

痕量灌溉对棉花花铃期光合性能日变化及产量的影响

陈立宇^{1,2}, 张立峰^{1*}, 路战远^{1,2}, 咸丰², 张建中², 张向前²

(1.河北农业大学农学院, 河北保定 071000; 2.内蒙古自治区农牧业科学院, 呼和浩特 010031)

摘要: 【目的】明确痕量灌溉方式在干旱区灌溉棉田的适用性。【方法】本研究以中棉所92为供试材料, 系统监测了痕量灌溉不同埋管深度30 cm (D₃₀)、40 cm (D₄₀)和50 cm (D₅₀)和膜下滴灌(CK)4个处理的棉花花铃期光合日变化及产量效应。【结果】①不同处理下净光合速率和气孔导度的日变化均呈双峰曲线变化趋势, 且D₃₀处理各时段的净光合速率和气孔导度均高于其他处理。②不同处理下的胞间CO₂摩尔分数日变化均呈广口“V”字形双峰曲线变化趋势, 蒸腾速率日变化均呈单峰曲线变化趋势, 最大值出现在14:00 h。③D₃₀处理的2年平均籽棉产量和平均皮棉产量最高, 分别为5 734.28和2 454.53 kg/hm², 其中籽棉产量分别比CK、D₄₀和D₅₀处理高出1.09%、7.63%和11.38%, 皮棉产量分别比CK、D₄₀和D₅₀处理高出3.49%、8.32%和1.61%。【结论】综合光合性能日变化和产量分析得出, 内蒙古阿拉善地区采用埋管深度为30 cm的痕量灌溉技术为最佳。

关键词: 灌溉; 棉花; 花铃期; 光合日变化; 产量

中图分类号: S626.9

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2019173

陈立宇, 张立峰, 路战远, 等. 痕量灌溉对棉花花铃期光合性能日变化及产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(4): 9-16.

CHEN Liyu, ZHANG Lifeng, LU Zhanyuan, et al. The Effects of Trace Irrigation on the Yield and Diurnal Changes of Photosynthesis during Flowering and Boll Stage of Cotton [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2020, 39(4): 9-16.

0 引言

【研究意义】棉花是我国主要经济作物之一, 也是生产纤维和国防战略物资的原材料, 为我国国民经济的发展和国防保障提供了重要物资支撑^[1-3]。我国是原棉生产大国, 也是消费大国, 国内棉花需求量与自给量的供需矛盾日益突出^[4]。目前, 国内棉花生产因老棉区劳动力成本高、效益低下等因素造成了棉花种植面积日益锐减, 极大地影响了我国棉花的安全生产。因此, 稳定和拓展棉花的种植面积具有重大意义。内蒙古西部的阿拉善盟土地面积广阔, 光热资源丰富, 年降水量仅40~200 mm, 无霜期150~170 d, 很适宜棉花的种植和发展, 具有很大的发展潜力^[5]。【研究进展】水是保证棉花生产的主要自然资源之一, 棉花生长发育、籽棉及皮棉产量形成受灌水量与灌水次数的显著影响^[6]。适量灌溉对于促进棉花生长具有重要意义^[7]。棉花根系发达, 对于旱具有较强的适应性。花铃期是棉花快速生长期, 期间土壤水分供应直接影

响着棉花光合干物质生产。阿拉善地区年均降雨量40~200 mm, 蒸发量极大。如何高效利用水资源, 是促进区域棉花生产的关键所在。痕量灌溉技术是根据土壤毛细管作用原理, 借助一定的重力, 结合现代膜过滤技术而研发的一种新型节水灌溉技术^[8]。它通过一定高度的蓄水桶、输水管路和特制的控水头, 以极其微小的供水速度直接将水或营养液适量、不间断地输送到植物根系附近, 满足作物水分需求^[9-11]。目前, 痕量灌溉技术研究较为成熟, 已在多种作物上开展相关研究应用。如王志平等^[12]以温室大桃为研究对象, 以畦灌、滴灌为对照, 对比研究痕量灌溉系统在地表裸露和覆盖地膜的2种条件下的大桃产量及水分利用效率, 结果表明, 痕量灌溉管埋深30 cm且覆盖地膜的条件下, 能起到节水稳产的良好效果, 较畦灌、滴灌的水分利用效率分别增加了16.1 kg/(hm²·mm)和10.6 kg/(hm²·mm)。安伟顺等^[13]以番茄为研究对象, 研究了痕量灌溉管不同埋深对其产量的影响, 结果表明, 灌溉管埋深20 cm和30 cm处理较对照分别增产了6.1%和15.2%, 且番茄品质也明显改善。前人对痕量灌溉对不同作物的研究已有不少报道。然而, 前人的研究主要集中于葡萄、温室黄瓜、胡麻、玉米产量、品质、水分利用效率的影响等作物方面^[14-20]。

【本研究切入点】但是痕量灌溉技术在棉花上应用报道相对较少, 尤其是不同埋深条件下的痕量灌溉在棉

收稿日期: 2019-08-13

基金项目: 国家重点研发计划课题(2017YFD0101601和2018YFD0100305); 国家现代农业产业技术体系—棉花产业技术体系(CARS-18-30); 内蒙古自然科学基金项目(2018LH03002)

作者简介: 陈立宇(1986-), 男, 博士研究生, 主要从事集约持续耕作制度研究。E-mail: 362764839@qq.com

通信作者: 张立峰(1961-), 男, 教授, 主要从事农作制度和农业生态学研究。E-mail: zlf@hebau.edu.cn

花上的应用与目前主流的膜下滴灌的对比研究更是鲜见报道。本研究以‘中棉所 92’棉花为试验材料,针对内蒙古阿拉善地区沙化土肥力低、保水保肥能力差的特点,系统研究不同埋管深度对棉花花铃期光合日变化及产量的影响。【拟解决的关键问题】本研究旨在为筛选出适宜该区域棉花生产的合理灌溉方式,为该区域棉花节水生产提供理论和技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2016 年在内蒙古农牧业科学院阿拉善盟

表 1 供试土壤基本理化性状

Table1 Basic physical chemical characteristics of soil

pH 值	有机质/(g kg ⁻¹)	全氮/(g kg ⁻¹)	全磷/(g kg ⁻¹)	全钾/(g kg ⁻¹)	碱解氮/(mg kg ⁻¹)	速效磷/(mg kg ⁻¹)	速效钾/(mg kg ⁻¹)
8.45	12.70	0.58	0.59	20.50	49.00	6.80	143.00

1.2 供试材料

供试棉花品种为中棉所 92。痕量灌溉系统由北京普泉科技有限公司提供,灌溉水为地下水,水质 pH 值为 8.03,全盐量为 987 mg/L。

1.3 试验设计

试验共设置 4 个处理,分别为痕量灌溉设置地下埋深 30、40、50 cm 3 个处理和膜下滴灌对照。以 D₃₀、D₄₀、D₅₀ CK。重复 3 次,共设置 12 个小区,各小区面积为 26.9 m×6.84 m=184.5 m²。播种方式为(66+10) cm 机采棉模式,宽 2.05 m 覆膜种植 6 行,行距(66+10) cm、株距为 10 cm,密度 27 万株/hm²,机器覆膜、铺管、施肥一体化,人工点播。种肥施磷酸二铵 300 kg/hm²,氯化钾 75 kg/hm²,于蕾期和花铃期随水共追施尿素 325 kg/hm²。除灌水方式不同外,各处理灌溉定额均为 3 600 m³/hm²。其他田间管理同大田。

1.4 测定指标与方法

1.4.1 棉花花铃期光合性能日变化测定

选择微风或无风晴天,利用 LX-6800 便携式光合系统测定仪,分别 2017 年 7 月 20 日和 2018 年 7 月 22 日的 06:00、08:00、10:00、12:00、14:00、16:00、18:00 和 20:00 测定棉花植株倒数第四片叶(功能叶)光合性能,每处理随机选取 5 株长势和叶面积均匀的棉花叶片进行测定。为避免光照强度随时间变化对测定结果的影响,在每次测定之前,先测定自然光照强度,将人工光源光照强度设定为与自然光照强度一致,随后进行不同处理下各棉花植株叶片的净光合速率(P_n)、胞间 CO₂ 摩尔分数(C_i)、气孔导度(g_s)和蒸腾速率(T_r)的测定。

1.4.2 棉花产量测定

在棉花收获期,每小区选取 2 m² 测定棉花籽棉

额济纳旗棉花试验示范基地(E100°13', N40°59')开始定位试验。该区域气候属典型大陆性干旱气候。干旱少雨,风大沙多,冬寒夏热,四季气候特征明显,昼夜温差大。年平均气温 6.0~8.5 °C,极端最低气温-36.4 °C;极端最高气温 41.7 °C。年无霜期 150~170 d;雨季主要集中在 7、8、9 月。年平均降水量为 40~200 mm,年蒸发量为 2 400~4 200 mm,年日照时间达 2 600~3 500 h,年太阳总辐射量 147~165 kcal/cm²,年平均风速为 2.9~5.0 m/s。前茬作物为棉花,0~20 cm 土壤基本理化性状见表 1。

和皮棉产量,重复 3 次。

1.5 数据分析

本数据于 2017、2018 年监测,用 Excel 2010 和 SPSS 18.0 进行作图和统计分析。

2 结果与分析

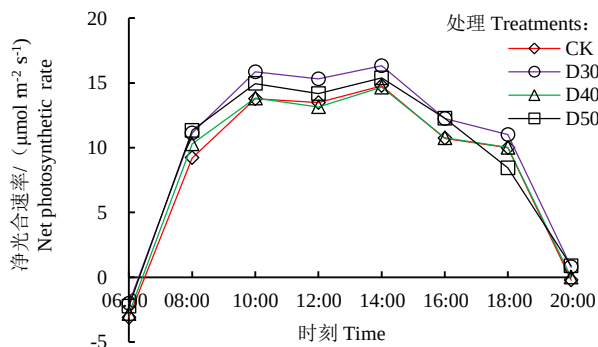
2.1 痕量灌溉对棉花花铃期净光合速率日变化的影响

由图 1 可知,不同灌溉方式下棉花花铃期净光合速率日变化 2 a 均呈双峰曲线变化趋势,其峰值期均为 10:00 h 和 14:00 h,第 2 峰值均小于第 1 峰值;12:00 各处理的净光合速率均降低。06:00 h 的净光合速率均为负值,2017 年,以 D₃₀ 处理的净光合速率最高,比 D₄₀、D₅₀ 处理和 CK 分别提高了 28.22%、10.13%和 34.70%;2018 年,以 D₅₀ 处理的净光合速率最高,分别比 D₃₀、D₄₀ 处理和 CK 提高了 7.46%、20.87%和 28.26%。净光合速率第 1 峰值出现的时间为 10:00,2017 年,以 D₃₀ 处理的净光合速率最大,分别比 D₄₀、D₅₀ 处理和 CK 提高了 14.69%、6.02%和 15.11%;2018 年,也以 D₃₀ 处理的净光合速率最高,分别比 D₄₀、D₅₀ 处理和 CK 提高了 9.59%、8.30%和 10.26%。棉花花铃期净光合速率第 2 峰值出现的时间为 14:00,2017 年,净光合速率最高的为 D₃₀ 处理,其次是 D₄₀ 处理,最低的是 D₅₀ 处理;2018 年,净光合速率最高的处理为 D₃₀ 处理,其次是 D₄₀ 处理,最低的是膜下滴灌(CK)处理。分析 2a 12:00 的净光合速率可看出,2017 年和 2018 年,均以 D₃₀ 处理的净光合速率最高,其次是 D₅₀ 处理,最低的是 CK。2 a 的 20:00 的净光合速率可看出,2017 年,D₃₀ 和 D₅₀ 处理的净光合速率均为正值,其值分别为 0.79 μmol/(m²·s)和 0.86 μmol/(m²·s),D₄₀ 处理和 CK 均为负值,并 D₄₀ 处理>CK;2018 年,

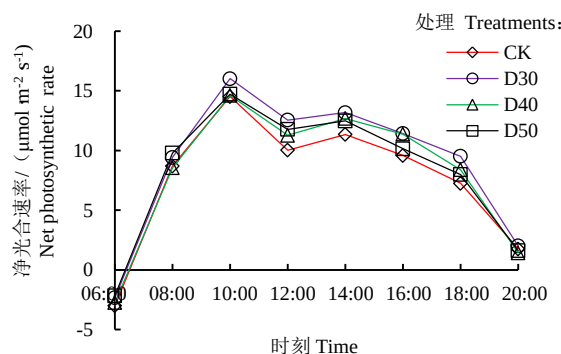
各处理的净光合速率均为正值, 且 D_{30} 处理 $> D_{50}$ 处理 $> CK > D_{40}$ 处理。

从 2 a 的日变化可看出, 不同处理净光合速率日变化可分为 4 种变化趋势, 其中 06:00—10:00 为直线上升时段, 10:00—12:00 为各处理的第 1 峰值出现后的下降阶段, 而 12:00—14:00 是各处理下净光合速率

上升到第 2 个峰值阶段, 且各处理的第 2 峰值均小于第 1 峰值; 14:00—18:00 为净光合速率第 2 次下降阶段, 其净光合速率变化较平缓, 而 18:00—20:00 的净光合速率呈直线下降。由各处理 2 a 日均净光合速率表明, 其光合速率的值序均为: D_{30} 处理 $> D_{50}$ 处理 $> D_{40}$ 处理 $> CK$ 。



(a) 2017 年



(b) 2018 年

图 1 痕量灌溉棉花花铃期净光合速率日变化

Fig.1 The effects of trace irrigation on the diurnal changes of net photosynthesis during flowering and bolling stage of cotton

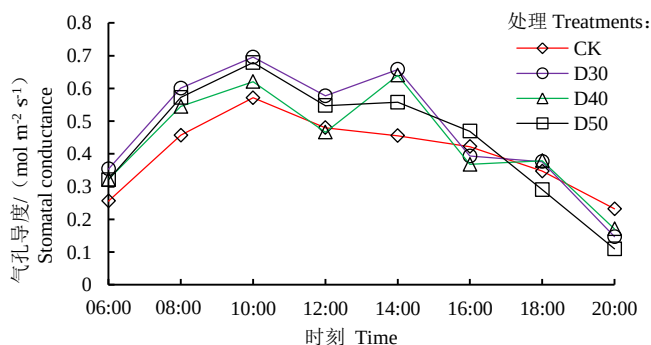
2.2 痕量灌溉对棉花花铃期气孔导度日变化的影响

由图 2 可知, 不同灌溉方式下棉花花铃期叶片气孔导度 2 a 均呈双峰曲线变化, 达到峰值时间均为 10:00 和 14:00, 且各处理的第 2 峰值均小于第 1 峰值; 12:00 气孔导度呈下降趋势, 该变化特征与净光合速率变化一致。

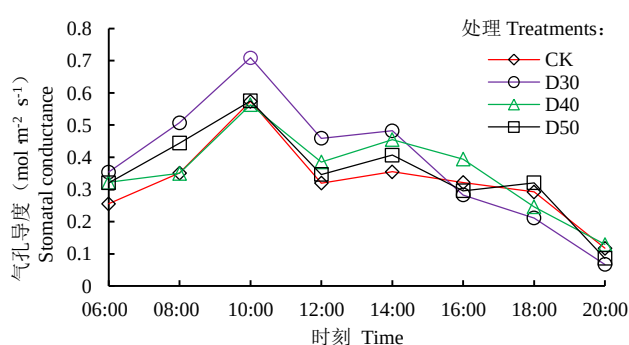
分析 2 a 气孔导度各时段变化可看出, 20:00 气孔导度最小, 2017 年, CK 的气孔导度要高于其他处理, 分别比 D_{30} 、 D_{40} 处理和 D_{50} 处理提高了 56.62%、34.54% 和 110.13%; 2018 年, 以 D_{40} 处理的气孔导度最大, 分别比 D_{30} 、 D_{50} 处理和 CK 提高了 10.66%、93.64% 和 51.62%。气孔导度第 1 峰值出现的时间在 10:00, 2017 年, 以 D_{30} 处理的气孔导度最大, 分别比 D_{40} 、 D_{50} 处理和 CK 提高了 22.51%、12.75% 和 3.10%; 2018 年, 也以 D_{30} 处理的气孔导度最大, 分别比 D_{40} 、 D_{50} 处理和 CK 提高了 23.75%、26.06% 和 23.42%。第

2 峰值出现的时间在 14:00, 2017 年和 2018 年, 气孔导度最大的处理均为 D_{30} 处理, 其次均是 D_{40} 处理, 2a 中最小的处理均为 CK。分析 2a 12:00 的气孔导度可看出, 2017 年和 2018 年, 均以 D_{30} 处理的气孔导度最大, 其次是 D_{50} 处理, 最小的是 CK。从 2 a 的气孔导度日变化可看出, 不同处理气孔导度日变化可分为 4 种变化趋势, 其中 06:00—10:00 为直线上升时段, 10:00—12:00 为各处理的第 1 峰值出现后的下降阶段, 而 12:00—14:00 是各处理下气孔导度上升到第 2 个峰值阶段, 且各处理的第 2 峰值均小于第 1 峰值; 下午 14:00—18:00 h 为气孔导度第 2 次下降阶段, 其气孔导度变化较平缓, 而 18:00—20:00 h 的气孔导度呈直线下降。

由 2 a 各处理日均气孔导度可看出, 其气孔导度的大小顺序均表现为 D_{30} 处理 $> D_{50}$ 处理 $> D_{40}$ 处理 $> CK$ 。



(a) 2017 年



(b) 2018 年

图 2 痕量灌溉棉花花铃期气孔导度日变化

Fig.2 The effects of trace irrigation on the diurnal variation of stomatal conductance during flowering and bolling stage of cotton

2.3 痕量灌溉对棉花花铃期胞间 CO_2 摩尔分数动态变化规律的影响

从图 3 可看出, 2 a 不同灌溉方式对棉花花铃期胞间 CO_2 摩尔分数的日变化趋势相同, 均呈先降低后升高的广口“V”字形曲线变化趋势。且 2 a 各时段的价值大小也基本相同。

分析各时段的棉花叶片胞间 CO_2 摩尔分数可看出, 全天以 06:00 胞间 CO_2 摩尔分数最高, 2017 年胞间 CO_2 摩尔分数以 CK 最高, 分别比 D_{30} 、 D_{40} 和 D_{50} 处理高 4.93%、10.09% 和 9.11%; 2018 年 CK 分别比 D_{30} 、 D_{40} 和 D_{50} 处理高 10.62%、5.41% 和 9.63%。20:00, 各处理的胞间 CO_2 摩尔分数均有所上升, 2017 年以 D_{40} 处理最高, 分别比 CK、 D_{30} 和 D_{50} 处理高 0.01%、5.03% 和 7.16%; 2018 年 CK 的摩尔分数最高, 分别比 D_{30} 、

D_{40} 和 D_{50} 处理高 4.61%、2.44% 和 2.44%。分析 2 a 的胞间 CO_2 摩尔分数数据, 从 08:00 h 到 18:00 h 之间的胞间 CO_2 摩尔分数均在 $120.31 \sim 148.81 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 之间, 其变化幅度较小; 2017 年, 在 14:00 各处理胞间 CO_2 摩尔分数差异较大, 其值最低的处理是 CK, 其值为 $103.47 \mu\text{mol}/\text{mol}$, CO_2 胞间摩尔分数最高是 D_{40} 处理, 其值为 $127.00 \mu\text{mol}/\text{mol}$; 2018 年, 在 08:00 是各处理的胞间 CO_2 摩尔分数差异较大, 胞间 CO_2 摩尔分数最低的是 D_{30} 处理, 其值为 $128.54 \mu\text{mol}/\text{mol}$, CO_2 胞间摩尔分数最高的是 CK, 其值为 $148.91 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 。2017 年不同处理间胞间 CO_2 摩尔分数的平均日变化最高的是 D_{30} 处理, 其日均值比 CK 高 $0.38 \mu\text{mol}/\text{mol}$, 2018 年不同处理间胞间 CO_2 摩尔分数的平均日变化最高的是 D_{30} 处理, 其日均值比 CK 高出 $0.47 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 。

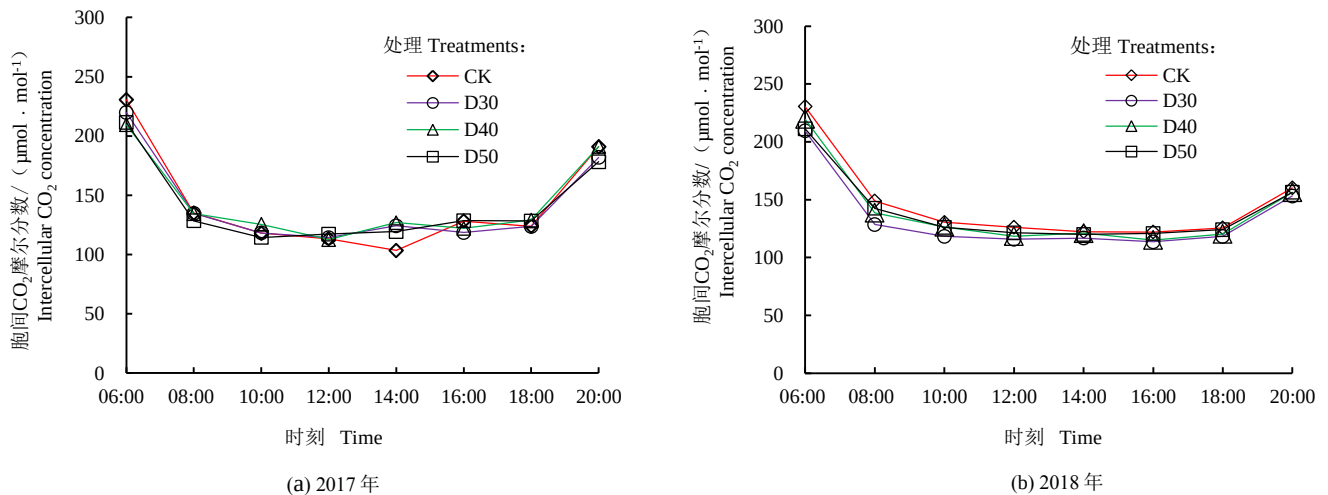


图 3 痕量灌溉对棉花花铃期胞间 CO_2 摩尔分数日变化的影响

Fig.3 The effects of trace irrigation on the diurnal variation of intercellular CO_2 during flowering and bolling stage of cotton

2.4 痕量灌溉对棉花花铃期蒸腾速率动态变化的影响

由图 4 可知, 2 a 各处理的蒸腾速率的动态变化均呈单峰曲线变化趋势, 其峰值均出现在 14:00, 2017 年, 以 D_{40} 处理最高, 分别比 CK、 D_{30} 和 D_{50} 处理高出 10.68%、4.65% 和 9.75%; 2018 年, 以 D_{30} 处理最高, 分别比 CK、 D_{40} 和 D_{50} 处理高 10.98%、3.72% 和 7.91%。蒸腾速率的最小值出现在 06:00, 2017 年和 2018 年, 均以 CK 最小, 分别比 D_{30} 、 D_{40} 、 D_{50} 处理降低了 52.44%、44.68%、44.33% 和 51.10%、42.87%、42.48%。不同灌溉条件下棉花蒸腾速率日变化可分为 4 个阶段, 2017 年, 呼吸速率的日变化为 06:00—08:00 为直线上升期, 从 08:00—14:00 为缓慢上升期, 从 14:00—18:00 为缓慢下降期, 从 18:00—20:00 为直线

下降期; 2018 年, 从 06:00—10:00 为直线上升期, 从 10:00—14:00 为缓慢上升期, 从 14:00—18:00 为缓慢下降期, 18:00—20:00 为直线下下降期, 2 a 的蒸腾速率变化中, 14:00—18:00 的差异较大, 可能是由于该时段测量时的气温和空气湿度不同而造成。

峰值期前后处理间的蒸腾速率有相异的变化趋势。2017 年, 各处理间的蒸腾速率变化较大, 这可能是由于不同处理下, 气孔导度的变化不同导致, 在 06:00—12:00, 均以 D_{30} 处理的蒸腾速率最高, CK 最低; 14:00—16:00 以 D_{40} 处理的蒸腾速率最高, 16:00—20:00 则以 CK 的蒸腾速率最高。2018 年, 06:00—14:00, 以 D_{30} 处理的蒸腾速率最高, CK 最低, 16:00—20:00 则以 CK 的蒸腾速率最高。

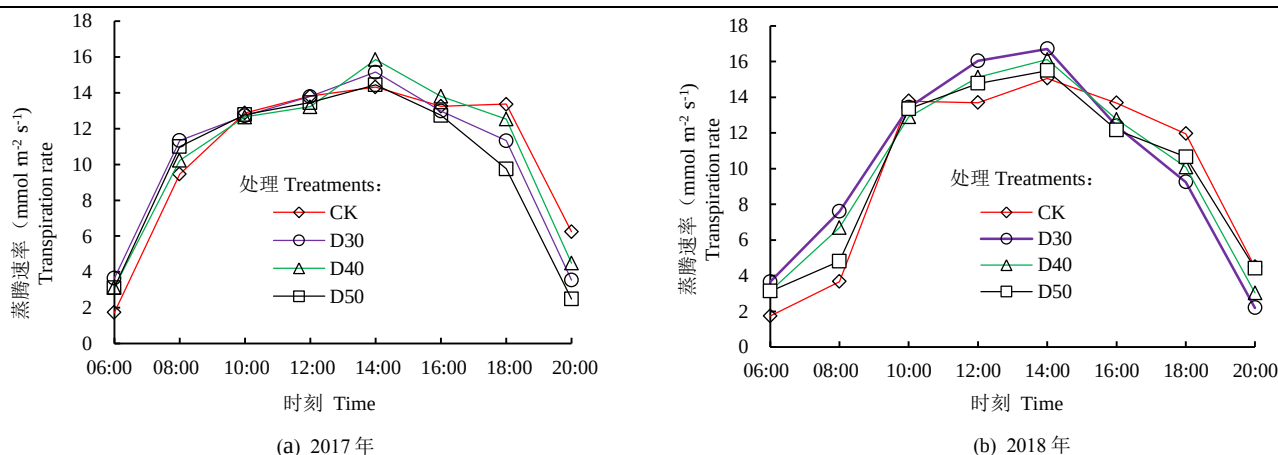


图4 痕量灌溉对棉花花铃期蒸腾速率日变化的影响

Fig.4 The effects of trace irrigation on the diurnal variation of transpiration rate during flowering and bolling stage of cotton

2.5 痕量灌溉对棉花产量的影响

由表2可知,不同灌溉方式下各处理的棉花产量存在一定差异。分析2a的产量数据可以看出,2017年,以CK的产量为最高,其皮棉产量分别比D₃₀、D₄₀和D₅₀处理高3.97%、17.18%和23.63%,籽棉产量分别比D₃₀、D₄₀和D₅₀处理高5.91%、16.20%和25.00%。2018年,以D₃₀处理的产量为最高,其皮棉产量分别比CK、D₄₀和D₅₀处理高10.34%、5.01%和4.69%,其籽棉产量分别比CK、D₄₀和D₅₀处理高出7.54%、5.01%和6.39%。

表2 不同灌溉方式对棉花产量的影响

Table2 Effects of different irrigation methods on cotton yield

年份 Year	处理 Treatments	籽棉产量/(kg hm ⁻²) Seed cotton yield	皮棉产量/(kg hm ⁻²) Lint yield
2018	CK	5 788.20±109.49c	2 452.65±42.57c
	D ₃₀	6 224.40±51.99a	2 706.30±23.33a
	D ₄₀	5 927.25±71.22b	2 577.15±32.35b
	D ₅₀	5 850.75±68.07bc	2 585.10±29.56b
2017	CK	5 557.20±56.91a	2 290.20±24.23a
	D ₃₀	5 244.15±56.91b	2 202.75±25.02a
	D ₄₀	4 728.45±55.69c	1 954.35±24.23b
	D ₅₀	4 445.85±63.95d	1 852.50±26.46c

注 同列中不同小写字母表示差异显著 ($p < 0.05$)。

Note Different lowercase letters in the same column indicate significant differences ($p < 0.05$).

2017年与2018年平均产量分析得出,D₃₀处理其籽棉产量和皮棉产量均为最高,分别为5 734.2 kg/hm²和2 454.53 kg/hm²,其中籽棉产量分别比CK(5 672.70 kg/hm²)、D₄₀处理(5 327.85 kg/hm²)和D₅₀处理(5 148.30 kg/hm²)高1.09%、7.63%和11.38%,皮棉产量分别比CK(2 371.43 kg/hm²)、D₄₀处理(2 265.75 kg/hm²)和D₅₀处理(2 218.80 kg/hm²)高3.49%、8.32%和1.61%。

3 讨论

本研究发现,在内蒙古自治区的阿拉善地区,膜下滴灌与痕量灌溉各处理的棉花花铃期功能叶片的净光合速率、气孔导度日变化的影响均呈双峰曲线变化趋势,第1峰值出现在10:00,第2峰值在14:00出现,第2峰值均小于第1峰值,各处理达到峰值的值存在一定差异,最大值在D₃₀处理。这一特征与Zhang等^[15]的研究结果基本一致。出现双峰曲线的原因可能是由于温度和光照等因素导致的棉花“午休”现象,午间偏高的温度与光强导致棉花功能叶片气孔部分关闭,使得棉花在12:00出现净光合速率、气孔导度和胞间CO₂摩尔分数下降,而蒸腾速率增高。因此,在10:00棉花群体内部温度才是光合作用达到最大值时的适宜温度,而10:00以后温度继续升高从而降低了棉花的净光合速率。不同埋管深度对棉花花铃期功能叶胞间CO₂摩尔分数的影响趋势相同,均呈先降低后升高的广口“V”字形曲线变化趋势,在06:00和20:00最大,且各时间点胞间CO₂摩尔分数的差异性均较小。不同埋管深度对棉花蒸腾速率日变化影响趋势也呈现双峰变化,各处理的蒸腾速率在10:00和14:00达到峰值。光合特性影响的监测结果显示,D₃₀处理较CK光合速率高1.45 μmol/(m² s)。分析表明,14:00前D₃₀处理较CK呈较高的蒸腾速率,这标志着棉田具有较强的土壤供水能力,由此成为D₃₀处理具有较高的气孔导度、光合强度和最终的棉花产量的重要原因。这与黄令淼^[21]、从丽君等^[22]、何树斌等^[23]的研究结果基本一致。

痕量灌溉是一种既能减少灌溉水的用量,同时又能保证作物产量的技术^[22],但是针对不同种作物和不同土壤条件,采取痕量灌溉的埋管深度,是关键性的问题。埋管太深则影响水分供应与利用,埋管太浅大部水分被蒸发,起不到节灌的效果^[24]。在阿拉善地区

沙质土壤背景下,埋管深度 30 cm 的痕量灌溉处理具有较好的供给棉花蒸腾水分的能力。Yang 等^[25]研究结果表明当痕灌管的埋深为 10 cm 时茄子的水分利用率最高,为 23.5%,且增产 14.7%。从丽君等^[22]研究结果表明灌溉管埋深 15 cm 长势较好,地上部干、鲜质量分别较 CK 提高 20.6%、33.3%。灌溉管埋深 0、15、30 cm 小区的产量分别比常规滴灌提高 5.61%、73.1%、41.5%。凡振伶^[26]研究结果表明早春茬或夏秋茬番茄,番茄单果质量、产量均随着痕量管道埋深的增加而增加。但自压条件下,番茄产量均低于滴灌 CK,加压条件则高于滴灌 CK,且加压埋深 15 cm 的产量最高,较滴灌对照,早春茬番茄单果质量和产量分别提高 10.6%、25%,夏秋茬番茄单果重和产量分别提高 21.5%、14.6%。本研究结果表明,不同灌溉条件下,中棉所 92 皮棉产量的大小顺序表现为 D_{30} 处理>CK> D_{40} 处理> D_{50} 处理;不同灌溉条件下对中棉所 92 皮棉产量的影响以 D_{30} 处理最大。说明中棉所 92 采用痕量灌溉的灌溉方式浇水时较适宜的埋管深度为 30 cm。从 2a 平均产量可看出, D_{30} 处理其籽棉产量和皮棉产量均为最高,其中籽棉产量分别比 CK、 D_{40} 和 D_{50} 处理提高 1.09%、7.63%和 11.38%,皮棉产量分别比 CK、 D_{40} 和 D_{50} 处理提高 3.49%、8.32%和 1.61%。本试验结果基本与 Yang 等^[25]、从丽君等^[22]、凡振伶^[26]研究一致。但与周继华等^[27]研究结果有差异,可能原因是与作物根系分布特征和土壤质地差异有关。

4 结 论

各处理的净光合速率和气孔导度的日变化均呈双峰曲线趋势, D_{30} 处理的净光合速率和气孔导度的峰值均高于其他处理;蒸腾速率日变化呈单峰曲线趋势,其峰值均在 14:00 出现,处理间其峰值差异较小;不同处理的胞间 CO_2 摩尔分数日变化则呈先降低后升高的广口“V”字形曲线变化趋势,最大值在 06:00 和 20:00 出现。 D_{30} 处理的籽棉和皮棉产量最高。在内蒙古阿拉善地区的沙质土壤上,棉田采取痕量灌溉的较适宜埋管深度为 30 cm。

参考文献:

- [1] 喻树迅,魏晓文. 中国棉花生产与科技发展[J]. 中国农业科技导报, 2000, 2(2): 39-42.
- YU Shuxun, WEI Xiaowen. Cotton production and technological development in China[J]. Review of China Agricultural Science and Technology, 2000, 2(2): 39-42.
- [2] 陈春生,陈锋,徐燕. 提高植棉效益 稳定发展棉花生产[J]. 现代农村科技, 2012(21): 12-14.

- CHEN Chunsheng, CHEN Feng, XU Yan. Improving cotton planting efficiency and stably developing cotton production[J]. Modern Rural Technology, 2012(21): 12-14.
- [3] 肖海峰,俞岩秀. 中国棉花生产布局变迁及其比较优势分析[J]. 农业经济与管理, 2018(4): 38-47.
- XIAO Haifeng, YU Yanxiu. Layout of cotton production and its comparative advantage in China[J]. Agricultural Economics and Management, 2018(4): 38-47.
- [4] 王克跃. 关于我国棉花产业化经营的现状及对策[J]. 中国棉麻流通经济, 2005(2): 19-22.
- WANG Keyue. On the status and countermeasures of cotton industrialization in China[J]. China Cotton and Linen Circulation Economy, 2005(2): 19-22.
- [5] 陈立宇,路战远,咸丰,等. 棉花新陆中 42 号在内蒙古西部的生态适应性研究[J]. 北方农业学报, 2017, 45(2): 28-33.
- CHEN Liyu, LU Zhanyuan, XIAN Feng, et al. Ecological adaptability of cotton Xinluzhong 42 in west of Inner Mongolia[J]. Journal of Northern Agriculture, 2017, 45(2): 28-33.
- [6] 苏永中,杨荣,杨晓,等. 不同土壤条件下节水灌溉对棉花产量和灌溉水生产力的影响[J]. 土壤学报, 2014, 51(6): 1 192-1 201.
- SU Yongzhong, YANG Rong, YANG Xiao, et al. Effects of water-saving irrigation on cotton yield and irrigation water productivity relative to soil conditions[J]. Acta Pedologica Sinica, 2014, 51(6): 1 192-1 201.
- [7] 刘玉春,姜红安,李存东,等. 河北省棉花灌溉需水量与灌溉需求指数分析[J]. 农业工程学报, 2013, 29(19): 98-104.
- LIU Yuchun, JIANG Hong'an, LI Cundong, et al. Analysis of irrigation water requirement and irrigation requirement index for cotton of Hebei Province[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(19): 98-104.
- [8] 刘维蛟. 看不见的灌溉—“痕量”无痕—访北京普泉科技有限公司金基石博士[J]. 青海科技, 2012, 19(3): 58-61.
- LIU Weijiao. Invisible irrigation—“trace” without trace—Interview with Dr. JinJishi, Beijing Puquan Technology Co., Ltd[J]. Qinghai Technology, 2012, 19(3): 58-61.
- [9] 李顺平. 新一代节水灌溉技术—痕量灌溉[J]. 农业技术与装备, 2012(13): 46-47.
- LI Shunping. New generation of water-saving irrigation technology—trace irrigation[J]. Agricultural Technology and Equipment, 2012(13): 46-47.
- [10] “痕灌”技术让农作物按需“饮”水[J]. 中国科技投资, 2013(11): 10.
- “IRRIGATION” technology allows crops to “drink” water on demand[J]. China Technology Investment, 2013(11): 10.
- [11] 痕灌技术让农作物按需“饮”水[J]. 乡村科技, 2013(6): 16.
- TRACE irrigation technology allows crops to “drink” water on demand[J]. Country Technology, 2013(6): 16.
- [12] 王志平,周继华,诸钧,等. 痕量灌溉在温室大桃上的应用[J]. 中国园艺文摘, 2011, 27(4): 10-11.
- WANG Zhiping, ZHOU Jihua, ZHU Jun, et al. Trace irrigation used on

- greenhouse peach[J]. Chinese Horticulture Abstracts, 2011, 27(4): 10-11.
- [13] 安顺伟, 周继华, 刘宝文, 等. 痕量灌溉条件下不同施肥量对甜椒产量和品质的影响[J]. 中国园艺文摘, 2013, 29(4): 17-18, 42.
AN Shunwei, ZHOU Jihua, LIU Baowen, et al. Effects of different fertilizing amount on yield and fruit quality of Pimento under trace irrigation[J]. Chinese Horticulture Abstracts, 2013, 29(4): 17-18, 42.
- [14] 丛丽君. 自压和加压条件下痕量灌溉管道不同埋深对日光温室番茄产量和品质的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016.
CONG Lijun. The effect of buried pipeline depth and water pressure on the yield and quality of tomato in trace irrigation in solar greenhouse[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2016.
- [15] ZHANG G, ZHAO A, AMP C I. Query about theory and technical properties of trace quantity irrigation[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(6): 1-7.
- [16] 诸钧, 金基石, 杨春祥. 痕量灌溉对温室种植球茎茴香产量、干物质分配和水分利用率的影响[J]. 排灌机械工程学报, 2014, 32(4): 338-342.
ZHU Jun, JIN Jishi, YANG Chunxiang. Effects of trace quantity irrigation on yield, dry matter portioning and water use efficiency of spherical fennel grown in greenhouse[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2014, 32(4): 338-342.
- [17] 杨志远, 宋健, 黄重文, 等. 痕量灌溉下不同水肥处理对温室黄瓜生长的影响[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(1): 74-78.
YANG Zhiyuan, SONG Jian, HUANG Chongwen, et al. Effects of different trace irrigation systems of integral control of water and fertilization on growth of cucumber in greenhouse[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2017, 36(1): 74-78.
- [18] 杨丽. 垄膜沟播垄沟宽对胡麻水分利用效率和产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(10): 17-25.
YANG Li. Effect of ridge-furrow width on water use efficiency and yield of flax planted in furrow with ridge film mulching[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2019, 38(10): 17-25.
- [19] 王泉, 杨培岭, 黄令淼. 温室痕量灌溉条件下施肥量与追肥模式对黄瓜产量和品质的影响[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(1): 36-41.
WANG Xiao, YANG Peiling, HUANG Lingmiao. Impact of fertilization and top-addressing on yield and quality of solar greenhouse cucumber under traee irrigation[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2019, 38(1): 36-41.
- [20] 方栋平, 吴立峰, 张富仓, 等. 灌水量和滴灌施肥方式对温室黄瓜产量和养分吸收的影响[J]. 灌溉排水学报, 2016, 35(11): 34-41.
FANG Dongping, WU Lifeng, ZHANG Fucang, et al. Effects of irrigation amount and drip fertigation method on yield and nutrient uptake of cucumber in greenhouse[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2016, 35(11): 34-41.
- [21] 黄令淼. 痕量灌溉下土壤水氮、玉米产量与品质关系及灌溉制度优化研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2018.
HUANG Lingmiao. Relationship between water content, soil nitrogen, yield and quality of maize in trace irrigation and optimization of irrigation schedule[D]. Beijing: China Agricultural University, 2018.
- [22] 丛丽君, 汪生林, 李建设, 等. 痕量灌溉管不同埋深对日光温室栽培番茄品质和产量的影响[J]. 西北农业学报, 2017, 26(7): 1 062-1 067.
CONG Lijun, WANG Shenglin, LI Jianshe, et al. Effects of pipe depth of trace irrigation on yield and quality of tomato in solar greenhouse[J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2017, 26(7): 1 062-1 067.
- [23] 何树斌, 沈禹颖, 王冬梅, 等. 水分和氮素对陇育 216 冬小麦气体交换和叶绿素荧光的影响[J]. 麦类作物学报, 2012, 32(5): 912-917.
HE Shubin, SHEN Yuying, WANG Dongmei, et al. Effects of water availability and nitrogen supply on gas exchange and chlorophyll fluorescence in winter wheat longyu 216[J]. Journal of Triticeae Crops, 2012, 32(5): 912-917.
- [24] 张国祥, 赵爱琴. “痕量灌溉”理论支撑与技术特点的质疑[J]. 农业工程学报, 2015, 31(6): 1-7.
ZHANG Guoxiang, ZHAO Aiqin. Query about theory and technical properties of trace quantity irrigation[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(6): 1-7.
- [25] 杨明宇, 安顺伟, 周继华, 等. 痕量灌溉管不同埋深对温室茄子生长、产量及水分利用效率的影响[J]. 中国蔬菜, 2012(20): 78-82.
YANG Mingyu, AN Shunwei, ZHOU Jihua, et al. Effects of different trace irrigation pipe depths on eggplant growth, yield and water utilization efficiency in solar greenhouse[J]. China Vegetables, 2012(20): 78-82.
- [26] 凡振伶. 痕量灌溉管道埋深和水分压力水平对番茄生长、产量和品质的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2017.
FAN Zhenling. Effects of different depth and water pressurelevel on the growth, yieldand quality of tomato in trace irrigation[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2017.
- [27] 周继华, 安顺伟, 肖长坤, 等. 痕量灌溉管不同埋深对番茄产量、品质和水分生产效率的影响[J]. 蔬菜, 2013(6): 4-6.
ZHOU Jihua, AN Shunwei, XIAO Changshen, et al. Effects of different burial depths of trace irrigation pipes on tomato yield, quality and water production efficiency[J]. Vegetables, 2013(6): 4-6.

The Effects of Trace Irrigation on the Yield and Diurnal Changes of Photosynthesis during Flowering and Boll Stage of Cotton

CHEN Liyu^{1,2}, ZHANG Lifeng^{1*}, LU Zhanyuan^{1,2}, XIAN Feng², ZHANG Jianzhong², ZHANG Xiangqian²

(1. College of Agronomy, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China;

2. Inner Mongolia Academy of Agricultural and Animal Husbandry Science, Hohhot 010031, China)

Abstract: 【Objective】 We aimed to determine the applicability of trace irrigation method in cotton field in arid area.

【Method】 With the variety of China Cotton Institute 92, the effects of trace irrigation with different tube buried depth of 30 cm (D30), 40 cm (D40), 50 cm (D50) and sub-membrane drip irrigation (CK) on the yield and diurnal variation of photosynthesis during the flowering and boll stage of cotton were systematically analyzed. 【Result】 ①The diurnal variation of net photosynthetic rate and stomatal conductance presented a bimodal curve with different treatments, and the net photosynthetic rate and stomatal conductance of D30 treatment were higher than other treatments. ②The diurnal variation of intercellular CO₂ concentration under different treatments showed a trend of “Beikou V-shaped” bimodal curve. The daily variation of transpiration rate showed a single-peak curve, and the maximum appeared at 14:00 h. ③The two-year average seed cotton yield and average lint yield with D30 treatment were the highest, which were 5 734.28 and 2 545.53 kg/hm², respectively. The seed cotton yield was 1.09%, 7.63% and 11.38% higher than CK, D40 and D50 treatments, respectively, and the lint yield was 3.49%, 8.32% and 1.61% higher than CK, D40 and D50 treatments, respectively. 【Conclusion】 According to the diurnal variation of daily photosynthetic characteristics and cotton yield effects, it is concluded that the trace irrigation technique with the tube buried depth of 30 cm is optimal in the cotton field in Alashan area, Inner Mongolia.

Key words: irrigation; cotton; flowering and boll stage; diurnal variation of photosynthetic; yield

责任编辑: 韩 洋