

有限灌溉对绿洲春玉米农田耗水特征及水分利用效率的影响

张恒嘉, 黄彩霞

(甘肃农业大学农业水利工程系, 兰州 730070)

摘要: 为了探究有限灌溉对绿洲沙地春玉米农田耗水特征及水分利用效率的影响, 利用中子仪结合烘干称重法连续监测了河西走廊荒漠绿洲沙地春玉米不同生育期农田土壤水分动态, 分析了玉米农田日耗水量动态与土壤蒸散及作物水分利用效率。结果表明, 整个生育期除播种—五叶期和拔节—孕穗期外, 所有有限灌溉处理及充分供水对照间日耗水量均无显著差异($P>0.05$), 各生育时段内日耗水量随生育过程呈由小到大再由大到小的变化趋势, 其峰值出现在吐丝—灌浆中期且高达 6.8~10.0 mm/d。灌水最少但产量最高的有限灌溉处理 MI₁ 全生育期蒸散量仅次于灌水较多的处理 MI₅。对照 CK 全生育期蒸散量远高于 MI₅, 增幅达 16.0%, 而以 MI₃ 最低。水分利用效率以 MI₁ 和 MI₃ 最高, 且与其他处理及对照间差异显著($P<0.05$)。水分利用效率以 MI₄ 最低, MI₁ 和 MI₃ 水分利用效率均比 MI₂、MI₄、MI₅ 和 CK 显著提高 19.3%, 34.1%, 15.3% 和 25.4%。MI₁ 与其他所有处理及对照间、MI₃ 与其他所有处理及对照间灌溉水利用效率差异显著, 且以灌水最少但产量最高的 MI₁ 最高, 以 MI₄ 最低。处理 MI₁ 灌溉水利用效率分别比 MI₂、MI₃、MI₄、MI₅ 及 CK 显著提高 35.1%, 14.6%, 61.0%, 36.7%, 48.4%, 而 MI₃ 比 MI₂、MI₄、MI₅、CK 分别显著提高 17.9%, 40.4%, 19.3%, 29.4%, MI₅ 比 MI₄ 则显著提高 17.7%。因此, 有限灌溉能提高绿洲玉米水分利用效率和灌溉水利用效率, 但有限灌溉对作物水分利用效率和灌溉水利用效率提高的促进作用并不具有稳定性。

关键词: 日耗水量; 蒸散量; 水分利用效率; 灌溉水利用效率; 春玉米; 有限灌溉; 荒漠绿洲

中图分类号: S513; Q945

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2016)05-0156-05

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2016.05.026

Effect of Limited Irrigation on Water Consumption and Water Use Efficiency of Spring Maize in Desert Oasis Field

ZHANG Hengjia, HUANG Caixia

(Department of Agricultural Water Resources Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070)

Abstract: In order to determine the effect of limited irrigation on water consumption and water use efficiency of spring maize field in newly cultivated sandy land in desert oasis of Hexi Corridor, the dynamics of soil moisture at various crop growth stages of maize were continuously monitored using soil neutron probe combined with drying-weighing method, and daily water consumption, soil evapotranspiration, and crop water use efficiency were also analyzed. The results indicated that no significant ($P>0.05$) difference was found in daily water consumption among treatments except during sowing to Five-leaves and jointing to booting, and daily water consumption varied from low to high then to low during plant growth, the maximum value appeared during silking to middle filling with 6.8 mm/d to 10.0 mm/d. The seasonal evapotranspiration (ET) in treatment MI₁ which yielded the highest under the least seasonal irrigation was slightly lower than in MI₅ under more irrigation water. Among all the treatments, the ET in CK was 16.0% higher than in MI₅, with the lowest in MI₃. Water use efficiency (WUE) of maize was the highest in MI₁ and MI₃, and there were significant ($P<0.05$) differences between these two treatments and the others. The lowest WUE was found in MI₄, and the WUE was significantly increased by 19.3%, 34.1%, 15.3%, and 25.4% both in MI₁ and MI₃ than in MI₂, MI₄, MI₅ and the CK. There were significant differences in the irrigation water use efficiency (IWUE) between MI₁ and the other treatments and CK, so were between MI₃ and the other treatments and CK. The highest IWUE occurred in MI₁ with the least seasonal irrigation but the highest grain yield, while the lowest IWUE appeared in MI₄. In all the treatments, IWUE was significantly improved by 35.1%, 14.6%, 61.0%, 36.7% and 48.4% in MI₁ than in MI₂, MI₃, MI₄, MI₅, and the CK respectively, and

收稿日期: 2016-04-06

资助项目: 甘肃省财政厅高校基本科研业务费项目(2012); 甘肃省教育厅高等学校研究生导师科研计划项目(1102-03)

第一作者: 张恒嘉(1974—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事农业水土资源高效利用研究。E-mail: zhanghj@gsau.edu.cn

IWUE was significantly improved by 17.9%, 40.4%, 19.3%, and 29.4% in MI₃ than in MI₂, MI₄, MI₅, and the CK, while 17.7% of IWUE was improved in MI₅ than in MI₄. Therefore, limited irrigation could improve WUE and IWUE of maize in oasis irrigation field. However, the effect of limited irrigation on WUE and IWUE improving was not absolutely stable.

Keywords: daily water consumption; evapotranspiration; water use efficiency; irrigation water use efficiency; spring maize; limited irrigation; desert oasis

我国是一个水资源相对贫乏的国家,而农业水资源短缺更是 21 世纪中国农业生产所面临的重大挑战和最大的生态问题^[1]。虽然我国水资源总量为 2.81×10¹² m³,居世界第 6 位,但人均水资源占有量仅为 2 317 m³,居世界第 109 位,仅及世界平均水平的 1/4,特别是我国北方地区水资源严重不足,仅占全国总量的 20%,水分不足已成为限制农业持续发展的主要原因。Kijne 等^[2-3]认为,解决水资源危机的关键是如何有效利用和管理有限的水资源。因而,作物水分利用研究可为通过合理灌溉措施提高作物水生产力奠定理论基础^[4]。

河西绿洲干旱区年降雨量(<140 mm)稀少,但蒸发量(>2 000 mm)极大,在该区有水即为绿洲,无水即变荒漠^[5]。绿洲严酷的水分环境条件要求农业生产必须在作物水分临界期进行限量灌水,这对作物产量和水分利用效率的提高至关重要。水分利用效率是作物产量和耗水量的函数,干旱条件下作物生长受到抑制,叶面积减小,株高降低,在作物需水关键期限量补充灌水后,虽然农田蒸散量增加,但因产量增幅更大而使作物水分利用效率仍维持在较高水平^[6]。事实上,作物水分利用具有较强的可塑性,有限灌溉不但能满足作物代谢需水,提高植物的抗逆性,还能通过诱导其补偿吸水特性而显著提高作物水分利用效率^[7-8]。有限灌溉的灌水时间对作物产量和水分利用效率也很关键。研究表明,拔节期、开花期和灌浆期增加少量灌水,可显著提高冬小麦产量^[9]。玉米拔节期干旱根系在深层土壤中分布较充分灌溉条件下大,可保证对深层土壤水分的充分吸收,后期灌水则延缓表层根系生长的衰退而产生明显的补偿效应,故拔节期干旱而抽雄期和灌浆期灌水将显著提高玉米的水分利用效率^[10]。因此,根据水与作物生长发育及产量形成的关系,通过有限水量在作物生长期间的最优化分配,提高有限水分向作物根系吸收转化和光合产物向经济产量转化的效率,可实现作物高产和高水分利用效率^[11-12],但这种供水方式能否降低作物耗水量和提高其灌溉水利用效率及其产生的作物用水差异仍值得进行探讨。

本研究以河西绿洲沙地有限灌溉春玉米日耗水量、农田蒸散量、作物水分利用效率、灌溉水利用效率及农田蒸散量与灌水量间的关系为主要研究内容,探

究有限灌溉对绿洲玉米农田水分利用的影响及其水分驱动机制,进而揭示玉米农田有限灌溉的节水增产作用机理。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

试区位于甘肃河西走廊中段临泽县北部(39°21'N, 100°07'E),海拔高度 1 367 m,绿洲外与巴丹吉林沙漠南缘相接,为典型沙漠绿洲,属大陆性干旱荒漠气候类型,全年日照时数 3 021 h,年太阳总辐射量 143 kJ/cm²。年均降水量 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,年日照时数 3 045 h;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;冻土深度 1.0 m 左右;干旱高温和多风为其主要气候特点。地带性土壤属灰棕荒漠土,为绿洲新垦沙地,不同土层深度土壤容重为:0—20 cm 为 1.46 g/cm³,20—40 cm 为 1.48 g/cm³,40—60 cm 为 1.56 g/cm³,大于 60 cm 为 1.53 g/cm³^[13]。2014 年玉米生长季降雨量 124.6 mm,多于多年平均降雨量(图 1)。

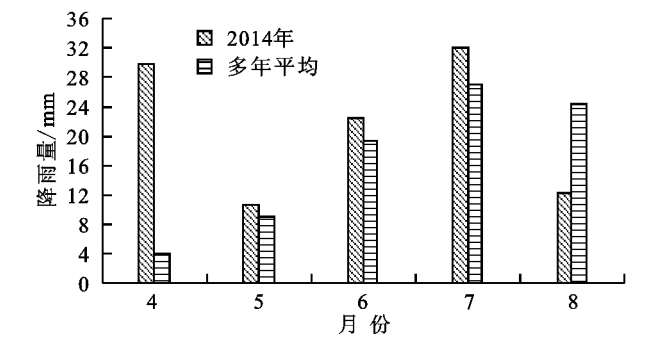


图 1 试验年份玉米生育期降雨量

1.2 试验设计

试验设 5 个处理,1 个对照,分别在玉米拔节、大喇叭口、孕穗、抽雄、吐丝、灌浆期限量灌水。有限灌溉处理各生育期灌水量依据当地玉米灌水实际确定;传统灌溉处理各生育期灌水量按当地玉米灌水量的上限确定,作为充分供水对照。本试验灌水方式均为畦灌,为当地常规灌溉方法,水表严格控制灌水量。玉米不

同处理及对照全生育期灌水量见表 1。试验每一处理及对照均重复 3 次,小区面积 70 m²(12.5 m×5.6 m),完全随机区组设计。供试春玉米为当地玉米主栽品种沈单 16 号,于 2013 年 10 月进行匀地,2014 年 3 月 30 日覆膜,4 月 5 日播种,膜内种植,播种密度为 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。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。玉米足墒播种,播前清除杂草,作物生长过程中进行中耕、人工除草,并及时防治病虫害。

表 1 玉米全生育期不同灌溉处理实际灌水量

灌水日期 (月-日)	生育期	灌水量/mm					
		MI ₁	MI ₂	MI ₃	MI ₄	MI ₅	CK
5-27	拔节期	102	117	102	117	117	147
6-08	大喇叭口期	93	99	75	90	90	120
6-22	孕穗期	93	90	75	90	90	120
7-12	抽雄期	90	90	120	120	150	150
7-28	吐丝期	90	90	120	120	150	150
8-09	灌浆初期	75	90	75	90	90	120
8-26	灌浆中期	75	90	75	90	90	90
全生育期		618	666	642	717	777	897

1.3 土壤水分测定

作物生长期间每隔 7 d 左右测定一次土壤水分,主要生育期和灌水后各加测 1 次,共分为 10 层测定:0—20 cm,20—40 cm,40—60 cm,60—80 cm,80—100 cm,100—120 cm,120—140 cm,140—160 cm,160—180 cm,180—200 cm。土壤容重采用环刀法测定,土壤含水量用中子仪结合烘干称重法测定,每个重复取 3 个样。其中 0—20 cm 土层用烘干称重法测定,最后换算成体积含水量;20—40,40—60,60—80,80—100,100—120,120—140,140—160,160—180 cm 土层均采用中子仪法测定。

1.4 相关指标计算

试验条件下,蒸散量 *ET* 可用如下水量平衡方程计算^[14]:

$$ET=\Delta W+I+P-Dr$$

式中:*ET* 为蒸散量(mm); ΔW 为 2 次土壤水分测定期土壤贮水的改变量(mm);*I* 为灌水量(mm);*P* 为有效降雨量(mm);*Dr* 为作物根区土壤水分垂直交换量(mm)。

配对样本 *T* 检验结果表明,试验条件下 160—180 cm 土层土壤含水量与 140—160 cm 土层不存在显著差异(*P*>0.05),因此本研究中 *Dr* 可忽略不计,且以上各项计算深度均可取 160 cm。

玉米水分利用效率 WUE(kg/m³)以籽粒产量 *Y* (kg/hm²)与蒸散量 *ET*(m³/hm²),由 *ET* 的 mm 数换算而来)之比进行计算:

$$WUE=\frac{Y}{ET}$$

玉米灌溉水利用效率 IWUE(kg/m³)以籽粒产量 *Y*(kg/hm²)与全生育期灌溉量 *IR*(m³/hm²),由 *IR* 的 mm 数换算而来)之比进行计算:

$$IWUE=\frac{Y}{IR}$$

1.5 数据分析

采用 Microsoft Office Excel 2007 处理试验数据并绘图,用 DPS 软件对所得数据进行方差分析和回归分析(*P*<0.05)。

2 结果与分析

2.1 春玉米不同灌溉处理日耗水量

整个生育期除播种—五叶期和拔节—孕穗期外,所有灌溉处理及对照间日耗水量均无显著差异(*P*>0.05,表 2)。各生育时段内日均耗水量随生育进程呈由小到大再由大到小的变化趋势,日耗水量峰值出现在吐丝—灌浆中期,其值高达 6.8~10 mm/d。播种—五叶期,由于玉米叶片数少,叶面积也小,日均气温 10.4 ℃,这种情况下株体蒸腾强度低,日耗水量也较小,在 1.2~2.6 mm/d 之间。此期以后,随着气温的升高和株体的生长发育,玉米快速增高,叶片数增多,叶片扩展,叶面积系数迅速增大,白天气温也持续高温,促使棵间蒸发和植株蒸腾均快速达到高峰,各阶段日耗水量也迅速增加并达到最大值。五叶—拔节期日耗水量均稳定在 5.0~5.9 mm/d 之间,拔节—孕穗期在 5.4~8.5 mm/d 之间,孕穗—吐丝期维持在 5.1~7.0 mm/d 之间,吐丝—灌浆中期高达 6.8~10.0 mm/d。灌浆中期以后,玉米叶面积系数迅速减小,气温也逐渐下降,到 9 月上、中旬,日耗水量降至 2.5~3.6 mm/d 范围内。

2.2 农田蒸散量

玉米播种时各处理间土壤储水量有一定差异(表 3),这可能与上年度 10 月份晚秋季储水灌溉有关。全生育期土壤储水消耗量以灌水最少的处理 MI₁ 最大,高达 113.2 mm,以处理 MI₄ 最少,仅为 65.1 mm。MI₁ 全生育期蒸散量达 812 mm,仅次于灌水较多的处理 MI₅。充分灌溉的对照 CK 由于灌水最多且土壤储水量消耗也较多(97.2 mm),全生育期蒸散量最高,达 994 mm,远高于处理 MI₅,其增幅达

16.0%，而处理 MI₃ 灌水量略高于处理 MI₁ 但全生育期蒸散量最低(737 mm)。有限灌溉处理 MI₁、MI₂、MI₃、MI₄、MI₅ 全生育期蒸散量分别比对照 CK 降低 18.3%，22.3%，25.9%，21.3%，13.8%。

表 2 春玉米不同灌溉处理日耗水量 mm/d

处理	播种—五叶	五叶—拔节	拔节—孕穗	孕穗—吐丝	吐丝—灌浆中期	灌浆中期—成熟
MI1	2.62	4.97	5.39	5.12	6.80	3.08
MI2	2.32	4.77	5.99	5.25	7.15	3.56
MI3	2.19	5.87	3.84	6.26	8.08	2.53
MI4	1.19	5.43	5.81	6.40	7.71	2.86
MI5	1.38	5.68	5.44	6.96	9.19	3.44
CK	1.62	5.50	8.50	6.87	9.95	3.38
LSD($P=0.05$)	$P<0.05$	n. s.	$P<0.05$	n. s.	n. s.	n. s.

注:n. s. 表示处理间差异不显著($P<0.05$)。

表 3 玉米不同灌溉处理农田蒸散量(ET)、水分利用效率(WUE)和灌溉水利用效率(IWUE)

处理	土壤储水及变化量/mm			灌溉定额/	降雨量/	ET/	WUE ^A /	IWUE ^B /
	播种	收获	变化量	mm	mm	mm	($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
MI1	260.6	147.4	113.2	618	80.5	812	1.73a	2.27a
MI2	244.2	138.3	105.8	666	80.5	772	1.45b	1.68c
MI3	246.3	151.3	95.0	642	80.5	737	1.73a	1.98b
MI4	234.1	168.9	65.1	717	80.5	782	1.29b	1.41d
MI5	239.3	159.5	79.9	777	80.5	857	1.50b	1.66c
CK	249.9	152.6	97.2	897	80.5	994	1.38b	1.53c

注:A、B 数值为每个处理 3 次重复的平均值。同列字母不同表示试验年度处理间在 $P<0.05$ 水平上差异显著。

2.3 作物水分利用效率

玉米全生育期水分利用效率以灌水最少但籽粒产量最高的有限灌溉处理 MI₁ 和 MI₃ 最高,均为 1.73 kg/m³,与其他处理及对照间差异显著($P<0.05$,表 3)。水分利用效率以处理 MI₄ 最低,仅为 1.29 kg/m³。处理 MI₁ 和 MI₃ 水分利用效率均分别比 MI₂、MI₄、MI₅ 和传统充分灌溉对照 CK 显著提高 19.3%,34.1%,15.3%和 25.4%,但处理 MI₂、MI₄、MI₅、CK 间水分利用效率无显著差异($P>0.05$)。

2.4 作物灌溉水利用效率

有限灌溉处理 MI₁ 与其他所有处理及对照间、MI₃ 与其他所有处理及对照间全生育期灌溉水利用效率差异显著($P<0.05$),且以灌水最少但籽粒产量最高的有限灌溉处理 MI₁ 最高,达 2.27 kg/m³,但以 MI₄ 灌溉水利用效率最低,仅为 1.41 kg/m³(表 3)。在所有处理中,MI₁ 灌溉水利用效率分别比 MI₂、MI₃、MI₄、MI₅ 及传统灌溉对照 CK 显著提高35.1%,14.6%,61.0%,36.7%,48.4%,而 MI₃ 比 MI₂、MI₄、MI₅、CK 分别提高 17.9%,40.4%,19.3%,29.4%,MI₅ 比 MI₄ 则显著提高 17.7%。

2.5 农田蒸散量与灌水量的关系

2.5.1 农田蒸散量与全生育期灌水量 将玉米全生育期蒸散量(Y)与全生育期灌水量(x)进行回归分析,发现两者之间关系用指数方程 $y=425.41e^{0.0009x}$ ($R^2=0.8007$, $P<0.05$)模拟较好,表明有限灌溉条件下绿洲新垦沙地玉米在灌水量较低时,全生育期蒸散量变化不大,但当灌水量超过 750 mm 时,蒸散量将快速增加。

2.5.2 农田蒸散量与阶段灌水量 全生育期蒸散量(Y)与各生育阶段灌水量(x)的回归分析发现,玉米全生育期蒸散量与拔节期、大喇叭口期、孕穗期、灌浆初期等生育阶段的灌水量间均呈线性正相关关系:(1)拔节期, $y=4.8778x+254.97(R^2=0.7620$, $P<0.05)$;(2)大喇叭口期, $y=5.3553x+319.59(R^2=0.7440$, $P<0.05)$;(3)孕穗期, $y=5.8694x+279.81(R^2=0.8826$, $P<0.01)$;(4)灌浆初期, $y=4.8778x+386.67(R^2=0.7620$, $P<0.05)$ 。因此,随着以上各阶段灌水量的增加,玉米全生育期蒸散量也呈线性增加趋势。

3 讨论

玉米日耗水过程线总体上呈前期耗水强度小,中期逐渐变大,后期又减少的趋势^[15]。也有研究认为,玉米需水高峰期为拔节—抽穗阶段,其最大日耗水量达 4.5~7.0 mm/d^[16]。本研究发现,玉米各生育时段内日均耗水量随生育过程呈由小到大再由大到小的变化趋势,其峰值出现在吐丝—灌浆中期,高达 6.8~10.0 mm/d,与前者结论基本相同,但与后者最大日耗水量出现在拔节—抽穗期的结论略有不同,可能是因为已有研究是横跨我国东北的半干旱地区和西北的干旱地区 2 个气候区所得结果,本研究则以西北干旱内陆河流域的河西走廊荒漠绿洲为研究对象,故区域性差异是导致上述结论不尽相同的主要原因。就灌溉方式而言,本研究玉米拔节期灌水之前,五叶—拔节期有限灌溉处理与传统充分灌溉对照之间日耗水量无显著差异,但自拔节期实施有限灌溉之后,拔节—孕穗期有限灌溉日耗水量显著低于传统灌

溉 29.5%~54.8%,吐丝—灌浆中期低于传统灌溉 7.6%~31.7%,孕穗—吐丝期和灌浆中期—成熟期基本仍以传统灌溉日耗水量最高,说明有限灌溉可提高作物用水的有效性。

灌水量是影响蒸散量(耗水量)的决定性因子之一,在相同灌溉模式下,玉米蒸散量随灌溉水平的提高呈增加趋势,高灌溉水平玉米蒸散量比低、中灌水处理增加 9.8%~33.0%^[17]。本研究中,有限灌溉全生育期蒸散量比传统充分灌溉降低 13.8%~25.9%,说明有限灌溉能降低玉米农田蒸散量,在很大程度上避免了作物因“奢侈蒸腾”而产生的水分浪费,可作为促进作物合理利用有限水分的重要措施之一。但不同有限灌溉处理作物蒸腾的有效水量占全生育期总蒸散量的比重,尚需作进一步的量化研究。在所有处理中,全生育期灌水最少但产量、水分利用效率和灌溉水利用效率均最高的有限灌溉处理 MI₁,全生育期蒸散量仅低于传统充分灌溉对照 18.3%,这与拔节期的限量灌水提高了蹲苗的效果有关,虽然该处理拔节期和全生育期灌水最少,但由于这种灌水方式促进了深层根系的生长和延缓了表层根系的衰退^[10],因而作物利用深层次的土壤水分较多,表明有限灌溉有利于作物更加充分有效地利用深层次的土壤水分,从而提高作物生长后期的抗旱能力。

作物水分利用效率提高的重要原因之一是有限灌溉提高了作物对水分利用的有效性及水分运转效率。拔节期干旱而抽雄和灌浆期有限灌水可显著提高玉米水分利用效率,原因是拔节期水分亏缺因增加玉米根系深层分布而显著提高其水分利用效率,但抽雄期和灌浆期水分亏缺将加剧玉米根系的衰退而降低其产量和水分利用效率^[10]。本试验表明,玉米对不同生育时期有限灌溉的水分响应较为一致,其全生育期水分利用效率和灌溉水利用效率比传统灌溉分别提高 5.1%~25.4%(MI₁ 降低 6.5%)和 8.5%~48.4%(MI₄ 降低 7.8%),说明有限灌溉可促进作物水分利用效率和灌溉水利用效率的提高,但并非具有稳定的提高作用。分析有限灌溉处理和传统充分灌溉处理中玉米水分利用效率和灌溉水利用效率的差异后不难发现,产量差异是造成有限灌溉水分利用效率和灌溉水利用效率低下的外在表现,但与传统灌溉一样,MI₁ 处理的总供水量过高且为长期高水分处理在很大程度上限制了有限灌溉优势的发挥,从而导致作物生长发育受阻并降低其生产力则是水分利用效率和灌溉水利用效率低下的内在原因^[18]。所以,生产实践中确定了有限灌溉的灌水时间以后,进一步明确有限灌溉的灌水定额界限,将有利于降低有限灌溉的灌水风险,充分发挥其增效优势,因而灌水定额界限的确定及其影响机制也是深入

研究有限灌溉理论的一个重要方向。

灌溉量是衡量水分投入量的标志。已有研究表明^[19],宁夏扬黄新灌区非充分灌溉春小麦全生育期蒸散量与全生育期灌水量之间的关系可用 $y = 669.0619e^{-269.1909/x}$ ($R^2 = 0.7744$, $P < 0.05$) 来描述:随着全生育期灌水量的增大,全生育期蒸散量逐渐增大,当灌水量增大到一定量后蒸散量不再增加,因蒸散量增大主要受蒸发耗水增加的影响,因而蒸散量曲线右半部分增长变缓且基本呈线性增加。本研究则发现,有限灌溉条件下绿洲新垦沙地春玉米全生育期蒸散量与全生育期灌水量呈指数关系 $y = 425.41e^{0.0009x}$ ($R^2 = 0.8007$, $P < 0.05$),说明有限供水玉米在灌水量较低时,全生育期蒸散量变化不大,但当灌水量超过 750 mm 时,蒸散量将快速增加。这一结论与前人研究结论不太一致,可能与本研究作物种类和立地条件及灌水方式与以往研究存在较大差异有关。

4 结论

利用中子仪结合烘干称重法连续监测了河西走廊荒漠绿洲有限灌溉春玉米农田土壤水分动态和作物生长过程,分析了玉米日耗水量动态与土壤蒸散及作物水分利用效率。主要研究结论如下:

(1)玉米各生育时段内日耗水量随生育进程呈由小到大再由大到小的变化趋势,其峰值出现在吐丝—灌浆中期。拔节—孕穗期和吐丝—灌浆中期有限灌溉玉米日耗水量分别低于传统充分灌溉 29.5%~54.8%和 7.6%~31.7%,孕穗—吐丝期和灌浆中期—成熟期基本仍以传统灌溉日耗水量最高。

(2)有限灌溉处理 MI₁、MI₂、MI₃、MI₄、MI₅ 玉米全生育期蒸散量分别比传统充分灌溉降低 18.3%, 22.3%, 25.9%, 21.3%, 13.8%。有限灌溉条件下,玉米全生育期水分利用效率和灌溉水利用效率分别比传统灌溉提高 5.1%~25.4%(MI₄ 处理降低 6.5%)和 8.5%~48.4%(MI₄ 处理降低 7.8%)。

(3)有限灌溉能提高玉米水分利用效率和灌溉水利用效率,但有限灌溉对作物水分利用效率和灌溉水利用效率提高的促进作用并不具有稳定性,其灌水定额界限及其影响机制尚需做更深入的研究。

参考文献:

- [1] 赵文智,常学礼,何志斌,等. 额济纳荒漠绿洲植被生态需水量研究[J]. 中国科学: D 辑, 2006, 36(6): 559-566.
- [2] Kijne J W, Barker R, Molden D. Water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvement [M]. USA: Cambridge, MA. 2003.
- [3] Kijne J W, Tuong T P, Bennett J, et al. Ensuring food security via in improvement crop water productivity [M]. Colombo, Sri Lanka. 2003.