

· 质量评价 ·

# 不同浓度的外源 NO 对刺五加种子激素及酶含量变化的影响

沈宏伟<sup>1</sup>, 张爽<sup>1</sup>, 李佳宾<sup>1</sup>, 刘悦<sup>1</sup>, 付士朋<sup>1</sup>, 崔红花<sup>2</sup>, 王振月<sup>1\*</sup>

(1. 黑龙江中医药大学, 哈尔滨 150040; 2. 广东药科大学 中药学院, 广州 510006)

**[摘要]** **目的:**研究外源 NO 对刺五加种子解除休眠及萌发过程中内源激素及酶的变化规律, 为打破刺五加种子休眠和人工栽培提供依据。**方法:**考察不同浓度(1, 5, 10, 20 mmol·L<sup>-1</sup>)的外源 NO 供体硝普钠(SNP)处理刺五加种子, 而后进行变温层积处理。采用高效液相色谱法检测出在不同层积时间(0, 30, 50, 80, 100, 130 d)的内源激素赤霉素(GA<sub>3</sub>), 脱落酸(ABA), 吲哚乙酸(IAA), 吲哚丁酸(IBA)及水杨酸(SA)含量变化。采用酶标仪全程监测体内酶[过氧化氢酶(CAT), 超氧化物歧化酶(SOD), 过氧化物酶(POD), 丙二醛(MDA)]水平的变化。**结果:**在刺五加种子萌发过程中, GA<sub>3</sub>, IAA, IBA 和 SA 的含量逐渐增大, 脱落酸的含量逐渐减小。POD 和 MDA 水平显著下降, CAT 和 SOD 的酶活力显著上升。外源 NO 可以提高刺五加种子萌发率, 缩短种子萌发时间, 20 mmol·L<sup>-1</sup> SNP 促进种子萌发效果最为明显, 10 mmol·L<sup>-1</sup> SNP 促进种子萌发效果最弱, 呈“V”型变化。**结论:**SNP 促进刺五加种子萌发可能通过提高种子萌发过程中的激素和酶的含量, 以提高种子内源 NO 含量而实现。

**[关键词]** 刺五加种子; 一氧化氮; 萌发; 内源激素; 酶活力

**[中图分类号]** R284.1; R22; R289; R282.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2019)03-0137-06

**[doi]** 10.13422/j.cnki.syfjx.20190110

**[网络出版地址]** <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3495.r.20181015.1727.011.html>

**[网络出版时间]** 2018-10-19 11:13

## Effect of Exogenous Nitric Oxide on Plant Hormones and Enzyme Content of *Acanthopanax senticosus* Seeds

SHEN Hong-wei<sup>1</sup>, ZHANG Shuang<sup>1</sup>, LI Jia-bin<sup>1</sup>, LIU Yue<sup>1</sup>, FU Shi-peng<sup>1</sup>,  
CUI Hong-hua<sup>2</sup>, WANG Zhen-yue<sup>1\*</sup>

(1. Heilongjiang University of Chinese Medicine, Harbin 150040, China;

2. School of Chinese Materia Medica, Guangdong Pharmaceutical University, Guangzhou 510006, China)

**[Abstract]** **Objective:** To investigate the effect of exogenous nitric oxide (NO) on breaking the dormancy of *Acanthopanax senticosus* seeds and the changes in endogenous hormones and enzymes, and provide a basis for breaking the dormancy as well as artificial cultivation of *A. senticosus* seeds. **Method:** Different concentrations (1, 5, 10, 20 mmol·L<sup>-1</sup>) of sodium nitroprusside (NO donor) were used to treat the *A. senticosus* seeds, and then thermophilic stratification was conducted. The content changes of endogenous hormones such as gibberellin (GA<sub>3</sub>), abscisic acid (ABA), indole acetic acid (IAA), indole butyric acid (IBA) and salicylic acid (SA) at different stratification time (0, 30, 50, 80, 100, 130 d) were tested by high performance liquid chromatography (HPLC). The activity change of its *in vivo* enzymes [catalase (CAT), superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD), and malondialdehyde (MDA)] were tested by enzyme-labeled instrument. **Result:** In the seed germination process

**[收稿日期]** 20180525(006)

**[基金项目]** 国家重点研发计划项目(2016YFC0500303); 黑龙江省国家科技重大专项和重点研发项目(GX17C006); 黑龙江省博士后项目(LBH-Z17208)

**[第一作者]** 沈宏伟, 在读硕士, 从事刺五加种子休眠破除研究, E-mail: 724165148@qq.com

**[通信作者]** \* 王振月, 教授, 从事中药资源研究, Tel: 0451-87266873, E-mail: wangzhen\_yue@163.com

of *A. senticosus*, the contents of GA<sub>3</sub>, IAA, IBA, and SA were increased gradually, while the content of ABA was reduced gradually. The enzyme activities of POD and MDA were significantly reduced, and the enzyme activities of CAT and SOD were increased obviously. Exogenous NO could increase the seed germination rate and shorten the seed germination time. The effect of 20 mmol·L<sup>-1</sup> sodium nitroprusside showed the most obvious effect and 10 mmol·L<sup>-1</sup> SNP showed the weakest effect in promoting seed germination, showing an obvious “V” shape for changes. **Conclusion:** Sodium nitroprusside could promote the seed germination effect of *A. senticosus*, probably by increasing the content of hormones and enzyme in the stage of seed germination and improving the contents of endogenous NO during germination.

**[Key words]** *Acanthopanax senticosus* seeds; nitric oxide; seed germination; endogenous hormones; enzyme activity

刺五加是多年生木本,其根茎有舒筋活血、祛风湿、安眠的功效。刺五加在 1992 年被《中国植物红皮书》列入渐危植物标准名录,因其根及根茎生长十分缓慢,野生资源已无法满足现在市场需求,栽培需求逐年增加,实现刺五加种子人工繁育迫在眉睫,因刺五加具有先天休眠的特性,如何快速打破休眠是现在面临的首要问题。

一氧化氮(NO)在植物生长发育中除了具有氧化还原和毒性分子作用,还具有活性氮的作用。NO 参与植物的很多生理活动,例如促进植物生长、调节种子萌发、提高植物抗逆性等<sup>[1]</sup>。NO 最常用的供体是硝普钠(SNP),有研究表明,张燕等<sup>[2]</sup>测定了不同氮浓度处理下的羌活幼苗生长发育情况及抗氧化酶活性的变化,李梅香等<sup>[3]</sup>发现 SNP 对七叶一枝花种子萌发有促进效果并分析了最适浓度对其种子萌发过程中的相关生理指标的影响,王晓晶等<sup>[4]</sup>通过模拟干旱胁迫测定不同 SNP 浓度对于干旱胁迫下的大豆种子和幼苗生长的影响,发现均有明显的促进作用。然而,NO 对刺五加种子萌发的影响鲜为研究报道,因此本实验通过对不同浓度的 SNP 溶液处理下的刺五加种子萌发过程中激素[赤霉素(GA<sub>3</sub>),脱落酸(ABA),吲哚乙酸(IAA),吲哚丁酸(IBA)及水杨酸(SA)],抗氧化酶[过氧化氢酶(CAT),超氧化物歧化酶(SOD),过氧化物酶(POD),丙二醛(MDA)]的水平变化情况进行检测,探索在刺五加种子萌发过程中,NO 对激素、酶变化规律的影响,为打破刺五加种子休眠提供依据。

## 1 材料

刺五加种子采自黑龙江省七台河,由黑龙江中医药大学王振月教授鉴定为五加科植物刺五加 *Acanthopanax senticosus* 的种子,种子在室温干燥条件下保存。

BHC-300 型人工气候箱(上海博迅实业有限公

司),SpectraMax M2 型酶标仪(美国分子仪器公司),AE240 型 1/10 万电子天平(梅特勒-托利多国际贸易有限公司),e2695 Separations Module 型高效液相色谱仪(美国 Waters 公司)。Thermo C<sub>18</sub> 色谱柱(4.6 mm × 250 mm, 5 μm),Phenomenex ODS-C<sub>18</sub> 预柱(4.0 mm × 3.0 mm);流动相甲醇色谱纯(北京百灵威科技有限公司,批号 L510S136),水为娃哈哈纯净水(杭州娃哈哈集团有限公司);对照品 ABA(批号 AB170214017,纯度 ≥ 98%),IAA(纯度 ≥ 98%,批号 AB020235,纯度 ≥ 98%),IBA(批号 AB020237,纯度 ≥ 98%),SA(批号 AB610518,纯度 ≥ 98%),GA<sub>3</sub>(批号 CS1612WKQ01,纯度 ≥ 98%)均购自成都挨法生物科技有限公司。

NO 供体:SNP(分析纯,博奥拓达生物制剂有限公司,批号 20161101);2,6-二叔丁基对甲酚(化学纯,国药集团化学试剂有限公司,批号 20160726);维生素 C(分析纯,西陇化工股份有限公司,批号 20170101);次氯酸钠(分析纯,恒兴试剂有限公司,批号 20170305);无水乙醇(分析纯,天津市天力化学试剂有限公司,批号 20170408);新洁尔灭(山东益家康消毒制品有限公司,批号 20170302);聚乙烯吡咯烷酮(PVPP,美国 Sigma 公司,批号 20161205)。

## 2 方法

**2.1 种子处理** 精密称取饱满刺五加种子 50 g,用 75% 乙醇消毒 30 s,用无菌水冲洗 3 次,然后用 10% 次氯酸钠溶液消毒 10 min,无菌水冲洗 5 次。

**2.2 SNP 浸种** 将刺五加种子放入浓度为 1, 5, 10, 20 mmol·L<sup>-1</sup> 的外源 NO 供体 SNP 中浸泡 24 h,温度 20 ℃,取出后进行层积处理<sup>[5]</sup>。

空白组称量消毒方法同上,直接进行层积处理。

**2.3 变温层积处理** 将刺五加种子平铺于经高压灭菌的湿河沙中,种子与湿河沙按体积比 1:2 混匀,装入 17 cm × 17 cm 大花盆中进行混沙层积催芽,保

持相对湿度 50% ~ 70%, 根据湿度变化适量浇水, 水中加 1% 新洁尔灭。

层积条件: 第一阶段, 层积温度保持在 20 ~ 25 °C, 时间为 10 周, 每日翻动 1 次; 第二阶段, 层积温度保持在 10 ~ 15 °C, 时间为 6 周, 2 ~ 3 d 翻 1 次; 第三阶段, 层积温度保持在 0 ~ 5 °C, 时间为 9 周。

**2.4 内源激素的提取及测定** 在层积时间 0, 30, 50, 80, 100, 130 d 时分别精密称取刺五加种子 1.00 g 各 3 份, 用液氮研磨后, 加入含有抗氧化剂 (50 mg·L<sup>-1</sup> 2,6-二叔丁基对甲酚, 0.2 g·L<sup>-1</sup> 维生素 C) 的 80% 甲醇 20 mL, 4 °C 中低温避光提取, 分 2 次提取, 每次 12 h。过滤, 合并 2 次滤液。滤液用等体积石油醚萃取 3 次, 弃去石油醚相, 然后减压浓缩去掉甲醇, 用蒸馏水溶解残渣, 调节 pH 2.5 ~ 2.8。加入 PVPP 0.5 g, 吸附震荡 30 min, 再用等体积乙酸乙酯萃取 3 次, 取乙酸乙酯层减压蒸馏后甲醇 2 mL 溶解, 0.22 μm 滤膜过滤, 作为供试品溶液<sup>[6]</sup>。流动相 甲醇-磷酸水梯度洗脱, 流速 1 mL·min<sup>-1</sup>; 柱温 35 °C; 进样量 20 μL, 检测波长 296 nm, 采用外标法定量。

**2.5 酶提取与测定** 样品前处理, 准确称量刺五加种子 0.5 g 各 3 份, 按照质量 (g)-体积 (mL) (1:9) 加入生理盐水 4.5 mL, 液氮研磨制备匀浆, 2 500 ~ 3 000 r·min<sup>-1</sup>, 离心 10 min, 取上清液待用<sup>[7]</sup>。采用酶标仪分别在检测层积时间 0, 30, 50, 80, 100, 130 d 测定酶的含量<sup>[2]</sup>。

**2.6 不同浓度 SNP 处理种子在层积过程中的萌发动态测定** 种子在变温层积过程中, 观测有发芽迹象出现, 即作为初次计数时间, 各取 50 粒种子, 重复 3 次, 于湿润砂床, 20 °C 发芽, 每天观察, 补充水分, 记录发芽数。发芽率 = 发芽数/发芽总数 × 100%。

**2.7 数据处理与统计分析** 利用 Excel 2013 对实验数据进行初步计算, 采用 IBM SPSS Statistics 19.0 软件进行方差分析, 采用 SigmaPlot 11.0 软件绘图。

### 3 结果与分析

**3.1 变温层积过程中刺五加种子内源激素的动态变化** GA<sub>3</sub>, IAA, SA 的变化规律见图 1 ~ 3, 在种子后熟过程中, 所有处理组种子的 GA<sub>3</sub>, IAA, SA 均呈上升趋势, SNP 处理组种子中 GA<sub>3</sub>, IAA 的含量在 100 ~ 130 d 增加显著, SA 的含量在 0 ~ 50 d 增加显著, 由 SNP 20 mmol·L<sup>-1</sup> 刺激的种子的 GA<sub>3</sub>, IAA, SA 含量提高最多, 在 130 d 分别达到 0.608, 0.321, 0.134 μg·g<sup>-1</sup>, 相对空白组提高了 43.06%, 63.78%, 10.74%, 具有明显差异 (P < 0.05); 同一

时期处理组 GA<sub>3</sub>, IAA, SA 的含量始终高于空白组; IBA 含量呈现一个上升趋势 (图 4), 在 50 ~ 100 d 上升缓慢, 0 ~ 30 d 和 100 ~ 130 d 上升迅速, 由 SNP 20 mmol·L<sup>-1</sup> 刺激的种子的 IBA 含量在 130 d 达到最高质量分数 0.161 μg·g<sup>-1</sup>, 同一时期处理组 IBA 含量始终高于对照组, 但促进效果较弱。在刺五加种子后熟过程中, 处理组和空白组种子 ABA 含量均呈下降趋势 (图 5), 0 ~ 30 d 和 100 ~ 130 d 下降迅速, 由 SNP 20 mmol·L<sup>-1</sup> 刺激的种子的 ABA 含量在 130 d 达到最低质量分数 0.076 μg·g<sup>-1</sup>, 相对空白组降低了 50%, 同一时期处理组的 ABA 含量始终低于空白组 (P < 0.05)。

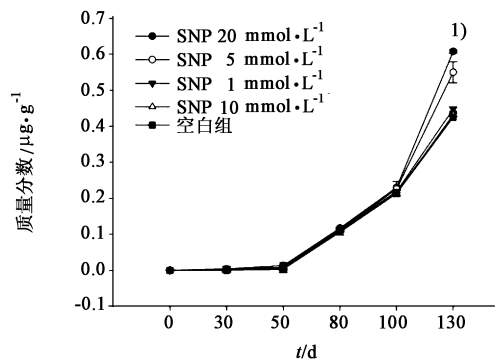


图 1 刺五加种子变温层积中 GA<sub>3</sub> 的变化 ( $\bar{x} \pm s, n=3$ )

Fig. 1 GA<sub>3</sub> content during fluctuating temperature stratification of *Acanthopanax senticosus* seeds ( $\bar{x} \pm s, n=3$ )

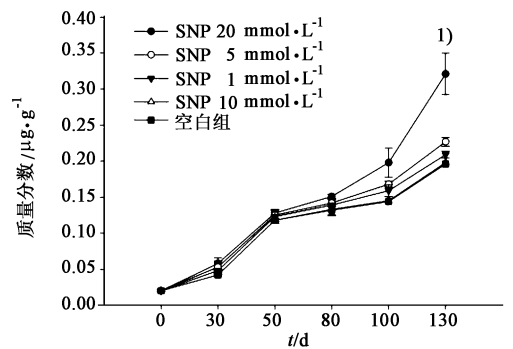


图 2 刺五加种子变温层积中 IAA 的变化 ( $\bar{x} \pm s, n=3$ )

Fig. 1 IAA content during fluctuating temperature stratification of *Acanthopanax senticosus* seeds ( $\bar{x} \pm s, n=3$ )

**3.2 变温层积过程中刺五加种子酶的动态变化** 在破除刺五加种子后熟过程中, 种子内多种酶均发生显著变化。CAT 在所有处理组种子活力均上升, 在 0 ~ 100 d 上升缓慢, 100 ~ 130 d 上升迅速, 130 d 由 SNP 20 mmol·L<sup>-1</sup> 刺激的种子的 CAT 活性最高值为 2.268 U·mg<sup>-1</sup>, 相对空白组提高了 92.04% (P < 0.05, 图 6); MDA 在所有处理组种子中含量呈逐渐下降趋势, SNP 20 mmol·L<sup>-1</sup> 处理组, SNP 5 mmol·L<sup>-1</sup>

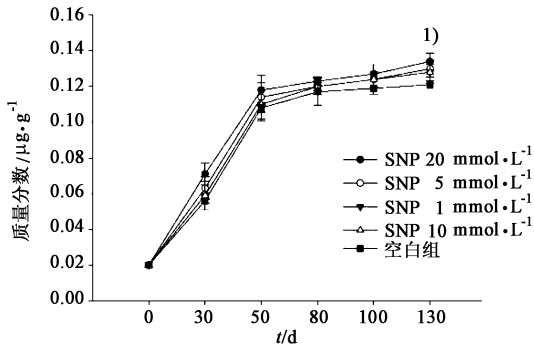


图 3 刺五加种子变温层积中 SA 的变化 ( $\bar{x} \pm s, n=3$ )  
Fig. 3 SA content during fluctuating temperature stratification of *Acanthopanax senticosus* seeds ( $\bar{x} \pm s, n=3$ )

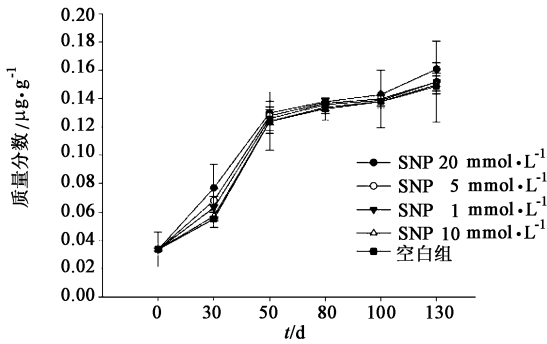


图 4 刺五加种子变温层积中 IBA 的变化 ( $\bar{x} \pm s, n=3$ )  
Fig. 4 IBA content during fluctuating temperature stratification of *Acanthopanax senticosus* seeds ( $\bar{x} \pm s, n=3$ )

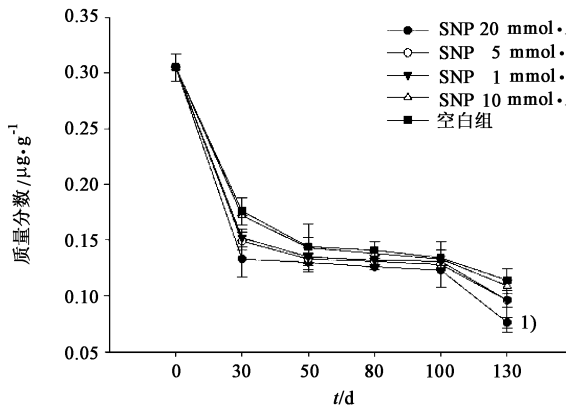


图 5 刺五加种子变温层积中 ABA 的变化 ( $\bar{x} \pm s, n=3$ )  
Fig. 5 ABA content during fluctuating temperature stratification of *Acanthopanax senticosus* seeds ( $\bar{x} \pm s, n=3$ )

处理组, SNP 1 mmol·L<sup>-1</sup> 处理组种子在 0 ~ 50 d 下降迅速, 50 ~ 100 d 逐渐下降缓慢, 空白组和 SNP 10 mmol·L<sup>-1</sup> 处理组则主要在 30 ~ 100 d 迅速下降。在 130 d, SNP 20 mmol·L<sup>-1</sup> 含量最低为 0.044 μmol·g<sup>-1</sup> (图 7); POD 在所有处理组种子中活力逐渐降低, 处理组种子在 0 ~ 30 d 下降迅速, 而空白组则主要在 30 ~ 50 d 下降显著, 同一时期处理

组种子的 POD 活力始终低于空白组 (图 8); SOD 在所有处理组种子中活力先降低后升高, 0 ~ 50 d 逐渐下降, 50 ~ 130 d 逐渐上升, 50 d 达到最低 17.979 U·mg<sup>-1</sup>, 130 d 达到最高 55.389 U·mg<sup>-1</sup>, 同一时期处理组种子的 SOD 活力始终高于空白组 ( $P < 0.05$ , 图 9)。

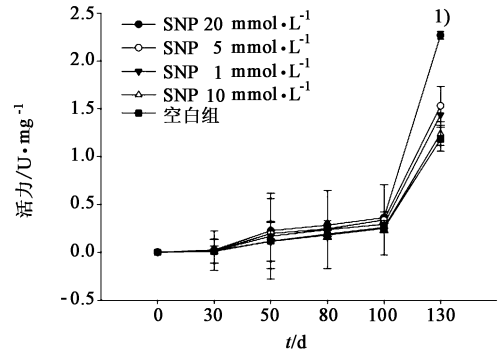


图 6 刺五加种子变温层积中 CAT 的变化 ( $\bar{x} \pm s, n=3$ )  
Fig. 6 CAT content during fluctuating temperature stratification of *Acanthopanax senticosus* seeds ( $\bar{x} \pm s, n=3$ )

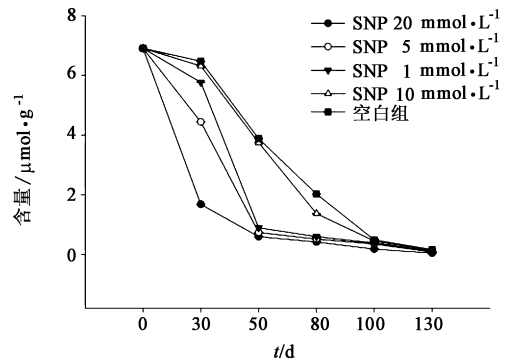


图 7 刺五加种子变温层积中 MDA 的变化 ( $\bar{x} \pm s, n=3$ )  
Fig. 7 MDA content during fluctuating temperature stratification of *Acanthopanax senticosus* seeds ( $\bar{x} \pm s, n=3$ )

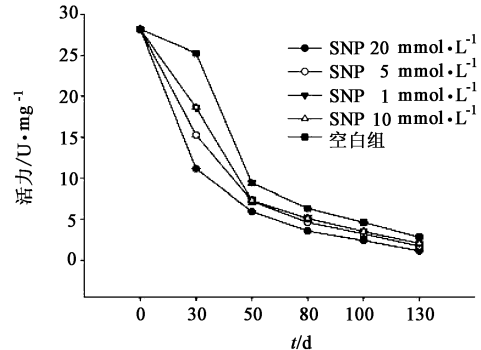


图 8 刺五加种子变温层积中 POD 的变化 ( $\bar{x} \pm s, n=3$ )  
Fig. 8 POD content during fluctuating temperature stratification of *Acanthopanax senticosus* seeds ( $\bar{x} \pm s, n=3$ )

3.3 不同外源 NO 浸种对种子萌发的影响 变温层积过程中, SNP 20 mmol·L<sup>-1</sup> 处理组层积 105 d

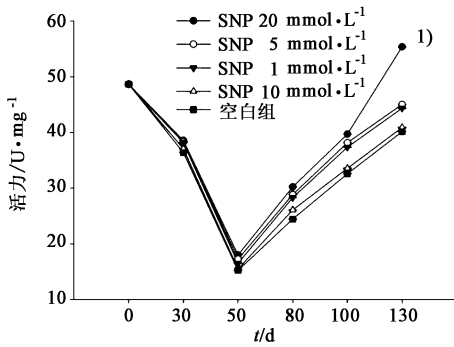


图 9 刺五加种子变温层积中 SOD 的变化 ( $\bar{x} \pm s, n=3$ )  
Fig. 9 SOD content during fluctuating temperature stratification of *Acanthopanax senticosus* seeds ( $\bar{x} \pm s, n=3$ )

后,部分种子打破休眠开始发芽,发芽率随时间增加而逐渐增高;对照组层积时间 126 d 后,部分种子打破休眠开始发芽。在层积 130 d 后,SNP 20 mmol·L<sup>-1</sup>处理组发芽率达 37.8%,高于其他浓度处理组,显著高于空白组( $P < 0.05$ )。见表 1。

表 1 不同 SNP 浓度处理刺五加种子发芽情况 ( $\bar{x} \pm s, n=3$ )  
Table 1 Treatment of germination of *Acanthopanax senticosus* seeds with various SNP concentrations ( $\bar{x} \pm s, n=3$ )

SNP 浓度 /mmol·L <sup>-1</sup>	初始发芽天数 /d	持续天数 /d	发芽率 /%
1	118	15	29.6 ± 3.34 <sup>ab</sup>
5	112	13	32.0 ± 8.24 <sup>a</sup>
10	123	18	25.8 ± 3.85 <sup>b</sup>
20	105	12	37.8 ± 4.26 <sup>a</sup>
空白	126	17	25.6 ± 5.74 <sup>b</sup>

注:不同字母代表差异有显著性  $P < 0.05$ 。

#### 4 讨论

刺五加种子自然状态下具有深度休眠的特性,如何有效打破刺五加种子休眠状态,缩短种子萌发时间,是刺五加栽培生产急需解决的问题。本研究发现适当浓度的 NO 供体 SNP 可显著调控刺五加种子激素含量及酶的活力,从而缩短刺五加种子发芽时间,提高种子的发芽率。李梅香等<sup>[2]</sup>在外源 NO 处理对七叶一枝花种子的萌发和相关生理指标中也有类似情况,植物主要通过体内一氧化氮合酶(NOS)和硝酸还原酶合成 NO,进而作为信号分子参与植物生理过程调节,尤其在种子发育和形态建成方面有重要的调节作用<sup>[8]</sup>。

在种子休眠和萌发过程中,激素扮演着非常重要的角色,能通过信号传导途径对种子内各种生理变化做出应答,影响 CAT, SOD, POD, MDA 的代谢。

种子是否萌发与休眠,主要取决于植物内源激素之间的调节<sup>[9]</sup>。GA<sub>3</sub> 起促进种子萌发作用,可缩短种子发芽时间;ABA 是抑制种子萌发的主要因素,这主要是因为抑制核酸的正常代谢,干扰核糖核酸的合成,使种子不能进行正常的代谢活动<sup>[10]</sup>。ABA 在植物细胞表面被认为是由 GCR2 感知的, GCR2 参与种子萌发、早期幼苗发育、气孔运动中导反应<sup>[11]</sup>。在本研究 NO 侵染刺五加种子萌发过程中,外源 NO 可以打破刺五加种子休眠,缩短种子发芽时间,提高种子发芽率。20 mmol·L<sup>-1</sup> 的 SNP 浓度对种子的促进作用最显著, GA<sub>3</sub>, IAA, SA 和 IBA 含量显著增加, ABA 的含量逐渐减少。CAT 活力逐渐升高,当 100 ~ 130 d 活力迅速增加,此时也正是刺五加种子萌发的旺盛阶段, SOD 活力也正是这一阶段迅速增加,这说明 SOD 和 CAT 对种子萌发起重要的作用, MDA 与 POD 在 0 ~ 50 d 活力明显降低,其余时间缓慢降低,说明 MDA, POD 有很强的耐脱水能力,对种子萌发无显著作用,可能涉及到相关蛋白的调动及功能执行<sup>[12]</sup>,与文献中抗氧化酶在种子萌发的观点一致<sup>[13]</sup>。

本实验以外源 NO 为方法探索了破除刺五加种子休眠的方法,为研究刺五加种子破除休眠提供了新方向,且为其他植物种子萌发提供了新思路,而外源 NO 调节刺五加种子萌发的分子机制尚不明确,将在后续实验中对其深入研究。

#### [参考文献]

- [1] 温泽林,刘慧英,周艳,等.一氧化氮参与外源谷胱甘肽对盐胁迫下番茄幼苗抗氧化损伤的调控[J].植物生理学报,2018,54(4):607-617.
- [2] 张燕,王红兰,蒋舜媛,等.不同氮浓度对羌活幼苗生长及抗氧化酶系统的效应[J].中国实验方剂学杂志,2018,24(7):38-44.
- [3] 李梅香,李海明,宋发军,等.外源一氧化氮对七叶一枝花种子萌发的影响[J].安徽农业科学,2018,46(5):58-61,65.
- [4] 王晓晶,呼凤兰,褚盼盼.外源 NO 对干早胁迫下大豆种子的萌发及幼苗生长的影响[J].种子,2017,36(2):79-82.
- [5] 宋要强,屠荫华,惠伟.一氧化氮在打破杜梨种子休眠中的作用[J].四川林业科技,2015,36(5):94-97.
- [6] 齐永平,顾蔚,罗成,等.华中五味子种子的发育和 3 种内源激素含量的变化[J].植物生理学通讯,2009,45(6):615-618.
- [7] HUANG X S, LIU J H, CHEN X J. Overexpression of Ptr ABF gene, a bZIP transcription factor isolated from

- Poncirus trifoliata*, enhances dehydration and drought tolerance in tobacco via scavenging ROS and modulating expression of stress-responsive genes [J]. BMC Plant Biol, 2010, 10(1): 230-248.
- [ 8 ] 马伟, 梁喜龙, 马玲, 等. 外源一氧化氮供体对黄芪种子萌发的影响 [J]. 东北林业大学学报, 2008 ( 1 ): 37-38.
- [ 9 ] 肖承鸿, 周涛, 江维克, 等. 低温层积及赤霉素处理对太子参种子萌发与幼苗生长的影响 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2013, 19(15): 151-155.
- [ 10 ] 侯姣姣, 余仲东, 康永祥, 等. 内生真菌感染对古侧柏种子萌发及幼苗生长的影响 [J]. 西北林学院学报, 2016, 31(6): 110-115.
- [ 11 ] GAO Y, ZENG Q, GUO J et al. Genetic characterization reveals no role for the reported ABA receptor, GCR2, in ABA control of seed germination and early seedling development in Arabidopsis [J]. Plant J, 2007, 52(6): 1001-1013.
- [ 12 ] Gallardo K, Job C, Groot S P C, et al. Proteomics of Arabidopsis seed germination. A comparative study of wild-type and gibberellin-deficient seeds [J]. Plant Physiol, 2002, 129(2): 823-837.
- [ 13 ] 秦国臣. 内源激素 ABA 含量、抗氧化酶活性和种子质量在丝瓜种子发育过程中的变化 [D]. 杭州: 浙江大学, 2013.

[责任编辑 顾雪竹]