

杨长琴, 张国伟, 刘瑞显, 等. 氮肥运筹对麦后直播棉光合性能、生物量、氮素累积及产量的影响[J]. 江苏农业学报, 2017, 33(5): 1028-1035.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2017.05.011

## 氮肥运筹对麦后直播棉光合性能、生物量、氮素累积及产量的影响

杨长琴<sup>1</sup>, 张国伟<sup>1</sup>, 刘瑞显<sup>1</sup>, 倪万潮<sup>1</sup>, 王致春<sup>2</sup>

(1. 江苏省农业科学院经济作物研究所/农业部长江下游棉花与油菜重点实验室, 江苏 南京 210014; 2. 天地成微生物技术(北京)有限公司, 北京 100083)

**摘要:** 以早熟棉中棉所 50 为材料, 采用裂区设计, 研究施氮量(0 kg/hm<sup>2</sup>、75 kg/hm<sup>2</sup>、150 kg/hm<sup>2</sup>、225 kg/hm<sup>2</sup>和 300 kg/hm<sup>2</sup>) 和施用次数(1 次和 2 次) 对麦后直播棉光合性能、生物量、氮素累积及产量性状的影响。结果表明, 麦后直播棉功能叶 SPAD 值、净光合速率、生物量和氮素累积量及果枝数、果节数和节枝比均随施氮量增加而增加; 功能叶 SPAD 值和净光合速率、果枝数、果节数和节枝比在初花期以施用 1 次处理较高, 吐絮期则以施用 2 次处理较高; 生物量在盛花期前以施用 1 次处理较高, 其后以施用 2 次处理较高; 氮素累积量初花期以施用 1 次处理较高, 初花后以施用 2 次处理较高。施氮量与施用次数互作分析结果显示, 吐絮期功能叶 SPAD 值与净光合速率、果枝数、果节数及皮棉产量均以 150~300 kg/hm<sup>2</sup> 施用 2 次处理较高。理论生物量和最大累积速率随施氮量的增加而增加, 以施用 2 次处理较高, 且以施氮量 150 kg/hm<sup>2</sup>、施用 2 次处理生物量快速累积起始期较早、持续期较短而速率较高。相关性分析结果表明, 初花后氮素累积有利于提高生物量快速累积期的最大速率和最终生物量, 初花后生物量和氮素累积量与吐絮期果枝数、果节数及产量呈极显著正相关。综上所述, 氮肥运筹显著影响麦后直播棉光合性能、生物量和氮素累积, 以施氮量 150 kg/hm<sup>2</sup>、施用 2 次处理生物量累积特征值较优, 有利最终产量的形成。

**关键词:** 麦后直播棉; 氮肥运筹; 光合性能; 生物量与氮素累积; 产量性状

中图分类号: S562.01

文献标识码: A

文章编号: 1000-4440(2017)05-1028-08

## Effects of nitrogen management on photosynthesis, biomass, nitrogen accumulation and yield traits of field-seeded cotton after barley harvest

YANG Chang-qin<sup>1</sup>, ZHANG Guo-wei<sup>1</sup>, LIU Rui-xian<sup>1</sup>, NI Wan-chao<sup>1</sup>, WANG Zhi-chun<sup>2</sup>

(1. Institute of Industrial Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences / The Key Laboratory of Cotton and Rape in Yangtze River Downstream of Ministry of Agriculture, Nanjing 210014, China; 2. Todosway Biological Technology Co., Ltd., Beijing 100083, China)

**Abstract:** Using the early maturing cotton (CCRI 50) as material, a field experiment was carried out to evaluate the effects of nitrogen management on photosynthetic characteristics, biomass, nitrogen accumulation and yield traits of field-

收稿日期: 2017-05-04

**基金项目:** 国家重点研发计划项目(2017YFD0201900); 农业部长江下游棉花与油菜重点实验室开放课题(2017-CR01); 江苏省农业科技自主创新基金项目[CX(14)2065]; 江苏省科技支撑计划项目(BE2014389)

**作者简介:** 杨长琴(1972-), 女, 江苏仪征人, 博士, 副研究员, 主要从事棉花栽培生理研究。(E-mail)ychq2003@qq.com

**通讯作者:** 刘瑞显, (E-mail)liuruixian2008@163.com

seeded cotton after barley harvest. A split-plot design with three replicates was used for the study. The main plots comprised five levels of nitrogen application rate (0 kg/hm<sup>2</sup>, 75 kg/hm<sup>2</sup>, 150 kg/hm<sup>2</sup>, 225 kg/hm<sup>2</sup> and 300 kg/hm<sup>2</sup>), while two levels of application frequency (one or two times) constituted the subplots. The results showed that the SPAD value and the net photosynthesis rate of functional leaves, the biomass and nitrogen accumulation,

the numbers of fruit branches and fruit nodes increased increase of nitrogen rate from 0 kg/hm<sup>2</sup> to 300 kg/hm<sup>2</sup>. The SPAD value and the net photosynthesis rate of functional leaves, the numbers of fruit branches and fruit nodes of one time application were higher than those of the two times application at early-flowering stage, but they were contrary at boll-opening stage. The biomass of one time application was higher than that of the two times application before full-flowering stage, but it was contrary after full-flowering stage. The nitrogen accumulation of one time application was higher than that of the two times application at early-flowering stage, but it was contrary after early-flowering stage. The results of interactive effect of nitrogen rate and application frequency showed that the SPAD value and the net photosynthesis rate of functional leaves, the number of fruit branches and fruit nodes at boll-opening stage and lint yield were higher under the treatment of nitrogen rate from 150 kg/hm<sup>2</sup> to 300 kg/hm<sup>2</sup> with two times application. The maximum biomass of rapid accumulation and its maximum speed increased with the increasing of nitrogen rate, and they were higher under the treatment of two times application than those of one time application. The biomass accumulation initiated earlier but lasted less days with higher maximum speed under the treatment of 150 kg/hm<sup>2</sup> nitrogen rate with two times application than those of other treatments. The results of correlation analysis showed that the nitrogen accumulation after early flowering was beneficial for increasing biomass accumulation and its maximum speed. Correlation analysis also showed that biomass and nitrogen accumulation after early flowering positively correlated with the number of fruit branches and fruit nodes and lint yield at boll-opening stage. In summary, nitrogen management affected photosynthesis, biomass and nitrogen accumulation of field-seeded cotton after barley harvest. The higher nitrogen accumulation, more optimized characteristic value of biomass accumulation and higher yield were found under the treatment of nitrogen rate of 150 kg/hm<sup>2</sup> with two times application.

**Key words:** field-seeded cotton after barley harvest; nitrogen management; photosynthesis; biomass and nitrogen accumulation; yield traits

麦棉两熟是长江流域棉区主要的种植制度。麦后直播棉顺应了棉花生产轻简化与适于机械化的需求,成为该棉区棉花生产发展的方向<sup>[1-5]</sup>。麦后直播棉由于播期迟,品种以短季棉为主,高产栽培以促早发、集中和快速成铃为核心,采用较高种植密度和依靠群体优势获得高产的技术途径<sup>[5-6]</sup>。但长江流域棉区棉花生长期雨水较多,高密度种植极易造成营养生长与生殖生长失调,影响产量。因此,必须进一步完善麦后直播棉高密度种植下配套的高产栽培技术。

较高的生物量是棉花高产优质的基础,而生物量的累积以养分尤其是氮素的充分吸收为条件<sup>[7]</sup>。合理氮肥运筹是调控棉花生长、光合生产率及产量形成的重要措施<sup>[8-11]</sup>。张旺锋等<sup>[9]</sup>研究结果表明,施氮量 0~300 kg/hm<sup>2</sup>,群体光合速率随氮肥施用量的增加而增强,但过量追施氮肥易引起棉株旺长,导致生育后期叶面积指数和群体光合速率的迅速下降。Rochester 等<sup>[12]</sup>研究结果也表明,增施氮肥虽然有利于棉株生物量累积和养分吸收,但过量施氮会导致棉花因营养生长过旺而贪青晚熟、品质下降。可见,棉花生物量累积对氮素反应较为敏感<sup>[13-14]</sup>,施氮量不足和过高均不利于生物量的累积和产量的形成<sup>[15]</sup>。此外,合理的氮肥分施比例有利于调节棉

花叶片生理功能、生物量累积和产量形成<sup>[16]</sup>;笔者前期研究结果表明,与氮肥 1 次施用相比,麦后直播棉氮肥 2 次施用能增加吐絮期生物量和氮素累积量,并提高其向生殖器官的分配量<sup>[13]</sup>。笔者研究结果还表明,长江流域下游棉区麦后直播棉施氮(N) 150 kg/hm<sup>2</sup>,并分苗肥和花铃肥 2 次施用,可获得较高产量,同时也有利提高氮肥利用率<sup>[13]</sup>。但有关氮肥运筹对麦后直播棉光合性能的影响未见报道。另外,已有研究结果表明,氮素对生物量增长模型的基本形态影响较小,但对其特征值尤其累积速率影响较大<sup>[9,14,17-18]</sup>,因此可以通过改变氮肥运筹来影响初花后棉株生物量生长特征值而获得高产<sup>[19]</sup>。而氮肥运筹对麦后直播棉生物量累积动态和特征值的影响仍需进一步研究。

本研究以早熟棉中棉所 50 为材料,分析氮肥运筹对麦后直播棉光合性能、生物量、氮素累积及产量形成的影响,揭示麦后直播棉高产的生理和物质基础,以期调控麦后直播棉生长发育和提高产量提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

试验于 2013 年和 2014 年在江苏省农业科学院

试验地(118°50'E, 32°02'N)进行。土壤质地为黏质土,两年耕层(0~20 cm)土壤速效氮 21.5 mg/kg 和 20.8 mg/kg,速效磷 36.8 mg/kg 和 36.1 mg/kg,速效钾 152.5 mg/kg 和 153.1 mg/kg。

采用二因素裂区设计,主区因素为施氮(N)量,设 0 kg/hm<sup>2</sup> (N<sub>0</sub>)、75 kg/hm<sup>2</sup> (N<sub>1</sub>)、150 kg/hm<sup>2</sup> (N<sub>2</sub>)、225 kg/hm<sup>2</sup> (N<sub>3</sub>) 和 300 kg/hm<sup>2</sup> (N<sub>4</sub>) 5 个水平;副区因素为氮肥施用次数,设 1 次(T<sub>1</sub>)和 2 次(T<sub>2</sub>)2 个水平。T<sub>1</sub>处理氮肥于出苗后 7 d 全部施入,T<sub>2</sub>处理氮肥按 4:6 分别于出苗后 7 d 和初花期(10%棉株见花)施入。每处理重复 3 次,共计 9 个处理,27 个小区,小区面积 28 m<sup>2</sup>。两年均于大麦收获后 5 月 25 日直播,种植密度为 1 hm<sup>2</sup> 7.5×10<sup>4</sup>株,行距 0.76 m。磷肥(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 112.5 kg/hm<sup>2</sup>、钾肥(K<sub>2</sub>O) 225 kg/hm<sup>2</sup>,苗期与花铃期各施 50%。其他田间管理措施同大田生产。

## 1.2 测定项目与测定方法

1.2.1 SPAD 值和净光合速率(P<sub>n</sub>) 于初花期和吐絮期,选择晴朗天气,采用美国产 LI-6400 型光合仪在上午 9:00–11:00 测定功能叶(主茎倒 4 叶)P<sub>n</sub>。使用开放式气路,内置光源,光照度为 1 500 μmol/(m<sup>2</sup>·s)。每处理重复 5 次,每张叶片测定 3 次取其平均值。测定 P<sub>n</sub>的同时采用 SPAD 仪测定功能叶 SPAD 值。

1.2.2 生物量与氮素累积量 于蕾期、初花期、盛花期、盛铃期和吐絮期(2013 和 2014 年分别于播种后 37 d、54 d、75 d、94 d、115 d 和 43 d、61 d、81 d、102 d、123 d)选择连续 5 株具代表性棉株测定干物质量。棉株按根、茎枝、叶、蕾铃等器官分开,在 105 ℃杀青 30 min 后,80 ℃烘至恒质量后称质量。初花期与吐絮期棉株干样粉碎后用凯氏定氮法测定全氮含量,再根据不同器官的生物量计算棉花氮素累积量。初花后生物量(氮素)累积量=吐絮期生物量(氮素)累积量-初花期生物量(氮素)累积量。

1.2.3 农艺性状 选择连续 15 株棉花,于初花期和吐絮期调查果枝数、果节数和成铃数等农艺性状。

1.2.4 产量 吐絮期每小区收正常吐絮铃 30 个,测定铃质量、衣分,计算皮棉产量。

## 1.3 统计分析方法

采用 Microsoft Excel 软件处理数据和作图,用 SPSS 11.0 软件进行曲线拟合、回归相关分析,棉株生物量累积规律符合 Logistic 曲线。生物量随播种

后天数变化的函数可表示为  $W=W_m/(1+ae^{-bt})$  式,式中  $W$  为棉株生物量(kg/hm<sup>2</sup>), $t$  为播种后天数(d), $W_m$  为生物量的理论最大值(kg/hm<sup>2</sup>), $a$ 、 $b$  为生长参数。分别对模型求 1 阶、2 阶和 3 阶导数,可得相应生长曲线的最大相对生长速率( $V_m$ )及其起始时间( $t_1$ )和终止时间( $t_2$ )、快速累积期持续时间( $t_{2-1}$ )等特征参数<sup>[19]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 氮肥运筹对麦后直播棉功能叶 SPAD 值和净光合速率(P<sub>n</sub>)的影响

由表 1 可见,氮肥运筹对初花期和吐絮期功能叶 SPAD 值和 P<sub>n</sub>均有显著影响。初花期,SPAD 值和 P<sub>n</sub>随施氮量增加而增加,且 T<sub>1</sub>处理高于 T<sub>2</sub>处理,表明 1 次施氮有利于提高棉株前期叶片叶绿素含量和光合速率。吐絮期,SPAD 值和 P<sub>n</sub>随施氮量增加而显著增加,但 T<sub>2</sub>处理高于 T<sub>1</sub>处理,表明 2 次施氮有利于提高棉株后期叶片叶绿素含量和光合速率,延缓叶片衰老。此外,施氮量和施用次数对功能叶 P<sub>n</sub>及吐絮期 SPAD 值均有显著互作效应,且施氮量效应大于施用次数效应。初花期 SPAD 值以 N<sub>4</sub>T<sub>1</sub>和 N<sub>4</sub>T<sub>2</sub>处理最高,P<sub>n</sub>以 N<sub>2</sub>T<sub>1</sub>、N<sub>3</sub>T<sub>1</sub>和 N<sub>4</sub>T<sub>1</sub>较高;吐絮期 SPAD 值和 P<sub>n</sub>以 N<sub>4</sub>T<sub>2</sub>最高。

表 1 氮肥运筹对麦后直播棉功能叶 SPAD 值和净光合速率的影响

Table 1 Effects of nitrogen management on SPAD value and net photosynthetic rate of functional leaves in field-seeded cotton after barley harvest

施氮量	施用次数	初花期		吐絮期	
		SPAD 值	净光合速率 [μmol/(m <sup>2</sup> ·s)]	SPAD 值	净光合速率 [μmol/(m <sup>2</sup> ·s)]
N <sub>0</sub>		35.7 f	26.2 d	42.0 e	17.3 cd
N <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	38.9 e	28.6 c	33.6 g	14.1 e
	T <sub>2</sub>	36.8 f	26.3 d	45.8 d	16.9 cd
N <sub>2</sub>	T <sub>1</sub>	40.7 cd	30.4 a	38.9 f	16.2 d
	T <sub>2</sub>	39.6 de	28.1 c	48.7 c	19.7 b
N <sub>3</sub>	T <sub>1</sub>	42.6 ab	30.4 a	41.7 e	18.3 bc
	T <sub>2</sub>	41.4 bc	28.9 bc	51.1 b	19.2 b
N <sub>4</sub>	T <sub>1</sub>	43.6 a	29.9 ab	51.0 b	18.1 bc
	T <sub>2</sub>	43.0 a	28.1 c	53.4 a	22.9 a

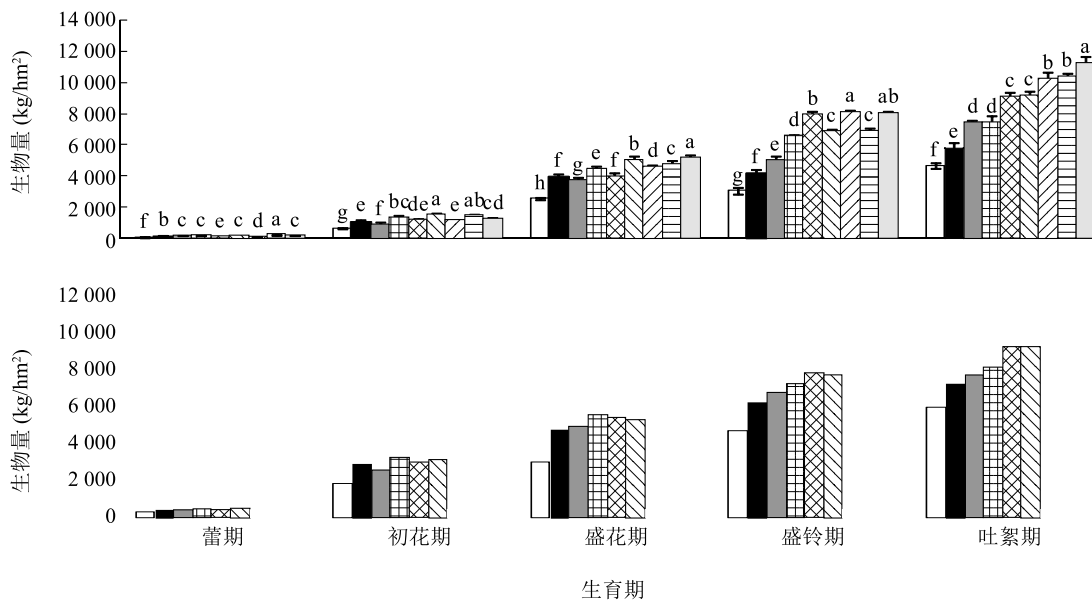
N<sub>0</sub>、N<sub>1</sub>、N<sub>2</sub>、N<sub>3</sub> 和 N<sub>4</sub> 分别代表施氮量为 0 kg/hm<sup>2</sup>、75 kg/hm<sup>2</sup>、150 kg/hm<sup>2</sup>、225 kg/hm<sup>2</sup> 和 300 kg/hm<sup>2</sup>,T<sub>1</sub> 和 T<sub>2</sub> 分别代表氮肥施用 1 次和施用 2 次。数值后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

## 2.2 氮肥运筹对麦后直播棉群体生物量和氮素累积的影响

由图 1 可见,氮肥运筹影响棉株生物量的累积,各生育时期棉株生物量随施氮量的增加总体呈增加的趋势;盛花期前不同施用次数处理的生物量总体上以  $T_1$  处理高于  $T_2$ ,盛花期后则以  $T_2$  处理高于  $T_1$ ;且施氮量效应大于施用次数效应。施氮量与施用次数互作分析结果显示,盛花期生物量以  $N_2T_1$ 、 $N_2T_2$  和  $N_4T_1$  较高,吐絮期以  $N_4T_2$  处理较高。

生物量理论最大值随施氮量的增加而增加,2 次施氮处理大于 1 次施氮处理(表 2)。与  $N_0$  相比,各施氮处理生物量快速累积起始期和终止期均提前而持续期缩短,最大增长速率增加;且施氮处理间,

随施氮量的增加,生物量快速累积起始期推迟; $N_1$  和  $N_2$  处理的持续期较短, $N_2$ 、 $N_3$  和  $N_4$  处理的最大累积速率较高。生物量快速累积期最大速率  $T_2$  处理高于  $T_1$  处理,2013 年  $N_1$  和  $N_2$  条件下  $T_2$  处理快速累积终止期提前,而  $N_3$  和  $N_4$  条件下  $T_2$  处理快速累积起始期和终止期均推迟,但持续期均缩短。2014 年不同施氮量条件下  $T_2$  处理快速累积起始期和终止期均推迟, $N_1$  施氮量条件下  $T_2$  处理快速累积持续期较短, $N_2$ 、 $N_3$  和  $N_4$  条件下  $T_1$  处理快速累积持续期较短。年份间差异与气候不同造成的棉花长势差异有关。与  $N_0$  相比,各处理尤以  $N_2T_2$  处理快速累积起始期较早、持续期较短而最大速率较高,各特征值协调,且年份间一致。



施氮量  $N_0$ 、 $N_1$ 、 $N_2$ 、 $N_3$ 、 $N_4$  和施用次数  $T_1$ 、 $T_2$  处理见表 1 注。同一生育期内不同字母表示在 0.05 水平上差异显著。

图 1 氮肥运筹对麦后直播棉生物量累积的影响

Fig.1 Effects of nitrogen management on biomass accumulation in field-seeded cotton after barley harvest

氮肥运筹显著影响直播棉氮素累积量(图 2)。随施氮量的增加,初花前与初花后氮素累积量总体呈增加的趋势,初花前氮素累积量  $T_1$  处理显著高于  $T_2$  处理,初花后氮素累积量  $T_2$  处理显著高于  $T_1$  处理。施氮量与施肥次数间互作分析结果显示,初花前  $N_3T_1$  处理氮素累积量较高,初花后  $N_3T_2$  和  $N_4T_2$  处理较高,两年结果一致。

由表 3 可见,初花前氮素累积量与生物量理论最大值及其特征值相关关系均未达到显著水平;而初花后氮素累积量与生物量理论最大值呈极显著正相关关系,与快速累积期的最大速率也呈显著正相关关系。表明增加初花后氮素的累积有利于提高生物量快速期的累积速率以及最终的生物量。两年结果一致。

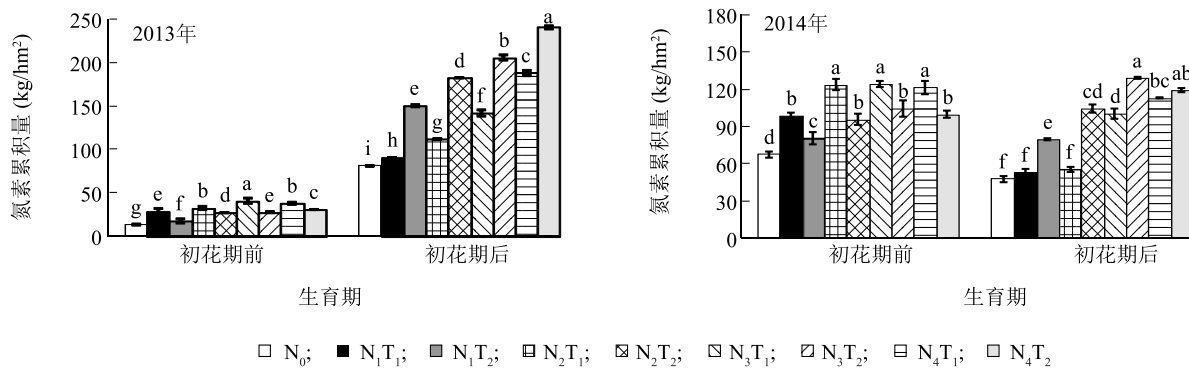


表 2 氮肥运筹对麦后直播棉生物量累积特征值的影响

Table 2 Effects of nitrogen management on characteristics of biomass accumulation in field-seeded cotton after barley harvest

施氮量	施用次数	2013					2014				
		$W$ (kg/hm <sup>2</sup> )	$t_1$ (d)	$t_2$ (d)	$t_{2-1}$ (d)	$V_m$ (kg/d)	$W$ (kg/hm <sup>2</sup> )	$t_1$ (d)	$t_2$ (d)	$t_{2-1}$ (d)	$V_m$ (kg/d)
$N_0$		5 611.0	72.5	98.6	26.1	90.3	6 436.9	64.8	91.9	27.2	99.6
$N_1$	$T_1$	6 012.1	63.2	87.0	23.8	106.2	7 350.9	58.2	81.2	23.0	134.1
	$T_2$	6 537.8	62.1	77.1	15.0	183.3	7 796.3	60.9	81.6	20.7	158.0
$N_2$	$T_1$	8 637.0	64.8	86.0	21.2	170.6	8 108.7	58.3	77.6	19.4	175.8
	$T_2$	9 411.6	65.2	82.3	17.1	231.3	9 417.7	62.6	84.1	21.5	183.9
$N_3$	$T_1$	9 856.1	65.0	84.6	19.6	203.3	9 910.9	63.9	88.5	24.4	159.9
	$T_2$	10 687.8	67.2	85.4	18.2	246.7	10 416.4	64.7	89.9	25.2	184.2
$N_4$	$T_1$	11 079.2	68.4	92.1	23.7	196.5	10 009.9	62.3	85.4	23.1	182.4
	$T_2$	12 887.7	71.4	93.5	22.1	245.2	10 832.4	64.7	88.2	23.5	193.8

施氮量  $N_0$ 、 $N_1$ 、 $N_2$ 、 $N_3$ 、 $N_4$  和施用次数  $T_1$ 、 $T_2$  处理见表 1 注。 $W$ : 生物量;  $t_1$ 、 $t_2$ : 快速增长期起始和结束的时间;  $t_{2-1}$ : 快速增长持续期;  $V_m$ : 最大增长速率。



施氮量  $N_0$ 、 $N_1$ 、 $N_2$ 、 $N_3$ 、 $N_4$  和施用次数  $T_1$ 、 $T_2$  处理见表 1 注。同一生育期内不同字母表示在 0.05 水平上差异显著。

图 2 氮肥运筹对麦后直播棉群体氮素累积的影响

Fig.2 Effects of nitrogen management on population nitrogen accumulation in cotton field-seeded after barley harvest

表 3 麦后直播棉氮素累积与生物量累积特征值的相关关系

Table 3 Correlation between nitrogen accumulation and biomass accumulation in field-seeded cotton after barley harvest

年份	生育期	生物量累积特征值				
		$W$	$t_1$	$t_2$	$t_{2-1}$	$V_m$
2013	初花前	0.643	-0.150	-0.059	-0.043	0.430
	初花后	0.886 **	0.238	-0.079	-0.377	0.917 **
2014	初花前	0.570	-0.233	-0.259	-0.248	0.601
	初花后	0.932 **	0.566	0.349	0.045	0.768 *

生物量累积特征值  $W$ 、 $t_1$ 、 $t_2$ 、 $t_{2-1}$  和  $V_m$  见表 2 注。 $n=9$ ,  $r_{0.05}=0.666$ ,  $r_{0.01}=0.798$ ; \*, \*\* 分别表示在 0.05、0.01 水平上显著。

### 2.3 氮肥运筹对麦后直播棉产量及农艺性状的影响

氮肥运筹对麦后直播棉初花期和吐絮期果枝数、果节数和节枝比均存在显著影响,且施氮量效应

大于施用次数效应(表 4)。初花期直播棉果枝数  $N_0$  和  $N_1$  处理显著低于其他处理,而  $N_2$ 、 $N_3$  和  $N_4$  处理间差异不显著,果节数、节枝比随施氮量增加均呈增加的变化;果枝数、果节数及节枝比  $T_1$  处理高于  $T_2$

处理。吐絮期直播棉果枝数、果节数和节枝比均随施氮量增加而增加,且  $T_2$  处理高于  $T_1$  处理。此外,施氮量与施用次数对果枝、果节数和节枝比存在互作效应,果枝数、果节数及节枝比初花期以  $N_3T_1$  和  $N_4T_1$  处理较高,吐絮期以  $N_4T_2$ 、 $N_3T_2$  和  $N_2T_2$  处理较高。最终产量以  $N_2T_2$ 、 $N_3T_2$  和  $N_4T_2$  处理较高。

2.4 麦后直播棉生物量、氮素累积与产量性状的相关关系

由表 5 可见,初花前生物量与初花期果枝数、果节数及节枝比呈极显著正相关关系,但与吐絮期果

枝数、果节数、节枝比、成铃率及皮棉产量之间相关性不显著,而初花后生物量与吐絮期各产量性状及皮棉产量呈显著或极显著正相关关系。氮素累积与产量性状及皮棉产量的关系与生物量类似,但初花后氮素累积与成铃率的正相关未达显著水平。说明初花前生物量、氮素累积有利于营养体建成,但对产量形成影响不显著;初花后生物量、氮素累积有利于提高果枝数、果节数、节枝比及成铃率,有利于产量形成。

表 4 氮肥运筹对麦后直播棉产量及产量性状的影响

Table 4 Effects of nitrogen management on yield and its traits of field-seeded cotton after barley harvest

施氮量	施用次数	初花期			吐絮期			成铃率 (%)	皮棉产量 (kg/hm <sup>2</sup> )
		1 hm <sup>2</sup> 果枝数 (×10 <sup>4</sup> )	1 hm <sup>2</sup> 果节数 (×10 <sup>4</sup> )	节枝比	1 hm <sup>2</sup> 果枝数 (×10 <sup>4</sup> )	1 hm <sup>2</sup> 果节数 (×10 <sup>4</sup> )	节枝比		
$N_0$		58.5e	110.2f	1.9f	90.0d	204.7f	2.3e	27.5c	1 070.9g
$N_1$	$T_1$	67.5c	157.5d	2.3d	99.0c	247.5e	2.5d	28.3c	1 381.6f
	$T_2$	60.7d	127.5e	2.1e	102.0c	330.0c	3.3ab	30.2ab	1 837.9d
$N_2$	$T_1$	69.7abc	173.3c	2.5c	99.0c	285.7d	2.9c	28.4c	1 639.9e
	$T_2$	67.5c	159.0d	2.3d	107.3b	3 51.7ab	3.3a	31.4a	2 130.4a
$N_3$	$T_1$	72.0a	184.5b	2.6b	99.0c	292.5d	3.0c	31.6a	1 956.3c
	$T_2$	68.3bc	160.5d	2.4d	110.3ab	358.5a	3.3ab	31.2a	2 063.3ab
$N_4$	$T_1$	71.3ab	193.5a	2.7a	108.0b	341.2bc	3.2b	28.9bc	1 999.0bc
	$T_2$	69.0abc	171.8c	2.5c	112.5a	353.2ab	3.2b	30.4a	2 119.2a

施氮量  $N_0$ 、 $N_1$ 、 $N_2$ 、 $N_3$ 、 $N_4$  和施用次数  $T_1$ 、 $T_2$  见表 1 注。同一列中数值后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

表 5 麦后直播棉生物量、氮素累积量与产量性状的相关关系

Table 5 Correlation between biomass accumulation, nitrogen accumulation and yield traits of field-seeded cotton after barley harvest

累积量		初花期			吐絮期			成铃率	皮棉产量
		果枝数	果节数	节枝比	果枝数	果节数	节枝比		
生物量	初花期前	0.978 **	0.982 **	0.975 **	0.456	0.435	0.455	0.389	0.602
	初花期后				0.918 **	0.908 **	0.841 **	0.684 *	0.932 **
氮素	初花期前	0.972 **	0.976 **	0.960 **	0.390	0.349	0.367	0.334	0.529
	初花期后				0.946 **	0.915 **	0.816 **	0.659	0.892 **

$n=9$ ,  $r_{0.05}=0.666$ ,  $r_{0.01}=0.798$ ; \*, \*\* 分别表示在 0.05、0.01 水平上显著。

3 讨论

生产上,氮肥的合理施用一直是调控作物光合生产率及生长的主要措施之一<sup>[10,16]</sup>。早熟棉个体生长量小,对氮肥施用敏感<sup>[6,13]</sup>。本试验中,棉花功能叶 SPAD 值与净光合速率( $P_n$ )随施氮量增加而增加,但施氮量 0~75 kg/hm<sup>2</sup> 显著降低功能叶 SPAD

值和  $P_n$ ,不利于光合产物形成,影响营养体建成和生物量累积,难以实现高产。苗期 1 次性施用氮肥提高了初花期叶片的 SPAD 值和净  $P_n$ ,而吐絮期叶片的 SPAD 值和  $P_n$  则以氮肥 2 次施用较高。可见,在施用苗肥的基础上初花期追施氮肥,促进了生育中后期光合性能的提高和光合产物累积,有利于高产。

适宜的生物累积量及其协调的累积动态是建立棉花良好群体结构和实现高产的最重要目标<sup>[20]</sup>,而生物量累积以养分吸收为基础<sup>[7,21-22]</sup>。生产上,麦后直播棉往往存在迟发晚熟的问题,因此调整施肥技术以促进棉苗早发和生物量的快速累积是早熟棉高产的关键。施氮量 75 kg/hm<sup>2</sup>时,氮素累积量低,生物量快速累积期最大速率低,理论生物量较低,难以高产;施氮量 150~300 kg/hm<sup>2</sup>时,氮素累积量较高,生物量快速累积期最大速率较高,理论生物量高,有利于高产。但施氮量 75~300 kg/hm<sup>2</sup>时,随施氮量增加,生物量快速增长起始期和终止期推迟,且持续期延长,说明施氮量 225 kg/hm<sup>2</sup>以上不能满足麦后直播棉生物量累积“早、集中”要求。从群体结构看,果枝数、果节数及节枝比随施氮量增加而增加,成铃率在施氮量低于 225 kg/hm<sup>2</sup>时也随施氮量增加而增加,但高于此施氮量,成铃率呈下降的变化,对进一步提高产量不利。

麦后直播棉有效生育期短,氮肥在苗期 1 次施用可显著增加生育前期生物量和氮素累积量,促进初花期果枝和果节生成,但这一时期正是长江流域梅雨季节,施氮量过高极易造成营养器官过旺生长和肥料的流失。而氮肥 2 次施用可增加盛花后的生物累积量和吐絮期的氮素累积量,与 Yang 等<sup>[23]</sup>移栽棉氮肥后移(增加盛花期氮肥比例)可以提高棉花对氮肥的吸收总量的结果相似。本研究还发现氮肥 2 次施用有利于提高生物量最大累积速率,有利于生物量的集中累积;此外,氮肥 2 次施用促进了吐絮期果枝和果节生成,并提高了成铃率。施氮量与施用次数互作分析结果表明,施氮量 150~300 kg/hm<sup>2</sup>,施用 2 次处理的果枝数和果节数及产量较高。

增加初花后氮素累积有利于提高生物量快速累积期最大速率和最终的生物量,且初花后生物量、氮素累积有利于增加吐絮期果枝数、果节数和节枝比,有利于增加产量。但施氮量 75~300 kg/hm<sup>2</sup>时,随施氮量增加,生物量、氮素累积量向生殖器官的分配比例降低,致使施氮量 150~300 kg/hm<sup>2</sup>、施用 2 次处理间产量差异不显著<sup>[13]</sup>。其原因可能是施氮量 225 kg/hm<sup>2</sup>以上时生物量快速累积起始时间推迟且持续期长,较高的施氮量易造成营养与生殖生长失调,影响了熟性<sup>[9,11,24]</sup>。

本研究结果表明对于麦后直播棉,施氮量 150~

300 kg/hm<sup>2</sup>,在出苗后和初花期 2 次施用,能显著提高功能叶的光合性能,有利于初花后生物量和氮素的累积,提高吐絮期的果枝数、果节数、节枝比及成铃率,最终产量较高。尤以施氮量 150 kg/hm<sup>2</sup>,2 次施肥处理的生物量累积特征值为优,最有利于实现高产。

#### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 陈源,衡丽,胡大鹏,等. 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.
- [3] 杨长琴,刘瑞显,杨富强. 长江下游棉区适宜麦后直播棉品种筛选[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(8): 81-83.
- [4] 杨长琴,张国伟,刘瑞显,等. 种植密度和缩节胺调控对麦后直播棉产量和冠层特征的影响[J]. 棉花学报, 2016, 28(4): 331-338.
- [5] 花明明,衡丽,胡大鹏,等. 氮肥对小麦后直播棉生长发育及氮素积累的影响[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(12): 73-76.
- [6] 张国伟,杨长琴,倪万潮,等. 施氮量对麦后直播棉氮素吸收利用的影响[J]. 应用生态学报, 2016, 27(1): 157-164.
- [7] BAUER P J, ROOF M E. Nitrogen, aldicarb, and cover crop effects on cotton yield and fiber properties[J]. Agronomy Journal, 2004, 96: 369-376.
- [8] MILROY S P, BANGE M E. Nitrogen and light responses of cotton photosynthesis and implications for crop growth[J]. Crop Science, 2003, 43: 904-913.
- [9] 张旺锋,王振林,余松烈,等. 氮肥对新疆高产棉花群体光合性能和产量形成的影响[J]. 作物学报, 2002, 28(6): 789-796.
- [10] 刘瑞显,郭文琦,陈兵林,等. 干旱条件下花铃期棉花对氮素的生理响应[J]. 应用生态学报, 2008, 19(7): 1475-1482.
- [11] BONDADA B R, OOSTERHUIS D M, NORMAN R J. Canopy photosynthesis growth yield and boll <sup>15</sup>N accumulation under nitrogen stress in cotton[J]. Crop Science, 1996, 36(1): 127-133.
- [12] ROCHESTER I J, PEOPLES M B, HULUGALLE N R, et al. Using legumes to enhance nitrogen fertility and improve soil condition in cotton cropping systems[J]. Field Crops Research, 2001, 70(1): 27-41.
- [13] 杨长琴,张国伟,刘瑞显,等. 氮肥运筹对麦后直播棉产量与氮素利用的影响[J]. 中国生态农业学报, 2016, 24(12): 1607-1613.
- [14] WATT M S, CLINTON P W, WHITEHEAD D, et al. Above-ground biomass accumulation and nitrogen fixation of broom (*Cytisus scoparius* L.) growing with juvenile pinus radiata on a dry land site[J]. Forest Ecology and Management, 2003, 84: 93-104.
- [15] 王子胜,徐敏,刘瑞显,等. 施氮量对不同熟期棉花品种的生物量和氮素累积的影响[J]. 棉花学报, 2011, 23(6): 537-544.

- [16] 马宗斌,严根土,刘桂珍,等. 氮肥分施比例对黄河滩地棉花叶片生理特性、干物质积累及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(5): 1092-1101.
- [17] MENG Y L, CAO W X, LIU X W, et al. A preliminary study of simulation on shoot dry matter partitioning in rice[J]. Acta Agronomical Sinica, 2004, 30(4): 376-381.
- [18] 邹芳刚,王友华,赵文青,等. 氮素对滨海盐土棉花产量、品质及生物量的影响[J]. 棉花学报, 2015, 27(3): 232-240.
- [19] 薛晓萍,王建国,郭文琦,等. 氮素水平对初花后棉株生物量、氮素累积特征及氮素利用率动态变化的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(11): 3631-3640.
- [20] 陈德华,陈 源,周桂生,等. 长江流域棉区高产棉花干物质生产与产量及群体构成的关系[J]. 中国棉花, 2001, 28(10): 9-11.
- [21] BONESMO H, BÉLANGER G. Timothy yield and nutritive value by the CATIMO model: I. Growth and nitrogen [J]. Agronomy Journal, 2002, 94(2): 337-345.
- [22] INGESTAD T, AGREN G I. Theories and methods on plant nutrition and growth[J]. Physiologia Plantarum, 1992, 84: 177-184.
- [23] YANG G Z, TANG H Y, NIEY C, et al. Responses of cotton growth, yield, and biomass to nitrogen split application ratio[J]. European Journal of Agronomy, 2011, 35( 3): 164-170.
- [24] BOQUET D J, BRETENBECK G A, COCO A B, et al. Fertilizer nitrogen rates to optimize cotton yield and fiber quality[J]. Louisiana Agriculture, 1991, 35: 10-11.

(责任编辑:张震林)