

硒对郑麦 366 雌雄蕊原基分化期抗倒春寒能力的影响

王永锋¹, 李歌星², 赵新亮², 刘明久², 张自阳^{2*} (1. 原阳县农业农村局, 河南原阳 453500; 2. 河南科技学院, 河南新乡 453003)

摘要 为探讨不同浓度的硒溶液对小麦抗倒春寒能力的影响, 以盆栽低温敏感型小麦品种郑麦 366 为试验材料, 分别用 0、0.3、0.6、0.9、1.2、1.5、2.4 mg/L 的亚硒酸钠溶液喷施雌雄蕊原基分化期的郑麦 366 幼苗, 3 d 后将各处理材料放入人工气候室 0 °C 低温胁迫处理 36 h, 测定各处理中郑麦 366 叶片的抗氧化酶活性及丙二醛含量, 成熟期调查结实性。结果表明, 36 h 低温处理显著降低了郑麦 366 的结实率, 不同浓度亚硒酸钠溶液处理后低温胁迫的郑麦 366 结实性和叶片抗氧化酶活性均呈现先升高再降低的趋势。经亚硒酸钠溶液喷施后低温处理的结实性均低于常温对照处理, 0.9 mg/L 的亚硒酸钠溶液处理增加了郑麦 366 叶片中过氧化氢酶 (CAT)、超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化物酶 (POD) 和抗坏血酸过氧化物酶 (APX) 的活性, 结实性最高; 丙二醛 (MDA) 含量呈现出先降低再升高的趋势, 在 0.9 mg/L 的处理浓度下含量最低。结果表明, 硒通过提高郑麦 366 叶片中抗氧化酶活性、降低丙二醛含量来提高小麦应对倒春寒胁迫的能力, 该研究结果为硒用于小麦抗倒春寒胁迫的研究提供了理论参考, 为提高大田小麦倒春寒能力提供技术支撑。

关键词 小麦; 雌雄蕊原基分化期; 硒; 低温胁迫; 结实性; 抗氧化酶活性

中图分类号 S512.1 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)19-0025-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.19.007

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effects of Selenium on Low Temperature Stress Resistance of Zhengmai 366 at Stamen and Pistil Differentiation Stage

WANG Yong-feng¹, LI Ge-xing², ZHAO Xin-liang² et al (1. Agriculture and Rural Bureau of Yuanyang County, Yuanyang, Henan 453500; 2. Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang, Henan 453003)

Abstract In order to investigate the effects of different concentrations of selenium solution on the resistance of wheat to reverse spring cold, the potted low-temperature sensitive wheat variety Zhengmai 366 was used as experimental material. Zhengmai 366 seedlings were sprayed with 0, 0.3, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5 and 2.4 mg/L sodium selenite solutions, respectively. After 3 days, each treatment material was placed into an artificial climate chamber under low temperature stress at 0 °C for 36h. The antioxidant enzyme activities and malondialdehyde content of zhengmai 366 leaves were determined in each treatment, and fruit setting was investigated at maturity stage. The results showed that low temperature treatment for 36h significantly reduced the seed setting rate of Zhengmai 366, and the seed setting and antioxidant enzyme activity of Zhengmai 366 under different concentrations of sodium selenite solution increased first and then decreased. After spraying with sodium selenite solution, the seed setting of low temperature treatment was lower than that of normal temperature control. 0.9mg/L sodium selenite solution increased the activities of catalase (CAT), superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD) and ascorbate peroxidase (APX) in Zhengmai 366 leaves, and the seed setting was the highest. The content of malondialdehyde (MDA) showed a trend of first decreasing and then increasing, and the content was the lowest at 0.9mg/L. In conclusion, selenium could improve the ability of wheat to cope with inverted cold stress by increasing the activity of antioxidant enzymes and reducing the content of malondialdehyde in Zhengmai 366 leaves. The results provided theoretical reference for the study of selenium in wheat resistance to inverted cold stress, and provided technical support for improving the ability of wheat to cope with inverted cold stress in field.

Key words Wheat; Stamen and pistil differentiation stage; Selenium; Low temperature stress; Fruit setting; Antioxidant enzyme activity

硒是动植物生长发育所必需的营养元素, 已有研究表明, 硒对植物的生长发育具有多种生理效应影响, 适量的硒可以清除植物体内过量自由基, 在一定程度上硒能够缓解植物因遭受胁迫造成的损伤^[1], 研究证明硒增强了植株自身的抗氧化能力, 从而提高植株的抗逆境和抗衰老的能力, 保证植株的正常生长^[2]。

春季低温(倒春寒)是影响黄淮及长江中下游冬小麦生产的主要气象灾害之一。近年来, 春季低温灾害频发。1981—2019 年的 28 年间, 我国小麦主产区共发生 14 次晚春寒流, 频率高达 50%。春季, 从雄蕊原基分化期到花药分离期的幼穗发育对低温敏感, 这时如果出现倒春寒, 将直接导致小麦幼穗畸形, 小花发育受阻, 小麦穗粒数下降, 从而导致小麦产量严重下降^[3-4]。而近年来随着全球气候的变化异常, 极端温度事件频频发生, 小麦在生育期内遭遇倒春寒的可能性也由此增大。倒春寒已经成为限制河南小麦产量及

品质的重要因素^[5]。倒春寒具有随机性和不可预测性, 使得农艺预防措施和补救方法很难跟上, 容易对小麦产量造成不可逆转的损失^[6]。

研究表明, 硒提高了小麦幼苗的抗旱性, 促进了小麦种子萌发, 但用硒元素用于研究倒春寒的报道较少。鉴于此, 笔者为探讨不同浓度的硒溶液对小麦抗倒春寒能力的影响, 以盆栽低温敏感型小麦品种郑麦 366 为试验材料, 分别用 0、0.3、0.6、0.9、1.2、1.5、2.4 mg/L 的亚硒酸钠溶液喷施雌雄蕊原基分化期的郑麦 366 幼苗, 3 d 后将各处理材料放入人工气候室 0 °C 低温胁迫处理 36 h, 测定各处理中郑麦 366 叶片的抗氧化酶活性及丙二醛含量, 成熟期调查结实性, 以期对硒元素对小麦抗春季低温胁迫的研究提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料 试验材料为郑麦 366, 由河南科技学院作物遗传育种实验室提供。

1.2 试验方法

1.2.1 试验材料的准备。 准备郑麦 366 品种的种子, 在小麦播种期将其稀播于塑料盆中, 编号挂牌, 待出苗后定期浇水, 将其放于室外使保持在自然条件下生长。

基金项目 河南省科技攻关项目(201102110304, 212102110298)。

作者简介 王永锋(1974—), 男, 河南原阳人, 高级农艺师, 从事农业技术推广工作。* 通信作者, 副教授, 硕士, 从事小麦抗逆育种研究。

收稿日期 2022-04-12

1.2.2 不同浓度亚硒酸钠处理。翌年春注意观察小麦分化情况,在拔节后取小麦分蘖,用解剖针剥离正在分化的幼穗,在解剖镜下观察其分化情况,待小麦发育至雌雄蕊原基分化期分别喷施 0 mg/L (低温处理对照)、0.3、0.6、0.9、1.2、1.5、2.4 mg/L 的亚硒酸钠溶液于叶片上,连续喷施 2 次,使其充分吸收 3 d,然后将喷施亚硒酸钠的小麦盆栽放入智能人工气候室,进行低温胁迫处理。常温对照处理(CK)仍放室外,不予低温胁迫。

1.2.3 低温胁迫处理。将各重复小麦放入预先调好的智能人工气候室中低温胁迫(白天:0 °C, 12 h, 湿度 70%; 黑夜:0 °C, 12 h, 湿度 75%)处理 36 h 后取出,放回室外,一部分取处理的小麦倒二叶,液氮速冻,然后放入超低温冰箱中保存,另外一部分调查自交结实率。

1.2.4 抗氧化酶活性的测定。低温处理的叶片用北京索莱宝科技有限公司生产的试剂盒测定过氧化氢酶(CAT)、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性。

1.2.5 丙二醛(MDA)含量的测定。用北京索莱宝科技有限公司生产的 MDA 试剂盒进行丙二醛含量的测定。

1.2.6 结实性测定。定期对室外小麦进行浇水,观察小麦麦穗生长情况,待其灌浆 20 d 左右,取各处理中小麦麦穗的结实情况,以其作为经亚硒酸钠处理后低温胁迫下郑麦 366 的结实性。

1.3 数据处理 用 Excel 2016 和 DPS 软件对试验数据进行统计分析;采用 Duncan 氏新复极差法对数据进行多重比较。

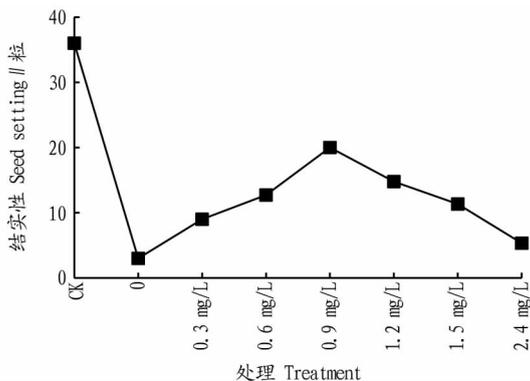
2 结果与分析

2.1 不同浓度亚硒酸钠处理对低温胁迫下郑麦 366 结实性的影响 与常温对照相比,郑麦 366 低温处理后结实性显著降低(图 1),说明倒春寒胁迫严重影响了郑麦 366 的结实性。由图 1、2 可知,经过 36 h 的低温胁迫后,郑麦 366 的结实性因亚硒酸钠溶液处理浓度的不同而有所差异,整体呈先升高再降低的趋势,其中 0.9 mg/L 处理下结实性最高,平均每穗达到 20 粒,与低温胁迫相比其结实性提高到了正常结实性的 55.56%。其次是 1.2、0.6 mg/L 浓度处理,再次是 1.5、0.3 和 2.4 mg/L 浓度处理。经亚硒酸钠溶液处理后以上处理的结实性均高于 0 mg/L 浓度处理,说明经亚硒酸钠溶液处理后提高了郑麦 366 抗低温胁迫的能力,且 0.9 mg/L 浓度处理对提高小麦结实性表现最佳。



图 1 不同浓度亚硒酸钠溶液处理郑麦 366 穗子结实表型特征

Fig. 1 Phenotypic characteristics of grain setting of Zhengmai 366 ears treated with different concentrations of sodium selenite solution



注:CK 为未进行低温胁迫和亚硒酸钠溶液处理

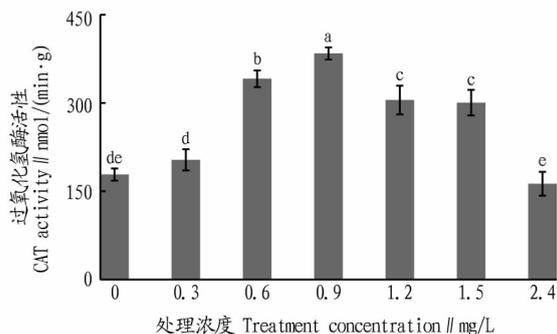
Note: CK was treatment without low temperature stress and sodium selenite solution

图 2 不同浓度亚硒酸钠处理对低温胁迫下郑麦 366 结实性的影响

Fig. 2 Effects of different concentrations of sodium selenite treatment on seed setting of Zhengmai 366 under low temperature stress

2.2 不同浓度亚硒酸钠处理对低温胁迫下郑麦 366 叶片中 CAT 活性的影响 CAT 能够清除植物受到胁迫时产生的 H_2O_2 ,其活性常与植物的抗逆性相关^[7]。喷施亚硒酸钠溶液对郑麦 366 叶片中 CAT 活性的影响因处理浓度的不同而变化。由图 3 可知,低温胁迫后不同浓度的亚硒酸钠处理下郑麦 366 叶片中 CAT 活性变化幅度变化明显,CAT 活性整体呈现先上升后下降的趋势。经低温胁迫 36 h 后,0.9 mg/L 的亚硒酸钠溶液处理与其他浓度处理间差异显著,除 0 与 0.3 mg/L 浓度处理、1.2 与 1.5 mg/L 以及 0 与 2.4 mg/L 处理间差异不显著外,其他各处理间在 0.05 水平均差异显著,且在 0.9 mg/L 浓度处理下叶片中过氧化氢酶活性最高。

2.3 不同浓度亚硒酸钠处理对低温胁迫下郑麦 366 叶片中 SOD 活性的影响 SOD 是存在于植物细胞中最重要的清除自由基的酶类之一,它的主要功能是清除 $O_2\cdot$ 的过多积累,缓解逆境对植物体的伤害^[8]。由图 4 可知,不同浓度的亚硒酸钠处理下低温胁迫后郑麦 366 叶片中超氧化物歧化酶



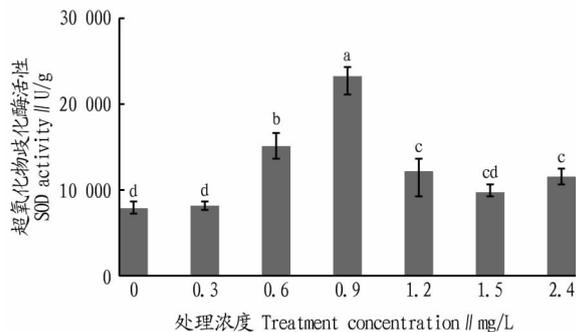
注:不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著

Note: Different lowercases in the same column indicated significant differences at 0.05 level

图 3 不同浓度亚硒酸钠处理对郑麦 366 过氧化氢酶 (CAT) 活性的影响

Fig. 3 Effects of different concentrations of sodium selenite on CAT activity of Zhengmai 366

(SOD)的活性随着处理浓度的变化明显,整体呈先升高再降低的趋势,其中 0 mg/L 处理与 0.3、1.5 mg/L 处理,1.2 mg/L 与 1.5、2.4 mg/L 处理间差异不显著;其余各处理间在 0.05 水平均差异显著。0.9 mg/L 浓度处理下超氧化物歧化酶活性达到最高,说明 0.9 mg/L 浓度的亚硒酸钠溶液处理提高了叶片中 SOD 活性。



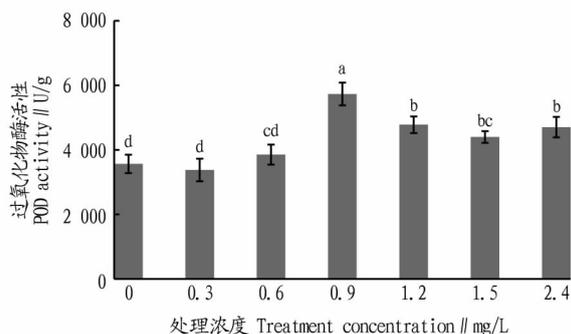
注:不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著

Note: Different lowercases in the same column indicated significant differences at 0.05 level

图 4 不同浓度亚硒酸钠处理对郑麦 366 叶片超氧化物歧化酶 (SOD) 活性的影响

Fig. 4 Effects of different concentrations of sodium selenite on superoxide dismutase (SOD) activity in Zhengmai 366 leaves

2.4 不同浓度亚硒酸钠处理对低温胁迫下郑麦 366 叶片中 POD 活性的影响 过氧化物酶(POD)是在逆境条件下植物体内酶促防御系统的关键酶之一,它与过氧化氢酶(CAT)、超氧化物歧化酶(SOD)相互协调配合,能够清除植物体内过剩的自由基,使植物体内自由基维持在正常的动态水平,从而提高植物的抗逆性^[9]。由图 5 可知,低温胁迫后不同浓度的亚硒酸钠处理 POD 活性变化明显,整体呈降低、升高再降低的趋势,在 0.9 mg/L 的浓度处理下的郑麦 366 叶片中所含过氧化物酶含量明显最高,并且与其余各浓度处理间在 0.05 水平差异显著。



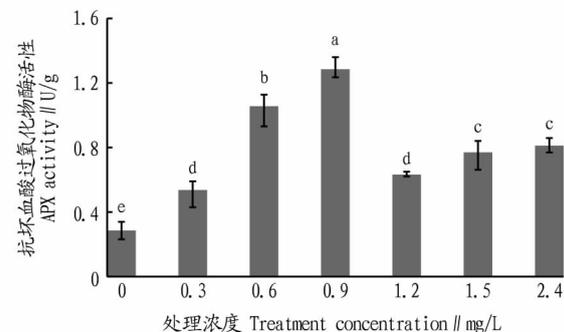
注:不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著

Note: Different lowercases in the same column indicated significant differences at 0.05 level

图 5 不同浓度亚硒酸钠处理对郑麦 366 叶片过氧化物酶 (POD) 活性的影响

Fig. 5 Effects of different concentrations of sodium selenite on POD activity in Zhengmai 366 leaves

2.5 不同浓度亚硒酸钠处理对低温胁迫下郑麦 366 叶片中 APX 活性的影响 抗坏血酸过氧化物酶(APX)是植物体内,尤其是叶绿体中清除 H_2O_2 的关键酶,植物体内 APX 的活性升高有利于植株内 H_2O_2 的清除^[10]。由图 6 可知,经亚硒酸钠溶液处理后,随着处理浓度的增大,APX 的活性呈现先增高再降低再升高的趋势,分别为 0.28、0.50、1.02、1.21、0.60、0.79、0.81 U/g。其中,0.9 mg/L 浓度处理下 APX 的活性最高,为 1.21 U/g,并与其余各浓度处理间差异显著,说明该浓度处理清除植物体内 H_2O_2 能力较强,进而可提高植株抗寒能力。



注:不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著

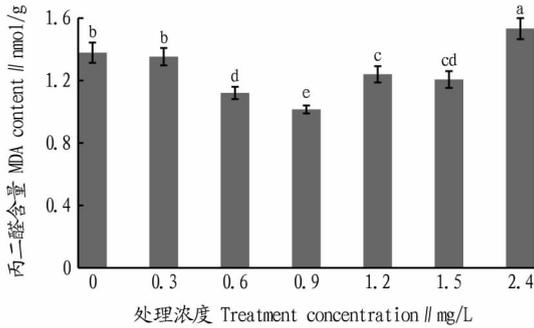
Note: Different lowercases in the same column indicated significant differences at 0.05 level

图 6 不同浓度亚硒酸钠处理对郑麦 366 叶片抗坏血酸过氧化物酶 (APX) 活性的影响

Fig. 6 Effects of different concentrations of sodium selenite on the activity of APX in Zhengmai 366 leaves

2.6 低温胁迫下不同浓度亚硒酸钠处理对郑麦 366 叶片中 MDA 含量的影响 丙二醛(MDA)是膜脂过氧化终产物,是膜系统受到伤害程度的重要标志之一,其含量越高,细胞膜系统经逆境胁迫后所造成的损伤程度就越严重,MDA 含量与植物耐寒性呈负相关关系^[11-12]。由图 7 可知,经低温胁迫后,各处理间丙二醛含量变化明显,其中 0 和 0.3 mg/L 浓度处理,0.6 和 1.5 mg/L 浓度处理,1.2 和 1.5 mg/L 浓度处理

差异不显著,其余各处理间均差异显著,且 0.9 mg/L 处理的丙二醛含量最低。



注:不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著

Note: Different lowercases in the same column indicated significant differences at 0.05 level

图7 不同浓度亚硒酸钠处理对郑麦 366 叶片丙二醛 (MDA) 含量的影响

Fig. 7 Effects of different concentrations of sodium selenite on MDA content in Zhengmai 366 leaves

3 结论与讨论

3.1 适宜的亚硒酸钠溶液处理提高了郑麦 366 的结实性

冬小麦在春季遇倒春寒会降低小麦的有效穗数和穗粒数,最终影响其产量^[13-15]。在该研究中,经低温胁迫后郑麦 366 品种的结实率显著降低。说明雌雄蕊原基分化期是郑麦 366 的低温敏感时期,该期若遇到 0 °C 低温会造成郑麦 366 的严重减产。该研究结果表明,雌雄蕊原基分化期的郑麦 366 喷施亚硒酸钠溶液再进行低温胁迫,其结实性能够得到一定程度的恢复,效果因喷施浓度的不同而差异明显,其中 0.9 mg/L 浓度处理郑麦 366 的结实性最高,与对照处理比较其结实性能提高到 55.56%。

该试验中 0 mg/L 浓度处理在 0 °C 低温胁迫 36 h 导致结实性非常低,这可能是由于 0 °C 低温胁迫 36 h 对小麦幼穗冻害影响较大,经亚硒酸钠溶液处理后结实性虽得到一定的恢复,0.9 mg/L 亚硒酸钠溶液喷施后低温处理结实性恢复最高,达到对照的 55.56%,而大田试验中连续遭遇 0 °C 低温胁迫 36 h 的情况不常遇见,喷施 0.9 mg/L 亚硒酸钠溶液可能使幼穗冻害恢复能力会更好,在今后的研究中还需进一步验证和完善。

3.2 亚硒酸钠溶液通过提高郑麦 366 叶片中抗氧化酶活性

来提高郑麦 366 的抗倒春寒能力 CAT 与超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化物酶 (POD)、抗坏血酸酶 (APX) 被称为抗氧化酶保护系统^[7,9,16]。低温逆境条件下的植物体内会发生一系列生理生化的变化,其中活性氧含量的积累被认为是植物受冷害胁迫的重要原因^[9,17-18]。植物体内的抗氧化酶系统能够清除机体内的活性氧,可以抵御因活性氧的积累对植物带来的损害,从而提高植物抵抗逆境胁迫的能力。

该研究结果显示,与低温对照相比,低温胁迫下亚硒酸钠溶液处理提高了雌雄蕊原基分化期郑麦 366 叶片中 CAT、SOD、POD、APX 的含量,0.9 mg/L 处理抗氧化酶活性显著高

于低温处理,说明喷施亚硒酸钠溶液提高了郑麦 366 抵抗低温胁迫的能力。这与硒对低温胁迫下的铁皮石斛^[17]、草莓^[18]和马铃薯^[19]植物具有一定缓解效应的结论一致。

研究表明,硒缓解了低温对黄瓜的伤害^[20],MDA 含量与植物耐寒性呈负相关关系^[11-12]。低温胁迫下 MDA 含量越低说明植物抗低温能力越强。该研究结果表明,喷施亚硒酸钠的郑麦 366 在低温胁迫后丙二醛含量呈先降低再升高的趋势。0.9 mg/L 处理下郑麦 366 丙二醛含量浓度最低,显著低于其他处理。结合 0.9 mg/L 处理下郑麦 366 的抗氧化酶活性可以看出,硒元素提高了郑麦 366 在低温胁迫下体内抗氧化酶活性,降低了 MDA 含量,缓解了低温胁迫的伤害,提高了小麦植株抵抗低温冻害的能力,从而提高植株产量。

参考文献

- [1] FENG R W, WEI C Y, TU S X. The roles of selenium in protecting plants against abiotic stresses[J]. *Environ Exp Bot*, 2013, 87: 58-68.
- [2] 曹可, 秦玉芝, 高琪昕, 等. 硒对低温胁迫下植物抗寒性的影响的研究进展[J]. *中国农学通报*, 2014, 30(11): 200-204.
- [3] FOWLER D B, LIMIN A E. Interactions among factors regulating phenological development and acclimation rate determine low-temperature tolerance in wheat[J]. *Ann Bot*, 2004, 94(5): 717-724.
- [4] ZHONG X, MEI X, LI Y, et al. Changes in frost resistance of wheat young ears with development during jointing stage[J]. *J Agron Crop Sci*, 2008, 194(5): 343-349.
- [5] 孙苗苗, 王志强, 高翔, 等. 河南主推小麦品种对低温胁迫的生理响应及耐寒性分析[J]. *麦类作物学报*, 2016, 36(3): 316-324.
- [6] 谢凤仙, 王智煜, 张自阳. 春季低温胁迫对不同小麦品种结实率及叶片生理特性的影响[J]. *安徽农业科学*, 2018, 46(32): 33-35, 39.
- [7] PRASAD T K. Role of catalase in inducing chilling tolerance in pre-emergent maize seedlings[J]. *Plant Physiol*, 1997, 114(4): 1369-1376.
- [8] GILL S S, ANJUM N A, GILL R, et al. Superoxide dismutase: Mentor of abiotic stress tolerance in crop plants[J]. *Environ Sci Pollut Res Int*, 2015, 22(14): 10375-10394.
- [9] GECHEV T, WILLEKENS H, VAN MONTAGU M, et al. Different responses of tobacco antioxidant enzymes to light and chilling stress[J]. *J Plant Physiol*, 2003, 160(5): 509-515.
- [10] SATO Y, MURAKAMI T, FUNATSUKI H, et al. Heat shock-mediated APX gene expression and protection against chilling injury in rice seedlings[J]. *J Exp Bot*, 2001, 52(354): 145-151.
- [11] SUN X C, HU C X, TAN Q L. Effects of molybdenum on antioxidative defense system and membrane lipid peroxidation in winter wheat under low temperature stress[J]. *Journal of plant physiology and molecular biology*, 2006, 32(2): 175-182.
- [12] KAUR S, ARORA M, GUPTA A K, et al. Exploration of biochemical and molecular diversity in chickpea seeds to categorize cold stress-tolerant and susceptible genotypes[J]. *Acta Physiol Plant*, 2012, 34(2): 569-580.
- [13] 高艳, 唐建卫, 殷贵鸿, 等. 倒春寒发生时期和次数对冬小麦产量性状的影响[J]. *麦类作物学报*, 2015, 35(5): 687-692.
- [14] 薛辉, 余慷, 马晓玲, 等. 黄淮海区小麦品种耐倒春寒相关性状的评价及关联分析[J]. *麦类作物学报*, 2018, 38(10): 1174-1188.
- [15] 武永峰, 胡新, 任德超, 等. 晚霜冻胁迫后冬小麦株高降低及其与籽粒产量关系[J]. *中国农业科学*, 2018, 51(18): 3470-3485.
- [16] NAKANO Y, ASADA K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts[J]. *Plant Cell Physiol*, 1981, 22(5): 867-880.
- [17] 张艳娜, 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.
- [18] 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.
- [19] 丁旭, 丁红映, 王明, 等. 硒提高马铃薯幼苗抗寒性生理研究[J]. *中国蔬菜*, 2019(1): 41-46.
- [20] HAWRYLAK-NOWAK B, MATRASZEK R, SZYMAŃSKA M. Selenium modifies the effect of short-term chilling stress on cucumber plants[J]. *Biol Trace Elem Res*, 2010, 138(1/2/3): 307-315.