

优化行管配置和施氮量提高机采棉养分吸收及产量

刘凯, 侯振安*, 王方斌, 孙嘉璘, 殷星

(石河子大学农学院/新疆生产建设兵团绿洲生态农业重点实验室, 新疆 石河子 832003)

摘要:【目的】通过田间试验研究滴灌机采棉不同行距、滴灌毛管铺设位置及施氮量对棉花生长、养分吸收和产量的影响。【方法】试验设置4种管配置模式: 行距(66+10)cm滴灌毛管在作物窄行中间(B66)、行距(66+10)cm滴灌毛管在作物宽行间靠近作物位置(S66)、行距(72+4)cm滴灌毛管在作物宽行间靠近作物位置(S72)、76cm等行距(S76);同时,设置3个施氮(N)水平0、240、300 kg/hm²(分别以N0、N240、N300表示)。【结果】S66和B66处理土壤水分与硝态氮在0~40 cm土层分布较均匀,其中,S66处理土壤硝态氮主要分布在作物根系区域。与S66-N300相比,S66-N240和B66-N240处理棉花干物质和氮素吸收量无显著差异,S72-N240和S76-N240处理棉花干物质和氮素吸收量显著降低。B66-N240处理棉花磷素和钾素吸收量显著高于其他处理。S66-N240和B66-N240处理棉花产量和氮肥表观利用率均显著高于S66-N300处理,尤其S66-N240处理氮肥表观利用率最高,较S66-N300处理增加28.7%。S72-N240与S76-N240处理棉花产量和氮肥表观利用率均显著低于S66-N300处理。【结论】机采棉行距(66+10)cm模式下,施氮量为240 kg/hm²时可显著提高棉花产量,滴灌毛管铺设在作物行宽行靠近作物位置利于氮素吸收,提高氮肥利用率;滴灌毛管在作物窄行中间的则增加棉花对磷和钾的吸收。

关键词: 机采棉; 灌溉; 施氮量; 产量; 氮肥利用率

中图分类号: S562

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2019139

刘凯, 侯振安, 王方斌, 等. 优化行管配置和施氮量提高机采棉养分吸收及产量[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(5): 1-9.

LIU Kai, HOU Zhen'an, WANG Fangbin, et al. Optimizing Planting Pattern and Nitrogen Application to Improve Nutrient Uptake and Yield of Machine-harvest Cotton [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2020, 39(5): 1-9.

0 引言

【研究意义】新疆作为我国最大的优质商品棉生产基地,棉花种植面积占新疆总耕地面积的1/3,产量占全国的80%以上^[1]。近年来,随着棉花生产成本提升,推广机械采收已成为新疆棉花产业发展的必由之路,北疆地区机采棉占比已达到70%以上^[2-3]。为了适应采棉机采收的需要,北疆滴灌机采棉的行距和滴灌管配置模式(简称行管配置)一般为1膜6行3管,行距为宽行66 cm+窄行10 cm,滴灌毛管铺设在作物窄行中间。但实际生产中,为了避免播种时损坏滴灌毛管,很多农户将滴灌毛管铺设在作物宽行间靠近作物位置;同时,行距也出现了(72+4)cm、76 cm等行距(1膜3行,滴灌带铺设在距作物行10 cm处)不同配置模式^[4-8]。因此,行管配置已经成为影响机采棉生长和产量的主要因素之一^[9-10]。【研究进展】

目前,关于机采棉株行距配置对棉花生长发育^[6,11]、冠层结构^[6,11-12]、干物质累积分配^[13]、产量构成^[14-15]等方面的影响虽然开展了大量研究,但对不同配置模式的研究仍主要集中在农艺性状及对机械作业的适应方面,而对棉花水、肥利用效率的研究结果依旧不明确,关于机采棉不同行管配置对土壤水氮分布及氮肥利用影响方面的研究更是鲜有报道。因此,研究行管配置对于机采棉产业的健康发展具有重要意义。

【切入点】氮素对于作物产量形成具有重要作用,合理施氮是作物高产的关键^[16]。当前新疆棉花生产氮肥投入普遍过量^[17],氮肥过量不仅影响作物产量,降低肥料利用率,还会导致生态环境污染^[18-19]。在高施氮量下,棉花产量与氮肥利用率不仅显著下降^[20-22],还显著影响其对磷、钾等的吸收^[23]。因此,在综合应用作物高产栽培措施的基础上,合理减少氮肥施用量是实现农业绿色增产增效的重要途径^[24]。【拟解决的关键问题】通过田间试验,探讨不同行管配置与施氮量对机采棉生长、养分吸收、产量及氮肥利用率的影响,为机采棉行管配置模式与氮肥用量管理提供科学依据。

收稿日期: 2019-07-24

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0200100, 2018YFD0800800); 兵团中青年科技创新领军人才计划项目(2016BC001)

作者简介: 刘凯(1996-),男,硕士研究生,研究方向为作物营养与施肥。
E-mail: liukaishzu@163.com

通信作者: 侯振安(1972-),男,教授,博士,研究方向为土壤肥力与调控。
E-mail: hzaty@163.com

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2018 年在新疆石河子市天业生态示范园 ($86^{\circ}4'11''\text{E}$, $44^{\circ}21'14''\text{N}$, 海拔 443 m) 进行。该地区气候属温带干旱区大陆性气候, 平均年降水量 210 mm, 平均年蒸发量 1 660 mm。试验田土壤类型为灌溉灰漠土, 质地为壤土。耕层土壤肥力基础指标为: 有机质量 16.44 g/kg, 硝态氮量 15.16 mg/kg, 有效磷量 14.56 mg/kg, 速效钾量 411 mg/kg。供试棉花品种为新陆早 72 号。

1.2 试验设计

试验设置 4 种机采棉行管配置模式: ①1 膜 6 行 3 管, 行距 (66+10) cm (66), 滴灌带铺设在作物窄

行中间 (B66); ②1 膜 6 行 3 管, 行距 (66+10) cm (66), 滴灌带铺设在作物宽行间靠作物 10 cm 处 (S66); ③1 膜 6 行 3 管, 行距 (72+4) cm (S72), 滴灌带铺设在作物宽行间靠作物 10 cm 处; ④1 膜 6 行 3 管, 76 cm 等行距 (S76), 滴灌带铺设在靠近作物 10 cm 处。同时, S66 行管配置下设置 3 个氮肥用量水平, 分别为 0、240、300 kg/hm² (分别以 N0、N240、N300 表示)。其中, 施氮 (N) 量 300 kg/hm² 为当地机采棉氮肥一般推荐用量; 施 N 量 240 kg/hm² 为减 N 20% 的优化施 N 处理, 其余 3 种行管配置施氮量均为 240 kg/hm²。试验共 6 个处理, 各处理行管配置及施 N 量见表 1。每个处理重复 3 次, 共 18 个试验小区, 小区面积 45 m²。

表 1 各处理行管配置及施氮量

Table 1 Tube configuration and nitrogen rate for different treatment

处理 Treatments	行管配置 Spacing pattern		施氮量/(kg hm ⁻²) Nitrogen application rate/(kg hm ⁻²)
	行距 Row spacing	滴灌毛管位置 Drip line	
S66-N0	1 膜 6 行, (66+10) cm (66)	毛管在作物宽行 (S)	0
S66-N300	1 膜 6 行, (66+10) cm (66)	毛管在作物宽行 (S)	300
S66-N240	1 膜 6 行, (66+10) cm (66)	毛管在作物宽行 (S)	240
B66-N240	1 膜 6 行, (66+10) cm (66)	毛管在作物窄行中间 (B)	240
S72-N240	1 膜 6 行, (72+4) cm (72)	毛管在作物宽行 (S)	240
S76-N240	1 膜 6 行, 76 cm 等行距 (76)	毛管在作物宽行 (S)	240

表 2 各次灌水量及氮分配比例

Table 2 Irrigation volume and nitrogen distribution proportion

灌水批数 Number of irrigation batches	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	第 6 次	第 7 次	第 8 次	第 9 次
灌水量 Irrigation amount /mm	45	45	60	60	52.5	52.5	45	45	45
氮肥施用比例 Nitrogen application proportion /%	15	20	20	20	15	10	-	-	-

棉花采用干播湿出法种植, 于 2018 年 4 月 21 日播种, 4 月 25 日滴出苗水 30 mm。棉花生长期灌溉定额 450 mm, 共灌水 9 次, 灌水周期 7~10 d。灌水从 6 月 16 日开始, 8 月 24 日结束。各施肥处理磷钾肥用量一致, 磷施用量 P₂O₅ 105 kg/hm², 钾施用量 K₂O 75 kg/hm²。试验中, 氮、磷、钾肥全部随水滴施, 在棉花生长期共施肥 6 次, 每次磷、钾肥用量相同, 氮肥按不同比例施用, 具体灌溉用量及氮肥分配比例见表 2。其他田间管理措施同当地大田滴灌机采棉。

1.3 测定指标与方法

1) 土壤水分与硝态氮分布。第 3 次滴灌施肥结束 24 h 后 (第 3 次滴灌施肥时间为 2018 年 7 月 20 日, 棉花处于盛花期), 采集土壤样品。在每个处理随机选择 3 个采样区, 在垂直滴灌带方向分别采集距离滴头 0、10、20、30 cm, 深度为 0~10、10~20、20~30、30~40、40~50、50~60 cm 土壤样品。土壤含水率采用烘干法测定, 硝态氮量采用 2 mol/L KCl 浸提, 紫

外分光光度法测定。

2) 植株干物质和含养分量。在花铃期采集棉花植株样品, 每个处理选取连续 3 株长势均匀的植株, 从子叶节处剪断, 采集棉花地上部, 分成茎、叶、铃 3 部分, 105 °C 杀青 30 min 后, 于 75 °C 下烘干至恒质量, 称量各器官干物质质量。之后将各植株样品烘干后粉碎, 过 0.5 mm 筛后置于自封袋保存。植株样品采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消解, 用凯氏法测定全氮量, 钒钼黄比色法测定全磷量, 火焰光度计法测定全钾量^[25]。

3) 产量: 棉花产量测定采用样方法, 样方面积 6.67 m²。在吐絮期测定样方内所有株数及铃数, 同时随机采集 30 铃测定单铃质量, 最后采收样方内棉花记产。

1.4 数据处理与分析

数据处理及作图采用 Microsoft Excel 2003 进行。土壤含水率与硝态氮量空间分布图用 Surfer Version 10.0 绘制。采用 SPSS 21.0 软件进行单因素方差分析,

Duncan法进行多重比较,统计显著性假设为 $p<0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同行管布置下土壤水分及硝态氮的空间分布

2.1.1 土壤水分空间分布

机采棉不同行管配置显著影响土壤水分分布(图1)。灌水施肥结束24 h后, S66(行距(66+10) cm, 滴灌毛管铺设在作物行外侧)处理土壤水分主要分布在0~40 cm深度土层(土壤含水率 $\geq 17\%$)。B66(行距66+10 cm, 滴灌带铺设在作物行中间)处理水分主要分布0~30 cm深度土层, 30 cm以下土壤含水率主要分布在横向距滴头15~30 cm。S76(76 cm等行距, 滴灌带铺设在作物行外侧)处理土壤水分集中分

布在横向距滴头0~20 cm、深15~30 cm的土壤区域内。S72(株行距(72+4) cm, 滴灌毛管在作物行外侧)处理土壤含水率较低, 集中分布在横向距滴头0~10 cm、深20 cm土壤。总体上, B66和S66处理土壤水分在0~60 cm分布较均匀。

2.1.2 土壤硝态氮量空间分布

S66和B66处理土壤硝态氮(≥ 25 mg/kg)均主要分布在0~40 cm土层(图2), 最大值集中分布在横向距滴头15~25 cm、深25~30 cm区域(B66处理已偏离作物行)。S76处理硝态氮集中分布于0~25 cm土层中; S72处理硝态氮集中分布在横向距滴头0~5 cm和25~30 cm区域, 中间区域(距滴头10~14 cm作物行附近)的硝态氮量相对较低。

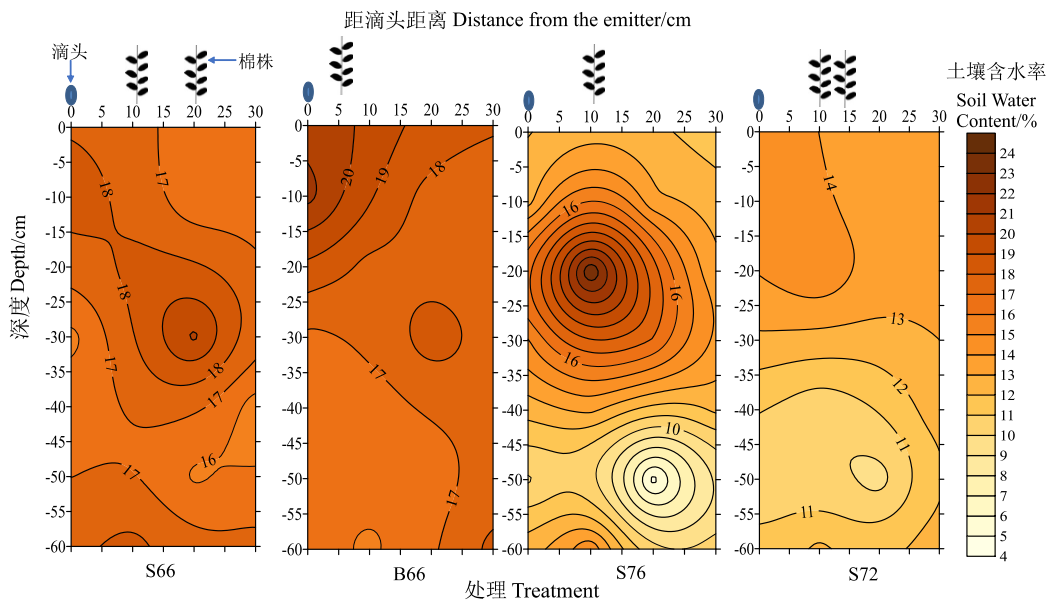


图1 土壤含水率空间分布

Fig.1 Spatial Distribution of Soil Water Content

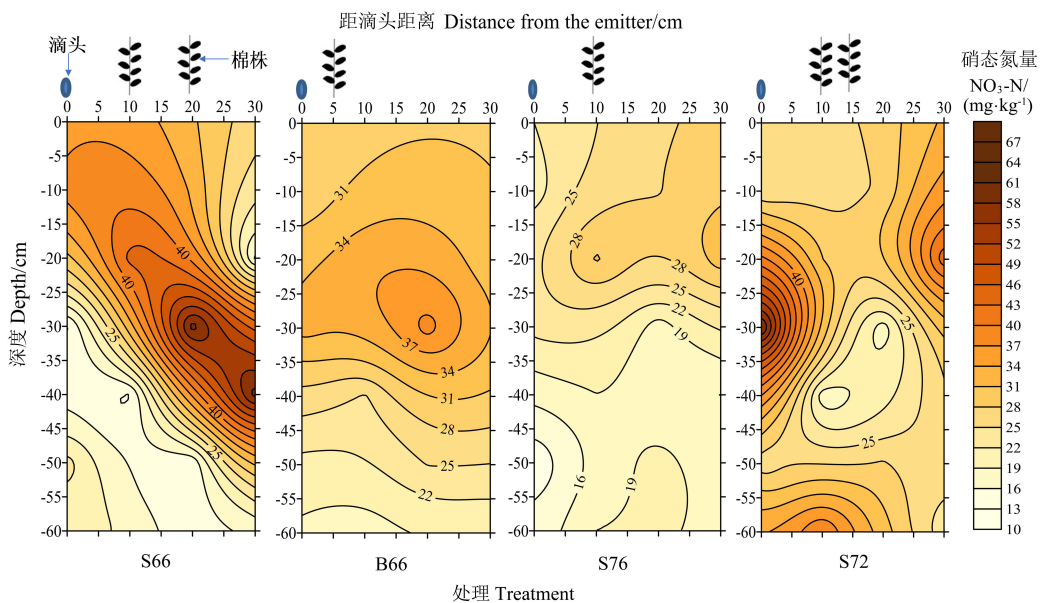


图2 土壤硝态氮空间分布

Fig.2 Spatial Distribution of Soil $\text{NO}_3\text{-N}$

2.2 不同行管布置对棉花干物质质量的影响

在不同行管布置下, S66-N240 和 B66-N240 处理棉花各部分干物质质量均显著高于其他处理, 其中, 总干物质质量高 26%~28%(表 3), 茎干物质高 29%~36%, 叶片干物质高 42%~62%, 铃干物质高 15%~17%。不同施氮量下, S66-N240 和 B66-N240 处理棉花总干物质质量与 S66-N300 处理无显著差异, 但铃质量显著高于 S66-N300 处理, 分别提高 17.6%和 12.2%。S72-N240 处理除铃质量外, 棉花总干物质及茎叶干物质质量均显著低于 S66-N300 处理。S76-N240 处理棉花总干物质质量与各器官干物质质量均显著低于 S66-N300 处理。

表 3 不同处理棉花干物质质量

Table 3 Dry matter weight of different treatments

处理 Treatments	干物质质量 Dry matter weight/(kg m ⁻²)			
	茎 Stem	叶 Leaf	铃 Boll	合计 Total
S66-N0	0.22 c	0.21 d	0.56 d	1.00 c
S66-N300	0.40 a	0.45 a	0.81 b	1.66 a
S66-N240	0.37 a	0.37 b	0.95 a	1.69 a
B66-N240	0.39 a	0.43 a	0.91 a	1.72 a
S76-N240	0.29 b	0.27 c	0.74 c	1.30 b
S72-N240	0.28 b	0.25 c	0.84 b	1.38 b

注 同一列不同小写字母表示差异达 5%显著水平, 下同。

Note Values within a column followed by different letters are significantly different at the 0.05 probability level, the same as below.

2.3 棉花养分吸收

2.3.1 氮素吸收量

不同行管布置下, S66-N240 处理氮吸收量显著高于 S76-N240 和 S72-N240 处理分别提高了 29.6%和 30.5%。B66-N240 处理氮吸收量显著高于 S76-N240 和 S72-N240 处理, 分别提高 22.8%和 23.2%。

不同施氮量下, S66-N240 和 B66-N240 处理棉花氮素吸收量与 S66-N300 处理差异不显著(图 3, 图 3 中不同小写字母表示差异达 5%显著水平, 下同)。S76-N240 和 S72-N240 处理棉花氮素吸收量显著低于 S66-N300 处理, 分别减少 29.4%和 30.2%。

2.3.2 磷吸收量

不同行管布置下, B66-N240 处理棉花磷吸收量最高, 较 S66-N240、S72-N240、S76-N240 处理分别增加 8.2%、16.2%、27.7%(图 4)。不同施氮量下, S76-N240 处理棉花磷吸收量最低, 其次是 S72-N240 处理, 较 S66-N300 处理分别减少 18.8%和 8.2%。

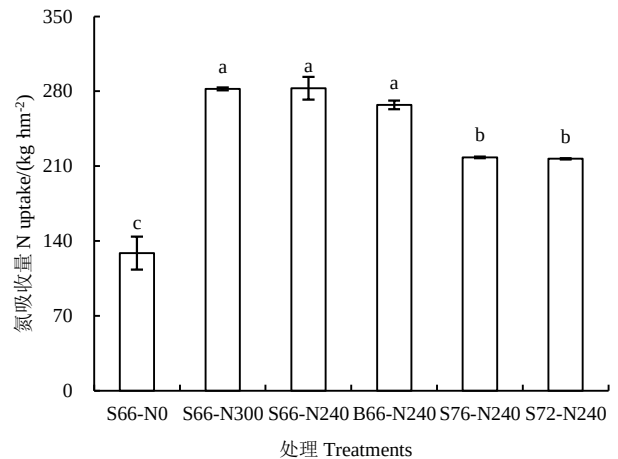


图 3 不同处理氮素吸收量

Fig.3 Nitrogen uptake by different treatments

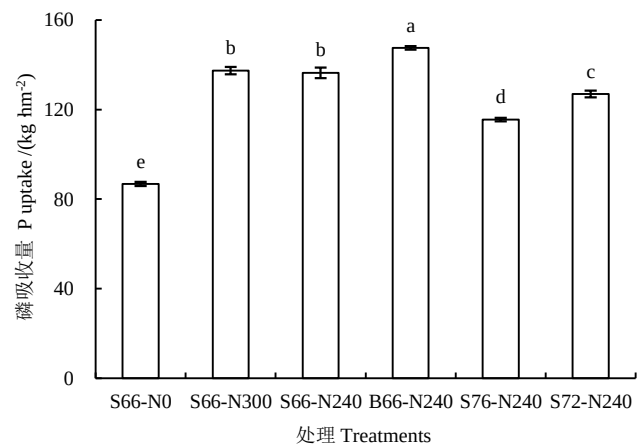


图 4 不同处理磷吸收量

Fig.4 Phosphorus uptake by different treatments

2.3.3 钾吸收量

不同行管布置下, B66-N240 处理棉花钾素吸收量最高, 较 S66-N240、S76-N240 和 S72-N240 处理分别增加 18.0%、30.1%和 31.9%(图 5)。在不同施氮量下, 与 S66-N300 处理相比, S66-N240 处理棉花钾吸收量无显著差异; B66-N240 处理棉花钾吸收量显著增加 17.3%; 而 S76-N240 和 S72-N240 处理钾吸收量显著降低, 分别降低 9.9%和 11.2%。

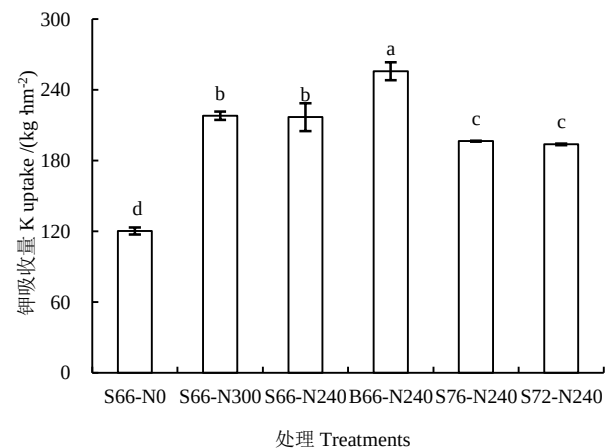


图 5 不同处理钾吸收量

Fig.5 Potassium uptake by different treatments

2.4 产量

在不同行管布置下, S66-N240 处理籽棉产量较 S72-N240 和 S76-N240 处理分别增加 18.4%和 24.8%; B66-N240 处理较 S72-N240 和 S76-N240 处理分别提高 14.9%和 21.1%。在不同施氮量下, S66-N240 和 B66-N240 处理籽棉产量显著高于 S66-N300 处理, 分别增加 10.5%和 7.2% (表 4)。S72-N240 与 S76-N240 处理籽棉产量较 S66-N300 处理分别降低 11.5%和 6.7%。

2.5 氮肥利用率

S66-N300 处理氮肥偏生产力显著低于 4 个优化施氮处理; S66-N240 处理氮肥偏生产力最高, 较 S66-N300 处理增加 38.1% (表 5)。S66-N240 处理氮肥农学利用率最高, 其次是 B66-N240 处理; S76-N240 处理氮肥农学利用率最低, 较 S66-N300 处理降低 11.2%。4 个优化施氮处理 S66-N240、B66-N240、S76-N240、S72-N240 氮肥生理利用率均显著高于 S66-N300 处理; 其中, S72-N240 处理氮肥生理利用

率最高, 较 S66-N300 处理增加 44.7%。S66-N240 处理氮肥表观利用率最高, 其次是 B66-N240 处理, 较 S66-N300 处理分别增加 28.7%和 12.7%。S76-N240 和 S72-N240 处理氮肥表观利用率显著低于 S66-N300 处理, 分别下降 27.1%和 28.2%。

表 4 不同处理棉花产量及其构成因子

Table 4 Cotton yield and components under different treatments

处理 Treatments	株数 Number of plants/ (株 10^4 hm^{-2})	单株 结铃数 Bolls/ Number	单铃质量 Boll weight/g	产量 Yield/ (kg hm^{-2})
S66-N0	25.40 a	3.4 d	4.93 c	4263 e
S66-N300	24.90 a	5.1 c	5.40 b	7057 b
S66-N240	24.50 a	5.9 b	5.38 b	7797 a
B66-N240	26.00 a	5.4 bc	5.43 b	7568 a
S76-N240	13.50 b	8.4 a	5.61 a	6247 d
S72-N240	24.50 a	5.3 bc	5.44 b	6586 c

表 5 不同处理氮肥利用率

Table 5 Fertilizer N use efficiency of different treatments

处理 Treatments	偏生产力 Partial factor productivity/ (kg kg^{-1})	农学利用率 Agronomic efficiency/ (kg kg^{-1})	生理利用率 Physiological efficiency/ (kg kg^{-1})	表观利用率 N recovery efficiency/%
S66-N300	23.52 e	9.31 c	18.16 c	51.26 c
S66-N240	32.49 a	14.72 a	23.11 ab	65.97 a
B66-N240	31.53 b	13.77 b	23.84 ab	57.77 b
S76-N240	26.03 d	8.26 d	22.11 b	37.37 d
S72-N240	27.44 c	9.68 c	26.28 a	36.78 d

3 讨论

滴灌棉花的株行配置和滴灌毛管铺设位置直接影响土壤水分和硝态氮的运移与分布, 进而影响棉花生长和氮素吸收^[26-27]。本研究中氮肥随水滴施后, 土壤水分和硝态氮主要分布在 0~40 cm 土层, 这与前人的研究结果基本一致^[28-29]。不同行管铺设下, 土壤硝态氮与水分空间分布差异显著。机采棉行距配置 (66+10) cm 处理 (B66、S66) 土壤水分和硝态氮量在 0~40 cm 土壤分布较为均匀, 但滴灌毛管铺设在作物行间 (B66) 时, 土壤硝态氮量最大值的分布区域已偏离作物行。行距配置 (72+4) cm (S72 处理) 和 76 cm 等行距 (S72 处理) 模式下, 土壤含水率总体偏低, 可能是由于作物生长中前期的植被覆盖度较低, 土壤水分蒸发损失较大所致。同时, 行距配置 (72+4) cm 处理作物行区域的确态氮量相对较低。主要是因为作物行距较小, 根系分布密集, 对作物行区域土壤氮素的吸收较为集中。有研究认为窄行布管更利于作物水肥利用^[30], 窄行布管水分和肥料集中在

窄行根系密集处, 有利于根系吸收利用, 因此水分养分消耗的多; 宽行布管处理毛管距另一单行 20 cm 左右, 在高频低定额的滴灌方式下, 一部分根系必然在湿润峰之外, 根系对水分和养分吸收受到影响, 在棉花营养生长和生殖生长并进旺盛的花铃期, 窄行布管的土壤耗水量会高于宽行布管。本研究结果表明, 在相同株行配置下宽行布管更利于水氮向作物行运移, 这与前人的研究结果存在分歧。根系对于作物吸收水肥有重要作用, 对于不同行管配置, 根系生长分布势必受到影响, 但目前行管配置对根系生长影响的研究还不明确。因此, 对于不同行管配置下水氮运移分布的研究还需要进一步深入。

氮是影响作物生长的主要元素^[31], 施用氮肥利于促进作物生长^[32], 随施氮量的增加棉花干物质量随之增加^[33]。但本试验中施氮量 240 kg/hm² 的 S66-N240 和 B66-N240 处理棉花干物质量与 S66-N300 处理无显著差异。主要是因为 S66-N300 处理施氮量较大, 棉花营养生长旺盛, 生长茎秆和叶片干物质量较高, 其生殖器官(蕾铃)干物质量较 S66-N240 和 B66-N240

处理显著降低。宋兴虎等^[34]和秦宇坤等^[35]研究也表明,施氮量增加能促进棉花营养器官生物量积累,但高施氮量会降低生殖器官干物质所占比例。高施氮量 S66-N300 处理可能由于氮素投入量过大导致其营养生长过剩,蕾铃脱落增加,从而影响其总干物质积累。

本研究中,在不同行管铺设下,76 cm 等行距(1膜3行)处理棉花干物质质量显著低于2种(66+10)cm配置处理。1膜3行配置虽然单株生长具有优势,在生育前期叶面积指数和光吸收率较快增加,但密度下降会直接影响其总干物质积累量^[12]。同时,本研究中(72+4)cm(1膜6行)处理棉花干物质质量也显著降低。而前人研究表明^[4],机采棉(66+10)cm配置下棉花生长协调促进干物质积累,(72+4)cm行距配置由于2作物行间距离过小,棉株对营养、水分、阳光等竞争加剧,致使其棉株长势较弱,干物质积累量减少。

本研究表明,高施氮量处理(S66-N300)棉花氮素吸收量较高,但与S66-N240和B66-N2402个氮肥优化处理无差异。前人研究表明,氮肥的施用影响作物对氮素的吸收利用^[36],过量施用氮肥不仅造成氮素损失还影响作物吸收利用^[16]。氮素供应不足或过量都不利于棉花对于氮素的吸收。随氮肥的增加,玉米对氮素吸收量也呈现先增后减的趋势^[37]。因此,本研究认为在(66+10)cm模式下施氮量240 kg/hm²与300 kg/hm²相比,240 kg/hm²已经足够棉花对氮的需求,从“减肥增效”考虑,应提倡当地减少机采棉氮肥一般推荐用量。同时本研究中土壤水分与硝态氮分布结果显示,S66-N240和B66-N240处理水分与硝态氮主要分布在作物行下方根区,而B66-N240处理不仅对氮吸收量较高,且其磷钾吸收量显著高于其他处理,这可能由于不同行管铺设对作物养分吸收具有影响。滴灌毛管铺设在作物行间时,滴头距离作物行近,水肥移动到作物下方距离短,而滴灌毛管铺设在作物行侧边时,距离作物行远,水肥移动到作物下方距离较远。有研究认为,氮施用利于棉花对磷素和钾素的吸收^[23],而新疆多为石灰性土壤,磷在土壤中易被固定,其移动性较弱^[38-40]。因此,相同灌水量和施氮量条件下,滴灌毛管铺设在作物行间,水肥施入距离作物根系较近,有利于作物对磷和钾的吸收。

氮肥对于作物产量形成具有重要意义,氮肥不足或过量施用均会导致棉花产量下降^[41-42]。机采棉行距配置也会直接影响棉花产量,梁亚军^[6]研究表明,机采棉1膜6行模式(S66)相比1膜3行模式(S76),具有良好的冠层结构和较高的光能利用率及群体优势,籽棉产量高。徐新霞^[14]研究表明,(66+10)cm行距配置棉株分布合理,降低作物行间郁蔽程度,增加通风透光性,提高光合作用促进茎和叶片的生长及

蕾铃发育,棉花产量显著提高。但目前关于行管配置和施氮量对机采棉产量影响方面的研究还很少。本试验表明优化施氮 S66-N240 和 B66-N240 处理棉花产量显著高于 S66-N300 处理,而 S72-N240 和 S72-N240 处理产量则显著降低。说明合理的行管配置和施氮量管理可以实现机采棉“减氮增产”的双赢。

大量研究表明^[43-45],氮肥偏生产力、氮肥农学利用效率、氮肥生理利用率和氮肥表观利用率随氮素施用量的降低而增加。本试验中氮肥优化处理(减氮20%)S66-N240和B66-N240氮肥表观利用率均显著高于高施氮量处理 S66-N300,但是 S76-N240 和 S72-N240 处理氮肥表观利用率显著降低。可见不同行距配置与滴灌毛管铺设位置直接影响水氮运移和氮素吸收利用,选择适宜的行管配置模式,是提高滴灌机采棉氮肥利用率的途径之一。

本研究探讨了不同行管配置与施氮量对滴灌棉田土壤水氮分布、棉花产量及氮肥利用率的影响。但试验仅在特定的灌水量和土壤质地条件下开展,土壤性质(质地、结构等)和灌水量会直接影响滴灌农田土壤水氮运移和分布,进而影响棉花生长和养分吸收。因此,还需要进一步开展不同灌水量和土壤质地的机采棉行管配置和氮肥优化研究。

4 结 论

1) 机采棉(66+10)cm行管配置下,利于水氮向作物根区移动,促进棉花生长;而(72+4)cm行距配置和76cm等行距配置会导致棉花产量降低。

2) 施氮量240 kg/hm²时,机采棉(66+10)cm行管配置下,滴灌带铺设在作物窄行间可显著增加棉花对磷和钾的吸收;滴灌带铺设在作物宽行靠近作物行10cm处时促进棉花氮素吸收,提高氮肥利用率。

3) 在(66+10)cm行管配置下,施氮量240 kg/hm²(减氮20%),能显著促进棉花生长,增加棉花养分吸收量,提高产量及氮肥利用率。

参考文献:

- [1] 唐文,李晓晓,吕宁.新疆棉花生产成本与收益分析及植棉对策研究:基于2002—2016年度数据实证分析[J].中国棉花,2018,45(10):9-15.
TANG Wen, LI Xiaoxiao, LYU Ning. Analysis on the change of cotton production cost and benefit and study on the planting countermeasures in Xinjiang—empirical analysis based on annual data in 2002-2016[J]. China Cotton, 2018, 45(10): 9-15.
- [2] 余渝,孔宪辉,刘丽,等.新疆兵团机采棉发展现状与建议[J].塔里木大学学报,2018,30(3):57-61.
YU Yu, KONG Xianhui, LIU Li, et al. Development status and suggestions of mechanical harvest upland cotton in Xinjiang production and construction

- corps[J]. Journal of Tarim University, 2018, 30(3): 57-61.
- [3] 李琴, 朱建民. 棉花机采棉高产栽培技术[J]. 中国种业, 2014(1): 71-72.
LI Qin, ZHU JianMin. High-yield cultivation technology for cotton picking by cotton[J]. China Seed Industry, 2014(1): 71-72.
- [4] 徐新霞, 雷建峰, 高丽丽, 等. 不同机采棉行距配置对棉花生长发育及光合物质生产的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35(2): 51-56.
XU Xinxia, LEI Jianfeng, GAO Lili, et al. Effects of different row spacing patterns on growth and photosynthetic production of machine-harvested cotton[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2017, 35(2): 51-56.
- [5] 李健伟, 肖绍伟, 夏冬, 等. 机采种植模式对不同株型棉花生长及产量的影响[J]. 新疆农业大学学报, 2017, 40(6): 391-396.
LI Jianwei, XIAO Shaowei, XIA Dong, et al. The effect of machine harvesting planting patterns on the growth and yield of cotton with different plant patterns[J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2017, 40(6): 391-396.
- [6] 梁亚军, 罗天睿, 郑巨云, 等. 不同机采棉配置冠层结构及产量性状差异研究[J]. 新疆农业科学, 2017, 54(6): 1 008-1 013.
LIANG Yajun, LUO Tianrui, ZHENG Juyun, et al. Research on the different colonial canopy architecture characters and yield characters of machine harvesting cotton under different field collocation patterns[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2017, 54(6): 1 008-1 013.
- [7] 李建峰. 机采模式下株行距配置对棉花冠层特征及成铃特性的影响[D]. 石河子: 石河子大学, 2016.
LI Jianfeng. Effect of plant and row spacing on canopy structure and boll setting of machine-picked cotton[D]. Shihezi: Shihezi University, 2016.
- [8] 罗巧. 机采棉株行距优化配置试验初报[J]. 农民致富之友, 2016(4): 144-145.
LUO Qiao. Preliminary Report on the Optimum Allocation of Row Spacing of Cotton Plants[J]. The Farmers Become Rich Friends Magazine, 2016(4): 144-145.
- [9] 张鲁云, 陈永成. 新疆生产建设兵团机采棉现状及建议[J]. 农业机械, 2011(7): 80-82.
ZHANG Luyun, CHEN Yongcheng. Current Situation and Suggestions of Cotton Picking in Xinjiang Production and Construction Corps[J]. Farm Machinery, 2011(7): 80-82.
- [10] 姜鸿君. 新疆库尔勒垦区机采棉(陆地棉)综合农艺关键技术的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
JIANG Hongjun. Study on key synthesize agronomy of cotton pick (upland cotton) in Kuerle reclamation area Xinjiang[D]. Beijing: China Agricultural University, 2005.
- [11] 张昊, 林涛, 尔晨, 等. 配置模式对新疆机采棉生长发育及产量形成的调控效应[J]. 新疆农业大学学报, 2018, 41(5): 307-313.
ZHANG Hao, LIN Tao, ER Chen, et al. Effects of planting patterns on growth and yield formation for machine-picked cotton in southern Xinjiang[J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2018, 41(5): 307-313.
- [12] 李建峰, 王聪, 梁福斌, 等. 新疆机采模式下棉花株行距配置对冠层结构指标及产量的影响[J]. 棉花学报, 2017, 29(2): 157-165.
LI Jianfeng, WANG Cong, LIANG Fubin, et al. Row spacing and planting density affect canopy structure and yield in machine-picked cotton in Xinjiang[J]. Cotton Science, 2017, 29(2): 157-165.
- [13] 阿不都卡地尔·库尔班, 李健伟, 杨培, 等. 机采棉株行距配置对棉花生物量和氮素累积分配及产量的影响[J]. 新疆农业科学, 2018, 55(8): 1 406-1 416.
ABUDUKADER · Kuerban, LI Jianwei, Yang Pei, et al. Effect of row spacing of plant on biomass and nitrogen accumulation distribution and yield of cotton[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2018, 55(8): 1 406-1 416.
- [14] 徐新霞. 行距配置对机采棉花产量形成及采收品质的影响[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2015.
XU Xinxia. Effect of row spacing pattern on machine-harvested cotton yield formation and harvest quality[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2015.
- [15] 郝庆荣, 曾成才. 不同行距配置对棉花生长、产量及机采效果的影响[J]. 新疆农垦科技, 2017, 40(12): 14-15.
HAO Qingrong, ZENG Chengcai. Effects of Different line spacing configurations on cotton growth, yield and mechanical harvesting[J]. Xinjiang Farm Research of Science and Technology, 2017, 40(12): 14-15.
- [16] 巨晓棠, 谷保静. 我国农田氮肥施用现状、问题及趋势[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(4): 783-795.
JU Xiaotang, GU Baojing. Status-quo, problem and trend of nitrogen fertilization in China[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2014, 20(4): 783-795.
- [17] 汤明尧, 赖波, 赵泽. 新疆棉田施肥现状调查与评价[J]. 新疆农业科技, 2016(2): 48-50.
TANG Mingyao, LAI Bo, ZHAO Ze. Investigation and Evaluation of Fertilization in Xinjiang Cotton Field[J]. Xinjiang Agricultural Science and Technology, 2016(2): 48-50.
- [18] 张福锁, 王激清, 张卫峰, 等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 915-924.
ZHANG Fusuo, WANG Jiqing, ZHANG Weifeng, et al. Nutrient use efficiencies of major cereal crops in China and measures for improvement[J]. Acta Pedologica Sinica, 2008, 45(5): 915-924.
- [19] 孙志梅, 武志杰, 陈利军, 等. 农业生产中的氮肥施用现状及其环境效应研究进展[J]. 土壤通报, 2006, 37(4): 782-786.
SUN Zhimei, WU Zhijie, CHEN Lijun, et al. Research advances in nitrogen fertilization and its environmental effects[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2006, 37(4): 782-786.
- [20] 张允昔, 陈宜, 崔爱花, 等. 不同施氮量对棉花产量和氮肥利用率的影响[J]. 江西农业大学学报, 2014, 36(6): 1 202-1 206.
ZHANG Yunxi, CHEN Yi, CUI Aihua, et al. The effects of different nitrogen application rates on cotton yield and nitrogen use efficiency[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2014, 36(6): 1 202-1 206.
- [21] 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 Pengcheng, DONG Helin, LIU Aizhong, 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.
- [22] 廖娜, 侯振安, 李琦, 等. 不同施氮水平下生物炭提高棉花产量及氮肥利用率的作用[J]. *植物营养与肥料学报*, 2015, 21(3): 782-791.
- LIAO Na, HOU Zhen'an, LI Qi, et al. Increase effect of biochar on cotton yield and nitrogen use efficiency under different nitrogen application levels[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2015, 21(3): 782-791.
- [23] 哈丽哈什·依巴提, 张炎, 李青军, 等. 不同施氮量对棉花产量、养分吸收分配及利用的影响[J]. *新疆农业科学*, 2017, 54(8): 1 422-1 428.
- HALIHASHI · Yibati, ZHANG Yan, LI Qingjun, et al. Effects of different nitrogen rates on cotton yield, nutrient uptake, distribution and utilization[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2017, 54(8): 1 422-1 428.
- [24] 李娟, 彭金灵, 康娟, 等. 氮肥减施的研究现状和展望[J]. *湖南农业科学*, 2012(12): 23-24.
- LI Juan, PENG Jinling, KANG Juan, et al. Research Status and Prospect of Nitrogen Reduction[J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2012(12): 23-24.
- [25] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 第三版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- BAO Shidan. *Soil and Agricultural Chemistry Analysis*[M]. Third Edition. Beijing: China Agricultural Press, 2000.
- [26] 李鑫鑫, 刘洪光, 龚萍, 等. 膜下滴灌棉花不同种植模式土壤水分分布规律研究与数值模拟[J]. *节水灌溉*, 2018(8): 23-29.
- LI Xinxin, LIU Hongguang, GONG Ping, et al. Numerical simulation of soil moisture distribution of different planting modes under drip irrigation under film[J]. *Water Saving Irrigation*, 2018(8): 23-29.
- [27] 贾运岗. 膜下滴灌布置方式对棉花生长和根区水氮运移的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2008.
- JIA Yungang. Effect of Drip Tape Disposition Pattern under Plastic Mulch on Cotton Growth, Water and Nitrogen Transport of Rootzone[D]. Yangling: University of Science and Technology, 2008.
- [28] 陶垚, 吕新, 陈剑, 等. 不同滴灌施肥方式对棉田土壤含水率、硝态氮分布及对产量的影响[J]. *棉花学报*, 2015, 27(4): 329-336.
- TAO Xu, LYU Xin, CHEN Jian, et al. Effects of cotton soil moisture content, nitrate nitrogen distribution and yield by different fertigation strategies[J]. *Cotton Science*, 2015, 27(4): 329-336.
- [29] 马革新, 张泽, 温鹏飞, 等. 施氮对不同质地滴灌棉田土壤硝态氮分布及棉花产量的影响[J]. *灌溉排水学报*, 2017, 36(3): 44-51.
- MA Gexin, ZHANG Ze, WEN Pengfei, et al. Effect of soil texture on the distribution of nitrate nitrogen in the soil profile and its influence on drip-irrigated cotton production[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2017, 36(3): 44-51.
- [30] 蔡利华, 练文明, 邵红忠, 等. 南疆两种膜下滴灌布管方式对机采棉产量和品质的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2019, 37(2): 52-58.
- CAI Lihua, LIAN Wenming, TAI Hongzhong, et al. Effect of two kinds of drip irrigation pipe distribution under plastic film on yield and quality of machine picking cotton in southern Xinjiang[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2019, 37(2): 52-58.
- [31] 殷春渊, 王书玉, 薛应征, 等. 氮肥处理对水稻穗部性状和品质的影响[J]. *天津农业科学*, 2013, 19(1): 15-19.
- YIN Chunyuan, WANG Shuyu, XUE Yingzheng, et al. Effects of nitrogen treatment on the rice characteristics and quality[J]. *Tianjin Agricultural Sciences*, 2013, 19(1): 15-19.
- [32] 田志刚, 刘志增, 田俊芹, 等. 氮肥追施量和比例对夏玉米产量的影响[J]. *玉米科学*, 2007, 15(3): 122-126.
- TIAN Zhigang, LIU Zhizeng, TIAN Junqin, et al. Effect of N fertilizer rate applied and its ratio on yield of summer maize[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2007, 15(3): 122-126.
- [33] 李鹏程, 郑苍松, 孙森, 等. 土壤全氮含量和施氮水平对棉花产量及氮肥利用效率的影响[J]. *核农学报*, 2017, 31(8): 1 612-1 617.
- LI Pengcheng, ZHENG Cangsong, SUN Miao, et al. Effects of total N content of soil and N application levels on seed cotton yield and N use efficiency[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2017, 31(8): 1 612-1 617.
- [34] 宋兴虎, TUFAIL Ahmed Wagan, BIANCKHAM Souliyanonh, 等. 氮肥用量及其后效对棉花产量和生物质累积动态的影响[J]. *棉花学报*, 2018, 30(2): 145-154.
- SONG Xinghu, WAGAN T A, SOULIYANONH B, et al. Nitrogen fertilizer and its residual effect on cotton yield and biomass accumulation[J]. *Cotton Science*, 2018, 30(2): 145-154.
- [35] 秦宇坤, 李鹏程, 郑苍松, 等. 氮肥施用量对棉花产量及土壤脲酶活性的影响[J]. *新疆农业大学学报*, 2018, 41(2): 86-92.
- QIN Yukun, LI Pengcheng, ZHENG Cangsong, et al. Effects of nitrogen application rate on the cotton yield and soil urease activity[J]. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 2018, 41(2): 86-92.
- [36] 欧立军, 康林玉, 赵激, 等. 作物氮素吸收与利用研究进展[J]. *北方园艺*, 2018(7): 151-156.
- OU Lijun, KANG Linyu, ZHAO Ji, et al. Research progress in nitrogen uptake and utilization of crops[J]. *Northern Horticulture*, 2018(7): 151-156.
- [37] 王泽林, 白炬, 李阳, 等. 氮肥施用和地膜覆盖对旱作春玉米氮素吸收及分配的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2019, 25(1): 74-84.
- WANG Zelin, BAI Ju, LI Yang, et al. Effects of nitrogen application and plastic film mulching on nitrogen uptake and allocation in dry-land spring maize[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2019, 25(1): 74-84.
- [38] WITHERS P J A, HODGKINSON R A, ROLLETT A, et al. Reducing soil phosphorus fertility brings potential long-term environmental gains: A UK analysis[J]. *Environmental Research Letters*, 2017, 12(6): 063001.
- [39] 梁美英, 卜玉山, 张广峰, 等. 石灰性土壤吸磷差异及其与土壤性质的关系[J]. *山西农业科学*, 2011, 39(6): 564-571.
- LIANG Meiyang, BU Yushan, ZHANG Guangfeng, et al. Phosphorus sorption characteristics of calcareous soils and their relationship with the soil properties[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2011, 39(6): 564-571.
- [40] 单艳红, 杨林章, 沈明星, 等. 长期不同施肥处理水稻土磷素在剖面的分布与移动[J]. *土壤学报*, 2005, 42(6): 970-976.
- SHAN Yanhong, YANG Linzhang, SHEN Mingxing, et al. Accumulation and downward transport of phosphorus in paddy soil in

- long-term fertilization experiments[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(6): 970-976.
- [41] 张泽, 马革新, 海兴岩, 等. 氮肥和土壤质地对滴灌棉花氮素利用率及产量的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2018, 36(3): 161-167.
- ZHANG Ze, MA Gexin, HAI Xingyan, et al. Effects of nitrogen fertilizer and soil texture on the nitrogen utilization and yield of drip-irrigated cotton production[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2018, 36(3): 161-167.
- [42] 胡明芳, 田长彦, 王林霞. 氮肥用量与施用时期对棉花生长发育及土壤矿质氮含量的影响[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2011, 39(11): 103-109.
- HU Mingfang, TIAN Changyan, WANG Linxia. Effects of nitrogen rate, applying time on cotton growth and soil mineral nitrogen content[J]. *Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition)*, 2011, 39(11): 103-109.
- [43] 李鹏程, 董合林, 刘爱忠, 等. 种植密度氮肥互作对棉花产量及氮素利用效率的影响[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(23): 122-130.
- LI Pengcheng, DONG Helin, LIU Aizhong, et al. Effects of planting density and nitrogen fertilizer interaction on yield and nitrogen use efficiency of cotton[J]. *Transactions of the CSAE*, 2015, 31(23): 122-130.
- [44] 赵靓, 侯振安, 黄婷, 等. 氮肥用量对玉米产量和养分吸收的影响[J]. *新疆农业科学*, 2014, 51(2): 275-283.
- ZHAO Jing, HOU Zhen'an, HUANG Ting, et al. Effects of N application rates on yield and nutrient uptake of maize[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2014, 51(2): 275-283.
- [45] 程凯凯, 李超, 谭丽, 等. AGROTAIN 氮稳定剂在中稻上的应用效果[J]. *作物研究*, 2018, 32(6): 474-479.
- CHENG Kaikai, LI Chao, TAN Li, et al. Study on application effect of AGROTAIN nitrogen stabilizer in medium rice[J]. *Crop Research*, 2018, 32(6): 474-479.

Optimizing Planting Pattern and Nitrogen Application to Improve Nutrient Uptake and Yield of Machine-harvest Cotton

LIU Kai, HOU Zhen'an*, WANG Fangbin, SUN Jialin, YIN Xing
(Agricultural college of Shihezi University/The Key Laboratory of Oasis Eco-agriculture,
Xinjiang Production and Construction Group, Shihezi 832003, China)

Abstract: 【Background】 Xinjiang is an arid and semiarid region in China characterized by dry climate and large diurnal-temperature variation. Its sunshine is abundant but effective precipitation is lowest during growth season of most crops; it is the dominant cotton production base in China. With increase in cotton production, developing machine-pick cotton is critical to reduce costs and improve labor productivity so as to industrialize large-scale cotton production. Nitrogen is an essential plant nutrient and plays an important role in cotton yield formation, but its excessive application not only reduces yield but also deteriorates ecological and environmental systems. Traditional cotton cultivation in Xinjiang cannot meet the demand for machine-harvest and excessive nitrogen application has become a major issue in cotton production. 【Objective】 The purpose of this paper is to experimentally study the combined impact of planting pattern and nitrogen application on nutrient uptake and yield of machine-harvest cotton under drip fertigation in Xinjiang. 【Method】 We compared four row spacings: alternate 66 cm and 10 cm with the drip-irrigation belt outside the row (S66), alternate 66 cm and 10 cm with the drip-irrigation belt inside the row (B66), alternate 72 cm and 4cm with the drip irrigation belt outside the row (S72), spacing the rows 76 cm apart with the drip-irrigation belt outside the row (S76), and three nitrogen applications: 0 (N0), 240 kg/hm² (N24) and 300 kg/hm² (N300). 【Result】 Soil water and NO₃ in S66 and B66 were evenly distributed in the top 0~40 cm soil layer, especially in S66 where NO₃ was mainly in the proximity of the root zone. Compared with S66-N300, S66-N240 and B66-N240 did not show significant difference in dry matter and root uptake of N, while S72-N240 and S76-N240 significantly reduced the dry matter and root uptake of N. The P and K uptake by cotton in B66-N240 was significantly higher than that in other treatments; the yield and apparent N use efficiency in S66-N240 and B66-N240 were significantly higher than that in S66-N300, especially S66-N240 that increased N use efficiency by 28.7% compared to S66-N300. Yield and apparent N use efficiency in S72-N240 and S76-N240 were significantly lower than that in S66-N300. 【Conclusion】 Planting cotton with rows alternately spaced 66 cm and 10 cm, along with a nitrogen application of 240 kg/hm², significantly increased cotton yield. Placing the drip-irrigation belt 10 cm outside the row facilitates N uptake thereby improving N use efficiency, while placing the drip-irrigation belt between the rows increased P and K uptake.

Key words: Machine-harvesting cotton; planting pattern; nitrogen application rate; yield; nitrogen use efficiency

责任编辑: 赵宇龙