



化学调控对干旱后棉花冠层时空分布及产量的影响

何庆雨,代建敏,窦巧巧,谢玲,张巨松

(新疆农业大学 农学院/教育部棉花工程研究中心,乌鲁木齐 830052)

摘要 为探究干旱后棉花化学调控增产稳产的可行性,通过模拟田间干旱,采用裂区设计,探究化学调控下干旱后棉花冠层时空分布及产量变化。主区设置人工打顶与化学封顶,副区设置干旱后复水 3 d、6 d、9 d 喷施低量缩节胺及空白对照。结果表明:喷施缩节胺显著提高棉花籽棉产量、叶绿素相对含量(SPAD)、冠层中上部比叶重及各部位平均叶簇倾角和散射辐射透过系数(TC),显著降低冠层下部、上部叶面积指数,并随喷施时间的提前效果更显著。化学封顶显著增加冠层中下部比叶重、下部叶面积指数、上部叶面积指数及各部位 TC。干旱后复水 6 d 喷施缩节胺,采用化学封顶,棉花 SPAD 值和比叶重较高,叶面积指数分布均匀,叶片保持直立,冠层整体通风良好,棉花产量最高。

关键词 棉花;化学封顶;缩节胺;冠层结构;产量

中图分类号 S562

文献标志码 A

文章编号 1004-1389(2021)06-0860-10

在多种非生物胁迫中,干旱严重限制了多个地区各类作物的生长和发育^[1]。新疆属于典型的内陆干旱半干旱区,是中国最大的商品棉生产基地。2019 年新疆棉花种植面积达到 254 万 hm^2 ,占全国总比例的 76.1%^[2]。过去 20 a 间,新疆灌区农田地下水位持续下降 2.4~16.3 m^[3-4],棉花灌溉周期提前至蕾期^[5],甚至更早^[6],棉田更易遭受早期干旱^[7]。在此背景下,调整棉花化学调控策略,缓解干旱可能造成的不利影响,是解决上述问题的有效途径之一^[8]。

棉花化学调控常采用缩节胺(DPC)塑造群体冠层结构,改善群体受光条件^[9]。叶绿素含量和比叶重是判断棉花营养状况的重要指标^[10]。研究发现,喷施缩节胺后棉花叶绿素含量^[11]、冠层叶倾角^[12]和群体辐射透过系数^[13]显著提高,叶面积指数增长得到控制^[14]。同时,缩节胺施用需依据棉花长势、棉田气候等因素确定^[15],低灌溉量棉田,缩节胺用量设计应偏低^[16-17]。采用化学封顶剂延缓或抑制棉花顶芽生长的方式代替人工打顶,可减轻劳动强度,优化冠层上部结构,避免冠层郁闭^[18-19]。减少灌溉频次^[20-21]和灌水定额^[22],推迟灌水时间^[23],棉花化学封顶抑制效果

更明显。

前人对不同灌水定额、灌水频次下的化控策略有一定的研究^[17-23]。有关缩节胺喷施时间和化学封顶配合对干旱后棉花冠层时空分布和产量变化的研究尚缺乏。本试验通过模拟棉田干旱,研究化学封顶和复水后不同时间喷施缩节胺对干旱后棉花冠层时空分布及产量构成的影响,探讨干旱后棉花化学调控增产稳产的可行性,为农业植棉生产提供一定的理论指导。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2020 年 4—10 月开展,试验地位于新疆沙湾县四道河子镇(44°29'N、85°57'E,海拔 352 m)。该区属温带大陆性干旱气候,无霜期 170~190 d,年均降水量 140~200 mm,年蒸发量 1 500~2 000 mm,全年日照时数 2 800~2 870 h,年均气温 6.9℃。试验田前茬为棉花,土质为粘质壤土。化学封顶采用 25%缩节胺水剂,由中化作物保护有限公司生产提供;常规化控采用甲哌噹(有效成分 98%)可溶性粉剂,由四川国光农化股份有限公司生产提供。供试棉花品种为

收稿日期:2020-11-27 修回日期:2021-03-15

基金项目:新疆维吾尔自治区重大科技专项(2020A01002-4)。

第一作者:何庆雨,男,硕士研究生,研究方向为棉花高产栽培。E-mail:1145515890@qq.com

通信作者:张巨松,男,博士,教授,研究方向为棉花高产栽培与生理生态。E-mail:xjndzjs@163.com

‘新陆早 60 号’。

1.2 试验设计

试验于 2020 年 4 月 10 日播种棉花,4 月 28 日出苗,基本苗数 26.3 万株·hm⁻²。试验背景

设置:自 5 月 25 日棉花现蕾后,间隔 3 d 取 0~40 cm 土层土样,采用烘干法测定土壤含水率(表 1);干旱设置:6 月 3 日至 6 月 12 日内持续 10 d 平均土壤含水率≤10%^[24],随后进行复水。

表 1 蕾期棉田土壤含水率

Table 1 Moisture content in soil of cotton field at bud stage

土层深度/cm Soil depth	日期 Date									
	05-25	05-28	05-31	06-03	06-06	06-09	06-12	06-15	06-18	06-21
0~20	8.4	8.6	8.9	9.1	8.6	8.1	—	14.8	18.3	14.3
20~40	12.0	11.6	11.0	10.6	11.0	11.0	—	18.4	21.8	17.1
均值 Mean value	10.2	10.1	10.0	9.9	9.8	9.6	—	16.6	20.1	15.7

注:首次灌溉日期为 6 月 12 日。

Note:First irrigation was on June 12.

采用二因素裂区试验设计,打顶方式为主区,分为人工打顶和化学封顶;缩节胺喷施时间为副区,分为复水后 3 d(D3)、6 d(D6)、9 d(D9)喷施缩节胺及清水对照(CK)。人工打顶摘除一叶一心,化学封顶采用增效缩节胺(DPC⁺) 750 mL·hm⁻²,兑水 450 L·hm⁻² 喷施。普通缩节胺喷施分两次,初次用量 7.5g·hm⁻²,间隔 10 d 二次用量 15 g·hm⁻²,兑水 750 L·hm⁻²,各处理用量相同。人工打顶与化学封顶均于 7 月 10 日进行。

田间试验小区棉花种植模式采用一膜六行(66 cm+10 cm)宽窄行,株距为 9 cm,理论密度为 29.2 万株·hm⁻²。各小区面积 9 m×6.84 m,处理重复 3 次,共 24 个小区。9 月 10 日喷施脱叶催熟剂,10 月 10 日机械采收。试验地水肥运筹及其他田间管理均按当地高产田进行。

1.3 测定项目及方法

叶绿素 SPAD 值:于各处理小区选取中行和边行长势均匀棉株连续各 5 株,作为定株。自 6 月 15 日起,间隔 10~12 d 采用 SPAD-502 型(日本产)便携式叶绿素测定仪测定棉株倒四功能叶叶绿素相对含量(人工打顶后为倒三功能叶),选定叶片不同部位(避开主叶脉)测量 5 次,取其平均值作为测量值。

比叶重:自 6 月 15 日起,间隔 10~12 d 于各处理小区选取棉花中行和边行长势均匀一致棉株各 3 株,每株叶片分别按下部(1~3 果枝)、中部(4~6 果枝)、上部(7 果枝以上)分层,每层叶片采用打孔器(直径 1 cm)打孔,采集后的 300 枚叶圆片装入牛皮纸袋中,于 80 °C 烘箱烘干至恒量,电

子天平称量。

冠层结构指标:于各处理小区选取具代表性样点 3 个,采用 CI-110 数字式植物冠层结构分析仪(美国 CID 公司)测定叶面积指数(LAI)、平均叶簇倾角(MIFA)和散射辐射透过系数(TC)。参照姚青青等^[25]方法,于 19:00—21:00 内无强烈直射光时,将鱼眼探测器放置于小区棉株主茎处采集图像,测量水平方向分为膜间和行间,垂直方向按下部(20~40 cm)、中部(40~60 cm)和上部(60 cm 以上)分为 3 层,取膜间和行间平均值作为一次测量值,各样点重复 5 次,图像采用 Plant Canopy Analysis System 专用软件分析。

产量及产量构成:于棉花吐絮期,调查各个小区收获株数和总铃数,计算单株结铃数;将已吐絮棉铃按下部(1~3 果枝)30 个、中部(4~6 果枝)40 个、上部(7 果枝以上)30 个进行采摘,晾干称量并扎花,计算棉花单铃质量和衣分,最终计算各小区籽棉产量与皮棉产量,各处理小区重复 3 次。

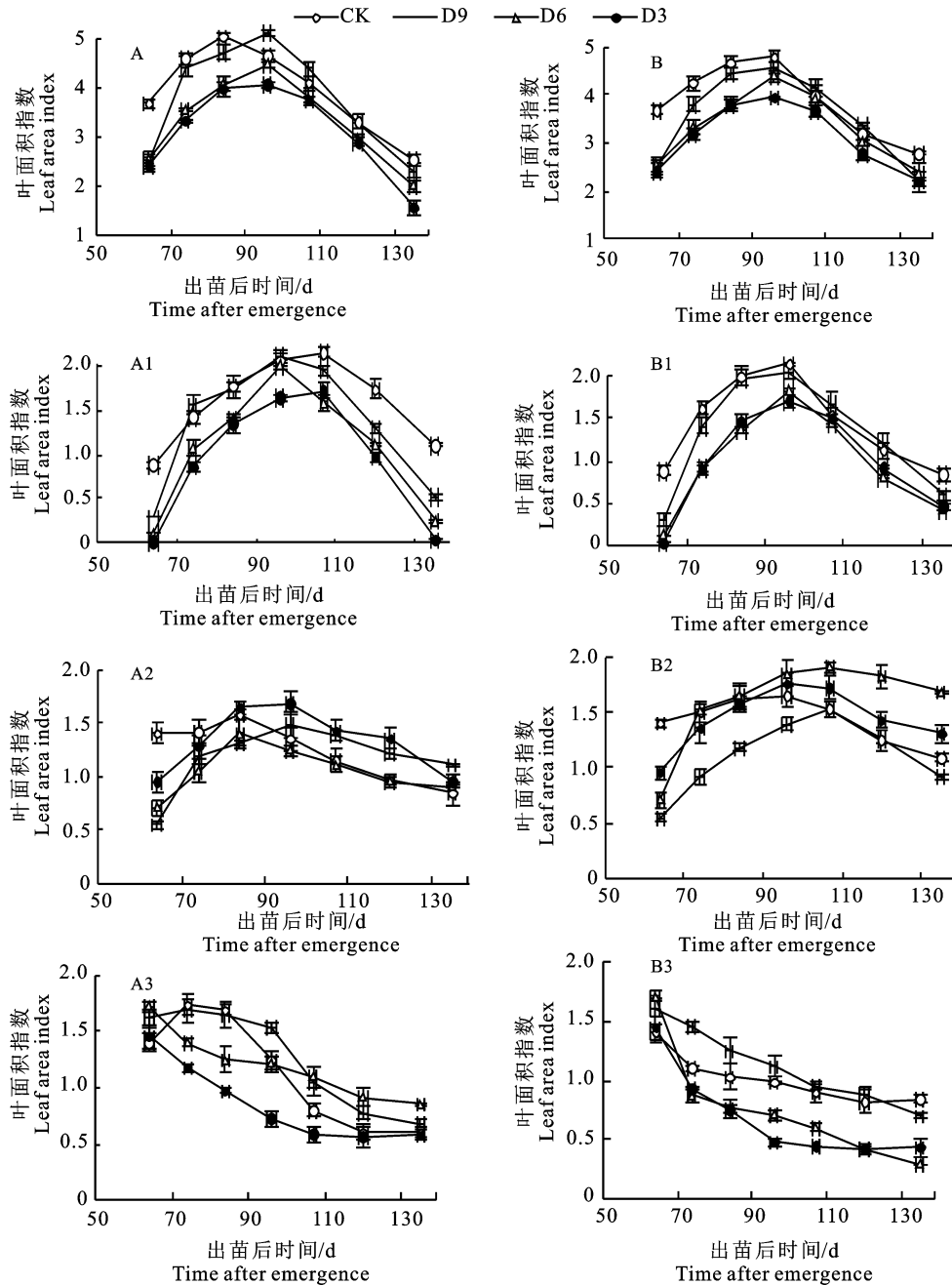
1.4 数据处理

采用 Microsoft office 2016 和 SPSS 19.0 进行数据统计和分析,采用 Duncan's 进行多重比较,检验差异显著性($\alpha=0.05$)。

2 结果与分析

2.1 化学调控对干旱后棉花不同部位叶面积指数的影响

由图 1 可知,各处理叶面积指数均呈“单峰曲线”变化。除 CK 处理外,其余处理均在出苗后 96 d 达到最大值。最大 LAI 值以 CK 处理最高,



A、B 分别表示化学封顶和人工打顶；1~3 表示上部、中部、下部；下同

A show chemical capping, B show manual topping; 1-3 show upper, middle and bottom; the same below

图 1 不同处理干旱后棉花整体及不同部位叶面积指数

Fig. 1 Overall and local LAI of cotton under different treatments after drought

D3 处理值最低, 平均值分别为 4.9 和 4.0, 总体表现为 CK>D9>D6>D3, 化学封顶最大 LAI 值比人工打顶平均高 5.6%。除 D9 处理外, 各缩节胺处理 LAI 整个生育期内均低于 CK 处理。

分析各部位叶面积指数的差异发现, 最大 LAI 值出现时间在冠层各部位上表现出时空不同步性, 先后顺序为下部、中部和上部。打顶前(出

苗后 50~74 d), 缩节胺处理各部位叶面积指数均低于 CK 处理。打顶后, 除 D9 处理外, 上部和下部叶面积指数仍低于 CK 处理。中部叶面积指数以 D3 处理平均值最高, D9 处理平均值最低, 表现为 D3>D6>CK>D9。与人工打顶相比, 化学封顶中部叶面积指数显著降低, 下部和上部叶面积指数显著增加。

2.2 化学调控对干旱后棉花不同部位平均叶簇倾角的影响

平均叶簇倾角(MFIA)可有效反映出棉花冠层结构中的叶片直立状况^[13]。由图 2 可知,打顶前(出苗后 50~74 d),喷施缩节胺处理各部位

MFIA 均高于对照处理,以 D3 处理平均值最高。打顶后,D3 处理冠层各部位 MFIA 显著低于 CK 处理。相对人工打顶,化学封顶各部位平均叶簇倾角均有所提升。采用化学封顶和缩节胺喷施均有利于叶片保持直立,保证冠层各部位受光面积。

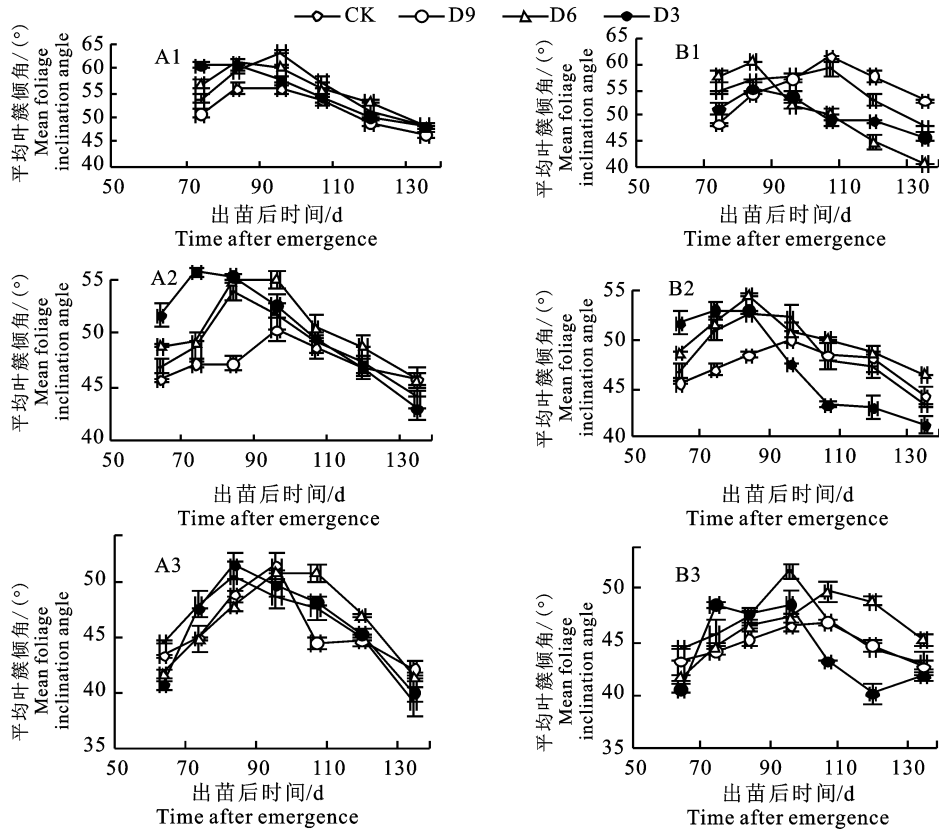


图 2 不同处理干旱后棉花不同部位平均叶簇倾角

Fig. 2 Local MIFA of cotton under different treatments after drought

2.3 化学调控对干旱后棉花不同部位散射辐射透过系数的影响

如图 3 所示,CK 处理各部位散射辐射透过系数(TC)在整个生育期内均处于较低水平。打顶前(出苗后 50~74 d),缩节胺处理各部位 TC 值显著高于 CK,但处理间差异不显著。打顶后,各部位 TC 值均以 D3 处理最高,总体表现为 D3>D6>D9>CK。与人工打顶相比,化学封顶显著增加了中部 TC 值,而对下部和上部 TC 值无显著影响。

2.4 化学调控对干旱后棉花叶绿素 SPAD 值的影响

由图 4 可知,棉花叶片 SPAD 值总体呈下降后上升趋势。整个生育期内缩节胺处理的 SPAD 值均高于 CK 处理,D3 处理 SPAD 值则保持较高

水平,两种打顶方式下规律表现一致。比较最终 SPAD 值可知,D3 处理 SPAD 值比 CK 处理平均高 6.8%,化学封顶 SPAD 值比人工打顶平均高 1.6%。采用化学封顶和低量缩节胺喷施均有利于棉花叶片叶绿素合成。

2.5 化学调控对干旱后棉花不同部位比叶重的影响

如图 5 所示,随生育进程推移,各处理比叶重变化趋势基本一致,打顶前(出苗后 50~74 d),比叶重呈下降后上升趋势,CK 处理下降幅度最大,D9 处理降幅最小,平均降幅分别为 32.8% 和 22.8%。打顶后,随着缩节胺喷施时间的延长,处理间比叶重呈上升后下降趋势,以 D6 处理比叶重平均值最高,CK 处理平均值最低,总体表现为 D6>D3>D9>CK。

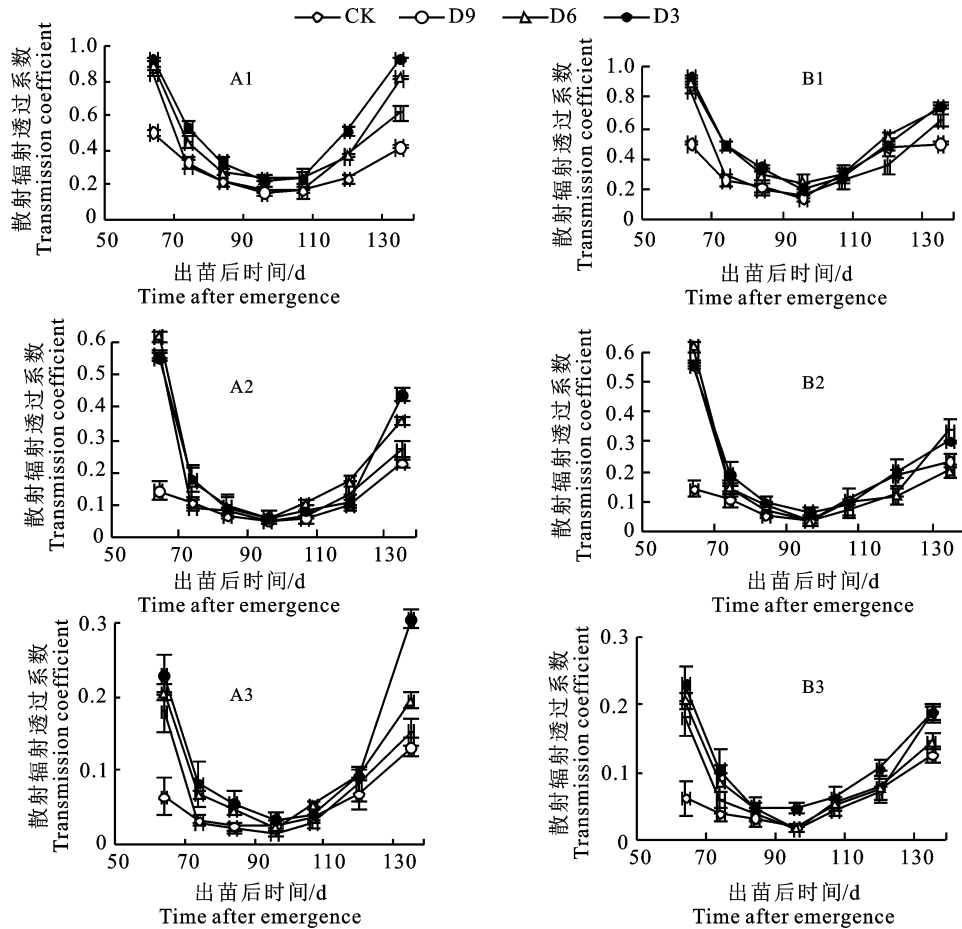


图 3 不同处理干旱后棉花不同部位散射辐射透过系数

Fig. 3 Local transmission coefficient of cotton under different treatments after drought

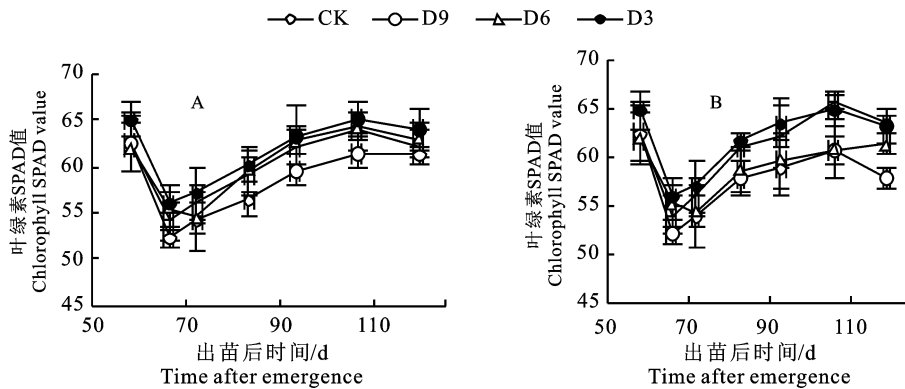


图 4 不同处理干旱后棉花叶绿素 SPAD 值

Fig. 4 Relative chlorophyll content of cotton under different treatments after drought

进一步分析不同部位比叶重的差异发现,打顶前(出苗后 50~74 d),各部位比叶重下降幅度整体表现为下部>中部>上部,而处理间比叶重降幅仅中部和上部差异显著,表现为 CK>D3>D6>D9。打顶后,与 CK 处理相比,缩节胺处理

各部位叶片比叶重均有所增加,以下部和中部增幅最为显著。化学封顶棉花上部比叶重显著降低,中部和下部比叶重显著增加,导致整体变化不显著。

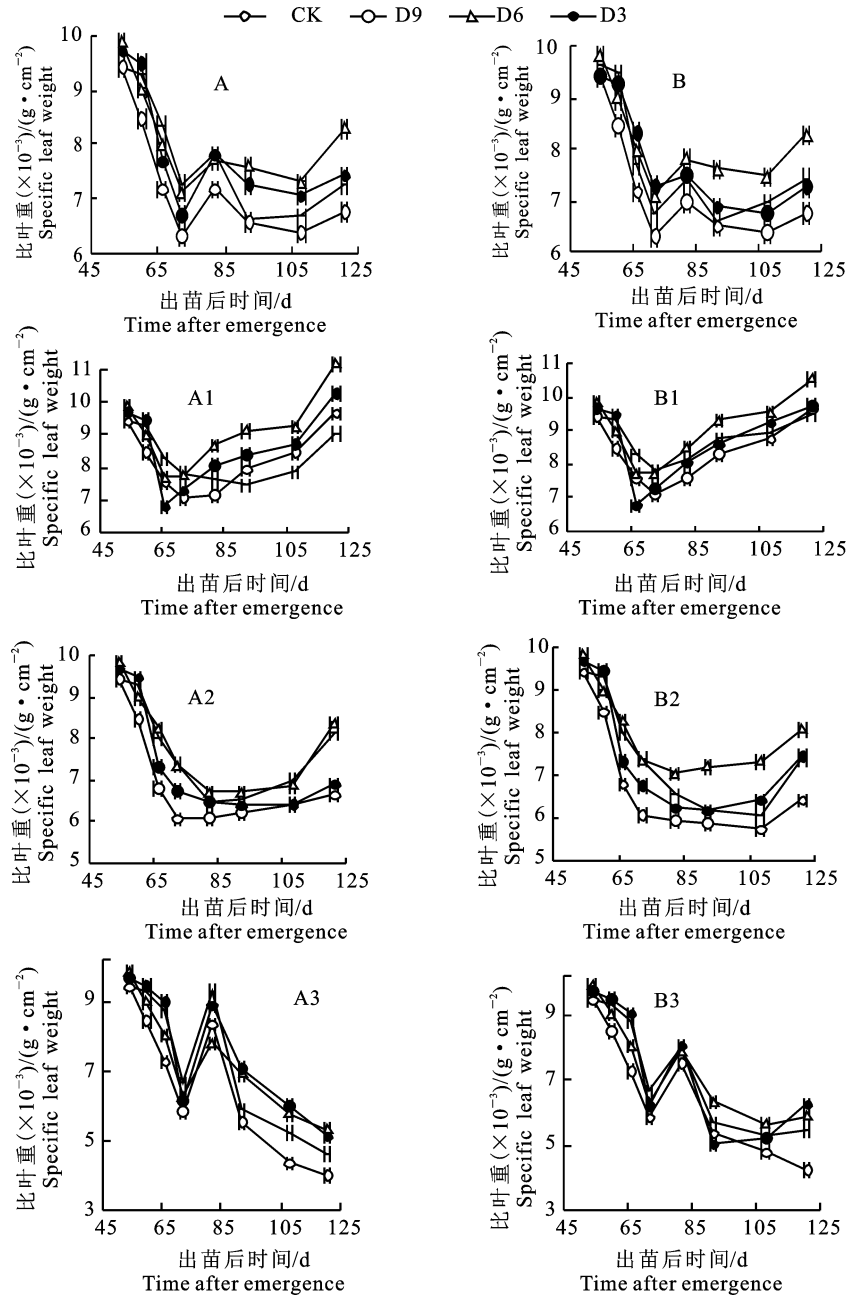


图5 不同处理干旱后棉花整体和不同部位比叶重

Fig. 5 Overall and local specific leaf weight of cotton under different treatments after drought

2.6 化学调控对干旱后棉花产量及产量构成的影响

由表2可知,在产量构成中,与CK处理相比,缩节胺处理显著提高棉花单株结铃数、单铃质量和籽棉产量。其中籽棉平均产量以CK处理最低,D6处理最高,最低值 $5\ 805.6\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,最高值 $6\ 958.7\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,D6处理比对照平均增加19.9%,籽棉产量整体表现为 $\text{D6} > \text{D9} > \text{D3} > \text{CK}$;与人工打顶相比,化学封顶棉花单株结铃数和单铃质量增幅不显著,籽棉产量平均提高

4.0%。皮棉产量平均提高3.3%。衣分在各处理间异不显著。

3 讨论

作物冠层结构能较为灵敏地反映外部环境变化,而叶面积指数则是反映其特性的重要指标之一^[12]。棉花叶面积指数存在一定的阈值,最大叶面积指数以不超过4.5为宜,过大则可能导致群体郁闭^[26]。石洪亮等^[27]和郭子锋等^[28]研究表明,干旱或灌溉量不足会导致作物营养生长受阻,

表 2 不同处理干旱后棉花产量及产量构成因素

Table 2 Yield and yield components of cotton under different treatments after drought

打顶方式 Topping mode	处理 Treatment	收获株数($\times 10^4$) / hm^{-2} Plant number	单株结铃数 Boll number per plant	单铃质量/g Single boll mass	衣分/% Lint percentage	籽棉产量/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) Seed cotton yield	皮棉产量/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) Lint cotton yield
人工打顶 Manual topping	CK	24.7 a	4.3 b	5.3 c	45.0 a	5 602.7 d	2 523.9 c
	D3	24.1 a	4.7 ab	5.5 ab	45.8 a	6 220.9 bcd	2 844.3 ab
	D6	24.8 a	5.0 a	5.5 bc	45.4 a	6 884.3 ab	3 128.9 a
	D9	24.4 a	4.9 a	5.7 ab	45.4 a	6 733.7 abc	3 058.6 a
化学封顶 Chemical capping	CK	24.2 a	4.5 ab	5.5 abc	44.7 a	6 008.4 cd	2 701.0 bc
	D3	24.5 a	4.9 a	5.7 a	45.2 a	6 915.5 ab	3 121.6 a
	D6	24.2 a	5.1 a	5.7 ab	45.1 a	7 033.0 a	3 169.8 a
	D9	24.7 a	4.7 ab	5.6 ab	45.5 a	6 496.9 abc	2 949.9 ab

注:同列不同小写字母代表在 5% 水平差异显著。

Note: Different lowercase letters within the columns indicate significant difference at 5% levels.

叶面积指数将出现不同程度的下降。本试验中,棉花蕾期遭受干旱,复水后对照处理棉花叶面积指数达到 3.7~4.9,这可能是复水后棉花营养生长产生了补偿作用。因此,复水后为控制旺长,棉花仍需施以轻度化学调控。

冯国艺等^[29]研究认为,高产棉花的群体冠层应保证生育前期中下部叶面积指数比例高,各层间隙及叶倾角大,而生育后期上部叶面积指数缓慢降低。试验结果显示,打顶前(出苗后 50~74 d),随着缩节胺喷施时间提前,冠层各部位叶面积指数显著降低,并以上部冠层下降最为明显,平均叶簇倾角和散射辐射透过系数明显升高,这与冯国艺等^[29]的研究结果一致。打顶后,叶面积指数上部和下部显著降低,中部显著增加,叶片同化的光合产物更多转移至中部,不利于上部结铃^[30],限制了棉花后期增产潜力。化学封顶棉花冠层下部、上部叶面积指数显著增加,各冠层指标整体呈增加趋势。说明化学封顶通过优化上部冠层^[18],棉花冠层结构进一步优化,有利于棉花产量形成。此外,复水后 3 d 会导致叶面积指数过低,棉花生育后期散射辐射透过系数过高,平均叶簇倾角反而下降,棉花漏光损失严重,不利于棉花产量的形成。

叶绿素含量和比叶重是判断叶片营养状况的重要指标^[10]。干旱会造成棉花叶绿素缓慢上升。干旱缓解后,短期内叶绿素将呈下降趋势^[31],本试验研究与结果相一致。许多研究表明,化学封顶和缩节胺喷施均有利于棉花叶绿素合成^[10,32-33]。本试验进一步证明,随着缩节胺喷施

时间提前,比叶重伴随叶绿素 SPAD 值显著增加。喷施缩节胺显著增加了前期冠层中上部比叶重,后期影响转移至中下部,而化学封顶比叶重上部显著降低,中下部显著增加。这可能是干旱导致冠层下部叶片前期生长受阻,叶片光合面积和功能难以发挥,棉花的营养生长中心向中上部转移。

罗宏海等^[13]研究表明,棉花生育后期叶面积指数和叶倾角与单株结铃数、皮棉产量间呈显著正相关,通过延缓生育后期叶面积指数衰退,进而起到增产效果。本试验结果表明,干旱后棉花延迟施用轻量缩节胺能有效控制前期叶面积指数增长,提高棉花叶倾角,而对后期叶面积指数无显著影响,单株结铃数和单铃质量增加,籽棉和皮棉产量均显著提高。

4 结论

棉花蕾期遭受干旱,复水后需进行轻度化调以控制其旺长。通过延迟喷施低剂量缩节胺,棉花叶片比叶重和叶绿素相对含量显著提升,各部位冠层配置更为合理,通过化学封顶进一步激发干旱后棉花的补偿效应,表现出一定的增产效果。其中,化学封顶下复水后 6 d 喷施低量缩节胺,棉花叶面积指数均匀分布,叶片保持直立,冠层通风良好,能够最大限度的发挥棉花增产稳产潜力,棉花产量最高。

参考文献 Reference:

- [1] LESK C, ROWHANI P, RAMANKUTTY N. Influence of extreme weather disasters on global crop production[J].

- Nature*, 2016, 529(7584): 84-87.
- [2] 新疆维吾尔自治区统计局. 新疆维吾尔自治区 2019 年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. [2020-04-01]. <http://tjj.xinjiang.gov.cn/tjj/tign/202006/06087bf9aeb04c40b518627be028be.shtml>
Statistic Bureau of Xinjiang Uygur Autonomous Region. The 2019 statistical communique on national economic and social development in Xinjiang Uygur Autonomous Region [EB/OL]. [2020-04-01]. <http://tjj.xinjiang.gov.cn/tjj/tign/202006/06087bf9aeb04c40b518627be028be.shtml>
- [3] 魏兴, 贾瑞亮, 王新中, 等. 新疆玛纳斯河流域典型剖面地下水动态分析[J]. 南水北调与水利科技, 2017, 15(5): 127-133.
WEI X, JIA R L, WANG X ZH, *et al.* Analysis of groundwater level dynamics along typical profile of the Manas River Basin, Xinjiang [J]. *South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology*, 2017, 15(5): 127-133.
- [4] 刘婕, 杨鹏年, 阚建, 等. 变化环境下新疆沙湾县灌区地下水动态趋势及驱动因素[J]. 节水灌溉, 2019(3): 53-58.
LIU J, YANG P N, KAN J, *et al.* Dynamic trend and driving factors of groundwater in Shawan irrigated district under changing environment [J]. *Water Saving Irrigation*, 2019(3): 53-58.
- [5] 杨鹏年, 吴彬, 刘磊, 等. 干旱区不同地下水埋深膜下滴灌灌溉制度模拟研究[J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32(3): 76-82.
YANG P N, WU B, LIU L, *et al.* Research on irrigation schedule of cotton drip irrigation under plastic film based on the different ground water table in arid areas [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2014, 32(3): 76-82.
- [6] 马有绚, 张武, 张立祯. 近 30 年我国棉花需水特征[J]. 应用生态学报, 2016, 27(5): 1541-1552.
MA Y X, ZHANG W, ZHANG L ZH. Cotton water requirement character during recent 30 years in China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2016, 27(5): 1541-1552.
- [7] 薛晓萍, 张承旺, 张丽娟, 等. 区域农业生产脆弱性及干旱诊断分析[J]. 自然灾害学报, 2006(5): 107-114.
XUE X P, ZHANG CH W, ZHANG L J, *et al.* Diagnostic analysis of frangibility and draught in regional agricultural production [J]. *Journal of Natural Disasters*, 2006(5): 107-114.
- [8] 陈永快, 王涛, 廖水兰, 等. 逆境及生长调节剂对作物抗逆性的影响综述[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(23): 68-72.
CHEN Y K, WANG T, LIAO SH L, *et al.* Effects of stress and growth regulators on stress resistance of crops: a review [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2019, 47(23): 68-72.
- [9] 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.
- [10] 齐华, 肖祖荫, 蔺合华. 几种新型植物生长调节剂对棉花产量和品质的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 1994(4): 386-391.
QI H, XIAO Z Y, LIN H H. Effects of several new types of plant growth regulator on the quality and yield of cotton [J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 1994(4): 386-391.
- [11] 马宗斌, 房卫平, 朱伟, 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.
MA Z B, FANG W P, ZHU W, *et al.* Effects of nitrogen application rates and DPC sparing doses on content of chlorophyll and SPAD value in leaf of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) [J]. *Cotton Science*, 2009, 21(3): 224-229.
- [12] 冯国艺, 姚炎帝, 张旺锋, 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.
FENG G Y, YAO Y D, ZHANG W F, *et al.* Dimethyl piperidinium chloride(DPC) regulation of canopy architecture and photosynthesis in a cotton hybrid in an arid region [J]. *Cotton Science*, 2012, 24(1): 44-51.
- [13] 罗宏海, 赵瑞海, 张旺锋, 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.
LUO H H, ZHAO R H, ZHANG W F, *et al.* Effects of growth regulators(DPC) on canopy architecture and yield characteristics of cotton under different planting densities [J]. *Cotton Science*, 2011, 23(4): 334-340.
- [14] 杨长琴, 张国伟, 周关印, 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.
YANG CH Q, ZHANG G W, ZHOU G Y, *et al.* Effects of planting density and growth regulator mepiquat chloride on yields and canopy architecture of cotton sown after harvesting barley [J]. *Cotton Science*, 2016, 28(4): 331-338.
- [15] 石治鹏, 李敏, 李定国, 等. 缩节胺对棉花生长发育的调控效应研究进展[J]. 河南农业科学, 2017, 46(7): 1-8.
SHI ZH P, LI M, LI D G, *et al.* Research progress on regulating effect of DPC on cotton growth and development [J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2017, 46(7): 1-8.
- [16] 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.
- [17] 刘生荣, 李葆来, 刘党培, 等. 棉花限水灌溉与氮肥化学控制的产量效应研究[J]. 中国生态农业学报, 2005(3): 76-78.
LIU SH R, LI B L, LIU D P, *et al.* Study on limited irrigation and N fertilizer and DPC regulation for yield effect of cotton [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2005(3): 76-78.

- [18] 姜善伟,赵强,朱北京,等.棉花化学封顶对植株上部枝叶形态变化的影响[J].西北农业学报,2015,24(8):62-67.
LOU SH W,ZHAO Q,ZHU B J,*et al.* Effect of chemical topping on morphologic changes of leaves and branches in upper part of cotton[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*,2015,24(8):62-67.
- [19] 田雨,王方永,韩焕勇.增效缩节胺化学封顶对不同施氮量条件下棉花群体生长特征的影响[J].西北农业学报,2020,29(4):559-569.
TIAN Y,WANG F Y,HAN H Y. Effect of DPC⁺ chemical capping on group growth characteristics of cotton under different application amounts of nitrogen condition[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*,2020,29(4):559-569.
- [20] 韩焕勇,王方永,李召虎,等.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,LI ZH H,*et al.* 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.
- [21] 徐守振,杨延龙,张旺锋,等.北疆棉区滴水量对化学打顶棉花冠层结构及产量的影响[J].新疆农业科学,2017,54(6):988-997.
XU SH ZH,YANG Y L,ZHANG W F,*et al.* Effect of drip irrigation amount on canopy structure and yield of chemical topping cotton in Northern Xinjiang[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*,2017,54(6):988-997.
- [22] 聂志勇,康正华,赵强,等.灌水频次对化学封顶棉花生长发育的影响研究[J].干旱地区农业研究,2017,35(6):39-45.
NIE ZH Y,KANG ZH H,ZHAO Q,*et al.* Effect of irrigation frequency on the growth and development of chemical topping cotton[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*,2017,35(6):39-45.
- [23] 姜善伟,阿尔曼·阿不利米提,赵强,等.不同复水时间对化学封顶棉花的影响[J].新疆农业科学,2018,55(8):1400-1405.
LOU SH W,Aerman·Abulimiti,ZHAO Q,*et al.* Effects of different rehydration time on chemical topping cotton[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*,2018,55(8):1400-1405.
- [24] 闫曼曼,张巨松,林涛,等.调亏灌溉对海岛棉光合物质生产与分配的影响[J].干旱区研究,2016,33(6):1351-1357.
YAN M M,ZHANG J S,LIN T,*et al.* Effects of regulated deficit irrigation on production and distribution of photosynthetic matter in *Gossypium barbadense* L. [J]. *Arid Zone Research*,2016,33(6):1351-1357.
- [25] 姚青青,王斌,马兴旺,等.棉花冠层结构测定方法探讨[J].中国棉花,2011,38(7):18-21.
YAO Q Q,WANG B,MA X W,*et al.* Discussion of cotton canopy measurement methods[J]. *China Cotton*,2011,38(7):18-21.
- [26] 张旺锋,勾玲,李蒙春,等.北疆高产棉田群体光合速率及与产量关系的研究[J].棉花学报,1999,11(4):185-190.
ZHANG W F,GOU L,LI M CH,*et al.* Studies on the relationship between canopy apparent photosynthesis rate and yield in cotton in North Xinjiang[J]. *Cotton Science*,1999,11(4):185-190.
- [27] 石洪亮,严青青,张巨松,等.氮肥对非充分灌溉下棉花花铃期光合特性及产量的补偿作用[J].作物学报,2018,44(8):1196-1204.
SHI H L,YAN Q Q,ZHANG J S,*et al.* Compensation effect of nitrogen fertilizer on photosynthetic characteristics and yield during cotton flowering boll-setting stage under non-sufficient drip irrigation[J]. *Acta Agronomica Sinica*,2018,44(8):1196-1204.
- [28] 郭子锋,龚道枝,柳斌辉,等.干旱-复水对不同玉米品种冠层结构与水分利用效率的影响[J].灌溉排水学报,2011,30(2):41-45.
GUO Z F,GONG D ZH,LIU B H,*et al.* Effects of drought stress and re-watering on canopy architecture and water use efficiency of two maize genotypes[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*,2011,30(2):41-45.
- [29] 冯国艺,罗宏海,张旺锋,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.
FENG G Y,LUO H H,ZHANG W F,*et al.* Spatial distribution of leaf and boll in relation to canopy photosynthesis of super high-yielding cotton in Xinjiang[J]. *Scientia Agricultura Sinica*,2012,45(13):2607-2617.
- [30] 杜明伟,冯国艺,张旺锋,等.杂交棉标杂 A1 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 M W,FENG G Y,ZHANG W F. Canopy characteristics and its correlation with photosynthesis of super-high-yield hybrid cotton[J]. *Acta Agronomica Sinica*,2009,35(6):1068-1077.
- [31] 胡根海,张金宝,王清连,等.短期水分亏缺对百棉 1 号苗期生理特性的影响[J].广东农业科学,2010(3):76-79.
HU G H,ZHANG J B,WANG Q L,*et al.* Effects of the physiological indices of Baimian 1 seedling leaf under the short-term water deficit[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*,2010(3):76-79.
- [32] 杨成勋,张旺锋,董恒义,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.
YANG CH X,ZHANG W F,DOU H Y,*et al.* Effects of spraying chemical topping agents on canopy structure and canopy photosynthetic production in cotton[J]. *Scientia Agricultura Sinica*,2016,49(9):1672-1684.
- [33] 刘晓飞,王卫军,崔小平,等.打顶剂对麦后直播棉产量构

成及生长发育的影响[J]. 西北农业学报, 2019, 28(7):
1100-1109.
LIU X F, WANG W J, CUI X P, *et al.* Effect of topping on

yield components and growth of direct-seeded cotton after
wheat[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*,
2019, 28(7):1100-1109.

Effects of Chemical Regulation on Spatiotemporal Distribution of Cotton Canopy and Yield after Drought

HE Qingyu, DAI Jianmin, DOU Qiaoqiao, XIE Ling and ZHANG Jusong

(Cotton Engineering Research Center, Ministry of Education/College of Agronomy,
Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract To explore the feasibility of chemical regulation for increasing and stabilizing the yield of cotton after drought, field drought was simulated and split block design was used to investigate the effects of chemical regulation on the spatiotemporal distribution and yield of cotton canopy after drought. The manual topping and chemical capping were set up in the main areas, while low-quantity mepiquat chloride was applied to the secondary area 3 d, 6 d and 9 d after post-drought re-watering and a blank control. The results showed that mepiquat chloride significantly increased the yield of cotton and seed cotton, the relative chlorophyll content (SPAD), the specific leaf weight (SLW) at the middle and upper parts of the canopy, the mean foliage inclination angle (MIFA) of each part and the transmission coefficient for diffuse penetration (TC), and significantly reduced the leaf area index (LAI) at the upper and lower parts of the canopy. Also, the effect was better if the mepiquat chloride was applied earlier. Chemical capping significantly increased the SLW at the middle and lower parts of the canopy, the LAI at the lower and upper parts of the canopy, and the TC at each part. Mepiquat chloride was applied 6 d after post-drought, re-watering and chemical capping was adopted. The SPAD and SLW of cotton were relatively high, while the LAI was evenly distributed, the leaves were upright, the overall canopy was well ventilated, and the cotton yield reached a maximum.

Key words Cotton; Chemical capping; DPC; Canopy structure; Yield

Received 2020-11-27

Returned 2021-03-15

Foundation item Key Technology R&D Program of Xinjiang Uygur Autonomous Region (No. 2020A01002-4).

First author HE Qingyu, male, master student. Research area: high-yield cultivation of cotton. E-mail: 1145515890@qq.com

Corresponding author ZHANG Jusong, male, Ph. D, professor. Research area: high-yield cultivation and physiological ecology of cotton. E-mail: xjndzjs@163.com

(责任编辑:史亚歌 **Responsible editor: SHI Yage**)