

## 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

冯国艺,姚炎帝,杜明伟,田景山,罗宏海,张亚黎,张旺锋\*

(石河子大学新疆兵团绿洲生态农业重点实验室/农学院,新疆 石河子 832003)

**摘要:**在干旱气候生态条件下,设置常规化调和轻量化调2种方式,以常规棉品种为对照,研究了不同剂量缩节胺(DPC)对杂交棉品种冠层结构及群体光合生产的影响。结果表明,轻量化调下,杂交种标杂 A<sub>1</sub> 和石杂 2 号棉株主茎第 6 及以上节间长度明显增加,叶面积指数增大且生育后期下降较缓,光截获量增加;植株叶倾角增大,叶片较直立,冠层开度较大,透光良好,群体光合速率峰值高且高值持续期较长,光合物质积累量明显增加,皮棉产量显著提高。常规棉花品种新陆早 13 号和新陆早 36 号第 6 及以上节间长度变化不大,叶面积指数峰值高但生育后期下降较快,生育后期漏光损失严重,群体光合速率下降,产量显著降低。因此,采用轻量化调,有助于杂交种形成高光效冠层结构,增强群体光合生产能力,发挥其生长优势,提高产量。

**关键词:**化学调控;缩节胺;冠层结构;群体光合;杂交棉

**中图分类号:**S562.048 **文献标志码:**A

**文章编号:**1002-7807(2012)01-0044-08

## Dimethyl Piperidinium Chloride (DPC) Regulation of Canopy Architecture and Photosynthesis in a Cotton Hybrid in an Arid Region

FENG Guo-yi, YAO Yan-di, DU Ming-wei, TIAN Jing-shan, LUO Hong-hai, ZHANG Ya-li, ZHANG Wang-feng\*

(The Key Laboratory of Oasis Eco-agriculture of Xinjiang Production Construction Group/College of Agriculture, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832003, China)

**Abstract:** To investigate the effects of different concentrations of dimethyl piperidinium chloride (DPC) on canopy architecture and photosynthesis in two hybrid cotton varieties, we conducted an experiment with two levels of growth regulator compare with two traditional varieties. With mild growth regulator and in cotton hybrids Biaoza A<sub>1</sub> and Shiza 2, we observed a significant increase in internode length above the sixth internode which is the starting point of the canopy, a higher and slower decline in leaf area index, larger leaf angle, greater light interception, larger diffuse non-interceptance, and a higher canopy photosynthetic rate with longer duration. This meant that photosynthetic accumulation and yield increased significantly. In Xinluzao 13 and Xinluzao 36 the internode length above the sixth internode changed slightly, while the peak in leaf area was index higher, the diffuse non-interceptance was greater, leaf area index declined quickly and less light was intercepted, the group photosynthetic capability was significantly weakened, and the yield consequently decreased. The traditional growth regulator resulted in the deterioration of hybrid cottons' canopy structure, fall of the group photosynthetic capacity and yields. It showed that the mild growth regulator thus contributed to improve the efficiency of hybrid cottons' canopy structure and photosynthetic capability, and was thus beneficial for improved growth and cotton yield.

**Key words:** growth regulation; dimethyl piperidinium chloride; canopy structure; canopy apparent photosynthesis; hybrid cotton

作物生产中通过栽培技术措施的实施,优化冠层结构,增加对光能的有效截获,改善群体光合性能,提高群体生产力对提高作物产量具有重要实践意义<sup>[1]</sup>。缩节胺(DPC)是我国棉花生产上

应用最广泛的植物生长调节剂,具有优化冠层结构及增加产量等作用<sup>[2-3]</sup>,已成为棉花高产栽培技术中一项不可缺少的关键措施。已有研究表明,合理施用缩节胺可提高棉花叶片光合能力,延缓

收稿日期:2011-07-03

作者简介:冯国艺(1982-),男,博士研究生,guoyi\_sg@163.com;\* 通讯作者,Zhwf\_agr@shzu.edu.cn

基金项目:国家自然科学基金(31060176);国家科技支撑计划(2007BAD44B07)

叶片衰老<sup>[4]</sup>,提高群体光合速率<sup>[5]</sup>,促进棉花光合物质的积累<sup>[2]</sup>,提高单株铃数和铃重<sup>[6]</sup>。杂交种具有高产优质、抗逆性强等优势,棉花杂种优势利用是提高产量和改善品质的重要途径之一。新疆是我国最重要的商品棉生产基地,近年来引进和选育了多个杂交种并进行推广种植,使棉花单产水平有了进一步提高<sup>[7]</sup>。目前有关杂交棉的研究主要集中在光合生理生态机制、养分吸收分配等方面<sup>[2,4-5,8]</sup>,而对于干旱区滴灌条件下系统化调方面的研究较少;新疆在杂交棉种植过程中,因过量施用化学调节剂而严重抑制杂交棉个体的生长,影响优良冠层结构的形成,导致杂种优势的增产潜力难以发挥,在南北疆一些棉区出现产量水平仅达到或低于常规棉品种的现象。因此,开展缩节胺用量对杂交棉冠层结构、群体光合速率及产量影响的研究,揭示杂交棉生长发育对化学调节剂用量的响应机理,为干旱区杂交棉的科学化调提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验概况

试验于 2008—2009 年在石河子大学农学试验站(45°19'N,86°03'E)进行。试验地前茬作物为棉花,土质为中壤土,含有机质 1.96%,碱解氮 56.7 mg·kg<sup>-1</sup>,速效磷 15.5 mg·kg<sup>-1</sup>,速效钾 194.7 mg·kg<sup>-1</sup>。播前每公顷深施油渣 4500 kg,尿素 156 kg,三料磷肥 225 kg 作基肥。4 月 18 日播种,采用宽膜覆盖栽培,先铺膜后点播,1 膜 4 行,行距为(60+28+58+28)cm 宽窄行,留苗密度均为每公顷 18 万株。供试品种:杂交棉为标杂 A<sub>1</sub> 和石杂 2 号,常规棉为新陆早 13 号和新陆早 36 号;设 2 个缩节胺用量处理:常规化调(参照北疆高产田棉花生产缩节胺使用量<sup>[9]</sup>,225 g·hm<sup>-2</sup>),轻量化调(缩节胺用量 125 g·hm<sup>-2</sup>)。分别于苗期、蕾期、花铃期共喷施 5 次,间隔 10~15 d,其中常规调控剂量分别为 5.0,7.0,32.0,66.0,115.0 g·hm<sup>-2</sup>,轻度调控剂量分别为 5.0,3.5,16.0,33.0,67.5 g·hm<sup>-2</sup>。小区面积为 42 m<sup>2</sup>,裂区设计,主区为不同化学缩节胺用量,副区为品种,重复 3 次。生育期间共滴水 9 次,滴水量 3500~3570 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>;随水滴施尿素 570 kg·hm<sup>-2</sup>,7 月 3 日打顶,其它田间管理措

施按生产上高产田进行。

### 1.2 测试内容和方法

在盛蕾期、盛花期、盛铃前期、盛铃后期、盛絮期测定冠层结构指标、群体光合速率及棉株干物质重等项目。参照 Malone 等方法<sup>[10]</sup>,用 LAI-2000 冠层仪(LI-Cor, USA)测定叶面积指数(Leaf area index, LAI)、叶倾角(Mean foliage tilt angle, MTA)、冠层开度等指标,每处理重复 4 次。群体光合速率(Canopy apparent photosynthetic rate, CAP)参照董树亭(Canopy openness, DIFN)等方法<sup>[11]</sup>并有所改进,选择晴天光强稳定在 1200~1400 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>时,用 GXH-305 型红外线 CO<sub>2</sub> 分析仪在田间直接测定。每处理重复 4 次,不同处理采用轮回测定的方法。植株干物质样品每处理取 5~6 株,将植株分成茎、叶、蕾铃等器官,105 °C 下杀青,80 °C 烘至恒重,称干重。各处理于收获期选有代表性植株 10 株,测量节间长度;每个处理随机选取 3 个点,调查各样点全部株数和铃数,折算出单株结铃数和单位面积总铃数,以实收子棉产量计产。采用 Microsoft Excel 2003 和 SPSS 11.0 分析处理试验数据,用最小显著差数法(LSD)检验平均数,用 Sigmaplot 10.0 作图。

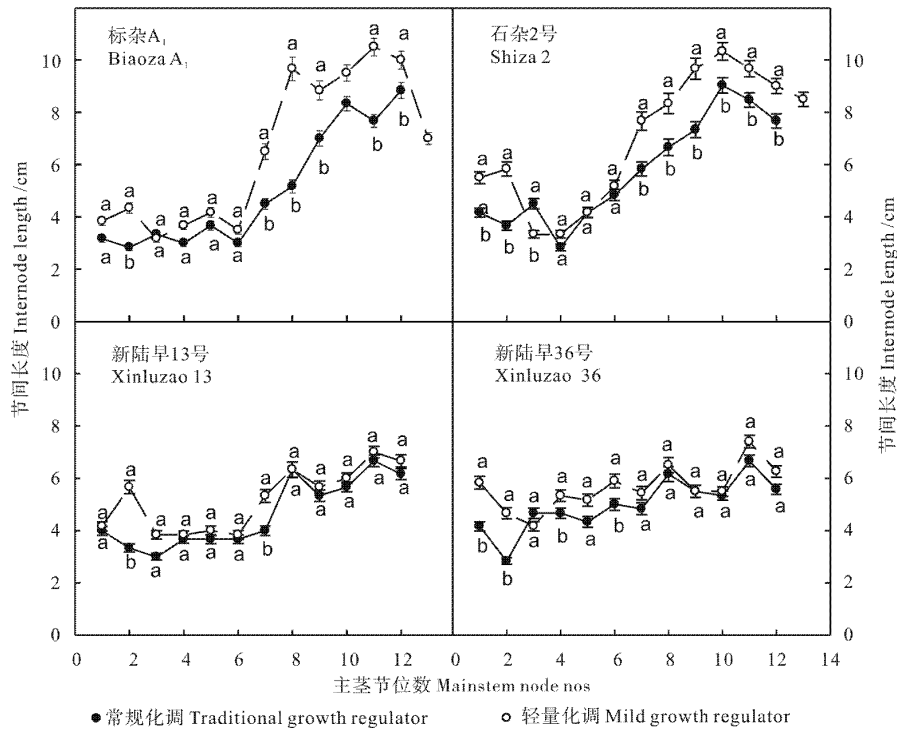
## 2 结果与分析

### 2.1 DPC 对不同棉花品种主茎节间长度的影响

棉花植株主茎节间长度影响叶片的着生高度,可改变光能在冠层内部的传输,对叶片光合作用具有重要影响。由图 1 可见,轻量化调处理的主茎节间长度均高于常规化调处理。不同品种对 DPC 用量反应不同,标杂 A<sub>1</sub>、石杂 2 号 2 个棉花杂交种较新陆早 13 号、新陆早 33 号 2 个常规棉品种对 DPC 用量反应敏感,表现出随 DPC 用量减少,节间长度显著增加,其中轻量化调下杂交种主茎第 6 及以上节间位平均长度较常规棉品种长 21.5%~32.5%。

### 2.2 DPC 对不同基因型棉花冠层结构的影响

**2.2.1 叶面积指数(LAI)。**叶片是进行光合作用的主要器官,其大小直接影响棉花光合物质积累,进而影响产量。试验表明(图 2),轻量化调处理的 LAI 显著高于常规化调处理,以盛花至盛铃前期表现尤为明显。2 个常规棉品种较 2 个杂交

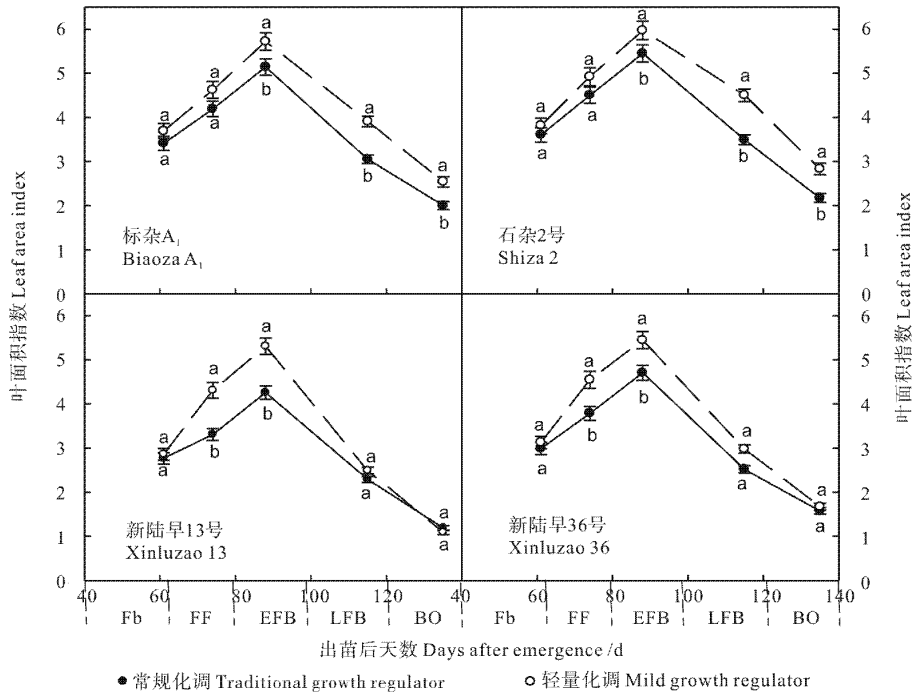


不同字母表示同一主茎节间不同处理在 0.05 水平上差异显著。

Note: Values followed by different letters are significant difference at 0.05 level in the same mainstem node number under different treatment.

图 1 DPC 用量对不同棉花品种节间长度的影响

Fig. 1 Effects of different DPC application levels on the internode length in different cotton varieties



Fb: 盛蕾期; FF: 盛花期; EFB: 盛铃前期; LFB: 盛铃后期; BO: 吐絮期。不同字母表示同一生育时期不同处理在 0.05 水平上差异显著。

Fb: Full budding stage; FF: Full flowering stage; EFB: Early full bolling stage; LFB: Later full bolling stage; BO: Boll opening stage. Note: Values followed by different letters are significant difference at 0.05 level in the same growth stage under different treatment.

图 2 DPC 用量对不同棉花品种叶面积指数的影响

Fig. 2 Effects of different DPC application levels on leaf area index in different cotton varieties

种对 DPC 用量反应敏感,表现出 LAI 的峰值高,但生育后期 LAI 的衰退速率明显加快,而 2 个杂交种 LAI 的高值持续时间长,下降速率随 DPC 用量的不同变化不大,至吐絮期仍显著高于常规化调量。

**2.2.2 叶倾角(MTA)。**MTA 是衡量冠层结构的

重要指标之一,反应叶片的直立状态。试验表明(表 1),轻量化调处理的 MTA 高于常规化调处理。在轻量化调下,2 个杂交种的 MTA 较常规化调增加 3.6%~7.8%,2 个常规棉品种仅提高 1.3%~3.8%,盛铃后期至吐絮期杂交种 MTA 增幅均低于常规棉品种。

表 1 DPC 用量对不同棉花品种叶倾角(MTA)的影响

Table 1 Effects of different DPC application levels on mean foliage tilt angle(MTA) in different cotton varieties

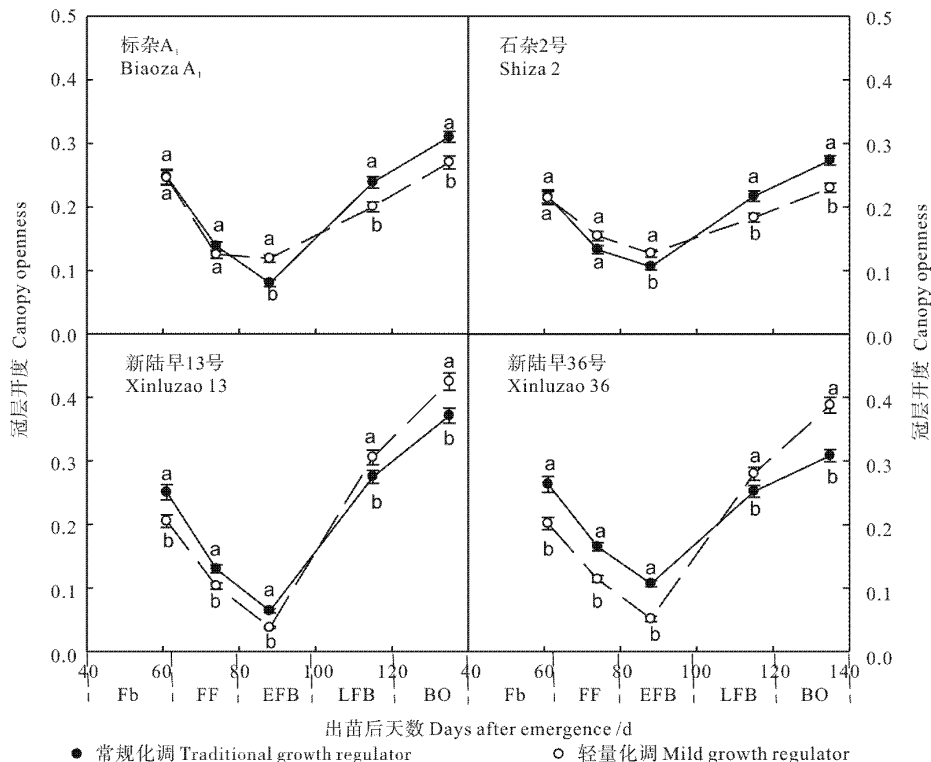
品种 Cultivars	处理 Treatments	盛蕾期 Full budding	盛花期 Full flowering	盛铃前期 Early full bolling	盛铃后期 Later full bolling	吐絮期 Boll opening
标杂 A <sub>1</sub>	常规化调 Suitable growth regulator	41.1±2.11c	43.3±2.17c	45.1±2.18c	41.8±1.99d	40.1±2.03c
Biaoza A <sub>1</sub>	轻量化调 Mild growth regulator	42.6±2.08ab	46.7±2.28a	48.4±2.37a	43.8±1.94a	42.6±1.97a
石杂 2 号	常规化调 Suitable growth regulator	42.1±2.11a	44.3±2.23b	46.2±2.29b	42.7±2.06c	40.6±1.74bc
Shiza 2	轻量化调 Mild growth regulator	43.9±2.11a	46.7±2.32a	49.8±2.49a	44.3±2.31a	42.9±1.97a
新陆早 13 号	常规化调 Suitable growth regulator	38.2±1.84e	41.6±1.95d	44.6±2.27d	42.3±1.87c	40.9±1.55b
Xinluzao 13	轻量化调 Mild growth regulator	39.1±1.88d	43.2±2.19c	45.4±2.34c	43.2±2.27b	41.0±2.18b
新陆早 36 号	常规化调 Suitable growth regulator	39.7±1.59d	42.0±2.03d	45.3±2.29c	42.5±1.96c	41.0±1.78b
Xinluzao 36	轻量化调 Mild growth regulator	40.2±2.08c	42.9±1.89c	45.9±2.14b	43.7±2.24a	41.4±2.08b

注:同一列不同字母表示在 0.05 水平上差异显著。

Note: Values followed by different letters are significant difference at 0.05 level within a column.

**2.2.3 冠层开度(DIFN)。**DIFN 的大小与冠层光环境优劣及冠层对光能的利用效率密切相关。由

图 3 可见,杂交种在盛铃前期以前 2 个 DPC 处理间 DIFN 没有明显差异,盛铃前期轻量化调下



Fb: 盛蕾期;FF: 盛花期;EFB: 盛铃前期;LFB: 盛铃后期;BO: 吐絮期。不同字母表示同一生育时期不同处理在 0.05 水平上差异显著。

Fb: Full budding stage; FF: Full flowering stage; EFB: Early full bolling stage; LFB: Later full bolling stage; BO: Boll opening stage. Note: Values followed by different letters are significant difference at 0.05 level in the same growth stage under different treatment.

图 3 DPC 用量对不同棉花品种冠层开度的影响

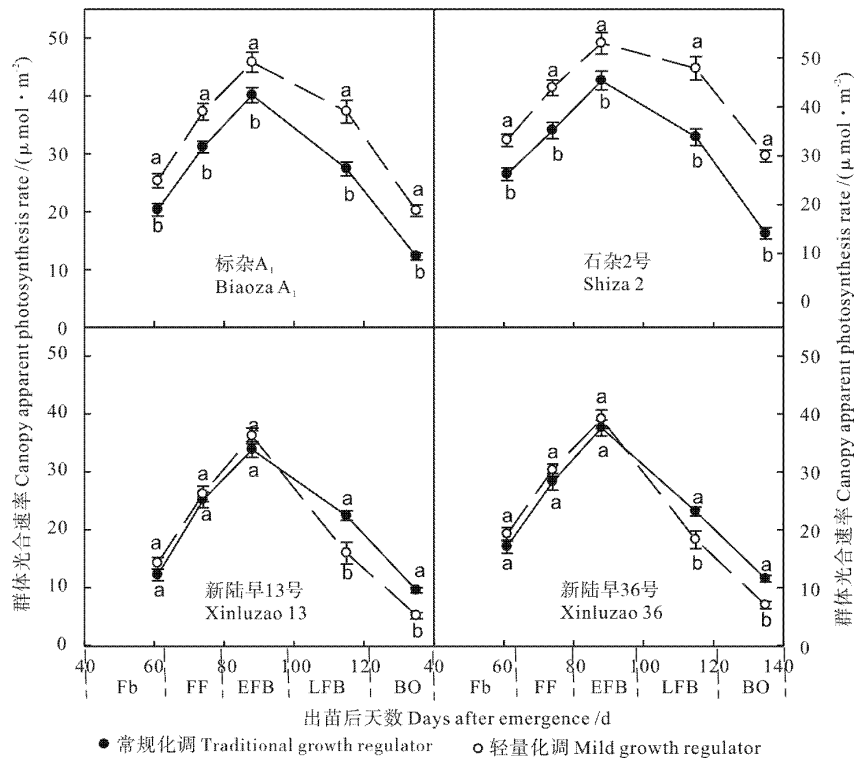
Fig. 3 Effects of different DPC application levels on canopy openness in different cotton varieties

的 DIFN 较常规化调高 20.0%~48.5%，之后轻量化调下的 DIFN 较常规化调降低 12.9%~16.2%；常规棉品种在盛蕾期到盛铃前期轻量化调较常规化调下的 DIFN 低 18.1%~51.7%，其后表现为轻量化调下的 DIFN 高于常规化调，增幅为 11.0%~25.8%。

### 2.3 DPC 对不同棉花品种群体光合速率的影响

试验表明(图 4),轻量化调下 2 个杂交种的群体光合速率(CAP)处理显著高于常规化调,2 个

常规棉品种的 CAP 在化调量处理间盛铃前期以前无明显差异,之后轻量化调下 CAP 下降更为明显。进入盛铃后期,杂交种在轻量化调下 CAP 的衰退较常规化调缓慢,轻量化调下吐絮期较盛铃前期 CAP 下降 43.4%~56.0%,常规化调 68.9%~69.5%；而常规品种则表现为轻量化调下 CAP 的衰退较常规化调有所加快,轻量化调下 CAP 较常规化调降低 21.0%~46.1%；这表明轻量化调有利于维持杂交种生育中后期群体光合生产能力。



Fb: 盛蕾期;FF: 盛花期;EFB: 盛铃前期;LFB: 盛铃后期;BO: 吐絮期。不同字母表示同一生育时期不同处理在 0.05 水平上差异显著。

Fb: Full budding stage; FF: Full flowering stage; EFB: Early full bolling stage; LFB: Later full bolling stage; BO: Boll opening stage. Note: Values followed by different letters are significant difference at 0.05 level in the same growth stage under different treatment.

图 4 DPC 用量对不同棉花品种群体光合速率的影响

Fig. 4 Effects of different DPC application levels on canopy apparent photosynthesis rate in different cotton varieties

### 2.4 DPC 对不同棉花品种光合物质积累量的影响

试验表明(图 5),轻量化调处理的光合物质积累量显著高于常规化调。轻量化调处理下,2 个杂交种光合物质积累量高于常规化调,在生育后期更显著;2 个常规棉品种生育前期有所提高,轻量化调下较常规化调高 42.9%~68.7%,但生育后期无明显差异。杂交棉轻量化调吐絮期光合物质积累量较常规化调高 30.6%~31.7%，常规棉高

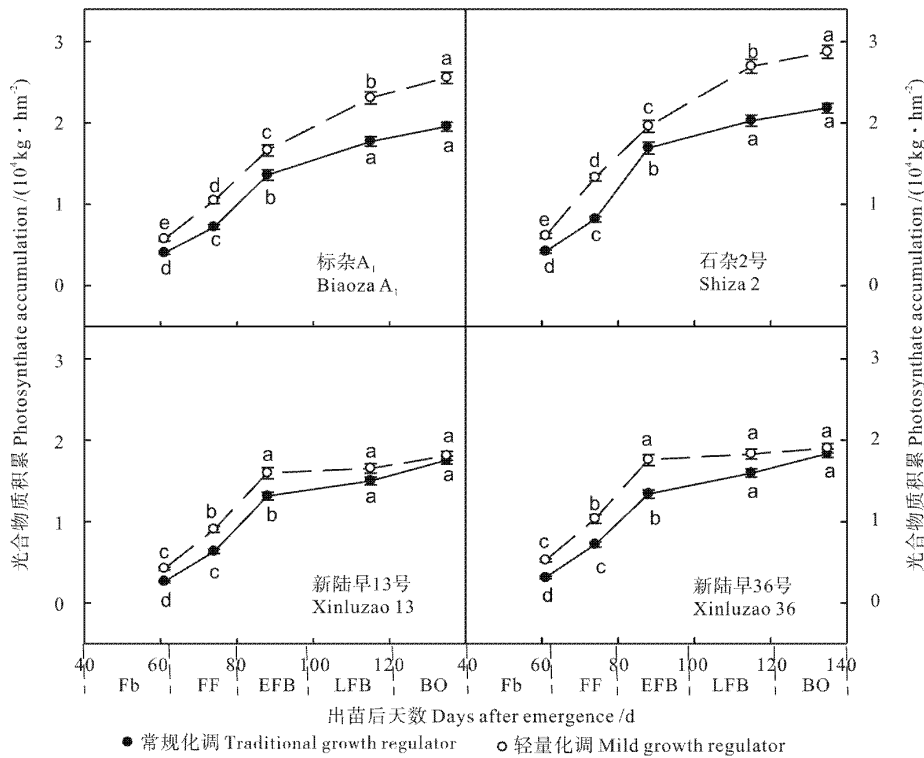
3.0%~3.5%。

### 2.5 DPC 对不同棉花品种产量及其构成因子的影响

不同处理棉花皮棉产量以轻量化调下杂交种较高(表 2),达 3500 kg·hm<sup>-2</sup> 以上的高产水平;新陆早 13 号最低,仅为 2204 kg·hm<sup>-2</sup>。品种间,降低 DPC 用量,杂交种皮棉产量显著增加,常规棉品种皮棉产量则显著降低。进一步考察其产量构成因素,轻量化调下,各品种铃重增大;随化调量

减少,杂交种单株铃数增多 8.0%~10.5%,常规棉降低 13.0%~16.2%。可见,轻量化调能增加铃重,

杂交种单株铃数明显增加,而常规棉品种单株铃数明显下降。



Fb: 盛蕾期;FF: 盛花期;EFB: 盛铃前期;LFB: 盛铃后期;BO: 吐絮期。不同字母表示同一处理不同生育时期在 0.05 水平上差异显著。

Fb: Full budding stage; FF: Full flowering stage; EFB: Early full bolling stage; LFB: Later full bolling stage; BO: Boll opening stage. Note: Values followed by different letters is significant difference at 0.05 level in the same growth stages under different treatment.

图 5 DPC 用量对不同棉花品种光合物质积累的影响

Fig. 5 Effects of different DPC application levels on photosynthetic accumulation in different cotton varieties

表 2 DPC 用量对不同棉花品种产量及产量构成的影响

Table 2 Effects of different DPC application levels on yield and components in different cotton varieties

品种 Cultivars	处理 Treatments	单株铃数 Boll No. Per plant	总铃数 Total boll No. per hectare/( $\times 10^4$ )	铃重 Boll weight/g	衣分 Lint percentage/%	子棉产量 Seed cotton yield/( $\text{kg} \cdot \text{hm}^2$ )	皮棉产量 Lint yield/ ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^2$ )
标杂 A <sub>1</sub> Biaoza A <sub>1</sub>	常规化调 Suitable growth regulator	7.5 $\pm$ 0.25b	135.8 $\pm$ 6.03b	5.77 $\pm$ 0.35a	41.9 $\pm$ 1.76	7723 $\pm$ 460.4b	3235 $\pm$ 133.3b
	轻量化调 Mild growth regulator	8.1 $\pm$ 0.37a	144.2 $\pm$ 6.66a	5.79 $\pm$ 0.35a	42.2 $\pm$ 1.78	8313 $\pm$ 495.8a	3512 $\pm$ 144.7a
石杂 2 号 Shiza 2	常规化调 Suitable growth regulator	7.6 $\pm$ 0.34b	136.0 $\pm$ 6.15b	5.80 $\pm$ 0.35a	42.4 $\pm$ 1.78	7887 $\pm$ 473.2b	3346 $\pm$ 137.8b
	轻量化调 Mild growth regulator	8.4 $\pm$ 0.35a	151.0 $\pm$ 6.70a	5.89 $\pm$ 0.35a	43.0 $\pm$ 1.83	8818 $\pm$ 575.3a	3794 $\pm$ 157.8a
新陆早 13 号 Xinluzao 13	常规化调 Suitable growth regulator	6.9 $\pm$ 0.31c	124.8 $\pm$ 5.45c	5.18 $\pm$ 0.31c	39.5 $\pm$ 1.55	6451 $\pm$ 387.1c	2548 $\pm$ 105.0c
	轻量化调 Mild growth regulator	6.0 $\pm$ 0.20d	106.2 $\pm$ 4.35d	5.26 $\pm$ 0.33c	40.1 $\pm$ 1.76	5497 $\pm$ 407.8d	2204 $\pm$ 94.4d
新陆早 36 号 Xinluzao 36	常规化调 Suitable growth regulator	7.4 $\pm$ 0.33b	133.9 $\pm$ 5.97b	5.57 $\pm$ 0.33b	39.3 $\pm$ 1.55	7403 $\pm$ 445.2b	2909 $\pm$ 120.0bc
	轻量化调 Mild growth regulator	6.2 $\pm$ 0.22d	112.8 $\pm$ 4.63d	5.62 $\pm$ 0.35b	40.4 $\pm$ 1.74	6298 $\pm$ 449.5c	2542 $\pm$ 107.3c

注:同一列不同字母表示在 0.05 水平上差异显著。

Note: Values followed by different letters are significant difference at 0.05 level within a column.

### 3 讨论与结论

#### 3.1 合理的 DPC 量是塑造杂交棉高光效冠层的重要因素

棉花施用 DPC 能提高叶片光合速率, 维持叶绿素含量及延长叶片功能期, 是棉花优质高产栽培的重要调控技术<sup>[12]</sup>。关于 DPC 对棉花冠层结构影响的研究表明, 适时适量的 DPC 可使叶面积指数峰值提前, 且使较高的叶面积指数维持较长时间<sup>[13]</sup>。本试验表明, 在轻量化调下, 常规棉品种生育后期叶面积指数下降较为迅速, 杂交种叶面积指数发展呈前快、中稳、后衰慢的合理动态过程。

棉花高光效的冠层结构可定性归结为紧凑型棉花群体, 紧凑型棉花茎叶夹角较小, 叶片较直立, 较好的株型结构使其在较高的叶面积指数下, 冠层接受的光能可以合理地分配到群体各叶层, 使中下部叶片处于较好的光照状态<sup>[14]</sup>, 从而有利于物质生产和积累。DPC 能有效地抑制棉株主茎和果枝的纵横生长, 延缓叶片的衰老, 塑造紧凑的株型<sup>[15]</sup>。张巨松等<sup>[13]</sup>研究表明, 在棉花打顶后, 应适当降低化学调节剂施用量, 否则易造成棉花上部节间缩短、叶片郁蔽, 导致中下部光照条件恶化、蕾铃脱落严重。本试验表明, 杂交种在常规化调下, 主茎节间短、叶面积指数低, 冠层内光照条件较差, 致使生育中后期叶片早衰; 轻量化调下, 主茎第 6 及以上节间位长度明显增加, 叶倾角大、叶片较直立, 进而保证在较高的光合面积下, 生育中后期冠层仍保持较高光能的利用效率。

#### 3.2 高光效冠层结构是棉花高光合效率和高产的基础

冠层结构状况影响作物光合特性, 合理的冠层结构有利于构建高产群体<sup>[16]</sup>。棉花产量直接来自于开花后的光合产物, 即产量主要由开花期-吐絮期群体光合特性所决定, 特别是中上部叶片光合能力及其高值持续的时间。通过塑造合理的冠层结构来延长花铃期光合能力的高值持续期是进一步挖掘棉花高产的潜力所在<sup>[17-18]</sup>。本试验中, 杂交种在轻量化调下, 棉花冠层内光分布较合理, 群体光合速率较高, 生育后期光合面积高值持续期较长, 从而为棉铃生长发育提供较多的

光合产物。常规棉品种在常规化调下, 棉花冠层的光能利用效率高, 群体光合生产能力强, 最终也获得了较高的产量。因此, 生产上种植棉花杂交种时, 应适当降低化学调节剂的用量, 并综合运用打顶、水肥运筹等关键栽培技术, 培育高效的冠层结构, 实现高产高效。

参考文献:

- [1] MADDONNI G A, Otegui M E, Cirilo A G. Plant population density, row spacing and hybrid effects on maize canopy architecture and light attenuation[J]. *Field Crops Research*, 2001, 71(3): 183-193.
- [2] RUAN Y L, Chourey P S, Delmer D P, et al. The differential expression of sucrose in relation to diverse patterns of carbon partitioning in developing cotton seed[J]. *Plant Physiology*, 1997, 115: 375-383.
- [3] GENCSOYLU I. Effect of plant growth regulators on agronomic characteristics, lint quality, pests, and predators in cotton[J]. *Journal of Plant Growth Regulation*, 2009, 28: 147-153.
- [4] 董志强, 何钟佩, 翟学军. 转 Bt 基因棉新棉 33B 叶片氮素代谢特征及其化学调控潜力[J]. *棉花学报*, 2000, 12(3): 113-117.  
DONG Zhi-qiang, He Zhong-pei, Zhai Xue-jun. The nitrogen metabolized character in leaves of transgenic Bt cotton nucotn 33B and its regulation[J]. *Acta Gossypii Sinica*, 2000, 12(3): 113-117.
- [5] 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.  
MA Zong-bing, Li Ling-li, Xie De-yi, et al. Effects of different fertilizer application combined with different DPC quantities on photosynthesis property and yield of cotton directly seeded after wheat[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2006, 14(4): 94-97.
- [6] 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.  
CHEN De-hua, Chen Yuan, Yang Chang-qin, et al. The effects on the boll weight and the source-sink characteristics in the coordination of nitrogen fertilizer and DPC in Bt cotton[J]. *Cotton Science*, 2002, 14(3): 147-150.
- [7] 杜明伟, 罗宏海, 张亚黎, 等. 新疆超高产杂交棉的光合生产特征研究[J]. *中国农业科学*, 2009, 42(6): 1952-1962.  
DU Ming-wei, Luo Hong-hai, Zhang Ya-li, et al. Photosynthesis characteristics of super-high-yield hybrid cotton in Xinjiang[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(6): 1952-1962.
- [8] 杜明伟, 冯国艺, 姚炎帝, 等. 杂交棉标杂 A<sub>1</sub> 和石杂 2 号超高产冠层特性及其与群体光合生产的关系[J]. *作物学报*, 2009, 35(6): 1068-1077.

- DU Ming-wei, Feng Guo-yi, Yao Yan-di, et al. Canopy characteristics and its correlation with photosynthesis of super high-yielding hybrid cotton Biaoza A<sub>1</sub> and Shiza 2[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2009, 35(6): 1068-1077.
- [9] 毛新萍. 北疆棉区棉花系列化调技术浅谈[J]. *中国棉花*, 2006, 33(5): 24.
- MAO Xin-ping. The technology of chemical-control reagents application of cotton in Northern Xinjiang[J]. *China Cotton*, 2006, 33(5): 24.
- [10] MALONE S, Herbert D A, Jr, Holshouser D L. Evaluation of the LAI-2000 plant canopy analyzer to estimate leaf area in manually defoliated soybean[J]. *Agron Journal*, 2002, 94: 1012-1019.
- [11] 董树亭, 高荣岐, 胡昌浩, 等. 玉米花粒期群体光合性能与高产潜力研究[J]. *作物学报*, 1997, 23(3): 318-325.
- DONG Shu-ting, Gao Rong-qi, Hu Chang-hao, et al. Study of canopy photosynthesis property and high yield potential after anthesis in maize[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 1997, 23(3): 318-325.
- [12] 何钟佩, 宋绍省, 李丕明. 植物生长延缓剂 DPC 对棉叶生理功能的调节作用[J]. *中国农业大学学报*, 1991(S1): 21-26.
- HE Zhong-pei, Song Shao-shen, Li Pi-ming. The regulatory action of plant growth retardant-DPC on the physiological function of cotton leaf[J]. *Journal of China Agricultural University*, 1991(S1): 21-26.
- [13] 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): 19-23.
- ZHANG Ju-shong, Cheng Bing, Zhou Yi-qiang, et al. Regulating effect of DPC on cotton population development[J]. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 1999, 22(1): 19-23.
- [14] 张旺锋, 王振林, 余松烈, 等. 种植密度对新疆高产棉花群体光合作用、冠层结构及产量形成的影响[J]. *植物生态学报*, 2004, 28(2): 164-171.
- ZHANG Wang-feng, Wang Zhen-lin, Yu Song-lie, et al. Effects of planting density on canopy photosynthesis, canopy structure and yield formation of high-yield cotton in Xinjiang, China[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28(2): 164-171.
- [15] 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]. *中国农业大学学报*, 1984(1): 19-28.
- HE Zhong-pei, Xi Hui-da, Yang Bing-fang, et al. The key to get good yield of cotton by inducing the response to DPC towards a planned direction and in planned strength[J]. *Journal of China Agricultural University*, 1984(1): 19-28.
- [16] 裴炎, 邱晓, 刘明钊. 棉花冠层结构及光合作用研究[J]. *作物学报*, 1988, 14(8): 214-220.
- PEI Yan, Qiu Xiao, Liu Ming-zhao. Study on the structure and photosynthesis of cotton canopy[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 1988, 14(8): 214-220.
- [17] 李少昆, 张旺锋, 马富裕, 等. 北疆超高产棉花(皮棉 2000 kg·hm<sup>-2</sup>) 生理特性研究[J]. *作物学报*, 2000, 26(4): 508-512.
- LI Shao-kun, Zhang Wang-feng, Ma Fu-yu, et al. A study on physiological characteristics of super high-yield (lint 2000 kg·hm<sup>-2</sup>) cotton in North Xinjiang[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2000, 26(4): 508-512.
- [18] 郭仁松, 刘盼, 张巨松, 等. 南疆超高产棉花光合物质生产与分配关系的研究[J]. *棉花学报*, 2010, 22(5): 471-478.
- GUO Ren-Song, Liu Pan, Zhang Ju-song, et al. Study on relations on photosynthetic production and its distribution of super high-yield cotton in south Xinjiang[J]. *Cotton Science*, 2010, 22(5): 471-478. ●