

滴灌定额对棉花株型、产量及纤维品质的影响

李楠楠¹, 马 卉¹, 王秀媛¹, 李军宏¹, 韩焕勇², 罗宏海¹

(1.石河子大学农学院 新疆兵团绿洲生态农业重点实验室,新疆 石河子 832003;2.新疆农垦科学院棉花所,新疆 石河子 832000)

摘 要:在膜下滴灌条件下,以新陆早 45 号为试验材料,设 5 个滴灌定额处理($W_1:600\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$, $W_2:540\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$; $W_3:480\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$, $W_4:420\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$, $W_5:360\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$),研究棉花农艺性状、成铃模式、产量及纤维品质对滴灌定额的响应。结果表明:随滴灌定额的减少,棉花株高表现为 $W_2>W_1>W_3>W_4>W_5$,果枝台数和蕾花铃总数(8 月 10 日)均以 W_1 处理最大,分别为 9 台和 13.8 个, W_5 处理最小,分别为 8.75 台和 10.2 个,其中 W_1 与 W_2 处理上、中、下部铃数及铃重均无显著差异。棉花籽棉和皮棉产量均以 W_1 处理最高,达到 $6\,431\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $2\,520\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,但与 W_2 处理间均无显著差异。棉纤维长度、整齐度、断裂比在 W_1 和 W_2 处理间无显著差异, W_3 、 W_4 、 W_5 处理棉纤维长度、整齐度较 W_1 处理分别低 0.4、1.1、1.6 mm 和 0.5%、0.7%、0.9%。因此,控制滴灌定额在 $540\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$,可在不显著降低棉花产量和纤维品质的前提下,提高水资源利用效率。

关键词:棉花;滴灌定额;株型;产量;纤维品质

中图分类号:S275.6;S562 **文献标志码:**A

Effects of drip irrigation quota on plant shape, yield and fiber quality of cotton

LI Nan-nan¹, MA Hui¹, WANG Xiu-yuan¹, LI Jun-hong¹, HAN Huan-yong², LUO Hong-hai¹

(1.Key Laboratory of Oasis Eco-agriculture of Xinjiang Production and Construction Corps,

College of Agronomy, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832003, China;

2.Cotton Institute of Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Shihezi, Xinjiang 832000, China)

Abstract: With drip irrigation under film, 5 drip irrigation quota treatments ($W_1:600\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$, $W_2:540\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$; $W_3:480\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$, $W_4:420\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$, $W_5:360\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$) were set up with the test material of XinluZao No. 45. The response of cotton agronomic traits, boll mode, yield and fiber quality to drip irrigation quota was studied. The results showed that with the decrease of drip irrigation quota, the plant height of cotton with all treatments was in the order of $W_2>W_1>W_3>W_4>W_5$. The number of fruit branches and the total number of buds, flowers and bolls (August 10) were the largest under W_1 treatment, which was 9 and 13.8, respectively, and the smallest occurred in W_5 treatment, which was 8.75 and 10.2, respectively. There was no significant difference in the upper, middle and lower parts of W_1 treatment and W_2 treatment. Cottonseed and lint yields were the highest in W_1 treatment, reaching $6\,431\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ and $2\,520\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, but there was no significant difference between W_2 and W_1 treatment. There was no significant difference in cotton fiber length, uniformity and specific strength between W_1 and W_2 treatments. The length and uniformity of cotton fiber in W_3 , W_4 and W_5 treatments were 0.4 mm, 1.1 mm, 1.6 mm, and 0.5%, 0.7% and 0.9%, respectively, lower than that in W_1 treatment. Therefore, the control of drip irrigation quota at $540\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ can improve water use efficiency without significantly reducing the cotton yield and fiber quality.

Keywords: cotton; drip irrigation quota; plant type; yield; fiber quality

干旱区作物产量的主要限制因素就是水资源 极度缺乏^[1]。干旱区棉田中约有 40% 以上得不到

收稿日期:2018-06-25

修回日期:2019-08-11

基金项目:国家自然科学基金(31760369);霍英东教育基金会(151030);石河子大学大学生研究训练计划项目(201810759002、SRP2017017);新疆兵团绿洲农业重点实验室开放课题(201601)

作者简介:李楠楠(1996-),女,河南尉氏人,硕士研究生,研究方向为作物高产生理与节水栽培。E-mail: 1823721578@qq.com

通信作者:罗宏海(1979-),男,辽宁抚顺人,博士,教授,主要从事作物高产生理与节水栽培。E-mail: luohonghai79@163.com

及时灌水,每年因缺水造成的损失约占总产量的10%~15%。新疆农业用水居高不下,且水资源利用率低,使得大量灌溉用水未被农作物吸收利用。如何优化灌溉,提高水分利用效率,实现棉花节水优质高产,对于维持新疆农业可持续发展具有重要意义^[2]。

水分是影响作物生长发育的因素之一,最终反映在作物各部位的生物量积累和产量上^[3]。棉花株高、果枝数、蕾铃数都随灌水量的降低而降低,尤其花铃期水分胁迫能显著降低棉花的株高。陈玉梁等^[4]在甘肃省敦煌市试验发现,在生长期,滴灌定额减少一半,使棉花的叶片数、单株成铃数、有效果枝数、株高分别降低8.3%~29.9%、13.4%~24.0%、8.4%~25.2%、6.4%~15.8%;不灌水使棉花叶片数、单株成铃数、有效果枝数、株高分别减少39.0%~47.8%、43.0%~52.9%、41.3%~51.8%、30.3%~35.9%。反之,如果滴灌定额过大,棉株生长旺盛,棉花将过早封行,导致田间透光透气性变差,蕾铃脱落现象严重,产量下降^[5]。一般认为,适量水分亏缺对作物产量几乎没有影响,严重亏缺会对产量品质造成显著影响。Yang等^[6]认为,棉花产量随灌溉定额的增加而增加。但是Jiang等^[7]研究发现,适度调亏灌溉对于干旱区小麦的生长和产量的影响不显著,反而可以提高水分生产效率。棉花盛蕾期中度调亏,盛铃期可在其基础上轻度调亏,吐絮期可重度调亏,不仅可缩短棉花生育期,还可达到节水高产的目的^[8-9]。不同灌溉定额对棉花纤维品质影响不显著,马克隆值随灌溉定额的降低而增加^[10]。申孝军等^[11]研究发现,水分处理对棉花衣分、棉纤维整齐度无显著影响,对蕾期、花铃期进行水分胁迫,表现为随水分胁迫程度的增加,棉纤维上半部平均长度的影响加剧,蕾期适中水分胁迫有助于提高棉纤维断裂比强度。

节水高产是膜下滴灌技术的主要任务和目标,灌溉量的控制是关键,产量和灌溉水生产效率并不总是随滴灌量的增加而增加^[12],前人研究多见于在棉花不同生育时期调亏灌溉,滴灌定额对棉花株型特征及产量、品质等的影响研究相对较少。本研究在前期研究的基础上,开展滴灌定额对棉花株型特征、产量及品质影响的研究,探寻节水和高产的最优结合点所对应的灌水定额,明确其作用机理,为完善新疆膜下滴灌棉花节水高产栽培技术提供支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2017年在石河子大学农学试验站(86°

03'E,45°19'N)进行,前茬为棉花,全部秸秆还田。试验材料为新陆早45号。土壤质地为中壤土,pH为7.5,有机质12.5 g·kg⁻¹,全氮1.45 g·kg⁻¹,碱解氮54.9 mg·kg⁻¹(5级,低氮),速效磷0.23 mg·kg⁻¹(6级,低磷),速效钾149 mg·kg⁻¹(2级,高钾)。

1.2 试验设计

依据新疆大田膜下滴灌高产田的滴灌模式^[13-14],在灌水周期(10 d)及灌溉次数(8次)不变的条件下,设5个滴灌定额:W₁处理(滴灌定额600 m³·hm⁻²,灌水总量4 800 m³·hm⁻²,对照);W₂处理(滴灌定额540 m³·hm⁻²,灌水总量4 320 m³·hm⁻²);W₃处理(滴灌定额480 m³·hm⁻²,灌水总量3 840 m³·hm⁻²);W₄处理(滴灌定额420 m³·hm⁻²,灌水总量3 360 m³·hm⁻²);W₅处理(滴灌定额360 m³·hm⁻²,灌水总量2 880 m³·hm⁻²)。采用随机区组设计,每个小区面积为4.8×8.0 m²,重复4次。滴灌带内径2.3 cm、滴头间距30 cm、流量2.7 L·h⁻¹。灌水量由水表和球阀控制,灌水时间大约10~14 h。

1.3 田间管理

先铺膜后点播,1膜4行,行距为(25+55+25) cm宽窄行,种植密度为20.8×10⁴株·hm⁻²(常规棉田的种植密度)。在4月23日播种,6月10日灌头水、8月20日停止灌溉。施肥管理水平同超高产棉田。使用缩节胺(DPC)进行化调,W₁处理按超高产棉田施用方式及用量,分5次进行,用量208 g·hm⁻²,其中第一次灌水前2~3 d用量26 g·hm⁻²、第2次灌水前用量45 g·hm⁻²;W₂、W₃、W₄、W₅处理在前两次灌水前用水代替缩节胺。9月5日进行化学脱叶、催熟。

1.4 测定指标与方法

1.4.1 株型调查 每个处理连续标记10株(内、外行各5株),并选取生长均匀的棉花植株。每隔10 d调查1次,调查棉花现蕾期、盛蕾期、初花期、盛花期、盛铃前期、盛铃期、盛铃后期不同处理下棉花株高、生殖器官形成情况。调查指标:株高(从子叶节至主茎最高点,cm)、果枝数、蕾(投影平面成三角形,宽度大于3 mm)、花、铃数。

1.4.2 产量及其构成因子 每小区各处理于收获期取棉花各10株,单铃装袋,并带回实验室分别称量单个铃重,取平均值计算单铃重。在同天进行收获,并调查各处理每小区单位面积株数、单株铃数。

收获期各处理取10株棉花,分别分为上(果枝数7台以上为上部)、中(果枝数4~6台为中部)、下

(果枝数 1~3 台为下部),测定各部结铃数及铃重。
1.4.3 纤维品质测定 采用 HVI 900 纤维检测仪测定不同处理棉花纤维的平均长度、整齐度、强度以及马克隆值。

1.5 数据处理与统计

采用 Microsoft Excel 软件进行数据处理,SPSS 19.0 软件进行数据统计分析和差异显著性检验, Sigmaplot 12.5 作图。

2 结果与分析

2.1 滴灌定额对棉花农艺性状的影响

株高是衡量棉花生长发育最重要敏感指标,也是衡量群体株型状况是否合理的指标。图 1 可知,随生育进程的推进,棉花株高呈现先增加后趋于平稳的趋势,整体呈“S”型曲线,6 月 20 日至 30 日株高增长量达最大。在 6 月 30 日之后, W_1 、 W_3 、 W_4 、 W_5 处理株高增长量较低,7 月 10 日后(打顶后)植株相对生长平稳,这有利于调节棉花营养生长与生殖生长之间的矛盾,符合高产棉花生长要求; W_2 处理棉株从 6 月 30 日至 7 月 10 日前保持迅速增长,说明 W_2 处理较其他处理生长旺盛。

随生育进程的推进,果枝数逐渐增加后趋于平稳(图 2),7 月 10 日(打顶后)达最大值。随滴灌定额降低,棉花果枝数降低,以 W_1 处理最大、 W_5 处理最小,但处理间并未达到显著差异,说明灌溉定额的减少未引起果枝数的显著减少。

试验表明(图 3),随生育进程的推进,棉花单株蕾花铃总数呈现先增加后降低的趋势。棉花单株总蕾花铃数随滴灌定额的减少呈降低趋势,与 W_1 处

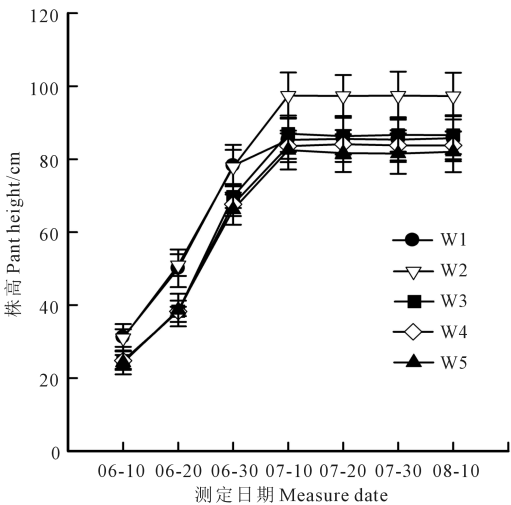


图 1 滴灌定额对棉花株高的影响

Fig.1 Effect of drip irrigation quotas on cotton plant height

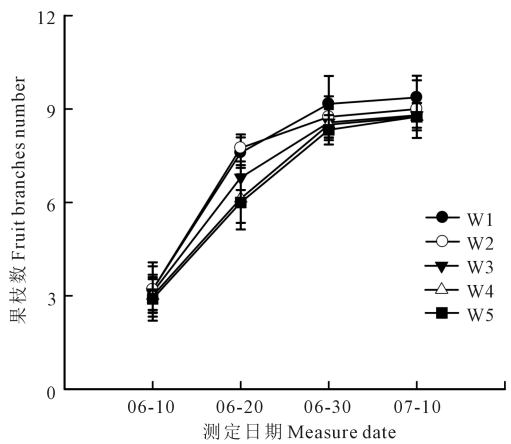


图 2 滴灌定额对棉花果枝数的影响

Fig.2 Effect of drip irrigation quota on the number of cotton fruit branches

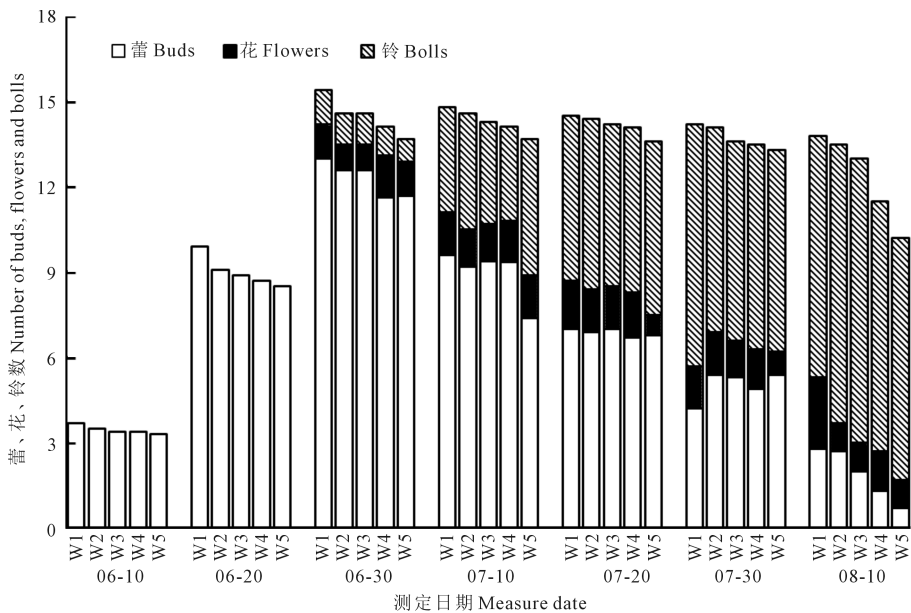


图 3 滴灌定额对棉花单株蕾、花、铃数的影响

Fig.3 Effect of drip irrigation quota on the number of buds, flowers and bolls per cotton plant

理相比, W_2 、 W_3 、 W_4 、 W_5 处理单株总蕾花铃数分别降低 2.17%、5.80%、16.67%、26.09%, 其中 W_4 、 W_5 与 W_1 处理间达到极显著差异水平, 说明过度降低滴灌定额, 会对棉花蕾花铃数产生明显影响。

2.2 滴灌定额对成铃模式的影响

对不同滴灌定额下棉花成铃模式影响的观测结果表明 (表 1), 单株铃重、单株结铃数随灌溉定额的增加而增加, 表现为 $W_1 > W_2 > W_3 > W_4 > W_5$ 处理。上、中部单铃株重及铃数主要影响着棉花的产量, 表现为上中部单株铃重及铃数明显大于下部。 W_1 、 W_2 处理的单株上部、中部、下部单株铃重及铃数均无显著性差异, 其中 W_1 处理单株铃重最重、总铃数最多, W_5 处理单株铃重最小、单株结铃数最少。上部单株铃重 W_1 处理最重, 为 5.73 g, 与 W_2 、 W_3 处理棉花上部单株铃重差异不显著; 中部单株铃重 W_4 处理最多, 为 4.85 g, 但各滴灌定额处理间下中部单株铃重差异不明显; 下部单株铃重 W_1 处理最小, 为 3.78 g, 与 W_2 、 W_3 处理下部单株铃重之间无明显差异, 但显著低于 W_4 、 W_5 处理, 说明过度减少滴灌定额可大幅度减少棉花上中部铃数及铃重。 W_1 处理

上部及下部结铃数最多, 分别为 5.00、3.50 个, 与 W_2 处理差异不显著。 W_2 处理单株中部结铃数较 W_1 处理多, 为 4.20 个, 但与 W_1 处理无显著性差异, 表明适当减少滴灌定额对棉铃空间分布影响不大。

2.3 滴灌定额对棉花产量及水分利用效率的影响

由图 4 可以看出, 随灌溉定额的降低, 籽棉产量、皮棉产量随之减少, 水分利用效率显著提高。棉花籽棉产量、皮棉产量最终以滴灌定额为 W_1 处理最高, W_5 处理最低。 W_2 处理棉花籽棉产量仅比 W_1 处理籽棉产量低 4.56%, 皮棉产量低 1.46%, 未达到显著差异; 水分利用效率以 W_5 处理最高、 W_1 处理最低。 W_1 处理比 W_2 、 W_3 、 W_4 、 W_5 处理分别低 5.89%、12.41%、20.85%、25.56%, 其中 W_1 、 W_2 处理间未达到显著差异。

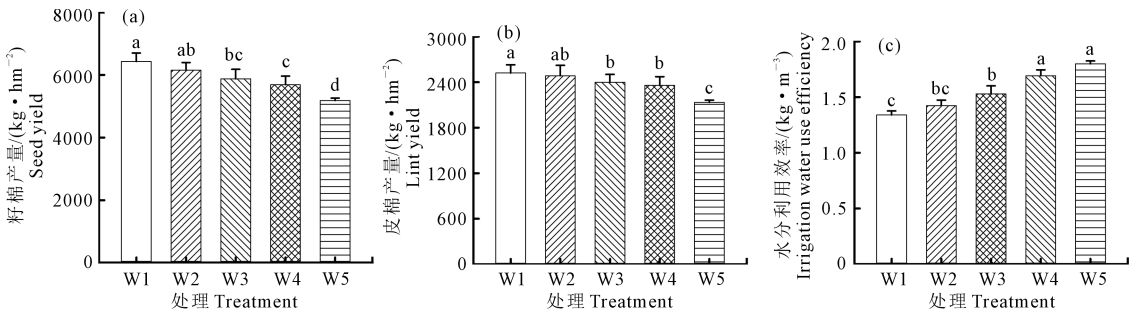
2.4 滴灌定额对棉花品质的影响

试验表明, 棉花纤维品质指标中纤维长度、整齐度、断裂比均随滴灌定额的增加而增加, 各处理间马克隆值差异不显著 (表 2)。纤维长度、整齐度、断裂比在 W_1 、 W_2 、 W_3 处理之间差异不显著, 其中棉花纤维长度、整齐度 W_2 较 W_1 仅低 1.31 %、4%, 断裂比仅高 0.32%。

表 1 滴灌定额对棉花不同部位单铃重及铃数的影响
Table 1 Effect of drip irrigation quota on single boll weight and boll number in different parts of cotton

处理 Treatment	单株铃重 Single plant boll weight/g			单株铃数 Single plant boll number		
	上 Upper	中 Middle	下 Lower	上 Upper	中 Middle	下 Lower
W_1	5.73a	4.44a	3.78b	5.00a	4.00a	3.50a
W_2	5.40a	4.43a	3.80b	3.80ab	4.20a	3.00a
W_3	5.12a	4.69a	3.79b	3.80ab	3.20b	2.80a
W_4	4.51b	4.85a	4.10a	2.40b	3.00b	3.00a
W_5	4.31b	4.30a	4.17a	0.33c	3.33b	3.00a

注: 同列不同字母表示 $P < 0.05$ 水平差异显著, 下同。
Note: Different letters in the same column indicate significant difference at the level of $P < 0.05$, the same below.



注: 不同字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。
Note: Different letters mean significant difference among treatments ($P < 0.05$).

图 4 滴灌定额对棉花产量及水分利用效率的影响

Fig.4 Effect of drip irrigation quota on cotton yield and water use efficiency

表 2 滴灌定额对棉花纤维品质的影响

Table 2 Effect of drip irrigation quota on fiber quality of cotton

处理 Treatment	纤维长度/mm Fiber length	整齐度/% Fiber uniformity	断裂比/(CN·tex ⁻¹) Specific strength	马克隆值 Micronaire value
W ₁	30.6±0.48a	85.1±0.78a	30.7±0.20a	4.0±0.31a
W ₂	30.2±0.53ab	84.7±0.50ab	30.8±0.10a	4.0±0.14a
W ₃	30.2±0.10ab	84.6±0.62ab	30.7±0.72a	4.1±0.07a
W ₄	29.5±0.21bc	84.4±0.19ab	30.7±0.4a	4.0±0.31a
W ₅	29.0±0.84c	84.2±0.37b	30.6±0.62a	4.1±0.26a

3 讨 论

灌溉通常会影 响植株生长发育,使植株生长量和干物质积累量发生改变^[15-16]。周欢等^[17]研究认为,随灌水量的降低,棉花株高呈降低趋势。本试验中,棉花株高并未随滴灌定额的降低而显著降低,且 W₂处理收获期株高显著高于 W₁处理。这与周欢等研究结果不一致,可能是与本试验在灌溉处理期间 DPC 用量不同有关。冯国艺等^[18]研究认为,随 DPC 用量减少,节间长度显著增加。因此,与 W₁处理相比,W₂处理虽遭受了轻度水分胁迫,但因 DPC 用量减少,主茎节间长度增加,并未对棉株生长发育产生明显的抑制作用。棉花果枝台数、蕾花铃数都随滴灌定额的减少而减少,W₁、W₂、W₃处理间在棉花后期(8 月 10 日)均未表现出显著性差异,这与牛玉萍等^[19]研究结果一致。

不同滴灌定额对棉花成铃模式影响不同。单株铃重、单株结铃数随灌溉定额增加而增加^[4],表现为 W₁>W₂>W₃>W₄>W₅,其中 W₂、W₃、W₄、W₅处理的单株铃重比 W₁处理分别低 2.29%、2.50%、3.51%和 8.39%;单株铃数比 W₁处理分别降低了 12%、21.6%、32.8%、46.72%,表明减少滴灌定额主要通过影响单位面积铃数而影响产量,这与前人研究结果一致^[20-21]。随滴灌定额的减少,棉花由中上部单株铃重、单株铃数对产量的贡献值最大逐渐转移到中下部。其中 W₁处理与每次滴灌 W₂、W₃处理上、中、下部结铃数及铃重均未达到差异显著水平,说明适度减少滴灌定额对棉铃空间分布影响不大。这与焦晓玲^[22]研究结果相悖,可能是由于焦晓玲采用的不同生育时期对棉花干旱胁迫程度不一致,从而形成了非充分灌溉,明显改变了棉铃空间分布结构,轻度干旱迫使棉铃中部果枝成铃数增加。

本研究结果表明,棉花产量随滴灌定额的减少而减少,以 W₁处理籽棉和皮棉产量最高,达到 6 431 kg·hm⁻²和 2 520 kg·hm⁻²。与 W₁处理相比,W₂处

理滴灌定额减少 10%,籽棉产量和皮棉产量仅减少 4.56%和 1.46%。与 W₁处理相比,W₃处理滴灌定额减少 20%,籽棉产量和皮棉产量仅减少 7.60%和 4.71%,说明适当减少滴灌定额可以在不显著降低籽棉产量的基础上,有效增加灌溉水利用效率,这与前人研究结果相符^[23-24]。随滴灌定额的减少,W₂处理籽棉产量与 W₁处理无显著差异,但水分利用效率却增加了 5.89%,说明适度降低滴灌定额,并未对产量产生显著影响,反而实现了以农田水分管理来调控生物量的积累,在保证产量的前提条件下,增大了农业水资源的利用效率^[10]。

棉花纤维品质也是影响棉花经济价值的敏感指标。本试验表明,随滴灌定额减少,整齐度显著下降,这与 Unlu 等^[23]研究结果一致,但 Hussein 等^[24]认为水分对整齐度没有影响,这可能由于 Hussein 研究中滴灌间隔时间较短,未对棉株造成干旱胁迫有关。滴灌定额对棉花纤维比强度无显著影响^[25],可能是比强度由基因决定。棉纤维马克隆值是纤维细度和成熟度的综合反映,可作为评价棉纤维内在品质的一个综合指标。已有研究表明,随着灌溉量的增加,马克隆值下降^[10],但本研究中马克隆值在处理间无明显差异。因此,灌溉定额过少会显著降低纤维品质,但适当减小滴灌定额不会对棉花纤维品质造成影响。

4 结 论

在适度减少滴灌定额并降低缩节胺用量条件下,棉株生长发育未受到明显的抑制作用;籽棉和皮棉产量未显著降低,但增加了水分利用效率;棉纤维长度、整齐度、断裂比等纤维品质指标在 W₁、W₂、W₃处理间无显著差异。因此,通过适度减少滴灌定额并协调关键技术措施,可在不显著降低棉花产量和纤维品质的前提下,提高灌溉水利用效率。

参 考 文 献:

[1] 喻树迅,范术丽. 我国棉花遗传育种进展与展望[J].棉花学报, 2003,15(2):120-124.

[2] 刘雁翼,杨贵森,张寄阳,等. 利用气象资料指导下膜下滴灌棉花灌溉的试验研究[J]. 灌溉排水学报,2008, 7(3): 37-40.

[3] 张喜英. 提高农田水分利用效率的调控机制[J].中国生态农业学报,2013,21(1):80-87.

[4] 陈玉梁,石有太,罗俊杰,等. 干旱胁迫对彩色棉花农艺、品质性状及水分利用效率的影响[J]. 作物学报, 2013,39(11):2074-2082.

[5] 王一民,虎胆·吐马尔白,张金珠,等. 膜下滴灌不同灌溉定额及灌水周期对棉花生长和产量的影响[J].新疆农业科学,2010,47(9):1765-1769.

[6] Yang C J, Luo Y, Sun L, et al. Effect of deficit irrigation on the growth, water use characteristics and yield of cotton in arid Northwest China[J]. Pedosphere,2015,25(6):910-924.

[7] Jiang J, Huo Z L, Feng S Y, et al. Effects of deficit irrigation with saline water on spring wheat growth and yield in arid Northwest China [J]. Journal of Arid Land,2013,5(2):143-154.

[8] 史文娟,康绍忠,宋孝玉. 棉花调亏灌溉的生理基础研究[J].干旱地区农业研究,2004,22(3):91-95.

[9] 范志超,张巨松,石俊毅,等. 调亏灌溉对滴灌棉花光合生产的调节补偿效应[J]. 西北农业学报,2017,6(10):461-1469.

[10] 周欢,彭龙,原保忠,等. 不同灌水量对盆栽棉花产量和品质的影响[J]. 灌溉排水学报,2012,31(1):91-94.

[11] 申孝军,张寄阳,孙景生,等. 灌水模式及下限对滴灌棉花产量和品质的影响[J]. 排灌机械工程学报,2014,32(8):711-718.

[12] 罗宏海,李俊华,勾玲,等. 膜下滴灌对不同土壤水分棉花花铃期光合生产、分配及籽棉产量的调节[J]. 中国农业科学,2008,41(7):1955-1962.

[13] 王肖娟,危常州,陈林. 不同灌溉频率对滴灌棉花生长及产量的影响研究[J]. 新疆农垦科技,2014,37(7):55-58.

[14] 孙林,罗毅,杨传杰,等. 干旱区滴灌棉田灌水量与灌溉周期关系[J]. 资源科学,2012,34(4):668-676.

[15] 闫映宇,赵成义,盛钰,等. 膜下滴灌对棉花根系、地上部分生物量及产量的影响[J]. 应用生态学报,2009,20(4):970-976.

[16] 徐瑞博,孙红春,刘连涛,等. 灌溉模式对冀南植棉区棉花干物质积累分配、产量和水分利用效率的影响[J]. 棉花学报,2018,30(5):386-394.

[17] 周欢,彭龙,原保忠,等. 不同灌水量对盆栽棉花生长特性的影响[J].节水灌溉,2011,(10):10-12.

[18] 冯国艺,姚炎帝,杜明伟,等. 缩节胺(DPC)对干旱区杂交棉冠层结构及群体光合生产的调节[J].棉花学报,2012,24(1):44-51.

[19] 牛玉萍,陈宗奎,陈厚川,等. 不同滴灌模式下种植密度对棉花冠层结构特性的调节[J]. 新疆农业科学, 2016, 53(10):1765-1777.

[20] 蔡红涛,汤一卒,刁品春,等. 棉花花铃期土壤持续干旱胁迫对产量形成的调节效应[J]. 棉花学报,2008, 20(4):300-305.

[21] 罗宏海,朱建军,张旺峰. 滴灌棉田根区水分对棉花干物质生产及水分利用效率的影响[J]. 新疆农业科学,2011,48(4):622-628.

[22] 焦晓玲. 非充分滴灌对棉铃发育及纤维品质的影响[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学, 2014.

[23] Unlu L, Mezreli E. Control of the pink bollworm *Pectinophora gossypiella* by the mating disruption technique on cotton in a semi-arid region of Turkey[J]. Phytoparasitica,2011,39(1):19-25.

[24] Hussein F, Janat M, Yakoub A. Simulating cotton yield response to deficit irrigation with the FAO AquaCrop model[J]. Spanish Journal of Agricultural Research,2011,9(4):1319-1330.

[25] Dagdelen N, Sezgi N F, Gurbuz T, et al. Yield and water use efficiency of drip-irrigated cotton (*Gossypium hirsutum* L.) at different irrigation intervals and watering regimes[J]. Philippine Agricultural Scientist,2009,92(2):193-200.

[16] 贺美,王立刚,王迎春,等.长期定位施地下黑土呼吸的变化特征及其影响因素[J].农业工程学报,2018,34(4):151-161.

[17] 关事成.覆膜和施肥对黄土高原半干旱区玉米产量及农田土壤呼吸的影响[D].兰州:兰州大学,2018.

[18] 刘乔斐.覆膜和施肥对黄土高原旱作春玉米生长和土壤 CO₂排放的影响[D].咸阳:西北农林科技大学,2017.

[19] 孟磊,丁维新,蔡祖聪,等.长期定量施肥对土壤有机碳储量和土壤呼吸影响[J].地球科学进展,2005,20(6):687-692.

[20] Luo Yiqi,Zhou Xuhui. 土壤呼吸与环境[M].北京:高等教育出版社,2007:11-15.

[21] 李强,王琦,张恩和,等.覆盖与种植模式对土壤呼吸速率和玉米根际微生物数量的影响[J]. 草原与草坪,2016,36(5):46-51.

[22] 高金芳,周波,马涛,等.半干旱区不同土地利用方式下土壤呼吸特征[J].水土保持研究,2017,24(2):89-93.

[23] 崔海,张亚红.干旱区荒漠草原土壤呼吸速率日动态特征及影响因素[J].核农学报,2016,30(8):1614-1624.

[24] Chen Z, Xu Y, Zhou X, et al. Extreme rainfall and snowfall alter responses of soil respiration to nitrogen fertilization: a 3-year field experiment [J]. Global change biology, 2017, 23(8):3403-3417.

[25] 刘爽,严昌荣,何文清,等. 不同耕作措施下旱地农田土壤呼吸及其影响因素[J].生态学报,2010,30(11):2919-2924.

[26] Zheng Z M, Yu G R, Fu Y L, et al. Temperature sensitivity of soil respiration is affected by prevailing climatic conditions and soil organic carbon content: a trans-China based case study [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2009, 41(7):1531-1540.

[27] 杨金艳,王传宽. 土壤水热条件对东北森林土壤表面 CO₂通量的影响[J].植物生态学报,2006,30(2):286-294.

[28] Hursh A, Ballantyne A, Cooper L, et al. The sensitivity of soil respiration to soil temperature, moisture, and carbon supply at the global scale [J]. Global Change Biology, 2017, 23(5):2090-2103.

[29] 张丁辰,蔡典雄,代快,等.旱作农田不同耕作土壤呼吸及其对水热因子的响应[J].生态学报,2013,33(6):1916-1925.

[30] 孙媛.秸秆还田和施肥对土壤水热因子、呼吸速率及养分的影响研究[D].咸阳:西北农林科技大学,2014.

[31] Xu L, Baldocchi D D, Tang J. How soil moisture, rain pulse, and growth alter the response of ecosystem respiration to temperature[J]. Global Biogeochemical Cycle, 2004, 18(4):18-35.

[32] 郭强,王振华,郑旭荣,等. PBAT 生物降解膜覆盖对绿洲滴灌棉花土壤水热及产量的影响[J]. 农业工程学报,2017,33(16):135-143.

[33] 涂纯.黄土旱塬区不同覆盖措施下冬小麦农田土壤碳动态及其影响因素[D].西安:西北大学,2013.

(上接第 8 页)