

交替隔沟灌溉对春播高粱光合特性及其水分利用的影响

曹昌林,董良利,宋旭东,史丽娟,白文斌
(山西省农业科学院高粱研究所,山西晋中 030600)

摘要:为寻求高粱节水灌溉技术,提高灌水利用率,此试验运用了随机区组设计法,对高粱的灌溉进行了沟灌在不同灌水量下采用交替灌隔沟灌溉法与传统方式——漫灌的比较研究。结果表明,采用交替隔沟灌溉在灌水量达到75 mm时,气孔导度、蒸腾速率、净光合速率等光合指标同灌水量为135 mm的漫灌相比,差异不显著,产量相当。交替隔沟灌溉可提高水分利用效率11.94%,减少棵间蒸发量32.49%,灌溉水节水率可达44.44%,在满足植株蒸腾需求的条件下,具有显著的节水效应。对高粱进行沟灌,采用交替隔沟灌溉的方式,在产量相当的情况下,具有显著的节水效应。

关键词:交替隔沟灌溉;高粱;光合特性;水分;节水效果

中图分类号:S275.3

文献标志码:A

论文编号:2010-3659

Effect on Spring Sorghum Photosynthesis and Water Use of Alternate Furrow Irrigation

Cao Changlin, Dong Liangli, Song Xudong, Shi Lijuan, Bai Wenbin

(Sorghum Institute, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Jinzhong Shanxi 030600)

Abstract: In order to improve irrigation efficiency, and make use of water-saving irrigation techniques to sorghum, the tests were carried out. Use the method of randomized block experiment to study save-efficient of sorghum. It compared the alternate furrow irrigation at different amount to the traditional flood irrigation. The results showed that, using alternate furrow irrigation when the irrigation water reached 75 mm, the change of the photosynthetic parameters, such as the stomatal conductance, transpiration rate, net photosynthetic rate and other ones was not significant compare with the irrigation amount was 135 mm, and the yield considerable. But alternate furrow irrigation can increase water use efficiency 11.94%, reduce evaporation 32.49%, and saving irrigation water 44.44%. Use of alternate furrow irrigation had significant water saving effect in condition of considerable yield.

Key words: alternate furrow irrigation; spring sorghum; photosynthesis; water; water saving effect

0 引言

农业灌溉是人们为了获得较高经济产量而对植物进行水分供给的一种方式。传统的灌溉方式是地面漫灌,随着科技的进步,近年来研发出了许多工程化节水技术,如喷灌、滴灌、渗灌等,这些设施的使用,大大地节省了水资源,显著地提高了水分利用率,但由于受经济和条件的制约,这些设施仅在观赏作物、经济作物以及设施农业中使用,大田粮食作物的生产,大多仍采用地面漫灌的形式。而漫灌则是一种最不经济的灌水方

式,既增加了土壤水分的下渗,又增加了植株间的棵间蒸发,水资源浪费十分严重。因此,为了解决农业水资源日益紧张的问题,国内外学者从植物的生理特性出发,提出了许多全新的节水概念,如限水灌溉、非充分灌溉、调亏灌溉、局部灌溉等^[1-4]。控制性交替灌溉理论是康绍忠等^[5]提出的一种新的农田节水调控技术。美国等一些发达国家早在20世纪60年代中期,就已开始了沟灌技术的研究,至今已有30多年的历史,总结出了许多可供借鉴参考的资料。

基金项目:山西省科技攻关项目“水地高粱高水肥利用及节水灌溉技术研究”(20100311004-3);山西省农科院科研攻关项目“高粱的施肥灌水技术研究”(YGG0902)。

第一作者简介:曹昌林,男,1965年出生,汉族,山西平遥人,助理研究员,学士,长期从事高粱栽培与施肥研究。通信地址:030600 山西省晋中市榆次区柳东北巷15号 山西省农业科学院高粱研究所, E-mail: changlincao954@163.com。

收稿日期:2010-12-17, **修回日期:**2011-01-13。

继国外,如美国^[6]这方面的研究之后,中国的农业科研工作者也对这一节水概念展开了大量的研究。先后在玉米、蔬菜、棉花、烟草等多种作物上进行了深入细致的研究,梁宗锁等^[7]研究表明,分根交替灌溉能够节水1/3,且籽粒产量并未下降。杜太生等^[8]研究表明,分根交替滴灌比常规滴灌,总水分利用效率提高17.9%,灌溉水利用率提高20%,同等产量下,交替滴灌可节水30.8%。吴燕等^[9]研究表明,交替沟灌下,黄瓜根数、根长、根体积、根冠均显著高于常规沟灌。蔡寒玉等^[10]研究表明,交替隔沟灌溉,水分利用率可提高27.5%。康绍忠等^[11]研究表明,交替隔沟灌溉,在不降低产量的情况下,可节水40%^[11]等等,均取得了较好的应用效果。高粱作为玉米的主要高产倒茬作物,在水地占有不少的面积,由于其有着不同于其他作物的生理特性,因此,其施肥灌水等管理措施也有别于其他作物,而在高粱上此种灌溉方式的应用研究尚未见报道。所以,作者进行了该方面的研究,旨在为寻找高粱节水灌溉方式提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

此试验设在山西省农科院高粱研究所修文基地,该地区平均日照时数2662 h,年均气温10.1℃,极端最低气温-21.2℃,极端高温37℃,>0℃积温3990℃,无霜期158天,属大陆性半干旱气候,年均降雨395.8 mm,降水变率27%,6—9月份降水占全年降雨70%~75%,2010年5—10月份降水276.78 mm,试验地为石灰性褐土,质地中壤,pH为6.9,全氮0.105%,有效磷13.42 mg/kg,有效钾127 mg/kg。

1.2 供试材料

供试高粱品种为‘晋杂18号’。

1.3 试验设计

根据高粱的生物学特性,试验设计在高粱拔节期和开花灌浆期2个时期进行交替隔沟灌溉,底墒水与对照相同,均采用大水漫灌形式,灌水量为60 mm,肥料一次性底施,采用氮、磷、钾含量分别为22%、10%、10%的三元复合肥,施肥量为750 kg/hm²。进入拔节期结合中耕,人工用锄头在高粱垄背上纵向挖一沟,沟

深15 cm,将土钩向两侧,使其形成一种垄沟种植形式,拔节期浇第1、3沟,开花灌浆期浇2、4沟,灌水量为每次22.5、30、37.5 mm。对照不开沟也不起垄,常规平作形式。分拔节期与抽穗期2次灌水,灌水量以该试验小区灌满灌足为止,然后核定灌水量。此试验对照灌水量核定为每次67.5 mm。

试验为大田小区试验,小区面积5 m×2 m,每区种5行,行距0.4 m,密度为112500株/hm²,以漫灌为CK。试验设计3个水量,共4个处理。随机区组设计,3次重复。各灌水沟的水量由灌水软管末端的水表控制。各处理管理同大田。拔节期灌水时间7月8号,抽穗灌浆期浇水时间8月2号。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 高粱光合指标的测定 在拔节期灌水10天后,即2010年7月18日上午10:00用CB-1102便携式光合蒸腾测定仪,对高粱倒3叶进行了净光合速率(Pn)蒸腾速率(E)、气孔导度(Cleaf)和胞间CO₂浓度(CO₂int)4项光合指标的测定,每处理重复3次。

1.4.2 土壤含水量的测定 采用烘干法测定,深度0~200 cm,每20 cm为一取样层。

1.4.3 棵间蒸发量的测定 用微型蒸渗仪测定。微型蒸渗仪用PVC管做成,内径100 mm,壁厚3 mm,深200 mm。将PVC管垂直压入土中,取原状土柱,用PVC圆盘封底,固定于高粱行间湿润沟,使土柱顶面与田面齐平,每隔3天换1次土样。用精度0.1 g的电子天平每天称重。根据2次重量差,经面积换算就可得到每天的蒸发量。每处理设3点,取其平均值。棵间蒸发量的测定,以拔节期灌水后第二天开始测定,8月19号因普降大雨而停止。

1.4.4 产量及产量构成要素 高粱成熟后收获前调查植株生物性状。收获小区产量并称重,取3穗代表性穗子,带回室内风干考种。

2 结果与分析

2.1 光合速率、蒸腾速率、气孔导度及胞间CO₂浓度的变化

各处理光合指标变化情况如表1所示。

从表1可知,沟灌22.5处理(22.5表示灌水量的毫

表1 不同处理下高粱光合特性

| 处理 | 净光合速率/[$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] | 蒸腾速率/[$\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] | 气孔导度/[$\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] | 胞间CO ₂ 浓度/(mg/kg) |
|------------|---|--|--|------------------------------|
| 沟灌22.5 | 29.96c | 3.29c | 162.58c | 90.3c |
| 沟灌30 | 33.17b | 3.88b | 178.56b | 98.4b |
| 沟灌37.5 | 35.98ab | 4.06ab | 192.17ab | 104.72ab |
| 漫灌(CK)67.5 | 37.61a | 4.24a | 206.8a | 109.63a |

注:同列数据不同字母表示差异达0.05或0.01显著水平,以下同。

米数,下同)与CK相比,4项指标均有很大的差异,且达5%显著水平。当灌水量增加30 mm时,与CK相比,气孔导度降低13.66%。蒸腾速率降低8.49%,净光合速率降低11.8%,胞间CO₂浓度降低10.2%,仍有明显的差异。随着灌水量的增加,光合指标与CK相比差距逐渐减小,当灌水量增加到37.5 mm时,其光合指标值与CK相比,差异并不显著。说明采用沟灌方式灌溉,灌水量不足会严重影响植株的生长发育,但随着灌水量的增加,这种不利的明显减小。而采用漫灌灌溉,灌水量比沟灌高出50%以上,但光合指标值并未增大,表明:漫灌比沟灌多余的水量,植物并没有利

用。分析原因主要是因为蒸发量与土壤含水量及土壤湿地面积成正比,土壤含水量大,湿润面积大,蒸发量就大^[6]。漫灌方式增加了土壤湿地面积,扩大了蒸发面积,从而加大了蒸发量的缘故。而沟灌处理由于土壤湿润面积仅为漫灌的一半,且由于湿润沟水分向两侧的侧向入渗,使得耕层土壤含水量降低,从而既减少了水分下渗又减少了棵间蒸发,因此,在不影响植株蒸腾的情况下,沟灌比漫灌具有明显的节水效应。

2.2 产量及产量构成

不同灌水处理对高粱产量及产量构成如表2所示。

表2 不同灌水处理高粱产量及产量构成

| 处理 | 有效株数 | 平均株高/cm | 平均穗长/cm | 穗粒重/g | 千粒重/g | 产量/(kg/hm ²) | 经济系数 |
|-----------|---------------|------------|------------|------------|------------|--------------------------|-------|
| 沟灌 22.5×2 | 112570±112.6a | 157.7±4.2c | 24±0.3c | 65.2±0.9c | 25.6±0.36a | 8071.5±27.78c | 0.47a |
| 沟灌 30×2 | 112540±105.4a | 168±2.6b | 28.6±0.15b | 79.5±0.8b | 28.6±0.7b | 9554.5±29.9b | 0.45a |
| 沟灌 37.5×2 | 112515±158.0a | 189±1.1ab | 30.4±0.6ab | 91.4±0.8ab | 31.5±0.5ab | 10937.2±28.7ab | 0.47a |
| 漫灌 67.5×2 | 114586±353.9a | 190.7±1.5a | 31.4±0.7a | 106±3.4a | 31.2±1.1a | 10980.5±32.9a | 0.48a |

从表2中可以看出,沟灌22.5×2(22.5×2表示2次灌水量均为22.5 mm,其余同)处理除有效穗数和经济系数外,其余各项均有明显的差异。决定有效穗数的差异性,取决于土壤水分,对于水地而言,底墒水充足,所以有效株数差异不大。而株高、穗长、千粒重、产量都具有显著差异,这都与水分不足有关。随着灌水量的增加、产量及产量性状与CK的差异逐渐减小,直到灌水量增加到37.5×2 mm时与CK相比,无显著差异。说明:采用沟灌进行灌溉,其灌水量必须达到75 mm及其以上,否则,将有碍于植株的生长发育,从而限制了产量的提高。而采用漫灌进行灌溉,尽管其灌水量超过沟灌水量的50%,但其产量差异不显著。原因同样是因为:漫灌多余的水量没有用于植株的蒸腾,而是增加了土壤水分下渗和棵间蒸发罢了。

2.3 土壤含水量的变化

不同灌水处理土壤水分的变化如图1所示。

从图1可看出,所有灌水处理0~20 cm土层含水量均比灌水前增加了,且随着灌水量的增加,土壤含水量差异达到了1%的显著水平。而20~200 cm土体含水量同灌水前相比,只有漫灌形式的处理含水量增加,其余3个沟灌形式的处理,其含水量同灌水前相比却降低了,且随着灌水量的增加,其降低幅度达到了1%的差异显著性。说明了漫灌处理不但增加了棵间蒸发量,而且还增加了土壤水分的下渗量;而沟灌处理,水分不仅没有下渗,而且20~200 cm土体还提供水分,沟灌37.5×2处理与CK比较,减少土壤水分下渗17.2%。

所以,在不影响植株蒸腾的条件下,沟灌比漫灌具有明显的节水效应。

2.4 植株棵间蒸发量的变化

植株棵间蒸发如图2所示。

从图2可看出,所有处理,均发生了棵间蒸发,且蒸发量随灌水量增加而显著地增加,差异达1%显著水平。漫灌处理蒸发量占总供水量(包括降雨量和灌水量,下同)的28.33%。而沟灌30×2处理和沟灌37.5×2处理,其蒸发量占总供水量分别为21.6%和22.4%,分别比漫灌处理降低5.93~6.73个百分点,沟灌37.5×2处理与CK相比,棵间蒸发量减少32.49%。沟灌22.5×2处理,虽然其蒸发量占总供水量的比例最小,仅为20.58%,但由于其产量显著低于其他处理而不足为取。

2.5 水分生产效率的变化

各处理水分消耗情况及水分生产效率见表3。

水分生产效率是指作物单位面积上的产量与作物蒸发蒸腾量的比值^[6],由表3可知,沟灌22.5×2处理水分生产效率为25.96 kg/(hm²·mm)比CK降低12.45%。随着灌水量的增加,水分利用率由25.96 kg/(hm²·mm)增长到33.19 kg/(hm²·mm),到灌水量为37.5×2 mm时,水分生产效率比CK提高11.94%。分析认为:沟灌22.5×2处理水分生产效率低的原因是:灌水量不足,无法满足植株蒸腾需求,限制了其生长发育,从而不利于产量的提高;对于沟灌30×2处理而言,尽管其水分生产效率已与CK持平,但其产量仍显著低于CK,所以,

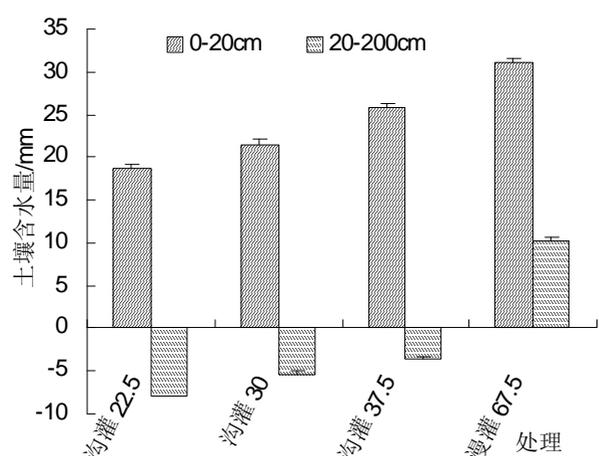


图1 土壤水分变化

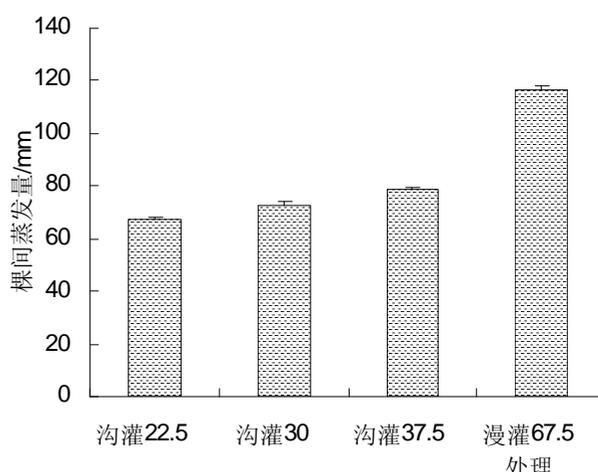


图2 棵间蒸发量变化

表3 不同处理条件下水分消耗

| 处理 | 降雨/mm | 灌水量/mm | 土壤吸水/mm | 水分生产效率/[kg/(hm ² ·mm)] |
|-----------|--------|--------|---------|-----------------------------------|
| 沟灌 22.5×2 | 276.78 | 45 | 10.81D | 25.96C |
| 沟灌 30×2 | 276.78 | 60 | 16.15C | 29.79B |
| 沟灌 37.5×2 | 276.78 | 75 | 22.26B | 33.13A |
| 漫灌 67.5×2 | 276.78 | 135 | 39.49A | 29.65B |

也不足为取。

3 结论

采用交替隔沟灌溉,在每次灌水量达到37.5 mm时,与每次灌水量为67.5 mm的漫灌相比,产量相当,其光合速率、蒸腾速率、气孔导度、胞间CO₂浓度4项光合指标无显著差异,水分生产效率提高11.94%,棵间蒸发量减少32.49%,土壤水分下渗量减少17.2%,灌溉水节水率可达44.44%,具有显著的节水效应。

对高粱实行交替隔沟灌溉,2次灌水时间间隔较长(拔节期浇1次,开花灌浆期浇1次),因此每次灌水量不宜太小,至少应达到37.5 mm,否则,将影响植株蒸腾,从而限制了产量的提高。

4 讨论

交替隔沟灌溉方式是在土壤的部分区域保持干燥,同时让另一部分区域灌水湿润,通过干湿交替,使不同区域的植物根系经受水分的胁迫锻炼,刺激根系的吸收补偿功能,使根系在水分胁迫时产生的根源信号送至地上部分叶片,从而调节气孔保持最适开度,达到减少蒸腾耗水的目的^[5],同时,由于部分区域的干燥,极大地减少了棵间蒸发,也正是由于干燥区域的存在,使得外来水的土壤水分下渗量大大地减少,从而,提高了灌水利用率。应用此种灌溉方式,可大大节约灌溉用水,从而扩大了水资源的利用率,在水资源严重

匮乏的当今,该种灌溉方式的应用无疑具有重大的现实意义。

在高粱上采用交替隔沟灌溉的研究较少,但在玉米、蔬菜、棉花等作物上的研究较多,结论相似但不尽相同。梁宗锁等^[12]研究表明:交替隔沟灌溉同完全灌溉相比,在产量相当情况下,节水率达33.3%以上;于保静等^[13]研究表明:交替隔沟灌溉较常规灌溉,在保持高产水平下,灌水量减少30%以上,耗水量减少12%以上;杜社妮等^[14]研究表明:交替隔沟灌溉比常规灌溉和固定灌溉水分利用率分别提高139.17%和25.93%;王振昌等^[15]研究表明;在相同灌水量下,交替隔沟灌溉有利于提高籽棉产量和霜前花产量,水分利用率显著高于常规沟灌,提高17.22%。本研究中采用交替隔沟灌溉,产量相当的情况下,水分生产效率提高11.94%,灌溉水节水率可达44.44%,具有显著的节水效应。

此研究中棵间蒸发量的测定,因灌浆后期普降大雨而中止,所测得的棵间蒸发量是从拔节期到灌浆后期这段时期的蒸发量,并非是全生育期的蒸发量,但其试验时段内而言,研究中测得的棵间蒸发量的大小差异,足以能够说明:沟灌交替灌溉这种方式具有能降低棵间蒸发量的特点。

沟灌法适用于能够浇水的各类型种植区,尤其是具有集雨设施的旱坡地。但采用该灌溉法可能会出

现由于灌水量不足而影响植株生长发育,从而限制了产量提高的缺点。在当今,由于平作种植的习惯(东北除外),沟灌需增加开沟一道工序,既增加了成本,又增加了难度,暂时,此灌溉法大面积的应用还不太现实,但随着机械化栽培的研究、发展,机械化中耕在除草、喷药的同时,也完成了垄间开沟,那么,交替隔沟灌溉方式的运用就会指日可待。

此研究是在查阅大量资料,借鉴国、内外该领域最新研究成果的基础上,选定了交替隔沟灌溉与传统灌溉—漫灌的比较,也是结合当前生产实际中普遍使用的灌水量范围,而确定了该研究灌水量的大小,此研究中只进行了3个灌水量的沟灌试验,也只进行了沟灌交替灌溉与漫灌的比较。通过研究得出:该灌溉法不仅能够减少土壤水分下渗,而且能够减少植株间的棵间蒸发量。在产量相当的情况下,具有显著的节水效应,那么,继续扩大灌水量、设立多种灌溉方式比较,如交替隔沟灌溉、固定隔沟灌溉、常规沟灌等,将会是什么情况?尚有待进一步的研究。

该结论仅是一年的试验结果,今后应进行不同土壤类别、不同年份的进一步的试验。

参考文献

[1] 陈亚新,康绍忠.非充分灌溉原理[M].北京:水利电力出版社,1995.
 [2] 史文娟,胡笑涛,康绍忠.干旱缺水条件下作物调亏灌溉技术研究

状况与展望[J].干旱地区农业研究,1998,(2):84-88.
 [3] 刘贤赵,康绍忠.我国节水型农业科技体系的发展方向[J].中国人口资源与环境,2001(2):73-76.
 [4] 康绍忠,许迪.我国现代农业节水高新技术发展战略的思考[J].中国农林水利水电,2001(10):25-29.
 [5] 康绍忠,张建华,梁宗锁,等.控制性交替灌溉——一种新的农业节水调控思路[J].干旱地区农业研究,1999,15(1):1-6.
 [6] 孙景生,康绍忠,蔡焕杰,等.交替隔沟灌溉提高农田水分利用效率的节水机理[J].水力学报,2002(3):64-68.
 [7] 梁宗锁,康绍忠,高俊风,等.分根交替渗透胁迫与脱落酸对玉米根系生长和蒸腾速率的影响[J].作物学报,2000(3):250-255.
 [8] 杜太生,康绍忠,胡笑涛,等.根系分区交替滴灌对棉花产量和水分利用效率的影响[J].中国农业科学,2005,38(10):2061-2068.
 [9] 吴燕,梁银丽.灌溉方式对黄瓜结果期根系特征与产量的影响[J].干旱地区农业研究,2009,27(3):66-70.
 [10] 蔡寒玉,伍耀富,李进平,等.烤烟控制性分根交替灌水的生理基础研究[J].节水灌溉,2006(2):11-12,15.
 [11] 康绍忠,蔡焕杰.作物根系分区交替灌溉和调亏灌溉的理论与实践[M].北京:中国农业出版社,2002:3-13.
 [12] 梁宗锁,康绍忠,石培泽.隔沟灌溉对玉米根系分布和产量影响及其节水效益[J].中国农业科,2000,33(6):26-32.
 [13] 于保静,石泽培,杨秀英.干旱去大田玉米控制性交替隔沟灌溉需水量及需水规律的研究[J].甘肃水利水电技术,2006.42(3):209-212.
 [14] 杜社妮,梁银丽,翟胜,等.不同灌溉方式对茄子生长发育的影响[J].中国农学通报,2005,21(6):430-432.
 [15] 王振昌,杜太生,杨秀英,等.隔沟交替灌溉对棉花耗水、产量和品质的调控效应[J].中国生态农业学报,2009.01:13-17.