

·作物水肥高效利用·

文章编号: 1672-3317(2023) Supp.1-0001-06

# 水分胁迫下氮肥后移对棉花花铃期成铃特性及产量品质的影响

徐新龙<sup>1</sup>, 张巨松<sup>1,2\*</sup>, 代健敏<sup>1</sup>, 何庆雨<sup>1</sup>, 谢玲<sup>1</sup>, 窦巧巧<sup>1</sup>

(1.新疆农业大学农学院, 乌鲁木齐 830052; 2.教育部棉花工程研究中心, 乌鲁木齐 830052)

**摘要:** 【目的】研究干旱半干旱地区棉花花铃期氮肥运筹对非充分灌溉下棉花产量的调节机制。【方法】采用裂区试验设计,在充分灌溉 $2400\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 和非充分灌溉 $1560\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 下分别设置氮肥后移N24(花期肥:铃期肥为2:4)、N33充分施氮(花期肥:铃期肥为3:3)、N42氮肥前移(花期肥:铃期肥为4:2)3个施氮比例,研究棉花蕾铃发育、干物质积累与分配、产量及纤维品质的变化规律。【结果】棉花在花铃期充分灌溉处理较非充分灌溉处理产量、单株结铃数、单铃质量分别提高了17.32%、11.68%、7%。非充分灌溉下,自盛花期开始直至吐絮期,各施氮处理的蕾铃数均表现为N24处理>N33处理>N42处理;棉花1~4台果枝成铃率随花期氮肥比例增加而增加,表现为N42处理>N33处理>N24处理,5~10台果枝成铃率以氮肥后移N24处理最高;盛铃—吐絮期棉花干物质总量表现为N24处理>N33处理>N42处理,各处理干物质最大积累速率及生产特征值均以N24处理最大,N24处理更有利于非充分灌溉下棉花干物质的积累;非充分灌溉棉花籽棉产量表现为N24处理>N33处理>N42处理,N24处理较N33、N42处理平均增加了11.06%、22.44%;N24处理单株结铃数较N33、N42处理平均增加了10.4%、21.32%,单铃质量较N33、N42处理平均增加了0.53%、7.39%;N24处理短纤维指数显著低于N33、N42处理,N24处理纺织参数显著高于N33、N42处理。【结论】非充分灌溉下可以通过氮肥后移来加快干物质积累速率,增加棉花蕾铃数,提高单铃质量和马克隆值弥补灌水不足对棉花产量和品质的影响。

**关键词:** 棉花; 非充分灌溉; 氮肥后移; 蕾铃消长; 产量

中图分类号: S562

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.gggs.2023336

徐新龙, 张巨松, 代健敏, 等. 水分胁迫下氮肥后移对棉花花铃期成铃特性及产量品质的影响[J]. 灌溉排水学报, 2023, 42(Supp.1): 1-6.

XU Xinlong, ZHANG Jusong, DAI Jianmin, et al. Effects of Postponing Nitrogen Application on Boll Characteristics, Yield and Quality of Cotton under Water Stress[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2023, 42(Supp.1): 1-6.

## 0 引言

【研究意义】新疆位于中国西北内陆,属于干旱半干旱地区,水资源稀少且分布不均,水分胁迫成为制约棉花产量的重要原因<sup>[1-3]</sup>。近年来,新疆棉花的科学施肥方法得到了很大的改善,但仍存在施肥结构不合理,比例不协调、分配不均衡等问题<sup>[4-5]</sup>。缺水干旱时,合理水肥运筹可以提高棉花农艺性能和产量品质<sup>[6-7]</sup>。反之,灌水过多会导致棉花生长迅速,从而使棉田受到遮蔽,造成棉花贪青晚熟;水肥亏缺将导致棉花早衰,导致花铃大量掉落,影响棉花产量和质量<sup>[8-9]</sup>。因此,探究新疆干旱地区的施肥比例来减

轻非充分灌溉对棉花产生的负面效应具有重要意义。

【研究进展】棉花在花铃期对水分胁迫极为敏感,此时遭受干旱会使棉花减产降质,这将会破坏棉花营养生长和生殖生长之间的平衡<sup>[10]</sup>。窦巧巧等<sup>[11]</sup>研究发现,水分不足不利于棉纤维和棉籽发育,对中上部果枝棉籽也有很大的影响。王燕等<sup>[12]</sup>研究表明,不同生育阶段氮缺乏和过多会对各器官干物质积累和分布产生影响,从而导致棉花产量下降。陈梦妮等<sup>[13]</sup>、代健敏等<sup>[14]</sup>研究发现,棉花产量形成的最重要时期在花铃期,花铃期施氮处理棉花株高显著高于不施氮处理,而果枝数、单株有效铃数随氮肥施用量增加均呈先增加后降低的趋势。潘俊杰等<sup>[15]</sup>研究发现,在花铃期灌水下限由 $65\% \theta_f$ 提高到 $75\% \theta_f$ ,棉花株高增加了 $0.04\sim 0.10\text{ cm/d}$ ,干物质质量增加了 $3.17\sim 4.04\text{ g}$ 。廖欢等<sup>[16]</sup>研究表明,水分和氮肥对机采棉干物质积累、氮素吸收和产量具有明显的耦合作用。花铃期又是棉花棉铃发育的高峰期<sup>[17]</sup>,棉铃生长发育的好

收稿日期: 2023-07-25 修回日期: 2023-09-28

基金项目: 新疆维吾尔自治区重大科技专项(2020A01002-4)

作者简介: 徐新龙(1997),男,硕士,主要从事棉花高产栽培与生理生态研究。E-mail: xjndxxl@163.com

通信作者: 张巨松(1963),男,教授,主要从事棉花高产栽培与生理生态研究。E-mail: xjndzjs@163.com

©《灌溉排水学报》编辑部,开放获取 CC BY-NC-ND 协议

坏与棉花最终产量和品质密切相关。同时氮肥后移可以延缓玉米叶片衰老,从而增加干物质累积量和最大生长速率<sup>[18]</sup>。【切入点】前人对棉花研究主要集中在单一水分胁迫或氮肥运筹方面,对水分及氮素需求较高花铃期的水氮交互方面的研究鲜见。【拟解决的关键问题】为此,探究水分胁迫下氮肥后移对棉花花铃期成铃特性及产量品质的影响,揭示新疆棉花在非充分灌溉下与氮肥后移之间的互补效应,为新疆干旱地区水肥一体化技术应用提供科学理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验基础

大田试验于2020年4月在新疆沙湾县四道河子镇渠边村(44°29'N、85°57'E,海拔352 m)开展。此地区属于温带大陆性气候,多伴干旱,无霜期170~190 d,平均年降水量170 mm,平均年蒸发量1750

mm,年日照时间2800~2870 h,年平均气温6.9℃。试验田前茬同为棉花,土壤质地是黏质壤土。2020年棉花生育期温度及降水量变化见图1,土壤化学性质见表1。

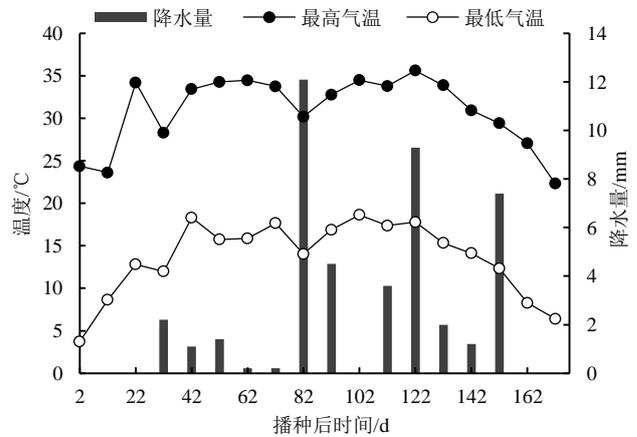


图1 棉花生育期温度及降水量变化

Fig.1 Meteorological map of cotton growth period

表1 2020年土壤理化性质表

Table 1 2020 soil physical and chemical properties table

土层深度/cm	pH值	全氮量/(g kg <sup>-1</sup> )	有机质量/(g kg <sup>-1</sup> )	水解性氮量/(mg kg <sup>-1</sup> )	有效磷量/(mg kg <sup>-1</sup> )	速效钾量/(mg kg <sup>-1</sup> )
0~20	8.88	0.72	13.7	58.4	13.5	368
20~40	8.86	0.67	13.6	45.2	13.8	341
40~60	8.84	0.33	5.35	46.7	4.4	206

### 1.2 试验设计

试验采用双因素裂区试验设计,试验棉花品种为“新陆早54号”。主因素设置2个花铃期灌水量:2400 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>(充分灌溉F)、1560 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>(非充分灌溉NF);副因素为花铃期3种施肥比例,分别为氮肥后移N24(花期肥:铃期肥为2:4)、充分施氮N33(花期肥:铃期肥为3:3)、氮肥前移N42(花期肥:铃期肥为4:2)。棉花采用行距配置为66+10 cm的1膜6行种植模式,株距10 cm,理论株数22.5万株/hm<sup>2</sup>,共6个处理,每个处理重复3次,共18个小区,幅宽2.92 m;小区长10 m,宽6.9 m,小区面积69 m<sup>2</sup>,总占地面积共1242 m<sup>2</sup>。棉花整个生育期共灌水8次,自现蕾开始灌水,后每隔10 d灌水1次,花铃期灌水5次(表2),各处理总施氮量为纯氮320 kg/hm<sup>2</sup>,基肥与蕾期各施入全生育期20%的纯氮,花铃期追施60%纯氮。用水表控制灌水量,称取所需氮肥(尿素),放入各处理施肥罐中,随水灌施,其他管理方式同大田一致。

表2 花铃期灌溉施肥表

Table 2 Irrigation and fertilization table at flowering and boll stage

指标	处理	花期		铃期			总量
		0620	0701	0711	0722	0802	
灌水量/(m <sup>3</sup> hm <sup>-2</sup> )	F	500	550	530	500	460	2400
	NF	380	390	350	340	290	1560
施氮量/%	N42	0	20	30	8	2	60
	N33	8	22	20	7	3	60
	N42	10	30	15	5	0	60

### 1.3 测定项目与方法

#### 1.3.1 棉铃时空分布

于7月中旬、8月中旬和9月初调查代表性棉株伏前桃、伏桃和秋桃个数,并且计数下部铃(1~3果枝)、中部铃(4~6果枝)、上部铃(7果枝及以上)以及内位铃和外位铃。

#### 1.3.2 地上部分干物质量

棉花初花期、盛花期、盛铃期和吐絮期,每个小区选取具有代表性的棉株2株,每个处理共6株,以茎、叶作为营养器官,蕾花铃作为生殖器官分开处理,在105℃杀青30 min后,在80℃恒温烘干至恒质量,称量干物质量,并计算出营养器官与生殖器官的分配量。

#### 1.3.3 产量及品质

棉花吐絮后数每小区收获株数和铃数,选取有代表性的棉株,分上(7果枝以上)、中(4~6果枝)、下(1~3果枝)部位各取30、40、30个棉桃,晾干轧花后测定其铃质量和衣分。将采集的棉纤维样品送至新疆农业科学院棉纤维检测中心按照GB/T20392-2006《HVI棉纤维物理性能试验方法》检测。

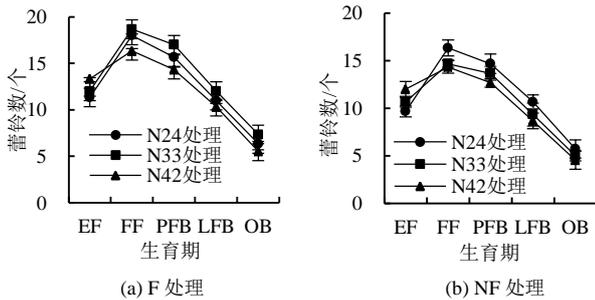
#### 1.3.4 数据处理

采用Excel 2019处理试验数据,运用DPS数据处理系统对数据进行方差分析,运用GraphPad和Excel 2019绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 水分胁迫下氮肥后移对棉花花铃期蕾铃动态变化的影响

由图 2 可知,棉花蕾铃数随生育期推进呈先上升后下降的趋势,盛花期各处理蕾铃数最高,吐絮期最低。2 种灌溉处理下,初花期的蕾铃数均表现为氮肥前移最多,呈随花期氮肥比例增加而增加趋势,表现为 N42 处理>N33 处理>N24 处理,故氮肥前移能促进棉花初花期的蕾铃数的增长;灌溉量是保证棉花蕾铃增长的主要因素,充分灌溉处理下 N24、N33、N42 处理较非充分灌溉对应氮肥处理蕾铃数分别增加了 17.7%、12.6%、10.8%;充分灌溉处理下, N42 处理不能供给棉花初花期之后的氮肥需求, N33 处理可满足整个花铃期的氮素供应,自盛花期开始直至吐絮期,各施氮处理蕾铃数均表现为 N33 处理>N24 处理>N42 处理, N3 处理较 N24、N42 处理分别增加 5.88%、10.61%;非充分灌溉处理下,自盛花期开始直至吐絮期,各施氮处理的蕾铃数均表现为 N24 处理>N33 处理>N42 处理, N24 处理较 N33、N42 处理增加 6.87%、16.32%。



注 EF 表示初花期; FF 表示盛花期; PFB 表示盛铃期; LFB 表示盛铃后期; OB 表示吐絮期。

图 2 水分胁迫下氮肥后移对棉花花铃期蕾铃动态变化的影响

Fig.2 Effects of postponing nitrogen fertilizer on dynamic changes of buds and bolls of cotton at flowering and boll stage under water stress

### 2.2 水分胁迫下氮肥后移对棉花花铃期成铃率的影响

棉花成铃率随着果枝数的增加而减小(图 3),与充分灌溉相比,非充分灌溉下各氮肥处理的成铃率更低;充分灌溉处理下,棉花 1~3 台果枝成铃率随花期氮肥比例增加而增加,成铃率表现为 N42 处理>N33

处理>N24 处理;4~10 台果枝成铃率均以常规施肥处理最高,表现为 N33 处理>N24 处理>N42 处理。非充分灌溉处理下,棉花 1~4 台果枝成铃率随花期氮肥比例增加而增加,表现为 N42 处理>N33 处理>N24 处理,5~10 台果枝成铃率均以氮肥后移处理最高,故棉花花铃期在非充分条件下氮肥后移能够显著提高棉花 5 台之后果枝的成铃率,增加棉花有效果枝数。

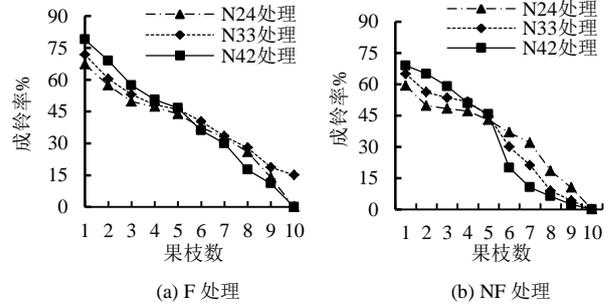


图 3 水分胁迫下氮肥后移对棉花花铃期成铃率的影响

Fig.3 Effects of postponing nitrogen application on boll setting rate of cotton under water stress

### 2.3 水分胁迫下氮肥后移对棉花花铃期生物量积累及分配的影响

用 Logistic 生长函数对 2 种灌溉量下棉花花铃期不同施氮处理的棉花干物质积累进行拟合(表 3)。由表 3 可知,各处理棉花干物质快速积累期在出苗后 60~139 d,充分灌溉与非充分灌溉各处理间干物质积累起始时间均表现为 N42 处理早于 N33、N24 处理,并提前 14~15 d 结束干物质的快速积累,原因在于花期氮肥比例大于铃期,铃期养分输送速率小于吸收速率,棉花干物质提前进入快速积累期,但较早结束干物质积累,使得棉花出现早衰现象,对棉花生长发育产生了一定影响。2 种灌溉处理下的 N33 处理快速积累持续时间最长,非充分灌溉下的 N24 处理虽小于 N33 处理,但差异并不显著。充分灌溉下,各处理最大干物质积累速率表现为 N24 处理>N33 处理>N42 处理, N33 处理各参数最为协调,可获得较高的干物质积累。非充分灌溉下,各处理最大干物质积累速率及特征值均以 N24 处理最大,表现为 N24 处理>N33 处理>N42 处理。

表 3 干物质积累的 Logistic 模型及其特征值

Table 3 Logistic model of dry matter accumulation and its characteristic value

灌溉	施量	方程	$t_0/d$	$t_1/d$	$t_2/d$	$\Delta t/d$	$Vm/(g \text{ 株}^{-1} \text{ d}^{-1})$	$GT/(g \text{ 株}^{-1})$	$R^2$
F	N24	$y=109.8715/[1+e^{(6.3792-0.072946t)}]$	87	71	106	35	2.00	69	0.9980**
	N33	$y=137.7387/[1+e^{(4.9761-0.050620t)}]$	98	75	124	50	1.74	87	0.9786*
	N42	$y=98.1181/[1+e^{(4.8257-0.055977t)}]$	86	65	110	45	1.37	62	0.9698*
NF	N24	$y=128.4725/[1+e^{(4.7981-0.047633t)}]$	101	76	128	53	1.53	81	0.9910**
	N33	$y=127.0413/[1+e^{(4.1384-0.039140t)}]$	106	75	139	64	1.24	66	0.9701*
	N42	$y=70.3840/[1+e^{(4.6169-0.056870t)}]$	81	60	104	44	1.00	53	0.9218**

注  $t$  为棉花出苗后的时间;  $y$  为棉花干物质积累量;  $Vm$  为最大积累速率;  $t_0$  为最大积累速率出现时间;  $t_1$  为进入快速积累期时间拐点;  $t_2$  为结束快速积累期时间拐点;  $\Delta t$  为快速积累持续时间;  $GT$  为快速积累期生长特征值。\*\*表示  $P<0.01$ ; \*表示  $P<0.05$ 。

由表 4 可知, 2 种灌溉处理的干物质质量均随棉花生育期推进逐渐增加, 其中初花—盛花期营养器官的干物质质量增长迅速, 盛铃—吐絮期生殖器官的干物质质量增长迅速。相同氮肥处理下, 非充分灌溉处理棉花营养器官和生殖器官干物质质量较充分灌溉处理分别减少了 17.98%、17.18%。充分灌溉下初花—盛花期棉花干物质质量表现为 N42 处理>N33 处理>N24 处理, 其中, N42 处理生殖器官干物质分配比例较大, 此时营养生长仍大于生殖生长; 盛铃—吐絮期棉花营养生长衰退, 生殖生长旺盛, 棉花干物质质量表现为 N33 处理>N24 处理>N42 处理, 其中 N24 处理的生殖器官干物质分配比例较大; 充分灌溉下棉花 N42 处理更有利于花期干物质积累; 自盛铃期开始, N33 处理更有利于棉花干物质积累。非充分灌溉下初花—盛花期棉花干物质质量同样表现为 N42 处理>N33 处理>N24 处理, N42 处理生殖器官干物质分配比例较大; 盛铃—吐絮期棉花干物质质量表现为 N24 处理>N33 处理>N42 处理, 营养器官和生殖器官的干物质分配比例差异不显著。

#### 2.4 水分胁迫下氮肥后移对棉花花铃期产量及产量构成的影响

由表 5 可知, 2 个灌溉处理的棉花产量表现为充分灌溉处理>非充分灌溉处理, 非充分灌溉处理产量、单株结铃数、单铃质量较充分灌溉平均减少了 17.32%、11.68%、7%, 收获株数及衣分均无差异。充分灌溉下, 棉花籽棉产量表现为 N33 处理>N42 处理>N24 处理, N33 处理较 N42、N24 处理平均增加了 14.5%、17.31%; N33 处理单株结铃数较 N42、N24 处理分别增加了 12.24%、7.2%; N33 处理单铃质量较 N42、N24 处理分别增加了 7%、10.64%。非充分灌溉处理下, 棉花籽棉产量表现为 N24 处理>N33 处理>N42 处理, N24 处理较 N33、N42 处理平均增加了 11.06%、22.44%; N24 处理单株结铃数较 N33、N42 处理平均增加了 10.4%、21.32。N24 处理单铃质量较 N33、N42 处理平均增加了 0.53%、7.39%。

#### 2.5 水分胁迫下氮肥后移对棉花花铃期纤维品质的影响

由表 6 可知, 灌溉影响棉花纤维上半部平均长度、

断裂伸长率、短纤维指数、成熟度指数、马克隆值及纺织参数, 非充分灌溉处理棉花纤维上半部平均长度、断裂伸长率、成熟度指数、纺织参数较充分灌溉处理分别减少了 2.6%、5.82%、0.8%、6.93%, 短纤维指数及马克隆值较充分灌溉处理分别增加了 4.71%和 2.89%。非充分灌溉下 N24 处理纤维上半部平均长度、断裂伸长率、短纤维指数、成熟度指数和纺织参数略高于 N33、N42 处理, 而马克隆值略低于 N33、N42 处理, 但整体差异不显著。

表 4 水分胁迫下氮肥后移对棉花花铃期生物量积累与分配的影响

Table 4 Effects of postponing nitrogen application on biomass accumulation and distribution of cotton at flowering and boll-forming stages under water stress

生育期	处理	干物质质量/(g 株 <sup>-1</sup> )			干物质分配比例/%	
		营养器官	生殖器官	合计	营养器官	生殖器官
初花期	N24	15.92bc	4.12b	20.04bc	81.69a	18.31c
	F N33	16.71b	3.76bc	20.47b	79.52bc	20.48ab
	N42	17.99a	4.63a	22.62a	79.43bc	20.57ab
	N24	14.95c	4.00bc	18.95c	80.79ab	19.21bc
	NF N33	16.84ab	3.66c	20.50b	82.15a	17.85c
	N42	16.85ab	3.98bc	20.83b	78.90c	21.10a
盛花期	N24	31.24c	7.41b	38.65c	79.42b	20.58a
	F N33	32.98b	8.55a	41.53b	80.83ab	19.17ab
	N42	34.90a	8.72a	43.62a	80.17ab	19.83ab
	N24	28.91de	6.54c	35.45d	80.89ab	19.11ab
	NF N33	27.69e	6.54c	34.23d	81.56a	18.44b
	N42	30.39cd	7.36b	37.75c	80.50ab	19.50ab
盛铃期	N24	35.73b	15.56b	51.29b	69.39b	30.61a
	F N33	38.40a	16.94a	55.34a	69.67b	30.33a
	N42	34.53c	15.33b	49.86c	69.25b	30.75a
	N24	30.80e	14.07c	44.87d	70.30ab	29.70ab
	NF N33	32.83d	13.01d	43.81e	70.01ab	29.99ab
	N42	29.41f	12.01e	41.42f	71.03a	28.97b
盛铃后期	N24	37.78b	27.65b	65.43b	56.37bc	43.63bc
	F N33	42.09a	32.58a	74.67a	57.74ab	42.26cd
	N42	36.74b	25.91c	62.65c	58.65a	41.35d
	N24	28.17d	25.13c	53.30d	55.90cd	44.10ab
	NF N33	30.34c	20.21d	50.55e	56.27c	43.73b
	N42	25.40e	21.18d	46.59f	54.52d	45.48a
吐絮期	N24	30.91b	55.78a	86.69a	35.37bc	64.63bc
	F N33	31.87a	58.25a	90.13a	35.65b	64.35c
	N42	29.43c	47.59bc	77.02b	38.35a	61.65d
	N24	22.53e	50.41b	72.94b	33.27cd	66.73ab
	NF N33	25.76d	45.16c	70.92c	33.82bcd	66.18abc
	N42	19.82f	40.34d	60.16d	32.95d	67.05a

表 5 水分胁迫下氮肥后移对棉花花铃期产量及产量构成的影响

Table 5 Effects of postponing nitrogen application on yield and yield components of cotton at flowering and boll-forming stage under water stress

灌溉	施氮	收获株数/株/hm <sup>2</sup>	单株结铃数/(个 株 <sup>-1</sup> )	单铃质量/g	衣分/%	籽棉产量/(kg hm <sup>-2</sup> )	皮棉产量/(kg hm <sup>-2</sup> )
F	N24	182 000a	5.56ab	5.64bc	0.44a	5 704.95b	2 510.18b
	N33	180 000a	5.96a	6.24a	0.44a	6 692.70a	2 944.79a
	N42	189 000a	5.31bc	5.83b	0.45a	5 845.23b	2 630.35b
NF	N24	183 000a	5.52ab	5.67ab	0.44a	5 723.02b	2 518.13b
	N33	183 000a	5.00cd	5.63bc	0.44a	5 152.98bc	2 267.31bc
	N42	194 500a	4.55d	5.28d	0.44a	4 674.15c	2 056.63c

表 6 水分胁迫下氮肥后移对棉花花铃期纤维品质的影响

灌溉	施氮	上半部平均长度/mm	整齐度指数/%	断裂比强度 CN/tex	断裂伸长率/%	短纤维指数/%	成熟度指数	马克隆值	纺织参数
F	N24	28.47ab	82.90a	26.40a	10.57ab	8.17bc	0.847ab	4.67b	119.33ab
	N33	28.57a	83.43a	27.43a	10.93a	7.80c	0.850a	4.53b	123.67a
	N42	28.37ab	82.10a	26.37a	10.50ab	9.53a	0.843ab	4.80ab	117.33bc
NF	N24	28.17ab	82.93a	27.17a	10.17ab	8.23bc	0.843ab	4.67b	114.33cd
	N33	27.70ab	82.27a	26.43a	10.10ab	8.90ab	0.840ab	4.70ab	113.33cd
	N42	27.37b	81.70a	26.20a	9.97b	9.57a	0.837b	5.03a	109.33d

### 3 讨论

水分亏缺严重时,由于无法满足棉铃发育的水分需求,使得棉花单株结铃数和铃质量显著下降,并降低了纤维伸长率和最终纤维长度<sup>[19-20]</sup>。非充分灌溉处理下棉铃体积增大的潜力低于充分灌溉处理,限制了棉花植株的营养生长,造成果枝数减少,单株成铃率降低,蕾铃脱落的比例增加,对上部铃影响最大,成铃总数主要决定于中下部成铃数<sup>[21-22]</sup>。棉花现蕾数在生长前期增加较快,于出苗后 99 d 达到最大 11 个,棉蕾增长最大可达到 0.60 个/d,随后棉蕾增长速率迅速降低;棉花成铃数前期迅速,后期趋于稳定,最大达到 6.5 个/株;成铃强度前期增加较快,最大达到 0.20~0.28 个/d,后期缓慢降低<sup>[23]</sup>,说明在充分灌溉下,棉花生殖器官快速积累都在前期。灌溉量是保证棉花蕾铃增长的主要因素,充分灌溉下 N24、N33、N42 处理蕾铃数较非充分灌溉对应氮肥处理分别增加了 17.7%、12.6%、10.8%,这与前人<sup>[21-22]</sup>研究基本一致;非充分灌溉处理下棉花花铃期氮肥后移能够显著提高棉花第 5 台以上果枝的成铃率,增加棉花上部有效果枝数,说明非充分灌溉处理花铃期氮肥后移对棉花蕾铃消长起到了一定的协调作用。

氮肥后移增加了玉米最大干物质增长速率和干物质平均增长速率,提高玉米产量<sup>[24-25]</sup>。氮肥后移保证了玉米全生育期对氮素的需求,源库关系明显改善,产量明显提高<sup>[26]</sup>。基肥:分蘖肥:穗肥比例为 2:3:5 的氮肥后移能有效减少氮损失,同时又能保持水稻产量<sup>[27]</sup>。氮肥后移也可优化小麦产量结构,改善小麦氮肥利用效率,起到节水减氮的效果<sup>[28-29]</sup>。大豆氮肥后移分期施用可增产并显著提高蛋白质质量,最高可达 1.323 3%<sup>[30]</sup>。本研究发现,非充分灌溉下,花铃期氮肥后移提高了棉花干物质积累速率,更有利于干物质积累,营养器官和生殖器官的干物质分配比例没有显著差异,这可能是由于棉花水分亏缺时源库系统发生改变,其营养输送异于充分灌溉;花铃期非充分灌溉会虽导致棉花减产,但在氮肥总量不变条件下,可以通过氮肥后移来弥补一定产量上的损失。

### 4 结论

花铃期灌溉量和氮肥施用比例对棉花棉铃生长,干物质积累与分配、产量及品质交互作用显著,非充分灌溉会导致此期间的源库系统供水不足,利用氮肥后移花期肥:铃期肥为 2:4 可以大幅度减轻水分亏缺对棉花棉铃生长、干物质积累与分配、产量与品质的不利影响,以氮调水弥补干旱区非充分带来的经济损失。

(作者声明本文无实际或潜在利益冲突)

#### 参考文献:

- [1] 粟晓玲,刘雨翰,姜田亮,等.西北地区陆地生态系统未来生态需水量预估[J].水资源保护,2023,39(4):9-18,78.
- [2] 党学亚,张俊,常亮,等.西北地区水文地质调查与水资源安全[J].西北地质,2022,55(3):81-95.
- [3] 李雪源,王俊铎,郑巨云,等.新疆棉花产业发展与供给侧改革[C]//中国农学会棉花分会 2017 年年会暨第九次会员代表大会论文汇编.郑州,2017:13-21.
- [4] 赖波,汤明尧,柴仲平,等.新疆农田化肥施用现状调查与评价[J].干旱区研究,2014,31(6):1024-1030.
- [5] 哈丽哈什·依巴提,张炎,李青军,等.施肥对棉花养分吸收、分配、利用和产量的影响[J].中国土壤与肥料,2018(2):61-66.
- [6] 忠智博.膜下滴灌棉花灌溉施肥制度及施肥策略的探究[D].北京:中国农业科学院,2020.
- [7] SHUKR H H, PEMBLETON K G, ZULL A F, et al. Impacts of effects of deficit irrigation strategy on water use efficiency and yield in cotton under different irrigation systems[J]. Agronomy, 2021, 11(2): 231.
- [8] 刘勇,杨明凤,白书军,等.新疆北疆机采棉花铃期栽培管理及适宜气候条件分析[J].棉花科学,2021,43(2):58-60.
- [9] WU H, WANG X G, XU M, et al. The effect of water deficit and waterlogging on the yield components of cotton[J]. Crop Science, 2018, 58(4): 1751-1761.
- [10] 王瑞.花铃期持续土壤干旱影响棉花产量品质形成的生理生态机制研究[D].南京:南京农业大学,2016.
- [11] 窦巧巧,张玮涛,陈秀玲,等.花铃期水分亏缺对不同部位果枝棉铃发育及产量的影响[J].新疆农业科学,2021,58(7):1177-1186.
- [12] 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.
- [13] 陈梦妮,李永山,王慧,等.不同施氮量对棉花花铃期的生长特性与产量及经济效益的影响[J].山西农业科学,2021,49(4):449-454.
- [14] 代健敏,何庆雨,谢玲,等.氮肥后移对花铃期水分亏缺棉花产量的补偿效应研究[J].干旱区研究,2022,39(3):986-995.
- [15] 潘俊杰,付秋萍,阿布都卡依木·阿不力米提,等.蕾期和花铃期不同灌水下限对滴灌棉花产量的影响[J].干旱地区农业研究,2019,37(5):27-32.
- [16] 廖欢,甘浩天,刘凯,等.机采棉氮素吸收及产量的最佳水氮组

- 合[J]. 植物营养与肥料学报, 2021, 27(12): 2 229-2 242.
- [17] 窦巧巧. 花铃期减量滴灌对棉花棉铃发育及其叶片光合特性的影响[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2021.
- [18] 刘见, 宁东峰, 秦安振, 等. 氮肥减量后移对喷灌玉米产量和水氮利用效率的影响[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(3): 42-49.
- [19] 闫曼曼, 郑剑超, 张巨松, 等. 蕾期调亏灌溉对海岛棉棉铃发育及产量的影响[J]. 棉花学报, 2015, 27(4): 354-361.
- [20] GAO M, SNIDER J L, BAI H, et al. Drought effects on cotton (*Gossypium hirsutum* L.) fibre quality and fibre sucrose metabolism during the flowering and boll-formation period[J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 2020, 206(3): 309-321.
- [21] 焦晓玲, 巴图尔, 张巨松, 等. 非充分滴灌对棉花成铃质量的影响[J]. 西北农业学报, 2015, 24(1): 84-90.
- [22] 邵德意. 花铃期土壤干旱对陆地棉棉铃-对位叶碳代谢的影响及与纤维品质的关系[D]. 南昌: 江西农业大学, 2017.
- [23] 窦海涛, 石洪亮, 李春艳, 等. 非充分灌溉下氮肥对棉花蕾铃消减及产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2018, 36(2): 86-92.
- [24] 魏廷邦, 胡发龙, 赵财, 等. 氮肥后移对绿洲灌区玉米干物质积累和产量构成的调控效应[J]. 中国农业科学, 2017, 50(15): 2 916-2 927.
- [25] 张丽丽, 齐华, 樊叶, 等. 氮肥后移对玉米冠层内物质分配及氮素利用的影响[J]. 玉米科学, 2017, 25(1): 127-132.
- [26] 王佳慧, 高震, 曲令华, 等. 氮肥后移对滴灌夏玉米源库特性及产量形成的影响[J]. 中国农业大学学报, 2017, 22 (8): 1-8.
- [27] 段小丽, 张富林, 倪承凡, 等. 前氮后移对水稻产量形成和田面水氮素动态变化的影响[J]. 水土保持学报, 2020, 34(1): 255-261.
- [28] 吴晓丽, 李朝苏, 汤永禄, 等. 氮肥运筹对小麦产量、氮素利用效率和光能利用率的影响[J]. 应用生态学报, 2017, 28(6): 1 889-1 898.
- [29] 刘彩彩, 张孟妮, 武雪萍, 等. 微喷水肥一体化氮肥后移对夏玉米氮素吸收及籽粒产量品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2019(6): 108-113.
- [30] 郭泰, 刘秀芝, 郑殿峰, 等. 氮素后移施肥对大豆产量及品质的影响[J]. 大豆科学, 2015, 34(1): 168-171.

## Effects of Postponing Nitrogen Application on Boll Characteristics, Yield and Quality of Cotton under Water Stress

XU Xinlong<sup>1</sup>, ZHANG Jusong<sup>1,2\*</sup>, DAI Jianmin<sup>1</sup>, HE Qingyu<sup>1</sup>, XIE Ling<sup>1</sup>, DOU Qiaoqiao<sup>1</sup>

(1. College of Agriculture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;

2. Cotton Engineering Research Center of Ministry of Education, Urumqi 830052, China)

**Abstract:** **【Objective】**The aim of this paper was to study the regulation effect of nitrogen fertilizer management on cotton yield under insufficient irrigation at flowering and boll-forming stage in arid and semi-arid areas. **【Method】**A split-plot design was used to study the effects of different nitrogen application levels on bud and boll development, dry matter accumulation and distribution, yield and fiber quality of cotton. Three nitrogen application levels were set up : N24(flowering fertilizer : boll stage fertilizer 2 : 4), N33(flowering fertilizer : boll stage fertilizer 3 : 3) and N42(flowering fertilizer : boll stage fertilizer 4 : 2) under full irrigation 2 400 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> and non-full irrigation 1 560 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, respectively. **【Result】**Compared with non-sufficient irrigation, the yield, boll number per plant and single boll weight of sufficient irrigation at flowering and boll-forming stage increased by 13.7%, 17.32%, 11.68% and 7%, respectively. Under non-sufficient irrigation, from the flowering stage to the boll opening stage, the number of buds and bolls of each nitrogen treatment showed as N24 treatment > N33 treatment > N42 treatment; the boll setting rate of 1-4 fruit branches of cotton increased with the increase of nitrogen fertilizer proportion at flowering stage, showed as N42 treatment > N33 treatment > N24 treatment, and the boll setting rate of 5-10 fruit branches was the highest in N24 treatment. The total dry matter of cotton from full boll stage to boll opening stage was showed as N24 treatment > N33 treatment > N42 treatment. The maximum accumulation rate and production characteristic value of dry matter in each treatment were the highest in N24 treatment, and N24 treatment was more conducive to the accumulation of dry matter in cotton under insufficient irrigation. The yield of cotton seed cotton under non-sufficient irrigation showed as N24 treatment > N33 treatment > N42 treatment, and N24 treatment increased by 11.06% and 22.44% on average compared with N33 and N42 treatments. The number of bolls per plant and single boll weight of N24 treatment increased by 10.4%, 21.32%, 0.53% and 7.39% on average compared with N33 and N42 treatments. The short fiber index of N24 treatment was significantly lower than that of N33 and N42 treatments, and the textile parameters of N24 treatment were significantly higher than those of N33 and N42 treatments. **【Conclusion】**Under non-sufficient irrigation, the dry matter accumulation rate can be accelerated by postponing nitrogen fertilizer, the number of cotton buds and bolls can be increased, and the single boll quality and micronaire value can be improved to compensate for the effect of insufficient irrigation on cotton yield and quality.

**Key words:** cotton; water shortage irrigation; nitrogen fertilizer postponing; bud and boll development; production

责任编辑: 白芳芳