

## 土壤水分低下に対するダイズの生育反応の品種間差\*

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** : 作物の水分欠乏は、土壤深くまで水分が著しく減少する条件とともに、水環境が湿潤から乾燥へと急激に大きく変化するような条件でもおこる。土壤水分低下に対する反応の品種間差を検討し、品種間差をもたらす生理、生態、形態的性質を明らかにすることは、安定し高い収量をあげる品種を育成するために必要である。本研究は、ダイズの低土壤水分に対する反応の品種間差を明らかにするため、まず、降水量の多いわが国と比較的少ないアメリカ合衆国で栽培されている種々の品種を生育初期から土壤水分が減少する条件で生育させた。その結果、土壤水分低下に伴う乾物重や子実重の減少程度は、アメリカ合衆国の品種がわが国の品種に比較してとくに小さい傾向はなかった。しかし、この減少程度は晩生の品種に比べて早生の品種で小さく、生態型がほぼ等しい品種間でも、明らかに異なった。そこで生態型がほぼ等しく、減少程度が異なるエンレイとタチナガハ、HarosoyとBeeson, WayneとS-100の3組、6品種を選び、各組み合わせの品種が相互に隣接する条件で生育させた。その結果、タチナガハ、Beeson, S-100は、低土壤水分条件でも、日中の葉の木部の水ポテンシャルの低下が小さく、葉面積の減少、光合成速度の日中低下が抑制され乾物生産が高かった。これらの品種はいずれも夜明け前の葉の木部の水ポテンシャルが高いことから、根系が良く発達していることが推察され、品種間差をもたらした共通の要因として根系の発達の相違が考えられた。  
**キーワード** : 乾物生産, 根系, 子実重, 水分欠乏, 耐乾性, ダイズ品種, 土壤水分, 夜明け前の葉の木部の水ポテンシャル。

**Varietal Differences in Growth Response of Soybean to Soil Moisture Depletion** : Yushi HIDA, Tadashi HIRASAWA, Kuni ISHIHARA (*Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology, 3-5-8 Saiwai-cho, Fuchu, Tokyo 183, Japan*)

**Abstract** : Crop plants suffer water deficits when soil moisture is depleted significantly throughout the rhizosphere and even when only surface soil moisture decreases rapidly after they have been grown under humid conditions. For breeding drought-tolerant varieties, it is necessary to clarify the physiological, ecological and morphological characteristics of the varieties which can attain a high and reliable yield under both conditions.

We compared dry matter and grain production among 34 soybean cultivars under conditions where soil moisture was depleted gradually after the emergence of seedlings in the field. The decrease in dry matter and grain productions was less in the early maturing cultivars than in the late maturing cultivars. Significant differences in the decrease were also observed among the cultivars classified into the same ecotype or maturity group. Then, cultivars, classified into the same ecotype and growth habit but different in the decrease, were grown in a row alternatively under deficient soil moisture conditions. The reductions in leaf xylem water potential and photosynthetic rate during the daytime were less and leaf expansion was less suppressed in the cultivars, which attained less decreased dry matter and grain productions. These cultivars were expected to have developed expansive root systems from the results of higher pre-dawn leaf xylem water potentials. Expansive root system development might be a common characteristic in drought-tolerant cultivars.

**Key words** : Drought tolerance, Dry matter production, Grain yield, Pre-dawn leaf xylem water potential, Root system, Soil moisture, Soybean cultivar, Water deficits.

作物の水分欠乏は、降水量が蒸発散量に比べて少なく、土壤深くまで水分が著しく減少する半乾燥地などで生じるだけでなく、降水量が蒸発量を上回る湿潤なわが国においても湿潤から乾燥へと急激に水環境が大きく変化する条件で発生する<sup>1)</sup>。土壤水分の少ない条件および土壤水分が大きく変化する条件でも安定した高い収量をあげるためには高い耐乾性

を備えた作物品種の育成が不可欠である。そのためにはまず、それぞれの条件で耐乾性の高い作物の備えるべき生理、生態、形態的性質を明らかにすることが必要である。

ダイズは北、南アメリカ、アジアを中心として北緯 50 度から赤道を通して南緯 40 度まで広く栽培されている。栽培されている地域の年間降水量についてみても、わが国の約 1700 mm から中国の華北、東北地方あるいはアメリカ中央平原北部の約 600 mm ～約 800 mm とかなり異なっている。このように幅

\* 一部は、第 194, 195 回講演会(平成 4 年 10 月, 平成 5 年 4 月)において発表。本研究の一部は文部省科学研究費による。

広い環境で栽培されているダイズには生理生態的性質が様々に異なる多くの品種があり、耐乾性が著しく相違する品種のある可能性がある。これまでも土壤水分の減少に対する反応に品種間差があることが報告されているが<sup>6,14)</sup>、乾物生産や子実生産、そしてこれに関与する要因についての詳しい検討はほとんどなく、品種間差の実態は必ずしも明らかでない。ダイズについても多くの品種を用いることによって耐乾性の品種間差を明らかにできれば、これを用いて耐乾性の相違をもたらす生理、生態、形態的性質を追究し、耐乾性品種の備えるべき性質を明らかにすることができると考えられる。

本研究はまず、降水量の多いわが国だけでなく降水量の比較的少ないアメリカ合衆国で栽培されている種々の品種を用いて、生育初期から土壤水分が減少する条件で乾物生産や子実重の減少を比較した(実験 I)。さらにこの結果に基づいて、生育過程がほぼ等しく、低土壤水分に対する反応の異なる3組、計6品種を選定し、乾物重や子実重の減少程度が品種間で相違する要因を検討した(実験 II)。

## 材料と方法

### 1. 実験 I

第1表に示した伸育型、生態型の異なるダイズ(*Glycine max* (L.) Merr.) 34品種を供試した。実験は1990年に本学農学部附属農場(多摩川沖積土)の圃場で行った。ペーパーポット(直径3 cm, 長さ13.5 cm)で育苗した初生葉展開期の苗を6月15日に条間65 cm, 株間10 cmの密度で移植した。条は南北条とし、生態型の近い品種が隣接するように条ごとに異なる品種を配置した。肥料は基肥として堆肥3 t/10 a, 化成肥料(14-14-14), 過燐酸石灰, 塩化加理をN, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>Oの成分がそれぞれ3, 10, 10 kg/10 aとなるよう施した。

移植後17日間に5 mm ずつ計4回灌水した後、土壤水分の異なる湿潤区と乾燥区に分けた。両区ともに面積は0.52 aで、1品種当たりの条の長さは1.4 mであった。湿潤区は深さ30 cmの土壤の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。両区とも降雨時には0.1 mmの雨量に感知して開閉する移動屋根で覆った。土壤水分はpF 2.7以下は水銀マンノメータ式テンシオメーターで、pF 2.7以上は石膏ブロックの電気抵抗で測定した(実験 IIも同様)。

収穫期に各品種とも生育の中庸な5個体を採取し、90°Cで通風乾燥し、子実重と地上部乾物重を測定した。

### 2. 実験 II

供試品種は実験 Iの結果を参考に選んだエンレイとタチナガハ, HarosoyとBeeson, WayneとS-100の3組, 6品種であった。これらの品種を実験 Iと同じ圃場に1992年6月13日に条間65 cm, 株間8 cmの栽植密度で、比較する組み合わせ品種が相互に隣接する条となるよう、条ごとに異なる品種を播種した。各区の面積は0.52 aで条の長さは3 mとし、実験は3反復で行った。肥料条件は実験 Iと同様であった。

播種後20日間は2, 3日おきに2~5 mm 灌水し、その後実験 Iと同様、湿潤区と乾燥区に分けた。湿潤区の開花開始日は、エンレイ, タチナガハではいずれも7月27日, Harosoy, Beesonではいずれも7月20日, Wayne, S-100ではそれぞれ7月27日, 7月29日であった。また、湿潤区の収穫日は、エンレイ, タチナガハではそれぞれ10月8日, 10月14日, Harosoy, Beesonではいずれも10月6日, Wayne, S-100ではいずれも10月14日であった。

個体の生育量は各品種とも各条より生育の中庸な3~4個体を採取し、葉面積は面積計(林電工社製AAM7型)で、地上部重および子実重などは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頂小葉を用いてプレッシャーチェンバー(Soil moisture equipment社製, 3005型)で測定した。すなわち、湿ったポリエチレン袋を頂小葉にかぶせ、直ちに小葉柄を基部で切断し、小葉柄を外に出して湿ったろ紙を内壁にはったチェンバーに密閉し、加圧速度 $1 \times 10^{-3}$  MPa s<sup>-1</sup>で測定した。

葉身の蒸散速度と光合成速度は内のり3 cm×4 cm, 厚さ4 mmの透明アクリル製の同化箱を頂小葉身の両面にかぶせて解放系で測定した。測定に用いた空気は、CO<sub>2</sub>濃度約350 ppm, 露点約15°Cで、測定中は変動幅をそれぞれ±0.1 ppm, ±0.1°C以下に制御し、マスフローコントローラー(STEC社製, SEC-521型)で表面と裏面に各1.5 L min<sup>-1</sup> ずつ計3.0 L min<sup>-1</sup>送った。CO<sub>2</sub>濃度は赤外線ガス分析計(富士電機社製, ZAP型), 露点はミラー式露点計(EG & G社製, 660型), 葉温は直径0.1 mmの銅ーコンスタンタン熱電対を葉の裏表面につけて測定した。拡散伝導度は蒸散速度, 葉温, 同化箱内の空

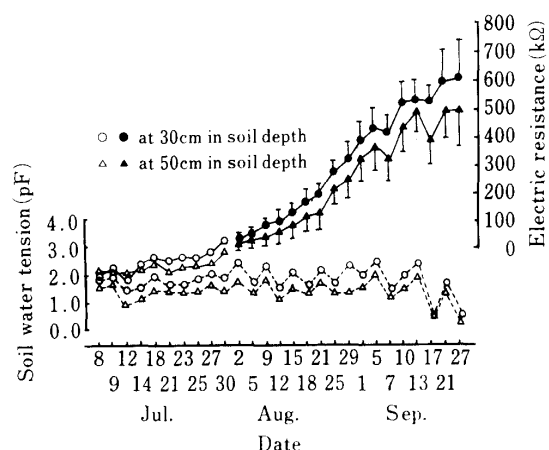


Fig. 1. Changes in soil moisture of the W and D-plots\* in 1991 (Exp. I). Dashed line represents the W-plot and solid line, the D-plot. Open circles and solid circles represent soil water tension measured with a tensiometer and electric resistance measured with a gypsum block, respectively. Vertical bars represent standard deviation of four replications. Standard deviation of soil water tension (four replications) was less than pF 0.2 in the W-plot.

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

気湿度から Gaastra の式<sup>9)</sup> を用いて計算した。

## 結 果

### 1. 実験 I

#### (1) 土壤水分の推移

土壤水分は圃場の場所によって大きな相違はなく、湿潤区の土壤水分は深さ 30 cm, 50 cm とともに pF 1.5~2.3 の間にあった。一方、乾燥区の土壤水分は 7 月 2 日以後日数の経過とともに減少し、深さ 30 cm では 8 月上旬に初期萎凋点に相当する 100 kΩ をこえ、9 月上旬に 500 kΩ となり、深さ 50 cm では、8 月中旬に 100 kΩ をこえ、9 月中旬には 500 kΩ となった (第 1 図)。

#### (2) 湿潤区の生育過程と生育量の品種間比較

まず、供試品種の開花日は、Harosoy, Manchu の 7 月 13 日から大分秋大豆 1 号の 8 月 20 日まで、収穫日は、Harosoy, Manchu, Beeson, Wayne の 9 月 22 日から大分秋大豆 1 号の 12 月 6 日までと品種によって大きく異なった (第 1 表)。これらの相違は品種の生態型とよく一致し、日本の IIb, IIc の品種の開花開始日、収穫日は、IIIb, IIIc, IVc の品種の

Table 1. Cultivars examined in Exp. I and their characters\*

Cultivars	Type	Eco-type	Flowering	Harvest
1 Harosoy	IN	(II)	Jul. 13	Sep. 22
2 Manchu	IN	(III)	Jul. 13	Sep. 22
3 Beeson	IN	(II)	Jul. 18	Sep. 22
4 Wayne	IN	(III)	Jul. 18	Sep. 22
5 Dewamusume	IN	II b	Jul. 24	Sep. 24
6 Fusanari	DE	II b	Jul. 24	Sep. 27
7 Peking	IN	(IV)	Jul. 24	Sep. 27
8 Williams	IN	(III)	Jul. 18	Sep. 28
9 Tachiyutaka	DE	II c	Jul. 24	Sep. 28
10 Enrei	DE	II c	Jul. 18	Oct. 1
11 Hill	DE	(V)	Jul. 30	Oct. 5
12 Tachinagaha	DE	II c	Jul. 18	Oct. 9
13 Clark	IN	(IV)	Jul. 18	Oct. 9
14 Suzuyutaka	DE	II c	Jul. 24	Oct. 9
15 Touzan NO. 69	IN	II c	Jul. 24	Oct. 9
16 S-100	IN	(V)	Jul. 24	Oct. 9
17 Akazaya	DE	III c	Jul. 30	Oct. 29
18 Bukoumame	DE	III b	Jul. 30	Oct. 29
19 Tamahomare	DE	III c	Jul. 24	Nov. 1
20 York	DE	(V)	Jul. 24	Nov. 1
21 Nattoushoryu	DE	III b	Jul. 30	Nov. 1
22 Nakasennari	DE	III c	Jul. 30	Nov. 1
23 Dare	DE	(V)	Jul. 30	Nov. 1
24 Miyagishirome	DE	III c	Jul. 30	Nov. 5
25 Lee	DE	(VI)	Aug. 3	Nov. 8
26 Pickett	DE	(VI)	Aug. 9	Nov. 8
27 Ransom	DE	(VII)	Aug. 9	Nov. 8
28 Oguradaizu	DE	III c	Jul. 30	Nov. 22
29 Fukuyutaka	DE	IV c	Aug. 3	Nov. 22
30 Hyuga	DE	IV c	Aug. 9	Nov. 22
31 Miedaizu	DE	IV c	Aug. 9	Nov. 22
32 Koitozairai	DE	IV b	Aug. 9	Nov. 22
33 Bragg	DE	(VII)	Aug. 9	Nov. 22
34 Ooita-akidaizu NO. 1	DE	IV c	Aug. 20	Dec. 6

\* Type: IN, DE represents indeterminate and determinate type, respectively. Ecotype: According to the classification of Fukui and Arai<sup>8)</sup>. Figures in parentheses represent maturity group in the classification of the U.S.A. Flowering: Data when flowering started. Harvest: Date of harvest.

開花開始日、収穫日に比べて早く、またアメリカの II, III の品種の開花日や収穫日は VI や VII に比べて早かった。なお供試したすべての無限伸育型の品種の開花日は 7 月 24 日以前、収穫日は 10 月 9 日以前であった。

つぎに、地上部乾物重についてみると、収穫日の遅い品種ほど大きい傾向があり、収穫日が 9 月下旬の品種はすべて 50 g 以下、11 月中旬以後の品種は

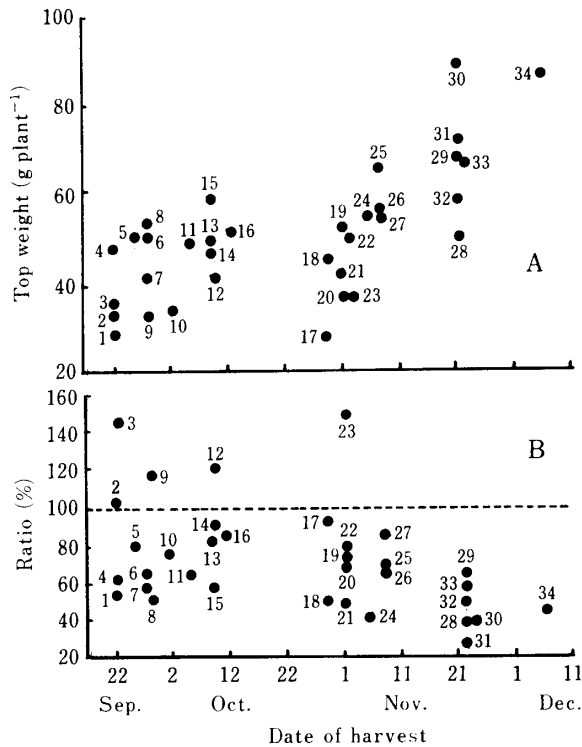


Fig. 2. Relations between date of harvest and top weight at harvest time in W-plot (A), and between date of harvest and top weight ratio of the D-plot to the W-plot (B) (Exp. I). Numbers in the figure correspond to the cultivar number in Table 1.

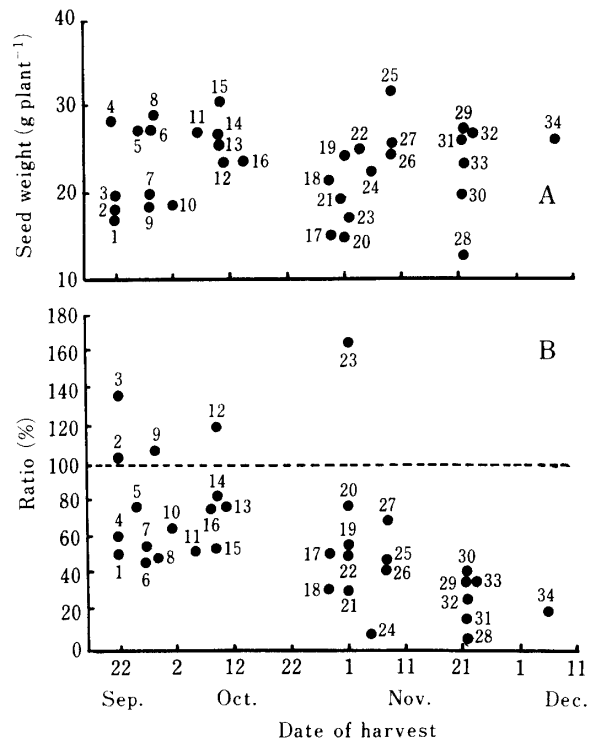


Fig. 3. Relations between date of harvest and seed weight at harvest time in W-plot (A), and between date of harvest and seed weight ratio of the D-plot to the W-plot (B) (Exp. I). Numbers in the figure correspond to the cultivar number in Table 1.

多くが 60 g 以上であった(第 2 図 A)。しかし子実重は収穫日による相違はほとんどなく、20 から 30 g の間にあった (第 3 図 A)。

(3) 湿潤区と乾燥区の品種間比較

収穫時の乾燥区の地上部乾物重と子実重をそれぞれ湿潤区に対する割合で表し、品種間で比較した(第 2 図 B, 第 3 図 B)。この割合は乾物重、子実重のいずれも生育期間の短い品種で大きく、生育期間の長い品種になるにしたがって小さくなる傾向があり、収穫日が 11 月中旬以後の品種では、乾物重は 30~60%, 子実重は 10~50%であった。しかし、収穫日のほぼ等しい品種間でもこの割合に相違があった。たとえば収穫日が 10 月上旬以前では無限伸育型品種の Beeson は Harosoy に比べて大きく、また有限伸育型品種のタチナガハはエンレイに比べて大きく、収穫日が遅い S-100 は早い Wayne に比べて大きかった。また、収穫日が 10 月下旬以後では, Dare, Ransom は納豆小粒やミヤギシロメに比べて大きく、フクユタカは三重大豆に比べて大きかった。なお、わが国の品種に比較してアメリカ合衆国の品種でこの割合が大きい傾向はなかった。

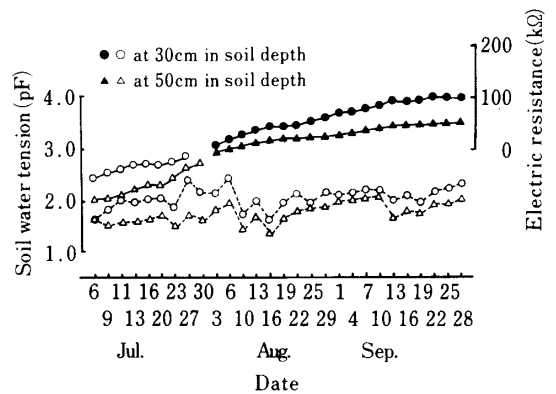


Fig. 4. Changes in soil moisture of the W and D-plots\* in 1992 (Exp. II). Dashed line represents the W-plot and solid line, the D-plot. Open and solid symbols represent soil water tension measured with a tensiometer and electric resistance measured with a gypsum block, respectively. The standard deviation of electric resistance (ten replications) was less than 10kΩ in the D-plot.

\*See Fig. 1.

2. 実験 II

実験 I の結果を参考に、東京で栽培することを考

Table 2. Leaf area and top weight at grain filling stage, and seed weight and yield components at harvest time in Enrei and Tachinagaha.

Plot	Cultivar	Grain filling stage		Harvest time			
		Leaf area (cm <sup>2</sup> )	Top weight (g)	Pod number per plant	Seed number per plant	100 seed weight (g)	Seed weight per plant (g)
W	Enrei	2589±139 <sup>ns*</sup>	28.6±3.0 <sup>ns</sup>	38.5±7.6 <sup>ns</sup>	76.5±16.4 <sup>ns</sup>	27.2±1.9 <sup>#</sup>	21.0±1.3 <sup>ns</sup>
	Tachinagaha	2406±139	28.4±1.5	34.6±3.9	78.1±11.8	29.8±2.5	23.7±0.8
D	Enrei	2330±108 <sup>ns</sup>	25.2±1.0 <sup>#</sup>	33.8±6.1 <sup>ns</sup>	66.0±13.1 <sup>ns</sup>	24.9±2.5 <sup>#</sup>	16.8±1.0 <sup>#</sup>
	Tachinagaha	2337±82	28.1±1.1	30.3±5.0	64.5±12.6	30.0±1.4	20.4±1.0

\* (Mean) ± (Standard deviation). ns, # indicates nonsignificant and significant difference at 5% level, respectively between cultivars in each plot. Eight plants were used for measurements.

Table 3. Leaf diffusion conductance\* and photosynthetic rate\*\* of the fourth leaf from the uppermost in the early (8:30 a.m.) and late (10:30 a.m.) morning in Enrei and Tachinagaha at grain filling stage.

Plot	Cultivar	Diffusion conductance (cm s <sup>-1</sup> )		Photosynthetic rate (mgCO <sub>2</sub> dm <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> )	
		Early Morning	Late morning	Early Morning	Late morning
W	Enrei	—	0.31±0.04 <sup>ns***</sup>	—	16.4±2.1 <sup>ns</sup>
	Tachinagaha	—	0.31±0.09	—	17.9±2.0
D	Enrei	0.25±0.11 <sup>ns</sup>	0.09±0.04 <sup>#</sup>	13.8±1.9 <sup>ns</sup>	3.5±3.8 <sup>#</sup>
	Tachinagaha	0.24±0.09	0.17±0.04	10.7±3.3	8.1±1.7

\* Measurements at the light intensity higher than  $0.5 \times 10^3 \mu\text{E m}^{-2} \text{S}^{-1}$

\*\* Measurements at the light intensity higher than  $1.2 \times 10^3 \mu\text{E m}^{-2} \text{S}^{-1}$ .

\*\*\* (Mean) ± (Standard deviation). ns, # indicates nonsignificant and significant difference at 5% level, respectively between cultivars in each plot.

Five leaves were used for measurements.

慮し、収穫期がほぼ同じでも湿潤区に対する乾燥区の乾物重、子実重の割合が異なり、伸育型が同じ品種の組み合わせ、Harosoy と Beeson, エンレイとタチナガハ, Wayne と S-100 を選び、この割合の相違する要因を検討した。

#### (1) 土壤水分の推移

第4図は湿潤区と乾燥区それぞれの土壤水分の推移で、品種間で大きな相違はなかったため各区とも平均値で示した。湿潤区の深さ30 cm, 50 cmでは、常に pF 1.7~2.3 の間にあり、乾燥区の30 cmでは7月下旬に pF 2.8, 9月下旬に pF 3.9 の初期萎凋点にあたる 100 kΩ に、深さ50 cmでは8月上旬に pF 3.0, 9月下旬に約 60 kΩ になった。

#### (2) 乾物重と子実重

##### 1) エンレイとタチナガハの比較

登熟前期には湿潤区の葉面積、乾物重には有意な品種間差はなかった(第2表)。乾燥区では湿潤区に比べて葉面積は両品種とも小さくなったが品種間差はなく、一方、タチナガハの乾物重は小さくならず、エンレイに比べて有意に大きかった。乾燥区で乾物重がエンレイに比べてタチナガハで大きかったの

は、主に開花期以後の純同化率がエンレイの  $3.9 \text{ gm}^{-2} \text{ d}^{-1}$  に対してタチナガハは  $4.8 \text{ gm}^{-2} \text{ d}^{-1}$  で大きく、その結果、個体生長速度がエンレイの  $0.62 \text{ g plant}^{-1} \text{ d}^{-1}$  に対してタチナガハは  $0.73 \text{ g plant}^{-1} \text{ d}^{-1}$  と大きかったことが関係していた。湿潤区は百粒重がタチナガハで大きい傾向があったが、子実重は有意差がなかった(第2表)。乾燥区の子実重は両品種とも湿潤区より小さく、品種間ではエンレイの百粒重が大きく減少したことによって、タチナガハの子実重がエンレイに比べて有意に大きかった。

登熟期の拡散伝導度、光合成速度は湿潤区では有意な品種間差はなく、乾燥区では朝には品種間差はなかったが、10時30分には拡散伝導度、光合成速度ともタチナガハで有意に高かった(第3表)。

##### 2) Harosoy と Beeson の比較

登熟前期には、湿潤区の葉面積、乾物重に有意な品種間差はなく、乾燥区ではいずれも Beeson が有意に大きかった(第4表)。乾燥区で Beeson の乾物重が大きかったことには、主に開花期から登熟前期までの間の平均葉面積が Harosoy の  $0.089 \text{ m}^2$  に対して Beeson は  $0.103 \text{ m}^2$  で大きく、純同化率がほぼ

Table 4. Leaf area and top weight at grain filling stage, and seed weight and yield components at harvest time in Harosoy and Beeson.

Plot	Cultivar	Grain filling stage		Harvest time			
		Leaf area (cm <sup>2</sup> )	Top weight (g)	Pod number per plant	Seed number per plant	100 seed weight (g)	Seed weight per plant (g)
W	Harosoy	1861±64 <sup>ns*</sup>	21.3±1.0 <sup>ns</sup>	54.5±3.3 <sup>ns</sup>	132.1±7.3 <sup>#</sup>	17.7±0.6 <sup>#</sup>	23.4±0.5 <sup>#</sup>
	Beeson	1979±74	21.6±0.6	51.5±6.1	104.2±11.1	19.9±1.4	20.8±0.6
D	Harosoy	1259±61 <sup>#</sup>	17.1±0.6 <sup>#</sup>	43.2±4.5 <sup>ns</sup>	90.8±7.4 <sup>ns</sup>	14.9±0.4 <sup>#</sup>	13.7±0.5 <sup>#</sup>
	Beeson	1539±75	20.2±1.0	47.6±5.3	96.9±12.4	19.3±0.8	19.2±0.7

\* (Mean)±(Standard deviation). ns, # indicates nonsignificant and significant difference at 5% level, respectively between cultivars in each plot. Eight plants were used for measurements.

Table 5. Leaf area and top weight at grain filling stage, and seed weight and yield components at harvest time in Wayne and S-100.

Plot	Cultivar	Grain filling stage		Harvest time			
		Leaf area (cm <sup>2</sup> )	Top weight (g)	Pod number per plant	Seed number per plant	100 seed weight (g)	Seed weight per plant (g)
W	Wayne	2443±174 <sup>ns*</sup>	31.3±2.1 <sup>ns</sup>	42.3±6.7 <sup>ns</sup>	108.3±20.0 <sup>#</sup>	19.3±1.8 <sup>ns</sup>	21.0±1.0 <sup>#</sup>
	S-100	2386±147	29.3±1.9	40.0±9.4	86.5±22.7	18.3±1.7	16.3±1.2
D	Wayne	1740±72 <sup>#</sup>	26.8±0.6 <sup>#</sup>	35.6±4.0 <sup>#</sup>	87.0±8.4 <sup>ns</sup>	15.9±1.2 <sup>#</sup>	14.2±0.5 <sup>#</sup>
	S-100	2199±138	29.9±1.5	38.8±3.8	89.7±9.7	16.9±0.5	15.5±0.5

\* (Mean)±(Standard deviation). ns, # indicates nonsignificant and significant difference at 5% level, respectively between cultivars in each plot. Eight plants were used for measurements.

等しいことによって個体生長速度が Harosoy の  $0.55 \text{ g plant}^{-1} \text{ d}^{-1}$  に対して Beeson は  $0.64 \text{ g plant}^{-1} \text{ d}^{-1}$  と大きかったことが関係していた。湿润区の子実重は精粒数が多いことによって Harosoy で大きく、乾燥区の子実重は精粒数に違いがなかったが、Harosoy の百粒重が著しく小さくなることによって Beeson で有意に大きくなった (第4表)。

### 3) Wayne と S-100 の比較

登熟前期には湿润区の葉面積、乾物重には有意な品種間差がなく、乾燥区ではいずれも S-100 が有意に大きかった (第5表)。乾燥区では S-100 の乾物重が大きかったことには、主に開花期から登熟前期の平均葉面積が Wayne の  $0.118 \text{ m}^2$  に対して S-100 は  $0.135 \text{ m}^2$  で大きく、純同化率がほぼ等しいことによって個体生長速度が Wayne の  $0.69 \text{ g plant}^{-1} \text{ d}^{-1}$  に対して S-100 は  $0.79 \text{ g plant}^{-1} \text{ d}^{-1}$  と大きかったことが関係していた。湿润区の子実重は、精粒数が多いことによって Wayne で大きく、乾燥区の子実重は百粒重が大きいためによって S-100 で有意に大きくなった (第5表)。

### (3) 葉の水ポテンシャル

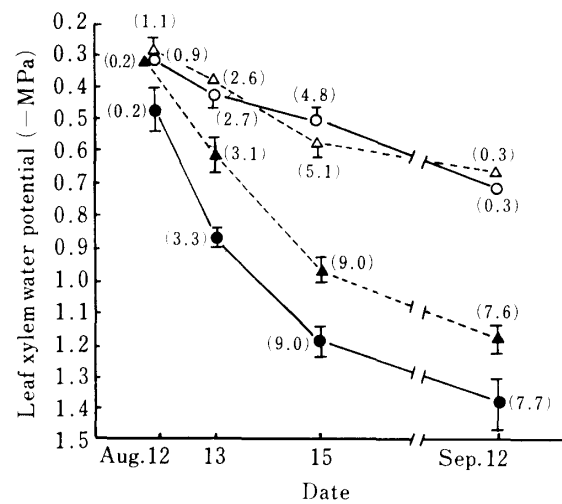


Fig. 5. Changes in leaf xylem water potential of the fourth leaf from the uppermost in Enrei (circles) and Tachinagaha (triangles) (Exp. II). Open and solid symbols represent the W- and D-plot, respectively. Three to five leaves were used for measurements. Vertical bars represent standard deviation. Leaves under direct sun light were used for measurements, and numbers in parentheses represent mean light intensity ( $\times 10 \text{ KLx}$ ) during the measurement.

Table 6. Comparison of daytime leaf xylem water potential of the fourth leaf from the uppermost in D-plot between Harosoy and Beeson, and between Wayne and S-100.

Cultivar	Date	Leaf xylem water potential (MPa)
Harosoy	Aug. 8	-1.12±0.06** (8.6)**
Beeson	Aug. 8	-1.01±0.06 (8.5)
Wayne	Aug. 20	-0.86±0.03# (4.5)
S-100	Aug. 20	-0.69±0.09 (4.9)

\* (Mean) ± (Standard deviation). # indicates significant difference at 5% level between cultivars. Three to five leaves were used for measurements.  
 \*\* Leaves under direct sun light were used for measurements. Figures in parentheses represent mean light intensity (×10 Klx) during the measurements.

乾燥区において乾物重、子実重に有意な品種間差があったので、品種の土壤水分低下に対する反応の指標として葉の木部の水ポテンシャルを比較した。

#### 1) 日中の水ポテンシャル

まず、エンレイとタチナガハについてみると、湿潤区の葉の木部の水ポテンシャルは生育に伴って低下したが、両品種で相違はなかった。一方、乾燥区では葉の木部の水ポテンシャルの生育に伴う低下程度は湿潤区に比べて著しく大きく、品種間にも差があり、タチナガハで常に0.2から0.3 MPa 高く推移した(第5図)。また登熟期の葉の木部の水ポテンシャルは、子実重の大きい Beeson と S-100 はそれぞれ Harosoy と Wayne に比較して高かった(第6表)。

#### 2) 夜明け前の水ポテンシャル

登熟前期における乾燥区の夜明け前の葉の木部の水ポテンシャルは、タチナガハは-0.16 MPa でエンレイの-0.28 MPa に比べて有意に高かった。また、Beeson, S-100 はそれぞれ Harosoy, Wayne に比較して有意に高かった(第7表)。

### 考 察

ダイズの耐乾性が異なる要因を追究するために、まずわが国とアメリカ合衆国の34品種を栽培し、その生育を比較した。その結果、土壤水分の減少に伴う乾物重、子実重の減少程度は、より土壤水分の低下した条件下で長く生育することになる開花日、収穫日の遅い品種で大きい傾向があった(第2図B, 3図B)。このことは、コムギで報告されているように<sup>7)</sup>、生育期間の短いことは避干(drought escape)

Table 7. Comparison of pre-dawn leaf xylem water potential of the third leaf from the uppermost in D-plot between Enrei and Tachinagaha, between Harosoy and Beeson, and between Wayne and S-100.

Cultivar	Date	Leaf xylem water potential (MPa)
Enrei	Aug. 21	-0.28±0.01**
Tachinagaha	Aug. 21	-0.16±0.01
Harosoy	Aug. 8	-0.20±0.01#
Beeson	Aug. 8	-0.18±0.01
Wayne	Aug. 21	-0.20±0.01#
S-1000	Aug. 21	-0.13±0.01

\* (Mean) ± (Standard deviation). # indicates significant difference at 5% level between cultivars. Three to five leaves were used for measurements.

を通じて<sup>15)</sup>耐乾性に重要な影響を及ぼす性質であることを示している。なお、生育期間が等しければ、乾物重、子実重の減少程度に無限伸育型品種と有限伸育型品種との間に大きな相違はなかった(第2, 3図)。ただし、土壤水分の減少に伴う生育反応は両品種で異なった。たとえば、無限伸育型では上位葉の面積が、有限伸育型の品種では分枝の発生と生長が大きく抑制された<sup>10)</sup>。したがって、耐乾性の生理生態的性質の詳しい検討は異なる伸育型の比較では困難であった。

以上のことを参考にして、生態型がほぼ等しく同じ伸育型で、土壤水分の減少に伴う乾物生産や子実重の減少程度の異なる組み合わせ選び、土壤水分低下に対する生育反応の品種間差に関わる要因を検討した(1992年, 実験II)。

その結果、土壤水分が大きく減少した登熟期間中の乾物生産は、タチナガハはエンレイに比べて、Beeson は Harosoy に比べて、S-100 は Wayne に比べて高く、百粒重が大きかった(第2, 4, 5表)。この結果は1990年の実験Iと同じで、土壤水分の減少に対する各組み合わせの品種間の相違は、とくに子実肥大期に表れることも含めて、年次を越えて成り立つ遺伝的な性質の違いと考えられる。

ダイズでは、葉の水ポテンシャルが-0.2 MPa 以下に低下すると葉の生長は急激に減少し<sup>2)</sup>、また葉の水ポテンシャルが-0.6 MPa<sup>12)</sup>、-0.8 MPa<sup>5)</sup>あるいは-1.1 MPa<sup>3)</sup>以下に低下すると葉の光合成速度は減少することが報告されている。各品種の日中の葉の木部の水ポテンシャルの低下を測定した結果、登熟期間中の水ポテンシャルは測定日によって

異なったが、すべての品種で $-0.7$  MPa以下であった。登熟期間中の乾物生産が高く、子実重の大きかったタチナガハ、Beeson, S-100の日中の葉の木部の水ポテンシャルはそれぞれエンレイ、Harosoy, Wayneより高く(第5図, 第6表), 葉面積の減少程度は水ポテンシャルの低下程度の小さい品種ほど小さかった。またエンレイとタチナガハについては、湿潤区に比べて乾燥区のダイズの拡散伝導度, 光合成速度は小さく, 水ポテンシャルの高いタチナガハの日中の拡散伝導度, 光合成速度の低下程度はエンレイに比べて小さかった(第3表)。

最後に日中の葉の水ポテンシャルが品種間で相違する要因について考えてみたい。蒸散がほとんどなくなる夜明け前には植物と土壤の水ポテンシャルが平衡となり, 葉の水ポテンシャルは根の分布している土壤の水ポテンシャルとほぼ等しくなる。土壤水分は土壤の深いところほど多いので(第4図), 夜明け前の水ポテンシャルを比較することによって根の分布を比較できるとされている<sup>13)</sup>。夜明け前の葉の木部の水ポテンシャルはタチナガハ, Beeson, S-100のいずれの品種もそれぞれ比較する品種に比べて高く, これらの品種は根系が深く, 分布密度が高いことが推察された。この推察を基礎にすると, 多くの報告<sup>1,4,6)</sup>で指摘されているように根系の深さや分布密度が日中の葉の水ポテンシャルの相違をもたらしたと考えられる。以上のことから, 品種のいずれの組み合わせにおいても, 土壤水分の減少に伴う乾物生産や子実生産の減少程度の相違には, 根系の発達程度の相違が共通の要因として関与していると考えられた。

そこで次報では土壤水分の低下に伴う根系の発達相違を量的に検討しつつ, 根系の発達程度の相違と地上部の生育や生理的な反応の関係を明らかにしたい。

**謝辞:** 本実験で供試したダイズ品種の種子は長野県中信農業試験場および農林水産省農業生物資源研究所より配布を受け, 長野県中信農業試験場からは供試品種の生態型についてもご教示いただいた。記して感謝の意を表す。

## 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 crops. *J. Agric. Sci.* 101: 699-710.
2. Boyer, J.S. 1970. Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybean, and sunflower at various leaf water potentials. *Plant Physiol.* 46: 233-235.
3. Boyer, J.S. 1970. Differing sensitivity of photosynthesis to low water potentials in corn and soybean. *Plant Physiol.* 46: 236-239.
4. 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.
5. Bunce, J.A. 1988. Differential responses of photosynthesis to water stress in three soybean cultivars. *Plant Physiol. Biochem.* 26: 415-420.
6. Cortes, P.M. and T.R. Sinclair 1986. Water relations of field-grown soybean under drought. *Crop Sci.* 26: 993-998.
7. Fischer, R.A. and R. Maurer 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Aust. J. Agric. Res.* 29: 897-912.
8. 福井重朗・荒井正雄 1951. 日本におけるダイズ品種の生態学的研究. 1 開花日数と結実日数による品種の分類とその地理的分布について. *育雑* 1: 27-39.
9. Gaastra, P. 1959. Photosynthesis of crop plants as influenced by light, carbon dioxide, temperature and stomatal diffusive resistance. *Mededel. landbouwhogesh. Wageningen* 59: 1-68.
10. 飛田有支・平沢 正・石原 邦 1992. 土壤水分低下に対する反応のダイズの品種間差: 生態型, 伸育型の相違に着目して. *日作紀* 61(別2): 81-82.
11. 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 during grain filling. *Jpn. J. Crop Sci.* 63: 721-730.
12. 石原 邦・高井ともえ・平沢 正 1984. ダイズの光合成速度に及ぼす飽差と葉の水ポテンシャルについて. *日作紀* 53(別1): 76-77.
13. Ritchie, G.A. and T.M. Hinckley 1975. The pressure chamber as an instrument for ecological research. *Adv. Ecol. Res.* 9: 165-254.
14. Sloane, R. J., R.P. Patterson and T.E. Carter, Jr. 1990. Field drought tolerance of soybean plant introduction. *Crop Sci.* 30: 118-123.
15. Turner, N.C. 1986. Crop water deficits: a decade of progress. In Brady, N.C. eds., *Advances in Agronomy*. Academic Press, Orlando. 1-51.