

灌溉处理对冬小麦-夏玉米不同品种 土壤水分和 *WUE* 的影响

郭子锋^{1,2}, 龚道枝², 郝卫平², 梅旭荣², 闫永奎², 刘琳², 栗雨勤³, 张文英³, 柳斌辉³

(1. 中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081; 2. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081; 3. 河北省农林科学院旱作节水农业研究所, 河北衡水 053000)

摘要:在冬小麦-夏玉米轮作下,于2008—2010年采用不同小麦和玉米品种,研究不同灌溉处理下土壤水分动态及对冬小麦和夏玉米水分利用效率(*WUE*)的影响。2 a试验结果均表明,灌水在不同土层的入渗是一个缓慢的过程,大致以1 a为周期,冬小麦生长期,0~60 cm土层土壤水分变异较大,60 cm以下土层土壤水分夏玉米无法利用是导致灌水利用效率低的原因。通过分析冬小麦和夏玉米的*WUE*表明,抗旱节水品种的*WUE*随着灌溉次数的增加而减小,而非抗旱节水品种的*WUE*则相反;抗旱节水品种的产量在适度水分胁迫下变化不大,而耗水量有所减少,非抗旱节水品种在适度水分胁迫时,产量减少幅度较大,致使*WUE*有减小趋势。因此,在冬小麦-夏玉米轮作的华北地区,选用抗旱节水品种,适度减少灌水次数,可以减少无效灌水的入渗,在不影响产量的情况下,提高*WUE*。

关键词:冬小麦;夏玉米;灌溉;土壤水分变动;水分利用效率

中图分类号:S3

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.2017.03.003

郭子锋,龚道枝,郝卫平,等.灌溉处理对冬小麦-夏玉米不同品种土壤水分和*WUE*的影响[J].灌溉排水学报,2017,36(3):14-19.

0 引言

冬小麦和夏玉米是华北地区主要的粮食作物,然而,水资源短缺逐渐成为制约其持续增产的关键因素。华北地区降水量从干旱年份的50.0 mm到丰水年的150.0 mm不等,平均为115.9 mm,而冬小麦和夏玉米充分灌水需要大约453.0 mm和423.0 mm的降雨量^[1]。近年来,华北地区地下水开采严重,针对这一问题,前人研究了不同灌水次数下选用节水品种提高水分利用效率(*WUE*)的方法。董宝娣等^[2]认为,旱地小麦的产量水分利用效率和收获指数显著低于水地品种和水旱兼用型品种,不同抗旱类型的小麦品种对不同灌溉模式的响应方式不同。Zhang等^[3]通过8 a的试验研究认为,相比于充分灌溉,在有限灌溉下冬小麦和夏玉米的*WUE*提高了15.0%和10.0%,耗水量分别平均降低了112.0 mm和84.0 mm,这主要得益于冬小麦和夏玉米根系利用不同土壤层次水分的差异。王德梅等^[4]通过2 a的试验认为,土壤贮水消耗量占总耗水量的比例高于灌水消耗量占总耗水量的比例,表明通过调节灌水量和灌水时期,可以提高冬小麦利用土壤贮水量。山仑等^[5]通过系统调研认为,在充分利用降雨的基础上补充少量灌溉是解决黄淮海地区水分亏缺及实现农业生产可持续发展的一条途径。总结前人研究成果发现,在华北地区,采用节水品种,适当减少灌水量,可以在基本不影响产量的基础上提高*WUE*。然而,针对不同品种下,冬小麦-夏玉米轮作条件下不同灌水次数对土壤水分动态的影响和水分利用效率的影响方面的文章尚未见报道,本文就是基于此进行研究。

收稿日期:2015-11-17

基金项目:国家自然科学基金项目(30871447);中央基本科研业务费项目(BSRF200901)

作者简介:郭子锋(1986-),男,助理研究员。主要研究方向为旱地农业。E-mail: guozifeng@caas.cn

通信作者:梅旭荣(1963-),男,研究员。主要从事节水农业与水环境研究。E-mail: meixr@jeda.org.cn

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验区位于河北省农林科学院旱作节水农业试验站,该地地处河北平原中部、滹沱河古冲洪积扇的前缘,属于潮土地带,为洪积冲积黄土,该区地势平坦,海拔为17.5~28.0 m,是河北省重要的粮棉生产基地。该区属大陆季风气候区,为温暖半干旱型,气候四季分明,冷暖干湿差异明显,全年大于0℃的积温为4 863℃。年日照时间为2 563 h,光照充足,适于农作物生长。由于降水较少、空间分布不均及年内分配不均等原因,导致该地农业生产不稳定。

1.2 试验设计

试验于2008年10月—2010年10月在试验站的大田进行。冬小麦选择石家庄8号和Yanmai20(由洛阳市农科院提供),夏玉米品种选择郑单958和户单四号,其中,石家庄8号、郑单958为抗旱节水性较好的品种,Yanmai20、户单四号为抗旱节水性较差的品种。在2008—2009年设4个水分处理,分别为生育期间灌0水、1水、2水、3水处理,冬小麦灌水时期分别为返青期、拔节期和灌浆期,夏玉米灌水时期分别为拔节期、抽穗扬花期和灌浆期。在2009—2010年设3个水分处理,分别在生育期灌0水、1水和2水处理,冬小麦灌水时期为拔节期和灌浆期,夏玉米灌水时期为大喇叭口期和抽穗扬花期。2009—2010年降雨相对充沛,灌3水将导致作物涝害,因此不再设置3水处理。各水分处理灌水情况见表1,灌溉方式采用畦灌,用水表计算灌水量。每个小区面积8.4 m×12 m,随机区组排列,用塑料膜做防侧渗处理。所有小区施肥水平、耕作措施和病虫害防治措施相同。

表1 2008年10月—2010年10月灌水量

mm

时间	处理	冬小麦			夏玉米		
		返青期	拔节期	灌浆期	拔节期	喇叭口期	扬花期
2008—2009年	0水	—	—	—	—	—	—
	1水	60	—	—	60	—	—
	2水	60	—	60	60	—	60
	3水	60	60	60	60	60	60
2009—2010年	0水	—	—	—	—	—	—
	1水	—	—	60	60	—	—
	2水	—	60	60	60	60	—

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤水分测定

土壤水分测定深度为0~160 cm,每隔20 cm取1次土样,每10 d测1次,灌水前后各加测1次,采用烘干法测定土壤的质量含水率。采用环刀法测定土壤干体积质量,不同土层的体积质量分别为:0~40 cm土层为1.5 g/cm³,40~80 cm为1.4 g/cm³,80~120 cm为1.5 g/cm³,120~140 cm为1.3 g/cm³,140~200 cm为1.4 g/cm³。气象参数采用自动气象站监测,冬小麦全生育期降水如图1所示,降水总量为133 mm。

1.3.2 耗水量及产量测定

根据水量平衡法测量计算耗水量: $ET=P+I-W$,其中 ET 为作物生育期耗水量(mm),包括植株蒸腾量和棵间蒸发量; P 为降水量(mm), I 为灌溉量(mm), W 为作物生育期间土壤贮水变化量(mm)。

冬小麦产量测定:小麦成熟后,每个小区随机抽取3个1 m²的小区,晒干后考种。夏玉米产量测定:玉米成熟后,每个小区随机抽取30株,晒干后考种。

1.3.3 产量WUE测定

产量 WUE 的计算公式为: $WUE=Y/ET$,其中 Y 为冬小麦或夏玉米的产量, ET 为整个生育期冬小麦或夏玉米的耗水量。

1.4 数据处理

试验数据应用Excel 2007和SPSS 19.0软件进行处理。

2 结果与分析

2.1 土壤水分动态变化

图1(a)—图1(d)分别表示2008—2009年冬小麦和2009夏玉米播种期和成熟期土壤水分动态变化;图1(e)—图1(h)分别表示2009—2010年冬小麦和2010年夏玉米播种期和成熟期土壤水分动态变化。2008—2009年冬小麦播种前,土壤水分动态如图1(a)所示,0~60 cm土层含水率差异很小,60~160 cm土层含水率有一定的差异,同一土层的体积含水率差异在3.0%以内。2009年5月24日冬小麦收获前不同灌水次数各个土层的含水率表现出较大差异,0~60 cm土层含水率从大到小依次为灌3水、2水、1水和0水处理,60~160 cm土层含水率没有表现出明显变化,总的趋势也是随灌水次数的增加,土壤含水率逐步增加。在夏玉米播种后的7月22日,0~60 cm土层含水率相差不大,60~120 cm土层含水率却出现了差异,60~80、80~100、100~120 cm土壤含水率从大到小依次是灌3水、2水、1水和0水处理。2009年夏玉米收获前,0~60 cm土层含水率趋于一致,60~160 cm土层含水率有一定的差异,60 cm以下各土层的含水率从大到小依次为灌3水、2水、1水和0水处理,与夏玉米播种前不同的是,120~160 cm土层含水率在夏玉米播种前差异不明显,而在9月23日夏玉米收获前,则表现出随灌溉次数的增加含水率逐步增加的趋势。

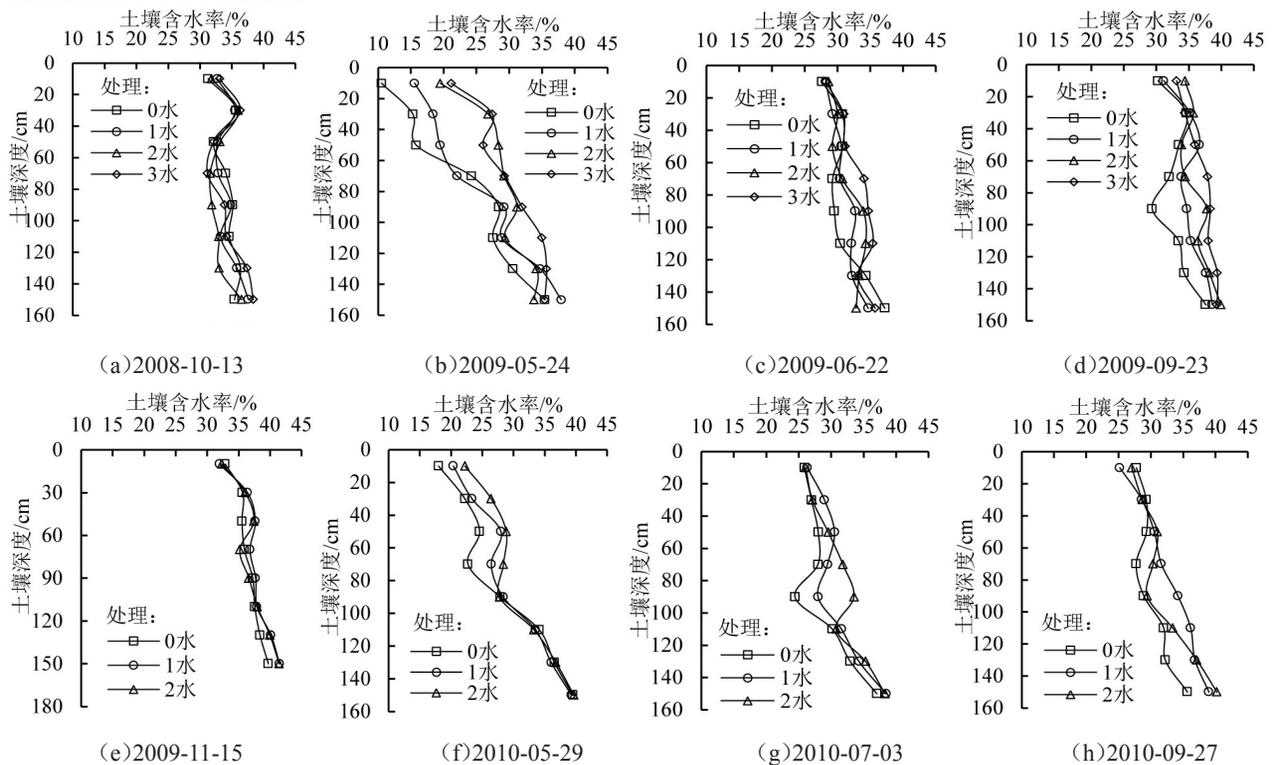


图1 2008—2010年冬小麦和夏玉米播种期和成熟期土壤水分变动情况

2009—2010年冬小麦播种前,如图1(e),灌0水、1水和2水处理的0~60 cm土层含水率有一定的差异,0~20 cm的含水率差异较大,但仍然在5%以内。2010年冬小麦收获前的5月29日,与2009年不同的是,不同灌水次数下,0~40 cm土层含水率没有表现出明显差异,40~80 cm土层含水率是1水和2水灌溉处理大于0水处理。40 cm土层以下各个土层没有表现出差异。在夏玉米播种后的7月3日,与2009年相同,0~60 cm土层含水率趋于一致,60~160 cm土层含水率有一定的差异,随着灌水次数增加60~120 cm土层含水率逐渐增加,120~160 cm差异不明显。2010年夏玉米收获前,与2009年相同,各个土层均随灌水次数增加土层含水率逐渐增加,尤其是60~160 cm表现更为明显。

2.2 灌溉对冬小麦耗水量、产量和WUE的影响

冬小麦的耗水量、产量和WUE见表2。2a试验结果均表明,随着灌溉次数的增加,冬小麦的耗水量呈现递增趋势,2个品种具有相同的规律。2008—2009年,0水、1水、2水灌溉处理下,Yanmai20的耗水量较石家庄8号的多,而3水灌溉处理下,较石家庄8号的少。2009—2010年,0水和1水灌溉处理的耗水量较石家庄8号多,而2水灌溉处理下较石家庄8号少。因此,在非充分灌溉条件下,石家庄8号的耗水量少于Yanmai20,

而在充分灌溉下,石家庄8号的耗水量多于Yanmai20。

表2 2008—2010年冬小麦耗水量、产量及WUE

时间	处理	耗水量/mm		产量/(kg·hm ²)		WUE/(kg·hm ⁻² ·mm ⁻¹)	
		Yanmai20	石家庄8号	Yanmai20	石家庄8号	Yanmai20	石家庄8号
2008—2009年	0水	375.72abA	353.00deBC	6 915.00cdBC	7 252.50cC	18.4bcAB	20.55bBC
	1水	383.39abA	372.26cB	7 350.00bcABC	7 601.25cBC	19.17abAB	20.42bBC
	2水	390.28abA	390.00bA	7 920.00bAB	8 122.50bAB	20.29abA	20.31bBC
	3水	414.93aA	419.73aA	8 510.00aA	8 132.50bAB	20.51abA	19.28bC
2009—2010年	0水	366.54bA	345.24cC	6 263.13dC	8 294.145abAB	16.28cB	24.02aA
	1水	384.74abA	361.75cdBC	7 583.79bcABC	8 254.125abAB	20.69aA	22.82aAB
	2水	410.00abA	419.94aA	8 214.105abAB	8 674.335aA	20.03abA	20.66bBC

注 同列大小写字母表示差异极显著和显著性(1%和5%显著水平),下同。

从产量结果看,Yanmai20和石家庄8号都是随着灌溉次数的增加,产量逐渐提高;2008—2009年,Yanmai20在3水灌溉处理下的产量高于石家庄8号,而在0水、1水和2水灌溉处理下的产量低于石家庄8号,且3水灌溉处理与其他处理之间产量差异显著;2009—2010年Yanmai20在各个水分处理下的产量都低于石家庄8号,且2水灌溉处理与其他处理之间差异显著;2a的试验结果表明,Yanmai20对水分的处理比较敏感,而石家庄8号相对比较稳定。

从WUE结果看,Yanmai20随着灌溉次数的增加,WUE也增加,2008—2009年0水灌溉处理与其他几个灌溉处理差异显著,2009—2010年表现出同样的规律;石家庄8号的WUE相对稳定,2008—2009年各个灌水处理之间差异不显著,0水灌溉处理的WUE最高,2水灌溉处理比3水灌溉处理WUE提高了5.5%,而产量几乎相同,2009—2010年0水、1水灌溉处理的WUE较高,分别比2水灌溉处理提高了16.2%和10.5%。说明石家庄8号在适当水分亏缺时,WUE有增加趋势。

2.3 灌溉对夏玉米耗水量、产量和WUE的影响

夏玉米的耗水量、产量和WUE见表3。与冬小麦结果一致,2个夏玉米品种的耗水量都随着灌溉次数的增加而增加,户单四号在2008—2009年0水灌溉处理与其他几个处理差异显著,2009—2010年0水、1水灌溉处理与2水灌溉处理差异显著;郑单958在2008—2009年0水和1水灌溉处理与其他几个处理差异显著,2009—2010年各灌溉处理的耗水量差异不显著。

表3 2008—2010年夏玉米耗水量、产量及WUE

时间	处理	耗水量/mm		产量/(kg·hm ²)		WUE/(kg·hm ⁻² ·mm ⁻¹)	
		户单四号	郑单958	户单四号	郑单958	户单四号	郑单958
2008—2009年	0水	357.22eE	357.22cC	7 821.28cC	8 203.69cB	20.28cA	22.96aA
	1水	403.61dCD	388.49bcBC	8 448.23cBC	8 900.2abAB	20.93bcA	22.91aA
	2水	403.1dCD	424.55bAB	9 128.67bAB	9 531.51aA	21.9abA	22.47abA
	3水	459.88aA	464.36aA	9 453.66aA	9 568.57aA	22.65aA	20.61bA
2009—2010年	0水	398.82dD	410.05bABC	8 151.00bcC	8 833.13bcAB	20.44bcA	22.54abA
	1水	417.98cC	418.73bAB	9 168.01aAB	9 336.3abA	21.54abcA	22.29abA
	2水	438.96bB	440.91bAB	9 324.52aAB	9 326.71abA	21.93abA	21.56abA

从产量结果看,2个玉米品种产量都随着灌溉次数增加,逐渐提高;2008—2009年,户单四号0水、1水灌溉处理与2水、3水灌溉处理的产量差异显著,郑单958的0水灌溉处理与其他处理间差异显著,2009—2010年户单四号0水灌溉处理与其他处理间产量差异显著,郑单958各处理之间差异不显著;2a的试验结果各个处理中,郑单958的产量都高于户单四号,随着灌溉次数的增加,二者的差异逐渐减小,说明户单四号对水分亏缺比较敏感。

从WUE结果看,户单四号的WUE随着灌溉次数的增加,郑单958有递减的趋势,WUE递增;2008—2009年,户单四号0水灌溉处理与2水、3水灌溉处理差异显著,郑单958 0水、1水和2水灌溉处理显著高于3水灌溉处理,分别高出9.0%、11.2%和11.4%;2009—2010年,户单四号0水灌溉处理的WUE显著低于1水和2水灌溉处理,郑单958各灌溉处理的WUE没有显著差异,但0水和1水灌溉处理分别高出2水3.4%和4.5%;因

此,抗旱节水品种郑单958在适当水分亏缺时,对产量影响不显著,而产量WUE有递增趋势。

3 讨论

华北地区一般是冬小麦-夏玉米轮作种植,单纯研究冬小麦或者夏玉米,不能够全面反映这一地区的实际生产情况。Panda等^[6]指出,在一定的水分胁迫下,小麦可以获得较高的水分利用效率,Li等^[7]认为,适当的水分胁迫可以减少小麦的耗水量,而对产量的影响不大。本研究中,冬小麦和夏玉米耗水量随着灌溉次数增加耗水量逐步增加,Yanmai20和户单四号与石家庄8号和郑单958相比,在充分灌溉下,耗水量差异不大,但在水分亏缺条件下,石家庄8号和郑单958的耗水量相对较少,但总体而言,耗水量的差异并不明显。不同品种之间的差别主要体现在产量上,2008—2009年冬小麦Yanmai20 2水与3水灌溉处理相比,产量增加590.0 kg/hm²,而石家庄8号仅减少了10.0 kg/hm²,2009—2010年Yanmai20 1水灌溉和2水灌溉处理相比,产量减少了630.3 kg/hm²,而石家庄8号仅减少了420.2 kg/hm²,抗旱节水性不同的冬小麦品种对水分的敏感主要在于产量上,从而进一步体现在WUE上,夏玉米也有着同样的规律。

计算耗水量时,在平原地区,所研究土层深度在100 cm以下且降水量较少时,地表径流、土壤下层进入计划层的水量和土壤深层渗漏可以略去不计^[8],由于试验站位于华北平原,所研究的土层在0~160 cm,每次灌溉量为60 mm,所以计算耗水量时略去了地表径流、土壤下层进入计划层的水量和土壤深层渗漏,但从图1可以看出,在2009年冬小麦收获和2010年夏玉米收获时,各处理在160 cm土壤深度含水率仍有一定差异,但没有呈现规律性,需要进一步研究。

房全孝^[9]研究认为,灌溉对土壤水分的影响主要在0~80 cm范围,随着灌溉量增加,农田耗水量也在增加,但底墒供水能力下降,底墒利用效率降低。本研究表明冬小麦在0~60 cm土壤水分变动较大,而60 cm以下土壤水分变动很小;由于2 a试验中,夏玉米播种前均有一次较为明显的降雨,2009年播种后有一次75.0 mm的降雨,2010年玉米播种后有一次69.7 mm的降水,因此,玉米播种后土壤0~60 cm土壤水分趋于一致,但60~120 cm土壤水分有一定的差异,这是冬小麦不同灌水处理水分入渗造成的影响,到玉米收获时,120~160 cm土壤水分表现出差异,说明土壤水分进一步入渗。由于玉米根系主要分布在0~40 cm^[10],约80%以上的根系分布在0~20 cm土层中,超高产玉米品种登海661在完熟期60 cm土层以下根系分布也仅占11.34%^[11]。冬小麦不能消耗的深层水分对于夏玉米而言同样难以利用,这可能是冬小麦夏玉米轮作下灌水损失的主要原因,夏玉米播种前,采用深松方式,则可打破犁底层,有利于夏玉米根系的固定和下扎^[12],提高夏玉米对深层水分的利用,提高水分利用效率。

参考文献:

- [1] LIU C M, ZHANG X Y, ZHANG Y Q. Determination of daily evaporation and evapotranspiration of winter wheat and maize by large-scale weighing lysimeter and micro-lysimeter[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2002, 111: 109-120.
- [2] 董宝娣,师长海,乔匀周,等. 不同灌溉条件下不同类型冬小麦产量水分利用效率差异原因分析[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(5): 1 096-1 102.
- [3] ZHANG XY, PEI D, CHEN S Y, et al. Performance of double-cropped winter wheat-summer maize under minimum irrigation in the north China plain[J]. Agronomy Journal, 2006, 98(6):1 620-1 626.
- [4] 王德梅,于振文. 灌溉量和灌溉时期对小麦耗水特性和产量的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(9): 1 965-1 970.
- [5] 山仑,吴普特,康绍忠,等. 黄淮海地区农业节水对策及实施旱地农业可行性研究[J]. 中国工程科学, 2011(4):37-42.
- [6] PANDA R K, BEHERA S K, KASHYAP P S. Effective management of irrigation water for wheat under stressed conditions[J]. Agricultural Water Management, 2003, 63: 37-56.
- [7] LI F M, LIU X L, GUO A H. Effects of early soil moisture distribution on the dry matter partition between root and shoot of winter wheat[J]. Agricultural Water Management, 2001, 49: 163-171.
- [8] 信迺迺. 计算农田蒸发的水量平衡法[J]. 干旱地区农业研究, 1986(2):33-38.
- [9] 房全孝. 灌溉对冬小麦耗水规律和水分利用效率的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2003.
- [10] 管建慧,刘克礼,郭新宇. 玉米根系构型的研究进展[J]. 玉米科学, 2006, 14(6): 162-166.
- [11] 齐文增,刘惠惠,李耕,等. 超高产夏玉米根系时空分布特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(1): 69-76.
- [12] 齐华,刘明,张卫建,等. 深松方式对土壤物理性状及玉米根系分布的影响[J]. 华北农学报, 2012, 27(4): 191-196.

Effect of Irrigation on Dynamics of Soil Water and Water Use Efficiency under Double-cropped Winter Wheat-Summer Maize

GUO Zifeng^{1,2}, GONG Daozhi², HAO Weiping², MEI Xurong², YAN Yongluan²,
LIU Lin², LI Yuqin³, ZHANG Wenying³, LIU Binhui³

(1.Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China;

2.Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 3.Dry Farming Institute, Hebei Academy Agricultural and Forestry Sciences, Hengshui 053000, China)

Abstract: Two wheat genotypes and two maize genotypes in different drought tolerance were screened to study the dynamic change of soil water and water use efficiency (*WUE*) by designing different irrigation treatments. The two years experiment results showed that the infiltration was a slow process, substantially in a period of 1 year. In the growth period of winter wheat, the soil water content in the 0~60 cm changed greatly. It was the main reason that the water below 60 cm soil couldn't be used by the summer maize resulted in the low irrigation efficiency. Through the analysis of winter *WUE*, the *WUE* increased with increasing irrigation frequency for drought resistant and water saving genotypes. Contrary to the drought sensitive genotypes. The yield changed little and the water consumption decreased for the drought resistant and water saving genotypes in the water deficit that *WUE* increased. Therefore, the selection of drought resistant and water saving wheat, moderate reduction of irrigation frequency, could reduce invalid irrigation infiltration, without affecting the production, it could also improve the water use efficiency in the North China plain.

Key words: winter wheat; summer maize; irrigation; dynamics of soil water; water use efficiency

责任编辑:赵宇龙

(上接第13页)

Application Research of Crop Growth Model WOFOST in Lalin River Basin

CHEN Hao^{1,2}, HONG Lin¹, LUO Dewei³

(1.State Key Lab of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

2.Hydrochina Kunming Engineering Corporation Limited, Kunming 650033, China;

3. Environmental Monitoring Station of Xiangyang City, Xiangyang 441021, China.)

Abstract: In order to evaluate the applicability of crop growth model WOFOST in simulation of spring maize growth stages in Lalin basin in northeastern China, 4 irrigation experiment stations (Haerbin, Shuangcheng, Shangzhi and Fuyu) were selected to establish the climate, soil, crop databases of the model. The growing stages of spring maize in 2013, biomass accumulation process in Haerbin station in 2009, spring maize yield in the four stations between 2009 and 2013, and the soil water content in the four stations in 2009 were simulated using the model, and compared with the measured values. The results showed that the *MAE* of *DOY* was 1.57 d, standard deviation was 1.54 d, *RMSE* was 1.85 d; the *MAE* of soil water content was between 1.38% and 1.75%, the *RMSE* was between 1.87% and 2.33%, and the *MEI* was between 0.48 and 0.73; the *MEI* of leaves, stems, ears dry matter was between 0.82 and 0.94, and the *RMSE* and *MEI* of yield were 0.72 t/hm² and 0.15, respectively. The above applicable indexes were all in range of credible which proved that the corrected WOFOST crop model had certain applicability in spring maize production areas in northeastern China.

Key words: model; spring maize; *DVS*; soil water content; biomass; yield

责任编辑:陆红飞