

土壤水分이 콩의 잎 水分포텐셜 및 光合成에 미치는 影響

柳龍煥* · 李錫河* · 金爽東* · 國分牧衛**

Effects of Soil Moisture Content on Leaf Water Potential and Photosynthesis in Soybean Plants

Yong Hwan Ryu*, Suk Ha Lee*, Suk Dong Kim* and Makie Kokubun**

ABSTRACT: The soil moisture content and its relation to plants may be important in determining the crop growth and yield. The present study was undertaken to evaluate the leaf water potential and photosynthetic activity in soybean plants as affected by the timing of soil water stress. The soybean variety, 'Tachinagaha', was grown in a pot. The 15 day-old seedlings were subject to the three levels of soil moisture content (25, 40 and 55%) for 25 days. Then the treated soybean plants were placed again at the level of 25% soil moisture content for 25 days, and were compared with the control which was well-watered at 40% level for whole growth period. Soybean plants grown under continuous drought showed higher apparent photosynthetic rate (AP) than those under well-watering/drought in the first/second water treatment, suggesting that AP was adjusted after previous acclimation to drought. Over a wide range of photosynthetic photon flux densities (PPFD), drought or excessive water stress resulted in the decrease in AP when compared with the control. AP and stomatal conductance were decreased in soybean plants subject to water deficit stress, suggesting that AP and stomatal conductance were more sensitive to drought than excessive water stress.

Key words : Soybean, Photosynthesis, Water potential, Stomatal conductance.

콩의 生理機能, 生育 및 收量은 土壤水分의 影響이 큰 것으로 알려져 있다. 콩 栽培期間의 降水量은 고르지 않아 土壤水分의 過剩 또는 不足을 초래하는 경우가 많다. 우리나라의 農作期의 降雨 分布를 보면 生育初期~中期에는 장마가 들어 있어 過濕을 초래하는 반면, 生育中期 以後는 降水量이 적어 着莢, 粒의 肥大 등에 旱魃의 被害를 입는 경우가 종종 있다. 한편 日本의 경우는 生育初期의 梅雨와 生育後期의 秋雨로 過濕의 害, 生育

中期에는 降水量이 적어 土壤水分 不足으로 인한 旱魃의 被害가 빈번하다고 한다.

이와 같이 韓國과 日本 모두 土壤의 극심한 過濕, 乾燥의 變動이 콩의 生育 및 收量에 크게 影響을 미치지만 土壤水分 變動에의 對策은 灌溉, 排水를 中心으로 한 土壤水分의 조절에 限定되어 있다고 볼 수 있다. 따라서 더욱 有效한 栽培의 手段을 開發하기 위하여 土壤水分 變動에 대한 作物體의 生理的 反應面에서 검토가 必要할 것으로 판단

* 作物試驗場 (National Crop Experiment Station, RDA, Suwon 441-100, Korea)

** 農業研究 Center (National Agriculture Research Center, Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan)

〈'95. 12. 27 接受〉

되어 본 研究에서는 生育前期~中期에 토양수분의 乾燥, 多濕 條件이 콩의 體內 水分狀態, 光合成 能 및 生育에 미치는 影響을 解釋하기 위하여 遂行하였다.

材料 및 方法

實驗은 日本 쓰쿠바에 所在하고 있는 農業研究 센터의 豆類栽培生理實驗 溫室에서 日本 關東地方의 獎勵品種인 타치나가하(夕チナガハ)를 供試하여 포트 實驗 (1/5000a wagner pot)으로 遂行하였다.

1993年 3月 9日 數粒씩 播種하여 出芽後 pot當 1苗만 남겼다. 溫室內의 溫度는 25℃가 維持될 수 있도록 加溫하였으며 施肥는 포트當 苦土石灰 7g, 燐燐 15g 및 化成肥料(3-10-10) 20g을 각각 基肥로 施用하였다.

處理는 生育時期를 前期와 中期로 나누어 前期에는 3水準의 土壤水分 즉, 適濕區(Control : 含水率 40%로 調節), 乾燥區(含水率 25%), 過濕區(含水率 55%), 中期에는 對照區인 適濕區 및 前期 3水準의 土壤水分을 모두 乾燥(含水率 25%) 狀態로 維持하였다. 處理期間의 生育前期는 播種後 15日부터 40日까지 約 25日間, 中期는 1次 處理 終了以後부터 25日間을 處理하였다. 土壤水分은 每日 3회에 걸쳐 포트 무게를 측정하여 水分量을 調節하였다.

生育前期, 中期의 處理終了時 展開直後의 主莖葉을 對象으로 葉綠素 含量(Spad-502, Minolta), 同一한 葉에서 外觀上 光合成 및 氣孔 conductance를 光合成 蒸散測定裝置(ADC, Ltd)를 利用하여 測定하였다. 光合成 測定은 맑은 날을 택하여 自然光下(光量子 密度, 前期 847, 中期 946 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)에서 測定하였다. 光合成 測定後 同一한 葉으로 부터 leaf discs(直徑 6mm)를 시료로 채취하여 즉시 sample chamber(Wescor model C-52)에 넣어 密閉, 25℃의 室溫에서 約 2時間 지난 뒤 water potential을 Dew Point Microvoltmeter(model HR-33T, Wescor Ltd)를 利用하여 測定하였다. 生育前期 및 中期의 處

理完了後 處理別 5포트씩 植物體를 採取하여 葉面積 및 乾物重을 測定하였다.

結果 및 考察

1. 土壤水分條件別 光量子 密度와 光合成 速度의 關係

그림 1은 播種 41日後 즉 1次 水分處理 終了後의 單位面積當 光量子 密度(PPFD)에 따른 外觀上 光合成 速度를 나타낸 것이다. 土壤水分 條件別로 볼 때 대조구(適濕)보다 乾燥 및 過濕區는 같은 光量子 密度에서 光合成 速度가 감소하였는데, 특히 乾燥區에서 크게 감소하였다. 일반적으로 土壤水分 含量의 不足은 잎의 水分 potential, 氣孔 conductance 및 葉綠體의 活性 등을 저하시키고 또한 이들 要因은 光合成 速度와 밀접한 관련이 있다고^{3,4,5} 볼 때 乾燥條件에서 光合成 速度의 감소는 Fig. 2, 3에서 보는 바와 같이 葉의 水分 potential 및 氣孔 conductance가 낮았기 때문으로 판단되었다. 그러나 適當한 土壤水分 狀態라도 식물체가 받는 光量子 密度가 1,000 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 이하일 경우에는 光合成 速度는 크게 감소하였다.

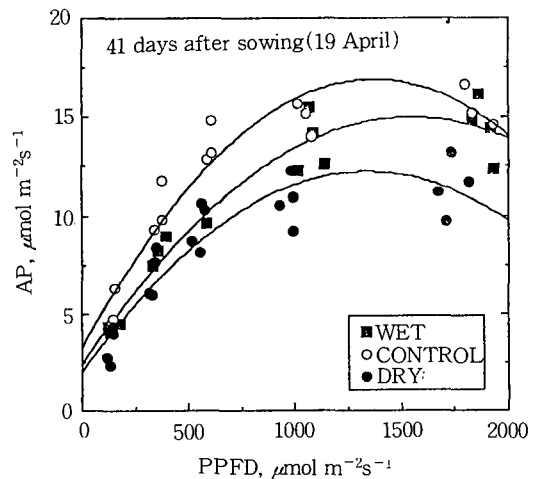


Fig. 1. Apparent photosynthetic rate (AP) to photosynthetic photon flux densities (PPFD) for soybean grown under different soil water conditions.

2. 기공 conductance, leaf water potential과 光合成 速度와의 關係

그림 2는 光合成 速度와 氣孔 conductance (stomatal conductance)와의 關係를 나타낸 것이다. 土壤水分이 다른 條件하에서 播種後 41日 (生育前期 處理 終了後)부터 약 1주일 間隔으로 4회에 걸쳐 測定한 결과 光合成 速度와 氣孔 conductance와는 有意性 있는 正의 相關關係가 있었다. 處理間 比較에서 生育前期 處理 終了時에는 乾燥區가 對照區(適濕區), 또는 過濕區보다 光合成 速度, 氣孔 conductance가 현저하게 낮았는데, 이러한 結果는 生育中期(前期 過濕/中期 乾燥, 適濕/乾燥) 以後에도 같은 傾向을 보여 주고 있는 것으로 보아 光合成 速度와 氣孔 conductance는 土壤水分 不足 즉, 乾燥에 대한 反應이 매우 敏感하다는 것을 反映하고 있다.

한편 生育中期 處理의 土壤水分 變動區의 동일한 氣孔 conductance 水準에서 볼 때 播種後 40日 測定時는 連續的인 乾燥區보다 前期 適濕/中期 乾燥, 播種後 56日에는 前期 過濕/中期 乾燥區에서 光合成 速度가 低下하였다. 이러한 結果는 連續的인 乾燥의 경우 낮은 土壤水分 條件에서 자

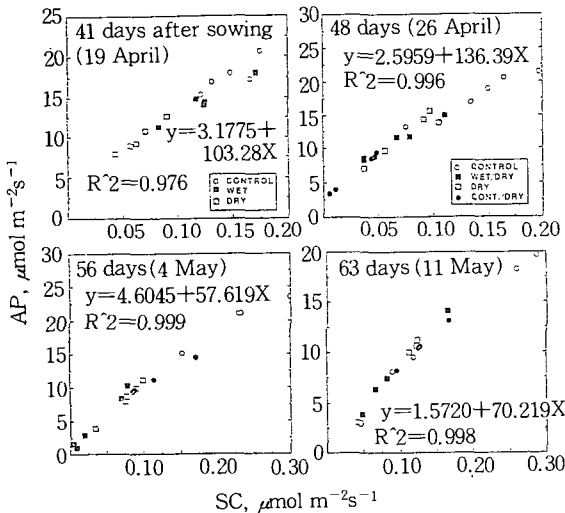


Fig. 2. Relation of apparent photosynthetic rate to stomatal conductance(SC) for soybean grown under different soil water conditions.

란 植物體가 그만큼 순화되었기 때문에 光合成 能力이 다소 回復된 것으로 보이는데 여기에 대하여는 Matthews 等⁹⁾도 해바라기(*Helianthus annuus* L. CV IS 894)를 利用한 實驗에서 같은 結果를 報告한 바 있다.

그림 3은 植物水分 狀態의 判定 指標로 이용하고 있는 잎의 水分 potential과 光合成 速度와의 關係를 나타낸 것이다. 잎의 水分 potential은 適濕區와 過濕區가 乾燥區보다 높았는데 이러한 傾向은 生育前期 處理 終了時(播種後 48日)까지는 비교적 뚜렷하였으나 生育中期 以後로 갈수록 適濕(前期)/乾燥(中期)와 過濕/乾燥區에서는 個體間 差가 커서 이들간에 뚜렷한 差異는 볼 수 없었다.

한편 光合成 速度는 生育前期까지는 適濕區와 過濕區에서 乾燥區보다 높았으나 生育中期 處理 終了時(播種後 63日)에는 個體間 差異가 커서 잎의 水分 potential과 같은 傾向을 보여주고 있다. 잎의 水分 potential과 光合成 速度와의 關係는 處理區 全體를 종합하여 볼 때 대체로 正의 相關關係가 있는 것으로 나타났다. 이것을 處理區間에 비교하여 보면 土壤水分 處理에 따른 兩者의 關係는 큰 差異가 인정되었다. 즉 같은 水分 potential

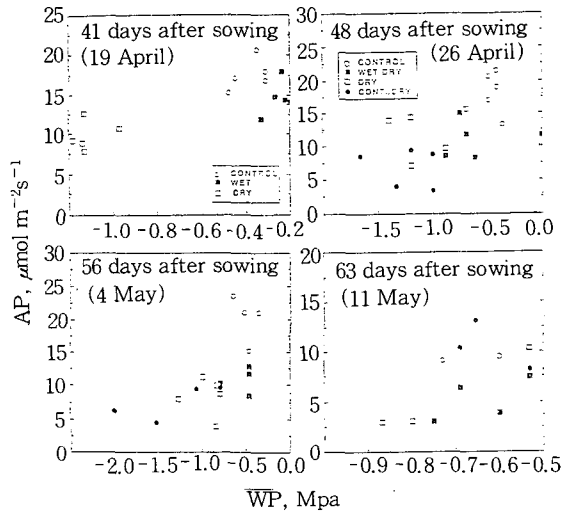


Fig. 3. Relation of apparent photosynthetic rate(AP) to leaf water potential(WP) for soybean grown under different soil water conditions.

水準에서 비교하면 土壤水分의 生育時期에 따른 變動 특히 過濕에서 乾燥로의 變動은 光合成能의 低下되었는데 이러한 傾向은 生育이 진전됨에 따라 더욱 뚜렷하였다.

3. 土壤水分條件別 葉面積, 葉綠素 含量 및 乾物 重과의 關聯性

表 1은 土壤水分 處理別 葉面積, 葉綠素 含量, 比葉重 및 比葉面積 등을 生育前期 및 中期處理 終了時 調査한 結果이다. 葉面積은 適濕區, 過濕 區에서 乾燥區 및 生育 前·中期의 土壤水分 變動 區보다 越等히 增加되었는데 이러한 현상은 잎의 伸長이 水分 不足에 대하여 敏感하게 반응하기 때문이다. 그러나 葉綠素 含量은 乾燥區에서 오히려 높았는데 乾燥區에서 葉綠素 含量이 높았던 것은 葉身이 작고 組織이 치밀하기 때문으로 생각되었다. 그러나 比葉重이나 比葉面積은 適濕區, 過濕 區가 乾燥區나 水分 變動區보다 높게 나타났다.

土壤水分 處理別 總 乾物重은 表 2에 表示하

였다. 生育前期 處理終了時의 總 乾物重을 보면 適濕區 > 過濕區 > 乾燥區 順이었고 中期 處理 終了時의 경우는 適濕區 > 適濕/乾燥 > 過濕/ 乾燥 > 乾燥區의 順으로 나타났다. 總 乾物重에 대한 葉과 뿌리의 比率은 適濕區보다 乾燥區에서 높게 나타났는데 이는 乾燥區가 適濕區에 比하여 상대적으로 地上部의 生長量이 적었기 때문으로 생각된다.

摘 要

콩品種 타치나가하(Tachinagaha)를 供試하여 土壤水分條件에 따른 植物體內的 水分狀態 즉 잎의 水分 potential, 光合成 및 生育에 미치는 影響을 檢討하고자 實驗을 遂行한 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 光量子密度가 $1,000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 以下로 낮아질 때 光合成 速度는 점차 低下하였고, 토양수

Table 1. Leaf area(LA), leaf chlorophyll(LC), specific leaf area(SLA), and leaf area ratio (LAR) for soybean grown under different soil water condition

Treatment	LA(cm ² /plant)		LC(Spad value)		SLA(cm ² /g)		LAR(cm ² /g)	
	41DAS	63DAS	41DAS	63DAS	41DAS	63DAS	41DAS	63DAS
Control	1,199	1,273	46.9	45.9	204	161	125	7.92
Cont. /dry	-	977	-	43.7	-	174	-	5.61
Wet	1,055	-	38.5	-	224	-	129	-
Wet /dry	-	1,011	-	38.4	-	216	-	4.67
Dry	340	350	51.2	54.0	163	135	105	2.60

Note : DAS = Days After Sowing

Table 2. Total dry weight and percentage of leaf, root for soybean grown under different soil water

Treatment	Total dry weight(g /plant)		Percentage of			
	41DAS	63DAS	Leaf		Root	
			41DAS	63DAS	41DAS	63DAS
Control	11.8	28.0	50	28	19	12
Cont. /dry	-	18.1	-	31	-	15
Wet	10.2	-	46	-	20	-
Wet /dry	-	17.1	-	27	-	20
Dry	4.2	6.6	49	40	24	18

Note : DAS = Days After Sowing

분 조건에 따른 광합성 속도는 건조구와 과습구는 적습구보다 떨어졌다.

2. 生育時期에 關係없이 光合成 速度와 氣孔 conductance와는 正의 相關 關係가 認定되었다.
3. 光合成 速度와 氣孔 conductance는 土壤水分 不足에 매우 敏感하게 反應하였다.
4. 잎의 水分 potential은 適濕區가 過濕區 또는 乾燥區보다 높았으며, 光合成 速度와도 密接한 關聯이 있었다.
5. 잎의 伸長은 土壤水分에 敏感한 反應을 보여 乾燥區에서 葉面積이 가장 낮았으나 葉綠素 含量은 높았다.
6. 植物體의 總 乾物重은 適濕區 > 過濕區 > 乾燥區 順이었으나 乾物重에 대한 뿌리의 比率은 乾燥區에서 높게 나타났다.

引用文獻

1. Ashley, D. A. and W. J. Ethridge. 1978. Irrigation effects on vegetative and reproductive development of three soybean cultivars. *Agron. J.* 70:467-471.
2. Barclay, H. M. and R. M. M. Crawford. 1982. Plant growth and survival under strict anaerobiosis. *J. of Exp. Bot.* 22: 541-549.
3. Bennett, J. M., T. R. Sinclair., R. C. Muchow and S. R. Costello. 1987. Dependence of stomatal conductance on leaf water potential, turgor potential, and relative water content in field - grown soybean and maize. *Crop Sci.* 27:984-990.
4. Boyer, J. S. 1970. Differing sensitivity of photosynthesis to low leaf water potentials in corn and soybean. *Plant Physiol.* 46:234-239.
5. Boyer, J. S. and B. L. Bowen. 1970. Inhibition of oxygen evolution in chloroplasts isolated from leaves with low water potentials. *Plant Physiol.* 45:612-615.
6. Doss, B. D., R. W. Pearson and H. T. Rogers. 1974. Effect of soil water stress at various growth stages on soybean yield. *Agron. J.* 66:297-299.
7. Drew, M. C. and J. M. Lynch. 1980. Soil anaerobiosis, microorganisms and root function. *Ann. Rev. Phytopathol.* 18:37-66.
8. Jung, P. K. and H. D. Scott. 1980. Leaf water potential, stomatal resistance, and temperature relations in field-grown soybeans. *Agro. J.* 72:986-990.
9. Matthews, M. A. and J. S. Boyer. 1984. Acclimation of photosynthesis to low water potentials. *Plant Physiol.* 74:161-166.
10. Runge, E. C. A. and R. T. Odell. 1960. The relation between precipitation, temperature, and the yield of soybeans on the Agronomy South Farm, Urbana, Illinois. *Agron. J.* 52:245-247.
11. Scott, H. D., P. K. Jung and J. A. Ferguson. 1981. A comparison of soybean leaf water potential and leaf temperature under progressive drought. *Agro. J.* 74:574-576.
12. Sojka, R. E., H. D. Scott, J. A. Ferguson and E. M. Rutledge. 1976. Relation of plant water status to soybean growth. *Soil Sci.* 123:182-187.
13. Turner, N. C., J. E. Begg and M. L. Tonnet. 1978. Osmotic adjustment of sorghum and sunflower crops in response to water deficits and its influence on the water potential at which stomata close. *Aust. J. Plant Physiol.* 5:597-608.