

控制排水条件下施氮水平对棉花生长、 吸氮量和产量的影响

吴倩¹, 吴启侠¹, 邓超², 刘凯文², 漆栋良^{1*}, 朱建强^{1*}

(1.长江大学 农学院, 湖北 荆州 434025; 2.湖北省荆州市农业气象试验站, 湖北 荆州 434020)

摘要:【目的】探究控制排水条件下不同施氮水平对棉花生长、吸氮量和产量的影响, 为长江中下游地区棉花稳产、增收提供科学指导。【方法】以“晶华棉 112”为供试作物, 设置 2 种控制排水模式(控制排水和非控制排水, 分别记为 KS 和 FKS)和 5 个施氮水平(0、90、180、270、360 kg/hm², 分别记为 N0、N1、N2、N3、N4), 采用完全随机区组设计, 测定不同处理下的棉花关键生育期叶片 SPAD、盛花期株高和成熟期不同器官干物质积累量、吸氮量, 籽棉产量及其构成因子。【结果】与 FKS 排水模式下相比, KS 排水模式下减氮处理(N1、N2 和 N3)的棉花蕾期—吐絮期叶片 SPAD、盛花期株高、成熟期干物质积累量、吸氮量、单株铃数、单铃质量及衣分显著增加, 进而促进了籽棉产量提升。与农民习惯施氮水平(N4)相比, FKS 排水模式下的 N1、N2、N3 处理的籽棉产量显著下降, 而 KS 排水模式下仅有 N1 处理和 N2 处理的籽棉产量显著下降。KSN3 处理下的籽棉产量与 KSN4 处理相比差异不显著, 但蕾花铃的干物质量及吸氮量占总干物质量及总吸氮量的比例显著提高。【结论】控制排水条件下减氮 25%有利于维持棉花生长, 并促进干物质量积累和氮素吸收, 有利于干物质量与氮素向棉花生殖器官的分配, 从而获得较高的籽棉产量。

关键词: 控制排水; 施氮; 棉花产量; 干物质; 水氮耦合

中图分类号: S562

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2023152

OSID: 

吴倩, 吴启侠, 邓超, 等. 控制排水条件下施氮水平对棉花生长、吸氮量和产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2023, 42(10): 32-38.

WU Qian, WU Qixia, DENG Chao, et al. The Effect of Controlled Drainage and Nitrogen Fertilization on Growth, Nitrogen Uptake and Yield of Cotton[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2023, 42(10): 32-38.

0 引言

【研究意义】中国是棉花生产大国, 棉花产量约占全球棉花总产量的 24.8%。水分和氮素是决定棉花生长发育的关键环境因子。随着水资源短缺与农业需求的不断增加, 农业用水供需矛盾日益突出。同时, 农业生产中氮肥的过量或不科学施用普遍降低了氮素利用效率, 并引起了一系列生态环境问题^[1]。因此, 如何有效提高水、氮利用效率是维持中国棉花可持续生产的关键。【研究进展】控制排水是一项重要的农田水分管理措施。研究表明, 控制排水技术可提升土壤水分和养分的有效利用率, 降低土壤养分流失量, 从而提高作物水肥利用效率^[2-3]。控制排水

相比非控制排水可以显著提高玉米、大豆和芝麻的产量^[4-8]。但也有研究表明, 控制排水对作物产量并无显著影响^[9-11]。可见, 控制排水对作物产量的影响尚存在较大分歧, 亟须进一步验证。氮素是棉花生长和产量形成的另一决定因素^[12]。研究表明, 增施氮肥可促进棉株对养分的吸收与生物量的积累^[13], 但过高的施氮量会打破棉花营养生长与生殖生长之间的平衡, 造成棉花贪青晚熟和减产^[14]。可见, 适宜的施氮量是棉花高产的必要条件。徐茵等^[15]研究表明, 通过地表控制排水, 减氮 10%~20%有助于增加 0~20 cm 土层中的无机氮量, 有助于提高棉花产量, 但其生理影响机制尚不明确。【切入点】以往研究大多聚焦于控制排水或不同氮肥管理对棉花生长、产量、水肥利用效率的影响^[16-18]。但对于控制排水与施氮量耦合条件下的棉花生长、产量及氮素利用的研究不足。此外, 以往对于棉花水、氮耦合效应的研究主要在干旱、半干旱地区开展。在新疆, 当灌溉定额为 3 900 m³/hm², 施氮量为 300 kg/hm²时, 棉花有效铃数和单铃数显著增加, 棉花产量达到最

收稿日期: 2023-04-07 修回日期: 2023-06-06 网络出版日期: 2023-10-16

基金项目: 国家自然科学基金区域重点联合基金项目(U21A2039)

作者简介: 吴倩(1999-), 女。硕士研究生, 研究方向为棉花水肥管理。

E-mail: 963418284@qq.com

通信作者: 漆栋良(1987-), 男。副教授, 博士, 主要从事农业水土环境及其调控研究。E-mail: qdl198799@126.com

朱建强(1963-), 男。教授, 博士生导师, 主要从事水土环境与作物生产研究。E-mail: zyjb@sina.com

©《灌溉排水学报》编辑部, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议

高^[19]。李培岭等^[20]指出中高水、高氮处理可显著提高棉花干物质质量。将灌水量控制在 0.8~1.0 倍的作物需水量可有效提高棉花产量^[21]。然而，目前围绕湿润地区棉花的水、氮耦合研究甚少。【拟解决的关键问题】鉴于此，本研究基于田间试验，对比分析了不同控制排水模式与施氮水平耦合条件下的棉花株高、叶绿素量、干物质积累量、吸氮量及产量构成因子的差异，探究控制排水条件下不同施氮水平对棉花生长、吸氮量和产量的影响，以期为长江中下游地区棉花的水氮高效管理提供科学指导。

1 材料与方法

1.1 试验概况

试验于 2022 年 5—11 月在湖北省荆州市农业气象试验站（北纬 30°20'58.20"，东经 112°9'15.84"）进行，该区域为亚热带季风气候，多年平均气温为 16.5℃，多年平均降水量为 1 089 mm，多年平均日照时间为 1 742.4 h。棉花全生育期降水量为 565.3 mm，日最大降水量为 65.6 mm。在蕾期和花铃期各灌水 1 次，每次灌水量为 30 mm。

1.2 试验设计

试验采用二因素（控制排水模式×施氮水平）完全随机组合设计，设置控制排水（FS）与非控制排水（FKS）2 种排水模式，0、90、180、270、360 kg/hm² 共 5 个施氮水平，分别记为 N0、N1、N2、N3、N4。其中，N4 是当地农民的习惯施氮量。共 10 个处理，分别为 KSN0、KSN1、KSN2、KSN3、KSN4、FKSN0、FKSN1、FKSN2、FKSN3、FKSN4，每个处理重复 3 次，共计 30 个小区。FKS 排水模式下，田间排水沟处于自然排水状态；KS 排水模式下，降水造成的地表径流由排水沟出口处的小闸门拦蓄在试验田块中，控制田间水深和蓄水历时，考虑棉花的耐淹水深、耐淹历时及雨滴对土壤的击溅侵蚀效应，控制降雨过程中地表排水深度不超过 5 cm，排水历时不超过 3 d。

以尿素作为氮肥，分别在棉花播种前，花蕾期、花铃期施入总施氮量的 30%、30%、40%。不同处理下的磷、钾、硼肥用量保持一致，分别为 P₂O₅ 90 kg/hm²、K₂O 180 kg/hm²、持力硼 3 kg/hm²。磷、钾、硼肥全部基施。每个小区面积为 20 m²（4 m×5 m），不同小区间起垄分隔，供试棉花品种为“晶华棉 112”，棉花于 5 月 31 日移栽，11 月 12 日收获。田间行距为 80 cm，株距为 40 cm。棉花生长期，KS 条件下的各小区在最大日降水事件后收集地表径流 1 次，FKS 排水模式下小区收集地表径流 4 次。

1.3 测定指标与方法

叶绿素：在苗期、蕾期、初花期、盛花期、花铃期和吐絮期，于每个小区随机选取 5 株棉花，随机选取棉花不同部位的 5 片棉叶，采用日本美能达便携式 SPAD-502 叶绿素仪测定叶片 SPAD。

地上部干物质质量：在棉花成熟期进行田间取样，从每个小区内随机挑选 3 株可代表整体长势的棉花，分为茎枝、叶片、蕾铃，放入 105℃烘箱中杀青 30 min 后，经 80℃烘干至恒质量，测定地上部干物质质量。

株高：于盛花期在每个小区随机选取 5 株棉花，用卷尺测量子叶节点至生长点之间的高度作为株高。

产量：于成熟前在每个小区选取 10 株代表性植株，调查单株结铃数；于收获期从每个处理的小区内随机挑选长势一致的 7 株棉花，从每株棉花的上、中、下层分别摘下 10 个棉铃，共计 30 个，晒干称质量，换算每个小区的单铃质量，计算每个小区的实际收获产量。

棉花氮素积累量测定：采用磨样机将植物样品粉碎，采用凯式定氮法测定棉花氮素积累量。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2010 对数据进行分析，利用统计软件 DSP 9.01 对数据进行方差分析和显著性检验，采用 LSD 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 控制排水与施氮水平对棉花叶片 SPAD 的影响

不同处理下的棉花 SPAD 见图 1。在苗期，2 种排水模式下，施氮处理（N1—N4）下的 SPAD 均显著高于不施氮处理（N0）；相同施氮水平下，KS 与 FKS 排水模式下的 SPAD 差异不显著。蕾期—吐絮期，与 FKS 排水模式相比，KS 排水模式下的 N0、N1、N2 处理和 N3 处理 SPAD 显著增加。FKS 排水模式下的 SPAD 表现为：N4 处理>N3 处理>N2 处理>N1 处理>N0 处理。KS 排水模式下的 SPAD 则表现为：N3、N4 处理>N2 处理>N1 处理>N0 处理。可见，控制排水条件下适度减施氮肥有利于维持棉花较高的 SPAD。

2.2 控制排水和施氮水平对盛花期棉花株高的影响

不同处理下棉花盛花期株高见图 2。与 FKS 相比，KS 排水模式下的 N0、N1、N2 处理和 N3 处理的株高明显增加。FKS 排水模式下的株高表现为：N4 处理>N3 处理>N2 处理>N1 处理>N0 处理。KS 条件下的株高则表现为：N3、N4 处理>N2 处理>N1 处理>N0 处理。可见，控制排水条件下适度减施氮肥有利于维持较高的棉花株高。

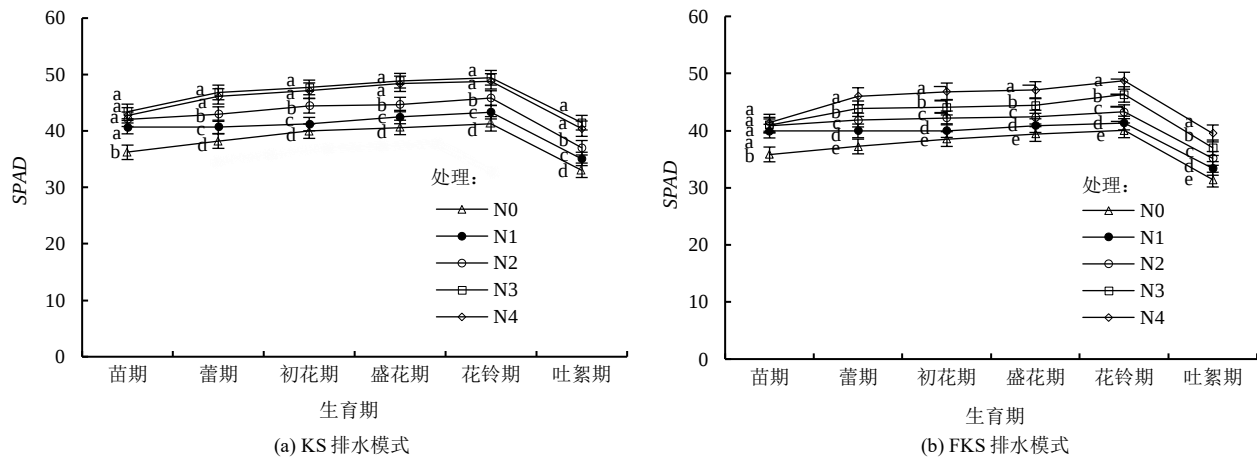


图1 不同处理下棉花 SPAD

Fig.1 SPAD of cotton under different treatments

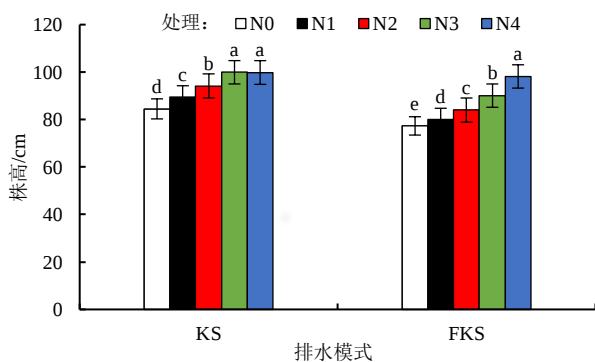


图2 不同处理对盛花期棉花株高的影响

Fig.2 Effect of different treatments on the height of cotton plants at full bloom

2.3 控制排水和施氮水平对棉花干物质积累和分配的影响

由表 1 可知,随着施氮量的增加,FKS 排水模式下的棉花干物质积累量持续增加,在 N4 处理下达到最大;KS 排水模式下的干物质积累量在 N3 处理下达到最大,N4 处理与 N3 处理间的干物质积累量无显著差异。与 FKS 排水模式相比,

KS 排水模式下的 N0、N1、N2、N3 处理的干物质积累量明显增加。蕾花铃干物质质量占棉株总干物质质量的比例表现为:KSN3 处理>KSN4、FKSN3、FKSN4 处理>KSN0、KSN1、KSN2、FKSN0、FKSN1、FKSN2 处理。可见,控制排水条件下适当减氮有利于获得较高的干物质积累量,同时促进干物质向蕾花铃的分配。

2.4 控制排水和施氮水平对棉花氮素吸收及分配的影响

由表 2 可知,随着施氮量的增加,FKS 排水模式下的吸氮量持续增加,在 N4 处理下达到最大;KS 排水模式下的吸氮量在 N3 处理下达到最大,N4 处理与 N3 处理间的吸氮量无显著差异。与 FKS 排水模式相比,KS 排水模式下的 N0、N1、N2、N3 处理的吸氮量明显增加。蕾花铃吸氮量占棉株总吸氮量的比例表现为:KSN3 处理>KSN4、FKSN3 处理>KSN0、KSN1、KSN2、FKSN0、FKSN1、FKSN2、FKSN4 处理。可见,控制排水条件下适当减氮有利于棉花吸氮量的提高,同时促进氮素向蕾花铃的分配。

表 1 成熟期不同水氮处理下棉花干物质积累量及分配

Table 1 Dry matter accumulation and distribution of cotton under different water and nitrogen treatments at maturity

排水模式	施氮水平	积累量/(g·株 ⁻¹)				分配比例/%		
		茎	叶	蕾花铃	整株	茎	叶	蕾花铃
KS	N0	18.90±0.08d	18.94±0.06d	45.65±0.01d	83.99±2.36d	22.05	22.81	55.14
	N1	20.04±0.13c	19.68±0.55c	54.10±0.10c	94.37±1.46c	21.43	21.52	57.15
	N2	21.35±0.01b	21.07±0.01b	58.47±0.01b	100.29±2.43b	21.69	21.01	58.31
	N3	24.66±0.32a	23.21±0.50a	68.53±0.02a	113.40±4.78a	20.55	19.17	60.29
	N4	24.65±0.01a	23.20±0.01a	65.49±0.66a	113.34±3.02a	21.75	20.47	57.78
FKS	N0	17.52±0.39e	17.62±0.81e	42.06±1.02e	78.00±1.19e	21.94	22.43	54.20
	N1	19.84±0.26d	19.02±0.69d	49.32±1.46d	88.18±2.01d	22.50	21.57	55.93
	N2	21.67±0.45c	20.28±0.77c	54.17±1.05c	96.12±2.17c	22.04	21.10	56.86
	N3	23.58±0.34b	22.68±0.52b	59.94±1.51b	106.21±2.23b	21.50	21.05	57.43
	N4	24.78±0.50a	23.71±0.87a	64.73±2.01a	113.22±3.13a	21.89	21.89	57.17

注 同列数字后不同小写字母表示差异性达到 0.05 显著水平;下同。

表 2 成熟期不同水氮处理下棉花吸氮量及分配

Table 2 Nitrogen uptake and distribution of cotton under different water N treatments at maturity

排水模式	施氮水平	吸氮量/(g·株 ⁻¹)				分配比例/%		
		茎	叶	蕾花铃	整株	茎	叶	蕾花铃
KS	N0	0.42±0.01d	0.48±0.01d	0.65±0.02d	1.55±0.03d	27.11	30.55	41.33
	N1	0.52±0.01c	0.55±0.01c	1.02±0.01c	2.09±0.01c	24.88	26.32	48.80
	N2	0.62±0.02b	0.62±0.01b	1.58±0.01b	2.82±0.02b	21.99	21.99	56.03
	N3	0.81±0.04a	0.73±0.05a	2.21±0.24a	3.75±0.30a	21.00	19.07	59.93
	N4	0.79±0.06a	0.72±0.03a	2.13±0.25a	3.64±0.33a	21.70	19.78	58.52
FKS	N0	0.38±0.01e	0.36±0.01e	0.45±0.01e	1.14±0.01e	33.30	31.33	39.47
	N1	0.51±0.01d	0.42±0.01d	0.75±0.08d	1.68±0.01d	30.31	24.57	45.12
	N2	0.67±0.02c	0.55±0.01c	1.55±0.04c	2.77±0.03c	24.19	19.86	55.96
	N3	0.72±0.03b	0.62±0.01b	1.82±0.06b	3.16±0.19b	22.28	19.12	58.59
	N4	0.80±0.01a	0.70±0.01a	1.93±0.01a	3.43±0.11a	23.32	20.41	56.27

2.5 控制排水下施氮水平对棉花产量及产量构成因素的影响

由表 3 可知, FKS 排水模式下的棉花单株铃数、单铃质量、衣分和籽棉产量随着施氮量的增加持续增加, 在 N4 处理下达到最高; KS 排水模式下的棉花单株铃数、单铃质量、衣分和籽棉产量在 N3 处理

下达到最大。与 FKS 排水模式相比, KS 排水模式下的 N0、N1、N2、N3 处理的单株铃数、单铃质量、衣分和籽棉产量明显增加。收获指数表现为: KSN3 处理>KSN2、KSN4、FKSN3、FKSN4 处理>KSN1、FKSN2 处理>KSN0、FKSN1 处理>FKSN0 处理。

表 3 不同处理对棉花产量及产量构成因素的影响

Table 3 Effects of different treatments on cotton yield and yield components

排水模式	施氮水平	单株铃数/个	单铃质量/个	衣分/%	籽棉产量/(kg·hm ⁻²)	收获指数/%
KS	N0	4.18±0.03d	4.06±0.23d	37.46±0.59d	3 234±116d	38.51±1.14d
	N1	4.80±0.21c	4.52±0.18c	38.68±0.53c	3 841±126c	42.03±1.32c
	N2	5.55±0.21b	5.47±0.41b	40.23±1.10b	5 801±152b	55.85±0.45b
	N3	5.97±0.32a	5.96±0.42a	42.64±1.05a	6 672±224a	58.83±0.88a
	N4	5.98±0.21a	5.95±0.01a	41.81±0.79a	6 466±188a	56.12±1.11b
FKS	N0	3.85±0.23e	3.73±0.11e	35.24±0.04e	2 783±71e	35.29±0.95e
	N1	4.25±0.21d	4.04±0.21d	37.28±0.01d	3 202±98d	38.98±0.58d
	N2	4.86±0.50c	4.88±0.32c	38.42±1.05c	3 733±201c	42.20±1.02c
	N3	5.35±0.32b	5.32±0.51b	40.19±1.04b	5 719±184b	56.21±1.08b
	N4	5.88±0.41a	5.92±0.61a	42.32±0.80a	6 501±152a	55.59±0.55b

3 讨论

SPAD 已成为监测作物长势的重要指标^[22]。本研究发现, KSN3、KSN4 处理间的 SPAD 差异不显著, 说明控制排水条件下减氮 25%可以维持较高的叶绿素量。理想的株高是作物获取有效光辐射量的重要前提。水、氮交互作用对棉花株高存在显著影响^[23]。以往研究表明, 施氮量不足会限制棉花株高的生长, 但可以通过优化灌溉制度进行补偿^[24]。本研究发现, KS 排水模式下的减氮处理(N1、N2、N3 处理)的棉花株高普遍高于 FKS 排水模式下的株高, 说明控制排水可以减轻氮素亏缺对棉花生长的不利影响。控制排水增加了降水或灌溉后水分在土壤耕层的滞留时间, 从而提高了土壤蓄水量^[25]。控制排水通过降低氮素的径流损失率提高了表层土壤中的硝态氮量^[15]。改善的土壤水分及养分状况有利于促进棉花生长^[24-26]。

棉花干物质的积累和分配决定其最终产量^[27]。研究表明, 灌溉、施肥及二者间的交互效应均会显

著影响棉花的干物质积累及分配^[13,28-29]。棉花的干物质质量在一定范围内随着水分或氮素供应水平的增加而增加, 水、氮耦合可最大限度地增加棉花的干物质积累量^[29-30]。本研究中, FKS 排水模式下 N4 处理的干物质积累量最大, 而 KS 排水模式下的 N3、N4 处理的干物质积累量无显著差异。说明控制排水措施可以补偿减氮 25%对棉花干物质累积造成的不利影响。与 FKS 排水模式相比, KS 排水模式下减氮处理的蕾花铃干物质质量占棉株总干物质质量的比例有所增加, 说明控制排水下减氮 25%有利于促进干物质向生殖器官的分配, 从而提高收获指数。控制排水耦合适量减氮会显著降低氮素的径流损失率, 从而提高 0~40 cm 土层的土壤硝态氮量和铵态氮量^[15]。此外, 控制排水可以提高作物生育中后期的土壤蓄水量^[3]。0~40 cm 土层是棉花根系的主要分布层^[31], 该土层土壤水分和养分状况的改善有利于棉花根系最大限度地汲取水分和养分, 优化“库-源”关系^[18]。

以往研究表明, 水分或氮素胁迫及二者供应的不协调均会显著降低棉花吸氮量, 同时降低氮素在

蕾花铃的分配比例^[32-33]。本研究发现,随着施氮量的增加,FKS排水模式下的棉株吸氮量增加,而KS排水模式下N3处理棉株吸氮量最大;KS排水模式下减氮处理的蕾花铃吸氮量占棉株总吸氮量的比例较高,这与干物质积累量的变化趋势相似,说明控制排水条件下减氮25%有利于促进棉花对氮素的吸收,同时促进氮素向生殖器官的转移。研究表明,施氮量对棉花吸氮量的影响因器官而异^[34-35]。与N3处理相比,N4处理下棉株吸收的氮素在茎、叶中的分配比例增加,在KS排水模式下的增幅更大。可见,采用控制排水时,高施氮量不利于氮素向棉花生殖器官的转运。这在一定程度上造成了氮肥的无效利用,加剧氮素损失^[36]。

单株铃数、单铃质量和衣分共同决定籽棉产量^[18]。不同水、氮组合显著影响棉花的单株铃数、单铃质量和衣分,从而影响籽棉产量^[37-38]。与FKS排水模式相比,KS排水模式下减氮处理的单株铃数、单铃质量和衣分均显著增加。控制排水措施有利于补偿氮素不足对棉花产量构成因子的不利影响,从而获得较高的籽粒产量。这与控制排水增加土壤水分及养分量,从而促进作物根系生长有关^[3]。根系的旺盛生长意味着植株对水分和养分的吸收能力明显增强^[31],有利于增加棉花的叶面积指数、作物生长速率和光合速率^[39]。KS排水模式下减氮处理获得较高的SPAD、干物质积累量和吸氮量证实了这一点。KSN3处理相比KSN4处理的籽棉产量略有增加,说明控制排水条件下减氮25%有利于棉花增产。然而,Awale等^[10]研究表明,与非控制排水相比,控制排水对玉米和甘蔗的产量无显著影响。这一差异可能与控制排水的方法、供试作物品种、氮肥管理和气候条件等差异有关^[17]。在Awale等^[10]的研究中,作物生育期内有效降水量不足250 mm。相比之下,本研究中棉花生育期内的降水量较高。控制排水技术可以极大地改善多雨湿润地区的水土环境^[40]。总体而言,控制排水有利于补偿江汉平原氮肥减量25%对棉花产量造成的不利影响。

4 结 论

与FKS条件相比,KS排水模式下不施氮(N0)或减氮(N1、N2和N3)处理下的棉花蕾期一吐絮期SPAD、盛花期株高、成熟期干物质积累量和吸氮量有所增加,单株铃数、单铃质量和衣分增加,进而增加籽棉产量。

控制排水条件下氮肥减量25%有利于维持棉花生长并增加干物质质量积累和吸氮量,同时提高棉花干物质和吸氮量在蕾花铃的分配比例,从而维持较

高的籽棉产量。

(作者声明本文无实际或潜在利益冲突)

参考文献:

- [1] 陶培, 张国龙, 温鹏飞, 等. 不同滴灌施肥策略对棉花氮素利用率和产量的影响[J]. 节水灌溉, 2015(10): 34-38.
TAO Xu, ZHANG Guolong, WEN Pengfei, et al. Effects of different drip irrigation methods on cotton nitrogen absorption and utilization and yields[J]. Water Saving Irrigation, 2015(10): 34-38.
- [2] 范利可, 李坤育, 齐利园, 等. 高水平氮素添加促进内蒙古温带典型草原生态系统碳固持[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 2022, 50(5): 131-137.
FAN Like, LI Kunyu, QI Liyuan, et al. High-level nitrogen addition enhances carbon sequestration in Inner Mongolia typical temperate steppe[J]. Journal of Henan Normal University (Natural Science Edition), 2022, 50(5): 131-137.
- [3] 窦旭, 史海滨, 李瑞平, 等. 河套灌区控制排水对油菜生长与养分利用的影响[J]. 农业机械学报, 2021, 52(12): 313-323.
DOU Xu, SHI Haibin, LI Ruiping, et al. Effect of controlled drainage on oil sunflower growth and nutrient utilization in Hetao irrigation district[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2021, 52(12): 313-323.
- [4] YOUSSEF M A, STROCK J, BAGHERI E, et al. Impact of controlled drainage on corn yield under varying precipitation patterns: A synthesis of studies across the U.S. Midwest and Southeast[J]. Agricultural Water Management, 2023, 275(1): 107 993.
- [5] CHUN H C, JUNG K Y, CHOI Y D, et al. Characterizations of yields and seed components of sesame (*Sesamum indicum* L.) as affected by soil moisture from paddy field cultivation[J]. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer, 2017, 50(5): 369-382.
- [6] 金凤生. 排水管理对作物产量和N损失的影响[J]. 水土保持应用技术, 2014(6): 15-17.
JIN Fengsheng. Effects of drainage management on crop yield and N loss[J]. Technology of Soil and Water Conservation, 2014(6): 15-17.
- [7] 袁念念, 黄介生, 谢华. 通径法分析控制排水条件下影响棉花产量的因素[J]. 长江科学院院报, 2014, 31(2): 35-39.
YUAN Niannian, HUANG Jiesheng, XIE Hua. Path analysis on influencing factors of cotton yield under controlled drainage[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2014, 31(2): 35-39.
- [8] 袁念念, 黄介生, 谢华, 等. 棉田暗管控制排水和氮素流失研究[J]. 灌溉排水学报, 2011, 30(1): 103-105, 129.
YUAN Niannian, HUANG Jiesheng, XIE Hua, et al. Drainage and nitrogen loss from controlled pipe drainage cotton field[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2011, 30(1): 103-105, 129.
- [9] WESSTRÖM I, JOEL A, MESSING I. Controlled drainage and subirrigation - A water management option to reduce non-point source pollution from agricultural land[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2014, 198: 74-82.
- [10] AWALE R, CHATTERJEE A, KANDEL H, et al. Tile drainage and nitrogen fertilizer management influences on nitrogen availability, losses, and crop yields[J]. Open Journal of Soil Science, 2015, 5(10): 211-226.
- [11] KAREGOUDAR A V, VISHWANATH J, ANAND S R, et al. Feasibility of controlled drainage in saline vertisols of TBP command area of Karnataka, India[J]. Irrigation and Drainage, 2019, 68(5): 969-978.
- [12] 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.
CHEN Mengni, LI Yongshan, WANG Hui, et al. Effects of different nitrogen rates on growth characteristic at flowering-boll stage, yield and

- economic benefit of cotton[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2021, 49(4): 449-454.
- [13] 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.
- [14] FRITSCHI F B, ROBERTS B A, TRAVIS R L, et al. Seasonal nitrogen concentration, uptake, and partitioning pattern of irrigated acala and Pima cotton as influenced by nitrogen fertility level[J]. Crop Science, 2004, 44(2): 516.
- [15] 徐茵, 漆栋良, 朱建强, 等. 控制排水下减量施氮对土壤无机氮含量变化和棉花产量的影响[J]. 节水灌溉, 2020(4): 33-37, 41.
- XU Yin, QI Dongliang, ZHU Jianqiang, et al. Effect of a reduced nitrogen fertilizer rate on changes of mineral nitrogen in soil and cotton yield under controlled drainage[J]. Water Saving Irrigation, 2020(4): 33-37, 41.
- [16] 杨琳, 黄介生, 刘静君, 等. 棉田暗管控制排水水位管理制度的试验研究[J]. 灌溉排水学报, 2013, 32(2): 6-9.
- YANG Lin, HUANG Jiesheng, LIU Jingjun, et al. Management system of the controlled water level to cotton under controlled drainage[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2013, 32(2): 6-9.
- [17] WANG Z Y, SHAO G C, LU J, et al. Effects of controlled drainage on crop yield, drainage water quantity and quality: A meta-analysis[J]. Agricultural Water Management, 2020, 239: 106-123.
- [18] LIU A D, MA X L, ZHANG Z, et al. Single dose fertilization at reduced nitrogen rate improves nitrogen utilization without yield reduction in late-planted cotton under a wheat-cotton cropping system[J]. Industrial Crops and Products, 2022, 176: 114-124.
- [19] 杨首乐, 邓忠, 翟国亮, 等. 干旱区水氮耦合效应对棉花生长性状及产量的影响[J]. 中国农学通报, 2016, 32(24): 103-108.
- YANG Shoulei, DENG Zhong, ZHAI Guoliang, et al. Effects of water and nitrogen coupling on cotton growth characteristics and yield in arid area[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2016, 32(24): 103-108.
- [20] 李培岭, 张富仓. 根系分区交替滴灌下水氮耦合对棉花氮素利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(S1): 112-116.
- LI Peiling, ZHANG Fucang. Effects of water and nitrogen coupling on cotton nitrogen absorption and utilization under alternate root partition drip[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(S1): 112-116.
- [21] SINGH Y, RAO S S, REGAR P L. Deficit irrigation and nitrogen effects on seed cotton yield, water productivity and yield response factor in shallow soils of semi-arid environment[J]. Agricultural Water Management, 2010, 97(7): 965-970.
- [22] 徐新刚, 赵春江, 王纪华, 等. 新型光谱曲线特征参数与水稻叶绿素含量间的关系研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2011, 31(1): 188-191.
- XU Xingang, ZHAO Chunjiang, WANG Jihua, et al. Study on relationship between new characteristic parameters of spectral curve and chlorophyll content for rice[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2011, 31(1): 188-191.
- [23] 胡清阳, 曹红霞, 何子建, 等. 淋洗定额与覆盖方式对北疆棉花生长和产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2022, 41(5): 27-33.
- HU Qingyang, CAO Hongxia, HE Zijian, et al. Combined effect of drip irrigation amount and straw mulch on growth and yield of cotton in salinized soils in Northern Xinjiang[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2022, 41(5): 27-33.
- [24] 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): 1 236-1 245.
- MA Yunzhen, DONG Helin, LI Ling, 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): 1 236-1 245.
- [25] TOLOMIO M, BORIN M. Water table management to save water and reduce nutrient losses from agricultural fields: 6 years of experience in North-Eastern Italy[J]. Agricultural Water Management, 2018, 201: 1-10.
- [26] 忠智博, 翟国亮, 邓忠, 等. 不同水氮处理对北疆棉花生长特性及产量的影响[J]. 节水灌溉, 2019(12): 1-5, 11.
- ZHONG Zhibo, ZHAI Guoliang, DENG Zhong, et al. Effects of different water and nitrogen fertilizers application on growth characteristics and yield of cotton in Northern Xinjiang[J]. Water Saving Irrigation, 2019(12): 1-5, 11.
- [27] 罗佳, 候银莹, 陈波浪. 低磷胁迫对不同磷效率棉花干物质及养分吸收的影响[J]. 西南农业学报, 2017, 30(1): 155-161.
- LUO Jia, HOU Yinying, CHEN Bolang. Effect of phosphorus stress on dry matter accumulation and nutrient absorption of cotton genotypes with different phosphorus efficiency[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2017, 30(1): 155-161.
- [28] 何平如, 张富仓, 范军亮, 等. 土壤水分调控对南疆滴灌棉花生长、品质及水分利用的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2020, 38(4): 39-46.
- HE Pingru, ZHANG Fucang, FAN Junliang, et al. Effects of soil moisture regulation on growth, quality and water use of cotton under drip irrigation in Southern Xinjiang[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2020, 38(4): 39-46.
- [29] 忠智博, 翟国亮, 邓忠, 等. 水氮施量对膜下滴灌棉花生长及水氮分布的影响[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(1): 67-76.
- ZHONG Zhibo, ZHAI Guoliang, DENG Zhong, et al. The impact of N application and drip irrigation amount on cotton growth and water and N distributions in soil mulched with film[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2020, 39(1): 67-76.
- [30] 尔晨, 林涛, 王家勇, 等. 水氮耦合对棉花干物质积累及产量的影响[J]. 新疆农业科学, 2021, 58(7): 1 187-1 196.
- ER Chen, LIN Tao, WANG Jiayong, et al. Effects of dry matter accumulation and yield components under different irrigation and fertilization treatments[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2021, 58(7): 1 187-1 196.
- [31] ZHANG H Z, AZIZ K, DANIEL K, et al. Rational water and nitrogen management improves root growth, increases yield and maintains water use efficiency of cotton under mulch drip irrigation[J]. Frontiers in Plant Science, 2017, 912: 592-601.
- [32] 宋智勇, 吕凯, 罗凤, 等. 施氮量对不同基因型水稻品种氮素吸收利用的影响[J]. 华中农业大学学报, 2012, 31(2): 165-170.
- SONG Zhiyong, LYU Kai, LUO Feng, et al. Effect of nitrogen application on nitrogen uptaking and utilization in ten different rice varieties[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2012, 31(2): 165-170.
- [33] 刘翔, 张富仓, 向友珍, 等. 亏缺灌溉对南疆棉花生长和水分利用的影响[J]. 排灌机械工程学报, 2020, 38(12): 1 270-1 276.
- LIU Xiang, ZHANG Fucang, XIANG Youzhen, et al. Effects of deficit irrigation on cotton growth and water use in Southern Xinjiang of China[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2020, 38(12): 1 270-1 276.
- [34] 王士红, 聂军军, 李秋芝, 等. 施氮量对土壤-棉花系统中氮素吸收利用和氮素去向的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2020, 26(4): 738-745.
- WANG Shihong, NIE Junjun, LI Qiuzhi, et al. Effects of nitrogen application rate on nitrogen absorption and utilization, and fate of nitrogen in soil-cotton system[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2020, 26(4): 738-745.
- [35] 李伶俐, 房卫平, 谢德意, 等. 施氮量对杂交棉干物质积累、分配和氮磷钾吸收、分配与利用的影响[J]. 棉花学报, 2010, 22(4): 347-353.
- LI Lingli, FANG Weiping, XIE Deyi, et al. Effects of nitrogen application rate on dry matter accumulation and N, P, K uptake and distribution in different organs and utilization of hybrid cotton under high-yield cultivated condition[J]. Cotton Science, 2010, 22(4): 347-353.
- [36] 鲍城帆, 赵红梅, 邓朋飞, 等. 氮肥用量对哈密市棉花氮素吸收及产

- 量的影响[J]. 新疆农业大学学报, 2022, 45(1): 55-62.
- BAO Chengfan, ZHAO Hongmei, DENG Pengfei, et al. Effects of nitrogen application rate on the nitrogen absorption and yield of cotton in Hami city[J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2022, 45(1): 55-62.
- [37] 龚江, 谢海霞, 王海江, 等. 棉花高产水氮耦合效应研究[J]. 新疆农业科学, 2010, 47(4): 644-648.
- GONG Jiang, XIE Haixia, WANG Haijiang, et al. A study on water and nitrogen effect of high-yielding cotton[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2010, 47(4): 644-648.
- [38] 姚青青, 孙绘健, 马兴旺, 等. 减量追施氮肥运筹对棉花地上部干物质积累、分配及产量的影响[J]. 新疆农业科学, 2021, 58(8): 1 398-1 405.
- YAO Qingqing, SUN Huijian, MA Xingwang, et al. Effects of reduced-amount nitrogen application on cotton aboveground dry matter accumulation, distribution and yield[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2021, 58(8): 1 398-1 405.
- [39] WANG H D, WU L F, CHENG M H, et al. Coupling effects of water and fertilizer on yield, water and fertilizer use efficiency of drip-fertigated cotton in Northern Xinjiang, China[J]. Field Crops Research, 2018, 219: 169-179.
- [40] KING K W, HANRAHAN B R, STINNER J, et al. Field scale discharge and water quality response, to drainage water management[J]. Agricultural Water Management, 2022, 264: 107 421.

The Effect of Controlled Drainage and Nitrogen Fertilization on Growth, Nitrogen Uptake and Yield of Cotton

WU Qian¹, WU Qixia¹, DENG Chao², LIU Kaiwen², QI Dongliang^{1*}, ZHU Jianqiang^{1*}

(1. College of Agriculture, Yangtze University, Jingzhou 434025, China;

2. Jingzhou Agro-meteorology Experimental Station of Hubei Province, Jingzhou 434020, China)

Abstract: 【Objective】 Soil nitrogen and groundwater table are two abiotic factors affecting crop growth in the middle and low reaches of the Yangtze River in Southern China. This paper aims to investigate the combined impact of nitrogen fertilization and controlled drainage on growth, nitrogen uptake and yield of cotton. 【Method】 The variety Jinghua Mian 112 was used as the model plant, and the experiment consisted of two drainage treatments: conventional drainage (FKS) and controlled drainage (KS). Each irrigation had five nitrogen treatments: applying 0 (N0), 90 (N1), 180 (N2), 270 (N3) and 360 kg/hm² (N4) of nitrogen. In each treatment, we measured the leaf *SPAD* at fertility stage, plant height and leaves at blooming stage, dry matter accumulation in different organs at maturity stage, as well as nitrogen uptake, and yield of the cotton. 【Result】 Compared with FKS, controlled drainage combined with a reduction in nitrogen application significantly increased leaf *SPAD* and plant height at flowering stage, dry matter accumulation and nitrogen uptake at maturity stage, boll numbers per plant, boll weight per boll and yield at maturity stage. Reducing nitrogen application without implementing controlled drainage reduced cotton yield, while under controlled drainage, reducing nitrogen application from N4 to N3 did not give rise to a noticeable reduction in cotton yield. KS+N3 increased the dry matter mass, nitrogen uptake per unit dry matter, and total nitrogen uptake in the bud and boll, significantly. 【Conclusion】 Reducing nitrogen application currently used by farmers by 25% combined with a controlled drainage is not only beneficial to cotton growth and promotes dry matter accumulation, but also increases nitrogen uptake and its subsequent allocation to reproductive organs, thereby increasing cotton yield.

Key words: controlled drainage; nitrogen application; cotton yield; dry matter; water and nitrogen coupling

责任编辑: 韩 洋