

夏玉米耗水规律及水分胁迫对其* 生长发育和产量的影响

孙景生 肖俊夫 段爱旺 张淑敏 张寄阳

(水利部、中国农科院农田灌溉研究所,河南新乡 453003)

摘要:依据灌溉试验资料,研究夏玉米生育期内的耗水规律及植株蒸腾与棵间蒸发变化规律,分析水分胁迫对其生长发育和产量形成的影响。结果表明,水分适宜处理的夏玉米,生育期耗水量 425.25 mm,各时段耗水量占全生育期耗水量的百分比分别为 14.34%、10.49%、10.43%、15.70%、27.16%、13.63% 和 8.25%,相应的日平均耗水强度分别为 4.064、2.973、2.958、4.452、7.699、3.860 和 2.192 mm/d;玉米田的棵间蒸发量较大,约占其整个生育期总耗水量的 35%~38%;各生育时段遭受水分胁迫均会引起一系列不良后果,其中尤以抽雄吐丝前后 40 d 左右缺水影响最大,其次是拔节期缺水。

关键词:夏玉米;耗水规律;水分胁迫;产量与水分关系

中图分类号:S 513.01

灌溉是保证农业生产稳产、高产的主要手段。然而,我国水资源严重不足,特别是北方地区,水分已成为农业持续发展的首要限制因素。因此,根据作物需水规律,研究水分胁迫对夏玉米生长发育及产量的影响,寻找其关键需水期,通过作物本身探求经济用水的科学依据,从而为干旱缺水地区制定夏玉米经济用水方案,把有限的灌溉水量用在夏玉米最需要的时期,既能充分发挥水的效益,又能使夏玉米获得较好的产量,达到经济效益最佳^[1,3]。

1 材料与方法

1.1 试验概况

试验地设于河南新乡农田灌溉研究所作物需水量试验场内。测坑上口面积 6.667 m²,深 1.8 m,有底。底部铺设 0.20 m 厚的滤层,上覆 1.5 m 厚的壤土,土壤容重 1.35 g/cm³,田间持水量为 24.0%。测坑上有活动遮雨棚,以隔绝天雨。供试作物为夏玉米(郑单 14),1997 年 6 月 3 日播种,密度 6 万株/hm²,9 月 16 日收获测产。

1.2 试验处理

将夏玉米生育期划分为出苗至拔节、拔节至抽雄、抽雄至灌浆和灌浆至成熟 4 个生育阶段,每个生育阶段 2 个水分处理(以田持百分比计算)水平,即轻度受旱(水分下限 55%)和重度受旱(水分下限 45%~50%)。另设全生育期连旱(水分下限 50%~55%)、全生育期水分适宜(水分下限 65%)和全生育期 3 个丰水处理(水分下限 75%)。每个处理 3 次重复,随机排列。

* 国家“九五”重点科技攻关项目和中国农科院院长基金项目部分内容。

1.3 观测项目

夏玉米播种后每隔 10 d 用中子水分仪测土壤水分,测试深度 1.2 m;用微型蒸发皿测棵间土壤蒸发,每日 8 时取土称重;玉米出苗后,选定 5 株作为基本苗,每隔 10 d 进行一次生育调查,主要包括株高、叶片数、展开叶、未展开叶、绿叶数、黄叶数,最后用叶面积仪量测植株叶面积,计算叶面积系数,收获时考种测产;田间小气候资料用测坑附近的自动气象站观测结果。

2 结果与分析

2.1 夏玉米耗水量与耗水规律

1997 年坑测试验,夏玉米生育期 107 d,平均划分为 7 个生育时段。水分适宜处理的夏玉米,生育期耗水量 425.25 mm,各时段耗水量占全生育期耗水量的百分比分别为 14.34%、10.49%、10.43%、15.70%、27.16%、13.63% 和 8.25%,相应的日平均耗水强度分别为 4.064、2.973、2.958、4.452、7.699、3.860 和 2.192 mm/d。按生育时段划分,各生育阶段经历的天数及模系数分别为:播种至拔节 31 d,模系数为 24.83%;拔节至抽雄 30 d,模系数 26.13%;抽雄至灌浆 15 d,模系数 27.16%;灌浆至成熟 31 d,模系数为 21.88%。从其它处理情况来看,各处理均以 8 月 2~16 日之间的日耗水量最高,此时段恰值玉米抽雄至灌浆期,模系数比较稳定,都在 27%~28% 之间。拔节以前,夏玉米经受干旱锻炼,在苗期模系数只有 12.12%,到拔节中期供水后,夏玉米耗水量迅速增加,呈现出一种类似水稻复水的反弹现象,而且乳熟期绿叶数较多,收获期向后推迟 2~3 d,但苗期和拔节前期干旱已使产量遭受一定影响,减产幅度达 19.56%。除播前水外,生育期内仅在拔节期灌一水的连旱处理,尽管各时段的模系数与水分适宜处理的相近,但玉米抽雄后连旱已使其耗水量的绝对值减低,因此减产幅度较大,高达 60% 左右。

从整个生育期来看,夏玉米日耗水量过程线呈一抛物线形状,苗期和成熟期日耗水量较小,抽雄至吐丝期达最大值。6 月底以前,日平均气温在 25~28℃ 之间,相对湿度低于 60%,降雨量只有 10 多 mm,尽管夏玉米叶面积系数较小,平均只有 0.35 左右,植株蒸腾量较小,但夏玉米日耗水强度仍然较高。日耗水量在 1.0~4.0 mm/d 之间,其大小主要取决于播前土壤墒情和播前灌水量的多少,因为该时段夏玉米幼苗叶片数少,覆盖度低,田间耗水量主要以棵间土壤蒸发为主,而棵间蒸发又与上层土壤含水率,特别是表层土壤含水率的高低密切相关。随着表层土壤水分的消耗,夏玉米日耗水强度逐渐趋于一致。从 7 月上旬起,夏玉米开始进入旺盛的营养生长阶段,株高和叶面积指数快速增加,田间耗水由以棵间蒸发为主转向以植株蒸腾为主,日耗水量迅速增大,7 月中旬日耗水强度平均约 3.5 mm/d 左右,而到 7 月底 8 月初,日耗强度猛增至 5.8~7.7 mm/d。夏玉米灌浆后,各处理的日耗水强度开始逐渐下降,到 9 月中旬,水分适宜处理的日耗水强度降至 2.2 mm/d 左右。相对而言,苗期经过干旱处理的夏玉米,抽雄前的日耗水强度要高于水分适宜处理的日耗水强度,后期因叶片衰老较慢,日耗水强度仍高于其它处理。成熟期受旱,叶面积指数下降快,植株蒸腾较低,日耗水强度不到 1.0 mm/d。

2.2 夏玉米生育期内叶面蒸腾与棵间蒸发变化规律

作物耗水包括棵间蒸发和叶面蒸腾两部分。根据 1997 年试验资料分析,播后 15 d,田间耗水主要以棵间蒸发为主,棵间蒸发占时段耗水量的 75% 以上;播后 16~31 d,由于尚未对夏玉米进行定苗,尽管植株个体矮小,叶片数较少,但因群体株数多,加之表层土壤变干,棵间蒸发所占比例明显减少,占时段耗水量的比值大多数已下降到 53% 以下。个别一些处理的棵间

蒸发量超过了阶段耗水量的 60%, 主要原因是苗期灌水的缘故。拔节以后, 植株生长迅速, 叶面积增大, 田间耗水转向以叶面蒸腾为主, 棵间蒸发占阶段耗水量的比值由播后 32~47 d 的 41%~53% 快速减至抽雄前的 32%~35%, 其中拔节后期水分胁迫处理的棵间蒸发量已降至阶段耗水量的 30% 以下。抽雄期至灌浆初期, 叶面积指数达最大值, 夏玉米转入旺盛的生殖生长和产量形成阶段, 需水强度大, 蒸腾在蒸散中占据重要地位, 棵间蒸发在蒸散中所占比例最小, 一般均在时段耗水量的 22%~25% 之间。成熟期, 由于植株叶片变黄, 叶面积指数减小, 叶面蒸腾逐渐降低, 棵间蒸发占蒸散的比例增大, 逐步回升到 49% 以上。从全生育期来看, 棵间蒸发占总耗水量的 35%~38%, 叶面蒸腾占总耗水量的 62%~65%。由此可见, 在夏玉米苗期和拔节前期, 加强田间管理, 尽量减少棵间土壤蒸发, 设法提高土壤水分利用效率, 是夏玉米节水灌溉的一项重要措施。高产水平的夏玉米生育期内累积的蒸散 (ET)、累积的棵间蒸发 (E) 和累积的植株蒸腾 (T) 见图 1。

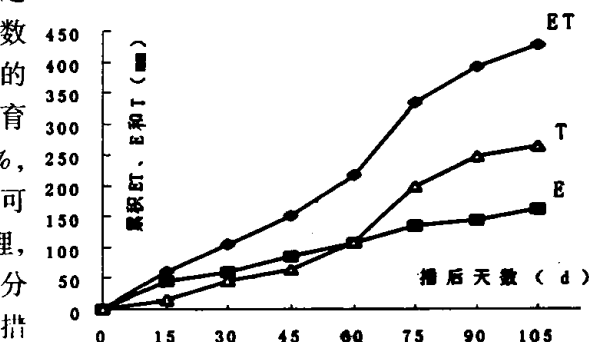


图 1 夏玉米生育期内累积 ET、累积 E 及累积 T

2.3 水分胁迫对夏玉米生长发育及其产量形成的影响

在夏玉米生长发育的各个阶段, 水分胁迫均会引起一系列的不良后果, 其中最明显的影响是植株的大小、叶面积和作物产量的下降。水分胁迫对夏玉米引起伤害的份量及表现形式, 在很大程度上取决于水分胁迫发生在其生长发育的阶段。播种至出苗阶段, 表层土壤水分亏缺, 出苗期向后推迟 2~3 d, 且易造成缺苗, 根据试验示范区的调查结果, 该时段缺水, 出苗率比对照低 5.2%~8.6%。苗期轻度水分胁迫对夏玉米生长发育影响较小, 但当计划湿润层内的土壤水分下降到田持的 55% 以下时, 株高和单株叶面积分别比对照减少 6.84 cm 和 165.1 cm², 比对照减产 8.66%。夏玉米进入拔节期, 植株生长旺盛, 是夏玉米株体形成的重要时期, 土壤水分供应充足, 将有利于植株健壮生长, 积累更多的干物质, 为后期的生殖生长奠定良好的基础。与对照相比, 拔节期重度受旱处理的株高和单株叶面积分别减少了 26.8 cm 和 1 098.86 cm², 夏玉米的长势明显不好, 植株矮小, 叶片短窄, 植株上部的叶间距小; 从考种结果来看, 穗粒数比对照减少了 15.88%, 产量降低 19.83%。抽雄至吐丝期, 夏玉米由以营养生长为主向生殖生长过渡, 叶面积系数和叶面蒸腾均达到其一生中的最高值, 生殖生长和体内新陈代谢旺盛, 同时进入开花、授粉阶段, 为夏玉米需水的临界期。该期水分亏缺的处理, 虽然叶面积衰减不大, 但对夏玉米造成了“卡脖子”, 雄穗处于密集的叶丛中, 抽出困难, 叶节间密集而短, 直接影响到了雌穗的授粉; 与对照相比, 抽雄至吐丝期水分亏缺使构成产量的三要素均大幅度下降, 每公顷有效穗数、单穗粒数和穗粒重分别减少 12 000 穗、156.6 粒和 70.06 g, 减产幅度高达 40.42%。灌浆期至成熟期, 植株株体已形成, 生长停止, 植株茎叶累积的养分向穗部器官转移, 叶片由下向上变黄, 此期保证适当的水分供应可以防止叶片早衰, 保持一定的绿叶面积, 积累一定量的干物质, 促进穗部很好地发育, 使灌浆得以顺利进行。这一阶段的水分胁迫主要是造成群体叶面积指数下降, 植株黄叶数增加, 穗粒数和穗粒重减少, 其中穗粒重下降是造成减产的主要原因。根据 1997 年 9 月 10 日的测定结果, 从灌浆开始遭受水分胁迫处理的夏玉米, 其单株绿叶面积比对照少 3 611.4 cm², 黄叶数比对照多 5 叶, 百粒重比对照少 7.27 g。

2.4 夏玉米阶段耗水量与产量的关系

阶段耗水量与产量的关系,此处采用连乘形式的 Jensen 公式^[2]:

$$\frac{y}{y_m} = \prod_{i=1}^n \left(\frac{ET_i}{ET_m} \right)^{\lambda_i}$$

式中: y —非充分供水(水分限制作物生长)条件下的产量;

y_m —充分供水(水分不限制作物生长)条件下的产量(最大产量);

ET_i 、 ET_m —与 y 和 y_m 相对应的阶段耗水量, $i = 1, 2, \dots, n$;

n —夏玉米划分的阶段数, $n = 7$;

λ_i —夏玉米第 i 生长阶段的缺水敏感指数。

根据 1997 年测坑和大田实际观测资料,应用一般的统计回归分析方法,求解得出的 λ 值(表 1)。作物敏感指数 λ 值反映了作物和作物各时段对水分的敏感程序, λ 值越大,表明该时段缺水对作物产量的影响越大。由表 1 可见,夏玉米苗期和成熟期的敏感指数较小,到拔节期开始迅速变大,抽雄至吐丝期达最大值,从灌浆期开始又急剧减少。据此得出,夏玉米的需水临界期在抽雄至吐丝期,其次是拔节期和灌浆期,播后 15 d 的土壤水分状况直接关系到夏玉米能否早出苗和出全苗,进而影响到最终产量的高低,故该时段的敏感指数要高于播后 16 ~ 31 d 的敏感指数。用此结果指导大田灌溉管理,当水量有限不能充分满足作物生长发育要求时,应在足墒播种的条件下,首先确保抽雄至吐丝期的供水,其次是要满足拔节期的供水。

表 1 夏玉米各生育时段敏感指数(λ)分析结果

阶段 编号	1	2	3	4	5	6	7	复相关 系数 (R)	样本数 (N)	显著性 检验 (F)
λ 值	0.088 2	0.044 3	0.082 5	0.172 3	0.815 9	0.159 4	0.055 2	0.895 9	24	6.588 1

3 结 语

(1)夏玉米整个生育期对水分均较敏感,尤其是抽雄吐丝前后约 40 d 左右对水分尤为敏感,此期灌水增产效果非常明显,土壤水分应保持在田间持水量的 70% 以上。

(2)拔节期是夏玉米的第二个需水关键时期,该期土壤水分宜保持在田间持水量的 60% ~ 70% 之间,如果土壤水分低于田持的 60%,将会影响玉米根系对养分的吸收,导致群体光合强度降低,从而将减少茎叶干物质的积累与储存,最终使果穗长度和子粒数减少。

(3)由于夏玉米属高秆稀植作物,加之在其整个生育期内,光照充足,气温较高,因而玉米田的棵间蒸发量较大,约占其整个生育期总耗水量的 35% ~ 38%。所以,玉米田灌溉不宜实行小定额多次灌水,而应将有限水量集中在拔节期和抽雄前后进行灌溉,并于灌水后及时松土,切断土壤表层毛细孔隙,以减少棵间蒸发,提高土壤水的有效利用效率。

参 考 文 献

- [1] 陈玉民,等编著.中国主要作物需水量与灌溉.水力电力出版社,1995.
- [2] 康绍忠,蔡焕杰主编.农业水管理学.北京:中国农业出版社,1996.
- [3] 孙景生,等.夏玉米产量与水分关系及其高效用水灌溉制度.灌溉排水,1998,(3).

(下转第 51 页)

The Effect of Water Consuming Law and Water Stress on Growth , Development and Yield of Summer Maize

SUN Jing-sheng XIAO Jun-fu et al.

(*Farmland Irrigation Research Institute of CAAS 453003*)

Abstract: Based on the data from irrigation experiment, the water consuming law, changing patterns of plant transpiration and interrow evaporation during summer maize growth were studied and the effect of water stress on the growth, development and yield formation also analyzed. It has been shown that the water consumption of summer maize for the suitable water treatment was 425.25mm, the water consumption at each period took up 14.3% , 10.49% , 10.43% , 15.70% , 27.16% , 13.63% and 8.25% of seasonal water consumption respectively, and average water consumption per day at the corresponding period were 4.064, 2.973, 2.958, 4.452, 7.699, and 2.192mm separately. The interrow evaporation of maize field was relatively high and accounted for 35 ~ 38% of seasonal water consumption. The water stress at various growing stages led to a seasonal water consumption. The water stress at various growing stages led to a series of harmful consequences, especially, water shortage at 40 days around the tasseling stage caused the most harmful effect, next was the water shortage at the jointing stage.

Key words: Summer maize; Water consuming law; Water stress; Relation between yield and water