



李涵佳, 芮秋治, 陈媛, 陈源, 张祥, 陈德华. 缩节胺运筹对小麦后直播棉株型的调控效应[J]. 中国农业大学学报, 2025, 30(02): 28-39.

LI Hanjia, RUI Qiuzhi, CHEN Yuan, CHEN Yuan, ZHANG Xiang, CHEN Dehua. Effects of DPC application on population plant type in direct seeding cotton after wheat harvest[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2025, 30(02): 28-39.

DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2025.02.03

缩节胺运筹对小麦后直播棉株型的调控效应

李涵佳 芮秋治 陈媛 陈源 张祥 陈德华*

(扬州大学 农学院/江苏省作物遗传生理重点实验室/江苏省粮食作物现代产业技术协同创新中心,
江苏 扬州 225009)

摘 要 为探究小麦后直播皮棉产量1 500 kg/hm²以上的合理群体株型及缩节胺运筹方式,2020—2021年于扬州大学实验农场以‘中棉425’为材料,设计缩节胺施用量0(A₁)、180(A₂)、360(A₃) g/hm²共3个水平,施用时期盛蕾期+初花期(施用比例1:2,B₁)、盛蕾期+初花期+盛花期(施用比例1:2:3,B₂)共2个运筹方式,同时设初花期施用缩节胺120 g/hm²(常规施用方式)为对照(CK),测定株高、主茎节间长度、果节间长度、果枝向值、叶倾角和节枝比等株型指标,分析其与皮棉产量的相关性。结果表明:缩节胺运筹对小麦后直播棉的株型、成铃、产量均有显著影响($P<0.05$)。与CK相比,A₂B₁和A₂B₂的株高、主茎节间长度和果节间长度均显著降低,而果枝向值、叶倾角和节枝比则显著增加($P<0.05$)。A₂B₁的皮棉产量在2020和2021年分别达到1 628.04、2 085.02 kg/hm²,相较于CK分别升高4.9%和14.1%($P<0.05$);A₂B₂的2年皮棉产量分别达到1 553.97、1 999.97 kg/hm²,相较CK分别升高6.4%和11.0%($P<0.05$)。综上,于盛蕾期+初花期施用缩节胺180 g/hm²(A₂B₁)或盛蕾期+初花期+盛花期施用缩节胺180 g/hm²(A₂B₂)可构建株高范围在60.63~77.80 cm、主茎节间长度在4.2~6.0 cm、果节间长度在3.9~6.3 cm、果枝向值为36.4~40.8、叶倾角为45.0~46.7°、节枝比为3.1~3.6的棉株高效株型,有利于长江中下游棉区小麦后直播棉实现集中成铃,便于机械采收,并能获得高产。

关键词 小麦后直播棉;产量;集中成铃;株型

中图分类号 S562

文章编号 1007-4333(2025)02-0028-12

文献标志码 A

Effects of DPC application on population plant type in direct seeding cotton after wheat harvest

LI Hanjia, RUI Qiuzhi, CHEN Yuan, CHEN Yuan, ZHANG Xiang, CHEN Dehua*

(College of Agronomy/Jiangsu Key Laboratory of Crop Genetics and Physiology/Jiangsu Co-Innovation Center for Modern Production Technology of Grain Crops, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

Abstract In order to investigate the appropriate population plant type and the DPC manage strategy of cotton directly sown after wheat harvest for lint yield above 1 500 kg/hm², ‘CCRI 425’ was taken as the experimental material in Yangzhou University experimental farm from 2020 to 2021. Three DPC levels, 0 (A₁), 180 (A₂) and 360 (A₃) g/hm² were set, and two DPC application stages were designed, which were at both peak squaring and early flowering stage (the ratio of dosage was 1:2, B₁) and at peak squaring, early flowering and peak flowering stage (the ratio of dosage was 1:2:3, B₂), respectively. DPC level of 120 g/hm² applied at early flowering was used as CK. The plant height, main stem internodes, fruit branch internodes, fruit branch orientation value, leaf angle and nodes to branches ratio were measured, and their

收稿日期: 2024-06-28

基金项目: 国家自然科学基金(31901462)

第一作者: 李涵佳(ORCID:0009-0007-2347-4523),博士研究生,E-mail: 1311190875@qq.com

通讯作者: 陈德华(ORCID:0000-0002-9640-9809),教授,主要从事作物栽培及作物化学控制研究,E-mail: cdh@yzu.edu.cn

correlations with lint yield were analyzed. The results showed that: DPC manage strategy significantly affected the plant type, boll formation and yield of cotton directly sown after wheat harvest ($P < 0.05$). Compared to CK, the plant height, main stem internodes and fruit branch internodes were significantly lower those in A_2B_1 and A_2B_2 , whereas fruit branch orientation value, leaf angle and nodes to branches ratio were significantly higher ($P < 0.05$). The lint yield of A_2B_1 was 1 628.04 and 2 085.02 kg/hm² in 2020 and 2021, respectively, which increased 4.9% and 14.1% compared with CK ($P < 0.05$). The lint yield of A_2B_2 in both years was 1 553.97 and 1 999.97 kg/hm², respectively, which increased 6.4% and 11.0% compared with CK ($P < 0.05$). In conclusion, with DPC at 180 g/hm² applied at both full squaring and early flowering stage or at full square, early flowering and peak flowering stage for cotton directly sown after wheat harvest, the plant height could be kept at 60.63 to 77.80 cm, the internode length of main stem was at 4.2 to 6.0 cm, the internode length of fruit node was at 3.9 to 6.3 cm, the fruit branch orientation value was at 36.4 to 40.8, the leaf angle was at 45.0 to 46.7, and the ratio of fruiting nodes and fruiting branch was at 3.1 to 3.6. It is beneficial for cotton directly sown after wheat harvest in the middle and lower reaches of the Yangtze River cotton area to achieve concentrated boll formation, to be easy for mechanical harvesting, and to obtain high yields.

Keywords direct seeded cotton after wheat harvest; yield; concentrated boll retention; plant type

棉花是除粮食之外最重要的农产品,长江中下游地区是我国棉花主要种植区域之一,传统的种植方式主要以麦套和麦后移栽棉为主,但这2种植方式用工多、劳动强度大^[1-3]。近年来,为了应对农村劳动力的流失和农业生产用工成本的增加,棉花的种植模式正由育苗移栽逐步向直接播种转变^[4]。与传统麦套和麦后移栽棉以人工为主的种植模式相比,小麦后直播棉由于生育期的大幅缩短,一般选用短季棉品种,并要求棉花植株紧凑,结铃集中,便于机械化管理与采收^[5]。因此,以短季棉品种进行夏季直接播种正逐渐取代传统的育苗移栽种植方式,但生育期缩短会导致棉花的产量下降,霜前花率较低^[6]。为此,小麦后直播棉优质高产高效生产技术研究已成为棉花种植的主要目标。该种植方式与传统麦后移栽棉相比播期显著推迟,需要“以密补时”,通过增加密度来弥补生育期缩短造成的产量损失^[7-8]。因此探索适宜的化控技术来调控高密度棉田的株型,改善棉株结构对于长江中下游棉区小麦后直播棉实现集中成铃,便于机械采收,并能获得高产具有非常重要的意义。

株型的调控是棉花建立高光效群体,多结铃、结大铃,从而获得高产的关键,也是实现棉花优质生产的诊断依据^[9-10]。已有研究发现,株型是棉花适应环境表现出的形态结构,与作物生产密切相关,对提高棉花产量和纤维品质意义重大^[11-13]。在特定的环境下,合理的个体株型与群体结构是植株获得高产的重要前提,决定着植物的收获指数、产

量潜力和对栽培环境的适应能力^[14]。朱兆良等^[15]研究发现,棉花的株高、主茎节间长度、果节间长度、果枝向值、叶倾角、果节数和果枝数等株型指标与其他性状如产量、品质、熟相等存在相关关系,改善株型是改善棉花产量和纤维品质的有效途径。而缩节胺是在国内外棉花生产中广泛应用的植物生长延缓剂^[16],在棉花上的直接效应为缩短主茎和果节间长度、减少主茎节数、降低植株高度、缩短果枝和营养枝长度,因而主要用于防止徒长、塑造理想株型、提高田间管理效率^[17-18]。此外,缩节胺与株行配置、肥水管理等栽培措施耦合还可以影响棉花熟期、产量和纤维品质^[19]。虽然缩节胺对株型的调控已有较多研究,但在小麦后直接播种种植方式下,通过缩节胺调控棉花株型实现集中成铃并获得高产的研究鲜见报道。本试验通过分析缩节胺运筹对小麦后直播棉成铃、产量及相关株型质量的调控效应,旨在探究小麦后直播皮棉产量1 500 kg/hm²以上的合理群体株型及缩节胺运筹方式,以期构建小麦后直播棉高产高效的化控技术提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于2020和2021年在扬州大学农学院试验田进行,试验地为沙壤土。土壤理化特性2年一致,全氮1.233 g/kg、有机质19.590 g/kg、水解氮0.069 g/kg、速效磷0.036 g/kg、速效钾0.086 g/kg。供试

材料为特早熟品种‘中棉425’,2年播种日期均为6月6日。试验设缩节胺用量0(A₁)、180(A₂)和360 g/hm²(A₃)共3个水平;施用时期设盛蕾期(7月15日)+初花期(8月1日),施用比例1:2(B₁)和盛蕾期+初花期+盛花期(8月20日),施用比例1:2:3(B₂)共2个运筹方式,同时设初花期喷施缩节胺120 g/hm²(常规施用方式)为对照(CK)(表1),2年试验喷施时间相同。采用随机区组试验设计,共6个处理

(表1),3次重复,18个小区。种植密度135 000株/hm²,小区为5行区,株距10.93 cm,行距0.81 m,东西向长5.00 m,南北向长4.05 m,面积为20.25 m²。氮肥(纯氮)施用量为120 kg/hm²,分别播前作基肥(40%)、开花期作花铃肥(60%);磷肥(P₂O₅)施用量为60 kg/hm²,钾肥(K₂O)施用量为120 kg/hm²,分别于播前作基肥和开花期作花铃肥(各50%)。其他管理措施与当地高产棉相同。

表1 不同处理的缩节胺运筹
Table 1 Different treatments of DPC application g/hm²

处理 Treatment	盛蕾期 Full square stage	初花期 Early flowering stage	盛花期 Peak flowering stage
A ₁	0	0	0
CK	0	120	0
A ₂ B ₁	60	120	0
A ₂ B ₂	30	60	90
A ₃ B ₁	120	240	0
A ₃ B ₂	60	120	180

注:A₁、A₂、A₃分别为缩节胺用量0、180、360 g/hm²。B₁,施用时期盛蕾期+初花期,施用比例1:2;B₂,施用时期盛蕾期+初花期+盛花期,施用比例1:2:3。CK,初花期常规喷施缩节胺120 g/hm²。下同。
Notes: A₁, A₂ and A₃, DPC levels of 0, 180 and 360 g/hm². B₁, DPC applied at peak squaring and early flowering stage, the ratio of dosage is 1:2; B₂, DPC applied at peak squaring, early flowering and peak flowering stage, the ratio of dosage is 1:2:3. CK, 120 g/hm² DPC applied at early flowering. The same below.

1.2 测定内容

1.2.1 成铃数和成铃强度调查

2年均于8月15日、8月30日、9月20日调查棉株铃数并计算成铃强度。8月15—30日形成的棉铃为早秋桃、成铃强度为不同阶段铃数的增长量与经历时间的比值。

1.2.2 株型调查

2年均于7月30日、8月15日、8月30日、9月20日在各小区取代表性棉株10株,用美国LI-COR公司生产的LAI-2000植物冠层分析仪测定叶倾角,并于9月25日在各小区取代表性棉株10株,调查最终株高、主茎节间长度、果节间长度、果枝向值、节枝比。株高、主茎节间长度和果节间长度的测定用刻度尺;果枝向值^[20](FBOV)计算公式为:

$$FBOV = \frac{\sum_{i=1}^n A(L_s/L_f)}{n}$$

式中:A为仰角,果枝平直部分与水平面的夹角,°;L_f为果枝长度,cm;L_s为果枝基部至顶端的直线距

离,cm。节枝比:棉株的果节数与果枝数之比。

1.2.3 产量测定

2年均于11月2日在各小区取中间3行,收取全部吐絮棉铃,晒干后测定籽棉产量并轧花,测定皮棉产量并计算衣分。

1.2.4 数据分析

试验采用Excel 2016、SPSS 25.0等软件系统进行数据整理、统计分析并作图。

2 结果与分析

2.1 缩节胺运筹对小麦后直播棉成铃数、成铃强度和皮棉产量的影响

由表2可知,随着生育进程,各处理的成铃数均呈现逐渐增加的趋势。2种缩节胺施用方式(B)下,A₂的成铃数均为最多,显著高于A₁和A₃;3种缩节胺用量(A)条件下,B₂相较于B₁均更有利于成铃数增加。处理组合间相比,A₂B₁和A₂B₂的成铃数均较高,2020和2021年,A₂B₁的成铃数

相较CK分别升高21.8%和28.0% ($P<0.05$), A_2B_2 则相较CK分别升高25.8%和17.4% ($P<0.05$)。8月15—30日,3种缩节胺用量(A)条件下, B_1 的成铃强度均为最高,有利于小麦后直播棉早秋桃的形成;8月30—9月20日,2种缩节胺施用方式(B)下, A_2 的成铃强度相较于 A_1 和 A_3 更高。处理组合间相比, A_2B_1 和 A_2B_2 的成铃强度均较高,2020和2021年的8月30—9月20日, A_2B_1 的成铃强度相较CK分别升高13.3%和75.0% ($P<0.05$), A_2B_2 则相较CK分别升高20.0%和10.8% ($P<0.05$)。与CK相比,各处理均可显著提高皮棉产量。2种缩节胺施用方式(B)下,皮棉产量随缩节胺施用量的增加呈先升高后下降趋势;3种缩节胺用量(A)条件下, B_1 和 B_2 对皮棉产

量的影响差异不显著。处理组合间相比,皮棉产量均表现为 A_2B_1 和 A_2B_2 显著高于其他处理 ($P<0.05$);2020和2021年 A_2B_1 的皮棉产量分别达到1 628.04和2 085.02 kg/hm²,相较于CK分别升高4.9%和14.1% ($P<0.05$); A_2B_2 分别达到1 553.97和1 999.97 kg/hm²,比CK分别升高6.4%和11.0% ($P<0.05$)。

方差分析结果表明,缩节胺用量(A)、施用方式(B)和互作效应(A×B)对成铃数、成铃强度和皮棉产量的影响均达显著或极显著水平,说明于盛蕾期+初花期施用缩节胺180 g/hm²(A_2B_1)或盛蕾期+初花期+盛花期施用缩节胺180 g/hm²(A_2B_2)均可显著增加小麦后直播棉的成铃数和成铃强度,并可显著提高皮棉产量。

表2 不同处理下棉株的成铃数、成铃强度和皮棉产量

Table 2 Boll number, boll-setting speed and lint yield of cotton under different treatments

年份 Year	处理 Treatment	成铃数/(个/株) Boll number			成铃强度/(个/(株·d)) Boll-setting speed		皮棉产量/(kg/hm ²) Lint yield
		08-15	08-30	09-20	08-15—08-30	08-30—09-20	
2020	A ₁	6.47 ^a	7.78 ^c	8.30 ^d	0.09 ^d	0.03 ^d	999.10 ^d
	A ₂ B ₁	5.87 ^b	10.12 ^a	12.27 ^a	0.28 ^a	0.14 ^a	1 628.04 ^a
	A ₂ B ₂	6.13 ^a	9.93 ^a	12.67 ^a	0.25 ^b	0.18 ^a	1 553.97 ^a
	A ₃ B ₁	3.67 ^d	7.93 ^c	9.07 ^c	0.28 ^a	0.08 ^b	1 126.39 ^c
	A ₃ B ₂	5.50 ^b	8.20 ^c	9.43 ^c	0.18 ^c	0.08 ^b	1 137.53 ^c
	CK	6.05 ^a	9.20 ^b	10.07 ^b	0.21 ^b	0.06 ^c	1 475.61 ^b
	F _A	**	**	**	*	**	**
	F _B	*	*	ns	*	ns	ns
	F _{A×B}	*	**	**	*	*	**
2021	A ₁	7.87 ^a	8.15 ^c	9.17 ^c	0.02 ^d	0.07 ^d	1 341.62 ^d
	A ₂ B ₁	5.55 ^c	9.93 ^a	13.15 ^a	0.29 ^a	0.21 ^a	2 085.02 ^a
	A ₂ B ₂	7.37 ^a	9.83 ^a	12.06 ^a	0.16 ^b	0.25 ^a	1 999.97 ^a
	A ₃ B ₁	4.93 ^c	8.05 ^c	9.25 ^c	0.21 ^a	0.08 ^c	1 554.27 ^c
	A ₃ B ₂	5.37 ^c	7.73 ^c	9.03 ^c	0.16 ^b	0.09 ^c	1 622.83 ^c
	CK	7.20 ^a	8.40 ^b	10.27 ^b	0.08 ^c	0.12 ^b	1 733.71 ^b
	F _A	**	*	**	**	*	**
	F _B	**	*	*	**	ns	ns
	F _{A×B}	*	*	*	*	*	**

注:同列数值后字母不同表示差异显著($P<0.05$)。*和**分别表示在0.05和0.01水平差异显著,ns表示差异不显著。下同。

Notes: Different lowercase letters indicate significant differences at the 0.05 level. * and ** indicate significant differences at the levels of 0.05 and 0.01, respectively. ns indicate no significance. The same below.

2.2 缩节胺运筹对小麦后直播棉株型质量的影响

2.2.1 对株高的影响

由图1可知,2种缩节胺施用方式(B)下, A_3 的最终株高均较高;3种缩节胺用量(A)条件下, B_1 和 B_2 对最终株高的影响差异不显著。处理组合间相比, A_1 的株高最高。与CK相比,皮棉产量高的 A_2B_1 于2020

和2021年株高分别下降19.6%和17.3%, A_2B_2 分别下降22.7%和22.1% ($P<0.05$)。综上,于盛蕾期+初花期施用缩节胺 180 g/hm^2 (A_2B_1)或盛蕾期+初花期+盛花期施用缩节胺 180 g/hm^2 (A_2B_2)可使棉株保持适宜的株高(60.6~78.9 cm),合理利用纵向空间,从而有利于高产株型的形成。

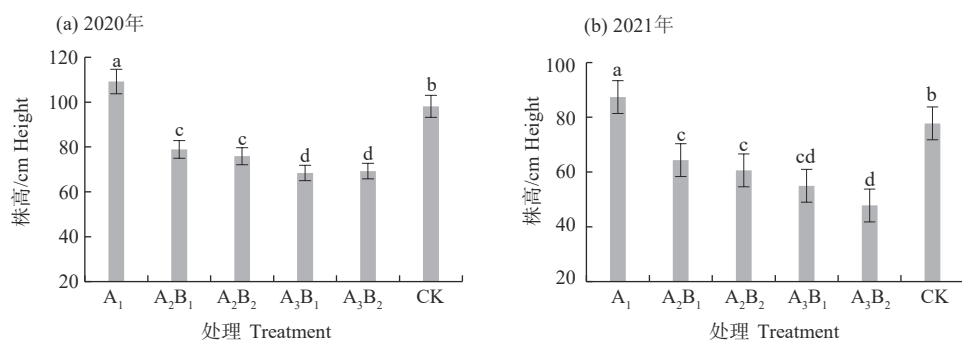


图1 不同处理下棉株的株高

Fig. 1 Plant height of cotton under different treatments

2.2.2 对主茎节间长度的影响

由图2可知,各处理棉花主茎节间长度均呈现中下部长,上部短的特征。2种缩节胺施用方式(B)下, A_2 的主茎节间均较长;3种缩节胺用量(A)条件下, B_2 相较于 B_1 更有利于主茎节间伸长。处理组合间相比,皮棉产量高的 A_2B_1 和 A_2B_2 主茎节间长度适中,介于CK和 A_3 之间,2020年 A_2B_1 的中部主茎节

间长度相较于 A_3B_1 升高37.8%,相较于CK降低23.9%, A_2B_2 则相较于 A_3B_2 升高22.4%,相较于CK降低10.4% ($P<0.05$)。综上,于盛蕾期+初花期施用缩节胺 180 g/hm^2 (A_2B_1)或盛蕾期+初花期+盛花期施用缩节胺 180 g/hm^2 (A_2B_2)可使棉株保持适宜的主茎节间长度(4.2~6.0 cm),合理利用纵向空间,从而有利于高产株型的形成。

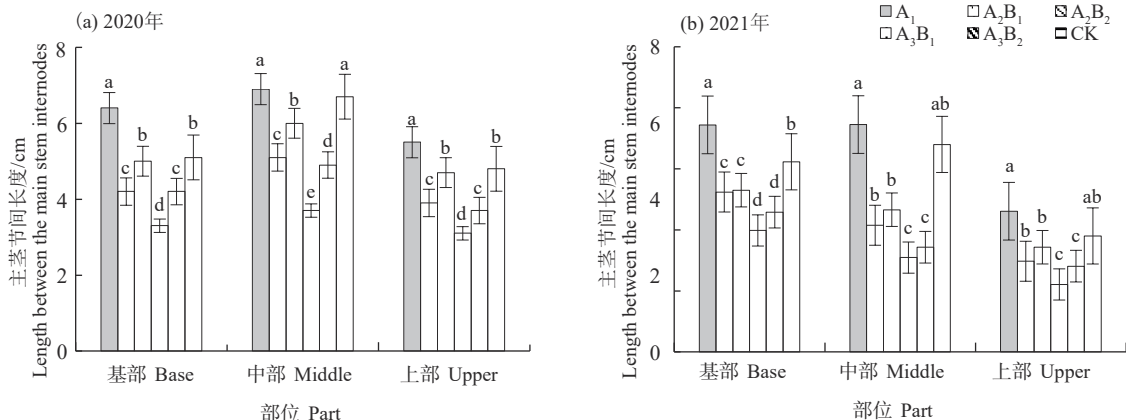


图2 不同处理下棉株的主茎节间长度

Fig. 2 Length between the main stem internodes of cotton under different treatments

2.2.3 对果节间长度的影响

由图3可知,各处理棉花果节间长度均随部位的上升呈现逐渐变短的趋势。2种缩节胺施用方式(B)下, A_2 的果节间均较长;3种缩节胺用量(A)条

件下, B_1 和 B_2 的果节间长度均无显著差异。处理组合间相比,皮棉产量高的 A_2B_1 和 A_2B_2 果节间长度适中,介于CK和 A_3 之间,2020年 A_2B_1 的中部果节间长度相较于 A_3B_1 升高53.5%,相较于CK降低

10.3%; A_2B_2 则相较 A_3B_2 升高 36.4%, 相较于 CK 降低 9.9% ($P < 0.05$)。综上, 于盛蕾期+初花期施用缩节胺 180 g/hm² (A_2B_1) 或盛蕾期+初花期+盛

花期施用缩节胺 180 g/hm² (A_2B_2) 可使棉株保持适宜的果节间长度 (3.9~6.3 cm), 每个果节能充分利用横向空间, 从而有利于高产株型的形成。

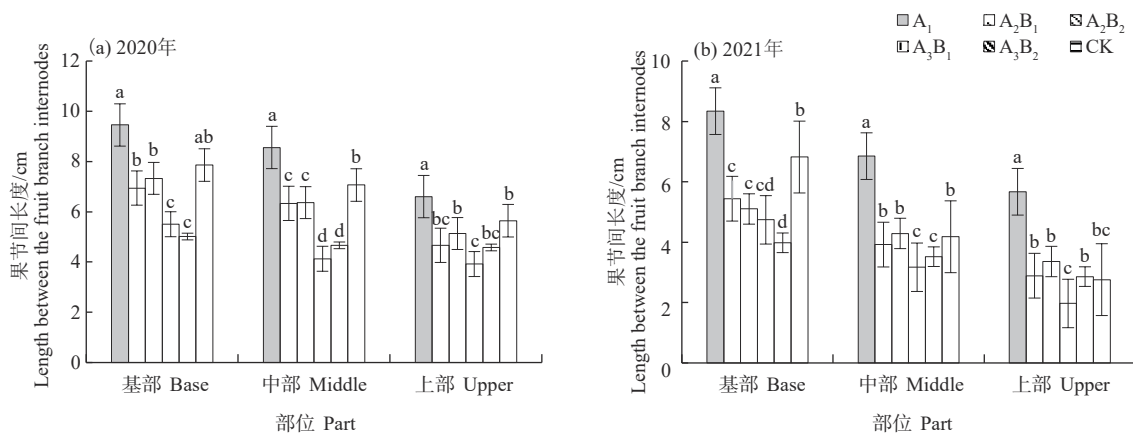


图3 不同处理下棉株的果节间长度

Fig. 3 Length between the fruit branch internodes of cotton under different treatments

2.2.4 对果枝向值的影响

由图4可知, 除 A_1 外, 其他处理的果枝向值均随部位的上升而增加。2种缩节胺施用方式 (B) 下, A_2 的果枝向值均为最高; 3种缩节胺用量 (A) 条件下, B_1 和 B_2 对果枝向值的影响差异不显著。处理组合间相比, 皮棉产量高的 A_2B_1 和 A_2B_2 果枝向值显著高于其他处理, 2020 和 2021 年, A_2B_1 的中部果枝向

值相较 CK 分别升高 30.4% 和 15.4%, A_2B_2 则相较 CK 分别升高 22.1% 和 19.1% ($P < 0.05$)。综上, 于盛蕾期+初花期施用缩节胺 180 g/hm² (A_2B_1) 或盛蕾期+初花期+盛花期施用缩节胺 180 g/hm² (A_2B_2) 可使棉株保持较高的果枝向值 (36.4~40.8), 促使果枝直立, 改善棉株内通风透光环境, 从而有利于高产株型的形成。

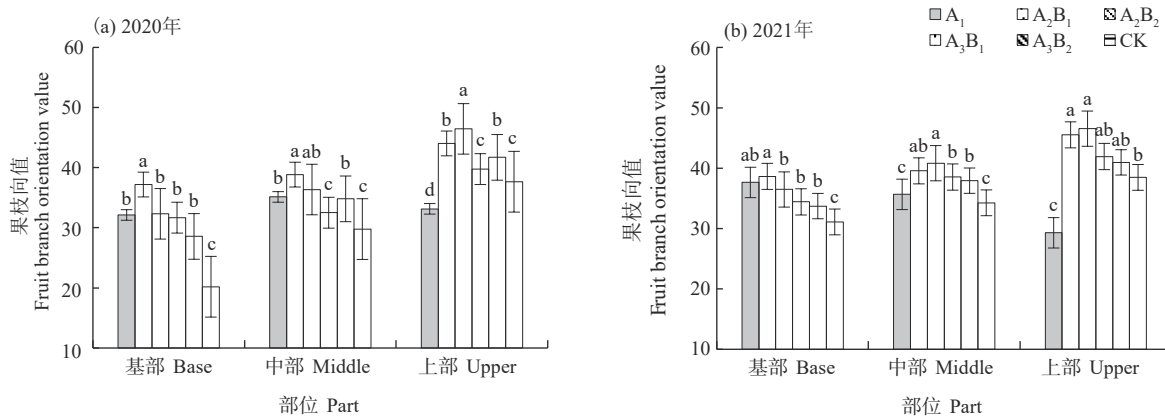


图4 不同处理下棉株的果枝向值

Fig. 4 Fruit branch orientation value of cotton under different treatments

2.2.5 对叶倾角的影响

由表3可知, 各处理的叶倾角均随着生育进程的推进逐渐减小。2种缩节胺施用方式 (B) 下, 8月15日后 A_2 的叶倾角均随缩节胺用量的增加而减少, 且差异显著; 3种缩节胺用量 (A) 条件下, B_1 和 B_2 对

叶倾角的影响差异不显著。与 CK 相比, 皮棉产量高的 A_2B_1 和 A_2B_2 叶倾角也较大, 2020 和 2021 年 9 月 20 日, A_2B_1 的叶倾角相较于 CK 升高 12.3% 和 18.4%, A_2B_2 则相较 CK 分别升高 14.7% 和 20.3% ($P < 0.05$)。综上, 于盛蕾期+初花期施用缩节胺

180 g/hm²(A₂B₁)或盛蕾期+初花期+盛花期施用缩节胺 180 g/hm²(A₂B₂)可使棉株保持较高的叶倾角(45.0~46.7°),促使叶片保持直立,改善棉株冠层的光照状况,从而有利于高产株型的形成。

表 3 不同处理下棉株的叶倾角
Table 3 Leaf angle of cotton under different treatments (°)

处理 Treatment	2020年				2021年			
	07-30	08-15	08-30	09-20	07-30	08-15	08-30	09-20
A ₁	51.7 ^b	44.3 ^b	35.3 ^c	30.3 ^c	45.0 ^b	41.3 ^c	39.3 ^c	34.0 ^c
A ₂ B ₁	57.3 ^a	52.3 ^a	48.3 ^a	45.7 ^a	51.7 ^a	50.0 ^a	47.7 ^a	45.0 ^a
A ₂ B ₂	58.0 ^a	51.7 ^a	49.3 ^a	46.7 ^a	55.3 ^a	51.3 ^a	47.7 ^a	45.7 ^a
A ₃ B ₁	58.0 ^a	53.0 ^a	43.3 ^b	38.0 ^b	47.7 ^b	46.0 ^b	37.0 ^c	36.0 ^b
A ₃ B ₂	61.0 ^a	57.7 ^a	45.0 ^b	38.0 ^b	53.7 ^a	50.3 ^a	42.0 ^b	37.0 ^b
CK	49.7 ^b	44.7 ^b	42.0 ^b	40.7 ^b	46.0 ^b	41.7 ^c	40.3 ^c	38.0 ^b
F _A	ns	*	**	**	*	*	**	*
F _B	ns	ns	ns	*	*	ns	ns	*
F _{A×B}	ns	*	**	*	ns	ns	*	*

2.2.6 对节枝比的影响

由图 5 可知,2 种缩节胺施用方式(B)下,A₂的节枝比均为最高;3 种缩节胺用量(A)条件下,B₁和 B₂对节枝比的影响差异不显著。处理组合间相比,皮棉产量高的 A₂B₁和 A₂B₂节枝比也显著高于其他处理(P<0.05),2020 和 2021 年,A₂B₁的节枝比相

较 CK 分别升高 13.1% 和 27.4%,A₂B₂ 则升高 26.9% 和 26.3%(P<0.05)。综上,于盛蕾期+初花期施用缩节胺 180 g/hm²(A₂B₁)或盛蕾期+初花期+盛花期施用缩节胺 180 g/hm²(A₂B₂)可使棉株保持较高的节枝比(3.1~3.6),促进棉株的横向生长,从而有利于高产株型的形成。

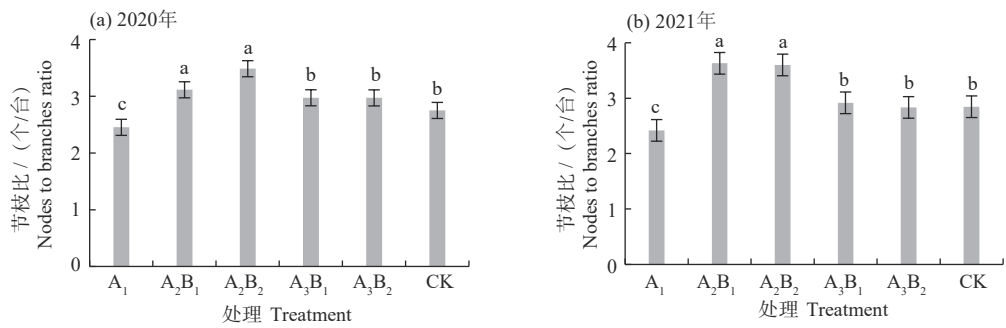


图 5 不同处理下棉株的节枝比
Fig. 5 Nodes to branches ratio of cotton under different treatments

2.3 缩节胺运筹下株型质量与皮棉产量的关系

由图 6 可知,当主茎节间长度保持在 4.2~6.0 cm,果节间长度保持在 3.9~6.3 cm 时,皮棉产量可达到 1 500 kg/hm²,说明主茎节间长度、果节间长度保持在上述范围内有利于促进产量的提高。果枝向值、叶倾角和节枝比则与皮棉产量呈显著或极显著的

正相关关系,当果枝向值达到 36.4~40.8,叶倾角达到 45.0~46.7°,节枝比达到 3.1~3.6 时,皮棉产量可达到 1 500 kg/hm²,说明提高果枝向值、叶倾角和节枝比有利于获得高产(图 7)。综上,于盛蕾期+初花期施用缩节胺 180 g/hm²(A₂B₁)或盛蕾期+初花期+盛花期施用缩节胺 180 g/hm²(A₂B₂)均有利于高产形成。

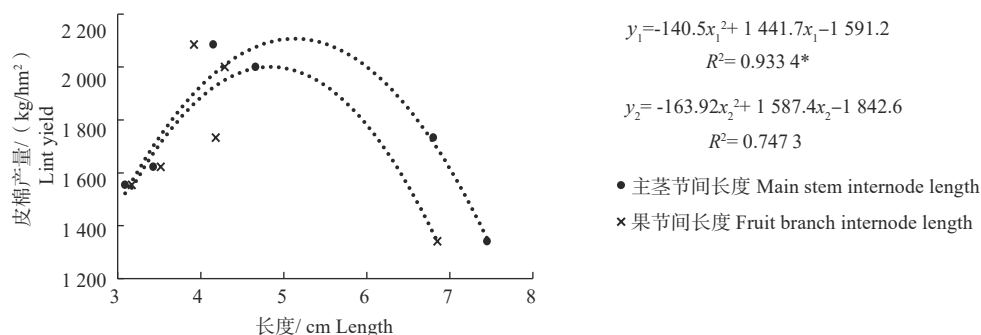
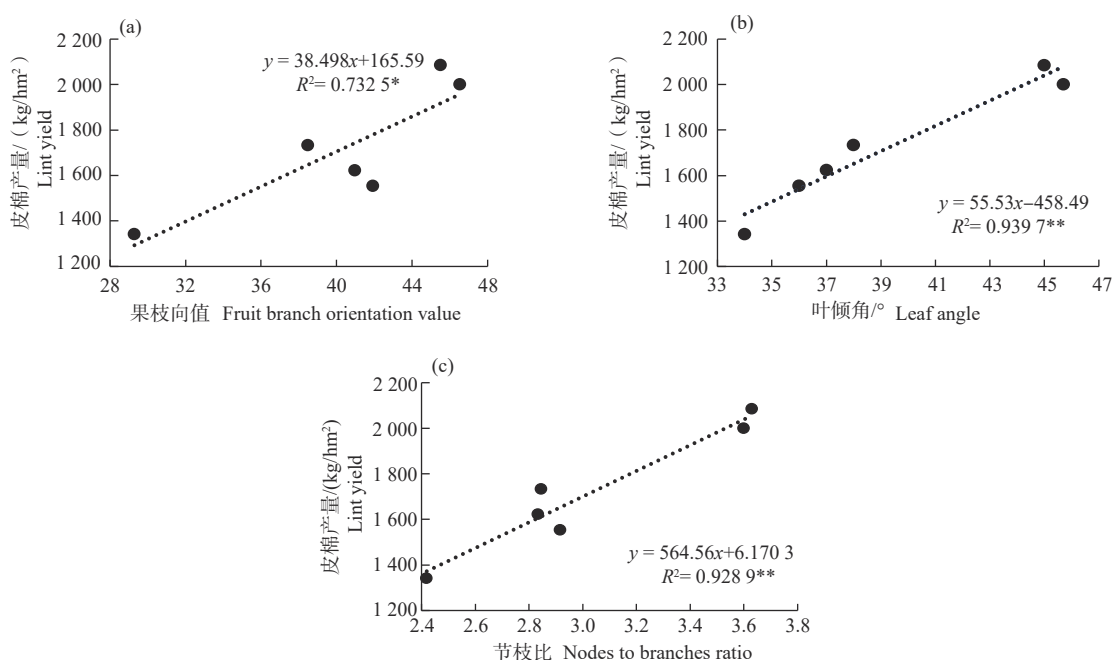
图6 2021年主茎节间(x_1)和果节间(x_2)长度与皮棉产量的关系Fig. 6 Relationship between main stem internode length (x_1), fruit branch internode length (x_2) and lint yield in 2021

图7 2021年果枝向值(a)、叶倾角(b)、节枝比(c)与皮棉产量的关系

Fig. 7 Relationship between fruit branch orientation value (a), leaf angle (b), nodes to branches ratio (c) and lint yield in 2021

2.4 缩节胺运筹对棉花产量及其构成因素的影响

由表4可知,2020和2021年不同处理间籽棉产量差异显著,缩节胺化控处理的籽棉产量均高于不化控的 A_1 。2种缩节胺施用方式(B)下,籽棉产量均随着缩节胺施用量的增加先升高后下降;3种缩节胺用量(A)条件下, B_1 和 B_2 对籽棉产量的影响差异不显著。处理组合间相比,2年均表现为 A_2B_1 和 A_2B_2 的籽棉产量较高,其中 A_2B_1 的籽棉产量在2020和2021年分别达到4 427.31和5 849.75 kg/hm²,相较CK分别升高4.9%和14.0%, A_2B_2 则分别比CK升高6.4%和11.0%($P < 0.05$)。

产量构成因素方面,不同处理间单株成铃数差异显著,2年试验缩节胺化控处理都显著高于不化控

的 A_1 。2种缩节胺施用方式(B)下,单株成铃数均随着缩节胺施用量的增加先升高后下降;3种缩节胺用量(A)条件下, B_1 和 B_2 对单株成铃数的影响差异不显著。处理组合间相比, A_2B_1 和 A_2B_2 的2年成铃数均较高。与CK相比,2020和2021年 A_2B_1 的成铃数都升高30.0%, A_2B_2 分别升高17.8%和23.7%($P < 0.05$)。2年试验各处理的单铃重同样表现出显著差异。2种缩节胺施用方式(B)下,单铃重随着缩节胺施用量的增加先升高后下降。2020和2021年 A_2B_1 的单铃重均为最高,相较 A_1 分别升高26.0%和3.9%($P < 0.05$)。衣分差异不显著($P < 0.05$)。说明缩节胺的施用量和施用方式对于产量的影响主要由成铃数和单铃重共同决定,而缩节胺施用量及

施用方式的不同对于衣分的影响不显著。

方差分析结果表明,缩节胺用量(A)、施用方式(B)和互作效应(A×B)对单株铃数、单铃重和籽棉产量的影响均达显著或极显著水平,说明于盛蕾期+初花期施用缩节胺 180 g/hm²(A₂B₁)或盛蕾期+初花期+盛花期施用缩节胺 180 g/hm²(A₂B₂)均可显著增加小麦后直播棉的铃数和铃重,并可显著提高籽棉产量。

表 4 不同处理对产量及其构成的影响

Table 4 Effects of different treatments on the yield and composition

年份 Year	处理 Treatment	密度/(株/hm ²) Density	单株铃数 Bolls per plant	单铃重/g Single boll weight	籽棉产量/(kg/hm ²) Seed yield	衣分/% Lint percentage
2020	A ₁	130 415 ^a	6.20 ^d	4.07 ^b	2 940.85 ^d	33.71 ^a
	A ₂ B ₁	131 013 ^a	8.18 ^a	4.33 ^a	4 363.19 ^a	37.19 ^a
	A ₂ B ₂	130 036 ^a	9.23 ^a	4.17 ^{ab}	4 427.31 ^a	35.10 ^a
	A ₃ B ₁	132 707 ^a	7.17 ^c	4.06 ^b	3 317.63 ^c	33.71 ^a
	A ₃ B ₂	130 406 ^a	7.48 ^c	4.09 ^{ab}	3 402.72 ^c	33.43 ^a
	CK	131 748 ^a	8.03 ^b	4.25 ^a	4 161.06 ^b	35.36 ^a
	F _A	ns	**	**	**	ns
	F _B	ns	ns	*	ns	ns
	F _{A×B}	ns	**	**	**	ns
2021	A ₁	130 812 ^a	7.17 ^c	4.34 ^{ab}	4 231.80 ^d	31.70 ^a
	A ₂ B ₁	132 022 ^a	9.93 ^a	4.51 ^a	5 849.75 ^a	35.64 ^a
	A ₂ B ₂	131 405 ^a	9.26 ^a	4.47 ^a	5 695.28 ^a	35.12 ^a
	A ₃ B ₁	131 184 ^a	7.63 ^c	4.27 ^b	4 996.95 ^c	31.10 ^a
	A ₃ B ₂	130 439 ^a	7.55 ^c	4.29 ^b	5 075.83 ^c	31.97 ^a
	CK	132 366 ^a	8.27 ^b	4.49 ^a	5 129.09 ^b	33.80 ^a
	F _A	ns	**	**	**	ns
	F _B	ns	ns	ns	ns	ns
	F _{A×B}	ns	**	**	**	ns

3 讨 论

3.1 缩节胺合理运筹有利于小麦后直播棉提高产量并集中成铃

集中成铃是棉花机械化采收的基础^[21]。棉花具有无限生长性,传统的春播或间套种棉花采用缩节胺化控(105~150 g/hm²)可以提高上、中、下和内、外围铃数和铃重,从而提高产量^[22]。缩节胺还可以通过调节棉株主茎及果枝长短,达到改善田间群体结构与棉田小气候的目的^[23]。不同时期喷施缩节胺可以控制不同部位果枝的长度,对其各个节间的影响程度也不一样,这是优化棉铃时空分布的重要环节^[24]。本研究结果表明,小麦后直播棉生育期大幅缩短条件下,于盛蕾期+初花期施用缩节胺 180 g/hm²(A₂B₁)或盛蕾期+初花期+盛花期施用

缩节胺 180 g/hm²(A₂B₂)均能显著提高产量,可达到 1 500~1 950 kg/hm²,相较于初花期施用缩节胺 120 g/hm²(CK)升高 4.9%~14.0%(*P*<0.05)。进一步分析成铃强度发现,7月30—8月30日特别是8月15日前果节的大量形成,8月15—9月20日特别是8月30日前棉铃的快速形成是达到集中成铃的主要原因。由此可见,随着种植方式和品种的改变,缩节胺运筹也需要相应的变化。此外,随着机采要求,集中成铃已成为缩节胺化控的重要目标。本研究合理的缩节胺运筹方式可使小麦后直播棉同时实现高产和集中成铃的目的。

3.2 缩节胺合理运筹有利于小麦后直播棉构建高效株型

已有关于缩节胺对棉花株型的调控的研究较多,但主要集中在中熟品种^[25-26]和春播棉花^[27],符合

高产要求的株型应为宝塔型或圆筒型^[28]。蕾期和盛花期应用缩节胺可以影响棉株上、中、下大部分果枝的节间长度;初花期前后应用可以影响中部以上的大部分果枝及下部果枝的外围果节;盛花期应用则只能影响上部果枝外围果节^[29-31]。缩节胺应用在麦后直播棉中可以控制棉株株高、减缓果枝伸长,使植株变得紧凑,当株高控制在75 cm左右,果枝长度在20 cm左右,单株果枝达到9~10个,可塑造合理的株型^[32]。本研究结果表明,小麦后直接播种种植方式下,于盛蕾期+初花期施用缩节胺180 g/hm²(A₂B₁)或盛蕾期+初花期+盛花期施用缩节胺180 g/hm²(A₂B₂)可构建株高范围在60.63~77.80 cm、主茎节间长度在4.2~6.0 cm、果节间长度在3.9~6.3 cm、果枝向值为36.4~40.8、叶倾角为45.0~46.7°、节枝比为3.1~3.6的棉株高效株型,有利于实现集中成铃,便于机械采收,并能获得高产。后续试验可增加缩节胺施用方式与不同密度处理,以便进一步确定小麦后直播棉产量和成铃的潜力。

4 结 论

于盛蕾期+初花期施用缩节胺180 g/hm²(A₂B₁)或盛蕾期+初花期+盛花期施用缩节胺180 g/hm²(A₂B₂)对小麦后直播棉的株型、成铃、产量均有显著影响($P<0.05$),可构建株高范围在60.63~77.80 cm、主茎节间长度在4.2~6.0 cm、果节间长度在3.9~6.3 cm、果枝向值为36.4~40.8、叶倾角为45.0~46.7°、节枝比为3.1~3.6的小麦后直播棉高效株型,有利于长江中下游棉区达到小麦后直播皮棉产量1 500 kg/hm²以上水平并实现集中成铃,便于机械采收,并能获得高产。

参考文献 References

- [1] 高伟, 张西岭. 长江流域棉花生产现状及“十三五”发展建议[J]. 中国棉花, 2016, 43(1): 3-7
Gao W, Zhang X L. Current situation of cotton production and suggestions on development of cotton industry for the 13th Five-Year Plan in Yangtze River Region [J]. *China Cotton*, 2016, 43 (1): 3-7 (in Chinese)
- [2] 喻树迅. 我国棉花生产现状与发展趋势[J]. 中国工程科学, 2013, 15(4): 9-13
Yu S X. Present situation and development trend of cotton production in China [J]. *Engineering Sciences*, 2013, 15(4): 9-13 (in Chinese)
- [3] 张雯丽, 沈贵银, 曹慧, 徐雪高, 王慧敏. “十三五”时期我国重要农产品消费趋势、影响与对策[J]. 农业经济问题, 2016, 37(3): 11-17, 110
Zhang W L, Shen G Y, Cao H, Xu X G, Wang H M. Major agricultural products consumption trend, influence and policy: during the 13th five-year period [J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2016, 37(3): 11-17, 110 (in Chinese)
- [4] 顾超. 小麦后直播棉适于机采的农艺调控技术研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2015
Gu C. Study on agronomic regulation technology of wheat direct seeding cotton suitable for machine harvesting [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2015 (in Chinese)
- [5] 陈长林, 石磊, 孙勇飞, 谢庆, 孔凡婷, 吴腾. 适合我国长江流域棉区的棉花机械化收获技术路线[J]. 中国棉花, 2019, 46(12): 36-38
Chen C L, Shi L, Sun Y F, Xie Q, Kong F T, Wu T. Production technology route of cotton mechanized harvest in the Yangtze River valley [J]. *China Cotton*, 2019, 46(12): 36-38 (in Chinese)
- [6] 吴传云, 冯健, 陈传强, 王建合, 刘晨, 林育, 康建明. 我国棉花产业现状与机械化发展情况分析[J]. 中国农机化学报, 2021, 42(5): 215-221
Wu C Y, Feng J, Chen C Q, Wang J H, Liu C, Lin Y, Kang J M. Analysis of the status quo and mechanization development of cotton-producing industry in China [J]. *Journal of Chinese Agricultural Mechanization*, 2021, 42(5): 215-221 (in Chinese)
- [7] Jung Y. The long reach of cotton in the US South: Tenant farming, mechanization, and low-skill manufacturing [J/OL]. *Journal of Development Economics*, (2019-12-24). DOI: doi. org/10.1016/j.jdevco.2019.102432
- [8] 陈源, 衡衡, 胡大鹏, 张雷, 花明明, 陈德华, 张祥. 麦茬直播棉适于机采的密度、化控技术[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(6): 1304-1311
Chen Y, Heng L, Hu D P, Zhang L, Hua M M, Chen D H, Zhang X. Density and chemical control technique for direct-seeded cotton after wheat harvested by mechanical plucking [J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2015, 31(6): 1304-1311 (in Chinese)
- [9] 刘晓飞. 基于机收的小麦后直播棉关键栽培技术研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2013
Liu X F. Study on key cultivation techniques of wheat direct seeding cotton based on machine harvest [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2013 (in Chinese)
- [10] 袁旭峰. 单季水稻直播高产栽培技术及应用[J]. 安徽农学通报, 2024, 30(4): 9-12
Yuan X F. High yield cultivation techniques and application of single season rice direct seeding [J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2024, 30(4): 9-12 (in Chinese)
- [11] 纪雄辉, 郑圣先, 聂军, 戴平安, 郑颖俊. 稻田土壤上控释氮肥的氮素利用率与硝态氮的淋溶损失[J]. 土壤通报, 2007, 38(3): 467-471
Ji X H, Zheng S X, Nie J, Dai P A, Zheng Y J. Nitrogen recovery and nitrate leaching from a controlled release nitrogen fertilizer in an irrigated paddy soil [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2007, 38 (3): 467-471 (in Chinese)
- [12] Donald C M. The breeding of crop ideotypes [J]. *Euphytica*, 1968, 17(3): 385-403

- [13] Yang S R, Zhang L B, Chen W F, Xu Z J, Wang J M. Theories and methods of rice breeding for maximum yield [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 1996, 22(3): 295-304
- [14] Ma R H, Xu N Y, Zhang C X, Li W F, Feng Y, Qu L, Wang Y H, Zhou Z G. Physiological mechanism of sucrose metabolism in cotton fiber and fiber strength regulated by nitrogen[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2008, 34(12): 2143-2151
- [15] 朱兆良. 中国土壤氮素研究[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 778-783
Zhu Z L. Research on soil nitrogen in China[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(5): 778-783 (in Chinese)
- [16] Zhao D H, Li J L, Qi J G. Identification of red and NIR spectral regions and vegetative indices for discrimination of cotton nitrogen stress and growth stage [J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2005, 48(2): 155-169
- [17] 董章辉, 王虎, 张艳丽, 眭书祥, 高驰, 朱青竹, 李增书, 赵丽芬. 冀中南植棉区棉花高密度免整枝栽培技术[J]. 中国棉花, 2023, 50(4): 46-47
Dong Z H, Wang H, Zhang Y L, Sui S X, Gao C, Zhu Q Z, Li Z S, Zhao L F. Pruning-free cultivation technique of cotton with high plant density in central and southern Hebei Province[J]. *China Cotton*, 2023, 50(4): 46-47 (in Chinese)
- [18] 翟梦华, 周志刚, 孙明辉, 代健敏, 张巨松. 种植模式与缩节胺对重播棉花株型及产量的影响[J]. 新疆农业科学, 2023, 60(10): 2361-2370
Zhai M H, Zhou Z G, Sun M H, Dai J M, Zhang J S. Effects of planting pattern and DPC on plant type and yield of resown cotton[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2023, 60(10): 2361-2370 (in Chinese)
- [19] 韩焕勇, 杜明伟, 王方永, 陈兵, 田晓莉. 新疆棉区增效缩节胺应用剂量对棉花农艺和经济性状的影响[J]. 西南农业学报, 2019, 32(2): 327-330
Han H Y, Du M W, Wang F Y, Chen B, Tian X L. Effects of DPC+ application dose on agronomic and economic traits of cotton in northern Xinjiang[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2019, 32(2): 327-330 (in Chinese)
- [20] 陈德华. 作物栽培学研究实验法[M]. 北京: 科学出版社, 2018
Chen D H. *Crop Cultivation Study Methods and Protocols*[M]. Beijing: China Science Sciences Press, 2018 (in Chinese)
- [21] 梁亚军, 龚照龙, 杜明伟, 郑巨云, 王俊铎, 艾先涛, 李雪源. 新疆机采棉“四集中”管理技术[J]. 中国棉花, 2020, 47(12): 5-6
Liang Y J, Gong Z L, Du M W, Zheng J Y, Wang J D, Ai X T, Li X Y. The "four centralization technologies" in machine-harvested cotton cultivation in Xinjiang[J]. *China Cotton*, 2020, 47(12): 5-6 (in Chinese)
- [22] 蔡焕虎, 史亚辉, 林萍, 张玉栋, 闫文静, 王俊刚. 氟节胺与缩节胺联合使用对棉花生长发育调控的影响[J]. 新疆农业科学, 2019, 56(11): 1997-2005
Cai X H, Shi Y H, Lin P, Zhang Y D, Yan W J, Wang J G. Study on the regulation of cotton plant shape by mixing flumetralin and mepiquat [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2019, 56(11): 1997-2005 (in Chinese)
- [23] 杨修一, 于起庆, 耿计彪, 杨玉坤, 王嘉, 刘前进. 包膜含缩节胺氯化钾对棉花产量及土壤钾素的影响[J]. 土壤学报, 2020, 57(6): 1439-1448
Yang X Y, Yu Q Q, Geng J B, Yang Y K, Wang J, Liu Q J. Effects of coated potassium chloride containing mepiquat chloride on cotton yield and soil potassium[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2020, 57(6): 1439-1448 (in Chinese)
- [24] 石治鹏, 李敏, 林忠旭, 李晓方, 李定国. 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 Z P, Li M, Lin Z X, Li X F, Li D G. Research progress on regulating effect of DPC on cotton growth and development[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2017, 46(7): 1-8 (in Chinese)
- [25] 刘丽英, 戴茂华, 吴振良. 缩节胺对黄河流域机采棉农艺性状、产量和品质的影响及化控技术研究[J]. 中国农学通报, 2018, 34(33): 38-42
Liu L Y, Dai M H, Wu Z L. Effects of DPC on agronomic characters, yield, fiber quality of machine picked cotton in the yellow river valley and chemical treatment technical research [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2018, 34(33): 38-42 (in Chinese)
- [26] 张超, 于起庆, 马晓丽, 卢晓峰, 耿计彪, 于文勇, 赵薇, 李晨昊. 缩节胺对棉花生长及产量影响的应用研究进展[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(9): 11-13
Zhang C, Yu Q Q, Ma X L, Lu X F, Geng J B, Yu W Y, Zhao W, Li C H. Advances in the application of mepiquat chloride to the growth and yield of cotton[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2020, 48(9): 11-13 (in Chinese)
- [27] 徐道青, 郑曙峰, 王维, 阚画春, 刘小玲, 陈敏, 程福如, 路曦结. 机采棉管理模式下缩节胺用量对安徽沿江棉花的影响[J]. 中国棉花, 2018, 45(5): 16-19
Xu D Q, Zheng S F, Wang W, Kan H C, Liu X L, Chen M, Cheng F R, Lu X J. Effect of DPC on cotton in mechanized management mode in Anhui Province[J]. *China Cotton*, 2018, 45(5): 16-19 (in Chinese)
- [28] 石峰, 李海江, 孙孝贵, 时晓娟, 郝先哲, 田雨, 韩焕勇. 基于缩节胺调控的免打顶棉花群体结构及产量分析[J]. 新疆农业科学, 2021, 58(11): 1990-1999
Shi F, Li H J, Sun X G, Shi X J, Hao X Z, Tian Y, Han H Y. Study on population structure and yield of topping-free cotton based on regulation of DPC [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2021, 58(11): 1990-1999 (in Chinese)
- [29] 申莹莹, 张巨松, 彭增莹, 李宗润, 段松江, 吴一帆, 郭仁松. 缩节胺复配打顶剂对机采棉株型塑造和棉铃分布的影响[J]. 新疆农业科学, 2023, 60(4): 790-797
Shen Y Y, Zhang J S, Peng Z Y, Li Z R, Duan S J, Wu Y F, Guo R S. The effect of the compound topping agent of DPC on the plant shape and boll distribution of machine-picked cotton [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2023, 60(4): 790-797 (in Chinese)
- [30] 邢晋, 张思平, 赵新华, 闫贞贞, 魏然, 张立祯. 种植密度和缩节胺互作对棉花株型及产量的调控效应[J]. 棉花学报, 2018, 30(1): 53-61
Xing J, Zhang S P, Zhao X H, Yan Z Z, Wei R, Zhang L Z. Interaction of plant density with mepiquat chloride affects plant architecture and yield in cotton[J]. *Cotton Science*, 2018, 30(1): 53-61 (in Chinese)
- [31] 李林. 缩节胺调控方式对棉花农艺性状及产量影响研究[D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2016
Li L. Study on the effect of mepiquat chloride regulation on agronomic characters and yield of cotton [D]. Ala'er: Tarim University, 2016 (in Chinese)

[32] 王海娟, 王国平, 赵富强, 冯杨. 新疆两种机采模式下的缩节胺调控技术研究[J]. 中国棉花, 2019, 46(11): 23-26

Wang H J, Wang G P, Zhao F Q, Feng Y. Research on the regulation

technique of DPC in two typical mechanical harvest models in Xinjiang [J]. *China Cotton*, 2019, 46(11): 23-26 (in Chinese)

责任编辑: 吕晓梅



第一作者简介: 李涵佳, 扬州大学农学院作物栽培与耕作学博士研究生。参与国家自然科学基金项目(31901462), 以第一作者身份在《作物学报》、*Field Crops Research* 发表论文2篇, 在 *Journal of Integrative Agriculture*、*Agronomy* 等期刊参与发表论文6篇。2022年获研究生国家奖学金和扬州大学硕士研究生一等学业奖学金。



通讯作者简介: 陈德华, 博士, 扬州大学农学院教授, 博士生导师, 中国作物学会棉花委员会副会长, 中国棉花学会常务理事、中国农用塑膜应用技术学会理事、江苏省棉花协会顾问、江苏省农学会棉花专业委员会副主任。主要从事作物栽培及作物化学控制的教学与科研工作, 先后主持承担国家自然科学基金和国家转基因重大专项等课题30余项; 在国内外学术期刊上发表研究论文200余篇, 获授权国家专利6项; 参编《中国棉花栽培学》, 主编《棉花化学控制新技术》等著作10多部。研究成果曾获国家科技进步二等奖, 教育部高校科技进步一等奖, 江苏省农业技术推广特等奖、农业部中华农业科技奖一、二等奖、江苏省科技进步二等奖等10多项。