

网络出版时间:2014-04-25 15:48 DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.05.003  
网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.05.003.html

# 水杨酸对华北落叶松种子萌发及幼苗生理特性的影响

范晓龙<sup>1</sup>, 陶 莉<sup>2</sup>, 马国强<sup>1</sup>, 卫书平<sup>1</sup>

(1 山西林业职业技术学院, 山西 太原 030009; 2 山西林业调查规划院, 山西 太原 030012)

【摘 要】 【目的】研究水杨酸(SA)对华北落叶松种子萌发和幼苗生长的影响, 为水杨酸在华北落叶松育苗中的科学应用提供理论依据。【方法】采用 SA 浸种和外施 2 种方式, 设置 0.1, 0.5 和 1.0 mmol/L 3 个 SA 浓度处理华北落叶松种子, 以蒸馏水处理为对照, 在 25 ℃培养条件下分析 SA 对华北落叶松种子萌发和幼苗 SOD、POD 活性及 MDA、可溶性糖含量的影响, 并比较培养温度为 25, 30 和 35 ℃时, 各处理幼苗 POD、SOD 活性以及 MDA 和可溶性糖含量的差异。【结果】SA 浸种可以显著提高华北落叶松种子的发芽率, 以 0.1 mmol/L 处理最高, 发芽率为 87.22%, 0.5 mmol/L 处理次之, 对照发芽率仅为 54.02%; 0.1 mmol/L SA 处理的胚根长度较对照提高 83.91%, 胚芽长提高 84.67%, 0.5 mmol/L 处理次之, 但对胚芽长的提高作用不显著; 0.1 mmol/L SA 浸种处理在 30 和 35 ℃下的 POD 活性分别较对照提高 3.59% 和 174.42%, SOD 活性分别较对照提高 86.98% 和 109.82%, 而外施 SA 处理幼苗的 POD 和 SOD 活性在 30 ℃下分别较对照提高 217.82% 和 128.15%, 35 ℃条件下分别提高 56.77% 和 277.67%; 30 和 35 ℃条件下, 0.1 mmol/L SA 浸种处理幼苗的 MDA 含量分别较对照降低 17.72% 和 7.32%, 外施 SA 处理分别降低 12.94% 和 11.10%; 0.1 和 0.5 mmol/L SA 处理幼苗的可溶性糖含量均显著高于对照。【结论】在 SA 处理后的 12 d 内, 0.1~0.5 mmol/L 的 SA 对促进华北落叶松胚根、胚芽生长和提高幼苗 SOD、POD 酶活性及降低 MDA 含量效果较佳。

【关键词】 水杨酸; 华北落叶松; 种子萌发; POD; SOD; MDA

【中图分类号】 S791.229.05

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2014)05-0069-06

## Effect of salicylic acid on seed germination and seedling physiological characteristics of *Larix principis-rupprechtii* Mayr

FAN Xiao-long<sup>1</sup>, TAO Li<sup>2</sup>, MA Guo-qiang<sup>1</sup>, WEI Shu-ping<sup>1</sup>

(1 Shanxi Forestry Vocational and Technical College, Taiyuan, Shanxi 030009, China;

2 Shanxi Forestry Survey and Design Institute, Taiyuan, Shanxi 030012, China)

**Abstract:** 【Objective】 This study investigated the effect of salicylic acid (SA) on *Larix principis-rupprechtii* seed germination and seedling growth to improve the application of SA in *Larix principis-rupprechtii* nursery. 【Method】 Soaking and exogenous applications of SA were used to process *Larix principis-rupprechtii* seed with 3 concentrations (0.1, 0.5, 1.0 mmol/L). Water was used as control and temperature was 25 ℃. The effects on seed germination, activities of POD and SOD and contents of MDA and soluble sugar of each treatment were analyzed and their differences at temperatures of 25, 30, and 35 ℃ were compared. 【Result】 SA soaking significantly improved the germination rate of *Larix principis-rupprechtii*. 0.1 mmol/L treatment showed the highest rate of 87.22%, followed by 0.5 mmol/L treatment, the control only 54.02%. The radicle and germ lengths were increased by 83.91% and 84.67% with 0.1 mmol/L SA followed by 0.5 mmol/L. 0.1 mmol/L SA seed soaking improved POD and SOD activities by

【收稿日期】 2013-10-21

【基金项目】 山西省自然科学基金项目(2012011033-4)

【作者简介】 范晓龙(1982—), 男, 山西祁县人, 讲师, 硕士, 主要从事森林培育和森林经理研究。E-mail: fanxiaolong22@126.com

3.59% and 86.98% at 30 °C and by 174.42% and 109.82% at 35 °C, while exogenous application of SA improved POD and SOD activities by 217.82% and 128.15% at 30 °C and by 56.77% and 277.67% at 35 °C followed by 0.5 mmol/L treatment. Soaking treatment decreased MDA content by 17.72% and 7.32% while exogenous SA treatment decreased MDA content by 12.94% and 11.10% at 30 and 35 °C, respectively. Soluble sugar contents treated with 0.1 and 0.5 mmol/L SA were significantly higher than the control. 【Conclusion】 Within 12 days of seed treatment, 0.1—0.5 mmol/L SA was better to improve the growth of radicle and germ, increase SOD and POD activities and decrease MDA content.

**Key words:** salicylic acid; *Larix principis rupprechtii* Mayrn; seed germination; POD; SOD; MDA

在华北落叶松幼苗培育过程中发现,种子发芽率低和成苗率低的现象普遍存在,其中种子未经过任何处理是导致发芽率低的直接原因,而种子发芽后恰逢夏季高温,幼苗的生长常常因高温胁迫而大量死亡,这是造成成苗率低的直接原因。为破解华北落叶松育苗培育中存在的上述问题,研究者提出采用水杨酸(Salicylic acid, SA)处理华北落叶松种子以提高种子的发芽率,同时采用外施水杨酸的方式来提高幼苗的抗逆性,以促进成苗率的提高。

水杨酸是植物体内重要的活性物质,20 世纪 60 年代发现其对植物生长具有重要的调节作用<sup>[1]</sup>,90 年代又发现其是植物抗逆胁迫的信号分子<sup>[2]</sup>。当前众多研究证明,SA 主要的生理作用是提高植物的抗逆性和延缓果实成熟。由于水杨酸具有提高植物抗逆性的重要作用,因此水杨酸常常作为提高植物幼苗抗逆性的重要活性物质而应用于多种植物的育苗工作中。向华等<sup>[3]</sup>在水稻的研究中发现,高浓度(0.1~0.2 mmol/L)的水杨酸处理会对水稻种子萌发产生抑制作用,而低浓度(0.005~0.05 mmol/L)的水杨酸处理能够促进种子萌发并提高抗逆性;朱利君等<sup>[4]</sup>在对红花的研究中发现,随着水杨酸浓度的增加,红花种子的发芽率呈升高趋势,其中水杨酸浓度在 0.1~0.5 mmol/L 时可以较好地促进胚根和胚芽生长,并且幼苗的抗逆性有所增强;张凤银等<sup>[5]</sup>对藜豆的研究显示,水杨酸浓度为 1.5 mmol/L 时对提高幼苗的抗逆性效果最佳;段辉国等<sup>[6]</sup>研究了水杨酸对 NaCl 胁迫下黄瓜种子活性的影响,结果表明,水杨酸浓度为 0.5 mmol/L 时种子发芽率、发芽势最高,水杨酸浓度为 0.75 mmol/L 时对降低幼苗 MDA 含量及细胞膜电导率的效果最佳;袁超等<sup>[7]</sup>研究发现,水杨酸可以有效缓解低温和盐胁迫对棉花的伤害;韩志平等<sup>[8]</sup>研究认为,水杨酸浓度在 1.00 mmol/L 以下可以较好地提高西瓜种子发芽率和促进幼苗生长,并能增强幼苗的抗逆性。

以上研究均证明,在植物育苗中施用水杨酸可

以较好地提高幼苗的抗逆性,但是对于不同植物水杨酸的适宜浓度存在差异,而且目前尚未见到关于水杨酸在华北落叶松育苗中应用的相关报道。为此,详细研究不同浓度水杨酸处理对华北落叶松种子发芽、幼苗生长和幼苗植株内保护酶活性的影响,以期水杨酸在华北落叶松育苗中的应用及提高育苗质量提供理论支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 材 料

供试华北落叶松种子采自山西省东山实验林场种子园,2012-09 采于 20 年生母树上,种子经过风选,剔除杂质、空粒和瘪粒并适当干燥后贮存于玻璃瓶中。2013-03 挑选充实饱满的种子进行种子生活力测定,测定结果显示种子生活力为 97%。

### 1.2 方 法

1.2.1 种子消毒 用 50 g/L 高锰酸钾浸种 2 h,取出用蒸馏水清洗 3 遍后分别进行水杨酸浸种处理和外施处理。

1.2.2 水杨酸浸种处理 用浓度分别为 0.1、0.5 和 1.0 mmol/L 的水杨酸,于室温下浸种 12 h,以蒸馏水浸种为对照(CK)。浸种后将种子用蒸馏水冲洗干净,播入处理好的发芽皿(13 cm×15 cm)中,每皿 100 粒。将发芽皿逐个标记,分 2 组放入 SPX-G 微电脑控制光照培养箱中培养。其中 1 组发芽皿在 25 °C 条件下恒温培养,第 4 天开始每天测定 1 次种子发芽率,在试验的第 12 天测定胚根长、胚芽长的变化情况,用以确定水杨酸对幼苗生长的影响;另 1 组共 9 皿,发芽温度分别设置为 25、30 和 35 °C,于第 12 天终止发芽试验,测定幼苗 POD、SOD 活性及 MDA、可溶性糖含量的变化,每个处理重复 3 次。

1.2.3 水杨酸外施处理 将消好毒的种子用蒸馏水浸种 12 h 后播入发芽皿中,培养 12 d,取胚根长度一致的幼苗进行外施处理,用浓度分别为 0.1、0.5 和 1.0 mmol/L 的水杨酸喷施幼苗根部,以其表

面充分湿润而不滴水为度,待根部干燥后继续喷施,保持水杨酸在根部连续作用 12 h,对照喷施蒸馏水,然后测定幼苗 POD、SOD 活性及 MDA 和可溶性糖含量的变化,每个处理重复 3 次。

1.2.4 测定指标及方法 胚根长与胚芽长使用直尺测定,每重复测定 20 株幼苗取其平均数;POD 活性采用愈创木酚比色法<sup>[9]</sup>测定,SOD 活性采用 NBT 还原法<sup>[10]</sup>测定,MDA 含量采用硫代巴比妥酸法<sup>[11]</sup>测定,可溶性糖含量采用蒽酮法<sup>[11]</sup>测定。

1.3 数据处理

采用 DPS 7.05 对试验数据进行处理,应用单因素试验方差分析和 Duncan’s 多重比较法检验各处理之间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 水杨酸浸种对华北落叶松种子发芽率的影响

0.1,0.5 和 1.0 mmol/L SA 浸种对华北落叶松种子发芽率的影响如图 1 所示。

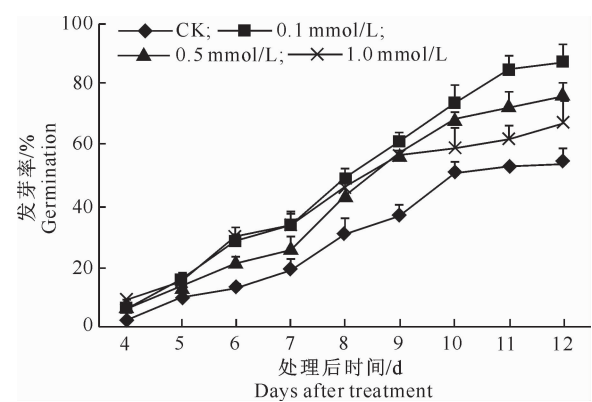


图 1 华北落叶松种子经不同浓度水杨酸处理后发芽率的动态变化

Fig. 1 Dynamic changes of *Larix principis-rupprechtii* Mayr seed germination rate treated by different concentrations of salicylic acid

由图 1 可知,华北落叶松种子从第 4 天开始发芽,不同处理种子发芽率不同,其中对照发芽率最低,仅为 2.33%,1.0 mmol/L 水杨酸处理发芽率最高,达到 8.67%;在发芽 4~7 d,0.1 和 1.0 mmol/L 水杨酸处理的发芽率比较相近,高于对照和 0.5 mmol/L 处理;发芽 8~9 d,3 个水杨酸处理之间无显著差异 ( $P>0.05$ ),但均显著高于对照 ( $P<0.05$ );发芽 10~12 d,发芽率呈现出随着水杨酸浓度增加而降低的变化趋势,其中 0.1 mmol/L 水杨酸处理的发芽率为 87.22%,显著高于对照 (54.02%) 和 1.0 mmol/L (67.12%) 处理 ( $P<0.05$ ),0.5 mmol/L 处理发芽率为 75.34%,显著高

于对照 ( $P<0.05$ ),但与 1.0 mmol/L 处理之间无显著差异 ( $P>0.05$ )。从华北落叶松种子发芽率的变化上来看,水杨酸处理浓度为 0.1~0.5 mmol/L 时对提高种子发芽率效果较好。

2.2 水杨酸浸种对华北落叶松幼苗生长的影响

由表 1 可以看出,发芽 12 d 时,华北落叶松胚根长以 0.1 mmol/L 水杨酸处理最高,达到了 48.11 mm,显著高于对照 ( $P<0.05$ ) 和其他处理;1.0 mmol/L 处理的胚根长仅较对照提高 1.40 mm,两者之间无显著差异 ( $P>0.05$ )。胚芽长也以 0.1 mmol/L 水杨酸处理最高,较对照提高了 84.67%,显著高于对照 ( $P<0.05$ ) 和其他处理;0.5 与 1.0 mmol/L 处理之间无显著差异 ( $P>0.05$ );0.5 mmol/L 处理胚芽长较对照提高 16.22%,但与对照之间无显著差异 ( $P>0.05$ )。综合分析认为,0.1~0.5 mmol/L 的水杨酸处理对促进华北落叶松幼苗生长效果较好。

表 1 不同浓度水杨酸对华北落叶松幼苗生长的影响

Table 1 Effect of different concentrations of salicylic acid on *Larix principis-rupprechtii* Mayr seedling growth mm

| 水杨酸浓度/(mmol·L <sup>-1</sup> )<br>Salicylic acid concentration | 胚根长<br>Radicle length | 胚芽长<br>Germ length |
|---------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------|
| 0(CK)                                                         | 26.16 c               | 20.35 c            |
| 0.1                                                           | 48.11 a               | 37.58 a            |
| 0.5                                                           | 33.31 b               | 23.65 bc           |
| 1.0                                                           | 27.56 c               | 22.46 c            |

注:同列数据后标不同字母表示差异显著 ( $P<0.05$ ),下同。  
Note: Different letter in each column mean significant difference ( $P<0.05$ ). The same below.

2.3 水杨酸浸种和外施对华北落叶松幼苗 POD 和 SOD 活性的影响

2.3.1 水杨酸浸种 由表 2 可知,经浸种处理后,华北落叶松幼苗体内的 POD 和 SOD 活性均随处理温度的升高而降低,且在同一培养温度下,2 种保护酶活性均随着水杨酸浓度的增加呈现降低趋势。对 POD 活性来说,在发芽温度为 25~30 ℃ 时,除 0.1 mmol/L 水杨酸处理的 POD 活性高于对照外,0.5 和 1.0 mmol/L 水杨酸处理的 POD 活性均低于对照;35 ℃ 时,3 个水杨酸处理的 POD 活性均显著高于对照 ( $P<0.05$ ),其中以 0.1 mmol/L 水杨酸处理的提高幅度最大,达到了 174.42%,1.0 mmol/L 处理提高幅度最小,仅为 90.70%。SOD 活性的变化规律与 POD 相似,在培养温度为 25,30,35 ℃ 时,0.1 mmol/L 水杨酸处理的 SOD 活性分别较对照提高 26.30%,86.98% 和 109.82%,而 0.5 mmol/L

水杨酸处理的 SOD 活性仅在 35 ℃条件下较对照提高 58.93%。表明水杨酸处理可以提高高温环境下

华北落叶松幼苗体内 2 种保护酶的活性,其中以浓度为 0.1~0.5 mmol/L 时提高效果较好。

表 2 水杨酸浸种对不同培养温度下华北落叶松幼苗 POD 和 SOD 活性的影响

Table 2 Effect of salicylic acid soaking on POD and SOD activities of *Larix principis-rupprechtii* Mayrn seedlings at different temperatures

| 水杨酸浓度/<br>(mmol · L <sup>-1</sup> )<br>Salicylic acid<br>concentration | POD 活性 POD activity |         |        | SOD 活性 SOD activity |        |        |
|------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------|--------|---------------------|--------|--------|
|                                                                        | 25 ℃                | 30 ℃    | 35 ℃   | 25 ℃                | 30 ℃   | 35 ℃   |
| 0(CK)                                                                  | 3.04 b              | 1.95 ab | 0.43 c | 3.08 b              | 1.69 b | 1.12 c |
| 0.1                                                                    | 3.85 a              | 2.02 a  | 1.18 a | 3.89 a              | 3.16 a | 2.35 a |
| 0.5                                                                    | 2.45 bc             | 1.82 ab | 1.16 a | 2.18 c              | 1.67 b | 1.78 b |
| 1.0                                                                    | 1.88 c              | 1.67 b  | 0.82 b | 1.72 d              | 1.54 b | 1.24 c |

2.3.2 水杨酸外施 由表 3 可知,在外施水杨酸条件下,0.1 和 1.0 mmol/L 处理华北落叶松幼苗的 POD 活性在培养温度为 30 ℃时达到最高,且 35 ℃条件下的 POD 活性较 25 ℃时高。外施水杨酸对华北落叶松幼苗 POD 活性的影响与浸种有所不同,在 25 和 30 ℃条件下,外施水杨酸处理的 POD 活性均显著高于对照( $P<0.05$ ),而在 35 ℃时,0.1 和 0.5 mmol/L 处理的 POD 活性也显著高于对照( $P<0.05$ );同时,在 3 个处理温度下,均以 0.1 mmol/L 水杨酸处理的 POD 活性最高,分别较对照提高 2.44,2.17 和 0.57 倍。在 25 和 30 ℃条件下,0.1

与 0.5 mmol/L 水杨酸处理之间 SOD 活性无显著差异( $P>0.05$ ),但均显著高于对照( $P<0.01$ );1.0 mmol/L 水杨酸处理在 25 ℃条件下与对照相比无显著差异( $P>0.05$ ),但在 35 ℃条件下所有水杨酸处理的 SOD 活性均显著高于( $P<0.05$ )对照;在 3 个不同的温度处理下,均以 0.1 mmol/L 水杨酸处理的 SOD 活性最高,0.5 mmol/L 处理次之。综合分析认为,外施水杨酸浓度在 0.1~0.5 mmol/L 时,可以显著提高华北落叶松幼苗体内的 POD 和 SOD 活性。

表 3 外施水杨酸对不同培养温度下华北落叶松幼苗 POD 和 SOD 活性的影响

Table 3 Effect of exogenous salicylic acid on POD and SOD activities of *Larix principis-rupprechtii* Mayrn seedlings at different temperatures

| 水杨酸浓度/<br>(mmol · L <sup>-1</sup> )<br>Salicylic acid<br>concentration | POD 活性 POD activity |        |        | SOD 活性 SOD activity |        |        |
|------------------------------------------------------------------------|---------------------|--------|--------|---------------------|--------|--------|
|                                                                        | 25 ℃                | 30 ℃   | 35 ℃   | 25 ℃                | 30 ℃   | 35 ℃   |
| 0(CK)                                                                  | 0.85 c              | 1.01 c | 1.92 b | 4.02 b              | 3.02 c | 2.15 d |
| 0.1                                                                    | 2.92 a              | 3.21 a | 3.01 a | 6.56 a              | 6.89 a | 8.12 a |
| 0.5                                                                    | 2.85 a              | 2.79 a | 2.68 a | 6.38 a              | 6.34 a | 7.05 b |
| 1.0                                                                    | 1.95 b              | 2.24 b | 2.02 b | 4.33 b              | 4.35 b | 5.12 c |

2.4 水杨酸浸种和外施对华北落叶松幼苗 MDA 含量的影响

由表 4 可知,在各浓度水杨酸浸种条件下,华北落叶松幼苗体内的 MDA 含量均随着培养温度的升高而呈增加趋势;而在同一培养温度下,MDA 含量均随着水杨酸处理浓度的增加而呈逐渐降低趋势。方差分析结果表明,在 25 ℃条件下,0.5 和 1.0 mmol/L 水杨酸处理的 MDA 含量显著低于对照( $P<0.05$ );在 30 和 35 ℃条件下,所有水杨酸处理的 MDA 含量均显著低于对照( $P<0.05$ ),表明水杨酸可以较好地提高华北落叶松幼苗的抗热性。由表 4 还可知,外施水杨酸处理幼苗体内的 MDA 含量同样表现为随着温度升高而升高的变化趋势,并且各温度下均以 0.1 mmol/L 水杨酸处理的 MDA 含

量最高。方差分析结果表明,3 个外施水杨酸处理在各培养温度下的 MDA 含量均显著低于对照( $P<0.05$ ),表明外施水杨酸同样可以显著降低( $P<0.05$ )华北落叶松幼苗体内的 MDA 含量,对防止膜脂过氧化具有良好的效果。

2.5 水杨酸浸种和外施对华北落叶松幼苗可溶性糖含量的影响

由表 5 可知,在水杨酸浸种处理条件下,华北落叶松幼苗体内的可溶性糖含量均高于对照,但是不同浓度水杨酸处理的可溶性糖含量存在差异。从试验结果来看,0.5 mmol/L 处理的可溶性糖含量最高,与对照相比差异显著,0.1 mmol/L 的可溶性糖含量仅次于 0.5 mmol/L 处理,且 2 个处理之间无显著差异;1.0 mmol/L 处理的可溶性糖含量高于

对照,但与对照之间无显著差异,表明水杨酸浸种浓度为0.1~0.5 mmol/L 时,其可以显著提高华北落叶松幼苗体内的可溶性糖含量,而水杨酸浓度达到1.0 mmol/L 时促进效果不再显著。

外施水杨酸处理对华北落叶松幼苗体内可溶性糖含量的影响规律与浸种处理相似,但是外施水杨酸处理幼苗体内的可溶性糖含量高于水杨酸浸种处理。同时,在 25 和 30 ℃ 条件下,0.1 和 0.5

mmol/L 处理的可溶性糖含量均显著高于对照,0.1 与 1.0 mmol/L 处理之间可溶性糖含量无显著差异,1.0 mmol/L 处理与对照之间无显著差异;35 ℃ 时,0.1 和 0.5 mmol/L 处理的可溶性糖含量显著高于对照和 1.0 mmol/L 处理。综合分析认为,无论外施还是浸种处理,水杨酸浓度仍以 0.1~0.5 mmol/L 为宜。

表 4 浸种和外施水杨酸对华北落叶松幼苗 MDA 含量的影响  
Table 4 Effect of soaking and exogenous salicylic acid on MDA content of

| 水杨酸浓度/<br>(mmol · L <sup>-1</sup> )<br>Salicylic acid<br>concentration | 浸种 Soaking                                                             |        |        | 外施 Exogenous |        |         |
|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------------|--------|---------|
|                                                                        | 25 ℃                                                                   | 30 ℃   | 35 ℃   | 25 ℃         | 30 ℃   | 35 ℃    |
|                                                                        | <i>Larix principis-rupprechtii</i> Mayrn seedlings <span>μmol/g</span> |        |        |              |        |         |
| 0(CK)                                                                  | 6.17 a                                                                 | 7.56 a | 8.33 a | 5.88 a       | 6.57 a | 7.12 a  |
| 0.1                                                                    | 5.78 ab                                                                | 6.22 b | 7.72 b | 4.89 b       | 5.72 b | 6.33 b  |
| 0.5                                                                    | 5.46 b                                                                 | 5.78 b | 7.68 b | 4.56 b       | 4.66 c | 5.54 bc |
| 1.0                                                                    | 4.98 c                                                                 | 5.12 c | 6.75 c | 4.63 b       | 4.96 c | 5.54 c  |

表 5 浸种和外施水杨酸对华北落叶松幼苗可溶性糖含量的影响  
Table 5 Effect of soaking and exogenous salicylic acid on soluble sugar content of

| 水杨酸浓度/<br>(mmol · L <sup>-1</sup> )<br>Salicylic acid<br>concentration | 浸种 Soaking                                                           |         |         | 外施 Exogenous |         |        |
|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------|---------|--------------|---------|--------|
|                                                                        | 25 ℃                                                                 | 30 ℃    | 35 ℃    | 25 ℃         | 30 ℃    | 35 ℃   |
|                                                                        | <i>Larix principis-rupprechtii</i> Mayrn seedlings <span>mg/g</span> |         |         |              |         |        |
| 0(CK)                                                                  | 1.89 c                                                               | 2.63 c  | 3.48 c  | 2.31 c       | 3.10 c  | 4.93 c |
| 0.1                                                                    | 2.80 ab                                                              | 4.05 ab | 5.19 ab | 3.63 ab      | 5.18 ab | 6.96 a |
| 0.5                                                                    | 3.38 a                                                               | 5.06 a  | 6.04 a  | 4.04 a       | 6.23 a  | 7.19 a |
| 1.0                                                                    | 2.34 bc                                                              | 3.44 bc | 4.59 bc | 3.08 bc      | 4.45 bc | 6.46 b |

### 3 结论与讨论

华北落叶松经水杨酸浸种处理后,种子的发芽率发生明显的变化,其中低浓度的水杨酸处理可以促进发芽率的提高,这种现象与其在水稻<sup>[3]</sup>、红花<sup>[4]</sup>、棉花<sup>[7]</sup>、玉米<sup>[12]</sup>、高羊茅<sup>[13]</sup>、黑麦草<sup>[14]</sup>等植物上的研究结果相似。从本试验的研究结果来看,提高华北落叶松种子发芽率的最佳水杨酸处理浓度为0.1 mmol/L,该浓度下种子发芽率与对照相比提高了33.20%。水杨酸可以促进华北落叶松胚根和胚芽的生长,以水杨酸浓度为0.1~0.5 mmol/L 时效果较佳,其中0.1 mmol/L 处理的胚根长度较对照增加83.91%,这与低浓度水杨酸促进油松<sup>[15]</sup>根系生长的结论相似,表明低浓度的水杨酸处理可以促进华北落叶松胚根的生长。

POD 和 SOD 是植物体内 2 种重要的保护酶,其活性大小与植物抗逆性的强弱有直接关系<sup>[16]</sup>。通常认为,POD 和 SOD 的活性越高,植物的抗逆性越强<sup>[17]</sup>。本试验发现,华北落叶松种子经 0.1~0.5

mmol/L 水杨酸浸种后,其幼苗在高温胁迫下 POD、SOD 活性均显著高于对照,表现出了较强的抗高温能力。同时,本试验结果表明,在外施 0.1~0.5 mmol/L 水杨酸条件下,华北落叶松幼苗体内的 POD 和 SOD 活性也均高于对照,可见外施 SA 对其耐高温能力具有良好的促进作用,该结果与在国槐<sup>[18]</sup>上的相关研究结果相似。

MDA 是膜脂过氧化作用的产物之一,其含量高低可以作为判断植物抗逆性强弱的重要指标<sup>[19]</sup>。本试验结果表明,无论是水杨酸浸种还是外施水杨酸处理,在 30~35 ℃ 条件下,华北落叶松幼苗体内的 MDA 含量均显著低于对照,表明水杨酸处理对提高华北落叶松幼苗的抗高温能力具有良好作用。可溶性糖含量高低也是反映植物抗性强弱的一项重要指标,本试验结果证明,0.1~0.5 mmol/L 水杨酸浸种或外施均可以显著提高华北落叶松幼苗体内的可溶性糖含量。综合分析认为,无论是浸种还是外施,0.1~0.5 mmol/L 水杨酸对华北落叶松幼苗生理效应的改善效果较好。因此,在华北落叶松育

苗实践中,可用 0.1~0.5 mmol/L 水杨酸浸种或喷根,以提高发芽率和幼苗的抗性。

## [参考文献]

- [1] Raskin I. Salicylic acid, a new plant hormone [J]. *Plant Physiology*, 1992, 99: 799.
- [2] 林忠平, 胡鸾雷. 植物抗逆性与水杨酸介导的信号转导途径的关系 [J]. *植物学报*, 1997, 39(2): 185-188.  
Lin Z P, Hu R L. The relationship of plant resistance and salicylic acid-mediated signal transduction pathways [J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 1997, 39(2): 185-188. (in Chinese)
- [3] 向 华, 饶力群, 肖立锋. 水杨酸对水稻种子萌发及其生理生化影响 [J]. *湖南农业大学学报*, 2003, 29(1): 12-14.  
Xiang H, Rao L Q, Xiao L F. Effect of salicylic acid on seed germination and physiological and biochemical [J]. *Journal of Hunan Agricultural University*, 2003, 29(1): 12-14. (in Chinese)
- [4] 朱利君, 胡进耀, 罗明华, 等. 水杨酸对红花种子萌发和植株生长的影响 [J]. *江苏农业科学*, 2011, 39(4): 297-300.  
Zhu L J, Hu J Y, Luo M H, et al. Salicylic acid on safflower seed germination and plant growth [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2011, 39(4): 297-300. (in Chinese)
- [5] 张凤银, 雷 刚, 张 萍, 等. 水杨酸对低温胁迫下藜豆种子萌发和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*, 2012, 40(4): 44-48.  
Zhang F Y, Lei G, Zhang P, et al. Salicylic acid on low temperature stress quinoa bean seed germination and seedling physiological characteristics [J]. *Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition*, 2012, 40(4): 44-48. (in Chinese)
- [6] 段辉国, 胡 蓉, 黎 勇, 等. 水杨酸对 NaCl 胁迫下黄瓜种子活力及抗盐性的影响 [J]. *北方园艺*, 2011(14): 37-39.  
Duan H G, Hu R, Li Y, et al. Salicylic acid to NaCl stress on cucumber seed vigor and salt resistance [J]. *Northern Horticulture*, 2011(14): 37-39. (in Chinese)
- [7] 袁 超, 郑宝周, 朱 伟, 等. 水杨酸浸种对不同温度和盐浓度下棉花种子萌发的影响 [J]. *江西农业学报*, 2010, 22(5): 28-30.  
Yuan C, Zheng B Z, Zhu W, et al. Salicylic acid pretreatment on cotton under different temperature and salt concentration germination [J]. *Jiangxi Agricultural Sciences*, 2010, 22(5): 28-30. (in Chinese)
- [8] 韩志平, 张海霞, 高 迎, 等. 水杨酸对盐胁迫下西瓜种子萌发特性的影响 [J]. *山西大同大学学报*, 2011, 27(5): 66-69.  
Han Z P, Zhang H X, Gao Y, et al. Salicylic acid on salt stress on seed germination characteristics of watermelon [J]. *Journal of Shanxi Datong University*, 2011, 27(5): 66-69. (in Chinese)
- [9] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1999: 18-19.  
Li H S. *Plant physiology and biochemistry principles and techniques of experimental* [M]. Beijing: Higher Education Press, 1999: 18-19. (in Chinese)
- [10] 刘永军, 郭守华, 杨晓玲. 植物生理生化实验 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2002: 150-151.  
Liu Y J, Guo S H, Yang X L. *Experimental plant physiology and biochemistry* [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2002: 150-151. (in Chinese)
- [11] 白宝璋, 王景安, 孙玉霞, 等. 植物生理学测试技术 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1993: 145.  
Bai B Z, Wang J A, Sun Y X, et al. *Plant physiology testing technology* [M]. Beijing: China Science and Technology Press, 1993: 145. (in Chinese)
- [12] 胡春红, 郭 婕, 李淑梅, 等. 水杨酸浸种对玉米种子萌发及幼苗生长的影响 [J]. *周口师范学院学报*, 2012, 29(2): 84-86.  
Hu C H, Guo J, Li S M, et al. Soaking with salicylic acid on seed germination and seedling growth [J]. *Journal of Zhoukou Normal University*, 2012, 29(2): 84-86. (in Chinese)
- [13] 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.  
Zhao C X, Liu F F, Zhao W, et al. Salicylic acid pretreatment on tall fescue under drought stress germination [J]. *Grassland Science*, 2011, 28(11): 1945-1949. (in Chinese)
- [14] 刘 杰, 杨素娟, 周蕴薇. 水杨酸浸种处理对黑麦草种子萌发及幼苗抗旱性的影响 [J]. *草业科学*, 2011, 28(4): 582-585.  
Liu J, Yang X R, Zhou Y W. Soaking with salicylic acid treatment on seed germination and seedling drought resistance [J]. *Grassland Science*, 2011, 28(4): 582-585. (in Chinese)
- [15] 李东川, 孙长忠. 水杨酸对油松苗木根系活力及根系发育的影响 [J]. *西北林学院学报*, 2010, 25(5): 82-85.  
Li D C, Sun C Z. Salicylic acid on pine seedling root activity and root development [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2010, 25(5): 82-85. (in Chinese)
- [16] 高福元, 张吉立, 刘振平. 冬季低温对 4 种彩叶植物 SOD, POD 活性影响的研究 [J]. *中国农学通报*, 2010, 26(5): 169-173.  
Gao F Y, Zhang J L, Liu Z P. Winter cold leafed plants on four kinds of SOD, POD activity [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(5): 169-173. (in Chinese)
- [17] 张吉立, 刘振平, 毕 海. 冬季自然条件下 4 种彩叶植物抗寒生理研究 [J]. *山西农业科学*, 2009, 37(7): 44-47.  
Zhang J L, Liu Z P, Bi H. Under natural conditions, four kinds of winter coleus plant hardiness physiology [J]. *Shanxi Agricultural Sciences*, 2009, 37(7): 44-47. (in Chinese)
- [18] 张海军. 外源水杨酸浸种对干旱胁迫下国槐根系抗氧化酶系的影响 [J]. *科学之友*, 2011(11): 140-142.  
Zhang H J. Exogenous salicylic acid pretreatment on drought stress *Sophora japonica* root antioxidant enzymes [J]. *Friends of Science*, 2011(11): 140-142. (in Chinese)
- [19] 高福元, 张吉立, 刘振平, 等. 持续低温胁迫对园林树木电导率和丙二醛含量的影响 [J]. *山东农业科学*, 2010(2): 47-49, 81.  
Gao F Y, Zhang J L, Liu Z P, et al. Sustained low temperature stress on landscape trees conductivity and MDA content [J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2010(2): 47-49, 81. (in Chinese)