

第6図 収量

2 収量は第6図に示したように、窒素無施用区において、City Compost、生糞多量施用区で約10%の収量増加がみられる他は同じ窒素レベルでは有機物の効果はなく生糞少量区では負に働いている。窒素の施用効果は対照区、City Compost 区では75 kg/ha で頭打ちとなり、生糞多量区では窒素施肥効果は本試験に関する限り判然としなかった。予期に反して、有機物施用の収量に対する効果はかえって負になる結果が得られたが、この問題については、本年度、水管理との組合わせて継続する予定である。

3 有機物施用による土壌の物理・化学的な性質の

第3表 跡地の土壌の変化

	対照区	City Compost 区		生わら区	
		2t/ha	6t/ha	2t/ha	6t/ha
Fe(II) ppm	3586	3186	3588	3900	3726
NH ₄ -N ppm	43	57	64	68	76
水中沈定容積 (ml/g)	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7

変化を知るために、収穫後の土壌を採取し、風乾後流水し 30°C に 4 週間保温した場合の Fe(II)、NH₄-N 生成量および水中沈定容積を測定した結果を第3表に示した。Fe(II) 生成量は生糞施用区で若干高い値が得られたが、処理間に大きな差異は認められない。しかしながら、NH₄-N 生成量は Control に対して、City Compost、生糞施用区では明らかに高く、次期作付期間中における土壌窒素の有効化が期待される。水中沈定容積から推定される土壌の物理性の変化は殆んど全く認められなかった。

以上の結果から、本試験においては有機物施用による水稲増収の効果は City Compost 施用区で僅かに認められるにすぎず、生糞施用区ではむしろ減収の結果が得られた。また、跡地の理化学的性質の変化として、有機物施用による土壌窒素の有効化が期待された。

IR 8 の窒素反応と施肥方法

倉 島 健 児

東北農業試験場

駐在場所: International Rice Research Institute, Philippines

駐在期間: 1968年7月~1970年7月

国際稲作研究所 (IRRI) は1966年に IR 8 を育成して以来、IR 5 (1967), IR 20 (1969), IR 22 (1969) などを公表している。IR 8 に代表されるこれらの改良品種は草型で旧品種とは著しく異なり、短稈で耐倒伏性が強く収穫期まで直立葉を保ち、窒素の多施用によく反応し収量がきわめて高い^{1), 2)}。IRRI の研究報告によれば、IR 8 のもみ収量は出穂期の葉面積 (LAI) が6で最高となり、LAI 10まではほぼ一定である。従って収量に対する出穂期の最適葉面積がみられない^{3), 4)}。

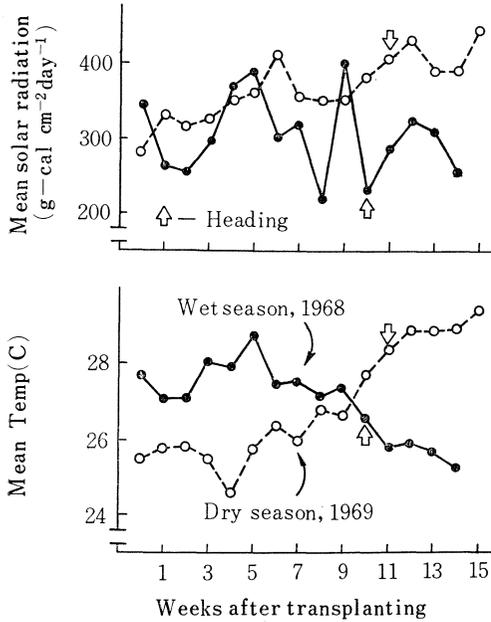
収量構成要素では稔実歩合、千粒重はもみ数に関係なくほぼ一定であり、収量はもみ数と密接な関係にあることが明らかにされている⁴⁾。一方施肥法に関しては、IR 8 に対する窒素の基肥施用効果は著しく大きい⁵⁾が、窒素の分割施用は、倒伏しやすい品種あるいは施用窒素の流亡しやすい土壌 (Coarse textured soil) においては効果がみられ、耐倒伏性の強い IR 8 では認められないとしている⁵⁾。

IRRI の圃場を用いて行なった試験は改良品種の施用窒素に対する反応を主として収量構成要素の面から解析し、収量の限定要因をさぐり、収量限定要因に対する窒素分施の効果をも、生理生態的に追求しようとし

た。品種は IR 8 を用いたが、一部試験で比較のために草型では旧品種に属するがやや耐倒伏性のある BPI-76-1 (フィリピンの改良種) を用いた。

IRRI 圃場の気象条件と土壌の性質

第一図は本試験での移植期から収穫期までの1968年



第1図 Temperature and solar radiation during the successive growth stages in 1968 wet and 1969 dry seasons.

Transplanting : Aug. 1, '68 and Jan. 11, '69
Harvest : Nov. 14, '68 and May 1, '69

雨季と1969年乾季における平均気温および日射量を示している。雨季に比べ乾季は初期低温で、出穂期以後は同じかむしろ高温となる。また日射量は乾季が出穂期まではわずかに高い程度であるが、出穂期以後は明らかに高い。

第1表 Chemical properties of the surface horizon of the Maahas clay, IRRI.

pH ^{a)}	Organic matter (%)	Total N (%)	P ^{b)} (ppm)	Cation exchange capacity (m.e./100g)	Exchangeable cations ^{c)} (m.e./100g)			
					Ca	Mg	Na	K
6.0	2.0	0.14	20	45	17.4	13.3	4.2	0.8

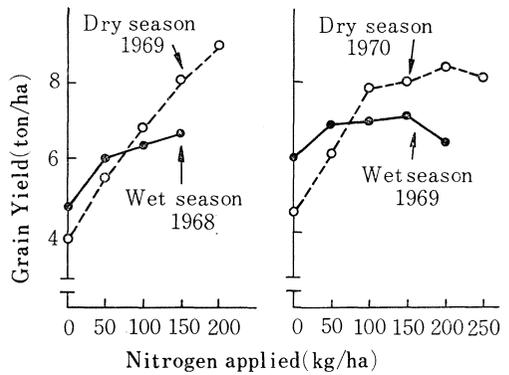
^{a)} 1 : 1, soil : water: ^{b)} Extracted with 0.02 N H₂SO₄: ^{c)} Extracted with neutral ammonium acetate and analyzed by flame spectrophotometer

表土は Moumorillonite を主体とする Maahas clay で、化学的性質は第一表に示した⁶⁾。

置換容量が大きく、塩基吸着力に富み、塩基は豊富である。磷酸、加里の施用効果はほとんどない³⁾。

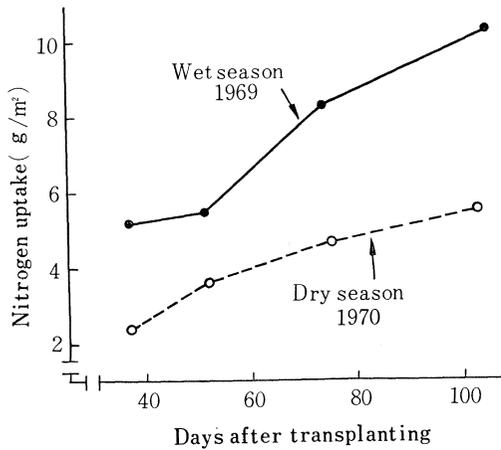
基肥施用窒素に対する IR 8 の反応

栽植密度を一定 (20×20 cm) にし、窒素施用量を 0~250kg/ha まで変え、基肥窒素量に対する IR 8 の反応を雨季と乾季に検討した。第2図に施用窒素量と収量の関係を示した。施用窒素の高いところでは明らかに乾季の収量が高く、日射量の相違にもとづくものと考えられる。



第2図 Effect of basally applied nitrogen on grain yield of IR 8 in wet and dry seasons

しかし、窒素0および50kg/ha区では乾季の収量が雨季に比べ劣っている。本試験では雨季に同一圃場を用いたが、無窒素区における水稻の乾物重は終始乾季で低く、第3図に示したように、N吸収量も乾季が低く経過している。雨季の方が乾季よりも LAI が大きいとの報告⁷⁾もあるが、おそらく両季の生育前期の温度差にもとづく、土壌の窒素供給力の差に原因していると考えられる。

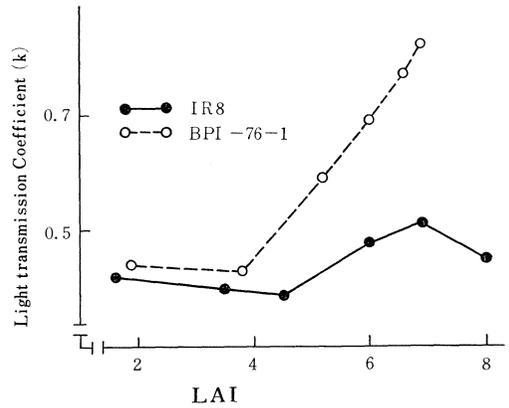


第3図 Nitrogen uptake by plant tops of IR 8 grown without added Nitrogen

また雨季よりも乾季で窒素施用適量が高いのは、乾季の高い日射量とともに土壌の窒素供給力が低いことも原因していると考えられる。第4図は出穂期のLAIと収量および収量構成要素を示している。

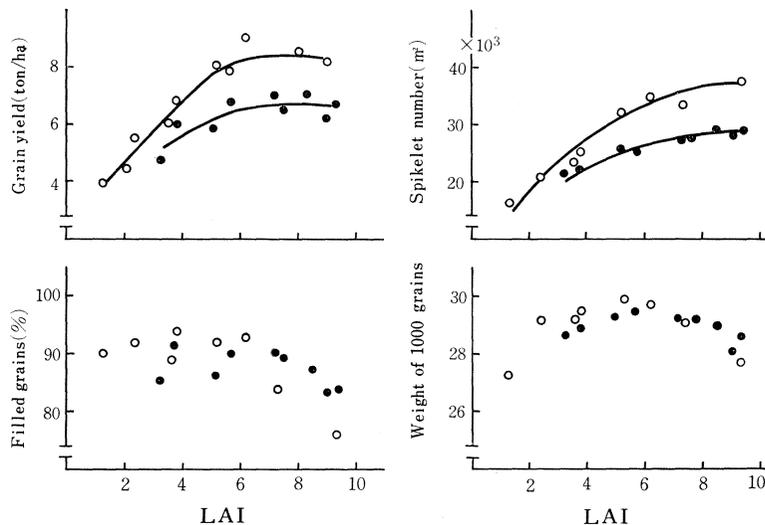
収量は LAI 6 で停滞し、LAI 10 までほとんど低下していない。IR 8 は LAI 10 をもつ群落でも葉の直立性を失わず、透光係数 (K) は低く (第5図)、耐倒伏性はきわめて強い (本試験では LAI 10 をもつ一部の区が収穫直前に倒伏した)。

また IR 8 の乾物生産には Critical LAI は存在するが最適 LAI は存在しないとの報告もあり³⁾、このよう



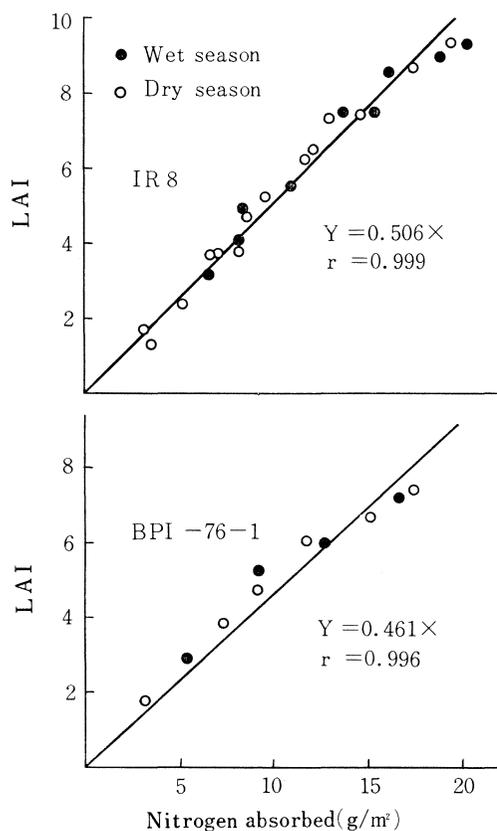
第5図 Relationship between LAI and Light transmission coefficient (k)

な生態的特性から、高 LAI でも高い収量を維持する。一方収量構成要素についてみると、もみ数は収量曲線とほとんど一致し、もみ数が収量の主たる決定要素であることを示している。稔実歩合、千粒重は両季でほとんど差がなく、LAI 8 以上でわずかに低下する傾向がある。このことは高 LAI での収量停滞には登熟も一部関係しているとみられ、また LAI 6 以上でももみ数が完全に停滞しているのではなく、わずかに増加していることを示している。村山氏は日本の東北と西南暖地の水稻について、葉身重ともみ数生産の能率が低く葉身重が 250~300g/m²、LAI 5~6 程度でももみ数増は横ばい状態になることを指適している⁸⁾。また



第4図 Relationship of LAI at heading to grain yield and yield components of IR 8

村田氏は LAI ともみ数の相関に温度が関係していることを指摘し、同じ LAI でも高温年よりも低温年でもみ数が大きかったとしている⁹⁾。このように本試験で IR 8 のもみ数が LAI 6 以上で停滞傾向を示し、BPI-76-1 も同一傾向にある(第11図)ことは高 LAI でのもみ数停滞が、高温にもとづく熱帯での一般的傾向であると考えられる。以上のことから IR 8 の収量限定要因は主としてもみ数であると考えられる。LAI と CGR の関係で CGR が LAI 6 以上で停滞すること、また LAI 8 以上で登熟度が低下することを考えると、LAI 6 ~ 8 でもみ数を増大させることが、収量向上のための手段であると考えられる。第 6 図は出穂期の LAI と N 吸収量との関係を示しているが、季節による差はなく、直線関係にある。出穂期の N 吸収量が 120kg/ha (LAI 6) 以上で収量は停滞し、もみ数も停滞傾向にある。



第 6 図 Nitrogen absorbed (g/m²)
Relationship between the amount of nitrogen absorbed up to heading and LAI at heading

栽植密度と収量の関係

1970年の乾季に IR 8 を用い、栽植密度を 10×10cm (100株/m²), 20×20cm (25株/m²), 30×30cm (11.1株/m²), 基肥窒素量を 0~250kg/ha の 5段階に変えて試験を行なった。

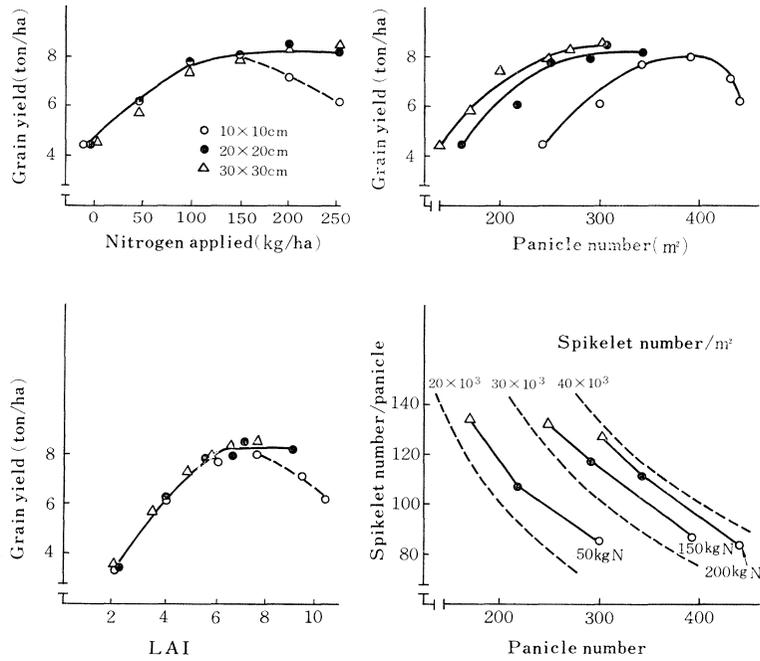
第 7 図に示したように、栽植密度 10×10cm で窒素 200, 250kg/ha の区は出穂後倒伏したため、収量は低下し、また窒素 150kg/ha 以下で 30×30cm の区の収量がわずかに劣っているが、全体として栽植密度による差は小さかった。また穂数と収量の関係は栽植密度によって異なり、最高収量は 250~400本/m² で得られた(第 7 図)。一方出穂期の LAI と収量は密接な関係にあり、収量は穂数よりも、出穂期の LAI によって決定されている(第 7 図)。また各窒素施用量で一穂もみ数は穂数増加で直線的に低下しており(第 7 図)収量に対する栽植密度の影響が小さいのは、もみ数が栽植密度によってほとんど変わらないことと対応している。第 8 図には N 施用量 50, 150, 250kg/ha の三区の幼形期から出穂期にかけての平均 LAI と CGR の関係を示した。

CGR 曲線は栽植密度によって異なり、疎植区が高い傾向にある。葉身の N 濃度は疎植区で高く、乾物生産は LAI のみでなく N 濃度とも関係していることを示している。LAI と収量の関係(第 7 図)で、高 LAI で疎植区の収量が密植区にわずかに優る傾向がみられたが、葉身の N 濃度の差にもとづくと考えられる。第 9 図には栽植密度と地上部の N 吸収経過との関係を示したが、疎植区ほど N 吸収が後期にわたっており茎数増加、葉面積の拡大経過と一致していた。しかし出穂期以後の N 吸収量は栽植密度に関係なくほとんど増加しなかった。

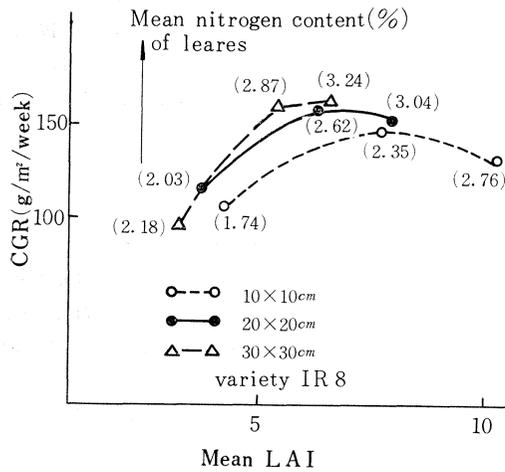
収量に対する窒素の分施時期の効果

1968年雨季と1969年乾季において、IR 8 および BPI-76-1 を用い窒素の分施時期について試験を行なった。栽植密度は 20×20cm, 窒素の施用量は雨季 100kg/ha, 乾季 150kg/ha, 施用方法は基肥と追肥に 50% ずつを施用し、追肥は出穂前 30日, 20日, 10日に施用した, 結果は第 10 図に示した。雨季では、IR 8 は 20日, 30日ともに効果がみられず、10日前では減収した。BPI-76-1 では 20日前で効果がみられ、30日, 10日前で効果が得られなかった。

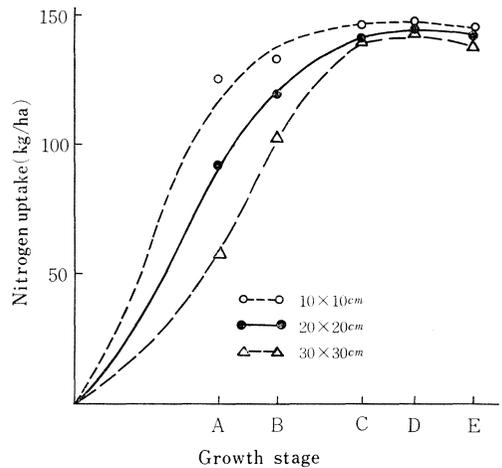
乾季では、IR 8 は 20日前施用で効果が高く、30日前では効果が小さく、10日前では効果がみられなかった。



第7図 Effect of spacing on grain yield and yield comports of IR 8 (1970 Dry Season)



第8図 Relationship between LAI and C.G.R. from panicle initiation to heading (1970 Dry Season)

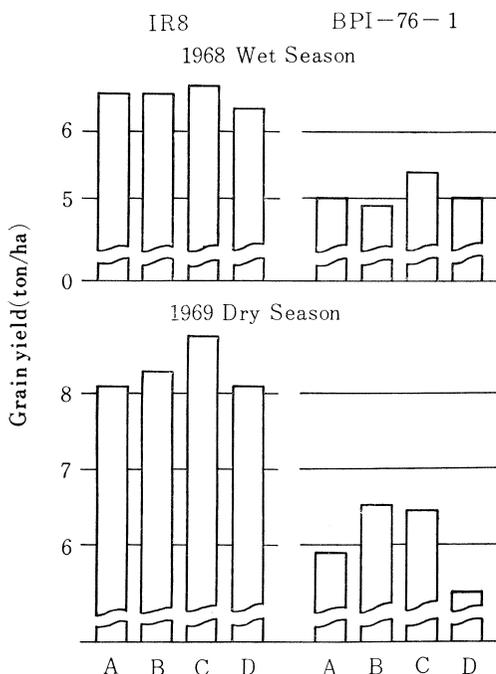


第9図 Nitrogen uptake by plant tops of IR 8 grown with different spacing
A : Tillering Stage, B : panicle ini. stage
C : Heading Stage, C : Milky Stage
D : Harvesting Stage (1970 Dry Season)

第2表 Effect of time of split application of nitrogen on yield component and nitrogen uptake^{a)} 1969 dry season

Basal	Nitrogen applied (kg/ha)			Grain yield at 14% moisture (kg/ha)	Panicles (no./m ²)	No. of spikelets (10 ³ /m ²)	Filled grains (%)	Weight of 1,000 grains (g)	Nitrogen uptake (g/m ²)
	Top dressed (days before heading)								
	30	20	10						
IR 8									
150	0	0	0	8018	257	31.7	91.9	29.6	9.6
75	75	0	0	8312	278	33.9	89.6	28.4	11.6
75	0	75	0	8817	280	34.8	88.0	28.8	11.7
75	0	0	75	8098	268	30.8	92.5	30.2	12.2
BPI-76-1									
100	0	0	0	5958	198	30.1	92.1	21.9	7.1
50	50	0	0	6541	225	35.5	90.4	20.2	9.6
50	0	50	0	6427	201	33.6	86.1	22.4	9.0
50	0	0	50	5371	178	26.0	97.6	22.9	9.2

a) Nitrogen absorbed up to heading stage



第10図 Comparison of basal application of nitrogen with split application at different times
 A: Basal application, B: Half the nitrogen applied basally and half 30 days before heading, C: Half applied basally and half 20 days before heading, D: Half applied basally and half 10 days before heading

BPI-76-1 では30日、20日前で効果がみられ、10日前で減収した。第2表には乾季での試験結果のうち収量構成要素と出穂期のN吸収量を示したが、分施効果はもみ数の増加と関連しており、10日前施用はもみ数を増大しなかった。従って10日前施用はもみ数増と結びつかず、分施効果は期待出来ない。また30日前施用は20日前施用と比べ下位の節間を伸長させ、下位葉を拡大し LAI を増大する傾向にあることを考慮すると、20日前施用が適当であると考えられた。熱帯でのインド型水稻の幼形期は出穂前18日頃であるとの報告¹⁰⁾があるが、本試験での出穂前20日もほぼ幼形期であった。

窒素施用量を変えた場合における窒素の分施効果

日本の各地で広く認められた窒素の分施効果は、分施によって施用窒素の利用率を向上させるというよりは、分施によって群落水稻の生育調整をするという事の方が水稻の生理、生態的観点から強調されている^{8), 11)}。第2表でみられるように、基肥区に比べ分施区のN吸収量が大きいことから、IR8のような窒素の反応性が高い品種では分施効果は単にN吸収量の増大にもとづいたものであるかも知れないとの疑問が生じた。それ故、1969年雨季と1970年乾季にN施用量を50~200kg/ha に変え、さらに窒素分施効果を検討した。追肥は出穂前20日に施用し、分施割合は基肥50%追肥

50%で行なった。第3表は IR 8 を用いた雨季の結果を示している。

第3表 Effect of split application of nitrogen on grain yield of IR 8 (1969 wet season)

Spacing (cm)	Applied N (kg/ha)	Grain yield (kg/ha) at 14% moisture	
		Basal application	Split application ^{a),b)}
20×20	50	6876	7115
	100	6996	7354
	150	7040	7440
10×10	50	6906	7575
	100	6667	7637
	150	5214 ^{c)}	7503

c. v. = 4.6%

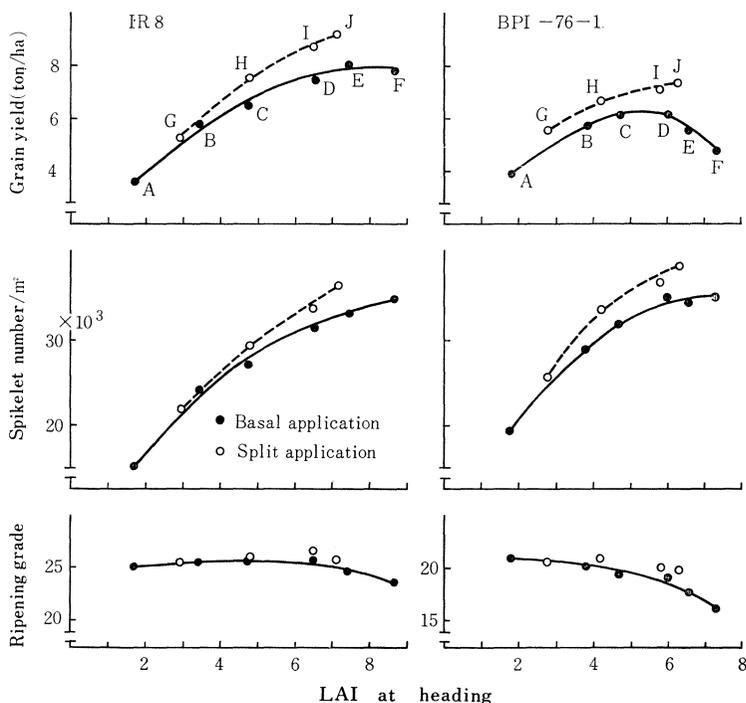
L. S. D. (0.05) = 515 (for N levels)

- a) Ratio of basal and top dressing; 50 and 50%
- b) Top dressing applied at 20 days before heading
- c) Lodged a week before harvest

20×20 cm 区では、統計的に有意ではなかったが、分施肥で高い傾向があり、10×10 cm区では分施肥の収量が明らかに高く有意であった。第11図は乾季の結果(栽植密度 20×20 cm)を示している。

50kg/ha 区を除き IR 8, BPI-76-1 両品種で10~15%の分施肥効果がみられ統計的に有意であった。50kg/ha 区で効果がみられなかったが、対照区と比べ穂数で著しく劣り、N吸収量で劣っていた。おそらく乾季では地力Nの供給が少いこととあいまって、50 kg/ha の追肥区は基肥区に比べ初期生育が悪く、茎数が劣り、穂数減となって増収しなかったものと考えられる。一方分施肥の効果を収量構成要素からみると、もみ数に対する効果が大きく、登熟度では IR 8 は稔実歩合に、BPI-76-1 では稔実歩合、千粒重にわずかに効果がみられた。第4表には乾季での密植区(10×10cm)における IR 8 の分施肥効果を示したが、効果は主としてもみ数増にあった。

両季節で分施肥は基肥区に比べ出穂期の N 濃度は高く、LAI は小さい傾向があった。



第11図 Effect of split application of nitrogen on grain yield and yield components (1970 Dry season)

- A : 0kg/ha B : 50kg/ha C : 100kg/ha D : 150kg/ha
- E : 200kg/ha F : 250kg/ha G : 25+25kg/ha H : 50+50kg/ha
- I : 75+75kg/ha J : 100+100kg/ha

第4表 Effect of split application of nitrogen on grain yield^{a)} and yield component of IR 8 in close spacing^{b)} (1970 dry season)

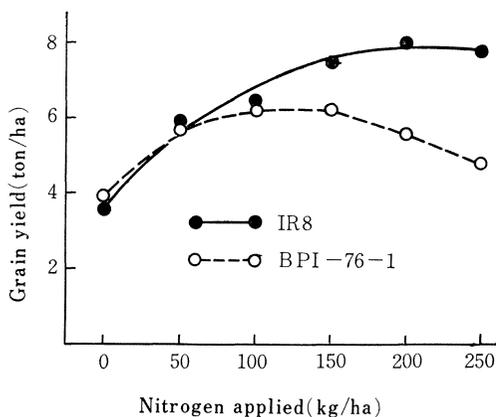
Applied nitrogen (kg/ha)	Top-dressed	Grain yield at 14% moisture		No. of spikelets (10 ³ /m ²)	Filled grains (%)	Weight of 1,000 grains (g)
		(kg/ha)	Panicles (no./m ²)			
100	0	7706	352	33.1	87.1	28.4
150	0	8034	396	34.5	86.6	29.1
200	0	7117 ^{c)}	430	35.4	80.8	28.7
100	100	9134	378	38.2	84.2	29.4

a) c. v. = 5.6% L.S.D. (0.05) = 754 (for grain yield)

b) 10 × 10 cm spacing

c) Lodged a week before harvest

以上分施効果は雨季よりも乾季で、窒素施用量の多い段階で、また、密植区で大きかった。草型の異なる IR 8, BPI-76-1 両品種で分施効果が認められたことは、その効果が耐倒伏、葉の直立性維持等草姿の改善ばかりでなく、葉身のN濃度と関連した生理的効果を示している。第12図には基肥施用量に対する IR 8 と BPI-76-1 の収量を示したが、改良品種の高収量は窒素施用量の多いところで得られ、施用量の少ない段階では旧型品種に必ずしも勝るものではないことを示している。



第12図 Effect of basally applied nitrogen on grain yield of IR 8 and BPI-76-1 (1970, Dry Season)

要 約

改良品種 IR 8 の基肥施用窒素および栽植密度に対する反応において、そのもみ収量と穂数との相関は小

さく、葉面積 (LAI) と密接な関係にあり、出穂期の LAI によりほぼ決定されている。即ち約 LAI 6 で最高収量となり、LAI 10 までほとんど低下しない。但し、密植区 (10 × 10 cm) は LAI 9~11 で登熟後半に倒伏し、収量は低下した。これを収量構成要素からみると、もみ収量は面積当りもみ数と相関高く、もみ数が主要な収量限定要因であり、稔実歩合、千粒重は主要な収量限定要因ではなかった。また旧型品種 BPI-76-1 では、もみ収量は LAI 4~5 で停滞し、LAI 6 以上で低下した。これは主として出穂後の倒伏による稔実歩合、千粒重の低下によるが、高 LAI でもみ数が停滞することも大きな収量限定要因であると考えられた。一方幼形期での窒素分施は IR 8, BPI-76-1 の両品種で面積当りもみ数を増大し、葉身の窒素濃度を高め (BPI-76-1 では倒伏をおくらせた)、出穂後のもみでん粉の生産を高めて、もみ収量を 10~15% 増収した。しかし分施効果は窒素施用量の高い段階で大きく、雨季よりも乾季で、また密植区 (10 × 10 cm) で大きかった。

窒素分施の効果を出穂期の LAI ともみ収量の関係でみると (第11図)、同じ LAI で分施区が基肥区より収量が高い。このことは IR 8 の収量が LAI の量とともに、葉身のN濃度で示される LAI の質によっても異なることを示している。

参 考 文 献

- 1) IRRI: The IRRI Reporter. 2 (5), (1966).
- 2) IRRI: The IRRI Reporter. 6 (1), (1970).
- 3) IRRI: Annual Report for 1968. (1970).

- 4) IRRI: Annual Report for 1969. (1970).
- 5) De Datta, S.K.: Rice Production Manual. The University of the Philippines. P. 110 (1970).
- (6) IRRI: Annual Report for 1965. (1966).
- 7) Tanaka, A. et al.: IRRI Technical Bulletin 3. P. 67 (1964).
- 8) 村山 登: 農業技術 24 (5~8) (1969).
- 9) Murata, Y.: Physiological Aspect of Crop Yield. American Society of Agronomy, Madison, Wis. P.253 (1969).
- 10) 太田保夫: 東南アジアの稲作, 日本作物学会紀事 (特別号) P.186 (1968).
- 11) 松島省三: 農業および園芸. 42 (1), (1967).

熱帯における水稻の光合成能力の品種間差異

大 野 芳 和

熱帯農業研究センター

駐 在 場 所: International Rice Research Institute, Philippines.

駐 在 期 間: 1970年11月~1972年11月

研究協力者: 吉田昌一

高収量を目標とする水稻の品種改良において用いられて来た生理的にみた基準は倒伏しないために短稈であって, 受光能率を高めるために直立した葉身をもつこと, さらに多量の窒素施用によってもこの基準が実現されることである。japonica 稲で確立した概念は熱帯の indica 稲においても IR 8 以来実証されて来た。より高収品種を目的とするために, このような形態的な改良に加えて機能的な改良の基準として水稻の光合成能力の大小を用いることが可能であろうか。

トウモロコシ, 甘蔗, 大豆, phaseolus vulgaris などでは光合成能力の品種差異は明瞭に認められ, とくにトウモロコシでは, 雑種強勢の F₁ に両親よりも著しく高い光合成能力をもつものが生じることが認められている。また甘蔗, トウモロコシでは単葉の光合成能力と乾物生産あるいは収量との間に正の相関がみとめられるものがある。japonica 稲の場合には光合成能力の品種間差異はかならずしも明瞭ではなく, 研究例が極めて少ない。上記の作物に光合成能力の品種間差異が存在すること, indica 稲は世界中に分布し, しかも改良が進んでいないので, japonica 稲に比較して多様な遺伝子が含まれている可能性が大きいことなどから, indica 稲の光合成能力に品種間差異のあることが充分期待される。事実 IRRI 吉田昌一らの予備的な実験によってこの差異が指摘されている。

さて, 光合成能力の高い品種を得るために, 我々は第1段階として, このような品種をスクリーニングし

なければならず, そのためには先ずスクリーニングの方法を確立する必要がある。

さしあたって次の2点を中心にスクリーニングを試みる予定である。

1) 生長解析—分けつ期における孤立個体の NAR, LAR および RGR を指標とする。

2) 単葉の CO₂ 固定の大きいものを選別する。——CO₂ ガス分析計によって安定した測定値が得られる方法の確立。

光合成能力の品種間差異が CO₂ 固定量と生産指標によってどのように表現されるかを検討する。

次の段階において光合成能力の品種間差異を生ずる生理的な要因を検討する。

現在 IRRI に保存されている水稻の約1万種のワールドコレクションから改良の進んでいない品種のうち生長の旺盛なものと考えられる形質をもつもの約300種を分類抽出して生長解析を行なっている。予備的な実験では① NAR が大きく, RGR も大きい品種群, ② NAR は大きくないが RGR の大きい品種群, ③ NAR も RGR も大きくない品種群に分類される。約300品種から NAR が平均値より30~100% 高い25品種が見いだされており, 現在これらの事実の再確認を行なっている。さらに一定の条件の各種の形質をもつ品種をコンピューターで分類抽出して組織的, 網羅的に調査する予定である。

このような研究には熱帯では殆んど一年中稲の栽培が可能であって, とくに IRRI には水稻のワールドコレクションが用意されており, しかも1万余種の一般的な形質のデータが目録されているので場所を得た研究課題であると考えられる。