

吴 华, 苏 倩, 陈金慧, 等. 水杨酸对紫外线胁迫下杉木组培苗的影响[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(9): 207–210.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.09.059

# 水杨酸对紫外线胁迫下杉木组培苗的影响

吴 华<sup>1,2</sup>, 苏 倩<sup>1</sup>, 陈金慧<sup>1,2</sup>, 匡华林<sup>1,2</sup>, 施季森<sup>1,2</sup>, 成铁龙<sup>1</sup>

(1. 南京林业大学林学院/林木遗传与生物技术省部共建教育部重点实验室, 江苏南京 210037;

2. 南京林业大学南方现代林业协同创新中心, 江苏南京 210037)

**摘要:**水杨酸(SA)在植物的抗病、抗逆境胁迫中发挥着重要作用,为研究水杨酸对杉木抗紫外胁迫的影响,以杉木组培苗为试验材料,在培养基中添加不同浓度(0、50、100、150、200 mg/L)SA(以不添加SA作为对照组),用紫外灯模拟自然界UV-B辐射对其进行处理,测定紫外胁迫下杉木组培苗内源SA含量的变化,以及经SA预处理后杉木组培苗在紫外胁迫前后的生理状态及光合作用效率的变化。结果显示:不经SA预处理的杉木组培苗在紫外胁迫下内源SA含量随着照射时间的增加而增加,说明SA参与了紫外胁迫响应;经100、150 mg/L SA预处理后,有效降低杉木组培苗丙二醛含量,缓解紫外胁迫对杉木幼苗的伤害,POD活性、可溶性蛋白含量及叶绿素荧光参数( $F_v/F_m$ 值、 $Y_{II}$ 、 $q_N$ 、 $q_P$ )均升高,显示SA能调节上述物质含量来增强杉木组培苗的抗紫外能力,从而有效保护杉木组培苗免受紫外胁迫的伤害。

**关键词:**杉木;组培苗;水杨酸;紫外胁迫;生理指标;POD活性;可溶性蛋白质含量;叶绿素荧光参数

**中图分类号:** S791.270.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)09-0207-04

杉木[*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook]属杉科(Taxodiaceae)杉木属(*Cunninghamia*),是中国长江流域、秦岭以南地区栽培最广、生长快、经济价值高的用材树种。但是,

收稿日期:2016-03-31

基金项目:江苏省高校自然科学基金(编号:13KJA220001);江苏高校优势学科建设工程(编号:PAPD);南京林业大学南方现代林业协同创新中心计划。

作者简介:吴 华(1989—),女,河南开封人,硕士研究生,研究方向为林木遗传育种。E-mail:whua55@126.com。

通信作者:成铁龙,博士,高级工程师。E-mail:ctielong@126.com。

因此,本试验中每种生长调节剂的试验处理浓度都一样,处理的时间也相同,可能不太符合各种生长调节剂的使用特点,不能最大发挥各生长调节剂的效用,所以在今后的研究中还待进一步研究。

## 参考文献:

- [1]中国科学院.中国植物志[M].北京:科学出版社,1995.
- [2]周凤超,王 云,吕永琴.圆锥八仙花扦插技术[J].吉林林业科技,1994(1):50.
- [3]钱又宇,薛 隽.世界著名观赏树木英国冬青·圆锥绣球花[J].园林,2010,07(7):68-69.
- [4]汉梅兰,吴永华.适宜北方栽植的夏秋季花木[J].北方园艺,1993(4):51-52.
- [5]徐凤树.圆锥绣球嫩枝扦插试验[J].辽宁林业科技,1994(6):15-16.
- [6]李 阳,严 芳,何卫中,等.不同生根剂对惠明白茶扦插的影响[J].浙江农业学报,2012,24(6):988-991.
- [7]陈尚平,苏家乐,李 畅,等.铁红杜鹃扦插基质优选研究[J].江苏农业科学,2010(6):271-272.

杉木在生长过程中常受到各种逆境环境的胁迫。喻方圆等研究发现,杉木不同无性系间抵抗逆境胁迫的能力有所差异<sup>[1]</sup>;吴华等发现,紫外线对杉木体胚苗有胁迫作用<sup>[2]</sup>。

水杨酸(salicylic acid, SA)是植物体内普遍存在的一种酚类化合物,是细胞内信号分子,又是一种内源性激素<sup>[3-4]</sup>。当植物受到病原物侵染后,产生过敏反应的部位内SA水平显著升高;当植物再次受到同种病原物或其他病原物侵染时,表现出抗性增强<sup>[5-7]</sup>。近年来,SA在植物抵抗非生物胁迫(紫外辐射<sup>[8-9]</sup>、低温<sup>[10-11]</sup>、高温<sup>[12-13]</sup>、干旱<sup>[14-15]</sup>、盐害<sup>[16]</sup>、重金属<sup>[17-18]</sup>等)方面作用的研究也开始受到广泛关注,但是目前有关SA在重要用材树种杉木逆境胁迫中的作用研究相对较

- [8]徐永艳,宋 妍,汪 琼.3种生长调节剂对茶梅扦插生根的影响[J].西部林业科学,2012,41(6):37-42.
- [9]廖世水.不同处理方式对柳杉扦插苗成活率的影响[J].福建林业科技,1996,23(3):61-64.
- [10]孙 敏,姚海燕,陈伯清,等.不同基质对几种花卉扦插生根及生长的影响[J].江苏农业科学,2009(1):179-181.
- [11]彭少兵,孟颖光,何西凤.不同药剂处理对金叶接骨木扦插生根的影响[J].西北林学院学报,2010,25(1):95-96,100.
- [12]刘林丽,颜 霞,赵亚兰.水杨酸对脱毒马铃薯扦插苗的生理影响[J].西北农业学报,2003(2):48-50.
- [13]邱 琼,杨德军,王 磊,等.云南蓝果树嫩枝扦插繁殖试验[J].西部林业科学,2013,42(5):105-108.
- [14]吕 梅,方炎明,尹增芳.桉木插穗不定根发生与发育的解剖学观察[J].西北植物学报,2007,27(5):871-877.
- [15]蔡燕燕,陈观岩.柳杉扦插育苗试验[J].福建林业科技,2003,30(4):81-83.
- [16]刘林丽,颜 霞,赵亚兰.水杨酸对脱毒马铃薯扦插苗的生理影响[J].西北农业学报,2003,12(2):48-50.
- [17]兰贺胜,邱进清,汤亮华,等.柳杉扦插繁殖试验初报[J].福建林业科技,1996,23(增刊1):66-69.

少。本试验以杉木组培苗为对象,分析外源 SA 预处理对紫外胁迫的杉木组培苗生长发育的影响,从杉木组培苗生理指标的变化探讨外源添加 SA 是否可以缓解紫外胁迫对杉木组培苗的伤害,从而为揭示 SA 诱导植物抗紫外胁迫作用机制提供一定的理论基础。

## 1 材料与方法

选取株高 7~8 cm、叶长 2~3 cm、长势基本相同、生长状况良好的杉木组培苗,随机分成 A、B 2 组。

### 1.1 紫外胁迫处理下杉木组培苗内源 SA 含量变化

A 组置于 UV-B 灯管 (30 W, 上海高硼紫外灯管) (280~320 nm) 下方,用紫外辐射强度测试仪 (北京师范大学光电仪器厂) 测定紫外线辐射强度为  $18 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。紫外辐射处理时间为每天 10 h (8:00–18:00)。取辐射 0、1、3、5、7、9 d 的杉木组培苗叶片 (0 d 为对照组), 设 3 组重复, 称质量后投入液氮, 于  $-80^\circ\text{C}$  冰箱保存, 用于内源 SA 的测定。其中用甲醇浸提杉木组培苗体内的 SA<sup>[19]</sup>, 用高效液相色谱仪 (Waters e2695) 测定内源 SA 含量。

### 1.2 添加 SA 对杉木组培苗的影响

将 B 组接种到含有不同浓度 SA (0、50、100、150、200 mg/L) 的培养基上, 每个浓度 4 株苗, 3 个重复。接种 3 d 后将其置于紫外灯下, 每天照射 10 h (8:00–18:00); 以接种在不加 SA (0 mg/L) 的培养基上的杉木为对照组 (CK)。取照射 0、3 d 植株相同部位的叶片, 进行 POD 活性、丙二醛 (MDA) 含量、可溶性蛋白含量及叶绿素荧光参数的测定。

本研究用硫代巴比妥酸比色法进行丙二醛含量的测定<sup>[20]</sup>; 用考马斯亮蓝比色法进行可溶性蛋白含量的测定<sup>[21]</sup>; 用愈创木酚法进行过氧化物酶 (POD) 活性的测定<sup>[22]</sup>, 将 1 min 内 D 值增加 0.1 计为 1 个过氧化物酶活力单位 (U), 酶活性单位为 U/g。

在本研究中使用 Dual-PAM-100 叶绿素荧光仪进行活体叶绿素荧光的测定。测定前将植物于黑暗中适应 30 min, 利用  $24 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  测量光测初始荧光  $F_0$ , 利用  $20\,000 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  饱和脉冲测定最大荧光  $F_m$ , 利用  $209 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  光化光测量光适应下的最大荧光 ( $F_m'$ )。光系统 II 的最大光合效率 ( $F_v/F_m$  值)、光系统 II 的实际光合效率 ( $Y_{II}$ )、光化学猝灭系数 ( $q_P$ )、非光化学猝灭系数 ( $q_N$ ) 由仪器自动给出。

## 2 结果与分析

### 2.1 紫外胁迫处理对杉木组培苗内源 SA 浓度的影响

从图 1 可以看出, 随着紫外照射时间的增加, 杉木组培苗的内源 SA 含量呈上升趋势, 与对照相比, 其含量分别增加 36.53%、81.73%、107.6%、162.5%、199.0%。说明在遭受紫外逆境胁迫时, 杉木组培苗体内内源 SA 含量会升高。

### 2.2 SA 处理对杉木组培苗抗紫外胁迫能力的影响

从图 2 可以看出, 紫外照射 0 d, 经不同浓度 SA 处理, 杉木组培苗叶绿素荧光参数 ( $F_v/F_m$  值、 $Y_{II}$ 、 $q_N$ 、 $q_P$ ) 与对照相比均降低; 紫外照射 3 d, 与紫外照射 0 d 相比, 杉木组培苗叶绿素荧光参数 ( $F_v/F_m$  值、 $q_N$ 、 $q_P$ ) 均降低。对照 (0 mg/L SA) 降低幅度最大, 试验组杉木组培苗叶绿素荧光参数 ( $F_v/F_m$  值、

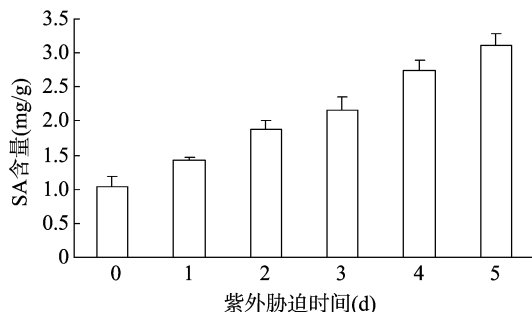


图1 紫外辐射对杉木组培苗内源 SA 含量的影响

$Y_{II}$ 、 $q_N$ 、 $q_P$ ) 均高于对照组; 当 SA 浓度为 100 mg/L 时,  $F_v/F_m$  值、 $Y_{II}$  均达到最高值, 与对照相比分别增加了 10.6%、17.7%; 当 SA 浓度为 150 mg/L 时,  $q_N$ 、 $q_P$  达到最高值, 与对照相比分别增加了 81.7%、27.9%, 说明适宜浓度的 SA 能够减弱紫外胁迫对植物的伤害。

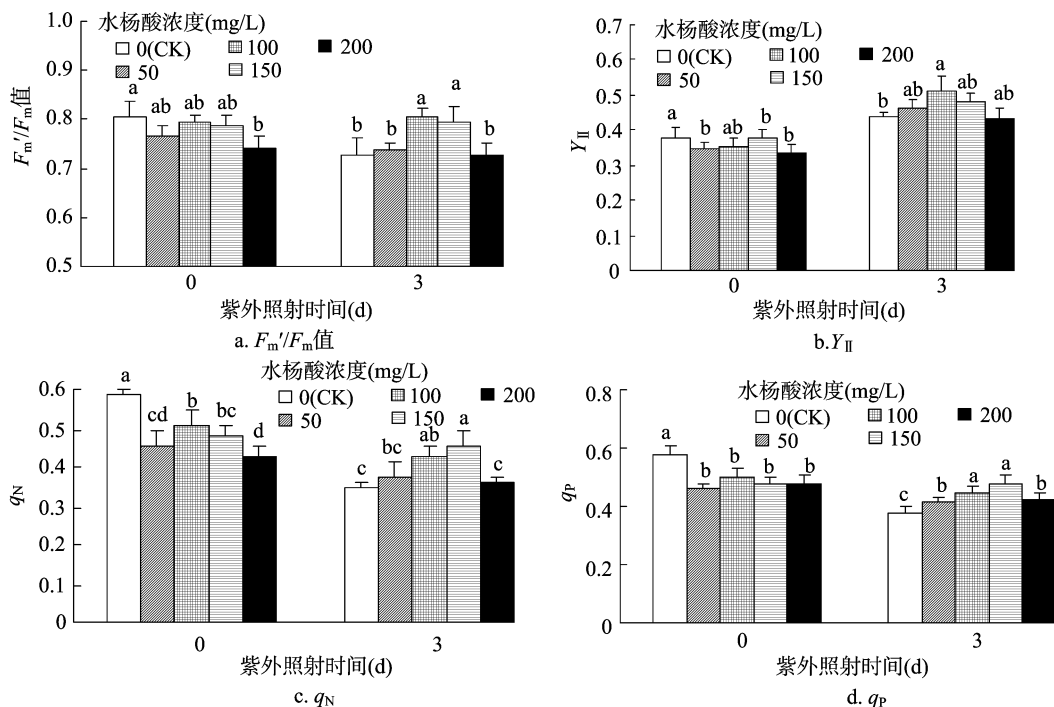
从图 3 可以看出: 紫外照射 0 d, 与对照相比经不同浓度 SA 处理杉木组培苗 MDA 含量增加, 但差异不显著; 紫外照射 3 d, 与紫外照射 0 d 相比, 杉木组培苗 MDA 含量都有所上升, 对照上升幅度最大, 表明外源 SA 能缓解紫外照射引起的杉木幼苗体内 MDA 含量升高, MDA 含量分别比对照减少了 22%、29%、14%、3%, 其中 100 mg/L SA 能显著降低由紫外胁迫产生的 MDA 含量。

如图 4 所示, 在紫外照射前, 与对照相比, 经不同浓度水杨酸处理杉木组培苗 POD 活性显著提高, 并随着水杨酸浓度的增加呈先上升后下降的趋势。紫外照射 3 d 后, 不同浓度水杨酸处理 POD 活性升高幅度不同, 与对照相比分别增加了 8.1%、14.4%、34.7%、1.0%, 表明紫外胁迫下外源 SA 可增强 POD 活性, 其中 100、150 mg/L SA 可显著增强杉木体内 POD 的活性。

由图 5 可知, 在紫外照射前, 与对照相比, 经不同浓度 SA 处理的杉木组培苗可溶性蛋白含量增加, 差异显著, 并随着 SA 浓度的增加呈先上升后下降的趋势。紫外照射 3 d 后, 经不同浓度 SA 处理, 与对照相比杉木体内可溶性蛋白含量分别增加了 121.9%、37.2%、16.9%、1.7%, 说明外施 SA 能增加杉木体内可溶性蛋白含量, 其中 100、150 mg/L SA 能显著增加可溶性蛋白含量。

## 3 结论与讨论

SA 是植物体内一种与逆境防御系统密切相关的信号分子, 参与植物抵抗生物与非生物胁迫的一系列细胞防御反应。研究表明, 在植物中部分非生物胁迫可以导致植物内源 SA 水平的升高<sup>[23–25]</sup>。在本试验中, 紫外辐射导致杉木组培苗叶片中内源 SA 积累, 说明 SA 作为一种植物激素, 参与杉木组培苗对紫外胁迫信号的响应。有研究表明, SA 能激活植物过敏反应 (hypersensitive response, HR) 并诱导植物产生系统获得性抗性 (systemic acquired resistance, SAR), HR 使病原感染局部化, 植物局部 HR 反应能引起整株植物获得抗性 (即 SAR)<sup>[26]</sup>。紫外照射前, 外源添加 SA 使 MDA 含量增加不显著、叶绿素荧光参数数值降低, POD 活性、可溶性蛋白含量升高, 推测 SA 介导杉木产生 HR、SAR, 当杉木受到紫外线胁迫时, 可提高杉木的抗性, 保护杉木组培苗免受紫外胁迫的伤害。



同一照射时间、不同处理间标有不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。下同

图2 不同浓度 SA 处理对紫外照射下杉木组培苗叶绿素荧光参数的影响

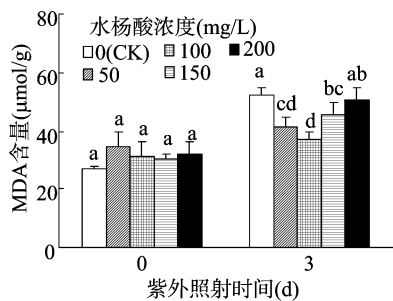


图3 不同浓度 SA 处理对紫外照射下杉木组培苗 MDA 含量的影响

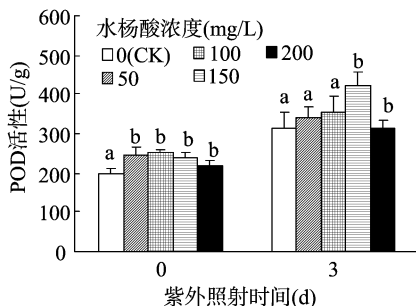


图4 不同浓度 SA 处理对紫外照射下杉木组培苗 POD 活性的影响

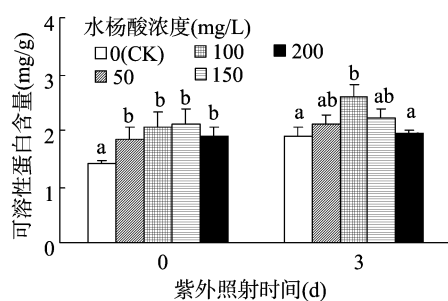


图5 不同浓度 SA 处理对紫外照射下杉木组培苗可溶性蛋白含量的影响

叶绿素荧光参数是评价植物光合机构是否受损伤的重要参数,因此研究者常把它作为研究逆境胁迫对光合机构伤害内在响应的理想探针<sup>[27]</sup>。本试验结果表明,紫外胁迫后叶绿素荧光参数( $F_m'/F_m$ 值、 $q_N$ 、 $q_P$ )与紫外照射前相比都呈下降趋势,说明植株的光系统遭到了一定破坏;添加一定浓度 SA 后, $F_m'/F_m$ 值、 $Y_{II}$ 、 $q_N$ 、 $q_P$ 下降幅度变小,SA 浓度为 100 mg/L 时能有效增强植物光合作用,说明外源 SA 预处理诱导了杉木组培苗提高 PS II 的潜在活性,提高了光能转化效率,减少了反应中心过剩光能的积累,保护光合机构免受破坏。

在正常生长条件下,植物体内自由基的产生和清除处于动态平衡状态;当植物受胁迫时,这种平衡被破坏,首先影响生物膜产生质膜过氧化作用,累积许多有害的过氧化物<sup>[28]</sup>。丙二醛是植物细胞膜不饱和脂肪酸发生过氧化作用的终产物,它可以结合交联膜上的蛋白质,使其失活,导致膜孔隙度变大,通透性增加,从而破坏生物膜的结构和功能,引起细胞代谢紊乱<sup>[29]</sup>。在本试验中,紫外胁迫处理后,与对照相比,MDA 含量减少,说明一定浓度的 SA 能缓解紫外胁迫对植物

膜系统的破坏,缓解植物的膜脂过氧化。张林青在研究 SA 对盐胁迫下番茄幼苗生理指标影响时也发现,SA 可降低膜脂过氧化物产物丙二醛含量和质膜透性,缓解盐胁迫对幼苗生长的抑制<sup>[30]</sup>。

植物在干旱、低温、盐害逆境胁迫下,叶绿体利用  $\text{CO}_2$  的能力会受到限制,能耗降低,光合电子传递到  $\text{O}_2$  的比例相对增加,可使体内活性氧如  $\text{H}_2\text{O}_2$  等含量大量增加。如果过量的活性氧不能被及时清除,植物将会受到严重的氧化伤害,因此植物形成酶促和非酶促的抗氧化防御系统以保护细胞免受伤害<sup>[31-32]</sup>。植物体内的可溶性蛋白质大多数是参与代谢的酶类,其含量是了解植物体总代谢水平的一个重要指标<sup>[33]</sup>。在本试验中,与紫外照射前相比,紫外照射后杉木中的抗氧化酶(POD)活性及可溶性蛋白含量明显上升,杉木组培苗受到紫外胁迫后,SA 可显著增强 POD 活性,来调节抗氧化系统代谢平衡,减轻对植物的伤害。李婧男等发现,SA 对盐胁迫下沙冬青幼苗抗氧化酶活性有影响<sup>[34]</sup>;可溶性蛋白含量的升高可能是与抗性蛋白质、防御酶系的合成有关<sup>[35-36]</sup>。但不同 SA

处理使得 POD 活性及可溶性蛋白含量增加量不同,100、150 mg/L SA 可显著增加杉木体内 POD 的活性、可溶性蛋白含量,200 mg/L SA 反而对杉木有害,说明 SA 能通过增加抗氧化酶(POD)活性,提高可溶性蛋白含量来提高杉木的适应性,从而减少紫外照射对于杉木的伤害。

综上所述,外施 SA 100、150 mg/L 能够有效提高杉木组培苗的生理机能,增强杉木组培苗抵抗紫外胁迫的能力,保护杉木组培苗免受紫外辐射的伤害,在今后杉木幼苗培育过程中可适当外施一定浓度 SA 以提高杉木幼苗的抗性。另外,SA 及其功能类似物具有高效、低成本、无毒、无残留等特点,其在林业、农业的生产应用中将有广阔的前景。

#### 参考文献:

- [1] 喻方圆,徐锡增,Robert D G. 水分和热胁迫对 5 种苗木生长及生物量的影响[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2003,27(4): 10-14.
- [2] 吴 华,闫 珊,陈金慧,等. 紫外线对杉木体胚再生植株的影响[J]. 林业科学研究,2015,28(6):839-843.
- [3] Liu X, Rockett K S, Kørner C J, et al. Salicylic acid signalling: new insights and prospects at a quarter - century milestone[J]. Essays in Biochemistry, 2015, 58: 101-113.
- [4] Zhang Q, Xiao S. Lipids in salicylic acid - mediated defense in plants: focusing on the roles of phosphatidic acid and phosphatidylinositol 4 - phosphate [J]. Frontiers in Plant Science, 2015, 6(2):387.
- [5] Zheng X Y, Zhou M, Yoo H, et al. Spatial and temporal regulation of biosynthesis of the plant immune signal salicylic acid[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2015, 112(30):9166-9173.
- [6] Zhang Y, Xu S, Yang S, et al. Salicylic acid alleviates cadmium - induced inhibition of growth and photosynthesis through upregulating antioxidant defense system in two melon cultivars (*Cucumis melo* L.) [J]. Protoplasma, 2015, 252(3):911-924.
- [7] Khan M, Fatma M, Per T S, et al. Salicylic acid - induced abiotic stress tolerance and underlying mechanisms in plants[J]. Frontiers in Plant Science, 2015, 6:462.
- [8] 胡丽涛,吴能表,陈凤娟,等. 水杨酸对 UV - B 胁迫下黄瓜荧光特性和抗氧化力的影响[J]. 西南师范大学学报:自然科学版, 2010, 35(3):191-196.
- [9] Singh V P, Kumar J, Singh S, et al. Dimethoate modifies enhanced UV - B effects on growth, photosynthesis and oxidative stress in mung bean (*Vigna radiata* L.) seedlings: Implication of salicylic acid[J]. Pesticide Biochemistry & Physiology, 2014, 116:13-23.
- [10] 刘晓静,郭凌飞,李 鸣,等. 水杨酸对低温胁迫下甘蔗苗期抗寒性的效应[J]. 中国农学通报,2011,27(5):265-268.
- [11] 辛慧慧,李防洲,侯振安,等. 低温胁迫下棉花幼苗对外源水杨酸的生理响应[J]. 植物生理学报,2014,50(5):660-664.
- [12] 孙军利,赵宝龙,郁松林. 外源水杨酸(SA)对高温胁迫下葡萄幼苗耐热性诱导研究[J]. 水土保持学报,2014,28(3):290-294,299.
- [13] 杨 岚,师 帅,王红娟,等. 水杨酸对高温胁迫下铁皮石斛幼苗耐热性的影响[J]. 西北植物学报,2013,33(3):534-540.
- [14] 郝敬虹,易 旸,尚庆茂,等. 水杨酸处理对于干旱胁迫下黄瓜幼苗氮素同化及其关键酶活性的影响[J]. 园艺学报,2012,39(1):81-90.
- [15] 郝敬虹,易 旸,尚庆茂,等. 干旱胁迫下外源水杨酸对黄瓜幼苗膜脂过氧化和光合特性的影响[J]. 应用生态学报,2012,23(3):717-723.
- [16] 陈 颖,徐彩平,汪南阳,等. 盐胁迫下水杨酸对南林 895 杨组培苗抗氧化系统的影响[J]. 南京林业大学学报:自然科学版, 2012, 36(6):17-22.
- [17] 陈 珍,朱 诚. 水杨酸在植物抗重金属元素胁迫中的作用[J]. 植物生理学报,2009,45(5):497-502.
- [18] 王俊霖,严晓茹,沈晓云,等. 不同水杨酸处理方式对喜树幼苗铝胁迫的缓解效应[J]. 林业科技开发,2014,28(6):54-58.
- [19] 张 卫,孙国新,徐玉新,等. 植物体内水杨酸分析方法的探讨及其应用[J]. 生态毒理学报,2009,4(6):889-897.
- [20] 路文静,李奔松. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国林业出版社,2012:169-233.
- [21] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社, 2006:211-221.
- [22] 李合生. 植物生理生化实验理论与技术[M]. 北京:高等教育出版社,2001:216-220.
- [23] Yuan S, Lin H H. Role of salicylic acid in plant abiotic stress[J]. Zeitschrift Für Naturforschung C, 2008, 63(5/6):313-320.
- [24] Horváth E, Szalai G, Janda T. Induction of abiotic stress tolerance by salicylic acid signaling[J]. Journal of Plant Growth Regulation, 2007, 26(3):290-300.
- [25] Miura K, Tada Y. Regulation of water, salinity, and cold stress responses by salicylic acid[J]. Frontiers in Plant Science, 2014, 5(2):4.
- [26] 丁秀英,苏宝林,张 军,等. 水杨酸在植物抗病中的作用[J]. 植物学通报,2001,18(2):163-168.
- [27] 裴 斌,张光灿,张淑勇,等. 土壤干旱胁迫对沙棘叶片光合作用和抗氧化酶活性的影响[J]. 生态学报,2013,33(5):1386-1396.
- [28] 赵天宏,孙加伟,付 宇. 逆境胁迫下植物活性氧代谢及外源调控机理的研究进展[J]. 作物杂志,2008(3):10-13.
- [29] 郑世英,商学芳,王景平. 可见分光光度法测定盐胁迫下玉米幼苗抗氧化酶活性及丙二醛含量[J]. 生物技术通报,2010(7): 106-109.
- [30] 张林青. 水杨酸对盐胁迫下番茄幼苗生理指标的影响[J]. 北方园艺,2011(21):36-38.
- [31] 鹿 宁,臧晓南,张学成,等. 逆境胁迫对藻类抗氧化酶系统的影响[J]. 武汉大学学报:理学版,2012,58(2):119-124.
- [32] 刘义玲,李天来,孙周平,等. 根际低氧胁迫对网纹甜瓜生长、根呼吸代谢及抗氧化酶活性的影响[J]. 应用生态学报,2010,21(6):1439-1445.
- [33] 梁 剑. 重金属镉胁迫对油橄榄幼苗生长的影响[J]. 江苏农业科学,2015,43(11):110-112.
- [34] 李婧男,刘 强,李 升. 水杨酸对盐胁迫下沙冬青幼苗抗氧化酶活性及 PS II 光化学效率的影响[J]. 华南农业大学学报, 2010, 31(1):42-46.
- [35] 张怀山,赵桂琴,栗孟飞,等. 中型狼尾草幼苗对 PEG、低温和盐胁迫的生理应答[J]. 草业学报,2014,23(2):180-188.
- [36] 朱 政,蒋家月,江昌俊,等. 低温胁迫对茶叶叶片 SOD、可溶性蛋白和可溶性糖含量的影响[J]. 安徽农业大学学报,2011,38(1):24-26.