夏玉米土壤水分指标研究

朱自玺　侯建新*

（河南省气象局农业气象试验站）

提　　要

不同土壤水分状况对夏玉米生长发育和产量形成有着明显的影响，并且通过各种生理生态特征表现出来。本文根据1984—1987年试验资料，系统分析了土壤水分对气孔阻力、光合作用、蒸腾强度、灌浆速度等生理特征和产量的影响，建立了土壤湿度与它们之间的数学模式，运用最优分割理论进行最优分割，确定了夏玉米拔节—抽雄期的适宜土壤水分指标为15.5%，干旱指标为10.5%，分别占田间持水量的71.4%和48.4%；抽雄—成熟期的适宜水分指标为16.7%，干旱指标为10.7%，分别占田间持水量的77.0%和49.3%。从而为灌溉管理提供了依据。

引　言

在土壤-植物-大气系统中，水分是一个十分重要的因子，它不仅是系统的构成成分，而且是传输的对象。水分作为溶剂和生命介质的主要组分，直接影响着作物的生长、发育和产量的形成。当发生水分胁迫时，可造成作物减产，甚至死亡。作物作为一个有机体，对环境条件有一定的适应范围，在此范围内生命现象进行得比较顺利，超出此范围则生理生态特征会发生某种突变。从这些变化上来确定土壤水分指标，是符合生物学规律的，也是具有生产意义的。

试验研究方法

1.地段选择

本试验是在人为控制水分的条件下进行的，试验地设在河南巩县，地下水位37m；土壤类型上层为轻壤，下层为中壤；中等肥力。0—130cm平均土壤容重为1.4g/cm³，平均田间持水量为21.7%，凋萎湿度为5.6%。

2.试验设计

为研究不同土壤水分状况下夏玉米生长、发育和产量形成的规律，试验共设5个不同水分等级，分别占田间持水量的<40%、40-55%、55—80%、>80%和自然对照。每个等级共有3个重复。小区面积为10m²。为防止自然降水对土壤湿度的影响，试验场设有大型活动式防雨棚，可同时覆盖12个小区。有降水时，将棚推放在控制小区之上；降水停止时，立即推离试验小区。为防止土壤水分在水平方向上的运动，小区周围设有地下隔离层。为研究不同发育阶段土壤水分的影响，上述处理共有两套，分别在拔节—抽雄和抽雄—成熟期进行。因此试验场共有30个小区。

3.供试品种：郑单2号和郑单7号。

4.测定项目

土壤湿度：自播种之日起，每10天测定一次，深度为1.3m。所用仪器为土钻和中子仪（503DR Hydroprobe Moisture Depth Gauge）。

实际蒸散：包括植物蒸腾和土壤蒸发。每天定时进行观测。所用仪器为水力式蒸发器。

气孔阻力和蒸腾强度：灌浆期为每10天进行1次，所用仪器为稳态气孔计（LI-

* 参加此项工作的还有本站牛现增、傅湘军和巩县气象站赵宗汉同志。

1600 Steady Porometer)。

光合强度：灌浆期为每10天测定1次，所用仪器为红外线CO_2气体分析仪。

灌浆速度：每5天测定1次。

产量分析：包括穗粒重、千粒重、每亩籽粒重、籽粒茎秆比、果穗秃尖率、秃尖长度比和实际产量。

结果与分析

根据1984—1987年田间试验资料分析，不同土壤水分状况对夏玉米生理生态特征有着明显的影响。现从气孔阻力、蒸腾强度、光合强度、灌浆速度等方面进行分析。

1.气孔阻力

水分在土壤-植物-大气系统中运动的最后阶段为蒸腾，它是通过气孔开张来实现的。气孔阻力的大小，除受太阳辐射和温度的影响呈周期性变化外，还受叶水势和土壤湿度的影响。根据Taylar，Jodan和Sinclair (1983)[4]的论述，气孔阻力随着叶水势的减小而增大，当叶水势减小到一定程度时，气孔阻力突然增大。而叶水势和土壤湿度或土壤水势又有着密切的关系[3]，土壤湿度大，保卫细胞膨压增强，气孔开张，阻力减小；反之，气孔关闭，阻力增大。根据在灌浆期测定结果，两者呈指数关系，当土壤湿度很小时，阻力很大，随着土壤湿度的增大，气孔开放，阻力急剧减小；当土壤湿度增大到一定程度时，气孔完全开放，阻力稳定在一定数值上（图1）。

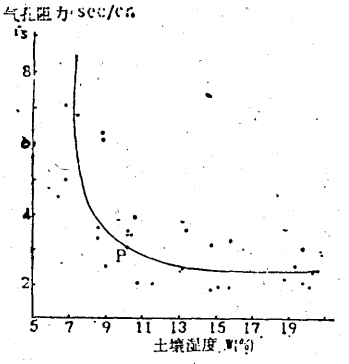

图1 气孔阻力与土壤湿度的关系

其拟合方程为：

$$r_s = 19.1331 - 2.8784W + 0.1672W^2 - 0.0033W^3 \quad (1)$$

式中r_s为气孔阻力，单位为秒/厘米；W为土壤湿度百分率，取其分子。经检验，$F = 12.4 \gg F_{0.01}(=4.48)$。相关系数$r = 0.74$。

从图1可以看出，气孔阻力随土壤湿度的变化很不相同，而且明显地存在着一个突变点P，在P点右方，气孔阻力小而稳定，有利于气体交换和光合作用；而在P点左方，则变化急剧，影响正常的生理功能。运用最优分割理论[1] (Wilks准则)，可以确定P点的位置。通过分割，与P点对应的土壤湿度$Wd = 10.2\%$，经检验，$F = 557.3$，而$F_{0.01} = 6.84$，故分割效果是显著的。可以此点作为夏玉米灌浆期的干旱指标，相当于田间持水量的47.0%，1.3m深土层有效水分贮存量为83.7mm。

2.蒸腾强度

如上所述，土壤湿度不同，气孔开闭程度便不一样，必然影响着蒸腾强度的大小[2]。根据试验，在土壤湿度比较小时，蒸腾强度随土壤湿度的增大而显著增加，但当土壤湿度达到一定数值后，蒸腾强度变化甚微（图2）。

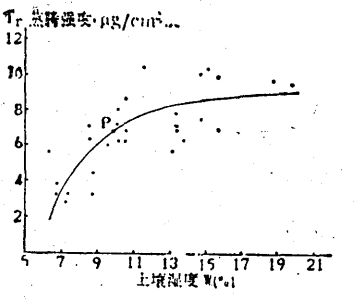

图2 蒸腾强度与土壤湿度的关系

其方程为：

$$T_r = -24.68 + 20.941\ln W - 3.255\ln^2 W \quad (2)$$

式中T_r为蒸腾强度，单位$\mu g/cm^2 \cdot sec$，W为土壤湿度百分率，取其分子。经检验，

$F = 19.8 \gg F_{0.01}$ ($= 5.32$)。蒸腾作为作物重要的生理现象，不应因土壤水分不足而受到限制，否则将影响碳源吸收、无机盐分配和失去调节体温的能力。最优分割点P的土壤湿度为$Wd = 9.7\%$，可以作为该期的干旱指标，相当于田间持水量的44.7%，有效水分为74.6mm。

3.光合强度

气孔的开闭，不仅影响蒸腾作用，而且影响CO_2的交换，进而影响光合强度[4],[5]。根据测定结果，光合强度随土壤湿度的增大而增加（图3）。但在不同湿度范围内，其增加的速率有明显的不同。当土壤湿度较小时，光合强度增大很快，但当土壤湿度达一定数值时，光合强度变化甚微，基本上稳定在较高的数值上。

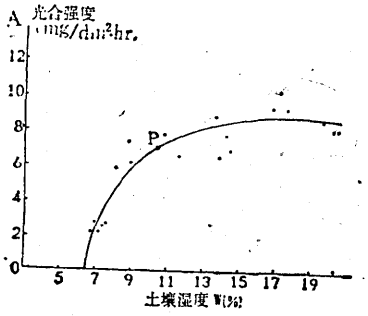

图3　光合强度与土壤湿度的关系

其拟合方程为：

$$A = -15.887 + 3.952W - 0.206W^2 + 0.00343W^3 \quad (3)$$

式中A为光合强度，单位为$mg/dm^2 \cdot hr$。相关系数$r = _.85$，经检验$F = 23.8 \gg F_{0.01}$($= 4.82$)。

对上式求导，并令$A' = 0$，解方程，则得极值点$W_{M_1} = 16.0\%$，$W_{M_2} = 23.9\%$。因W_{M_2}超过田间持水量，不合理，故舍去。则W_{M_1}可以作为适宜的土壤水分指标。经分割，最优分割点$Wd = 10.5\%$，可以作为干旱指标。

4.灌浆速度

夏玉米开花后，光合产物开始向籽粒输送。而输送速度与光合强度和叶片碳水化合物的含量有关，因而与土壤湿度有关。灌浆速度随着土壤湿度的增大而增大（图4）。

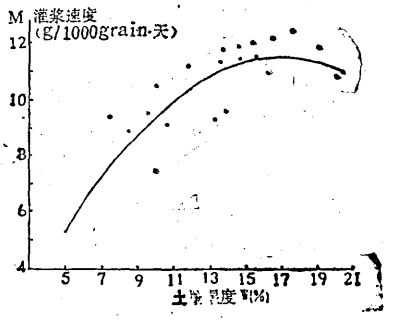

图4　灌浆速度与土壤湿度的关系

其拟合方程为：

$$M = -0.848 + 1.441W - 0.0423W^2 \quad (4)$$

式中M为灌浆速度，单位克/1000粒·日，相关系数$r = 0.80$，经检验$F = 12.5 \gg F_{0.01} = 6.01$。极值点$W_m = 17.1\%$，最优分割点$Wd = 11.7\%$。分别相当于田间持水量的79.0%和54.0%，1.3m深土层有效水分分别为209.3和111.0mm。

5.相对产量

取各年不同水分处理的产量与当年55—80%处理的产量的比值作为相对产量，建立相对产量与土壤湿度的关系。

对于第一套处理（拔节—抽雄），其拟合方程为：

$$Y = -3.998 + 0.6667W - 0.02146W^2 \quad (5)$$

相关系数$r = 0.94$，经检验$F = 48.3 \gg F_{0.01}$($= 6.93$)。极大值点$W_m = 15.5\%$，可作为拔节期的适宜水分指标，相当于田间持水量的71.4%，有效水分为180.2mm。最优分割点的土壤湿度为$Wd = 10.5\%$相当于田间持水量的48.4%，有效水分为89.2mm，可作为干旱指标。

对于第二套处理（抽雄—成熟），其拟合

方程为：

$$Y = -1.883 + 0.371W - 0.011W^2 \quad (6)$$

相关系数为 $r = 0.88$，经检验 $F = 15.1 \gg F_{0.01}$ ($= 8.02$)，极大值点为 $W_m = 16.9\%$，可作为灌浆期适宜水分指标，相当于田间持水量的77.9%，有效水分为205.7mm。最优分割点的土壤湿度（干旱指标）$Wd = 11.6\%$，相当于田间持水量的53.5%，有效水分为109.2mm。

讨　论

综合上述，从不同生理生态特征所确定的夏玉米适宜水分指标和干旱指标如附表所示。

附表　从各种生理生态特征确定的夏玉米水分指标

项　目		适宜水分指标			干旱指标		
		土壤湿度百分率(%)	占田间持水量(%)	有效水分(mm)	土壤湿度百分率(%)	占田间持水量(%)	有效水分(mm)
气孔阻力					10.2	47.0	83.7
蒸腾强度					9.7	44.7	74.6
光合强度		16.0	73.7	189.3	10.5	48.4	89.2
灌浆速度		17.1	79.0	209.3	11.7	54.0	111.0
相对产量	灌浆期	16.9	77.9	205.7	11.6	53.5	109.2
	拔节期	15.5	71.4	180.2	10.5	48.4	89.2

可以看出，不论从哪一方面所确定的水分指标，基本上是一致的，这不是偶然的巧合，而是作物本身所固有特性的反映。取平均值，可得夏玉米抽雄—成熟期的适宜土壤水分指标为16.7%，相当于田间持水量的77.0%，1.3m深有效水贮存量为202.0mm；干旱指标为10.7%，占田间持水量的49.3%，有效水分为92.8mm。而拔节—抽雄期的适宜水分指标为15.5%，相当于田间持水量的71.4%，有效水分为180.2mm；干旱指标为10.5%，占田间持水量的48.4%，有效水分为89.2mm。两阶段的干旱指标基本相同。但抽雄—成熟期，由于群体大、蒸腾强和籽粒灌浆的需要，要求较高的适宜水分指标。

参考文献

[1] 朱自玺、牛现增，冬小麦主要生育阶段水分指标的生态分析，气象科学研究院院刊，Vol. 2, No. 1, 82—83, 1987。

[2] Kramer, P. J., Water relations of Plants, Academic Press, New York, 326—328, 1983.

[3] Monteith, J. L., Vegetation and the atmosphere, Volume 1 Principles, Academic Press, London, 1975.

[4] Taylor, H. M., W. R. Jordan and T. R. Sinclair, Limitations to Efficient Water Use in Crop Production, American Society of Agronomy, Inc., Crop Science Society of America, Inc., Soil science Society of America, Inc., 246—249, 320—321, 1983.

[5] Teare, I. D., Crop-Water Relations, A Willey-Interscience Publication, New York, 105—107, 113—116, 1982.

On the indexes of soil moisture for summer maize

Zhu Zixi　Hou Jianxin

(Agrometeorological Experiment Station, Meteorological Bureau of Henan Province)

Abstract

Based on the experiments during the period 1984—1987, this paper analyzes systematically the influences of soil moisture on stoma resistance, transpiration, photosynthesis, milking rate and yield. Using mathematical method and the theory of optimum segmentation, the optimum soil moisture and the drought indexes can be determined. During the period of jointing to tasseling, they are 15.5% and 10.5 (as percentage of dry weight of soil), which are 71.4% and 48.4 of field capacity respectively. But for the period of tasseling to maturing, they are 16.7% and 10.7%, which are 77% and 49.3% of field capacity They are useful to reasonable irrigation.