

谢晓麒, 彭杰, 张钊, 等. 施氮水平对油菜收获后直播棉花光合特性和产量的影响[J]. 华中农业大学学报, 2024, 43(6): 201-209.
DOI: 10.13300/j.cnki.hnlkxb.2024.06.019

施氮水平对油菜收获后直播棉花 光合特性和产量的影响

谢晓麒, 彭杰, 张钊, 邱深, 姚晓芬, 杜轩, 杨国正

华中农业大学植物科学技术学院/湖北洪山实验室, 武汉 430070

摘要 为探讨长江流域棉区基于“增产不增投”理念的油菜收获后直播棉花合理施氮量, 选用早熟棉品种华棉3097, 于2022—2023年开展大田试验, 考查施氮180(N₁₈₀)、210(N₂₁₀)、240(N₂₄₀)、270(N₂₇₀)、300(N₃₀₀)、330(N₃₃₀) kg/hm²棉花生长发育、光合特性和产量表现。结果显示: N₂₇₀和N₃₀₀棉花产量相当, 但高于N₁₈₀和N₃₃₀。N₂₇₀水平下2 a平均籽棉产量比N₁₈₀和N₃₃₀分别提高7.0%和5.4%, 该施氮量的单位面积铃数比N₁₈₀和N₃₃₀分别高24.9%和21.6%, 各施氮水平间株高、果枝数、果枝起始高度、绿叶数和节位数表现类似。棉花冠层透光率随生育进程降低, 随施氮量增加而降低, 冠层高度30~50 cm和棉行20 cm内, N₂₇₀比N₃₃₀高23.9%, 比N₁₈₀低10.0%, 与N₃₀₀相当。N₂₇₀(N₃₀₀)净光合速率、蒸腾速率和气孔导度高于N₁₈₀和N₃₃₀; N₂₇₀胞间CO₂浓度低于N₁₈₀和N₃₃₀。可见, 油菜收获后直播棉花施氮270 kg/hm²有利于棉花生长发育, 可以增加单位面积铃数, 改善冠层透光状况, 提高光合性能, 从而获得较高产量。

关键词 直播棉花; 施氮水平; 冠层透光率; 光合特性; 产量; “增产不增投”

中图分类号 S562; S143.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2024)06-0201-09

针对湖北省棉花生产劳动力密集、管理工序繁多、生产成本高的问题, 前人通过改育苗移栽为小麦(油菜)收获后直播, 配合高密、低氮、秸秆还田、阈值管理等栽培措施, 在维持棉花产量相当的前提下, 降低了生产投入, 提高了植棉效益^[1-2], 实现了“减投不减产”的高效生产, 因而在大面积生产中得到广泛应用。然而, 降低棉花生产成本不是我们的目标, 而提高棉花产量以满足人们对棉花产品的需求^[3-4]、实现“增产不增投”的棉花高效生产才是我们努力的方向。为此, 我们有必要探讨小麦(油菜)收获后直播棉花高产栽培技术。

长期以来, 棉花产量的提高依赖于化学肥料的大量投入^[5], 但氮肥施用显著影响棉花的农艺性状^[6-8]。唐江华等^[5]、马云珍等^[6]和刘成敏^[9]都认为, 在一定范围内, 增加施氮量可增加棉花株高和茎粗, 促进棉花生产发育, 提高棉花产量。秦鸿德等^[8]和王燕等^[7]也发现, 随施氮量(在设置范围内)增加, 棉花果枝数、果枝长度和单位面积铃数增加, 棉花产量得

以提高。也有学者认为施氮量会影响棉花群体对光能的有效利用, 适当增加施氮量可以增加冠层有效光截获量, 有利于群体的光能利用, 从而获得更高产量^[10-11]。但是, 在长江流域麦(油)后直播、增加种植密度条件下, 适当减少氮肥用量, 且集中在开花期施用也可获得较高棉花产量^[12], 因为棉花对氮肥的吸收高峰集中在开花后20 d内^[13]。本研究设置不同氮肥用量水平, 采用以见花当日为重点的多次施肥方法, 以期探讨获得油菜收获后直播棉花最高产量的适宜氮肥用量。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2022年和2023年在华中农业大学试验农场(30°46'N, 114°36'E, 海拔23 m)进行, 前茬作物为冬油菜, 油菜收获后秸秆还田。供试土壤为黄棕壤土, 耕层(0~20 cm)土壤含碱解氮74.0 mg/kg、速效磷12.7 mg/kg、速效钾136.0 mg/kg。棉花生长期

收稿日期: 2023-12-25

基金项目: 湖北洪山实验室项目(2021hszd006)

谢晓麒, E-mail: xiexiaoqi199907@163.com

通信作者: 杨国正, E-mail: ygzh9999@mail.hzau.edu.cn

间,日平均气温分别为27.4℃(2022年)和27.7℃(2023年),总降水量分别为169.9 mm(2022年)和267.4 mm(2023年)。

1.2 试验设计

完全随机区组设计,6个施氮水平(kg/hm²)分别为180(N₁₈₀,小麦或油菜收获后直播棉花适宜用量)、210(N₂₁₀)、240(N₂₄₀)、270(N₂₇₀)、300(N₃₀₀,常规育苗移栽棉花适宜用量)、330(N₃₃₀),按1:6:2:1分4次(播种前、见花0 d、见花7 d、见花14 d)施用(表1)。小区面积28.8 m²(12 m×2.4 m),4次重复,其中第4重复用于破坏性取样。

选用大田生产推广棉花品种‘华棉3097’(华中农业大学选育),分别于2022年5月13日和2023年5月21日播种。种植密度9株/m²,行距60 cm,株距18.52 cm。除氮肥按处理要求用量施用外,钾肥(K₂O)施用量为240 kg/hm²,播种前和见花0 d各占50%,磷肥(P₂O₅)84 kg/hm²和硼肥(B)1.5 kg/hm²,播种前一次性施用。所用肥料为尿素(N,46%)、氯化钾(K₂O,60%)、过磷酸钙(P₂O₅,12%)和硼砂(B,10%)。其他田间管理措施与当地大田生产一致。

表1 油菜收获后直播棉花施氮量

Table 1 The application dosage of nitrogen for direct sown cotton after rapeseed harvested

处理 Treatments	kg/hm ²			
	播种前 Pre-plant (10%)	见花0 d 0 DFF (60%)	见花7 d 7 DFF (20%)	见花14 d 14 DFF (10%)
N ₁₈₀	18	108	36	18
N ₂₁₀	21	126	42	21
N ₂₄₀	24	144	48	24
N ₂₇₀	27	162	54	27
N ₃₀₀	30	180	60	30
N ₃₃₀	33	198	66	33

注:DFF表示见花后天数。Note: DFF means days after the first flower appearance.

1.3 农艺性状测定

现蕾期在1~3重复的每小区中同一行固定连续的15株,于8月15日调查棉花株高、株宽、果枝数、第1果枝高度、主茎节位数、主茎绿叶数、高节比等农艺性状。

1.4 冠层透光率测定

将木质框架(高100 cm,宽60 cm,长100 cm)置于行间,其垂直高度分为4层(离地面30、50、70、100 cm),左右宽度分为7点(从框架一侧起,每点相距10 cm)。分别于初花期、盛花期、结铃期、吐絮期的,

12:00时采用植物冠层分析仪(SunScan,DELTA-T,UK)测定棉花各层光合有效辐射强度,以顶层光合有效辐射强度为比较基数,计算各层透光率(各层透光率为所在层光合有效辐射强度占顶层光合有效辐射强度的百分比)。

1.5 光合特性测定

采用LI-6800光合荧光全自动测量系统(美国LI-COR公司),分别于蕾期、初花期、盛花期、结铃期和吐絮期测定棉花功能叶净光合速率、蒸腾速率、气孔导度和胞间CO₂浓度。

1.6 产量及其构成因素考查

每年分3次(2022年8月25日、9月27日、10月24日,2023年9月4日、9月27日、10月21日)人工收获籽棉,晒干,称质量,即为实际籽棉产量。其中,第1次采收前取正常吐絮棉铃100个,考查棉铃质量和衣分。

1.7 数据统计分析

采用Microsoft Excel 2021(Microsoft, Bothell, WA, US)整理数据,Statistix 9.1 (Analytical Software, Tallahassee, FL, US)进行方差分析,LSD (least significance difference)比较处理间差异。

2 结果与分析

2.1 不同施氮水平下棉花产量及其构成因素

试验结果显示,棉花产量受年份、施氮水平的影响,其差异主要来源于单位面积铃数,而棉铃质量主要受年份影响,衣分比较稳定(表2)。

与2022年相比,2023年棉花籽棉和皮棉产量分别增加了26.9%和27.9%,单位面积铃数增加了8.5%,棉铃质量增加了19.6%,衣分相当。

N₃₀₀籽棉产量(2 a平均2 893 kg/hm²)最高(但2023年与N₂₇₀无差异),而N₂₇₀皮棉产量(2 a平均1 141 kg/hm²)最高(但与N₃₀₀无差异),均显著高于N₁₈₀和N₃₃₀。

施氮量增加时,衣分没有变化,而单位面积铃数先增后降。后者表现为,N₃₀₀(77.5个/m²)最多,N₁₈₀最少(59个/m²),其中2022年N₃₀₀>N₂₇₀(N₂₄₀)>N₃₃₀>N₂₁₀(N₁₈₀),2023年N₂₇₀(N₃₀₀)>N₂₄₀(N₂₁₀)>N₁₈₀>N₃₃₀。

棉花产量(y)与施氮量(x)呈二次函数关系(图1),其中籽棉产量与施氮量关系式为y=1143.34+10.66x-0.021x²(2022年,图1A)和y=396.71+21.08x-0.040x²(2023年,图1B),当施氮量为252.4和263.5 kg/hm²时,籽棉产量分别可达理论最大值

表2 棉花产量及其构成因素
Table 2 Cotton yield and its components

年份 Year	处理 Treatments	产量/(kg/hm ²) Yield		铃数 Bolls per m ²	棉铃质量/g Boll weight	衣分/% Lint percent
		籽棉 Seed cotton	皮棉 Lint			
2022	N ₁₈₀	2 357.6d	910.8d	54.3cd	3.7a	38.2a
	N ₂₁₀	2 403.4c	947.2bc	50.1d	3.7a	38.1a
	N ₂₄₀	2 452.5b	973.3ab	64.9b	3.7a	38.3a
	N ₂₇₀	2 465.0b	985.3a	66.9b	3.6a	38.3a
	N ₃₀₀	2 512.2a	978.5ab	73.6a	3.7a	38.4a
	N ₃₃₀	2 394.1cd	920.2cd	58.6c	3.6a	38.4a
2023	N ₁₈₀	2 934.6d	1 141.5b	64.5c	4.1b	38.4a
	N ₂₁₀	3 068.9bcd	1 195.7b	71.3b	4.4a	38.4a
	N ₂₄₀	3 108.8bc	1 203.6b	71.6b	4.5a	38.4a
	N ₂₇₀	3 196.8ab	1 296.4a	81.4a	4.3ab	38.5a
	N ₃₀₀	3 274.3a	1 301.3a	80.5a	4.4a	38.4a
	N ₃₃₀	2 979.2cd	1 195.3b	63.4c	4.5a	38.2a
N×Y		ns	ns	**	ns	ns

注：同一列中不同小写字母表示处理间存在显著差异(P<0.05)。**表示在0.01水平上存在显著差异。ns表示无差异。下同。
Note: Different letters in the same column indicate significant differences between treatments (P < 0.05). ** indicate significant differences at 0.01 probability levels. And ns means there is no difference. The same as below.

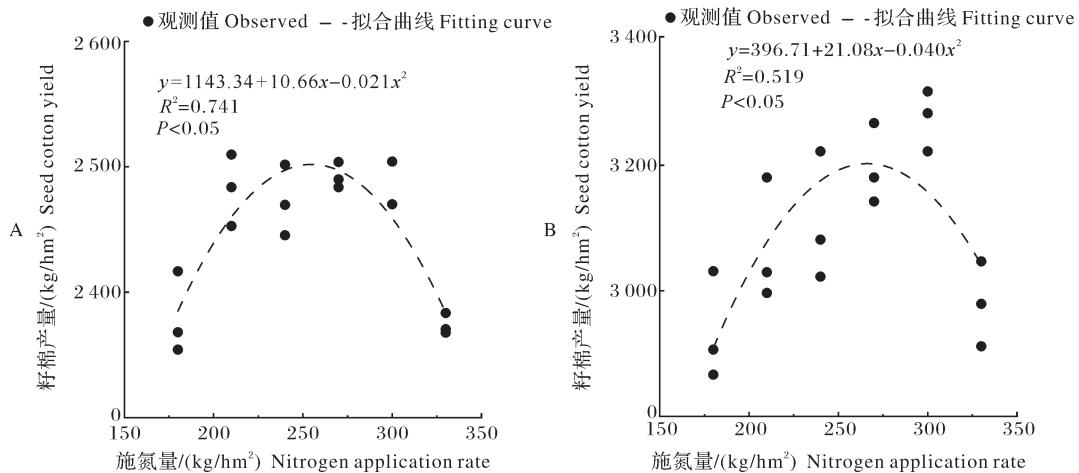


图1 2022年(A)和2023年(B)籽棉产量(y)与施氮量(x)关系

Fig.1 Quadratic fitting function between seed cotton yield (y) and nitrogen application dosage(x) in 2022(A) and 2023(B) 2 496.1和3 174.0 kg/hm²。

皮棉产量与施氮量关系式为 $y=166.39+6.27x-0.012x^2$ (2022年, 图 2A) 和 $y=51.06+8.87x-0.016x^2$ (2023年, 图 2B), 当施氮量为 261.2 和 277.2 kg/hm² 时, 皮棉产量分别可达理论最大值 985.4 和 1 280.4 kg/hm² (图 2)。

2.2 不同施氮水平下棉花的农艺性状

田间调查结果显示, 随施氮量增加, 棉花株高、果枝数、果枝起始高度、主茎绿叶数和主茎节位数增加 (表 3)。总体来看, N₂₇₀ 的这些性状较 N₃₀₀ 和 N₃₃₀ 低或无差异, 但较 N₁₈₀~N₂₄₀ 高。其中 2022 年株高、果枝数、果枝起始高度和主茎节位数 N₂₇₀ 比 N₁₈₀~

N₂₄₀ 平均值分别高 1.8%、8.0%、8.8% 和 4.0%, 2023 年高 10.8%、3.5%、36.7% 和 6.2%。

不同年份间, 株高、果枝数、主茎绿叶数和高节比 2023 年比 2022 年份分别增加 4.3%、13.0%、32.0% 和 5.1%。2 a 间株宽、果枝起始高度和主茎节位数相近。

2.3 不同施氮水平下棉花的叶面积指数

棉花叶面积指数随生育进程持续增加 (2022 年, 图 3A), 或在结铃期达最大值后下降 (2023 年, 图 3B)。结铃期和吐絮期 N₃₀₀ 与 N₃₃₀ 处理下叶面积指数无差异, N₂₇₀ 低于 N₃₃₀, 但显著高于 N₁₈₀; 但结铃期 N₂₇₀ 处理 2 a 平均叶面积指数较 N₁₈₀ 增加 45.7%。

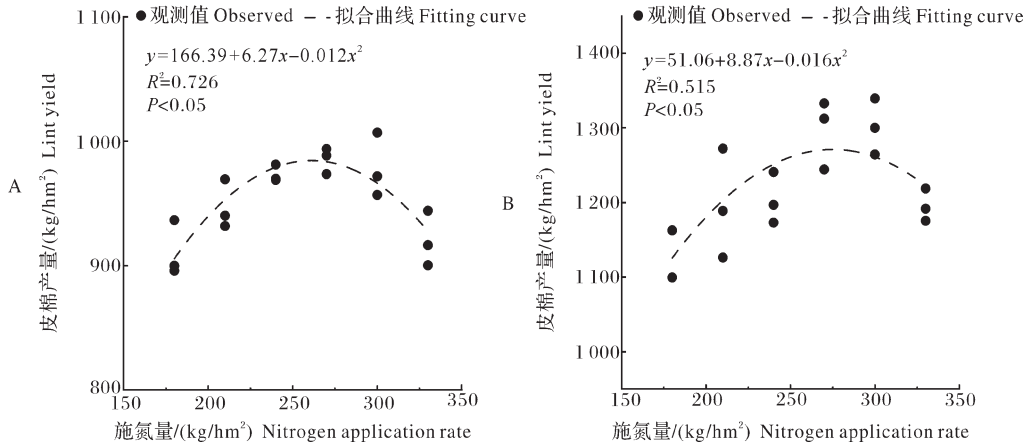


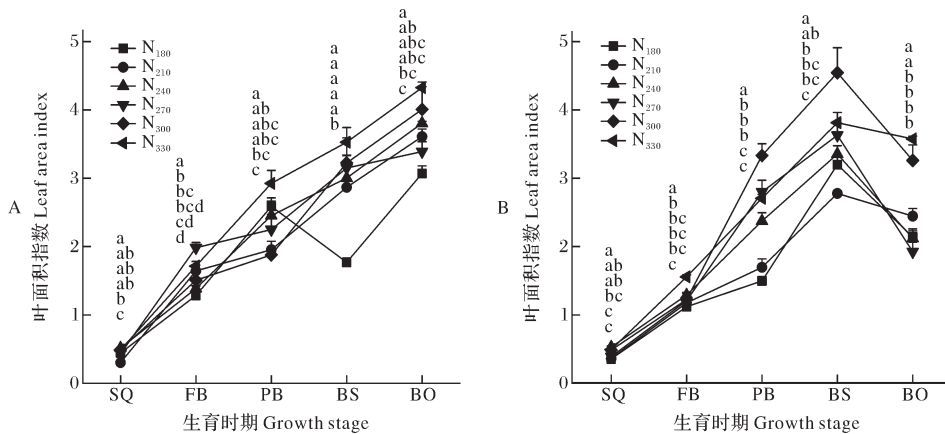
图2 2022年(A)和2023年(B)皮棉产量(y)与施氮量(x)二次函数关系

Fig.2 Quadratic fitting function between lint yield (y) and nitrogen application dosage(x) in 2022(A) and 2023(B)

表3 施氮量对棉花农艺性状的影响

Table 3 Effects of nitrogen application dosage on cotton agronomic traits

年份 Year	处理 Treatments	株高/cm Plant height	株宽/cm Plant width	果枝 Fruiting branch		主茎 Stem		高节比 Ratio of height to node
				单株数 No. per plant	起始高度/cm Initiated height	单株绿叶数 Green leaves per plant	节位 Nodes	
2022	N ₁₈₀	61.4c	57.1a	8.1c	28.6c	9.1c	14.8b	4.1ab
	N ₂₁₀	61.7bc	55.0b	8.7ab	29.5c	9.6bc	15.3ab	4.0b
	N ₂₄₀	62.3abc	55.6ab	8.2bc	30.1bc	9.7bc	14.9ab	4.2ab
	N ₂₇₀	62.9ab	56.2ab	9.0a	32.0ab	9.6bc	15.6a	4.0b
	N ₃₀₀	63.5a	54.5b	9.1a	33.3a	10.4a	15.3ab	4.1ab
	N ₃₃₀	63.5a	55.2ab	9.1a	32.6a	10.1ab	14.9ab	4.3a
2023	N ₁₈₀	58.4c	52.0c	9.1c	26.9c	11.9c	14.3c	4.1cd
	N ₂₁₀	61.2bc	53.2bc	10.2a	28.7bc	12.5bc	14.4c	4.2bcd
	N ₂₄₀	62.9b	56.8ab	9.4bc	31.5a	13.0ab	14.8bc	4.1d
	N ₂₇₀	67.4a	57.5ab	9.9ab	30.1ab	13.1ab	15.4ab	4.4abc
	N ₃₀₀	70.7a	58.7a	10.4a	31.4a	13.3ab	15.4ab	4.4ab
	N ₃₃₀	71.1a	58.6a	10.0ab	31.8a	13.5a	15.8a	4.6a



A: 2022; B: 2023; SQ: 现蕾期; FB: 初花期; PB: 盛花期; BS: 结铃期; BO: 吐絮期。图中不同小写字母表示处理间存在显著差异 ($P < 0.05$)。下同。SQ: Squaring; FB: First bloom; PB: Peak bloom; BS: Boll setting; BO: Boll opening stage. Different letters above the column show significant differences among the treatments ($P < 0.05$). The same as below.

图3 施氮量对棉花叶面积指数的影响

Fig. 3 Effects of nitrogen application dosages allocation strategies on leaf area index

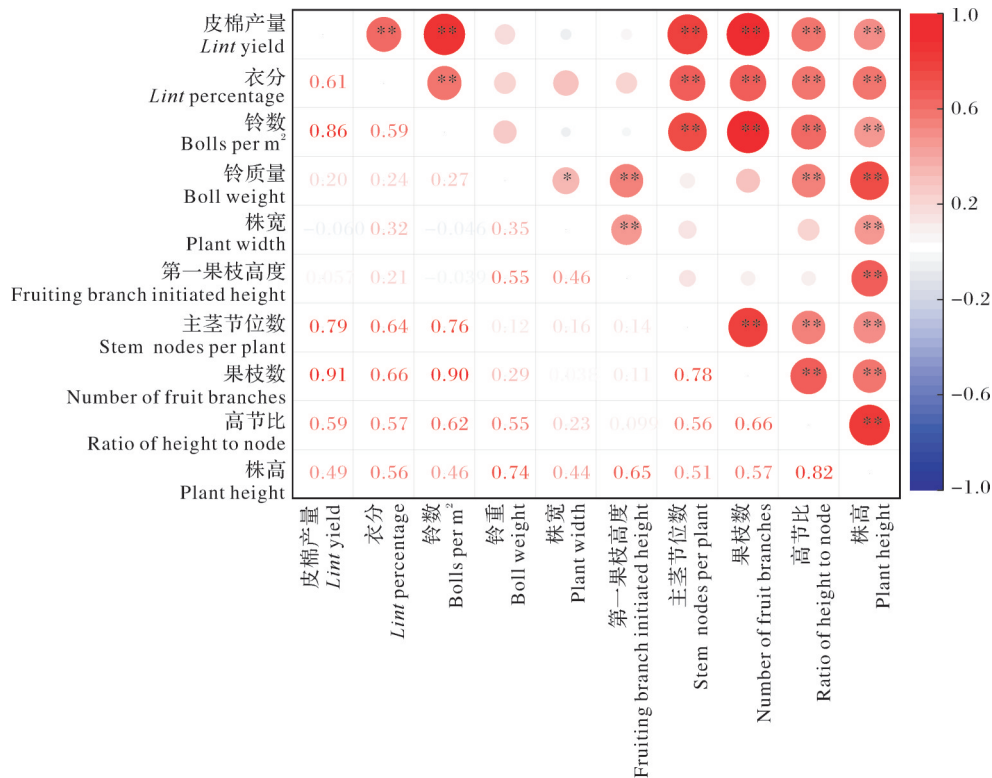
2.4 农艺性状与棉花产量相关性分析

由图4可见,皮棉产量与铃数、棉铃质量、果枝数、主茎绿叶数、高节比和株高正相关,相关系数分别为0.61、0.86、0.79、0.91、0.59和0.49。铃数和棉铃质量与果枝数、主茎绿叶数、高节比和株高正相关。

2.5 不同施氮水平下棉花的冠层透光率

棉花冠层透光率在初花期、盛花期、结铃期、吐

絮期逐渐减小,并随施氮量增加而下降(表5)。平均透光率, N_{270} 和 N_{300} 结铃期和吐絮期相当,但 N_{270} 相比于 N_{180} 结铃期下降 34.8%,吐絮期下降 33.8%; 相比于 N_{330} 结铃期增加 32.9%,吐絮期增加 71.0%。同冠层高度的透光率, N_{270} 与 N_{300} 相当,但比 N_{180} 在 30 cm 处,盛花期下降 28.8%,吐絮期下降 34.8%。



图中红色代表正相关,蓝色代表负相关。*和**分别表示显著相关($P<0.05$)和极显著相关($P<0.01$)。The red and blue represent correlation positively and negatively, respectively, * and ** represent correlation significantly ($P<0.05$) and extremely significant ($P<0.01$), respectively.

图4 棉花产量与农艺性状相关性热图

Fig. 4 Correlation heat map among cotton yield and agronomic traits

表5 不同生育期不同高度冠层的透光率

Table 5 Light transmittance at different growth stages and canopy heights under different nitrogen application dosages (averaged across 2 years)

处理 Treatments	初花期 First bloom				盛花期 Peak bloom				结铃期 Boll setting				吐絮期 Boll opening			
	30 cm	50 cm	70 cm	平均 Mean	30 cm	50 cm	70 cm	平均 Mean	30 cm	50 cm	70 cm	平均 Mean	30 cm	50 cm	70 cm	平均 Mean
N_{180}	50.0	78.7	97.5	75.4	30.9	50.2	93.2	58.1	16.1	32.5	83.2	43.9	12.2	21.8	65.2	33.1
N_{210}	53.0	91.1	96.9	80.3	29.0	53.0	86.9	56.3	14.5	28.7	68.0	37.1	11.2	17.8	66.4	31.8
N_{240}	49.1	87.8	99.5	78.8	16.2	39.4	89.0	48.2	17.1	37.9	70.9	42.0	7.9	23.6	60.4	30.6
N_{270}	44.5	85.7	98.4	76.2	22.0	44.0	83.3	49.8	10.5	24.0	51.2	28.6	5.6	14.2	46.0	21.9
N_{300}	38.0	75.8	99.7	71.2	10.0	24.7	67.5	34.1	7.9	19.5	55.9	27.8	7.2	17.6	52.1	25.6
N_{330}	29.2	52.9	98.7	60.3	13.0	29.8	63.3	35.4	6.7	11.4	46.5	21.5	2.2	7.6	28.6	12.8

2.6 不同施氮水平下棉花的光合特性

棉花净光合速率、蒸腾速率、气孔导度随生育进程下降,随氮肥用量增加先升后降,但胞间CO₂浓度变化不大(图5)。

净光合速率、蒸腾速率和气孔导度,N₂₇₀大于N₁₈₀和N₃₃₀,与N₂₄₀或N₃₀₀相当。N₂₇₀比N₁₈₀和N₃₃₀,净光合速率平均分别高23.8%和15.1%,蒸腾速率分别高18.1%和22.5%,气孔导度分别高84.2%和77.1%。

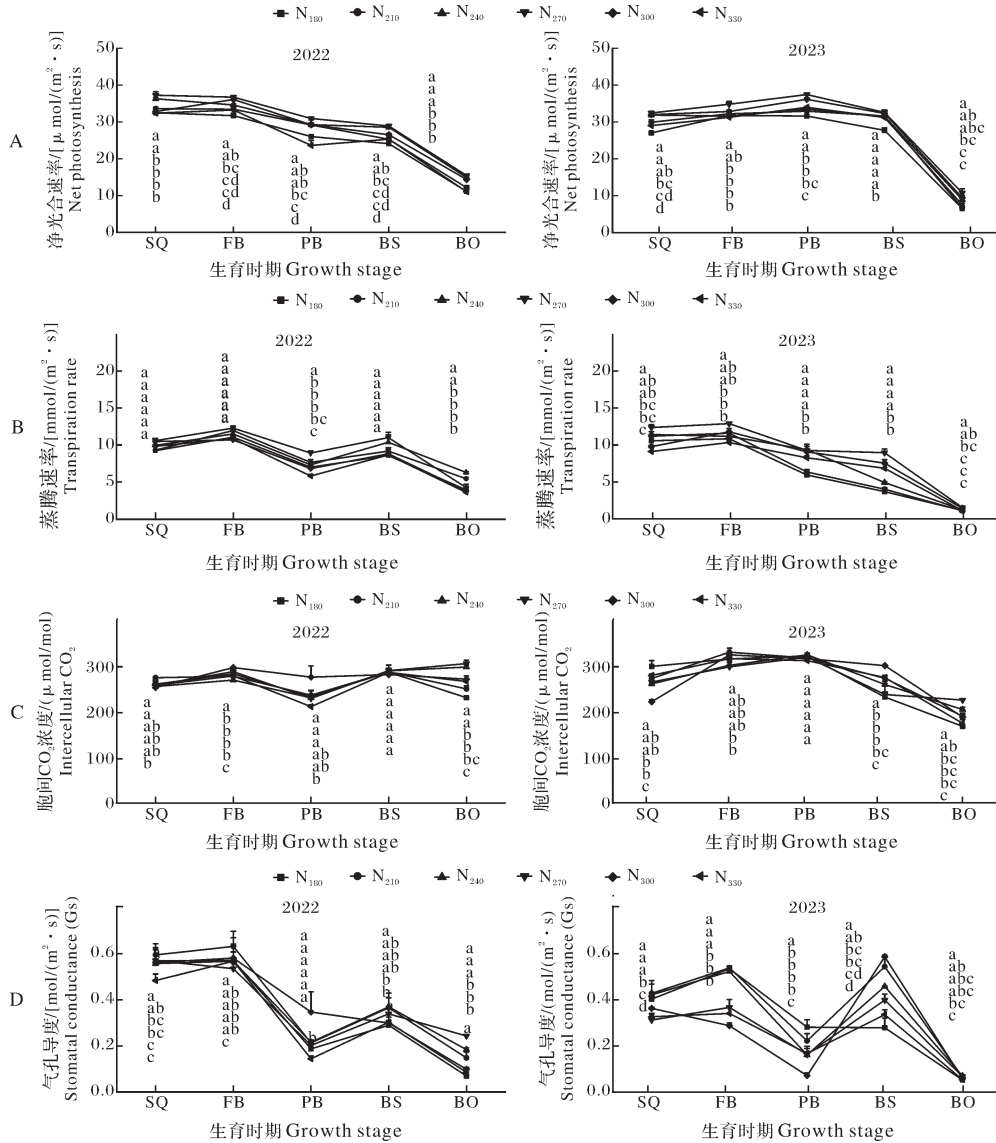


图5 不同施氮水平下棉花功能叶净光合速率(A)、蒸腾速率(B)、胞间CO₂浓度(C)和气孔导度(D)
Fig. 5 Cotton net photosynthesis rate(A), transpiration rate(B), intercellular CO₂ concentration(C) and stomatal conductance(D) under different nitrogen application dosages

3 讨论

3.1 施氮水平与棉花农艺性状和产量

棉花产量由铃数、棉铃质量和衣分共同决定。最佳施氮量可通过增加果枝数、果节数和减少棉铃脱落来增加铃数^[14]。过量施用氮肥,虽然可以增加果枝数、果节数,但也增加了蕾和幼铃的脱落,收获的总铃数并不一定会增加,因而产量也不一定会增

加^[15]。棉花生长期长,对水肥需求量大^[16],蔡焕杰等^[17]认为,施氮量300~450 kg/hm²时,对产量和水分利用效率提高作用更为明显。本研究中,棉花生长期间,2022年降水较2023年减少57.4%,尤其是7—9月(播种后60~150 d)持续近90 d干旱和连续40 d高温。尽管试验期间灌水5次,但棉花产量仍然低于正常年份(2023年);而且最高产量的氮肥用量,2023年为270 kg/hm²,较2022年(N₃₀₀)减少10%。

施氮可以增加棉花株高^[18]、果枝数^[19]、主茎节位数、主茎叶片数^[20]。王燕等^[7]认为冀南棉区棉花株高、果枝数、果枝始节高度随施氮量的增加先升高后下降,农艺性状在施氮 300 kg/hm²时最佳,与本研究结果基本一致。所以,适宜氮肥用量有利于棉花生长发育,能够协调棉花营养生长和生殖生长的关系,从而增加单位面积铃数,最终提高棉花产量^[9]。

3.2 施氮水平与棉花光合特性的关系

冠层透光率和叶片净光合速率能在一定程度上反映光能利用效率,因为二者关系到光能截获、同化物的生产和生物质的累积^[21]。合理施氮有利于构建合理冠层结构,改善冠层微环境^[6]。马云珍等^[6]认为,施氮 270 kg/hm²时,可获得较优的棉花群体冠层结构,提高第 7 及以上果枝光截获率,且第 1 果枝也有适宜光拦截率,群体呈现出良好的光环境,从而提高棉花产量。刘成敏^[9]报道,与不施氮相比,施氮 270 kg/hm²,播后 90 d 净光合速率显著提高,但冠层透光率无差异;但播后 120 d 冠层透光率降低。本研究中,棉花冠层透光率随施氮量增加而减少(表 5),而且冠层中部(50 cm)和下部(30 cm)透光率低,说明棉花群体对光能有效利用集中在中、下层。

增施氮肥能够提高棉花叶片净光合速率,但施用过多氮肥时净光合速率会由于叶片过度生长导致互相荫蔽而受到抑制,不利于产量形成^[12]。郭莉莉等^[12]报道,随施氮量(0~360 kg/hm²)的增加,棉花净光合速率先升后降,在 270 kg/hm²时最高。本研究也表明,N₂₇₀净光合速率、蒸腾速率和气孔导度等光合特性优于其他处理,产量也最高。因此,氮肥过少时,棉株生长不良、器官之间不协调,棉铃无法获得足量的光合产物,无法获得高产^[22];而氮肥过多,易造成棉花贪青晚熟,推迟生物质快速累积期起始时间且延长快速累积期持续时间,也不利于光合产物向蕾铃的分配而减产^[7]。

3.3 “增产不增投”与“减投不减产”

地处长江中游的湖北省棉花生产普遍采用育苗移栽的两熟制种植模式,即小麦预留棉行套栽或小麦/油菜收获后移栽棉花幼苗。这种常规育苗移栽种植模式条件下,棉花氮肥用量以 300 kg/hm²为宜^[23],一般分 3 次(播种前、初花期、盛花期)施用^[24]。这种种植模式为解决粮棉矛盾做出了贡献,但其投入高、效益低的弊端凸显,导致农民种植意愿降低、棉花面积减少。在此背景下,笔者所在团队基于“减投不减产”的理念,成功研制并应用的麦(油)后直播

种植模式,在氮肥用量减少至 180 kg/hm²、且于见花期一次施用的前提下,实现了产量不减和品质不降的棉花高效生产^[25]。

棉花生产的目的是保障棉花产品的有效供给,所以增加棉花产量才是硬道理。因此,我们提出“增产不增投”的理念,探讨在保持与常规育苗移栽投入水平相当前提下,提高棉花产量,实现棉花高效生产。本研究结果表明,在油菜收获后直播种植、4 次(播种前、见花 0 d、见花 7 d、见花 14 d)施肥条件下,2 a 平均产量 1 141 kg/hm²,超过同期湖北省平均产量(911 kg/hm²,国家统计局 2023 年数据)25%,不仅实现了增产;而且,氮肥用量减至 270 kg/hm²,较常规育苗移栽种植模式减少 10%,同时减少了育苗移栽用工,但增加了施肥用工。不过据全国农业机械化发展统计公报(2021),相比“十二五”末,全国棉花综合机械化率提高 20.4%,所以棉花施肥可实现机械化从而降低人工成本。

因此,油菜收获后直播棉花,氮肥用量 270 kg/hm²、分 4 次施用而且调整 3 次追肥时间为见花 0 d(占 60%)、见花 7 d(占 20%)和见花 14 d(占 10%),有利于棉花株型塑造、提高光能利用效率,从而获得高产,可实现棉花基于“增产不增投”的高效生产目标。

参考文献 References

- [1] 张友昌,黄晓莉,胡爱兵,等.长江流域麦/油菜收获后直播棉花播种时间下限研究[J].棉花学报,2021,33(2):155-168. ZHANG Y C, HUANG X L, HU A B, et al. Study on the limitation of late sowing date on cotton planted after wheat/rape in the Yangtze River Basin[J]. Cotton science, 2021, 33(2): 155-168 (in Chinese with English abstract).
- [2] 李思恩,马学峰,张钊,等.夏直播棉成铃时间分布与产量的关系[J].棉花学报,2022,34(5):416-429. LI X E, MA X F, ZHANG Z, et al. Relationship between boll temporal distribution and cotton yield under summer direct seeding[J]. Cotton science, 2022, 34(5): 416-429 (in Chinese with English abstract).
- [3] 徐爱武,尚斌,李翼然.我国三大棉区近二十年棉花单产水平比较与建议[J].棉花科学,2022,44(5):11-14. XU A W, SHANG B, LI Y R. Comparison and suggestions of cotton yield per unit area in three major cotton regions in the past twenty years in China[J]. Cotton sciences, 2022, 44(5): 11-14 (in Chinese with English abstract).
- [4] 毛树春,王树林,李飞,等.2019—2021 年长江流域棉区棉花生产表现成本、产值和收益监测报告[J].中国棉花,2023,50(7):13-23. MAO S C, WANG S L, LI F, et al. Monitoring report on

- apparent cost, output value and revenue of cotton production in the Yangtze River Basin from 2019 to 2021 [J]. *China cotton*, 2023, 50(7): 13-23 (in Chinese with English abstract).
- [5] 唐江华, 苏丽丽, 徐文修, 等. 氮肥减施对棉花产量、干物质生产与氮素吸收利用的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2023, 41(2): 86-95. TANG J H, SU L L, XU W X, et al. Effects of nitrogen fertilizer reduction on cotton yield, dry matter production and nitrogen uptake and utilization [J]. *Agricultural research in the arid areas*, 2023, 41(2): 86-95 (in Chinese with English abstract).
- [6] 马云珍, 董合林, 李玲, 等. 连续定点定量施氮对棉花花铃期冠层光分布及产量的影响[J]. *新疆农业科学*, 2021, 58(7): 1236-1245. MA Y Z, DONG H L, LI L, et al. Effects of continuous fixed-point and quantitative nitrogen application on canopy light distribution and yield of cotton in blossing and boll-forming stages [J]. *Xinjiang agricultural sciences*, 2021, 58(7): 1236-1245 (in Chinese with English abstract).
- [7] 王燕, 王树林, 韩硕, 等. 机采棉模式下氮肥用量对棉花株型结构塑造和产量的影响[J]. *新疆农业科学*, 2021, 58(9): 1642-1647. WANG Y, WANG S L, HAN S, et al. Effect of nitrogen application rates on plant architecture and yield of cotton production with machine picking in Hebei [J]. *Xinjiang agricultural sciences*, 2021, 58(9): 1642-1647 (in Chinese with English abstract).
- [8] 秦鸿德, 荣义华, 黄晓莉, 等. 简化施肥夏直播棉对密度和氮肥的响应[J]. *作物杂志*, 2020(4): 127-134. QIN H D, RONG Y H, HUANG X L, et al. Responses of cotton to planting densities and nitrogen rates under direct seeding in summer with simplified fertilization [J]. *Crops*, 2020(4): 127-134 (in Chinese with English abstract).
- [9] 刘成敏. 秸秆还田下施氮量对棉花产量和氮肥利用的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2022. LIU C M. Effects of nitrogen application rate on cotton yield and nitrogen utilization under cotton stubble returning [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2022 (in Chinese with English abstract).
- [10] 王家勇, 李春梅, 徐文修, 等. 种植密度对76 cm等行距机采棉冠层结构、冠层温湿度及产量的影响[J]. *新疆农业科学*, 2023, 60(11): 2609-2617. WANG J Y, LI C M, XU W X, et al. Effects of planting density on canopy structure, canopy temperature and humidity and yield of 76 cm machine-picked cotton with equal row spacing [J]. *Xinjiang agricultural sciences*, 2023, 60(11): 2609-2617 (in Chinese with English abstract).
- [11] ZHANG Z, AHMED S, CHATTHA M S, et al. Managing plant density and nitrogen fertilizer to reduce nitrogen input without yield reduction of late-sown cotton after wheat by improving light interception and sink nitrogen partitioning in a double cropping system [J/OL]. *Field crops research*, 2023, 295: 108875 [2023-12-25]. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.108875>.
- [12] 郭莉莉, 李飞, 李彩虹, 等. 氮肥减量深施对油菜收获后密植棉花光合特性、产量和氮素利用效率的影响[J]. *华北农学报*, 2022, 37(S1): 221-230. GUO L L, LI F, LI C H, et al. Effects of nitrogen reduction and deep application on photosynthetic characteristics, yield and nitrogen utilization efficiency of high density planting cotton after oil [J]. *Acta agriculturae boreali-sinica*, 2022, 37(S1): 221-230 (in Chinese).
- [13] 董合忠, 杨国正, 李亚兵, 等. 棉花轻量化栽培关键技术及其生理生态学机制[J]. *作物学报*, 2017, 43(5): 631-639. DONG H Z, YANG G Z, LI Y B, et al. Key technologies for light and simplified cultivation of cotton and their eco-physiological mechanisms [J]. *Acta agronomica sinica*, 2017, 43(5): 631-639 (in Chinese with English abstract).
- [14] LUO Z, LIU H, LI W P, et al. Effects of reduced nitrogen rate on cotton yield and nitrogen use efficiency as mediated by application mode or plant density [J]. *Field crops research*, 2018, 218: 150-157.
- [15] 李鹏程, 董合林, 刘爱忠, 等. 施氮量对棉花功能叶片生理特性、氮素利用效率及产量的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2015, 21(1): 81-91. LI P C, DONG H L, LIU A Z, et al. Effects of nitrogen application rates on physiological characteristics of functional leaves, nitrogen use efficiency and yield of cotton [J]. *Journal of plant nutrition and fertilizer*, 2015, 21(1): 81-91 (in Chinese with English abstract).
- [16] 张露萍. 化肥减量对棉花生长发育及养分流失的影响[D]. 荆州: 长江大学, 2018. ZHANG L P. Influence of reducing chemical fertilizer on cotton growth and nutrient losses [D]. Jingzhou: Yangtze University, 2018 (in Chinese with English abstract).
- [17] 蔡焕杰, 李府阳, 赵政鑫, 等. 施氮对中国棉田产量和水分利用效率影响的Meta分析[J]. *农业机械学报*, 2023, 54(12): 316-326. CAI H J, LI F Y, ZHAO Z X, et al. Meta-analysis of effects of nitrogen application on cotton yield and water use efficiency in China [J]. *Transactions of the CSAM*, 2023, 54(12): 316-326 (in Chinese with English abstract).
- [18] 秦宇坤, 陈俊英, 王玉萍, 等. 施氮量对油菜收获后直播棉生长发育及产量的影响[J]. *中国棉花*, 2020, 47(2): 24-27. QIN Y K, CHEN J Y, WANG Y P, et al. Effects of nitrogen application on growth and yield of direct seeding cotton after rape harvest [J]. *China cotton*, 2020, 47(2): 24-27 (in Chinese with English abstract).
- [19] 陈伟, 刘欣悦, 桑晓慧, 等. 不同密度及施肥量对中棉所96014生长发育和产量的影响[J]. *中国棉花*, 2023, 50(10): 20-23. CHEN W, LIU X Y, SANG X H, et al. Effects of different densities and fertilization amounts on the growth and yield of CCRI 96014 [J]. *China cotton*, 2023, 50(10): 20-23 (in Chinese with English abstract).
- [20] 段松江, 彭增莹, 申莹莹, 等. 不同海岛棉品种产量及纤维品质对氮肥的响应[J]. *新疆农业科学*, 2023, 60(7): 1569-1579. DUAN S J, PENG Z Y, SHEN Y Y, et al. Responses of seed cotton yield and fiber quality of different sea island cotton varieties to nitrogen fertilizer [J]. *Xinjiang agricultural sciences*, 2023, 60(7): 1569-1579 (in Chinese with English abstract).

- [21] 姚青青, 孙绘健, 罗静, 等. 追施氮肥对陆地棉巴43541群体冠层结构特征的影响[J]. 中国棉花, 2023, 50(5): 12-16. YAO Q Q, SUN H J, LUO J, et al. Effects of nitrogen fertilizer on the canopy structure characteristics of upland cotton Ba₄₃₅₄₁[J]. China cotton, 2023, 50(5): 12-16 (in Chinese with English abstract).
- [22] 薛晓萍, 郭文琦, 王以琳, 等. 不同施氮水平下棉花生物量动态增长特征研究[J]. 棉花学报, 2006, 18(6): 323-326. XUE X P, GUO W Q, WANG Y L, et al. Research on dynamic increase characteristics of dry matter of cotton at different nitrogen levels[J]. Cotton science, 2006, 18(6): 323-326 (in Chinese with English abstract).
- [23] 李霞, 郑曙峰, 董合忠. 长江流域棉区棉花轻简化高效栽培技术体系[J]. 中国棉花, 2017, 44(12): 32-34. LI X, ZHENG S F, DONG H Z. Simplified and efficient cultivation technology system for cotton in the cotton region of the Yangtze River Basin[J]. China cotton, 2017, 44(12): 32-34 (in Chinese).
- [24] YANG G Z, CHU K Y, TANG H Y, et al. Fertilizer 15N accumulation, recovery and distribution in cotton plant as affected by N rate and split[J]. Journal of integrative agriculture, 2013, 12(6): 999-1007.
- [25] YANG G Z, TANG H Y, TONG J, et al. Effect of fertilization frequency on cotton yield and biomass accumulation[J]. Field crops research, 2012, 125: 161-166.

Effects of application dosage of nitrogen on photosynthetic characteristics and yield of direct-seeding cotton after harvesting rapeseed oil

XIE Xiaoqi, PENG Jie, ZHANG Zhao, QIU Shen, YAO Xiaofen, DU Xuan, YANG Guozheng

College of Plant Science and Technology/Hubei Hongshan Laboratory, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract The early-maturing cotton cultivar Huamian 3097 was used to study the rational application dosage of nitrogen for the direct seeding cotton after harvesting rapeseed oil in the cotton area of the Yangtze River Basin based on the concept of “increasing yield without increasing input”. Field experiments were conducted in 2022 and 2023 to investigate the effects of six application dosages of nitrogen including N₁₈₀ (180 kg/hm²), N₂₁₀ (210 kg/hm²), N₂₄₀ (240 kg/hm²), N₂₇₀ (270 kg/hm²), N₃₀₀ (300 kg/hm²), and N₃₃₀ (330 kg/hm²) on the growth and development, photosynthetic characteristics, and yield of cotton. The results showed that the yield of cotton under N₂₇₀ and N₃₀₀ was comparable, but higher than that under N₁₈₀ and N₃₃₀. The two-year average yield of cotton seed and the number of bolls per unit area under N₂₇₀ increased by 7.0% and 5.4%, 24.9% and 21.6% compared to that under N₁₈₀ and N₃₃₀, respectively. There was no difference in plant height, number of fruit branches, height of the first fruit branch, number of green leaves, and number of nodes between treatments. The light transmittance of cotton canopy decreased with the process of growth and the increase of application dosage of nitrogen. The light transmittance of cotton canopy within the canopy height of 30-50 cm and the cotton row of 20 cm under N₂₇₀ was 23.9% higher than that under N₃₃₀, 10.0% lower than that under N₁₈₀, and comparable to that under N₃₀₀. The net photosynthetic rate, transpiration rate, and stomatal conductance under N₂₇₀ (N₃₀₀) was higher than that under N₁₈₀ and N₃₃₀. The concentration of intercellular CO₂ under N₂₇₀ was lower than that under N₁₈₀ and N₃₃₀. It is indicated that applying 270 kg/hm² nitrogen fertilizer to direct-seeding cotton after harvesting rapeseed oil is conducive to the growth and development of cotton, can increase the number of bolls per unit area and improve light transmission of canopy to enhance photosynthetic performance, and thus can achieve a higher yield.

Keywords direct-seeding cotton; the application dosage of nitrogen; light transmittance of canopy; photosynthetic characteristics; yield; “increasing yield without increasing input”

(责任编辑: 张志钰)