水稻品種の光合成と耐肥性に関する研究

第3報 品種の光合成特性と乾物生産・登熟との関係*

長 田 明 夫・村 田 吉 男

(農林省農業技術研究所)

著者らは既報⁵⁾において、耐肥性の強い品種は多N条件下においても効率のよい乾物生産を行なう能力を持つことを、光合成特性の面から明らかにした。しかしながら、そのような性質が穀実の収量とどのような関係にあるかは不明のままであつた。本報告は、この点を明らかにすることを目的として、耐肥性の異なる品種につき、登熟期における光合成特性と乾物生産・収量との関係を追求したものである。

材料および実験方法

供試した品種は北陸 52 号 (耐肥性最強)、金南風 (強)、農林 25 号 (強)、農林 8 号 (やや弱)、千葉旭 (弱)、玉錦 (最弱) の 6 品種である。

実験はほぼ同様の設計のもとに 1962 (実験 I)、'63 (実験 II) の 2 カ年行なつた。栽培法は通常の移植栽培で、両年とも 6 月 20 日移植、1 株 2 本、1 m² 当り 18.5 株植 (30×18 cm) とした。肥料条件として、標準・多Nの 2 段階をもうけ、基肥としてそれぞれ硫酸 30, 60 kg/10a を施用した。磷酸・加里は両区とも標準量を施用した。

これらの材料につき、第 1 表に示すように、出穂前約 10 日より出穂後約 20 日にわたる期間に、ほぼ 10 日の間隔で計 4 回、葉面当り光合成能力、呼吸作用、葉面積、乾物重等を測定した。また収穫物について各種の調査を行なつた。光合成能力・呼吸作用は切断した材料につき実験室内で測定した。

結果および考察

1. 葉面当り光合成能力 (p_0) の変化

第 1 表に p_0 の値を示す。両年の実験を通じて、第 I, II 回測定 (出穂直前および出穂期) においては、標準区では耐肥性との間に一定の関係が認められないが、多N区では実験 II の玉錦がやや高い値を示しているほかは、耐肥性の強い品種の方が p_0 が大きい傾向にある。また出穂直前においては、耐肥性の弱い品種は多Nによる p_0 の増加が少ないことが認められる。これに対し第 III, IV 回 (穂揃後 10 日、20 日) においては耐肥性との関連性は認められない。

いま、穂の生長の最も盛んな期間における平均的な光合成能力として、穂孕期より出穂後 10 日にわたる 3 回の測定値を平均してみると、第 1 図に示すように、両年とも耐肥性の強い品種の方が多N条件下での光合成能力がやや高い傾向にあることがみられる。

既報⁵⁾のごとく、耐肥性の強い中生品種の p_0 の多Nによる促進は、耐肥性の弱い品種よりも大きいことが、最高分げつ期頃の水稲についてみられたが、本実験によりこのことは出穂期にもみられることがわかつた。そしてさらに耐肥性の強い品種は登熟盛期に至るまで、多N条件下での p_0 が比較的高く保たれているのである。

2. 乾物当り呼吸作用の変化

実験 I の場合。葉身の呼吸作用には明らかな傾向はみられなかつた。しかし地上部 (穂を除く) の平均乾物当りの呼吸の強さは葉身だけの場合と異なる。第 2 表に示すように、第 I 回測定では品種の間に明らかな傾向がみられなかつたが、II, III 回測定においては、多N条件下では耐肥性の弱い品種の方が呼吸が盛んであり、増加率でも同様の傾向にある。3 回を通じての平均した値における呼吸の増加率は、耐肥性の強い品種は 1~5% であるのに対し、耐肥性の弱い品種は 7~17% に及んでいる。

既報⁵⁾のごとく、出穂期において耐肥性の強い品種は多Nによる地上部の平均乾物当り呼吸の増加が少ないことが認められているが、この性質は上述のように、登熟期にもなお保たれていることが示されたのである。

実験 II では葉身の呼吸作用のみで、その他の部位の値を欠くが、穂孕期から出穂後 10 日までの値を平均したものについて呼吸の増加率をみると、その差は比較的小さいが、ここでも耐肥性の強い品種の方が多Nによる呼吸の増加が少ない傾向にあつた (図略)。

3. 葉面積の変化

実験 I の場合。いずれの測定時においても多N区では耐肥性の弱い品種の方が葉面積が大きい傾向にある。第 2 図に示すように、4 回の測定を通じて、耐肥性の強い 3 品種の多N区の葉面積の平均は 1 m² 当り 4.69 m² であるのに対し、耐肥性の弱い品種のそれは 5.26 m² である。多Nによる増大率では耐肥性との関係はややうすれはするが、耐肥性最強の北陸 52 号の増大率は 16% にすぎないのに対し、最弱の玉錦では 46% に及んでいる。

実験 II の場合。各測定時においては一定の傾向を認め難かつたが、全体を平均した登熟期間の平均葉面積では、耐肥性の弱い品種の方が多N区における値が大きい。そして耐肥性の強い品種の多Nによる増加率は 8~12% であるのに対し、弱い品種では 31~45% に及んでいる。

* 昭和 40 年 1 月 25 日受理

Table 1. Changes in the rate of photosynthesis per unit leaf area.

	Varietal No.	Expt. I (1962)				Expt. II (1963)			
		I	II	III	IV	I	II	III	IV
Low-N (N1)	1	10.98	11.01	8.90	5.62	10.43	10.28	7.41	5.55
	2	11.39	10.01	8.79	8.02	8.22	9.01	7.37	5.16
	3	10.37	9.97	8.80	7.32	8.67	8.80	6.46	6.12
	4	9.11	10.15	8.55	7.07	8.15	8.36	6.86	5.54
	5	10.24	10.17	8.36	7.92	9.09	7.84	5.87	4.88
	6	11.59	9.57	9.65	6.12	10.00	9.11	6.78	6.15
High-N (N2)	1	11.80	10.88	9.14	7.82	10.92	10.40	7.15	6.13
	2	11.43	11.52	9.20	8.59	8.90	9.64	7.85	7.50
	3	10.98	10.22	10.28	7.09	9.12	9.99	7.81	7.07
	4	10.56	10.13	9.03	8.50	8.13	9.02	7.29	7.28
	5	9.40	10.66	9.44	8.51	8.49	8.56	7.33	6.34
	6	9.70	10.47	9.58	6.37	9.14	9.42	7.55	6.54
Ratio (N2/N1)	1	107	99	103	139	105	101	97	110
	2	100	115	105	107	108	107	106	145
	3	106	103	117	97	105	112	121	115
	4	116	100	106	120	100	108	106	131
	5	92	105	193	108	93	109	125	130
	6	84	109	91	104	91	103	111	106

1) Rate of photosynthesis was determined at 28°C, 40 Klux. CO₂ mg/100cm², hr.

2) I : 10 days before heading. II, III, IV, : 0, 10, 20 days after heading, respectively.

3) 1=Hokuriku No. 52 (most suitable for heavy manuring) 2=Kinmase (suitable)

3=Norin No. 25 (Suitable)

4=Norin No. 8 (a little less suitable)

5=Chibaasahi (less suitable)

6=Tamanishiki (least suitable)

These symbols are used in all following figures and tables.

Table 2. Changes in respiration per unit dry matter of shoot except for ear. (CO₂ mg/D. W., hr.)

	Var.	I	II	III	Mean		Var.	I	II	III	Mean
Low-N (N1)	1	1.90	1.27	1.28	1.48	High-N (N2)	1	2.00	1.30	1.19	1.50
	2	1.75	1.28	1.10	1.38		2	1.76	1.30	1.30	1.45
	3	1.58	1.19	1.24	1.34		3	1.46	1.28	1.28	1.34
	4	1.46	1.35	1.27	1.36		4	1.79	1.38	1.32	1.50
	5	1.74	1.36	1.28	1.46		5	1.73	1.53	1.41	1.56
	6	1.58	1.41	1.29	1.43		6	2.07	1.52	1.43	1.67
Ratio (N2/N1)	1	105	102	93	101	Ratio (N2/N1)	4	123	102	104	110
	2	101	102	118	105		5	99	112	110	107
	3	92	108	103	100		6	131	108	111	117

Fig. 1 Average photosynthetic activity from 10 days before heading to 10 days after heading.

Fig. 2 Leaf area and rate of increase by increasing supply of nitrogen.

Upper: Expt. I. Lower: Expt. II.

以上のように、耐肥性の弱い品種は多Nによる葉面積の増大がしばしば大きいのである。多N条件下では登熟期の葉面積はなお大きく、したがってその効率は著しく低いから、耐肥性の弱い品種のこのような性質は物質生産上不利になる可能性が高いといえよう。

4. 乾物生産および収量

(1) 乾物生産 出穂前10日から出穂後20日にわたる間の1日当り乾物増加率を第3図に示した。実験Iの場合、標準区では品種の間に一定の関係がみられないが、多N区では北陸52号、金南風が高い値を示し、玉錦は標準区と逆に最低である。しかしながら、多Nによる乾物増加率の促進程度と耐肥性との関連性は薄い。

これに対し実験IIの場合には、標準区では品種の間に一定の傾向がないが、多N区では耐肥性の弱い3品種はいずれも約10g/m²・dayの増加率にすぎないのに対し、耐肥性の強い品種では12~18gに及ぶ。標準

区に対する比率でもこの傾向は認められ、耐肥性の強い品種は多Nによる乾物増加率の促進が大である。

すでに述べたように、多N条件下で耐肥性の強い品種は p_0 が比較的高く、逆に呼吸の増加は少ない。さらに葉面積の増加は耐肥性の弱い品種の方が大きく、受光能率の低下をきたし易い。一方後述するように、実験IとIIでは、前者は登熟期の日射が比較的十分であったのに対し、後者ではかなり不足していた。したがって、実験Iでは多N条件による過繁茂の、乾物生産に対する悪影響が比較的少なく、耐肥性との関連性がうすれたものと解釈される。また既報⁵⁾のように、耐肥性の強い品種は多N条件下で効率のよい物質生産を行なう能力をもつことが認められているが、このことは日射の不十分な場合には実際の乾物生産に反映されることがわかった。

(2) 収量 第3表に示すように、穂重は実験Iでは耐肥性との関連性はみられないが、実験IIでは多N区で耐肥性の弱い品種の方が小さく、多Nによる増加率でもこのことがみられる。穂重/わら重比は両実験とも耐肥性の弱い品種ほど多Nによる低下が大きく、松尾²⁾、馬場・岩田¹⁾の報告と一致する。精粒重、登熟歩合は実験Iでは多N区において耐肥性の強い品種の方が大きかったが、多Nによる変化という点では

一定の傾向がみられない。これに対し実験IIでは多N区における値でも、また多Nによる変化率においても耐肥性との関連性を示しており、これも馬場・岩田¹⁾の結果と一致している。総粒数には品種の間に一定の傾向はなかつた。実験Iで収量が耐肥性と関連を示さなかつたことは、前述の乾物増加率におけるちがいが反映されたものと考えられ、この点からみても耐肥性という性質は日射不足条件下において出易いということができよう。

5. 乾物生産・収量と光合成因子との関係

(1) 乾物生産・収量と p_0 との関係 実験Iにおいて、登熟期間の平均 p_0 と乾物増加率との関係を見ると、第4図に示すように、両者の間には高い正の相関が認められる。そしてこのことは収穫期の穂重との間にも認められるのである($r=0.5603^*$)。

すなわち、登熟期間中の乾物増加率の品種間差異は主として p_0 の大小によつて規定され、その影響は収

Fig. 3 Rate of dry-matter-increase and its changes by increasing supply of nitrogen.

Upper: Expt. I. Lower: Expt. II.

量にまで及ぶのである。村田・長田ら³⁾は栽培時期を変えた場合の水稲の間でこのことを認めたが、それは異なる品種を通じても成り立つことがわかった。

実験IIにおいてはこのような関係は認められなかったが、それは次のように解釈される。すなわち、実験Iの行なわれた9月の日平均日射量は 386 cal/cm^2 であったのに対し、実験IIでは 309 cal とかなり不足していた。一方平均葉面積はそれぞれ $4.42, 4.54 \text{ m}^2/\text{m}^2$ とほとんど同じでかなり大きな値である。このように実験IIでは日射はかなり少ないのに葉面積は大きいので、受光能率の影響が光合成のそれにくらべて相対的に大となり、その結果乾物生産に対し光合成の影響が表面に現われてこなかったものと考えられる。

(2) 登熟歩合と光合成因子との関係 一般に収量構成4要素のうち、収量を支配する力の最も強い要素

は登熟歩合であり、特に多肥条件下でこのことが著しい。本実験においても収量と登熟歩合との間には正の相関が認められている。

さて登熟歩合は大よその所登熟期間中の炭水化物生産量（出穂前茎葉中に貯蔵された炭水化物もあるが）とその穂への転流量によつて大きく左右されよう。そこで転流に特別の支障がない場合、炭水化物生産に関する要因、ならびに、生産物の容れ物の差異を代表する総エイ花数(n)が、登熟歩合とどのような関係にあるかを検討した。ここで前者の要因としては p_0 、葉面積、呼吸などの外に、受光能率、日射、温度等があげられるが、本実験では品種の問題として前三者をとりあげた。

(i) 各因子それぞれと登熟歩合との関係。第4表に示すように、兩年度の実験を通じて、 p_0 、 n は登熟歩合と相関を示さない。呼吸作用は実験Iでは負の相関を示したが実験IIでは全く相関がなかった。これに対し登熟期間中の平均葉面積(A)は兩実験ともかなり高い負の相関を示しており、葉面積がマイナスの方向で登熟歩合を支配していることを示している。

(ii) 2つ以上の因子を組合わせた場合の登熟歩合との関係。上述のように p_0 自体は相関を示さなかったが、その能力の大小は当然登熟に影響を及ぼしているにちがいない。そこでマイナスの因子であることがわかつた葉面積と p_0 の相乗効果と

して p_0/A を考え、これと登熟歩合との相関をとつてみた。その結果実験Iでは A と登熟歩合との関係よりも相関が改善されたのに対し、実験IIでは相関がやや弱まつた。

総エイ花数の場合も本実験のような条件下ではマイナスの因子である可能性が高い。そして単独では登熟歩合と全く相関のなかつた p_0 、 n も両者を組合わせた p_0/n の場合にはある程度相関を示した。そこで上と同様の考え方で p_0/A にさらに n を入れた p_0/An を各品種について算出して登熟歩合との相関を求めた。その結果実験IIでは $r=0.7024$ という最も高い正の相関を得た。実験Iでは A 単独の場合とほとんど同じであつた。

村田・猪山ら⁴⁾によれば、同一品種を異なる条件下で栽培した場合の登熟歩合もまた p_0/An と高い正の

* Significant at 5% level.

Fig. 4 Relation of photosynthetic rate to dry-matter-matter-increase.

相関を示すことが4カ年の実験で例外なく認められたという。

実験Iで p_0/A が登熟歩合と最も高い相関を示し、これに n を加えた場合に相関の改善がみられなかったのは、実験Iの方が登熟期間中の日射が多く、炭水化物の生産が比較的多かつたために n の影響があまり現われなかったものと考えることができる。

以上のことから、品種による登熟歩合のちがいは、登熟期間中の単位面積当り葉面積と総エイ花数の積に対する葉面当り光合成能力の比によつて決定されるということが出来る。

結 語

以上のように、登熟期間中における葉面当り光合成能力、呼吸作用、葉面積等のNに対する反応も耐肥性との関連性を示した。さらに、それらに気象条件—特に日射という要因が加わり、それらの総合されたものとして、耐肥性の強い品種は多Nによる乾物増加率が、特に日射不足の場合に大きいのである。一方耐肥

Table 3. Some characters of harvested samples.

	Var.	Expt. I				Expt. II			
		A	B	C	D	A	B	C	D
Low-N (N1)	1	731	0.92	575	79.0	700	0.97	543	69.3
	2	639	0.77	543	83.6	605	0.86	516	81.5
	3	757	0.99	579	76.0	740	0.91	541	73.7
	4	648	0.77	471	72.4	600	0.66	431	58.9
	5	600	0.80	394	60.7	584	0.83	477	73.2
	6	692	0.91	495	81.6	611	0.87	474	72.1
High-N (N2)	1	806	1.07	598	68.9	664	0.87	545	75.4
	2	788	0.88	543	71.9	630	0.68	521	76.6
	3	970	1.02	726	74.3	666	0.77	487	63.8
	4	834	0.83	640	77.4	499	0.57	262	35.0
	5	775	0.81	519	61.2	523	0.62	329	48.2
	6	702	0.84	486	64.7	535	0.63	301	43.1
Ratio (N2/N1)	1	110	116	104	87	95	90	100	109
	2	123	114	100	86	112	79	101	94
	3	128	103	125	98	90	85	90	87
	4	129	108	136	107	83	86	61	60
	5	129	101	132	101	90	75	69	66
	6	101	92	98	79	87	72	64	60

A: Weight of panicle (g/m² field). B: Ratio of panicle to straw weight. C: Fully ripened grain weight (g/m² field) D: Percentage of ripened grains in number (%).

Table 4. Correlation among percentage of ripened grains and Some factors.

	Expt I	Expt II
Rate of photosynthesis (p_0)	0.2548	0.1775
Respiration (r)	-0.5741	-0.0430
Leaf area (A)	-0.6299*	-0.6435*
number of spikelets (n)	-0.2556	-0.0157
p_0/A	0.6804*	0.5448*
p_0/n	0.4133	0.4899
p_0/An	0.6134*	0.7024*

* Significant at 5% level.

性の強い品種は籾/わら比の多Nによる増加が大(乃至低下が小)であつたことは、生産された乾物の穂への配分が良好であつた可能性を示している。転流の1つの指標と考えられる登熟歩合自体は、必ずしも多Nによる変化率という点では耐肥性との関連性を示さなかつた。しかしながら、それが葉面当り光合成能力、葉面積、総エイ花数の三者のバランスによつて決定されるという事実は、これらの要因群が、乾物生産とともに登熟歩合という面をも通じて耐肥性を支配している可能性を示すものと考えられる。

Fig. 5. Relationship among photosynthetic rate, leaf area, Spikelet number and percentage of ripened grains.

摘 要

耐肥性の異なる水稻品種について、登熟期における葉面当り光合成能力、乾物当り呼吸作用、葉面積、乾物生産、収量等のNに対する反応の差異を追求し、それが耐肥性とどのような関係にあるかを明らかにしようとした。主なる結果は次のごとくである。

1) 耐肥性の強い品種は多N条件下でも葉面当り光合成能力が高い傾向にある。反対に呼吸の強さ、葉面積は耐肥性の弱い品種ほど多Nによる増加が大きい。

2) 日射が不十分なときは耐肥性の強い品種の方が登熟期間中の乾物増加率の多Nによる増加が大きい。

3) さらにより一般的な問題として、日射が十分な場合には、登熟期間中の品種の乾物増加率、穂重のちがいの第一の決定要因は葉面当り光合成能力の大小である。

4) 品種の登熟歩合のちがいは、登熟期間中の平均葉面積と総エイ花数との積に対する平均葉面当り光合

成能力の比によつてほぼ決定される。

引用文献

1. 馬場赴・岩田岩保 1962. 耐肥性の概念と品種の生態. 育種学最近の進歩. 第3集: 66—76.
2. 松尾孝嶺 1952. 稲の種生態学的研究 農技研報告 D 3 号.
3. 村田吉男・長田明夫・猪山純一郎 1957. 水稻収量と光合成作用 農及園 32: 1292—1296.
4. 村田吉男・猪山純一郎・姫田正美・泉清一・河辺愛宏・神前芳信 1964. 水稻の深耕密植栽培における光合成と乾物生産に関する研究. 第2報 光合成能力と登熟との関係および総合考察. 作物学会第138回講演会講演要旨.
5. 長田明夫・村田吉男 1962. 水稻品種の光合成と耐肥性に関する研究. 第1報 中生品種の光合成と耐肥性との関係 日作紀 30: 220—223.

Studies on the Relationship between Photosynthesis and Varietal Adaptability for Heavy Manuring

3. Effects of photosynthetic characteristics on dry-matter-production and ripening of rice varieties.

Akio OSADA and Yoshio MURATA

(National Institute of Agricultural Sciences, Konosu, Saitama)

Summary

In ripening period, rate of photosynthesis per unit leaf area, respiratory activity, leaf area, dry-matter-production, grain yield and yield components of six rice varieties grown under different nitrogen levels were determined in reference to adaptability for heavy manuring. Results obtained are as follows:

(1) Under high nitrogen level, the rate of photosynthesis was greater in varieties more suitable for heavy manuring than in less suitable ones. On the other hand, the rate of increase in respiration and leaf area were greater in less ones.

(2) When solar radiation was scarce promotion of dry-matter-increase during ripening period by increasing supply of nitrogen was higher in suitable varieties.

(3) Further, as the more general characters of rice varieties : When solar radiation was not scarce, varietal difference in dry-matter-increase and panicle weight were governed mainly by photosynthetic activity.

(4) It was seen through all the varieties tested that the percentage of ripened grains was determined chiefly by the ratio of photosynthetic rate on unit leaf area to the product of leaf area and the number of total spikelets both on unit field area.