

外源水杨酸和硒复配剂对低温胁迫下铁皮石斛抗寒性的影响

丁久玲, 郑凯*, 席刚俊, 史俊, 唐冬芬 (江苏农林职业技术学院, 江苏句容 212400)

摘要 [目的]研究低温胁迫下外源水杨酸和硒复配剂处理对铁皮石斛抗寒性的影响。[方法]以生长一年的铁皮石斛组培苗为供试材料, 2℃低温胁迫7 d后, 用不同浓度的外源水杨酸和硒复配剂进行叶面喷施, 其中外源水杨酸和硒均设置了4个浓度梯度, 分别为0、15、30、60 mg/L和0.5、0.75、10.0 mg/L, 采用不完全随机设计将二者进行复配, 共12种复配剂。[结果]低温胁迫下外源水杨酸和硒配合使用, 叶绿素含量和PRO含量的增加, SOD、POD和CAT活性增强, MDA含量下降; 喷施浓度为15/10.0、30/5.0和30/7.5 mg/L的水杨酸和硒复配剂时, 其叶绿素含量、PRO含量、抗氧化酶活性均显著增加, MDA含量显著下降, 显著提高铁皮石斛抗寒性, 缓解铁皮石斛的低温伤害。[结论]低温胁迫下配合使用外源水杨酸和硒, 可在一定程度上减缓铁皮石斛的低温伤害。

关键词 铁皮石斛; 低温胁迫; 水杨酸和硒复配剂; 抗寒性

中图分类号 S567.23+9 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)22-0129-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.22.031



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Effects of Salicylic Acid and Selenium on Cold Resistance of *Dendrobium candidum* under Low Temperature Stress

DING Jiu-ling, ZHENG Kai, XI Gang-jun et al (Jiangsu Vocational College of Agriculture and Forestry, Jurong, Jiangsu 212400)

Abstract [Objective] To explore effects of salicylic acid and selenium on cold resistance of *Dendrobium candidum* under low temperature stress. [Method] Based on *Dendrobium candidum* seedlings as experimental material, the stress of low temperature 2℃ after 7 d, with different concentrations of exogenous salicylic acid and selenium compound spraying on the leaf. The exogenous salicylic acid and selenium were all set up four concentration, respectively 0, 15, 30, 60 mg/L, and 0.5, 7.5, 10.0 mg/L, not completely random design will both for distribution, a total of 12 kinds of complex dispensing. [Result] The results showed that exogenous salicylic acid and selenium should be used together in low temperature stress, which was reflected in the increase of chlorophyll content and PRO content, the increase of POD, SOD and CAT activity, and the decrease of MDA content. Salicylic acid and selenium treatment (15/10, 30/5 and 30/7.5 mg/L) could increase the cold resistance of *Dendrobium candidum* seedlings, which was achieved by means of enhancing the anti-oxidative enzyme activities, chlorophyll content and PRO content, and decreasing the MDA content to reduce injury of in low temperature stress. [Conclusion] Exogenous salicylic acid and selenium should be used together under low temperature stress, which can slow down the low temperature injury of *Dendrobium candidum* to a certain extent.

Key words *Dendrobium candidum*; Low temperature stress; Compound of salicylic acid and selenium; Cold resistance

铁皮石斛(*Dendrobium candidum*)是我国传统的名贵中药材, 具有健胃、滋阴、润肺、明目、清热解毒、提高免疫力等功效。低温会抑制铁皮石斛幼苗的成活和生长, 是影响其生存与分布的主要因素。因此, 增强铁皮石斛幼苗的抗寒能力, 寻找一种有效缓解低温伤害的方法是提高铁皮石斛幼苗成活率及产量的关键, 也是铁皮石斛种植和生产中亟待解决的问题之一。

水杨酸作为植物体内的一种脂溶性有机酸, 通过提高超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化氢酶(CAT)的活性以及降低丙二醛(MDA)的含量来调节生物膜的稳定性, 喷施外源水杨酸能大大提高植物抵抗低温的能力, 减轻低温胁迫对植物造成的伤害^[1-3]。硒(Se)是植物生长发育中有益的营养元素, 参与植物体内的氧化还原反应, 清除脂质过氧化物等自由基, 减少胁迫对生物膜等造成的机体过氧化损伤, 从而降低胁迫带来的伤害, 在植物抗逆中的作用越来越受到重视。目前涉及硒提高植物抗寒性的报道较少, 研究表明适宜浓度的

硒可以减弱低温对草莓、萝卜、番茄等幼苗的伤害, 提高植物的耐寒性^[4-6]。关于外源水杨酸和外源硒配合使用提高植物耐寒性的研究鲜见报道。

关于铁皮石斛的研究多集中于组培^[7-10]、栽培^[11-13]、药用^[14-15]等方面, 目前涉及低温胁迫的文献相对较少^[16-17]; 对于添加外源水杨酸、外源硒缓解铁皮石斛低温胁迫的报道较少, 张艳嫣等^[18]研究认为, 适量浓度外源硒可使铁皮石斛幼苗的耐冷性增强。而外源水杨酸和硒配合使用对低温胁迫下铁皮石斛抗寒性的影响鲜见报道。该研究基于外源水杨酸和硒可有效缓解植物低温伤害的理论知识, 揭示水杨酸和硒配合使用对低温胁迫下铁皮石斛幼苗的影响和低温伤害的缓解作用, 探讨有效缓解铁皮石斛低温伤害的外源物——水杨酸和硒复配剂的适宜浓度, 以期为提高铁皮石斛的产量和低温胁迫下幼苗成活率及铁皮石斛在我国大范围推广应用提供理论指导和技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料 以出瓶栽培1年的铁皮石斛组培苗为供试品种, 栽培于江苏农林职业技术学院农博园大棚内。

1.2 试验设计 试验采用盆栽方式, 从温室栽培培土上挖出生长均匀、无病虫害的盆栽铁皮石斛幼苗, 移栽到具有铁皮石斛专用基质的塑料花盆中(规格为高18 cm、底面直径15 cm), 每盆6株。于大棚内正常培养15 d后, 置于医用冷藏箱内于2℃胁迫7 d后进行外源水杨酸和硒复配剂处理。

外源水杨酸和外源硒均设置了4个浓度梯度, 分别为0、

基金项目 江苏省镇江市重点研发计划—现代农业项目“林药复合种植模式的研究及产业化开发”(NY2019007); 中央财政林业科技推广示范基金项目“药用植物林下立体栽培技术示范与推广”(苏[2019]TG05); 江苏现代农业(特粮特经-中药材)产业技术体系句容推广示范基地(JATS[2020]336); 江苏农林职业技术学院校级横向项目“铁皮石斛有机栽培技术应用”(HX2020032)。

作者简介 丁久玲(1978—), 女, 河南许昌人, 副研究员, 硕士, 从事园林植物的应用及植物抗性生理研究。*通信作者, 副研究员, 从事植物资源收集及快繁研究。

收稿日期 2021-03-31

15、30、60 mg/L 和 0、5.0、7.5、10.0 mg/L, 采用不完全随机设计将二者进行复配, 共 12 种复配剂处理, 即外源水杨酸+外源硒: 0/0、30/0、0/5.0、15/5.0、15/7.5、15/10.0、30/5.0、30/7.5、30/10.0、60/5.0、60/7.5、60/10.0, 其相应编号分别为 S_1 (CK, 只喷水)、 S_2 、 S_3 、 S_4 、 S_5 、 S_6 、 S_7 、 S_8 、 S_9 、 S_{10} 、 S_{11} 和 S_{12} 。各处理均是在 1/2Hoagland 营养液的基础上添加相应浓度的外源水杨酸和外源硒, 每处理 5 次重复。外源硒用分析纯的亚硒酸钠 (Na_2SeO_3), 外源水杨酸用分析纯水杨酸粉剂。复配剂以叶面喷洒的形式施入, 喷施至叶片完全湿润为准, 之后置于人工气候箱内培养 20 d。人工气候箱设定 25 °C, 光照强度 4 000 lx, 12 h 光培养/12 h 暗培养。在培养过程中, 定期观察植物生长状况并进行正常管理。复配剂处理至一定时间后采取倒 3~5 片叶片, 置于 -75 °C 低温冰箱中进行保存, 用于生理指标的测定。

1.3 测定项目 叶绿素含量的测定: 参照《植物生理生化实验原理与技术(第二版)》^[19]。脯氨酸(PRO)含量的测定: 脯氨酸分光光度计试剂盒法, 试剂盒由苏州科铭生物技术有限公司(下同)提供。MDA 含量的测定: 丙二醛分光光度计试剂盒法。SOD 活性的测定: 超氧化物歧化酶分光光度计试剂盒法。过氧化物酶(POD)的测定: 过氧化物酶分光光度计试剂盒法。CAT 的测定: 过氧化氢酶分光光度计试剂盒法。

2 结果与分析

2.1 外源水杨酸和硒复配对低温胁迫下铁皮石斛叶绿素含量的影响 叶绿素可以吸收、传递光能, 其含量多少在一定程度上决定了植物对光的吸收和利用效率, 常常作为研究光合生理的重要指标之一^[20]。植物体内叶绿素含量的增加可以在一定程度上提高其光合速率的转换, 促进植物生长, 进而间接提高的抗逆性。由表 1 可知, 不同浓度的外源水杨酸和硒复配对对低温胁迫下铁皮石斛叶绿素含量的影响不同。其中, 处理 S_8 的叶绿素最高, 其次是 S_7 、 S_9 和 S_6 , 均显著高于 S_1 (CK) 和其他处理; 处理 S_2 的叶绿素最低, 其次是 S_{11} ; S_1 (CK)、 S_{10} 、 S_3 和 S_{12} 的叶绿素含量均较低, 4 个处理间差异不显著。低温胁迫下不同浓度的外源水杨酸和硒复配对对铁皮石斛叶绿素含量的影响表现为 $S_8 > S_7 > S_9 > S_6 > S_5 > S_4 > S_{12} > S_3 > S_{10} > S_1 > S_{11} > S_2$ 。复配剂 S_2 和 S_3 为单一使用外源水杨酸和硒的处理, 复配剂 S_2 的叶绿素含量最低, 显著低于 S_1 (CK) 和其他处理; 复配剂 S_3 与 S_1 (CK) 相比差异不显著, 显著低于 S_5 、 S_6 、 S_7 、 S_8 和 S_9 。据此可初步判断, 外源水杨酸和硒配合使用可以在一定程度上提高铁皮石斛叶绿素含量, 但复配剂的浓度过高或过低均不利于叶绿素含量的增加, 只有在浓度适宜时才可显著提高铁皮石斛叶绿素含量, 由此认为外源水杨酸和硒复配剂 S_6 、 S_7 、 S_8 和 S_9 可以显著提高低温胁迫下铁皮石斛的叶绿素, 促进植物生长。

2.2 外源水杨酸和硒复配对低温胁迫下铁皮石斛 PRO 含量的影响 在低温胁迫下, 植物通过体内 PRO 含量的显著增加来缓解植物受到的伤害, 从而提高其抗寒性^[21]。由表 1 可知, 不同浓度的外源水杨酸和硒复配处理对低温胁迫下铁皮石斛 PRO 含量的影响不同。其中, 处理 S_6 的 PRO 含量最

高, 其次是 S_7 、 S_8 、 S_9 和 S_4 , 均显著高于 S_1 (CK) 和其他处理; 处理 S_1 (CK) 的 PRO 含量最低, 显著低于其他处理, 其次是 S_2 、 S_3 、 S_5 、 S_{12} 、 S_{10} 和 S_{11} ; S_{12} 、 S_{10} 和 S_{11} 处理间 PRO 含量差异不显著。低温胁迫下不同浓度的外源水杨酸和硒复配对对铁皮石斛 PRO 含量的影响表现为 $S_6 > S_7 > S_8 > S_9 > S_4 > S_{11} > S_{10} > S_{12} > S_5 > S_3 > S_2 > S_1$ 。复配剂 S_2 和 S_3 为单一使用外源水杨酸和硒的处理, 二者的 PRO 含量均较低, 显著低于除 S_1 (CK) 之外的任何处理。据此可认为, 外源水杨酸和硒配合使用可以在一定程度上提高铁皮石斛 PRO 含量, 但复配剂的浓度过高或过低均不利于 PRO 含量的增加, 适宜浓度的外源水杨酸和硒配合使用可显著提高铁皮石斛 PRO 含量。由此认为, 外源水杨酸和硒复配剂 S_4 、 S_6 、 S_7 、 S_8 和 S_9 可以显著提高低温胁迫下铁皮石斛的 PRO 含量, 提高其抗寒性。

表 1 水杨酸和硒复配对低温胁迫下铁皮石斛叶绿素、PRO 和 MDA 含量的影响

Table 1 Effects of salicylic acid and selenium treatment on chlorophyll, PRO and MDA contents of *Dendrobium candidum* under low temperature stress

处理 Treatment	叶绿素含量 Chlorophyll content // $\text{mg} \times 10^{-3} / \text{g}$	PRO 含量 PRO content $\mu\text{g} / \text{g}$	MDA 含量 MDA content nmol / g
S_1 (CK)	672.40±2.59 g	11.79±0.12 i	72.90±2.41 a
S_2	591.12±0.35 i	13.24±0.13 h	70.40±0.67 ab
S_3	682.36±0.17 fg	16.56±0.21 g	67.52±1.16 abc
S_4	696.39±3.73 f	29.19±0.05 d	52.40±0.61 efg
S_5	719.65±0.86 e	22.41±0.31 f	53.55±0.15 ef
S_6	800.34±1.76 d	47.97±0.19 a	45.34±0.45 hi
S_7	904.91±0.69 b	40.93±0.24 b	47.36±0.19 ghi
S_8	925.91±1.81 a	39.75±0.34 c	43.81±1.10 i
S_9	839.29±4.46 c	30.18±0.16 d	51.35±0.35 fgh
S_{10}	676.61±6.55 g	26.15±0.12 e	64.69±1.61 bc
S_{11}	644.38±0.78 h	26.51±0.22 e	57.84±1.81 de
S_{12}	684.96±2.58 fg	25.84±0.03 e	61.98±1.21 cd

注: 同列不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences ($P < 0.05$)

2.3 外源水杨酸和硒复配对低温胁迫下铁皮石斛 MDA 含量的影响 植物器官在低温逆境下, 往往发生膜脂过氧化作用, MDA 是其产物之一, 通常利用其作为脂质过氧化指标, 反映细胞膜脂过氧化程度和植物对低温逆境条件反映的强弱, 其含量高与植物抗寒性强弱成反比。由表 1 可知, 不同浓度的外源水杨酸和硒复配对对低温胁迫下铁皮石斛 MDA 含量的影响不同。其中处理 S_8 的 MDA 含量最低, 其次是 S_6 和 S_7 , 显著低于除 S_4 和 S_9 外其他处理, 但三者间差异不显著; 处理 S_1 的 MDA 含量最高, 其次是 S_2 和 S_3 , 3 个处理间 MDA 含量差异不显著, 均显著高于除 S_{12} 和 S_{10} 外的其他处理。低温胁迫下不同浓度的外源水杨酸和硒复配对对铁皮石斛 MDA 含量的影响表现为 $S_1 > S_2 > S_3 > S_{10} > S_{12} > S_{11} > S_5 > S_4 > S_9 < S_7 > S_6 > S_8$ 。复配剂 S_2 和 S_3 为单一使用外源水杨酸和硒的处理, 其 MDA 含量与 S_1 (CK) 相比差异不显著, 均较高。由此可说明, 低温胁迫下外源水杨酸和硒配合使用可降低铁皮石斛 MDA 含量, 但复配剂只有在浓度适宜时才可显著提高

铁皮石斛 MDA 的含量,该研究认为外源水杨酸和硒复配处理 S_6 、 S_7 和 S_8 可以显著降低低温胁迫下铁皮石斛的 MDA 含量,从而提高其抗寒性。

2.4 外源水杨酸和硒复配剂对低温胁迫下铁皮石斛抗氧化酶活性的影响

2.4.1 对 SOD 活性的影响。

氧阴离子自由基是生物氧化、电子传递过程中产生的,可参与物质代谢、诱发细胞的一些不良反应等。当植物遭遇低温胁迫时,细胞中的超氧阴离子自由基积累过多,从而氧化、破坏生物大分子,甚至导致细胞死亡,而 SOD 可清除超氧阴离子自由基,缓解植物受到不良的伤害。

由表 2 可知,不同浓度的外源水杨酸和硒复配处理对低温胁迫下铁皮石斛 SOD 活性的影响有所不同。其中处理 S_8 的 SOD 活性最高,显著高于其他处理;其次是 S_7 和 S_6 ,显著高于除 S_8 处理外的其他处理;处理 S_3 的 SOD 活性最低,显著低于其他处理。低温胁迫下不同浓度的外源水杨酸和硒复配剂对铁皮石斛 SOD 活性的影响表现为 $S_8 > S_7 > S_6 > S_9 > S_5 > S_4 > S_{10} > S_{11} > S_{12} > S_2 > S_1 > S_3$ 。单一使用外源水杨酸和硒的处理 (S_2 和 S_3),其 SOD 活性与 S_1 (CK) 差异显著。故认为,低温胁迫下外源水杨酸和硒配合使用才可显著增加铁皮石斛 SOD 活性;适宜浓度的外源水杨酸和硒复配 (处理 S_6 、 S_7 和 S_8) 可显著提高铁皮石斛 SOD 活性,一定程度上清除或降低低温胁迫造成的超氧阴离子自由基的积累,从而有效缓解铁皮石斛受到的低温伤害。

表 2 水杨酸和硒复配剂对低温胁迫下铁皮石斛 SOD、POD 和 CAT 活性的影响

Table 2 Effects of salicylic acid and selenium on SOD, POD and CAT activities of *Dendrobium candidum* under low temperature stress

处理 Treatment	SOD 活性 SOD activity	POD 活性 POD activity	CAT 活性 CAT activity
S_1 (CK)	536.38±2.83 h	705.48±1.45 e	478.74±8.79 d
S_2	581.89±0.74 g	667.92±2.00 f	480.11±1.77 d
S_3	504.35±2.02 i	648.76±2.63 g	493.52±0.63 d
S_4	845.11±1.85 e	906.45±3.99 d	626.50±4.50 c
S_5	937.90±6.30 d	905.29±2.93 d	611.99±1.73 c
S_6	1 020.15±5.60 b	1 039.81±4.47 b	739.22±4.37 b
S_7	1 031.45±5.50 b	1 000.34±0.86 c	746.69±4.27 b
S_8	1 128.69±3.77 a	1 178.17±6.81 a	754.33±1.74 ab
S_9	984.68±1.57 c	918.80±2.67 d	770.59±1.51 a
S_{10}	669.18±2.86 f	660.87±1.99 fg	485.64±2.30 d
S_{11}	660.49±5.66 f	699.04±2.07 e	364.18±1.64 e
S_{12}	582.60±1.54 g	713.40±0.98 e	375.88±2.81 e

注:同列不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences ($P < 0.05$)

2.4.2 对 POD 活性的影响。

有研究表明^[22],POD 是植物体内抗氧化系统的组成部分,具有抵御组织细胞发生膜质过氧化的作用,POD 酶活性高低与抗寒性强弱密切相关,POD 活性的增强可提高植物的抗寒能力,缓解低温胁迫的伤害。由表 2 可知,不同浓度外源水杨酸和硒复配处理对低温胁迫下

铁皮石斛 POD 活性的影响不同(表 2)。其中处理 S_8 的 POD 活性最高,显著高于其他处理;其次是 S_6 、 S_7 ,其 POD 活性显著高于其余处理。处理 S_3 的 POD 活性最低,显著低于除 S_{10} 外的其他处理;其次是 S_{10} 、 S_2 、 S_{11} 、 S_1 和 S_{12} ,其 POD 活性均较低; S_1 (CK) 与外源水杨酸和硒复配剂浓度较高的处理 (S_{11} 和 S_{12}) 相比,POD 活性差异不显著。低温胁迫下不同浓度外源水杨酸和硒复配剂对铁皮石斛 POD 活性的影响为 $S_8 > S_6 > S_7 > S_9 > S_4 > S_5 > S_{12} > S_1 > S_{11} > S_2 > S_{10} > S_3$ 。

单一使用外源水杨酸和硒的处理 (S_2 和 S_3),其 POD 活性显著低于 S_1 (CK) 和其他处理 (除 S_{10} 外)。据此可说明,单一使用外源水杨酸和硒不仅不能使低温胁迫下的铁皮石斛 POD 活性增加,反而减低 POD 活性;故配合使用外源水杨酸和硒可增加铁皮石斛 POD 活性,但复配剂的浓度过高或过低均不利于 POD 活性的增加,只有在浓度适宜时才可显著提高铁皮石斛 POD 活性。该研究认为,外源水杨酸和硒复配剂处理 S_6 、 S_7 和 S_8 可以显著提高低温胁迫下铁皮石斛的 POD 活性,缓解铁皮石斛低温胁迫的伤害。

2.4.3 对 CAT 活性的影响。

CAT 是植物在逆境条件下酶促防御系统的关键酶之一,在植物胁迫应答及控制细胞的氧化还原平衡等方面起着重要作用,其作用是催化 H_2O_2 分解为 H_2 和 O_2 ^[23]。由表 2 可知,不同浓度的外源水杨酸和硒复配剂对低温胁迫下铁皮石斛 CAT 活性的影响有所不同。其中处理 S_9 的 CAT 活性最高,其次是 S_8 、 S_7 和 S_6 ,显著高于其他处理,这 4 个处理间 CAT 活性表现为: S_9 显著高于 S_6 和 S_7 , S_8 、 S_7 和 S_6 间差异不显著。处理 S_{11} (二者复配剂浓度较高)的 CAT 活性最低,其次是处理 S_{12} ,两者显著低于处理 S_1 (CK) 和其他处理,二者差异不显著;再次是处理 S_1 、 S_2 、 S_{10} 和 S_3 (4 个处理间差异不显著)。低温胁迫下不同浓度外源水杨酸和硒复配剂对铁皮石斛 CAT 活性的影响为 $S_9 > S_8 > S_7 > S_6 > S_4 > S_5 > S_3 > S_{10} > S_2 > S_1 > S_{12} > S_{11}$ 。

单一使用外源水杨酸和硒的处理 (S_2 和 S_3),其 CAT 活性稍高于 S_1 (CK),但差异不显著,由此可判断,单一使用外源水杨酸和硒可使低温胁迫下的铁皮石斛 CAT 活性增加,但效果不明显。低温胁迫下配合使用外源水杨酸和硒可显著提高铁皮石斛 CAT 活性,且复配剂浓度过高 (S_{11} 和 S_{12}) 或过低 (S_4 和 S_5) 均不利于 CAT 活性的增加,只有在浓度适宜才可显著提高铁皮石斛 CAT 活性。该研究认为适宜浓度的外源水杨酸和硒复配 (处理 S_6 、 S_7 、 S_8 和 S_9) 可显著提高其铁皮石斛 CAT 的活性,提高其抗寒性。

3 结论与讨论

该研究表明,单一使用外源水杨酸和硒可在一定程度上提高低温胁迫下铁皮石斛的抗寒性,但效果不明显,外源水杨酸和硒应配合使用能显著缓解铁皮石斛的低温伤害,具体表现为叶绿素含量和脯氨酸 (PRO) 含量的增加,过氧化物酶 (POD)、超氧化物歧化酶 (SOD) 和过氧化氢酶 (CAT) 活性增强,丙二醛 (MDA) 含量下降。

叶绿素是植物进行光合作用时捕获光能的重要物质,其含量的高低在某种程度上与植物的生长密切相关。外源水

杨酸和硒复配的浓度应适宜,过高或过低均不利于铁皮石斛叶绿素含量的增加,该研究认为外源水杨酸和硒复配剂浓度为15/10.0、30/5.0、30/7.5和30/10.0 mg/L时低温胁迫下铁皮石斛的叶绿素含量显著增加,促进植物生长。朱佳等^[24]研究了不同水杨酸处理对低温胁迫条件下小麦幼苗光合作用、叶绿素和可溶性糖含量的影响,表明一定量浓度的水杨酸有助于保护低温胁迫下小麦叶绿体膜,保持其结构的稳定性,从而提高叶绿素合成速率,使小麦维持较高的叶绿素含量。张艳嫣等^[18]研究认为,外源硒处理对低温胁迫下铁皮石斛幼苗叶绿素降解具有缓解效应。故外源水杨酸和硒均具有在低温胁迫下控制铁皮石斛体内叶绿素含量下降的作用,该研究得出了相似的结果。

外源水杨酸和硒复配剂浓度为15/10.0、30/5.0和30/7.5 mg/L可以显著提高低温胁迫下铁皮石斛的PRO含量,显著降低MDA含量。谭艳玲等^[16]研究表明,PRO可稳定细胞含水量,维持细胞膜结构,通过防止细胞膜脂质过氧化来降低低温胁迫对铁皮石斛造成的伤害,PRO含量的增加可有效提高铁皮石斛的抗寒性;MDA在铁皮石斛植物体内含量的降低,可减弱膜系统受损程度,进而提高铁皮石斛的抗寒性。吴燕等^[2]研究认为,外施水杨酸可以使低温胁迫的乌塌菜叶片迅速积累大量脯氨酸,从而有效缓解低温胁迫对乌塌菜幼苗的影响。张艳嫣^[25]喷施外源硒溶液显著增加了低温胁迫下铁皮石斛体内PRO含量的积累,MDA含量平缓减少,在一定程度上提高了植物对低温胁迫的抵抗与适应能力。以上报道证明,外源水杨酸和硒可使低温胁迫条件下植物体内的MDA含量降低、PRO含量升高,与该研究结果相一致,但这些研究均是单一使用外源水杨酸和外源硒。该研究发现,适宜浓度的外源水杨酸和外源硒应配合使用,在提高铁皮石斛抗寒性方面比单一使用外源水杨酸和外源硒效果更佳。

POD、SOD和CAT是植物在逆境条件下酶促防御系统的关键酶,三者相互协调配合清除 H_2O_2 ,使体内自由基维持在正常的动态水平,减少膜质过氧化反应,减轻细胞膜的损伤,其活性的强弱直接关系到植物抵御低温伤害的能力^[26]。孙丽^[4]和张彩虹等^[6]分别研究了外源硒对低温胁迫下草莓和番茄幼苗抗氧化系统的影响,发现喷施硒有效增加了低温胁迫下植物叶片中的SOD、POD和CAT活性,有效清除了低温伤害产生的 H_2O_2 。有研究表明^[2-5],使用一定浓度的外源水杨酸提高了低温胁迫下的小麦、乌塌菜、黄瓜、水稻等抗氧化酶活性。该研究将外源水杨酸和硒配合使用,可使低温胁迫下铁皮石斛的抗氧化酶活性显著增加,从而提高了低温胁迫下铁皮石斛清除自由基,保护细胞膜,抵御低温伤害的能力。

综合考虑6个生理指标,低温胁迫下叶面喷施浓度为15/10.0、30/5.0和30/7.5 mg/L的外源水杨酸和硒复配剂,铁

皮石斛叶绿素含量、PRO含量、POD、SOD和CAT活性均显著增加,MDA含量显著下降,可显著提高铁皮石斛抗寒性,降低低温胁迫造成的伤害。

参考文献

- [1] 赵培培,于立河,赵长江.低温下硅对春小麦幼苗生长及生理特性的影响[J].黑龙江八一农垦大学学报,2015,27(1):15-21,36.
- [2] 吴燕,高青海.低温胁迫下乌塌菜对外源硅的生理响应[J].植物生理学通讯,2010,46(9):928-932.
- [3] 王海红,祝鹏飞,束良佐,等.硅对低温胁迫下黄瓜幼苗生长的影响[J].生态科学,2011,30(1):38-42.
- [4] 孙丽.外源硒对低温胁迫下草莓幼苗的缓解效应及对AsA-GSH循环的影响[D].杭州:浙江大学,2016:17-29.
- [5] 刘昱卉,张恩让.低温下硒对萝卜幼苗抗氧化系统的影响[J].山地农业生物学报,2009,28(4):298-301.
- [6] 张彩虹,于秀针,姜鲁艳,等.硒对低温胁迫下番茄幼苗叶片抗氧化系统的影响[J].新疆农业科学,2014,51(6):1083-1089.
- [7] 刘慧雯.LED光质对铁皮石斛组培拟原球茎和幼苗生长及主要有效成分的影响[D].泰安:山东农业大学,2017:16-27.
- [8] 罗剑飘,谭嘉娜,杨俊贤,等.不同氮磷钾营养水平对铁皮石斛组培苗生长的影响[J].南方农业学报,2017,48(3):481-487.
- [9] 喻静,蒋海侠,张保钱,等.两株铁皮石斛内生真菌对组培苗和原球茎生长的影响[J].植物病理学报,2017,47(4):541-550.
- [10] 姜硕,许哲祥,吴桐,等.铁皮石斛组织培养苗活性成分变化规律研究[J].安徽农业科学,2020,48(23):218-219,246.
- [11] 谢静,许环映,吴建涛,等.栽培基质对铁皮石斛生长的影响[J].热带作物学报,2017,38(1):28-32.
- [12] 徐旭栋,蒋瑞彬,蓝小明,等.人工栽培铁皮石斛种质资源遗传多样性的SCoT分析[J].中华中医药杂志,2013,28(7):2123-2125.
- [13] 斯金平,诸燕,朱玉球.铁皮石斛人工栽培技术研究与应用进展[J].浙江林业科技,2009,29(6):66-70.
- [14] 黎万奎,胡之璧,周吉燕,等.人工栽培铁皮石斛与其他来源铁皮石斛中氨基酸与多糖及微量元素的比较分析[J].上海中医药大学学报,2008,22(4):80-83.
- [15] 尚迪,张军,刘静,等.运用AHP法评价五种药用石斛在成都的引种栽培[J].南方农业,2017,11(19):8-10,13.
- [16] 谭艳玲,张艳嫣,高冬冬,等.低温胁迫对铁皮石斛抗坏血酸过氧化物酶活性及丙二醛和脯氨酸含量的影响[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2012,38(4):400-406.
- [17] 史骥清,吴雅,王怀青,等.不同地域铁皮石斛抗寒性研究[J].现代农业科技,2009(20):118-119.
- [18] 张艳嫣,陈丹,谭艳玲,等.外源硒对低温胁迫下铁皮石斛幼苗的缓解效应及其抗氧化生理特征变化[J].西北植物学报,2013,33(4):747-754.
- [19] 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,2000:134-137.
- [20] 杨碧云,叶丽萍,钟凤林,等.低温处理对紫色小白菜品质及光合特性的影响[J].安徽农业大学学报,2019,46(1):173-180.
- [21] 朱虹,祖元刚,王文杰,等.逆境胁迫条件下脯氨酸对植物生长的影响[J].东北林业大学学报,2009,37(4):86-89.
- [22] 王荣富.植物抗寒指标的种类及其应用[J].植物生理学通讯,1987,23(3):49-55.
- [23] 南芝润,范月仙.植物过氧化氢酶的研究进展[J].安徽农学通报,2008,14(5):27-29.
- [24] 朱佳,梁永超,丁燕芳,等.硅对低温胁迫下冬小麦幼苗光合作用及相关生理特性的影响[J].中国农业科学,2006,39(9):1780-1788.
- [25] 张艳嫣.外源硒对低温胁迫下铁皮石斛幼苗的缓解效应及其抗氧化生理特征的变化[D].杭州:浙江大学,2013:38-50.
- [26] 梁艳荣,胡晓红,张颖力,等.植物过氧化物酶生理功能研究进展[J].内蒙古农业大学学报(自然科学版),2003,24(2):110-113.