

缩节胺对棉花生长发育的调控效应研究进展

石治鹏¹,李 敏^{1,2},林忠旭³,李晓方¹,李定国^{1*}

(1. 长江大学 农学院 作物遗传育种研究所,湖北 荆州 434025; 2. 长江大学 园艺园林学院,湖北 荆州 434025;
3. 华中农业大学 植物科学技术学院/作物遗传改良国家重点实验室,湖北 武汉 430070)

摘要: 在棉花生产过程中运用缩节胺进行化学调控是我国发展轻简化棉花栽培技术的必然趋势。缩节胺对棉花生长发育的调控作用可以分为基本效应和复合效应 2 类,基本效应指喷施缩节胺后棉花在形态和功能上的直接变化,如农艺性状变化等;复合效应是指在基本效应的基础上,结合外界环境等其他因素共同作用后形成的变化,如产量性状变化等。重点讨论了缩节胺在棉花栽培上的使用技术,以及缩节胺对棉花种子萌发、根系活力、农艺性状、生理生化特性、产量及其构成因素、纤维品质和抗性的影响,同时还总结了缩节胺在目前生产中应用面临的问题,并对缩节胺化控在棉花育种上的应用前景进行了展望。

关键词: 棉花; 缩节胺; 生长发育; 基本效应; 复合效应

中图分类号: S562 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004 - 3268(2017)07 - 0001 - 08

Research Progress on Regulating Effect of DPC on
Cotton Growth and Development

SHI Zhipeng¹, LI Min^{1,2}, LIN Zhongxu³, LI Xiaofang¹, LI Dingguo^{1*}

(1. Institute of Crop Genetic and Breeding, College of Agriculture, Yangtze University, Jingzhou 434025, China;
2. College of Horticulture and Gardening, Yangtze University, Jingzhou 434025, China; 3. College of Plant Science & Technology,
Huazhong Agricultural University/National Key Laboratory of Crop Genetic Improvement, Wuhan 430070, China)

Abstract: The use of DPC in chemical regulation exhibits a trend for developing light and simplified cultivation of cotton in China. The effects of DPC on cotton growth and development can be divided into primary responses and integrate responses. The primary responses are the direct change of the morphology and function of cotton after spraying the DPC, such as the change of agronomic traits. The integrate responses lays a foundation of primary responses, combined with other factors such as the external environment and then formation of change after combined action, such as the change of yield traits. This paper discussed the application technology of DPC in cotton, and the effects of DPC on cotton seed germination, root vigour, agronomic and yield-related traits, fiber quality, physiological and biochemical characteristics and cotton resistance. Finally, the problems of DPC application in cotton were summarized, and the potential application prospect of DPC in cotton breeding was put forward.

Key words: cotton; DPC; growth and development; primary responses; integrate responses

棉花是世界上重要的经济作物,是纺织工业的主要原料,在国民经济中起着举足轻重的作用^[1]。近年来,我国农村种地老龄化、妇女化、兼职化、副业化的现象日趋突出,农村劳动力资源的减少导致棉花用工生产成本增加,植棉效益和收益下降。2014年,棉花籽棉价格已降至 6 元/kg 以下^[2];2015 年,长江流域和黄河流域棉区实际播种面积较 2014 年分别下降 30.8% 和 37.4%^[3]。另外,在适宜的光

收稿日期:2017 - 01 - 27
基金项目:国家公益性行业(农业)科研专项(201303008);国家自然科学基金项目(37371674)
作者简介:石治鹏(1991 -),男,湖北大悟人,在读硕士研究生,研究方向:棉花遗传育种。E - mail:cjdxshizhipeng@163.com
* 通讯作者:李定国(1972 -),男,湖北十堰人,副教授,硕士,主要从事棉花遗传育种研究。E - mail:361113214@qq.com

照、温度、水肥等环境条件下,棉花具有纵向和横向无限生长发育的特性,其生育前期往往雨水过多且温度较高,易造成营养体生长过旺,从而使得营养生长和生殖生长不协调,最终导致棉花早衰,蕾铃脱落严重,产量和品质降低。因此,协调好棉花营养生长和生殖生长间的关系,是实现棉花优质、高产、高效至关重要的因素^[4]。棉花产量和品质等性状不仅受遗传效应的影响,还受大田温度、光照、水分、养分、栽培管理措施等因素的直接影响^[5-6]。施用植物生长调节剂,被列为我国建国以来棉花栽培领域三大技术(化学调控、育苗移栽、地膜覆盖)变革之首,且在国内外棉花生产上得到了广泛应用,其中,缩节胺(1,1-dimethyl-piperidinium chloride, DPC)应用最广泛^[7-10]。缩节胺又名健壮素、助壮素,英文名称是 mepiquat chloricie (MC),商用名称为 Pix,通用名为甲哌噻,是一种抑制性外源植物生长调节剂。缩节胺是赤霉素(GA)生物合成抑制剂^[11],通过减少棉花内生 GA 水平抑制细胞的伸长和扩大,进而影响棉花的生长,塑造良好株型,改善生理特性、产量、纤维品质^[12]。因此,欲降低植棉成本,稳定棉花种植面积,提高棉花产量、品质,用机械化、化学化替代人工管理是必然趋势^[13]。根据作物补偿机制中的得失补偿和差异补偿^[14],发展以轻简化栽培技术为要求的缩节胺化学调控技术,是我国棉花生产发展的必然趋势^[15-16]。缩节胺在实际应用中灵活性比较大,只有根据具体的田间环境条件和棉花生长发育状况进行合理调控,才能达到预期效果^[17]。主要综述了国内外有关缩节胺在棉花生长和发育上的调控效应研究进展,以期对棉花的育种工作提供一定的参考。

1 缩节胺在棉花栽培上的使用技术

缩节胺受外界环境条件影响很大,所以并不是施用次数越多越好,也不是任何条件下都采取同一程序。目前,我国棉区主要分为长江流域棉区、黄河流域棉区、西北内陆棉区三大植棉区,不同棉区的缩节胺化控技术不同。别墅等^[15,18]、吴慧等^[19]研究表明,长江流域棉区一般进行 4~5 次缩节胺化控:7~10 片真叶时,缩节胺用量为 7.5 g/hm²,对水 180 kg;12~15 片真叶时,缩节胺用量为 15.0~22.5 g/hm²,对水 225 kg;初花期,缩节胺用量为 30.0~37.5 g/hm²,对水 450 kg;盛花期,缩节胺用量为 45.0~52.5 g/hm²,对水 525 kg;打顶后 5~10 d,缩节胺用量为 60.0~75.0 g/hm²,对水 600 kg。王延琴等^[20]、郑洁等^[21]发现,黄河流域棉区一般进

行 3~4 次缩节胺化控:蕾期,缩节胺用量为 7.5~15.0 g/hm²,对水 150~300 kg;初花期,缩节胺用量为 22.5~37.5 g/hm²,对水 450~600 kg;盛花期,打顶后 5~7 d,缩节胺用量为 37.5~45.0 g/hm²,对水 600~750 kg。王大光等^[22]、王刚等^[23]研究表明,西北内陆棉区(以新疆为例)一般进行 5~6 次缩节胺化控:1~2 片真叶期,缩节胺用量为 4.5~7.5 g/hm²;4~8 叶期,缩节胺用量为 7.5~15.0 g/hm²;初花期,北疆棉田缩节胺用量为 22.5~30.0 g/hm²,南疆用量为 22.5~37.5 g/hm²;盛花期,北疆棉田缩节胺用量为 30.0~37.5 g/hm²,南疆用量为 22.5~37.5 g/hm²;打顶后 7~10 d,北疆棉田缩节胺用量为 90~150 g/hm²,南疆为了多结盖顶桃,将缩节胺化控分 2 次进行,第 1 次在顶部果枝伸长至 8~10 cm 时,用量为 90~120 g/hm²,7 d 后进行第 2 次化控,即在顶部果枝第 2 果节伸长至 5~8 cm 时,用量为 120~150 g/hm²。

棉花的化控技术要求很高,缩节胺浓度、施用时期不同,对棉花的形态、产量、纤维品质等性状的影响也不同,而且不同棉花品种对缩节胺化控的敏感性也存在差异。研究表明,棉花苗期喷施低剂量缩节胺能促进生长,可控制棉花营养生长且提高花铃期抗逆性;而高剂量则显著抑制生长,不利于棉株冠层的生长^[24-26]。少量多次喷施缩节胺的效果优于初花期一次喷施^[27],低密度棉花少量少次喷施缩节胺的调控效应较好^[28]。研究发现,陆地棉产量等性状对缩节胺化控的响应均大于海岛棉,不同棉花品种在生产上不可采用同一模式进行化控^[29],采用轻量化控比常规化控更有助于干旱地区杂交棉发挥其生长优势^[30]。

2 缩节胺对棉花生长发育的调控效应研究进展

2.1 缩节胺对棉花种子萌发及根系活力的影响

种子萌发是棉花生育周期中最脆弱、最重要的过程,容易受到病虫害等外部环境条件的影响,种子萌发的质量对出苗率、幼苗长势、棉花的繁衍与生存等有一定的影响^[31]。国内外关于缩节胺对棉花种子萌发的影响已有较多报道,周春江等^[32]以新陆早 8 号为供试品种,研究了缓释缩节胺包衣处理对棉花农艺及经济性状的调控效果,结果发现,随缩节胺使用剂量的增加,3 种缓释材料包衣处理的棉花出苗率均逐渐下降。赵强等^[33]以中棉所 49 号为材料,采用高、中、低 3 个剂量的缓释缩节胺对种子进行包衣,结果发现,棉花出苗所需时间随着缩节胺包

衣剂量的增加而延长。田晓莉等^[34]对棉花种子进行缩节胺拌种,采用生物试法测试发现,未应用缓释技术的拌种对照由于包被在种子表面的缩节胺释放快、释量大,因此植株吸收到的缩节胺多、生长受到的延缓作用强;采用¹⁴C-缩节胺同位素标记法测试发现,种子经缩节胺拌种后,种壳上的缩节胺一方面直接被种胚吸收,一方面向土壤中扩散进而被幼苗的根系吸收。

根系是植物吸收水分和养分的重要器官,根系活力对根系的生命活动、功能有很大影响。目前,缩节胺对根系活力的影响已有诸多报道。唐中杰等^[35]研究表明,缩节胺能通过增加棉花侧根数及同化产物向根系分配的比例来促进棉花根系的发育。田晓莉等^[36]以转基因抗虫棉 SGK321 为试验材料,研究了缩节胺与 DTA-6 复配对转基因抗虫棉根系功能的调控,结果发现,缩节胺处理棉花的根系活力在盛花期提高了 13.95%,结铃盛期的根系伤流量提高幅度较大,伤流液中游离氨基酸的流量在盛花期和结铃盛期分别较清水处理的对照提高 8.50% 和 32.87%,改善了根系的功能。de Almeida 等^[37]用缩节胺处理棉花品种 FM993 的种子,结果表明,缩节胺对棉花幼苗生长有延缓作用,可以促进根系发育,提高根系活力,对根长无显著影响。王宁等^[38]以国欣棉 3 号为材料,用 200 mg/L 缩节胺浸种 12 h,结果表明,缩节胺浸种处理的棉花幼苗根系活力增强,且显著改善了棉花幼苗根系的 ROS 代谢水平。根系组织的 ROS 代谢得到改善可能是缩节胺浸种提高棉花幼苗根系活力的机制之一。

2.2 缩节胺对棉花农艺性状的影响

农艺性状是判断棉花生长状况的重要指标。塑造理想株型、防止疯长、构建合理群体,是棉花高产稳产的基础。研究表明,喷施缩节胺可以降低棉花株高^[9,32,39]、主茎节数和节间长度^[40-42],还可有效降低果枝始节位置及始节高,增加有效果台数^[43],增大果枝粗度,缩短果枝长度^[44],对棉株上部主茎节间平均长度和中上部果枝平均长度的生长具有抑制作用^[45]。杨长琴等^[46]以中棉所 50 为材料,采用裂区设计,研究了种植密度和缩节胺对麦后直播棉产量和冠层结构的影响,结果发现,缩节胺用量越高,不同果枝夹角和长度越低;且缩节胺在蕾期、开花期、打顶后的用量比例为 1:2:4 时,有利于改善冠层特征,实现早熟高产。杨成勋等^[47]以新陆早 45 号和中棉所 50、45-21 为试验材料,研究了喷施化学打顶剂对棉花冠层结构及群体光合生产的影响,结果表明,田间喷施缩节胺打顶可以塑造株型,改善冠

层中下部光环境,调节棉花冠层结构。由于棉花株高、分枝主要受品种遗传和环境条件的影响,所以利用缩节胺对棉花进行化控,塑造良好的冠层结构成为棉花取得优质高产的关键技术。

2.3 缩节胺对棉花产量和纤维品质的影响

单位面积结铃数、单铃质量、衣分是棉花产量的 3 个主要构成因素,其中,衣分主要由遗传特性决定,结铃数和单铃质量则受环境影响比较大,可以通过农艺措施进行调节,尤其是结铃性可塑性较大^[48]。棉花产量和纤维品质不仅受棉花品种本身的遗传特性制约,化控等栽培措施对其影响也较大。大量试验研究表明,缩节胺对棉花产量及其构成因素的调控效应是不一致的。任晓明等^[49]以清水为对照,分别于苗期、蕾期、初花期、打顶后 5 d 喷施缩节胺,分析发现,缩节胺系统化控对衣分没有显著影响,但使棉花品种国欣棉 3 号和欣抗 4 号的单位面积结铃数显著增加,单铃质量也显著提高,2 个品种籽棉产量分别比对照显著提高 10.2% 和 13.7%。徐新霞等^[50]研究发现,缩节胺喷施 3 次效果最佳,棉株单株结铃数和单铃质量显著增加,皮棉产量达到 3 583.3 kg/hm²。宋妮等^[51]采用桶栽试验,研究不同水分状况下喷施缩节胺对棉花蕾铃和产量的影响,结果表明,缩节胺对棉株蕾铃生产影响小,土壤含水量较高时喷施缩节胺可使棉花增产。Gwathmey 等^[39]研究表明,在窄行系统中,喷施缩节胺可以使棉花的下部铃增多,有益于结铃,提高单位面积结铃数和皮棉产量。Yang 等^[52]研究发现,在现蕾期和开花期喷施缩节胺可以显著提高皮棉产量。而其他一些研究结果显示,喷施缩节胺可以降低产量或对产量无显著影响^[53-54],也可以降低单铃质量和衣分或对单铃质量和衣分无显著影响^[19,53]。在棉铃的时间和空间分布上,研究表明,喷施缩节胺可提高伏前桃、秋桃产量^[51],降低上部结铃数和单铃质量^[55],增加中下部果枝铃数比例^[53]。Mao 等^[56]研究表明,喷施缩节胺导致棉铃向中、下部集中,增加中、下部果枝成铃数,减少上部果枝铃数,单株结铃数略有增加,可以改变棉花成铃空间的分布。

有关缩节胺化控对棉花纤维品质的影响研究也较多,且影响结果也不一致。何钟佩等^[57]研究发现,缩节胺处理对棉花纤维细度、纤维强力、断裂长度和成熟系数各项指标均没有不良影响。Wilson 等^[58]喷施不同剂量缩节胺进行棉花窄膜试验,结果发现,棉花纤维长度提高了 1.1% ~ 1.8%,而纤维强度、马克隆值、整齐度指数均无显著变化。刘燕等^[59]研究了缩节胺和打顶与整枝对华杂棉 H318 产

量及纤维品质的影响,结果表明,缩节胺对整齐度指数和马克隆值(没有改变马克隆值等级)有显著影响,但是对纤维上半部平均长度和断裂比强度无显著影响。Ren 等^[60]研究表明,在现蕾期或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%)。总结发现,缩节胺对棉花产量和纤维品质的影响结果不尽一致,这可能是受光照、温度、水肥、化控等因素综合影响造成的^[60-61]。

2.4 缩节胺对棉花生理生化特性的影响

作物产量的 95% 来自光合作用形成的有机物,如何提高作物光合能力是科研工作者长期探索和关心的重要内容之一^[62-63]。库源关系的协调是棉花获得高产的基础^[64]。大量试验结果表明,喷施缩节胺后,棉花叶片增厚且叶色变得深绿^[65-66],叶绿素含量增加^[67],光合物质积累增加^[68-69],光能利用率提高^[44],保证了较高的群体光合能力。研究表明,缩节胺打顶处理棉花叶片的叶绿素含量较人工打顶处理高 31.12%~60.43%,叶面积指数高且高值持续期长,光合面积增加,光合时间延长^[47]。刘翠等^[70]研究发现,合理的甲哌鎗喷施次数能增强铃对位叶光合能力,促进铃对位叶合成更多的可溶性糖与可溶性蛋白,使更多的光合产物向产量器官转移,延缓叶片衰老进程,提高生育后期叶片光合速率,从而促进棉铃中光合产物的累积。低浓度缩节胺能提高棉花花铃期的叶绿素含量,降低丙二醛含量;而高浓度则使叶绿素含量下降,丙二醛含量上升^[25]。周运刚等^[71]以新陆早 44 号为材料,研究了不同缩节胺处理对棉花生理生化特性的影响,结果表明,缩节胺处理前期叶片中的叶绿素、游离脯氨酸、可溶性蛋白含量随缩节胺浓度的增大而逐渐增加,而处理后期叶绿素、游离脯氨酸含量则低于用清水处理的对照,适宜的缩节胺浓度可以提高棉花细胞耐渗透压能力,增强抗胁迫能力。冯国艺等^[72]研究发现,新疆超高产棉花冠层形成特征表现为,冠层各部位叶片群体光合速率高且在冠层垂直方向呈均匀分布,中下部叶面积指数分布比例高,吐絮期上部叶片群体光合速率下降缓慢。唐光木等^[73]发现,喷施缩节胺可以促进叶片同化物向生殖器官转移,使可溶性蛋白含量降低、叶片气孔面积减小,还可以增强叶片硝酸还原酶和谷氨酰胺合成酶活性,抑制棉花植株氨挥发。

库源关系的协调还包括干物质分配的协调,棉花群体光合能力的强弱、产量的高低与干物质积累的多少关系密切。Pettigrew 等^[54]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%。罗宏海等^[74]研究表明,在相同密度下,盛铃期以前群体总干物质累积量在不同缩节胺化控量处理间无明显差异;而盛铃期以后群体总干物质累积量则随缩节胺化控量的增加而降低。此外,徐新霞等^[50]研究还发现,缩节胺可以有效协调营养生长与生殖生长的矛盾,合理喷施缩节胺有助于促进棉株生殖器官干物质积累。由此可知,缩节胺可促进棉株干物质的转移,改变源库关系,最终影响棉花的产量和品质。

2.5 缩节胺对棉花抗性的影响

缩节胺不仅可以作为棉花生育的调节剂,还具有抑制多种棉花病虫害、提高棉花抗性的作用^[75]。束春娥等^[76]研究发现,棉苗喷施缩节胺后,叶片上叶螨取食受阻,朱砂叶螨的繁殖率随着缩节胺用量的增加而降低,危害减轻,棉花产量增加。张永军等^[77]以转 *Bt* 基因棉花 GK12 为材料进行缩节胺处理后,转 *Bt* 基因棉花顶端嫩叶中 *Bt* 杀虫蛋白的表达量无明显变化,但在一定程度上调节了棉花顶端嫩叶中缩合单宁和芸香苷等抗虫次生物的表达。张祥等^[78]以泗抗 1 号和泗杂 3 号为材料,于盛花结铃期应用缩节胺涂抹幼铃,结果表明,在棉铃体积膨大期和充实期,铃壳和棉籽中 *Bt* 毒蛋白含量增加,应用缩节胺处理棉铃是提高棉铃抗虫能力的有效手段。周运刚等^[79]发现,缩节胺对棉蚜无触杀作用,但棉蚜成虫寿命和生殖能力随缩节胺处理时间的延长逐渐下降,同时缩节胺对棉蚜种群的抑制作用较好。研究还发现,缩节胺可以将棉铃虫在棉株上的落卵量减少 48.8%~88.0%^[80],使棉铃虫低龄幼虫的危害减轻^[81]。董志强等^[82]研究表明,缩节胺系统化控可显著降低棉株的感病株率,提高棉株抵抗黄萎病菌侵染的能力。另外,适量缩节胺浸种也可提高棉花幼苗的耐盐性^[66]。

缩节胺化控具有提高棉花抗病虫能力的特性,但对棉花抗早衰是否有影响呢?据研究报道,生长调控和病虫害危害对棉花衰老有影响,棉花早衰的发生和危害已遍及我国西北内陆、黄河流域及长江流域三大主要棉区^[83]。采用适量缩节胺对棉花的生长发育进行调控,调节库源比例,是避免棉花早衰的重要策略之一^[84-85]。陈义珍等^[86]总结发现,合理使用植物生长调节剂缩节胺,再结合农艺栽培措施调控棉花的生长发育和衰老,实现正常熟相,可以提高棉花产量和品质。张友昌等^[87]从栽培学的角度总结认为,在长江流域棉区合理运用缩节胺可以避免棉花贪青和早衰的发生。

3 缩节胺化控在棉花应用中应注意的问题

棉花的株型、产量和纤维品质等受大田环境直接影响,而缩节胺化控作为棉花高产优质栽培中的配套技术措施,可以改善棉花的株型,有效调节棉花营养生长与生殖生长间的矛盾,从而提高产量和纤维品质。棉花在喷施缩节胺后会产生一系列的调控效应,可以分为基本效应(包括株高降低、果枝数减少、叶绿素含量增加、光合产物输送和分配增强等,它们只有量的差异且变化方向一致,但没有质的不同)和复合效应(包括烂铃率、脱落率、成铃率、产量等表现,它们既有量的差异也有变化方向和质的不同)^[88],在具体应用上要做到定量、定位地控制基本效应,定向诱导出预期的复合效应,从而获得最佳的铃体时空分布,达到增产、增效的目标。但近年来,广大棉区棉农对棉田使用缩节胺化控的认识还存在一些问题,表现在把缩节胺的应用当作一个简单的控“狂”措施,而不是作为一个主动调控手段。该用时不用,该减时不减,造成失时、失量应用,呈现出旺而失控、控而过严的“高、大、空”和“黑、矮、小”等不良结果。所以在实际生产中,对棉花进行缩节胺化控必须灵活运用,要与品种、地力、水肥、棉花长势长相、密度以及气候等因素紧密结合起来,才能发挥其增产、增效作用^[8,89]。因此,对棉花进行缩节胺化控时应注意以下几点。(1)根据棉花的生长情况,与水肥结合进行化控。长势旺,量减半;长势弱,施肥浇水促生长。缩节胺喷施 10 d 后进行浇水,可以使药效充分发挥。(2)缩节胺化控与密度结合。密度大,及早化控,且适当增加化控次数,可以减少荫蔽、棉铃脱落;低密度田可以在中后期使用缩节胺^[90]。(3)定向诱导,塑造理想株型。缩节胺的使用采用“三分法”,第一分品种,不同的棉花品种对缩节胺的敏感性不一样,分为钝感型、敏感型、一般型;第二分收法,目前棉花的采摘分为机采和手采 2 种,它们对应的株型不一样,对缩节胺化控的要求不一样;第三分播期,播种时间不同,缩节胺使用量不同。(4)充分利用缩节胺的双重调控,即棉花内部激素系统和外部栽培条件的调控^[57]。加强缩节胺与赤霉素处理在棉花上的互作效应研究,为降低缩节胺化控负效应提供科学依据。(5)缩节胺化控与植物生长调节剂复配使用^[36]。(6)全程化控应遵循“早、轻、勤”的原则。

4 缩节胺化控技术在棉花育种上的应用展望

棉花育种的最终目的是应用于生产,提高产量和品质,而一个棉花品种是在特定的环境下育成的,只能适应一定的生态区域和栽培条件^[8]。缩节胺化控技术的推广,使棉花育种水平上了一个新台阶。育种工作者应该及时把握时机,将新品系从“诞生”到“成人”均置于缩节胺化控环境中,达到育优种的目的。李晓方^[91]提出了多基因型种群棉花生态响应研究方法,通过生态区穿梭试验,在棉花花期进行缩节胺化控,确定棉花种群对生态环境响应的敏感性和一致性,从而筛选广适性品种。棉花生态响应试验证明,缩节胺化控在棉花生态响应育种中具有以下优势。(1)筛选敏感性不同的棉花材料,建立极端材料池。在不同生态区对棉花群体材料进行缩节胺化控,可筛选出一般性材料、敏感性材料和钝感性材料,建立极端材料池,为棉花育种提供丰富的材料。(2)加快棉花良种选育,拓宽适应范围。对育种田中的棉花育种群体进行缩节胺化控,可加快优质资源的选择,以免新选育出的品种因不适应缩节胺化控而遭淘汰。(3)可以适应区域试验的管理环境,加快育种步伐。在各世代育种材料中使用缩节胺,及早适应这一管理环境,有利于产量水平在区域试验中充分发挥,达到快出成果的目的。(4)节约生产成本,提高生产效益。缩节胺化控的及早应用,可以减少育种程序和年限,同时也节约科研经费,提高农民收入。(5)植棉化学化与机械化结合,为解放劳动力和加快棉花机械化进程奠定基础。因此,在不同生态区应用缩节胺对棉花群体进行化控,评价棉花群体表现的一致性、稳定性、广适性,一方面顺应棉花生产规模化、机械化、信息化、智能化、服务社会化的未来发展方向,另一方面可以加快实现“快乐植棉”的目标^[92]。所以,缩节胺作为化学调控的核心,在棉花育种过程中应用必将为越来越多的育种家所接受,也将作为常规育种的一项重要技术广泛应用于棉花育种^[93]。

参考文献:

- [1] 中国农业科学院棉花研究所. 中国棉花栽培学[M]. 上海:上海科学技术出版社,2013.
- [2] 高伟,张西岭. 长江流域棉花生产现状及“十三五”发展建议[J]. 中国棉花,2016,43(1):3-7.
- [3] 国家棉花市场检测系统. 2015 年全国棉花实播面积调查报告[R/OL]. (2015-06-08) [2016-10-16]. <http://>

- www. cncotton. com//sy _ 59/scbg/gjmhscjext/201506/W020150608629257734315. pdf.
- [4] 王宏,张雄伟. 植物生长调节剂在棉花上的应用及前景[J]. 中国棉花,1994,21(3):7-9.
- [5] 杨六六,刘惠民,曹美莲,等. 棉花产量和纤维品质性状的遗传研究[J]. 棉花学报,2009,21(3):179-183.
- [6] 陈兵林,曹卫星,周治国,等. 棉花纤维品质指标的时空分布模型研究[J]. 作物学报,2007,33(5):763-770.
- [7] Kerby T A. Cotton response to mepiquat chloride[J]. Agronomy Journal,1985,77:515-518.
- [8] 李颖,陈金湘,李垚垚,等. 缩节胺在棉花上的应用概况[J]. 作物研究,2008,22(5):457-459.
- [9] Copur O, Demirel U, Karakus M, et al. Effects of several plant growth regulators on the yield and fiber quality of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) [J]. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 2010, 38(3):104-110.
- [10] 李健,宋美珍,贵会平,等. 棉花化学调控技术研究进展[J]. 中国棉花,2016,43(7):1-5.
- [11] 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.
- [12] Wang L, Mu C, Du M W, et al. The effect of mepiquat chloride on elongation of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) internode is associated with low concentration of gibberellic acid [J]. Plant Science, 2014, 225:15-23.
- [13] 黎芳,王希,王香茹,等. 黄河流域北部棉区棉花缩节胺化学封顶技术[J]. 中国农业科学,2016,49(13):2497-2510.
- [14] 赵明,李建国,张宾,等. 论作物高产挖潜的补偿机制[J]. 作物学报,2006,32(10):1566-1573.
- [15] 别墅,王孝纲,张教海,等. 长江中游棉花轻简化栽培技术规范[J]. 湖北农业科学,2012,51(24):5603-5605.
- [16] 张枫叶,袁业帅,苗友顺,等. 黄河流域棉花简化栽培技术综述[J]. 农业科技通讯,2014(12):196-198.
- [17] 何钟佩,李丕明,奚惠达,等. DPC 化控技术在棉花上的应用和发展——从防止徒长到系统的定向诱导[J]. 北京农业大学学报,1991,17(增刊):58-63.
- [18] 别墅,余隆新,王孝刚,等. 抗虫杂交棉增密栽培技术[J]. 中国棉花,2010,37(8):33-34.
- [19] 吴慧,王桂霞,刘晓飞,等. 江苏地区施用“棉太金”对棉花产量和品质的影响[J]. 安徽农业科学,2012,40(29):14211-14212.
- [20] 王延琴,杨伟华,魏守军,等. 黄河流域棉花生产技术规程[J]. 中国棉花,2015,42(5):1-3.
- [21] 郑洁,李金才. 黄河流域棉区棉花高产栽培模式研究[J]. 河北农业科学,2014,18(2):10-12.
- [22] 王大光,张怀军,张晓虎. 新疆博州机采棉农艺农机配套管理技术[J]. 中国棉花,2016,43(4):38-40.
- [23] 王刚,张鑫,陈兵,等. 缩节胺在新疆棉田化学调控上的应用[J]. 安徽农业科学,2015,43(23):49-50.
- [24] 李莉,田长彦,吕昭智,等. 缩节胺对棉花苗期主茎生长的影响[J]. 干旱地区农业研究,2003,21(4):26-30.
- [25] 邓小霞,江海澜,彭俊,等. 缩节胺剂量对花铃期棉花生理特性的研究[J]. 石河子大学学报(自然科学版),2013,31(1):1-5.
- [26] 徐立华,杨长琴,李国锋,等. 缩节胺对高品质棉成铃与品质的影响[J]. 棉花学报,2006,18(5):294-298.
- [27] Biles S P, Cothren J T. Flowering and yield response of cotton to application of mepiquat chloride and PGR-IV [J]. Crop Science, 2001, 41(6):1834-1837.
- [28] 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.
- [29] 徐崇志,曾超,梅拥军. 不同化控量对不同棉花品种(系)产量及形态性状影响的研究[J]. 新疆农业科学,2002,39(3):129-131.
- [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] 徐恒恒,黎妮,刘树君,等. 种子萌发及其调控的研究进展[J]. 作物学报,2014,40(7):1141-1156.
- [32] 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.
- [33] 赵强,张巨松,田晓莉,等. 南疆棉花种子包衣缓释缩节胺化控技术的初步研究[J]. 新疆农业科学,2010,47(1):25-30.
- [34] 田晓莉,谢湘毅,周春江,等. 棉籽包衣淀粉基缓释缩节胺的释放特性[J]. 中国农业科学,2008,41(10):3042-3051.
- [35] 唐中杰,房卫平,孙玉堂. 不同植物生长调节剂在棉花上的应用效果研究[J]. 中国农学通报,2006,22(2):179-181.
- [36] 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.
- [37] de Almeida A Q, 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.
- [38] 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.
- [39] 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: 101-107.
- [40] Nichols S P, Snipes C E, Jones M A. Evaluation of row spacing and mepiquat chloride in cotton[J]. *Journal of Cotton Science*, 2003, 7: 148-155.
- [41] Bogiani J C, Rosolem C A. Sensibility of cotton cultivars to mepiquat chloride[J]. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 2009, 44(10): 1246-1253.
- [42] 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.
- [43] 刘铨义, 周晶, 王文博, 等. 缩节胺对棉花品种生理生育特性影响研究[J]. *新疆农业科学*, 2015, 52(7): 1280-1284.
- [44] 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: 67-76.
- [45] 平文超, 张忠波, 刘毅, 等. 不同生长调节剂对棉花赘芽生长及产量性状的影响[J]. *中国农学通报*, 2015, 31(33): 111-115.
- [46] 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.
- [47] 杨成勋, 张旺锋, 徐守振, 等. 喷施化学打顶剂对棉花冠层结构及群体光合生产的影响[J]. *中国农业科学*, 2016, 49(9): 1672-1684.
- [48] Bednarz C W, Bridges D C, Brown S M. Analysis of cotton yield stability across population densities[J]. *Agronomy Journal*, 2000, 92(1): 128-135.
- [49] 任晓明, 杜明伟, 田晓莉, 等. 种植密度、缩节胺及脱叶催熟剂对黄河流域棉区棉花产量和早熟性的影响[C]//中国棉花学会. 中国棉花学会 2012 年年会暨第八次代表大会论文集. 运城: [出版者不详], 2012.
- [50] 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.
- [51] 宋妮, 孙景生, 陈智芳, 等. 不同水分状况下化控对棉株蕾铃数和产量品质的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2015, 33(2): 40-49.
- [52] Yang F Q, Du M W, Tian X L, *et al.* Plant growth regulation enhanced potassium uptake and use efficiency in cotton[J]. *Field Crops Research*, 2014, 163: 109-118.
- [53] Zhao D L, Oosterhuis D M. Pix plus and mepiquat chloride effects on physiology, growth, and yield of field-grown cotton[J]. *J Plant Growth Reg*, 2000, 19(4): 415-422.
- [54] 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: 189-198.
- [55] 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.
- [56] Mao L L, Zhang L Z, Evers J, *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.
- [57] 何钟佩, 闵祥佳, 李丕明, 等. 植物生长延缓剂 DPC 对棉铃内源激素水平和棉铃发育影响的研究[J]. *作物学报*, 1990, 16(3): 252-258.
- [58] Wilson D G, York A C, Edmisten K L. Narrow-row cotton response to mepiquat chloride[J]. *Cotton Sci*, 2007, 11: 177-185.
- [59] 刘燕, 原保忠, 张献龙, 等. 缩节胺和整枝打顶对棉花产量及品质的影响[J]. *农学学报*, 2013, 3(6): 8-12.
- [60] 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.
- [61] Bednarz C W, Shurley W D, Anthony W S, *et al.* Yield, quality, and profitability of cotton produced at varying plant densities[J]. *Agronomy Journal*, 2005, 97(1): 235-240.
- [62] 王克如, 李少昆, 宋光杰, 等. 新疆棉花高产栽培生理指标研究[J]. *中国农业科学*, 2002, 35(6): 638-644.
- [63] Hua S J, Yuan S A, Shamsi I H, *et al.* A comparison of three isolines of cotton differing in fiber color for yield, quality, and photosynthesis[J]. *Crop Science*, 2009, 49(3): 983-989.
- [64] Komor E. Source physiology and assimilate transport: The interaction of source metabolism, starch storage and phloem export in source leaves and the effects on sugar status in phloem[J]. *Australian Journal of Plant Physiology*, 2000, 27(6): 497-505.
- [65] York A C. Response of cotton to mepiquat chloride with varying N rates and plant populations[J]. *Agronomy Journal*, 1983, 75(4): 667-672.
- [66] 郑青松, 刘友良. DPC 浸种提高棉苗耐盐性的作用和机理[J]. *棉花学报*, 2001, 13(5): 278-282.
- [67] 马宗斌, 房卫平, 谢德意, 等. 氮肥和 DPC 用量对棉花叶片叶绿素含量和 SPAD 值的影响[J]. *棉花学报*, 2009, 21(3): 224-229.
- [68] 陈德华, 陈源, 杨长琴, 等. 氮肥与缩节胺配合对 Bt 棉源库特征和铃重的影响[J]. *棉花学报*, 2002, 14(3): 147-150.
- [69] 邓忠, 翟国亮, 吕谋超, 等. 耕作措施与植物生长调节剂对膜下滴灌棉花生长特性及产量的影响[J]. *灌溉排水学报*, 2015, 34(12): 75-80.
- [70] 刘翠, 张巨松, 魏鑫, 等. 甲哌鎗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.
- [71] 周运刚,王俊刚,马天文,等.不同 DPC(缩节胺)处理对棉花生理生化特性的影响[J].新疆农业科学,2010,47(6):1142-1146.
- [72] 冯国艺,罗宏海,姚炎帝,等.新疆超高产棉花叶、铃空间分布及与群体光合生产的关系[J].中国农业科学,2012,45(13):2607-2617.
- [73] 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.
- [74] 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.
- [75] Gencsoylu I. Effect of plant regulators on agronomic characteristics,lint quality,pests and predators in cotton[J]. Plant Growth Reg,2009,28:147-153.
- [76] 束春娥,曹雁平,柏立新,等.棉苗使用缩节胺对朱砂叶螨种群繁殖的影响[J].江苏农业学报,1996,12(3):24-28.
- [77] 张永军,郭予元,吴孔明,等.化学调节剂诱导转 *Bt* 基因棉花杀虫蛋白和主要抗虫次生物的变化[J].棉花学报,2002,14(3):131-133.
- [78] 张祥,马爱丽,房静,等.赤霉酸和缩节胺对转 *Bt* 基因抗虫棉棉铃 *Bt* 毒蛋白表达及氮代谢的影响[J].棉花学报,2010,22(2):150-156.
- [79] 周运刚,王俊刚,马天文,等.缩节胺对棉蚜种群繁殖的影响[J].西北农业学报,2011,20(5):199-202.
- [80] 张永孝,曹赤阳,吴淑华,等.缩节胺处理棉株对棉铃虫的影响初报[J].植物保护学报,1993,20(8):205-209.
- [81] 屈荷丽,张建华,马文婧.化控对棉铃虫发育和危害影响的初步研究[J].新疆农业科学,2008,45(6):1142-1146.
- [82] 董志强,何钟佩,翟学军.缩节胺抑制棉花黄萎病效应及其作用机理研究初探[J].棉花学报,2000,12(2):77-80.
- [83] 齐放军,简桂良,李家胜.棉花早衰、红叶茎枯病与棉花轮纹斑病间关系辨析[J].棉花学报,2013,25(1):81-85.
- [84] 郑娜,翟伟卜,张珊珊,等.棉花成熟与衰老的影响因素及其调控策略[J].植物生理学报,2014,50(9):1310-1314.
- [85] 张海娜,张香云,李俊兰,等.棉花早衰相关研究进展[J].棉花学报,2010,22(3):279-284.
- [86] 陈义珍,董合忠.棉花衰老和熟相形成的生理生态与调控研究进展[J].应用生态学报,2016,27(2):643-651.
- [87] 张友昌,余隆新,夏松波,等.长江流域棉区棉花早衰的成因分析及防控措施[J].湖北农业科学,2011,50(19):3920-3923.
- [88] 何钟佩,奚惠达,杨秉芳,等.DPC效应的定向、定量诱导及其在棉花丰产栽培中的应用[J].北京农业大学学报,1984,10(1):19-28.
- [89] 马华升.植物生长调节剂的应用展望[J].杭州农业科技,2004(2):34-36.
- [90] 张俊杰,贾涛,李葆来.缩节胺在棉花上的应用技术[J].中国农学通报,2000,16(5):75.
- [91] 李晓方.农作物多基因型种群育种及种子生产体系[M].北京:科学出版社,2012:37-49.
- [92] 喻树迅,张雷,冯文娟.快乐植棉——中国棉花生产的发展方向[J].棉花学报,2015,27(3):283-290.
- [93] 廖贵,王以明.缩节胺在棉花育种上的应用与展望[J].江西棉花,1994(1):14-15.