

夏玉米需水及耗水规律的研究

曹云者¹, 宇振荣¹, 赵同科²

(1. 中国农业大学, 北京 100094; 2. 河北省农林科学院, 河北 石家庄 050051)

摘要: 分析了试验地区夏玉米在降雨年型为一干旱年的需水与耗水规律。结果表明, 试验条件下, 夏玉米全生育期需水量为 359.8 mm。夏玉米日需水强度呈抛物线型, 苗期较小, 拔节到抽雄达到最大, 抽雄到灌浆后需水强度逐渐减小。土体供水在耗水来源组成中所占比例很小, 甚至出现负供水。但是在某个生长发育阶段, 特别是出现水分胁迫的条件下, 土体供水可在玉米耗水组成中占主导地位。

关键词: 夏玉米; 水量; 耗水量; 耗水规律

中图分类号: S513.01 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2003)02-0047-04

Study of Water Demand and Consumption Rules in Summer Maize

CAO Yun-zhe¹, YU Zhen-rong¹, ZHAO Tong-ke²

(1. China Agricultural University, Beijing 100094, China;

2. Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050051, China)

Abstract: In this study, rules of water demands and consumption by summer maize were analyzed. There is a total water demand of 359.8 mm during the whole growth stage of maize. Daily water demand in the whole growth period appeared to be a parabola: low in seedling stage, increased until reach its peak while from node elongation to tasseling and decreased gradually after tasseling and grain filling. Rainfall and irrigation provides most of water consumed by summer maize, while soil water supply contributes little, in some cases, there is even minus supply. But when some certain growth stage was inspected, especially when there is a water stress, soil water supply may be the main source and contributed much.

Key words: Summer maize; Water demand; Consumption; Rules

在我国华北、东北、西北等干旱和半干旱地区, 水分不足一直是玉米产量的限制因素, 尤其是近年来随着灌溉面积扩大和工农业用水矛盾的加剧, 灌溉水资源不足的问题日益突出。与此同时, 由于灌溉不当, 造成水资源浪费的现象大量存在, 因此实行节水灌溉, 提高水分利用率显得更加重要。

近年来, 调亏灌溉理论及土壤干湿交替理论在大田作物上的研究取得了一定进展。通过对不同生长发育阶段的水分控制, 挖掘作物抗旱节水潜力, 在保证产量的同时实现节水灌溉。本研究结合气象资

料, 将降雨模式与灌溉模式结合起来, 分析了不同供水条件下作物需水及耗水规律, 并据此探讨了提高水分利用效率的机制, 以期节水农业提供优化供水模式。

1 研究和方法

田间试验在中国农业大学曲周试验站进行。试验采用的夏玉米品种为冀丰 58。设充足灌溉、控制灌溉、缺水灌溉和不灌溉 4 个不同灌溉处理。每处理各设 3 次重复。各处理的灌溉指标按表 1 确定。

当土壤储水量占田间持水量的百分比低于表中的指标下限且没有降水迹象时,开始灌溉。

灌溉量按下式计算:

$$W_f=8.5\times8.5\times H\times(\theta_0-\theta_a)/0.9$$

其中 W_f 为小区需水量(m^3), H 为计算土层深度(m), θ_0, θ_a 分别为最适含水量的上限和实际土壤的容积含水量, 0.9 为灌溉效率。

表 1 夏玉米灌溉时间确定标准

生育期	灌溉时间(占田间持水量的%)						计算土
	充足灌溉		控制灌溉		缺水灌溉		层深度
	下限	上限	下限	上限	下限	上限	(cm)
播种—拔节	70	90	60	80	50	70	0~ 50
拔节—抽雄	75	95	65	85	55	75	0~ 100
抽雄—开花后 30 d	85	100	75	95	65	85	0~ 100
开花后 30 d—完熟	75	95	65	85	55	75	0~ 100

记录实际灌溉日期、灌溉量。土壤水分采用中子仪及 TDR(30 cm 和 120 cm 两种探头)联合监测, 每 7 d 一次。记录生育期出现时间, 收获期测产。

2 结果与分析

2.1 夏玉米需水量和需水规律分析

作物需水量根据参考作物蒸散量来计算, 计算公式为: $ET_c=K_c\times ET_0$

式中, ET_c 为作物需水量, K_c 为作物系数, ET_0 为参考作物蒸散量。

表 3 夏玉米需水量和需水规律

	播种—出苗	出苗—拔节	拔节—抽雄	抽雄—灌浆	灌浆—成熟	全生育期
日期(月—日)	06—15~06—21	06—22~07—14	07—15~08—06	08—07~08—25	08—26~09—25	06—15~09—25
天数(d)	6	23	23	19	31	102
需水量(mm)	12.0	76.4	121.8	62.4	87.1	359.8
占总需水(%)	3.3	21.2	33.9	17.3	24.2	100.0
日需量(mm)	2.0	3.3	5.3	3.3	2.8	3.5

2.2 耗水状况分析

本研究采用水量平衡法来计算耗水量。水量平衡方程式为:

$$9\Delta S=(P+I+C)-(E+T+R+D)$$

ΔS : 根系内土壤水分变化(mm); P, I : 生育期内的降雨量和灌溉量(mm); C : 进入根层的毛管上升水量(mm); E, T : 土壤蒸发量和植物蒸腾量(mm); R, D : 地表径流量和土层下边界渗漏量(mm)。

在试验条件下小区间有垄和保护行, 因此径流量可以忽略, 试验区地下水位常年一般在 4 m 以下,

计算过程中使用的夏玉米的作物系数 K_c 见表 2。参考作物蒸散量 ET_0 根据气象资料按照 Penman-Monteith 公式计算。

表 2 夏玉米的作物系数 K_c

播种—出苗	出苗—拔节	拔节—抽雄	抽雄—灌浆	灌浆—成熟
0.4	0.8	1.15	0.95	0.95

注: K_c 参考 FAO1992 推荐, 龚元石 1993^[1]

由表 3 可见, 试验条件下, 夏玉米全生育期为 102 d, 全程需水量为 359.8 mm, 与其他研究者在该地区的研究结果 360~450 mm 相符合^[6]。玉米在不同的生育阶段, 对水分的需求有较大的差异, 其中, 以拔节到抽雄需求最高, 其次是灌浆到成熟, 分别占全生育期需水量的 33.9% 和 24.2%。从日需水强度来看, 仍以拔节到抽雄为最大, 相当于全生育期平均日需水强度的 1.5 倍。总的来说, 玉米苗期需水不多, 而且由于叶面积小, 对水分的需求以满足株间土壤蒸发为主, 需水强度仅为全生育期平均日需水强度的 57%。玉米拔节以后, 转入营养生长和生殖生长并进阶段, 植株生长加快, 干物质积累急剧增加, 这时气温也日渐升高, 需水强度逐渐增强, 到抽雄期需水强度达到高峰。并且对水分十分敏感, 为需水临界期。灌浆期是玉米茎叶光合产物和积累的营养物质大量向子粒输送时期, 需水量也比较多, 是玉米需水的第 2 个关键期。玉米蜡熟以后, 植株衰老, 叶片蒸腾减少, 需水强度明显下降。

因此地下水在作物生长过程中所起作用不大, 作物生长所需水分主要由农田灌溉和降水来供应, 进入根层的毛管上升水量和土层下边界渗漏量也可忽略不计。所以, 夏玉米田间耗水量可以简化为:

$$ET=\Delta S+P+I$$

2.3 全生育期耗水总量及组成分析

全生育期耗水总量及组成见表 4。从表 4 来看, 充足灌水处理耗水量最高, 不灌溉处理耗水量最低。控制灌溉处理耗水量为 368.4 mm, 与由蒸散量计算得到的需水量 359.8 mm 基本相当, 充足灌

水处理比需水量高出 50.6 mm, 缺水处理和不灌溉处理耗水量分别比需水量低 38 mm 和 96 mm。结果表明, 充足灌水处理的耗水量大大超出作物需要量, 多出部分为无效耗水, 可能通过蒸腾作用散失,

也可能通过深层渗漏而消耗; 而缺水处理和不灌溉处理由于土壤处于缺水状态而导致实际耗水量低于作物需要量; 控制灌溉处理耗水量与需水量基本相当, 既满足作物生长需要, 又不造成浪费。

表 4 全生育期耗水总量及组成分析

处理	耗水总量 (mm)	降雨量 (mm)	灌溉量 (mm)	土壤供水 (mm)	占耗水总量的(%)		
					降雨	灌溉	土壤供水
充足灌溉	410.4	207.1	208.0	- 4.7	50.5	50.7	- 1.1
控制灌溉	368.4	207.1	121.9	39.4	56.2	33.1	10.7
缺水灌溉	321.8	207.1	143.4	- 28.7	64.4	44.6	- 8.9
无灌溉	263.8	207.1	0	56.7	78.5	0	21.5

从耗水来源组成上来看, 各个处理中降水均是耗水的重要组成, 占耗水总量的 50%~ 80%。说明即使在降水低于常年平均的试验年份, 无论灌溉与否, 降水都是夏玉米耗水的最主要来源之一。灌溉占耗水总量的比例, 3 个有灌溉处理为 33%~ 51%。土壤供水占耗水总量的比例很小, 其中两个处理土壤供水甚至出现负值, 说明生育期内作物不仅没有从土壤中吸收水分, 反而在一季的生长中土壤储水有了增加。不灌溉处理土壤供水所占比例最高, 占到 21.5%。全生育期土壤供水的多少一方面与降雨和灌溉所能提供的水量多少有关, 另一方面也与生长季开始时的土壤初始含水量有关。造成这一现象的主要原因是由于夏玉米生长季正好是北方地区

的雨季, 就土壤水的周年变化而言属于土壤水存蓄期, 土壤含水量由低谷向增墒蓄水期过渡。夏玉米播种前雨季尚未开始, 土壤水储量不大, 所以, 土壤供水所占比例较小, 甚至出现负值。这一点与冬小麦的情况有较大不同。所以, 夏玉米生长季土壤供水不可能成为作物耗水量的主要来源。但总的来说, 一定程度的土壤干旱则有利于调动土壤储水的利用, 这一点对于夏玉米同样适用。

2.4 各生育时段土体耗水的分析

尽管从全生育期看, 土体耗水很少, 甚至土壤储水增加, 但从各生育时段来看, 有些时段, 土体供水还是占构成耗水量的主体来源。表 5 是不灌溉处理各生育时段土壤耗水状况。由表可见, 夏玉米生育

表 5 各生育时段耗水来源组成分析mm

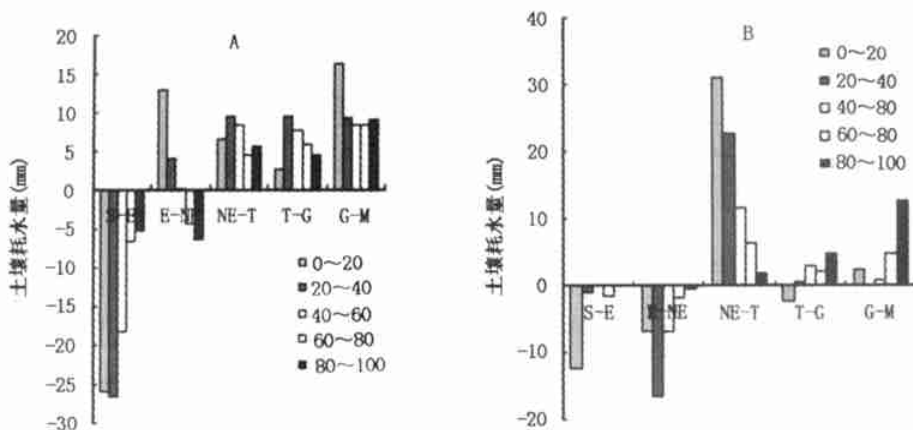
生育期	播种- 出苗		出苗- 拔节		拔节- 抽雄		抽雄- 灌浆		灌浆- 成熟	
水分供应	降雨+ 灌溉	土壤 耗水	降雨+ 灌溉	土壤 耗水	降雨+ 灌溉	土壤 耗水	降雨+ 灌溉	土壤 耗水	降雨+ 灌溉	土壤 耗水
充足	101.2	- 88.0	113.8	10.1	89.4	40.2	33.3	36.2	77.4	- 3.2
控制	86.8	- 82.8	113.8	6.2	89.4	34.7	33.3	30.0	5.7	51.3
缺水	36.6	- 17.8	113.8	- 48.8	89.4	8.9	33.3	28.2	77.4	0.9
无灌溉	36.6	- 14.3	113.8	- 32.2	17.7	73.8	33.3	8.07	5.7	21.3

前期(拔节以前), 土壤耗水较少, 特别是出苗以前, 各处理土壤耗水均为负值, 说明土壤水不但没有被作物吸收, 反而因降雨和灌溉而造成土壤水的存蓄。这是因为夏玉米苗期植株较小, 对水分的需求不大, 如遇降雨或灌溉, 则以蓄水为主。可以看到, 降雨与灌溉之和越大, 土壤水存蓄量也就越大。如控制灌溉播种到出苗期间降雨加灌溉比不灌溉处理高64.6 mm, 所以土壤水存蓄量比不灌溉处理高出 68.5 mm。拔节后, 植株迅速生长, 叶面积增大, 作物蒸

腾作用增强, 加上此时气温升高, 土壤蒸发很强, 需水急剧增加, 土壤前期存蓄的水分开始被作物吸收利用, 特别是当降雨和灌溉之和很小, 远不能满足作物需水量时, 土壤储水将作为作物耗水的重要来源, 供给作物生长需要。如不灌溉处理的拔节到抽雄、灌浆到成熟阶段, 土壤耗水分别是降雨量的 4.2 倍和 3.8 倍。在玉米各生育期, 降雨加灌溉之和与土壤供水量之间都有明显的互补关系。降雨加灌溉之和越大, 土壤供水量越少, 甚至出现负供水; 反之, 降

雨加灌溉之和越小,土壤供水量越大。因此,充分考虑降雨在生长季内降雨时间和降雨量在不同生育期内的分配,选择适宜的时机进行灌溉,形成生长季内土壤水分的干湿交替,充分开发土体水库的蓄水供水能力,是节约灌溉用水,提高水分利用效率的关键。在土壤耗水层次方面,由图 1 可以看到,不灌溉处理后后期土壤耗水以 80~100 cm 为主,而控制灌溉则以表层和次表层供水为主。这是两处理的水分条

件差异所致。控制灌溉相对讲水分供应充足,所以水分利用以表层和次表层为主,而不灌溉处理由于没有灌溉,后期降雨量少,土壤干旱严重,表层供水已不能满足作物生长需要,因此迫使作物根系下扎,利用更深层次的土壤储水。说明,尽管 50 cm 土层以下根重分布已经很少,但该层次的土壤储水还是可以被利用的,在某些水分胁迫条件下,该层次的土壤储水对植物生长起着非常重要的作用。



S-E, E-NE, NE-T, T-G, G-M 分别表示播种-出苗、出苗-拔节、拔节-抽雄、抽雄-灌浆、灌浆-成熟

图 1 各生育时段 1 m 土体不同土层耗水量

3 结论与讨论

试验条件下,夏玉米全生育期需水量为 359.8 mm。不同生育阶段,夏玉米对水分的需求有较大的差异,其中,以拔节到抽雄需求最高,其次是灌浆到成熟。日需水强度呈抛物线型,苗期较小,拔节到抽雄达到最大,抽雄到灌浆后需水强度逐渐减小。

降雨和灌溉是夏玉米耗水的主要来源。就土壤水分周年变化而言,夏玉米生长季属于蓄水增墒时期,土体供水在全生育期耗水来源组成中所占比例很小,甚至出现负供水。但并不是说,土壤供水在夏玉米生长季不重要。事实上,在生长发育过程中,土体作为降雨及灌溉水的储水库,在降雨或灌溉期间蓄水,而在降雨或灌溉不足时释放出来供给作物生长。充分认识这一点,对于合理控制灌溉时期,充分利用降雨,减少灌溉量有重要意义。

预测降雨年型及雨量分布,依据作物需水规律合理控制灌溉量,发挥土体的蓄水功能,对于提高水分利用效率,实现节水与高产并举有重要意义。

参考文献:

- [1] 龚元石. 华北平原主要农作物灌溉需水量的估算[J]. 北京农业大学学报, 1993, 19(增刊), 82-91.
- [2] 梁宗锁. 土壤干湿交替对玉米耗水特性及水分利用的影响[J]. 土壤学报, 2001, 38(3), 390-394.
- [3] 刘安能. 玉米调亏灌溉效应及其优化农艺措施[J]. 农业工程学报, 1999, 15(3): 107-112.
- [4] 王树安. 小麦节水高产栽培技术研究报告[A]. 兰林旺, 高殿玺主编. 小麦节水高产研究[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1995. 8-12.
- [5] 赵聚宝. 中国北方旱地农田水分平衡[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [6] 钟兆站. 中国北方主要旱地作物需水量的计算与分析[J]. 中国农业气象, 2000, 21(2): 1-4.