

# 干旱胁迫对樟叶越橘叶片生理特性的影响

王晓通<sup>1</sup>, 陈鹏吉<sup>2</sup>, 熊宏<sup>1</sup>, 赵平<sup>3</sup>, 丁勇<sup>1\*</sup>

(1. 西南林业大学云南省高校林木生物技术重点实验室, 昆明 650224; 2. 云南省富宁县第一中学, 云南 富宁 663400; 3. 西南林业大学西南地区林业生物质资源高效利用国家林业和草原局重点实验室, 昆明 650224)

**摘要:**以盆栽樟叶越橘(*Vaccinium dunalianum* Wight)为试材,采用自然干旱方法停水不同天数处理植株,探究了干旱胁迫对樟叶越橘叶片生理特性的影响,为进一步研究樟叶越橘对干旱胁迫的适应性和耐受性机制提供理论参考。结果显示:在干旱胁迫不同处理时期,樟叶越橘叶片中叶绿素含量呈先上升后下降趋势,且在第7天时达到最高(0.62 mg/g);而其代表膜脂过氧化程度的MDA含量整体上升,并在第28天达到最大值,为24.22 μmol/g;Pro含量呈先上升后下降再升高的趋势,均显著高于CK组;SS含量呈现上升趋势,第28天达到峰值且与CK组差异显著;SOD活性呈先增加后降低的趋势,而POD活性表现为升-降-升的趋势。表明樟叶越橘在干旱胁迫初期通过调节渗透调节物质含量和抗氧化酶活性等以抵御干旱伤害,而干旱胁迫后期,保护酶系统和细胞膜受损较严重,影响了植物正常生长。

**关键词:**樟叶越橘;干旱胁迫;生理特性

中图分类号:S663.9

文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2023)02-0122-04

## Effect of Drought Stress on Physiological Characteristics of *Vaccinium dunalianum* Leaves

WANG Xiaotong<sup>1</sup>, CHEN Pengji<sup>2</sup>, XIONG Hong<sup>1</sup>, ZHAO Ping<sup>3</sup>, DING Yong<sup>1\*</sup>

(1. Key Laboratory of Forest Biotechnology in Yunnan, Southwest Forestry University, Kunming 650224; 2. Funing No. 1 Middle School, Funing 663400; 3. Key Laboratory of State Forestry and Grassland Administration on Highly-Efficient Utilization of Forestry Biomass Resources in Southwest China, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China)

**Abstract:** In order to further study the adaptability and tolerance mechanism of *Vaccinium dunalianum* to drought stress, this study used potted *V. dunalianum* plants as test material to compare the effects of different days of drought stress on the physiological characteristics. The results showed that during different drought stress treatment periods, the chlorophyll content of *V. dunalianum* leaves increased first and then decreased, and reached the peak (0.62 mg/g) on the 7th day. The content of MDA, which represents the degree of membrane lipid peroxidation, kept increasing and reached the highest value of 24.22 μmol/g on the 28th day. With the prolongation of drought stress time, the Pro content of *V. dunalianum* leaves shows a trend of first increasing, then decreasing, and then increasing, which was significantly higher than that in CK group. SS content showed an upward trend, reached the peak on the 28th day, which had significant difference with the CK group. With the extension of drought stress time, SOD activity of *V. dunalianum* leaves increased first and then decreased, while POD activity showed a trend of up-down-up. The results of this study indicated that *V. dunalianum* could resist drought damage by adjusting their osmotic adjustment substance content and antioxidant enzyme activity in the early stage of drought stress, while in the later stage, the damage of protective enzyme system and cell membrane was serious, which affected the normal growth of *V. dunalianum* plants.

**Key words:** *Vaccinium dunalianum*; Drought stress; Physiological characteristics

收稿日期:2020-07-15

基金项目:国家自然科学基金项目(31960073、31460076);云南省高校林木生物技术重点实验室开放基金项目(51700201)

作者简介:王晓通(1997-),男,在读硕士,主要研究方向:植物生理学。

通讯作者:丁勇,男,硕士,副教授,E-mail: dingyong@swfu.edu.cn

水分胁迫是植物体水分散失高于水分吸收,造成植物体内组织含水量降低,代谢失衡的现象,主要包括土壤水分亏缺造成的干旱胁迫和土壤含水量过剩引起的淹水胁迫两个方面<sup>[1-2]</sup>。干旱是制约植物生长发育的主要环境因子,目前由干旱引起的各类农作物减产问题日益突出,已成为严重影响现代农业生产的世界性难题<sup>[3]</sup>。干旱会使植物体内活性氧生成速率大于清除速率,活性氧大量积累与膜脂反应造成膜伤害,造成膜透性增加和细胞内溶质分子外渗,影响植物的正常生理代谢以及生长发育<sup>[4]</sup>。丙二醛(MDA)是细胞膜脂质过氧化的最终产物<sup>[5]</sup>。干旱胁迫下植物细胞叶绿体结构异常,产生的大量活性氧造成叶绿素受到氧化伤害从而破坏正常的生理代谢<sup>[6]</sup>。植物体内清除活性氧的重要保护酶超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)可将O<sub>2</sub>歧化成H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>,保护酶活性的高低是植物抗旱性的重要指标<sup>[7]</sup>。脯氨酸(Pro)是水溶性最大的氨基酸,具有较强的水作用力,能够维持细胞膨压,参与渗透调节;可溶性糖(SS)的积累也可以增加细胞内渗透势,提高抗逆能力,这两种物质在植物生长过程中共同维持机体正常生理功能<sup>[8]</sup>。

樟叶越橘(*Vaccinium dunalianum* Wight)为杜鹃花科越橘属植物<sup>[9]</sup>,全株入药,有祛风除湿、舒筋活络的功效,同时也可作为广泛应用于化妆品行业的皮肤美白天然活性剂原料熊果苷的主要植物来源之一<sup>[10]</sup>。目前,有关樟叶越橘的研究主要涉及化学成分和功能<sup>[11-12]</sup>、组织培养与快速繁殖<sup>[13-14]</sup>与分子生物学<sup>[15-17]</sup>等方面。而樟叶越橘在干旱胁迫下的生理代谢响应及适应性调节等方面的研究尚未见报道。本文采用自然干旱方法停水不同天数处理植物,探讨了干旱胁迫对樟叶越橘叶片叶绿素、MDA、渗透调节物质含量和抗氧化酶活性等生理指标的影响,为了解樟叶越橘的抗旱机制,以及植物栽培过程中的抗旱问题提供科学数据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料与设计

供试材料为培育于西南林业大学温室大棚内的一年生樟叶越橘植株,盆栽于装有腐殖土:红土=3:1的40 cm×40 cm的花盆中,每盆栽种3棵植株,生长期间给予正常水肥管理。

选取生长旺盛、长势一致且主梢同一方向的樟叶越橘盆栽植株,所有植株先行浇透水,然后

采用自然干旱处理的方法进行试验处理。干旱胁迫试验分别为停水0、7、14、21、28 d,0 d为对照组(CK)。将植株随机分为5组,每组3次重复,每个重复3盆植株,分别进行植株叶片和土壤取样,取样过程中遵循混合、随机取样的方法,取样时间均为8:00~9:00,且每株植物取样时均从形态学上端向下端选取第4和第5片叶。

### 1.2 试验指标测定方法

土壤含水量测定采用烘干称重法<sup>[18]</sup>,叶绿素和Pro含量测定分别采用丙酮浸提法和酸性茚三酮法<sup>[19]</sup>,MDA和SS含量测定分别采用硫代巴比妥酸法和蒽酮法<sup>[20]</sup>,SOD和POD活性测定分别采用氮蓝四唑法和愈创木酚法<sup>[21]</sup>。

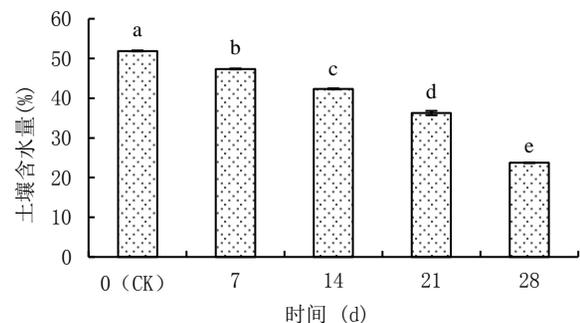
### 1.3 数据处理

试验数据利用Excel 2010软件进行整理和绘图,使用SPSS 17.0软件进行差异显著性分析( $P < 0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤含水量的变化

植物体所需水分主要来自土壤,植物既吸收土壤水分,又吸收土壤中的养分,以此维持自身水循环平衡,保证植物体的正常生命活动<sup>[22]</sup>。由图1可知,随着干旱胁迫程度的增加,土壤中的含水量与CK(51.89%)相比均呈显著下降的趋势,且在胁迫处理28 d时含水量最低,仅为23.73%。此外通过植物外观形态观察处理21 d时樟叶越橘叶片已出现萎蔫,28 d时叶片萎蔫较严重。表明通过停水试验模拟干旱条件较理想。



注:不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ ),下同

图1 干旱胁迫下土壤含水量的变化

### 2.2 干旱胁迫下樟叶越橘叶绿素含量的变化

干旱胁迫不同处理时期,樟叶越橘叶片中总叶绿素含量、叶绿素a和b含量均呈现先上升后下降的变化趋势(图2)。总叶绿素含量在停水7 d时显著升高到最大值(0.62 mg/g),之后随着胁迫强度的增加呈现持续下降趋势,其中14 d(0.60

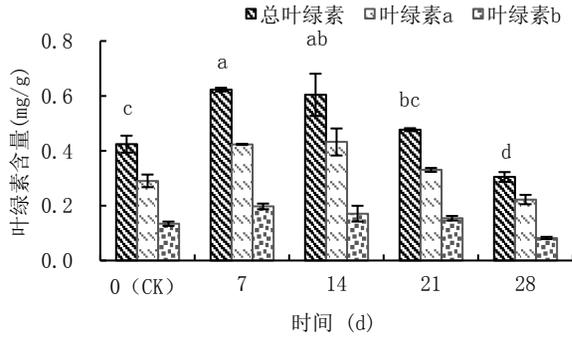


图2 干旱胁迫下樟叶越橘叶片叶绿素含量变化

mg/g)与7 d无显著差异,仍显著高于CK组0.42 mg/g的含量,21 d(0.48 mg/g)与CK组相比无显著性差异。而在28 d时总叶绿素含量下降到最低值0.30 mg/g,相比CK组显著降低了28.57%,此时樟叶越橘叶片中光合色素的降解大于合成,植物叶片表现出失绿发黄、干枯症状。

### 2.3 干旱胁迫下樟叶越橘MDA含量的变化

干旱胁迫下樟叶越橘MDA含量的变化见图3。与CK组(18.43 μmol/g)相比,停水7 d和14 d的MDA含量分别显著增加到21.51 μmol/g和22.08 μmol/g,但两者之间差异不显著;在停水21 d时MDA含量与CK组无显著性差异,而28 d时MDA含量又显著增加到最高值24.22 μmol/g。表明随着干旱胁迫程度的加强,樟叶越橘植物细胞膜脂化受损较严重。

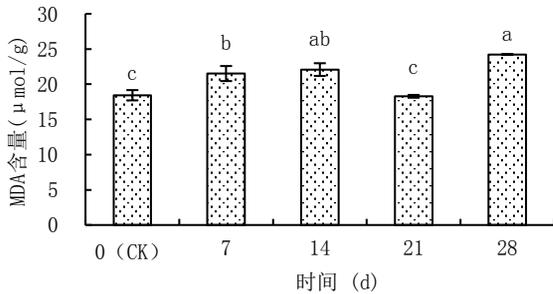


图3 干旱胁迫下樟叶越橘叶片MDA含量变化

### 2.4 干旱胁迫下樟叶越橘Pro和SS含量的变化

在试验处理不同时间下,樟叶越橘叶片Pro含量呈现先上升后下降再升高的趋势。各干旱胁迫处理组Pro含量均显著高于CK组(18.43 μg/g),停水7、14、21、28 d时的Pro含量分别增长了49.96%、65.09%、28.57%、56.51%,在第14 d时达到最高值,为34.66 μg/g(图4A)。而樟叶越橘叶片SS含量随干旱胁迫处理时间的延长呈现上升趋势(图4B)。停水7 d时SS含量由CK组的135.04 mmol/L显著升高到201.61 mmol/L;停水7~21 d期间,SS含量波动幅度小,趋于稳定;在停水

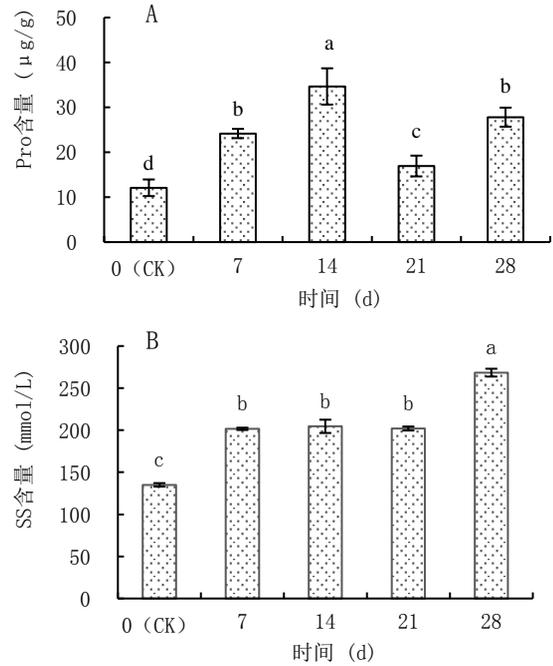
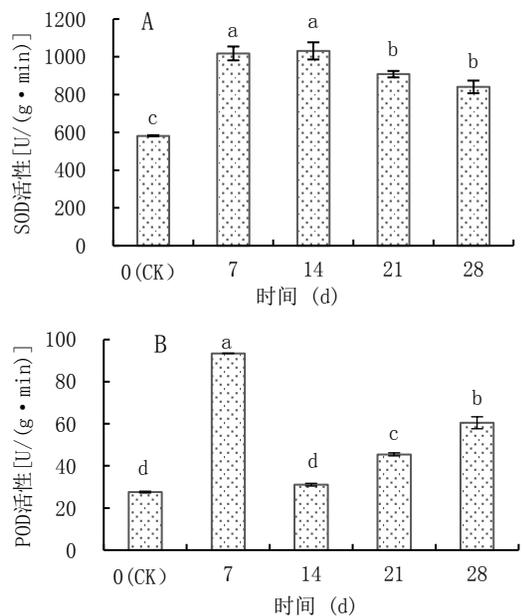


图4 干旱胁迫下樟叶越橘叶片Pro和SS含量的变化

28 d时SS含量急剧增加,并达到最高值268.35 mmol/L,比CK组增加了49.68%。

### 2.5 干旱胁迫下樟叶越橘抗氧化酶活性的变化

随着干旱时间的增加,樟叶越橘叶片SOD活性总体呈现出先升高后降低的趋势(图5A)。停水7 d时SOD活性相比CK组显著上升,停水14 d时SOD活性达到最大1031.03 U/g·min,与CK组相比增加了43.58%,但与7 d差异不显著。停水21 d的SOD活性相比14 d显著下降,之后缓慢下降;SOD活性在28 d与21 d处理组间无显著性差异,



注:A为SOD酶活性变化;B为POD酶活性变化

图5 干旱胁迫下樟叶越橘叶片抗氧化酶活性的变化

但均显著高于CK组。POD活性变化趋势为先急剧上升、再急剧下降、最后逐渐上升。在干旱第7 d时,POD活性显著急剧上升且达到最大酶活性93.45 U/(g·min),约为CK组的3.39倍;停水14 d时,POD活性则又迅速下降至CK组水平,之后保持逐渐显著上升状态(图5B)。

### 3 结论与讨论

干旱胁迫影响植物正常的生理代谢,通常表现在叶绿素含量、植物渗透调节物质以及抗氧化酶活性等多种生理变化过程中,其影响程度往往取决于胁迫的强度、持续时间以及植物种类和植物对水分亏缺的敏感性<sup>[4,23]</sup>。本研究发现樟叶越橘的叶绿素含量随干旱胁迫时间的延长呈现先升高后降低的变化趋势,这与陈洪<sup>[24]</sup>对木麻黄(*Casuarina equisetifoli*)的抗旱性研究发现的“先升后降”叶绿素含量变化规律一致。樟叶越橘在干旱处理试验中先后经历轻度、中度和深度干旱胁迫。樟叶越橘经受中度干旱胁迫时可能导致体内叶绿素含量随水分的减少而呈现出一定程度的“浓缩”状态,使得单位鲜重中的叶绿素含量相对升高<sup>[25]</sup>;随着后续干旱胁迫时间的延长,则可能引起樟叶越橘细胞结构异常,从而导致叶绿素合成途径受阻,降解速度加快,因此叶绿素含量迅速下降,植物表现出叶片发黄、干枯等症状<sup>[26]</sup>。

植物缺水时还会在细胞内大量积累渗透调节物质并调节渗透压保护蛋白质分子,维持体内水分,确保细胞完整性,以此减轻外界环境所带来的伤害<sup>[8,27]</sup>。樟叶越橘在试验中能够感应干旱胁迫信号,其叶片大量积累渗透调节物质Pro和SS,以此提高细胞液浓度,增加渗透势,提高吸水能力。这与兰花“曙光”(*Cymbidium ssp.*)通过大量积累Pro<sup>[28]</sup>和蒙古黄芪(*Stragalus membranaceus*)提高其体内SS含量<sup>[29]</sup>来响应干旱胁迫的研究结果相似。因此,Pro和SS等渗透调节物质在樟叶越橘等植物抗旱生理中发挥着重要作用。

MDA含量的高低能够反映出细胞膜脂过氧化作用强弱和质膜破坏程度<sup>[5]</sup>,而产生的大量活性氧会通过植物保护酶系统如SOD、POD来清除,减轻O<sup>2-</sup>和H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>等活性物质对细胞膜生理功能的损害<sup>[6-7,30]</sup>。本试验中樟叶越橘叶片MDA含量随干旱时间的延长呈现上升的变化趋势,与张敏等<sup>[31]</sup>的研究结果一致。干旱胁迫初期(停水7 d和14 d),樟叶越橘叶片保护酶系统能迅速做出反应,SOD和POD活性显著上调,有效发挥对O<sup>2-</sup>和

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>的清除作用,此时MDA含量变化趋于平缓<sup>[32]</sup>。当深度胁迫导致大量积累的活性氧超过保护酶系统的阈值时,植物自身动态平衡被打破,导致酶钝化、新酶合成被抑制<sup>[33]</sup>,此时(停水28 d)樟叶越橘叶片保护酶系统受到破坏,SOD活性下调,活性氧物质增加,细胞膜过氧化加剧,MDA又快速累积,导致细胞膜受损程度增加,最终致使植株不能正常生长。

综上所述,不同程度的干旱胁迫对樟叶越橘的生理代谢有着直接影响。胁迫初期,樟叶越橘对干旱胁迫具有一定的适应性,通过升高其抗氧化酶(SOD、POD)活性,渗透调节物质(Pro、SS)及叶绿素含量来抵御逆境环境;随着胁迫程度的加强,樟叶越橘体内的动态平衡被打破,导致其叶绿素、脯氨酸及相关酶(SOD、POD)活性下降;胁迫后期,樟叶越橘通过积累大量的SS保持渗透势,但由于保护酶系统受损,MDA含量急剧增加,导致细胞膜受损严重,植物生长受阻。

### 参考文献:

- [1] 李娟,韩永芬,陆瑞霞,等.水分胁迫对菊苣生理生化特性的影响[J].西南农业学报,2014,27(1):104-107.
- [2] 莫荣利,李勇,于翠,等.水分胁迫对桑树生理生化特性的影响[J].湖北农业科学,2017,56(24):4815-4820.
- [3] 吴金山,张景欢,李瑞杰,等.植物对干旱胁迫的生理机制及适应性研究进展[J].山西农业大学学报(自然科学版),2017,37(6):452-456.
- [4] 刘伟新,郑会全,胡德活,等.PEG6000模拟水分胁迫对杉木家系苗木生理生化指标的影响[J].林业与环境科学,2018,34(2):19-24.
- [5] 孙晓东,贾娜,何鹏,等.干旱胁迫对陕北沙棘幼苗生长发育的影响[J].东北农业科学,2018,43(2):16-20.
- [6] 林武星,黄雍容,朱炜,等.干旱胁迫对台湾栎树幼苗生长和生理生化指标的影响[J].中国水土保持科学,2014,12(5):52-56.
- [7] 董鹏,李铭,马新,等.干旱胁迫对5个园林绿化树种生理生化特性的影响[J].西南农业学报,2018,31(4):699-704.
- [8] 王树昌,于晓玲,阮孟斌,等.干旱胁迫对木薯SC5抗性生理指标的影响[J].分子植物育种,2018,16(4):1294-1299.
- [9] 中国科学院中国植物志编辑委员会.中国植物志(第五十七卷第三分册)[M].北京:科学出版社,1991:93-94.
- [10] 罗旭璐.樟叶越橘原植物及其组织培养系的化学成分分析[D].昆明:西南林业大学,2015.
- [11] 杨芳,邵金良,杨斌,等.雀嘴茶营养成分的分析及评价[J].现代食品科技,2011,27(12):1516-1519.
- [12] 尹继庭,姜力,姜永新,等.樟叶越橘(原变种)新鲜叶芽挥发性成分的GC-MS分析[J].西南林业大学学报,2013,33(2):100-103.

### 3 对吉林省西甜瓜产业发展的建议

#### 3.1 注重提高种植技术和耐运品种研发

薄皮甜瓜货架期、销售半径均较短,是当前吉林省品牌优质甜瓜销售的瓶颈。通过控水和科学施肥等栽培技术、提高品种的耐运耐储性,可延长货架期。通过研究应用瓢紧质优薄皮甜瓜品种,可解决吉林省主栽薄皮甜瓜品种运输半径小、货架期短的技术难题,为创立吉林省薄皮甜瓜地标品牌、扩大全国性的市场空间打下基础。

#### 3.2 推广西甜瓜高效栽培技术,加强瓜农食品安全意识

除了推广西甜瓜水肥一体化和甜瓜吊蔓等高效栽培技术外,推广嫁接苗应用对于提高优势产区可持续发展具有重要意义。推广蜜蜂授粉技术,可提高商品瓜品质,打造吉林区域特色品牌。

#### 3.3 科技引领,政府主导,建立区域产业研究院

为全面推进科技引领西甜瓜产业发展,以点带面,基于“镇赉甜瓜”与“黑水西瓜”地理标志农产品效应,建议依托相关研究机构,建立区域性“西瓜/甜瓜产业研究院”,如在镇赉县建立“镇赉

甜瓜产业研究院”,在洮南市建立“黑水西瓜产业研究院”,在瓜农家门口开展试验示范、技术培训、成果转化等工作。

#### 3.4 建立西甜瓜种苗中心,全面推进嫁接苗标准化生产

按照播种面积和不同栽培模式计算,全省年均需求西瓜种苗约2.0亿株、甜瓜种苗约8.0亿株。按照嫁接苗使用率30%计算,全省嫁接苗需求量为3.0亿株。依前阐述商业化种苗达到30%是可能的,因而至少要有9000万元市场空间。也就是说,全省建立种苗基地30个,产值可达300万元/个,加上其他蔬菜类种苗销售收入可达到千万元以上。

#### 参考文献:

- [1] 陈浩天,齐红岩,叶雪凌.我国东北三省西瓜甜瓜栽培模式发展现状、问题及对策[J].中国瓜菜,2019,32(8):45-49.
- [2] 王利波,惠长敏,张波,等.吉林省西甜瓜产业发展中的问题与对策研究[J].吉林蔬菜,2012(9):36-38.
- [3] 牛海龙,李玉发,何中国,等.吉林省花生产业发展需求报告[J].东北农业科学,2019,44(3):11-13.
- [4] 何明,张家旺,孙柏欣,等.辽宁西甜瓜产业科技创新探讨[J].辽宁农业科学,2016(5):68-70.
- (责任编辑:王丝语)
- 业学报,2000,15(1):48-54.
- [25] 郭春芳.水分胁迫下茶树的生理响应及其分子基础[D].福州:福建农林大学,2008.
- [26] 卢琼琼,宋新山,严登华.干旱胁迫对大豆苗期光合生理特性的影响[J].中国农学通报,2012,28(9):42-47.
- [27] 聂利珍,刘红葵,李晓东,等.沙冬青脱水素基因提高转基因紫花苜蓿的耐旱性[J].基因组学与应用生物学,2017,36(7):2947-2953.
- [28] 徐锐仙,刘忠贵.水分胁迫对兰花“曙光”生理生化指标的影响研究[J].安徽农学通报,2015,21(12):32-35.
- [29] 贾鑫,孙窗舒,李光跃,等.干旱胁迫对蒙古黄芪生长和生理生化指标及其黄芪甲苷积累的影响[J].西北植物学报,2018,38(3):501-509.
- [30] Dubey A K, Kumar N, Kumar A, et al. Over-expression of *CarMT* gene modulates the physiological performance and antioxidant defense system to provide tolerance against drought stress in *Arabidopsis thaliana* L.[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2019, 171: 54-65.
- [31] 张敏,李静媛,张占彪,等.干旱胁迫对‘夕阳红’幼苗生长和生理生化指标的影响[J].灌溉排水学报,2015,34(9):99-104.
- [32] 孙存华,李扬,贺鸿雁,等.藜对干旱胁迫的生理生化反应[J].生态学报,2005,25(10):2556-2561.
- [33] 王洪亮,王丙丽,李卫海,等.铜胁迫对黄粉虫幼虫3种保护酶活性的影响[J].广东农业科学,2011,38(23):129-131.
- (责任编辑:王丝语)
- =====  
(上接第125页)
- [13] 罗旭璐,唐军荣,李娜,等.樟叶越橘的组织培养与快速繁殖[J].植物生理学报,2014,50(11):1717-1720.
- [14] 赵展平,何芳,唐军荣,等.樟叶越橘组培苗生根和移栽技术研究[J].广西植物,2019,39(7):967-975.
- [15] Ding Y, Xiong H, Li N, et al. De novo transcriptome sequencing of *Vaccinium dunalianum* Wight to investigate arbutin and 6'-O-caffeoylarbutin synthesis[J]. Russian Journal of Plant Physiology, 2017, 64(2): 260-282.
- [16] 杜维,丁勇,朱东阳,等.樟叶越橘熊果苷合成酶基因 *VdASI* 的克隆及序列分析[J].植物分类与资源学报,2015,37(1):71-77.
- [17] 何芳,李国泽,丁勇,等.樟叶越橘 CYP450 基因片段克隆与家族分析[J].分子植物育种,2020,18(2):347-357.
- [18] 刁兆龙,陈辉,冯金玲,等.水分胁迫对油茶苗生理生化特性的影响[J].安徽农业大学学报,2014,41(4):642-646.
- [19] 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.
- [20] 陈博,石进朝,李迎春.低温胁迫对大果榉枝条抗寒性的影响[J].西部林业科学,2019,48(6):36-40.
- [21] 周娜娜,武耀廷,高华援,等.铜胁迫对花生幼苗生长及生理代谢的影响[J].东北农业科学,2019,44(6):6-9.
- [22] 丁释丰,袁森,黄稚清,等.干旱胁迫对红果风铃木幼苗生理生化指标的影响[J].黑龙江农业科学,2019(3):13-17.
- [23] 邵宏波,梁宗锁,邵明安.小麦抗旱生理生化和分子生物学研究进展与趋势[J].草业学报,2006,15(3):5-17.
- [24] 陈洪.木麻黄抗旱生理生化部分特性的研究[J].福建农