

密度对露地直播春棉经济性状的影响

董灵艳,李凤瑞,史加亮,赵文超,王汝明,张东楼,齐洪鑫,张爱民,杨秀凤*

德州市农业科学研究院,山东 德州 253015

摘要:为确定鲁西北地区春季露地直播棉的适宜品种和种植密度,治理地膜污染,本试验采用两因素随机区组设计,以德棉10号、德棉13号、德棉14号和德棉16号4个春棉常规品种(系)为试验材料,设置高(9×10^4 株· hm^{-2})、中(6.75×10^4 株· hm^{-2})、低(4.5×10^4 株· hm^{-2})3种密度,以这4个品种在当地的常规种植模式为对照,探讨了密度对春季露地直播棉花的农艺性状、干物质积累、产量及纤维品质等重要性状的影响。结果表明:随着密度的增加,各品种的果枝数、单株铃数、铃重和衣分均显著降低;株高则先降低后升高的趋势;单株的根、茎、叶、铃壳、籽棉和单株干物质重均显著降低;纤维品质主要受品种的影响,马克隆值随密度增大显著降低。品种、密度和品种密度互作是影响籽棉产量的主要因素。当品种为德棉10号、密度为 9×10^4 株· hm^{-2} 时籽棉产量最高,为4 934.84 kg· hm^{-2} ,与 CK_4 产量相当,源库比为0.43。说明在露地直播条件下,选用适宜品种和适宜密度种植春季棉花能够从源头治理残膜污染。

关键词:密度;露地直播;棉花;经济性状;品种密度互作

中图法分类号: S562

文献标识码: A

文章编号: 1000-2324(2025)05-0874-06

Planting Density on Economic Traits of Spring open-field direct-seeded cotton

DONG Ling-yan, LI Feng-rui, SHI Jia-liang, ZHAO Wen-chao, WANG Ru-ming, ZHANG Dong-lou, QI Hong-xin, ZHANG Ai-min, YANG Xiu-feng*

Dezhou Academy of Agricultural Sciences, Dezhou 253015, China

Abstract: To determine the optimal varieties and planting densities for spring open-field direct-seeded cotton in Northwestern Shandong, as well as to mitigate plastic film pollution, this experiment adopts a two-factor randomized block design, using four conventional spring cotton varieties (strains)-Demian 10, Demian 13, Demian 14, and Demian 16 as experimental materials, with three density treatments: high (9×10^4 plants· ha^{-1}), medium (6.75×10^4 plants· ha^{-1}), and low (4.5×10^4 plants· ha^{-1}). Taking the local conventional planting mode of these four varieties as the control, the study explores the effects of density on key agronomic traits, dry matter accumulation, yield, and fiber quality of spring open-field direct-seeded cotton. The results show that with the increase of planting density, the number of fruit branches, number of bolls per plant, boll weight, and lint percentage of each variety significantly decrease. The plant height first decreases and then increases. The dry matter weights of roots, stems, leaves, boll shells, unginced cotton and single plant all significantly reduce. Fiber quality is mainly influenced by variety, and the micronaire value significantly decreases with increasing density. Variety, density and interaction of variety by density are the main factors affecting unginced cotton yield. The variety DM10 at a planting density of 9×10^4 plants· ha^{-1} achieves the highest unginced cotton yield of 4 934.84 kg· ha^{-1} , which is equivalent to the yield of CK_4 , with a source sink ratio of 0.43. These findings indicate that selecting suitable varieties and optimal planting densities for spring open-field direct-seeded cotton can effectively mitigate residual plastic film pollution at its source.

Keywords: Density; open-field direct-seeded; cotton; economic traits; interaction of variety by density

棉花是鲁西北地区重要的经济作物,地膜覆盖技术是该区棉花生产的主要栽培模式,具有明显的增温保墒^[1]、抑盐防草^[2-4]、提高肥料利用率^[5]等作用,对提高棉花单产水平和稳定棉花总产量具有极大贡献^[6]。至2023年,地膜覆盖应用于棉

花已有40年,且大多采用棉花全生育期覆盖或者棉花生长中期中耕破膜^[7],地膜残留在土壤中而不能有效地回收,而且残膜在土壤中很难完全降解,当尺寸达5 mm以下即形成微塑料,导致棉田残膜和微塑料污染问题尤为突出^[8,9]。基于此,露

收稿日期: 2023-11-30

修回日期: 2025-08-18

基金项目: 山东省现代农业产业技术体系棉花创新团队(SDAIT-03-05);山东省农业良种工程(2020LZGC002);德州市市级研发计划项目(德科字(2020)59号)

第1作者简介: 董灵艳(1984-),女,硕士,高级农艺师,研究方向:棉花育种与栽培。E-mail: donglingyan_123@126.com

*通讯作者: Author for correspondence. E-mail: yangxf2000@126.com

地直播栽培成为彻底治理地膜污染的防控措施。

与地膜覆盖相比,露地直播的土壤环境和群体结构有所改变,品种和密度也相应不同。确定适宜的品种和密度,充分协调光、温、水、肥、热等因子与群体结构的关系,是露地直播棉花高产的基础。近几年,露地直播棉的研究工作在我国不同棉区已被开展^[10-12],其中西北内陆棉区开展时间最早、研究方向最多、研究内容较为深入^[13-16],主要涉及播期、密度、灌水等对露地直播棉生长的影响,而品种和密度及其互作对露地直播棉生长的影响则无报道。相对于西北内陆等无膜植棉区,鲁西北地区属于半湿润地区,气候和土壤条件比西北内陆地区更有优势。因此,在本地区现有棉花种植制度的基础上,本试验探讨不同品种和密度及其互作对露地直播棉生长的影响,筛选适合鲁西北地区露地直播的适宜品种和种植密度,为该地区露地直播棉研究和生产提供理论依据。

表 1 2022 年德州市 5-10 月的气象资料

Table 1 Meteorological data of Dezhou from May to October in 2022

月份 Month	日平均气温/°C		降水量/mm		日照时数/h	
	Daily average temperature		Precipitation		Sunlight hours	
	2022	常年 Average year	2022	常年 Average year	2022	常年 Average year
5	20.4	20.2	8.1	45.5	280.1	263.7
6	27.2	25.3	104.0	70.7	248.0	241.7
7	26.9	26.8	287.7	161.9	192.5	209.8
8	26.5	25.5	185.1	119.5	163.3	215.3
9	21.6	20.8	2.6	30.4	261.3	210.7
10	13.5	14.5	127.3	31.3	164.9	203.5
总 Total	22.7	22.2	714.8	459.3	1 310.1	1 344.7

1.2 试验材料

供试棉花新品种(系)为德棉 10 号、德棉 13 号、德棉 14 号和德棉 16 号,均由德州市农业科学研究院自主选育和供种。其中德棉 10 号(鲁审棉 20200008)和德棉 14 号(鲁审棉 20230002)通过山东省审定,德棉 16 号通过国家审定(国审棉 20210019),德棉 13 号是选育的优良棉花新品种。4 个品种均属转基因中熟常规棉品种(系)。植株塔型,叶片中等大小,铃卵圆形,中等大小。其中,德棉 10 号丰产性好;德棉 13 号株高在 100 cm 以下,结铃性强,霜前衣分较高,纤维品质达“双 31”;德棉 14 号霜前衣分较高,结铃性强;德棉 16 号果枝较长,茎秆粗壮,铃较大,铃重和子指高,纤维品质优。

1 材料与方法

1.1 试验地土壤及气候概况

试验于 2022 年在德州市农业科学研究院现代农业科技园(37°21'15"N, 116°20'18"E)进行。试验地类型为壤质潮土,肥力中等,地势平坦,排灌条件良好。整地前施氮磷钾复合肥料(N、P₂O₅和 K₂O 的质量分数分别为 18%、20% 和 5%,中化山东肥业有限公司)600 kg·hm⁻²做底肥。前茬作物为多年连作棉花,棉花人工收获后秸秆机械还田。

德州市属于暖温带半湿润大陆性季风气候,太阳能资源较丰富地区。表 1 为 2022 年德州市棉花生长期内的气象资料(来源于德州市气象局)。5-10 月份,日平均气温 22.7 °C,比常年高 0.5 °C,降水量 714.8 mm,比常年高 255.5 mm,日照时数 1 310.1 h,比常年低 34.6 h。

1.3 试验方法

试验采用两因素完全随机区组设计,其中,A 因素表示棉花品种(系),4 个水平,A₁是德棉 10 号,A₂是德棉 13 号,A₃是德棉 14 号,A₄是德棉 16 号;B 因素表示种植密度,3 个水平,B₁是 4.5×10⁴株·hm⁻²(低密度),B₂是 6.75×10⁴株·hm⁻²(中密度),B₃是 9×10⁴株·hm⁻²(高密度),小区行长 8 m,行距 0.76 m,长宽比 2.63,小区面积 24.32 m²,3 次重复。露地直播。5 月 6 日播种,田间管理措施按当地无膜栽培措施进行^[17]。CK 为当地常规覆膜种植模式,CK₁、CK₂、CK₃、CK₄分别为 A₁、A₂、A₃、A₄的常规种植模式,田间管理措施同当地一般大田。

1.4 测定项目与方法

在每个小区,连续选取 5 株生长一致的植株,

在铃期调查株高、果枝数、单株铃数。在吐絮期每小区取长势均匀的 2 株棉株,分成根、茎、叶、铃壳、籽棉,于挂藏室内自然晾晒 2 个月后,称其质量,为植株各器官干物质重,5 者之和为单株干物质重,叶与籽棉的质量比值为源库比。收获前在每个小区收取吐絮好的中部内围棉铃 50 铃进行考种、轧花,测铃重、衣分和子指,取轧花后的皮棉 20 g 送农业农村部棉花品质监督检验测试中心测纤维品质。收获期对各小区分 2 次进行实际收花计产,2 次收花产量之和为小区籽棉产量。

1.5 数据处理

采用 Microsoft Excel 2007 进行数据整理和处理,利用 DPS 7.05 版软件进行两因素随机区组方差分析(固定模型)和 Duncan 法多重比较($P < 0.05$)。除产量和株高外,其他性状均不受 A 和 B 互作影响,所以对产量之外的其他性状只进行了 A 因素间和 B 因素间的多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同处理下的棉花农艺和产量性状比较分析

由表 2 可以看出,品种(A)和密度(B)均显著影响果枝数、株高、铃重和衣分,品种还显著影响单位面积铃数和子指,密度还显著影响单株铃数。品种密度互作(A×B)仅显著影响株高。 A_2 与 A_4 的株高和子指、 A_2 与 A_3 的单株铃数和衣分、(A_2 、 A_3 与 A_4)的果枝数、 A_4 的铃重、 A_2 的单位面积铃数均显著大于其他品种。各品种的果枝数、单株铃数随着密度的增加均显著降低;各品种的铃重和衣分随着密度的增加均显著降低,但在 B_2 、 B_3 时无差异。各品种的株高则随着密度的增加呈先降低后升高的趋势。B 因素对果枝数($F=32.28^*$)、衣分($F=28.90^{**}$)的影响均大于 A 因素对果枝数($F=3.89^*$)、衣分($F=16.27^{**}$)的影响。A 因素($F=9.26^{**}$)对株高的影响大于 B($F=3.52^*$)因素和 A×B 互作($F=3.07^*$)对株高的影响。

表 2 密度与品种对棉花农艺性状和产量性状的影响
Table 2 Density and variety on the agronomic and yield traits of cotton

处理 Treatment	果枝数 Number of fruit branches	株高/cm Plant height	铃重/g Boll weight	单株铃数 Boll number per plant	单位面积铃数/ ($\times 10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$) Boll number per unit area	衣分/% Lint percentage	子指/g Seed index	
A	A1	11.3±1.1b	84.6±2.8b	6.3±0.2b	16.5±4.7a	104.7±18.3b	33.5±0.8b	12.7±0.4b
	A2	12.3±1.3a	93.3±6.0a	6.3±0.2b	19.2±4.7a	122.1±14.0a	34.5±0.6a	13.4±0.3a
	A3	12.0±0.8a	88.0±5.3b	6.2±0.3b	17.1±5.0a	108.0±12.6b	34.7±0.8a	11.6±0.4c
	A4	12.0±0.9a	94.1±6.9a	6.5±0.2a	16.6±5.5a	103.1±12.2b	33.5±1.0b	13.3±0.4a
B	B1	12.8±0.6a	92.0±7.2a	6.5±0.1a	22.7±3.2a	102.2±14.3a	34.9±0.7a	12.7±0.8a
	B2	12.0±0.7b	87.3±4.9b	6.3±0.2b	16.8±2.9b	113.6±19.2a	33.7±0.8b	12.9±1.0a
	B3	10.9±0.7c	90.7±6.9ab	6.3±0.3b	12.5±1.3c	112.5±11.5a	33.5±0.7b	12.6±0.7a
F 值 F value	A	3.89*	9.26**	4.34*	2.53	3.54*	16.27**	52.62**
	B	32.28*	3.52*	6.51**	52.68**	2.49	28.90**	2.34
A×B	0.97	3.07*	0.85	1.11	1.32	1.33	1.20	

注:同列不同字母表示差异显著($P < 0.05$),* $P < 0.05$,** $P < 0.01$ 。表中字母分别表示不同品种间的多重比较和不同密度间的多重比较。下同。

Note: Different letters in the same column indicate significant differences at 0.05 level, * indicate significant differences at 0.05 level, ** indicate extremely significant differences at 0.01 level. The letters in the table represent multiple comparisons respectively between different varieties and between different densities. The same as below.

2.2 不同处理下的棉花干物质积累和分配

由表 3 可以看出,密度显著影响棉花各品种的根、茎、叶、铃壳、籽棉、单株干物质重,但不影响单位面积植株干物质重和源库比。品种和品种密度互作对各性状则无显著影响。随着密度的增大,棉花各品种的根、茎、叶、铃壳、籽棉、单株的干物质重均显著降低,均以 B_1 最高,而单位

面积植株干物质重则呈增加趋势,但密度间差异不显著。根、叶的干物质重在 B_1 显著高于 B_2 、 B_3 ,但在 B_2 和 B_3 之间无显著差异。说明增加密度会抑制单株各器官和整个单株的干物质积累,但不会影响单位面积植株干物质积累。各品种的源库比大小依次为 $A_1=A_2>A_4>A_3$,源库比随着密度的增大先降低后增加。

表 3 密度与品种对棉花干物质积累与分配的影响
Table 3 Density and variety on the accumulation and distribution of dry matter in cotton

处理 Treatment	根/g Root	茎/g Stem	叶/g Leaf	铃壳/g Boll shell	籽棉/g Unginned cotton	单位面积干物 质/g Dry matter weight per unit area	单株干物质/g Dry matter weight per plant	源库比 Source-sink ratio	
A	A1	15.1±3.2a	52.2±14.4a	30.0±12.0a	32.7±13.8a	65.9±25.1a	1219.9±195.7a	195.9±67.0a	0.46±0.08a
	A2	14.0±2.8a	52.9±9.2a	30.0±11.9a	34.0±9.6a	69.7±22.9a	1290.8±253.2a	200.6±48.9a	0.46±0.17a
	A3	13.7±3.3a	53.2±12.2a	26.9±13.0a	31.5±10.5a	66.6±22.7a	1212.6±210.9a	191.9±55.5a	0.41±0.18a
	A4	14.6±2.7a	52.8±8.1a	26.4±6.6a	32.8±9.6a	69.5±22.7a	1256.7±230.5a	196.1±45.6a	0.42±0.17a
B	B1	17.0±2.6a	64.1±6.1a	37.0±11.4a	43.2±6.9a	90.3±16.2a	1132.1±147.6a	251.6±32.8a	0.42±0.15a
	B2	13.8±2.1b	51.1±6.6b	25.4±6.7b	32.4±6.8b	67.8±11.2b	1285.3±183.5a	190.4±27.2b	0.38±0.11a
	B3	12.2±1.8b	43.2±6.7c	22.6±8.4b	22.7±5.7c	45.7±11.5c	1317.6±268.0a	146.4±29.8c	0.51±0.18a
F 值	A	0.90	0.05	0.42	0.19	0.17	0.27	0.13	0.24
	B	17.51**	41.75**	8.51**	26.05**	29.16**	2.73	37.80**	2.19
F value	A×B	1.38	2.25	1.30	0.67	0.50	1.31	1.13	1.20

2.3 不同处理下的棉花产量

由表 4 可以看出, A 因素对籽棉产量影响极显著, A₄ 显著高于 A₁、A₃, 与 A₂ 差异不显著; B 因素对籽棉产量影响极显著, 产量随密度增大而增大, B₃、B₂ 显著高于 B₁, B₃ 与 B₂ 差异不显著; A 与 B 互作也对籽棉产量影响极显著, 且 A 与 B 互作 (F=12.37**) 对籽棉产量影响要大于 A 因素 (F=7.71**) 和 B 因素 (F=10.30**) 的影响。各处理之间籽棉产量存在差异显著性, A₁B₃ 的籽棉产量最高, 为 4934.84 kg·hm⁻², A₁B₃、CK₄、CK₂ 与 CK₃、A₄B₃ 无差异显著性, 但显著高于其他处理, CK₃、A₄B₃ 与 A₂B₂、A₄B₂、CK₁ 无差异显著性, 但显著高于其他处理, 各处理排列顺序为: A₁B₃>CK₄>CK₂>CK₃>A₄B₃>A₂B₂>A₄B₂>CK₁>其他处理, A₁B₃ 等排列前 7 位的处理分别比 CK₁ 增产 16.90%、16.23%、13.64%、8.44%、7.90%、2.00%、0.72%, 即在所有组合中, 当品种为德棉 10 号和德棉 16 号、密度为 9×10⁴株·hm⁻²时 (A₁B₃ 和 A₄B₃) 均可种植。

由表 4 还可以看出, 不同品种对密度的反应不同, 德棉 10 号和德棉 16 号的产量均随密度增大而增大, 在密度为 B₃ 时达最高, 德棉 10 号在 B₃ 时显著高于 B₁ 和 B₂, 而德棉 16 号在 B₃ 时显著高于 B₁, 和 B₂ 差异不显著; 德棉 13 号产量随密度增大先升高后降低, 在 B₂ 时达最高, 但 3 种密度下差异不显著; 德棉 14 号产量在 B₁ 和 B₂ 时显著高于 B₃, B₁ 和 B₂ 之间无显著差异。说明德棉 10 号适合高密度种植, 德棉 13 号对密度适应性较广, 3 种密度均可, 德棉 14 号则适合中、低密度种植, 德棉 16 号则适合中、高密度种植。

表 4 各处理籽棉产量的方差分析和多重比较
Table 4 Analysis of variance and multiple comparisons of unginced cotton yield in different treatments

品种 Variety	密度 Density			CK
	B ₁	B ₂	B ₃	
A ₁	3 194.57e	3 589.06de	4 934.84a	4 221.49bc
A ₂	3 900.36cd	4 305.92bc	3 912.03cd	4 797.15a
A ₃	3 807.68cd	3 829.96cd	3 299.12e	4 577.85ab
A ₄	3 867.79cd	4 251.70bc	4 554.82ab	4 906.80a
F 值	A	7.71**	4.82 (F _{0.01})	
	B	10.30**	5.72 (F _{0.01})	
F value	A×B	12.37**	3.76 (F _{0.01})	

注: 不同字母表示差异显著 (P<0.05)。

Note: Different letters indicate significant differences at 0.05 level.

2.4 不同处理下的棉花纤维品质性状

由表 5 可以看出, 品种显著影响上半部平均长度、整齐度指数、断裂比强度、马克隆值和伸长率。密度显著影响上半部平均长度和马克隆值。品种密度互作对各品质性状则无显著影响。A₂ 的上半部平均长度、断裂比强度和伸长率均显著高于其他品种; A₂、A₃ 的整齐度指数与 A₄ 无差异, 但显著高于 A₁; 由于马克隆值在 B 级 4.3~4.9 范围内越小越好, 所以 A₄、A₁、A₂ 要显著优于 A₃。B₃ 的上半部平均长度和马克隆值要优于 B₂ 和 B₁。A 因素 (F=52.73**) 对上半部平均长度的影响大于 B 因素 (F=4.69*) 对上半部平均长度的影响。B 因素 (F=23.58**) 对马克隆值的影响大于 A 因素 (F=4.47*) 对马克隆值的影响。品种以 A₂ (德棉 13 号) 最佳, 密度以 B₃ (9×10⁴株·hm⁻²) 最佳。

表 5 密度与品种对棉花纤维品质的影响
Table 5 Density and variety on cotton fiber quality

处理 Treatment	上半部平均长度/mm Upper half mean length	整齐度指数/% Uniformity index	断裂比强度/(cN·tex ⁻¹) Fibre strength	马克隆值 Micronaire	伸长率/% Elongation	
A	A1	28.2±0.6b	84.0±1.3b	30.2±1.3b	4.5±0.2b	6.6±0.1b
	A2	30.4±0.8a	85.2±0.7a	32.5±1.6a	4.6±0.2b	6.7±0.1a
	A3	27.3±0.6c	85.1±0.8a	28.7±1.1c	4.7±0.1a	6.5±0.1b
	A4	28.5±0.4b	84.8±0.8ab	30.9±0.5b	4.5±0.2b	6.6±0.0b
B	B1	28.7±1.2ab	84.8±0.9a	30.7±2.1a	4.7±0.1a	6.6±0.1a
	B2	28.3±1.2b	84.5±1.0a	30.0±1.6a	4.6±0.1b	6.6±0.1a
	B3	28.9±1.5a	85.0±1.1a	31.0±1.6a	4.4±0.1c	6.6±0.1a
F 值	A	52.73**	3.64*	16.70**	4.47*	9.37**
F value	B	4.69*	1.29	2.64	23.58**	0.81
	A×B	2.23	1.27	1.13	0.44	1.28

3 讨论

3.1 密度对棉花的农艺性状的影响

密度显著影响棉花的农艺性状,直接影响棉花株型和群体结构^[16],包括株高、果枝数、果枝长度、铃数、铃重、干物质积累等指标,进而影响产量的变化。本研究中,A₂的果枝数、单株铃数、单位面积铃数和子指均高于其他品种,A₄的株高和铃重均高于其他品种,A₃的衣分高于其他品种,这是由品种的基因决定的。随着密度的增加,各品种的果枝数、单株铃数、铃重均显著降低,这一结果与多数文献研究结果一致^[18-20];株高整体上随密度增加呈先降低后升高的趋势,但各个品种则表现不同,A₁和A₂呈降低趋势,A₃和A₄呈先降低后升高的趋势,这与周永萍研究结果一致^[21]。关于密度与株高的关系,前人说法不一^[19-21],这可能与株高受品种的影响较大有关,本文中株高受品种、密度和品种密度互作共同作用,而且品种对株高的影响大于密度和品种密度互作对株高的影响;本文中衣分随着密度的增加而降低,这与赖奕英等的研究结果一致^[18,20,22],而与王燕等的研究结果不一致^[19,23],这可能也与所用品种不同有关;本文中高、中密度时的单位面积铃数大于低密度时的单位面积铃数,但差异不显著,单位面积铃数随密度增加基本呈先增加后降低的趋势,这与周永萍等的研究结果一致^[23],说明在6.75×10⁴株·hm⁻²(中密度)时单位面积铃数最多。

3.2 密度对棉花干物质积累与分配的影响

植株干物质积累与分配直接影响棉花产量,合理的“库”“源”比例是棉花获得高产的基础,种植密度则直接影响干物质积累。各器官干物质

和单株干物质积累随密度增大显著降低,单位面积干物质积累则呈增加趋势,但差异不显著,在本研究密度范围内,这与前人的结论一致^[23,24]。密度增加,单株所占空间减少,植株各器官生长受到抑制,密度越大,受到抑制作用越强,尤其对横向生长的抑制,使株型更加紧凑,造成棉田郁闭,蕾铃脱落和烂铃,单株干物质积累降低,这与前人说法一致^[25]。随着密度的增大,单位面积干物质积累增加不显著,密度为9×10⁴株·hm⁻²时,单位面积干物质积累最大,各器官干物质和单株干物质积累最小,此时源库比达最大值0.51。叶和铃的内在联系作为棉株“库源”关系的核心内容,直接决定了棉花产量和品质^[26],所以本研究以叶与籽棉干重比值作为源库比。

3.3 密度对棉花产量的影响

产量的形成受遗传因素和栽培、气候条件等外界环境的综合影响。通过分析,本研究中品种、密度和品种密度互作对产量的影响均达到显著水平。品种间差异显著,A₄的平均产量最高,达4 224.77 kg·hm⁻²,其次是A₂;密度间差异显著,平均产量大小依次为B₃>B₂>B₁,在B₃时达4 175.21 kg·hm⁻²,但由于品种密度互作对产量的影响要大于品种和密度对产量的影响,最后导致组合A₁B₃的产量最高。由表4也能说明,不同品种适合不同的密度,才能发挥最大增产潜力,密度过高和过低都会减产^[24,25,27]。本研究表明,在一定密度范围内,产量提高是因为单位面积铃数随密度的增大而增大,抵消了单株铃数减少对产量的影响,这与成芳等^[28]的研究结果一致。同时本文种植密度为B₃时可以构建增密壮株型群体,符合黄河流域的棉花轻简化栽培模式。

4 结论

在 $4.5 \times 10^4 \sim 9.0 \times 10^4$ 株 \cdot hm $^{-2}$ 范围内,高密度会显著抑制棉花单株生长,但对单位面积植株群体生长影响不明显。纤维品质主要受品种的影响。品种、密度和品种密度互作是影响棉花产量的主要因素,不同品种有不同的适宜种植密度,当品种为德棉10号和德棉16号、密度为 9×10^4 株 \cdot hm $^{-2}$ 时籽棉产量最高,分别为4 934.84 kg \cdot hm $^{-2}$ 和4 554.82 kg \cdot hm $^{-2}$,与对照中产量最高的CK $_4$ 相比,分别增产0.57%、减产7.17%。纤维品质较好,源库比合适。说明在露地直播条件下,综合考虑产量和成本问题,春季棉花种植是可行的,能够从源头上彻底防治该地区的地膜污染。

参考文献

- [1] Liang H, Hu KL, Qin W, et al. Modelling the effect of mulching on soil heat transfer, water movement and crop growth for ground cover rice production system[J]. *Field Crops Research*, 2017,201:97-107.
- [2] Zhao H, Xiong YC, Li FM, et al. Plastic film mulch for half growing-season maximized WUE and yield of potato via moisture-temperature improvement in a semi-arid agroecosystem[J]. *Agricultural Water Management*, 2012,104(C): 68-78.
- [3] 刘燕,韩勇,顾超,等.高垄与覆膜方式对盐碱地棉花生长发育的影响[J]. *棉花科学*,2013,35(06):36-39.
- [4] Jiang XJ, Liu WJ, Wang EH, et al. Residual plastic mulch fragments effects on soil physical properties and water flow behavior in the Minqin Oasis, northwestern China[J]. *Soil and Tillage Research*, 2017,166:100-107.
- [5] 张金瑞,任思洋,戴吉照,等.地膜对农业生产的影响及其污染控制[J]. *中国农业科学*,2022,55(20):3983-3996.
- [6] 丁凡,吕军,刘勤,等.我国棉花主产区变化与地膜残留污染研究[J]. *华中农业大学学报*,2021,40(06):60-67.
- [7] 祁虹,赵贵元,王燕,等.我国棉田残膜污染危害与治理措施研究进展[J]. *棉花学报*,2021,33(02):169-179.
- [8] Chamas A, Moon H, Zheng JJ, et al. Degradation rates of plastics in the environment[J]. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 2020,8(9):3494-3511.
- [9] Law KL, Thompson RC. Microplastics in the seas[J]. *Science*, 2014,345(6193):144-145.
- [10] 穆建国,康发礼,梁雯雯,等.新疆南疆无膜棉栽培技术[J]. *中国棉花*,2021,48(06):43-44.
- [11] 赵贵元,刘建光,耿昭,等.冀中南棉花无膜栽培技术[J]. *中国棉花*,2021,48(12):34-35.
- [12] 路正营,齐海坤,孙璐,等.黄河流域冀南棉区无膜种植下播期对棉花产量及株型性状的影响[J]. *江苏农业科学*,2021,49(09):58-64.
- [13] 陈雪梅.生物有机肥部分替代化肥对无膜棉生长特性及肥料利用效率的影响[D].阿拉尔:塔里木大学,2022:4-5.
- [14] 李志鹏,万素梅,胡守林,等.不同灌水频率和灌溉定额对南疆无膜棉蕾铃时空分布及产量形成的影响[J]. *棉花学报*,2022,34(05):383-400.
- [15] 林熬,高振,王冀川,等.不同调控模式对无膜棉生长与结铃特性的影响[J]. *天津农业科学*,2021,27(09):10-15+28.
- [16] 李同蕊,高振,王冀川.播期和密度对无膜棉生长的影响研究进展[J]. *现代农业科技*,2021,783(01):5-8.
- [17] 董灵艳,史加亮,赵文超,等.山东德州无膜春棉绿色栽培技术[J]. *中国棉花*,2022,49(03):30-31.
- [18] 赖奕英,郭承君,占东霞,等.不同种植密度对新疆棉花产量及纤维品质的影响[J]. *中国棉花*,2019,46(09):16-18.
- [19] 王燕,王树林,张谦,等.机采棉主要农艺性状与密度相关性分析[J]. *作物杂志*,2019,193(06):66-70.
- [20] 戴茂华,吴振良,刘丽英,等.种植密度对棉花生育动态、产量和品质的影响[J]. *华北农学报*,2014,29(增刊):146-154.
- [21] 周永萍,田海燕,崔瑞敏.种植密度对3个棉花品种生长发育和产量品质的影响[J]. *农学学报*,2019,9(12):5-8.
- [22] 周相,冯璐,刘锦涛,等.不同种植方式和密度对棉花干物质积累特征及产量形成的影响[J]. *山东农业科学*,2022,54(03):43-48.
- [23] 周永萍,杜海英,田海燕,等.不同种植密度对棉花生长结铃及产量品质的影响[J]. *干旱区资源与环境*, 2018,32(04):95-99.
- [24] 邢晋,张思平,赵新华,等.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(01):53-61.
- [25] 李同蕊,高振,王冀川.播期和密度对无膜棉生长的影响研究进展[J]. *现代农业科技*,2021,783(01):5-8.
- [26] 陈义珍.库源比调控棉花叶片衰老的生理与分子机制研究[D].济南:山东大学,2018.
- [27] 王家勇,张俊尧,唐江华,等.种植密度与缩节胺用量对76 cm等行距棉花株型结构及产量的影响[J]. *干旱地区农业研究*,2024,42(02):97-109.
- [28] 成芳,覃业玲,张宁,等.播期、密度及甲哌(翰)化控对直播棉生长发育、产量及品质的影响[J]. *江苏农业科学*,2025,53(01):59-66.