

植物生长延缓剂提高作物抗逆性研究进展

常鑫¹, 康恩祥², 陈其兵¹, 胡敏¹, 李平¹, 钟辉丽¹, 胡建泰¹

(1. 武威市农业技术推广中心, 甘肃 武威 733000; 2. 甘肃省农业科学院蔬菜研究所, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 逆境胁迫严重制约着作物的生长, 植物生长延缓剂可以缓解逆境对作物生长造成的不良影响。分析了植物生长延缓剂对提高作物抗倒伏及作物在水分、温度、盐碱胁迫下抗逆性的作用, 并指出对于不同的作物应当通过试验选择适宜的植物生长延缓剂种类和浓度。

关键词: 植物生长延缓剂; 作物; 抗逆生理

中图分类号: S482.8

文献标志码: A

文章编号: 1001-1463(2022)02-0001-06

doi:10.3969/j.issn.1001-1463.2022.02.001

Advances in on Plant Growth Retardants to Improve Crop Stress Resistance

CHANG Xin¹, KANG Enxiang², CHEN Qibing¹, HU Min¹, LI Ping¹, ZHONG Huili¹, HU Jiantai¹

(1. Wuwei Agricultural and Technology Extension Center, Wuwei Gansu 733000, China; 2. Institute of Vegetable, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China)

Abstract: The stress seriously restricts the growth of crops, and the application of plant growth retardants can alleviate the adverse effects of stress on crop growth. The effects of plant growth retardants on lodging resistance and stress resistance of crops under water, temperature and saline-alkali stress were analyzed. It was pointed out that suitable plant growth retardants should be selected through experiments for different crops.

Key words: Plant growth retardants (PGR); Crop; Stress-resistant physiology

逆境胁迫严重威胁着作物生产^[1]。我国地域面积广阔, 自然灾害频发, 全球气候变暖更是加剧了各种自然灾害的发生, 严重制约着作物的生长, 提高作物的抗逆性至关重要。植物生长延缓剂(plant growth retardant, PGR)是一类可以使植物茎分生组织细胞分裂速度减缓或暂时受到阻碍, 从而使植株矮化、根系发达、茎加粗、抗逆性增强的生长调节剂^[2-3]。国外从20世纪中叶就开始利用PGR来解决草坪徒长问题^[4], 后来研究者对PGR的应用效果、作用机制及抗逆作用等方面展开探索^[5-12], 发现常用的PGR如烯效唑和多效唑等, 可通过抑制作物体内赤霉素的合成来发挥作

用, 使作物矮化^[5-7]。常用的PGR除具有很强的生长调节功能外, 因其经济、低毒、低残留、降解快等特点^[13], 已被广泛应用于改善植物株型^[14-16]、提高植物抗逆性和产量等^[8-12], 从而增加经济效益。至今, 尚没有关于全面总结PGR对作物抗逆性影响的综述报道。我们归纳、分析和总结了前人对PGR提高作物抗逆性方面的研究, 以期能方便后续研究者便捷了解PGR的研究现状, 进而推动对PGR研究的深入和完善, 为更合理、高效应用PGR提供参考。

1 植物生长延缓剂的分类

根据PGR抑制赤霉素生物合成步骤中三大中

收稿日期: 2021-10-21

基金项目: 甘肃省林业和草原局科技支撑项目(LCJ20210015)。

作者简介: 常鑫(1987—), 男, 甘肃陇西人, 农艺师, 硕士, 主要从事经济作物栽培技术研究与示范推广及作物遗传育种工作。联系电话: (0)18993550276。Email: 463607337@qq.com。

间产物的生物合成而将 PGR 分为 3 类: 第 1 类为季铵类化合物, 此类 PGR 主要作用在赤霉素合成的上游, 抑制内根-贝壳杉烯的合成^[17-18], 常用的有矮壮素和缩节胺(助壮素)等; 第 2 类为氮杂环类化合物, 此类 PGR 主要作用于赤霉素合成的中段, 通过影响内根-贝壳杉烯氧化酶(KO)的活性来抑制内根-贝壳杉烯的酸化来发挥作用^[18], 目前常用的有烯效唑、多效唑和调啉醇等; 第 3 类为 2-氧代戊二酸的结构模拟物, 此类 PGR 主要作用在赤霉素合成的下游, 通过抑制活性 GAs 的合成来影响赤霉素的合成^[18], 目前常用的主要有调环酸钙和丁酰肼(比久)等。

2 植物生长延缓剂对作物抗逆性的影响

2.1 增强作物的抗倒伏性

矮化和抗倒伏是作物增产的基础。作物发生倒伏时, 根据倒伏的程度, 其根系和茎秆会受到不同程度的损伤, 严重影响根系对水分和矿质元素等营养物质的吸收。由于茎秆的折损, 输导系统受到严重影响, 导致营养物质和水分的输送效率显著降低; 另外, 倒伏致使作物功能叶片间通风不畅, 光照叶面积急剧减小, 最终影响作物的产量和品质^[19-20]。施用烯效唑能够有效矮化作物, 增强其抗倒伏性, 达到增产目的。Tan 等^[21]、Singh^[22]发现, 烯效唑能够有效延缓水稻和小麦茎秆的生长, 增加叶片叶绿素含量, 矮化植株, 提高作物产量。姜龙等^[20]发现多效唑, 矮壮素和烯效唑这 3 种 PGR 主要是通过充实作物茎秆, 如增粗茎秆、增加茎秆壁厚来提高作物茎秆的抗折性, 从而增强了抗倒伏性。这与刘星贝等^[23]的研究类似, 他们用烯效唑喷施甜荞后, 有效增强了甜荞茎秆的质量, 提高了植株的抗倒伏性和产量。陈一酉等^[24]研究表明, 用多效唑和矮壮素可显著提高青稞的抗倒伏性, 且增产效果明显; 李瑞等^[25]发现用调环酸钙能显著提高黄瓜幼苗的根系活力, 有效抑制幼苗徒长, 从而提高了产量; 陈海玲等^[26]发现多效唑能有效抑制花生的徒长, 增强花生的抗倒伏性等; 赵树琪等^[27]的研究表明缩节胺能有效抑制棉花徒长, 缩短节间长度等, 从而增

加产量。

2.2 增强作物对水分胁迫的抗性

水分胁迫包含干旱和水涝, 是严重影响作物产量的因素。烯效唑可提高作物的耐旱性, 在干旱胁迫下, 施用烯效唑可缓解植物叶片含水量和光合作用受到抑制的程度, 并可通过提高植株体内保护酶活性来提高其耐旱性^[28-29]。众多研究者在不同作物上的研究也证明了这一观点, 如大豆、小麦等作物在经过烯效唑处理后, 植株体内可溶性糖、可溶性蛋白等的含量显著增加, 细胞液浓度增大, 增强了根系的吸水能力, 提高了作物的抗旱性^[30-31]。

水涝胁迫严重威胁着我国长江中下游平原和黄淮平原作物生长, 提高作物的耐涝性非常重要。水分胁迫降低了作物的光合速率^[32], 且由于根系缺氧, 作物体内新陈代谢不能正常运行, 严重时根系坏死, 造成作物死亡。施用 PGR 可增强作物的耐涝性。如水涝胁迫下, 施用烯效唑能缓解作物叶片蒸腾速率、净光合速率等的下降^[33], 增大叶面积指数, 提高作物的产量和抗涝性^[34]。另外, 作物自身的保护酶系统维持着其体内活性氧(ROS)增加与减少的相对平衡。许多研究者发现, 水涝胁迫下植物通过增强过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)、超氧化物歧化酶(SOD)等 3 种保护酶的活性来提高其耐涝性^[35-37]。如徐航^[38]发现, 给黄瓜基质和辣椒基质分别浇灌 100 mg/L 和 50 mg/L 的矮壮素时能显著增强其体内 SOD 和 POD 活性; 给番茄基质浇灌 150 mg/L 多效唑时, 其植株内的 SOD 和 POD 活性显著增强。刘子记等^[39]用多效唑处理辣椒苗也显著提高了辣椒体内 SOD 和 POD 活性, 曹振木等^[40]用矮壮素喷施甜椒幼苗也表现出相类似的结果。

2.3 增强作物对温度胁迫的抗性

温度是影响作物整个生育期生长的重要环境因素。温度胁迫下, 作物细胞的结构和内含物质发生了一系列变化来维持细胞的正常代谢^[41], 由于细胞质膜结构的变化, 使细胞膜透性增强, 电解质流失, 电导率升高, 因此电导率的变化能够

客观判断植物在温度胁迫中受伤害的程度^[42]。另外,细胞膜过氧化产物丙二醛(MDA)能够抑制细胞保护酶活性,从而加剧了膜脂过氧化,因此MDA含量也可用来衡量作物膜受损的情况,其含量与作物受伤情况正相关。

梁雪莲等^[43]研究发现,在低温下用烯效唑对小麦浸种,能降低小麦植株细胞内丙二醛含量,从而使膜的稳定性得到提升,这与杨文钰等^[44]的研究结果类似。可见,施用烯效唑后,能够稳定作物细胞膜结构,降低相对电导率,缓解作物在低温胁迫下受到的伤害。有研究者用烯效唑喷施冬油菜幼苗,同样有效提高了幼苗的抗寒性^[45]。另外,在低温胁迫下,调环酸钙除了可以降低番茄果实MDA含量外,还可以提高番茄脯氨酸含量,通过增强膜的完整性来减轻低温对作物造成的伤害^[46]。

高温胁迫下,作物细胞膜系统遭到损坏,造成叶绿体降解,显著降低了光合反应酶的活性,严重影响作物体内生理机制的正常运行,最终造成品质和产量下降^[47]。宁万光等^[48]发现在高温胁迫下,用烯效唑浸种小麦后,致使小麦细胞相对电导率降低,膜结构得到稳固,有效缓解了高温对小麦的伤害。另外,高温还导致植物细胞内ROS积累,使细胞受到氧化损伤^[49]。高温胁迫下,玉米体内活性氧增多,而作物活性氧清除系统中的SOD、POD和CAT等3种保护酶在减轻膜脂过氧化、缓解逆境对其造成的膜伤害中发挥着显著的作用^[50],众多研究者发现施用烯效唑、多效唑、矮壮素、调环酸钙可以增强作物SOD、POD和CAT等3种保护酶的活性^[38-40,46],从而减轻温度胁迫对作物膜脂造成的损伤,提高作物对温度胁迫的抗逆性。

2.4 增强作物对盐碱胁迫的抗性

盐碱胁迫是限制作物增产的重要因素^[51]。盐碱胁迫是指作物根系细胞在高浓度盐、碱的环境下受到渗透胁迫和高pH危害,会导致作物体内磷、镁等矿质元素的缺失等^[52]。盐碱胁迫下,烯效唑能提高作物的渗透调节能力^[53],降低对类胡

萝卜素和叶绿素形成过程的破坏^[54],所以适宜种类和浓度的PGR如烯效唑,能够有效抑制盐碱胁迫对作物引起的生理危害。

渗透调节是作物在盐碱胁迫中维持正常生长的主要方式之一。在盐碱胁迫下,作物细胞会主动增加无毒害的小分子溶质,如可溶性糖和脯氨酸等,以增大细胞液浓度,保证作物根系在胁迫环境中能正常吸收水分,维持正常生长^[55-56]。苹果品种嘎啦主要通过提高细胞的抗氧化能力而增加植株的抗逆性,从而更好地适应盐碱胁迫^[57]。在盐碱胁迫下,用烯效唑处理矮牵牛叶片后,可提高植株可溶性糖、可溶性蛋白等含量^[53]。还有研究表明,在盐胁迫下,蚕豆被调环酸钙浸种后,其脯氨酸、可溶性糖等含量有所提高,POD、吡哆乙酸氧化酶的活性也增强,从而降低了盐胁迫对作物造成的伤害^[58]。研究者还发现,在盐胁迫下,用多效唑浸种麻疯树南油1号,能增强其光合作用,从而减缓盐胁迫造成的伤害^[59]。此外,多效唑对减缓盐碱胁迫羊柴带来的伤害也效果显著^[60]。

3 小结与展望

植物生长延缓剂在提高作物抗逆性中功不可没,但是在实际应用中还存在一些问题。过量使用PGR不仅严重损害作物的安全性,还会对土壤、水体造成一定污染,所以在使用时要注意对浓度的控制。特别需要注意的是,已经证实丁酰肼(B9)对人有致癌作用,因此需谨慎使用^[61]。另外,同种PGR对不同作物产生的效果可能不同,如多效唑可提高桔梗总皂苷含量及产量^[62],而施用在麦冬上,虽可使其增产,但其总皂苷含量却下降显著^[63]。同种作物对于不同PGR的反应差异也很明显,如调环酸钙较多效唑对花生增产效果更明显^[64]。因此,对于不同作物,在选择PGR时要通过具体的试验,选择适宜的种类和施用浓度。

此外,诸多学者就PGR对作物抗逆性的影响做了大量的研究,但是多集中在生理水平,对于分子层面的研究还鲜有报告,因此,利用高通量技术,如蛋白组、转录组、代谢组等技术进行研

究,通过作物体内蛋白质、RNA等代谢产物的微观变化,在分子水平阐述PGR对作物的影响,挖掘抗性基因等方面还有很大的研究空间。

参考文献:

- [1] 柳娜,杨文雄,王世红,等.拟南芥rd29A启动子在不同胁迫下GUS活性分析[J].甘肃农业科技,2019(5):40-46.
- [2] 潘瑞焱.植物生理学[M].北京:高等教育出版社,2012:201-202.
- [3] WARNER R M, ERWIN J E. Effect of plant growth retardants on stem elongation of Hibiscus species[J]. Hort Technology, 2003, 13(2): 293-296.
- [4] HUMPHRIES, E. C. CCC and cereals[J]. Field Crop Abst, 1998, 21: 91-99.
- [5] RADEMACHER W. Growth retardants: effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways [J]. Annual Review of Plant Biology, 2000, 51 (1): 501-531.
- [6] GRAEBE J E, HEDDEN P, RADEMACHER W, et al. Gibberellin biosynthesis[M]. American Cancer Society, 2012: 431-460.
- [7] 贺菡董,孙振元,葛红.植物生长延缓剂在观赏植物上的应用研究[J].农学学报,2018,8(6):53-57.
- [8] 杨茹薇,孙梦瑄,秦勇.不同浓度PP333和B9喷叶处理对甜瓜幼苗质量的影响[J].新疆农业科学,2016,53(5):805-811.
- [9] JUNGKLANG J, SAENGNIL K, UTHAIBUTRA J. Effects of water-deficit stress and paclobutrazol on growth, relative water content, electrolyte leakage, proline content and some antioxidant changes in curcuma alismatifolia gagnep. CV. Chiang Mai Pink [J]. Saudi Journal of Biological Sciences, 2017, 24(7): 1505-1512.
- [10] 杨阳,蒯婕,吴莲蓉,等.多效唑处理对直播油菜机械收获相关性状及产量的影响[J].作物学报,2015,41(6):938-945.
- [11] 赵超鹏,周琴,曹春信,等.多效唑对多花黑麦草物质积累和种子产量的影响[J].草业科学,2010,27(3):72-75.
- [12] XIANG J, WU H, ZHANG Y, et al. Transcriptomic analysis of gibberellin and paclobutrazol treated rice seedlings under submergence[J]. International Journal Molecular Sciences, 2017, 18(10): 22-25.
- [13] NOGUCHI H. New growth regulators and S-3307 [J]. Japan Pesticide Information, 1987(51): 15-22.
- [14] 章晓琴,欧克芳,刘超,等.不同生长调节剂对盆栽美人蕉矮化效应研究[J].安徽农业科学,2018,46(28):98-100.
- [15] 郑日如,廖金,吴昀,等.烯效唑对东方百合索邦生长的影响[J].北方园艺,2012(3):72-74.
- [16] 寇凤仙,樊新华,齐巧丽,等.S3307、B9对水仙矮化和开花的影响[J].河北农业科学,2004(3):70-73.
- [17] 张亦弛.植物生长延缓剂对板栗实生苗和嫁接幼树的矮化效应研究[D].北京:北京林业大学,2019.
- [18] 钟颖颖,廖易,陆顺教,等.矮化剂作用机制及其在观赏植物上的研究进展[J].中国农学通报,2020,36(7):69-75.
- [19] BERRY P M, SPINK J. Predicting yield losses caused by lodging in wheat[J]. Field Crop Res, 2012, 137: 19-26.
- [20] 姜龙,曲金玲,孙国宏,等.矮壮素、烯效唑和多效唑对水稻倒伏及产量的影响[J].中国林副特产,2018(2):10-13;18.
- [21] TAN W M, HOUN, PANG S, et al. Improved biological effects of uniconazole using porous hollowsilica nanoparticles as carriers[J]. Pest Management Science, 2012, 68(3): 437-439.
- [22] SINGH V P. Uniconazole (S-3307) induced cadmium tolerance in wheat[J]. Journal of Plant Growth Regulation, 1993, 12: 1-3.
- [23] 刘星贝,吴东倩,汪灿,等.喷施烯效唑对甜芥茎秆抗倒性能及产量的影响[J].中国农业科学,2015,48(24):4903-4915.
- [24] 陈一西,汪军成,姚立蓉,等.2种生长延缓剂对青稞抗倒伏、生长及品质的影响[J].大麦与谷类科学,2019,36(5):24-31.
- [25] 李瑞,蒋欣梅,刘汉兵,等.不同浓度调环酸钙对黄瓜幼苗徒长防控的影响[J].中国蔬菜,2020(3):33-37.
- [26] 陈海玲,黄金堂,李清华,等.多效唑对多粒型花生生长发育及品质影响[J].花生学报,2010,39(4):4-44.
- [27] 赵树琪,张华崇,闫振华,等.缩节胺在我国棉花生产中应用研究概述[J].棉花科学,2018,40(3):7-11.

- [28] 李宁毅, 宋妍, 韩晓芳. 干旱胁迫下烯效唑对矮牵牛幼苗水分状况和光合特性的影响[J]. 江西农业大学学报, 2011, 33(6): 1062-1066.
- [29] YUAN Z, WANG B Q, JIANG Y, et al. Effects of uniconazole on physiological and biochemical properties of roots of different sweet potato cultivars at seedling stage[J]. Agricultural Science & Technology, 2015, 16(4): 629-633; 638.
- [30] 朱木兰, 何觉民. 烯效唑应用于小麦生态雄性不育系的效应研究[J]. 华中师范大学学报, 2000, 34(2): 226-228.
- [31] ZHANG M C, DUAN L S, TIAN X L, et al. Uniconazole-induced tolerance of soybean to water deficit stress in relation to changes in photosynthesis, hormones and antioxidant system[J]. Journal of Plant Physiology, 2007, 164(6): 709-717.
- [32] 吴金山, 张景欢, 李瑞杰, 等. 植物对干旱胁迫的生理机制及适应性研究进展[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2017, 37(6): 452-456.
- [33] 张会慧, 张秀丽, 许楠, 等. 外源钙对干旱胁迫下烤烟幼苗光系统II功能的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(5): 1195-1120.
- [34] 马爽. 烯效唑和激动素对水渍胁迫下黎小豆叶片生理代谢及产量的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2016(1): 58-63.
- [35] 李洋洋. 水分胁迫对玉带草生理特性的影响[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2012.
- [36] OU L J, DAIX Z, ZHANG Z Q, et al. Responses of pepper to water logging stress[J]. Photosynthetica, 2011, 49(3): 339-345.
- [37] 尹冬梅, 管志勇, 陈素梅, 等. 菊花及其近缘种属植物耐涝评价体系建立及耐涝性鉴定[J]. 植物遗传资源学报, 2009, 10(3): 399-404.
- [38] 徐航. 三种植物生长延缓剂对果菜类蔬菜穴盘秧苗生长及理化指标的影响[D]. 长春: 吉林农业大学, 2018.
- [39] 刘子记, 牛玉, 曹振木, 等. 多效唑对辣椒幼苗的矮化效应[J]. 北方园艺, 2013(7): 13-16.
- [40] 曹振木, 牛玉, 刘子记, 等. 矮壮素及烯效唑对甜椒幼苗质量的影响[J]. 热带作物学报, 2012, 33(12): 2156-2160.
- [41] 王立志, 孟英, 项洪涛, 等. 黑龙江省水稻冷害发生情况及生理机制[J]. 黑龙江农业科学, 2016(4): 144-150.
- [42] 项洪涛, 王立志, 王彤彤, 等. 孕穗期低温胁迫对水稻结实率及叶片生理特性的影响[J]. 农学学报, 2016, 32(11): 1-7.
- [43] 梁雪莲, 杨文钰, 王引斌. 烯效唑对小麦抗冷性影响的研究[J]. 山西农业科学, 2000, 28(4): 14-17.
- [44] 杨文钰, 徐精文, 张鸿, 等. 烯效唑(S3307)对秧苗抗寒性的影响及其作用机理研究[J]. 杂交水稻, 2003, 18(2): 53-57.
- [45] ZHOU W J, LEUL M. Uniconazole-induced alleviation of freezing injury in relation to changes in hormonal balance, enzyme activities and lipid peroxidation in winter rape [J]. Journal of Plant Growth Regulation, 1998, 26: 41-47.
- [46] SOLEIMANI AGHDAM M. Mitigation of postharvest chilling injury in tomato fruit by prohexadione calcium [J]. J Food Sci Technol, 2013, 50(5): 1029-1033.
- [47] 靳路真, 王洋, 张伟, 等. 高温胁迫对不同耐性大豆品种生理生化的影响[J]. 大豆科学, 2019, 38(1): 63-71.
- [48] 宁万光, 刘红敏, 张万平, 等. 烯效唑对小麦幼苗高温胁迫的缓解效应研究[J]. 现代农业科技, 2007(14): 103-104.
- [49] VOLKOV R A, PANCHUK I I, MULLINE-AUX P M, et al. Heat stress-induced H₂O₂ is required for effective expression of heat shock genes in Arabidopsis [J]. Plant Molecular Biology, 2006, 61(4-5): 733-746.
- [50] BLUM A, EBERCON A. Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat [J]. Crop Science, 1981, 21(1): 43-47.
- [51] GUAN B, ZHOU D, ZHANG H, et al. Germination responses of *Medicago ruthenica* seeds to salinity, alkalinity, and temperature [J]. Journal of arid environments, 2009, 73(1): 135-138.
- [52] ZHU J K. Plant salt tolerance [J]. Trends in Plant Science, 2001, 6(2): 66-71.
- [53] 李宁毅, 王吉振, 时彦平. 烯效唑(S3307)对矮牵牛幼苗耐盐性的调节效应[J]. 沈阳农业大学学报, 2011, 42(6): 668-671.
- [54] 孟娜, 徐航, 魏明, 等. 叶面喷施烯效唑对盐胁迫下大豆幼苗生理及解剖结构的影响[J]. 西北植物

高台县蔬菜产业发展现状及对策

杨万俊

(高台县经济作物技术推广站, 甘肃 高台 734300)

摘要: 为促进高台县蔬菜生产快速有序地可持续发展, 分析了高台县蔬菜产业发展现状、存在的问题及其发展潜力。提出了高台县蔬菜产业发展对策: 注重龙头企业引进; 抓好标准化基地建设; 延长蔬菜产业链条; 加强流通体系建设; 培育提升农业品牌; 完善技术服务体系; 推进农业废弃物资源化利用; 建立蔬菜生产保险机制等。

关键词: 高台县; 蔬菜产业; 发展现状; 发展对策

中图分类号: S63-33

文献标志码: A

文章编号: 1001-1463(2022)02-0006-04

doi: 10.3969/j.issn.1001-1463.2022.02.002

Development Status and Countermeasures of Vegetable Industry in Gaotai County

YANG Wanjun

(Cash Crop Technology Extension Station of Gaotai County, Gaotai Gansu 734300, China)

Abstract: In order to promote the rapidly and orderly sustainably development of vegetable production in Gaotai county, the development status, existing problems and development potential of vegetable industry in Gaotai county were analyzed. The development countermeasures of vegetable industry development in Gaotai county of Gansu province were put forward: pay more

收稿日期: 2022-01-21

作者简介: 杨万俊(1987—), 男, 甘肃临泽人, 助理农艺师, 主要从事经济作物技术推广工作。联系电话: (0)18093628206。

- 学报, 2017, 37(10): 1988-1995.
- [55] 武 香. 盐胁迫下植物的渗透调节剂其适应性研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2012.
- [56] 赵江涛, 李晓峰, 李 航, 等. 可溶性糖在高等植物代谢调节中的生理作用[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(24): 6423-6425.
- [57] 张夏焱, 张 瑞, 贾旭梅, 等. 苹果试管苗对盐碱胁迫的生理响应特性[J]. 甘肃农业科技, 2019(7): 33-40.
- [58] BEKHETA M A, ABDELHAMID M T, EI-MORSI A A. Physiological response of *Vicia faba* to prohexadione-calcium under saline conditions[J]. *Planta Daninha*, 2009, 27(4): 769-779.
- [59] 毛轶清, 陈健妙, 郑青松, 等. 多效唑浸种对盐胁迫下麻疯树幼苗光合作用的影响[J]. 中国油料作物学报, 2010, 32(3): 403-407.
- [60] 陈晓娜, 高 永, 党晓宏, 等. 植物延缓剂对盐碱胁迫下羊柴幼苗根系形态的影响[J]. 水土保持研究, 2017, 24(4): 187-190.
- [61] 薛 艳. 植物生长延缓剂对不同作物的作用及其机理研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2014.
- [62] 蒋凤荣, 张 旭, 洪艳丽. 麦冬皂苷 D 对过氧化氢造模的 HUVEC 保护作用机制研究[J]. 现代生物医学进展, 2008(9): 1646-1648.
- [63] XU D, HUANG H, LU M, et al. Simultaneous determination of 21 plant growth regulators in various fruits using quechers coupled with an HPLC-MS/MS technique[EB/OL]. (2015-05-20)[2021-07-19]https://www.agilent.com/cs/library/applications/5991-5506EN.pdf.
- [64] 杜连涛, 樊堂群, 王才斌, 等. 调环酸钙对夏直播花生衰老、产量和品质的影响[J]. 花生学报, 2008, 37(4): 32-36.