

# 畑栽培イネの栄養生長期水ストレスに対する生育と乾物生産の品種間差

—日本型およびインド型水、陸稲と日印交雑水稻品種の比較—

和田義春\*・鈴木まや・尹祥翼・三浦邦夫・渡辺和之

(宇都宮大学)

**要旨:** 陸稲は、水ストレスに弱い作物であり、耐乾性の強化が陸稲収量の増加と安定性に不可欠である。本研究では、耐乾性に関わる形態的、生理的性質を検討するために、陸稲品種であるトヨハタモチと IRAT 109 および水稻の多収品種である IR 36, 水原 287, 水原 290, さらに対照としてコシヒカリの 6 品種を供試し、同一のポットに栽培して同一の土壤水分条件下で地上部の諸形質の違いと早ばつ抵抗性との関係を光合成速度と乾物生産から比較した。水ストレス下での葉面積と乾物重増加の抑制程度、葉身枯死の比較からは、トヨハタモチ、コシヒカリ、IRAT 109 に比し、IR 36, 水原 287, 水原 290 の早ばつ抵抗性が大と判断された。また、水原 287 と水原 290 は水ストレス下での光合成速度の低下が小さかった。IR 36, 水原 287, 水原 290 は短稈で分けつの多い品種であった。また水ストレス下ではいずれの品種も葉身への乾物分配が減少し根への乾物分配が増加したが、IR 36 と水原 287 は水ストレス下で葉鞘へ乾物を多く蓄積する性質があった。再灌水後 7 日間の純生産速度で比較した生長の回復は、供試した品種中水原 287 が最も大きかった。この品種は、再灌水後も根への乾物分配が高く保たれる傾向にあった。

**キーワード:** イネ, 栄養生長期, 乾物生産, 光合成, 生育, 耐乾性, 日印交雑水稻品種, 陸稲。

陸稲は、水ストレスに弱い作物であり、耐乾性の強化が陸稲収量の増加と安定に不可欠である。陸稲の耐乾性には多様な形質が関与していると考えられる (Fukai and Cooper 1995)。耐乾性には早生化や作期の移動などにより早ばつの厳しい時期を避ける性質が重要とされ、現在我が国では極早生のトヨハタモチが陸稲作付け面積第 1 位であるが、なお早ばつによる被害が少なくない。したがって陸稲の耐乾性強化には早ばつに遭遇したときの早ばつ抵抗性の強化も重要である。

イネの根は他の畑作物に比べ浅いとされるが (Angus ら 1983)、深層の根密度には品種間差があり (Lilley and Fukai 1994)、深根性は陸稲の耐乾性育種プログラムに取り入れられている (平澤ら 1998)。我が国の場合、栄養生長期に梅雨があり、多雨低日照の下で根系が形成される。このような条件下では、根系は浅く、小さくなることも知られている (平沢 1997)。したがって、早ばつ抵抗性の強化には深根性以外の形質の検討も必要である。早ばつ抵抗性は、水分環境が悪化しても植物体内の水分条件を悪化させない性質である早ばつ回避性と、植物体内の水分条件が悪化しても生理機能を高く保つ性質である早ばつ耐性に分けて考えられるが (Levitt 1980)、このような視点からイネ品種を比較し、それぞれに関わる性質の検討が精力的に進められている (Fukai and Cooper 1995, 近藤 2000, 藤井・堀江 2001)。

前報 (尹ら 1997) では、水稻の多収品種である日印交雑品種水原 287 と水原 290 が畑栽培条件下でも多収を示すことを報告した。また、これらの品種は 1 週間程度の無降雨下での光合成速度の低下が小さい傾向にあった (尹ら 1995)。しかし、これらの結果では、比較した品種の熟期

が異なっており、水ストレスを受けたステージの違いの影響を含む可能性があった。イネが水ストレスに最も弱い時期は減数分裂期と出穂期であるが (Matsushima 1962)、栄養生長期の早ばつも葉面積や茎数の増加を強く抑制し、生育の遅延や出穂の遅れとばらつきを大きくし陸稲栽培上問題となる。そこで本研究では、耐乾性に関わる性質を検討するために、陸稲品種であるトヨハタモチと IRAT 109 および水稻の多収品種である IR 36, 水原 287, 水原 290, さらに対照としてコシヒカリの 6 品種を供試し、同一のポットに栽培して栄養生長期に水ストレスに遭遇させ、同一の土壤水分条件下で生長を比較し、品種の諸形質の違いと早ばつ抵抗性との関係を検討した。

## 材料と方法

供試品種は、日本の品種であるトヨハタモチとコシヒカリ、改良インディカ品種の IR 36 と IRAT 109, および日印交雑品種である水原 287 と水原 290 の 6 品種であった。黒色火山灰畑土 (乾土 2.8 Kg) と化成肥料 (10-18-16) 10 g (N 1.0 g, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 1.8 g, K<sub>2</sub>O 1.6 g) を混合充填した 1/5000 a ポットに、1995 年 5 月 28 日に供試した 6 品種の催芽粉を各品種 3 粒ずつ 1 点播きして畑状態で生育させた。3 葉展開期の播種後 16 日目に各品種 1 株 2 本に間引きし、1 ポットあたり 6 株 (6 品種) として pF が 2.2 以上とならないよう適宜灌水を行い生育させた。播種後 36 日目に灌水停止処理を行った区 (処理区) とこの処理を行わない区 (対照区) を設け、処理区は 6 日間灌水を停止し、土壤水分は pF 3.9 まで低下した。なお、土壤水分は 17:30 から 18:00 にポット重を測定して乾土重に対する含水比を求め、あらかじめ求めておいた含水比-pF 曲

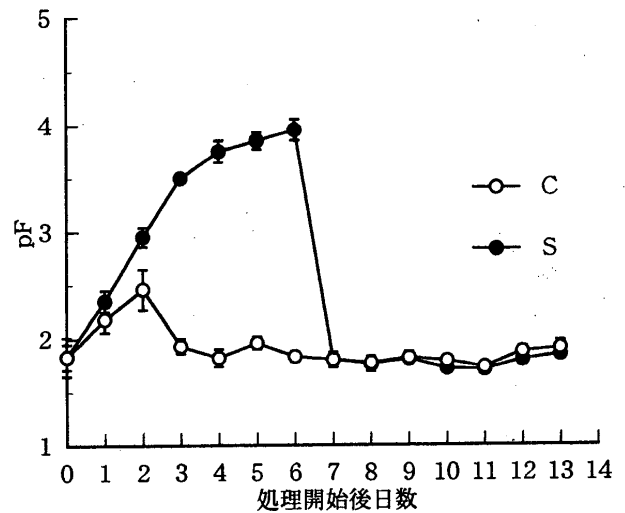
線から pF に換算した。灌水停止後 7 日目の 9:00 に十分灌水し、その後実験が終了するまでの 7 日間は対照区と同様毎日 18:00 に十分灌水した。生育調査は灌水処理開始時と灌水停止後 7 日目の再灌水直前、および再灌水後 7 日目の 3 回各処理 6 反復 (6 ポット) について行った。各調査日の 9:00 に各ポットの各品種について草丈、葉数、茎数を計測した後掘り取り、付着した土壌をできる限り丁寧に除去しながら根を洗ったのち葉身、葉鞘、根および枯死葉身に分け、葉身は水につけ完全に開かせてから緑葉面積を葉面積計 (AAM-8, 林電工) で測定後 80 °C で 7 日間通風乾燥し各部分の乾物重を測定した。これらの数値をもとに生長解析を行った。断水期間中には巻葉と葉身枯死がみられたので、期間中の平均葉面積を算出することは困難と考え、純生産量を算出し、さらにそのうちの葉身枯死部分を分けて示した。再灌水後は、葉面積の増加と乾物重の増加が平行していたので常法 (今井 1981) により純生産速度、平均葉面積および純同化率 (NAR) を算出した。灌水停止区の光合成速度は、灌水停止後毎日 9:00 から 10:30 の間に処理開始時の最上位完全展開葉身の中央部を携帯型光合成蒸散測定装置 (SPB-H 2, ADC) で測定した。なお測定した 4 日間とも測定時の光強度は 1000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  以上であった。葉身の水ポテンシャルは、灌水停止後毎日 4:00 から 5:00 の間に、光合成速度の測定に供試したのと同じの葉位の葉身中央部をシングルパンチ (直径 6 mm, プラス社) で切り抜き、サーモカップルサイクロメーター (HR-33, WESCOR) のチェンバー (C 52-SF) に入れて測定した。予備実験により平衡時間は 3 時

間とし、冷却時間は 30~40 秒であった。なお、サイクロメーターを設置した室内の気温は 26 °C に保った。水ポテンシャルの測定は、毎日 1 品種 1 点であった。

結 果

1. 土壌水分の推移

18:00 に測定した土壌水分張力 (pF) を第 1 図に示した。毎日灌水を行った対照区では 1 日目に pF 2.2, 2 日目に pF 2.4 となったが、それ以外は pF 2.0 以下で推移した。処理区では pF は灌水停止後 3 日目まで急速に上昇し、処理後 2 日目に pF 3.0, 3 日目には pF 3.6 となり、



第 1 図 対照区 (C) と処理区 (S) の土壌水分張力 (pF) の推移。

18:00 に測定。6 反復の平均値と標準誤差 (I) を示す。

第 1 表 7 日間の灌水停止処理による対照区 (C) と処理区 (S) の草丈、葉数、茎数の変化。

日数	処理区	トヨハタモチ	コシヒカリ	IRAT109	IR36	水原 287	水原 290
草丈 (cm)	0	78±1	72±1	70±2	59±1	66±1	67±1
	7 C	97±2	95±1	83±4	67±2	81±1	76±3
	S	87±2	81±3	75±3	64±1	76±1	72±1
	S/C	0.90	0.85	0.90	0.96	0.94	0.95
葉数	0	7.6±0.1	7.7±0.1	6.9±0.1	8.5±0.1	7.7±0.1	8.7±0.1
	7 C	8.9±0.1	9.1±0.1	7.7±0.1	9.4±0.1	8.8±0.1	9.8±0.1
	S	8.3±0.1	8.4±0.1	7.3±0.1	8.9±0.1	8.3±0.1	9.1±0.1
	S/C	0.93	0.95	0.92	0.95	0.94	0.93
茎数	0	4.9±0.4	2.2±0.1	3.5±0.3	6.9±0.5	4.9±0.3	6.0±0.4
	7 C	5.8±0.5	3.3±0.4	4.3±0.6	8.2±0.8	6.7±0.4	6.8±0.5
	S	3.8±0.4	2.2±0.1	3.6±0.4	7.3±0.6	6.2±0.5	5.5±0.4
	S/C	0.66	0.84	0.67	0.89	0.93	0.81

数値は、6 反復の平均値±標準誤差。

第2表 7日間の灌水停止処理による対照区 (C) と処理区 (S) の葉面積, 地上部重, 根重の変化。

日数	処理区	トヨハタモチ	コシヒカリ	IRAT109	IR36	水原 287	水原 290
葉面積 (cm <sup>2</sup> 株 <sup>-1</sup> )	0	383±33	214±14	295±24	332±27	421±32	406±34
	7 C	629±37	285±15	427±26	422±23	576±27	644±73
	S	141±54	139±17	187±31	337±46	385±21	348±40
	S/C	0.22	0.49	0.44	0.80	0.67	0.54
地上部重 (g株 <sup>-1</sup> )	0	2.09±0.17	1.30±0.09	1.53±0.18	1.30±0.10	2.06±0.18	1.83±0.11
	7 C	4.11±0.19	2.11±0.13	2.61±0.22	2.00±0.12	3.21±0.25	3.54±0.40
	S	2.44±0.21	1.41±0.06	1.89±0.17	1.96±0.22	2.59±0.18	2.47±0.24
	S/C	0.59	0.67	0.72	0.98	0.81	0.70
根重 (g株 <sup>-1</sup> )	0	0.34±0.03	0.17±0.01	0.26±0.01	0.16±0.02	0.27±0.01	0.24±0.02
	7 C	0.60±0.04	0.27±0.02	0.41±0.03	0.25±0.02	0.40±0.05	0.49±0.06
	S	0.50±0.28	0.26±0.02	0.35±0.04	0.31±0.04	0.40±0.04	0.43±0.04
	S/C	0.83	0.96	0.85	1.24	1.00	0.88

数値は, 6 反復の平均値±標準誤差。

処理後6日目には pF 3.9 となった。7日目に再灌水をした後は対照区と同様 pF 2.0 以下で推移した。

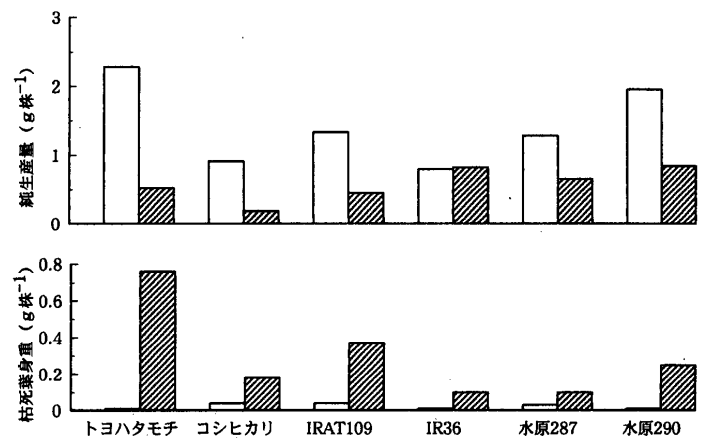
## 2. 灌水停止による生育と乾物生産の品種間差

### (1) 草丈, 主茎葉数, 莖数

第1表に各品種の処理開始時と灌水停止7日後の草丈, 主茎葉数, 莖数を示した。灌水停止により草丈の伸長が抑制されたが, 品種間の抑制程度は, コシヒカリ, トヨハタモチ, IRAT 109 に比べ IR 36, 水原 287, 水原 290 で小さい傾向があった。主茎葉数のすすみは灌水停止によって約 0.6 葉 (0.4~0.7) 遅延したが, 明らかな品種間差はなかった。莖数はどの品種も変化が小さかったが, トヨハタモチと IRAT 109 では対照区に対する減少の程度が大きかった。

### (2) 葉面積, 乾物重

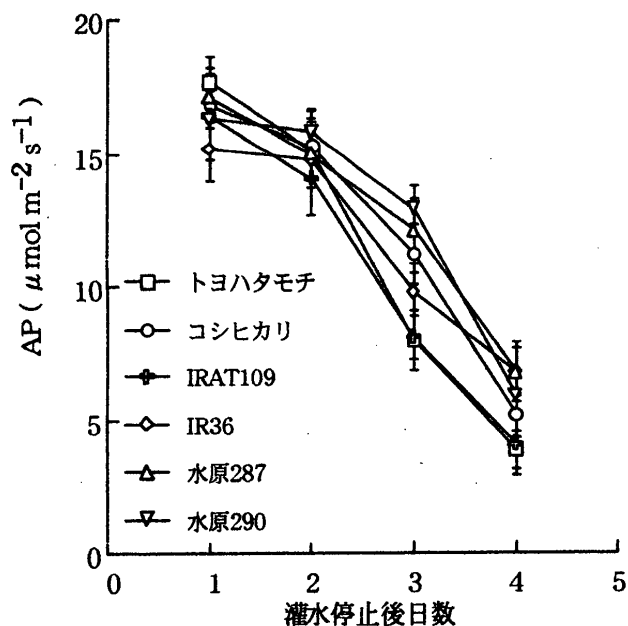
第2表に葉面積および地上部重と根重を示した。葉面積は IR 36 を除き処理区で減少した。減少程度はトヨハタモチで最も大きく, コシヒカリ, IRAT 109, 水原 290 が中間で, IR 36, 水原 287 で小さかった。地上部重も品種間の相違はほぼ同様で減少程度の最も大きかったのはトヨハタモチ, 小さかったのは IR 36, 水原 287 であった。なおここで注目すべきことは, IR 36 が対照区とほぼ等しく, 減少程度が非常に小さいことであった。根重は地上部重に比べどの品種も灌水停止処理の影響が小さかったが, 地上部重と同様に IR 36, 水原 287 では対照区とほぼ等しいか対照区より大きかった。



第2図 灌水停止処理期間中の対照区 (白抜き) と処理区 (斜線) の純生産量と枯死葉身重。

### (3) 灌水停止区の純生産と枯死

灌水停止処理による乾物生産の品種間差について, この期間の純生産量と枯死葉身重を第2図に示した。純生産量についてみると, IR 36 は灌水停止処理下で低下がみられなかったが, 他の品種は低下した。純生産量の低下程度を対照区に対する比率で品種比較するとコシヒカリ, トヨハタモチで 22% となり最も低下が著しく, 次いで IRAT 109 の 34% となり, 水原 287, 水原 290 はこれらの品種より低下程度が小さかった。トヨハタモチ, IRAT 109, コシヒカリでは枯死葉身が多く, トヨハタモチでは全葉身重に占める枯死葉身重の比率が 59% に達した。一方 IR 36, 水原 287, 水原 290 の 3 品種ではこの比率は 10% 以下であった。このように供試した 6 品種では同一の土壤水分低下の



第3図 最上位完全展開葉身のみかけの光合成速度 (AP) の灌水停止後の推移。

値は6反復の平均値。図中の縦棒は標準誤差を示す。

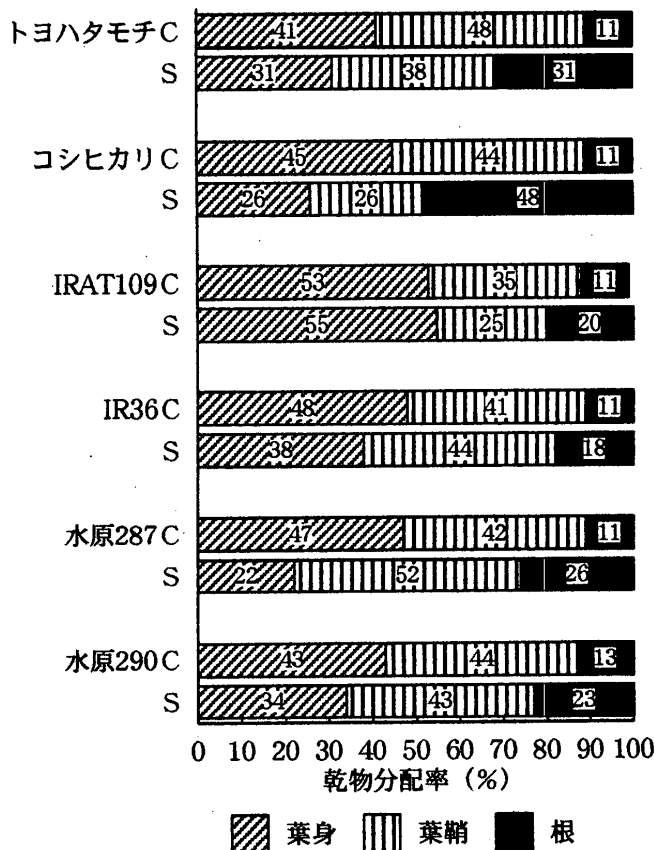
下での葉身枯死に大きな品種間差がみられた。

(4) 最上位完全展開葉の光合成速度の変化

第3図に水ストレス下での葉の生理状態の1つの指標として、主茎最上位に着生する完全展開葉身中央部の飽和光下のみかけの光合成速度の灌水停止後の変化を示した。灌水停止後2日目まで光合成速度の大きな変化は認められず、その値は15~18 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>であり、1日目も2日目も品種間にダンカンの多重検定による5%水準の有意差は認められなかった。どの品種でも灌水停止3日目から光合成速度が低下したが、3日目の光合成速度には品種間差がみられ、水原290と水原287で高く、トヨハタモチとIRAT109で最も低く、この2つのグループの値にはダンカンの多重検定による5%水準で有意差がみられた。コシヒカリとIR36は中間の値であった。灌水停止後4日目の光合成速度は水原287、IR36、水原290で高く、トヨハタモチ、IRAT109、コシヒカリで低い傾向を示した。灌水停止後5日目にはすべての品種で葉が針状に堅く巻き光合成速度の測定はできなくなった。

(5) 乾物分配

第4図に灌水停止区の純生産について乾物の各器官への分配を対照区と比較して示した。対照区ではどの品種も類似しており、葉身に41~53%、葉鞘に35~48%、根へは11~13%の分配であった。灌水停止区ではどの品種も根への分配が大きくなったが、葉身、葉鞘への分配が著しく減少し根への分配が著しく大きくなったコシヒカリとトヨハタモチ、根と葉鞘への分配が大きくなり葉身への分配が小さくなったIR36、水原287、水原290、葉鞘への分配が減少し根への分配が増加したIRAT109の3つのタイプに分かれた。



第4図 灌水停止7日間における対照区 (C) と処理区 (S) の純生産の分配。

3. 再灌水による生育と乾物生産の品種間差

(1) 草丈、葉数、茎数

第3表に再灌水後7日目の各品種の草丈、主茎葉数、茎数を示した。処理区の草丈は再灌水後水原290が7cm、水原287とIR36が3cm伸長したが、他の品種では伸長しなかった。再灌水後の葉数の増加はトヨハタモチを除いて対照区よりも速かったため対照区に比べ0.97~0.99まで回復した。トヨハタモチでは対照区より0.8葉小さい値であった。再灌水後7日目の茎数は、いずれの品種も対照区とt検定による5%水準の有意差は認められなかった。

(2) 葉面積と乾物重

第4表に再灌水後の葉面積および地上部重と根重を示した。再灌水後いずれの品種でも葉面積は増加したが、IR36、水原287、IRAT109、コシヒカリでは再灌水後の葉面積増加がこの間の対照区を上回ったのに対し、トヨハタモチと水原290は対照区より小さく、特にトヨハタモチでは対照区に比べ0.30と極めて低くなった。地上部重の品種間差を対照区比で見ると葉面積とはほぼ同傾向となった。根重はトヨハタモチで対照区の0.54と最も低くなり、次いでIRAT109、コシヒカリ、水原290が低かった。一方、IR36と水原287は処理区の値が対照区よりも大であった。

(3) 乾物生産

第5表に再灌水後7日間の純生産速度、平均葉面積および純同化率 (NAR) を示した。再灌水後の純生産速度は

第3表 再灌水後7日目の対照区 (C) と処理区 (S) の草丈, 葉数, 茎数.

	処理区	トヨハタモチ	コシヒカリ	IRAT109	IR36	水原 287	水原 290
草丈 (cm)	C	106±1	98±1	90±2	78±2	91±2	82±1
	S	72±4	78±4	70±7	67±2	79±2	74±1
	S/C	0.68	0.80	0.78	0.86	0.87	0.90
葉数	C	9.6±0.1	10.0±0.1	8.4±0.1	10.3±0.1	9.6±0.1	10.5±0.1
	S	8.8±0.1	9.7±0.1	8.3±0.1	10.0±0.1	9.4±0.1	10.2±0.1
	S/C	0.92	0.97	0.99	0.97	0.98	0.97
茎数	C	4.4±0.5	2.5±0.3	4.1±0.5	7.3±0.4	5.6±0.5	6.3±0.5
	S	4.5±0.3	2.8±0.2	3.9±0.5	7.1±0.5	5.9±0.4	6.7±0.7
	S/C	1.02	1.12	0.95	0.97	1.05	1.06

数値は, 6 反復の平均値±標準誤差.

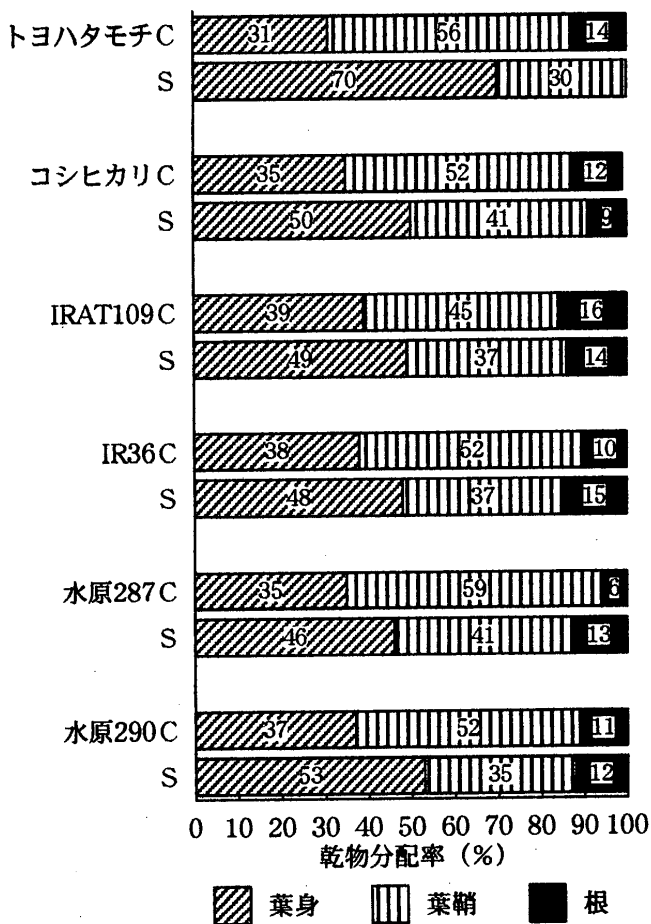
第4表 再灌水7日目の対照区 (C) と処理区 (S) の葉面積, 地上部重, 根重.

	処理区	トヨハタモチ	コシヒカリ	IRAT109	IR36	水原 287	水原 290
葉面積 (cm <sup>2</sup> 株 <sup>-1</sup> )	C	750±92	360±21	546±102	522±20	710±39	849±62
	S	222±63	227±47	358±92	482±30	624±60	519±56
	S/C	0.30	0.63	0.66	0.88	0.88	0.61
地上部重 (g株 <sup>-1</sup> )	C	6.05±0.57	3.37±0.16	4.51±0.57	3.12±0.19	5.28±0.02	5.52±0.34
	S	2.89±0.24	2.36±0.30	2.96±0.47	2.72±0.23	4.18±0.37	3.60±0.31
	S/C	0.48	0.70	0.66	0.87	0.79	0.65
根重 (g株 <sup>-1</sup> )	C	0.91±0.07	0.45±0.04	0.74±0.10	0.38±0.04	0.54±0.03	0.74±0.02
	S	0.49±0.03	0.35±0.04	0.53±0.11	0.44±0.05	0.64±0.09	0.58±0.06
	S/C	0.54	0.78	0.72	1.16	1.19	0.78

数値は, 6 反復の平均値±標準誤差.

第5表 再灌水後7日間の対照区 (C) と処理区 (S) の純生産速度, 平均葉面積, および純同化率 (NAR).

	処理区	トヨハタモチ	コシヒカリ	IRAT109	IR36	水原 287	水原 290
純生産速度 (g株 <sup>-1</sup> 日 <sup>-1</sup> )	C	0.321	0.206	0.304	0.179	0.316	0.319
	S	0.063	0.149	0.179	0.127	0.261	0.183
	S/C	0.20	0.72	0.59	0.71	0.83	0.57
平均葉面積 (cm <sup>2</sup> 株 <sup>-1</sup> )	C	688	321	484	470	641	742
	S	178	179	263	405	495	428
	S/C	0.26	0.56	0.54	0.86	0.77	0.58
NAR (g m <sup>-2</sup> 日 <sup>-1</sup> )	C	4.67	6.41	6.29	3.80	4.93	4.29
	S	3.52	8.28	6.78	3.14	5.28	4.27
	S/C	0.75	1.29	1.08	0.83	1.07	1.00



第5図 再灌水後7日間の対照区(C)と処理区(S)の純生産の分配。

水原 287 が対照区比 0.83 で最も高く、次いでコシヒカリと IR 36 の 0.72 と 0.71、さらに水原 290 と IRAT 109 は 0.57 と 0.59 であり、トヨハタモチは最も低く 0.20 であった。平均葉面積も純生産速度とほぼ同様の対照区比であった。一方 NAR は、コシヒカリでは対照区より高く、IRAT 109、水原 287、水原 290 では対照区とほぼ同じで IR 36 とトヨハタモチは対照区より低い値であった。

(4) 乾物分配

第5図に再灌水後7日間の純生産の分配を対照区と比較して示した。処理区ではどの品種も葉身への分配が対照区よりも多くなった。コシヒカリと IRAT 109 では葉鞘および根への分配が減少し、トヨハタモチでは根への分配がほぼ 0 であった。一方、水原 290 は処理区の根への分配が対照区とほぼ等しく、さらに IR 36 と水原 287 は再灌水後の生長においても根への分配が対照区よりも大きかった。

考 察

栄養生長期の早ばつ抵抗性の品種間差

本実験では同一の土壤水分低下条件における生長に品種間差がみられた。水ストレス下での葉面積と乾物重増加および最上位展開葉の光合成速度の抑制程度、葉身枯死の比較からは、トヨハタモチ、コシヒカリ、IRAT 109 に比し、IR 36、水原 287、水原 290 の早ばつ抵抗性が大と判断された。水ストレス下でのイネの反応として葉身が内側

に巻くことが良く知られており、巻き葉の程度は水ストレスに対するイネの生育や収量反応と密接な関連があるとされる (O'Toole and Cruz 1980, Turner ら 1986, De Datta ら 1988)。本実験では巻き葉は、処理開始後 3 日目の午後 pF 3.2 でトヨハタモチに最初に観察された。4 日目の午後 pF 3.6 でコシヒカリと IRAT 109 に観察された。IR 36、水原 287、水原 290 は 5 日目の午前 pF 3.8 で巻き葉が始まった。したがって、本実験においても水ストレス下での葉面積と乾物重増加および最上位展開葉の光合成速度の抑制程度、葉身枯死の品種間差と巻き葉の発生は良く一致していた。巻き葉の程度は、葉の水ポテンシャルと関係するとされている (平沢・石原 1978, Hsiao ら 1984)。本実験では夜明け前の葉身水ポテンシャルを各品種最上位完全展開葉 1 点ずつサイクロメーター法で測定したが、その値には処理開始後 3 日目までは -0.3 から -0.4 MPa と品種間に差がなく、4 日目と 5 日目には -0.9 から -1.2 MPa であった IR 36、水原 287、水原 290 が、-1.3 から -1.9 MPa のトヨハタモチ、コシヒカリ、IRAT 109 よりも高い傾向にあった (反復がないため表は示さない)。葉身枯死率の高かったトヨハタモチ、コシヒカリ、IRAT 109 は灌水停止後 4 日目と 5 日目の夜明け前の葉身水ポテンシャルの低下程度が大きかった。夜明け前の葉身水ポテンシャルは土壤の水ポテンシャルとほぼ一致するとされるが (Ahmad ら 1987)、本実験では同一の土壤水分下でも厳しい水ストレス下で夜明け前の葉身水ポテンシャルに品種間差がみられた。このことは、同一の土壤水分下でも根のごく周辺の土壤水分に差が生じていたか、前日の葉身水ポテンシャルが大きく低下した場合に吸水遅れによって翌日の夜明け前までに水ポテンシャルが回復しなかった可能性を示唆する。Ahmad ら (1986) は、大、小 2 種類のポットを用いて品種の早ばつ抵抗性を早ばつ耐性と回避性に分けて検討し、根圏が制限された条件下では耐性の、根圏が大きくなりうる条件下では回避性の影響が大きいとしている。本実験に使用したポットは Ahmad ら (1986) の大ポットと同一であったが、ステージが葉齢で約 2 葉進んでいたため根圏の生長は制約され、耐性の差が大きく現れたと考えられる。しかし、本実験では同一の土壤水分不足の条件下で夜明け前の水ポテンシャルに品種間で差がみられたことから、本実験でみられた早ばつ抵抗性の品種間差には耐性と回避性の両方が影響していると考えられた。

供試品種の畑栽培条件下での生育の特徴と水ストレス下での生育抑制との関係

本実験では日本型とインド型の水陸稲 6 品種を供試したが、本実験の畑栽培条件下で対照区の乾物重に品種間差がみられ、本実験に供試した 6 品種のうちトヨハタモチ、IRAT 109、水原 287、水原 290 の乾物重が大で、コシヒカリと IR 36 の乾物重が小さかった。葉面積も同様の傾向

にあった。処理開始時である処理後1日目と2日目の最上位完全展開葉の光合成速度には品種間差がみられなかったことから、対照区の生長の品種間差は主に葉面積拡大速度の差に基づいていた。したがって、イネ品種の畑栽培特性について、光合成機能以外の点、特に畑栽培条件下での養分吸収能力などの違いがあると考えられる。藤井・堀江(2001)は、早ばつ回避性や耐性の品種間差よりも施肥レベル間差の方が大きく、少肥区は多肥区よりも顕著に高い早ばつ耐性を示したと報告している。本実験では同一の土壤水分低下条件における生長に品種間差がみられたが、コシヒカリとIR 36は畑栽培下で生育が悪かったために水ストレス下での生長抑制が小さく現れた可能性が考えられる。しかし、水稻の2品種水原287と水原290は処理開始時の葉面積、乾物重が大で畑栽培下での生長が良かったが、早ばつ抵抗性も大であった。本実験で供試した品種には生育の形態的特性においても大きく性質が異なっていた。本実験の畑栽培条件下で処理開始時までの形態を比較すると、トヨハタモチ、コシヒカリ、IRAT 109は草丈が高く茎数が少なかった。一方、IR 36は本実験の畑栽培条件下でも短稈、多げつの特徴を示した。水原287と水原290は両者の中間であった。したがって、本実験で供試した6品種の間では、短稈多げつの水稻品種の方が陸稲品種よりも早ばつ抵抗性が高い傾向にあり、イネ幼植物の水ストレス下での生存能力は陸稲品種に比べ水稻品種で高いという報告(Ahmadら1986, 1987)と一致した。改良インディカ水稻であるIR 24の水ストレス下での浸透調節能が高いという報告(Hsiaoら1984)や日印交雑水稻品種の密陽23号が早ばつ回避性が高いという報告(藤井・堀江2001)もある。したがって、水、陸稲の差異とは別に早ばつ抵抗性に関わる形質を探索する必要がある。本実験では短稈多げつの品種が早ばつ抵抗性が高かった。茎数の多い品種と少ない品種で早ばつ抵抗性が異なるであろうか? Ichwantoariら(1989)は茎数の多い穂数型品種は早ばつ抵抗性が小さい傾向にあるが例外もあるとしている。分げつは主茎に比べて発根数が少なく、根長も短い。したがって、分げつの多い品種では、地上部の葉面積や現存量に比べて根の現存量、根長が相対的に少ないと考えられる。本実験で処理開始時の植物体の根重/地上部重比を算出すると、陸稲品種であるトヨハタモチとIRAT 109はそれぞれ0.16, 0.17であり、他の水稻品種(0.12~0.13)に比較して明らかに高かった。本実験では、ポット栽培であったため根圏が制約されており、このような根の特徴の差異は品種の早ばつ抵抗性に影響を与えにくい条件であったと考えられる(Ahmadら1986)。再灌水後の生長の回復においては、分げつが多く生長点の数が多いことが葉面積の速やかな回復に有利かもしれない。

#### 水ストレス下での乾物分配と早ばつ抵抗性との関係

水ストレス下では根への乾物分配が増し、葉身への乾物

分配が減少することが良く知られているが、本実験でも対照区に比べ水ストレス下での純生産の分配は供試したすべての品種で根へ多くなり葉身への分配が減少した。本実験では、水ストレス下で葉鞘への乾物分配が多かった水原287とIR 36の早ばつ抵抗性が大であった。水原287は水ストレス下で光合成速度を高く維持したので(第3図)、この品種は葉鞘中への炭水化物蓄積が多かった可能性がある。水ストレス下で光合成低下が小さいことによって糖濃度が増し、浸透調整が高かったとも考えられる(Tsuchiyaら1992)。また、葉鞘中には新葉が包まれていることを考えると、葉鞘への乾物分配が多いということは、水ストレス下での新葉の生長停止の遅延が早ばつ抵抗性と関係すると考えられた。

#### 水ストレス下での生長抑制程度と再灌水後の生長回復との関係

再灌水後の生長の回復も耐乾性に重要な性質であり、水ストレス終了時のLAIが大きい品種ほど再灌水後の生長回復が大であると報告されている(Prasertsak and Fukai 1997)。本実験で、灌水停止中の生長抑制程度と再灌水後の生長回復との関係をみると、灌水停止中の生長抑制が最も大きかったトヨハタモチは再灌水後の純生産速度が最も低かった。このように再灌水後の生長回復は灌水停止中の生長抑制程度の大小を反映した。しかし、他の品種においては、再灌水後の生長回復は灌水停止中の生長抑制程度の大小と必ずしも一致しなかった。本実験では、灌水停止中に葉鞘への乾物分配が多い品種で再灌水後の生長回復が大きい傾向があった。再灌水後はどの品種でも葉面積の回復に伴い葉身への分配が多くなったが、トヨハタモチ、コシヒカリ、IRAT 109では根への分配が減少したのに対し、IR 36、水原287、水原290では再灌水後も根への乾物分配が高く維持され、根重の大きい形態となった。イネの多様な品種、系統の中には水ストレスに対する馴化能力に差のあることが報告されているが(Fukai and Cooper 1995)、本実験で供試したIR 36、水原287、水原290は根への乾物分配を高くするという点で水ストレスに対する馴化能力が高いと考えられた。

#### 引用文献

- Ahmad, S., T. Kobata and S. Takami 1986. Role of avoidance of and tolerance to water deficits in seedling survival of diverse rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. *Jpn. J. Crop Sci.* 55: 327-332.
- Ahmad, S., T. Kobata and S. Takami 1987. Leaf death and alteration of internal water relations in rice (*Oryza sativa* L.) in response to water deficits in the seedling stage. *Jpn. J. Crop Sci.* 56: 582-588.
- Angus, J.F.S., 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.
- De Datta, S.K., J.A. Malabuyoc and E.L. Aragon 1988. A field

- screening technique for evaluating rice germplasm for drought tolerance during the vegetative stage. *Field Crops Res.* 19: 123–134.
- 藤井道彦・堀江武 2001. 乾物生産からみたイネの早ばつ抵抗性の品種・施肥レベル間差異に対する耐性と回避性の寄与度の定量的評価. *日作紀* 70: 59–70.
- Fukai, S. and M. Cooper 1995. Development of drought-resistant cultivars using physio-morphological trait in rice. *Field Crops Res.* 40: 67–86.
- 平澤秀夫・根本博・須賀立夫・石原正敏・平山正賢・岡本和之・宮本勝 1998. 高度耐干性・極良食味陸稲品種「ゆめのはたもち」の育成. *育雑* 48: 415–419.
- 平沢正・石原邦 1978. 水稻の体内水分と環境条件との関係. 第1報. 葉身の水ポテンシャル・葉面積当たり含水量・水欠差について. *日作紀* 47: 655–663.
- 平沢正 1997. 水ストレスに対する植物の生理生態的反応. *日作紀* 66 (別2): 355–360.
- Hsiao, T.C., J.C. O'Toole, E.B. Yambao and N.C. Turner 1984. Influence of osmotic adjustment on leaf rolling and tissue death in rice. *Plant Physiol.* 75: 338–341.
- Ichwantoari, T. Ogo, Y. Takamura and M. Tsuchiya 1989. Growth response of rice (*Oryza sativa* L.) to drought. I. Varietal difference in growth rate, nitrogen uptake and tillering habit at vegetative stage. *Jpn. J. Crop Sci.* 58: 740–747.
- 今井勝 1981. 個体, 群落の物質生産の測定と解析. 加藤米・宮地重遠・村田吉男編, 光合成研究法. 共立出版, 東京. 58–73.
- 近藤始彦 2000. 陸稲の生産性と根研究—IRRIにおける耐干性に関する根の研究について—. *根の研究* 9: 47–56.
- Levitt, J. 1980. Responses of Plants to Environmental Stresses. 2nd ed, Vol.2. Academic Press, New York. 25–280.
- Lilley, J.M. and S. Fukai 1994. Effects of timing and severity of water deficit on four diverse rice cultivars. I. Rooting pattern and soil water extraction. *Field Crops Res.* 37: 205–213.
- Matsushima, S. 1962. Some experiments on soil-water-plant relationship in the cultivation of rice. *Proc. Crop Sci. Soc. Japan* 31: 115–121.
- O'Toole, J.C. and R.T. Cruz 1980. Responses of leaf water potential, stomatal resistance and leaf rolling to water stress. *Plant Physiol.* 65: 428–432.
- Prasertsak, A. and S. Fukai 1997. Nitrogen availability and water stress interaction on rice growth and yield. *Field Crops Res.* 52: 249–260.
- Tsuchiya, M., Munandar and T. Ogo 1992. Growth response of rice (*Oryza sativa* L.) to drought. II. Varietal difference in transpiration under water stress and its related plant characteristics. *Jpn. J. Crop Sci.* 61: 676–682.
- Turner, N.C., J.C. O'Toole, R.T. Cruz, O.S. Namco and S. Ahmad 1986. Physiological and morphological responses of seven diverse rice cultivars to water deficits. I. Stress development, canopy temperature, leaf rolling and growth. *Field Crops Res.* 13: 257–271.
- 尹祥翼・和田義春・前田忠信・三浦邦夫・渡辺和之 1995. 畑栽培条件下における日印交雑水稻 Suweon の登熟期の乾物生産と光合成の特徴. *日作紀* 64 (別2): 65–66.
- 尹祥翼・和田義春・前田忠信・三浦邦夫・渡辺和之 1997. 直播栽培における日印交雑水稻の生育と収量. 一乾田直播, 畑栽培での日本型水・陸稲との比較—. *日作紀* 66: 386–393.

**Varietal Differences in the Growth and Dry-Matter Production during Vegetative Growth in Rice under Upland Cultivation Conditions with Water Stress—A comparison of Japonica, Indica and Japonica-Indica hybrid cultivars—: Yoshiharu WADA\*, Maya SUZUKI, San-Iku YUN, Kunio MIURA and Kazuyuki WATANABE (Fac. of Agr. Utsunomiya Univ., Utsunomiya 321-8505, Japan)**

**Abstract:** Since rice is highly susceptible crops to water stress, it is important to improve drought resistance to increase and stabilize the rice yield under upland cultivation conditions. This study was conducted to elucidate the morphological and physiological characteristics related to drought resistance in diverse rice germplasm. Six cultivars including Japonica, Indica and Japonica-Indica hybrid cultivars were grown in a pot, suffering the same soil water deficit conditions at a vegetative growth stage. The reduction in leaf area growth and in dry matter production under water stress was smaller in IR36 and two Japonica-Indica hybrid cultivars, Suweon 287 and Suweon 290 than Japonica and Indica upland cultivars, Toyohatamochi and IRAT109. The reduction in leaf photosynthetic rate was also smaller in Suweon 287 and Suweon 290. IR36, Suweon 287 and Suweon 290 showed a semi dwarf morphological characteristic with a large tiller number. The partitioning of the net production directed much to roots and less to leaves under the water stress conditions in all cultivars tested. IR36 and Suweon 287 partitioned more net production to leaf sheaths. Suweon 287 showed good recovery after rewatering and partitioned much assimilates to roots after released from water stress.

**Key words:** Drought resistance, Dry matter production, Growth, Japonica-Indica hybrid, *Oryza sativa* L., Partitioning, Photosynthesis, Upland rice.