

棉花苗蕾期喷施生长调节剂促早熟效应研究

付慧杰^{1#}, 薛国娟^{1#}, 廖宝鹏¹, 齐海坤¹, 徐东永², 谭伟明¹, 杜明伟¹, 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. 河北省棉花种子工程技术研究中心, 河北 河间 062450)

摘要:【目的】在我国大部分棉区, 早发早熟是棉花优质高产的前提。本研究探究了苗期和蕾期应用植物生长调节剂对花芽提早分化并提高后期吐絮率的效果, 旨在为促进棉花早熟提供技术支持。【方法】在温室盆栽和田间条件下, 于子叶期至蕾期叶面喷施不同浓度的植物生长调节剂, 比较第一果枝节位、现蕾数和后期吐絮率的差异。【结果】在温室盆栽条件下, 子叶期喷施 $140 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 赤霉素(GA_3)或子叶期、2叶期、4叶期连续3次喷施 $2.23 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 复硝酚钠(CSN)均可使果枝始节位降低约0.9。在田间条件下, 子叶期喷施 288 、 $576 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 赤霉素₄₊₇(GA_{4+7})使第一果枝节位显著降低约0.4; 3叶期喷施6-苄氨基嘌呤(6-BA) $44.4 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 第一果枝节位显著降低0.2; 但第一果枝节位与9月下旬的吐絮率之间无显著相关关系, 即第一果枝节位降低并不意味着后期吐絮率提高。蕾期应用 $0.10 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 油菜素内酯(BR)可提高9月下旬的吐絮率, 主要与其增加中下部果枝的成铃比例有关。【结论】优化成铃分布较提早花芽分化、降低第一果枝节位对棉花促早熟更重要。

关键词: 棉花 (*Gossypium hirsutum* L.); 植物生长调节剂; 第一果枝节位; 吐絮率; 优化成铃

Applying Plant Growth Regulators at Early Stages Affects Maturation of Cotton

Fu Huijie^{1#}, Xue Guojuan^{1#}, Liao Baopeng¹, Qi Haikun¹, Xu Dongyong², Tan Weiming¹, Du Mingwei¹, Tian Xiaoli^{1*}, Li ZhaoHu¹

(1. Crop Chemical Control Research Center/College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University/Engineering Research Center of Plant Growth Regulator, Ministry of Education, Beijing 100193, China; 2. Research Center for Cotton Seed Engineering Technology, Hejian, Hebei 062450, China)

Abstract: [Objective] Early initiation and early maturity are the foundation of high yield and good quality of cotton. The purpose of this study is to determine the effects of plant growth regulators applied at the seedling and squaring stage on the early initiation of flower bud and the rate of the opened cotton boll (ROCB) during later development period, and to provide practical measures for hastening the maturity of cotton. [Method] Several plant growth regulators were applied from cotyledonary to squaring stage under greenhouse and field conditions, water was used as the control. The first fruiting branch node (indicating the initiation of flower bud), the number of bud prior to blooming and the ROCB at mid-term of boll maturation period (23 September, 2017) were compared among treatments. [Result] Under greenhouse conditions, gibberellic acid (GA_3) applied at the cotyledonary stage with $140 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ as well as the three consecutive applications of sodium nitrophenolate (CSN, $2.23 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) at the cotyledonary, two-leaf and four-leaf stage made the first fruiting branch node move down by about 0.9 nodes. In field experiments, the application of gibberellin₄₊₇ (GA_{4+7} , 288 and $576 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) at the cotyledonary stage significantly decreased the first fruiting branch node by about 0.4 nodes. Also, the application of 6-benzylaminopurine (6-BA, $44.4 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) at the three-leaf stage significantly decreased the first fruiting branch node by 0.2 nodes. However, there was no significant correlation between the first fruiting branch node and the ROCB in late September. Moreover, the application of Brassinolide (BR, $0.10 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) at the bud stage increased the ROCB in late September, which was mainly associated with the increased boll set in the lower and middle fruiting branches. [Conclusion] The reasonable distribution of bolls (concentrated in the lower and middle fruiting branches as well as inner fruiting sites) is more important for the earliness of cotton than lowering the first fruiting branch node.

收稿日期: 2020-02-25 第一作者简介: 付慧杰(1993—), 女, 硕士, fhj18811760841@163.com; # 同等贡献。* 通信作者: tian_xiaoli@126.com

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFD0201300)

Keywords: cotton (*Gossypium hirsutum* L.); plant growth regulators; the first fruiting branch node; rate of the opened cotton boll; reasonable distribution of bolls

我国多数棉区棉花生产受热量资源限制(以西北内陆棉区、黄河流域棉区为主)和多熟种植(以长江流域棉区为主)的影响,生长季后期经常出现晚熟问题^[1-2]。晚熟棉田产量低、纤维品质差,严重影响植棉收益和棉花产业的安全^[3]。因此,促进早熟是棉花生产的重要任务。

棉花每片叶的叶腋都有 1 个腋芽,可处于潜伏状态或激活状态。激活状态的腋芽可能发育为叶芽形成营养枝,也可能发育为混合芽形成果枝(其中的花芽发育成蕾)^[4]。一般情况下,棉花处于 2~3 叶期时,主茎生长点下方 2~3 个叶位的腋芽(第 6~8 叶位)开始分化,形成第 1 个混合芽^[4]。若混合芽分化早、花芽分化速率快,则有利于早熟^[4-5]。已知植物花芽分化受外界光温环境和内源信号的诱导^[6],而植物激素在传递外源和内源信号并将其转换为开花响应的过程中发挥重要作用^[7-8],其中关于赤霉素(Gibberellic acid, GA)的研究最多^[9-11],油菜素内酯(Brassinolide, BR)等其他植物激素或生长物质的报道近年也逐渐增多^[12-16]。在理论研究的基础上,数十年前国内外开始应用外源植物生长调节剂调节植物的花芽分化,但以林木和园艺植物居多^[17-21],大田作物则比较少^[22-23]。最近有报道指出,GA₃ 和 6-苄氨基嘌呤(6-benzylaminopurine, 6-BA)浸种可提早棉花花芽分化时间,而 GA 合成抑制剂甲哌噻(1,1-dimethyl-piperidinium chloride, DPC)浸种的作用相反^[24]。但关于棉花花芽分化的化学调控研究总体还很少且不系统。

本研究在田间和温室条件下探讨了苗期、蕾期施用几种植物生长调节剂对棉花第 1 个混合芽节位(第一果枝节位)、现蕾速率和 9 月下旬吐絮率的影响,旨在明确早期应用化控技术促进棉花早熟的可行性,为棉花促早栽培提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验设计

温室试验于 2017 年 12 月至 2018 年 3 月在中国农业大学光照培养室进行,昼夜温度分别为

(30±2) °C 和 (24±2) °C,光照强度 600 μmol·m⁻²·s⁻¹,每天光照时间 14 h。以邯 6203(河北省邯郸市农业科学院培育并提供)为供试材料,种子经 9%(质量分数)双氧水消毒 30 min 后用清水冲洗数次,去离子水浸种过夜,挑选大小一致的露白种子,播于装有基质(营养土与蛭石体积比 2:1)的花盆(高 35 cm,上口直径 23 cm,下口直径 18 cm)中。苗期应用 GA₃(原药由江西新瑞丰生化股份有限公司提供)、复硝酚钠(Compound sodium nitrophenolate, CSN;原药由郑州郑氏化工产品有限公司提供)和正三十烷醇(Triacontanol, TRIA;原药由四川润儿科技有限公司提供)研究其对棉花第一果枝节位的影响。GA₃ 设 140、270、540 μmol·L⁻¹ 共 3 个浓度,于子叶期喷施;复硝酚钠设 2.23、4.60、14.00 μmol·L⁻¹ 共 3 个浓度,正三十烷醇设 0.10、0.25、0.50 μmol·L⁻¹ 共 3 个浓度,各浓度均于子叶期、2 叶期、4 叶期连续喷施 3 次;以喷施清水为对照,每盆每次喷施的药液量为 5 mL。每处理重复 5 盆,每盆定苗 3 株。

田间试验于 2017 年在河北省河间市瀛洲镇国欣科技园西区(N38°41', E116°09')进行,以鲁棉研 28(山东省农业科学院棉花研究中心培育并提供)为供试材料,研究了 GA₄₊₇(GA₄ 与 GA₇ 质量比为 7:3;原药由浙江钱江生物化学股份有限公司提供)、6-苄氨基腺嘌呤(6-BA;原药由四川国光农化股份有限公司提供)和油菜素内酯(BR;原药由江西威敌生物科技有限公司提供)对棉花早熟性的影响。4 月 27 日播种,行距为 90 cm,种植密度 90 000 株·hm⁻²。以 3 种调节剂设 3 个独立试验,各试验均采用裂区设计,重复 3 次。主区为喷施时间,设子叶期(5 月 2 日)、3 叶期(5 月 17 日)和蕾期(6 月 3 日、6 月 19 日共喷施 2 次)3 个处理;裂区为植物生长调节剂浓度,3 种调节剂的浓度梯度分别为 0(清水对照,CK)、144、288、576 μmol·L⁻¹(GA₄₊₇),0(清水对照,CK)、22.2、44.4、88.8 μmol·L⁻¹(6-BA)和 0(清水对照,CK)、0.05、0.10、0.20 μmol·L⁻¹(BR)。3 个时期的药液量分别为 353、758 和 1 516 L·hm⁻²。小区为 6 行

区,长 5.5 m,面积 27 m²。田间管理按当地常规进行。

1.2 调查项目

第一果枝节位:将子叶节记为 0,向上数至第一果枝所着生的主茎节,为第一果枝节位。盆栽试验调查所有植株的第一果枝节位,田间试验在每小区选取中间 3 行,每行连续调查 20 株。

田间试验的现蕾数、吐絮铃数和吐絮率:在每小区中间 3 行各选 1 m 长不缺苗且长势一致的样段(约 10 株),分别于 6 月 16 日、6 月 24 日调查各株的现蕾数,并于 9 月 23 日调查吐絮铃数,用吐絮铃数除以总成铃数计算吐絮率。

1.3 数据统计与分析

用 Microsoft Excel 2016 进行相关分析,用 SPSS 21.0 的一般线性模型进行单因素方差分析,用邓肯多重范围检验(新复极差法)进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 温室盆栽条件下苗期应用植物生长调节剂对第一果枝节位的影响

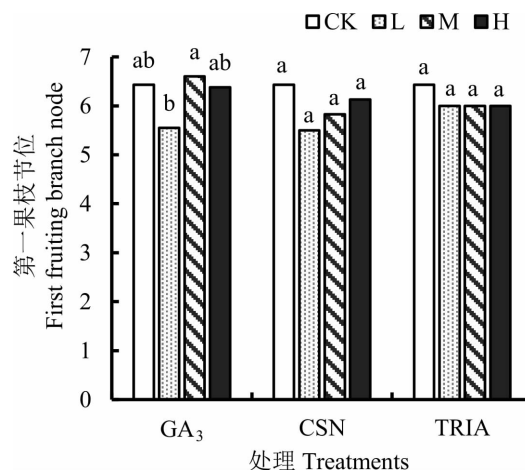
子叶期低浓度 GA₃(140 μmol·L⁻¹)处理的第一果枝节位为 5.6,较对照降低 0.9,子叶期、2 叶期、4 叶期连续喷施 3 次低浓度 CSN(2.23 μmol·L⁻¹)也可使第一果枝节位降低 0.9,但各浓度的 GA₃ 和 CSN 的第一果枝节位与对照相比均无显著差异,本试验中 TRIA 不影响第一果枝节位(图 1)。

2.2 田间条件下苗期应用植物生长调节剂对第一果枝节位的影响

如图 2A 所示,子叶期应用高浓度 GA₄₊₇(288、576 μmol·L⁻¹)处理的第一果枝节位均为 5.1,较对照显著降低 0.4;3 叶期应用 GA₄₊₇ 对第一果枝节位没有影响。子叶期应用 6-BA 不影响第一果枝节位,但 3 叶期中浓度(44.4 μmol·L⁻¹) 6-BA 处理的第一果枝节位为 5.3,较对照显著降低 0.2(图 2B)。BR 无论在子叶期还是 3 叶期应用均不影响第一果枝节位(图 2C)。

2.3 田间条件下苗蕾期应用植物生长调节剂对棉花现蕾数的影响

子叶期应用高浓度 GA₄₊₇(576 μmol·L⁻¹)可增加现蕾数。6 月 16 日和 24 日,高浓度 GA₄₊₇ 的



CK: 对照; GA₃: 赤霉素; CSN: 复硝酚钠; TRIA: 正三十烷醇。L、M、H 分别代表低、中、高浓度。GA₃ 各浓度为 140、270、540 μmol·L⁻¹, CSN 各浓度为 2.23、4.60、14.00 μmol·L⁻¹, TRIA 各浓度为 0.1、0.25、0.5 μmol·L⁻¹。相同字母表示差异不显著($P \geq 0.05$), 不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

CK: control; GA₃: Gibberellic acid; CSN: Compound Sodium Nitrophenolate; TRIA: Triacontanol. L, M, and H: indicate the low, medium, and high concentration of regulators. GA₃: 140, 270, 540 μmol·L⁻¹; CSN: 2.23, 4.60, 14.00 μmol·L⁻¹; TRIA: 0.10, 0.25, 0.50 μmol·L⁻¹. The same letter means no significant difference ($P \geq 0.05$), different letters indicate significant difference ($P < 0.05$).

图 1 温室中苗期应用植物生长调节剂对第一果枝节位的影响

Fig.1 Effects of several plant growth regulators application at the seedling stage on the first fruiting branch node of cotton under greenhouse conditions

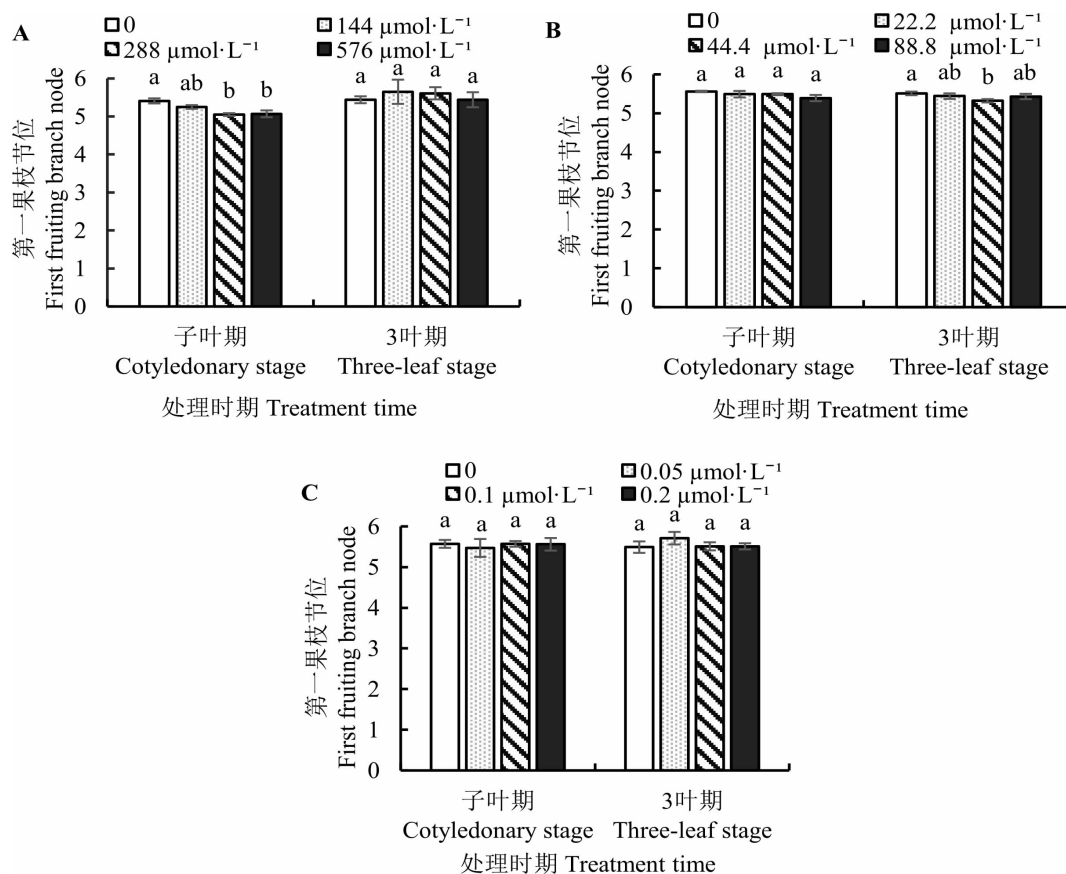
单株蕾数分别为 12.4 和 17.2 个,较对照显著增加 3.7 和 3.6 个。3 叶期和蕾期应用 GA₄₊₇ 对现蕾影响不大(图 3A)。

子叶期和 3 叶期应用高浓度 6-BA(88.8 μmol·L⁻¹)均可增加蕾数,但与对照的差异未达显著水平;蕾期应用 6-BA 对现蕾影响不大(图 3B)。

子叶期、3 叶期和蕾期应用高浓度 BR(0.2 μmol·L⁻¹)均可增加蕾数,虽然差异与对照相比不显著,但不同时期的调控效果趋势一致(图 3C)。

2.4 田间条件下苗蕾期应用植物生长调节剂对吐絮铃数和吐絮率的影响

苗蕾期应用 GA₄₊₇ 基本不影响棉花的成熟进度,除 3 叶期高浓度处理显著降低吐絮铃数外,其他各处理在吐絮中期(9 月 23 日)的单株吐



同一生长时期相同字母表示差异不显著 ($P \geq 0.05$), 不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

The same letter within the same stage means no significant difference ($P \geq 0.05$), different letters indicate significant difference ($P < 0.05$).

图2 田间子叶期和3叶期应用 GA₄₊₇(A)、6-BA(B)和 BR(C)对棉花第一果枝节位的影响

Fig. 2 Effects of GA₄₊₇ (A), 6-BA (B) and BR (C) application at the cotyledonary- and three-leaf stages on the first fruiting branch node under field conditions

絮铃数和吐絮率与对照相比均无显著差异 (表1)。苗期(子叶期、3叶期)应用 6-BA 和 BR 不影响后期吐絮率, 但蕾期喷施中浓度 6-BA (44.4 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$) 和中浓度 BR (0.10 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$) 均可增加 9 月 23 日的单株吐絮铃数和吐絮率, 其中 6-BA 处理的吐絮率较对照增加 7.0 百分点, BR 处理的吐絮率较对照增加 12.4 百分点 (表1)。

2.5 田间条件下第一果枝节位与 9 月 23 日吐絮率的相关性

如图 4 所示, 本试验第一果枝节位与吐絮中期的吐絮率无相关关系。

2.6 田间条件下蕾期应用 BR 对棉花收获铃空间分布的影响

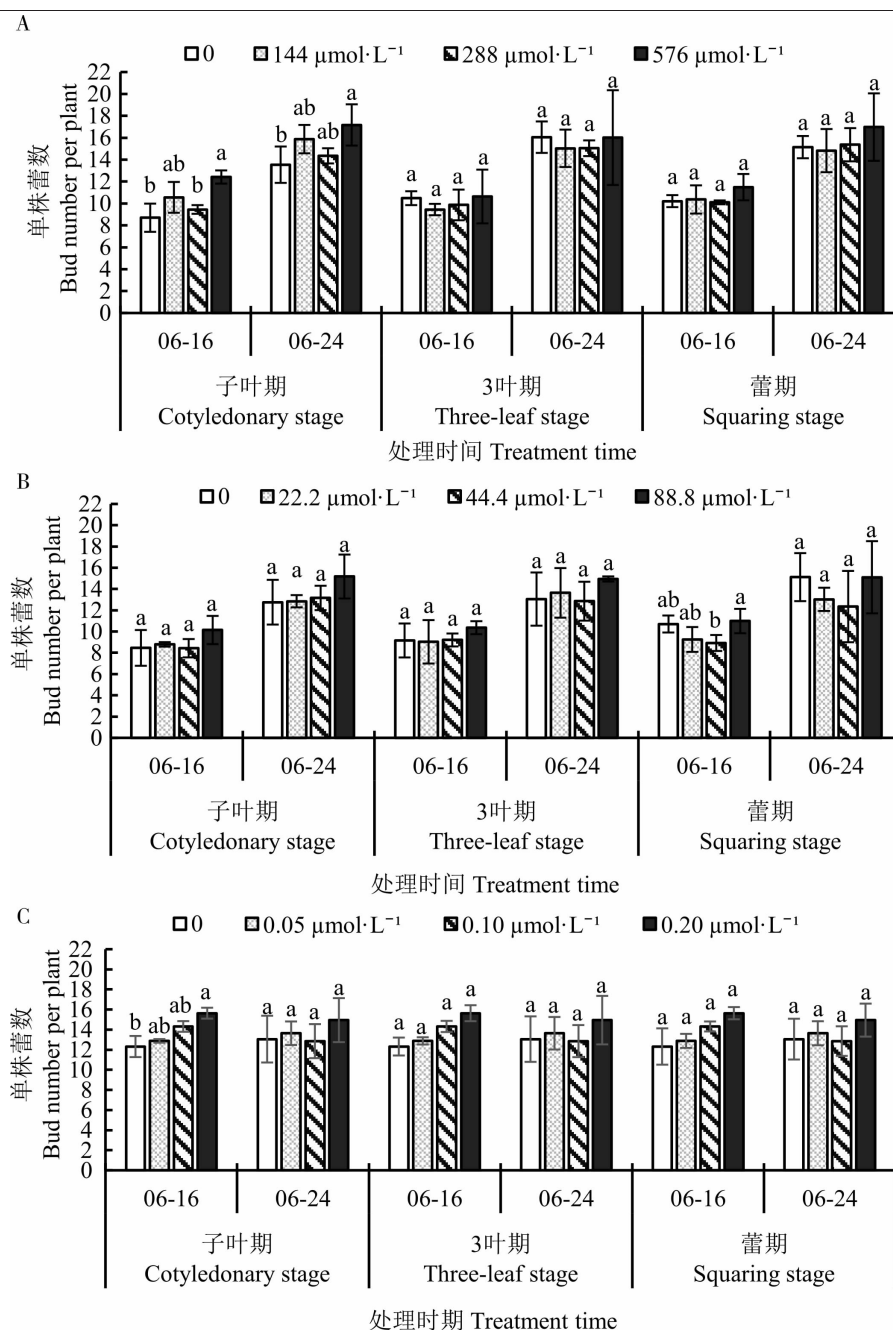
蕾期应用 BR 有增加中、下部果枝成铃和减少上部果枝成铃的趋势, 其中使中部果枝外围成铃比例显著增加 5.0~6.0 百分点, 上部果枝内围

成铃比例显著降低 4.5~8.7 百分点 (表2)。

3 讨论

本研究从子叶期开始应用植物生长调节剂处理棉花幼苗, 并以第一果枝节位 (着生第 1 个混合芽的主茎节位) 表征花芽开始分化的时间; 第一果枝节位越低, 花芽分化时间越早。在田间条件下, 以 6 月下旬 (开花前) 的现蕾数表征花芽分化数量, 以 9 月下旬 (吐絮中期) 的吐絮铃数和吐絮率表征群体早熟性。

研究结果表明, 苗期 (子叶期—4 叶期) 喷施促进型植物生长调节剂 GA、6-BA 和 CSN 可在不同程度上促进棉花花芽分化、降低第一果枝节位, GA₄₊₇ 和 6-BA 还有增加现蕾数的作用, 但在田间条件下提高后期吐絮率、促进早熟的作用非常有限。第一果枝节位与 9 月 23 日的吐絮率无



同一日期相同字母表示差异不显著 ($P \geq 0.05$), 不同字母表示差异显著。

The same letter within the same date means no significant difference ($P \geq 0.05$), different letters indicate significant difference ($P < 0.05$).

图 3 苗蕾期应用 GA₄₊₇(A)、6-BA(B) 和 BR(C) 对 6 月 16 日及 24 日单株现蕾数的影响

Fig. 3 Effects of GA₄₊₇ (A), 6-BA (B) and BR (C) application at the seedling and squaring stages on bud number per plant on June 16 and 24 under field conditions

相关关系也说明,花芽分化时间早并不意味着早熟性好。

棉花产量器官的形成自苗期开始长达数月。中下部果枝和内围果节的产量器官形成早、成熟早,但如果遭遇不利环境条件(干旱、高温、阴雨寡照等)或栽培措施失当(肥水缺乏或过量等),常出现严重的蕾铃脱落。此时上部果枝和外围果

节的成铃会增多进行补偿,但常因形成时间晚导致晚熟。因此,合理的成铃分布对棉花的早熟性非常重要^[25-26]。

本研究促进花芽分化作用最大的处理可使第一果枝节位降低 0.9, 根据棉花产量器官出现的规律(相邻果枝同节位间隔 3 d 左右出现,同一果枝相邻节位间隔 6 d 左右出现),估计可提前 3 d

表 1 苗蕾期应用 GA₄₊₇、6-BA 和 BR 对 9 月 23 日单株吐絮铃数和吐絮率的影响Table 1 Effects of GA₄₊₇, 6-BA and BR application at the seedling and squaring stage on the opened boll number per plant and rate of the opened cotton boll (ROCB) on 23 September, 2017

处理 Treat- ment	生长时期 Growth stage	浓度 Concen- tration/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)	单株吐絮 铃数 Opend boll number per plant	吐絮率 ROCB/ %	处理 Treat- ment	生长时期 Growth stage	浓度 Concen- tration/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)	单株吐絮 铃数 Opend boll number per plant	吐絮率 ROCB/ %
GA ₄₊₇	子叶期	0	3.6 a	32.3 a	6-BA	3 叶期	44.4	3.9 a	35.6 a
	Cotyledonary stage	144	3.9 a	36.6 a		Three-leaf stage	88.8	3.1 a	29.4 a
		288	3.2 a	34.8 a		蕾期	0.0	3.6 a	37.9 a
		576	3.1 a	30.9 a		Squaring stage	22.2	3.7 a	32.1 a
	3 叶期	0	4.1 a	34.8 a			44.4	4.3 a	44.9 a
		144	4.0 a	38.7 a			88.8	2.9 b	27.5 a
		288	3.3 ab	31.7 a			0.00	2.8 a	32.8 a
		576	2.7 b	31.9 a			0.05	3.3 a	34.1 a
	蕾期	0	3.6 a	34.3 a		stage	0.10	3.0 a	28.0 a
		144	3.4 a	33.1 a			0.20	3.4 a	36.2 a
		288	3.1 a	34.5 a			0.00	3.7 a	34.2 a
		576	3.2 a	33.1 a			0.05	3.6 a	38.3 a
6-BA	子叶期	0.0	3.6 a	36.2 a	BR	3 叶期	0.00	3.7 a	34.2 a
	Cotyledonary stage	22.2	3.7 a	36.5 a		Three-leaf stage	0.05	3.6 a	38.3 a
		44.4	3.7 a	35.3 a			0.10	3.5 a	33.7 a
		88.8	3.2 a	28.0 a			0.20	3.6 a	37.8 a
	3 叶期	0.0	4.4 a	46.0 a		蕾期	0.00	4.0 ab	39.4 ab
		22.2	3.3 a	27.8 a			0.05	3.1 b	28.3 b
							0.10	5.0 a	51.8 a
							0.20	4.6 ab	43.5 a

注:同一生长时期相同字母表示差异不显著($P\geq 0.05$),不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

Note: The same letter within the same stage means no significant difference ($P\geq 0.05$), different letters indicate significant difference ($P<0.05$).

表 2 蕾期应用 BR 对棉花收获铃空间分布的影响

Table 2 Effects of BR application at the squaring stage on the spatial distribution of cotton harvestable boll

浓度 Concentration/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)	棉铃空间分布 Spatial distribution/%					
	下内 L _{1~2}	下外 L _{3~}	中内 M _{1~2}	中外 M _{3~}	上内 U _{1~2}	上外 U _{3~}
0.00	9.9 a	9.7 a	10.0 a	15.1 b	30.9 a	24.4 a
0.05	11.3 a	11.2 a	10.0 a	21.1 a	26.4 b	19.9 a
0.10	13.8 a	14.5 a	11.9 a	20.2 a	22.2 c	17.3 a
0.20	12.9 a	14.0 a	13.7 a	20.1 a	23.8 bc	15.4 a

注:同一列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著($P<0.05$)。下内:下部(1~5)果枝内围(1~2)果节;下外:下部(1~5)果枝外围(3 及以上)果节;中内:中部(6~10)果枝内围(1~2)果节;中外:中部(6~10)果枝外围(3 及以上)果节;上内:上部(11 及以上)果枝内围(1~2)果节;上外:上部(11 及以上)果枝外围(3 及以上)果节。

Note: Different letters within a column mean significant difference at the 0.05 probability level ($P<0.05$). L_{1~2}: the first two nodes of lower (1st—5th) fruiting branches; L_{3~}: the third and above nodes of lower fruiting branches; M_{1~2}: the first two nodes of middle (6th—10th) fruiting branches; M_{3~}: the third and outward nodes of middle fruiting branches; U_{1~2}: the first two nodes of upper (above the 11th) fruiting branches; U_{3~}: the third and outward nodes of upper fruiting branches.

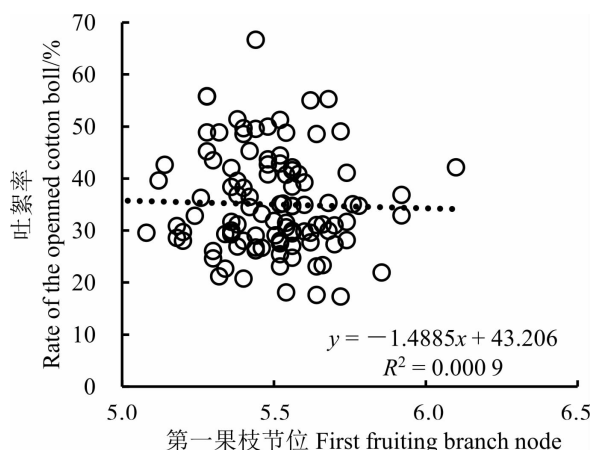


图4 田间条件下第一果枝节位与吐絮中期(9月23日)吐絮率的相关关系

Fig. 4 Correlation between the first fruiting branch node and the rate of the opened cotton boll at mid-term of boll opening period (23 September)

左右现蕾,但这种优势很容易被中下部某个果枝第1节位生殖器官发生脱落所抵消,可见早现蕾确实不意味着早熟。

本研究苗期应用BR不影响花芽分化的时间(第一果枝节位),虽然可增加前期花芽分化的数量,但未增加后期吐絮率。蕾期应用 $0.1\sim 0.2\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的BR提高了9月下旬的吐絮率,在田间条件下表现出了促早熟效果。通过分析棉铃空间分布,发现蕾期应用BR提高了中、下部果枝铃数占总铃数的比例。这一方面说明BR有防止脱落、促进成铃的作用,与之前的报道相同^[27-28];另一方面也验证了优化成铃分布对促进早熟较早现蕾、快现蕾更重要。

综上,促早贯穿棉花全生育期的重要任务,其中降低中下部果枝和内围果节的脱落率,增加该范围的成铃数和成铃比例是重中之重。植物生长调节剂BR具有提高棉花叶片光合速率、增加结铃的重要功能^[29-30];因此,应进一步深入和系统研究BR在棉花优化成铃、促早栽培中的作用,并不断优化其应用技术。

4 结论

苗蕾期应用适宜浓度的GA、6-BA和CSN可在不同程度上促进棉花花芽分化或增加前期现蕾数量,但与提高吐絮率、促进早熟关系不大。蕾期应用BR有较好的促早熟作用,主要与其增

加了中下部果枝的成铃比例有关。

致谢:

感谢河北省邯郸市农业科学院和山东省农业科学院棉花研究中心提供试验用种子,江西新瑞丰生化股份有限公司、四川润儿科技有限公司、浙江钱江生物化学股份有限公司、四川国光农化股份有限公司、江西威敌生物科技有限公司、郑州郑氏化工产品有限公司提供试验药剂。感谢中国农业大学作物化控研究中心博士生颜为、宋兴虎、孟璐,韩志山硕士和河间市国欣农村技术服务总会左彦利、张伯谦在试验过程中给予的帮助!

参考文献:

- [1] 王延琴,崔秀稳,潘学标,等.麦棉两熟窄行距对棉花生长发育的影响[J].中国农学通报,1999,15(1):3-5.
Wang Yanqin, Cui Xiuwen, Pan Xuebiao, et al. Effect of narrow row spacing between wheat and cotton on cotton growth and development[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 1999, 15(1): 3-5.
- [2] 张教海,别墅,王孝纲,等.江汉平原油后移栽棉最佳结铃期探析[C]//中国棉花学会.中国棉花学会2006年年会论文汇编.安阳:中国棉花杂志社,2006:208-210.
Zhang Jiaohai, Bie Shu, Wang Xiaogang, et al. An analysis of the best boll forming period of Jiangnan Plain transplanting cotton after rape[C]// China Society of Cotton Sci-Tech. Proceedings of the 2006 Annual Meeting of CSCS. Anyang: China Cotton Magazine House, 2006: 208-210.
- [3] 喻树迅,王寒涛,魏恒玲,等.棉花早熟性研究进展及其应用[J].棉花学报,2017,29(S1):1-10.
Yu Shuxun, Wang Hantao, Wei Hengling, et al. Research progress and application of early maturity in upland cotton[J]. Cotton Science, 2017, 29(S1): 1-10.
- [4] 中国农业科学院棉花研究所.中国棉花栽培学[M].3版.上海:上海科学技术出版社,2013:121-122,145-149,459-461.
Institute of Cotton Research of Chinese Academy of Agricultural Sciences. Cotton cultivation in China[M]. 3rd ed. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2013: 121-122, 145-149, 459-461.
- [5] Mauney J R. Vegetative growth and development of fruiting sites [M]// Mauney J R, Stewart J M. Cotton physiology. Memphis: The Cotton Foundation, 1986: 11-28.
- [6] Martinez-Zapater J, Coupland G, Dean C, et al. The transition to flowering in *Arabidopsis* [M]. Cold Spring Harbor I: Cold Spring Harbor Laboratory Press, 1994: 403-433.
- [7] Santner A, Estelle M. Recent advances and emerging trends in plant hormone signalling[J]. Nature, 2009, 459(7250): 1071-

- 1078.
- [8] Wolters H, Jürgens G. Survival of the flexible: hormonal growth control and adaptation in plant development[J]. *Nature Reviews Genetics*, 2009, 10(5): 305-317.
- [9] Conti L. Hormonal control of the floral transition: Can one catch them all?[J]. *Developmental Biology*, 2017, 430(2): 288-301.
- [10] Tilmes V, Mateos J L, Madrid E, et al. Gibberellins act downstream of *Arabidopsis* PERPETUAL FLOWERING1 to accelerate floral induction during vernalization[J]. *Plant Physiology*, 2019, 180(3): 1549-1563.
- [11] Mutasa-Göttgens E, Hedden P. Gibberellin as a factor in floral regulatory networks[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2009, 60(7): 1979-1989.
- [12] Davis S J. Integrating hormones into the floral-transition pathway of *Arabidopsis thaliana*[J]. *Plant Cell and Environment*, 2009, 32(9): 1201-1210.
- [13] Kazan K, Lyons R. The link between flowering time and stress tolerance[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2016, 67(1): 47-60.
- [14] Bartrina I, Otto E, Strnad M, et al. Cytokinin regulates the activity of reproductive meristems, flower organ size, ovule formation, and thus seed yield in *Arabidopsis thaliana*[J]. *Plant Cell*, 2011, 23(1): 69-80.
- [15] Blanchard M G, Runkle E S. Benzyladenine promotes flowering in *doritaenopsis* and *Phalaenopsis orchids*[J]. *Journal of Plant Growth Regulation*, 2008, 27(2): 141-150.
- [16] Aloni R, Aloni E, Langhans M, et al. Role of auxin in regulating *Arabidopsis* flower development[J]. *Planta*, 2005, 223(2): 315-328.
- [17] Bonnet-Masimbert M, Zaerr J B. The role of plant growth regulators in promotion of flowering[J]. *Journal of Plant Growth Regulation*, 1987, 6(1/2): 13-35.
- [18] Bonnet-Masimbert M, Webber J E. From flower induction to seed production in forest tree orchards[J]. *Tree Physiology*, 1995, 15 (7/8): 419-426.
- [19] Tanimoto S, Harada H, 苏明华. 植物开花的激素调节 (四)[J]. *福建热作科技*, 1992 (Z2): 58-61.
- Tanimoto S, Harada H, Su Minghua. Hormonal regulation of plant flowering (4)[J]. *Fujian Hot Crop Science and Technology*, 1992 (Z2): 58-61.
- [20] 卢兴霞, 王丽娟. 我国蝴蝶兰花期调控的研究进展[J]. *北方园艺*, 2011(17): 215-217.
- Lu Xingxia, Wang Lijuan. Research progress on *Phalaenopsis orchid* regulation in China[J]. *Northern Horticulture*, 2011(17): 215-217.
- [21] 刘伦, 王超, 姚改芳, 等. 外源生长调节剂处理对“满天红”×“砀山梨”后代成花的影响[J]. *南京农业大学学报*, 2015, 38 (3): 381-388.
- Liu Lun, Wang Chao, Yao Gaifang, et al. Effects of exogenous growth regulator treatment on floral initiation of pear progenies from hybrids ‘Mantianhong’ × ‘Dangshansuli’[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2015, 38(3): 381-388.
- [22] 王兆龙. 小麦小花发育的生理基础及调控研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2000.
- Wang Zhaolong. Physiological basis and regulation of wheat floret development[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2000.
- [23] 张允昔, 夏绍南, 杨茅难, 等. 植物生长促进剂对赣北移栽棉生长发育及产量的影响[J]. *棉花学报*, 2019, 31(3): 233-241.
- Zhang Yunxi, Xia Shaonan, Yang Maonan, et al. Plant growth promoter effects on the growth and yield of transplanted cotton in northern Jiangxi[J]. *Cotton Science*, 2019, 31(3): 233-241.
- [24] Fang Sheng, Gao Kai, Hu Wei, et al. Chemical priming of seed alters cotton floral bud differentiation by inducing changes in hormones, metabolites and gene expression[J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2018, 130: 633-640.
- [25] Gwathmey C O, Bange M P, Brodrick R, et al. Cotton crop maturity: A compendium of measures and predictors[J]. *Field Crops Research*, 2016, 191: 41-53.
- [26] Linker R, Ioslovich I, Sylaios G, et al. Optimal model-based deficit irrigation scheduling using AquaCrop: A simulation study with cotton, potato and tomato[J]. *Agricultural Water Management*, 2016, 163: 236-243.
- [27] 阿力木江·克来木, 赵强, 占东霞, 等. 外源物质对化学封顶棉花农艺性状及产量形成的调控效应[J]. *中国农业科技导报*, 2019, 21(10): 20-29.
- Alimujiang Kelaimu, Zhao Qiang, Zhan Dongxia, et al. Regulatory effects of exogenous substances on agronomic traits and yield formation of chemically capped cotton[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2019, 21(10): 20-29.
- [28] 吴征彬, 王国平, 陈新, 等. 配方施用 BR-120 对棉花经济性状和抗病性的影响[J]. *耕作与栽培*, 2002(4): 32-33.
- Wu Zhengbin, Wang Guoping, Chen Xin, et al. Effects of formulated BR-120 on economic traits and disease resistance of cotton[J]. *Tillage and Cultivation*, 2002(4): 32-33.
- [29] 方建平, 赵左士. 油菜素内酯对棉花的增产效应研究[J]. *中国棉花*, 1994, 21(2): 13-14.
- Fang Jianping, Zhao Zuoshi. Research on the effect of Brassinolide on cotton yield[J]. *China Cotton*, 1994, 21(2): 13-14.
- [30] 周德翼, 骆炳山, 陈布圣. 油菜素内酯对棉花生长和结铃性的影响[J]. *江西棉花*, 1990 (3/4): 11-14.
- Zhou Deyi, Luo Bingshan, Chen Busheng. Effects of Brassinolide on cotton growth and boll formation[J]. *Jiangxi Cotton*, 1990 (3/4): 11-14. ●