

黄河流域不同密度及施氮量下增效缩节胺化学封顶对棉花生长、产量和熟期的影响

黎芳¹ 杜明伟¹ 徐东永² 陈谨² 田晓莉^{1*} 李召虎¹

(1. 中国农业大学 农学院/作物化控研究中心/植物生长调节剂教育部工程研究中心,北京 100193;

2. 河北国欣农村技术服务总会 棉花种子工程技术研究中心,河北 河间 026450)

摘要 为完善棉花 DPC⁺ 化学封顶技术的配套栽培措施,于 2014 和 2016 年在河北省河间市瀛州镇国欣科技园进行试验。以欣试 17 为供试品种,在不同栽培密度(6.0 万、9.0 万和 12.0 万株/hm²)和施氮(N)量(0、105 和 210 kg/hm²)下研究增效缩节胺[25% 甲哌鎓(1,1-dimethyl piperidinium chloride,DPC)水剂,以下简称 DPC⁺]化学封顶对棉花生长、产量、地上部干物质积累和分配及熟期的影响。结果表明:与人工打顶相比,DPC⁺ 化学封顶的株高增加 4.5~7.5 cm,果枝数增加 2.5~2.6 台,叶面积系数(LAI)和地上部干物质积累及其分配无明显变化,铃重增加,铃数略减少,熟期提前,产量无显著变化。随密度增加,棉花株高降低、果枝数减少、中下部果枝缩短、LAI 和地上部干物质积累增大。密度对产量和熟期的影响在 2 个年份不同,2014 年(7 月份干旱)密度不影响产量和熟期,2016 年(7 月份多雨)高密度降低产量、延长熟期。施 N 量不影响棉花生长和产量形成及熟期。此外,棉花 LAI、干物质积累和分配、产量及其构成因素和熟期均不受试验因素间(打顶方式、密度和施 N 量)互作的影响,说明密度和施 N 量不影响 DPC⁺ 的化学封顶效果,即化学封顶技术对种植密度和施 N 量等配套栽培措施的要求可能并不苛刻,这有利于该技术的推广。

关键词 棉花; 密度; 氮肥; 增效缩节胺; 化学封顶

中图分类号 S562

文章编号 1007-4333(2018)03-0010-13

文献标志码 A

Effects of chemical topping with fortified mepiquat chloride on cotton growth, yield and maturity under different plant densities and nitrogen rates in the Yellow River valley region of China

LI Fang¹, DU Mingwei¹, XU Dongyong², CHEN Jin², TIAN Xiaoli^{1*}, LI Zhaohu¹

(1. College of Agronomy/Engineering Research Center of Plant Growth Regulator of Ministry of Education/

Crop Chemical Control Research Center, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. Hebei Cottonseed Engineering Technology Research Center, Hejian 062450, China)

Abstract Fortified mepiquat chloride (1,1-dimethyl piperidinium chloride,DPC) is DPC 25% AS (aqueous solution), the component of adjuvant in it could slightly damage the epidermis of young tissues of cotton plants,and thus prolong the period of DPC validity compared with DPC 98% SP (water soluble powder). Therefore,fortified DPC was used for cotton chemical topping to replace manual topping in some regions of China. The objective of this study was to investigate the effects of plant density and nitrogen rate on cotton chemical topping with fortified DPC in Yellow River valley region, and to improve the supporting cultivation measures for cotton chemical topping. Experiments were conducted in Hejian City,Hebei Province in 2014 and 2016 by taking the cotton variety XS17 as material. Compared with the manual topping,the chemical topping with fortified DPC produced 4.5 – 7.5 cm higher plants and 2.5 – 2.6 more sympodials,while its leaf area index (LAI),aboveground biomass and allocation between vegetative and reproductive

收稿日期: 2017-05-02

基金项目: 948 计划项目(2011-G19); 中央高校基本科研业务费专项(2017QC075)

第一作者: 黎芳,博士研究生,E-mail:lucky30608@163.com

通讯作者: 田晓莉,教授,主要从事棉花栽培生理及化控原理与技术研究,E-mail:tian_xiaoli@126.com

parts had no obvious changes. In addition, the chemical topping increased boll weight, but slightly decreased boll number and did not significantly affect cotton yield. Both open boll percentage in late September and the first harvest seed cotton ratio were enhanced by the chemical topping with fortified DPC. Plant density influenced growth and development of cotton plants, which was characterized by shorter plants, fewer sympdials, shorter lower and middle sympdials, larger LAI as well as increased shoot biomass while plant density increased. The responses of yield and maturity to plant density differed between two years. There were no differences between plant densities in 2014 with a dry July, and the high plant density reduced yield and delayed maturity compared to the low and medium density in 2016 with a wet July. Nitrogen rate did not alter growth and development of cotton plants as well as yield and maturity. Moreover, most traits mentioned above were not significantly influenced by the interactions among topping treatment, plant density and nitrogen rate. It suggests that the cotton chemical topping with fortified DPC possibly did not require specific plant density and nitrogen rate, which was helpful for the generalization of simplified technique in Yellow River valley region.

Keywords cotton; plant density; nitrogen; fortified mepiquat chloride; chemical topping

棉花具有无限生长习性,人工打顶(去除棉株主茎顶芽和上部幼叶)是一项传统的生产管理措施,可减少无效花蕾的产生,并调节营养生长和生殖生长的平衡^[1-2]。随着我国经济和社会的发展,近年来劳动力价格不断上升,导致植棉成本居高不下^[3-5]。尽管人工打顶不是棉花生产用工最多的环节,但从全面降低植棉成本和全程机械化管理的角度考虑,急需发展人工打顶的替代技术。化学封顶是在人工打顶同期应用植物生长调节剂降低棉花主茎和果枝顶芽的分化速率、抑制上部主茎节间的伸长生长,起到与人工打顶相似的作用^[6-7]。新疆棉区化学封顶技术研究较早,目前在生产中有一定应用面积的化学封顶调节剂主要包括增效缩节胺(25%甲哌鎓(1,1-dimethylpiperidinium chloride, DPC水剂,可借助助剂中的成分对幼嫩组织表皮形成轻微伤害,且有效期长于普通DPC可溶性粉剂,简称DPC⁺)^[8-12]和氟节胺^[6,13-15]。黄河流域棉区的化学封顶技术已有研究报道,在打顶前(7月下旬之前)合理应用DPC系统化控技术的条件下,于7月下旬喷施DPC⁺对棉花产量和品质无显著影响(与人工打顶相比)^[16],说明化学封顶技术在黄河流域棉区具有可行性。

与人工打顶不同的是,化学封顶技术不能立即抑制主茎的生长。DPC⁺一般在药后3 d逐渐起效、至药后15~20 d才能完全抑制主茎的生长^[17]。因此,化学封顶棉田的营养生长在一段时间内较人工打顶偏旺,可能特别需要其他措施的配合以保障棉花个体和群体的稳健生长。新疆棉区的研究表明,施N量和灌水量影响化学封顶的产量水平,随施N量和灌水量的增加,低剂量DPC⁺的封顶效果下降,产量表现出降低趋势^[18-19]。在黄河流域棉区,虽然

种植密度与DPC⁺的互作不显著,但高密度棉田在多雨年份应用化学封顶技术可能存在减产风险^[16]。

有关黄河流域棉区化学封顶配套栽培措施的研究尚未见报道。本研究在不同密度和施N量下探究DPC⁺化学封顶对棉花株型性状、产量性状、干物质积累和分配及成熟期的影响,以明确化学封顶技术与其他管理措施的互作效应,旨在为完善黄河流域棉区棉花化学封顶技术提供指导、促进该棉区棉花生产全程机械化进程。

1 材料与方法

试验于2014、2016年分别在河北省河间市瀛州镇国欣科技园西区(38°41' N, 116°09' E, 海拔11 m)和东区(38°24' N, 116°05' E, 海拔13 m)进行,试验地土壤类型为潮土,前茬为棉花,土壤基础肥力见表1。供试棉花品种为欣试17(XS17),普通DPC为98%的可溶性粉剂,由江苏润泽农化有限公司生产并提供;DPC⁺为25%水剂,由北京市农业技术推广站和中国农业大学植物生长调节剂教育部工程研究中心共同研发,由新疆金棉科技有限责任公司生产并提供。

表1 2014和2016年试验地土壤基础肥力

Table 1 Soil fertility of experimental fields in 2014 and 2016

年份 Year	有机质/ (g/kg) Organic matter	全氮/(g/kg) Total N	速效磷/ (mg/kg) Available P	速效钾/ (mg/kg) Available K
2014	22.7	0.77	9.1	271.9
2016	26.4	1.04	6.7	224.6

1.1 试验期间气象条件

2014和2016年棉花生长季(4—10月)河间市的气温和降水量如图1所示,数据由河间市气象局提

供。2014年干旱少雨,7月份降水量仅为42.4 mm,较近10年同期水平(142 mm)低70%;2016年多雨,7月份降水量为274 mm,较近10年同期水平高66%。

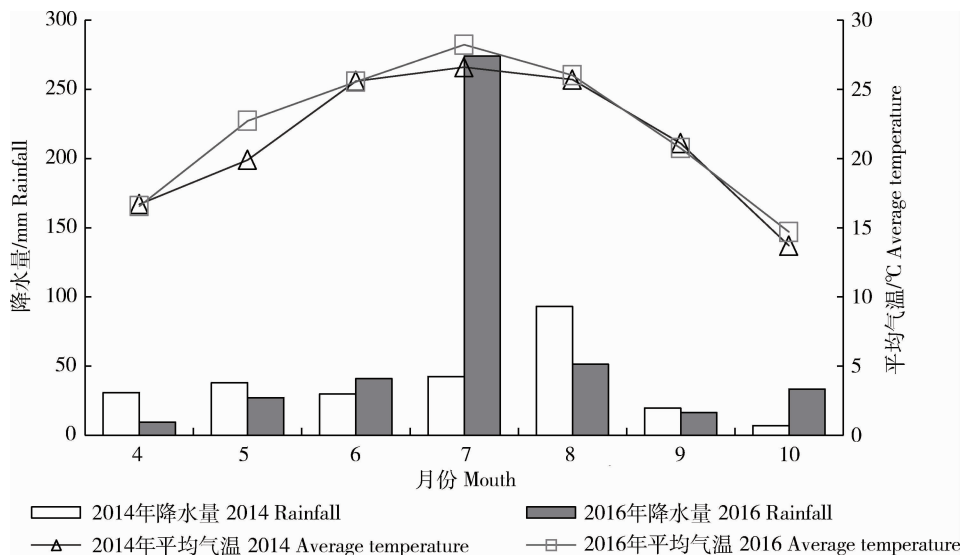


图1 2014和2016年棉花生长季河间市月累计降水量和月平均温度

Fig. 1 Monthly cumulative rainfall and mean temperature during cotton growing season (from April to October) in 2014 and 2016

1.2 试验设计

试验采用再裂区设计,密度为主区,施氮(N)量为副区,打顶方式为副副区,重复3次。具体设计方案见表2,其中化学封顶所用DPC⁺(25%水剂)的剂量为1 125 mL/hm²。无论是化学封顶还是人工打顶,均应用DPC进行系统化控,DPC应用时间和剂量如表3所示。2014年采用7行区,行距90 cm,行长8 m,小区面积50.4 m²。2016年为8行区,行长8 m,小区面积57.6 m²。

1.3 栽培管理

2014和2016年分别于4月22和23日播种,每年于6月初和7月中旬整枝2次。2014年花铃期干旱,于7月12日漫灌1次,灌水量约为45 mm;2016年花铃期降水量大,雨后及时排水,全生育期内未进行灌溉。试验地P₂O₅和K₂O的用量分别为150和90 kg/hm²,全部基施;施N量共3个水平,见表2,其中40%基施、60%于盛花期追施。其他田间管理同当地大田生产。

表2 增效缩节胺(DPC⁺25%水剂)化学封顶试验设计(密度-施氮量-打顶方式)

Table 2 Experimental design of cotton chemical topping with fortified mepiquat chloride in 2014 and 2016 (plant density-nitrogen rate-topping treatment)

年份 Year	处理因素 Treatment		
	密度/(万株/hm ²) Plant density	施氮量/(kg/hm ²) Nitrogen rate	打顶方式 Topping treatment
2014	9.0	0	化学封顶
	12.0	105	人工打顶
		210	
2016	6.0	0	化学封顶
	9.0	105	人工打顶
	12.0	210	

表3 DPC(98%可溶性粉剂)系统化控应用时期和剂量

Table 3 The application time and rate of mepiquat chloride (DPC) in 2014 and 2016 g/hm²

年份 Year	喷施时间 Timing of DPC application	喷施剂量 DPC rate	年份 Year	喷施时间 Timing of DPC application	喷施剂量 DPC rate
2014	05-28(苗期)	15.0	2016	05-28(苗期)	7.5
	06-12(蕾期)	15.0		06-12(蕾期)	12.0
	06-19(蕾期)	27.0		07-03(初花期)	45.0
	07-03(初花期)	30.0		07-12(盛花期前)	75.0
	07-12(盛花期前)	45.0		08-02(打顶后 7 d)	120.0
	08-04(打顶后 10 d)	150.0		08-20(打顶后 25 d)	150.0

1.4 调查和取样方法

1.4.1 株型性状

6月中旬在每小区选代表性植株10株挂牌标记,9月中下旬测量标记植株的最终株高,并记录果枝数。

1.4.2 地上部干物质积累与分配

于盛蕾期、初花期、盛花期、盛铃期和吐絮期在每小区取代表性植株3株,分为茎、叶和产量器官(包括蕾、花和铃)3部分,于105℃下杀青30min,之后在80℃下烘至恒重后称重,并据此计算产量器官干物重占地上部干物重的比例。

1.4.3 叶面积系数(LAI)

用LAI-2200植物冠层分析仪(LI-COR, Lincoln, USA)测定不同生育时期的LAI,测定时镜头处于棉株茎基部,具体方法见LAI-2200操作手册^[20]。

1.4.4 产量性状

每年9月中旬调查标记植株的成铃数,于10月上旬和10月下旬分2次收获标记植株的吐絮棉铃(有效铃),根据每小区实际株数和标记植株的有效铃计算单位面积有效铃数。每次收获完标记植株后混收小区其他植株的吐絮铃,将其与标记植株吐絮铃合计,计算单位面积的实收产量。

1.4.5 熟期

以9月下旬吐絮率(吐絮铃数占总成铃数的比例)和一次花率(第一次收获的籽棉产量占总产量的比例)表示棉田群体熟性。

1.5 数据统计

用R语言(Microsoft, 2015)的一般线性模型进行方差分析,用Duncan's test进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同密度和施N量下DPC⁺化学封顶对棉株生长的影响

从表3可见,由于2016年7月份降雨量大(图1),棉株生长量大于2014年。以人工打顶为例,2016年的株高较2014年高出13.5cm,果枝数多3.0台,下、中和上部果枝长度分别增加3.7、7.2和6.9cm。

密度增加引起株高降低、果枝数减少、下部和中部果枝缩短,但上部果枝长度不受影响。施N量对本研究中调查的所有生长指标均无显著影响。与人工打顶相比,化学封顶的株高和果枝数显著增加,但上部果枝(包含新生果枝)显著缩短。如株高在2014和2016年分别增加4.5和7.5cm,果枝数分别增加2.5和2.6台,上部果枝则分别缩短2.9和8.5cm,见表4。

除2014年的果枝数外,其他生长指标(株高、果枝长度、LAI和地上部干物质积累量)不受试验因素互作的影响。

2.2 不同密度和施N量下DPC⁺化学封顶对棉花产量及其构成因素的影响

表5所示,2016年7月份降雨量较2014年同期大,棉株下部蕾铃脱落严重,单位面积结铃数少于2014年,铃重也有一定程度下降,产量低于2014年。

密度对产量及其构成因素的影响与年份有关,2014年12.0万株/hm²的单位面积铃数显著多于9.0万株/hm²,但由于铃重有降低趋势,产量与9.0万株/hm²无差异;2016年12.0万株/hm²的单位面

表4 不同密度和施氮水平下DPC⁺化学封顶对棉花生长的影响

Table 4 Effects of cotton chemical topping with fortified mepiquat chloride on cotton growth under different densities and nitrogen levels

年份 Year	处理 Treatment	株高/cm Plant height	果枝数 No. of sympodials	果枝长度/cm Length of sympodials		
				下部 Bottom	中部 Middle	上部 Top
密度/(万株/hm ²) Density						
	9.0	85.7 a	13.1 a	15.5 a	13.2 a	8.1 a
	12.0	78.8 b	12.0 b	13.0 b	11.0 b	6.8 a
氮肥/(kg/hm ²) Nitrogen						
	0	81.0 a	12.6 a	14.2 a	11.6 a	7.4 a
	105	83.7 a	12.6 a	14.6 a	12.3 a	7.5 a
	210	82.0 a	12.6 a	14.0 a	12.5 a	7.4 a
打顶方式 Ways of topping						
2014	人工打顶	80.0 b	11.3 b	14.4 a	12.7 a	8.9 a
	化学封顶	84.5 a	13.8 a	14.1 a	11.5 a	6.0 b
方差分析 ANOVA						
	密度	0.000	0.000	0.000	0.010	0.100
	氮肥	0.335	0.971	0.536	0.648	0.985
	打顶方式	0.006	0.000	0.506	0.127	0.001
	密度×氮肥	0.604	0.334	0.280	0.368	0.531
	密度×打顶方式	0.123	0.128	0.071	0.299	0.480
	氮肥×打顶方式	0.166	0.996	0.708	0.550	0.959
	密度×氮肥×打顶方式	0.339	0.033	0.816	0.936	0.497
密度/(万株/hm ²) Density						
	6.0	101.0 a	16.2 a	21.9 a	23.3 a	12.2 a
	9.0	98.0 a	15.6 ab	17.7 b	19.0 b	11.1 a
	12.0	94.7 a	15.3 b	14.9 c	16.7 c	11.1 a
氮肥/(kg/hm ²) Nitrogen						
	0	97.3 a	15.5 a	18.2 a	19.5 a	11.3 a
	105	98.9 a	15.7 a	18.8 a	19.9 a	11.2 a
	210	97.6 a	15.8 a	17.6 a	19.6 a	11.9 a
打顶方式 Ways of topping						
2016	人工打顶	94.2 a	14.4 b	18.2 a	19.9 a	15.7 a
	化学封顶	101.7 a	17.0 a	18.2 a	19.4 a	7.2 b
方差分析 ANOVA						
	密度	0.134	0.006	0.000	0.000	0.254
	氮肥	0.854	0.665	0.250	0.938	0.548
	打顶方式	0.005	0.000	0.924	0.581	0.000
	密度×氮肥	0.847	0.302	0.804	0.985	0.728
	密度×打顶方式	0.741	0.236	0.826	0.980	0.872
	氮肥×打顶方式	0.839	0.994	0.473	0.676	0.683
	密度×氮肥×打顶方式	0.986	0.789	0.932	0.985	0.942

表5 不同密度和施氮水平下DPC⁺化学封顶对棉花产量及其构成因素的影响

Table 5 Effects of cotton chemical topping with fortified mepiquat chloride on cotton yield and its components under different densities and nitrogen levels

年份 Year	处理 Treatment	铃数/m ² Bolls	铃重/g Boll weight	衣分/% Lint percentage	子棉产量/(kg/hm ²) Seed cotton yield	皮棉产量/(kg/hm ²) Lint cotton yield
密度/(万株/hm ²) Density						
	9.0	93.1 b	5.7 a	41.3 a	5 446.2 a	2 265.9 a
	12.0	115.6 a	5.5 a	42.0 a	5 499.4 a	2 316.3 a
氮肥/(kg/hm ²) Nitrogen						
	0	104.1 a	5.6 a	41.3 a	5 587.9 a	2 311.7 a
	105	101.6 a	5.6 a	41.9 a	5 354.0 a	2 258.3 a
	210	107.4 a	5.7 a	41.8 a	5 476.5 a	2 303.3 a
打顶方式 Ways of topping						
2014	人工打顶	108.5 a	5.5 b	41.7 a	5 565.7 a	2 333.9 a
	化学封顶	100.2 a	5.8 a	41.7 a	5 380.0 a	2 248.3 a
方差分析 ANOVA						
	密度	0.000	0.315	0.131	0.678	0.332
	氮肥	0.534	0.752	0.588	0.336	0.660
	打顶方式	0.062	0.028	0.984	0.155	0.106
	密度×氮肥	0.483	0.671	0.666	0.317	0.365
	密度×打顶方式	0.672	0.903	0.346	0.327	0.432
	氮肥×打顶方式	0.284	0.782	0.609	0.652	0.649
	密度×氮肥×打顶方式	0.994	0.873	0.787	0.114	0.124
密度/(万株/hm ²) Density						
	6.0	92.9 a	5.6 a	38.7 a	4 647.0 a	1 790.0 a
	9.0	96.1 a	5.4 ab	38.7 a	4 627.8 a	1 786.3 a
	12.0	85.0 b	5.3 b	38.2 a	4 231.2 b	1 628.8 b
氮肥/(kg/hm ²) Nitrogen						
	0	91.2 a	5.4 a	38.8 a	4 510.2 a	1 733.5 a
	105	91.4 a	5.5 a	38.3 a	4 616.8 a	1 779.7 a
	210	91.3 a	5.4 a	38.5 a	4 378.8 a	1 691.9 a
打顶方式 Ways of topping						
2016	人工打顶	92.0 a	5.4 b	38.6 a	4 522.4 a	1 732.6 a
	化学封顶	90.6 a	5.5 a	38.5 a	4 481.6 a	1 737.4 a
方差分析 ANOVA						
	密度	0.002	0.005	0.439	0.002	0.003
	氮肥	0.998	0.205	0.446	0.176	0.243
	打顶方式	0.577	0.036	0.811	0.693	0.909
	密度×氮肥	0.965	0.240	0.992	0.744	0.409
	密度×打顶方式	0.674	0.047	0.323	0.917	0.766
	氮肥×打顶方式	0.968	0.294	0.587	0.881	0.867
	密度×氮肥×打顶方式	0.936	0.701	0.648	0.992	0.989

面积铃数显著少于 6.0 万和 9.0 万株/hm², 铃重也较二者显著降低, 因此产量显著下降 9% 左右。施 N 量不影响产量及其构成因素, 2014 和 2016 年结果相同。与人工打顶相比, 化学封顶在 2 年试验中均显著提高了铃重, 但由于单位面积铃数有减少趋势, 产量无显著变化。

2016 年密度和打顶方式的交互显著影响铃重, 表现为 6.0 万株/hm² 下化学封顶提高铃重的效应

高于 9.0 万和 12.0 万株/hm²。除此之外, 其他产量构成因素和产量不受试验因素间互作的影响。

2.3 不同密度和施 N 量下 DPC⁺ 化学封顶对棉田 LAI 的影响

2 年同期相比, 2016 年的 LAI 大于 2014 年 (表 6)。密度增加, LAI 提高, 且 2016 年播后 66 d 以后差异显著。施 N 量、打顶方式及试验因素间的交互不影响 LAI (表 6)。

表 6 不同密度和施氮水平下 DPC⁺ 化学封顶对 LAI 的影响

Table 6 Effects of cotton chemical topping with fortified mepiquat chloride on LAI under different densities and nitrogen levels

年份 Year	处理 Treatment	播种后天数/d Days after sowing							
		108	114	129	145				
2014	密度/(万株/hm ²) Density								
	9.0	4.5 a	3.8 a	3.3 a	2.3 a				
	12.0	4.7 a	4.3 a	3.4 a	2.6 a				
	氮肥/(kg/hm ²) Nitrogen								
	0	4.5 a	4.2 a	3.5 a	2.4 a				
	105	4.6 a	4.1 a	3.2 a	2.5 a				
	210	4.6 a	4.0 a	3.4 a	2.4 a				
	打顶方式 Ways of topping								
	人工打顶	4.6 a	4.1 a	3.3 a	2.4 a				
	化学封顶	4.6 a	4.1 a	3.4 a	2.5 a				
	方差分析 ANOVA								
	密度	0.340	0.092	0.594	0.207				
	氮肥	0.945	0.773	0.574	0.717				
	打顶方式	0.817	0.964	0.751	0.521				
密度×氮肥	0.452	0.221	0.851	0.886					
密度×打顶方式	0.922	0.370	0.525	0.304					
氮肥×打顶方式	0.323	0.428	0.527	0.580					
密度×氮肥×打顶方式	0.758	0.736	0.877	0.717					
2016		播种后天数/d Days after sowing							
		59	66	72	81	95	103	108	124
	密度/(万株/hm ²) Density								
	6.0	1.3 a	1.5 c	2.0 c	2.8 b	3.8 b	4.6 c	4.6 b	4.5 b
	9.0	1.4 a	1.7 b	2.3 b	3.0 b	4.2 b	5.1 b	5.0 b	4.7 b
	12.0	1.4 a	2.1 a	2.8 a	3.5 a	5.1 a	5.8 a	5.8 a	5.4 a
	氮肥/(kg/hm ²) Nitrogen								
	0	1.4 a	1.8 a	2.4 a	3.1 a	4.4 a	5.2 a	5.0 a	4.8 a
	105	1.4 a	1.8 a	2.5 a	3.2 a	4.5 a	5.2 a	5.3 a	5.1 a
	210	1.3 a	1.7 a	2.3 a	3.0 a	4.2 a	5.1 a	5.1 a	4.8 a
	打顶方式 Ways of topping								
	人工打顶	1.4	1.8 a	2.4 a	3.2 a	4.4 a	5.2 a	5.3 a	4.9 a
	化学封顶	1.3	1.8 a	2.4 a	3.1 a	4.4 a	5.1 a	5.1 a	4.8 a
	方差分析 ANOVA								
密度	0.789	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
氮肥	0.601	0.265	0.316	0.547	0.386	0.890	0.279	0.063	
打顶方式	0.806	0.789	0.968	0.552	0.819	0.702	0.213	0.498	
密度×氮肥	0.998	0.759	0.977	0.634	0.853	0.906	0.714	0.498	
密度×打顶方式	0.792	0.844	0.869	0.614	0.937	0.987	0.963	0.981	
氮肥×打顶方式	0.760	0.809	0.974	0.849	0.904	0.959	0.760	0.481	
密度×氮肥×打顶方式	0.994	0.875	0.987	0.853	0.821	0.870	0.795	0.877	

2.4 不同密度和施 N 量下 DPC⁺ 化学封顶对棉株地上部干物质积累和分配的影响

2016 年的干物质积累量大于 2014 年(表 7),但向产量器官的分配比例低于 2014 年(表 8)。此外,2014 年地上部干物量在播后 114 d 即达到或接近最大值,而 2016 年播后 126 ~155 d 干物质仍以较快的速度积累(表 7)。

密度显著影响地上部干物质积累量(2014 年播后 108 d 除外),表现为随密度增加地上部生物量增大(表 7)。施 N 量不影响 2014 年的地上部干物量,在 2016 年也仅显著影响播后 94 和 109 d 的生物量,以中等施 N 量(105 kg/hm²)的地上部干物质积累量最高。化学封顶不影响棉株的地上部干物质积累量(与人工打顶相比)。

表 7 不同密度和施氮水平下 DPC⁺ 化学封顶对地上部干物质积累量的影响

Table 7 Effects of cotton chemical topping with fortified mepiquat chloride on cotton dry matter accumulation under different densities and nitrogen levels

年份 Year	处理 Treatment	播种后天数/d Days after sowing						g/m ²
		79	88	108	114	129	145	
2014	密度/(万株/hm ²) Density							
	9.0	271.9 b	430.0 b	826.4 a	1 193.4 b	1 207.6 b	1 191.1 b	
	12.0	345.1 a	538.2 a	848.2 a	1 353.5 a	1 426.0 a	1 368.7 a	
	氮肥/(kg/hm ²) Nitrogen							
	0	293.8 a	473.8 a	818.1 a	1 272.0 a	1 362.0 a	1 355.1 a	
	105	309.1 a	472.6 a	869.7 a	1 264.2 a	1 236.1 a	1 231.4 a	
	210	322.7 a	505.8 a	824.0 a	1 284.1 a	1 352.2 a	1 253.2 a	
	打顶方式 Ways of topping							
	人工打顶	308.9 a	475.4 a	807.6 a	1 292.5 a	1 324.7 a	1 291.0 a	
	化学封顶	308.1 a	492.7 a	867.0 a	1 254.4 a	1 308.8 a	1 268.8 a	
	方差分析 ANOVA							
	密度	0.000	0.000	0.635	0.004	0.003	0.025	
	氮肥	0.079	0.417	0.604	0.979	0.232	0.360	
	打顶方式	0.932	0.455	0.204	0.564	0.809	0.924	
密度×氮肥	0.847	0.319	0.949	0.563	0.091	0.593		
密度×打顶方式	0.407	0.919	0.979	0.699	0.844	0.566		
氮肥×打顶方式	0.628	0.150	0.896	0.808	0.904	0.716		
密度×氮肥×打顶方式	0.086	0.511	0.092	0.486	0.915	0.808		
2016								
	密度/(万株/hm ²) Density							
	6.0	82.7 c	213.0 c	331.2 b	514.2 c	820.2 c	1 124.9 c	1 482.5 b
	9.0	108.2 b	268.0 b	425.7 a	627.3 b	978.8 b	1 363.1 b	1 658.4 b
	12.0	128.3 a	307.8 a	463.5 a	721.1 a	1 185.4 a	1 684.7 a	2 061.8 a
	氮肥/(kg/hm ²) Nitrogen							
	0	107.6 a	257.7 a	414.0 a	625.5 ab	967.6 ab	1 418.4 a	1 745.9 a
	105	104.3 a	272.4 a	423.2 a	661.5 a	1 071.1 a	1 425.9 a	1 774.8 a
	210	107.2 a	258.8 a	383.2 a	575.5 b	945.6 b	1 328.5 a	1 682.0 a
	打顶方式 Ways of topping							
	人工打顶	110.7 a	264.8 a	400.0 a	625.5 a	993.6 a	1 368.2 a	1 776.4 a
	化学封顶	102.1 a	261.1 a	413.6 a	616.2 a	995.9 a	1 413.6 a	1 692.0 a
方差分析 ANOVA								
密度	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
氮肥	0.881	0.325	0.133	0.011	0.003	0.203	0.647	
打顶方式	0.151	0.671	0.421	0.678	0.940	0.356	0.312	
密度×氮肥	0.954	0.855	0.874	0.507	0.519	0.161	0.813	
密度×打顶方式	0.445	0.389	0.956	0.586	0.662	0.828	0.588	
氮肥×打顶方式	0.333	0.414	0.676	0.331	0.889	0.891	0.419	
密度×氮肥×打顶方式	0.767	0.387	0.895	0.995	0.657	0.911	0.537	

2.5 不同密度和施 N 量下 DPC⁺ 化学封顶对棉花熟期的影响

2014 年 9 月 20 日和 2016 年 9 月 25 日的吐絮率相当, 约为 40%。2014 和 2016 年分别于 10 月 12 和 21 日进行第一次收获, 一次花率分别超过 85% 和 90%, 2 年的霜前花率均达到 100% (表 9)。

密度不影响 2014 年的 9 月下旬吐絮率和一次花率, 但高密度 (12.0 万株/hm²) 使 2016 年棉花的熟期 (与 6.0 万和 9.0 万株/hm² 相比) 显著延迟, 使

9 月下旬吐絮率和 10 月下旬的一次花率降低, 这与 2016 年高密种植的下部蕾铃脱落较重有关。施 N 量显著影响 2014 年的 9 月下旬吐絮率, 以高氮量的吐絮率较低, 但不影响一次花率; 施 N 量不影响 2016 年的棉花熟期。化学封顶在 2014 和 2016 年均表现出促早熟效果, 9 月下旬吐絮率较人工打顶分别显著提高 5.6 和 6.1 个百分点, 2016 年的一次花率也显著增加 2.7 个百分点。

9 月下旬吐絮率和一次花率不受试验因素间互作的影响 (2014 年 9 月下旬吐絮率除外)。

表 9 不同密度和施氮水平下 DPC⁺ 化学封顶对棉花熟期的影响

Table 9 Effects of cotton chemical topping with fortified mepiquat chloride on cotton maturity under different densities and nitrogen levels

处理 Treatment	9 月下旬吐絮率		一次花率	
	Ratio of boll opening in late september		Ratio of first harvesting	
	2014-09-20	2016-09-25	2014-10-12	2016-10-21
密度/(万株/hm ²) Density				
6.0	—	46.5 a	—	95.2 a
9.0	40.8 a	42.1 a	84.9 a	95.4 a
12.0	39.6 a	35.3 b	88.8 a	93.8 b
氮肥/(kg/hm ²) Nitrogen				
0	40.6 ab	39.7 a	84.9 a	94.9 a
105	44.4 a	41.0 a	89.2 a	95.0 a
210	35.6 b	43.2 a	86.4 a	94.6 a
打顶方式 Ways of topping				
人工打顶	37.4 b	38.3 b	87.5 a	93.5 b
化学封顶	43.0 a	44.4 a	86.2 a	96.2 a
方差分析 ANOVA				
密度	0.656	0.001	0.134	0.000
氮肥	0.040	0.442	0.394	0.549
打顶方式	0.040	0.009	0.613	0.000
密度×氮肥	0.144	0.573	0.158	0.839
密度×打顶方式	0.002	0.509	0.721	0.261
氮肥×打顶方式	0.956	0.910	0.811	0.096
密度×氮肥×打顶方式	0.386	0.789	0.152	0.895

3 讨论

3.1 增效缩节胺化学封顶、种植密度和施 N 量对棉株生长及产量形成和熟期的影响

增效缩节胺化学封顶的棉株一般在用药后

15~20 d 停止生长^[17], 因此与人工打顶相比植株较高、果枝数较多。但本研究化学封顶的 LAI 和地上部干物质积累量与人工打顶并无显著差异, 可能是因为化学封顶减小冠层上部叶片所致。化学封顶未改变干物质的分配方向, 产量器官的干物质分配比

例及产量水平与人工打顶相当;但其产量构成因素与人工打顶相比略有变化,表现为铃重增加和铃数减少(表5)。化学封顶促进早熟的原因与中下部果枝和内围铃的比例较大(数据未显示)有关。这些结果继黎芳等^[16] 2016年的报道之后进一步验证了化学封顶技术在黄河流域棉区的可行性。

本研究密度对株型、LAI和地上部干物质积累的影响与文献报道^[21-24]一致,表现为随密度增加株高降低、果枝数减少、中下部果枝长度缩短、LAI增加和地上部干物量增加。密度对地上部干物质分配、产量及其构成因素和熟期的影响与环境条件有关。2014年降水量偏少、天气干旱,高密度栽培(12.0万株/hm²)的产量器官干物质分配比例、产量和熟期与中密度(9.0万株/hm²)相比均无显著差异。2016年7月多雨,高密度栽培的产量器官干物质分配比例、单位面积铃数、铃重和产量低于中密度(9.0万株/hm²)和低密度(6.0万株/hm²),熟期也有所推迟,这与多雨年份高密度处理的下部蕾铃脱落率较高有关。Wang等^[24]和Siebert等^[25]也报道过类似结果。

按照全国第二次土壤普查分级标准,本研究的土壤全N含量为0.77~1.04 g/kg,属于中等偏上水平,但2年试验中N肥施用量对几乎所有调查的棉花生长指标(株高、果枝数、果枝长度、LAI、大部分时期的干物质积累量)均无显著影响,这与N肥促进棉花生长的一般认识^[22,26-27]不符。此外,施N量也不影响棉花产量及其构成因素和熟期。本研究氮肥效应不显著的原因可能主要与天气条件和田间管理有关。2014年天气干旱,虽然于7月12日漫灌1次,但7月15日追肥(N肥)肥效的影响可能不大。2016年7月13日追施N肥,7月20日连降3d大雨,田间出现积水,可能会在相邻小区造成交叉影响,致使不同处理的差异减小或消失。底肥则可能因所占比例小(40%),处理间的底肥施N量差异不够大,因此也未表现出肥效差异。此外,不排除有其他不明因素也影响到了本研究的肥效。

3.2 密度和施N量对增效缩节胺化学封顶效果的影响

一般情况下,高密度抑制个体发育但促进群体生长,高施N量则既促进个体生长又促进群体增大^[22,26,28-29]。对地上部干物质分配而言,高密度和高施N量一般减少同化物向产量器官的分配^[22,30]。因此,营养器官的长势相对较强,理论上可能降低化

学封顶的控长效果,容易因营养生长过旺而使产量降低、品质变差、熟期延后。韩焕勇等^[18]在新疆棉区的研究发现化学封顶对产量的影响因施N量而不同,本研究与此推测一致。应用中等剂量(780 mL/hm²)的DPC⁺进行化学封顶,施N量较低时(150 kg/hm²)产量与人工打顶持平,中等施N量(300 kg/hm²)产量略高于人工打顶,但施N量较高(450 kg/hm²)时产量较人工打顶降低。

本研究结果表明,除个别指标(果枝数和铃重)和个别时期(2016年播后109 d)的干物质分配外,绝大部分生长指标、产量及其构成因素、干物质积累和分配及熟期不受试验因素(密度、施N量和打顶方式)互作的影响。施N量不影响个体和群体的生长及产量形成,因此理论上与打顶方式不存在互作。密度虽然对个体和群体生长、产量及熟期等均有影响,但在6.0万~12.0万株/hm²的范围内(基本涵盖目前黄河流域棉区手采棉和机采棉的种植密度)与打顶方式无互作,说明化学封顶对密度的变化不敏感,亦即化学封顶技术对种植密度的要求可能并不苛刻,这有利于该技术的推广。

未来需要在黄河流域棉区不同地点继续开展密度和施N量试验验证并完善本研究结果。

4 结论

在黄河流域棉区7月份降雨量相差较大的2014年(降雨量少)和2016年(降雨量大),与人工打顶同期(7月下旬)应用增效缩节胺(DPC⁺)对棉花进行化学封顶,2年试验结果一致。与人工打顶相比,化学封顶的株高增加4.5~7.5 cm,果枝数增加2.5~2.6台,上部果枝缩短,LAI和地上部干物质积累量及其分配无明显变化,铃重增加,铃数略减少,熟期提前,产量与人工打顶无显著差异。密度(6.0万~12.0万株/hm²)和施氮量(0~210 kg/hm²)不影响DPC⁺的化学封顶效果,说明黄河流域棉区棉花增效缩节胺(DPC⁺)化学封顶技术对配套栽培措施的要求不严格,这有利于该技术的推广。

参考文献 References

- [1] 孟桂元,贺再新,孙焕良,周清明,周静.作物打顶栽培研究进展[J].中国农学通报,2010,26(24):144-148
Meng G Y, He Z X, Sun H L, Zhou Q M, Zhou J. The research progress on topping cultivation in crops [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26 (24): 144-148 (in

- Chinese)
- [2] 叶伟. 打顶、化控对棉花蕾铃形成及脱落的影响[J]. 安徽农学通报, 2009, 15(13): 93+141
Ye W. Effects of topping and chemical control on cotton bolls formation and shedding [J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2009, 15(13): 93+141 (in Chinese)
- [3] 毛树春. 我国棉花种植技术的现代化问题: 兼论十二五棉花栽培相关研究[J]. 中国棉花, 2010, 37(3): 2-5
Mao S C. Modernization of cotton planting technology in China and relative studies on cotton cultivation during 12th five-year plan period[J]. *China Cotton*, 2010, 37(3): 2-5 (in Chinese)
- [4] 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
Yu S X, Zhang L, Feng W J. Easy and enjoyable cotton cultivation: Developments in China's cotton production [J]. *Cotton Science*, 2015, 27(3): 283-290 (in Chinese)
- [5] 张淑荣, 刘朝敏. 我国棉花主产区区域竞争力及生产趋势分析[J]. 中国棉花, 2011, 38(11): 2-6
Zhang S R, Liu C M. Regional competitiveness and tendency of production in main producing areas of cotton in China [J]. *China Cotton*, 2011, 38(11): 2-6 (in Chinese)
- [6] 董春玲, 罗宏海, 张亚黎, 张旺锋. 喷施氟节胺对棉花农艺性状的影响及化学打顶效应研究[J]. 新疆农业科学, 2013, 50(11): 1985-1990
Dong C L, Luo H H, Zhang Y L, Zhang W F. Research on cotton agronomic traits and chemical topping effect after spraying Flumetralin [J]. *Xinjiang Agricultural Science*, 2013, 50(11): 1985-1990 (in Chinese)
- [7] 康正华, 赵强, 娄善伟, 葛杰, 张海洋. 不同化学打顶剂对棉花农艺及产量性状的影响[J]. 新疆农业科学, 2015, 52(7): 1200-1208
Kang Z H, Zhao Q, Lou S W, Ge J, Zhang H X. Effects on the agronomic and economic characters of cotton by applying different topping chemicals [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2015, 52(7): 1200-1208 (in Chinese)
- [8] 李飞, 何叔军, 郭利双, 李景龙. 化学封顶剂在湖南植棉区的应用研究[J]. 中国棉花, 2016, 43(10): 27-29+35
Li F, He S J, Guo L S, Li J L. Applied reasearch of cotton chemical topping agent in Hunan [J]. *China Cotton*, 2016, 43(10): 27-29+35 (in Chinese)
- [9] 潘明琪, 张建平, 齐文亮. 化学打顶剂在棉花上的应用效果试验[J]. 农村科技, 2011, (12): 10-11
Pan M Q, Zhang J P, Qi W L. Study the application effect of chemical topping agent on cotton [J]. *Rural Science and Technology*, 2011(12): 10-11 (in Chinese)
- [10] 杨成勋, 张旺锋, 徐守振, 随龙龙, 梁福斌, 董恒义. 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
Yang C X, Zhanf W F, Xu S Z, Sui L L, Liang F B, Dong H Y. Effects of spraying chemical topping agents on canopy structure and canopy photosynthetic production in cotton [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2016, 49(9): 1672-1684 (in Chinese)
- [11] 赵强, 张巨松, 周春江, 恽友兰, 李松林, 田晓莉. 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
Zhao Q, Zhang J S, Zhou C J, Yun y l, Li S L, Tian X L. Chemical detopping increases the optimum plant density in cotton (*Gossypium hirsutum* L) [J]. *Cotton Science*, 2011, 23(5): 401-407 (in Chinese)
- [12] 赵强, 周春江, 张巨松, 李松林, 恽友兰, 田晓莉. 化学打顶对南疆棉花农艺和经济性状的影响[J]. 棉花学报, 2011, 23(4): 329-333
Zhao Q, Zhou C J, Zhang J S, Li S L, Yun Y L, Tian X L. Effect of chemical detopping on the canopy and yield of cotton (*Gossypium hirsutum*) in south Xinjiang [J]. *Cotton Science*, 2011, 23(4): 329-333 (in Chinese)
- [13] 戴翠荣, 练文明, 李子, 王献礼, 贺美球. 南疆棉区氟节胺化学打顶技术初探[J]. 中国棉花, 2013, 40(9): 31-33
Dai C R, Lian W M, Li Z, Wang X L, He M Q. Study on cotton chemical topping technology of flumetralin in south Xinjiang [J]. *China Cotton*, 2013, 40(9): 31-33 (in Chinese)
- [14] 苏成付, 邱新棉, 王世林. 烟草抑芽剂氟节胺在棉花打顶上的应用[J]. 浙江农业学报, 2012, 24(4): 545-548
Su C F, Qiu X M, Wang S L. Utilization study on application of tobacco suckercides flumertralin in cotton topping [J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2012, 24(4): 545-548 (in Chinese)
- [15] 孙国军, 李克富, 彭延. 南疆棉区棉花利用氟节胺打顶技术试验[J]. 棉花科学, 2014, 36(2): 23-25
Sun G J, Li K F, Peng Yan. Study on cotton topping with flumetralin in south Xinjiang [J]. *China Cotton*, 2014, 36(2): 23-25 (in Chinese)
- [16] 黎芳, 王希, 王香茹, 杜明伟, 周春江, 尹晓芳, 徐东永, 卢怀玉, 田晓莉, 李召虎. 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
Li F, Wang X, Wang X R, Du M W, Zhou C J, Yin X F, Xu D Y, Lu H Y, Tian X L, Li Z H. Cotton chemical topping with mepiquat chloride application in the north of yellow river valley of China [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2016, 49(13): 2497-2510 (in Chinese)
- [17] 易正炳, 陈忠良, 刘海燕. 化学打顶整枝剂在棉花上的应用效果研究[J]. 中国农技推广, 2013, 29(5): 32-33
Yi Z B, Chen Z L, Liu H Y. Study the application effect of chemical topping and pruning agent on cotton [J]. *China Agricultural Technology Extension*, 2013, 29(5): 32-33 (in Chinese)
- [18] 韩焕勇, 王方永, 陈兵, 李保成, 张旺锋, 田晓莉, 李召虎. 氮肥对棉花应用增效缩节胺封顶效果的影响[J]. 中国农业大学学报, 2017, 22(2): 12-20
Han H Y, Wang F Y, Chen B, Li B C, Zhang W F, Tian X L, Li Z H. Effect of nitrogen fertilizer on plant growth and yield formation of cotton applied with fortified DPC [J]. *Journal of*

- China Agricultural University*, 2017, 22 (2): 12-20 (in Chinese)
- [19] 韩焕勇,王方永,陈兵,张旺锋,李保成,田晓莉,李召虎. 灌水量对北疆棉花增效缩节胺化学封顶效应的影响[J]. 棉花学报, 2017, 29(1): 70-78
Han H Y, Wang F Y, Chen B, Li B C, Zhang W F, Tian X L, Li Z H. Effects of drip irrigation water amount on the regulation of cotton growth and yield by fortified 1, 1-dimethyl-piperidinium chloride in northern Xinjiang[J]. *Cotton Science*, 2017, 29(1): 70-78 (in Chinese)
- [20] Inc. L. LAI-2200 Plant Canopy Analyzer Opening Manual[J]. Lincoln, Nebraska, USA; 2012
- [21] Bednarz C W, Bridges D C, Brown S M. Analysis of cotton yield stability across population densities[J]. *Agronomy Journal*, 2000, 128-135
- [22] Dong H Z, Li W J, Eneji A E, Zhang D M. Nitrogen rate and plant density effects on yield and late-season leaf senescence of cotton raised on a saline field[J]. *Field Crops Research*, 2012, 126: 137-144
- [23] 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): 101-107
- [24] Wang X, Hou Y, Du M, Xu D, Lu H, Tian X, Li Z. Effect of planting date and plant density on cotton traits as relating to mechanical harvesting in the Yellow River valley region of China[J]. *Field Crops Research*, 2016, 198: 112-121
- [25] Siebert J D, Stewart A M, Leonard B R. Comparative growth and yield of cotton planted at various densities and configurations[J]. *Agronomy Journal*, 2006, 98(3): 562-568
- [26] Marois J J, Wright D L, Wiatrak P J, Vargas M A. Effect of row width and nitrogen on cotton morphology and canopy microclimate[J]. *Crop Science*, 2004, 44(3): 870-877
- [27] Pettigrew W T, Zeng L. Interactions among irrigation and nitrogen fertility regimes on mid-south cotton production[J]. *Agronomy Journal*, 2014, 106(5): 1614-1622
- [28] Bondada B, Oosterhuis D, Norman R, Baker W. Canopy photosynthesis, growth, yield, and boll 15N accumulation under nitrogen stress in cotton[J]. *Crop Science*, 1996, 36(1): 127-133
- [29] Zhang D, Luo Z, Liu S, Li W, Weitang, Dong H. Effects of deficit irrigation and plant density on the growth, yield and fiber quality of irrigated cotton[J]. *Field Crops Research*, 2016, 197: 1-9
- [30] Sadras V O, Bange M P, Milroy S P. Reproductive allocation of cotton in response to plant and environmental factors [J]. *Annals of Botany*, 1997, 80(1): 75-81

责任编辑: 吕晓梅