

种植密度与整枝方式对蒜后直播棉产量和品质的影响

樊海潮 张志恒 赵中亭 张桂花

(菏泽市农业科学院, 274000, 山东菏泽)

摘 要 探究种植密度与整枝方式对棉花的作用效果, 为鲁西南地区的棉花轻简化生产提供理论支撑。在 2022-2023 年以短季棉品种鲁棉 532 为材料, 采用裂区设计, 开展了密度与整枝方式对蒜后直播棉产量及其构成因素、生物产量、棉柴比及纤维品质调节效应的研究。结果表明, 种植密度和整枝方式对籽棉和皮棉产量存在显著的互作效应, 去叶枝条件下, 中高密度 (9.75 万~11.25 万株/hm²) 的产量比低密度 (6.75 万株/hm²) 高, 留叶枝条件下, 中低密度 (6.75 万~8.25 万株/hm²) 的产量比中高密度 (9.75 万~11.25 万株/hm²) 高, 籽棉和皮棉产量最高的组合均为留叶枝×8.25 万株/hm², 分别比去叶枝×6.75 万株/hm² 组合平均增产 14.2% 和 14.3%, 提高种植密度和留叶枝都能显著提高棉花的生物产量, 二者对生物产量具有显著的互作效应, 对棉柴比的互作效应不显著, 棉柴比与生物产量呈负相关, 留叶枝×11.25 万株/hm² 的棉柴比较去叶枝×6.75 万株/hm² 分别降低 35.4% (2022 年) 和 26.5% (2023 年); 整枝方式和种植密度对棉花纤维品质的影响不显著。适当提高种植密度并留叶枝可提高生物产量和单位面积总铃数, 有利于产量形成, 还可以达到节省人工和轻简化栽培的目的。鲁西南地区蒜后直播短季棉推荐种植模式为留叶枝×8.25 万株/hm²。

关键词 棉花; 种植密度; 整枝方式; 互作效应; 产量; 品质

棉花 (*Gossypium hirsutum* L.) 是关乎我国国计民生的重要战略物资, 也是棉纺工业发展的重要原料^[1]。山东是我国产棉大省、用棉大省和纺织品出口大省, 2023 年山东棉花播种面积 9.65 万 hm², 居全国第 3 位, 总产量 12.6 万 t, 居全国第 2 位, 仅次于新疆^[2]。鲁西南植棉区是山东三大植棉区之一, 无论播种面积还是总产量均居全省第 1 位, 该地区主要采用棉花育苗移栽的蒜 (麦) 套棉种植模式^[3]。近年来, 随着劳动力转移、植棉成本的提高以及优良短季棉品种的选育和播种机械的成熟应用, 传统种植模式逐渐被蒜 (麦) 后机械直播短季棉种植模式所取代^[4-6]。该模式以密植和简化整枝为主要特点, 较传统的稀植大棵、精细整枝有很大的不同, 但棉农传统的种植习惯很难适应新的种植模式。因此, 研究密度与整枝方式对蒜后直播棉产量和品质的互作效应具有重要意义。

合理密植是实现棉花高产高效的重要技术途径^[7-8], 适宜密度可以改善冠层内的光照、温度、湿度和 CO₂ 等微环境, 更好地协调群体和个体的关系, 使光能在群体冠层内的分布更加合理^[9-11]。研究^[12]表明, 在一定范围内随密度增加籽棉产量

和成铃数显著提高, 铃重和马克隆值显著降低, 茎粗减小。另有研究^[13]显示, 密度过高时植株个体生长受到抑制, 单株生产力降低, 而密度过低时单株生产力较高、个体得到发展, 但群体不足, 群体光合速率和产量均降低。

整枝技术是调控棉花源库关系、碳氮代谢和延缓棉花早衰的有效手段^[14-15], 也是影响棉花棉铃时空分布、产量和品质的技术措施^[16-18], 去叶枝不仅能减轻田间郁蔽, 而且可使更多的光合同化物直接分配到果枝上的生殖器官, 有利于棉花产量和品质的形成。但是, 随着化学调控技术的应用和“快乐植棉”轻简化生产的推广, 国内许多学者开始倾向于保留叶枝, 并证实了叶枝利用的价值和保留叶枝的可行性^[19-22]。前人^[23-24]对种植密度与去留叶枝互作效应的研究主要集中在一年一熟棉或蒜套棉 (春棉) 上, 但针对当前鲁西南地区一年两熟棉 (短季棉) 品种合理密植与叶枝利用相配合的研究尚不多见。本文以当前主推短季棉品种为材料, 通过 2 年的定点试验, 研究了短季棉整枝与种植密度的互作效应, 以为鲁西南地区的蒜后直播短季棉增产增效提供理论

作者简介: 樊海潮, 主要从事棉花遗传育种和高产栽培研究, E-mail: fanhaichao91@163.com

赵中亭为通信作者, 主要从事棉花遗传育种和高产栽培研究, E-mail: zzt6090@163.com; 张桂花为共同通信作者, 主要从事棉花遗传育种和高产栽培研究, E-mail: guihua9@126.com

基金项目: 山东省棉花产业技术体系项目 (SDAIT-03-15); 山东省农业良种工程项目 (2020LZGC002-02-04)

收稿日期: 2025-01-07; 修回日期: 2025-05-09; 网络出版日期: 2025-07-18

依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况与试验材料

试验于 2022–2023 年在山东菏泽市农业科学院试验农场（35°19' N，115°29' E）进行。前茬作

物为大蒜。试验地为黏壤土，地势平坦，肥力均匀一致，中等偏上地力（表 1），有良好的排灌条件。供试棉花品种为高产优质短季棉鲁棉 532（国审棉 20200007，鲁审棉 20180011，由山东省农业科学院经济作物研究所提供），该品种在鲁西南地区蒜后直播条件下，生育期 100 d 左右。

表 1 试验地 0~20 cm 土壤理化性质
Table 1 Physical and chemical properties of 0-20 cm soil at test site

年份 Year	全氮 Total N (g/kg)	碱解氮 Alkaline-hydrolytic N (mg/kg)	速效磷 Available P (mg/kg)	速效钾 Available K (mg/kg)	有机质 Organic matter (g/kg)	pH
2022	1.13	58.73	32.82	100.12	13.92	7.6
2023	1.16	61.23	32.91	98.76	14.01	7.7

1.2 试验设计

2 年试验均采用裂区试验设计，主区为 2 种整枝方式，分别为去叶枝（RMVB）和留叶枝（RTVB）；副区为 4 个种植密度，分别为 6.75 万、8.25 万、9.75 万和 11.25 万株/hm²，重复 3 次。采用 6 行区等行距种植，行长 10.00 m，行距 0.76 m，随机区组排列。分别于 2022 年 5 月 26 日和 2023 年 5 月 25 日大蒜收获后机械直接播种，施复合肥（18% N，18% P₂O₅，18% K₂O）450 kg/hm²，播后喷灌，一播全苗。棉苗第 2 片真叶展开后按照试验要求的密度进行定苗，使所有小区达到预定密度。去叶枝处理的小区于现蕾后 5 d 及时去掉叶枝和赘芽，之后在盛蕾期和花铃期再各分别进行 1 次去叶枝和赘芽，均在 7 月 20 日打顶。全生育期化控 3 次，见花后追施尿素 150 kg/hm²，苗期主要防治蓟马、蚜虫和红蜘蛛，中后期防治盲蝽象和烟粉虱。各处理的管理力求均匀一致。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 产量及其构成因素 以各小区中间 4 行（面积为 30.4 m²）实收计产，分 3 次收获（收获时间分别为 9 月 20 日、10 月 20 日和 11 月 10 日），籽棉晾干后（含水量 12% 以下）折算成每公顷的产量，轧花后计算皮棉产量和衣分。各小区定点选择连续的 20 株棉花，吐絮后调查单株结总铃数和铃重。

1.3.2 生物产量和棉柴比 收花结束后将中间 4 行棉柴拔出，晾晒 30 d 后称重，计算棉柴产量；以籽棉与棉柴产量之和作为其近似的生物产量，以两者的重量比（棉柴比）作为光合产物分配情况和经济系数的指标。

1.3.3 纤维品质 每小区采用四分法进行充分混匀，称取 100 g 邮寄至中国农业科学院棉花研究所农业农村部棉花品质监督检验测试中心（河南安阳）测定棉纤维上半部平均长度、断裂比强度、马克隆值、整齐度和伸长率 5 项品质指标。

1.4 数据处理

使用 Microsoft Excel 2019 进行数据处理及图表绘制，利用 DPS 13.0 软件 Duncan 氏新复极差法进行数据差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 种植密度和整枝方式对棉花产量的影响

由表 2 可以看出，种植密度和整枝方式对籽棉和皮棉产量均有影响，在不考虑两者互作的前提下，留叶枝相比去叶枝籽棉和皮棉产量均有所提高，但没有达到显著水平；随着密度的增加产量先增后降，呈单峰曲线，中密度（8.25 万和 9.75 万株/hm²）的籽棉和皮棉产量均高于低密度（6.75 万株/hm²）和高密度（11.25 万株/hm²），差异达到显著水平；在 9.75 万株/hm² 的密度下，2 年的籽棉和皮棉产量均达到最高值，在 6.75 万株/hm² 的密度下均为最低值，在 2022 年，9.75 万株/hm² 相比 6.75 万株/hm² 密度下的籽棉和皮棉产量分别增产 4.7% 和 4.6%，在 2023 年分别增产 4.6% 和 4.3%。

种植密度和整枝方式对籽棉和皮棉产量存在极显著的互作效应，2 年的试验结果显示，去叶枝条件下，都是低密度（6.75 万株/hm²）的产量最低，中高密度（9.75 万~11.25 万株/hm²）的产量最高，差异达到显著水平；留叶枝条件下，都是中低密

表 2 种植密度和整枝方式对籽棉和皮棉产量的影响
Table 2 Effects of planting density and pruning method on yield of seed cotton and lint cotton

整枝方式 Pruning method	种植密度 (万株/hm ²) Planting density (×10 ⁴ plants/hm ²)	2022		2023	
		籽棉产量 Seed cotton yield (kg/hm ²)	皮棉产量 Lint cotton yield (kg/hm ²)	籽棉产量 Seed cotton yield (kg/hm ²)	皮棉产量 Lint cotton yield (kg/hm ²)
RMVB	6.75	3153.1±42.0e	1301.2±19.1c	3529.2±35.5e	1463.4±20.7e
	8.25	3375.2±31.2d	1402.4±13.2b	3789.1±39.7d	1568.2±18.7d
	9.75	3572.5±45.5ab	1487.8±20.6a	3991.2±23.7ab	1647.4±11.5ab
	11.25	3483.0±35.2bc	1442.3±16.2abc	3909.4±28.5c	1619.2±12.7bc
RTVB	6.75	3513.4±46.4ab	1470.0±23.3ab	3945.1±32.4bc	1641.1±15.5ab
	8.25	3605.8±54.3a	1491.1±25.5a	4029.2±25.7a	1668.1±11.7a
	9.75	3406.5±25.7cd	1412.1±11.1bc	3805.4±28.4d	1576.2±14.5cd
	11.25	3210.0±37.1e	1333.3±15.2d	3582.4±38.7e	1486.4±15.4e
均值 Average value	RMVB	3396.2±45.1a	1408.2±20.0a	3805.2±35.7a	1574.3±12.4a
	RTVB	3434.4±42.2a	1426.1±21.1a	3840.3±23.2a	1593.2±13.7a
	6.75	3333.2±18.4b	1386.1±11.2b	3737.2±18.1b	1552.3±8.1b
	8.25	3490.5±57.7a	1450.3±19.3a	3909.2±72.4a	1618.2±33.4a
	9.75	3489.5±60.2a	1446.5±22.3a	3898.3±68.2a	1612.3±29.7a
	11.25	3347.0±25.3b	1388.3±10.4b	3746.4±20.1b	1552.3±7.2b
变异来源 Source of variation	VB	ns	ns	ns	ns
	PD	**	**	**	**
	VB×PD	**	**	**	**

VB 和 PD 分别表示叶枝和种植密度。同项目同列数值后不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。“**”表示在 $P < 0.01$ 水平差异显著, ns 表示差异不显著 ($P > 0.05$), 下同。
VB and PD indicate leaf branches and planting density, respectively. The different lowercase letters after the same item and column values indicate significant difference ($P < 0.05$). “**” indicates significant differences at the $P < 0.01$ level, and ns indicates no significant difference ($P > 0.05$), the same below.

度 (6.75 万~8.25 万株/hm²) 的产量最高, 中高密度 (9.75 万~11.25 万株/hm²) 的产量最低, 差异达到显著水平。籽棉和皮棉产量最大值均为留叶枝×8.25 万株/hm² 组合, 在 2022 年, 分别比产量最低组合 (去叶枝×6.75 万株/hm²) 增产 14.3% 和 14.6%, 在 2023 年, 分别增产 14.2% 和 14.0%。

2.2 种植密度和整枝方式对棉花产量构成因素的影响

由表 3 可以看出, 种植密度和整枝方式对总铃数和铃重有显著影响, 但对衣分无显著影响, 说明总铃数和铃重容易受到外界因素的影响, 从而影响产量的形成, 而衣分主要与棉花品种自身遗传基因有关, 在不考虑种植密度和整枝方式互作的前提下, 留叶枝总铃数有所提高但不显著, 而铃重有所降低也不显著。总铃数随着密度的增加而增加, 各密度之间 (除 8.25 万和 9.75 万株/hm² 外) 差异均达到显著水平, 在高密度 (11.25 万株/hm²) 条件下达到最大值, 在 2022 和 2023 年分别达到了 87.8 万和 93.0 万/hm², 相比低密度 (6.75 万株/hm²) 分别增加了 14.5% 和 14.4%; 铃重随着密度的增加

而降低, 在低密度 (6.75 万株/hm²) 条件下达到最大值, 2 年均均为 5.6 g, 相比高密度 (11.25 万株/hm²) 分别增加了 15.1% 和 15.0%。

种植密度和整枝方式对铃重和衣分没有互作效应, 而对总铃数存在显著的互作效应, 2 年的试验结果均显示, 去叶枝条件下, 高密度 (11.25 万株/hm²) 的总铃数均最多, 低密度 (6.75 万株/hm²) 的总铃数均最少, 差异显著; 留叶枝条件下, 中高密度 (9.75 万株/hm²) 的总铃数最多, 低密度 (6.75 万株/hm²) 的总铃数最少, 差异达到显著水平。总铃数最大的组合为去叶枝×11.25 万株/hm², 在 2022 和 2023 年, 分别比总铃数最少组合 (去叶枝×6.75 万株/hm²) 增加 25.0% 和 25.2%。

2.3 种植密度和整枝方式对棉花生物产量的影响

提高种植密度和留叶枝均能显著提高棉花的生物产量, 种植密度和整枝方式对生物产量还有显著的互作效应 (表 4)。在相同密度下, 留叶枝棉株的生物产量均高于去叶枝, 在不考虑互作效应的前提下, 留叶枝的生物产量比去叶枝平均增产 7.5%, 增产显著; 在相同整枝方式下, 高密度

表 3 种植密度和整枝方式对总铃数、铃重和衣分的影响							
Table 3 Effects of planting density and pruning methods on total bell number, bell weight, and lint percentage							
整枝方式 Pruning method	种植密度 (万株/hm ²) Planting density (×10 ⁴ plants/hm ²)	2022			2023		
		总铃数 Total boll number (×10 ⁴ /hm ²)	铃重 Boll weight (g)	衣分 Lint percentage (%)	总铃数 Total boll number (×10 ⁴ /hm ²)	铃重 Boll weight (g)	衣分 Lint percentage (%)
RMVB	6.75	72.9±4.1d	5.6±0.3a	41.3±0.3a	77.1±1.9e	5.6±0.2a	41.5±0.3a
	8.25	81.4±4.2bc	5.3±0.2a	41.6±0.2a	86.2±2.1cd	5.4±0.2ab	41.4±0.3a
	9.75	84.5±2.2bc	5.3±0.2a	41.6±0.3a	89.8±2.4bcd	5.4±0.2ab	41.3±0.4a
	11.25	91.1±2.5a	4.9±0.2b	41.4±0.4a	96.5±2.4a	4.9±0.2cd	41.4±0.3a
RTVB	6.75	80.5±2.5c	5.6±0.2a	41.8±0.3a	85.4±2.2d	5.6±0.2a	41.6±0.3a
	8.25	85.2±2.6b	5.3±0.2a	41.4±0.4a	90.2±2.5bc	5.3±0.2ab	41.4±0.3a
	9.75	85.8±2.4b	5.2±0.2ab	41.5±0.3a	91.2±2.5b	5.2±0.2bc	41.4±0.3a
	11.25	84.4±2.1bc	4.8±0.2b	41.5±0.3a	89.5±2.4bcd	4.9±0.2d	41.5±0.3a
均值 Average value	RMVB	82.5±2.5a	5.3±0.1a	41.5±0.2a	87.4±2.4a	5.3±0.2a	41.4±0.2a
	RTVB	84.0±1.8a	5.2±0.2a	41.5±0.2a	89.1±2.5a	5.3±0.2a	41.5±0.3a
	6.75	76.7±3.1c	5.6±0.1a	41.6±0.2a	81.3±2.1c	5.6±0.1a	41.5±0.2a
	8.25	83.3±2.0b	5.3±0.4ab	41.6±0.1a	88.2±1.8b	5.4±0.2b	41.4±0.2a
	9.75	85.2±2.0ab	5.3±0.2b	41.5±0.2a	90.5±1.7ab	5.3±0.2b	41.4±0.3a
	11.25	87.8±2.1a	4.8±1.1c	41.5±0.3a	93.0±2.1a	4.9±0.1c	41.5±0.3a
变异来源 Source of variation	VB	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	PD	**	**	ns	**	**	ns
	VB×PD	**	ns	ns	**	ns	ns

表 4 种植密度和整枝方式对生物产量和棉柴比的影响					
Table 4 Effects of planting density and pruning method on biological yield and seed cotton to stalk ratio					
整枝方式 Pruning method	种植密度 (万株/hm ²) Planting density (×10 ⁴ plants/hm ²)	2022		2023	
		生物产量 Biological yield (kg/hm ²)	棉柴比 Seed cotton to stalk ratio	生物产量 Biological yield (kg/hm ²)	棉柴比 Seed cotton to stalk ratio
RMVB	6.75	9149.2±221.3e	0.526±0.025a	10 425.2±166.2e	0.513±0.027a
	8.25	9960.3±198.2d	0.513±0.019ab	11 360.1±286.0d	0.501±0.028a
	9.75	10 790.5±216.0b	0.495±0.021ab	12 292.3±189.2bc	0.483±0.020ab
	11.25	11 311.0±230.3a	0.445±0.015c	12 917.7±215.3ab	0.433±0.015c
RTVB	6.75	10 373.2±109.3c	0.512±0.024ab	11 827.4±181.0cd	0.503±0.026a
	8.25	11 101.6±210.1ab	0.481±0.018b	12 649.3±256.1ab	0.468±0.023b
	9.75	11 366.3±201.3a	0.428±0.018c	12 963.2±201.1ab	0.420±0.021c
	11.25	11 451.7±198.5a	0.340±0.024d	13 059.1±222.3a	0.377±0.123d
均值 Average value	RMVB	10 303.2±216.2b	0.495±0.020a	11 749.4±315.1b	0.483±0.028a
	RTVB	11 073.5±251.5a	0.453±0.018b	12 627.3±282.1a	0.442±0.021b
	6.75	9761.2±265.2d	0.519±0.009a	11 126.3±325.2c	0.508±0.020a
	8.25	10 531.5±198.1c	0.499±0.008b	12 005.2±245.5b	0.485±0.018b
	9.75	11 078.4±141.1b	0.462±0.015c	12 628.2±213.2a	0.452±0.009c
	11.25	11 381.4±150.0a	0.417±0.014d	12 993.4±245.0a	0.405±0.012d
变异来源 Source of variation	VB	**	**	**	**
	PD	**	**	**	**
	VB×PD	**	ns	*	ns

“*”表示在 $P < 0.05$ 水平差异显著，下同。
“*” indicates significant difference at $P < 0.05$ level, the same below.

处理下棉株的生物产量均高于低密度处理，在不考虑互作效应的前提下，高密度（11.25 万株/hm²）

处理的生物产量比低密度（6.75 万株/hm²）处理平均增产 16.6%，增产达到显著水平。

种植密度和整枝方式对棉柴比的互作效应不显著，不同处理间棉柴比的差异趋势与生物产量的差异趋势呈负相关，增加种植密度和保留叶枝都能够显著降低棉柴比。在 2022 和 2023 年留叶枝高密度（留叶枝×11.25 万株/hm²）组合的棉柴比较去叶枝低密度（去叶枝×6.75 万株/hm²）组合分别降低 35.4%和 26.5%。

2.4 种植密度和整枝方式对棉花纤维品质的影响

由表 5 可以看出，种植密度和整枝方式对棉

花纤维品质指标均没有显著的互作效应。提高种植密度和留叶枝均可降低棉纤维断裂比强度，在相同密度下，去叶枝棉纤维断裂比强度均高于留叶枝，但均未达到显著水平，在相同整枝方式下，高密度处理棉纤维断裂比强度均低于低密度处理，在 2022 和 2023 年，留叶枝高密度（留叶枝×11.25 万株/hm²）组合的断裂比强度分别比去叶枝低密度（去叶枝×6.75 万株/hm²）组合降低 2.1%和 2.8%，且 2023 年的降低幅度达到显著水平。

表 5 种植密度和整枝方式对棉花纤维品质指标的影响

Table 5 Effects of planting density and pruning methods on cotton fiber quality indexes

年份 Year	整枝方式 Pruning method	种植密度（万株/hm ² ） Planting density (×10 ⁴ plants/hm ²)	上半部平均长度 Upper half mean length (mm)	断裂比强度 Fiber strength (cN/tex)	马克隆值 Micronaire value	整齐度 Uniformity (%)	伸长率 Elongation rate (%)
2022	RMVB	6.75	30.79±0.29a	31.15±0.38a	5.10±0.07a	85.47±0.31a	6.27±0.24a
		8.25	30.84±0.18a	30.76±0.24a	5.01±0.06ab	85.13±0.32a	6.17±0.31a
		9.75	30.78±0.07a	30.72±0.31a	4.97±0.03ab	85.40±0.25a	6.13±0.24a
		11.25	30.84±0.12a	30.69±0.33a	4.91±0.07bc	85.37±0.30a	6.37±0.20a
	RTVB	6.75	30.80±0.13a	31.14±0.21a	5.06±0.04ab	85.31±0.31a	6.20±0.21a
		8.25	30.77±0.08a	30.74±0.19a	4.90±0.04bc	85.77±0.35a	6.23±0.24a
		9.75	30.82±0.06a	30.61±0.38a	4.77±0.18c	85.53±0.38a	6.30±0.21a
		11.25	30.78±0.16a	30.50±0.40a	4.76±0.19c	85.20±0.38a	6.20±0.24a
	均值	RMVB	30.82±0.18a	30.83±0.11a	5.00±0.06a	85.34±0.32a	6.23±0.20a
		RTVB	30.80±0.08a	30.75±0.30a	4.87±0.17b	85.45±0.31a	6.23±0.14a
		6.75	30.80±0.06a	31.15±0.18a	5.08±0.07a	85.39±0.38a	6.23±0.14a
		8.25	30.81±0.11a	30.75±0.25ab	4.96±0.05b	85.45±0.28a	6.20±0.22a
		9.75	30.80±0.09a	30.66±0.29b	4.87±0.07bc	85.47±0.19a	6.22±0.13a
		11.25	30.81±0.12a	30.60±0.30b	4.83±0.06c	85.28±0.32a	6.28±0.16a
	变异来源	VB	ns	ns	*	ns	ns
		PD	ns	ns	*	ns	ns
		VB×PD	ns	ns	ns	ns	ns
2023	RMVB	6.75	30.82±0.21a	31.51±0.22a	5.10±0.18ab	85.47±0.31a	6.27±0.11a
		8.25	30.79±0.19a	31.14±0.21abc	4.99±0.22ab	85.16±0.36a	6.23±0.15a
		9.75	30.82±0.22a	31.04±0.21abc	5.00±0.21ab	85.34±0.22a	6.37±0.13a
		11.25	30.77±0.21a	30.79±0.21bc	4.88±0.12b	85.37±0.31a	6.27±0.11a
	RTVB	6.75	30.81±0.20a	31.27±0.26ab	5.13±0.12a	85.26±0.33a	6.20±0.11a
		8.25	30.74±0.26a	31.07±0.26abc	5.10±0.15ab	85.78±0.35a	6.17±0.12a
		9.75	30.84±0.22a	30.92±0.28abc	5.08±0.22ab	85.55±0.31a	6.17±0.11a
		11.25	30.79±0.21a	30.62±0.12c	4.90±0.23ab	85.24±0.24a	6.20±0.16a
	均值	RMVB	30.80±0.11a	31.12±0.24a	4.99±0.14a	85.34±0.30a	6.28±0.14a
		RTVB	30.79±0.21a	30.97±0.11a	5.05±0.17a	85.46±0.11a	6.18±0.11a
		6.75	30.81±0.23a	31.39±0.21a	5.12±0.12a	85.37±0.35a	6.23±0.12a
		8.25	30.77±0.12a	31.10±0.32ab	5.04±0.07a	85.47±0.31a	6.20±0.11a
		9.75	30.83±0.21a	30.98±0.21b	5.04±0.07a	85.45±0.33a	6.27±0.11a
		11.25	30.78±0.22a	30.71±0.11b	4.89±0.07b	85.30±0.31a	6.23±0.18a
	变异来源	VB	ns	ns	ns	ns	ns
		PD	ns	*	*	ns	ns
		VB×PD	ns	ns	ns	ns	ns

提高种植密度能够显著降低棉纤维马克隆值，在 2022 年，留叶枝处理能够显著降低马克隆值，而在 2023 年马克隆值有所提高，在 2022 年，留叶枝高密度（留叶枝 $\times$ 11.25 万株/hm²）组合的马克隆值比去叶枝低密度（去叶枝 $\times$ 6.75 万株/hm²）组合显著降低 6.7%；在 2023 年，去叶枝高密度（去叶枝 $\times$ 11.25 万株/hm²）组合的马克隆值比留叶枝低密度（留叶枝 $\times$ 6.75 万株/hm²）组合显著降低 4.9%。2 年结果有所不同，说明种植密度相比整枝方式对马克隆值的影响更为显著。

3 讨论

3.1 种植密度和整枝方式对棉花产量及其构成因素的影响

我国传统的棉田多采用合理密植和精细整枝等棉花高产栽培管理措施^[24-26]。现有大量研究^[27-29]证实，去叶枝能够改善群体通风透光条件，提高光能利用率；且能够显著促进光合同化产物的形成与运输，对提高棉花产量具有重要作用；而留叶枝则影响主茎和果枝的生长发育，导致果枝结总铃数减少，平均铃重降低，这为精细整枝提供了依据。周欢等^[30]研究发现，与正常整枝相比，留叶枝在盛花期以前有增“源”的作用，进入盛花期后通过间接结铃，又表现出扩“库”的作用，又为保留叶枝提供了依据。合理密植是棉花增产的中心环节，过高或过低都会引起负面效应，影响棉花产量，只有建立一个从苗期到成熟期都较为合理动态的群体结构，才能充分利用光、热资源和地力，形成大量有机物，为棉花高产提供物质基础^[31-32]。本研究表明，整枝方式对棉花产量影响不大，而种植密度对棉花产量影响显著，二者对棉花产量的互作效应也达显著水平，与董合忠等^[24]对一熟棉田的研究结果一致。本研究还发现，去叶枝条件下以 8.75 万株/hm²处理的产量最高，其次为 11.25 万株/hm²处理；留叶枝条件下以 8.25 万株/hm²处理的产量最高，其次为 6.75 万株/hm²处理。考虑两者互作的前提下，籽棉和皮棉产量最大组合均为留叶枝 $\times$ 8.25 万株/hm²，在 2022 年，分别比产量最低组合去叶枝 $\times$ 6.75 万株/hm²增产 14.3%和 14.6%，在 2023 年分别增产 14.2%和 14.0%，表明在蒜后直播短季棉条件下，留叶枝较去叶枝应适当提高种植密度，以 8.25 万株/hm²左右为宜；在低密度条

件下，留叶枝比去叶枝的产量高。这可能与低密度条件下留叶枝具有中前期增源、中后期扩库的作用有关^[19]。

棉花产量是通过棉株结铃建成的，单位面积棉花皮棉产量受其构成因素总铃数、铃重和衣分影响^[33]。本研究表明，种植密度和整枝方式对铃重和衣分没有互作效应，而对总铃数存在显著的互作效应，这与谢志华等^[23]对蒜套棉的研究结果一致，2 年的试验结果均显示，去叶枝条件下，均以高密度（11.25 万株/hm²）的总铃数最多，低密度（6.75 万株/hm²）的总铃数最少，差异显著，留叶枝条件下，中高密度（9.75 万株/hm²）的总铃数最多，低密度（6.75 万株/hm²）的总铃数最少，差异达到显著水平。总铃数最大组合为去叶枝 $\times$ 11.25 万株/hm²，在 2022 和 2023 年，分别比总铃数最少组合去叶枝 $\times$ 6.75 万株/hm²增加 25.0%和 25.2%。

棉花产量形成的过程实质上就是干物质生产、积累与分配的过程^[33]。在不断增加干物质积累量（生物产量）的基础上，进一步提高经济系数，即提高生物产量转化率是棉花高产的重要特征和重要途径^[34-36]。但是，生物产量与经济系数为负相关关系，一味地提高生物产量并不能提高经济产量^[37]。本研究表明，提高种植密度和留叶枝均能显著提高棉花的生物产量，两者具有显著的互作效应，在相同密度下，留叶枝棉株的生物产量均高于去叶枝，在相同整枝方式下，高密度处理棉株的生物产量均高于低密度处理，种植密度和整枝方式对棉柴比没有显著的互作效应，棉柴比与生物产量呈负相关，增加种植密度和保留叶枝都能够显著降低棉柴比。在 2022 和 2023 年留叶枝高密度（留叶枝 $\times$ 11.25 万株/hm²）组合的棉柴比较去叶枝低密度（去叶枝 $\times$ 6.75 万株/hm²）组合分别减产 35.4%和 26.5%。所以，提高生物产量并维持相对较高的经济系数，是实现经济产量最大化的有效途径。

3.2 种植密度和整枝方式对棉花纤维品质的影响

纤维品质的优劣受棉花自身遗传因素影响^[38]，还与温度、光照、水分和营养元素等自然因素有关^[39]。选育优质品种、改善植棉条件是获得优质棉纤维的有效途径。史加亮等^[12]研究发现，整枝方式对断裂比强度和马克隆值有显著影响，对其

他品质指标影响不显著。研究表明, 提高种植密度能够降低棉纤维马克隆值, 降低幅度达到显著水平, 在 2022 年, 留叶枝处理能够显著降低马克隆值, 而在 2023 年马克隆值有所提高, 2 年结果有所不同, 说明种植密度相比整枝方式对马克隆值的影响更为明显。种植密度和整枝方式对棉纤维品质均没有显著互作效应。提高种植密度和留叶枝均可降低棉纤维断裂比强度, 在相同密度下, 去叶枝棉纤维断裂比强度均高于留叶枝, 在相同整枝方式下, 高密度处理棉纤维断裂比强度均低于低密度处理, 在 2022 和 2023 年, 留叶枝高密度(留叶枝 $\times 11.25$ 万株/hm²)组合的断裂比强度分别比去叶枝低密度(去叶枝 $\times 6.75$ 万株/hm²)组合降低 2.1%和 2.8%, 且在 2023 年的降低幅度达到显著水平。

4 结论

合理密植是棉花增产的基础措施。种植密度和整枝方式对蒜后直播棉产量和品质存在显著的互作效应, 在留叶枝条件下, 适宜的种植密度为 8.25 万株/hm², 去叶枝条件下, 种植密度可以适当提高到 9.75 万株/hm², 从轻简化栽培和经济效益方面来看, 鲁西南地区蒜后直播短季棉推荐种植模式为留叶枝 $\times 8.25$ 万株/hm²。

参考文献

- [1] 张鹏忠, 于明, 托乎提, 等. 建设区域品牌专用棉生产技术体系, 提升新疆棉花的品质和市场竞争能力. 新疆农业科学, 2008 (增 2): 181-183.
- [2] 国家统计局. 2023 年全国棉花产量公告. (2023-12-25)[2025-04-29]. http://www.stats.gov.cn/xxgk/sjfb2020/202312/t20231225_1945749.html.
- [3] 王桂峰, 秦都林, 张少红. 山东省棉花生产现状及发展潜力研究. 中国农技推广, 2023, 39(6): 19-23.
- [4] 樊海潮, 张志恒, 赵中亭, 等. 施氮量对蒜后直播棉产量、品质以及效益的影响. 中国棉花, 2023, 50(12): 28-31.
- [5] 樊海潮, 张志恒, 赵中亭, 等. 鲁西南地区种植密度对麦后直播棉产量和效益的影响. 棉花科学, 2022, 44(3): 26-30.
- [6] 樊海潮, 赵中亭, 李维江, 等. 不同密度下打顶方式对短季棉生长及产量的影响. 山东农业科学, 2020, 52(7): 29-32.
- [7] 牛玉萍, 陈宗奎, 杨林川, 等. 干旱区滴灌模式和种植密度对棉花生长和产量性能的影响. 作物学报, 2016, 42(10): 1506-1515.
- [8] 张冬梅, 李维江, 唐薇, 等. 种植密度与留叶枝对棉花产量和早熟性的互作效应. 棉花学报, 2010, 22(3): 224-230.
- [9] 杨吉顺, 高辉远, 刘鹏, 等. 种植密度和行距配置对超高产夏玉米群体光合特性的影响. 作物学报, 2010, 36(7): 1226-1233.
- [10] Shah A N, Yang G Z, Tanveer M, et al. Leaf gas exchange, source-sink relationship, and growth response of cotton to the interactive effects of nitrogen rate and planting density. Acta Physiologiae Plantarum, 2017, 39(5): 119.
- [11] 朱继杰, 王士杰, 赵红霞, 等. 不同密度和叶枝对棉花品种冀丰 914 产量及其性状的影响. 中国棉花, 2019, 46(1): 29-33.
- [12] 史加亮, 李凤瑞, 张东楼, 等. 不同密度及整枝方式对苗蕾期无头棉产量及品质的影响. 中国棉花, 2018, 45(10): 31-35.
- [13] 蔡晓莉, 马丽娟, 逯涛, 等. 不同种植模式和密度对 Z1112 产量及纤维品质的影响. 中国棉花, 2018, 45(6): 24-26, 42.
- [14] 董合忠, 牛曰华, 李维江, 等. 不同整枝方式对棉花库源关系的调节效应. 应用生态学报, 2008, 19(4): 819-824.
- [15] 刘燕. 棉花缩节胺处理与整枝效应的研究. 武汉: 华中农业大学, 2013.
- [16] 赵红军. 整枝方式对棉花产量品质及相关性状的影响及效益分析. 泰安: 山东农业大学, 2021.
- [17] 朱晓伟, 刘连涛, 万华龙, 等. 整枝方式和冠层高度对棉铃时空分布及产量的影响. 棉花学报, 2019, 31(1): 79-88.
- [18] 王宗文, 孔凡金, 王景会, 等. 鲁棉研 36 号密植留叶枝效应研究. 山东农业科学, 2018, 50(10): 33-37.
- [19] 董合忠, 李维江, 唐薇, 等. 留叶枝对抗虫杂交棉库源关系的调节效应和对叶片衰老与皮棉产量的影响. 中国农业科学, 2007, 40(5): 909-915.
- [20] 王广春, 代建龙, 董合忠. 山东省棉花产业现状及其发展对策 //中国农学会棉花分会. 中国农学会棉花分会 2016 年年会论文汇编. 安阳: 中国棉花杂志社, 2016: 1.
- [21] 喻树迅, 张雷, 冯文娟. 快乐植棉——中国棉花生产的发展方向. 棉花学报, 2015, 27(3): 283-290.
- [22] 谢志华, 杜中民, 缪蕾, 等. 简化整枝和种植密度对蒜套棉铃铃及产量的影响. 山东农业科学, 2014, 46(10): 43-46.
- [23] 谢志华, 李维江, 苏敏, 等. 整枝方式与种植密度对蒜套棉产量和品质的效应. 棉花学报, 2014, 26(5): 459-465.
- [24] 董合忠, 李振怀, 罗振, 等. 密度和留叶枝对棉株产量的空间分布和熟相的影响. 中国生态农业学报, 2010, 18(4): 792-798.
- [25] 董建军, 李霞, 代建龙, 等. 适于机械收获的棉花“晚密简”栽培技术. 中国棉花, 2016, 43(7): 36-38.
- [26] 卢合全, 徐士振, 刘子乾, 等. 蒜套抗虫棉 K836 轻简化栽培技术. 中国棉花, 2016, 43(2): 39-40, 42.
- [27] Dong H Z, Li W J, Li Z H, et al. Evaluation of a production system in China that uses reduced plant densities and retention of vegetation branches. Journal of Cotton Science, 2005, 9: 1-9.
- [28] 王香河. 棉花留叶枝对产量的超补偿效应研究. 北京: 中国农业科学院, 2003.
- [29] 张颖, 任锋潇, 靖姣姣, 等. 去留叶枝对棉花叶片、叶柄、铃柄解剖结构及产量的影响. 棉花学报, 2016, 28(3): 268-275.
- [30] 周欢, 原保忠, 彭龙, 等. 棉花保留营养枝的效应及应用. 中国农学通报, 2011, 27(9): 324-327.
- [31] 董合忠, 杨国正, 田立文, 等. 棉花轻简化栽培. 北京: 科学出版社, 2016: 202-215.
- [32] 何旭平, 纪从亮. 现代中国棉花育种与栽培概论. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007: 271-272.
- [33] 董合忠, 毛树春, 张旺峰, 等. 棉花优化成铃栽培理论及其新发展. 中国农业科学, 2014, 47(3): 441-451.
- [34] 张旺峰, 李蒙春, 杨新军. 北疆高产棉花干物质积累的模拟. 石河子大学学报(自然科学版), 1998(2): 87-92.
- [35] 郭仁松, 刘盼, 张巨松. 新疆超高产棉花光合物质生产与分配关系的研究. 棉花学报, 2010, 22(5): 471-478.
- [36] 董合忠, 李维江, 李振怀, 等. 转 Bt 基因抗虫杂交棉与亲本光合能力比较. 核农学报, 2000, 14(5): 284-289.
- [37] 中国农业科学院棉花研究所. 中国棉花栽培学. 上海: 上海科学技术出版社, 2013: 376-526.

[38] 李付广. 棉花纤维发育. 中国农业科学, 2023, 56(23): 4561-4564.

[39] 白雪, 李占. 影响棉纤维品质的因素及其改进措施. 中国纤维, 2023(10): 24-26.

Effects of Planting Density and Pruning Method on Yield and Quality of Direct-Seeded Cotton Following Garlic Harvest

Fan Haichao, Zhang Zhiheng, Zhao Zhongting, Zhang Guihua

(Heze Academy of Agricultural Sciences, Heze 274000, Shandong, China)

Abstract To explore the effects of planting density and pruning method on cotton performance and provide theoretical support for simplified cotton production in southwestern Shandong, a split-plot design experiment was conducted in 2022–2023 using the short-season cotton cultivar Lumian 532 as test material. The study investigated the regulatory effects of density and pruning method on yield and its components, biomass yield, seed cotton to stalk ratio, and fiber quality. The results showed that significant interaction effects were observed between planting density and pruning method on seed cotton and lint yields. Under vegetative branch removal conditions, medium-high densities (9.75×10^4 – 11.25×10^4 plants/ha) achieved higher yields than low density (6.75×10^4 plants/ha). In contrast, under retained vegetative branches conditions, medium-low densities (6.75×10^4 – 8.25×10^4 plants/ha) outperformed medium-high densities (9.75×10^4 – 11.25×10^4 plants/ha). The maximum seed cotton and lint yields were achieved with the combination of retained branches $\times$ 8.25×10^4 plants/ha, increasing by 14.2% and 14.3%, respectively, compared to the branch removal $\times$ 6.75×10^4 plants/ha treatment. Both increasing planting density and retaining vegetative branches significantly enhanced biomass yield, with a significant interaction between these factors. However, their interaction effect on seed cotton to stalk ratio was insignificant. Seed cotton to stalk ratio negatively correlated with biomass yield. The retained branches $\times$ 11.25×10^4 plants/ha treatment reduced seed cotton to stalk ratio by 35.4% (2022) and 26.5% (2023), respectively, compared to branch removal $\times$ 6.75×10^4 plants/ha. Neither branch management nor planting density significantly affected fiber quality. Appropriate density increases and retaining vegetative branches improved biomass yield and total boll number per unit area, facilitating higher yields while reducing labor inputs for simplified cultivation. For direct-seeded short-season cotton following garlic harvest in southwestern Shandong, the recommended practice is retained branches $\times$ 8.25×10^4 plants/ha.

Key words Cotton; Planting density; Pruning method; Interaction effect; Yield; Quality