

不同灌水量对绿洲玉米叶面积动态及产量的影响

黄彩霞, 张恒嘉

(甘肃农业大学 工学院 农业水利工程系, 甘肃 兰州 730070)

摘 要:以河西绿洲春玉米为研究对象,分析了不同灌水量对玉米全生育期叶面积动态、产量及产量构成要素的影响。结果表明:不同灌水处理玉米单株叶面积在灌浆初至灌浆中期达到高峰,且稳定期持续至灌浆末期,此后单株叶面积衰减较快。进入灌浆期以后,不同灌水处理玉米叶面积相对生长率已开始出现负值,叶面积已有开始衰减迹象。与充分灌水相比,有限灌水不仅显著节水31.1%,还可使玉米产量提高2.9%,而有限灌水粒重、行粒数和穗粒数的增加则是玉米节水高产的主要原因。因此,不同灌水量显著影响玉米叶面积生长和产量形成过程,生产中应侧重通过前期有限水分亏缺(拔节期中度水分调亏而大喇叭口-孕穗期轻度调亏)产生的后补偿效应促进生育中后期叶面积的持续稳定发展,从而实现玉米高产和水分高效利用的双赢。

关键词:叶面积;产量;灌水量;春玉米;河西绿洲

中图分类号:S513;S275

文献标识码:A

文章编号:1672-643X(2016)04-0229-04

Effect of different irrigation amounts on leaf area dynamics and grain yield of spring maize (*Zea mays*) in oasis region

HUANG Caixia, ZHANG Hengjia

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

Abstract: An experiment was conducted to explore the effect of different irrigation amounts on leaf area dynamics and grain yield of spring maize in oasis of Hexi corridor. The results showed that the leaf area per plant gets to peak during early filling to middle filling and stably kept to the end of filling, after that it attenuates quickly. The negative relative growth rate of leaf area appears since early grain filling and accordingly the leaf area attenuation gradually appears. Compared to the full irrigation, the efficient limited irrigation can save 31.1% of water and enhance 2.9% of yield. The increase of grain weight, row grain number, and spike grain number by the efficient limited irrigation are the main reasons of high yield and water saving for maize. Therefore, the different irrigation amounts greatly affect the leaf area and yield formation of maize. Therefore, special emphasis should be laid on promoting sustainable development of leaf area during middle to late crop growth stages through supplementary effect caused by limited water deficit at early stages (moderate water deficit regulation at jointing while mild deficit regulation from bell stage to booting of maize) so as to get both high yield and high efficient water use of oasis maize.

Key words: leaf area; grain yield; irrigation amount; spring maize; Hexi oasis

不同灌水量对作物生长和产量形成过程有重要影响^[1-3]。研究表明,苗期经受干旱胁迫后复水可使玉米叶片水分状况得到改善并在较长时间内保持较强的渗透调节能力,有利于叶片的延伸生长,且在

气孔运动、光合、蒸腾等生理代谢方面表现出有利于植株生长的优势^[1]。拔节期干旱玉米根系在深层土壤中分布较充分灌水条件下大,可保证作物对深层土壤水分的充分吸收,而后期灌水则延缓表根

收稿日期:2016-03-11; 修回日期:2016-05-30

基金项目:甘肃省高等学校基本科研业务费项目(2012);甘肃农业大学工学院青年教师科技创新基金项目(GXY2013-09);甘肃省高等学校研究生导师科研计划项目(1102-03)

作者简介:黄彩霞(1980-),女,甘肃靖远人,在读博士,讲师,主要从事水资源利用与节水灌溉技术研究。

通讯作者:张恒嘉(1974-),男,甘肃天水人,博士,教授,博士生导师,主要从事农业水土资源高效利用研究。

系生长的衰退,产生明显的补偿效应^[4]。旱后复水可使苗期受旱玉米叶面积和根系生长发育都恢复到或接近充分供水的植株生长水平,而产量及其构成因子与充分供水接近^[5]。因此,干旱条件下作物生长受到抑制,叶面积减小,在玉米需水关键期限量灌水可不仅促进作物叶面积增加^[6],穗粒重、千粒重、穗粒数等也显著增加,产量增幅显著^[7-8]。为此,本研究比较分析不同灌水量对春玉米全生育期叶面积动态和产量及其构成要素的影响,以期为该区玉米农田有限灌溉制度的合理制定提供科学依据。

1 试验材料与方法

1.1 区域概况

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,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℃,最高和最低气温为 39.1℃和 -27℃,≥10℃的年积温为 3 088℃,无霜期 105 d,年均日照时数 3 045 h。试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。土壤类型为灰棕荒漠土,0~20、20~40、40~60 cm 及 60 cm 以下土层土壤容重分别为 1.46、1.48、1.56 和 1.53 g/cm³,0~60 cm 土层田间持水量为 21.5%。2014 年玉米生长季降雨量 124.6 mm(图 1)。

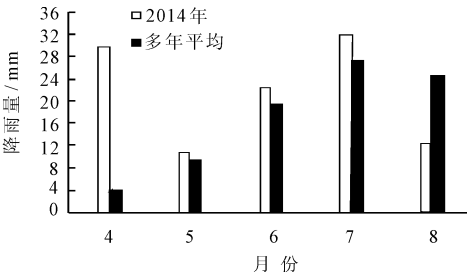


图 1 试验年度春玉米生育期内降雨量

1.2 试验设计方法

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。各处理不同生育期灌水量依据当地玉米灌水实际确定,传统灌水处理各生育期灌水量按当地玉米灌水量的上限确定,作为充分灌水对照。本试验灌水方式为畦灌,系当地常规灌水方法,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。试验春玉米为当地主栽品种沈单 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/ha。播前底肥施纯氮 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人工间苗,分别在拔节和孕穗期追施纯氮 48 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 春玉米不同处理灌水量

灌水时期	灌水量/mm					
	MI ₁	MI ₂	MI ₃	MI ₄	MI ₅	CK
拔节期	102	117	102	117	117	147
大喇叭口期	93	99	75	90	90	120
孕穗期	93	90	75	90	90	120
抽雄期	90	90	120	120	150	150
吐丝期	90	90	120	120	150	150
灌浆初期	75	90	75	90	90	120
灌浆中期	75	90	75	90	90	90
全生育期	618	666	642	717	777	897

1.3 测定项目

1.3.1 土壤水分 作物生育期内每隔 7 d 左右测定一次 0~160 cm 土壤含水率,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 cm 以下土层采用中子仪测定。

1.3.2 叶面积 在六叶、拔节、抽雄、吐丝、灌浆和成熟期用 LAI-2000 叶面积仪测定玉米叶面积。取样样方大小为 1 m 长 3 行,每小区 3 个样,取其平均值。

1.3.3 产量及其构成要素 玉米成熟时各小区均单独收获,脱粒、晒干并计产,各处理产量为 3 个重复小区产量的平均值。同时取样 10 株测定穗行数,行粒数,穗粒数,粒重等产量构成要素。

1.4 数据分析

试验数据用 SPSS18.0 软件进行相关性分析,并用 LSD 多重比较法比较分析数据差异的显著性($p < 0.05$)。各图表中的数据均为三次重复的平均值。

2 试验结果与分析

2.1 单株叶面积

限量灌水可导致玉米单株叶面积急剧下降^[6]。在中度干旱胁迫下,除孕穗期外,玉米拔节、大喇叭口

和抽雄吐丝期叶片数及叶面积均少于正常供水,拔节至灌浆初期干旱影响玉米叶片生长及叶片功能发挥^[9-10]。

本研究表明,不同灌水处理单株叶面积灌浆初至灌浆中期达到高峰,且稳定期持续至灌浆末期,此后单株叶面积衰减较快(表 2)。抽雄-成熟期各处理单株叶面积比较稳定,持续时间较长,有利于干物质

的积累,尤以灌水量最小的 MI₁ 处理单株叶面积发展最为稳定,表明如果水分管理适当,有限灌水能够促进玉米生育中后期叶片生长和单株叶面积增加。灌水最多的对照 CK 灌浆初期单株叶面积最大,但衰减也最为迅速,影响了后期群体生产力的增加。除灌浆初期和灌浆中期外,其他所有生育期各灌水处理间单株叶面积差异均不显著($p > 0.05$)。

表 2 玉米不同灌水处理单株叶面积变化动态

处理	单株叶面积/cm ²							
	六叶期	大喇叭口期	抽雄期	吐丝期	灌浆初期	灌浆中期	灌浆末期	成熟期
MI ₁	137a	1545a	4299a	5116a	5547ab	5664ab	5498a	4316a
MI ₂	155a	2280a	3938a	4934a	5124b	5472ab	5398a	4420a
MI ₃	143a	1988a	4749a	4998a	5148b	5137b	5134a	4482a
MI ₄	193a	1925a	4964a	5101a	5277b	6218a	5514a	4924a
MI ₅	158a	2191a	4645a	5590a	6201a	5550ab	5216a	4946a
CK	183a	1867a	4662a	5326a	6236a	6094a	4986a	4615a

灌浆初期,灌水最多的对照 CK 和 MI₅ 处理单株叶面积与处理 MI₂、MI₃、MI₄ 间存在显著差异($p < 0.05$),但与处理 MI₁ 差异不显著($p > 0.05$),且处理 MI₂、MI₃、MI₄ 间及 MI₅ 与 CK 间单株叶面积也不存在显著差异。其中 MI₅ 处理单株叶面积分别比 MI₂、MI₃、MI₄ 增加 21.0%、20.5%、17.5%,对照 CK 则分别增加 21.7%、21.1%、18.2%。灌浆中期,MI₄ 处理和对照 CK 单株叶面积分别比 MI₃ 处理显著增加 21.0% 和 18.6%,但与其他处理间差异均不显著。

2.2 叶面积相对增长率

植物在生长过程中,开始时的株体越重,生产效率越高,则所形成的干物质也越多,用于下一步形成干物质的主体也就越大。相对增长率所表示的就是作物单位时间内单位干物质或叶面积的增长速率

(生长速率),即表示干物质的生产能力。不同灌水处理及对照玉米叶面积相对生长率最大值出现在“六叶-大喇叭口期”,约为 0.1 m²/(m⁻²·d⁻¹)(表 3),其次为“大喇叭口-抽雄期”,但远低于前一时期,其它几个时期叶面积相对生长率非常小。玉米灌浆初-灌浆末期多数处理叶面积相对生长率出现一个极小的负值,而灌浆末期-成熟期所有处理叶面积相对生长率均为负值且显著负增长,表明进入灌浆期以后不同灌水处理及对照玉米叶面积已有开始衰减的迹象,光合同化作用亦开始逐渐减弱,而灌浆结束以后所有灌水处理叶面积均衰减严重,光合同化作用显著减弱,产量形成过程基本停止。但就全生育期平均值而言,不同灌水处理及对照间叶面积相对生长率没有明显差异,灌水对叶面积相对生长率没有显著影响。

表 3 玉米不同灌水处理叶面积相对生长率

处理	叶面积相对生长率/(m ² ·m ⁻² ·d ⁻¹)						
	六叶-大口	大口-抽雄	抽雄-吐丝	吐丝-灌浆初	灌浆初-灌浆末	灌浆末-成熟	平均
MI ₁	0.097	0.034	0.010	0.006	-0.0005	-0.0242	0.020
MI ₂	0.108	0.018	0.013	0.003	0.0026	-0.0199	0.021
MI ₃	0.105	0.029	0.003	0.002	-0.0002	-0.0136	0.021
MI ₄	0.092	0.032	0.002	0.003	0.0022	-0.0113	0.020
MI ₅	0.105	0.025	0.010	0.008	-0.0087	-0.0053	0.022
CK	0.093	0.031	0.007	0.012	-0.0112	-0.0077	0.021

2.3 作物产量

全生育期充分灌水的对照 CK 玉米产量分别比限量灌水处理 MI₂、MI₃、MI₄、MI₅ 增加 22.7%、7.8%、35.6%、6.6%,但比 MI₁ 处理降低 2.3%(表 4),而 CK 全生育期灌水量则分别比 MI₁、MI₂、MI₃、MI₄、MI₅ 增加 45.1%、34.7%、39.7%、25.1%、15.4%(表 1)。因此,与充分灌水相比,其他灌水处理均具有显著的节水效果,但除 MI₁ 处理外产量却均有不同程度的降低,而 MI₁ 处理不仅显著节水 31.1%,还可使玉米产量提高 2.9%。回归分析表明,本研究玉米产量与灌水量呈倒 V 字型关系,产量起初随灌水量的增加而减少,之后又随灌水量的增加而增大,在有限灌溉且灌水量最少时(MI₁)产量最高,达到 14 100 kg/hm²,反而高于充分灌溉时(CK)的产量,其回归方程为: $y = 0.0001 x^2 - 0.1926x + 83.228 (R^2 = 0.5329)$ 。研究表明,与充分灌水相比较,有限灌水玉米产量降幅不大,水分利用率却显著提高,表现出需水关键期有限水分供给的高效性^[11-12],这与本试验上述 MI₁ 处理相关研究结论一致,可能与作物不同生育期均实施轻度控水有关^[13]。因此,在水分为首要限制因子的绿洲农业区,充分灌水难以同时达到作物高产和节水,而不同生育期灌水的合理控制则有利于这一目标的实现。

表 4 玉米产量及其构成要素

处理	产量/ 10 ³ (kg · hm ⁻²)	公顷穗数/ 10 ³ hm ⁻²	穗行数	行粒数	穗粒数	粒重/ (g · grain ⁻¹)
MI ₁	14.1a	75.65a	15.4a	33.5a	513ab	0.36a
MI ₂	11.2b	73.57a	15.3a	30.1ab	459b	0.33ab
MI ₃	12.7ab	78.18a	15.4a	31.1ab	477b	0.34ab
MI ₄	10.1bc	78.80a	15.6a	29.4b	458b	0.28c
MI ₅	12.9ab	79.14a	15.4a	33.0a	508ab	0.32b
CK	13.7a	78.66a	15.8a	34.5a	547a	0.32b

2.4 产量构成要素

不同灌水处理间玉米公顷穗数和穗行数差异均不显著($p > 0.05$,表 4),说明灌水量不是影响绿洲玉米穗数和穗行数的主要因素,但灌水对玉米行粒数、穗粒数和粒重均有一定程度的影响。与对照 CK 相比,灌水处理 MI₄ 行粒数、穗粒数和粒重分别显著($p < 0.05$)减少 14.8%、16.3% 和 12.5%,MI₂、MI₃ 穗粒数显著减少 16.1%、12.8%,MI₁ 粒重显著增加 12.5%,但其他所有灌水处理间及其与对照间行粒数、穗粒数和粒重均无显著差异。因此,MI₁ 处理不同生育期合理的灌水控制促进了玉米粒重、行粒数

和穗粒数增加尤其粒重的显著增加^[2,14],为该处理比充分灌水对照产量提高并显著节水的主要原因。回归分析表明,玉米产量与其构成要素间的关系可描述为:

产量 = -47.847 + 0.137 公顷穗数 + 1.6 穗行数 + 0.828 行粒数 - 2.61e⁻²穗粒数 + 34.869 粒重 ($R^2 = 1, p < 0.001$)。

3 结 论

本文以河西绿洲春玉米为研究对象,分析了不同灌水量对玉米全生育期叶面积动态、产量及产量构成要素的影响。主要结论如下:

- (1)不同灌水量对绿洲春玉米叶面积生长和产量形成均有重要影响。不同灌水处理玉米单株叶面积灌浆初至灌浆中期达到高峰,且稳定期持续至灌浆末期,此后单株叶面积衰减较快。
- (2)叶面积相对生长率分析结果表明,进入灌浆期以后,不同灌水处理及对照玉米叶面积已有开始衰减的迹象,光合同化作用亦开始逐渐减弱,而灌浆结束以后所有灌水处理叶面积均衰减严重,光合同化作用显著减弱,产量形成过程基本停止。
- (3)与充分灌水相比,有限灌水不仅显著节水 31.1%,还可使玉米产量提高 2.9%,而有限灌水粒重、行粒数和穗粒数的增加则是玉米节水高产的主要原因。因此,不同灌水量显著影响玉米叶面积生长和产量形成过程,生产中应侧重通过前期有限水分亏缺(拔节期中度水分调亏而大喇叭口-孕穗期轻度调亏)产生的后补偿效应促进生育中后期叶面积的持续稳定发展,从而实现玉米高产和水分高效利用的双赢。

参考文献:

[1] Kang S, Shi Wenjuan, Zhang Jianhua. An improved water use efficiency for maize grown under regulated deficit irrigation[J]. Field Crops Research, 2000, 67(3): 207-214.

[2] 苏培玺, 杜明武, 赵爱芬, 等. 荒漠绿洲主要作物及不同种植方式需水规律研究[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(2): 79-85.

[3] Oktem A, Simsek M, Oktem A G. Deficit irrigation effects on sweet corn with drip irrigation in a semi-arid region. I. Water yield relationship[J]. Agriculture Water Management, 2003, 61(1): 63-74.

- eration of capture zones: classical versus Bayesian approach [J]. *Journal of hydrology*, 2003, 281(4): 313–324.
- [5] 施小清, 姜蓓蕾, 卞锦宇, 等. 以地质统计方法推估上海第三承压含水层渗透系数的分布[J]. *工程勘察*, 2009(1): 36–41.
- [6] 陈鲁, 龚方方. 含水层渗透结构的三维地质建模概述[J]. *水科学与工程技术*, 2012(3): 71–73.
- [7] 王雅春, 王璐. 地质统计学反演在杏北西斜坡区储层预测中的应用[J]. *地球物理学进展*, 2013, 28(5): 2554–2560.
- [8] 梁婕. 基于不确定理论的地下水溶质运移及污染风险研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2009.
- [9] Indelman P, Lessoff S C, Dagan G. Analytical solution to transport in three-dimensional heterogeneous well capture zones[J]. *Journal of contaminant hydrology*, 2006, 87(1): 1–21.
- [10] Kübert M, Finkel M. Contaminant mass discharge estimation in groundwater based on multi-level point measurements: A numerical evaluation of expected errors[J]. *Journal of contaminant hydrology*, 2006, 84(1): 55–80.
- [11] Delhomme J P. Kriging in the hydrosociences[J]. *Advances in water resources*, 1978, 1(5): 251–266.
- [12] Severino G, Cvetkovic V, Coppola A. Spatial moments for colloid-enhanced radionuclide transport in heterogeneous aquifers[J]. *Advances in water resources*, 2007, 30(1): 101–112.
- [13] 刘春学, 倪春中, 燕永锋, 等. 利用地质统计学方法模拟岩石裂隙网络的三维空间分布——以云南个旧高松矿田为例[J]. *地球学报*, 2013, 34(3): 347–353.
- [14] 吴晓艳, 熊正为, 彭小勇, 等. 参数随机模拟在地下水溶质运移数值模拟中的应用[J]. *水资源与水工程学报*, 2012, 23(6): 58–61.
- [15] 岳松梅, 杨蕴, 吴剑锋, 等. 基于不同地质统计方法的渗透系数场对污染物运移的影响[J]. *地下水*, 2014, 36(4): 10–14.
- [16] 胡斌, 程丽蓉, 丁爱中, 等. 指示点法在地下水数值反演模型中的应用[J]. *工程勘察*, 2015(2): 39–45+51.
- [17] 赵彦锋, 孙志英, 陈杰. Kriging 插值和序贯高斯条件模拟算法的对比分析[J]. *地球信息科学学报*, 2010, 12(6): 767–776.
- [18] 李晓晖, 袁峰, 贾蔡, 等. 基于地统计学插值方法的局部奇异性指数计算比较研究[J]. *地理科学*, 2012, 32(2): 136–142.

(上接第 232 页)

- [4] 张岁岐, 周小平, 慕自新, 等. 不同灌溉制度对玉米根系生长及水分利用效率的影响[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(10): 1–6.
- [5] 刘庚山, 郭安红, 任三学, 等. 夏玉米苗期有限水分胁迫拔节期复水的补偿效应[J]. *生态学杂志*, 2004, 23(3): 24–29.
- [6] 杨国航, 刘鹏, 赵久然. 限制灌水对玉米品种叶片、根系等的影响[J]. *中国农学通报*, 2009, 25(20): 306–310.
- [7] Zhang Buchong, Li Fengmin, Huang Gaobao, et al. Yield performance of spring wheat improved by regulated deficit irrigation in an arid area[J]. *Agricultural Water Management*, 2006, 79(1): 28–42.
- [8] Zhang Buchong, Huang Gaobao, Li Fengmin. Effects of limited single irrigation on yield of winter wheat and spring maize relay intercropping[J]. *Pedosphere*, 2007, 17(4): 529–537.
- [9] 杨国虎, 李建生, 罗湘宁, 等. 干旱条件下玉米叶面积变化及地上干物质积累与分配的研究[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2005, 33(5): 27–32.
- [10] 袁玉清, 赵致, 施关正. 干旱胁迫对玉米杂交组合叶片数和叶面积及生物产量的影响[J]. *安徽农业科学*, 2008, 36(25): 10763–10765.
- [11] 李兴, 史海斌, 程满金, 等. 集雨补灌对玉米生长及产量的影响[J]. *农业工程学报*, 2007, 23(4): 34–38.
- [12] 马兰忠, 程满金, 冯婷, 等. 玉米集雨补灌灌溉制度试验研究[J]. *四川水利*, 2004(Z1): 31–36.
- [13] 张健, 池宝亮, 黄学芳, 等. 春玉米不同灌溉定额条件下抗旱指数的运用研究[J]. *玉米科学*, 2007, 15(5): 104–107+110.
- [14] 潘菊梅, 李辛村, 李涛, 等. 灌溉对粮饲兼用玉米根系分布及产量影响[J]. *干旱区资源与环境*, 2012, 26(11): 200–203.