

# 水杨酸浸种对侧柏种子萌发及幼苗生理特性的影响

黄放, 高卫东, 张海波, 祝燕, 裴昊斐, 方骄阳, 李庆梅\*

(中国林业科学研究院林业研究所, 国家林业和草原局林木培育重点实验室, 林木遗传育种国家重点实验室, 北京 100091)

**摘要:** [目的]以侧柏(*Platycladus orientalis*(L.) Franco)种子为试验材料,通过对不同浓度水杨酸(SA)浸种处理下侧柏种子萌发指标、幼苗形态和生理指标的定量分析,研究SA对侧柏种子萌发特性和幼苗生长的影响,筛选出最佳的SA浸种浓度,为侧柏播种育苗的生产实践提供参考。[方法]设置0.5、1.0、1.5、2.0、3.0 mmol·L<sup>-1</sup>5个SA浓度,对侧柏种子进行浸种,蒸馏水浸种为对照,测定各处理种子发芽指标、形态指标、幼苗的抗氧化酶活性和丙二醛(MDA)含量指标。[结果]SA浸种可以显著提高侧柏种子的发芽率和发芽指数,1.5 mmol·L<sup>-1</sup>处理的发芽率最高,为96.3%,比对照提高9.3%,3.0 mmol·L<sup>-1</sup>处理的发芽指数最高,比对照提高26.5%;低浓度SA(≤1.0 mmol·L<sup>-1</sup>)有促进地上部分生长、抑制地下部分生长的效果;高浓度SA(≥1.5 mmol·L<sup>-1</sup>)则抑制地上部分生长,促进地下部分生长;超氧化物歧化酶(SOD)活性在SA浓度1.5 mmol·L<sup>-1</sup>时最高,比对照提高69.0%;过氧化氢酶(CAT)活性随SA浓度的增大而升高,在1.5、2.0、3.0 mmol·L<sup>-1</sup>处理下均高于对照,分别增加33.9%、10.7%、19.9%;随SA处理浓度的增大,MDA含量逐渐降低,但差异不明显,可能和SA促进抗氧化酶活性,减少膜脂过氧化,种子本身质量良好,且外界无逆境胁迫有关。[结论]1.5~3.0 mmol·L<sup>-1</sup>SA处理对提高侧柏种子发芽率和幼苗SOD、CAT活性及促进幼苗地下部分生长效果较佳,但各浓度间的处理效果差异不显著。综合考虑生产成本等因素,建议生产实践中侧柏种子播种育苗时采用1.5 mmol·L<sup>-1</sup>SA浸种24 h。

**关键词:** SA;侧柏;抗氧化系统;酶活性;发芽率

**中图分类号:** S722.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-1498(2019)02-0139-06

侧柏(*Platycladus orientalis*(L.) Franco)是柏科侧柏属常绿乔木,有广泛的生态适应能力,耐旱、耐瘠薄、耐盐碱,是生态环境修复的主要造林树种,广泛分布于我国各地区,是我国特色树种<sup>[1]</sup>。因其易繁殖、耐修剪、树形美、寿命长,对有害气体吸收能力强,病虫害轻等特点,也是城市绿化的理想树种。侧柏木材用途广,枝叶和种仁可入药,因而,也是经济价值很高的一个树种<sup>[2]</sup>。在生产实践中,侧柏育苗以播种繁殖为主。由于侧柏种子轻度休眠,常规采取的预处理方法有沙藏催芽、雪藏催芽和清水浸种。为了给侧柏提供更好的发芽条件,避免出现因出苗率低导致补种,本研究探索采用水杨酸(SA)浸种处理来提高种子活力,培育优质壮苗,提高造林成活率,为侧柏高效培育提供理论指导。

水杨酸(SA)又名邻羟基苯甲酸,是植物体内的一种重要的小分子酚类物质<sup>[3]</sup>。可调节植物生理代谢功能,缓解逆境条件的胁迫,提高植物的抗逆性<sup>[4]</sup>。张士功等<sup>[5]</sup>发现,100 mg·L<sup>-1</sup>水杨酸可以显著提高小麦(*Triticum aestivum* L.)的抗逆性,并且植物体内渗透调节物质含量会显著提高,而渗透调节物质含量的提高是植物体抗逆性提高的重要标志;魏清华<sup>[6]</sup>发现,水杨酸浓度为120 mg·L<sup>-1</sup>时对提高木槿(*Hibiscus syriacus* Linn.)叶片内渗透物质含量、降低丙二醛(MDA)含量以及电导率效果最佳。另外,水杨酸还可以调控植物的生长、发育、成熟、衰老等过程<sup>[7]</sup>,丁聪聪等<sup>[8]</sup>试验表明,1.0~20.0 μg·mL<sup>-1</sup>的水杨酸可促进蛋白核小球藻(*Chlorella pyrenoidosa*)的生长。范晓龙等<sup>[9]</sup>研究指出,0.1~

收稿日期: 2018-06-21 修回日期: 2018-11-28

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金“干旱胁迫下锎对植物生长的调节机制研究(CAFYBB2017SY008)”;中国林业科学研究院林业研究所林木培育重点实验室专项资金“我国林木育苗技术现状及质量管理研究(ZDRIF201701)”

\* 通讯作者: 李庆梅, 研究员, 从事林木种苗研究. liqm99@163.com

0.5 mmol · L<sup>-1</sup>水杨酸可促进华北落叶松 (*Larix principis-rupprechtii* Mayr) 种子的萌发及幼苗抗氧化酶活性。王宝增等<sup>[10]</sup>研究发现,外源施用0.6 mmol · L<sup>-1</sup>水杨酸能提高盐胁迫下沙打旺 (*Astragalus adsurgens* Pall.) 幼苗渗透调节物质的含量,增强超氧化物歧化酶(SOD)的活性,降低质膜透性,从而促进沙打旺的生长发育。总之,前人研究证明,在植物生长发育过程中,施用水杨酸可提高幼苗的抗逆性且促进幼苗生长,只是在不同植物上水杨酸发挥最佳效果的浓度有所差异。文献研究发现,水杨酸浸种对侧柏种子萌发及幼苗生长方面的研究尚未见报道,本文以当年采收的侧柏种子为试验材料,研究不同浓度水杨酸浸种处理对侧柏种子萌发及幼苗生理特性的影响,探索提高种子发芽率和幼苗质量的途径和方法。

## 1 试验材料

供试侧柏种子于2017年秋采集于山东省枣庄山亭区徐庄林场。根据GB 2772-1999《林木种子检验规程》<sup>[11]</sup>,测得种子千粒质量为21.33 g,初始含水率为7.8%。

## 2 研究方法

### 2.1 种子处理

采用水选法剔除杂质、空粒和干瘪粒,取得饱满种子,用0.5%高锰酸钾溶液浸种消毒15 min,蒸馏水冲洗干净后进行水杨酸浸种处理。用0.5、1.0、1.5、2.0、3.0 mmol · L<sup>-1</sup>的水杨酸浸种24 h,以蒸馏水浸种为对照。浸种后用蒸馏水冲洗3次,播入基质为蛭石的发芽盒中,每处理3个重复,每重复100粒种子。在环境温度25℃,每天光照8 h,黑暗16 h,光照强度为1 200 lx的人工气候箱中培养。从置床次日开始每天透气30 min,及时补充水分,并观察和统计发芽种子数,以胚根突破种皮与种子等长为发芽标准,于第28天终止发芽试验,并测定幼苗形态指标和生理生化指标。

### 2.2 指标测定

2.2.1 发芽率、发芽指数、活力指数测定 试验结束后测定发芽率、计算发芽指数(*GI*)和活力指数(*VI*),公式如下:

发芽率 = 种子发芽数/供试种子数 × 100%

发芽指数  $GI = \sum (Gt/Dt)$

式中:*Gt*为第*t*天发芽数,*Dt*为发芽的天数(*t*)

活力指数  $VI = GI \times SL$

式中:*SL*为幼苗长度(cm)

2.2.2 形态指标 每重复随机选取20株侧柏幼苗,使用直尺测定幼苗地上和地下部分,精度0.01 cm。

2.2.3 生理生化指标 每重复随机抽取幼苗10株左右,称取幼苗1.00 g,加入5 mL 50 mmol · L<sup>-1</sup> pH值7.8的磷酸盐缓冲液(含1%的聚乙烯吡咯烷酮)冰上研磨,用高速冷冻离心机在4℃下以8 000 r · min<sup>-1</sup>离心20 min,上清液为酶提取液,冷藏保存。取适量酶提取液按比例稀释后用于各抗氧化酶活性和丙二醛(MDA)含量的测定。SOD活性采用氮蓝四唑改良法测定;CAT活性采用紫外吸收法测定<sup>[12]</sup>;MDA含量采用硫代巴比妥酸比色法测定<sup>[13]</sup>。

### 2.3 数据分析

采用Excel 2013处理试验数据,SPSS 23.0进行相关分析,以单因素方差分析(One-way ANOVA)和最小差异显著法(LSD)在0.05水平上检验各处理间的差异显著性。

## 3 结果与分析

### 3.1 水杨酸对侧柏种子萌发的影响

表1表明:不同浓度水杨酸处理对侧柏种子的发芽指标均有促进作用,但低浓度水杨酸(≤1.0 mmol · L<sup>-1</sup>)处理的发芽率、发芽指数和活力指数与对照均差异不显著,而高浓度水杨酸(≥1.5 mmol · L<sup>-1</sup>)显著促进发芽率及提高发芽指数和活力指数(*P*<0.05)。从发芽率来看,整体呈现先迅速升高后缓慢降低的趋势,水杨酸浓度为1.5 mmol · L<sup>-1</sup>时,种子发芽率最高,为96.3%,比对照提高9.3%。2.0、3.0 mmol · L<sup>-1</sup>处理的发芽率均高于对照,但与对照差异不显著,表明水杨酸浸种浓度1.5 mmol · L<sup>-1</sup>可以显著提高侧柏发芽率,但水杨酸继续增大浓度时促进效果不显著。随水杨酸浓度的增大,发芽指数呈逐渐升高的趋势,在1.5、2.0、3.0 mmol · L<sup>-1</sup>处理下显著高于对照,分别增加23.4%、24.1%、26.5%,但这3个处理间差异不显著。与CK相比,仅1.0 mmol · L<sup>-1</sup>水杨酸处理的活力指数有所下降,其他浓度水杨酸处理均有所上升,当水杨酸浓度为1.5、2.0、3.0 mmol · L<sup>-1</sup>时,活力指数分别提高28.4%、35.4%、29.8%,3个处理间差异不显著。综合各个发芽指标认为,水杨酸处理可显著提高种子活力、促进侧柏种子萌发及发芽更整齐,水杨酸浓

度  $1.5 \sim 3.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  对侧柏种子萌发均有促进作用。

表1 不同浓度水杨酸对侧柏种子萌发的影响

Table 1 Effect of various concentrations of salicylic acid on seed germination of *Platycladus orientalis*

水杨酸浓度 Concentration/ ( $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ )	发芽率 Germination rate/%	发芽指数 Germination index	活力指数 Vitality index
0.0	$87.0 \pm 7.00 \text{ b}$	$8.77 \pm 0.56 \text{ c}$	$110.90 \pm 17.74 \text{ b}$
0.5	$89.7 \pm 4.93 \text{ ab}$	$9.80 \pm 0.40 \text{ bc}$	$121.38 \pm 14.14 \text{ b}$
1.0	$94.3 \pm 2.08 \text{ ab}$	$9.88 \pm 0.24 \text{ abc}$	$104.80 \pm 2.12 \text{ b}$
1.5	$96.3 \pm 1.53 \text{ a}$	$10.82 \pm 0.47 \text{ ab}$	$142.40 \pm 12.38 \text{ a}$
2.0	$95.0 \pm 2.65 \text{ ab}$	$10.88 \pm 0.66 \text{ ab}$	$150.11 \pm 4.54 \text{ a}$
3.0	$95.7 \pm 0.58 \text{ ab}$	$11.09 \pm 0.64 \text{ a}$	$143.96 \pm 2.24 \text{ a}$

注:同列不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ),下同。

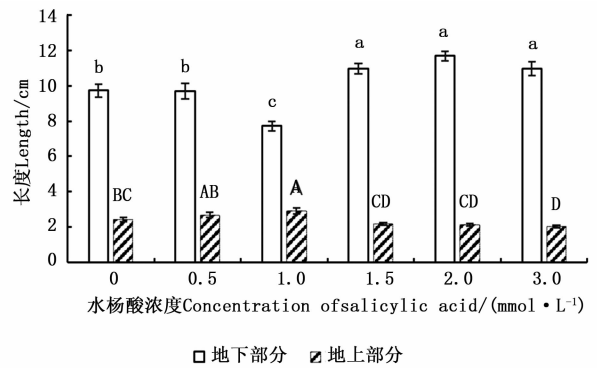
Note: Data with different lowercase letters in the same column are highly significantly different ( $P < 0.05$ ). The same below.

### 3.2 水杨酸对侧柏幼苗地下部分和地上部分的影响

不同浓度的水杨酸处理对幼苗地下部分和地上部分具有不同的作用效果,从图1可以看出:随着水杨酸浓度的升高,幼苗地下部分整体呈先减少后增加的趋势,具体表现为水杨酸浓度为  $0.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时与对照差异不显著,  $1.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  处理的地下部分比对照降低了  $20.7\%$ ,浓度为  $1.5$ 、 $2.0$ 、 $3.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时,地下部分显著高于对照,分别是对照的  $112.9\%$ 、 $120.2\%$ 、 $113.0\%$ 。可见,低浓度水杨酸 ( $\leq 1.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ) 处理抑制幼苗地下部分生长,而高浓度水杨酸 ( $\geq 1.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ) 显著促进地下部分生长。侧柏幼苗的地上部分整体呈先增加后减少的趋势;低浓度水杨酸 ( $\leq 1.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ) 处理对地上部分有促进作用,而高浓度 ( $\geq 1.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ) 有抑制效应。水杨酸浓度为  $1.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时,地上部分长度最大,达  $2.90 \text{ cm}$ ,比对照高  $19.5\%$ ;  $1.5$ 、 $2.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  处理与对照差异不显著,  $3.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  处理显著低于对照,下降了  $16.9\%$ 。进一步相关性分析,不同浓度水杨酸处理的地下与地上部分在  $\alpha = 0.01$  水平(双侧)呈显著负相关,相关系数为  $-0.795$ 。综合可得,低浓度水杨酸 ( $\leq 1.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ) 处理抑制地下部分生长、促进幼苗地上部分生长,而高浓度水杨酸 ( $\geq 1.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ) 促进地下部分生长、抑制地上部分生长。

### 3.3 水杨酸对侧柏幼苗抗氧化酶和MDA含量的影响

由图2可知:经浸种处理后,侧柏幼苗的SOD活性随水杨酸浓度的升高,呈先迅速升高后缓慢降



注:不同大写字母表示不同水杨酸处理间幼苗地上部分生长差异显著 ( $P < 0.05$ ),不同小写字母表示不同水杨酸处理间幼苗地下部分生长差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Note: Data with different capital letters are highly significantly different on the growth of aerial parts of seedlings with different salicylic acid treatments, Data with different lowercase letters are highly significantly different on the underground part ( $P < 0.05$ ).

图1 不同浓度水杨酸对侧柏幼苗地下和地上部分的影响

Fig. 1 Effect of various concentrations of salicylic acid on the seedling growth of underground and aerial part of *Platycladus orientalis*

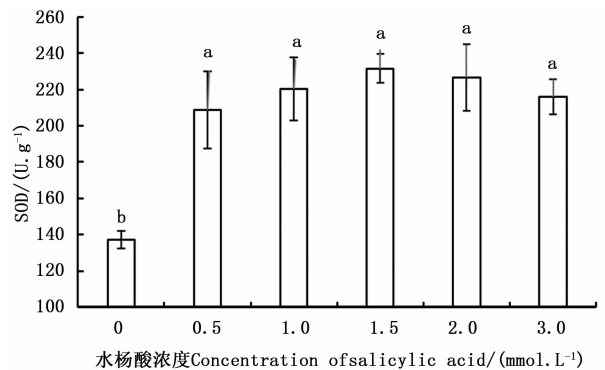


图2 不同浓度水杨酸对侧柏幼苗SOD活性的影响

Fig. 2 Effect of various concentrations of salicylic acid on SOD activity of *Platycladus orientalis*

低的趋势,各处理浓度均显著高于对照,但彼此间差异不显著。这与种子发芽率的变化趋势相一致,意味着SOD活性在一定程度上反映了种子活力的高低。各处理与对照相比差异显著,  $0.5$ 、 $1.0$ 、 $1.5$ 、 $2.0$ 、 $3.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  浓度分别比对照提高了  $52.3\%$ 、 $60.7\%$ 、 $69.0\%$ 、 $65.2\%$ 、 $57.5\%$  ( $P < 0.05$ ),其中,  $1.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  水杨酸处理对SOD活性的增加作用最明显,是对照的  $1.7$  倍。

由图3可看出:随着水杨酸浓度的增加,CAT活性总体呈升高的趋势,其中,  $1.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  处理值最大,且与对照差异显著,是对照的  $133.9\%$ ;  $2.0$ 、



3.0 mmol · L<sup>-1</sup>处理的 CAT 活性均高于对照,分别是对照的 110.7%、119.9%,表明 1.5~3.0 mmol · L<sup>-1</sup>水杨酸浸种处理促进侧柏幼苗体内的 CAT 活性效果较好。

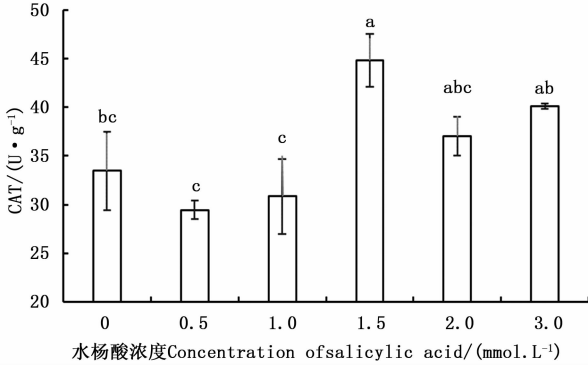


图3 不同浓度水杨酸对侧柏幼苗 CAT 活性的影响

Fig.3 Effect of various concentrations of salicylic acid on CAT activity of *Platycladus orientalis*

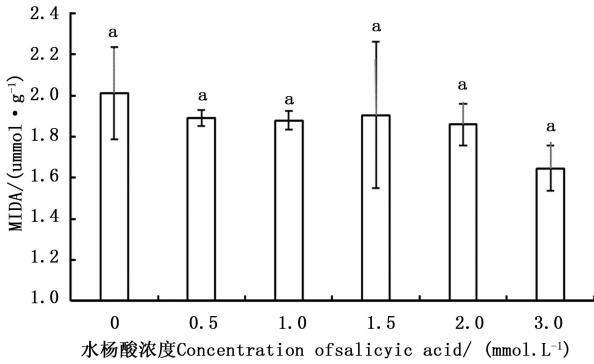


图4 不同浓度水杨酸对侧柏幼苗 MDA 含量的影响

Fig.4 Effect of various concentrations of salicylic acid on MDA content of *Platycladus orientalis*

由图4可知:丙二醛(MDA)含量整体表现为逐渐降低趋势,但各处理与对照间差异不显著,这可能与 SOD 和 CAT 活性的显著升高的动态变化有关。

进一步相关性分析(表2)显示:侧柏种子活力指数、发芽指数和发芽率表现为极显著正相关,可见,活力指数能反映出苗速度和出苗整齐度。不同浓度水杨酸处理侧柏幼苗的 SOD 和 CAT 活性与发芽率分别在  $\alpha = 0.01$  和  $\alpha = 0.05$  水平(双侧)上呈显著正相关,相关系数为 0.601、0.550;SOD 和 CAT 活性与发芽指数呈显著或极显著正相关,相关系数分别为 0.562( $\alpha = 0.05$ )和 0.611( $\alpha = 0.01$ )。综合结果表明:随着发芽率提高,侧柏幼苗体内的 SOD 和 CAT 活性升高,使 MDA 含量在安全范围内。

表2 不同浓度水杨酸对侧柏种子各指标相关性分析

Table 2 Correlative analysis of various concentrations of salicylic acid on indexes of *Platycladus orientalis*

	发芽率 Germination rate	发芽指数 Germination index	活力指数 Vitality index	SOD	CAT
发芽指数 Germination index	0.805 **				
活力指数 Vitality index	0.647 **	0.862 **			
SOD	0.601 **	0.562 *	0.406		
CAT	0.550 *	0.611 **	0.657 **	0.346	
MDA	0.046	-0.026	0.001	-0.018	-0.048

注: \*、\*\* 分别表示在 0.05 水平(双侧)和 0.01 水平(双侧)上显著相关。

Note: \*, \*\* means that correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed), 0.01 level (2-tailed), respectively.

## 4 讨论

侧柏经水杨酸浸种处理后,种子发芽指标发生明显的变化。各处理浓度发芽率均比对照有所增加,但仅在浓度为 1.5 mmol · L<sup>-1</sup>时产生显著影响,比对照提高了 9.3%。发芽指数在 3.0 mmol · L<sup>-1</sup>处理下达最大,说明水杨酸处理可打破侧柏种子的轻度休眠,显著改善种子萌发状况,对幼苗生长发育具有促进作用。水杨酸对侧柏幼苗的地下部分和地上部分的影响不同,以 1.0 mmol · L<sup>-1</sup>为分界点,此处理的地下部分最小而地上部分达最大值,说明低浓度水杨酸促进幼苗地上部分生长,高浓度则促进地下部分生长,这与赵春旭等<sup>[14]</sup>的研究结果一致。水杨酸促进地下部分生长的原因可能在于其可以提高幼苗硝酸还原酶活性,降低脱落酸水平,同时增加内源细胞分裂素和生长素水平,从而对根系生长产生促进作用<sup>[15-16]</sup>。

植物体内有一套完整的抗氧化系统来消除体内的活性氧自由基(O<sub>2</sub><sup>-</sup>)<sup>[17]</sup>,作为酶促防御系统的重要保护酶类,SOD 和 CAT 参与植物的很多生理生化过程,协同作用及时清除体内活性氧和自由基,并防止自由基毒害,保护细胞膜系统,提高植物组织的抗氧化能力和抗性。其活性的高低及改变程度的大小直接反映植物细胞的被伤害程度,因此,可用其确定植物抗逆性的强弱<sup>[18]</sup>。SOD 是机体内天然存在的超氧自由基清除因子,参与氧代谢,能够催化植物体内 O<sub>2</sub><sup>-</sup>发生歧化反应生成 O<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub><sup>[19]</sup>,但 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>对机体仍是有害物质;CAT 是在需氧生物中普遍存在的一种保护性酶,可将 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 转化为生命活动可利

用的  $\text{H}_2\text{O}^{[20]}$ 。本试验结果表明,侧柏经过  $1.5 \sim 3.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  水杨酸处理后,幼苗的 SOD 和 CAT 都高于对照,可见,水杨酸浸种可提高抗氧化酶的活性,该结果与康国章等<sup>[21]</sup> 和杨柳等<sup>[22]</sup> 的相关研究结果一致,推测可能与水杨酸激活了抗氧化酶共同的转录因子,诱导抗氧化酶的表达有关<sup>[23]</sup>。Pancheva 等<sup>[24]</sup> 研究认为,水杨酸能够积累在植物细胞膜疏水区,通过降低膜脂的过氧化作用,维持膜结构的完整性,从而缓解胁迫造成的膜损伤。对水杨酸处理后的侧柏幼苗的 SOD 活性、CAT 活性和 MDA 含量与发芽率和发芽指数进行相关分析,发现这 2 个抗氧化酶活性与发芽率和发芽指数均呈显著正相关,这与常海文等<sup>[25]</sup> 在沙葱 (*Allium mongolicum* Regel) 种子上的研究结果一致。由此认为,抗氧化酶活性可作为判断侧柏种子活力的重要指标。

植物在遭受环境胁迫时,其体内自由基聚积,导致膜脂的过氧化<sup>[26]</sup>。MDA 是植物组织活性氧积累诱发的膜质过氧化最重要的产物之一<sup>[27]</sup>,能够反映生物膜受损程度,其含量高低可以作为判断植物抗逆性强弱的重要指标<sup>[28]</sup>。本试验中,MDA 含量逐渐降低,与 SOD 和 CAT 活性逐渐升高相吻合,可能是 SOD 和 CAT 协同作用,有效减轻了细胞膜脂的过氧化程度,避免植物因自由基积累造成氧化损伤,维持了细胞膜的完整性和稳定性,这与南丽丽等<sup>[18]</sup> 在苜蓿 (*Medicago sativa* L.) 根系上的研究结果一致。同时,本研究结果表明,不同水杨酸浓度处理的 MDA 含量与对照差异不显著,可能原因是外界无逆境胁迫,对种子膜结构损伤程度小,产生的自由基和活性氧相对含量较少,再加上植物体内的 SOD 和 CAT 对活性氧和自由基的及时清理,大大减弱膜脂过氧化效应带来的危害。

## 5 结论

播种前采用水杨酸浸种在生产实践中具有重要意义,既可以提高种子发芽率,还可提升幼苗出苗率及整齐度,有效降低了播后补种成本。综合分析可得, $1.5 \sim 3.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  水杨酸处理对促进侧柏种子萌发、发芽迅速整齐,促进幼苗地下部分生长和提高幼苗 SOD 和 CAT 活性效果较佳。对水杨酸处理的结果用最小极差法进行显著性差异分析,发现浓度为  $1.5$ 、 $2.0$ 、 $3.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  的处理效果差异不显著。因此,从高效、环保、安全和成本角度综合考虑,建议在实际育苗生产中采用  $1.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  水杨酸

浸种 24 h 处理侧柏种子,以提高发芽率、幼苗抗性和整体造林效果。

## 参考文献:

- [1] 姚侠妹,常二梅,纪敬,等. 外源 ABA 对短期  $\text{H}_2\text{O}_2$  胁迫下侧柏幼苗活性氧代谢及相关基因的影响[J]. 林业科学研究, 2017,30(4):624-632.
- [2] 董铁民,陈晓阳,张雪敏,等. 侧柏[M]. 郑州:河南科学技术出版社,1990:1-8.
- [3] 王军,陈绍红,黄永芳,等. 水杨酸诱导油茶炭疽病的研究[J]. 林业科学研究, 2006,19(5):629-632.
- [4] 水德聚,石瑜,曹亮亮,等. 外源水杨酸预处理对高温胁迫下白菜耐热性和光合特性的影响[J]. 植物生理学报, 2012,48(4):386-392.
- [5] 张士功,高吉寅,宋景芝. 水杨酸对小麦高盐毒害的缓解作用[J]. 应用与环境生物学报, 1999,5(3):33-36.
- [6] 魏清华. 水杨酸处理木槿种子后幼苗的抗逆生理效应研究[J]. 西北林学院学报, 2016,31(1):71-75.
- [7] Hayat Q, Hayat S, Irfan M, et al. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review[J]. Environmental and Experimental Botany, 2010,68(1):14-25.
- [8] 丁聪聪,李亚鹤,徐年军,等. 水杨酸对蛋白核小球藻 (*Chlorella pyrenoidosa*) 生长及抗逆相关基因的影响[J]. 海洋与湖沼, 2015,46(6):1451-1460.
- [9] 范晓龙,陶莉,马国强,等. 水杨酸对华北落叶松种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2014,42(5):69-74.
- [10] 王宝增,张一名,张江丽,等. 水杨酸对盐胁迫下沙打旺幼苗生长的影响[J]. 草业学报, 2016,25(8):74-80.
- [11] GB 2772-1999 林木种子检验规程[S]. 北京:中国标准出版社,2000.
- [12] 刘子凡. 种子学实验指南[M]. 北京:化学工业出版社, 2011:97-102.
- [13] 王学奎,黄见良. 植物生理生化实验原理与技术[M]. 北京:高等教育出版社, 2016:276-277.
- [14] 赵春旭,刘芳芳,赵韦,等. 水杨酸浸种对高羊茅在干旱胁迫下萌发的影响[J]. 草业科学, 2011,28(11):1945-1949.
- [15] 唐晓川,张元成,钟秀丽,等. 水杨酸和  $\alpha$ -萘乙酸浸种对冬小麦幼苗抗旱性的影响[J]. 中国农业气象, 2014,35(2):162-167.
- [16] 郝敬虹,易咏,尚庆茂,等. 水杨酸处理对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.
- [17] Gill S S, Tuteja N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants[J]. Plant Physiol Biochem, 2010,48(12):909-930.
- [18] 南丽丽,师尚礼,朱新强,等. 田间越冬期不同根型苜蓿根系的生理生化特性[J]. 核农学报, 2011,25(2):369-374.
- [19] 朱莉,郭泉水,金江群,等. 崖柏和侧柏幼苗对自然降温的生理生化反应[J]. 林业科学研究, 2013,26(2):220-226.
- [20] 程方,叶建仁,刘戈,等. 松针褐斑病菌毒素处理后湿地

- 松组育苗 PAL、PPO、SOD 活性变化研究[J]. 林业科学研究, 2012,25(4):521-525.
- [21] 康国章, 段中岗, 王正询, 等. 水杨酸提高香蕉幼苗抗冷性初探[J]. 植物生理学通讯, 2003,39(2):122-124.
- [22] 杨 柳, 卓品利, 钟佳丽, 等. 水杨酸对浒苔生长和生理特性的影响[J]. 应用生态学报, 2017,28(6):1962-1968.
- [23] Stevens J, Senaratna T, Sivasithamparam K. salicylic acid induces salinity tolerance in tomato (*Lycopersicon esculentum* cv. Roma): associated changes in gas exchange, water relations and membrane stabilization[J]. Plant Growth Regulation, 2006, 49(1):77-83.
- [24] Pancheva TV, Popova L P, Uzunova A N. Effects of salicylic Acid on Growth and Photosynthesis in Barley Plants[J]. Journal of Plant Physiology, 1996, 149(1-2):57-63.
- [25] 常海文, 张凤兰, 杨忠仁, 等. 沙葱种子贮藏陈化过程中的生理生化应答反应[J]. 植物生理学报, 2015,51(7):1075-1081.
- [26] 李铁冰, 杨顺强, 任广鑫, 等. 低温处理下不同禾本科牧草的生理变化及其抗寒性比较[J]. 生态学报, 2009,29(3):1341-1347.
- [27] 李吟平, 程秋香, 席鹏洲, 等. 含水量对黄精种子贮藏生理的影响[J]. 种子, 2016,35(5):18-22.
- [28] Liu Yan, Hou Long-yu, Li, Qing-mei, *et al.* The effects of exogenous antioxidant germanium (Ge) on seed germination and growth of *Lycium ruthenicum* Murr subjected to NaCl stress[J]. Environmental Technology. 2016,37(8):909-919.

## Effect of Salicylic Acid Soaking on Seed Germination and Seedling Physiological Characteristics of *Platycladus orientalis*

HUANG Fang, GAO Wei-dong, ZHANG Hai-bo, ZHU Yan, PEI Hao-fei, FANG Jiao-yang, LI Qing-mei

(State Key Laboratory of Tree Genetics and Breeding, Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry and grassland Administration, Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

**Abstract:** [Objective] To investigate the effect of salicylic acid (SA) on seed germination, seedling morphological and physiological index of *Platycladus orientalis* and to select the best concentration of SA. [Method] Soaking application of SA was used to process *P. orientalis* seed with 5 concentrations (0.5, 1.0, 1.5, 2.0 and 3.0 mmol · L<sup>-1</sup>), and the seeds soaked in distilled water as a control. The seed germination index, morphological index, antioxidant enzyme activity and the content of MDA were measured in the end of germination. [Result] SA soaking significantly improved the germination rate and germination index of *P. orientalis*, 1.5 mmol · L<sup>-1</sup> treatment manifested the highest rate of 96.3%, which was 9.3% higher than that of the control. The highest germination index was 3.0 mmol · L<sup>-1</sup>, which was 26.5% higher than that of the control. Low concentration SA (≤1.0 mmol · L<sup>-1</sup>) promoted the seedling growth of aerial part and inhibited the underground part. High concentration SA (≥1.5 mmol · L<sup>-1</sup>) inhibited the seedling growth of aerial part and promoted the underground part. The activity of SOD was the highest in 1.5 mmol · L<sup>-1</sup> SA, which increased by 69.0%. The CAT activity with 1.5 mmol · L<sup>-1</sup>, 2.0 mmol · L<sup>-1</sup> and 3.0 mmol · L<sup>-1</sup> were higher than that of the control, which increased by 33.9%, 10.7% and 19.9%. The MDA content decreased gradually, but the difference was not significant among treatments. It is possible that SA could improve the activities of antioxidant enzymes and reduce the membrane lipids. Besides, the seeds themselves were in good quality, and the external environment was not related to stress. [Conclusion] 1.5-3.0 mmol · L<sup>-1</sup> SA was better to increase the germination rate, SOD and CAT activities of seedlings, improve the seedling growth of underground part. And there was no significant difference among treatments. For reducing the production costs, 1.5 mmol · L<sup>-1</sup> SA is considered in applications.

**Keywords:** Salicylic acid; *Platycladus orientalis*; antioxidant system; enzyme activity; germination rate

(责任编辑:徐玉秀)