

张 特,赵 强,李广维. 缩节胺对棉花生长发育影响研究进展[J]. 江苏农业科学,2021,49(18):14-18.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.18.003

缩节胺对棉花生长发育影响研究进展

张 特,赵 强,李广维

(新疆农业大学农学院/棉花教育部工程研究中心,新疆乌鲁木齐 830052)

摘要:缩节胺作为棉田化控主要的植物生长调节剂,对棉花株型塑造及产量提升方面有显著作用。缩节胺对棉花的个体农艺性状与群体株型塑造、根系发育与养分运移、籽棉产量与纤维品质等各方面的影响均有较为详细的研究成果,为缩节胺的应用提供了坚实的理论基础。同时随棉花种植技术变化,缩节胺应用技术研究日益增多。本文概述了缩节胺的研发和应用的历史及进展,对棉花农艺性状、株型构造及产量等方面的影响进行归纳总结,并对缩节胺相关研究及其应用技术作了进一步研究展望。

关键词:缩节胺;棉花;株型塑造;应用技术

中图分类号:S562.01 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2021)18-0014-04

棉花作为世界范围内的重要的纤维作物,在我国同样有着举足轻重的地位。近年来,随着科学技术的飞速发展,及从事农业人员的老龄化问题日益突出,棉花栽培的轻简化趋势已不可逆转。众所周知,由于棉花“无限生长”的特性,在整个棉花生育期中,协调其营养生长与生殖生长,保证养分运输适时转移至生殖器官是保证棉花优质、高产、高效的关键因素。近现代棉花栽培领域三大技术中的化学调控技术就是为解决这一问题而采用的。在众多植物生长调节剂中,缩节胺(1,1-dimethyl-piperidinium chloride, DPC)因其低毒、低残留、见效快、成本低等优势逐渐成为最主要的棉田化控用药。同时在国内众多学者的不断探索研究中,缩节胺对棉花生长各个方面的影响已逐渐明晰。但目前缩节胺在棉田应用中大多数侧重于单一调控效果或作用机理方面的研究,而在棉花生产应用中总体情况的报道较少。本文主要综述国内外有关缩节胺应用过程中对棉花生长发育影响的研究进展,以期为我国棉花轻简化栽培技术的应用与推广提供一定的参考。

1 缩节胺的研发与应用历史

缩节胺(1,1-二甲基哌啶鎓氯化物)是由北京农业大学(现中国农业大学)于1980年研制成功的一种植物生长调节剂^[1]。缩节胺又名健壮素、助壮素,英文名称是 mepiquat chloric (MC),通用名为甲哌鎓,是一种抑制性季铵盐类植物生长调节剂。缩节胺是赤霉素(GA)生物合成抑制剂,通过减少植株内生 GA 水平导致细胞伸长率及细胞分裂速率降低,进而缩短植株节间长度,使株型紧凑,防止植物旺长。在赤霉素合成途径中缩节胺主要抑制赤霉素早期合成关键酶柯巴基焦磷酸合成酶(ent-copalyl diphosphate synthase, CPS)和内根贝壳杉烯合成酶(ent-kaurene synthase, KS)的活性,发挥延缓作用^[2-3]。

缩节胺最早应用于棉花种植,1982年在我国多个省市棉区进行试验推广,初步明晰其效果。1982—1990年于新疆、河北、江西、湖南等地围绕着缩节胺应用剂量、时间及其增产效应开展相关研究。1990年以后各大棉区除继续完善缩节胺应用技术外,在小麦、花生、玉米、向日葵、番茄及大豆等多种农作物上开展缩节胺应用试验^[4-6]。2000年以后,李新裕等探索以缩节胺为主的化学封顶技术,并取得一定成果^[7-8];雷斌等开展了棉种缩节胺包衣缓释技术的研究^[9-10]。目前阶段,科研人员根据农业技术发展趋势,针对新疆棉区植棉特点开展一膜三行棉花的缩节胺应用技术试验^[11],同时探讨无人机施药模式下的缩节胺用量^[12],进行缩节胺与

收稿日期:2021-01-11

基金项目:新疆生产建设兵团科技攻关项目(编号:2018AB039);新疆维吾尔自治区科技支疆项目(编号:2018E02030)。

作者简介:张 特(1995—),男,河北衡水人,硕士研究生,研究方向为作物化学控制原理与技术。E-mail:18240968114@163.com。

通信作者:赵 强,博士,副教授,主要从事作物化学控制原理与技术。E-mail:qiangzhao99@163.com。

其他植物生长调节剂复配药剂研制^[13], 充分满足棉花种植需求等工作。

2 缩节胺对棉花生长发育的影响

2.1 缩节胺对棉花农艺性状的影响

农艺性状的变化可直观地反映棉花生长发育的状况。在现代棉花高产栽培作业中, 通过缩节胺应用技术及相应管理措施来塑造理想株型及构建合理群体成为生产者及科研工作者关注的重点。迄今为止, 国内外学者就缩节胺对棉花个体及群体农艺性状的影响进行了深入研究。研究表明, 施用缩节胺后会显著降低棉花的株高与主茎节间长, 并会随缩节胺的用量增加而持续降低, 对主茎上部的抑制作用大于下部, 主茎生长量通常作为衡量其控制效果的指标^[14-16]。棉花茎粗对于缩节胺的反应不一, 霍飞超等认为缩节胺可以增加棉花节间的直径, 并随着用量的增加而增加^[11,17]; 相反王丽等认为缩节胺可以通过抑制棉花节间导管细胞和髓细胞的横向增长减小主茎直径^[3,18]。邢晋等研究发现增大缩节胺用量, 可减小棉花果枝方位夹角与叶片面积, 增加果枝倾角、叶长和叶柄长^[16,19]。缩节胺用量增加可导致果枝数减少但并不显著, 使果节数增加, 同时显著降低果枝始节位高度, 缩短下部主茎节间距^[20-21]。

2.2 缩节胺对棉花冠层结构的影响

棉花冠层形态对其群体内部光分布和光合特性有重要影响。合理的冠层结构可以增大光合有效辐射的截获与吸收, 促进光合作用, 加快生育进程, 提高棉花产量。缩节胺已被证明是最有效的植物生长调节剂之一, 并且已被广泛应用于全球棉花生产中, 用以控制棉株冠层大小^[22-23]。应用缩节胺后棉花叶片叶倾角增大, 叶片面积减小, 减少了上部叶片对光的截留, 增加了中部的穿透效果, 进而改善中下部冠层的光分布状况, 形成了更为高效的光利用群体^[24-27]。罗宏海等研究表明, 随着缩节胺用量的增加, 棉花的叶面积指数、叶倾角和群体光合速率显著降低, 群体散射辐射透过系数保持较高水平, 延长花铃期光合能力的高值持续期^[28]。马宗斌等在黄河流域棉区研究表明, 缩节胺处理改善麦后棉冠层光合性能, 群体结构合理, 营养与生殖生长协调进行^[29]。冯国艺等研究发现, 杂交棉适时常规使用缩节胺进行化学调控, 可以降低杂交棉株叶面积指数, 延缓中后期下降速率, 保持生长优势, 提

高产量^[30]。杨长琴等研究显示, 不同部位果枝夹角和长度, 叶面积指数均随缩节胺用量增加而降低, 蕾期、开花期和打顶后缩节胺用量比例为 1:2:4, 有利于改善棉花冠层特征, 实现早熟高产^[19]。

2.3 缩节胺对棉花干物质积累与分配的影响

干物质的积累与运输可反映作物群体的光合特性, 是形成棉花产量的基础, 并且干物质在各器官的分配比例直接影响棉花的产量。国内外学者从不同角度对缩节胺影响棉花干物质积累及运输进行了较多研究。据报道, 棉花的铃对位叶对缩节胺较为敏感, 喷施缩节胺后可显著促进棉花铃对位叶的光合作用, 促进同化物的形成, 使棉株的干物质积累增加^[31]。在生育后期, 缩节胺可延缓棉花植株衰老, 较长的光合作用时间更有利于干物质的积累^[32]。罗宏海等研究发现, 缩节胺可适度减少主茎、叶枝和果枝部位的赘芽, 棉花群体干物质积累量会随 DPC 化控量增加而减少, 群体干物质相比对照平均减少了 14.33%^[28,33]。无论缩节胺对棉花干物质积累是促进或抑制, 均能显著促进干物质向生殖器官的转移与分配。生殖器官与棉花功能叶距离较近, 可获得更多的干物质分配, 有利于干物质向生殖器官(铃壳、棉籽与棉纤维)分配^[22,25,27,34]。Pettigrew 等研究发现, 在盛花期喷施缩节胺后, 棉铃中干物质质量比例提高了 8%, 有利于产量形成^[35]。

2.4 缩节胺对棉花根系的影响

根系是固定植株、吸收养分和水分、合成氨基酸等含氮有机化合物、激素以及其他有机养分的重要器官, 也是与地上部进行物质交流的代谢器官, 根系的生长发育状况直接影响到地上部性状和产量^[36]。在棉花栽培作业中, 缩节胺能有效地调控根系内源激素含量水平, 进而有效地调控棉花根系生长发育, 增强根系活力^[37-38]。目前棉花根系对缩节胺的响应研究集中在根系活力、保护酶活性、活性氧(ROS)代谢等生理生化指标与干质量、长度、直径、体积及数量等根系形态参数等方面。

金子渔等研究表明, 缩节胺会显著增强棉花根系活力, 浸种处理后棉花幼苗的根系活力增加了 167%, 而田间试验下盛花期棉花的根系活力提高了 13.95%。缩节胺或可促进根部组织磷酸化, 改善根系细胞的 ROS 代谢, 增加根系对于 N、P、K 的吸收, 显著提高根系伤流量, 促进氨基酸及蔗糖向根系分配^[39-41]。同时王宁等的试验表明, 缩节胺处理使根系的过氧化氢酶、抗坏血酸氧化酶和谷胱甘肽还原

酶活力显著高于对照^[41]。缩节胺对促进侧根发生有较为明显的作用。通过对侧根组织的激素含量测定,缩节胺诱导根系组织中的生长素(IAA)与玉米素/玉米素核苷(Z/ZR)含量增加,同时调控部分赤霉素(GA₃)与细胞分裂素(CTKs)等激素含量从而促进棉株生根^[42]。在缩节胺浸种处理后,棉花主根中部侧根原基数较对照增加 30.6%~34.8%,侧根数增加了 36.0%~43.0%;浸种后的大田试验表明,田间幼苗在 2 张真叶平展时,对照与处理的侧根数分别是 16.9 条和 21.4 条,处理侧根数增加了 26.6%^[43]。Almeida 等研究发现,缩节胺浸种处理均对棉苗地上部生长有一定的抑制作用,提高了根系活力^[44-45],但前者认为该处理对根长及根冠比均无显著影响,而后者发现其明显促进了根系的长度,根干质量增加明显。

2.5 缩节胺对棉花产量和纤维品质的影响

缩节胺对棉花产量提升有两大方面,最主要的是缩节胺调控形成良好的冠层结构,改善群体内部光分布状况,形成高光效群体;同时缩节胺有一定的抗逆效果,在冻害、冷害、干旱及盐碱等非生物胁迫下,在一定程度上保证棉株的正常生长。2 方面同时作用对其产量构成因素(密度、单株结铃数、单铃质量与衣分)构成影响。缩节胺对棉花种植密度不会产生影响,但应用缩节胺会在高密度棉花群体中有效调控营养生长与生殖生长,促进干物质向生殖器官的转移,起到了对棉花群体容量的拓展效应^[46-47]。缩节胺对棉花的单株结铃数与单铃质量有较为明显的影响。徐新霞等研究发现,缩节胺施用后,棉株单株结铃数相比对照增加 0.41~1.74 个,单铃质量略有增加。缩节胺对于“三桃”中伏桃数量影响较小,而伏前桃与秋桃数量的占比取决于其应用时间早晚^[48]。缩节胺可增加棉花中下部果枝铃数的比例,促进内围铃的占比,达到改善棉花成铃结构、优化棉铃空间分布的作用^[22,49]。衣分基本不会受到缩节胺应用的影响^[50-51]。棉花产量对缩节胺的响应并不一致,在不同试验地点或试验条件下棉花产量或增加或减少。Siebert 等研究发现,与对照相比缩节胺处理的棉花籽棉产量与皮棉产量有显著的提升^[23]。同时部分科研人员认为缩节胺在诱导棉花紧凑冠层形成的同时会显著影响其生理进程,进而导致棉花产量有所减少^[24]。Shahbaz 等认为,我国长江流域棉区晚播高密模式下棉花应用缩节胺会降低棉花后期的光合作用,抑制

叶片中的酶活性,导致产量降低^[27]。

缩节胺对棉花纤维品质方面的影响各类报道结果不一,杨长琴等研究表明,缩节胺处理的纤维长度和比强度显著高于对照^[19]。刘丽英等研究表明,缩节胺处理可以提高纤维整齐度与比强度,但其上半部平均长度、马克隆值、伸长率等指标在各处理之间无显著差异^[15]。Ren 等研究表明,在现蕾期和开花期喷施缩节胺可以显著提高纤维长度(1.7%)和纤维强度(2.8%)^[52]。

3 展望

目前,缩节胺对棉花的调控效果已较为清晰,它对棉花个体农艺性状与群体株型塑造、根系发育与棉铃分布、幼苗化控与化学封顶、叶片生理活性与光合特性、激素动态与基因表达等各方面的影响均有较为详细与系统的研究成果,为缩节胺的应用提供了坚实的理论基础。

随着我国棉区尤其是新疆棉区的全程机械化进程不断加快,轻简化植棉需求愈发强烈,棉花品种及种植模式不断更新,缩节胺的研究工作应随区域主栽品种特性及新型种植模式的变化而进行跟踪研究。棉花化控通常单独施用缩节胺,对于株型塑造有着较好效果,但是针对棉株具体状况选用多种植物生长调节剂或可更能获得理想效果。缩节胺复配其他植物生长调节剂例如多效唑、矮壮素与 DTA-6 等在棉花种植中取得了较好效果。近年来,多种用于棉花的较为新颖的植物生长调节剂出现,例如调环酸钙、艾氟迪(AFD)、诱抗素与冠菌素等,或可与缩节胺复配应用,探索其在棉花上的调控效应,满足多个地区棉花种植中的需求。

缩节胺应用技术目前以叶面喷施为主,往往需要多次施用,这又加大了人力使用量,增加了种植成本;浸种、拌种及包衣缓释缩节胺不能满足植株生长中后期的调控,控制效果劣于叶面喷施,需在缩节胺的施用方式上再作创新。参考前人随水滴施多效唑的方式^[53],将缩节胺与化肥共同施用随滴灌进入棉花根部,经根部吸收后在棉株内部进行运输及调控,在随水滴施状态下缩节胺或可对棉花产生有效的调控,同时更有效地促进根系发育,减少化控过量风险,降低种植成本,形成缩节胺的新的施用方式。

参考文献:

[1] 李丕明. 加强棉花化学控制技术的研究[J]. 中国棉花, 1982

- (2):10-12.
- [2] Rademacher W. GROWTH RETARDANTS: effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways[J]. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology,2000,51:501-531.
- [3] 王 丽. 赤霉素合成抑制剂 DPC 调控棉花营养生长的分子机制研究[D]. 北京:中国农业大学,2014.
- [4] 柳延涛,徐安阳,段 维,等. 缩节胺、多效唑和矮壮素对向日葵生理特性的影响[J]. 中国油料作物学报,2018,40(2):241-246.
- [5] 王 梅,刘 渊,高志奎. 缩节胺对越冬番茄的生长调控效应研究[J]. 北方园艺,2012(10):45-47.
- [6] 张 伟,邱 强,赵 婧,等. 不同化控调节剂对杂交大豆产量及产量相关性状的调控效应[J]. 作物杂志,2015(4):81-84.
- [7] 李新裕,陈玉娟. 新疆垦区长绒棉化学封顶取代人工打顶试验研究[J]. 中国棉花,2001,28(1):11-12.
- [8] 赵 强,周春江,张巨松,等. 化学打顶对新疆棉花农艺和经济性状的影响[J]. 棉花学报,2011,23(4):329-333.
- [9] 雷 斌,恽友兰,张云生,等. 根用多功能缓释缩节胺在棉花上的应用研究[J]. 新疆农业科学,2007,44(4):502-505.
- [10] 周春江,田晓莉,李松林,等. 缓释缩节胺包衣处理对棉花农艺及经济性状的调控效果[J]. 中国棉花,2004,31(9):14-16.
- [11] 霍飞超,李鹏程,李运海,等. 棉花1膜3行模式下密度和缩节胺用量优化组合[J]. 新疆农业科学,2020,57(6):1039-1048.
- [12] 张亚林,黄 群,马小艳,等. 无人机飞防对棉花生长调控效果研究[J]. 中国棉花,2019,46(1):26-28.
- [13] 蔡晓虎,史亚辉,林 萍,等. 氟节胺与缩节胺联合使用对棉花生长发育调控的影响[J]. 新疆农业科学,2019,56(11):1997-2005.
- [14] Gu S, Evers J B, Zhang L, et al. Using functional-structural plant modeling to explore the response of cotton to mepiquat chloride application and plant population density[J]. FEBS Journal,2013, 12(1):90.
- [15] 刘丽英,戴茂华,吴振良. 缩节胺对黄河流域机采棉农艺性状、产量和品质的影响及化控技术研究[J]. 中国农学通报,2018, 34(33):38-42.
- [16] 邢 晋,张思平,赵新华,等. 种植密度和缩节胺互作对棉花株型及产量的调控效应[J]. 棉花学报,2018,30(1):53-61.
- [17] 周桂生,林 岩,童 晨,等. 钾肥和缩节胺对高品质棉株型和产量的影响[J]. 湖北农业科学,2011,50(23):4801-4803.
- [18] 黄 颖. 夏直播棉花应用缩节胺效果研究[D]. 武汉:华中农业大学,2017.
- [19] 杨长琴,张国伟,刘瑞显,等. 种植密度和缩节胺调控对麦后直播棉产量和冠层特征的影响[J]. 棉花学报,2016,28(4):331-338.
- [20] 韩焕勇,杜明伟,王方永,等. 北疆棉区增效缩节胺应用剂量对棉花农艺和经济性状的影响[J]. 西南农业学报,2019,32(2):327-330.
- [21] 张巨松,陈 冰,周抑强,等. DPC 对棉花群体发育调控效应的研究[J]. 新疆农业大学学报,1999,22(1):21-25.
- [22] Mao L L, Zhang L Z, Evers J B, et al. Yield components and quality of intercropped cotton in response to mepiquat chloride and plant density[J]. Field Crops Research,2015,179:63-71.
- [23] Siebert J D, Stewart A M. Influence of plant density on cotton response to mepiquat chloride application[J]. Agronomy Journal, 2006,98(6):1634-1639.
- [24] Gonias E D, Oosterhuis D M, Bibi A C. Cotton radiation use efficiency response to plant growth regulators[J]. The Journal of Agricultural Science,2012,150(5):595-602.
- [25] Gwathmey C O, Clement J D. Alteration of cotton source-sink relations with plant population density and mepiquat chloride[J]. Field Crops Research,2010,116(1/2):101-107.
- [26] Mao L L, Zhang L Z, Zhao X H, et al. Crop growth, light utilization and yield of relay intercropped cotton as affected by plant density and a plant growth regulator[J]. Field Crops Research,2014,155(1):67-76.
- [27] Tung S A, Huang Y, Hafeez A, et al. Mepiquat chloride effects on cotton yield and biomass accumulation under late sowing and high density[J]. Field Crops Research,2018,215:59-65.
- [28] 罗宏海,赵瑞海,韩春丽,等. 缩节胺(DPC)对不同密度下棉花冠层结构特征与产量性状的影响[J]. 棉花学报,2011,23(4):334-340.
- [29] 马宗斌,李伶俐,谢德意,等. 施肥与缩节胺配合对麦后直播夏棉光合特性及产量的影响[J]. 中国生态农业学报,2006,14(4):94-97.
- [30] 冯国艺,姚炎帝,杜明伟,等. 缩节胺(DPC)对干旱区杂交棉冠层结构及群体光合生产的调节[J]. 棉花学报,2012,24(1):44-51.
- [31] 刘 翠,张巨松,魏 鑫,等. 甲哌磺化控对南疆杂交棉功能叶生理指标及产量性状的影响[J]. 棉花学报,2014,26(2):122-129.
- [32] 唐光木,徐万里,葛春辉,等. 喷施化学调控剂缩节胺、乙烯利对棉花植株氮挥发的影响[J]. 中国农业科学,2010,43(23):4862-4870.
- [33] 严根土,马宗斌,黄 群,等. 黄河中游滩区植棉适宜的缩节胺用量研究[J]. 中国棉花,2014,41(7):23-27.
- [34] Zhao D L, Oosterhuis D M. Pix plus and mepiquat chloride effects on physiology, growth, and yield of field-grown cotton[J]. Journal of Plant Growth Regulation,2000,19(4):415-422.
- [35] Pettigrew W T, Johnson J T. Effects of different seeding rates and plant growth regulators on early-planted cotton[J]. Journal of Cotton Science,2005,9(4):189-198.
- [36] 李军宏,王远远,夏 军,等. 两个不同耐旱性棉花品种根系生理特性对干旱的响应[J]. 应用生态学报,2020,31(10):3453-3460.
- [37] 段留生,黄志强,于运华,等. 缩节胺(DPC)和黄腐酸(FA)对棉花种子萌发和幼苗素质的影响[J]. 莱阳农学院学报,1997,14(2):109-113.
- [38] 李秀菊,职明星. 缩节胺对无毒棉和抗虫棉抗旱性生理效应研究[J]. 河南职业技术学院学报,1999,27(3):30-33.
- [39] 金子渔,赵妙珍. 缩节胺(DPC)对棉花某些生理作用影响的研究[J]. 北京农业大学学报,1991(增刊1):47-50.
- [40] 田晓莉,谭伟明,李召虎,等. DPC 与 DTA-6 复配对转基因抗虫棉根系功能的调控[J]. 棉花学报,2006,18(4):218-222.

王楠,焦子伟,李东育,等. 我国绿色设施农业栽培关键技术研究进展[J]. 江苏农业科学,2021,49(18):18-24.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.18.004

我国绿色设施农业栽培关键技术研究进展

王楠¹, 焦子伟¹, 李东育¹, 陈晓露¹, 王念平²

(1. 伊犁师范大学生物与地理科学学院, 新疆伊宁 835000; 2. 伊犁州职业技术学院, 新疆伊宁 835000)

摘要:近年来随着我国设施绿色农业得到迅速发展,其关键栽培技术也得到了充分示范与应用。本文基于我国绿色设施农业生产现状和栽培关键技术最新研究进展,重点介绍了绿色设施农业种苗技术上如育种、育苗技术措施,模式栽培上如无土栽培和有土栽培措施,肥水管理上如施肥技术、灌溉技术和其他技术措施,病虫害防治上如法律法规保障、预测预报、农业防治、物理机械防治、生物防治、化学防治等防治方法与措施,现代智能化装备与技术上如机械智能化装备、现代智能化技术等措施,对其栽培关键技术进行集成与归纳总结,并对今后我国绿色设施农业发展提出了合理化建议与对策。

关键词:设施农业,绿色食品,栽培,研究进展,建议

中图分类号:S316 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2021)18-0018-07

设施农业是结合工程、信息、生物、环境技术为一体的集约型、现代化的现代农业生产模式,能增强农业综合生产力、抗风险能力,提高土地、资源利

用率和劳动生产率^[1]。自 20 世纪 90 年代我国设施农业就开始从国外引进先进栽培经验和技术加以应用与示范,截至 2015 年设施园艺面积达到 410.9 万 hm²,产值达到 9 800 亿元^[2]。近年来,随着我国人民生活水平不断提高,现代社会和消费者对食品选择也发生了转变,要求食品多样、健康和安,我国绿色农业得到迅速发展,产业链逐渐延长,已经形成一定规模。据报道,2014 年底我国绿色食品产品总数达到 14 500 个,年销售额达到 1 798 亿元,出口额显著提升^[3]。近年来,绿色设施农业发展迅速,在我国各地形成了塑料大棚、日光温室、智能温

收稿日期:2020-12-16

基金项目:新疆维吾尔自治区科技支疆项目(编号:2017E0239)。

作者简介:王楠(1992—),女,新疆伊宁人,硕士,讲师,主要从事有机农业、农业生态研究。E-mail:zoe_ylsy@163.com。

通信作者:焦子伟,博士,教授,主要从事微生物生态及绿色有机有害生物综合防治研究与示范,E-mail:741285332@qq.com;王念平,副教授,主要从事农作物有害生物防治研究,E-mail:539958220@qq.com。

[41]王宁,田晓莉,段留生,等. 缩节胺浸种提高棉花幼苗根系活力中的活性氧代谢[J]. 作物学报,2014,40(7):1220-1226.

[42]陈晓娇. DPC 浸种促进棉花侧根发育的激素机制及结合态 ABAsFv 的制备[D]. 北京:中国农业大学,2017.

[43]段留生,张一,唐祥舜,等. 甲哌鎓对棉花幼苗侧根发生的诱导效应和机理研究[J]. 西北植物学报,2002,22(4):877-882.

[44]de Almeida A D,Rosolem C A. Cotton root and shoot growth as affected by application of mepiquat chloride to cotton seeds[J]. Acta Scientiarum(Agronomy),2012,34(1):61-65.

[45]汪有元,李维江,董合忠. 不同化学试剂处理对棉花种子萌发和抗盐性的影响[J]. 山东农业科学,2010(3):73-76.

[46]Mao L L,Zhang L Z,Sun X Z,et al. Use of the beta growth function to quantitatively characterize the effects of plant density and a growth regulator on growth and biomass partitioning in cotton[J]. Field Crops Research,2018,224:28-36.

[47]赵强,张巨松,周春江,等. 化学打顶对棉花群体容量的拓展效应[J]. 棉花学报,2011,23(5):401-407.

[48]徐新霞,苏丽丽,魏鑫,等. DPC 对杂交棉生长发育调控效应

研究[J]. 新疆农业科学,2015,52(7):1237-1242.

[49]Cook D R,Kennedy C W. Early flower bud loss and mepiquat chloride effects on cotton yield distribution[J]. Crop Science,2000,40(6):1678-1684.

[50]Gao H Y,Ma H,Khan A,et al. Moderate drip irrigation level with low mepiquat chloride application increases cotton lint yield by improving leaf photosynthetic rate and reproductive organ biomass accumulation in arid region[J]. Agronomy,2019,9(12):834.

[51]Zhao W C,Du M W,Xu D Y,et al. Interactions of single mepiquat chloride application at different growth stages with climate,cultivar and plant population for cotton yield[J]. Crop Science,2017,57(3):1-12.

[52]Ren X M,Zhang L Z,Du M W,et al. Managing mepiquat chloride and plant density for optimal yield and quality of cotton[J]. Field Crops Research,2013,149:1-10.

[53]慕自新,马富裕,郑重,等. 膜下滴灌棉花随水根施多效唑的效果分析与化控技术的探讨[J]. 农业工程学报,2004,20(4):54-57.