

土壤水分이 수수類의 光合成, 蒸散量 및 氣孔抵抗에 미치는 影響

I. 光合成과 蒸散量の 季節間 變化

韓興傳 · 柳鍾遠

畜産試驗場

Effects of Soil Moisture on Photosynthesis, Transpiration and Stomatal Resistance in Sorghums

I. On seasonal changes

H. J. Han and J. W. Ryoo

Livestock Experiment Station, R D A

Summary

The effects of soil moisture on seasonal changes of photosynthesis, transpiration and stomatal resistance were studied in sorghum (Pioneer 931) and sorghum - sudangrass hybrid (Pioneer 988) at Suweon in 1985. Soil moisture was maintained with approximately 100, 80, 60 and 40% of field moisture capacity in large concrete pot (12m length x 1m width x 1m depth).

1. Photosynthesis and transpiration showed a sharp seasonal changes and reacted similarly to water stress and environmental factors, and were the highest in the middle of August, and were the lowest in the beginning of October. Sorghum - sudan hybrid had better photosynthesis, transpiration and stomatal control than those of sorghum in hot summer season.
2. The rate of photosynthesis of 60 and 80% field moisture capacity was higher than that of 100 and 40% throughout growing season, but the effect of soil moisture on photosynthesis varied seasonally by climate factors. Optimum soil moisture was 60% in early summer and fall, and was 60 - 80% in hot summer season.
3. Drought and over-moisture affected physiological metabolism of plant, and so the dry matter yield of 40 and 100% field moisture capacity decreased by 70% compared with that of 60% field moisture capacity.

I. 緒 論

作物生育에 關여하는 主要한 氣象要因은 溫度, 日照, 水分等을 들수 있으나 作物의 生産에 가장 크게 影響을 미치고 露地에서 인위적으로 調節해 줄수 있는 것은 水分이다. 水分의 障害는 光合成, 蛋白質合成¹⁾等 生理的 代謝에 變化를 주어 作物의 生育 및 物質生産에 影響을 미친다.

수수류는 한밭에 강하고 높은 溫度條件에서 生育이 旺盛한 C₄作物로서 늦봄에 播種하여 生長이 旺盛한 하절기로부터 초가을까지 利用하는 作物이다. 環境要因中에서 生育初期에는 한밭의 피해가 크고 生育

이 旺盛한 7·8月에는 集中降雨에 依한 過濕 또는 日照不足의 災害를 입기 쉽고 生育末期에는 低溫에 의 해 生育이 저해된다.

土壤水分이 많고 적음에 對한 植物의 反應은 種間에 差異를 나타내나 過多한 水分은 산소공급의 감소를 초래하여 炭素 및 窒素代謝¹⁾나 微生物의 活動等에 나쁜 影響을 미치고 水分의 공급이 不足하면 氣孔內의 膨압이 적어지고 氣孔開度가 감소되어 光合成速度가 줄어지게 된다²⁾

本 試驗은 土壤水分含量을 달리하였을 때 수수류의 光合成, 蒸散, 氣孔抵抗의 季節的 變化와 다른 環境要因과의 相互關係를 究明하고자 1985年度 屋外條件에서 수행되었다.

II. 材料 및 方法

本 試驗의 供試作物 및 品種으로는 수수의 Pioneer 931, 수수×수단그라스交雜種의 Pioneer 988을 擇하였다. 試驗用 Pot는 幅 1m, 깊이 1m, 길이 14m의 大型콘크리트 포트 4 基를 使用하였고 床土는 肥沃度 中程度의 植壤土를 使用하였다. 各 Pot의 土壤水分含量은 試驗期間中 圃場容水量의 100, 80, 60 및 40%가 維持되도록 水位調節에 依한 低面灌水法을 擇했다. 水位의 調節은 發芽定着後부터 實施하였으며 100%區와 80%水分區는 自然降雨를 맞도록 放任하였고 60% 및 40%水分區는 투명한 폴리에틸렌 필름으로 遮斷하여 직접 비를 맞지 않도록 하였다. 그러나 床內의 土壤水分含量은 時期的으로 降雨가 많았다던가 長期的으로 乾燥한 경우에는 그림 1에서 보는 바와 같이 起伏이 있었으며 生育初期에 80%와 40%水分區는 期待值보다 높게 維持되었다. 土壤水分含量은 地表에서 10cm깊이 까지의 土壤을 採取하여 調査하였다(그림 1).

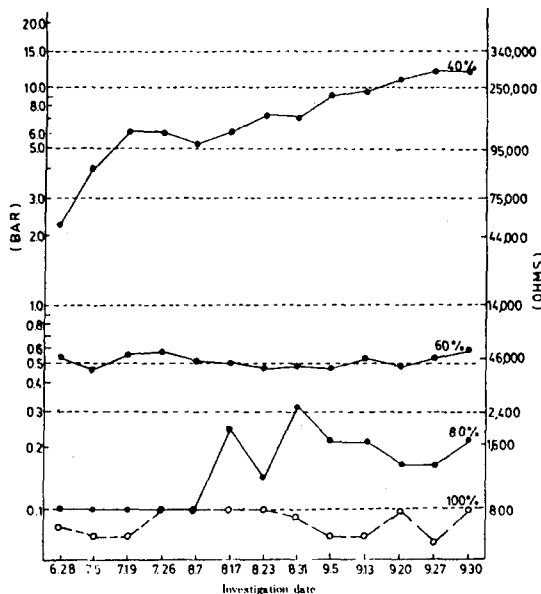


Fig. 1. Fluctuations of moisture content of pot during experiment period.

種子是 1985年 4月29日에 畦幅 40cm, 株間 15cm로 點播하였고 施肥量은 窒素-磷酸-加里를 25~20~20kg/10a으로서 人糞 및 칼리는 全量 基肥로 주고 窒素는 基肥 및 追肥로 2回 分施하였다.

光合成은 季節別로 測定한 날을 擇하여 10時와 12時 사이에 最近에 完全히 展開된 葉의 中心部分에서 LI-COR Model 6000 휴대용 광합성측정기를 使用하여 측정하였다. 測定方法은 葉을 1/4크기의 acrylic plastic chamber에 끼워 12cm³/sec속도의 CO₂ gas를 투입시켜 단위시간당 CO₂의 濃度가 감소되는 程度를 infra-red gas analyzer에 의해 測定하였다. LI-COR 6000 휴대용 광합성측정기는 습도와 온도를 測定하는 detector가 부착되어 있어서 光合成과 同時에 氣孔抵抗과 蒸散量을 測定할 수 있었다.

III. 結果 및 考察

1. 環境要因

光合成測定當時의 氣象環境을 比較해 보면 光度 (PAR, photosynthetically active radiation)는 6月 20日에는 1400/ μ Es⁻¹m⁻²로서 낮은 편이었고 다른 測定日에는 1600~1800 μ Es⁻¹m⁻²로 測定日 사이에 큰 差異가 없었다. 일주위의 상대습도는 8月18日과 9月 30日에 다른 測定日보다 다소 높았으나 50~60% 사이로 큰 差異가 없었고 葉溫은 6月下旬에는 30~33℃였고 8月中旬에는 37~40℃였으며 10月初에는 27~29℃로서 季節間에 약 5℃ 程度의 差異를 나타내었다. Chamber內의 溫度는 大氣의 溫度와 비슷하였는데 6月下旬에 30~34℃, 8月中旬에 36~38℃, 10月初에 22~24℃였다(그림 2).

2. 光合成

土壤水分含量別 수수屬作物의 光合成 速度는 季節間에 差異가 있었다(그림 3). 即 6月20日 측정시에는 處理間의 差異가 뚜렷하지 않았으나 6月28日에는 수수의 경우 圃場容水量의 60%水分區, 수수×수단그라스交雜種은 60, 80%水分區에서 빠른 光合成 速度를 보였고 高温期인 8月18日에는 60~80%水分區가 100%와 40%水分區보다 월등히 높아 수수류의 온도의 增加에 따른 光合成速度의 증가는 水分이 알맞게 조절되었을 때 뚜렷이 나타났다. 가을인 9月 30日과 10月4日에는 水分處理間에 光合成의 差異가 크지 않았으나 수수×수단그라스交雜種의 경우는 60%水分區가 다른 처리구보다 높았다. 權等⁹⁾은 生育程度에 따라 水分要求度가 差異가 있다고 하였는데 生育단계이외의 環境의 要因이 크게 影響을 미치는 것으로 보여져 수수類는 초여름과 가을에는 土壤

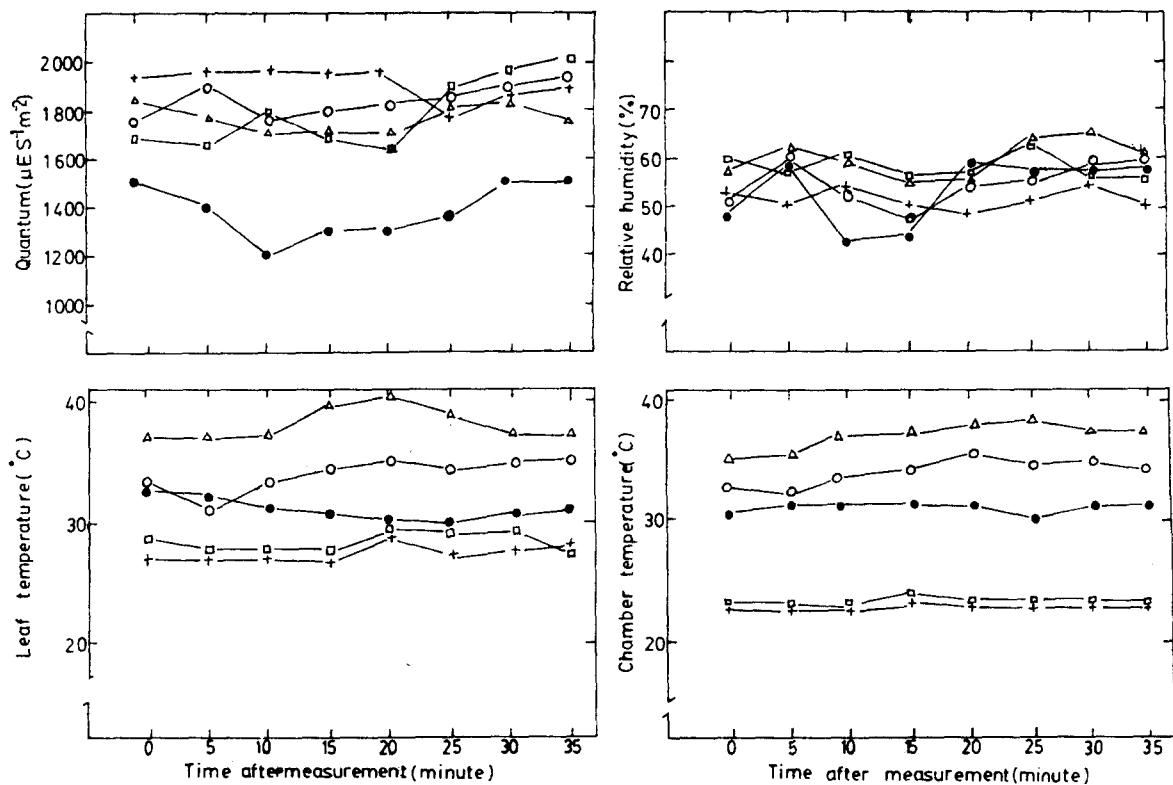


Fig. 2. Environmental conditions during the measurement period

●—● : June 20, ○—○ : June 28, △—△ : Aug. 18, □—□ : Sept. 30, +—+ : Oct. 4

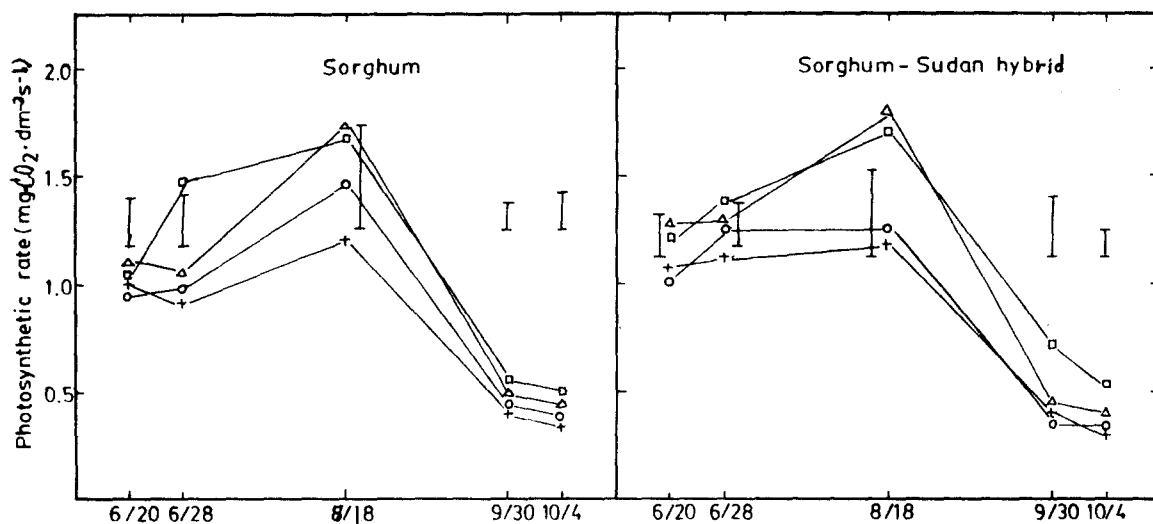


Fig. 3. Seasonal changes in photosynthetic rate of sorghum and sorghum-sudangrass hybrid under different soil moisture

*Field moisture capacity ○—○ : 100%, △—△ : 80%, □—□ : 60%, +—+ : 40%

水分을 圃場容水량의 60%, 蒸散량이 많은 高溫期에는 圃場容水량의 60%~80%로 다소 높게 조절해 주는 것이 植物의 生長에 좋은 것으로 보였다. Linda 等³⁾에 의하면 경미한 수분결핍상태는 수수의 순광합성량에 영향을 미치지 않았으나 한계 water potential에서는 光合成을 심하게 감소시킨다고 하였는데 본 시험에서도 40%水分區는 水分要求도가 많은 高溫期에는 光合成이 현저하게 저해되었다. 수수류는 C₄作物로 光呼吸過程을 거의 무시해도 될 정도이며 30~40°C가 最適溫度라고 알려져 있는데 본 시험에서도 溫度의 增加에 대한 光合成增加率이 뚜렷하여 8月중순의 36~38°C에서 最大의 光合成을 나타내었다.

3. 氣孔抵抗

體内水分의 감소는 氣孔開度を 減少시켜 光合成

低下의 重要な 要因이 된다³⁾ 6月20日에는 床内の 土壤水分含量이 기대치보다 높게 유지되어 수분처리의 효과가 뚜렷하지 않아 低水分區에서도 氣孔의 저항이 크지 않았다. 수수의 경우 100%水分區는 과습으로 인하여 기공 저항이 컸으며 6月28日과 8月17日에 40%水分區는 水分의 吸水가 감소되어 氣孔抵抗이 크고 光合成이 감소된 것으로 보여진다²⁾ Frank 等^{1,6)}은 溫度와 水分等의 Stress 要因에 대한 氣孔의 反應은 種사이에 變異가 있고 Teare 等⁷⁾은 수수가 콩보다 증산에 대한 기공조절능력이 우수하다고 하였다. 수수×수단그라스交雜種은 수수보다 氣孔抵抗을 적게 받아 기공조절능력이 우수하여 수분결핍아래 견디는 能力이 더 강한 作物인 것으로 보여졌다. 9月末과 10月初에는 水分含量과 관계없이 氣孔抵抗値가 높았는데 이는 Moss 等⁶⁾이 말한 바와 같이 冷涼한 氣候에 의하여 體内氣孔抵抗이 增大된 것으로 보여진다(그림 4).

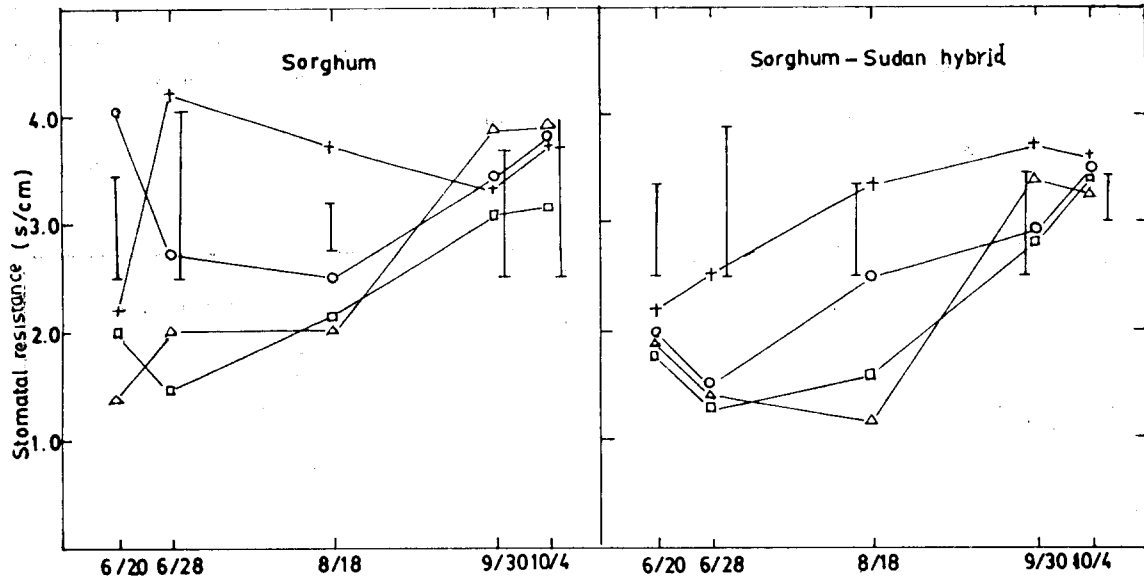


Fig. 4. Seasonal changes in stomatal resistance of sorghum and sorghum-sudangrass hybrid under different soil moisture

*Field moisture capacity ○—○: 100%, △—△: 80%, □—□: 60%, +—+: 40%

4. 蒸散量

Monteith 等⁵⁾에 의하면 蒸散량은 同化量과 比例한다고 하였는데 본 시험에서도 水分이나 環境要因에 비슷하게 反應하여 高度의 正의 相關關係를 나타내

었다($r=0.94^{**}$). 水分處理別로 比較해 보면 60%, 80%水分區에서 蒸散량이 많았고, 100%와 40%水分區에서는 蒸散량이 적었으며 특히 초여름과 더운 여름에 40%水分區는 수분공급의 부족으로 잎은 氣孔이 폐쇄되어 蒸散량이 적어진 것으로 보여진다.

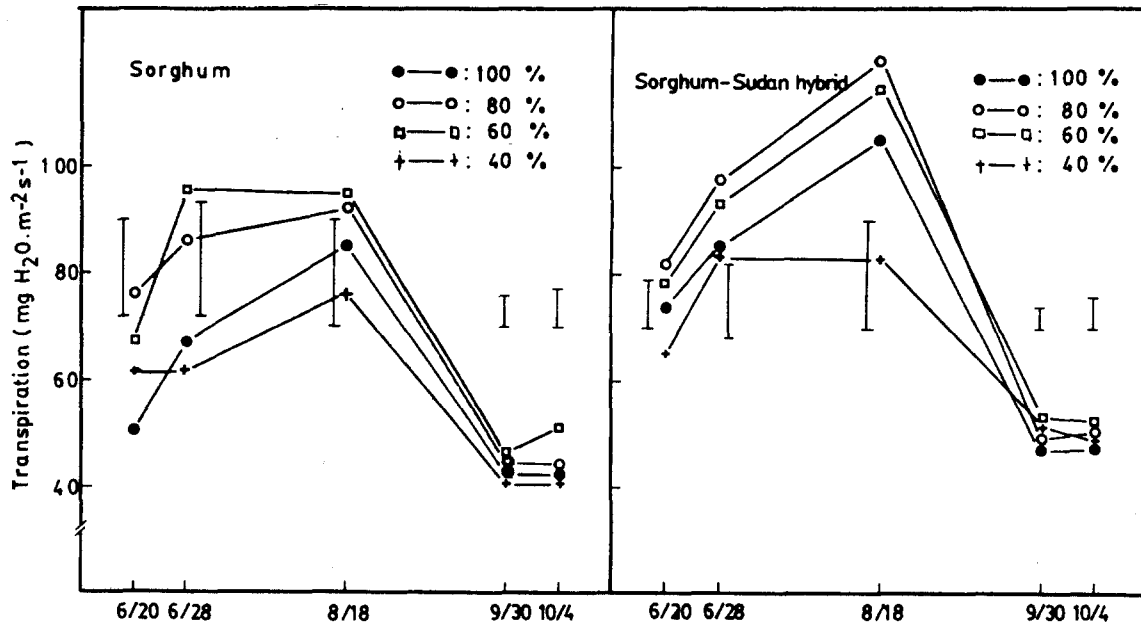


Fig. 5. Seasonal changes in transpiration of sorghum and sorghum-sudan hybrid under different soil moisture.

Frank¹⁾와 Steven等⁷⁾은 水分欠乏時 純同化量減少의 1次的인 要因은 氣孔의 調節에 기인하나 非氣孔의 인 要因도 있다고 하였는데 本 試驗에서 光合成 및 蒸散量과 氣孔抵抗사이의 相關係數($r = -0.66$, $r = -0.71^*$)가 크지 않았던 것은 氣孔抵抗外에 다른 要因이 함께 影響을 미치고 있음을 암시해 주고 있었다(表 1). 環境要因중에서 光度와 상대습도는 蒸散量이나 光合成과 相關關係가 크지 않았으나 溫度의 變化는 蒸散量(葉溫: $r = 0.84^{**}$, chamber內的 溫度: $r = 0.92^{**}$) 및 光合成(葉溫: $r = 0.84^{**}$, chamber內的 溫度: $r = 0.92^{**}$)과 高度의 正의 相關關係를

나타내므로 기온이 상승되면 증산작용이 촉진되고 光合成量도 많아지는 것으로 나타났다.

5. 乾物收量

6月20日과 6月28日에 圃場容水量의 80%, 60%, 40% 水分區사이에 收量의 差異가 없었는데 이 時期에 80%와 40%水分區의 土壤水分含量이 期待值 보다 높게 유지되고 있었기 때문이었다. 11月刈取後인 8月 18日부터는 乾物收量에 미치는 水分의 影響이 뚜렷하여 最終收穫期에 3個體當 乾物收量은 수수의 경우 60%에서 300~500g > 80%에서 200g > 40%에서

Table 1. Correlation coefficients between photosynthesis and environment factors

Factors	TR	QU	RH	LT	CT	RS
QU	0.52	-	-	-	-	-
RH	0.60	0.05	-	-	-	-
LT	0.82**	0.02	0.23	-	-	-
CT	0.90**	-0.06	0.31	0.95**	-	-
RS	-0.71*	0.11	-0.72*	-0.34	-0.50	-
PH	0.94**	-0.09	0.57	0.84**	0.92**	-0.66*

TR : Transpiration

QU : Quantum

RH : Relative humidity

LT : Leaf temp.

CT : Chamber temp.

RS : Stomatal resistance

75~120g>100%에서 30~80g이었고, 수수×수단그라스交雜種은 60%에서 300~500g>80%에서 180~350g>100%에서 80~150g>40%에서 40~80g이었다. 最適水分含量인 60%水分區의 乾物收量에 比하여 100%水分區에서는 83~70%, 80%水分區에서는 수수의 경우 50%, 수수×수단그라스交雜種은 30%,

40%水分區에서는 76~85%의 수량감소를 초래하였다. 수수류는 불리한 水分條件에서 견디는 能力이 강한 作物로 알려져 있으나 본 시험에서는 全生育期間에 걸쳐 건조와 과습은 최종건물수량을 70%以上 減收케 하였다(그림 6).

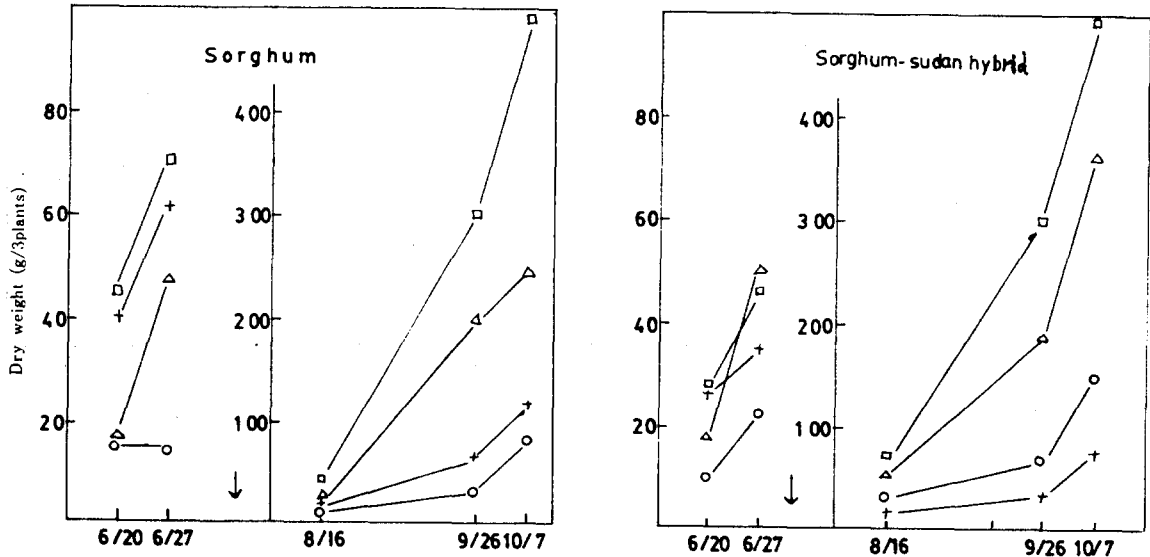


Fig. 6. Seasonal changes in dry weight of sorghum and sorghum-sudangrass hybrid under different soil moisture.

* Field moisture capacity ○—○: 100%, △—△: 80%, □—□: 60%, +—+: 40% ↓: cutting date

IV. 摘要

수수류의 光合成, 蒸散, 氣孔抵抗과 乾物收量에 미치는 土壤水分의 影響을 究明하고자 수수(Pioneer 931), 수수×수단그라스交雜種(Pioneer 988)을 圃場容水量의 100, 80, 60, 40%로 調節된 대형콘크리트 포트(길이 14m, 폭 1m, 깊이 1m)에 生育시킨후 쾌청한 날을 擇하여 초여름인 6월20日, 6월28日과 高温期인 8월18日, 生育末期인 9월30日과 10월4日에 光合成을 測定하였다.

1. 光合成, 蒸散 및 氣孔抵抗은 季節間에 差異가 있어 光合成 및 蒸散量은 8月中旬의 高温期에 最大로 높았고 10月初에 가장 낮았다.

2. 全生育期에 걸쳐 圃場容水量의 60%와 80%水分區가 100%나 40%水分區에 比하여 光合成과 蒸散量이 많고 기공저항이 적었다.

3. 環境要因에 의하여 季節間에 水分要求度の 差異를 보여 초여름과 가을에는 포장용수량의 60%, 高温期에는 60%~80%로 높게 유지해 주는 것이 植物生長에 좋은 것으로 나타났다.

4. 건조와 과습은 植物의 生理的代謝에 影響을 미쳐 최적수분조건에 比하여 포장용수량의 100%와 40%수분구에서는 최종건물수량이 70%以上 감소되었다.

V. 引用文献

1. Frank, A.B. 1981. Effect of leaf age and position on photosynthesis and stomatal conductance of forage grasses. Agron. J. 73:70-74.
2. Johnson, R.R., N.M. Freyand. Dale N. Moss. 1974. Effect of water stress on photosynthesis and transpiration of flag leaves and spikes of

- barley and wheat. *Crop Sci.* 14:728-731.
3. Linda, L., J.D. Shearman., C.Y. Sullivan and E.J. Kinbacher. 1972. Carbon dioxide exchange in water-stressed sorghum. *Crop Sci.* 12:406-409.
 4. McGree K.J. 1974. Changes in the stomatal response characteristics of grain sorghum produced by water stress during growth. *Crop. Sci.* 14: 273-278.
 5. Monteith, A. 1966. The photosynthesis and transpiration of crop. *Exp. Agric.* 2:1-4.
 6. Moss, D.N., R.B. Musgrave and E.R. Lemon. 1961. Photosynthesis under field conditions. III Some effects of light, carbon dioxide, temperature on respiration and transpiration of corn. *Crop. Sci* 1:83-87.
 7. Steven, C. Huber, Hugo H. Rogersand, Fred L. Mowry. 1984. Effect of water stress on photosynthesis and carbon partitioning in soybean (*Glycine max (L.) Merr.*) plants grown in the field at different CO₂ levels. *Plant Physiol.* 76:244-247.
 8. Teare, I.D., E.T. Kanemasu., W.L. Power, and H.S. Jacobs. 1973. Water-use efficiency and its relation to crop canopy area, stomatal regulation, and root distribution. *Agron. J.* 65:207-211.
 9. 權臣漢, 李弘植, 洪殷熹. 1982. 夏作物의 氣象 災害와 對策. 韓作誌. 27(4): 389-410.
 10. 韓興傳, 金正甲, 安壽奉. 1985. 土壤水分含量이 수수屬作物과 옥수수의 生育 및 乾物蓄積에 미치는 影響. 第II報. 乾物蓄積 및 成分含量의 變化. 韓草誌. 5(2): 152-161.