

# 水杨酸处理木槿种子后幼苗的抗逆生理效应研究

魏清华

(山西省林业调查规划院,山西 太原 030012)

**摘要:**为在木槿育苗中合理应用水杨酸,以木槿当年生种子为试验材料,用 $0$ 、 $30$ 、 $60$ 、 $120\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $240\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 5个水杨酸浓度,3、7、20℃3个温度进行处理,研究了幼苗叶片中3种生理活性物质的含量。结果表明:120 mg·L<sup>-1</sup>浓度处理可溶性蛋白在3、7、20℃时分别比对照提高了90.01%、86.50%、22.33%,3℃和7℃下差异显著;可溶性糖含量3℃、7℃下比对照提高22.61%、18.4%,3℃下差异显著;3个温度下游离脯氨酸含量分别升高73.24%、112.56%、40.10%,差异显著;MDA含量分别降低44.02%、50.28%、39.18%,差异显著;电导率分别比对照降低47.51%、32.21%、21.78%,其中3℃下与对照差异显著。综合分析认为,水杨酸浓度为120 mg·L<sup>-1</sup>时对提高木槿叶片内渗透物质含量和降低MDA含量以及电导率效果最佳。

**关键词:**水杨酸;木槿;渗透物质;电导率;MDA

**中图分类号:**S722      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2016)01-0071-05

## Physiological Characteristics of Anti-adversity of *Hibiscus syriacus* Seedlings from Salicylic Acid Treated Seeds

WEI Qing-hua

(Shanxi Forestry Survey of Sarfi, Taiyuan, Shanxi 030012, China)

**Abstract:** In order to reasonably apply salicylic acid (SA) in breeding *Hibiscus syriacus* seedlings, annually produced seeds were treated by 5 levels of SA: 0 (control), 30, 60, 120, and 240 mg · L<sup>-1</sup>, and cultured at 3, 7, and 20℃. At seedling stage, 3 physiologically active components in the leaves were measured. The results showed that the contents of soluble protein in 120 mg · L<sup>-1</sup> treatment cultured at 3, 7, and 20℃ were 90.01%, 86.50%, and 22.33% higher than that of the control; soluble sugar contents at 3 and 7 ℃ were 22.61% and 18.4% higher than that of the control; free proline contents at 3, 7 and 20 ℃ were 73.24%, 112.56%, and 40.10% higher than that of the control; MDA contents at three temperatures were 44.02%, 50.28%, and 39.18% lower than that of the control; electric conductivities at 3 temperatures were 47.51%, 32.21%, and 21.78% lower than that of the control. It was concluded that 120 mg · L<sup>-1</sup> was the optimal concentration to improve the contents of the material within the hibiscus leaf penetration and decrease MDA content and conductivity.

**Key words:** salicylic acid; *Hibiscus syriacus*; osmolyte; conductivity; MDA

水杨酸(salicylic acid, SA)是植物体内的一种重要的小分子物质,与植物抗逆性高低有直接的关系<sup>[1]</sup>,如张士功<sup>[2]</sup>研究认为水杨酸处理植物种子或者幼苗可以显著提高植物的抗逆性,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<sup>[2-3]</sup>。植物体内渗透物质研究较多的主要包括可溶性蛋白,游离脯氨酸,可溶性糖3种,姚胜蕊<sup>[4]</sup>研究发现抗逆性强的桃树品种花芽内可溶性蛋白显著高于抗逆性差的品种;熊佑清<sup>[5]</sup>认为大叶黄杨在较低的温度环

境条件下枝条以及叶片内游离脯氨酸含量显著升高,气温较高时游离脯氨酸处于较低的水平<sup>[5]</sup>;王丽雪<sup>[6]</sup>研究认为葡萄抗寒性比较强的品种枝条内可溶性糖含量显著高于抗寒性比较弱的品种;魏小红<sup>[7]</sup>研究认为,水杨酸可以显著提高烤烟植株体内可溶性蛋白含量;张伟<sup>[8]</sup>研究证明苹果在环境胁迫条件下,水杨酸可以显著提高脯氨酸含量,最高可达 110.67%;王延书<sup>[9]</sup>研究发现,水杨酸处理的葡萄叶片内可溶性糖含量显著提高,对提高幼苗的抗性具有重要作用。通常条件下,抗逆性较强的植物在逆境条件下电导率和 MDA 含量处于较低水平,如仲强<sup>[10]</sup>研究认为,常绿木本植物在低温胁迫下电导率会显著升高,而抗寒性较强的植物则升高幅度相对较低,曲东<sup>[11]</sup>在对玉米的研究中发现,在逆境胁迫下,玉米叶片内 MDA 含量会升高,而通过硫降低玉米干旱胁迫后,MDA 含量会显著降低,证明 MDA 与植物抗逆性有直接的关系。生产中为解决木槿在育苗中的低温寒害问题,研究了不同浓度的水杨酸在不同低温胁迫下处理木槿种子后对幼苗部分抗逆生理的影响,以期为水杨酸合理应用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

本试验所使用的所有木槿种子均在 2013 年 10 月 28 日在太原市西留苗圃采集,其中所选 10 年生母树生长健壮,无病虫害。将采集的种子阴干后清理掉杂质,在玻璃瓶中密封贮藏至 2014 年 4 月。4 月 25 日将种子取出,使用高锰酸钾消毒后,用清水浸种 4 h。

### 1.2 试验设计

本项试验水杨酸浓度共设置 4 个水杨酸浓度,分别是 30、60、120、240 mg·L<sup>-1</sup>,一个对照(CK)为清水;低温胁迫设置 3℃ 和 7℃,对照为室温 20℃,3 次重复。

### 1.3 试验处理方法

按照试验设计,使用柠檬酸配置好不同的水杨酸浓度,放在不同烧杯中并做好标记,然后将经过清水浸种的种子在不同浓度的水杨酸溶液中浸种 60 h。在培养皿底部铺设 4 层滤纸后用营养液(依据日本田园式配方配置<sup>[12]</sup>)润湿,然后将经过水杨酸浸种后的种子取出放于培养皿中,每皿 30 粒,150 粒 1 次重复。将培养皿放置于人工气候培养箱中,常温培养温度设置为 20℃,低温培养设置 3℃ 和 7℃,所有处理的光照时长定为每天 12 h。

### 1.4 试验测定内容

将经过水杨酸处理的种子于培养箱中培养 40

d,将子叶剪取后分别测定渗透物质含量,可溶性蛋白测定采用考马斯亮蓝法,可溶性糖含量测定采用 3,5-二硝基水杨酸比色法,游离脯氨酸含量测定采用茚三酮比色法<sup>[13]</sup>,丙二醛含量采用硫代巴比妥酸比色法测定,电导率测定采用电导仪法<sup>[14]</sup>。试验数据采用方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同温度及水杨酸浓度对木槿可溶性蛋白含量的影响

由可溶性蛋白含量变化趋势图(图 1)可知,不同温度胁迫下可溶性蛋白含量随着水杨酸浓度的升高呈现出先升高后降低的变化趋势,其中,各温度处理可溶性蛋白含量在 120 mg·L<sup>-1</sup> 浓度下达到最高值,并且不同浓度处理在不同温度下可溶性蛋白含量不同。清水处理(CK)表现为 20℃ 条件下可溶性蛋白含量最高,达到 22.50 mg·g<sup>-1</sup>,3℃ 处理可溶性蛋白含量最低,仅为 15.85 mg·g<sup>-1</sup>,两者相差 6.65 mg·L<sup>-1</sup>,方差分析结果表明 3℃ 处理和 7℃ 处理之间无显著差异,显著低于 20℃ 处理。水杨酸浓度在 30~240 mg·L<sup>-1</sup> 范围内子叶内可溶性蛋白含量在 3℃ 和 7℃ 低温胁迫下可溶性蛋白含量均高于 20℃ 温度处理,其中 7℃ 处理可溶性蛋白含量最高。从可溶性蛋白含量变化上来看,7℃ 处理在 60 mg·L<sup>-1</sup> 和 120 mg·L<sup>-1</sup> 条件下可溶性蛋白含量分别为 29.52 mg·g<sup>-1</sup> 和 33.56 mg·g<sup>-1</sup>,比 20℃ 处理分别提高 15.48% 和 18.33%,而 3℃ 处理分别比 20℃ 处理提高 6.15% 和 9.41%。从可溶性蛋白变化规律上来看,水杨酸浓度在 120 mg·L<sup>-1</sup> 时对提高子叶内可溶性蛋白含量效果最佳,从不同温度变化上来看,水杨酸对提高 7℃ 低温胁迫木槿子叶内可溶性蛋白含量效果优于 3℃。

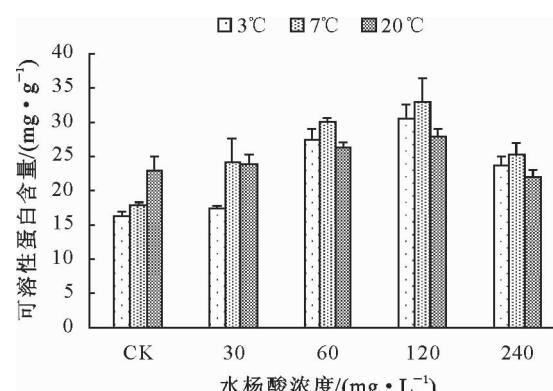


图 1 水杨酸对木槿可溶性蛋白含量的影响

Fig. 1 Effect of salicylic acid on the content of soluble protein of *Hibiscus syriacus*

## 2.2 不同温度及水杨酸浓度对木槿可溶性糖含量的影响

由可溶性糖含量变化趋势图(图2)可知,木槿子叶内可溶性糖含量不同温度胁迫下变化趋势不同,20℃处理可溶性糖含量呈现出随着水杨酸浓度的增加而降低的变化趋势,其中,120 mg·L<sup>-1</sup>的水杨酸处理最低,可溶性糖含量仅为0.14 mg·g<sup>-1</sup>,比清水(CK)处理降低了46.15%;3℃和7℃处理表现出先升高后降低的变化规律,水杨酸浓度在120 mg·L<sup>-1</sup>浓度时含量最高,2个温度处理可溶性糖含量分别达到0.28 mg·g<sup>-1</sup>、0.30 mg·g<sup>-1</sup>,与清水(CK)相比较来看,2个处理可溶性糖含量分别提高22.61%、18.40%,表明该浓度的水杨酸对低温胁迫条件下的木槿子叶内可溶性糖含量增加的促进作用较好。从不同处理子叶内可溶性糖含量上来看,清水(CK)处理20℃条件下可溶性糖含量高于3℃和7℃低温处理,而水杨酸浓度在30~240 mg·L<sup>-1</sup>范围内,低温处理的可溶性糖含量均高于20℃处理,方差分析结果表明,30 mg·L<sup>-1</sup>的水杨酸处理3个温度处理之间无显著差异,60~240 mg·L<sup>-1</sup>的水杨酸处理3℃和7℃处理无显著差异,显著高于20℃处理,其中,水杨酸浓度为120 mg·L<sup>-1</sup>浓度下3℃、7℃处理可溶性糖含量升高幅度最大,分别比20℃处理提高101.43%和111.43%,表明该浓度水杨酸处理下对促进7℃处理的木槿子叶内可溶性糖含量提高效果最佳。

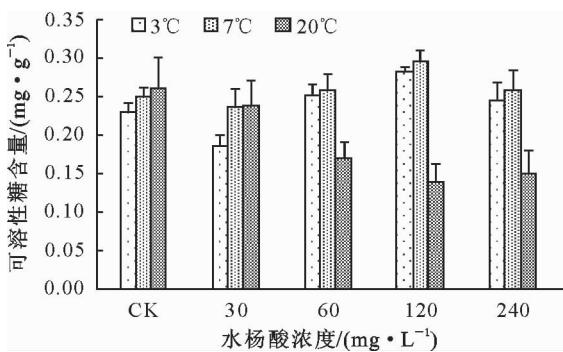


图2 水杨酸对可溶性糖含量的影响

Fig. 2 Effect of salicylic acid on the content of soluble sugar

## 2.3 不同温度及水杨酸浓度对木槿游离脯氨酸含量的影响

由游离脯氨酸变化趋势图(图3)可知,木槿子叶内游离脯氨酸含量变化与可溶性蛋白相似,呈现出随着水杨酸处理浓度的增加表现出先升高后降低的变化,其中,水杨酸浓度在120 mg·L<sup>-1</sup>时各温度处理达到最高值,此时3℃、7℃、20℃处理游离脯氨酸含量分别达到30.73、31.32 μg·g<sup>-1</sup>和17.34 μg·g<sup>-1</sup>,其中,3℃和7℃处理游离脯氨酸含量相近,二

者仅相差0.59 μg·g<sup>-1</sup>,而7℃处理高于20℃处理13.98 μg·g<sup>-1</sup>,方差分析结果显示,二者之间差异极显著;120 mg·L<sup>-1</sup>浓度处理与清水处理(CK)相比较来看,3℃、7℃、20℃处理游离脯氨酸含量分别提高73.24%,112.56%,40.10%,表明此浓度对7℃低温胁迫条件的促进作用最大。从脯氨酸含量变化上来看,水杨酸浓度在0~60 mg·L<sup>-1</sup>的浓度范围内表现为3℃处理最高,7℃处理次之,20℃处理最低,而在120~240 mg·L<sup>-1</sup>的浓度范围内表现为7℃处理游离脯氨酸含量最高,20℃处理最低,表明高浓度的水杨酸处理会促进7℃温度胁迫的子叶内游离脯氨酸含量升高,低浓度的水杨酸处理对促进3℃胁迫的幼苗游离脯氨酸含量提高效果优于7℃胁迫。从游离脯氨酸含量的变化上来看,水杨酸浓度在120 mg·L<sup>-1</sup>的浓度下对促进游离脯氨酸含量提高效果最佳,也最有利于木槿幼苗抗冷性的提高。

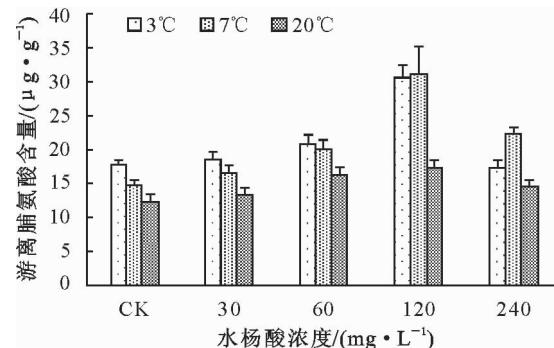


图3 水杨酸对游离脯氨酸含量的影响

Fig. 3 Effect of salicylic acid on the content of free proline

## 2.4 不同温度及水杨酸浓度对木槿MDA含量的影响

由MDA含量变化趋势图(图4)可知,对照3℃处理的MDA含量处于最高值,分别高于7℃和20℃处理0.68、3.01 μmol·g<sup>-1</sup>,其中3℃和7℃处理之间无显著差异,显著高于20℃处理;30 mg·L<sup>-1</sup>的水杨酸处理7℃条件下MDA处于最高值,分别高于7℃和20℃处理1.45、3.74 μmol·g<sup>-1</sup>,3个处理之间存在显著差异;水杨酸浓度在60~240 mg·L<sup>-1</sup>范围内MDA含量呈现出随着温度升高MDA含量降低的变化趋势,其中在60~120 mg·L<sup>-1</sup>范围内7℃和30℃之间无显著差异,3℃和7℃之间无显著差异,240 mg·L<sup>-1</sup>时3个处理之间均存在显著差异,表明水杨酸浓度在60~120 mg·L<sup>-1</sup>范围内木槿子叶受到7℃低温胁迫的伤害较小,从而子叶内产生的MDA与20℃处理之间无显著差异;从相同温度处理下不同水杨酸浓度变化上来看,各温度处理木槿子叶内MDA含量均在120 mg·L<sup>-1</sup>时达到了最低值,此时3个处理MDA含量分

别为  $4.04$ 、 $3.25$ 、 $2.57 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 与对照相比分别降低了  $44.02\%$ 、 $50.28\%$ 、 $39.18\%$ , 3 个处理均显著低于对照, 由此表明, 水杨酸浓度在  $120 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  对降低木槿子叶内 MDA 含量效果显著, 也证明该浓度下可以显著降低低温对木槿的伤害。

## 2.5 不同温度及水杨酸浓度对木槿电导率的影响

由电导率变化趋势图(图 5)可知, 对照和水杨酸处理的电导率均表现为随着温度的升高而降低的变化, 除  $120 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  水杨酸处理 3 个温度处理之间无显著差异之外, 其余水杨酸浓度处理均表现为  $7^{\circ}\text{C}$  和  $20^{\circ}\text{C}$  之间无显著差异, 显著低于  $3^{\circ}\text{C}$  处理, 证明水杨酸对降低  $7^{\circ}\text{C}$  低温胁迫下木槿子叶内电导率具有良好的效果。从不同温度下各水杨酸浓度处理对电导率的影响来看,  $3^{\circ}\text{C}$  和  $7^{\circ}\text{C}$  处理下不同浓度的水杨酸处理木槿子叶内电导率均低于对照, 并且随着浓度的升高呈现出先降低后升高的变化趋势, 其中水杨酸浓度在  $120 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  时达到最低值, 与对照相比分别降低了  $25.01\%$ 、 $11.12\%$ , 其中  $3^{\circ}\text{C}$  下 2 个处理之间差异显著;  $20^{\circ}\text{C}$  下木槿子叶内电导率变化幅度较小, 水杨酸浓度在  $120 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  时最低, 与对照相比仅降低了  $6.02\%$ , 无显著差异。从电导率变化上来看, 水杨酸对降低  $3^{\circ}\text{C}$  低温胁迫下木槿子叶的电导率效果最显著, 其次为  $7^{\circ}\text{C}$  处理, 而  $20^{\circ}\text{C}$  处

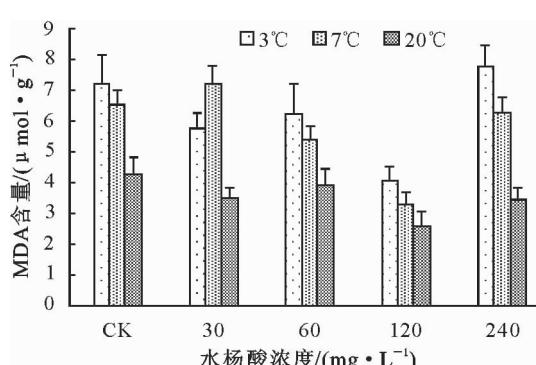


图 4 水杨酸对 MDA 含量的影响

Fig. 4 Effect of salicylic acid on the content of MDA

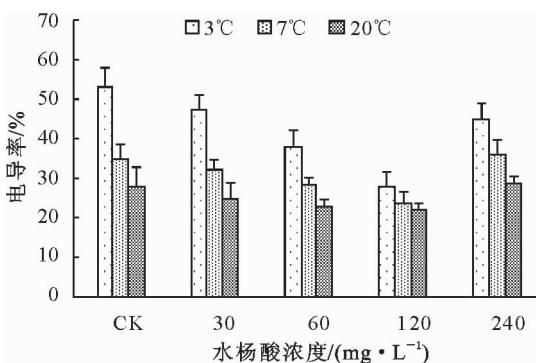


图 5 水杨酸对电导率的影响

Fig. 5 Effect of salicylic acid on the conductivity

理较差, 由此证明水杨酸可以较好地提高木槿抵抗低温的能力, 其中浓度为  $120 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  时效果最佳。

## 3 结论与讨论

植物体内可溶性蛋白含量与生命活动的强弱有直接关系, 低温胁迫下, 由于生命活动的减弱, 可溶性蛋白含量会略低于室温下 ( $20^{\circ}\text{C}$ ) 生长的植株<sup>[15-16]</sup>, 从木槿幼苗的研究结果来看, 高于  $0^{\circ}\text{C}$  的低温胁迫对照(CK)可溶性蛋白含量低于  $20^{\circ}\text{C}$  处理, 水杨酸处理的幼苗子叶内可溶性蛋白含量低温处理均高于  $20^{\circ}\text{C}$  处理, 其中  $60\sim120 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  的水杨酸处理可溶性蛋白含量提高幅度最大, 在  $60 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  的浓度下  $7^{\circ}\text{C}$  低温胁迫处理可溶性蛋白含量与  $20^{\circ}\text{C}$  处理之间差异达到了显著( $p<0.05$ )水平, 当水杨酸处理浓度为  $240 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  时可溶性蛋白含量呈现出降低的变化趋势。 $20^{\circ}\text{C}$  条件下木槿幼苗子叶内可溶性糖含量表现出随着水杨酸处理浓度的增加而降低的变化, 本项研究与前期研究得出了相同的结果<sup>[17]</sup>, 在  $3^{\circ}\text{C}$  和  $7^{\circ}\text{C}$  条件下, 可溶性糖含量表现出先升高后降低的变化规律, 水杨酸浓度在  $120 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  时达到最高值, 表明此浓度的水杨酸对提高可溶性糖含量、增加抵抗低温的能力具有较好作用<sup>[18]</sup>。木槿子叶内游离脯氨酸含量在  $0\sim60 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  范围内表现为  $3^{\circ}\text{C}$  处理最高,  $7^{\circ}\text{C}$  处理次之,  $20^{\circ}\text{C}$  处理最低,  $120\sim240 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  范围内  $7^{\circ}\text{C}$  处理游离脯氨酸含量最高, 同时各处理游离脯氨酸含量均在  $120 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  浓度下达到最高值。从不同浓度的水杨酸对木槿子叶内渗透物质含量的影响来看, 水杨酸浓度为  $120 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  时对提高渗透物质含量效果最佳。

由于 MDA 含量高低可以反映植物受逆境伤害程度的高低<sup>[19]</sup>, MDA 含量越高, 植物受到伤害越严重, 本试验结果证明, 在 2 个低温胁迫下, 水杨酸处理可以降低 MDA 含量, 特别是水杨酸浓度为  $120 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  时各处理的 MDA 含量均显著低于对照, 证明水杨酸在该浓度下对防止木槿受低温伤害具有显著作用; 水杨酸处理的电导率均低于对照, 其中水杨酸在  $120 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  浓度下  $3^{\circ}\text{C}$  处理显著低于对照, 证明该浓度对降低低温胁迫下木槿子叶内电导率具有显著作用。从试验结果来看, 水杨酸浓度为  $120 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  时对提高木槿抗低温能力效果最佳。

## 参考文献:

- [1] 姜中珠, 陈祥伟. 水杨酸对灌木幼苗抗旱性的影响[J]. 水土保持学报, 2004, 18(2): 166-169.
- JIANG Z Z, CHEN X W. Effect of salicylic acid on drought re-

- sistance of three kinds of shrub seedlings[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2004, 18(2): 166-169. (in Chinese)
- [2] 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):264-267.
- ZHANG S G, GAO J Y, SONG J Z. Effect of salicylic acid on salt resistance of wheat[J]. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 1999, 5(3): 264-267. (in Chinese)
- [3] 张引,张吉立,郑薇.人工持续低温对园林树木离体休眠枝条渗透物质影响的研究[J].中国农学通报,2011,13:102-106.
- [4] 姚胜蕊.桃花越冬期间蛋白质、核酸核糖含量与葡萄抗寒性关系的研究[J].园艺学报,1991,18(1):16-20.
- YAO S R. Protein, nucleic acid ribose content of the grapes cold relations of peach during winter[J]. Acta Horticulturae Sinica, 1991, 18(1): 16-20. (in Chinese)
- [5] 熊佑清,李崇涛,刘晓辉.大叶黄杨的耐寒性及其应用研究[J].中国园林,2004,20(4):36-38.
- XIONG Y Q, LI C T, LIU X H. A study of the cold resistance of euonymus japonicus and its application[J]. Chinese Landscape Architecture, 2004, 20(4): 36-38. (in Chinese)
- [6] 王丽雪.葡萄枝条中淀粉,还原糖及脂类物质变化与抗性的关系[J].内蒙古农牧学院学报,1994,15(4):1-6.
- [7] 魏小红,王利民,龙瑞军,等.外源一氧化氮、水杨酸和过氧化氢对烟草叶片游离氨基酸和可溶性蛋白含量的影响[J].植物生理与分子生物学学报,2006(2):257-260.
- WEI X H, WANG L M, LONG R J, et al. Effects of exogenous nitric oxide, salicylic acid and hydrogen peroxide on free amino acid and soluble protein contents in tobacco leaves[J]. Journal of Plant Physiology and Molecular Biology, 2006(2): 257-260. (in Chinese)
- [8] 张伟,杨洪强,接玉玲,等.脱落酸、水杨酸和草酸诱导苹果叶片脯氨酸积累的效应[J].园艺学报,2006,33(6):1175-1178.
- ZHANG W, YANG H Q, JIE Y L, et al. Effects of abscisic acid, salicylic acid and oxalic acid on induction of proline accumulation in apple leaves[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2006, 33(6): 1175-1178. (in Chinese)
- [9] 王延书,王学义,郁松林,等.水杨酸与热锻炼对葡萄幼苗可溶性糖、游离氨基酸和叶绿素荧光参数的影响[J].西北农业学报,2007,16(4):29-33.
- WANG Y S, WANG X Y, YU S L, et al. Effects of salicylic acid and heat acclimation on the content of soluble sugar, free amino acid and Chlorophyll fluorescence parameters of grape leaves in grape seedlings[J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2007, 16(4): 29-33. (in Chinese)
- [10] 仲强,康蒙,郭明,等.浙江天童常绿木本植物的叶片相对电导率及抗寒性[J].华东师范大学学报:自然科学版,2011,56(4):45-52.
- ZHONG Q, KANG M, GUO M, et al. Zhejiang Tiantong evergreen woody plant leaf relative conductivity and cold resistance[J]. Journal of East China Normal University: Natural Science, 2011, 56(4): 45-52. (in Chinese)
- [11] 曲东,邵丽丽,王保莉,等.干旱胁迫下硫对玉米叶绿素及MDA含量的影响[J].干旱地区农业研究,2004,22(2):91-94.
- QU D, SHAO L L, WANG B L, et al. Effects of drought stress on maize Chlorophyll and sulfur content of MDA[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2004, 22(2): 91-94. (in Chinese)
- [12] 刘士哲.现代实用无土栽培技术[M].北京:中国农业出版社,2001:141-146.
- [13] 邹琦.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2000:21-22.
- [14] 张治安,陈展宇.植物生理学实验技术[M].长春:吉林大学出版社,2008:91-92.
- [15] 董秋丽,夏方山,董宽虎.碱性盐胁迫对芨芨草苗期脯氨酸和可溶性蛋白含量的影响[J].畜牧与饲料科学,2010,31(4):11-12.
- DONG Q L, XIA F S, DONG K H. Effects of alkaline salinity stress on proline content and soluble protein content of *Achnatherum splendens* at seedling stage[J]. Animal Husbandry and Feed Science, 2010, 31(4): 11-12. (in Chinese)
- [16] 陈明涛,赵忠,权金娥.干旱对4种苗木根尖可溶性蛋白组分和含量的影响[J].西北植物学报,2010,30(6):1157-1165.
- CHEN M T, ZHAO Z, QUAN J E. Variation of soluble protein components and contents in seedling root tips of four trees under drought stress[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalis Sinica, 2010, 30(6): 1157-1165. (in Chinese)
- [17] 崔继光.不同浓度的水杨酸处理对木槿种子萌发和幼苗生理特性的影响[J].农学学报,2011(6):12-15.
- [18] 左仲武,刘彦超,刘志龙.水分胁迫下水杨酸对油松幼苗叶片膜脂过氧化作用的影响[J].西北林学院学报,2003,18(4):24-25.
- ZUO Z W, LIU Y C, LIU Z L. Effects of acid of water stress on Chinese pine seedlings leaf membrane lipid peroxidation [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2003, 18(4): 24-25. (in Chinese)
- [19] 胡花丽,梁丽松,王贵禧,等.外源乙烯对CA贮藏桃果实MDA含量、PPO和LOX活性变化的影响[J].西北林学院学报,2007,22(3):38-42.
- HU H L, LIANG L S, WANG G X, et al. Effects of exogenous ethylene on CA storage peach fruit MDA content, PPO and LOX activity[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2007, 22(3): 38-42. (in Chinese)
- [20] 吕月玲,梁心蓝,吴发启.油松苗木活力与相对电导率关系的研究[J].西北林学院学报,2007,22(6):21-23.
- LYU Y L, LIANG X L, WU F Q. Research on Chinese pine seedling vigor and relative conductivity relations[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2007, 22 (6): 21-23. (in Chinese)