

丁久玲,郑 凯,史 俊,等. 乙烯利和硒复配剂对铁皮石斛抗寒性的影响[J]. 江苏农业科学,2020,48(20):164-169.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.20.031

乙烯利和硒复配剂对铁皮石斛抗寒性的影响

丁久玲,郑 凯,史 俊,席刚俊

(江苏农林职业技术学院,江苏句容 212400)

摘要:为研究低温胁迫下外源乙烯利和硒复配剂处理对铁皮石斛抗寒性的影响,将铁皮石斛幼苗在 2℃ 下低温胁迫 7 d 后,用不同浓度的外源乙烯利和硒复配剂进行叶面喷施,其中外源乙烯利和外源硒均设置了 4 个浓度梯度,分别为 0、2、5、10 mg/L 和 0、5、7.5、10 mg/L,采用不完全随机设计将二者进行复配,共设 12 种复配剂。结果表明,低温胁迫下外源乙烯利和硒应配合使用,具体表现为可使叶绿素含量和脯氨酸(PRO)含量增加,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;喷施浓度为 2/7.5、5/7.5、2/10(mg/L)/(mg/L)的乙烯利和硒复配剂可使铁皮石斛叶绿素含量、PRO 含量、抗氧化酶活性增加,MDA 含量下降,从而提高铁皮石斛的抗寒性,降低植物受到的低温伤害。

关键词:铁皮石斛;低温胁迫;乙烯利;硒;抗寒性

中图分类号:S567.23+9.01 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2020)20-0164-06

铁皮石斛(*Dendrobium officinale* Kimura et Migo)是我国传统的名贵中药材,具有健胃、滋阴、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,亦是铁皮石斛种植和生产中亟待解决的问题。

乙烯利是一种植物生长调节剂,有研究认为,乙烯利可以提高香蕉、葡萄等植物的抗寒性^[1-3]。硒(Se)是对植物生长发育有益的营养元素,可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研究较少,孙丽等研究认为,适宜浓度的硒可以减弱低温对草莓、萝卜、番茄等幼苗^[4-6]的伤害,提

高植物的耐寒性。关于乙烯利和外源硒配合使用提高植物耐寒性的研究至今处于空白状态。

目前对于铁皮石斛的研究多集中于组培^[7-9]、栽培^[10-12]、药用^[13-14]等方面,涉及低温胁迫的文献相对较少^[15-16],对于添加乙烯利、硒缓解低温胁迫的研究报道更少,马环等研究发现,乙烯利可提高铁皮石斛的抗寒性^[17];张艳嫣等研究发现,适量浓度外源硒可使铁皮石斛幼苗的耐冷性增强^[18]。乙烯利和硒配合使用对低温胁迫下铁皮石斛的抗寒性是否有影响尚未见报道。本研究基于外源物(乙烯利和硒)可有效缓解植物低温伤害的理论知识,揭示乙烯利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(乙烯利和硒复配剂)的适宜浓度等关键技术难题,以期为提高铁皮石斛的产量和低温胁迫下幼苗成活率等生产问题提供理论指导,并为铁皮石斛在我国大范围推广应用提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料

以出瓶栽培 1 年的铁皮石斛组培苗为供试材料,将其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

从温室栽培床上挖出生长均匀、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

收稿日期:2020-01-08

基金项目:江苏农林职业技术学院项目(编号:2018kj42);江苏现代农业(特粮特经)产业技术体系句容中药材推广示范基地项目(编号:JATS[2018]230)。

作者简介:丁久玲(1978—),女,河南许昌人,硕士,副研究员、高级工程师,从事园林植物应用及植物抗性生理方面的研究。E-mail:317569479@qq.com。

通信作者:郑 凯,硕士,副研究员、高级工程师,从事植物资源收集及快繁方面的研究。E-mail:78056829@qq.com。

塑料花盆(规格为高 18 cm、底面直径 15 cm)中,每盆 6 株。置于大棚内正常培养 15 d 后置于医用冷藏箱内在 2 ℃ 下低温胁迫 7 d, 然后进行外源乙烯利和硒复配剂处理。

外源乙烯利和外源硒均设置了 4 个浓度梯度,分别为 0、2、5、10 mg/L 和 0、5、7.5、10 mg/L, 采用不完全随机设计将二者进行复配,共获得 12 种复配剂处理,具体为外源乙烯利浓度/外源硒浓度:0/0、5/0、0/7.5、2/5、2/7.5、2/10、5/5、5/7.5、5/10、10/5、10/7.5、10/10(mg/L)/(mg/L),其相应编号分别为 Y1(对照,即只喷水)、Y2、Y3、Y4、Y5、Y6、Y7、Y8、Y9、Y10、Y11、Y12。每个处理 3 次重复。外源硒用分析纯亚硒酸钠(Na_2SeO_3),外源乙烯利为 40% 乙烯利水剂。复配剂以叶面喷施的形式进行施用,喷洒至叶片完全湿润有水珠滴落为准,之后置于人工气候箱内培养 20 d。人工气候箱条件设定:温度为 25 ℃,光照度为 4 000 lx,光—暗周期为 12 h—12 h。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 20 d 后采集倒 3~5 张叶片,置于 -75 ℃ 低温冰箱中进行保存,用于生理指标的测定。

1.3 测定项目

叶绿素含量参照《植物生理生化实验原理与技术(第二版)》^[19]中的叶绿体色素含量测定方法进行测定。

脯氨酸(PRO)含量的测定利用脯氨酸分光光度计试剂盒法。

丙二醛(MDA)含量的测定利用丙二醛分光光度计试剂盒法。

超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定利用超氧化物歧化酶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。

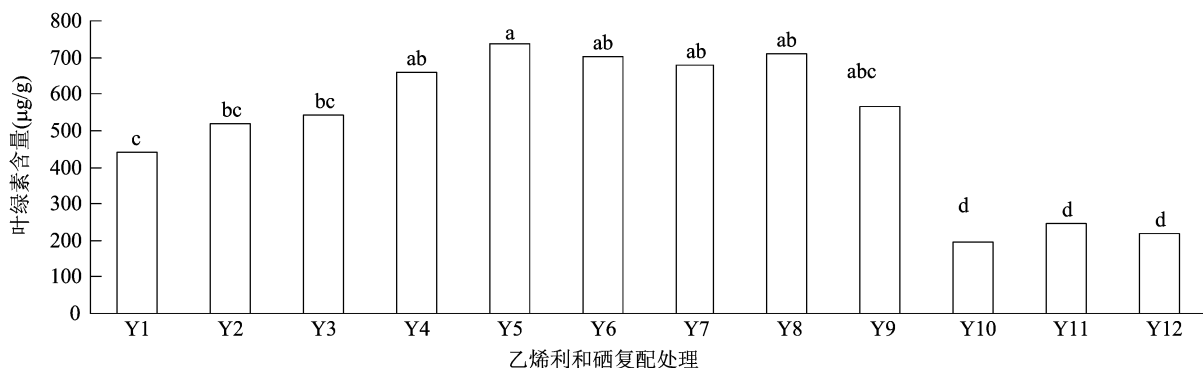
过氧化物酶(POD)活性的测定利用过氧化物酶分光光度计试剂盒法。

过氧化氢酶(CAT)活性的测定利用过氧化氢酶分光光度计试剂盒法。

2 结果与分析

2.1 低温胁迫下乙烯利和硒复配剂对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^[20]之一。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,促进植物生长,进而间接提高抗逆性。由图 1 可知,不同浓度的外源乙烯利和硒复配剂对低温胁迫下铁皮石斛叶绿素含量的影响不同。Y5 处理的叶绿素含量最高,其次是 Y8、Y6、Y7、Y4、Y9 处理,这 6 个处理间叶绿素含量差异不显著,除 Y9 处理外,其他 5 个处理均显著高于对照(Y1);Y10、Y11、Y12 处理的叶绿素含量均显著低于对照,3 个处理间叶绿素含量差异不显著。低温胁迫下不同浓度外源乙烯利和硒复配剂处理的铁皮石斛叶绿素含量表现为 Y5 > Y8 > Y6 > Y7 > Y4 > Y9 > Y3 > Y2 > Y1 > Y11 > Y12 > Y10。Y2、Y3 处理为单一使用外源乙烯利或硒的处理,其叶绿素含量稍高于对照(Y1),但与对照差异不显著。据此可初步判断,低温胁迫下外源乙烯利和硒配合使用可增加铁皮石斛叶绿素含量,且二者配合使用时适宜的浓度可使铁皮石斛叶绿素含量显著增加,复配剂的浓度过高或过低均会影响叶绿素含量的增加。本研究认为,适宜浓度的外源乙烯利和硒复配剂(Y4、Y5、Y6、Y7、Y8 处理)可以显著提高低温胁迫下铁皮石斛的叶绿素含量,促进植物生长。



不同处理间标有不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。下图同
图1 乙烯利和硒复配剂对低温胁迫下铁皮石斛叶绿素含量的影响

2.2 低温胁迫下乙烯利和硒复配剂对铁皮石斛 PRO 含量的影响

研究表明,在低温胁迫下,植物可通过体内 PRO 含量的显著增加来缓解受到的伤害,从而提高抗寒性^[21]。由图 2 可知,不同浓度的乙烯利和硒复配剂对低温胁迫下铁皮石斛 PRO 含量的影响各不相同。12 组处理中,Y5 处理的 PRO 含量最高,其次是 Y6、Y8、Y4、Y9、Y7 处理,这 6 个处理的 PRO 含量差异不显著,均高于对照,其中 Y5、Y6 处理显著高于对照;Y10 处理的 PRO 含量最低,其次是 Y11、Y2、Y12、Y3、Y1、Y7、Y9 处理,8 个处理间 PRO 含量差异不显著且均较低。低温胁迫下不同浓度乙烯利

和硒复配剂处理的铁皮石斛 PRO 含量表现为 $Y5 > Y6 > Y8 > Y4 > Y9 > Y7 > Y1 > Y3 > Y12 > Y2 > Y11 > Y10$ 。Y2、Y3 处理为单一使用乙烯利或硒的处理,其 PRO 含量与对照相比差异不显著且均较低。据此可判断,低温胁迫下乙烯利和硒应配合使用才可明显地增加铁皮石斛的 PRO 含量。乙烯利和硒配合使用时浓度过高或过低均不利于 PRO 含量的增加,只有在浓度适宜时才可显著提高铁皮石斛的 PRO 含量。本研究认为,Y5、Y6 处理的乙烯利和硒复配剂可以显著提高低温胁迫下铁皮石斛的 PRO 含量,进而提高其抗寒性。

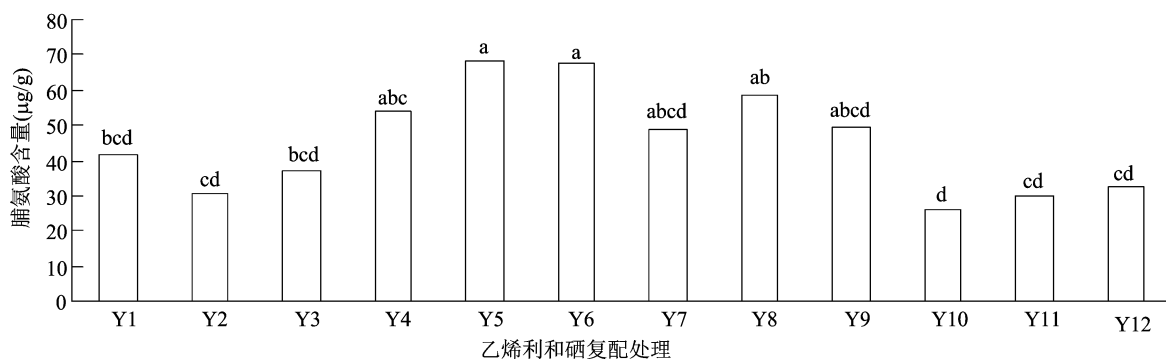


图2 乙烯利和硒复配剂对低温胁迫下铁皮石斛脯氨酸含量的影响

2.3 低温胁迫下乙烯利和硒复配剂对铁皮石斛 MDA 含量的影响

植物器官在低温逆境下,往往会发生膜脂过氧化作用,MDA 是膜脂过氧化作用的产物之一,通常将其含量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应的强弱,其含量高低与植物抗寒性强弱呈反比。由图 3 可知,不同浓度的外源乙烯利和硒复配剂对低温胁迫下铁皮石斛 MDA 含量的影响不同。Y6 处理的 MDA 含量最低,与对照相比下降最为显著,其次是 Y8、Y4、Y9、Y7、Y5 处理,这 6 个处理的 MDA 含量差异不显著,且后 5 个处理与对照相比差异不显著。Y10 处理的 MDA 含量最高,其次是 Y1、Y12、Y3、Y2、Y11 处理,这 6 个处理差异不显著且均较高。低温胁迫下不同浓度的外源乙烯利和硒复配剂处理的铁皮石斛 MDA 含量表现为 $Y6 < Y8 < Y4 < Y9 < Y7 < Y5 < Y11 < Y2 < Y3 < Y12 < Y1 < Y10$ 。单一使用乙烯利(Y2 处理)和硒(Y3 处理)的处理,与对照相比,MDA 含量差异不显著,说明低温胁迫下外源乙烯利和硒应配合使用才可明显降低铁皮石斛 MDA 含量。植物体内 MDA 含量降低,可以减弱膜系统

受损程度,本研究认为,复配剂浓度过高或过低均会导致铁皮石斛 MDA 含量增加,适宜浓度的乙烯利和硒复配剂(Y6 处理)可显著降低铁皮石斛体内 MDA 的含量,从而提高其抗寒性。

2.4 乙烯利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 乙烯利和硒复配剂对低温胁迫下铁皮石斛 SOD 活性的影响

超氧阴离子自由基是在生物氧化、电子传递过程中产生的,可参与物质代谢过程、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,缓解植物受到的不良伤害。由图 4 可知,不同浓度的乙烯利和硒复配剂对低温胁迫下铁皮石斛 SOD 活性的影响有所不同。Y5、Y7、Y8 处理与对照相比,SOD 活性明显上升;Y3、Y4、Y6 这 3 个处理的 SOD 活性稍高于对照,与对照差异不显著;Y9、Y10、Y11、Y12 处理的 SOD 活性低于对照。低温胁迫下不同浓度的乙烯利和硒复配剂处理的铁皮石斛 SOD 活性表现为 $Y8 > Y5 > Y7 > Y4 > Y6 > Y3 > Y1 > Y2 > Y9 > Y11 > Y10 > Y12$ 。

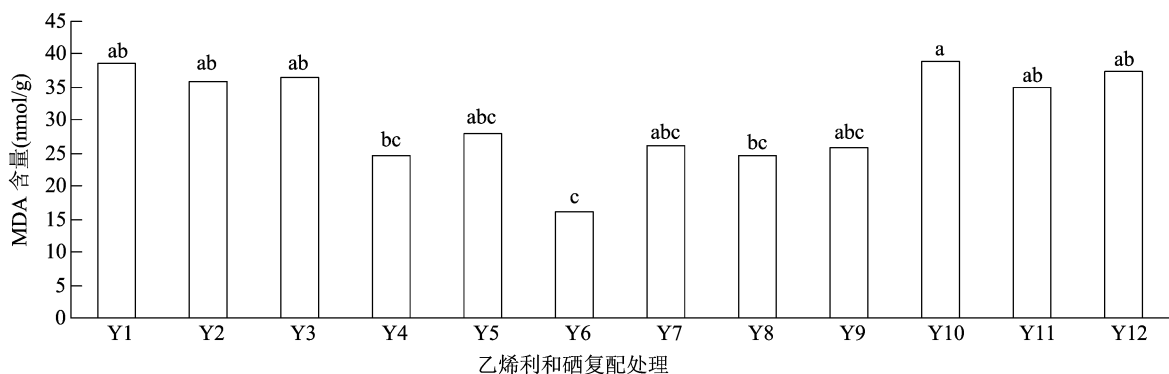


图3 乙烯利和硒复配剂对低温胁迫下铁皮石斛 MDA 含量的影响

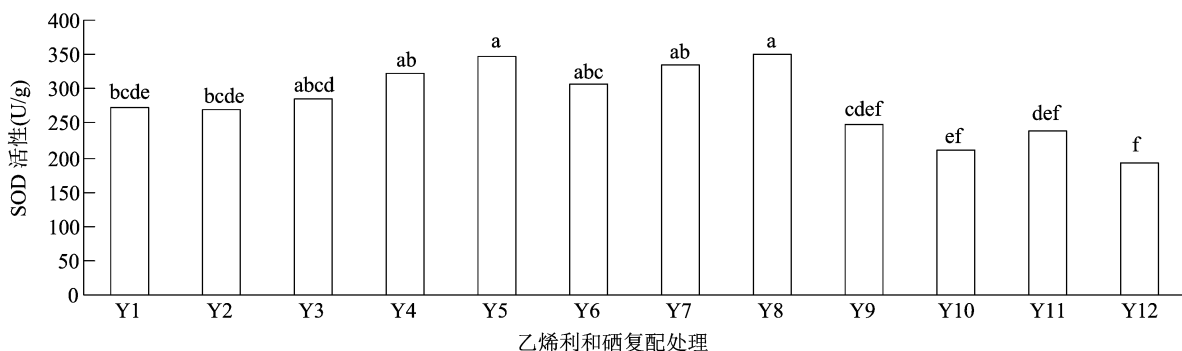


图4 乙烯利和硒复配剂对低温胁迫下铁皮石斛 SOD 活性的影响

Y2 处理和 Y3 处理分别为单一使用乙烯利和硒的处理,与对照相比,SOD 活性差异不显著,故认为,低温胁迫下乙烯利和硒应配合使用才可明显增加铁皮石斛的 SOD 活性,从而提高其抗寒性。本研究认为,适宜浓度的乙烯利和硒复配剂(Y5、Y7、Y8 处理)可明显提高低温胁迫下铁皮石斛的 SOD 活性,可在一定程度上减少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。

2.4.2 乙烯利和硒复配剂对低温胁迫下铁皮石斛 POD 活性的影响 研究表明,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 活性高低与植物抗寒性强弱密切相关^[22]。从图 5 可以看出,不同浓度的乙烯利和硒复配剂对低温胁迫下铁皮石斛 POD 活性的影响不同。Y6 处理的 POD 活性最高,显著高于其他处理;其次是 Y4、Y8、Y7、Y9、Y5 处理,这 5 个处理间 POD 活性差异不显著;Y11 处理的 POD 活性最低,其次是 Y2、Y3、Y10、Y12、Y1 处理,均较低。低温胁迫下不同浓度的乙烯利和硒复配剂处理的铁皮石斛 POD 活性表现为 Y6 > Y4 > Y8 > Y7 > Y9 > Y5 > Y10 > Y3 > Y2 > Y12 > Y1 > Y11。Y2 处理和 Y3 处理分别为单一使用外源乙烯利和硒的处理,其 POD

活性与对照相比差异不显著且均较低。由此可知,单一施用乙烯利或硒也可以提高 POD 活性,但是效果不佳,只有在二者相互配合且乙烯利浓度不得过高的情况下 POD 活性才会显著增加,POD 活性的增强可提高铁皮石斛的抗寒能力,缓解低温胁迫的伤害。乙烯利和硒复配剂可以在一定程度上提高铁皮石斛的 POD 活性,但复配剂的浓度过高或过低均不利于 POD 活性稳定增加,只有在浓度适宜时才可显著提高铁皮石斛的 POD 活性。本研究认为,Y6 处理的乙烯利和硒复配剂可以显著提高低温胁迫下铁皮石斛的 POD 活性。

2.4.3 乙烯利和硒复配剂对低温胁迫下铁皮石斛 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,在植物胁迫应答以及控制细胞的氧化还原平衡等方面起着重要的作用,可催化 H_2O_2 分解为 H_2 和 O_2 ^[23]。由图 6 可知,不同浓度的乙烯利和硒复配剂对低温胁迫下铁皮石斛 CAT 活性的影响均不显著。Y5、Y8 处理的 CAT 活性较高,对照的 CAT 活性最低。低温胁迫下不同浓度的外源乙烯利和硒复配剂处理的铁皮石斛 CAT 活性表现为 Y5 > Y8 > Y6 > Y7 > Y4 > Y9 > Y12 > Y3 > Y10 > Y11 > Y2 > Y1。外源乙烯利和硒复配剂对铁皮石斛 CAT 活性有一定的促进作用,但效果不显著。

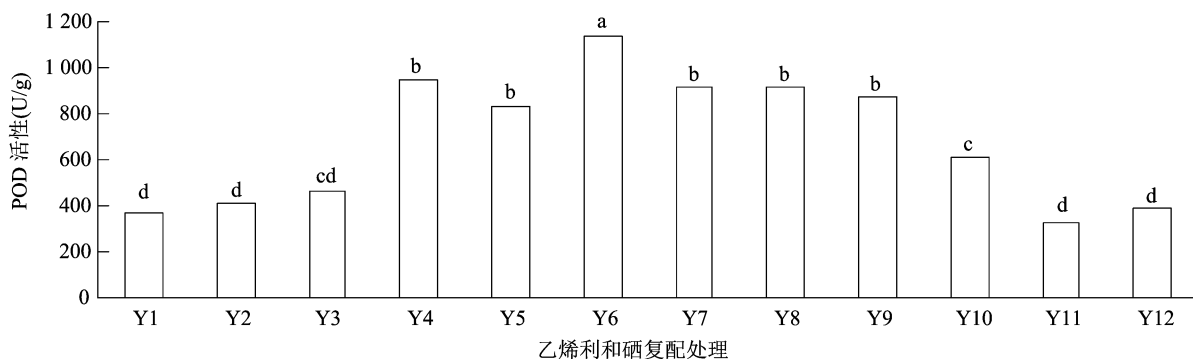


图5 乙烯利和硒复配剂对低温胁迫下铁皮石斛 POD 活性的影响

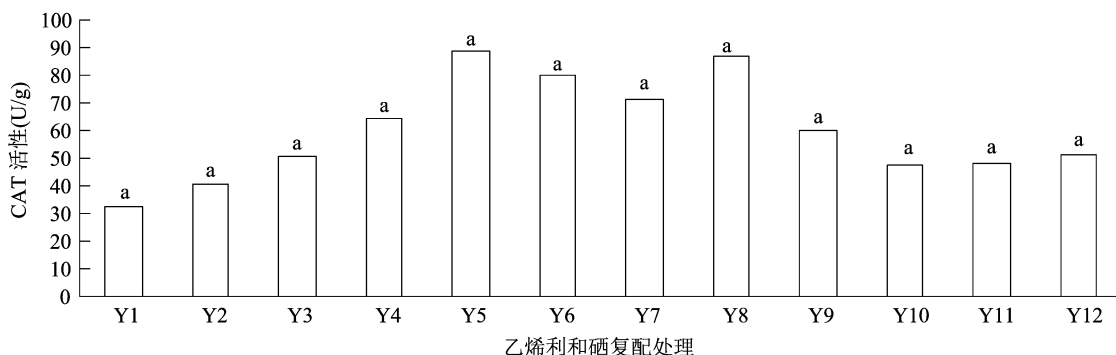


图6 乙烯利和硒复配剂对低温胁迫下铁皮石斛 CAT 活性的影响

3 结论与讨论

对于外源物(乙烯利和硒)提高铁皮石斛抗寒性的研究,马环等和张艳嫣等进行了相关报道,前者的研究只涉及电导率一种指标,发现喷施 50 mg/L 乙烯利于低温处理后的铁皮石斛上,植物叶片相对电导率显著降低,铁皮石斛的抗寒性提高^[17];后者以叶绿素含量、MDA 含量和 PRO 含量 3 个指标为测定对象,结果表明,0.05 ~ 0.10 mg/L 外源硒可提高铁皮石斛幼苗的耐冷性^[18]。低温逆境胁迫会对植物产生一定程度的损伤,对其生理特性产生多种影响,仅研究几个指标具有片面性。本研究以叶绿素含量、脯氨酸含量、丙二醛含量、SOD 活性、POD 活性和 CAT 活性等 6 个生理指标为测定对象,可综合反映铁皮石斛的抗寒性强弱。

本研究表明,外源乙烯利和硒配合使用可在一定程度上减缓铁皮石斛的低温伤害,具体表现为叶绿素、PRO 含量增加,POD、SOD、CAT 活性增强,MDA 含量下降。

乙烯利和硒复配剂的浓度应适宜,过高或过低均不利于铁皮石斛叶绿素含量的增加,本研究认为,外源乙烯利和硒复配剂浓度为 2/5、2/7.5、2/10、5/5、5/7.5 (mg/L)/(mg/L)时可显著提高低

温胁迫下铁皮石斛的叶绿素含量,促进植物生长。冯仁军等的研究表明,低温胁迫下乙烯利抑制叶绿素含量的减少^[24]。张艳嫣等研究发现,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^[18]。乙烯利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^[24],本研究得出了相似的结果。

乙烯利和硒复配剂浓度为 2/7.5、2/10 (mg/L)/(mg/L)时可以显著提高低温胁迫下铁皮石斛的 PRO 含量并降低 MDA 含量。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植物造成的伤害^[15],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^[15]。

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,减少膜脂的过氧化反应,减轻细胞膜的损伤,在一定程度上降低低温胁迫对植物造成的损伤^[25-26],提高植物的抗寒性。张彩虹等研究了外源硒对低温胁迫下番茄幼苗抗氧化系统的影响,发现 0.9 mg/kg 的 Se 有效增加了低温胁迫下番茄叶片中的 SOD、POD、CAT 活

性^[27]。韦弟等的研究表明,200 mg/L 的乙烯利可通过提高抗氧化酶活性和减少膜损伤来增强香蕉幼苗抗寒性^[2]。本研究将乙烯利和硒配合使用,得出了与此相似的结论,认为喷施浓度为 2/7.5、5/5、5/7.5 (mg/L)/(mg/L) 的外源乙烯利和硒复配剂可以使低温胁迫下铁皮石斛的抗氧化酶活性增加,从而提高铁皮石斛的抗寒性能力,缓解低温胁迫的伤害。

综上所述,在 2 ℃ 低温胁迫下喷施浓度为 2/7.5、5/7.5、2/10 (mg/L)/(mg/L) 的乙烯利和硒复配剂可使铁皮石斛幼苗的叶绿素含量、PRO 含量、POD、SOD 活性均明显增加,MDA 含量下降,从而提高铁皮石斛的抗寒性,降低低温造成的伤害。

参考文献:

- [1] 韦 弟,李杨瑞,邸南南,等. 乙烯利对香蕉抗寒性的影响[J]. 热带作物学报,2009,30(12):1789-1792.
- [2] 韦 弟,李杨瑞,邸南南,等. 乙烯利提高香蕉幼苗抗寒性的生理效应[J]. 热带作物学报,2009,30(10):1447-1451.
- [3] 王文举,王振平,平吉成,等. 乙烯利对赤霞珠葡萄几种抗寒性指标的影响[J]. 中外葡萄与葡萄酒,2005(5):13-14.
- [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.
- [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.
- [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] 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.
- [11] 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.

- [12] 斯金平,诸 燕,朱玉球,等. 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 马 环,类成霞,钟双林,等. 不同浓度乙烯利对铁皮石斛抗寒性的影响[J]. 现代农业科技,2014(5):125,129.
- [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.
- [20] 吴凯朝,叶燕萍,李杨瑞,等. 喷施乙烯利对甘蔗群体冠层结构及一些抗旱性生理指标的影响[J]. 西南农业学报,2004,17(6):724-729.
- [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(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] 冯仁军,卢利方,张丽丽,等. 乙烯利在不同温度下对香蕉叶片褪绿的作用不同[J]. 中国农学通报,2010,26(21):385-387.
- [25] 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.
- [26] 孙玉珺,秦东玲,伊 凡,等. 外源水杨酸对低温胁迫下玉米幼苗生长及生理特性的影响[J]. 江苏农业学报,2018,34(4):726-734.
- [27] 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.