

晋中旱地玉米耗水规律及 农田水分平衡研究

陈奇恩*

(山西省农业科学院, 太原 030006)

萧复兴* 晋凡生 李海金 朱亚丽

(山西省农业科学院农产品贮藏保鲜研究所, 太原 030021)

摘 要

采用中子测水技术与蒸发模拟微区相结合的农业物理学法, 测得晋中旱地玉米生育期耗水量为300~350mm, 其中玉米蒸腾耗水占40~50%, 棵间土壤蒸发耗水占50~60%。土壤湿度越大, 棵间土壤蒸发越高。浅层土壤水分蒸发较强, 深层蒸发较弱。130~150cm土层蒸发几乎未波及到该层。玉米蒸腾与土壤蒸发耗水虽有一定联系, 但基本上属于两个独立的过程。蒸腾与产量之间呈高度正相关。农田水分平衡状况对产量有明显的影晌。

关键词 旱地 玉米 耗水规律 水分平衡 农业物理学法

水资源短缺是半干旱地区农业生产的重要限制因素〔1〕。开展农田水分平衡及耗水规律研究, 创造利于作物生长发育的水分条件, 提高水分利用率, 实现平衡增产, 是旱地农业生产的迫切要求。耗水规律及水分平衡研究, 国内外从60年代开始, 先后采用农业气象学法〔2〕和水压式蒸散器等测量方法进行研究。这些方法要有一定仪器设备, 也比较繁琐, 不便实际应用, 而且未能将作物蒸腾与棵间土壤蒸发分开, 当前难于普遍采用。从1987年开始, 我们用中子测水和模拟微区相结合的农业物理学方法, 研究旱地农田耗水规律及水分平衡。这一技术的特点是, 设备简单, 应用方便, 投资少, 应用范围广, 并能在不破坏农田土壤结构〔6〕的前提下, 直接真实地对农田水分状况和棵间土壤蒸发进行长期观测。实践证明, 采用这一技术开展农田耗水规律及水分平衡理论研究, 可获得满意的效果。

试验方法

试验地设在太原郊区平川旱地, 土壤质地为轻壤土, 肥力中等。试验作物为玉米, 品种为中单2号, 密度3000株/亩, 小区面积35m²。根据田间设计, 冬前分别在试验小区中心装埋2.2m长中子水分仪导管, 管间距离5m, 用以测定农田土壤水分和研究蒸散量。另外, 在其中的一个小区中部挖一深2m, 边长1m的土柱, 然后用铁皮隔离套紧围在土柱外, 防止

外部根系扎入土柱。在铁皮套围的微区中央安装2.2m长导管1根。微区内不种玉米,安插绿色假植株,模拟玉米各生育期遮荫程度,进行棵间土壤蒸发的研究,称蒸发模拟微区。作物蒸腾量通过计算求得。降水量从临近气象观测站获取。

中子水分仪直接在试验田进行标定〔3,4〕,标定土层深度为0~210cm。每10天测定土壤水分1次,各生育期和较大降水后增测1次。

结果与分析

一、玉米农田蒸散、蒸腾与蒸发的规律及相互关系

1. 玉米农田蒸散特征曲线 每种作物在整个生育期有一条水分蒸散的特征曲线,曲线的形态与各生长发育时期的需水量有关,同时也与太阳辐射、大气温度、湿度及土壤湿度相关〔2〕。

图1是综合4年玉米日蒸散量随生育期变化的实验资料。苗期,棵间土壤蒸发占蒸散量90%以上。蒸发量与土壤湿度密切相关。此期共耗水50mm左右,蒸散强度为1.5mm/日。拔节后叶面积指数迅速增加,使农田形成一个有效覆盖层,棵间土壤蒸发减缓,植株蒸腾量逐渐增高。拔节至抽雄期棵间土壤蒸发占蒸散的45~50%。此期共耗水105~123mm,蒸散强度为2.8~3.3mm/日。抽雄到灌浆,棵间蒸发下降到30%左右。此期蒸散耗水45~55mm,蒸散强度为4.5~5.5mm/日。此后棵间蒸发比例又逐渐上升,植株蒸腾由于叶面积逐渐减小而下降。灌浆到蜡熟耗水73~86mm,蒸散强度为3.0~3.5mm/日。蜡熟到收获耗水23~38mm,蒸散强度为1.5~2.5mm/日。曲线的高峰在抽雄至灌浆期。

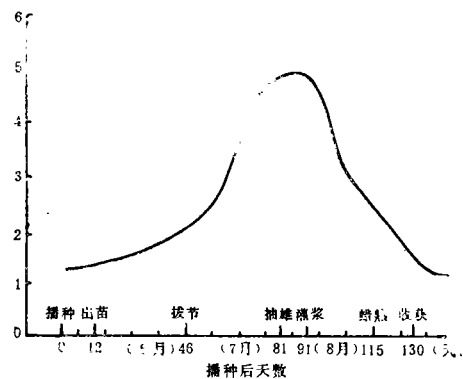


图1 玉米耗水特征曲线

2. 棵间土壤蒸发规律及影响因素 用中子水分仪和蒸发模拟微区相结合的实测方法,将棵间土壤蒸发从农田蒸散中分解开来,以利于蒸腾与蒸发的深入研究。测定结果表明,玉米田棵间土壤蒸发为150~200mm,占蒸散的50~60%。蒸发量与降水量和土壤湿度有关。1987年和1989年,生育期降水只有180mm左右,棵间蒸发较低,占蒸散50~51%。1988年生育期降水较多,为415mm,棵间蒸发增多,占蒸散的57.3%。灌水试验表明,水地玉米湿度大蒸散超过500mm,比旱地高60%左右。而且灌水愈多棵间蒸发愈高,占蒸散的70%以上。

不同层次土壤水受蒸发的影响差异极大。耕层土壤水受蒸发和降水的双重影响,变化幅度大,变化频度高,波动性强。90~110cm的土层,受降水和蒸发的影响较小,土壤水变化平缓,最高与最低含水量相差只有6mm左右。130~150cm深层土壤水一般年份几乎没有什么变化,蒸发未波及到该层。但降水较多的1988年,水分渗至2m以下土层,使深层土壤水贮量大大增多。

3. 玉米蒸腾及其与蒸发的关系 玉米产量在400kg以上的农田,蒸腾量一般在120~

160mm之间,占蒸散量的40~50%。蒸腾量与降水量或灌水量有关。一般是降水多的年份蒸腾弱,降水少的年份蒸腾强。灌水多的农田蒸腾小,灌水少的蒸腾大(表1)。1987~1989年的3年中,1987年生育期降水最少,只有178mm,不灌水农田蒸腾量为160mm,灌水265mm的蒸腾量为134mm,比不灌水的减少26mm。1988年生育期降水较多,达到415mm,因而蒸腾量比1987年减少17mm。

表1 不同年份玉米蒸腾与降水、灌水量的关系

项 目	11	1989	1983	1987		
				降水	灌水I	灌水II
生育期降水或灌水(mm)		183.0	415.0	178.0	135.0	265.0
蒸散量(mm)		324.0	334.4	325.8	475.9	533.4
棵间蒸发量(mm)		167.6	191.6	165.8	331.5	399.0
蒸发/蒸散(%)		51.7	57.3	50.9	69.7	74.8
蒸腾(mm)		157.0	143.0	160.9	144.0	134.0

从作物蒸腾与棵间土壤蒸发的关系看,蒸发在一定程度上影响着蒸腾,总的趋势是蒸发大,蒸腾相应变小;蒸发小蒸腾相应加大。由于棵间土壤蒸发大,农田小气候湿度相应增加,缩小了叶面与大气之间的湿度梯度,叶片的蒸发也就随之减弱,反之亦然。

但是蒸发与蒸腾之间并没有线性关系。灌水试验表明,棵间土壤蒸发灌溉地约为非灌溉地的2.4倍;然而玉米蒸腾灌溉玉米只下降了26mm,占非灌溉玉米蒸腾的16.3%。灌溉地土壤蒸发虽成倍增加,但蒸腾下降微小。这一事实表明,作物蒸腾与土壤蒸发虽有一定的联系,并都包含在蒸散之中,但蒸腾与蒸发基本上属于两个独立的过程。蒸发属物理过程,而蒸腾则是生理与物理过程的综合反映。

4. 玉米蒸腾与产量的关系 在半干旱地区,没有灌溉条件的旱地,水分是限制产量的重要因素。在这种条件下,作物蒸腾耗水越多,产量越高,产量与蒸腾存在着极显著的线性关系,图2显示出了这一关系。图中A、B、C三点还指出,在玉米生育期土壤水分补充较充分的条件下,即使补充水分超过蒸散量时,蒸腾与产量之间仍存在线性关系。其线性方程为: $y = -101.575 + 4.081T$ ($n = 10, r = 0.909^{**}$)。进一步分析表明,由于P、Q两点的离散,导致回归线向右偏离,并形成A、B点离散较大的假像。

从回归方程得知,产量随蒸腾增加而增加,但蒸腾与产量不是按同等比例增加,蒸腾增加比例小,产量增加比例大,说明蒸腾引起产量的变化是较大的。

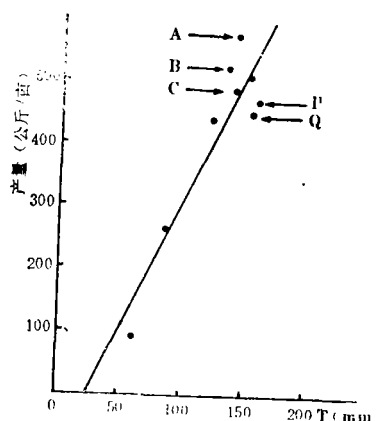


图2 产量与蒸腾的关系

二、玉米农田土壤水分变化特点

1. 不同层次土壤水分变化特点 据测定,晋中地区 0~2 m 深土层贮水能力达 540 mm,其中有效水量为 310~340 mm,可利用水比例约占 60%。半干旱地区土壤水贮量难达到理论值,而且处于不断变化状态,其变化大小直接受降水量和农田蒸散耗水的双重影响。

图 3 的曲线表明,不同土层土壤水含量的变化受降水和玉米耗水影响的程度有明显的差别。在生育期降水只有 178 mm 的早年(1987),0~30 cm 土层水分,苗期变化小。进入拔节期后,玉米需水量增大,对该层土壤水分利用强度也大。从 6 月下旬开始,此层土壤水呈直线下降趋势,直到可利用水耗尽为止。而 1988 年,生育期降 415 mm,较为丰富,0~30 cm 土层水分变化又是另一种状况,描出的曲线呈波动状态,最高与最低差值为 21.4 mm。该层土壤水分波动大,变速快,年际变化也大,属土壤水活跃层。

90~110 cm 土层,水分变化缓慢,波动次数少。较干旱的 1987 年,玉米进入灌浆期,根系下扎此层,开始利用深层土壤水,从 7 月起含水量逐渐下降,直到萎蔫系数为止,收获前一直未得到补充。而降水较多的 1988 年刚好相反,到 8 月份,此层土壤水含量开始上升,达到田间持水量的 85% 以上。从两年情况分析,虽然该层土壤水有升有降,但变化频率小,因此该层土壤水分属缓慢变化层。

190~210 cm 土层,无论干旱年或降水多的年份,土壤水分状况在生育前期基本相近。玉米进入灌浆期含水量才显示出差异,丰水年上升,欠水年由于根系对此层的吸收利用而下降。该层土壤水属相对稳定层。

从 0~2 m 土层总体分析,1987 年由于降水低于农田耗水,因而土壤水消耗较大,土壤含水量降低。1988 年由于降水多于农田耗水,土壤水得到补充,土壤贮水量增加。

2. 玉米对不同层次土壤水分的利用 玉米对各层次土壤水的利用不是均衡的,耕层土壤水利用所占的比例最大,往下依次减小(表 2)。生育期降水多少对各层次利用有较大的影响。1988 年降水较多,浅层土壤水得到及时补充,0~30 cm 耕层土壤水的利用比 1987 年提高 13%,而深层利用减小。

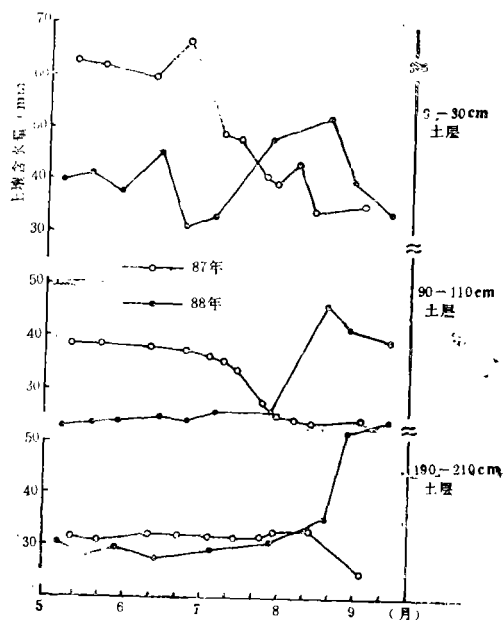


图3 玉米农田不同层次土壤水分动态

表2 玉米利用不同层次土壤水比例 (%)

土壤层次(cm)	0~30	0~50	50~100	100~210
1987	32	46	32	22
1988	45	60	29	11

三、农田水分平衡状况与产量的关系

为了获得好的农业收成,农田水分必须维持在平衡状态,否则,产量必将受到影响。采用水分平衡简化方程式 $\Delta W = R - ET$ 〔6〕计算结果(表3),在农田水分达到平衡时,可获得较高的产量。若出现亏缺,产量下降,说明水分平衡在农业生产中的作用是至关重要的。我国北方降水偏少,大部分地区都处于水分亏缺状态,对农业生产有较大的限制作用。

表3 不同年份玉米农田水分平衡对产量的影响

项 目	R	ET	ΔW	产 量 (kg/亩)	水分生产效率 (kg/mm)
1937	178	325.8	-147.8	472.2	1.4
1938	415	334.4	+80.6	572.0	1.7
1989	183	324.9	-136.9	490.0	1.5

试验测定,晋中地区旱地玉米农田耗水300~350mm。而玉米生育期4月下旬至9月中旬自然降水368.9mm(1956~1986年平均值),可以说全生育期大致处于水分供需平衡状态。问题在于该地区年降水量变幅大,生育期降水在350mm以上的年保证率只有60%,300~350mm的保证率只有10%,还有30%的年份自然降水量不能满足玉米农田耗水的需求。

讨 论

1. 玉米生育期耗水呈单峰形特征曲线,曲线高峰出现在抽雄灌浆期,最大蒸散强度达到5mm/日,总耗水量为300~350mm,其中玉米蒸腾耗水占40~50%,棵间土壤蒸发耗水占50~60%。这就说明,玉米生育期耗水有一半以上未用于物质生产,绝大部分是无效消耗;但同时也说明,旱地农田土壤水分还隐藏着较大的生产潜力没有开发出来。因此,在北方旱农地区,抑制农田无效蒸发(地面覆盖,保水剂等均有这种作用),使水分贮藏于土壤之中,既可缓解作物需水与土壤供水的矛盾,减轻干旱对作物的危害,又能将一部分蒸发耗水转变为蒸腾耗水,使作物产量提高。

2. 蒸发耗水主要发生在耕层和1m以上的土层,对1m以下的土壤水基本没有触及。而玉米蒸腾耗水,可利用2m土层以下的深层水。这两种耗水方式不同特点的揭示,为抗旱耕作指出了方向。采用适宜的耕作栽培措施,提高降水的入渗率 and 下渗的深度,使深层土壤贮存更多的水分,既可减少土壤水的蒸发,又可在干旱年分满足作物对水分的需求,从而达到增强旱地农业的抗灾能力。

3. 农田水分平衡是旱地农业实现均衡增产至关重要的基础。在土壤——作物——大气这一连续体中,作物蒸腾、土壤蒸发,是农田水分平衡系统的主要支出项,而降水则是平衡系统的唯一收入项。可是自然降水的多少,目前人力是无法干预的,希望保持一个满意的农田水分平衡状态,只能在减少农田耗水方面采取措施。前面论述指出,抑制土壤蒸发还有很大的潜力可挖。至于降低作物蒸腾,国内外在抗旱增产剂方面已有不少报道,并展示了可喜的前景。因此,为了实现旱地农业的高产和平衡增产,开展以农田水分平衡为中心、以提高水分生产效率为目标的研究,具有深远的意义。

参 考 文 献

- 〔1〕 〔美〕 K.G.布伦格勒:《旱地农业理论与实践》,农业出版社,1937
- 〔2〕 世界气象组织:《玉米农业气象学》,气象出版社,1933
- 〔3〕 萧复兴等:中子法测旱地土壤水分的研究,《原子能农业应用》,1986(1)
- 〔4〕 测坑内分层标定技术的探讨,《核农学通报》,1989(6)
- 〔5〕 〔西德〕 W.拉夏埃尔著:《植物生理生态学》,科学出版社,1980
- 〔6〕 Walker, G.K.: Measurement of evaporation from soil beneath crop canopies, Can. Soil Sci., 1983(63): 137~141

Maize Plant Water Consumption and Hydrological Balance on Non-Irrigated Land in the Central Region of Shanxi

Chen Qi'en

(Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030006)

Xiao Fuxing Jin Fansheng Li Haijin Zhu Yali

(Institute of Stored Agricultural Products, Shanxi Academy of
Agricultural Sciences, Taiyuan 030031)

Abstract

This experiment used the agricultural physics method combining the moisture determining technique by neutron with the simulant microplot evaporation. The results showed that on non-irrigated land in the central region of Shanxi maize total water consumption was about 300 to 350mm in the whole growing period, water consumption from maize transpiration taking up 40% to 50% and water consumption from soil evaporation among plants 50% to 60%. The higher soil moisture was, the more soil evaporation among plants was. The results also showed that water evaporation was stronger in shallow soil and weaker in deep soil and that there was hardly any evaporation in the soil layer of 130 to 150cm. Although maize plant transpiration had some relations with soil evaporation, they belonged to two independent processes basically. Transpiration was significantly correlated with yield. The farmland hydrological balance had an obvious effect on yield.

Key words: Non-irrigated land; Maize; Water consumption; Hydrological balance; Agricultural physics method