

## 2,4-表油菜素内酯对干旱胁迫下辣椒叶片生理指标及果实品质的影响

白锐琴

(平凉市农业科学院, 甘肃 平凉 744000)

**摘要:** 2,4-表油菜素内酯(EBR)是油菜素内酯最活跃的形式之一,能够刺激不同的植物代谢过程。为探究辣椒干旱胁迫条件下花期施用EBR对其抗旱性和果实品质的影响,以平椒7号为试材,采用盆栽控水法研究了在不同干旱胁迫下喷施0.4 mg/L EBR对辣椒叶片叶绿素、抗氧化参数、渗透调节参数和果实品质的影响。结果表明,干旱胁迫条件下,花期喷施0.4 mg/L的EBR能提高辣椒叶片过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)活性及叶绿素和脯氨酸(Pro)含量,降低丙二醛(MDA)的积累,辣椒果实中可溶性糖、可溶性蛋白和Vc含量也有所增加,说明外源EBR可缓解干旱胁迫对辣椒生长的抑制,提高品质。

**关键词:** 辣椒; 2,4-表油菜素内酯(EBR); 干旱胁迫; 生理指标; 果实品质

**中图分类号:** S641.3

**文献标志码:** A

**文章编号:** 2097-2172(2024)02-0141-05

doi:10.3969/j.issn.2097-2172.2024.02.008

### Effects of 2,4-Epibrassinolide (EBR) on Leaf Physiological Characteristics and Fruit Quality of Pepper under Drought Stress

BAI Ruiqin

(Pingliang Academy of Agricultural Sciences, Pingliang Gansu 744000, China)

**Abstract:** 2,4-Epiandrosterone (EBR) is one of the most active forms of brassinolide, which can stimulate different plant metabolic processes. To investigate the effects of applying EBR during the flowering period on the drought resistance and fruit quality of peppers under drought stress conditions, with Pingjiao 7 as test material, the pot experiment was conducted to investigate the effects of spraying 0.4 mg/L EBR on chlorophyll content, antioxidant parameters, osmoregulation parameters and fruit quality of peppers under different levels of drought stress. The results showed that spraying 0.4 mg/L EBR at pepper flowering stage could significantly increase the contents of chlorophyll, POD, SOD, Pro, and CAT activity in pepper leaves, while it could significantly reduce the accumulation of MDA. The soluble sugar content, soluble protein content and vitamin C content of pepper were also significantly increased compared with that in the control. These results indicated that exogenous EBR could relieve the inhibition of drought stress on the growth of peppers and improve their quality as well.

**Key words:** Pepper; 2,4-Epibrassinolide (EBR); Drought stress; Physiological indicator; Fruit quality

辣椒(*Capsicum* spp.)属于茄科(Solanaceae)辣椒属,作为重要的蔬菜作物和调味品而被我国广泛种植。辣椒属于浅根植物,根系发育较弱,根量少,再生能力弱,对土壤水分较为敏感<sup>[1]</sup>。土壤水分含量过低时,会造成辣椒生长减缓,叶片缩小,茎秆细弱,干物质积累不足,产量降低,品质下降等<sup>[2-4]</sup>。平凉市属旱作农业区,年降水量450~650 mm,季节性干旱频发,严重影响辣椒生产。油菜素内酯(Brassinolide, BR)是一类甾

醇化合物,被列为第六大类植物激素,参与植物生长发育的各个过程<sup>[5]</sup>。近年来,BR对植物抗逆性的研究成为国内外学者关注的焦点。2,4-表油菜素内酯(2,4-Epibrassinolide, EBR)是油菜素内酯的最活跃化合物,已成功用于改善干旱、低温、高温、盐害等非生物胁迫的植物生长。施加外源EBR可以通过促进植物抗氧化能力的提高、减少活性氧的积累、提高植物光合速率、增加植物渗透调节物质积累等途径减轻植物所受伤害,从而

收稿日期: 2023-07-29; 修订日期: 2023-11-19

基金项目: 甘肃省青年基金项目(21JR7RL911)。

作者简介: 白锐琴(1994—),女,甘肃武威人,助理研究员,硕士,主要从事辣椒新品种选育和高效栽培技术研究工作。  
Email: 937090681@qq.com。

提高植物对逆境的适应性<sup>[6-9]</sup>。

目前,有关外源 EBR 对辣椒抗旱性效应的研究主要集中在苗期<sup>[10-12]</sup>。但辣椒对水分的需求随生育阶段的不同而不同,苗期需水量最小,花期需水量较多<sup>[13]</sup>。开花坐果期如土壤干旱、水分不足,极易引起落花落果,并影响果实膨大,导致果面多皱缩、少光泽、果形弯曲,影响产量和品质。为了探究辣椒干旱胁迫条件下花期施用 EBR 对其抗旱性和果实品质的影响,我们对辣椒不同干旱胁迫下花期叶片喷施 0.4 mg/L EBR 后的生理指标进行了测定和分析,以期应用 EBR 缓解辣椒干旱胁迫提供技术支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

指示辣椒品种为平椒 7 号,由平凉市农业科学院提供。供试 EBR 购自北京索莱宝公司。

### 1.2 试验方法

试验于 2022 年在甘肃省平凉市农业科学院崆峒试验站日光温室内进行。试验共设 4 个控水处理:对照(CK),正常浇水量,1 200~1 600 cm<sup>3</sup>;轻度胁迫(LS),75%正常浇水量,900~1 200 cm<sup>3</sup>;中度胁迫(MS),50%正常浇水量,600~800 cm<sup>3</sup>;重度胁迫(SS),25%正常浇水量,300~400 cm<sup>3</sup>。辣椒苗期正常供水,现蕾期开始不同程度水分胁迫处理。将每个控水处理辣椒分成两组,一组辣椒叶面均匀喷施 EBR 溶液,另一组辣椒叶面均匀喷洒等量的蒸馏水,每组处理 20 盆。喷施前参照惠竹梅等<sup>[14]</sup>的方法将 EBR 溶解稀释至 0.4 mg/L。2022 年 3 月 10 日播种,采用常规穴盘育苗。5 月 29 日定植到花盆,盆直径 26 cm、高 22 cm,每盆定植 1 株。于 7 月 23 日开始对辣椒叶面喷施 EBR 溶液或蒸馏水,连续处理 3 天后(7 月 29 日),采样测定相关指标,各处理每次采样时选取辣椒顶部向上下数 4~6 节位叶片。辣椒成熟后选取盆钵中长度达到 7 cm 及以上的果实测定品质指标。每个指标 3 次重复,每次重复分别在不同植株上单独取样。在辣椒整个生育期利用日光温室遮挡雨水,除水分外,其他管理措施均保持一致。

### 1.3 测试指标及方法

叶绿素含量采用乙醇丙酮混合液浸提法测定<sup>[15]</sup>,丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸(TBA)

比色法测定<sup>[15]</sup>,脯氨酸(Pro)含量采用磺基水杨酸法测定<sup>[15]</sup>。过氧化物酶(POD)、超氧化歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)活性采用苏州科铭生物技术有限公司试剂盒测定。可溶性糖采用蒽酮比色法测定<sup>[15]</sup>,可溶性蛋白采用考马斯亮蓝 G-250 法测定<sup>[15]</sup>,Vc 含量采用 2,6-二氯酚磺酞法测定<sup>[15]</sup>。

### 1.4 数据处理与分析

采用 Excel 2003 进行数据整理分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 喷施 EBR 对辣椒叶片生理指标的影响

2.1.1 叶绿素含量 叶面喷施蒸馏水后,干旱胁迫 LS、MS、SS 处理下辣椒叶片叶绿素含量较 CK 分别下降 1.4%、20%、21.4%;喷施 EBR 后,干旱胁迫处理的叶绿素含量均显著高于 CK,且较相应的干旱胁迫处理分别提高了 60.9%、67.9%、85.5%,其中 LS+EBR 处理最高,与 SS+EBR 处理差异不显著,与 MS+EBR 处理差异显著;其次是 SS+EBR 处理,与 MS+EBR 处理差异不显著(图 1)。可见在干旱胁迫条件下喷施 EBR 显著提高了叶绿素含量,在正常供水条件下喷施 EBR 对叶绿素含量的影响不明显。

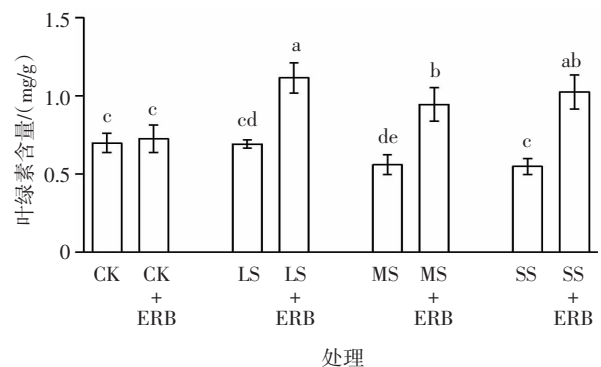


图 1 EBR 处理后辣椒叶片叶绿素含量的变化

2.1.2 叶片丙二醛(MDA)含量 喷施蒸馏水后,干旱胁迫 LS、MS、SS 处理下的 MDA 含量较 CK 分别增加 15.9%、18.5%、27.8%,干旱胁迫程度越高增加越显著。喷施 EBR 后,干旱胁迫处理的 MDA 含量均略高于 CK,但较相应的干旱胁迫处理分别降低 20.4%、23.9%、21.9%,处理间差异不显著(图 2)。可见在干旱胁迫条件下喷施 EBR 后降低了 MDA 含量,在正常供水条件下喷施 EBR 对 MDA 含量影响不明显。

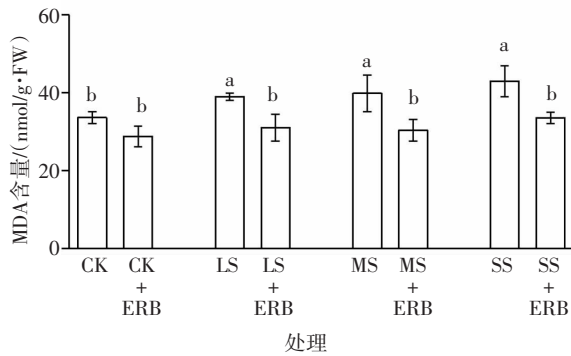


图2 EBR处理后辣椒叶片MDA含量的变化

2.1.3 脯氨酸(Pro)含量 喷施蒸馏水后, 干旱胁迫LS、MS、SS处理下的Pro含量分别较CK提高了9.2%、10.9%、21.6%。喷施EBR后, 干旱胁迫处理的Pro含量均高于CK, 且较相应的干旱胁迫处理分别提高了42.1%、56.0%、56.2%, 其中SS+EBR处理最高, 与MS+EBR处理差异不显著, 与LS+EBR处理差异显著; 其次是MS+EBR处理, 与LS+EBR处理差异不显著(图3)。可见在干旱胁迫条件下喷施EBR可显著增加Pro含量, 在正常供水条件下喷施EBR对Pro含量增加明显, 但增幅低于干旱胁迫处理。

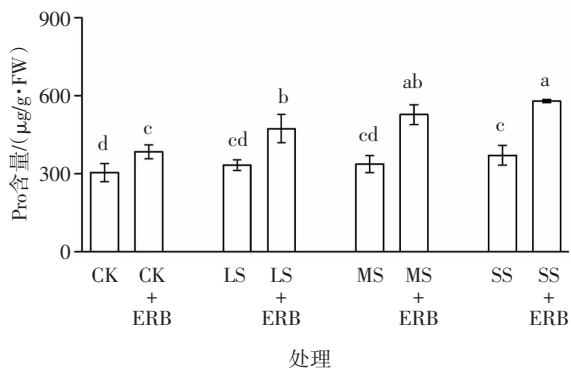


图3 EBR处理后辣椒叶片Pro含量的变化

2.1.4 抗氧化酶活性 喷施蒸馏水后, LS处理的过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)、超氧化物歧化酶(SOD)活性较CK分别提高17.9%、114.6%、39.8%; MS处理较CK分别提高18.8%、135.0%、41.7%; SS处理下分别较CK提高29.8%、28.1%、12.6%。喷施EBR后, 干旱胁迫处理下的POD、CAT、SOD活性显著高于相应的喷施蒸馏水处理, POD活性分别提高22.1%、68.2%、99.0%, CAT活性分别提高50.9%、54.6%、41.7%, SOD活性分别提高27.6%、22%、7.1%。对抗氧化酶活性进行方差分析结果表明, 喷施EBR后干旱胁迫下

POD和CAT活性处理间差异显著; SOD活性LS+EBR处理与MS+EBR处理差异不显著, 与SS+EBR处理差异显著(图4)。可见在干旱胁迫条件下喷施EBR可显著提高POD、CAT、SOD活性。在正常供水条件下喷施EBR对抗氧化酶活性的影响不明显。

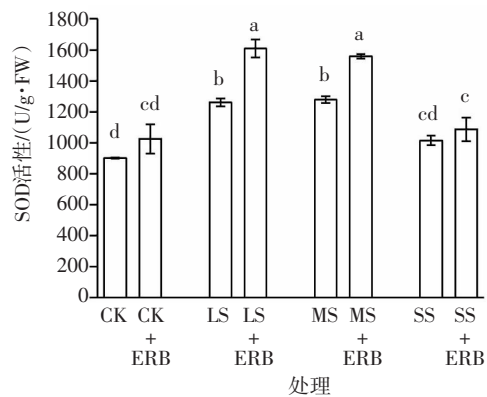
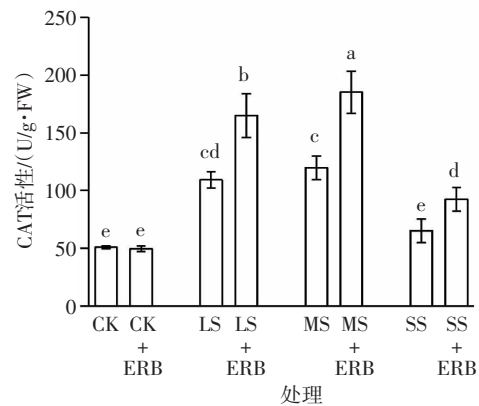
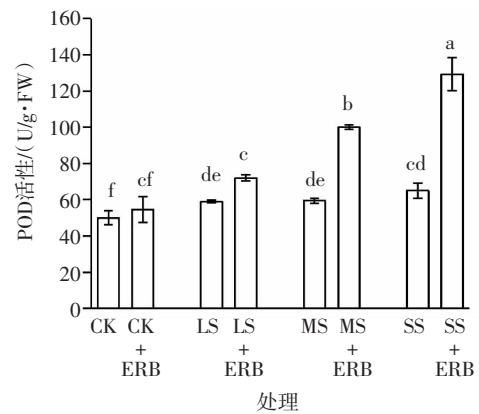


图4 EBR处理后辣椒抗氧化酶活性的变化

## 2.2 喷施EBR对辣椒果实品质的影响

由表1可知, 喷施蒸馏水后, LS、MS处理的可溶性糖含量较CK分别提高11.8%、24.2%; SS处理较CK降低8.3%。喷施EBR后, LS+EBR、

MS+EBR、SS+EBR 处理的可溶性糖含量分别显著高于相应的喷施蒸馏水处理 51.1%、11.6%、39.5%。可溶性蛋白含量随干旱胁迫程度的加剧而降低, LS、MS、SS 处理较 CK 分别下降了 8.8%、15.7%、24.3%。喷施 EBR 后显著提高了可溶性蛋白含量, LS+EBR、MS+EBR、SS+EBR 处理较相应干旱胁迫处理分别增加了 63.9%、23.6%、15.6%。喷施蒸馏水后, LS 处理的 Vc 含量有所提高, MS 和 SS 处理均有不同程度的降低, Vc 含量由大到小依次为 LS、CK、MS、SS 处理。LS、MS、SS 处理的 Vc 含量分别为 CK 的 109.2%、90.7%、83.7%。喷施 EBR 后, Vc 含量显著高于相应的干旱胁迫处理, LS+EBR、MS+EBR、SS+EBR 处理分别较相应干旱胁迫处理增加 71.7%、45.0%、68.5%。LS+EBR 处理的可溶性糖含量、可溶性蛋白含量和 Vc 含量与 MS+EBR 处理和 SS+EBR 处理差异显著。可见在干旱胁迫条件下喷施 EBR 可提高可溶性糖含量、可溶性蛋白含量和 Vc 含量。与 CK 相比, 在正常供水下喷施 EBR 的 Vc 含量显著增加 27.0%, 可溶性糖、可溶性蛋白含量影响不明显。

表 1 EBR 处理后辣椒果实可溶性糖、可溶性蛋白、Vc 含量

处理	可溶性糖含量 /(mg/g)	可溶性蛋白含量 /(mg/g)	Vc 含量 /( $\mu$ g/g)
CK	40.49 $\pm$ 3.78 de	14.39 $\pm$ 0.36 bc	475.63 $\pm$ 13.04 e
CK+EBR	41.83 $\pm$ 0.85 de	15.65 $\pm$ 0.42 b	604.03 $\pm$ 3.29 c
LS	45.28 $\pm$ 0.38 cd	13.12 $\pm$ 1.23 cd	519.22 $\pm$ 15.03 d
LS+EBR	68.42 $\pm$ 6.48 a	21.50 $\pm$ 1.56 a	891.41 $\pm$ 15.34 a
MS	50.30 $\pm$ 5.11 bc	12.13 $\pm$ 0.94 de	431.19 $\pm$ 16.53 f
MS+EBR	56.12 $\pm$ 4.78 b	14.99 $\pm$ 0.97 b	625.09 $\pm$ 11.67 c
SS	37.11 $\pm$ 0.76 e	10.90 $\pm$ 0.35 e	398.06 $\pm$ 11.65 f
SS+EBR	51.77 $\pm$ 6.32 c	12.60 $\pm$ 0.83 d	670.90 $\pm$ 12.23 b

### 3 讨论与结论

叶绿素作为植物光合作用的重要色素, 其含量直接影响其光合作用的强弱, 从而影响作物产量。本研究受干旱胁迫的影响, 辣椒叶片的总叶绿素含量下降, 喷施 EBR 后较相应干旱胁迫处理和正常供水(对照)总叶绿素含量增加明显, 说明外源 EBR 可降低干旱胁迫对植物叶绿体的损伤, 有效缓解干旱胁迫导致叶绿素含量的下降。也有研究认为<sup>[16-18]</sup>, 在干旱胁迫下植株体内会产生大量活性氧, 如 O<sub>2</sub><sup>-</sup>、OH<sup>-</sup>、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 等, 过量的 ROS 积累, 使膜脂过氧化作用加剧, 引起植物体内 MDA

积累, 导致膜系统的损伤。为减轻或消除活性氧对植物体造成的伤害, 相应的抗氧化酶活性和含量会增强, 如 POD、SOD 和 CAT 等可清除植物体内产生的活性氧, 减轻干旱胁迫对植物生长的影响。本研究表明, 在轻度、中度和重度干旱胁迫下 MDA 大量积累, POD、CAT、SOD 活性明显升高。喷施 EBR 后 MDA 含量明显低于相应的干旱胁迫, POD、SOD 和 CAT 活性进一步升高。说明 EBR 可缓解干旱胁迫下辣椒膜脂过氧化作用, 增强抗氧化酶活性, 减小干旱胁迫的损伤, 从而提高辣椒的抗旱性, 这可能与 EBR 参与抗氧化酶基因转录和翻译有关<sup>[19-20]</sup>。干旱条件下, 植物通过渗透调节物质的积累来维持细胞膨压和正常的生理活动, 脯氨酸作为植物体重要的渗透调节物质, 通常被用作植物抗旱性鉴定的重要指标<sup>[21]</sup>。本试验中脯氨酸含量随干旱胁迫加剧而不断升高, 喷施一定浓度的 EBR 后脯氨酸含量增加更加明显, 这与 EBR 在黄瓜镉害、葡萄干旱等研究中对渗透平衡维持的作用一致<sup>[22-23]</sup>。

可溶性糖含量、可溶性蛋白含量、Vc 含量是反映辣椒营养品质的重要指标。本研究表明, 干旱胁迫对辣椒果实可溶性蛋白含量表现出明显的抑制作用。可溶性糖、Vc 含量在 75% 正常浇水量处理下较正常供水略有增加, 随着干旱胁迫加剧含量呈下降趋势。喷施 EBR 后明显提高可溶性糖、可溶性蛋白、Vc 含量, 说明 EBR 促进了果实中可溶性糖、可溶性蛋白和 Vc 的生成, 对改善辣椒果实品质有重要作用。这与前人在番茄、菜心等蔬菜中的研究结果一致<sup>[24-25]</sup>。

综上所述, 在正常供水条件下喷施 EBR 对辣椒大多数生理指标和果实品质没有明显影响, 在干旱胁迫条件下喷施 EBR 则明显提高了叶片叶绿素、脯氨酸和抗氧化酶活性, 抑制了丙二醛积累, 改善了果实品质。

#### 参考文献:

- [1] 陈子平, 王超, 易小兵, 等. 不同灌水定额对辣椒生长效果的试验研究[J]. 广东水利水电, 2015(11): 12-15.
- [2] 程凤林, 颜建明, 郁继华, 等. 甘肃干旱内陆区灌溉定额对土壤含水量和色素辣椒生长量的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2011, 46(2): 71-75.

- [3] 付秋实, 李红岭, 崔健, 等. 水分胁迫对辣椒光合作用及相关生理特性的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42(5): 1859-1866.
- [4] 王世杰, 张恒嘉, 杨晓婷, 等. 水分胁迫及复水对绿洲膜下滴灌辣椒动态生长、产量及水分利用的影响[J]. 华北农学报, 2017, 32(4): 215-224.
- [5] 陈晨, 陈虹, 倪铭, 等. 油菜素内酯调控植物生长发育的研究进展[J]. 林业科学, 2022, 58(7): 144-155.
- [6] HU W H, YAN X H, XIAO Y A, et al. 24-Epibrassinosteroid alleviate drought-induced inhibition of photosynthesis in *Capsicum annuum*[J]. Scientia Horticulturae, 2013, 150: 232-237.
- [7] 范小玉, 赵跃峰. 2, 4-表油菜素内酯对低温胁迫下茄子幼苗生长及生理特性的影响[J]. 北方园艺, 2021, 493(22): 7-13.
- [8] 尚静, 刘晓慧, 朱宗文, 等. 外源 2, 4-表油菜素内酯对高温胁迫下西葫芦幼苗生长和 AsA-GSH 循环的影响[J]. 分子植物育种, 2021, 19(8): 2768-2776.
- [9] 吴春杏, 胡志辉, 鲁寒英, 等. EBR 对盐胁迫下玉米幼苗光合及抗氧化系统的影响[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(13):109-116.
- [10] 胡文海, 詹秀花, 闫小红, 等. 24-表油菜素内酯对干旱胁迫下辣椒幼苗叶片抗氧化酶系统及耐旱相关基因表达的影响[J]. 植物研究, 2015, 35(6): 908-914.
- [11] 胡文海, 闫小红, 李晓红, 等. 24-表油菜素内酯对干旱胁迫下辣椒叶片快速叶绿素荧光诱导动力学曲线的影响[J]. 植物研究, 2021, 41(1): 53-59.
- [12] KHAMSUK O, SONJAROON W, SUWANWONG S, et al. Effects of 24-epibrassinolide and the synthetic brassinosteroid mimic on chili pepper under drought[J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2018, 40(6): 106.
- [13] 王世杰, 张恒嘉, 巴玉春, 等. 调亏灌溉对膜下滴灌辣椒生长及水分利用的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2018, 36(3): 31-38.
- [14] 惠竹梅, 王智真, 胡勇, 等. 24-表油菜素内酯对低温胁迫下葡萄幼苗抗氧化系统及渗透调节物质的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(5): 1005-1013.
- [15] 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.
- [16] 刘佳, 郁继华, 徐秉良, 等. 干旱气候条件下水分胁迫对辣椒叶片生理特性的影响[J]. 核农学报, 2012, 26(8): 1197-1203.
- [17] 石有太, 罗俊杰, 裴怀弟, 等. 干旱胁迫对不同色彩棉花生理生化指标的影响[J]. 甘肃农业科技, 2020(7): 59-64.
- [18] 王鸿, 张帆, 张雪冰, 等. 不同桃自根砧对干旱胁迫的生理响应及抗逆机理研究[J]. 寒旱农业科学, 2022, 1(1): 66-72.
- [19] XIA X J, WANG Y J, ZHOU Y H, et al. Reactive oxygen species are involved in brassinosteroid-induced stress tolerance in cucumber[J]. Plant Physiol, 2009, 150(2): 801-814.
- [20] 丁海东, 刘慧, 陈一, 等. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 和 MAPK 介导油菜素内酯诱导番茄抗氧化防护酶 SOD 和 CAT 的信号途径[J]. 植物生理学报, 2011, 47(10): 1010-1016.
- [21] 张林, 陈翔, 吴宇, 等. 脯氨酸在植物抗逆中的研究进展[J]. 江汉大学学报(自然科学版), 2023, 51(1): 42-51.
- [22] 赵红, 徐芬芬, 余淑铃, 等. 2, 4-表油菜素内酯对镉胁迫下黄瓜幼苗的缓解效应[J]. 北方园艺, 2022(20): 35-41.
- [23] 王雨婷, 王智真, 赵婷, 等. 24-表油菜素内酯预处理对干旱胁迫下葡萄幼苗抗氧化系统和渗透调节物质的影响[J]. 西北植物学报, 2019, 39(3): 489-497.
- [24] 李蒙, 束胜, 郭世荣, 等. 24-表油菜素内酯对樱桃番茄光合特性和果实品质的影响[J]. 西北植物学报, 2015, 35(1): 138-145.
- [25] 郭巨先, 王惠, 张亮, 等. 2, 4-表油菜素内酯对菜心生长和菜薹营养品质的影响[J]. 广东农业科学, 2021, 48(4): 29-36.