

不同灌水次数对夏玉米生长发育及水分利用效率的影响

肖俊夫, 刘战东, 刘祖贵, 南纪琴

(中国农业科学院 农田灌溉研究所, 河南 新乡 453003)

摘要: 通过防雨棚下测坑试验, 研究了不同灌水次数对夏玉米形态指标、产量、耗水量以及水分利用效率的影响。结果表明, 夏玉米株高和叶面积指数随灌水次数的减少而降低; 拔节期不灌水明显抑制株高和叶面积的增长。果穗长、果穗粗、穗粒数有随着灌水次数的减少而降低的趋势; 灌4水的产量最高, 在苗期和灌浆期灌水(2水)的处理产量最低, 较灌4水的处理减产45.38%, 而灌抽雄水(3水)的处理产量都较高, 减产幅度均低于8%; 夏玉米的阶段耗水量和全期耗水量随灌水次数的减少而减少; 任一生育阶段不灌水均会导致该阶段日耗水量的降低, 并对以后阶段的日耗水产生一定的后效影响。通过对各处理夏玉米的水分敏感指数和水分利用效率综合分析, 确定夏玉米抽雄期和拔节期为需水关键期, 在农田水分管理中应优先满足; 在华北平原可推行灌2~3水的节水灌溉技术, 即在自然降水偏多年份灌2水, 正常偏少年份灌3水。

关键词: 灌水次数; 生长发育; 产量; 耗水量; 水分利用效率; 夏玉米

中图分类号: S513 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-3268(2011)02-0036-05

Effects of Different Irrigation Times on Growth and Water Use Efficiency of Summer Maize

XIAO Jun-fu, LIU Zhan-dong, LIU Zu-gui, NAN Ji-qin

(Farmland Irrigation Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xinxiang 453003, China)

Abstract: The effects of different irrigation times on growth and water use efficiency (WUE) of summer maize were studied with irrigation treatments on summer maize (*Zea mays* L.) grown under a rain shelter. The results showed that height and leaf area index (LAI) of summer maize decreased with the number of irrigation reduced and non-irrigation at jointing stage significantly inhibited plant height and LAI. The components of yield including ear length, ear diameter and kernel number showed falling trend with decrease in the number of irrigation. The treatment of 4 irrigations had the highest yield, and yield of the irrigation treatment at the seedling and filling stage (2 times) was the lowest with reduction of 45.38%, while the treatment of 3 irrigations including irrigation at tasselling stage could also get high output, with decline rate less than 8%. The water consumption of summer maize at each stage as well as the whole growth stage decreased with the reduction of irrigation number. Non-irrigation at either phase resulted in reduction of daily water consumption in this phase, and had some after-effects on subsequent stages. Analyses of maize moisture sensitivity index and WUE showed that the tasselling period and jointing stage were the critical periods of water demand, which should be given priority in the water management. The optimal irrigation schedule was irrigation 3 times in a normal or less precipitation year or 2 times in more precipitation year at the whole growth stage of summer maize in North China Plain.

Key words: Irrigation times; Growth; Yield; Water consumption; WUE; Summer maize

收稿日期: 2010-08-11

基金项目: 国家现代玉米产业技术体系建设专项 (nycytx-02-18); 国家科技基础性工作专项 (2007FY120100)

作者简介: 肖俊夫 (1961-), 男, 辽宁庄河人, 副研究员, 主要从事节水灌溉理论与新技术研究。

E-mail: xiaojunfu61@163.com

目前, 华北地区农业用水紧张, 农业生产中广泛采用抽取地下水实施大水漫灌的灌溉技术, 且普遍认为耗水愈多, 产量就愈高, 甚至有“地皮不干, 产量翻番”的观点, 农业用水浪费严重, 灌溉水的有效利用率不到 40%^[1]。因此, 面对华北地区水资源紧缺的现状, 从节水农业的角度改变现行农田“高水高肥高产”的传统农业管理模式, 实施农业用水的总量控制和定额管理是当务之急。灌溉是调节土壤水分状况的主要措施, 灌溉与否、灌溉量、灌溉次数及灌溉时间都会影响作物的生长发育及水分利用效率。在作物生长发育期间如何进行土壤水分的调控以提高灌溉水利用效率, 仍是目前节水农业领域研究的热点之一^[2-8]。本试验通过对防雨棚下测坑中种植的夏玉米设置不同的土壤水分控制下限指标, 研究了不同灌水次数对华北平原夏玉米植株形态指标、产量及其构成因素、耗水特性的影响, 旨在为华北地区夏玉米推行节水灌溉, 减少农田灌水浪费, 提高灌溉水利用效率提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 供试材料与试验设计

试验于 2009 年 6—9 月在中国农业科学院农田

灌溉研究所作物需水量试验场防雨棚下的测坑中进行。试验场地位于 35° 19' N, 113° 53' E, 海拔 73.2 m; 多年平均气温 14.1℃, 无霜期 210 d, 日照时数 2398.8 h。测坑上口面积为 6.66 m² (2.0 m×3.33 m), 深度为 1.8 m, 下部设 20 cm 的砂石滤层, 土层深度为 1.5 m。测坑内土壤为粉砂壤土, 平均容重 1.38 g/cm³, 田间持水量 24%, 测坑上方的防雨棚在降雨之前关闭, 雨后开启, 有效隔绝降雨, 排除降雨对试验处理的影响。土壤养分含量分别为: 有机质 9.76 g/kg, 全氮 0.876 g/kg, 碱解氮 89.1 mg/kg, 速效磷 21.40 mg/kg。夏玉米 (浚 009) 于 2009 年 6 月 5 日贴茬点种, 每坑播种 4 行, 每行种 10 穴, 每穴播 1~2 粒, 播后灌蒙头水, 每处理灌水 90 mm。6 月 12 日出苗, 6 月 20 日定苗, 每穴定苗 1 株。不同灌水次数处理设计见表 1 (表 1 中不包括蒙头水), 3 次重复, 当各处理达到设计的灌水时间时进行灌水, 每次灌水 90 mm, 灌水量用水表计量。不同处理除土壤水分控制标准不同外, 其余农业栽培管理措施相同, 在拔节初期进行追肥, 施尿素 450 kg/hm²。夏玉米于 9 月 15 日收获, 收获前, 各处理均随机取 20 穗进行室内考种, 测定穗部性状和产量构成因素。

表 1 夏玉米灌水次数试验设计

处理	灌溉定额/ mm	不同灌水时期灌水量/mm			
		苗期—拔节	拔节—抽雄	抽雄—灌浆	灌浆—成熟
苗期、拔节、抽雄、灌浆 4 水	360	90	90	90	90
拔节、抽雄、灌浆 3 水	270	—	90	90	90
苗期、抽雄、灌浆 3 水	270	90	—	90	90
苗期、拔节、灌浆 3 水	270	90	90	—	90
苗期、拔节、抽雄 3 水	270	90	90	90	—
苗期、拔节 2 水	180	90	90	—	—
苗期、抽雄 2 水	180	90	—	90	—
苗期、灌浆 2 水	180	90	—	—	90

1.2 观测项目与方法

1.2.1 土壤水分 0~20 cm 采用烘干法测定, 20~100 cm 采用美国产 CPN503DR 中子水分仪测定, 每 20 cm 土层测定一个数据, 每周测定一次, 灌水前后加测。

1.2.2 作物形态指标 定期观测夏玉米株高和叶面积。叶面积测定采用量测法。每次测定均在小区内随机取 20 株样本, 直尺测量叶片的长度和最宽处, 然后以长×宽的乘积再乘以折算系数确定单株叶面积, 取其平均数作为计算叶面积指数的基数。叶面积指数用下式计算:

LAI= D · A ,

式中: D 为群体密度 (株/m²); A 为单株叶面积 (m²/株)。

1.2.3 气象资料 由自动气象站采集 (常规气象数据包括: 风速、降水、水汽压、气压、日照时数、温度)。

1.2.4 产量性状 收获前每处理随机取 20 穗测定果穗长、穗粗、秃尖长、穗行数、穗粒数、百粒重。

1.2.5 实际产量 每处理去掉边行, 收获中间 2 行, 单收、脱粒、单晒, 测定实际产量, 然后随机选取晒干后的籽粒测定百粒重。

2 结果与分析

2.1 不同灌水处理对夏玉米植株形态指标的影响

由图 1 和图 2 可知, 夏玉米株高和叶面积指数有随着灌水次数的减少而降低的趋势。拔节期不灌水的处理对株高和叶面积影响最大, 在灌水次数相同时, 抽雄以前的灌水有利于株高和叶面积的增加,

灌浆期不灌水会加速叶片的衰老。灌 2 水的处理株高和叶面积最小, 其中, 又以苗期、灌浆期灌 2 水的处理最低(图 1、图 2)。

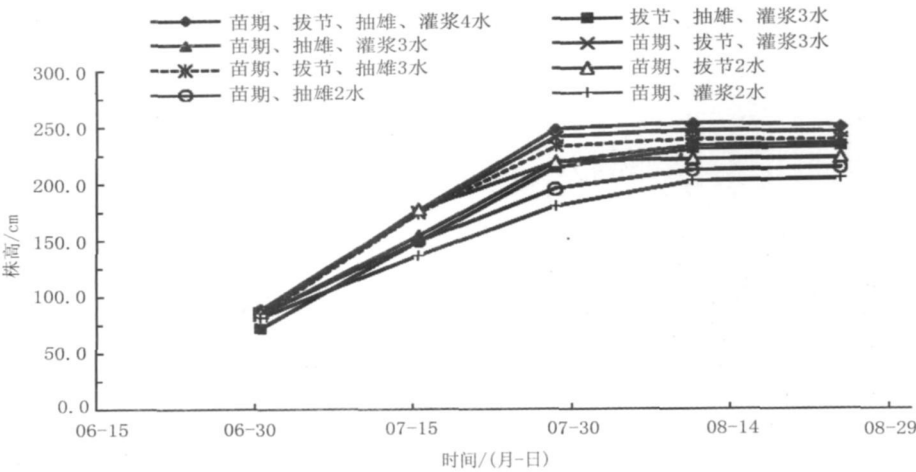


图 1 不同灌水处理夏玉米各生育时期株高变化动态

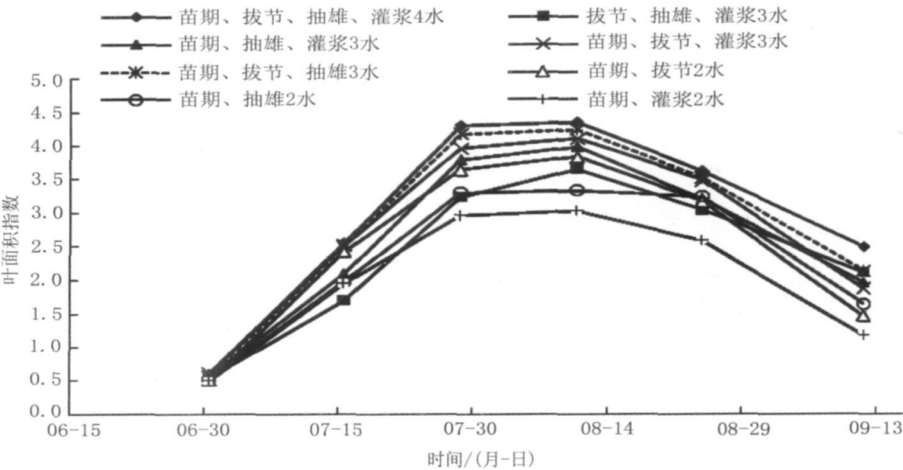


图 2 不同灌水处理夏玉米各生育时期叶面积指数变化动态

2.2 不同灌水处理对夏玉米产量及构成因素的影响

从表 2 可以看出, 果穗长、果穗粗、穗粒数和产量有随着灌水次数减少而降低的趋势。灌 4 水的产量最高, 显著高于其他处理; 灌 2 水的产量较低, 其中在苗期和灌浆期灌水的处理产量最低, 与灌 4 水处理相比, 减产 45.38%。在灌 3 水的处理中, 灌抽

雄水的处理产量较高, 其中以苗期、拔节、抽雄期灌水的处理产量最高, 较灌 4 水仅减产 6.83%。可见, 不同生育时期灌水的增产率与全生育期灌水次数的多少以及灌水次数的组合有关。由以上分析可知, 抽雄期是玉米灌溉增产率最高的时期, 是玉米的需水关键期。

表 2 不同灌水处理夏玉米产量及其构成因素

处理	果穗长/cm	秃尖长/cm	果穗粗/cm	穗行数/行	穗粒数/粒	百粒重/g	产量/(kg/hm ²)	减产/%
苗期、拔节、抽雄、灌浆 4 水	16.61	1.27	5.03	14.60	490.58	27.59	8120.0 a	—
拔节、抽雄、灌浆 3 水	17.20	1.22	5.07	15.60	494.97	25.19	7480.0 b	7.88
苗期、抽雄、灌浆 3 水	16.95	1.74	5.03	16.40	482.74	25.93	7510.0 b	7.51
苗期、拔节、灌浆 3 水	16.11	2.64	4.96	16.20	462.64	23.49	6520.0 c	19.70
苗期、拔节、抽雄 3 水	18.49	1.67	5.28	16.20	452.80	27.85	7565.0 b	6.83
苗期、拔节 2 水	16.22	2.14	4.83	15.80	388.02	21.63	5035.0 d	37.99
苗期、抽雄 2 水	16.15	0.83	4.82	15.80	461.03	23.50	6500.0 c	19.95
苗期、灌浆 2 水	15.62	2.32	4.88	15.80	273.46	27.03	4435.0 e	45.38

注: 数值后的不同字母表示在 0.05 水平上差异显著

2.3 不同灌水处理夏玉米耗水量与耗水规律

表 3 显示, 夏玉米的阶段耗水量和全期耗水量随着灌水次数的减少亦呈减少的趋势。灌 4 水处理的全生育期耗水量最高, 为 378.93 mm, 苗期、灌浆期灌 2 水处理的最低, 为 239.34 mm; 灌 3 水处理的耗水量为 278.61 ~ 315.66 mm, 同样是灌 3 水, 灌水量相同, 由于灌水时期不同都会造成全生育期耗水量出现较大的差异, 凡是在 3 个连续生育阶段灌水的处理(拔节、抽雄、灌浆 3 水, 苗期、拔节、抽雄 3

水)耗水量都较高。在灌 2 水的处理中, 只要 2 个连续的生育阶段不灌水, 就会造成其耗水量降低, 比如苗期、灌浆期灌 2 水的处理。不同灌水次数处理的日耗水量变化规律与不同生育期干旱处理的相似, 某个生育阶段不灌水均会导致该阶段日耗水量的降低, 并对以后阶段的日耗水产生一定的后效影响, 苗期、灌浆期灌 2 水处理的日耗水量最低, 灌 4 水处理的最高(图 3)。

表 3 不同灌水处理夏玉米的阶段耗水量和全生育期耗水量

处理	阶段耗水量/mm				生育期耗水量/mm
	播种—拔节	拔节—抽雄	抽雄—灌浆	灌浆—成熟	
苗期、拔节、抽雄、灌浆 4 水	113.01	93.92	64.01	107.99	378.93
拔节、抽雄、灌浆 3 水	84.89	85.56	58.65	86.56	315.66
苗期、抽雄、灌浆 3 水	100.65	60.48	45.07	72.42	278.61
苗期、拔节、灌浆 3 水	106.55	87.76	43.81	61.74	299.86
苗期、拔节、抽雄 3 水	108.35	86.59	60.36	59.08	314.38
苗期、拔节 2 水	106.64	94.82	36.83	46.40	284.68
苗期、抽雄 2 水	104.76	63.38	46.83	77.62	292.59
苗期、灌浆 2 水	107.70	46.73	31.13	53.79	239.34

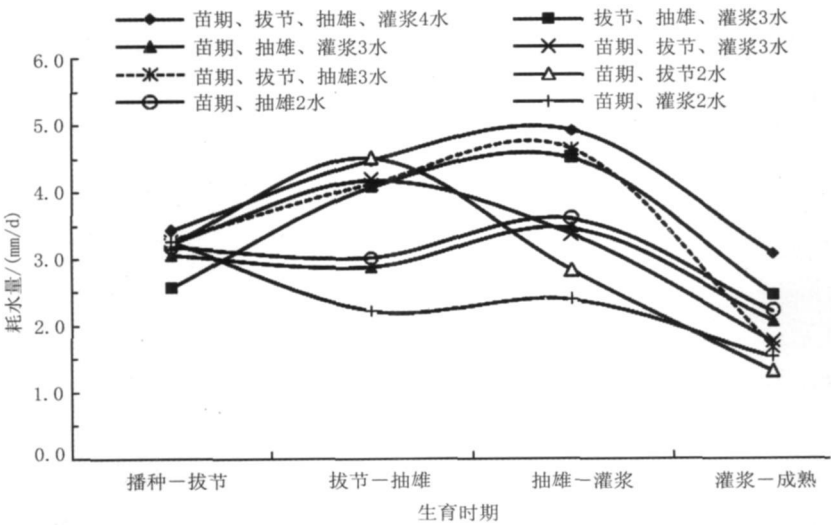


图 3 不同灌水处理夏玉米各生育时期的日耗水量动态变化

2.4 夏玉米产量与各生育期耗水量之间的关系

基于夏玉米的产量和不同生育阶段的耗水量, 利用 Jensen 模型计算了夏玉米不同生育阶段的水分敏感指数, 其模型形式如下:

$$\frac{Y}{Y_m} = \prod_{i=1}^n \left(\frac{ET_i}{ET_{mi}} \right)^{\lambda_i},$$

式中:Y 和 Y_m 分别为非充分供水和充分供水条件下的作物产量(kg/hm²);ET_i 和 ET_{mi} 分别为与 Y 和 Y_m 相对应的阶段耗水量(mm), i=1、2、…、n, n 为划分的作物生育阶段数;λ_i 为作物第 i 阶段的缺水敏感指数。

λ_i 反映了作物第 i 阶段因缺水而影响产量的敏

感程度。λ_i 愈大, 表示该阶段缺水对作物的影响愈大, 产量降低愈多, 反之亦然。根据田间试验资料 and 上式, 计算得出夏玉米不同生育阶段的敏感指数见表 4。

表 4 夏玉米不同生育阶段的水分敏感指数

项目	播种—拔节	拔节—抽雄	抽雄—灌浆	灌浆—成熟
λ _i	0.1207	0.2705	0.3082	0.2518

由表 4 可以看出, 夏玉米各生育阶段对缺水的敏感程度由大到小依次为: 抽雄—灌浆期> 拔节—抽雄期> 灌浆—成熟期> 播种—拔节期。因此, 抽雄期和拔节期是夏玉米需水的关键期, 在农田水分管理中要

优先满足关键期的需水要求, 以保证高产稳产。

2.5 不同灌水处理对夏玉米水分利用效率(WUE)的影响

从灌水次数对夏玉米水分利用效率的影响可知, 随着灌水次数的减少, WUE 有从增加到减少的趋势, 而产量和耗水量则呈降低趋势, 灌 4 水的产量最高, WUE 居中, 为 2.143 kg/m³; 苗期、抽雄、灌浆 3 水处理的 WUE 最高, 为 2.695 kg/m³, 比灌 4 水的提高 25.78%。灌 4 水的 WUE 与苗期、拔节、灌浆期 3 水处理的相当。与灌 4 水处理相比, 在灌 3 水的

处理中, 耗水量的减少率为 16.70%~26.47%, WUE 的增加率为 1.46%~25.78%, 其中灌抽雄水的 WUE 高, 没灌抽雄水的最低, WUE 的变化率是耗水量的 2 倍多。灌 2 水处理中, 以苗期、拔节 2 水的 WUE 最低, 为 1.769kg/m³, 比灌 4 水的减少 17.47%, 以苗期、抽雄 2 水的最高, 为 2.222kg/m³, 比灌 4 水的增加 3.66%(表 5)。不论从产量还是从 WUE 来看, 灌抽雄水比拔节水和灌浆水重要。因此, 中期和中前期供水是搭好高产架子的基础, 在水资源不足的情况下, 应优先把水资源分配到抽雄期和拔节期。

表 5 不同灌水处理夏玉米的水分利用效率

处理	产量/(kg/hm ²)	耗水量/(m ³ /hm ²)	耗水减少/%	WUE/(kg/m ³)	WUE 增加/%
苗期、拔节、抽雄、灌浆 4 水	8 120.0	3 789.27	—	2.143	—
拔节、抽雄、灌浆 3 水	7 480.0	3 156.65	16.70	2.370	10.57
苗期、抽雄、灌浆 3 水	7 510.0	2 786.13	26.47	2.695	25.78
苗期、拔节、灌浆 3 水	6 520.0	2 998.63	20.87	2.174	1.46
苗期、拔节、抽雄 3 水	7 565.0	3 143.85	17.03	2.406	12.29
苗期、拔节 2 水	5 035.0	2 846.82	24.87	1.769	—17.47
苗期、抽雄 2 水	6 500.0	2 925.90	22.78	2.222	3.66
苗期、灌浆 2 水	4 435.0	2 393.44	36.84	1.853	—13.53

3 结论与讨论

本研究表明, 夏玉米植株高度、叶面积指数与灌水次数基本成正相关; 拔节期不灌水的处理对株高和叶面积的增长起到明显抑制作用。产量以灌 4 水的处理最高, 其果穗长、果穗粗、穗粒数和百粒重均较高, 表现出穗大粒多的产量优势; 在苗期和灌浆期灌水的处理(2 水)产量最低; 果穗长、果穗粗和穗粒数有随着灌水次数的减少而降低的趋势。夏玉米的阶段耗水量和全期耗水量随着灌水次数的减少而减少; 任一生育阶段不灌水均会导致该阶段日耗水量的降低, 并对以后阶段的日耗水产生一定的后效影响。分析不同灌水次数夏玉米的水分敏感指数和水分利用效率表明, 华北平原夏玉米抽雄期和拔节期是需水的关键期, 在农田水分管理中应优先满足; 夏玉米全生育期应根据土壤墒情跟踪生育需水关键期, 合理调配灌水期, 推行灌 2~3 水的节水灌溉制度, 亦即在自然降水偏多年份灌 2 水, 正常偏少年份灌 3 水, 就可实现节水高产的目的。

夏玉米的生长发育、耗水量及 WUE 除受灌水的影响外, 也受施肥时期、施肥量的影响。本试验没有考虑施肥因素的影响, 今后应把灌水和施肥结合起来进一步探讨其对夏玉米生长发育、耗水量和 WUE 的影响, 以提出节水高产的灌水和施肥指标。

参考文献:

[1] 华北平原作物水分胁迫与干旱研究课题组. 作物水分胁迫与干旱研究[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1991: 96-103.

[2] 刘祖贵, 陈金平, 段爱旺, 等. 不同土壤水分处理对夏玉米叶片光合等生理特性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(1): 90-95.

[3] 孙景生, 肖俊夫, 段爱旺, 等. 夏玉米耗水规律及水分胁迫对其生长发育和产量的影响[J]. 玉米科学, 1999, 7(2): 45-48.

[4] 孙景生, 肖俊夫, 张寄阳, 等. 夏玉米产量与水分关系及其高用水灌溉制度[J]. 灌溉排水学报, 1998, 17(3): 17-21.

[5] 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): 161-165.

[6] 白丽萍, 隋方功, 孙朝晖, 等. 土壤水分胁迫对玉米形态发育及产量的影响[J]. 生态学报, 2004, 24(7): 1556-1560.

[7] 梁宗锁, 康绍忠, 邵明安, 等. 土壤干湿交替对玉米生长速度及其耗水量的影响[J]. 农业工程学报, 2000, 16(5): 38-40.

[8] 孟兆江, 刘安能, 庞鸿宾, 等. 夏玉米调亏灌溉的生理机制与指标研究[J]. 农业工程学报, 1998, 14(4): 88-92.