性在 $0\sim12 \text{ h}$ 快速下降,12 h 达到最低值 $312.36 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$,与 CK 相比显著下降了 52.51% ($P<0.05$),在 $12\sim72 \text{ h}$ 先升高后下降 48 h 达到最高值 $694.5 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$,与 CK 相比不显著上升了 5.58% ($P>0.05$)。干旱胁迫 72 h 时,‘燕山-1’叶片 SOD 活性达到 $929.8 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$,分别是‘红地球’和‘河岸(♀)’的 1.95 倍和 1.05 倍。

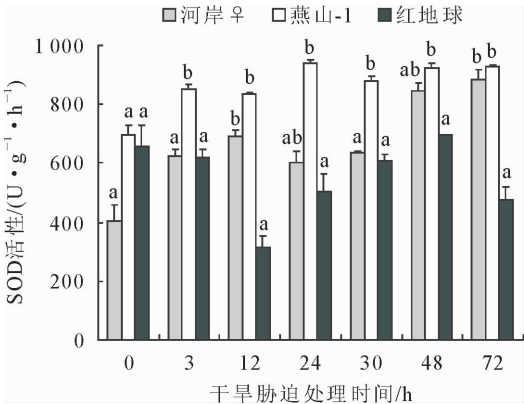


图 6 60 g/L PEG-6000 干旱胁迫下 3 种葡萄试管苗叶片 SOD 活性的变化

Fig. 6 Changes of SOD activities in leaves of the three different tube seedlings under 60 g/L PEG-6000 stress at different stress time

2.2.6 叶片超氧阴离子自由基含量 如图 7,随着 PEG-6000 干旱胁迫时间的延长,‘河岸(♀)’叶片的超氧阴离子自由基含量在 $0\sim30 \text{ h}$ 先升高后下降,3 h 达到 $4.9 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,与 CK 相比显著上升 89.51% ($P<0.05$),12 h 达到 $4.99 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,与 CK 相比显著上升 93.1% ($P<0.05$),24 h 达到最大值 $6.4 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,与 CK 相比显著上升 147.8% ($P<0.05$),在 $30\sim72 \text{ h}$ 先升高后下降;‘燕山-1’叶片的超氧阴离子自由基含量在 $0\sim12 \text{ h}$ 先升高后下降,3 h 达到最大值 $14.66 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,与 CK 相比显著上升 279.7% ($P<0.05$),在 $12\sim30 \text{ h}$ 和 $30\sim72 \text{ h}$ 都先升高后下降,且所有处理与 CK 相比差异显著;‘红地球’叶片的超氧阴离子自由基含量在 $0\sim12 \text{ h}$ 先升高后下降,在 $12\sim72 \text{ h}$ 先缓慢升高后下降,但与 CK 相比差异不显著,3 h 达到最高值 $6.56 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。干旱胁迫 72 h 时,‘燕山-1’叶片的超氧阴离子自由基含量达到 $11.09 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,分别是‘红地

球’和‘河岸(♀)’的 1.9 倍和 3.0 倍。

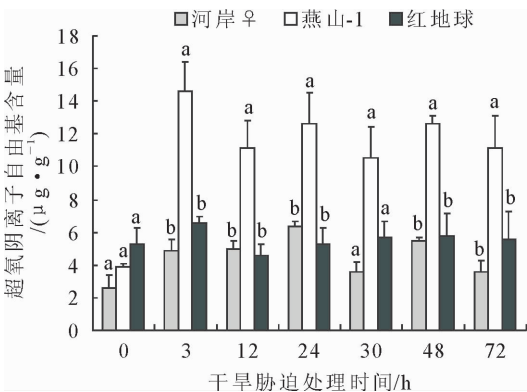


图 7 60 g/L PEG-6000 干旱胁迫下 3 种葡萄试管苗叶片超氧阴离子自由基含量的变化

Fig. 7 Changes of superoxide anion free radicals content in leaves of the three different tube seedlings under 60 g/L PEG-6000 stress at different stress time

3 结论与讨论

研究表明,植物对干旱作出的反应不是由单因素主导的,而是多种因素相互作用所产生的综合反应,涉及植物的生长发育、形态结构、生理生化反应和活性氧代谢等^[18]。

本研究中,随 PEG-6000 干旱胁迫时间的延长,从 3 种葡萄叶片的形态变化看,‘河岸(♀)’叶片受害面积最大,受害程度最高,其次是‘红地球’,而‘燕山-1’仅有轻微的伤害,表现出较高的耐干旱胁迫能力。Pagter^[19]等认为叶表面积小是减少水分丧失的一种逆境适应;王恒振^[20]等研究也表明抗旱品种具有叶面积小、叶片细长角质层厚、表面不平、下表皮细胞大和维管束发达等特点,从而降低蒸腾作用,有利于保持水分与积累干物质。因此推测,在相同干旱胁迫条件下,由于‘燕山-1’的叶片小,可能在一定程度上通过减少水分丧失来适应干旱,而‘河岸(♀)’和‘红地球’的叶片较大,因蒸腾作用损失的水分多,对干旱胁迫的忍耐性降低。

为了适应干旱环境,除了形态结构发生变化之外,葡萄植株内的各种生理生化指标也会发生相应的变化。陈珂^[21]等研究认为脯氨酸含量越高,植物抗旱能力越强。本研究中,干旱胁迫后,3 种葡萄叶片的脯氨酸含量均呈上升趋势,特别是 48 h 后与 CK 相比脯氨酸含量呈 10 倍以上的增加,72 h 时‘燕山-1’的含量分别是‘红地球’和‘河岸(♀)’的 1.14 倍和 4.84 倍。‘燕山-1’脯氨酸含量的增加明显高于‘河岸(♀)’,也高于‘红地球’。

SOD、POD 和 CAT 是细胞内清除活性氧的主要保护酶,对活性氧的清除能力是决定细胞对胁迫

抗性的关键因素^[22-23]。桑子阳^[24]等的研究表明,干旱胁迫下,植物体内的 SOD 活性、CAT 活性和 POD 活性增强,将超氧阴离子自由基(O_2^-)歧化生成 H_2O_2 ,从而清除 O_2^- ,缓解干旱胁迫进一步损伤植物。本研究中,干旱胁迫后,POD、SOD、CAT 3 种酶的活性在 3 种葡萄上变化不完全一致,总体上是升高趋势。尤其是 POD 在‘燕山-1’在未胁迫体内具有远远高于其他 2 种葡萄的水平,在胁迫 12 h 达最大值,之后维持在略高于 CK 的水平。在 72 h 时,‘燕山-1’POD 含量分别是‘红地球’和‘河岸(♀)’的 6.2 倍和 49.2 倍。

相似地,SOD 在‘燕山-1’未胁迫体内具有高于其他 2 种葡萄的水平,在胁迫 24 h 达最大值,之后仍维持在高水平。72 h 时,分别是‘红地球’和‘河岸(♀)’的 1.95 倍和 1.05 倍。

CAT 在胁迫后 12 h 时,‘燕山-1’和‘河岸(♀)’达到最高值,均显著高于红地球’,之后‘燕山-1’下降但维持在高于 CK 的水平,但‘河岸(♀)’之后下降,至 24 h 后低于 CK 水平;而‘红地球’在 3 h 升到最高值,后下降,12 h 低于 CK,但随后又上升到高于 CK 并保持基本稳定,48 h 之后明显高于‘河岸(♀)’和‘燕山-1’。

干旱胁迫后 27 h 时,‘燕山-1’3 种酶含量均高于‘河岸(♀)’;除 CAT 含量低于‘红地球’外,‘燕山-1’的 POD、SOD 含量也均高于‘红地球’。但是,整个保护酶系统的防御能力的变化取决于这几种酶彼此协调的综合结果^[25-26]。

干旱胁迫下,能够诱导产生大量的活性氧,导致膜质过氧化,破坏细胞膜的稳定性,产生丙二醛^[22]。本研究中,从叶片内 O_2^- 含量变化看,干旱胁迫后,‘红地球’和‘河岸(♀)’的 O_2^- 含量与 CK 相比略有升高,但‘燕山-1’增加幅度较大,72 h 时‘燕山-1’分别是‘红地球’和‘河岸(♀)’的 1.9 倍和 3.0 倍。与 O_2^- 含量变化相似,MDA 在‘燕山-1’中含量增幅较大,72 h 时‘燕山-1’分别是‘红地球’和‘河岸(♀)’的 1.4 倍和 1.26 倍。高的 O_2^- 含量和 MDA 含量显然对‘燕山-1’膜系统保持稳定是不利的。

植物的抗旱机制十分复杂,不同物种甚至同一物种的不同种可能存在有差异。分析‘燕山-1’在干旱胁迫后生理生化指标的变化,既有高水平的酶活性,也有较高水平的 O_2^- 和 MDA 的存在。但从‘燕山-1’的形态变化上仅能看到很小的伤害,即表现出很强的抗旱性,推测应该是有利于保护膜系统的酶活性与对膜系统起破坏作用的 O_2^- 及 MDA 处于一种动态平衡中,不能简单从某一成分的高低来评价植物的抗旱性。杨亚洲^[27]等曾对葡萄属植物耐旱

性机制进行分析,认为燕山葡萄抗旱性与其原产地的生态环境紧密相关,表现为避水型抗旱,即起源于干旱地区的葡萄抗旱性强,湿润地区的葡萄抗旱性弱。但迄今燕山葡萄‘燕山-1’的抗旱机理尚不明确,还有待于进一步研究。

综合 3 种葡萄种质资源在 60 g/L PEG-6000 干旱胁迫下的形态变化和 6 项生理生化指标的测定结果,特别是依据形态变化,表明中国野生燕山葡萄‘燕山-1’具有较强的抗旱性,其次是欧洲葡萄‘红地球’,最差的是美国野生河岸葡萄‘河岸(♀)’。该结果将为进一步克隆中国野生燕山葡萄‘燕山-1’的抗旱基因提供依据,也将为葡萄生产提供一定的参考价值。

参考文献:

[1] 李磊,贾志清.我国干旱区植物抗旱机理研究进展[J].中国沙漠,2010,30(5):1053-1059.
LI L, JIA Z Q. Research advances on drought resistance mechanism of plant species in arid area of China [J]. Journal of Desert Research, 2010, 30(5): 1053-1059. (in Chinese)

[2] HSIAO T C, *et al.* Plant responses to water stress [J]. Annual of Plant Botany, 2002, 89(3): 519-570.

[3] BRADFORD K J, HSIAO T C, *et al.* Physiological responses to moderate water stress [J]. Physiological Plant Ecology, 1982, 12: 263-324.

[4] MUNNS R, *et al.* Comparative physiology of salt and water stress [J]. Plant Cell and Environment, 2002, 25(2): 239-250.

[5] RAFIEE M, KALHOR M E, *et al.* Economic water use efficiency of corn hybrids as affected by irrigation regimes: a case study in West Tran [J]. Archives of Agronomy and Soil Science, 2016, 62(6): 781-789.

[6] OLIET J A, PUERTOLAS J, PLANELLES R, *et al.* Nutrient loading of forest tree seedlings to promote stress resistance and field performance: a mediterranean perspective [J]. New Forests, 2013, 44(5): 649-669.

[7] 白云岗,张江辉,刘金昌.极端干旱区葡萄园喷施抗旱蒸腾剂效果研究[J].北方园艺,2010(16):44-46.
BAI Y G, ZHANG J H, LIU J C. Effect of anti-transpirant on vineyard in the extreme arid area [J]. North Horticulture, 2010 (16): 44-46. (in Chinese)

[8] 陈绍莉,刘金昌.葡萄砧木抗旱性初步鉴定[J].河北果树,2008,3(6):9-11.
CHEN S L, LIU J C. Preliminary identification of drought resistance in grape rootstocks [J]. Hebei Fruits, 2008, 3(6): 9-11. (in Chinese)

[9] 丁国华,马殿荣,陈温福,等.耐旱杂草稻幼苗光合系统对于干旱胁迫的响应[J].生态学报,2016,36(1):226-234.
DING G H, MA D R, CHEN W F, *et al.* Responses of the photosynthetic system of drought-tolerance weedy rice to drought stress at the seedling stage [J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36 (1): 226-234. (in Chinese)

[10] 孙景宽,张文辉,刘新成,等.种子萌发 4 种植物对于干旱胁迫的

响应及其抗旱性评价研究[J]. 西北植物学报, 2006, 26(9): 1811-1818.

SUN J K, ZHANG W H, LIU X C, *et al.* Response to droughty stresses and drought resistances evaluation of four species during seed germination [J]. Acta Bot. Boreali. -Occident. Sin., 2006, 26(9): 1811-1818. (in Chinese)

[11] 谭冬梅. 干旱胁迫诱导新疆野苹果和平邑甜茶细胞程序性死亡的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2005.

[12] 管利民, 吴志祥, 黄雄军, 等. 巴西香蕉幼苗对 PEG-6000 模拟干旱的生理响应[J]. 广东农业科学, 2012(21): 61-69.

GUAN L M, WU Z X, HUANG X J, *et al.* Physiological responses of Brazil banana seedlings to drought stress simulated by PEG-6000 [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2012 (21): 61-69. (in Chinese)

[13] 李予霞, 崔百明, 刘升学, 等. PEG 处理葡萄试管苗生理反应及叶片组织形态研究[J]. 干旱地区农业研究, 2004, 22(2): 87-94.

LI Y X, CUI B M, LIU S X, *et al.* Study on physiological metabolic indexes and leaf organic morphology of grape plantlets in vitro under PEG-induced water stress [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2004, 22(2): 87-94. (in Chinese)

[14] 仲伟敏, 周金忠, 潘学军, 等. 野生毛葡萄‘花溪-4’试管苗对 PEG 胁迫的形态和生理响应[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2012, 40(6): 181-188.

ZHONG W M, ZHOU J Z, PAN X J, *et al.* Response of wild *Vitis quinquangularis* ‘Huaxi-4’ tube seedlings to PEG stress in morphology and physiology [J]. Journal of Northwest A&F University: Nat. Sci. Ed., 2012, 40(6): 181-188. (in Chinese)

[15] 蔡庆生. 植物生理实验[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2013.

[16] 高俊风. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.

[17] 路文静, 李奕松. 植物生理学实验教程[M]. 北京: 中国林业出版社, 2012.

[18] 魏志刚, 王玉成. 植物干旱胁迫响应机制[M]. 北京: 科学出版社, 2015.

[19] PAGTER M, BRAGATO C, BRIX H. Tolerance and physiological responses of *Phragmites Australis* to water deficit[J]. Aquatic Bot, 2005, 81: 285-299.

[20] 王恒振, 史红梅, 王媛媛, 等. 干旱胁迫对葡萄生理生化影响的研究进展[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2011(3): 71-75.

WANG H Z, SHI H M, WANG Y Y, *et al.* Study on drought resistance of physiology in *Vitis*[J]. Sino-Overseas Grapevine & Wine, 2011(3): 71-75. (in Chinese)

[21] 陈珂, 焦娟玉, 尹春英. 植物对水分胁迫的形态及生理响应[J]. 湖北农业科学, 2009(4): 992-995.

CHEN K, JIAO J Y, YIN C Y. The morphological and physiological responses of plants to water stress [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2009(4): 992-995. (in Chinese)

[22] 范苏鲁, 苑兆和, 冯立娟, 等. 干旱胁迫对大丽花生理生化指标的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(3): 651-657.

FAN S L, YUAN Z H, FENG L J, *et al.* Effects of drought stress on physiological and biochemical parameters of *Dahlia pinnata* [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 22(3): 651-657. (in Chinese)

[23] 刘忠霞, 刘建朝, 胡景江. 干旱胁迫对苹果树苗活性氧代谢及渗透调节的影响[J]. 西北林学院学报, 2013, 28(2): 15-19.

LIU Z X, LIU J Z, HU J J. Effects of drought stress on active oxygen metabolism and contents of osmotic adjustment substances in the leaves of apple seedling [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2013, 28(2): 15-19. (in Chinese)

[24] 桑子阳, 马履一, 陈发菊, 等. 干旱胁迫对红花玉兰幼苗生长和生理特性的影响[J]. 西北植物学报, 2011, 31(1): 109-115.

SAN Z Y, MA L Y, CHEN F J, *et al.* Growth and physiological characteristics of *Magnolia wufengensis* seedlings under drought stress [J]. Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin., 2011, 31(1): 109-115. (in Chinese)

[25] 夏新莉, 郑彩霞, 尹伟伦. 土壤干旱胁迫对樟子松针叶膜脂过氧化、膜脂成分和乙烯释放的影响[J]. 林业科学, 2000, 36(3): 8-12.

XIA X L, ZHENG C X, YIN W L. Effect of drought stress on the peroxidation of membrane lipids, the composition of membrane fatty acids and ethylene evolution of needles of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litv [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2000, 36(3): 8-12. (in Chinese)

[26] 韩蕊莲, 李丽霞, 梁宗锁, 等. 干旱胁迫下沙棘膜脂过氧化保护体系研究[J]. 西北林学院学报, 2002, 17(4): 1-5.

HAN R L, LI L X, LIANG Z S, *et al.* Seabuckthorn membrane-lipid peroxidation system under drought stress [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2002, 17(4): 1-5. (in Chinese)

[27] 杨亚洲, 王跃进, 张剑侠, 等. 中国葡萄属野生种抗旱基因的分子标记及遗传分析[J]. 园艺学报, 2007, 34(5): 1087-1092.

YANG Y Z, WANG Y J, ZHANG J X, *et al.* Molecular markers linked to drought resistance gene in Chinese wild *Vitis* species and their genetic analysis [J]. Acta Horticulture Sinica, 2007, 34(5): 1087-1092. (in Chinese)