

有限灌溉对沙地春玉米底墒利用及籽粒产量影响的研究

刘静¹, 张恒嘉^{1*}, 安飞虎²,

(1. 甘肃农业大学工学院农业水利工程系, 甘肃兰州 730070; 2. 鄂尔多斯市水务局, 内蒙古鄂尔多斯 017000)

摘要: 在干旱环境下耕作层保水能力较差的新垦沙地进行了春玉米有限灌溉试验研究, 结果表明: 有限灌溉可以促使春玉米更多地利用土壤底墒, 灌水最少的处理 MI₁ 底墒利用率最高, 分别比 MI₂、MI₃、对照 CK 高 8.0%、10.4%、14.3%。4 种灌水处理以灌水最多的对照 CK 玉米籽粒产量最高, 但水分利用效率最低; 灌水相对较少的处理 MI₂ 水分利用效率最高, 分别比 MI₁、MI₃、对照 CK 高 11.7%、12.7%、17.7%。在绿洲新垦沙区采用少灌、勤灌的有限灌溉制度, 全生育期使用较少的水有助于提高有限水资源承载力下绿洲农田生产力。

关键词: 春玉米; 有限灌溉; 底墒; 干物质; 籽粒产量; 水分利用效率

中图分类号: S513.071 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)06-0007-05

近年来, 我国研究学者越来越重视有限灌溉技术的研究, 特别是针对我国北方干旱半干旱地区小麦、玉米等主要农作物而开展的有限灌溉实验研究力度进一步加大, 取得了丰硕的成果。许多研究表明, 在有限供水条件下, 灌溉时间和灌水量的不同会导致作物根系密度和分布的差异, 而根系在时间和空间上的发育状况则决定了作物在其生长期对土壤水分和养分的吸收利用能力, 从而直接影响地上部分的生长和最终的产量水平^[1~3]。水分亏缺并不总是降低产量, 适度水分亏缺反而会提高作物产量, 灌水少的作物的产量不但不会显著下降, 反而高于灌水多的作物的产量^[4], 在作物需水关键期进行有限灌溉, 可以增加作物的产量^[5,6], 并且随着灌水量的增多水分利用率反而降低, 从而造成水资源的浪费^[7~10]。

我国西北干旱内陆河流域光热资源十分丰富, 但水资源不足是限制该地区农业可持续发展的主要因素, 严重影响了气候资源的合理利用。加之该地区农业灌溉定额大, 灌溉技术落后, 灌溉用水浪费严重。通过减少农田水资源的无效消耗, 提高农田水分利用率, 使有限的水资源发挥最大的经济效益。本文针对目前农业节水的现实需求, 在上年研究的基础上, 继续在新垦沙地进行春玉米有限灌溉试验的研究, 以期为该地区有限灌溉条件下绿洲农业水

资源可持续利用提供科学的理论支撑和科学依据。

1 试验材料与方法

1.1 研究区概况

试验在北方干旱内陆河流域的甘肃省临泽县中国科学院寒区旱区环境与工程研究所综合研究站(39°21'N, 100°07'E, 海拔 1 367 m)进行。试验地全年日照时数 3 021 h, 年太阳总辐射量 143 kJ/cm²; 多年平均降水量 117 mm, 年蒸发量 2 390 mm, 为降水量的 20 多倍; 年均气温 7.6℃, 最高气温 39.1℃, 最低气温 -27℃, ≥10℃的年积温为 3 088℃, 无霜期 105 d; 主风向为西北风, 风沙活动集中在 3~5 月, 年均风速 3.2 m/s, 大于 8 级大风日数年均为 15 d。试验时间为 2008 年 4~9 月, 供试品种为沈单 16 号。试验地为绿洲新垦沙地, 0~30、30~60、60~150 cm 土层土壤容重和田间持水率分别为 1.44 g/cm³和 21.8%、1.45 g/cm³和 21.2%、1.47 g/cm³和 19.8%。该区常年平均地下水位 4.2 m, 毛管水上升高度 65 cm, 地下水不能补给到作物根系分布层, 向上补给量忽略不计。试验地位于绿洲边缘, 为风沙土, 以细沙为主, 结构差, 土壤贫瘠。试验土壤部分理化性状见表 1。试验年度玉米生长季降水量为 109.6 mm, 少于多年平均降水量。

收稿日期: 2011-05-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(40801044); 甘肃省高等学校研究生导师科研计划项目(0602-05)

作者简介: 刘静(1986-), 女, 辽宁省辽阳市人, 硕士, 研究方向为农业水土工程。E-mail: liuj929@126.com。

* 通讯作者: 张恒嘉, 男, 副教授, 主要从事农业水土工程、节水农业及农业生态研究。

表 1 试验地土壤机械组成、盐分、pH 值、有机质及养分含量^[11]Table 1 Soil mechanical components, salt contents, pH values, organic contents and nutrient contents at the experiment site^[11]

深度 Soil depth (cm)	各级土粒含量 Soil particle content at all levels(%)						物理性 砂砾(%) Physical gravel	物理性 粘粒(%) <0.01 mm Physical clay
	0.25 mm 粗中砂 Coarse medium sand	0.25~0.05 mm 细砂 Fine sand	0.05~0.01 mm 粗粉砂 Coarse silt	0.01~0.005 mm 中粉砂 Medium silt	0.005~0.001 mm 细粉砂 Fine silt	<0.001 mm 粘粒 Clay		
0~30	5.49	81.11	6.37	2.73	1.97	2.33	92.97	7.03
30~60	2.66	87.26	4.24	3.37	1.31	1.16	94.16	5.84

深度 Soil depth (cm)	总盐量 Total salt (g/kg)	pH	有机质含量 Organic content (%)	全养分(g/kg) Total nutrient			速效养分(mg/kg) Rapidly available nutrient		
				N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
0~30	0.65	8.6	1.39	0.37	0.80	22.5	19.9	16.0	110
30~60	0.64	8.5	0.93	0.09	0.65	22.5	12.6	6.4	70

1.2 试验方法

试验共设 4 个处理, 试验灌水方式为畦灌, 用水表控制灌水量, 实际灌水量详见表 2, 其中对照(CK)灌水量与研究区春玉米实际灌水量一致。试验采用单因素随机区组试验设计, 每一处理及对照均重复 3 次, 共 12 个小区, 小区面积为 70 m² (12.5 m × 5.6 m)。供试春玉米为当地玉米主栽品种沈单 16 号,

2008 年 4 月 5 日播种, 播种密度 8 万株/hm²。播前底肥施用量纯氮 48 kg/hm²、纯磷 63 kg/hm²、纯钾 28 kg/hm² 作为基肥。玉米出苗后两周左右进行人工间苗, 并于拔节期和孕穗期分别追施纯氮 48 kg/hm² 和 32 kg/hm²。所有耕作均采用机械操作, 足墒播种, 播前清除杂草, 作物生长发育过程中进行中耕, 人工除草, 并及时防治病虫害。

表 2 玉米全生育期不同灌溉处理实际灌水量(mm)

Table 2 Irrigation quota under different irrigation treatments during the maize growing season

灌水时间(m-d) Irrigation time	生育期 Stage	灌水量 Irrigation quota(mm)			
		MI ₁	MI ₂	MI ₃	CK
05-27	拔节期 Jointing stage	102	117	117	147
06-08	大喇叭口期 Big bell mouth stage	75	99	90	120
06-22	孕穗期 Booting stage	75	90	90	120
07-12	抽雄期 Tassel emerge stage	120	90	150	150
07-28	吐丝期 Silking stage	120	90	150	150
08-09	灌浆初期 Early filling stage	75	90	90	120
08-26	灌浆中期 Middle filling stage	75	90	90	90
	全生育期 Whole growth period	642	666	777	897

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤水分测定 玉米生育期间每隔 7 d 测定一次土壤水分, 0~200 cm 用土壤水分中子仪观测, 分别在 20、40、60、80、100、120、140、160、180、200 cm 土层测量。计算公式:

体积含水率(%) = 129.41 × 中子仪读数 - 20.72 (20 cm) $R^2=0.97$

体积含水率(%) = 99.98 × 中子仪读数 - 16.79 (>20 cm) $R^2=0.99$

1.3.2 干物重及籽粒产量测定 分别在拔节期、抽雄期、吐丝期、灌浆期、乳熟期, 每小区取两株, 采用烘干称重法测定地上干物重。试验玉米于 2008 年 9 月 22 日每个小区取 10 株, 根据种植密度计算

理论产量。

1.3.3 计算方法 玉米全生育期耗水量与水分利用率计算公式分别为:

$$ET = M + P_0 + K + \Delta W$$

$$WUE = Y/ET$$

式中, Y 为玉米籽粒产量或干物重(kg/hm²); ET 为玉米全生育期耗水量(mm); M 为玉米全生育期净灌溉用水量(mm); P_0 为玉米生育期内有效降雨量(mm); K 为玉米生育期内地下水补给量(mm); ΔW 为玉米各生育期始末土壤含水量的差值(mm)。

底墒利用厚度(mm) = 播前土壤含水量(mm) - 收获后土壤含水量(mm);

底墒利用率(%) = (底墒利用厚度/播前土壤含

水量)×100%。

2 结果与分析

2.1 有限灌溉春玉米土壤水分动态变化

图 1 中 a、b、c、d、e、f 分别为不同处理在 0~20、40~60、80~100、120~140、160~180、0~100 cm 的土层水分变化动态。从图 1 中可以看出:玉米在全生育期内要经历两次土壤水分消耗较大的时期,分别出现在苗期~拔节期、吐丝期~乳熟期,在这两个生育阶段里,土壤含水率分布呈 V 字型,拔节中期

和灌浆后期分别降至最低,前者的土壤水分含量略高于后者,说明这两个生育时期是玉米需水的关键期,这与刘玉洁^[8]等的研究一致。0~20 cm 土层土壤水分变化最为剧烈,波动最大,随着土深的增加,土壤水分波动变小,基本趋于稳定状态。不同处理间各层次土壤含水量以 MI₃ 最大,其次为 CK、MI₁、MI₂,说明适当增加灌水量在一定程度上可提高土壤水分含量,但超过一定值之后,并不能使土壤水分含量显著提高。

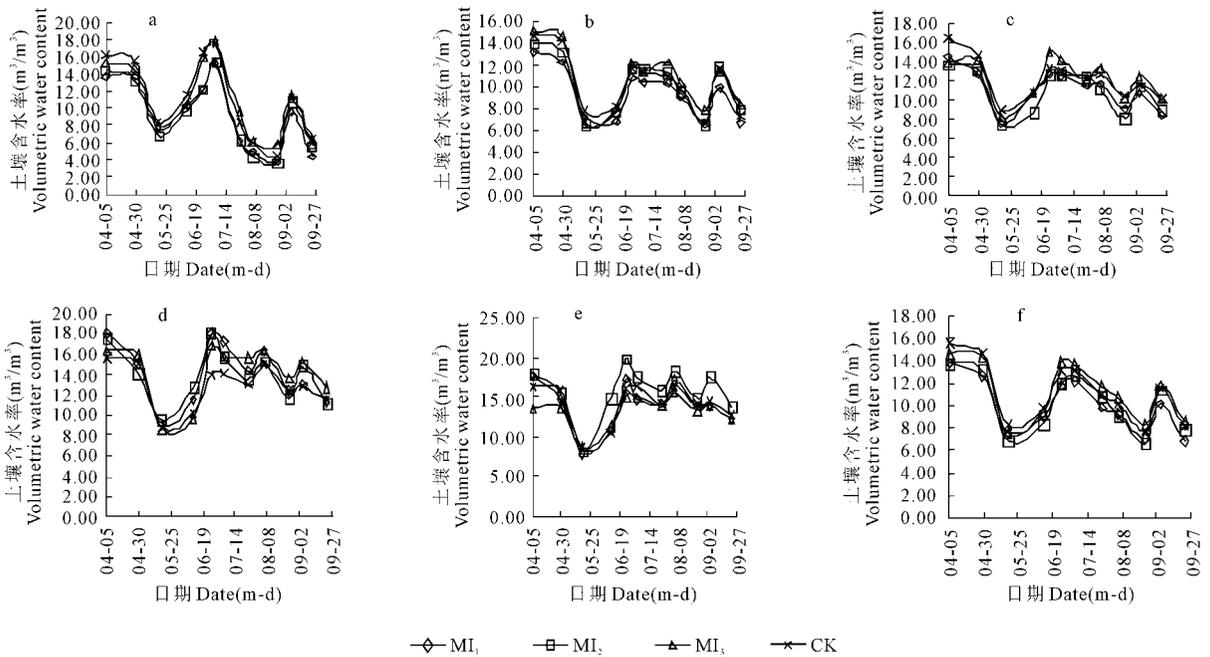


图 1 不同灌水处理下的土壤含水率变化动态

Fig. 1 Dynamic changes of soil water content under different irrigation treatments

2.2 有限灌溉对春玉米土壤底墒利用的影响

玉米根生物量主要分布在 0~100 cm 土层,因而从 0~100 土层土壤的水分变化可以反映出有限供水对玉米底墒利用的影响。从表 3 可以看出,灌水越少,玉米对底墒利用越多,土壤水分消耗越大。0~100 cm 土层内,灌水最少的 MI₁ 底墒利用厚度及底墒利用率分别为 34.9 mm 和 25.4%,分别比 MI₂、MI₃、对照 CK 多 10.8 mm 和 8.0%、13.0 mm 和 10.4%、17.5 mm 和 14.3%。说明少灌水可以更多地利用土壤底墒。

2.3 有限灌溉对春玉米干物质的影响

图 2 中 a、b 分别为不同处理玉米干物重和干物质积累速率的比较。从图 2 中可以看出,所有处理干物重在抽雄期之前增长缓慢,抽雄期至灌浆初期快速增长,灌浆期至乳熟期再次缓慢增长,干物重随灌水量的增加而增加。所有处理干物质积累速率基

本呈现为单峰曲线,在灌浆初期干物质积累速率达到最大,对照 CK 相对 MI₁、MI₂、MI₃ 干物质积累速率分别增加,14.1%、12.6%、10.8%;乳熟期干物质积累速率降至最低点,对照 CK 相对 MI₁、MI₂、MI₃ 分别增加 15.1%、19.7%、11.6%,MI₁、MI₂、MI₃ 及对照 CK 分别占最大值的 46.7%、43.5%、46.9%、47.3%,所有处理干物质积累速率均在最大值的 43%~48%之间,说明灌水达到一定值后再增加灌水玉米干物质积累速率并不会产生显著变化,多灌水只会造成水资源的浪费,从而降低水分利用效率。

2.4 产量及水分利用效率

图 3 中 a、b 分别为不同处理玉米籽粒产量和水分利用效率、不同处理玉米干物重和水分利用效率的比较。从图 3 中可以看出,随着灌水量的增加,玉米籽粒产量和干物重也随之增加,但水分利用效率反而随着灌水量的增加而降低。从表 3 中可以得

出,灌水最多的对照 CK 玉米籽粒产量相对 MI₁、MI₂、MI₃ 分别增加 19.0%、7.2%、6.9%;玉米干物重分别增加 11.2%、6.8%、4.9%,但水分利用效率却最低。玉米籽粒产量水分利用效率和干物重水分利用效率分别比 MI₁、MI₂、MI₃ 减少 6.8%、17.7%、5.8%和 15.0%、18.1%、7.7%。相对其它处理及对照

CK,灌水较少的 MI₂ 水分利用效率最高。由此可见,适当增加灌水量在一定程度上可增加籽粒产量和干物重,但是当灌水量超过一定值后,玉米籽粒产量和干物重不会显著提高,水分利用率也不断下降,多灌水只会造成水资源的浪费,降低玉米的经济效益。

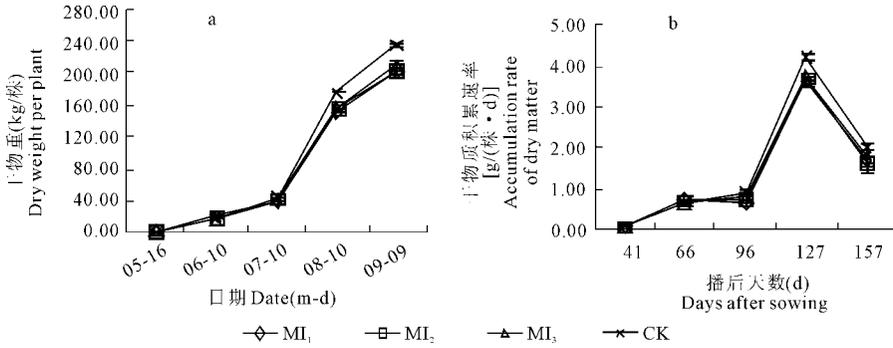


图 2 不同灌水处理下的干物质变化动态

Fig.2 Dynamic changes of dry matter under different irrigation treatments

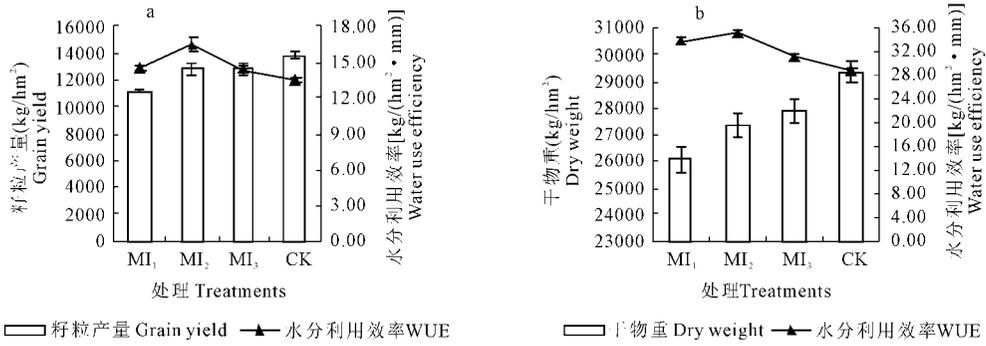


图 3 不同灌水处理下的水分利用效率、籽粒产量及干物重

Fig.3 Water use efficiency, grain yield and dry weight of maize under different irrigation treatments

表 3 有限灌溉对春玉米底墒利用和水分利用效率的影响

Table 3 Effect on soil moisture use and water use efficiency of spring maize under different irrigation treatments

处理 Treatments	0~100 cm 播前	0~100 cm 土壤	全生育期 耗水量	底墒利用率 Soil moisture use efficiency (%)	籽粒产量 Grain yield (kg/hm ²)	干物重 Dry weight (kg/hm ²)	水分利用效率[kg/(hm ² ·mm)]	
	土壤含水量	水分消耗量					籽粒产量	干物重
	Soil moisture of pre-sowing (mm)	Soil moisture consumption (mm)						
MI ₁	137.6	34.9	772.9	25.4	11201	26074	14.5	33.7
MI ₂	138.4	24.1	781.7	17.4	12831	27369	16.4	35.0
MI ₃	146.1	21.9	897.9	15.0	12868	27902	14.3	31.1
CK	156.6	17.4	1023.4	11.0	13823	29351	13.5	28.7

3 结论

1) 玉米在全生育期内都要经历两次土壤水分消耗较大的时期,分别出现在苗期~拔节期、吐丝期~乳熟期,灌水最多的对照 CK 底墒利用率为

11.0%,灌水最少的 MI₁ 为 25.4%,两者相差 14.3%。本试验研究表明,少灌水可以提高春玉米土壤底墒利用厚度。

2) 所有处理中,灌水最多的对照 CK 玉米籽粒产量和干物重最大,相对 MI₁、MI₂、MI₃ 分别增加

19.0%、7.2%、6.9%和11.2%、6.8%、4.9%，但水分利用率最低，灌水较少的MI₂的水分利用效率最高，玉米籽粒产量水分利用效率和干物重水分利用效率分别为16.4 kg/(hm²·mm)和35.0 kg/(hm²·mm)。本研究表明，适当增加灌水量在一定程度上可增加籽粒产量和干物重，但当灌水量超过一定值后，玉米籽粒产量和干物重不会显著提高，水分利用率也不断下降。在该绿洲新垦沙区如果合理安排灌溉时期，采用少灌、勤灌的有限灌溉方式，全生育期使用较少的水有助于提高有限水资源承载力下绿洲农田生产力，从而达到节水增产的目的。

参考文献:

- [1] 任三学, 赵花荣, 霍治国, 等. 有限供水对夏玉米根系生长及底墒利用影响的研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(2): 162—165.
- [2] 魏 虹, 林 魁, 李凤民, 等. 有限灌溉对半干旱区春小麦根系发育的影响[J]. 植物生态学报, 2000, 24(1): 106—110.
- [3] 鄢 珣, 王 俊. 黄土高原地区春小麦对有限灌溉的反应及其生理生态基础[J]. 西北植物学报, 2001, 21(4): 791—795.
- [4] 张恒嘉, 赵文智. 有限灌溉对荒漠绿洲春玉米产量及产量性状的影响[J]. 中国沙漠, 2010, 30(4): 892—895.
- [5] 方文松, 朱自玺, 刘荣花, 等. 夏玉米水分—产量反应系数研究[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(2): 112—114.
- [6] 李凤民, 赵松岭, 段舜山, 等. 黄土高原半干旱区春小麦农田有限灌溉对策初探[J]. 应用生态学报, 1995, 6(3): 259—264.
- [7] 许振柱, 于振文. 限量灌溉对冬小麦水分利用的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(1): 7—10.
- [8] 刘玉洁, 李援农, 潘 韬, 等. 不同灌溉制度对覆膜春玉米的耗水规律及产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(6): 68—71.
- [9] 肖俊夫, 刘战东, 南纪琴, 等. 不同水分处理对春玉米生态指标、耗水量及产量的影响[J]. 玉米科学, 2010, 18(6): 94—97, 101.
- [10] 马忠明. 有限灌溉条件下作物—水分关系的研究[J]. 干旱地区农业研究, 1998, 16(2): 76—79.
- [11] 苏培玺, 陈怀顺. 荒漠绿洲区花生在不同灌溉条件下的产量变化及光合生理特性[J]. 作物学报, 2005, 31(12): 1660—1664.

Study on effect of limited irrigation on soil moisture use and grain yield of spring maize in sandy land

LIU Jing¹, ZHANG Heng-jia^{1*}, AN Fei-hu²

(1. Department of Agricultural Water Resources Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China;

2. Ordos Water Authorities, Ordos, Inner Mongolia 017000, China;)

Abstract: Experimental study was conducted in arid environment of new sandy land in Linze desert oasis to evaluate the effect of limited irrigation on soil moisture use and maize grain yield. There are four limited irrigation treatments (including CK) with different irrigation quota (MI₁: 642 mm, MI₂: 666 mm, MI₃: 777 mm, and CK: 897 mm) in the whole growing season of maize; each treatment distributes different irrigation water amount in growing stages. The result indicated that the highest use of soil moisture was obtained in MI₁ with the least growing season irrigation, and its soil moisture use in 0~100 cm soil layer was higher than MI₂, MI₃ and CK by 8.0%, 10.4% and 14.3% respectively. The highest grain yield was obtained in CK, however, its water use efficiency was the lowest. The highest water use efficiency was obtained in MI₂, and its water use efficiency was higher than MI₁, MI₃ and CK by 11.7%, 12.7% and 17.7% respectively. Less amount and more frequent irrigation can improve the farmland productivity in oasis sandy land with limited water resources carrying capacity.

Keywords: spring maize; limited irrigation; soil moisture use; dry matter; grain yield; water use efficiency