

低土壌水分条件におけるダイズの乾物生産と 根系発達の品種間の相違*

飛田 有支・平沢 正・石原 邦

(東京農工大学農学部)

1995年1月31日受理

要 旨 : 前報において、生態型、伸育型が等しくても品種によって土壌水分の低下に伴う乾物重や子実重の減少程度が異なり、この相違には根群の発達程度の相違が関係していることが推察された。この点をさらに詳しく検討するため、エンレイとタチナガハを土壌水分の減少する条件で個体群として生育させた。

タチナガハはエンレイに比べて低土壌水分条件において登熟期間の日中の葉の本部の水ポテンシャルが高く、拡散抵抗が低く維持され、その結果、純同化率 (NAR) の減少程度が小さいことによって、乾物生産と子実重の減少程度が小さいという、前報と同様の結果が個体群として生育させた時にも得られた。さらにタチナガハはエンレイに比べて、登熟期の低土壌水分条件で葉の老化に伴う光合成速度の減少が小さく、これもタチナガハの NAR の減少が小さいことに関係していた。低土壌水分条件では、コアサンプリング法で測定した根長密度、ミニリゾトロン法で測定した根長のいずれもタチナガハはエンレイに比べて大きく、両品種の差は土壌の深層で顕著であった。土壌水分の減少量から推定した吸水量は土壌の深層でタチナガハで大きく、土壌水分が減少するとタチナガハはエンレイに比べて根系が土壌深くに密に良く発達する性質をもつことが明らかとなった。以上のことから、低土壌水分条件で認められた地上部の生理的性質の両品種の相違は、このような根系の発達の相違によってもたらされたものと考えられた。

キーワード : 乾物生産, 吸水, 根長密度, ダイズ品種, 土壌水分, 水欠乏, ミニリゾトロン, 老化。

Differences in Dry Matter Production and Root System Development between Soybean Cultivars under Deficient Soil Moisture Conditions : Yushi HIDA, Tadashi HIRASAWA and Kuni ISHIHARA (*Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology, 3-5-8 Saiwai-cho, Fuchu, Tokyo 183, Japan*)

Abstract : In the previous paper, it was clarified that the decrease in dry matter and grain productions under deficient soil moisture conditions differed between cultivars classified into the same ecotype, and it was suggested that root system development might be responsible for the varietal differences. To investigate causal factors of the differences in dry matter production and yield between the cultivars, ecophysiological characters and root system development were compared between the populations of Enrei and Tachinagaha in the field.

The net assimilation rate was high in Tachinagaha compared with Enrei because of the high leaf xylem water potential and low leaf diffusive resistance during the daytime, and the less decrease in the photosynthetic rate with senescence. This resulted in high dry matter production and high grain yield in Tachinagaha. Root length density measured by the core sampling method and root length measured by the minirhizotron method were both larger, especially in the deep soil layers, in Tachinagaha. The amount of soil water depletion was also larger, especially at the deep soil layers in Tachinagaha, probably due to greater water absorption by the plants. These results indicated that the root system was well developed in the deep soil layers in Tachinagaha compared with Enrei as soil moisture was depleted. The root system development might be responsible for the differences in the ecophysiological characters between Enrei and Tachinagaha.

Key words : Dry matter production, Photosynthesis, Root system, Senescence, Soil moisture, Soybean cultivar, Water deficits, Water uptake.

前報¹⁾において、生態型がほぼ等しく、同じ伸育型で土壌水分の低下に伴う乾物生産量と子実重の減少程度が異なる品種の3組み合わせ、エンレイとタチナガハ、HarosoyとBeeson, WayneとS-100を選び、それぞれを相互に隣接させて生育させ、品種間で減少程度の異なる要因を検討した。その結果、この3組の品種間で乾物生産量と子実重が異なったの

は、いずれも生育後期の乾物生産が異なり、この相違には根群の発達程度の相違が関係していることが推察された。そこで本実験は、この推察を検討するため、前報の供試品種の中からエンレイとタチナガハを選び、圃場で個体群で生育させ、土壌水分の減少が地上部の生育に及ぼす影響をさらに詳しく検討するとともに、土壌における根の分布密度を測定することを通じて、土壌水分の減少が根系の形成に及ぼす影響を品種間で比較した。

* 大要は、第198回講演会(平成6年8月)において発表。本研究の一部は文部省科学研究費によった。

材料と方法

供試したダイズ (*Glycine max* (L.) Merr.) 品種、エンレイとタチナガハを本学農学部附属農場 (多摩川沖積土) の実験圃場に条間 65 cm, 株間 8 cm の密度で 1993 年 6 月 25 日に播種し, それぞれ個体群として生育させた。条は南北条とし, 肥料は基肥として堆肥 3 t/10 a, 化学肥料 (14-14-14), 過磷酸石灰, 塩化加肥を N, P₂O₅, K₂O の成分がそれぞれ 3, 10, 10 Kg/10 a となるよう施した。

播種後 7 月 8 日までは 5 mm ずつ計 3 回灌水し, その後は湿潤区と乾燥区に分けて生育させた。すなわち, それぞれの品種の面積は各区とも 26 m² とし, 湿潤区は深さ 30 cm の土壌の pF が 2.3 に低下する都度, 条間に配置した噴霧型灌水チューブで灌水し, 乾燥区は一切灌水を行わなかった。両区とも降雨時は 0.1 mm の雨量に感知して開閉する移動屋根で覆った。エンレイ, タチナガハの開花開始日はいずれも 8 月 4 日, 収穫日はそれぞれ 10 月 8 日, 10 月 16 日で, 湿潤区, 乾燥区の違いはなかった。

土壌水分の推移は前報と同様, 水銀マンオメーター式テンシオメーターと石膏ブロックを用いた電気抵抗法で測定した。土壌水分含量は検土杖を用いて, 条の中央, 20 cm の深さごとに土壌を採取し, 重量を秤量した後, 105°C で 48 時間乾燥させて乾土重を秤量し求めた。

地上部重, 子実重などは両品種とも生育の中庸な 16 個体を採取し, 葉面積を面積計 (林電工社製, AAM-8 型) で測定した後, 90°C で通風乾燥し乾物重を測定した。

葉の木部の水ポテンシャルはプレッシャーチェンバー (Soil moisture equipment 社製, 3005 型) で前報に準じて測定した。葉身の拡散抵抗は steady state 型のポロメーター (LI-COR 社製, LI-1600) で葉身の頂小葉の表面と裏面を測定し, 抵抗は並列として全抵抗を算出した。光合成速度は前報と同様の同化箱を用いて葉身の頂小葉を着葉のまま測定した。その際, 測定葉の葉温が著しく高くなるのを防ぐため, 直射光をアルミはくでさえぎって, 人工光 (林時計工業製, LA-150 SAE) を照射した。葉面の光量子密度は約 1600 $\mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ であった。なお, 測定は, 葉の水ポテンシャルが大きく低下する前の午前の比較的早い時刻に行った。

根の分布密度の測定にはコアサンプリング法とミニリゾトロン法を用いた。コアサンプリング法では

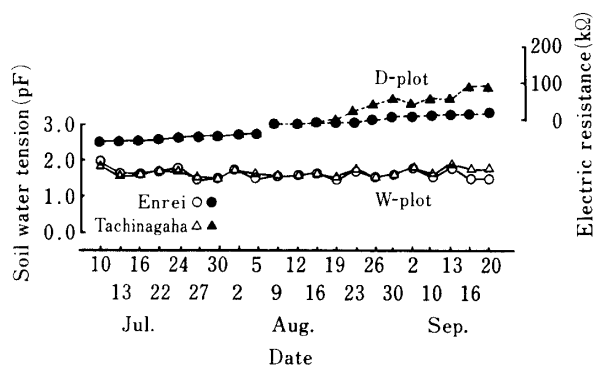


Fig. 1. Changes in soil moisture of the W- and D-plots* at the depth of 50 cm from the soil surface. Solid and dotted lines represent soil water tension measured with a tensiometer and electric resistance measured with a gypsum block, respectively.

*In the W-plot, plants were grown under sufficient soil moisture conditions until harvest time. In the D-plot, plants were withheld irrigation after emergence of seedling.

内径 32 mm のサンプリング管で 20 cm ごとに土壌を採取し, 土壌から根を洗い出し, ライン交差法で根長を求め, 単位土壌体積当たりの根長 (根長密度) を算出した⁸⁾. 採取は株間中央を各区とも各条 1 本, 計 8 条について行った。ミニリゾトロン法⁹⁾では, 外径 60 mm, 内径 54 mm の透明アクリル管を垂直に対して 30 度の角度で条の上に 1 本, 各区計 8 本埋設し, 管の表面に現れる根をファイバースコープ (オリンパス社製, IF11D4) を通してカラービデオ装置で録画し, ライン交差法で根長を測定し, アクリル管の単位表面積当たりの根長を算出した。

結 果

1. 土壌水分の推移

深さ 50 cm の土壌水分は (第 1 図), 湿潤区では両品種とも常に pF 1.5~1.7 で推移した。乾燥区では日数の経過とともに減少し, 8 月上旬には両品種とも約 pF 3.0 であったが, 8 月中旬にはエンレイよりもタチナガハで低くなり, 以後その差は拡大し, 9 月 20 日にはエンレイでは 30 kΩ, タチナガハでは 100 kΩ となった。乾燥区における土壌水分の両品種の関係は, 深さ 30 cm, 75 cm, 100 cm においてもほぼ同様であった。

2. 地上部の比較

葉面積は両品種とも乾燥区は湿潤区に比べて小さかった (第 2 図)。湿潤区に対する乾燥区の割合は 8 月 12 日, 9 月 17 日のいずれもエンレイに比べてタチ

ナガハで小さく、土壌水分低下に対する葉面積の減少程度はタチナガハで大きかった。乾物重も両品種とも乾燥区は湿潤区に比べ小さかった(第3図)。湿潤区に対する乾燥区の割合は8月12日ではエンレイに比べてタチナガハが小さかったが、9月17日には両品種に違いがなくなり、10月22日にはエンレイは70.1%、タチナガハは73.6%で、土壌水分低下に対する乾物重の減少程度はタチナガハで小さかった。

このような乾物重の減少程度の品種間差を生長解析を通じて検討した(第1表)。湿潤区に対する乾燥区の個体群生長速度(CGR)の割合は7月8日から8月12日の間はエンレイに比べてタチナガハは小さく、土壌水分低下によるCGRの減少程度はタチナガハで大きかった。このCGRの減少程度の相違は、エンレイに比べてタチナガハでは乾燥区の平均葉面積指数(LAI)の減少程度が純同化率(NAR)の

増加程度より大きかったことによる。乾燥区の土壌水分が大きく低下した8月12日から9月17日の間のCGRの湿潤区に対する乾燥区の減少程度はタチナガハで小さい傾向があった。この両品種のCGRの減少程度の相違は、エンレイに比べてタチナガハではLAIの減少程度よりNARの増加程度が大きい傾向があることによっていた。

以上のような生育を示した結果、子実重は両品種とも乾燥区は湿潤区に比較して小さく、乾燥区の子実重の減少程度はタチナガハで小さかった(第2表)。このことは両品種とも乾燥区の全莢数、精粒数が湿潤区に比べて小さく、乾燥区のそれぞれの減少程度はエンレイに比べてタチナガハで小さいことから裏づけられる。

3. 生理生態的性質の比較

(1) 日中の葉の木部の水ポテンシャルと拡散抵抗

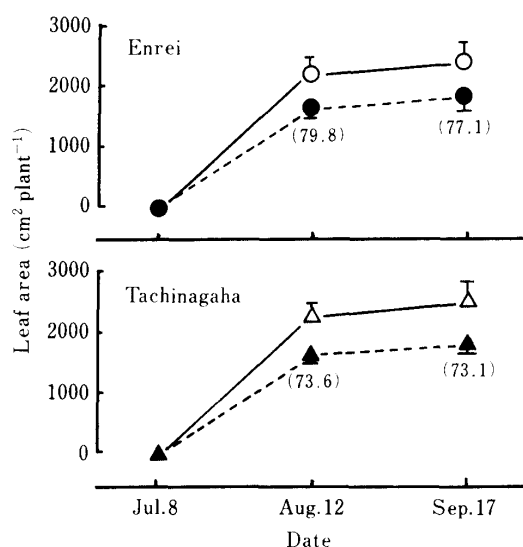


Fig. 2. Changes in leaf area. Open and solid symbols represent the W- and D-plot, respectively. Vertical bars represent standard deviations. Figures in parentheses represent the leaf area ratio of D-plot to W-Plot (%).

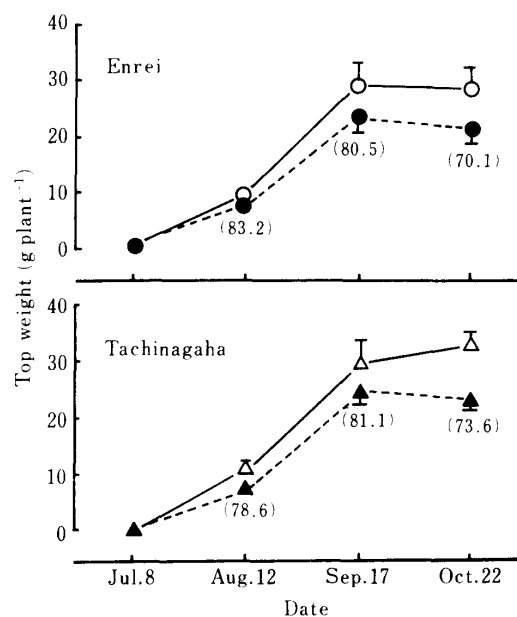


Fig. 3. Changes in top weight. Open and solid symbols represent the W- and D-plot, respectively. Vertical bars represent standard deviations. Figures in parentheses represent the weight ratio of D-plot to W-plot (%).

Table 1. Crop growth rate (CGR), net assimilation rate (NAR) and mean leaf area index (LAI).

Date	Cultivar	CGR ($\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$)		NAR ($\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$)		LAI	
		W-plot	D-plot	W-plot	D-plot	W-plot	D-plot
Jul. 8	Enrei	5.07	4.19 (82.6) *	2.41	2.48 (103)	2.10	1.69 (80.5)
Aug. 12	Tachinagaha	5.52	4.32 (78.3)	2.56	2.68 (105)	2.16	1.61 (74.5)
Aug. 12	Enrei	10.51	8.32 (79.2)	2.67	2.46 (92.1)	4.32	3.38 (79.2)
Sep. 17	Tachinagaha	10.61	8.75 (82.5)	2.35	2.64 (112)	4.51	3.31 (73.4)

* Figures in parentheses represent the ratio of D-plot to W-plot (%).

Table 2. Yield and yield components.

Cultivar	Pod number (m ⁻²)		Seed number (m ⁻²)		100 seed weight (g) *		Seed weight (g m ⁻²) *	
	W-plot	D-plot	W-plot	D-plot	W-plot	D-plot	W-plot	D-plot
Enrei	803 ^a **	614 ^c (76.5)***	1131 ^a	770 ^b (68.1)	30.8 ^b	30.2 ^b (98.3)	366 ^b	251 ^d (68.7)
Tachinagaha	764 ^a	670 ^b (87.7)	1018 ^a	797 ^b (78.3)	38.0 ^a	35.0 ^a (92.2)	420 ^a	305 ^c (72.7)

* Weight at 15% moisture.

** Means followed by the different letters are significantly different at 5% level (Duncan's multiple range test) within 4 means.

*** Figures in parentheses represent the ratio of D-plot to W-plot(%).

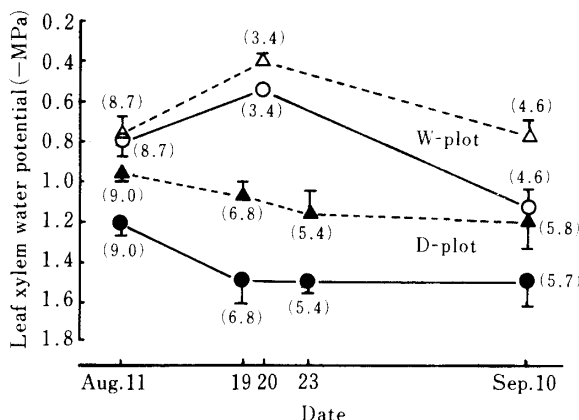


Fig. 4. Changes in leaf xylem water potential of the fifth leaf from the uppermost. Circles and Triangles represent Enrei and Tachinagaha, respectively. Open and solid symbols represent the W- and D-plot, respectively. Five to seven leaves were used for measurements. Vertical bars represent standard deviations. Leaf under direct sun light was used for measurements, and figures in parentheses represent mean light intensity ($\times 10\text{KLx}$) during the measurement.

日中の葉の木部の水ポテンシャルは、湿潤区では生育期間を通じて乾燥区より高く推移し、開花期を除くとエンレイに比べてタチナガハで高かった (第4図)。乾燥区では8月中旬まで生育に伴って低下したが、以後はほぼ一定で、常にタチナガハで高かった。この水ポテンシャルの相違が関係して、7月下旬以後、乾燥区の拡散抵抗はタチナガハで有意に低く、低土壌水分条件でもタチナガハは日中気孔の閉じる程度の小さいことがわかった (第5図)。

(2) 登熟期の光合成速度

登熟期に第II, IV, VI葉の光合成速度を測定し、エンレイとタチナガハそれぞれについて湿潤区と乾燥区を比較した (第6図)。9月11, 12日には両品種ともII, IV葉の光合成速度は乾燥区と湿潤区の間大きな相違はなかったが、VI葉は湿潤区に比べ乾燥区で高くなった。9月24, 25日では、両品種とも乾

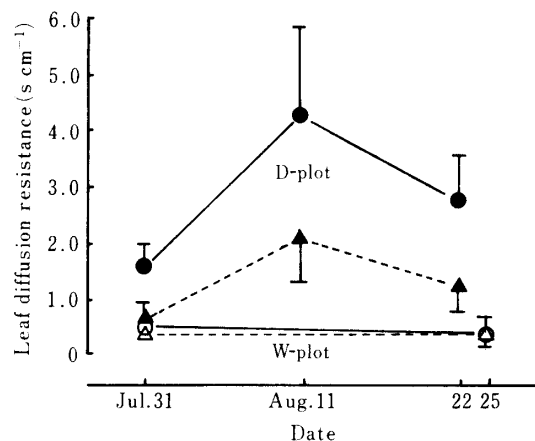


Fig. 5. Changes in leaf diffusion resistance* of the fifth leaf from the uppermost during daytime. The symbols, the number of measured leaves and the vertical bars are the same as those in Fig. 4.

*Measurements at light intensity higher than $1.2 \times 10^3 \mu\text{Em}^{-2} \text{s}^{-1}$.

燥区の光合成速度が湿潤区よりも低く、低下の程度はタチナガハに比較してエンレイで大きかった。つぎに、老化に伴う光合成速度の低下程度を比較すると、9月24, 25日の低下程度はタチナガハに比べてエンレイで明らかに大きく、両品種の差は低下程度の大きい乾燥区で大きかった。10月2日には両品種の相違はさらに顕著となり、エンレイは両区ともに落葉したのに対してタチナガハの乾燥区の葉は光合成を行っていた。

(3) 夜明け前の葉の木部の水ポテンシャル

根系の深さの指標として、夜明け前の葉の木部の水ポテンシャルを測定し、両品種を比較した (第3表)。湿潤区の夜明け前の葉の木部の水ポテンシャルは8月12日, 9月11日ともに高く、両品種間で違いはなかった。乾燥区では8月12日には、エンレイの -0.27MPa に比べてタチナガハは -0.13MPa と有意に高かった。9月11日ではタチナガハは土壌水分が低いのに (第1図)、両品種間に有意差はなか

Table 3. Pre-dawn leaf xylem water potential (MPa) of the second leaf from the uppermost.

Cultivar	Aug. 12		Sep. 11	
	W-plot	D-plot	W-plot	D-plot
Enrei	$-0.14 \pm 0.01^a*$	-0.27 ± 0.04^b	-0.13 ± 0.01^a	-0.20 ± 0.04^b
Tachinagaha	-0.13 ± 0.01^a	-0.13 ± 0.02^a	-0.12 ± 0.01^a	-0.18 ± 0.04^b

* (Mean) \pm (Standard deviation). Means followed by the different letters are significantly different at 5% level (Duncan's multiple range test) within 4 means. Three to five leaves were used for measurements.

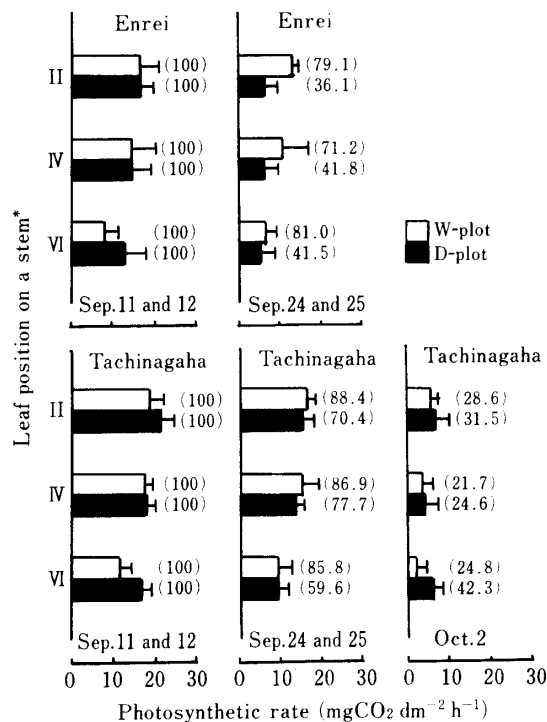


Fig. 6. Photosynthetic rate of leaves at different positions on a stem in the morning under sufficient artificial light of above $1,600 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Bars represent standard deviations of six replications. Figures in parentheses represent the ratio of photosynthetic rate to that on Sep. 11 and 12 (%). In Enrei, all leaves were defoliated before Oct. 2.

*II, IV, VI indicate the position of the leaf counted from the uppermost leaf on a stem.

った。

4. 地下部の生育の比較

(1) 根長密度

乾燥区の土壌水分が両品種で大きく異なった9月14日の土壌の深さ別の根長密度を比較した(第7図)。湿潤区では根長密度は土壌表層が大きく、下層で小さく、すべての深さで、とくに土壌表層でタチナガハはエンレイに比較して大きかった。乾燥区でも根長密度は土壌表層が最も大きく、下層で小さい

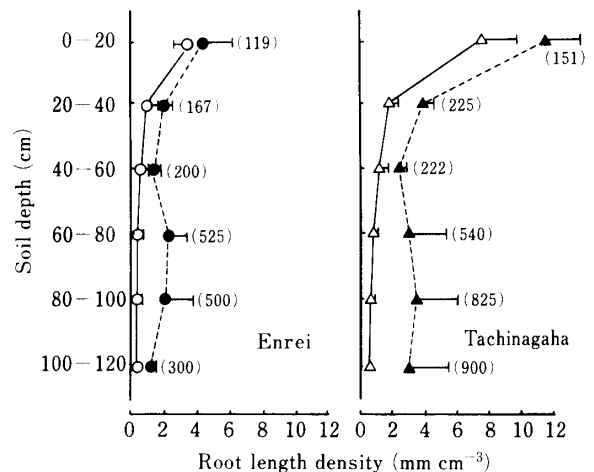


Fig. 7. Comparisons of root length density measured by the core sampling method at grain filling stage (Sep. 14). Open and solid symbols represent the W- and D-plot, respectively. Horizontal bars represent standard deviation of eight replications. Figures in parentheses represent the ratio of root length density in the D-plot to that of the W-plot (%).

が、60 cm～100 cm では再びやや大きくなった。湿潤区と乾燥区を比べると、両品種ともすべての土壌層で乾燥区の根長密度が大きく、その相違は土壌が深くなるにしたがって大きくなった。湿潤区に対して乾燥区で大きくなる程度は、エンレイに比較してすべての土壌層においてタチナガハで大きく、両品種の相違は土壌が深くなるに伴って大きくなった。

(2) 根長の推移

同じ個体の根長を経時的に測定できるミニリゾトロン法を用いて比較的深い土壌層の根長の推移を比較した(第8図)。両品種の根長はともに、深さ45 cm～80 cmでは8月8日、深さ85 cm～120 cmでは9月7日に最大となり、時期が遅いほど根長は土壌の深いところで最大に達した^{2B)}。根長の増え方は両品

注) 最大に達して以後根長が減少するのは、細い根が枯れるからで、とくに乾燥区で顕著であった。このことについては、さらに検討をすすめている。

Table 4. Soil moisture depletion (g (100 g)^{-1} dry soil weight) at various soil depth in D-plot from Jul. 9 to Sep. 16.

Soil depth (cm)	A (Jul. 9)		B (Sep. 16)		Depletion of soil moisture (A-B)	
	Enrei	Tachinagaha	Enrei	Tachinagaha	Enrei	Tachinagaha
0—20	29.9	29.4	16.7	14.0	13.2	15.4
20—40	34.8	33.2	23.2	19.5	11.6	13.7
40—60	29.4	31.2	21.7	18.2	7.7	13.0
60—80	34.1	33.0	31.6	28.2	2.5	4.8
80—100	45.1	44.3	36.6	35.1	8.5	9.2

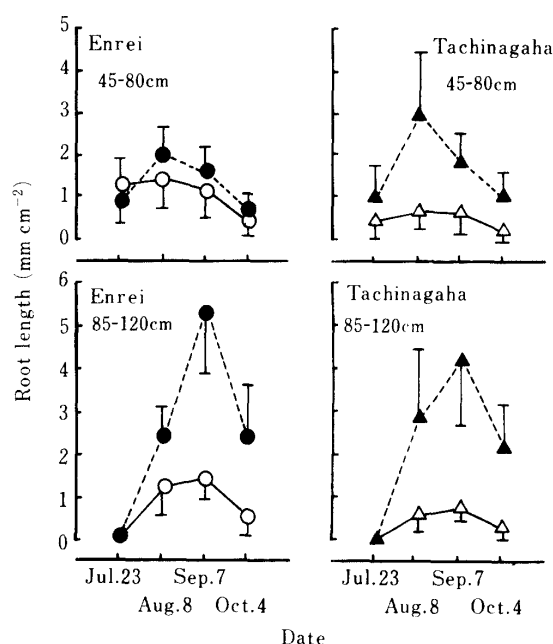


Fig. 8. Changes in root length measured by the minirhizotron method at the two soil depth. Open and solid symbols represent the W- and D-plot, respectively. Vertical bars represent standard deviations of eight replications.

種とも、乾燥区が湿潤区に比較して大きく、乾燥区の根長の増加程度を品種間で比較すると、深さ 45 cm~80 cm では 7 月 23 日から 8 月 8 日にかけてエンレイに比較してタチナガハが大きかった。しかし、深さ 85 cm~120 cm では品種間の相違は明らかでなかった。

(3) 乾燥区の土壌水分の減少量

土壌水分含量は、灌水停止時には両品種で大きな相違はなかったが、子実肥大後期にはすべての土壌層でタチナガハの土壌水分含量は低い傾向があった。この間の土壌水分減少量を両品種で比較すると、すべての土壌層においてタチナガハで大きく、とくに深さ 40~60 cm, 60~80 cm の層で品種間差が大きかった(第 4 表)。このことは、タチナガハは

エンレイに比べて低土壌水分条件では比較的深い土壌層から水分を多く吸収したことを示している。

考 察

前報⁵⁾で供試した 3 組み合わせの中からエンレイとタチナガハを選び、土壌水分の低下に伴う地上部の生育、生理的性質、根の分布密度の変化を品種間で比較した。その結果、前報⁵⁾と同様にタチナガハはエンレイに比べて、(1) 日中の葉の木部の水ポテンシャルが高く(第 4 図)、光合成速度と密接な関係のある日中の拡散抵抗が低く維持された(第 5 図)、(2) 開花期以後、NAR が高かったことによって、乾物生産や子実重の減少程度が小さくなった(第 3 図、第 1, 2 表)、(3) 夜明け前の葉の木部の水ポテンシャルは、乾燥区においては、タチナガハはエンレイに比べて開花期には高く、登熟期は土壌水分が大きく減少していたにもかかわらず低くはならなかった(第 3 表)。これらの結果は、3 組計 6 品種を用いて検討した前報の結果と同様で、個体群として生育させても乾物重や子実重の減少程度の小さいタチナガハは、開花期以後の乾物生産量の減少程度が小さく、これは深い土壌層の根の分布密度が高いことによると考えられた。本研究において、実際に根系を調査したところ、タチナガハはエンレイに比べて根長密度(第 7 図)、根長(第 8 図)が土壌の深いところまで大きく、このことは土壌水分の減少から推定した土壌層別の根の吸水量がタチナガハで大きかったことから証明できた(第 4 表)。

さらに、根群のよく発達していたタチナガハはエンレイに比較して、低土壌水分条件で葉の老化に伴う光合成速度の低下が著しく小さかった(第 6 図)。このことも乾燥区でタチナガハがエンレイに比較して、登熟期の NAR が大きくなった要因と考えられる。水ストレスは葉の老化を促進させるが¹⁵⁾、土壌水分が十分にある条件でも葉の老化は根系のよく発

達した作物では小さく^{6,12,13)}、根で形成され地上部に送られるサイトカイニンが関係していることが²¹⁾報告されている。このことは、低土壤水分条件でも根系の発達、吸水による体内水分の維持を介してだけでなく、植物ホルモンなどの生成を介して地上部の老化に影響していることを示唆しており、今後、考慮すべき問題と考える。

以上のことから、乾燥区におけるエンレイとタチナガハでの地上部の生育あるいは生理的性質の相違には、根系の発達が大きく関与していることがわかった。根系が発達すると、土壤水分低下の影響を受けにくいと言われている^{1,7,16,23)}ので、両品種の根系がその発達過程のどの段階で相違するかについてさらに詳細に検討してみたい。湿潤区でもタチナガハはエンレイに比較して、とくに土壤表層で根長密度が高く、根系がよく発達していた(第7図)。根系の発達は土壤水分の減少によって促進される^{7,11)}が、本研究においても乾燥区では根系の発達が促進された。この根系の品種間の相違は両品種の根長密度の違いによることから一層明確となり、土壤表層だけでなく、土壤の深層でもその差が大きかった。ダイズの根系の深さや密度の品種間差には、主根の伸長速度が関係し、伸長速度の大きい品種は土壤のより深層部での根の密度が高いという報告¹⁴⁾やダイズ根系の品種間差には主根ではなく、分枝根の発達程度が関係しているという報告¹⁷⁾がある。しかし、ダイズにおける根系の発達程度がどのような過程で異なるかについては明らかでない。低土壤水分条件では、根の伸長速度は抑制されず、かえって大きくなることも認められ^{2,4,9,20)}、その機構について植物ホルモン^{4,18,19)}や伸長組織の細胞壁の性質²²⁾、乾物の分配¹⁰⁾などいろいろな視点から検討が進められており、これらが根系の発達程度の品種間差に関与している可能性も考えられる。前報⁵⁾で用いた3組み合わせとも、土壤水分の低下に伴う地上部の生育の減少程度の相違は根系の発達程度の違いが共通した要因と考えられるので、今後低土壤水分条件でエンレイとタチナガハの根系の発達程度の品種間差が生ずる要因を根系の形成過程に着目して検討したい。

最後に本実験の結果を参考にわが国の降雨の分布と関係した土壤水分の変化する条件下での耐乾性の問題についてふれておきたい。すでに報告したように、わが国では梅雨期の土壤水分の十分な条件で生育したダイズは夏期の土壤水分が減少する条件では

水ストレスを生じ、光合成の低下などを通じて乾物生産量、収量が低下する⁷⁾。この要因は生育前半の根系の発達が十分でないことにあり、わが国においては夏期の水ストレスを避けるためには根系を発達させるための梅雨期の排水が重要な課題であることを指摘した。同時に土壤水分が十分ある条件下でも根群が深い土壤まで発達する品種を育成することも重要であり、湿潤土壤条件でも根系の発達程度に明らかな品種間差があることは、このような品種の育成が可能であり、重要であることを示している。また、湿潤土壤条件でも根系の発達が相違するダイズは光合成速度の日中低下^{3,6)}、葉の老化⁷⁾が異なり、収量も異なる。したがって、わが国における土壤水分条件を考える時、乾燥条件下での根系の発達と同時に、湿潤条件下における根系の発達も重要である。本研究において、湿潤区でエンレイ、タチナガハの根系の発達が異なったことも手がかりとしつつ、湿潤条件下でも根系の発達程度が品種間で異なることに関係する要因についても検討して行く必要があると考えている。

引用文献

1. Angus, J.F., S. Hasegawa, T.C. Hsiao, S.P. Liboon and H.G. Zandstra 1983. The water balance of post-monsoonal dryland crop. J. Agric. Sci. 101: 699—710.
2. Bassirirad, H. and M.M. Caldwell 1992. Root growth, osmotic adjustment and NO_3^- uptake during and after a period of drought in *Artemisia tridentata*. Aust. J. Plant Physiol. 19: 493—500.
3. Boyer, J.S., R.R. Johnson and S.G. Saupe 1980. Afternoon water deficits and grain yields in old and new soybean cultivars. Agron. J. 72: 981—986.
4. Creelman, R.A., H.S. Mason, R.J. Bensen, J.S. Boyer, and J.E. Mullet 1990. Water deficit and abscisic acid cause differential inhibition of shoot *versus* root growth in soybean seedlings. Plant Physiol. 92: 205—214.
5. 飛田有支・平沢 正・石原 邦 1995. 土壤水分低下に対するダイズの生育反応の品種間差. 日作紀 64: 565—572.
6. 平沢 正・中原正一・石原 邦 1988. 異なる土壤水分条件に生育したダイズの生育および生理・生態的性質の比較. 日作紀 57(別2): 155—156.
7. Hirasawa, T., K. Tanaka, D. Miyamoto, M. Takei and K. Ishihara 1994. Effects of pre-flowering soil moisture deficits on dry matter production and ecophysiological characteristics in soybean plants under drought conditions dur-

- ing grain filling. Jpn. J. Crop Sci. 63 : 721—730.
8. Hirasawa, T., M. Takei and K. Ishihara 1995. A minirhizotron method for measuring root system of soybean plants growing in the field. Jpn. J. Crop Sci. 64 : 78—85.
 9. Hoogenboom, G., M.G. Huck and C.M. Peterson 1987. Root growth rate of soybean as affected by drought stress. Agron. J. 79 : 607—614.
 10. Huck, M.G., C.M. Peterson, G. Hoogenboom, and C.D. Busch 1986. Distribution of dry matter between shoots and roots of irrigated and nonirrigated determinate soybeans. Agron. J. 78 : 807—813.
 11. Huck, M.G., K. Ishihara, C.M. Peterson and T. Ushijima 1983. Soybean adaptation to water stress at selected stages of growth. Plant Physiol. 73 : 422—427.
 12. Jiang, C.Z., T. Hirasawa and K. Ishihara 1988. Physiological and ecological characteristics of high yielding varieties in rice plants. II. Leaf photosynthetic rates. Jpn. J. Crop Sci. 57 : 139—145.
 13. 加藤一郎・川原政夫・内藤文夫・谷口利策 1959. 大豆の培土に関する研究. 第 VI 報 培土の高さ及び時期に関する試験成績. 東海近畿農試研報・栽培第 2 部 1 : 1—15.
 14. Kaspar, T.C., H.M. Taylor and R.M. Shibles 1984. Taproot-elongation rates of soybean cultivars in the glasshouse and their relation to field rooting depth. Crop Sci. 24 : 916—920.
 15. Noodén, L.D. 1988. The phenomena of senescence and aging. In Noodén, L.D. and A.C. Leopold, eds., Senescence and Aging in Plants. Academic Press, San Diego. 1—50.
 16. Proffitt, A.P.B., P.B. Berliner and D.M. Oosterhuis 1985. A comparative study of root distribution and water extraction efficiency by wheat grown under high- and low frequency irrigation. Agron. J. 77 : 655—662.
 17. Raper, C.D. Jr. and S.A. Barber 1970. Rooting system of soybeans. I. Differences in root morphology among varieties. Agron. J. 62 : 581—584.
 18. Robertson, J.M., K.T. Hubick, E.C. Yeung and D.M. Reid 1990. Developmental responses to drought and abscisic acid in sunflower roots. I. Root growth, apical anatomy, and osmotic adjustment. J. Exp. Bot. 41 : 325—337.
 19. Saab, I.N., R.E. Sharp, J. Prichard and G.S. Voetberg 1990. Increased endogenous abscisic acid maintains primary root growth and inhibits shoot growth of maize seedling at low water potentials. Plant Physiol. 93 : 1329—1336.
 20. Sharp, R.E., W.K. Silk and T.C. Hisao 1988. Growth of the maize primary root at low water potentials. I. Spatial distribution of expansive growth. Plant Physiol. 87 : 50—57.
 21. Soejima, H., T. Sugiyama and K. Ishihara 1992. Changes in cytokinin activities and mass spectrometric analysis of cytokinins in root exudates of rice plant (*Oryza sativa* L.). Plant Physiol. 100 : 1724—1729.
 22. Spollen, W.G. and R.E. Sharp 1991. Spatial distribution of turgor and root growth at low water potentials. Plant Physiol. 96 : 438—443.
 23. Yoshida, S. and S. Hasegawa 1982. The rice root system: Its development and function, In Drought Resistance in Crops with Emphasis on Rice. IRRI, Los Banos. 97—114.