

盆栽条件下不同灌水方式对移栽短季 棉苗期生长发育的影响

崔文军, 刘浩, 孙景生, 张昊

(中国农业科学院 农田灌溉研究所/农业部作物需水与调控重点实验室, 河南 新乡 453002)

摘要:为了明确不同灌水方式对麦后移栽短季棉缓苗进程的影响,在盆栽试验条件下,设置了滴灌、喷灌和地面灌溉3种灌水方式,研究了不同灌水方式下移栽短季棉苗期植株生长、耗水规律、根系生长、干物质累积及干物质水平上的水分利用效率(WUE_m)。结果表明,3种灌水方式对短季棉苗期植株的地上部分生长没有显著影响;与地面灌溉方式相比,滴灌和喷灌灌水方式下短季棉苗期的耗水量分别减小了30.8%和14.4%;不同灌水方式的短季棉新生根数无显著性差异,但滴灌灌水方式显著提高了单株根长和根冠比,大幅度提高了 WUE_m 。在不降低地上干物质生产的基础上,滴灌有效地促进了根系生长,为后期棉花营养生长和生殖生长奠定了良好的基础。

关键词:灌水方式;耗水量;根系;干物质;水分利用效率

中图分类号:S274

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.2017.09.001

崔文军,刘浩,孙景生,等.盆栽条件下不同灌水方式对移栽短季棉苗期生长发育的影响[J].灌溉排水学报,2017,36(9):1-6.

0 引言

黄河流域是我国主要植棉区之一,该区域热量丰富,光照充足,无霜期长,以往种植模式以麦棉套种为主,传统的麦棉套种棉田,棉花占地40%~50%,与小麦单作相比,小麦减产20%以上^[1],而且不便于机械化收获,生产上费时费力,同时小麦收获时对棉苗损伤严重,传统的麦棉套作二熟制度受到了巨大的冲击^[2]。粮棉争地矛盾和人工成本的增加使该区域麦套棉面积锐减,随着工厂化育苗和机械化移栽技术的不断发展和成熟,麦后移栽短季棉新型种植方式正逐步兴起。麦后移栽短季棉以其能充分利用耕地和光热资源,提高了土地利用效率和复种指数,充分显示出实现粮棉双丰收的独特优势^[3-5],小麦-麦后移栽短季棉连作模式有取代费时费力的麦棉套种模式之势。

黄河流域移栽短季棉的生长主要集中在夏季高温期,经常会出现间断性干旱,仅靠降雨不能满足移栽短季棉对水分的需求,灌溉用水必不可少。因生活、农业、环境等用水矛盾的加剧,棉花灌溉用水量逐渐减少,与此同时棉花的灌溉水利用效率并非最优状态,仍有提升潜力。大水漫灌、畦灌和沟灌等常规的地面灌溉方式容易造成深层渗漏、水分利用率低及次生盐碱化等问题^[6]。滴灌、喷灌等灌水技术显示出节水、省工、操作简便、提高作物产量及品质等优点^[7]。与传统的畦灌、沟灌等灌水方式相比,滴灌技术可有效提高棉花的产量^[8],水分利用效率可提高15%~30%^[9]。刘浩等^[10-12]对喷灌和常规地面灌溉条件下麦后移栽棉的生长发育、产量及水分利用等方面进行了系统研究,并提出了喷灌和地面灌溉条件下麦后移栽短季棉的适宜耕作方式及灌溉控制指标。有不少学者在不同水氮作用^[13]、不同水盐动态^[14-17]、不同土壤湿度^[18]对膜下滴灌棉花的根系生长和分布等方面做了大量研究,并取得了一定成果。与地面灌溉相比,滴灌促进了植株生长发育,

收稿日期:2017-02-20

基金项目:现代农业棉花产业技术体系建设专项资金项目(CARS-18-19)

作者简介:崔文军(1963-),男,河南孟州人。实验师,主要从事节水灌溉和作物高效用水技术方面的研究。E-mail: ngscwj@163.com

通信作者:刘浩(1977-),男。副研究员,硕士生导师,主要从事节水灌溉和作物高效用水技术方面的研究。E-mail: liuhao-914@163.com

显著提高了籽棉产量,且纤维品质有了明显改善^[19-20]。然而,以上研究均缺乏移栽短季棉苗期干物质累积、根系生长及根冠比对不同灌水方式响应方面的研究。基于目前的研究现状,在盆栽试验条件下,通过模拟滴灌、喷灌、地面灌溉等灌水方式,研究不同灌水方式对移栽短季棉苗期耗水量、地上植株干物质、根系生长及根冠比的影响,从机理上阐述不同灌水方式下移栽短季棉的缓苗进程,为移栽短季棉适宜灌水技术的选择提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于2013年在中国农业科学院农田灌溉研究所作物需水量试验场内的防雨棚下进行,试验所用盆上下口直径分别为25 cm和19 cm,高38 cm。为了更好地模拟麦后移栽的实际情况,在大田小麦收获后,选耕层20 cm土壤过筛后装入盆内至上口4~6 cm处,每盆装耕层干土质量16 kg,确保装土体积质量为1.3 g/cm³。土壤质地为砂壤土,田间持水率为24%(质量含水率),土壤碱解氮、速效磷、速效钾质量分数分别为41.3、4.7、218.1 mg/kg,有机质质量分数为12.8 g/kg;试验品种为中棉所50,精选种子,浸后播种,采用基质育苗,每穴播种3粒。当棉苗长至3片真叶时,于2013年6月13日选长势一致的植株由苗床移植至盆中,每盆移栽1株。

盆栽试验设计3种灌水方式处理,分别为滴灌(DT)、喷灌(ST)和地面灌溉(CT),每个处理设计20盆。每天08:00用精度为10 g的电子秤称质量测定土壤含水率,当盆内土壤含水率降至田间持水率的60%~65%时进行灌水,根据不同灌水方式的特点,滴灌、喷灌和地面灌溉3种灌水方式的灌水上限分别为田间持水率的85%、90%和100%,其中滴灌的滴头流速为2.0 L/h,喷灌的模拟灌水强度以不产生地表积水为准,根据灌水上下限计算喷灌灌水量,灌水前后称质量以确保灌水量的准确性,地面灌溉采用量筒直接灌水。各处理在灌溉过程中均无渗漏,记录各盆每次灌水量和灌水时间,由水量平衡方程计算日耗水量。

1.2 研究方法

分别在移栽后2、5、10、15及20 d取样观测地下根系生长发育状况(新根数量、长度等)。每次破坏性取样,每个处理取样3盆。试验开始前,将每个盆铺设尼龙塑料网,在麦田取表层20 cm土壤过筛后按设定体积质量装土,每次取样时将尼龙网提出,这样可以避免破坏土壤中根系,将整个盆中的土样泡到水盆中,等到土壤松散后,轻轻抖动,将根系与土壤分离,尽量保证根系的完整性,量取根系长度和新生根尖数。

分别在棉花移栽后10 d和20 d选出3株有代表性的植株,从茎基部切断,获得完整的地上部,将茎秆和叶片分开置于烘箱内115 ℃杀青30 min,在恒温75 ℃烘干至质量恒定后称量。通过棉花根系生长量(根长)与地上干物质质量的比值计算根冠比。

水分利用效率是指干物质水平上的水分利用效率(WUE_m),即指单位水量消耗所生产的地上部分干物质质量。 WUE_m 的应用可为研究移栽短季棉苗期不同灌溉方式的用水效率提供了一个客观、量化的依据^[21],计算式为:

$$WUE_m = Y_m / ET_a \quad (1)$$

式中: WUE_m 为干物质水平上的水分利用效率(g/kg); Y_m 为地上部分植株的干物质质量(g); ET_a 为实际耗水量(g)。

气象数据由距试验地点20 m的自动气象站获得,气象资料主要包括日照时间、气温、相对湿度、风速、降雨量等。

1.3 数据处理

采用Excel 2016处理数据、制作图表,DPS 13.5对数据进行统计分析,并用LSD法进行方差分析和多重比较($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同灌水方式下移栽短季棉的日耗水变化过程

图1给出了单株移栽短季棉耗水量的日变化过程。从图1可以看出,不同灌水方式对移栽短季棉的耗水量影响差异明显,尤其在移栽后7 d内,其中地面灌溉处理(CT)的耗水量最大,喷灌处理(ST)居中,滴灌处理(DT)耗水量最小,整个观测期内3种灌水方式下棉花单株总耗水量分别为7 951.2、6 804.0和5 498.8 g,

与CT处理相比,ST和DT处理的耗水量分别减小了14.4%和30.8%。不同灌水方式下移栽短季棉的日耗水量变化规律基本相似,日耗水量变化过程受外界气象条件的影响较大(图2),棉花移栽后6 d内,日照时间长(平均日照时间为10.6 h),气温高(日平均气温为30.1 ℃),相对湿度较低(日均相对湿度为45.0%),导致耗水量大;移栽后7~19 d内,日照时间减小(平均日照时间为4.7 h),气温有所降低(日平均气温为26.4 ℃),相对湿度大幅提高(日均相对湿度为75.1%),日均耗水量较前期有所减小,但依然受气象状况和灌水的双重影响,各处理的耗水量日变化过程呈现波浪形。

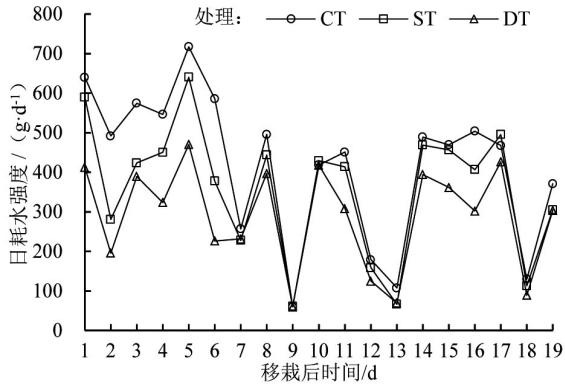


图1 不同灌水方式下棉花苗期耗水量逐日变化过程

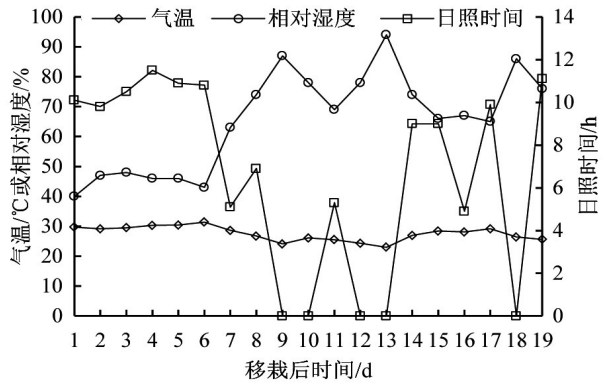


图2 试验期内气象因子的逐日变化过程

2.2 不同灌水方式下移栽短季棉的根系生长发育

不同灌水方式下盆栽移栽短季棉苗期根系生长发育状况如图3所示。从图3可以看出,棉花移栽后2 d,棉花处于2叶1心期,不同灌水方式对新生根数和根长均无明显影响;从棉花移栽后5 d,直至整个观测期,ST和DT处理的根尖数均高于CT处理,喷灌和滴灌灌水方式有促进根系新生的作用,但方差分析结果显示,不同灌水方式对移栽短季棉根尖数没有显著性差异($P>0.05$)。不同灌水方式对棉花根长存在极显著影响($P<0.01$),棉花移栽后5 d,CT处理的单株根长为84.6 cm,而ST和DT处理的单株根长分别达到155.8和167.9 cm,单株根长均较CT处理分别提高了84.2%和98.5%,但ST和DT处理之间单株根长的差异较小;棉花移栽后10 d,各处理的根长均有大幅度增加,各处理的根长在此阶段开始产生明显差异,其大小顺序为:DT处理>ST处理>CT处理(图3和图4),CT、ST和DT处理的单株根长分别为314.8、388.1和469.6 cm;棉花移栽后15 d,CT、ST和DT处理的单株根长分别为437.6、562.8和663.1 cm,到试验结束(移栽后20 d),CT、ST和DT处理的单株根长分别达到715.3、1 053.4和1 130.4 cm。DT处理在移栽后10 d的根长超过了CT处理移栽后15 d的根长,就根系生长而言,滴灌灌水方式更有利于移栽短季棉根系生长,滴灌使移栽短季棉的根系生长有效缩短了缓苗进程。

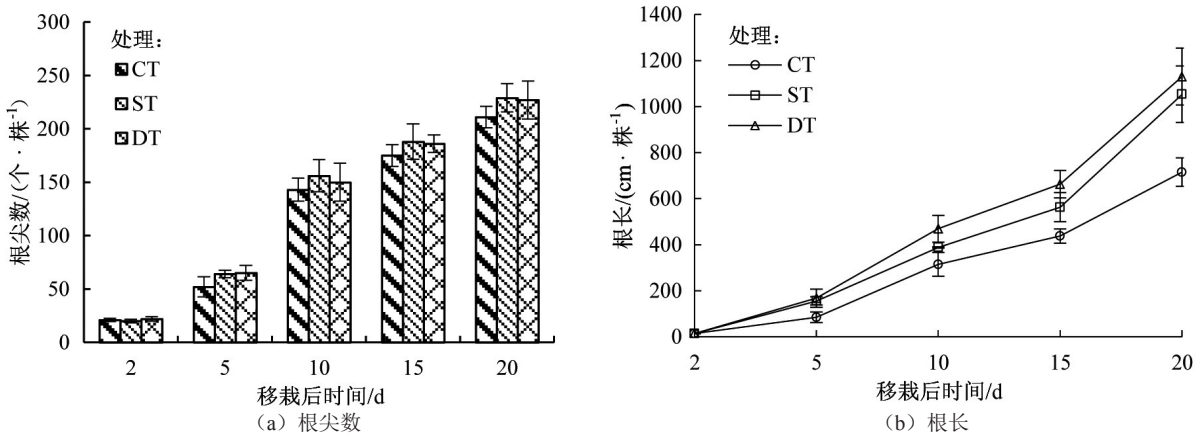


图3 不同灌水方式下移栽短季棉的根系生长发育



图4 移栽后10 d不同灌水方式根系生长对比

2.3 不同灌水方式下移栽短季棉的干物质生产和根冠比

表1为不同灌水方式下棉花移栽后10 d和20 d地上干物质质量及相应根冠比。从表1可以看出,不同灌水方式对移栽短季棉茎干质量、叶干质量及总干物质质量生产均没有显著影响($P>0.05$),但因灌水方式显著影响了根系生长(图3),所以也显著影响了根冠比($P<0.05$)。与CT处理相比,棉花移栽后10 d,ST和DT处理的根冠比分别提高了24.3%和47.3%;棉花移栽后20 d,ST和DT处理的根冠比分别提高了37.7%和54.9%,DT处理的根冠比提高幅度更大。与移栽后10 d相比,CT处理移栽后20 d的根冠比仅有小幅度的增加(5.7%),而ST和DT处理的增加幅度较大,分别增加了17.1%和11.2%,充分说明喷灌和滴灌可有效地调节根冠比,使其向有利于移栽短季棉生长的方向发展。

表1 不同灌溉处理的干物质质量及根冠比

移栽后时间/d	处理	茎干质量/g	叶干质量/g	总干物质/g	根长/cm	根冠比/($\text{cm} \cdot \text{mg}^{-1}$)
10	CT	0.129 a	0.337 a	0.466 a	314.8 b	0.68 b
	ST	0.130 a	0.331 a	0.462 a	388.1 ab	0.84 ab
	DT	0.129 a	0.342 a	0.471 a	469.6 a	1.00 a
20	CT	0.161 a	0.840 a	1.001 a	715.3 b	0.71 b
	ST	0.165 a	0.905 a	1.070 a	1053.4 a	0.98 a
	DT	0.165 a	0.855 a	1.020 a	1130.4 a	1.11 a

注 同列不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$,LSD)

2.4 不同灌水方式下移栽短季棉的水分利用效率

移栽短季棉在栽培管理过程中,水分管理是决定其水分利用效率的关键。图5给出了地面灌溉(CT)、喷灌(ST)和滴灌(DT)灌水方式下盆栽棉花移栽后10 d和20 d的 WUE_m ,从图5可以看出,不同灌水方式对移栽短季棉的 WUE_m 具有显著影响($P<0.05$),移栽后10 d,CT、ST和DT处理的 WUE_m 分别为0.097、0.118和0.151 g/kg,与CT处理相比,ST和DT处理的 WUE_m 分别显著提高了21.0%和55.2%;移栽后20 d,CT、ST和DT处理的 WUE_m 分别为0.126、0.157和0.186 g/kg,与CT处理相比,ST和DT

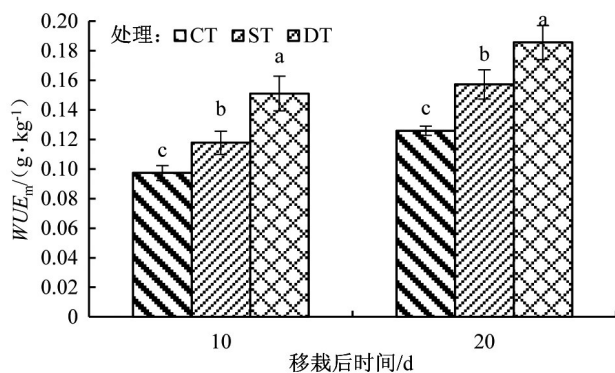


图5 不同灌水方式下移栽短季棉的水分利用效率

处理的 WUE_m 分别显著提高了24.9%和47.5%。喷灌和滴灌灌水方式均显示出节水高效的效果,滴灌灌水方式的效果更为明显。不论何种灌水方式,移栽后20 d的 WUE_m 较移栽后10 d均有明显提高,各处理 WUE_m 的增长幅度均在20%以上,这是由于刚移栽后,棉花根系生长缓慢,干物质积累量小,灌溉水主要消耗与无效棵间蒸发上, WUE_m 相对较小,随着根系的不断生长壮大,植株也加速生长,植株蒸腾用水增大,干物质积累量增大, WUE_m 提高。从 WUE_m 的变化来看,DT处理移栽后10 d的 WUE_m 与ST处理移栽后20 d的相应 WUE_m

相当,而明显高于CT处理移栽后20 d的相应 WUE_m ,充分显示出滴灌灌水方式的高用水效率。

3 讨论

现代节水灌溉技术如喷灌、滴灌等的推行为实现作物的精确、适时灌溉提供了可能,灌水频率的提高可最大限度向每棵作物的部分根区提供每日所需的水分。滴灌灌水技术可实现小定额高频灌溉,土壤的湿润范围小,根系外围相对比较干燥的土壤体积大,土壤的通气性好,有利于作物根系对水分的吸收利用,使得增产幅度较大^[22]。本研究发现,不同灌水方式对盆栽移栽短季棉的苗期耗水量影响差异明显,滴灌和喷灌灌水技术明显降低了移栽短季棉的耗水量,节水效果明显,与CT处理相比,ST和DT处理的耗水量分别减小了14.4%和30.8%。这是因为地面灌溉每次灌水后,土壤表层产生积水,表层土壤棵间蒸发量大;滴灌灌水方式将水均匀而又缓慢地滴入作物根区土壤中,地表局部土壤湿润,蒸发损失小;喷灌处理土壤表层没有积水,表层土壤棵间蒸发相对地面灌溉减小,但因整个土壤表层含水率较高,蒸发量要高于滴灌灌水方式。这些与前人有关滴灌可有效节水的研究结论^[8]相一致。

根系生长发育、地上干物质的累积及根冠比是表征移栽短季棉苗期生长发育和缓苗快慢的重要衡量指标。棉花耗水过程及生理的变化除取决于其需水与大气蒸散条件外,土壤固、液、气三相及温度对棉花根系吸水 and 水分生产效率有重要影响^[23]。在棉花苗期,为了给棉花创造良好营养生长条件、要促进根系生长,增大根冠比。本文研究结果显示,在盆栽条件下,不同灌水方式对移栽短季棉移栽后20 d之内地上干物质累积没有显著影响,与地面灌溉相比,滴灌和喷灌显著促进了单株根长和根冠比,尤其滴灌灌水方式促根系生长和协调根冠比大小的能力尤为突出。这是因为移栽后棉苗会因根系受损伤,叶片MDA量增加^[24],光合能力降低,且光合产物主要向下输送,主要供根系生长需要,同时滴灌不破坏土壤结构,提高了土壤通气性^[25],可改善棉花根区土壤水、热、气等特征,进而改善土壤营养状况^[26],使其更有利于棉花吸水、生长及根系分布。而地面灌溉的灌水定额大,导致土壤非饱和和孔隙较少,灌溉后容易使土壤发生板结,抑制了土壤大气的气体交换,进而抑制了移栽棉的根系呼吸^[27]。喷灌虽然也是全面湿润土壤灌溉,但灌水定额比地面灌溉小,灌水均匀度高,不易产生深层渗漏^[28],故喷灌根系生长和水分利用效率要优于地面灌溉。滴灌和喷灌提高了移栽棉的根长,根系发达,提高了根系水力传导速率^[29],能够有效地吸收水分与养分^[26],促使在整个棉花苗期,滴灌和喷灌灌水方式的干物质水平上的 WUE_m 得到显著提高。

4 结论

1)3种不同灌水方式对盆栽麦后移栽棉苗期植株的地上部分生长和新生根数没有显著影响;与地面灌溉方式相比,滴灌和喷灌灌水方式下麦后移栽棉苗期的耗水量分别减小了30.8%和14.4%。

2)棉苗移栽后2 d,各灌水方式下单株根长和根冠比均没有显著差异;棉苗移栽后10 d,不同灌水方式对单株根长、根冠比和 WUE_m 产生显著差异,与地面灌溉方式相比,滴灌和喷灌灌水方式的单株根长分别提高了49.2%和23.3%,根冠比分别提高了47.3%和24.3%, WUE_m 提高了55.2%和21.0%;棉苗移栽后20 d,根系生长速率和根冠比的提高幅度增大,与地面灌溉相比,其他2种灌水方式的根冠比分别提高了54.9%和37.7%。

3)滴灌灌水方式在不降低地上干物质生产的基础上,大幅度提高了 WUE_m ,显著提高了单株根长和根冠比,有效地促进了根系生长,为后期棉花营养生长和生殖生长奠定了良好的基础。

参考文献:

- [1] 马奇祥,王振宇,崔小伟,等. 棉花麦后移栽与麦棉套种综合效益比较[J]. 河南农业科学,2010,39(4):26-28.
- [2] 毛树春. 棉花工厂化育苗和机械化移栽新技术[J]. 中国棉花,2008,35(3):34-36.
- [3] 王国平,韩迎春,毛树春,等. 苗龄对裸苗麦后移栽短季棉生长发育及产量的影响[J]. 棉花学报,2011,23(6):573-580.
- [4] 韩迎春,毛树春,李亚兵,等. 麦后裸苗移栽短季棉连作模式关键栽培措施效应研究[J]. 中国棉花,2008,35(5):32-34.
- [5] 韩迎春,毛树春,李亚兵,等. 裸苗移栽棉花产量、品质和效益分析[J]. 中国棉花,2009,36(3):9-14.
- [6] YAZAR A, SEZEN S M, SESVEREN S. LEPA and trickle irrigation of cotton in the southeast Anatolia project (GAP) area in Turkey[J]. Agricultural Water Management, 2002, 54: 189-203.
- [7] DAGDELEN N, BASAL H, YILMAZ E, et al. Different drip irrigation regimes affect cotton yield, water use efficiency and fiber quality in western Turkey [J]. Agricultural Water Management, 2009, 96: 111-120.
- [8] CETIN O, BILGEL L. Effects of different irrigation methods on shedding and yield of cotton [J]. Agricultural Water Management, 2002, 54: 1-15.

- [9] MATEOS L, BERENGENA J, ORGAZ F, et al. A Comparison between drip and furrow irrigation in cotton at two levels of water supply [J]. *Agricultural Water Management*, 1991, 19: 313-324.
- [10] 刘浩,孙景生,张寄阳,等. 喷灌条件下耕作方式和亏缺灌溉对麦后移栽棉产量和水分利用的影响[J]. *应用生态学报*,2012,23(2):389-394.
- [11] 刘浩,张寄阳,王聪聪,等. 麦后移栽棉生育及生理特性对水分亏缺的响应[J]. *灌溉排水学报*,2012,31(2):14-18.
- [12] 刘浩,孙景生,张寄阳,等. 耕作方式和水分处理对棉花生产及水分利用的影响[J]. *农业工程学报*,2011,27(10):164-168.
- [13] 谢志良,田长彦,卞卫国. 膜下滴灌水氮对棉花根系构型的影响[J]. *棉花学报*,2009,21(6):508-514.
- [14] 何雨江,靳孟贵,王在敏,等. 膜下滴灌棉花根系发育特征及其与土壤水盐分布的关系[J]. *高校地质学报*,2010,16(1):39-44.
- [15] 刘梅先,杨劲松,李晓明,等. 滴灌模式对棉花根系分布和水分利用效率的影响[J]. *农业工程学报*,2012,28(增刊1):98-105.
- [16] 刘磊,董新光,杨昕馨,等. 膜下滴灌下土壤水盐动态对棉花根系时空分布特征的影响[J]. *节水灌溉*,2011(1):1-9.
- [17] 龚江,鲍建喜,吕宁,等. 滴灌条件下不同盐水平对棉花根系分布的影响[J]. *棉花学报*,2009,21(2):138-143.
- [18] HU X T, CHEN H, WANG J, et al. Effects of soil water content on cotton root growth and distribution under mulched drip irrigation [J]. *Journal of Integrative Agricultural*, 2009, 8(6): 709-716.
- [19] LIU H, GAO Y, SUN J, et al. Responses of yield, water use efficiency and quality of short-season cotton to irrigation management: interactive effects of irrigation methods and deficit irrigation[J]. *Irrigation Science*, 2017, 35:125-139.
- [20] 张昊,刘浩,孙景生,等. 灌溉方式及灌溉制度对麦后移栽棉的影响研究[J]. *灌溉排水学报*,2015,34(6):20-24.
- [21] 段爱旺. 水分利用效率的内涵及使用中需要注意的问题[J]. *灌溉排水学报*, 2005, 24(1): 8-11.
- [22] KANG Y, WANG F, LIU H. et al. Potato evapotranspiration and yield under different drip irrigation regimes [J]. *Irrigation Science*, 2004, 23: 133-143.
- [23] 康绍忠,刘晓明,熊运章. 土壤-植物-大气连续体水分传输理论及其应用[M]. 北京:水利水电出版社,1994.
- [24] 刘小玲,毛树春,韩迎春,等. 棉花三种育苗移栽新方法缓苗期棉苗若干生理生化的比较[J]. *棉花学报*,2010,22(5):437-442.
- [25] 胡晓棠,李明思. 膜下滴灌对棉花根际土壤环境的影响研究[J]. *中国生态农业学报*, 2003, 11(3):121-123.
- [26] EAPEN D, BARROSO ML, PONCE G, et al. Hydrotropism: root growth responses to water[J]. *Trends Plant Science*, 2005, 10: 44-50.
- [27] YU Y, ZHAO C, ZHAO Z, et al. Soil respiration and the contribution of root respiration of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) in arid region[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(3): 17-21.
- [28] 满建国,王东,张永丽,等. 不同喷射角微喷带灌溉对土壤水分布与冬小麦耗水特性及产量的影响[J]. *中国农业科学*, 2013, 46(24): 5 098-5 112.
- [29] 康绍忠,张建华,梁建生. 土壤水分与温度共同作用对植物根系水分传导的效应[J]. *植物生态学报*,1999,23(3):211-219.

Effect of Irrigation Methods on Growth of Transplanted Fast-growing Cotton Seedling Investigated Using Pot Experiments

CUI Wenjun, LIU Hao, SUN Jingsheng, ZHANG Hao

(Farmland Irrigation Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences/

Key Laboratory of Crop Water Use and Regulation, Ministry of Agriculture, Xinxiang 453002, China)

Abstract: This paper investigated the impact of drip irrigation (DT), sprinkler irrigation (CT) and surface irrigation (ST) on growth of transplanted fast-growing cotton seedling using pot experiments. During the experiment, water consumption, root growth, accumulation of dry matter, dry matter, as well as water use efficiency (WUE_m) was measured. The results showed that the growth of the above-ground dry matter under the three irrigation methods was approximately the same, but DT and ST reduced the water consumption by 30.8% and 14.4% respectively compared with CT. The root length per plant in all three irrigation methods was almost the same, while DT considerably increased the root-shoot ratio, single root length and WUE_m . DT promoted root growth without scarifying above-ground biomass accumulation, thereby benefiting the reproductive growth of the plant at late stages.

Key words: irrigation method; water consumption; root system; dry matter; water use efficiency

责任编辑:赵宇龙