

不同土壤大气湿度组合下玉米生长 及水分光合特性反应*

李秧秧 黄占斌 黄少燕

(中国科学院水利部水土保持研究所·陕西杨陵·712100)

摘要 通过对不同土壤大气湿度组合下玉米生长、水分及光合特性的研究,认为土壤水分亏缺对玉米的影响要超过大气干旱。玉米的水分状况及生理活性主要决定于土壤的水分条件。短期干旱使气干土干、气湿土干处理净光合速率下降的主要原因是非气孔限制,而气干土湿处理前期光合速率下降主要是由于气孔限制,后期则为非气孔限制。短期干旱过程中各处理的干物质仍持续增加。

关键词 土壤大气湿度组合 玉米 生长 水分 光合

文献标识码: A 文章编号: 1000-288X(1999)02-0023-04 中图分类号: S513.07

Response of Maize Growth and Water-Photosynthesis Characteristic to Different Combination of Air Humidity with Soil Moisture

LI Yang-yang HUANG Zhan-bin HUANG Shao-yan

(Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling District, Shaanxi Province, 712100, PRC)

Abstract Through the research of growth, water and photosynthesis characteristic of maize under different combination of air humidity with soil moisture, the results showed the harm of soil water deficit exceeded that of air drought, water status and physiological activities were mainly decided by soil moisture. Short-term drought made photosynthetic rate decrease. For soil dry treatments, the main reason was nonstomatal limitation, but for air-dry-soil-wet treatment, stomatal limitation at first but nonstomatal limitation later. Dry matter continued to increase during the period of short-term drought.

Keywords: combination of air and soil water; maize; growth; water; photosynthesis

土壤和大气是植物赖以生存的两大媒介,其水分状况的变化直接影响着植物的水分状况及其蒸腾作用的强弱。在我国北方旱地农业生产实践中,土壤和大气干旱经常发生,其水分组合可大致概括为气湿土湿、气湿土干、气干土湿和气干土干 4 种类型。由于大气湿度难以控制,因而有关它与土壤水分的耦合机制研究不多。一些研究表明,大气湿度直接影响着植物气孔的反应^[1,2],高大气湿度可缓解作物的光合午休现象^[3],但对其机理并不清楚。土壤和大气干旱诱导的干旱信号产生的原初部位不同,其生理作用结果是否一样仍需进一步研究。为此,该文借助于人工生长箱,试图通过对不同土壤大气湿度组合下作物的水分、光合、生长特性的分析,从生理生态角度揭示不同组合的反应机理,为旱地农业提供理论参考。

1 供试材料与方法

供试材料为玉米(陕单 9 号)。土培试验。土壤为±壤土,其有机质、速效氮、速效磷分别为 12.1 g/kg, 129 mg/kg 和 6.9 mg/kg, 田间持水量为 29.1%。每盆装风干土 9.5 kg, 并施入尿素 2.45 g 和 KH_2PO_4 1.62 g, 播精选的种子 8 粒, 置室外自然条件下生长并充分灌水, 三叶期后定苗至 5 株。五叶期时置人工生长箱内处理 17 d 左右。人工生长箱光照为 $250 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 温度为 25℃, 白天照光 12 h, 夜间黑暗。

试验分 4 个处理: 气湿土湿、气湿土干、气干土湿和气干土干。气湿和气干的空气相对湿度分别为 75% 和 50%, 土湿和土干是指土壤含水量分别为田间持水量的 75% 和 40%。

干物重为 70℃ 烘干后称重; 叶面积用直尺测量长与宽后乘以系数并用晒图法校正; 叶水势用 3005 型压力室测定; 光合气体交换参数及叶温用 ADC 便携式光合系统测定。

2 结果与分析

2.1 干物重和绿色叶面积变化

干物重是衡量作物生物产量的重要指标, 它反映了作物生长的强弱。绿色叶面积的大小直接反映了植株的同化能力。整个干旱过程中, 各处理干物重一直在持续增加(图 1, 图 2)。第 17 d 时, 各处理干物重大小依次为: 气湿土湿 > 气干土湿 > 气湿土干 > 气干土干。前 2 个处理的绿色叶面积一直在增加, 而后二者从第 11 d 起则持续下降(图 1, 图 2), 这可能与干旱导致的叶衰老有关。

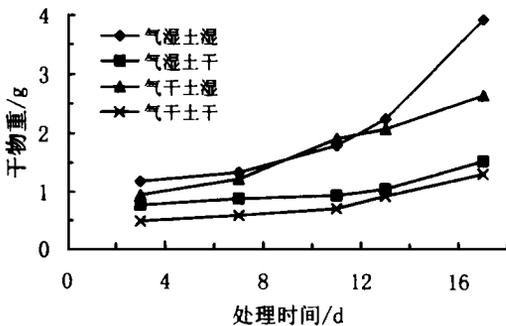


图 1 不同处理干物重变化

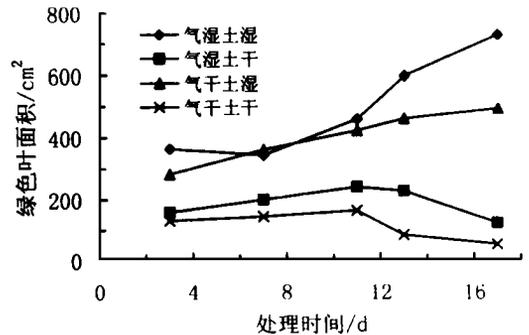


图 2 不同处理绿色叶面积变化

以气湿土湿处理为对照, 比较气干土湿和气湿土干处理干物重和绿色叶面积的下降幅度, 发现土壤干旱导致的干物质和绿色叶面积减少明显超过大气干旱(图 1, 图 2)。土壤水分充足时, 干物重和绿色叶面积呈显著正相关($r_{\text{气湿土湿}} = 0.9563^*$, $r_{\text{气干土湿}} = 0.9688^*$); 而土壤干旱时, 二者相关关系不明显, 说明土壤水分充足时, 干物质的增加主要缘于绿色叶面积的增加, 而土壤干旱时, 则主要缘于茎重或叶片厚度的增加而非绿色叶面积的增加。以处理后第 13 d 为例。当土壤水分充足时, 气干处理的干物重和绿色叶面积分别比气湿处理下降了 22.86% 和 7.52%, 而土壤干旱时, 则分别下降了 63.03% 和 49.06%, 这表明大气干旱对作物的影响主要决定于土壤的水分条件。良好的土壤水分可在很大程度上缓解大气干旱对玉米生长的威胁。同样, 高大气湿度也可在一定程度上缓解土壤干旱对作物的伤害。大气干旱和土壤干旱间存在一定的交互作用, 且随干旱程度加剧变得越来越大。

2.2 叶水势的变化

叶水势是衡量作物水分状况的良好指标。从图 3 可看出, 整个处理过程中, 气湿土湿和气

干土湿处理的叶水势稍有下降, 这可能与叶片老化有关。而气湿土干和气干土干处理的叶水势下降幅度很大。相比之下, 土壤干旱导致的叶水势降低幅度明显高于大气干旱, 说明叶水势主要决定于土壤水分状况。当土壤干旱时, 高大气湿度可在一定程度上改善叶片水分状况, 使叶水势上升。

2.3 光合气体交换参数的变化

2.3.1 净光合速率(P_n) 从表 1 可看出, 气湿土湿处理的 P_n 逐渐增大, 而其它 3 个处理的 P_n 均下降。处理第 13 d 和第 3 d 相比, 气湿土干、气干土湿和气干土干处理的 P_n 分别下降了 19.45%, 7.30% 和 51.40%, 说明气干土干处理的光合机构受损伤最大, 其次为气湿土干处理和气干土湿处理。

2.3.2 细胞内 CO_2 浓度(C_i) 和气孔限制值(L_s) 气湿土湿处理的 C_i 变化不大, 其它 3 个处理的 C_i 明显增大。处理第 13 d 时, 气干土干处理的 C_i 最大, 其次为气干土湿和气湿土干处理。这也表明气干土干处理的光合机构受损伤程度最大。

利用 Farquhar 和 Sharkey (1982)^[4] 的公式计算气孔限制值 L_s , 即 $L_s = 1 - C_i/C_a$ 。式中 C_a 为大气 CO_2 浓度。用其来分析光合降低的气孔和非气孔限制。从表 1 可看出, 气湿土干和气干土干处理的 P_n 逐渐下降, C_i 逐渐增加, 气孔限制值 L_s 逐渐减少, 表明这 2 个处理引起 P_n 下降的主要原因是非气孔限制, 而气干土湿处理虽 P_n 一直在下降, 但 C_i 先下降然后上升, L_s 表现出相反的趋势, 说明该处理过程中存在一个非气孔限制向气孔限制的转变。

表 1 各处理干旱过程中 P_n, C_i, L_s 的变化

处理	项目	3	7	11	13	处理	项目	3	7	11	13
气湿土湿	$P_n/(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	6.37	6.07	8.20	8.00	气湿土干	$P_n/(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	5.5	5.23	5.13	4.43
	$C_i/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$	273	275	270	278		$C_i/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$	256	270	281	318
	$L_s/\%$	28.16	27.63	28.95	26.84			$L_s/\%$	32.63	28.95	26.05
气干土湿	$P_n/(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	5.07	5.77	5.60	4.7	气干土干	$P_n/(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	5.70	5.37	4.13	2.77
	$C_i/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$	312	288	351	354		$C_i/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$	256	281	351	410
	$L_s/\%$	17.89	24.21	7.63	6.84			$L_s/\%$	32.63	26.05	7.63

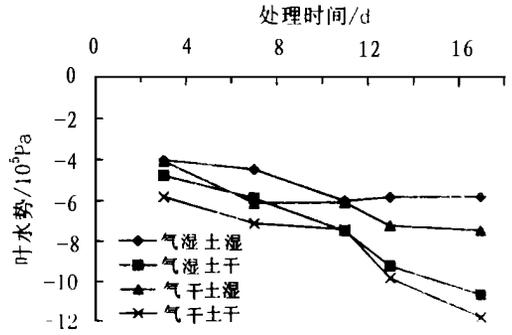


图 3 不同处理叶水势的变化

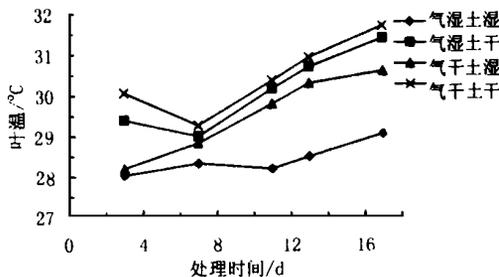


图 4 不同处理叶温的变化

2.4 叶温

叶温是环境与植物内部因素共同影响叶片能量平衡的结果。当植物受到干旱胁迫时, 气孔关闭, 植物不能进行正常的蒸腾活动来释放热, 就会造成温度的升高。图 4 表明, 气干土干处理的叶温一直维持在最高, 气湿土干和气干土湿处理次之, 而气湿土湿处理的叶温则最低。无论是土壤处于正常水分还是干旱时, 处理过程中叶温的大小一直为气干处理大于气湿处理, 说明气干处理的危害大于气湿处理。

3 小 结

(1) 虽然短期干旱使叶水势下降, 光合速率降低, 细胞内 CO_2 浓度和叶温上升, 绿色叶面积减少, 但并未使生长停止。同化过程积累的干物质一直大于呼吸消耗的干物质, 因而干物质积累一直在增加。

(2) 从干物质、叶面积、叶水势、净光合速率、细胞内 CO_2 浓度、叶温的变化看, 气干土湿处理所受干旱伤害远小于气湿土干处理。土壤水分亏缺对作物的影响要超过大气干旱。作物的水分状况及生理活性主要决定于土壤的水分条件。

(3) 气干土干、气湿土干处理 P_n 下降的主要原因是非气孔限制, 而气干土湿处理的 P_n 下降在胁迫初期(7 d 前) 主要为气孔限制, 而胁迫后期则是由于非气孔限制。在气干土干、气湿土干处理上所得结论与一般认为胁迫初期引起光合降低主要是气孔因素, 而后期则主要为非气孔因素^[5,6] 不太一致, 这可能与土壤水分胁迫程度及生长箱内弱光强有关。

参 考 文 献

- 1 Farquhar G. Feed forward responses of stomata to humidity. *Aust. J. Plant Physiol.*, 1978, 5: 787- 800
- 2 Schulze E D, Hall A E. Stomatal responses, water loss and CO_2 assimilation rates of plants in contrasting environment. In: O. L Lange et al(eds) *Encyclopedia of plant physiology, Water Relations and Carbon Assimilation*, Springer- Verlag, 1982, 181- 223
- 3 许大全, 李德耀, 沈允钢, 等. 田间小麦叶片光合作用 '午睡' 现象研究, 喷雾对小麦光合作用与籽粒产量的影响. *作物学报*, 1987, 13(2): 111- 115
- 4 Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal Conductance and Photosynthesis. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 1982, 33: 317- 345
- 5 许大全, 等. 毛竹叶片光合作用的气孔限制研究. *植物生理学报*, 1987, 13(2): 154- 160
- 6 上官周平, 陈培元. 水分胁迫对玉米光合作用的影响. *中国科学院西北水土保持研究所集刊*, 1988, 第 8 集: 72- 75