

夏玉米水分—产量反应系数研究

方文松, 朱自玺, 刘荣花, 王友贺, 师丽魁

(河南省气象科学研究所, 河南 郑州 450002)

摘 要: 利用 3 a 的试验资料, 对夏玉米生长发育期间的气象条件、产量性状、水分利用效率(WUE)和水分—产量反应系数进行了分析。结果表明: 夏玉米各个生长发育阶段水分亏缺对产量的影响不一样, 其中抽雄期水分亏缺对产量的影响最大, 水分—产量反应系数达 1.443, 说明这个阶段是灌水增产的关键期。

关键词: 夏玉米; 水分; 产量; 反应系数

中图分类号: S153.01 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2007)02-0111-04

黄淮平原光热资源十分丰富, 但水资源不足是限制该地区农业可持续发展的主要因素, 素有“十年九旱”之说, 严重影响了气候资源的合理利用。一方面是水资源十分紧缺, 干旱问题日趋加重; 另一方面是占总用水量 73.4% 的灌溉用水又存在着严重的浪费现象; 灌溉定额大, 灌溉技术落后, 灌溉水的利用率只有 43%, 水分利用效率不足 1.0 kg/m^3 , 不到发达国家的 1/2。随着农业战略结构性调整和高效率农业、现代化农业的发展, 农业对水分的需求提出了更高的要求^[1,2]。如何以有限的水资源支持农业增产、农民增收, 建设现代化农业, 是我国目前面临的艰巨而紧迫的任务。

本研究的目的在于减少农田水资源的无效消耗、提高农田水分利用效率, 使有限的水资源发挥最大的经济效益。为此, 需要对不同灌溉期和不同灌溉量的经济效益进行综合分析, 从而进行节水灌溉决策。其中, 作物的水分—产量反应系数是进行节水灌溉决策的一个重要参数, 必须通过田间试验取得, 这是进行科学灌溉决策的基础。

1 试验设计

1.1 试验布局

试验在郑州市南郊水分试验场进行。该试验场紧邻郑州国家基准气候站。试验场土壤质地为砂壤土, 0~100 cm 平均田间持水量为 19.7%, 土壤容重为 1.49 g/cm^3 。供试玉米品种为豫玉 22。试验共设 12 个小区, 每个小区 11 m^2 , 各小区间用水泥池隔开, 深度 200 cm; 每小区设 3 个重复, 重复间用玻璃钢瓦隔断, 深度 130 cm, 共 36 个重复。试验分为

3 个处理期, 分别为拔节期(7 月 10 日前后)、抽雄期(7 月 30 日前后)和灌浆中期(8 月 20 日前后), 每期设 3 个水分等级和一个同期对照共 4 个小区; 每个试验期用防雨棚防止自然降水, 通过定量灌溉控制土壤水分含量。

(1) 灌溉期

为了确定夏玉米不同生育期的水分—产量反应系数, 在 3 个处理期的每一个试验处理后(即定量灌水后), 有自然降水的时候用防雨棚遮盖处理小区, 无降水时移开防雨棚, 控制时间为 20 d 左右。

(2) 灌溉量

灌溉量以 100 cm 深土层计算, 其灌溉量依当时所测土壤水分含量而定, 分 3 个等级。因灌溉量过少容易造成灌溉不均匀, 所以最低等级灌溉量不少于 40 mm, 等级之间的灌溉量差额为 20 mm。如最低灌溉量以 40 mm 计, 则灌溉处理的 3 个水分等级分别为 40 mm(低量)、60 mm(中量)和 80 mm(高量), 同期对照小区不灌水。

1.2 测定、观测项目

(1) 土壤湿度测定: 玉米播种当天和播种后每月的 8、18、28 日及玉米收获日, 用美国产 503DR 型中子仪测定土壤湿度, 测定深度 160 cm, 分为 10、20、40、60、80、100、120、140、160 cm 九个层次。

(2) 发育期观测: 严格按照国家气象局编订的《农业气象观测规范》进行^[3]。

(3) 产量分析: 收获时, 先调查植株密度, 然后每个重复取样 5 株进行考种, 考种项目有: 穗粒数、穗粒重、百粒重等; 余下的去除边行后全部收获脱粒以取得实产。

收稿日期: 2006-05-20

基金项目: 社会公益研究专项资金项目“黄淮平原农田节水灌溉决策服务系统研究”(2001DIB10089)

作者简介: 方文松(1968—), 男, 高级工程师, 主要从事农田水分及干旱研究。E-mail: fwsyf@126.com。

2 结果分析

2.1 夏玉米生育期间气象条件分析

玉米原产于中美洲的热带地区,属喜温的短日照作物,苗期较耐旱,拔节以后由于植株营养生长加快,再加上生殖生长的进行,此时对环境气象条件要求较高,如条件不适合,对产量影响较大^[4,5]。表 1 是 3 a 夏玉米试验处理期间气象要素的对比。从中可以看出,夏玉米处理期间总的天气特点为:2002

年气温、降水都接近常年值,但降水量分布不均,拔节期、灌浆中期偏少,抽雄期偏多;日照时数低于常年值。光、温、水气象条件总体配合比较合理,利大于弊。2003、2004 年气温、日照时数都较常年偏低,降水总体较常年偏多,只有 2003 年玉米拔节期和 2004 年玉米抽雄期降水稍低于常年同期,但两发育期的日照时数仍低于常年同期值。低温、寡照,再加上多雨遮盖防雨棚,非常不利于玉米的雌穗分化和籽粒灌浆,严重影响了夏玉米产量。

表 1 夏玉米各处理期气象要素距平(%)
Table 1 Meteorological factors anomaly of disposal stage of summer corn

气象要素 Meteorological factor	年份 Year	拔节前 Prophase of jointing stage	拔节期 Jointing stage	抽雄期 Tasseling stage	灌浆中期 Metaphase of grain filling stage
气温距平 Temperature anomaly	2002	3.8	0.4	2.2	0.0
	2003	-2.0	-3.9	-6.3	0.2
	2004	-0.3	-3.9	-3.8	3.1
降水距平 Precipitation anomaly	2002	2.0	-24.7	-19.0	-13.5
	2003	37.7	-4.7	114.8	72.3
	2004	50.8	103.4	-1.4	36.3
日照时数距平 Daylight hour anomaly	2002	-31.7	-38.7	-27.7	-13.3
	2003	-43.8	-52.5	-73.1	-65.6
	2004	-23.7	-62.5	-52.8	-15.2

2.2 夏玉米产量性状分析

在玉米生长发育的全过程中,土壤水分是最重要因素之一,但玉米各个生育期对土壤水分的需求不同,也就是说各个生育阶段供应的水分对玉米的生长发育和产量的影响是不一样的^[6]。从表 2 中可以看出,在各个不同的灌溉期中,以抽雄期灌溉对夏玉米的生长发育和产量影响最大。与对照相比,抽雄期各灌溉水平均表现出穗大粒多、产量远高于对照的趋势,但并不是灌溉量最大的产量最高,而是灌溉量中等的穗粒数最多,产量最高。拔节期灌溉的各灌溉水平表现出与抽雄期相同的趋势,同样是灌溉量大的产量并不是最高,原因可能是前期降水较多,土壤中有了一定的水分积蓄,适量的水分补充有利于作物的生长发育,过湿则对夏玉米的生长不利而造成的;一般来说,拔节期以土壤湿度达到田间持水量的 75%为宜,抽雄期以达到 85%为宜^[7]。在灌浆中期进行的处理由于灌溉后雨日较多,用防雨棚遮盖时间较长,这样虽然有效地防止了自然降水,但同时也遮挡了大量的直接辐射,从而影响了作物光合作用的正常进行,并且由于此阶段是粒重形成期,

寡照天气使得植株“头重脚轻、根系不稳”,2002、2003 两年造成植株倒伏,更不利于光合产物的形成,因而灌浆中期进行处理的地段,各灌溉水平间的粒重和产量都普遍偏低且差异不明显。

2.3 夏玉米水分利用效率(WUE)分析

由于各个处理地段的灌溉期、灌溉量不一样,导致了最终的耗水量和产量的不同,从而使水分利用效率也不一样。总体来说,抽雄期进行处理的水分利用效率最高,平均为 1.592 kg/m³,最高达 1.611 kg/m³;拔节期次之,平均为 1.459 kg/m³;灌浆中期处理的最低,平均为 1.388 kg/m³(见表 2)。说明玉米抽雄期对土壤水分的变化最敏感,这时候土壤水分的亏缺对产量的影响也最大。另外,不同灌溉量之间并不是灌溉量大的地段水分利用效率最高,平均而言,灌溉量中等的水分利用效率最高,低量的次之,高量的最小;而且抽雄期处理的以灌溉量小的水分利用效率最高。这是由于土壤含水量较小的地段,产量对土壤水分的变化十分敏感,而土壤含水量较大的地区,则敏感性降低。

表 2 夏玉米产量性状分析表
Table 2 Yield character analysis of summer corn

发育期 Development stage	处理 Disposal	穗粒数 Number of grains in an ear	百粒重 Weight of one hundred grains(g)	实际产量 Real yield (kg/hm ²)	理论产量 Theoretical yield (kg/hm ²)	水分利用效率 Water use efficiency (kg/m ³)
拔节期 Jointing stage	对照 CK	271.2	34.28	4266.36	4760.89	1.306
	低量 Low quantity	309.5	34.95	5008.99	5716.72	1.459
	中量 Middle quantity	323.4	34.44	5478.40	5866.85	1.469
	高量 High quantity	306.1	34.73	5505.17	5558.64	1.449
抽雄期 Tasseling stage	对照 CK	233.1	36.24	5123.15	5321.49	1.459
	低量 Low quantity	300.3	36.58	5943.72	6529.79	1.611
	中量 Middle quantity	321.4	37.19	6374.61	7148.84	1.608
	高量 High quantity	299.9	37.94	6266.47	6895.99	1.556
灌浆中期 Metaphase of grain filling stage	对照 CK	271.4	30.19	4638.49	4589.87	1.377
	低量 Low quantity	287.7	30.79	4771.80	4836.45	1.379
	中量 Middle quantity	302.3	30.80	5010.38	5009.60	1.432
	高量 High quantity	308.6	30.62	4900.61	4968.55	1.354

2.4 夏玉米水分—产量反应系数分析

任何一段时间的水分供应不足均会影响到作物最后的产量,但不同生育期水分的亏缺对产量的影响是不同的,这可以用产量 k_y 表示。 k_y 反映相对产量的下降值($1 - Y_i/Y_m$) 与相对耗水量亏缺($1 - ET_i/ET_{mi}$) 之间的关系,其表达式为^[8]:

$$1 - \frac{Y_i}{Y_m} = K_{yi}(1 - \frac{ET_i}{ET_{mi}})$$
 (1)

即:
$$K_{yi} = \frac{\Delta Y_i}{Y_m} \cdot \frac{ET_{mi}}{\Delta ET_i}$$
 (2)

式中, Y_i 、 ET_i 为第 i 个生育期出现水分亏缺时所取得的实际产量和阶段实际耗水量, Y_m 、 ET_{mi} 为全生育期土壤水分充分满足时作物所取得的最高产量和第 i 阶段的最大耗水量, K_{yi} 为第 i 个生育阶段的产

量反应系数, ΔY_i 为第 i 个生育阶段因水分供应不足而造成的产量下降值, ΔET_i 为第 i 个生育阶段水分亏缺量。 K_{yi} 值越大,表明该阶段因水分亏缺而造成的减产值越大,作物对水分亏缺也就越敏感,反之亦然。

根据试验,我们将在不同发育期进行灌溉的地段的实际产量作为 Y_m ,其耗水量作为 ET_m ,利用式 (2) 计算了夏玉米不同发育期的水分—产量反应系数,如表 3 所示。从表中可以看出:夏玉米的水分—产量反应系数在生育期内的特点是后期小,中间籽粒形成期大。其中在抽雄期 K_{yi} 值高达 1.443,说明这个阶段水分的亏缺对玉米产量的影响最大,不仅是土壤水分变化的敏感期,也是灌水增产的关键时期。

表 3 不同生育阶段的产量反映系数
Table 3 Reactivity coefficient between moisture and yield in different growth stage

项目 Item	拔节期 Jointing stage	抽雄期 Tasseling stage	灌浆中期 Metaphase of grain filling stage
产量反映系数 Coefficient of output reflection	1.002	1.443	0.681

2.5 水分—产量反应系数与节水灌溉决策

由式(2)可得实际产量的降低值与水分亏缺之间的关系为^[9]:

$$\Delta Y_i = K_{yi} \frac{Y_m}{ET_{mi}} \Delta ET_i \tag{3}$$

式中, Y_m/ET_{mi} 为中等肥力条件下水分得到充分满足时的水分利用效率(kg/m³)。若将不同发育期灌溉的地段的产量平均值作为 Y_m , 耗水量的平均值作为 ET_{mi} , 可求得水分得到满足时 Y_m/ET_{mi} 值, 从而式(3) 可简化为:

$$\Delta Y_i = K_{yi} \times K_i \times \Delta ET_i \tag{4}$$

式中, K_i 值根据玉米发育期不同而选用不同的值, 拔节期 $K = 1.459 \text{ kg/m}^3$, 抽雄期 $K = 1.592 \text{ kg/m}^3$, 灌浆中期 $K = 1.388 \text{ kg/m}^3$ 。当灌溉水能够被作物充分利用时, ΔET_i 即可作为灌溉量处理, 从而利用式(4) 可以计算出在不同生育期施行不同灌溉量所引起的产量变化, 为节水灌溉决策奠定理论基础。

3 结 语

1) 对于夏玉米不同的灌溉期和不同的灌溉量, 其水分利用效率不同。总体来说, 抽雄期的水分利用效率最高, 对土壤水分的变化最敏感, 拔节期次之, 灌浆中期最低; 平均而言, 灌溉量中等的水分利用效率最高, 低量的次之, 高量的最小。

2) 夏玉米全生育期内水分—产量反应系数的特点是后期小, 中间籽粒形成期大, 说明此阶段水分的亏缺对夏玉米产量影响最大, 是灌溉增产的关键时期。

3) 2003 年、2004 年玉米生长发育期间受低温、多雨、寡照等因素的影响, 产量普遍偏低, 因而水分—产量反应系数整体偏小, 但其反应出来的趋势并未受到太大的影响。

参 考 文 献:

[1] 杜尧东, 宋丽莉, 刘作新. 农业高效用水理论研究综述[J]. 应用生态学报, 2003, 14(5): 808—812.
[2] 潘英华, 康绍忠. 交替隔沟灌溉水分入渗特性[J]. 灌溉排水, 2000, 19(1): 1—4.
[3] 国家气象局. 农业气象观测规范[M]. 北京: 气象出版社, 1993. 12—35.
[4] 山东省农业科学院. 玉米栽培技术[M]. 北京: 农业出版社, 1981. 14—54.
[5] 张银锁, 宇振荣. 夏玉米植株及叶片生长发育热量需求的试验与模拟研究[J]. 应用生态学报, 2001, 12(4): 561—565.
[6] 张晓伟, 黄占斌, 李秧秧. 不同灌溉目标下玉米滴灌制度研究[J]. 水土保持研究, 1999, 6(1): 76—78.
[7] “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. 111—134.
[8] 钱蕴璧, 李英能, 杨 刚. 节水农业新技术研究[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2002. 8—13, 291—308.
[9] 朱自玺, 赵国强, 邓天宏. 冬小麦优化灌溉模型研究及其应用[J]. 华北农学报, 1955, 10(4): 26—33.

Study on reactivity coefficient between moisture and yield of summer corn

FANG Wen-song, ZHU Zi-xi, LIU Rong-hua, WANG You-he, SHI Li-kui
(He'nan Institute of Meteorology, Zhengzhou, He'nan 450003, China)

Abstract: The paper utilized experiment data of three years to analyze meteorological condition, yield character, water utilization efficiency (WUE) and reactivity coefficient between moisture and yield in the whole growth stage of summer corn. It was found that the different growth stage on summer corn yield was different; the affection of water stress in tasseling stage was the largest, in which the reactivity coefficient between moisture and yield reaches 1.443. This stage is the key period for irrigation and increasing yield.

Keywords: summer corn; water; yield; reactivity coefficient