



基于不同配置棉花化学控顶的光谱特征 和光合特征响应研究

王 刚¹,王 静²,陈 兵¹,张国蕾³,赵 静¹,韩焕勇¹,王方永¹

(1. 新疆农垦科学院/农业部西北内陆区棉花生物学与遗传育种重点实验室,新疆石河子 832003;2. 新疆石河子职业技术学院
水利建筑工程分院,新疆石河子 832003;3. 石河子大学 农学院,新疆石河子 832000)

摘 要 旨在研究不同控顶技术对棉花光谱和光合特征的影响。设置 2 种行距模式(配置),4 种控顶方式,分析不同配置不同控顶方式下棉花的光谱和光合特征。结果表明:控顶前,所有处理(T1~T8)棉花的叶片和冠层光谱均差异不显著。控顶后,不同行距模式(配置)下药剂控顶(T2~T4, T6~T8)的棉叶光谱反射率在可见光波段差异较小,均大于对照(T1, T5);与对照(T1, T5)相比,药剂控顶的棉花冠层反射率在近红外波段变化显著,宽窄行配置(T2~T4)和等行密植配置(T6~T8)均呈先升后降的趋势,短波红外波段变化显著,等行密植配置呈先升后降,宽窄行配置呈一直增加的趋势。药剂控顶使棉叶的净光合速率(A)、气孔导度(GH₂O)、蒸腾速率(E)和胞间 CO₂ 浓度(C_i)均显著提高,不同配置间存在差异。所有控顶处理的顶叶叶面积控顶后均增加,药剂控顶与对照均差异极显著。药剂控顶的顶端棉叶有隆起,顶心内缩,株高逐渐增加 7~15 cm,果枝台数均增加 2~4 台,顶叶叶面积减小,差异显著,倒 4 果枝铃数变化较小,差异不显著。说明药剂控顶改变棉花光谱特征,提高叶片光合能力,对棉花顶部叶片和顶尖生长有一定的抑制作用。

关键词 化学控顶;棉花;反射率;光合;生长特征

中图分类号 S562

文献标志码 A

文章编号 1004-1389(2021)01-0083-10

当前,新疆棉花在全国棉花的龙头重要性日益凸显。国家统计局发布了 2018 年全国棉花产量公告:2018 年全国棉花种植面积为 3 352.3 khm²,产量达到 609.6 万 t。其中,新疆棉花种植面积 2 491.3 khm²,产量达到 511.1 万 t,新疆棉花的面积和产量分别占全国的 74.3% 和 83.8%^[1-2]。近年来,新疆兵团的棉花机械化水平已经达到 95% 以上,棉花病虫害防控、机采棉脱叶、化学调控和叶面肥喷施都完全实现了机械化,唯有打顶技术还未完全实现机械化,是棉花实现全程机械化的最后一项瓶颈^[3-4]。新疆棉花打顶主要靠人工打顶,费工、费时,而且成本高,劳动强度大^[5]。也有机械打顶的尝试,但由于机械打顶对土地平整状况、棉花长势均匀度等有较高的要求,也存在棉株的机械损伤,过打、漏打等技术问题,需要进一步完善,至今未能实现大面积应用^[6]。正在兴起的化学控顶技术,表现为棉花塑型打顶一体化,效率高、费用低、劳力少、劳动强度

低、可全天候作业等,为棉花打顶技术开辟了新的方法,为棉花生产实现全程机械化提供了解决方案^[7-8]。当前新疆棉花提质增效已成为制约棉花生产的关键环节和重中之重,而棉花化学药剂控顶技术是提质增效的一项重要措施^[9],积极推进该项技术的熟化与应用刻不容缓。

国内外学者针对棉花化学药剂控顶技术开展了一系列研究,多数研究集中在棉花化学控顶技术的脱叶和吐絮效果上,少数研究对化学控顶后棉株的生长发育进行了分析,极少数研究化学控顶后棉花的生理特征变化^[10]。苏成付等^[11]对棉花喷施不同浓度氟节胺代替人工打顶的效果进行了研究,认为氟节胺处理后,棉株长势旺盛、株高降低,顶部叶片变小,单铃质量和籽棉质量增加,但品质无明显变化。赵强等^[12]研究了化学打顶和人工打顶方式下棉花农艺性状、冠层特征、棉铃空间分布、产量性状及纤维品质的异同。吉秀梅^[13]采用喷施打顶剂与人工打顶的大田试验,表

收稿日期:2020-04-11 **修回日期:**2020-07-18

基金项目:新疆兵团重大专项(2016AA001-4,2);新疆兵团领军人才项目(2019CB018);兵团技术转移项目(2013BD049)。

第一作者:王 刚,男,副研究员。研究方向为农业新技术与新成果推广。E-mail:47040846@qq.com

通信作者:陈 兵,男,研究员,研究方向为棉花高产栽培。E-mail:76446785@qq.com

明化学打顶在控制棉花株高效果的同时,既节省人工和时间,又降低了植棉成本。陈兵等^[14]研究了土优塔棉花打顶剂对棉花农艺性状、产量及纤维品质的影响,认为低浓度(450 和 600 mL/hm²)土优塔打顶剂处理打顶效果较好,且对棉花品质基本无影响。张晓莉等^[15]基于兵团第八师 134 团调查数据对棉花化学打顶的综合效益进行了分析,认为化学打顶综合效益好于人工打顶。可见,化学打顶节本增效显著,有效提高了劳动效率,减轻了劳动强度,并可显著提高棉花打顶的时效性,具有很好的应用前景。国内外学者也对棉花生长调控的光合特性进行了一些研究,Shahbaz 等^[16]研究认为氯甲吡啶酮的应用降低了短季棉的碳水化合物代谢及叶片光合作用的 1%~28%,皮棉产量降低 6%~29%。Cetin 等^[17]在土耳其安纳托利亚地区开展了不同灌溉施肥频率的试验,发现灌溉施肥频率对皮棉产量、叶绿素含量的影响较小,提高了皮棉品质。国内外学者对棉花生长状况的光谱特征也进行了研究,田春燕等^[18]对‘新陆早 33 号’不同水分处理,4 个关键生育时期的冠层高光谱数据和叶片净光合速率进行分析后发现,利用 RVI 能更好地预测棉花叶片净光合速率。祁亚琴等^[19]对棉花不同生育时期的冠层高光谱反射率进行研究,建立了基于高光谱归一化植被指数和比值植被指数的棉田冠层特征信息叶面积指数、鲜生物量、干生物量的定量模型,决定系数均高于 0.8。Priscila 等^[20]利用高光谱成像近红外技术和线性判别分析,将光谱范围从 1 000~2 500 nm 降至 1 000~1 381 nm,对棉花炭疽病原体进行了分类识别。

综上可知,国内外学者对棉花化学药剂控顶技术,棉花生长调控的光合特性和光谱特性等生

理特征分别进行了研究,而对化学控顶技术与生理特征之间的关系少有研究。对不同配置下化学药剂控顶后的高光谱和光合特性未开展系统研究。本文开展化学药剂控顶对棉花光谱和光合特征影响的分析,为化学药剂控顶技术的推广提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 种植情况及试验设计

2018 年在新疆农垦科学院农试场 3~13 号和 2~6 号地进行小区试验。土壤肥力中等(表 1),小区为随机区组设计,3 个重复,每个重复约 23 m²(长 10 m,宽 2.3 m)。2 块试验地头对头挨着,供试棉花品种均为‘金垦 86-29’。3~13 号地是 76 cm 等行距,5.6 cm 株距的一膜三行等行距密植配置,2~6 号地是(10+66)cm 行距,9.5 cm 株距的一膜六行宽窄行密植配置。4 月 17—20 日播种,膜上点播,膜下滴灌,生育期灌水量为 5 000 m³/hm²,施基肥硫磷二铵(美国)150 kg/hm²,追施尿素 600 kg/hm²,磷酸二氢钾 450 kg/hm²,随水滴施。全生育期滴水 11 次,9~10 d 滴 1 次水。其他按当地高产栽培模式管理。供试药剂为土优塔化学打顶水剂(河南东立信生物工程有限公司)。试验共设 2 种行距配置,4 种控顶处理,其中 3~13 号地设置 4 个处理,T1:人工控顶(CK);T2:450 mL/hm²;T3:750 mL/hm²;T4:1 050 mL/hm²;2~6 号地设置 4 个处理,T5:人工控顶(CK);T6:450 mL/hm²;T7:750 mL/hm²;T8:1 050 mL/hm²。各处理田间管理措施保持一致,2018-07-08 选择棉株健壮且整齐度一致、无病害的样点,采用背负式喷雾器模拟机车顶喷人工喷施药剂。

表 1 试验地不同处理分布情况

Table 1 Distribution of different treatments in experimental field

保护行 Guard row					保护行 Guard row				
保护行 Guard row	T1	T4	T2	保护行 Guard row	田埂 Field ridges	保护行 Guard row	T5	T8	T6
	T2	T3	T4				T6	T7	T8
	T3	T2	T1				T7	T6	T5
	T4	T1	T3				T8	T5	T7
保护行 Guard row						保护行 Guard row			

1.2 测定项目和方法

1.2.1 农艺性状测定 在每个小区选择长势均匀一致的植株 10 株(内外行各 5 株),挂牌标记。在控顶前 1 天,控顶后第 5 天、10 天、20 天,分别

测定株高、单株成铃数、倒四果枝铃数、叶龄、果枝数、顶端棉叶面积等农艺性状指标。

1.2.2 光谱测定 冠层光谱使用 ASD Fieldspec Pro FR 2500 便携式光谱仪测量,棉花单叶光谱

采用 ASD Field spec Pro FR 2500 便携式光谱仪与 ASD Leaf Clip 测试夹耦合测定。测定方法详见参考文献[21-22]。分别于 7 月 8 日和 8 月 12 日测定叶片光谱;7 月 8 日,7 月 21 日和 8 月 3 日测定冠层光谱。

1.2.3 光合测定 光合测定采用德国 WALZ 公司的 GFS-3000 便携式光合作用测定系统,测定方法详见参考文献[23]。7 月 21 日和 8 月 3 日测试光合参数。光谱和光合测定时选择顶部倒二和倒三展开叶各 3 片进行测试,取平均值。

1.3 数据分析方法

用美国 ASD 公司提供的 Viewspec Program 软件处理单叶和冠层的反射光谱数据并生成光谱反射率曲线。利用 Excel 2013 和 SPASS 22.0 软件进行数据整理和方差分析(Student-Newman-Keuls 多重比较法)。

2 结果与分析

2.1 不同控顶处理对棉花叶片和冠层光谱特征的影响

图 1 可知,控顶前后不同控顶处理(T1~T8)

的棉花叶片光谱发生较大变化。不论哪个配置模式,与对照(T1,T5)相比,喷药前(7 月 8 日),不同药剂控顶处理(T2~T4,T6~T8)的棉花叶片光谱反射率和光谱曲线均在整个波段(400~2 500 nm)无明显变化。喷药后(8 月 12 日),与对照相比(T1,T5),不同药剂控顶处理(T2~T4,T6~T8)棉叶光谱反射率在多数光谱波段均大于对照叶片(红谷处低于对照)。不同药剂控顶处理间的反射率差异较小,但都与对照(T1,T5)差异显著($P<0.05$)。等行密植下不同药剂控顶处理(T2~T4)间的光谱反射率在可见光段变化较小,在近红外光波段(700~1 300 nm)和短波红外波段(1 300~2 500 nm)变化较大,差异显著($P<0.05$),均呈先增后降的趋势。宽窄行配置下不同药剂控顶处理(T6~T8)间的光谱反射率在可见光和近红外光波段变化均较大,差异显著($P<0.05$),均呈现先增后降的趋势,短波红外波段呈现不断增加的趋势。

由图 2 可知,控顶前后不同控顶处理的棉花冠层光谱发生变化。对照的冠层光谱反射率随时间的推移逐渐降低,近红外波段尤为明显。不论

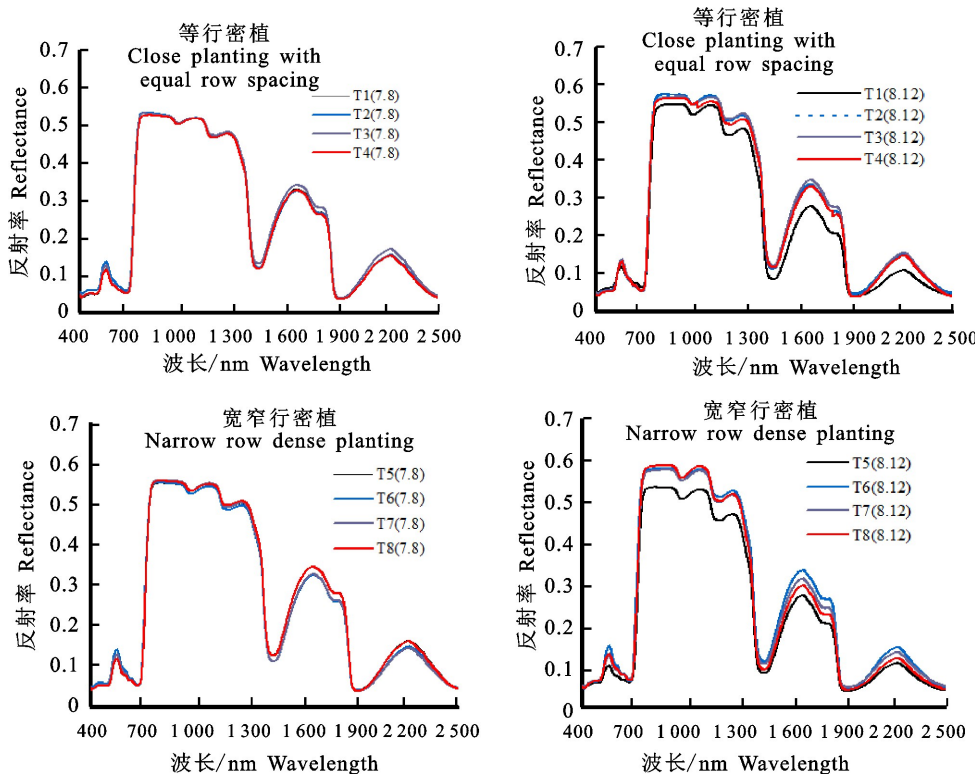


图 1 不同化学药剂控顶处理的棉叶光谱反射率特征

Fig. 1 Spectral reflectance characteristics of cotton leaf under different medicament topping treatments

哪种配置模式,与对照相比,药剂控顶前(7月8日),不同药剂控顶处理的棉花冠层光谱反射率和光谱曲线均在整个波段无明显变化。药剂控顶后(7月21日,8月3日),不同药剂控顶处理的棉花冠层光谱反射率在整个光谱波段均发生较大变化。随着时间的推移,两种配置下不同药剂控顶处理(T2~T4, T6~T8)反射率均在可见光波段无明显变化,近红外~短波红外波段呈现不同的变化趋势,差异显著($P < 0.05$)。近红外波段,等行距密植配置的棉花冠层反射率在喷药后第10天,低浓度时(T2, T3)高于对照,高浓度时(T4)

低于对照,呈先增后减的趋势,在喷药后第20天,不同药剂控顶处理(T2~T4)均高于对照 T1,呈逐渐增加的趋势。宽窄行密植配置的棉花冠层反射率在喷药后第10天,不同药剂控顶处理(T6~T8)均高于对照 T5,呈先增后减趋势,喷药后第20天,低浓度时(T6, T7)低于对照,高浓度时(T8)高于对照,整体呈现先降后增的趋势。相比之下,两种配置间的变化在可见光波段基本相同,在近红外光差异较大,等行距密植配置的光谱特征随着喷药浓度的增加而增加,宽窄行密植配置的变化则先降后增。

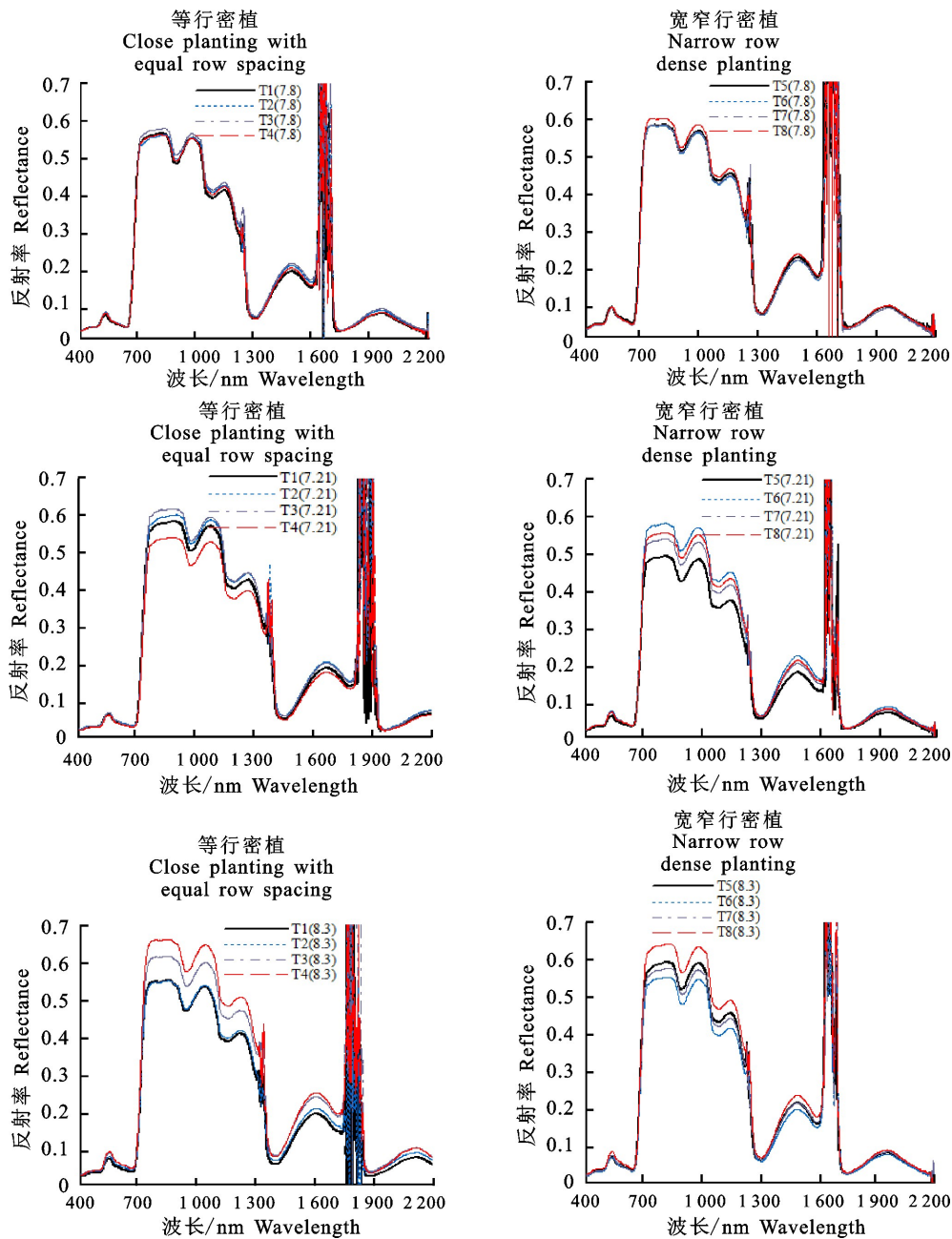


图2 不同控顶处理的棉花冠层光谱反射率

Fig. 2 Spectral reflectance characteristics of cotton population under different topping treatments

2.2 不同控顶处理对棉花叶片光合性能的影响

控顶前后不同控顶处理(T1~T8)的棉花叶片光合参数:净光合速率(A)、蒸腾速率(E)、气孔导度(GH₂O)和胞间 CO₂ 浓度(C_i)均发生较大变化(图 3)。与对照(T1,T5)相比,喷药后,2 种配置下不同药剂控顶处理(T2~T4,T6~T8)都提高叶片的净光合速率,喷药后第 12 天差异均不显著(T2 除外),喷药后第 25 天差异均显著($P < 0.05$),变幅均小于 $4.3 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,等行距密植配置净光合速率的增幅大于宽窄行密植配置。药剂控顶处理对蒸腾速率影响较大,都提高叶片的蒸腾速率,等行密植配置下不同药剂控顶处理与对照差异为 $0.4 \sim 2.2 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,差异显著($P < 0.05$),而宽窄行密植配置不同喷药处理与对照差异为 $1.7 \sim 3.2 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,差异显著($P < 0.05$),等行距密植配置蒸腾速率提高的幅度小于宽窄行密植配置。药剂控顶处理对 GH₂O 影响较大,都提高叶片的 GH₂O,等行密植配置的不同药剂控顶处理与对照差异为

$32.71 \sim 126.50 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,差异显著($P < 0.05$),而宽窄行密植配置下不同药剂控顶处理与对照差异为 $51.92 \sim 214.58 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,差异显著($P < 0.05$),等行距密植配置的蒸腾速率提高的幅度小于宽窄行密植配置。喷药处理对胞间 CO₂ 浓度影响较大,都提高叶片的胞间 CO₂ 浓度,等行密植配置下不同药剂控顶处理与对照差异为 $7.3 \sim 33 \text{ ppm}$,差异显著($P < 0.05$),而宽窄行密植配置下不同喷药处理与对照差异为 $17.1 \sim 25.4 \text{ ppm}$,差异显著($P < 0.05$),等行距密植配置的蒸腾速率提高的幅度小于宽窄行密植配置(表 2)。

2.3 不同控顶处理对棉花生长发育的影响

由表 3 可知,随着时间推进,所有控顶处理的棉花顶叶叶面积和株高一直增加,单株成铃数和果枝数变化较小,7—26 日 T5~T8 差异不显著,其他时期各处理差异均不显著,倒 4 果枝铃数变化很小,差异不显著。与对照相比,控顶处理的顶叶叶面积在控顶前差异不显著,控顶后所有处理

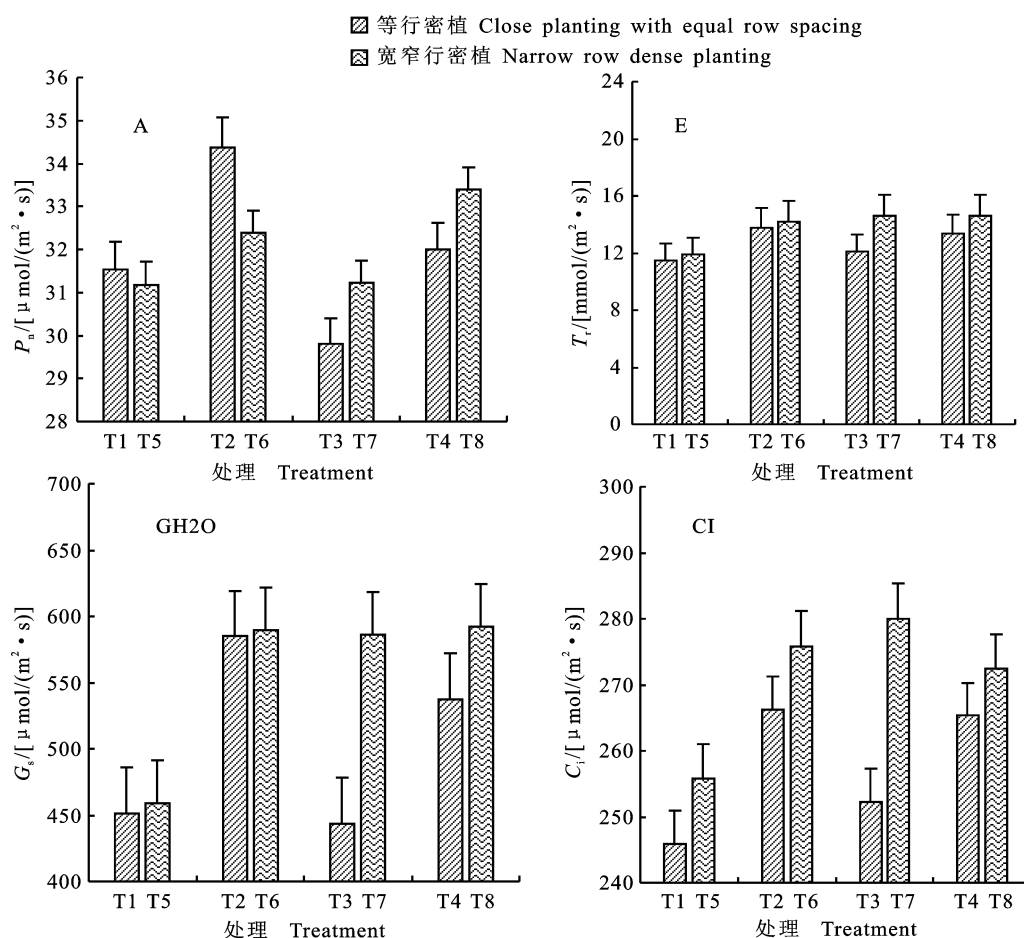


图 3 不同打顶处理的棉花叶片光合性能

Fig. 3 Photosynthetic performance of cotton leaf under different topping treatments

表 2 不同药剂控顶处理的棉花叶片光合特征

Table 2 Photosynthetic performance of cotton leaves under different topping treatments

日期 Date	处理 Treatment	A/ [$\mu\text{mol}/$ ($\text{m}^2 \cdot \text{s}$)]	E/ [$\text{mmol}/$ ($\text{m}^2 \cdot \text{s}$)]	GH ₂ O/ [$\text{mmol}/$ ($\text{m}^2 \cdot \text{s}$)]	C _i / ppm	日期 Date	处理 Treatment	A/ [$\mu\text{mol}/$ ($\text{m}^2 \cdot \text{s}$)]	E/ [$\text{mmol}/$ ($\text{m}^2 \cdot \text{s}$)]	GH ₂ O/ [$\text{mmol}/$ ($\text{m}^2 \cdot \text{s}$)]	C _i / ppm
07-17	T1(CK1)	31.13 b	13.07 e	457.64 d	250.58 b	07-26	T1(CK1)	30.12 b	9.44 c	396.74 c	233.94 d
	T2	36.30 a	16.34 a	646.72 a	283.23 a		T2	32.48 a	11.17 b	523.24 b	249.17 bc
	T3	32.16 b	14.77 bc	490.35 cd	270.56 a		T3	30.29 a	9.89 c	445.16 bc	241.22 cd
	T4	33.79 b	15.21 b	579.56 b	274.24 a		T4	30.19 a	11.44 b	495.67 b	256.41 b
	T5(CK2)	31.59 b	12.00 f	461.16 d	250.66 b		T5(CK2)	29.76 b	11.78 b	456.63 bc	260.87 b
	T6	31.87 b	13.79 d	540.32 bc	271.35 a		T6	33.22 a	14.65 a	638.57 a	280.22 a
	T7	32.80 b	14.23 cd	562.19 bc	273.39 a		T7	31.64 a	14.96 a	609.59 a	286.76 a
	T8	32.86 b	14.30 cd	513.08 bcd	267.89 a		T8	33.92 a	14.98 a	671.21 a	276.90 a

注:同列中不同小写字母分别表示差异显著($P<0.05$).下表 3 同。
Note: Different unppercase letters within same columns($P<0.05$) indicate significant differences. The same as in table 3.

的顶叶叶面积均增加,且药剂控顶(T2~T4,T6~T8)与对照(T1,T5)均差异显著($P<0.05$)。对照处理的株高基本不变,药剂控顶的株高逐渐增加,喷药前各药剂控顶的株高与对照差别很小,多数处理间差异 1 cm 以内,不显著,施药后 10 d 药剂控顶的株高仍在增加,其中轻中浓度处理(T3,T6,T7)增加较大(5~9 cm),差异显著($P<0.05$),高浓度处理(T4,T8)增加较少,差异不显著。20 d 后,药剂控顶的株高增加 3~9 cm,差异显著($P<0.05$)。药剂控顶的果枝台数与对照在控顶前和控顶后第 10 天均无变化,各处理间显著不差异,但 20 d 后药剂控顶的果枝均增加 2~4 台,与对照差异显著($P<0.05$)。倒 4 果枝铃数先增后减,各控顶处理间差异不显著。控顶后药剂控顶处理的顶端棉叶有隆起,顶心内缩。

3 讨论

本文对两种不同配置模式下不同控顶方式棉花的光谱特征、光合特性及生长发育情况等方面进行深入探讨。研究发现,两种配置下不同药剂控顶处理(T2~T4,T6~T8)的叶片光谱都在大多数波段大于对照(T1,T5),但在不同波段出现了略微差异,等行密植配置下药剂控顶的棉叶光谱在可见光波段变化较小,红外~短波红外波段变化较大,而宽窄行配置下药剂控顶的棉叶片光谱在整个波段一直变化较大。陈兵等^[24]研究发现,在可见光范围内单叶光谱反射率主要受叶绿素含量的影响,叶绿素含量高,对光吸收的多,所

以反射率就低,病害叶片单位面积上叶绿素含量较低,对光吸收的少,所以反射率就高,而在近红外和短波红外范围内,单叶光谱反射率主要受叶绿素、叶片单位面积含水量、干物质含量和叶片内部结构的影响。两种配置下不同药剂控顶处理叶片均受到了药剂的破坏,叶片内部叶绿素减少、叶片单位面积含水量降低,干物质含量和叶片内部结构等都受到了影响,导致叶片光谱都在大多数波段大于对照。另外,等行密植配置下棉花的植株个体生长势旺盛,个体优势较强,药剂控顶前株高较高,顶部同一叶位叶片的叶面积较大,控顶后吸收药剂较慢,叶片内部结构损伤速度较慢,叶片单位面积含水量减少,所以叶片光谱红外~短波红外波段变化较大;相比之下,宽窄行配置下棉株个体在药剂控顶前生长相对较弱,优势不强,顶部同一叶位叶片的叶面积较小,控顶后吸收药剂较快,叶片内部结构损伤速度较快,所以叶片光谱红外~短波红外波段变化都更大。

两种配置下药剂控顶的棉花冠层反射率出现不同的变化趋势,等行距密植配置下不同药剂控顶处理(T2~T4)的棉花冠层反射率在喷药 10 d 后有高有低,20 d 后均高于对照,宽窄行密植配置下不同药剂控顶处理(T6~T8)的棉花冠层反射率在喷药后 10 d 均高于对照 T5,20 d 后有高有低。可能是因为控顶后,开始 10 d,对照处理反应较快,顶端优势即刻被抑制,营养生长减慢,生殖生长加快,营养生长快速向生殖生长转化^[25-27],由于顶端被人为去除,果枝数不再增加,倒 4 果枝

表 3 不同控顶处理下棉花的生长发育

Table 3 Cotton growth and development under different topping treatments

日期 Date	处理 Treatment	株高/cm Plant height	果枝数 Fruit branch number	单株成铃数 Balls of every plant	倒 4 果枝铃数 Balls of fruit branch from top 4	顶部叶片面积/cm ² Leaf area of top	顶端情况 Top station
7-6	T1(CK1)	95.83 a	7.33 ab	16.00 ab	/	202.81 abc	Nor
	T2	95.67 a	8.33 a	17.17 a	/	186.72 abc	Nor
	T3	99.67 a	8.00 ab	17.17 a	/	218.78 a	Nor
	T4	97.50 a	8.17 ab	16.83 a	/	187.90 abc	Nor
	T5(CK2)	84.67 b	5.83 c	9.67 b	/	207.59 ab	Nor
	T6	84.00 b	5.83 c	12.83 ab	/	179.56 abc	Nor
	T7	85.33 b	5.83 c	12.33 ab	/	154.69 bc	Nor
	T8	83.00 b	6.83 bc	13.00 ab	/	158.28 c	Nor
7-11	T1(CK1)	95.92	7.43 ab	16.50 ab	1.53 a	242.81 a	Nor
	T2	95.67 a	8.33 a	17.17 a	1.37 ac	196.72 bc	Nor
	T3	99.67 a	8.00 ab	17.17 a	2.07 a	210.78 b	LBRIC
	T4	97.50 a	8.17 ab	16.83 a	1.20 a	197.90 b	
	T5(CK2)	84.67 b	5.93 c	13.7 b	2.20 a	257.59 a	Nor
	T6	86.2 b	6.13 c	13.83 ab	1.60 ac	182.56 bc	Nor
	T7	87.33 b	6.10 c	12.33 ab	1.63 ac	154.69 c	LBRIC
	T8	84.60 b	7.03 bc	11.00 ab	1.57 ac	178.28 bc	LBRIC
7-17	T1(CK1)	96.00 b	7.50 abc	17.50 a	1.83 a	278.96 a	Nor
	T2	95.67 ab	8.33 a	17.17 a	1.67 ac	198.31 bc	Nor
	T3	99.67 a	8.00 ab	17.17 a	2.17 a	210.24 b	LBRIC
	T4	97.50 ab	8.17 a	16.00 a	1.50 a	203.86 b	LBRIC
	T5(CK2)	83.17 c	6.00 c	13.17 a	2.50 a	285.73 a	Nor
	T6	92.17 b	6.50 bc	13.33 a	2.00 ac	184.44 bc	LBRIC
	T7	92.00 b	6.50 bc	12.00 a	1.83 ac	152.93 c	LBRIC
	T8	86.00 c	7.17 abc	11.17 a	1.67 ac	195.75 bc	LBRIC
7-26	T1(CK1)	96.17 b	7.50 c	6.33 bc	0.50 a	291.59 a	Nor
	T2	109.67 a	12.00 ab	8.67 abcd	0.67 a	203.00 bc	LBRIC
	T3	119.17 a	12.83 a	10.67 a	0.50 a	223.75 b	LBRIC
	T4	111.33 a	10.83 b	9.00 ab	0.67 a	203.86 bc	LBRIC
	T5(CK2)	84.17 b	6.00 d	4.17 d	0.50 a	295.73 a	Nor
	T6	93.67 a	8.67 c	5.50 bcd	0.33 a	190.44 bc	LBRIC
	T7	93.17 a	8.00 c	4.83 d	0.67 a	163.93 c	LBRIC
	T8	87.33 a	8.33 c	5.17 cd	0.67 a	204.75 bc	LBRIC

注:“/”表示无数据;“Nor”表示正常;“LBRIC”表示叶片有隆起,顶心内缩。

Notes :“/” indicates no data, “Nor” indicates normal, “LBRIC” indicates Leaf blade raised, inconcentric contraction.

铃数先增加,20 d 后,生长趋于稳定,倒 4 果枝铃数逐渐减小,冠层光谱变化较小。而药剂控顶后,开始 10 d,药剂需要在棉花内吸收一段时间,棉花仍在生长,果枝数仍在增加,倒 4 果枝铃数增加,20 d 后,生长趋于稳定,倒 4 果枝铃数减小,冠层光谱变化较大。而不同配置下棉株个体发育的差异导致群体的差异,宽窄行密植配置下个体较弱,但群体较强,喷药后短期内药剂控制力较弱,群体仍在增大,果枝数仍在增加,倒 4 果枝铃数增加,反射率增加较快,此时对照处理反应较快,顶端优势即刻被抑制,生长缓慢,反射率基本不变,所以不同药剂控顶处理 T6~T8 均高于对照 T5。长期吸收药剂后,低浓度时药剂对群体的控制力逐渐增强,群体基本受到控制,反射率不再增加,高

浓度时药剂对群体的控制力较强,群体长期受到控制后,药效减弱时出现 2 次增长现象,果枝数仍在增加,倒 4 果枝铃数增加,反射率快速增加,此时的对照反射率略微增加,所以低浓度时(T6, T7)低于对照,高浓度时(T8)高于对照。等行距密植配置的棉花植株在控顶后的变化趋势与窄行密植配置相似。两种配置模式下不同控顶方式下的棉花叶片和冠层具有明显的光谱变化,说明他们对光谱产生了较大的影响,可以通过光谱特征变化来分析不同药剂控顶的过程。

从光合生理来看,控顶使棉花叶片的光合参数净光合速率(A)、气孔导度(GH₂O)、蒸腾速率(E)和胞间 CO₂ 浓度(C_i)均增加,提高了棉花叶片的光合能力。本研究结果与杨成勋等^[28]和崔

佳丽等^[29]类似,杨成勋等^[28]对药剂控顶的棉花群体光合研究表明,药剂控顶的棉花群体光合速率高于人工打顶棉花,具有较大的叶面积指数,持续期延长。由于人工控顶后植株生长受到了抑制,尤其顶部叶片生长迅速受到了抑制,光合能力减弱,而药剂控顶后植株仍在生长,尤其叶片短期内仍在生长,光合能力较强,药剂吸收后,顶部叶片慢慢受到了抑制,光合能力开始减弱,但整个过程相比人工控顶,药剂控顶处理提高了控顶后植株顶部倒二和倒三叶片的光合能力, A_i 、 H_2O 、 E 和 C_i 均显著提高,不同配置存在略微差异。控顶处理(T2~T7)的棉花顶叶叶面积和株高增加最大,单株成铃数和果枝台数较大,倒4果枝铃数变化很小,两种配置方式对棉花生长发育的影响基本相同,说明化学打顶对不同配置的生长发育过程和效果是一致的。两种配置的顶部棉叶在喷药后均出现了皱缩和坏死现象,程度不同,说明化学控顶对棉花叶片造成了一定的损伤。说明化学控顶能抑制不同配置棉花的顶尖生长,但需要长期过程,后期还可能出现二次生长,导致光谱反射率短期内仍在增加,光合能力增加,这些与光谱特征的变化和光合参数变化具有很好的一致性。

4 结 论

与对照相比,2种配置下喷药前不同药剂控顶处理的棉花叶片和冠层光谱反射率和光谱曲线变化趋势均在整个波段无明显变化。喷药后,不同药剂控顶的棉叶光谱反射率均在不同波段具有相同的变化趋势,但光谱之间存在显著差异,在多数波段均大于对照,差异显著($P < 0.05$)。不同药剂控顶的棉花冠层光谱反射率均在不同波段差异不同,不同配置模式下药剂浓度不同,在喷药后的不同持续期光谱反射率与对照有高低。说明不同药剂控顶对棉花叶片和冠层光谱均产生了影响,在叶片层面表现一致且不受配置的影响,在冠层面表现不一致且受配置的影响较大。

与对照相比,药剂控顶后,2种配置下不同药剂控顶处理都提高了叶片的光合速率、蒸腾速率、胞间二氧化碳浓度和气孔导度。说明药剂控顶提高了棉花叶片的光合能力,对棉花顶部叶片的生长起到了促进作用。

与对照相比,2种配置下药剂控顶的棉花株高逐渐增加直至停止生长,果枝均增加2~4台,倒4果枝铃数先增后减,顶端棉叶有隆起,顶心内

缩。说明药剂控顶对棉花顶尖具有很好的抑制作用,能起到控顶效果,同时能增加棉花后期的生殖器官生长,提高产量。

参考文献 Reference:

- [1] 国家统计局. 国家统计局关于2018年棉花产量的公告[N]. 2018-12-29 09:30. http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/201812/t20181229_1642170.html.
National Bureau of Statistics. Announcement of the National bureau of statistics on cotton production in 2018[N]. 2018-12-29 09:30. http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/201812/t20181229_1642170.html
- [2] 翟雪玲. 2018年国内外棉花市场形势分析及2019年展望[J]. 农业展望, 2019, 15(3): 4-8.
ZHAI X L. Cotton markets at home and abroad in 2018 and their prospects for 2019 [J]. *Agricultural Outlook*, 2019, 15(3): 4-8.
- [3] 黄险峰, 江绍龙. 我国棉花生产机械化技术的现状和对策[J]. 南方农机, 2014, 45(5): 39-41.
HUANG X F, JIANG SH L. The present situation and countermeasures of the cotton production mechanization technology in China [J]. *Agricultural Mechanization of Nanfang*, 2014, 45(5): 39-40.
- [4] 武建设, 陈学庚. 新疆兵团棉花生产机械化发展现状问题及对策[J]. 农业工程学报, 2015, 31(18): 5-10.
WU J SH, CHEN X G. Present situation, problems and countermeasures of cotton production mechanization development in Xinjiang Production and Construction Corps[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2015, 31(18): 5-10.
- [5] 史增录, 杨莹, 丁永前, 等. 新疆棉花机械化打顶关键技术的发展现状研究[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(35): 12746-12748, 12751.
SHI Z L, YANG Y, DING Y Q, et al. Study of the development on the Xinjiang cotton mechanization of top-cutting key technologies[J]. *Journal of Anhui Science*, 2014, 42(35): 12746-12748, 12751.
- [6] 牛巧鱼. 我国棉花机械打顶研究进展[J]. 中国棉花, 2013, 40(11): 23-24.
NIU Q Y. Research progress of cotton topping machinery in China [J]. *China Cotton*, 2013, 40(11): 23-24.
- [7] 刘仙若. 棉花氟节胺化学打顶与人工打顶产量对比分析[J]. 新疆农垦科技, 2013, 36(6): 10-11.
LIU X R. Cotton yield analysis between fluorine chemical section and artificial multi-topping [J]. *Xinjiang Farm Research of Science and Technology*, 2013, 36(6): 10-11.
- [8] AYDM I, ARSLAN S. Mechanical properties of cotton shoots for topping [J]. *Industrial Crops and Products*, 2018, 112: 396-401.
- [9] 叶春秀, 庄振刚, 李有忠, 等. 北疆早熟陆地棉化学打顶效果研究[J]. 西北农业学报, 2015, 24(1): 91-96.
YE CH X, ZHUANG ZH G, LI Y ZH, et al. Effect of chemical detopping on early maturing upland cotton (*Gossypium hirsutum*) in northern Xinjiang [J]. *Acta Agricultural Boreali-occidentalis Sinica*, 2015, 24(1): 91-96.

- [10] 刘晓飞,王卫军,孙宝林,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, SUN B L, *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.
- [11] 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 CH F, QIU X M, WANG SH L. Utilization study on application of tobacco suckercides flumetralin in cotton topping [J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2012, 24(4):545-548.
- [12] 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.
- ZHAO Q, ZHOU CH J, ZHANG J S, *et al.* Chemical topping increases the optimum plant density in cotton [J]. *Cotton Science*, 2011, 23(4):329-333.
- [13] 吉秀梅.化学打顶剂在棉花上的应用[J].农村科技,2012(5):25.
- JI X M. The application of chemistry drug in multi-topping of cotton [J]. *Rural Science & Technology*, 2012(5):25.
- [14] 陈 兵,王 静,王 刚,等.土优塔化学打顶剂对新疆棉花农艺性状及经济特性的影响[J].南方农业学报,2017,48(6):991-996.
- CHEN B, WANG J, WANG G, *et al.* The influence of chemical detopping of Toyouta on the agronomic and economical character of cotton in early ripe cotton region [J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2017, 48(6):991-996.
- [15] 张晓莉,逢春蕾,周 峰.棉花化学打顶的综合效益分析—基于兵团第八师 134 团的调查数据[J].新疆农垦经济,2015(6):13-17,46.
- ZHANG X L, FENG CH L, ZHOU F. The comprehensive benefit analysis of cotton chemical multi-topping- based on the corps of survey data in the 134 corps [J]. *Xinjiang Farm Research of Science and Technology*, 2015(6):13-17,46.
- [16] SHAHBAZ A T, HUANG Y, SAIF A, *et al.* Mepiquat chloride application does not favor leaf photosynthesis and carbohydrate metabolism as well as lint yield in late-planted cotton at high plant density[J]. *Field Crops Research*, 2018, 221:108-118.
- [17] CETIN O, UZEN N, TEMIZ M G. Effect of fertigation frequency on the lint yield, chlorophyll, and photosynthesis rate of cotton [J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2015, 17(4):909-920.
- [18] 田春燕,黄春燕,郭晓飞,等.棉花反射光谱与叶片净光合速率的相关分析[J].遥感信息,2018,33(1):99-103.
- TIAN CH Y, HUANG CH Y, GUO X F, *et al.* Correlation analysis between cotton canopy reflectance spectra and leaf net photosynthetic rate[J]. *Remote Sensing Information*, 2018, 33(1):99-103.
- [19] 祁亚琴,吕 新,陈冠文,等.基于高光谱植被指数的棉田冠层特征信息估算模型研究[J].棉花学报,2011,23(5):476-480.
- QI Y Q, LÜ X, CHEN G W, *et al.* Estimation model re-
- search on cotton canopy structure parameters based on hyperspectral vegetation index[J]. *Cotton Science*, 2011, 23(5):476-480.
- [20] PRISCILA A, GAMBARRA N F, COUTINHO W, *et al.* Near infrared hyperspectral images and pattern recognition techniques used to identify etiological agents of cotton anthracnose and ramulosis [J]. *Journal of Spectral Imaging*, 2018, 7(a8):1-17.
- [21] 陈 兵,王克如,李少昆,等.棉花黄萎病冠层高光谱遥感监测技术研究[J].新疆农业科学,2007,44(6):740-745.
- CHEN B, WANG K R, LI SH K, *et al.* Study on monitoring canopy spectrum of cotton *Verticillium* wilt by remote sensing technique [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2007, 44(6):740-745.
- [22] CHEN B, LI S K, WANG K, *et al.* Evaluating the severity level of cotton verticillium using spectral signature analysis [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2012, 33(9):2706-2724.
- [23] 陈 兵,王 静,李天南,等.黄萎病对棉花叶片显微结构及光合特性的影响[J].棉花学报,2017,29(6):570-578.
- CHEN B, WANG J, LI T N, *et al.* Effects of *Verticillium* wilt on leaf microstructure, photosynthesis of cotton [J]. *Cotton Science*, 2017, 29(6):570-578.
- [24] 陈 兵,王克如,李少昆,等.病害胁迫对棉叶光谱反射率和叶绿素荧光特性的影响[J].农业工程学报,2011,27(9):86-93.
- CHEN B, WANG K R, LI SH K, *et al.* The effects of disease stress on spectra reflectance and chlorophyll fluorescence characteristics of cotton leaves [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2011, 27(9):86-93.
- [25] 王 芳.药剂胁迫对桃叶片含水量、可溶性糖和可溶性蛋白含量的影响[J].中国园艺文摘,2016,32(9):20-24.
- WANG F. Effects of chemical stress on water content soluble sugar and soluble protein content in peach leaves [J]. *Chinese Horticulture Abstracts*, 2016, 32(9):20-24.
- [26] 冯绪猛.常用化学农药对水稻生理生化影响及机理研究[D].江苏扬州:扬州大学,2004.
- FENG X M. Effects of common chemical pesticides on physiology and biochemistry of rice and its mechanism [D]. Yangzhou Jiangsu: Yangzhou University, 2004.
- [27] 南 鹤.棉花化学打顶与人工打顶效果对比分析[J].新疆农垦科技,2015,38(4):10-11.
- NAN H. Comparative analysis of chemical and artificial capping effect of cotton [J]. *Xinjiang Farm Research of Science and Technology*, 2015, 38(4):10-11.
- [28] 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):50-62.
- YANG CH X, ZHANG W F, XU SH ZH, *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.
- [29] 崔家丽,王俊刚.甲哌鎧对棉花叶片光合生理及蜡质含量的影响[J].农药学报,2017(3):126-130.
- CUI J L, WANG J G. Effects of mepiquat chloride on pho-

tosynthetic physiology and wax content of cotton leaves

130.

[J]. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 2017(3):126-

Hyperspectral and Photosynthetic Characteristics of Cotton Top Controlled by Chemical Technology Based on Different Configurations

WANG Gang¹, WANG Jing², CHEN Bing¹, ZHANG Guolei³,
ZHAO Jing¹, HAN Huanyong¹ and WANG Fangyong¹

(1. Xinjiang Academy Agricultural and Reclamation Science, Shihezi Xinjiang 832000, China; 2. Institute of Water Conservation and Architectural Engineering, Xinjiang Shihezi Vocational College, Shihezi Xinjiang 832003, China;

3. Agricultural College, Shihezi University, Shihezi Xinjiang 832003, China)

Abstract In order to study the effect of chemical controlled top on the spectrum and photosynthetic characteristics of cotton. Two row spacing modes(configuration) and four top control modes were set in the experiment field, and the hyperspectral and photosynthetic characteristics of cotton under different top control modes were analyzed. The results indicated that the spectral reflectance of cotton leaves and canopy had no significant difference under all control top treatments(T1—T8) before the top was controlled, but it was higher than in CK(T1, T5). After the top was controlled, the spectral reflectance of cotton leaves showed little difference in the visible band, but significant differences were in near-infrared band of both two row spacing modes(T2—T4, T6—T8). And in near-infrared band, compared with CK(T1, T5), the reflectance increased and then decreased in equidistant row mode(T2—T4) and the wide and narrow rows mode(T6—T8). However, the change of cotton canopy reflectance increased first and then decreased in equidistant row mode, and increased in the wide and narrow row mode in short infrared bands under chemical controlled top treatments. The photosynthetic capacity of leaves increased, and the net photosynthetic rate(A), stomatal conductance(GH₂O), transpiration rate(E) and intercellular CO₂ concentration(C_i) significantly increased by controlling the top with chemicals, and it had difference under two configurations modes. After the control top treatments, the leaf area of the top leaf increased and the chemical-controlled top treatments were significantly different compared with CK. The top cotton leaves were shrunk internally, the plant height increased gradually by 7—15 cm, the number of fruit branches increased by 2—4, and the area of the top leaves decreased significantly under chemical control top treatments. It demonstrated that after the top was controlled with the chemicals, the cotton spectral characteristics were changed, the photosynthetic capacity of leaves was improved, and the growth of top leaves and apex of cotton was inhibited.

Key words Chemical-controlled top; Cotton; Reflectance; Photosynthetic; Growth characteristics

Received 2020-04-11

Returned 2020-07-18

Foundation item Major Special Project of Xinjiang Production and Construction Corps (No. 2016AA001-4, 2); Leading Talents Project of Xinjiang Production and Construction Corps (No. 2019CB018); Technology Transfer Project of Xinjiang Production and Construction Corps (No. 2013BD049).

First author WANG Gang, male, associate research fellow. Research area: popularization of new agricultural technologies and achievements. E-mail: 47040846@qq.com

Corresponding author CHEN Bing, male, research fellow. Research area: high-yield cultivation technique of cotton. E-mail: 76446785@qq.com

(责任编辑: 顾玉兰 Responsible editor: GU Yulan)