

ダイズの耐乾性に関する生態生理学的研究

第1報 土壌水分の減少に伴う葉位別蒸散速度と光合成速度 および根の呼吸速度の変化*

李 忠烈・津野幸人・中野淳一・山口武視

(鳥取大学農学部)

1993年7月31日受理

要 旨: 土壌水分の減少に伴う蒸散速度と光合成速度の低下の実態と根部呼吸速度の変化を明らかにした。韓国品種の黄金と短葉および日本品種のエンレイを同一のプラスチック箱に播種し、各1本仕立てとして土壌水分をpF 1.9に保ちつつガラス室内で生育させた。出芽後34日より灌水を中止し、最上位完全展開葉とその次位葉の光合成、蒸散を毎日午前中に測定した。また、断水処理8, 11, 13日目の根の呼吸速度と窒素含有率を調べた。

土壌水分の減少に従って、光合成速度よりもまず蒸散速度と気孔伝導度の低下が始まった。光合成速度は土壌水分がpF 3.5以下では一定値を保ち、それ以上になると急激に低下した。主茎葉位別にみると、上位第1~3葉よりも下位第4, 5葉が早く光合成速度が低下した。これらの傾向は3品種とも同様であった。

気孔伝導度と光合成速度との関係は土壌水分の減少過程と再給水による光合成の回復過程とは異なる2次式で示され、前者は同一伝導度でもより高い光合成速度を示した。蒸散速度と気孔伝導度には有意な直線関係が認められたが、この場合においても同じ気孔伝導度でも水分減少過程での蒸散が回復時のそれよりも多かった。

断水処理中の根の窒素含有率と根の呼吸速度との間には正の相関関係が認められた。また、水分不足によって光合成が強く抑制を受けた段階での根の呼吸速度と光合成速度との間にも正の相関が認められた。

キーワード: 気孔伝導度、光合成速度、蒸散速度、耐乾性、ダイズ、土壌水分、根の呼吸速度、葉位。

Ecophysiological Studies on the Drought Resistance of Soybean I. Changes in photosynthesis, transpiration and root respiration with soil moisture deficit : Chung Yeol LEE, Yukindo TSUNO, Junichi NAKANO and Takeshi YAMAGUCHI (*Faculty of Agriculture, Tottori University, Koyama, Tottori 680, Japan*)

Abstract: Two Korean cultivars (cv. Hwangkeumkong, Danyeobkong) and one Japanese cultivar (cv. Enrei) were grown in the same pot under glasshouse conditions to investigate the influence of water deficit on the photosynthetic rate, transpiration rate and root respiratory rate. The transpiration rate and stomatal conductance rapidly decreased with decreasing of soil moisture compared to the photosynthetic rate. Net photosynthesis remained at a high constant rate ($>20\text{mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$) during 4 days after non-watering treatment (pF1.9~3.5), but at further treatment soil moisture deficit (over pF 3.5), net photosynthesis seriously decreased. These observed results were similar for all three cultivars. Different quadratic equations were obtained between net-photosynthetic rate and stomatal conductance, and a linear equation was obtained between transpiration rate and stomatal conductance in both periods of non-watering treatment and re-watering treatment. The photosynthetic and transpiration rates recovered to less than 67% and 49% of the previous levels, respectively. At prolonged suspension of water supply (41-46 days after emergence), a positive correlation was found between the root respiratory rate (25°C) and root nitrogen content. We also recognized that the rate of photosynthesis was significantly correlated with root respiration rate under water stress condition.

Key words: Drought resistance, Leaf position, Photosynthesis, Root respiration, Soil moisture, Soybean, Stomatal conductance, Transpiration.

日本、韓国におけるダイズ栽培では梅雨期と初期生長期間が重なり、開花期以降は降雨の少ない条件におかれる場合が多い。また、ダイズは通常、灌漑施設のない畑地で栽培されるので、生育期間中に晴天が続くと蒸発散のために土壌水分が減少する。これに伴い根の吸水が蒸散に追いつけず作物体は水

ストレス状態となり、各器官の生理機能が抑制される。水ストレスによるダイズの光合成の低下をみた研究はBoyer²⁾, Itoh and Kumura⁸⁾, 猪山・村田⁹⁾のものがあるが、土壌水分との関係やその回復の実態は詳細に究明されてはいない。

筆者らは土壌水分の減少に伴うダイズ個葉の光合成の低下と再給水による回復の実態、並びにそれらの品種間差を正確に把握する必要があると考えた。

* 大要は、第194回講演会(1992年10月)において発表。

本研究ではポット栽培のダイズに対して給水を中止し、水ストレスを人為的に起こし、それがダイズ個葉の蒸散と光合成にどのように影響するかを葉位別に調べた。さらに、土壤水分欠乏条件下での根の呼吸速度と光合成速度との関係を明らかにしようとした。

材料と方法

実験には韓国品種の短葉 (Danyeobkong) と黄金 (Hwangkeumkong) および日本品種のエンレイの3品種を供試した。短葉は生態型 IIIb で韓国では耐乾性の強い品種とされ、黄金は生態型 IIb に属し短葉より耐乾性は弱いとされている。なお、エンレイは IIc に分類されている。容量 30 L のプラスチック箱に、肥沃な黒ボク土壌を乾土で約 17 kg 詰めたものを 15 ポット用意し、これらに 1991 年 5 月 18 日に 1 ポットに 3 品種を播種し、各品種 1 本立てとして、ガラス室内で生育させた。基肥として高度化成肥料 ($N:P_2O_5:K_2O=12:18:16$) でポット当たり 10 g を施肥し、追肥は行わなかった。

ポットの土壤水分は播種時に pF 1.9 に調整し、以後毎日 9 時と 17 時にポットを秤量して土壤水分の減量に見合うだけの水を補給した。ポットの重量には植物体重が含まれているので別のポットから個体の重量を推定し、生育が進行するに従ってその分に相当する重量を補正して土壤水分を pF 1.9 に保った。土壤 pF (X) と土壤含水比 (Y) の関係は、土柱法と遠心分離法¹⁰⁾を並用して求めた。両者の関係は曲線関係にあり、 $Y=2.24 X^2-31.7 X+112.1$ ($r=-0.979^{**}$) の実験式を得た。

エンレイと黄金の第 7 葉、短葉の第 5 葉が完全に展開した出芽後 34 日より均一な生育を示した 5 ポットについて、13 日間灌水を中止して土壤水分を欠乏させる断水処理を行った。なお、1 ポットについては、断水処理により純光合成速度がほとんど 0 に近づいた日 (処理 12 日目) の 14 時に pF が 1.9 になるように再灌水を行い、光合成の回復状態を追跡測定した。処理期間中毎日、午前 9 時より 12 時の間に携帯式同化箱 (小糸工業製 KIP-8510) をもちいて光合成速度と蒸散速度を測定した。測定対象葉は、処理開始日における最上位完全展開葉 (最上位葉: エンレイと黄金は第 7 葉、短葉は第 5 葉) とそのすぐ下の葉 (次位葉) の中央小葉で、各品種 3 反復とした。

測定はガラス室内の自然光のもとで行い、曇天日で光が不足するときは 5 個の陽光ランプで補光を行

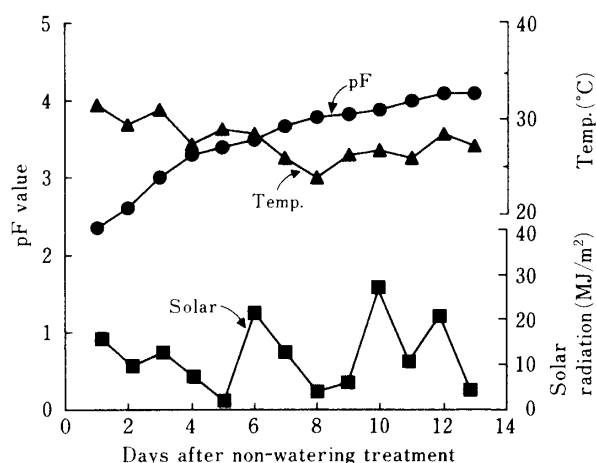


Fig. 1. Air temperature, soil moisture and solar radiation during the period of non-watering treatment.

い、ほとんどの場合の光強度は $700 \mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ 以上であった。また、処理後 7 日目より毎日、各品種 3 個体について主茎の最上位展開葉より下へ 5 枚、葉位別に光合成を測定した。各回の測定値間の変異係数は光合成速度 $15 \text{ mgCO}_2\text{dm}^{-2}\text{h}^{-1}$ 以上では約 10%、同じく $10 \text{ mg CO}_2\text{dm}^{-2}\text{h}^{-1}$ 以下では約 32% であった。個体の全葉数のうち、分枝に着生する葉は出芽後 56 日で主茎葉のそれよりも 1.45~1.54 倍であったが、本実験では葉位の同定と品種間比較のため、主茎葉を対象として各測定を行った。

断水処理後 8 日、11 日、13 日の 3 回に根の呼吸速度を測定した。まず、根を土壌より丁寧に洗い出した後、主根、木化した 1 次分枝根および根粒を除いた細根のみを一まとめにして、容量 1 L の測定箱に入れた。これに 2.5 Lmin^{-1} の大気を通気し、根が放出した二酸化炭素量を赤外線炭酸ガス分析計で測定した。この値を呼吸の温度係数 (Q_{10}) を 2.0 として 25°C の値に補正し、根乾物 1 g が 1 時間当たりに放出する CO_2 量を呼吸速度とした。

以上とは別に、3 ポットを用いて出芽後 55 日より 12 日間断水処理を行い、処理後 3 日間の 9、15、18 時の光合成速度を測定した。

結果と考察

1. 処理期間中の気象条件と土壤水分ならびに生育状態

処理期間中の全天日射量およびガラス室の平均気温と pF 値を第 1 図に示した。処理期間中の平均気温を見ると、 25°C から 32°C の範囲であり、ダイズの生育適温であって順調な生育をみた。処理期間にお

Table 1. Growth amount of top and root of three cultivars grown under condition of soil water deficit.

Cultivar	No. of main stem nodes	Leaf area (dm ² plant ⁻¹)	Top dry weight (g plant ⁻¹)	Root dry weight (g plant ⁻¹)	SLA (cm ² g ⁻¹)	Leaf N (%)	Root/Top (g g ⁻¹)	Leaf/Root (dm ² g ⁻¹)
Enrei	11	19.7	11.9	1.90	288	4.50	0.16	10.4
Ohgon (Hwangkeumkong)	11	23.2	11.7	2.00	285	4.78	0.17	11.6
Tanyou (Danyeobkong)	9	10.5	6.5	1.65	255	4.56	0.25	6.4

Cultivar names in parenthesis are Korean name.

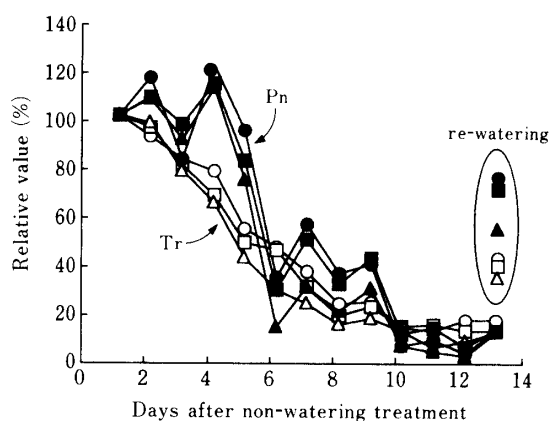


Fig. 2. Changes in relative value of net photosynthetic rate (Pn, solid) and transpiration rate (Tr, open) per unit leaf area of three cultivars after non-watering treatment. ●, ○: Enrei, ■, □: Ohgon (Korean name: Hwangkeumkong), ▲, △: Tanyou (Korean name: Danyeobkong).

ける土壌水分の変化を pF 値でみると、処理1日目は2.3で、4日目までは急激に pF 値が高くなり、その後はゆるやかに上昇して11日目では4.0になった。

供試した各品種の生育状態を示すため、第1表に各形質を処理8日目及び11日目の平均値で示した。葉面積は黄金が最も大きく、これに比べて最小の短葉は45%でしかなく、短葉は小さな個葉を持つのが特徴である。しかし、根重においては短葉は黄金の83%であり、相対的に根系が発達しているといえた。短葉の葉面積/根重比は6.4と3品種中最小であった。

2. 断水処理に伴う蒸散速度と光合成速度ならびに気孔伝導度の変化

土壌水分の減少に伴う蒸散速度と光合成速度の変化を第2図に示した。これらの数値は最上位葉と次位葉の平均値で、断水処理開始時の値を100とした相対比率で表した。蒸散速度は3品種とも断水処理

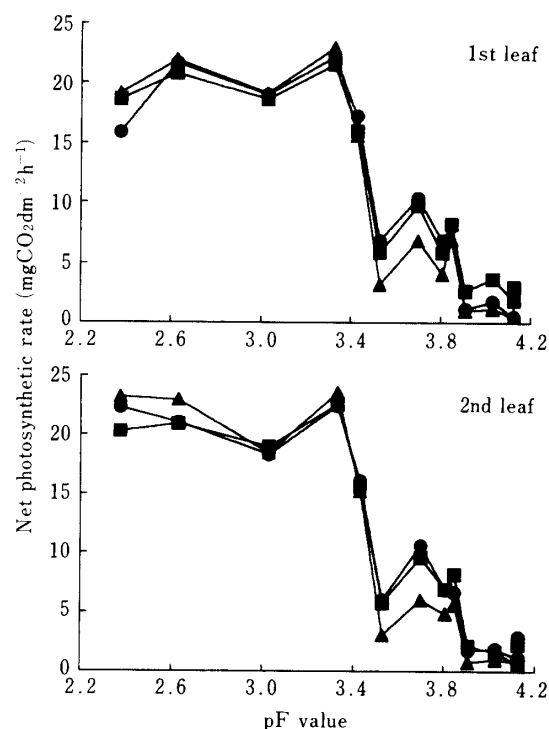


Fig. 3. Changes in net photosynthetic rate of top fully developed (1st) and second (2nd) leaf on main stem of three cultivars with the decreasing of soil moisture.

●: Enrei, ■: Ohgon (Korean name: Hwangkeumkong), ▲: Tanyou (Korean name: Danyeobkong).

8日目までは直線的に低下し、その後12日目まではゆるやかに低下した。一方、光合成速度は断水処理4日目までは処理開始時の値を維持したが、5日目より急激に低下し12日目で0になった。6日目に光合成が著しい低下を示したのちに7日目で回復しているが、6日目の値は測定温度の制御が不調で38~41℃という高温になったためと考えられる。断水処理12日目の14時に給水を行ったところ、翌日には蒸散、光合成ともかなり回復したが、その速度は断水前のレベルには達しなかった。

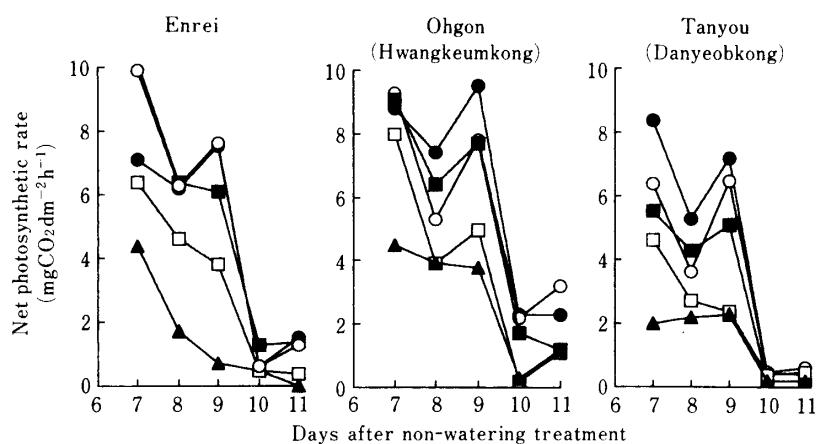


Fig. 4. Changes in net photosynthetic rate of leaves on main stem during the period of non-watering treatment.

●: 1st, ○: 2nd, ■: 3rd, □: 4th, ▲: 5th.

Table 2. Net photosynthetic rate ($\text{mgCO}_2\text{dm}^{-2}\text{h}^{-1}$) at different time under soil water deficit.

Cultivar	Leaf position*	Time of day			Average
		9	15	18	
Enrei	9	21.0	5.2	4.9	10.4
	8	17.0	3.7	5.4	8.7
Ohgon (Hwangkeumkong)	9	22.0	4.9	5.6	10.8
	8	17.0	5.0	3.9	8.6
Tanyou (Danyeobkong)	9	18.3	5.4	4.4	9.4
	8	15.5	3.0	4.0	7.5
pF value		2.9	—	3.3	

* Leaf position on main stem.

つぎに、断水処理による同一個体の最上位葉と次位葉の光合成速度の変化を土壌水分 (pF) の変化と対応させて第3図で検討した。3品種をこみにしてみると、最上位葉、次位葉いずれも土壌水分が pF 2.3 から 3.3 の間では光合成速度が $15\sim 23 \text{ mg CO}_2\text{dm}^{-2}\text{h}^{-1}$ の範囲にあったが、pF 3.5 になると光合成速度は顕著に低下し始め、pF が 3.9~4.1 の範囲では光合成は $0\sim 3 \text{ mg CO}_2\text{dm}^{-2}\text{h}^{-1}$ となった。この傾向は3品種とも同様で、品種間差異は認められなかった。

さらに、同一個体内各葉位の葉の光合成がそれぞれどのように低下するのかを調べるため、光合成が軽度低下した時期、すなわち土壌水分 pF 3.7 に低下した日 (処理7日目) から毎日午前中に主茎の最上位完全展開葉以下5枚の光合成を追跡測定した。その結果は第4図に示した通りである。これを見ると、土壌水分の減少に伴う光合成の低下傾向は葉位によって異なり、3品種とも上位第1~3葉よりも、

下位第4、5葉の光合成速度の低下が急速であるが、10日目では各葉位の値がすべて低下し、かつ接近した。

第2表に処理3日目 (pF 2.9~pF 3.3) における光合成速度の時刻別の測定結果を示した。3品種ともに9時の光合成速度は高く、15時、18時では9時の光合成速度の概ね1/4程度に低下したが、両時刻では大差がない。第2図の測定の場合を参考にすれば、弱い水ストレスを受けた状態での光合成速度の日変化は、午前中はほぼ一定値を保ち、午後になると急激に低下すると推測できる。

気孔伝導度は気孔開度の大小を判別する指標であると同時に、光合成と蒸散の両者に関わる重要な因子である。第2図での光合成・蒸散の測定から得られた断水後における気孔伝導度の変化を第5図に示した。3品種ともに最上位葉、次位葉いずれも処理開始時から処理6日目まで気孔伝導度は急速に低下し、処理10日目以降ではゼロに近づいた。再給水を

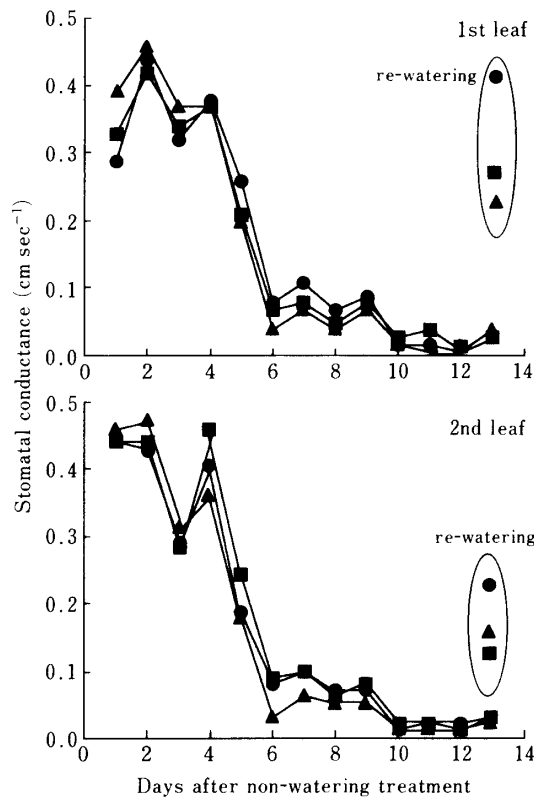


Fig. 5. Changes in stomatal conductance during the period of non-watering treatment. Symbols are represented by the same at those in Fig. 3.

行うことにより、最上位葉の気孔伝導度はかなり回復したが、次位葉の回復は不十分であった。

つぎに、蒸散速度、光合成速度と気孔伝導度との関係を検討しておきたい。すでに記述したように、断水処理12日目の午後に土壤水分がpF 1.9になるように再び灌水してその直後より測定を始め、翌日の11時まで経時的に光合成速度の回復状況を追跡した場合の結果と断水処理中の測定値とを合わせて、蒸散速度と気孔伝導度との関係を第6図に示した。この図をみると、3品種、また最上・次位葉をこみにして、両者の間には高い正の相関関係が認められた。当然ながら蒸散は気孔伝導度に比例するのであるが、注目すべきは断水期間中の測定値と、再給水後の測定値とでは異なる回帰式で示されるということである。すなわち、回帰式の方係数は回復期3.74に対し断水期間中は7.05で、回復時の方が小さい値であった。これは、同じ気孔伝導度でも回復時の蒸散速度が低く、葉からの水分損失を防いでいるということであって、水分欠乏期間中に水分経済上何らかの体制的变化があったことが推定される。

つぎに、光合成速度と気孔伝導度との関係を第7

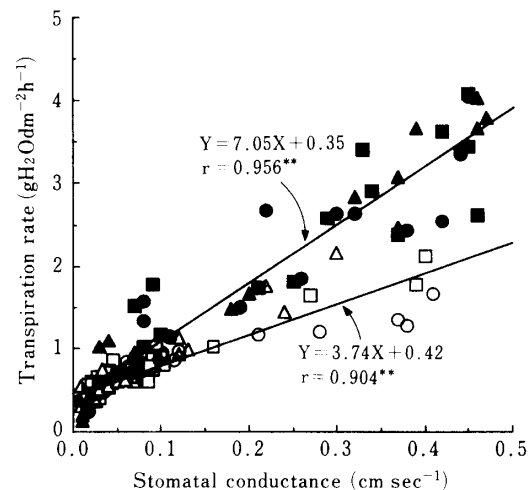


Fig. 6. Relationship between stomatal conductance and transpiration rate at the both periods of non-watering (solid) and re-watering (open) treatment. ●, ○: Enrei, ■, □: Ohgon (Korean name: Hwangkeumkong), ▲, △: Tanyou (Korean name: Danyeobkong).

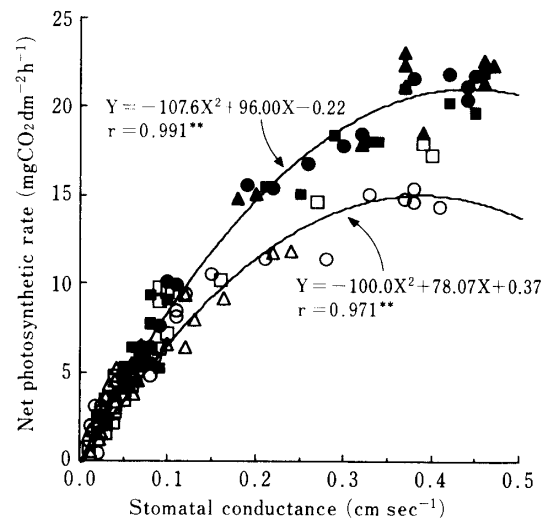


Fig. 7. Relationship between stomatal conductance and net photosynthetic rate at the both periods of non-watering (solid) and re-watering (open) treatment. Symbols are represented by the same at those in Fig. 6.

図に示した。図中黒塗り記号が断水処理期間中の値で、白ぬき記号が再給水後の値である。断水、再給水後の両期間ともに2次回帰式がよく適合し、高い正の相関係数が得られた。しかし、その回帰式はそれぞれで異なり、第6図と同様に再給水による光合成の値は同じ気孔伝導度でも処理前よりも低い値であった。

3. 断水処理後の根の呼吸速度と根の窒素含有率

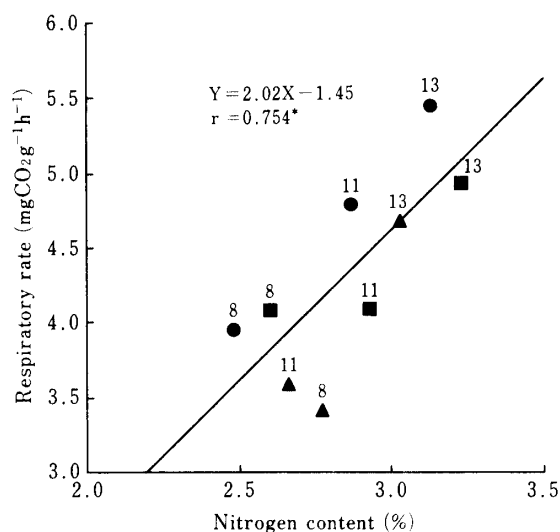


Fig. 8. Relationship between root nitrogen concentration and root respiration.

Symbols are represented by the same at those in Fig. 3.

8, 11, 13 : Days after non-watering treatment.

断水処理8日目、11日目および13日目の根の窒素含有率と呼吸速度の測定結果を第8図に示した。図から明らかなように、両者には正の相関関係が認められ、根の窒素含有率が高いほど根の呼吸速度が高いと言える。これと同様な関係については、Kishitani and Shibles¹¹⁾は、ダイズの根の呼吸速度と根の窒素含有率との間に正の相関があることを指摘し、水稻でも同様にそれが強く関わっていることが報告¹⁵⁾されている。

なお、本実験では、断水処理8日目以後の根の呼吸速度が次第に増加しており、土壤の乾燥に対する適応現象とみることもできるが、1ポットづつの結果であるので個体変異の影響とも考えられるので断定することはできなかった。

さらに、断水処理により光合成速度が著しく抑制を受けた処理11～13日目における細根の呼吸速度と光合成速度との関係を求めたところ、第9図のとおりに、両者の間には高い正の相関関係が認められた。この図の光合成速度は朝9時30分より11時30分までに測定されたもので、光合成速度は3 mg CO₂ dm⁻²h⁻¹以下と低いレベルであるが、根の呼吸速度が高いものほど大であって、これは根の呼吸が関与する積極的吸水能¹⁴⁾に支持されていると考えられる。

総 合 考 察

土壤水分の減少により植物の代謝過程が影響を受

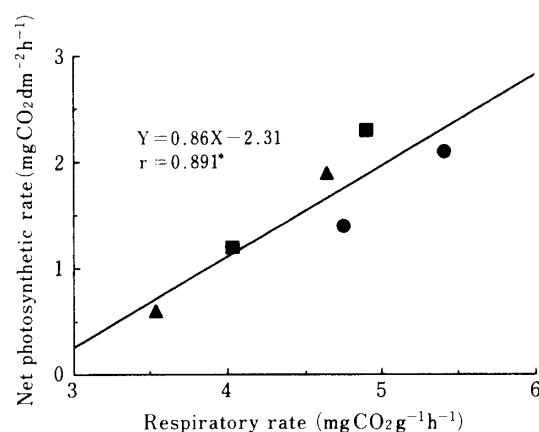


Fig. 9. Relationship between root respiration and net photosynthetic rate on 11th and 13th days after non-watering treatment.

Net photosynthetic rate was mean value of upper two leaves (1st and 2nd) on main stem. Symbols are represented by the same at those in Fig. 3.

けるということは古くから様々な分野で研究されてきた。Boyer²⁾は、ダイズの葉の水ポテンシャルの低下に従って気孔伝導度と蒸散、光合成は相伴って減少すると報告している。また、Brix⁴⁾はトマトについて土壤水分の減少による蒸散、光合成の低下は平行的で低下の程度もよく一致していることを明らかにしている。

これに対して本実験では、前述したとおり土壤水分がpF 1.9より低下し始めると直ちに蒸散速度の低下が始まり、一方、光合成速度はpF 1.9から3.2（断水処理0～4日目）までの間は変化がみられず、pF 3.4以上にまで土壤が乾燥すると急激に低下することがわかった（第2, 3図）。

土壤水分が減少して蒸散量に吸水量が追従できなくなると、気孔開度を減じて葉内水分の保持を図ることはダイズに限らず他の作物に共通であって、それが気孔抵抗を増して光合成の低下を招く。このことについて、猪山・村田⁹⁾は乾燥処理したダイズなどの一般畑作物の光合成速度と葉内水分の関係を調査し、土壤水分の低下にともなって葉内水分が減少する初期段階では光合成速度に変化がなく、水分がある限界値（葉の含水比97～98%）に達すると何れの作物も急激に光合成速度が低下することを認めている。本実験では葉内水分の測定は行わなかったが、第5図の気孔伝導度の急激な低下が始まる処理4～5日目頃が上述の限界値に到達した時期と判断され、光合成速度を高く維持するために必要な土壤

水分の限界値は pF 3.3 (含水比 33%) 近くであると考えられる。

次に、断水処理後の蒸散速度の変化についてみると、前述のとおり、断水処理直後から蒸散速度が低下し始め(第2図)、また、第6図に示されるとおり、気孔伝導度と蒸散速度には3品種をこみにして1つの回帰直線で表すことができた。このことは、土壌水分が減少する過程でのダイズの蒸散が第一義的に気孔伝導度に支配されていることを示している。

ここで、第2図に示した光合成速度と蒸散速度の測定値から水利用効率(WUE: 光合成量/蒸散量)を算出すると、第10図のとおり土壌水分の減少に伴ってWUEは上昇し、pF 3.5で最高値となり、それ以上に土壌が乾燥してもWUEの上昇はみられなかった。従って、これらのことから、土壌pFが1.9~3.3の範囲で上位葉の光合成速度に大きな変化がない場合においても、気孔伝導度は水ストレスが強くなるほど低下し、これに比例して蒸散速度が低下し、その結果としてWUEが上昇したものと解釈された。

このように、ダイズは水ストレスを受けると光合成よりも蒸散をより強く抑制していることが明らかとなった。以下にそのメカニズムについて若干の考察を試みる。葉の光合成速度(P)と蒸散速度(E)はともにガス拡散現象としてとらえると、 $P = (\text{大気中CO}_2\text{濃度} - \text{葉内CO}_2\text{濃度}) / (\text{気孔抵抗} + \text{葉肉抵抗})$ 、 $E = (\text{葉内蒸気圧} - \text{大気中蒸気圧}) / (\text{気孔抵抗} + \text{通導抵抗})$ で示される。

断水処理によって水分が不足すると、まず気孔が閉じ気孔抵抗が増大し、このことは光合成・蒸散ともに減少の方向に作用するが、同時に葉内CO₂濃度が低下して大気中CO₂濃度との差が拡大し、気孔抵抗の増大による光合成の抑制をその分だけ緩和することとなる。

一方、葉内水蒸気圧は葉温における飽和水蒸気圧であり、気孔開閉によっては大きくは変動しないので、蒸散は主として気孔伝導度に支配されているといえる。本実験で得られた気孔伝導度と蒸散速度の関係(第6図)と気孔伝導度と光合成の関係(第7図)は上述の物理的なメカニズムの結果と考えることができる。また同時に、上述の気孔閉鎖によるCO₂濃度差の拡大はpF 3.5まで土壌水分が乾燥した場合のWUEの上昇を説明できるものと考えられる。なお、第10図にみられたとおり、pF 3.5以上に土壌が乾燥するとWUEはそれ以上に増加していないこ

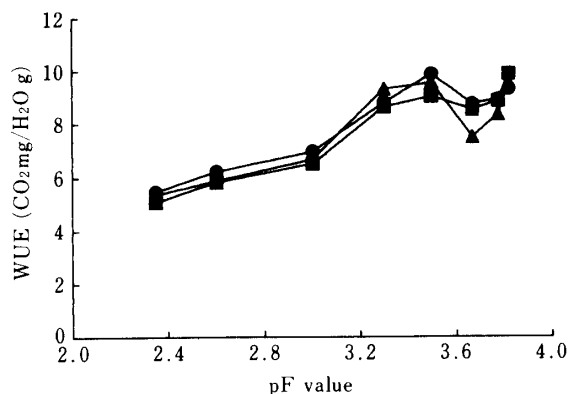


Fig. 10. Water use efficiency (WUE) related to soil moisture change in non-watering treatment.

Symbols are represented by the same at those in Fig. 3.

とを考えると、例えば、葉肉抵抗の増加などの生理的な変化が生じていることが推察される。

以上、ここまで、断水処理を行ったダイズ3品種の上位展開葉の光合成と蒸散について述べてきたが、土壌水分が十分に供給されている場合(pF 2.6以下)における光合成速度、水分欠乏による光合成速度の急激な減少が始まる限界の土壌水分、水分不足時の蒸散速度および水利用効率(WUE)などいずれの場面においても明確な品種間差異を見い出すことはできなかった。

なお、ダイズ葉の光合成速度は着生位置によって異なることが玖村¹²⁾によって報告されている。本実験での主茎上の上位5葉の完全展開葉を比較すると、第4図に示したとおり、断水処理後の光合成速度は上位葉ほど高く維持されていることが明らかである。また、図には示さなかったが、土壌乾燥が強くなる処理10日目以降(pF 3.9以上)になると光合成速度の低下は蒸散速度の低下より大きくなり、とくに下位葉ほど顕著であった。このことから、葉位によってageが異なることの他に、葉肉のCO₂拡散抵抗にも差が生じていることが推察された。断水処理の影響が葉位によって異なることについては次報で詳しく論じることとする。

つぎに、土壌pF 4.1まで乾燥させ、その後pF 1.9になるように再給水した場合の光合成と蒸散について気孔伝導度との関係から検討を加える。

すでに述べたとおり、再給水を行った後の回復期において3品種をこみにした平均の気孔伝導度は乾燥処理前の69%にまで回復したのに対し、光合成と蒸散は67%、40%にしか回復しなかった(第2、5

図). Djekoun and Planchon⁵⁾ は筆者らと同様の断水実験を行って、再給水したときの光合成の回復をみているが、断水 10 日後に再給水したときの回復率は再給水 2 日後で 68% であった。Brix⁴⁾ はトマト、Boyer³⁾ はヒマワリについて乾燥処理後に再給水を行い、光合成、蒸散が完全には回復しないことを認めている。Beardsell and Cohen¹⁾ はトウモロコシとソルガムを用いて乾燥処理後の再給水を行った実験において、光合成がもとの水準に回復しない理由は気孔伝導度が回復していないためであり、そこには水分ストレス期間中に蓄積した葉内アブシジン酸が関与していると推論している。

ここで、前述したとおり、光合成速度と気孔伝導度および蒸散速度と気孔伝導度との関係をみると、供試 3 品種間に明確な差は認められず、3 品種をこみにして断水処理期間中と再給水後の回復期で回帰式が異なっていることが判った (第 6, 7 図)。これは pF 4.1 までの乾燥処理によって根系から葉身に至る水の通導抵抗を増大させ、光合成に関しては葉肉抵抗を増大させる何らかの生理的变化が生じているものと推察される。

土壤水分の減少が地下部に及ぼす影響には根の呼吸速度、吸水速度、無機養分の吸収などの生理的形質の他に、根系分布、根長、根量などの形態的形質が考えられる。形態的形質について調べたこれまでの研究をみると、土壤水分の減少により Top/Root 比が小さくなるとの報告が多い^{6,7,13)}。

本実験でも、第 1 表で示したとおり、短葉は他の 2 品種に比較して、Top/Root 比や葉面積/根重比が小さく、このことが圃場条件下での水の捕集能力に反映して耐乾性を発揮する可能性があると思われるが、本実験では根の伸張性に関する調査を行っていないので別途の実験によって検証する必要がある。

また、繰り返し述べてきたとおり、ポット栽培によって、根圏の土壤水分を均一にした条件下において、少なくとも上位葉の光合成、蒸散および水利用効率などの生理的形質は土壤の乾燥過程、再給水後の回復過程いずれの時期においても、供試 3 品種間に明確な差がないものと結論できた。しかしながら、上記の結論は主として完全展開葉のうち上位葉を対象に、測定時刻も午前中の測定結果から得られたものであり、個体全体の光合成量や蒸散量を代表していない可能性も考えられるので、土壤水分が不足す

る場合の葉の萎れ現象や再給水による回復に及ぼす葉位と時刻の影響について次報で検討する。

引用文献

1. Beardsell, M.F. and D. Cohen 1975. Relationships between leaf water status, abscisic acid levels, and stomatal resistance in maize and sorghum. *Plant Physiol.* 56: 207—212.
2. Boyer, J.S. 1970. Differing sensitivity of photosynthesis to low leaf water potential in corn and soybean. *Plant Physiol.* 46: 236—239.
3. Boyer, J.S. 1971. Recovery of photosynthesis in sunflower after a period of low leaf water potential. *Plant Physiol.* 47: 816—820.
4. Brix, H. 1962. The effect of water stress on the rates of photosynthesis and respiration in tomato plant and loblolly pine seedlings. *Physiol. Plant* 15: 10—20.
5. Djekoun, A. and C. Planchon 1991. Water status effect on dinitrogen fixation and photosynthesis in soybean. *Agron. J.* 83: 316—322.
6. 石原 邦・平沢 正・上野敏昭 1988. 異なる土壤水分条件下に生育したダイズの地上部・地下部の相互関係と光合成速度の日変化の比較. *日作紀* 54 (別 2): 176—177.
7. Itoh, R. and A. Kumura 1986. Acclimation of soybean plants to water deficit. I. Effects of prolonged water deficit on the production and partition of dry matter. *Jpn. J. Crop Sci.* 55: 367—373.
8. ———— 1986. ————. II. Recovery of photosynthesis and leaf water status under prolonged water deficit. *Jpn. J. Crop Sci.* 55: 374—378.
9. 猪山純一郎・村田吉男 1960. 畑作物の光合成に関する研究. 第 2 報 土壤水分と数種畑作物及び水稻の光合成との関係. *日作紀* 29: 350—352.
10. 川口桂三郎・小島 懋 1983. 土壤学実験法. 京都大学農学部農芸化学教室編, 新改版農芸化学実験書 (増補) 第 1 巻 産業図書株式会社, 東京. 267—272.
11. Kishitani, S. and R. Shibles 1986. Respiration rates of soybean cultivars. *Crop Sci.* 26: 580—583.
12. 玖村敦彦 1969. 大豆の物質生産に関する研究 第 5 報 個体群の光合成系について. *日作紀* 38: 74—90.
13. Mayaki, W.C. and L.R. Stone 1976. Top and root growth of irrigated and nonirrigated soybeans. *Crop Sci.* 16: 92—94.
14. 津野幸人・鳥生誠二 1987. 水稻根の呼吸阻害が光合成作用におよぼす影響. *日作紀* 56: 512—520.
15. ————・山口武視 1987. 水稻光合成の高温低下現象と根の呼吸速度との関係ならびに根の呼吸速度に関与する要因の解析. *日作紀* 56: 536—546.