

## 中国産日本型水稻 9004 系統の多収要因の解析

### 第3報 窒素施用時期並びに施用量が収量成立に及ぼす影響

王 余龍・山本由徳\*・蔣 軍民  
姚 友礼・蔡 建中・新田洋司\*

(中国揚州大学農学院・\*高知大学農学部)

1996年2月13日受理

**要旨:**近年、中国で育成された穂重型多収性水稻もち系統 9004 (日本型稲) に対する、窒素施用時期 [分げつ始期 (分げつ肥), 穎花分化期 (穂肥 I), 同退化期 (穂肥 II) および出穂期 (実肥)] の単独時期または分げつ始期を含む 2~4 時期を組み合わせた時期に施用 (施用量は 7.5~30 gN/m<sup>2</sup>) し、籾数および物質生産に着目して収量成立に及ぼす窒素施用の影響について解析した。1) 各処理区の精籾収量は 804~1081 g/m<sup>2</sup> で、m<sup>2</sup> 当たり籾数 3.14~5.06 万粒、登熟歩合 79.6~93.7%, 精籾千粒重 25.2~29.0 g の範囲にあった。2) 分げつ肥の施用は穂数の、穂肥 II の施用は穂数と 1 穂籾数による m<sup>2</sup> 当たり籾数の増加により増収となった。実肥の施用は出穂前の窒素施用量の少ない場合にのみ登熟歩合および精籾千粒重の増加により増収となった。また、窒素施用量の増加に伴い収量は増加する傾向がみられたが、窒素施用量が同一水準での増収程度は、穂肥 I > 穂肥 II > 分げつ肥 > 実肥の順で認められた。3) 収量は m<sup>2</sup> 当たり籾数と登熟期間の乾物生産量に支配され、m<sup>2</sup> 当たり籾数は穂首分化期~出穂期までの窒素吸収量により決定される 1 穂籾数と、登熟期間の乾物生産量は登熟期間の平均葉面積指数と窒素吸収量、m<sup>2</sup> 当たり籾数と密接な関係を示した。4) 以上より、中国で育成された穂重型多収性品種である 9004 系統では、籾数確保のために幼穂分化期~出穂期までの窒素の吸収量の増大が必要であり、さらに多収獲を実現するためには、出穂期前の乾物蓄積量と出穂期後の乾物生産量を高めて、籾 1 粒当たりの乾物分配量を増加することが必要と思われた。

**キーワード:** 乾物生産, 収量, 収量構成要素, 水稻, 窒素吸収量, 窒素施用時期, 窒素施用量, 籾数生産効率。

**Analysis of the Factors of High Yielding Ability for a Japonica Type Rice Line, 9004, Bred in China III.** The effects of stage and amount of nitrogen application on yield formation: Yulong WANG, Yoshinori YAMAMOTO\*, Junmin JIANG, Youli YAO, Jianzhong CAI and Youji NITTA\* (*Agricultural College, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China; \*Faculty of Agriculture, Kochi University, Nankoku, Kochi 783, Japan*)

**Abstract:** Japonica type rice line 9004, high yielding glutinous rice developed in Jiangsu Province, China, was cultivated with and without nitrogen at early tillering (ETS), spikelet differentiation (PFS I), spikelet degeneration (PFS II) or heading (HS) stage, and including ETS in stages 2-4, to analyze the effects of application stages and amounts (0-30.0gN/m<sup>2</sup>) of nitrogen on yield formation. 1) Winnouwed paddy yield ranged from 804 to 1081g/m<sup>2</sup>, and the ranges for number of spikelets, percentage of ripened grains and 1000 kernel weight were 3.14-5.06 × 10<sup>4</sup>/m<sup>2</sup>, 79.6-93.7% and 25.2-29.0g, respectively. 2) The yields in ETS, PFS I and II plots were increased due to an increased number of spikelets per area owing to the increase in the number of panicles and spikelets per panicle, respectively. The yield in HS plot increased due to an increased percentage of ripened grains and 1000 kernel weight when less nitrogen was applied before heading. Higher yields were obtained in those plots to which a higher amount of nitrogen was applied, and the increasing trend was PFS I > PFS II > ETS > HS. 3) Yield was affected by the number of spikelets per area and dry matter production during the ripening period. The number of spikelets per area had a significant correlation to the number of grains per panicle, and the dry matter production during the ripening period also had a significant correlation to LAI, the amount of absorbed nitrogen and the number of spikelets per area. 4) The results mentioned above suggest that the increments of nitrogen absorption from the panicle initiation stage to heading and dry matter accumulation before and after heading play very important roles to ensure the number of spikelets per area and the dry matter distributed for each spikelet, respectively, in the panicle weight type variety bred in China recently.

**Key words:** Amount of absorbed nitrogen, Amount of nitrogen application, Dry matter production, Efficiency of spikelet production, Rice, Stage of nitrogen application, Yield, Yiled components.

近年、中国で育成された多収性のハイブリッドライスや普通品種は、1 穂籾数が 150~200 粒と多く、m<sup>2</sup> 当たり 4~5 万粒の籾数の確保が容易であり、収

量への籾数の寄与するところが大きいとされている。前報<sup>19,20)</sup>では、これらの品種の一つである穂重型多収性水稻もち系統 9004 (日本型普通品種、

江蘇省で育成)を、江蘇省とほぼ緯度の等しい高知大学農学部附属農場水田において栽培したところ、 $\text{m}^2$  当たり籾数は2.7~3.4万粒で、対照品種とした穂重型日本稲うるち品種コガネマサリと同一水準となった。この原因としては、江蘇省における多収穫栽培技術を適用し、目標茎数(380~400本/ $\text{m}^2$ )確保後の約1カ月間にわたって中干しを実施したために、灌漑水の縦浸透量が増加し、中干し後に施用した穂肥の肥効が十分に発現しなかったことが考えられた。このことは、9004系統では、その特性である1穂籾数を増加し、多収穫を実現する上で穂肥窒素要求量が日本の一般品種と比べ多いことを示唆している。

単位面積当たり籾数を構成する穂数および1穂籾数は、栽培条件の中では特に窒素施用時期および施用量に強く支配されることはよく知られており<sup>5,17)</sup>、単位面積当たり籾数は出穂期までの窒素吸収量の多少と密接に関係することが報告されている<sup>8,17)</sup>。しかし、従来の日本の穂重型品種などに比べても1穂籾数の多い、近年、中国で育成された穂重型多収性品種に対する窒素施用時期と施用量が各生育時期の窒素吸収量とそれを通しての籾数生産、物質生産に及ぼす影響について詳細に検討した報告はほとんどない。そこで穂重型多収性水稻もち系統9004(日本型稲)を供試して、窒素施用時期と施用量を組み合わせた計10処理区を設け、異なる生育時期の窒素吸収量と籾数生産および乾物生産量に着目して、9004系統の収量成立に及ぼす窒素施肥の影響について検討した。

### 材料と方法

1993年、揚州大学農学院附属実験農場で試験を行った。穂重型多収性水稻もち系統9004(日本型稲)を供試した。 $\text{m}^2$  当たり乾籾換算で30gの催芽籾を5月7日に播種し、折衷苗代で育苗した。葉齢7.5の苗(平均分けつ2.1本)を6月8日に $\text{m}^2$  当たり30株、株当たり2本植で手植えた。基肥としては $\text{m}^2$  当たり分量でリン酸(過リン酸石灰)6g、カリ(塩化カリ)7.5gのみを施用した。試験区の構成は第1表に示したとおりであり、窒素(尿素)を分けつ肥(6月13日、移植後5日施用)、穂肥I(7月26日、出穂前30日施用)、穂肥II(8月4日、出穂前20日施用)あるいは実肥(8月24日、出穂期施用)として、 $\text{m}^2$  当たり分量で7.5g施用する区を設けた。また、これらの他に分けつ肥と

穂肥I、穂肥IIまたは実肥とを組み合わせる区(分量は合計15.0gN/ $\text{m}^2$ )、分けつ肥、穂肥IとII、およびこれに実肥を加えて施用する区(同22.5gおよび30.0gN/ $\text{m}^2$ )と無窒素施用区の合計10処理区を設けた。1試験区の面積は18 $\text{m}^2$ (3×6m)で、各4反復で実施した。供試水田は1956年以来の2毛作(小麦-水稻)水田で、腐植質の含有率が約1.5%の砂質埴土である。水管理として、分けつ肥のみ施用区の茎数が目標穂数(320本/ $\text{m}^2$ )前後に達した7月1日から8月1日にかけて、葉面積拡大と無効分けつ抑制、根の生長の促進と根の活力の低下を防止するために、週1回走り水をかける程度の中干しをした。その後、成熟期前1週間までは間断灌漑とした。病害虫の防除は農薬散布により適宜行い、雑草は手取り除草した。

以上の各試験区について、移植後、処理区毎に20株について定期的に茎数を調査した。移植期(6月8日)、目標茎数期(7月1日)、穂首分化期(7月25日、穂肥Iの施用の前日)、出穂期(8月24日)および成熟期(10月15日)に処理区毎に100株の茎数を調査し、この平均値に近い株を8株(4反復で32株)抜き取り、根についている土を洗い流した後、茎数と草丈を測定し、これらの平均値に近い1株を選び、自動面積計で葉面積を測定した。葉面積を測定した1株と残り31株を95°Cで1時間、75°Cで72時間以上通風乾燥の後、その葉身、稈+葉鞘、穂、枯死部別に分け乾物重を測定した。株当たり平均葉面積は、部位別の乾物重を測定した32株の平均葉身乾物重に、葉面積を測定した株の比葉面積を乗じて求めた。葉面積指数は株当たり平均葉面積に栽植密度を乗じて算出した。上述した各生育時期の乾物試料を粉碎し、セミ・マイクロケルダール法で全窒素を測定した。

成熟期には収量構成要素を調査するために、各試験区から100株(4反復で計400株)の茎数を調査し、この平均値に近い8株(4反復で32株)を抜き取り、十分に風乾した後、常法<sup>9)</sup>に従って収量構成要素(ただし、登熟歩合測定の比重は1.00とし、千粒重は精籾千粒重とした)を測定した。そして、それらの積によって株当たり平均収量を算出し、さらに栽植密度との積により $\text{m}^2$  当たりの収量(精籾の水分含量は15%に補正)を算出した。

結 果

1. 収量および収量構成要素

各処理区の収量および収量構成要素を第1表に示した。なお、各処理区の最終草丈は95.2~105.5 cm, 稈長は75.5~84.3 cmの範囲にあり, 窒素の施用時期との関連では穂肥I>穂肥II>分けつ肥>実肥の順に長くなる傾向が見られた。分けつ肥区(A区)は, 窒素無施用区(ON区)に比べて穂数は有意に増加したが, 1穂粒数, 登熟歩合および精粒千粒重への影響は小さく, 収量の増加は穂数の増加によるm<sup>2</sup>当たり粒数の増加の基づくものであった。

穂肥Iの施用区(B区, A+B区)は, それぞれON区, A区に比べて, 穂数と1穂粒数とも有意に増加したが, 登熟歩合と精粒千粒重は著しく低下した。しかし, m<sup>2</sup>当たり粒数の増加程度は登熟歩合と精粒千粒重の低下程度より大きかったため, 収量は有意に増加した。穂肥IIの施用区(C区, A+C区)は, それぞれON区, A区に比べて, 穂肥Iの施用と同様に, 穂数と1穂粒数およびm<sup>2</sup>当たり粒数を有意に増加したが, 登熟歩合は低下し, 精粒千粒重についてはC区では増加したが, A+C区では低下した。また, 収量は両区とも有意に増加した。分けつ肥と穂肥Iとも施用した場合には, 穂肥IIの施用区(A+B+C区)は無施用区(A+B区)に比べて, 穂数の差は小さかったが, 1穂粒数の増加によりm<sup>2</sup>当たり粒数は有意に増加した。また, 登熟歩合と精粒千粒重の低下程度が小さく, 収量は

有意に増加した。そして, 穂肥I, IIの施用による1穂粒数の増加は, 主に2次枝梗粒の増加によってもたらされた(第1表)。

実肥のみ施用した場合(D区)には, ON区に比べて登熟歩合と精粒千粒重ともに有意に増加し, それらに伴って収量も増加したが, 窒素施用量が同一水準(7.5 g/m<sup>2</sup>)でのA区, B区, C区に比べて, 収量の増加程度は明らかに小さかった。分けつ肥とあわせて実肥を施用した場合(A+D区)には, A区に比べて登熟歩合が有意に増加し, それに伴って増収した。しかし, 窒素施用量が同一水準(15 gN/m<sup>2</sup>)でのA+B区に比べて, 収量の増加程度は明らかに小さかった。分けつ肥+穂肥I+穂肥IIの施用の場合(A+B+C区)には, 実肥施用(A+B+C+D区)により登熟歩合は有意に低下し, 精粒千粒重もやや低下したことにより, 収量も有意に低下した。これらより, 実肥の施用が収量に及ぼす影響は出穂前の窒素施用量によって異なり, 窒素施用量が少ない場合には登熟歩合および精粒千粒重の増加により明らかに増収するが, 窒素施用量が多い場合には, 登熟歩合と精粒千粒重ともに低下し, 著しく減収することがわかった。

収量構成要素と収量との関係を見ると, 収量とm<sup>2</sup>当たり粒数との間には0.1%水準で有意な正の相関(r=0.878\*\*\*)が認められ, m<sup>2</sup>当たり粒数が多い区ほど収量が高かった。m<sup>2</sup>当たり粒数と穂数(r=0.741\*\*\*)および1穂粒数(r=0.895\*\*\*)とはいずれも0.1%水準で有意な正の相関が認められたが, 1穂粒数との相関係数は穂数より明らかに高

第1表 窒素施用時期と施用量が収量および収量構成要素に及ぼす影響

処理区*	穂数 (本/m <sup>2</sup> )	1穂粒数 (個)	登熟歩合 (%)	精粒千粒重** (g)	面積当たり粒数 (個/m <sup>2</sup> )	精粒収量 (g/m <sup>2</sup> )
窒素無施用 (ON)	284	110.9 (46.2)	90.9	28.1	31499	804
分けつ肥 (A)	319	110.2 (47.4)	89.8	28.4	35195	897
穂肥 I (B)	298	142.2 (56.0)	83.8	26.1	42349	927
穂肥 II (C)	304	120.7 (50.6)	87.2	28.7	36712	918
実肥 (D)	282	111.2 (47.5)	93.7	29.0	31366	852
A+B	330	137.1 (55.9)	86.2	25.9	45214	1008
A+C	332	119.3 (50.8)	88.1	27.8	39589	968
A+D	328	111.1 (47.6)	92.3	28.3	36422	950
A+B+C	340	146.0 (57.1)	84.7	25.7	49703	1081
A+B+C+D	339	149.1 (57.2)	79.6	25.2	50601	1015
LSD (0.05)***	12	7.2	1.9	0.6	3221	48

\* : A, B, C, D の窒素施用時期はそれぞれ移植後5日, 出穂前30日, 20日と出穂期であり, 窒素施用量はいずれも7.5 g/m<sup>2</sup>である。 \*\* : 含水率15%に補正。 \*\*\* : 各処理間のLSD (0.05)を示す。

( )内の数値は1穂粒数に占める2次枝梗粒の割合(%)。

第2表 窒素施用時期と施用量が生育各期の地上部の乾物生産に及ぼす影響

処理区*	分けつ期間 (移植期～穂首分化期)				幼穂形成期間 (穂首分化期～出穂期)				登熟期間 (出穂期～成熟期)			
	$\Delta$ DW**	CGR**	$\overline{\text{LAI}}$ **	NAR**	$\Delta$ DW	CGR	$\overline{\text{LAI}}$	NAR	$\Delta$ DW	CGR	$\overline{\text{LAI}}$	NAR
窒素無施用 (ON)	404	8.79	1.13	7.77	577	19.23	3.06	6.29	529	10.59	2.50	4.24
分けつ肥 (A)	528	11.49	1.70	6.76	626	20.87	3.91	5.33	587	11.74	2.86	4.10
穂肥 I (B)	368	8.00	1.03	7.76	704	23.46	3.40	6.90	669	13.38	3.40	3.93
穂肥 II (C)	394	8.57	1.15	7.47	682	22.75	3.30	6.89	626	12.51	2.93	4.27
実肥 (D)	371	8.07	1.08	7.52	601	20.03	3.00	6.67	542	10.84	2.54	4.26
A+B	523	11.36	1.61	7.04	700	23.34	4.26	5.48	671	13.41	3.64	3.69
A+C	523	11.38	1.59	7.16	689	22.95	3.96	5.79	642	12.85	3.21	4.00
A+D	512	11.13	1.60	6.96	671	22.36	3.87	5.78	602	12.06	3.01	4.00
A+B+C	532	11.57	1.63	7.12	748	24.92	4.51	5.53	721	14.42	4.18	3.45
A+B+C+D	533	11.59	1.64	7.06	743	24.78	4.57	5.43	694	13.89	4.17	3.33
LSD (0.05)***	34	0.75	0.12	0.17	46	1.53	0.25	0.39	45	0.90	0.29	0.26

\*, \*\*\*: 第1表参照. \*\* $\Delta$ DW: 乾物生産量 ( $\text{g m}^{-2}$ ), CGR: 個体群生長速度 ( $\text{g m}^{-2} \text{日}^{-1}$ ),  
 $\overline{\text{LAI}}$ : 平均葉面積指数, NAR: 純同化率 ( $\text{g m}^{-2} \text{日}^{-1}$ ).

第3表 窒素施用時期と施用量が籾重増加量の構成, もみわら比および籾数生産効率に及ぼす影響

処理区*	籾重増加量 ( $\text{g m}^{-2}$ , A)	登熟期間乾物 生産量 ( $\text{g m}^{-2}$ )	貯蔵物質移行量** ( $\text{g m}^{-2}$ , B)	B/A (%)	もみわら比	籾数生産効率**** (個 $\text{gN}^{-1}$ )
窒素無施用 (ON)	684 (21.7)	529 (16.8)	154 (4.9)	22.5	0.88	2805
分けつ肥 (A)	763 (21.7)	587 (16.7)	176 (5.0)	23.0	0.82	2634
穂肥 I (B)	788 (18.6)	669 (15.8)	119 (2.8)	15.1	0.89	2883
穂肥 II (C)	780 (21.3)	626 (17.0)	155 (4.2)	19.8	0.90	2527
実肥 (D)	724 (23.1)	542 (17.3)	182 (5.8)	25.1	0.97	2828
A+B	857 (19.0)	671 (14.8)	186 (4.1)	21.7	0.88	2540
A+C	823 (20.8)	642 (16.2)	181 (4.6)	22.0	0.85	2237
A+D	807 (22.2)	602 (16.6)	204 (5.6)	25.3	0.87	2505
A+B+C	919 (18.5)	721 (14.5)	198 (4.0)	21.5	0.91	2548
A+B+C+D	863 (17.1)	694 (13.7)	168 (3.3)	19.5	0.84	2590
LSD (0.05)***	41 (0.8)	45 (0.8)	23 (0.7)	2.9	0.03	221

\*, \*\*\*: 第1表参照. \*\*: 登熟期間の茎葉乾物重減少量. \*\*\*\*: 出穂期の  $\text{m}^2$  当たりの窒素吸収量に対する籾数の比. ( ) 内の数値は籾1粒当たりの乾物分配量 (mg).

かった。

## 2. 乾物生産と収量成立

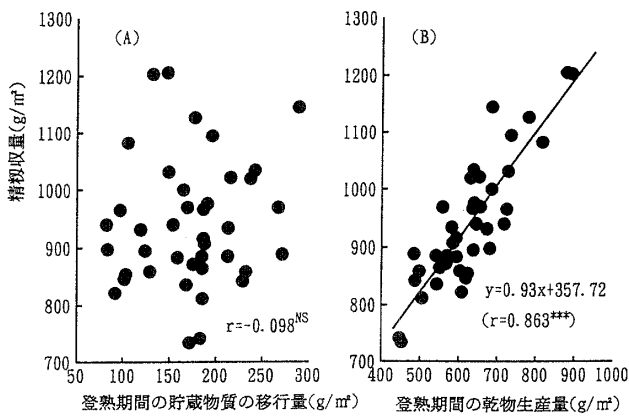
移植期～穂首分化期 (以下, 分けつ期間と称する), 穂首分化期～出穂期 (以下, 幼穂形成期間と称する) および出穂期～成熟期 (以下, 登熟期間と称する) の地上部の乾物生産量, 個体群生長速度 (CGR), 平均葉面積指数 ( $\overline{\text{LAI}}$ ), 純同化率 (NAR) を第2表に示した. 分けつ肥の施用区 (A区) では ON区に比べて, いずれの生育時期の乾物生産量とも  $\overline{\text{LAI}}$  の増大により大きかった (第2表). 穂肥 I の施用区 (B区, A+B区) は, それぞれ ON区, A区に比べて, 分けつ期間の乾物生産量に及ぼす影響はみられなかったが, 幼穂形成期

間では  $\overline{\text{LAI}}$  と NAR の増大により, 登熟期間では  $\overline{\text{LAI}}$  の増大により乾物生産量が明らかに向上した. 穂肥 II の施用区 (C区, A+C区) は, それぞれ ON区, A区に比べて, 穂肥 I の施用と同様に分けつ期間の乾物生産量に及ぼす影響はみられず, 幼穂形成期間では  $\overline{\text{LAI}}$  と NAR の増大により, 登熟期間では主に  $\overline{\text{LAI}}$  の増大により乾物生産量が明らかに増加した. しかし, これら両期間の乾物生産量は窒素施用量が同一水準 ( $7.5 \text{ gN/m}^2$ ) での B区より少なかった. 分けつ肥と穂肥 I とともに施用した場合 (A+B区) には, 穂肥 II の施用 (A+B+C区) により幼穂形成期間と登熟期間の乾物生産量が  $\overline{\text{LAI}}$  の増大により増加した. 実肥の施用区 (D区,

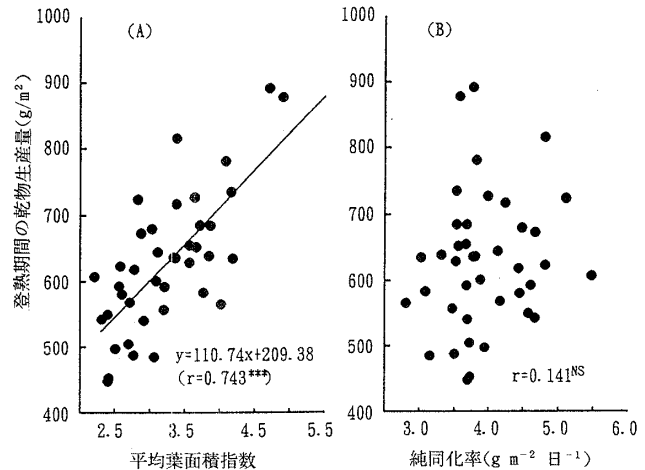
第4表 窒素施用時期と施用量が生育各期の地上部の窒素含有率および窒素吸収量に及ぼす影響

処理区*	穂首分化期		出穂期		成熟期	
	窒素含有率 (%)	窒素吸収量 (g/m <sup>2</sup> )	窒素含有率 (%)	窒素吸収量 (g/m <sup>2</sup> )	窒素含有率 (%)	窒素吸収量 (g/m <sup>2</sup> )
窒素無施用 (ON)	1.56	6.30 (42.0)	1.15	11.23 (74.9)	0.99	14.99 (100)
分けつ肥 (A)	1.72	9.07 (51.4)	1.16	13.36 (75.7)	1.01	17.64 (100)
穂肥 I (B)	1.55	5.70 (30.7)	1.37	14.69 (79.1)	1.07	18.58 (100)
穂肥 II (C)	1.63	6.43 (34.1)	1.35	14.53 (77.1)	1.11	18.84 (100)
実肥 (D)	1.59	5.89 (34.6)	1.14	11.09 (65.2)	1.12	17.01 (100)
A+B	1.72	8.99 (39.9)	1.46	17.80 (79.0)	1.19	22.54 (100)
A+C	1.69	8.82 (39.6)	1.46	17.70 (79.4)	1.20	22.30 (100)
A+D	1.70	8.68 (46.6)	1.23	14.54 (78.0)	1.04	18.63 (100)
A+B+C	1.68	8.93 (35.6)	1.53	19.51 (77.8)	1.25	25.07 (100)
A+B+C+D	1.66	8.87 (34.9)	1.53	19.54 (76.8)	1.29	25.45 (100)
LSD (0.05)***	0.04	0.66	0.07	1.45	0.05	1.74

\*, \*\*\*: 第1表参照。( ) 内の数値は成熟期の窒素吸収量に対する割合 (%)。



第1図 登熟期間の貯蔵物質移行量 (= 茎葉乾物重減少量) (A) および地上部の乾物生産量 (B) と精籾収量との関係  
\*\*\*: 0.1%水準で有意, NS: 5%水準で有意でない。

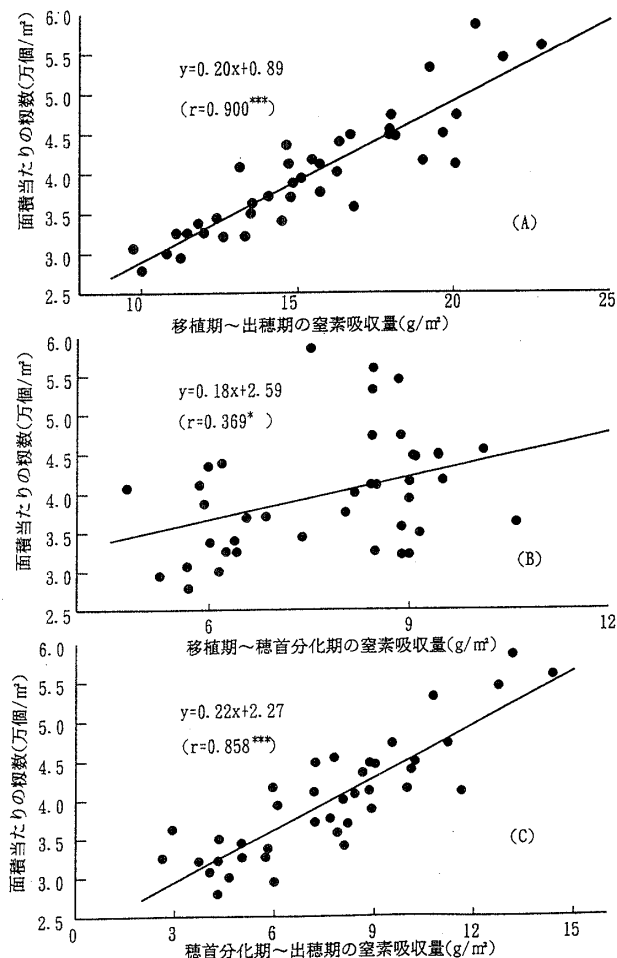


第2図 登熟期間の平均葉面積指数 (A) および純同化率 (B) と地上部の乾物生産量との関係  
\*\*\*: 0.1%水準で有意, NS: 5%水準で有意でない。

A+D区) は, それぞれ ON 区, A 区に比べて  $\overline{LAI}$  の増大により登熟期間の乾物生産量が向上したが, 分けつ肥, 穂肥 I, 穂肥 II とともに施用した場合 (A+B+C+D 区) には無施用 (A+B+C 区) より低下した。窒素施用量が同一水準 (7.5 gN/m<sup>2</sup>) で比較すると, 登熟期間の乾物重の増加程度は収量の増加程度 (第1表) と同様に B 区 > C 区 > A 区 > D 区 の順に高かった (第2表)。

登熟期間の m<sup>2</sup> 当たりの籾重増加量の処理区間差は収量とほぼ同じ傾向であった (第3表)。籾重増加量は登熟期間の乾物生産量と出穂期の茎葉に貯蔵された物質の移行量 (茎葉乾物重減少量) の和であり, 両者に分けてみると登熟期間の乾物生産量は

m<sup>2</sup> 当たり 529~721 g で, 処理間差は 192 g であった。これに対して, 貯蔵物質の移行量は 119~204 g で, 処理間差は 85 g であり, 前者より明らかに小さかった。また, 籾重増加量に対する貯蔵物質の移行量の割合は 15.1~25.3% であった。収量と登熟期間の乾物生産量との間には 0.1% 水準で高い有意な正の相関が認められた (第1図 B) のに対して, 貯蔵物質の移行量との間には有意な相関がみられなかった (第1図 A)。登熟期間の乾物生産量は, 登熟期間の  $\overline{LAI}$  との間には 0.1% 水準で有意な正の相関を示した (第2図 A) が, NAR との間には有意な相関がみられなかった (第2図 B)。また, 登熟期間の乾物生産量は, m<sup>2</sup> 当たり籾数と 0.1%

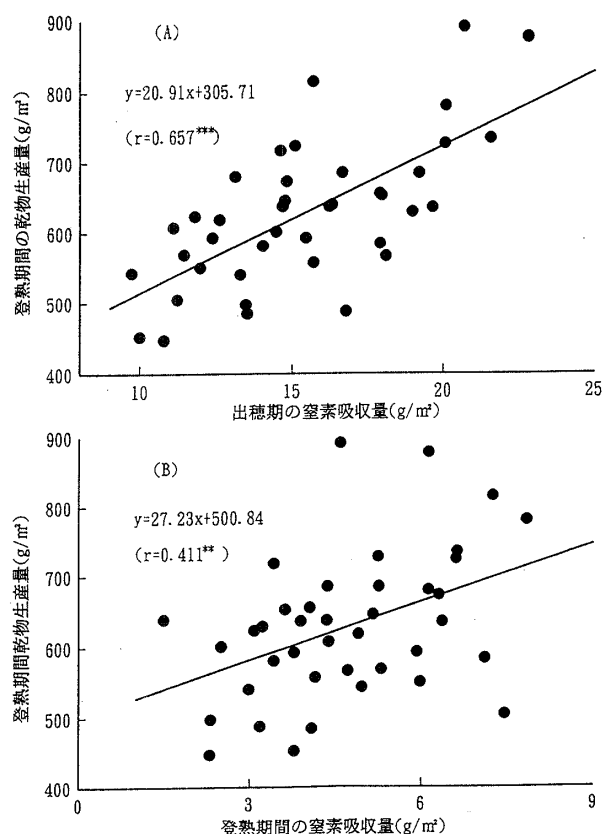


第3図 移植期～出穂期(A), 移植期～穂首分化期(B)および穂首分化期～出穂期(C)の地上部の窒素吸収量と面積当たりの粒数との関係  
\*, \*\*\*: それぞれ5%, 0.1%水準で有意。

水準で有意な正の相関 ( $r=0.773^{**}$ ) を示した。

### 3. 窒素吸収量と粒数生産および登熟期間の乾物生産量との関係

穂首分化期, 出穂期および成熟期の地上部窒素含有率および窒素含有率と乾物重(第2表)の積である窒素吸収量を第4表に示した。分けつ肥の施用区(A区)はON区に比べて, 穂首分化期には窒素含有率の向上(第4表)と乾物重の増大(第2表)により, 出穂期および成熟期には主に乾物重の増大(第2表)により窒素吸収量が増加した。穂肥Iの施用区(B区, A+B区)は, それぞれON区, A区に比べて, 穂首分化期の窒素含有率および窒素吸収量に及ぼす影響はみられなかったが, 出穂期, 成熟期ともに窒素含有率の向上と乾物生産量の増加により窒素吸収量は向上した。穂肥IIの施用区(C区, A+C区)は, 穂肥Iの施用区と同様に穂首分化期の窒素含有率および窒素吸収量に及ぼす影響は



第4図 出穂期(A)および登熟期間の地上部の窒素吸収量(B)と登熟期間の乾物生産量との関係  
\*\*, \*\*\*: それぞれ1%, 0.1%水準で有意。

みられず, 出穂期, 成熟期ともに窒素含有率の向上と乾物生産量の増加により窒素吸収は向上した。実肥の施用区(D区, A+D区)は, それぞれON区, A区に比べて成熟期の窒素吸収量が向上した。しかし, 分けつ肥, 穂肥I, 穂肥IIとともに実肥を施用した場合(A+B+C+D区)には, 無施用(A+B+C区)と比べて成熟期の窒素吸収量の増加はほとんど認められなかった。また, 窒素施肥量が同一水準(7.5 gN/m²)での成熟期の窒素吸収量はC区>B区>A区>D区の順に多かった(第4表)。

上述したとおり, 収量はm²当たり粒数および登熟期間の乾物生産量によって支配されたことがわかった。m²当たり粒数と出穂期の地上部の窒素吸収量との関係をみたところ, 両者の間に0.1%水準で有意な正の相関が認められ, 出穂期の地上部の窒素吸収量が多い区ほどm²当たり粒数が多かった(第3図A)。出穂期の窒素吸収量を穂首分化期までの窒素吸収量と幼穂形成期間の窒素吸収量とに分けて, m²当たり粒数との関係をみたところ, 前者とは5%水準(第3図B)で, 後者とは0.1%水準(第3図C)で有意な正の相関が認められた。後者

の決定係数 ( $r^2=0.736$ ) は前者 ( $r^2=0.136$ ) より高かったことから、 $m^2$  当たり粒数は主に幼穂形成期間の窒素吸収量によって支配されたことが示唆された。出穂期までの窒素吸収量 (第 4 図 A) および登熟期間の窒素吸収量 (第 4 図 B) と登熟期間の乾物生産量との間には、それぞれ 0.1%、1%水準で有意な正の相関が認められた。

$m^2$  当たり粒数を出穂期の窒素吸収量で除して求めた単位吸収窒素当たりの粒数生産効率、出穂前の窒素施用量の増大につれて低下した (第 3, 第 4 表)。また、窒素施用量が同一水準 ( $7.5 \text{ gN/m}^2$ ) では、B 区 > A 区 > C 区 (D 区は除く) の順で高かった。

#### 4. シンクソースよりみた登熟歩合および精粒千粒重低下の原因

第 1 表より、窒素施用時期と施用量の異なった処理区間には、登熟歩合は 79.6~93.7% で約 14% の差が、精粒千粒重は 25.2~29.0 g で約 4 g の差が認められた。 $m^2$  当たり粒数と登熟歩合および精粒千粒重との間にはいずれも 0.1%水準で有意な負の相関 ( $r=-0.718^{***}$ ,  $r=-0.826^{***}$ ) が認められ、 $m^2$  当たり粒数が多い区ほど登熟歩合および精粒千粒重が低かった。

登熟歩合は登熟期間の粒 1 粒当たりの乾物生産量および粒 1 粒当たりの茎葉貯蔵物質の移行量との間に、いずれも 1%水準で有意な正の相関 ( $r=0.616^{**}$ ,  $r=0.460^{**}$ ) がみられたが、前者との相関は後者より高かった。また、登熟歩合は登熟期間粒 1 粒当たりの乾物生産量と貯蔵物質の移行量の和、すなわち、登熟期間の粒 1 粒当たりの総乾物分配量との間には 0.1%水準で有意な正の相関 ( $r=0.950^{***}$ ) が認められ、両者の回帰式 ( $y=2.17x+43.36$ ) より、登熟期間の粒 1 粒当たりの総乾物分配量が 1 mg 増加すると、登熟歩合は 2.17% 高くなった。

精粒千粒重は登熟期間の粒 1 粒当たりの乾物生産量とは 1%水準で、粒 1 粒当たりの貯蔵物質の移行量とは 5%水準で有意な正の相関 ( $r=0.678^{**}$ ,  $r=0.382^*$ ) がみられ、登熟期間の粒 1 粒当たりの総乾物分配量とは 0.1%水準で有意な正の相関 ( $r=0.948^{***}$ ) が認められた。

#### 考 察

穂重型多収性水稻もち系統 9004 (日本型稲) を供試して、窒素の施肥時期と施用量を異にした場合の収量は  $m^2$  当たり粒数と 0.1%水準で有意な正の

相関 ( $r=0.878^{***}$ ) を示したことから、収量は  $m^2$  当たり粒数に支配され<sup>19)</sup>、多収性ハイブリッドライス品種の結果<sup>1,11~13)</sup> や半矮性インド型稲および日印交雑稲<sup>3,4,10,15,22)</sup>、さらには従来的一般品種<sup>8,14,16)</sup> で認められている結果と一致した。 $m^2$  当たり粒数は、穂数 ( $r=0.741^{***}$ ) に比べて 1 穂粒数 ( $r=0.895^{***}$ ) と高い相関を示したことから、穂数よりも 1 穂粒数により強く支配されたと考えられ、前報<sup>19)</sup> および従来<sup>1)</sup> の多収性ハイブリッド品種<sup>1,11~13)</sup> や半矮性インド型稲<sup>3,5,10,22)</sup> および日印交雑稲<sup>3,5,10,15,22)</sup> の結果と一致した。

$m^2$  当たり粒数と窒素施用時期との関係についてみると、分けつ肥の施用は穂数の増加により、穂肥 I および II の施用は主に 1 穂粒数の増加により  $m^2$  当たり粒数が増加した。また、 $m^2$  粒数の増加程度は穂肥 II に比べて穂肥 I の方が、分けつ肥無施用区に比べて分けつ肥施用と組み合わせた区の方が、分けつ肥+穂肥 I の施用区に比べて分けつ肥+穂肥 I+穂肥 II の施用区の方が大きく、従来的一般品種の結果と一致した<sup>5,17)</sup>。これらのことより、9004 系統の  $m^2$  当たり粒数を増加するためには、分けつ肥とともに穎花分化促進のための穂肥 I、さらに穎花退化防止のための穂肥 II の施用が必要と考えられた。

一方、 $m^2$  当たり粒数と出穂期までの窒素吸収量との間には 0.1%水準の高い有意な正の相関がみられた (第 3 図 A) ことより、 $m^2$  当たり粒数は出穂期までの窒素吸収量によって支配され、清水<sup>8)</sup>、村山<sup>8)</sup>、和田<sup>17)</sup>、Amano ら<sup>1)</sup> の報告の結果と一致した。出穂期の窒素吸収量の処理区間差をみると、穂肥 I と II の施用区の差は小さいが、いずれも分けつ肥施用区より高かった (第 4 表)。多収穫に必要な  $m^2$  当たり 4~5 万粒の粒数を確保するためには、第 3 図 A の回帰式より出穂期の窒素吸収量は 15.6~20.6 gN と算出される。この値は、多収性の日印交雑稲や半矮性インド型稲で報告されている結果<sup>2,6)</sup> とほぼ一致したが、和田<sup>17)</sup> の結果から日本稲品種について算出される 14.6~18.1 gN に比べて高かった。しかし、単位吸収窒素当たりの粒数生産効率については、全ての処理区の平均値で約 2500 粒/gN (第 3 表) で、清水<sup>8)</sup>、村山<sup>8)</sup>、Amano ら<sup>1)</sup> の結果とほぼ同じであったが、窒素施用時期および施用量により 2237~2883 粒/gN の範囲で変動し、窒素施用量の増加につれて低くなり、また窒素施用量が同じ場合 ( $7.5 \text{ gN/m}^2$ ) には、穂肥 I > 分

げつ肥>穂肥 II の順で高かった。これらの結果より、窒素施用による  $m^2$  当たり粒数の増加効果は窒素施用量と施用時期によって異なり、施用時期に関しては穂肥 I で最も大きいと考えられ、従来の一般品種と一致した<sup>5,17)</sup>。

出穂期の  $m^2$  当たりの窒素吸収量を穂首分化期までの窒素吸収量と幼穂形成期間の窒素吸収量に分けて、 $m^2$  当たり粒数との関係をみたところ、いずれも有意な正の相関が認められた (第3図 B, C) が、後者の決定係数 ( $r^2 = 0.736$ ) は前者 ( $r^2 = 0.136$ ) より高かったことより、 $m^2$  当たり粒数は主に幼形成期間の窒素吸収量によって支配されることが示唆され、 $m^2$  当たり粒数を多く確保するために、この期間の窒素施用の重要性が明確になった。第3図 C の回帰式より、 $m^2$  当たり 4~5 万粒の粒数を確保するためには、幼穂形成期間の窒素吸収量は 7.9~12.4 gN 必要となり、この値は前述した出穂期までに必要な窒素吸収量の 50.6~60.2% に相当する。また、穎花分化を促進する穂首分化期 (穂肥 I) の窒素施用は穎花退化を防止する出穂前 20 日 (穂肥 II) の窒素施用に比べて、窒素吸収量はほぼ同じであったが、単位吸収窒素の粒数生産効率は明らかに高かった (第3表) ことより、穂首分化期の窒素施用は粒数生産効率に最も密接に関係すると考えられた<sup>5,17)</sup>。

収量は登熟期間の乾物生産量と出穂期の茎葉貯蔵物質 (主に非構造性炭水化物<sup>1,19)</sup>) の移行量 (本実験では茎葉乾物重減少量で代替させた) で表される<sup>1,5,7,8,16)</sup> が、収量は登熟期間の乾物生産量との間に 0.1% 水準で有意な正の相関がみられた (第1図 B) のに対して、貯蔵物質の移行量とは有意な相関がみられなかった (第1図 A)。このことより、収量は登熟期間の乾物生産量により強く支配されたと考えられる<sup>5,8,10,15,16)</sup>。また、CGR を構成する  $\overline{LAI}$  および NAR と登熟期間の乾物生産量との関係をみると、前者とは 0.1% 水準で有意な正の相関が認められた (第2図 A) が、後者とは有意な相関がみられなかった (第2図 B)。このことは登熟期間の乾物生産量は  $\overline{LAI}$  によって支配されたことを示しており、津野<sup>16)</sup>、武田ら<sup>15)</sup>、斎藤<sup>10)</sup> の結果と一致した。また、登熟期間の乾物生産量は出穂期の窒素吸収量および登熟期間の窒素吸収量との間にそれぞれ 0.1%、1% 水準で有意な正の相関が認められた (第4図 A, B) ことより、出穂期および登熟期間の窒素吸収量を増加することは登熟期間の乾物生産量の

増加にとって重要と考えられた<sup>8,16)</sup>。一方、登熟期間の乾物生産量は光合成産物の受容器官である  $m^2$  当たり粒数と 0.1% 水準で有意な正の相関を示した。

以上より、収量は登熟期間の乾物生産量によって支配され、登熟期間の乾物生産量は  $\overline{LAI}$ 、出穂期および登熟期間の窒素吸収量並びに光合成産物の受容器官である  $m^2$  当たり粒数と密接に関係していることが示唆された。

上述のように  $m^2$  当たり粒数の増加に伴い収量は向上したが、登熟歩合、精粒千粒重のいずれも著しく低下した (第1表)。本実験の範囲では登熟歩合は 79.6~93.7% (第1表) で約 14% の差が、精粒千粒重は 25.2~29.0 g (第1表) で約 4 g の差が認められた。すなわち、穂重型多収性水稻の潜在収量と実際収量との差は  $m^2$  当たり粒数の増加につれて多くなった。このことより、穂重型多収性品種で多収穫を実現するためには、 $m^2$  当たり粒数を多く確保すると同時に、登熟歩合および千粒重の低下を防止することが特に重要であることが確認された。登熟歩合、精粒千粒重は登熟期間の粒 1 粒当たりの乾物分配量との相関係数がいずれも 1 に近い非常に高い有意な正の相関を示し、粒 1 粒当たりの乾物分配量の増加につれて、登熟歩合、精粒千粒重のいずれも著しく向上した (第1, 第3表)。登熟期間の粒 1 粒当たりの乾物分配量の処理区間差をみると、窒素施用量の増加につれて低下し、また、窒素施用量が同一の場合 (7.5 gN/ $m^2$ ) の低下程度は実肥>分けつ肥>穂肥 II>穂肥 I の順で高かった (第3表)。このことより、穂肥、とくに穂肥 I の施用により登熟歩合、精粒千粒重が低下したのは 1 穂粒数の増加により、粒 1 粒当たりの炭水化物分配量が少なくなったことと密接に関連していると考えられた。

粒 1 粒当たりの乾物分配量は出穂期の貯蔵物質の移行分と登熟期間の生産分から構成される。本実験で  $m^2$  当たりの貯蔵物質の移行量は 119~204 g (第3表) で、前報<sup>19)</sup> および従来の多収性半矮性インド型稲および日印交雑稲<sup>3,4,9)</sup> とは大差がみられなかった。貯蔵物質の移行量の処理区間差をみると、窒素施用量による処理区間差は小さかったが、窒素施用時期による処理区間差は大きかった。すなわち、分けつ肥と実肥に比べて穂肥の方が少なく、また、穂肥 II に比べて草丈と稈長の促進程度が大きかった穂肥 I の方が少なかった。貯蔵物質の移行量を粒数で除して、粒 1 粒当たりの貯蔵物質の移行量をみる



と 2.8~5.8 mg の範囲 (第 3 表) にあり, 処理区間差は  $\text{m}^2$  当たりの移行量の傾向と同様に, 窒素施用量による処理区間差は小さかった。しかし, 施用時期による処理区間は大きく, 分けつ肥と実肥に比べて穂肥施用区の方が, また, 穂肥施用区では穂肥 II に比べて穂肥 I 施用区の方が値は小さかった (第 3 表)。籾 1 粒当たり貯蔵物質移行量 (第 3 表) と登熟歩合 (第 1 表) との関係を見れば, 籾 1 粒当たり貯蔵物質移行量の多い区ほど登熟歩合が高く, 松島<sup>5)</sup>, 和田<sup>17)</sup>, 翁ら<sup>21)</sup>, Amano ら<sup>1)</sup> の結果と一致した。しかし, 本実験では籾 1 粒当たりの貯蔵物質の移行量の増加につれて, 登熟歩合の増加だけではなく, 精籾千粒重も高くなった (第 1, 第 3 表)。

これらのことより, 籾 1 粒当たりの貯蔵物質の移行量の多少は, シンクの活力の向上に重要な役割を果たしていることが示唆された<sup>21)</sup>。また, 穂肥, とくに穎花分化を促進する穂肥 I の施用は  $\text{m}^2$  当たり籾数を増加させたが, 茎葉部の貯蔵物質質量が低下したので, 1 穂籾数の増加と相まって籾 1 粒当たりの貯蔵物質質量は著しく低下し, それが登熟歩合, 精籾千粒重の低下と密接に関係していることが示唆された。一方, 登熟期間の  $\text{m}^2$  当たりの乾物生産量をみると,  $\text{m}^2$  当たり籾数の増加程度の大きい区ほど多かった (第 3 表)。すなわち, 登熟期間の乾物生産量は窒素施用量の増加につれて多くなり, また, 窒素施用量が同一の場合には, 穂肥 I > 穂肥 II > 分けつ肥 > 実肥の順で多かった (第 3 表)。これに対して登熟期間の籾 1 粒当たりの乾物生産量をみると, 窒素施用量の増加につれて少なくなり, また, 窒素施用量が同一の場合には, 実肥 > 穂肥 II > 分けつ肥 > 穂肥 I の順で多かった (第 3 表)。

これらのことより, 穂肥, とくに穎花分化を促進する穂肥 I の施用は  $\text{m}^2$  当たり籾数を増加すると同時に, 登熟期間の乾物生産量も増加したが, 乾物生産量の増加程度は籾数増加程度より少なく, 籾 1 粒当たりの乾物生産量は低下した。そして, このことと上述した籾 1 粒当たりの貯蔵物質移行量の低下が登熟歩合および千粒重の低下と密接に関係していることが示唆された。その結果, 潜在収量と実際収量との差は  $\text{m}^2$  当たり籾数の増加につれて大きくなった。したがって, 穂重型多収性水稲の潜在収量を十分に発揮させるためには, 1 穂籾数に基づく  $\text{m}^2$  当たり籾数水準の高い条件下で登熟期の乾物生産速度を高め, また出穂期までの貯蔵物質質量をより多く確保しておくことが重要となる。この点について, 著

者の一人王ら<sup>18)</sup> は, 登熟期間の籾 1 粒当たりの根の活力の向上が穂重型多収性水稲の登熟歩合および千粒重の向上に重要であることを指摘している。

## 引用文献

1. Amano, T., Q. Zhu, Y. Wang, N. Inoue and H. Tanaka 1993. Case studies on high yields of paddy rice in Jiangsu Province, China. I. Characteristics of grain production. *Jpn. J. Crop Sci.* 62: 267—274.
2. 樋口太重・吉野 喬 1986. 高収性水稲の窒素吸収特性について. *土肥誌* 57: 134—141.
3. 平岡博幸・田島克己・西山岩男・鈴木良典 1983. 多収水稲の生理生態的特性の解明. 6) 登熟期における稈・葉鞘の炭水化物含有量の品種および窒素施肥法間差異. *日作紀* 52 (別 2): 8—9.
4. ———・寺島一男・——— 1986. ———. 9) 炭水化物の動態からみた多収性品種育成の目標形質. *日作紀* 55 (別 2): 17—18.
5. 松島省三 1957. 水稲収量の成立と予察に関する作物学的研究. *農技研報告* A5: 1—271.
6. 本松輝久・建部雅子・米山忠克 1988. 多収稲の栄養生理特性 — 乾物生産, 養分吸収と分配 —. *農研センター研報* 12: 1—11.
7. 村田吉男・玖村敦彦・石井龍一 1976. 作物の光合成と生態. *農文協*, 東京. 147—150.
8. 村山 登 1982. 収量漸減法則の克服. *養賢堂*, 東京. 27—137.
9. 斎藤邦行・柏木伸哉・木下孝宏・石原 邦 1991. 水稲多収性品種の乾物生産特性の解析. 第 4 報 穂への同化産物の分配. *日作紀* 60: 255—263.
10. ———・下田博之・石原 邦 1993. ———. 第 6 報 新・旧品種の比較を通じて. *日作紀* 62: 509—517.
11. 宋 祥甫・縣 和一・川満芳信 1990. 中国産ハイブリッドライスの物質生産に関する研究. 第 1 報 乾物生産特性. *日作紀* 59: 19—28.
12. ———・———・——— 1990. ———. 第 2 報 収量生産特性. *日作紀* 59: 29—33.
13. ———・———・——— 1990. ———. 第 3 報 収量生産期間における非構造性炭水化物及び全窒素濃度の変動からみた子実生産特性. *日作紀* 59: 107—112.
14. 武田友四郎・岡 三徳・縣 和一 1984. 暖地における水稲品種の乾物生産に関する研究. 第 2 報 明治期以降の新旧品種の子実生産特性. *日作紀* 53: 12—21.
15. ———・———・——— 1984. ———. 第 4 報 本邦暖地品種と韓国新品種の子実生産特性の比較. *日作紀* 53: 28—34.
16. 津野幸人 1970. イネの科学. *農文協*, 東京. 115—204.
17. 和田源七 1969. 水稲収量成立に及ぼす窒素栄養の影響 — とくに出穂期以後の窒素の重要性について —. *農技研報* A16: 1—167.
18. 王 余龍・蔡 建中・何 傑昇・陳 林・徐 家寛・卞 悦 1992. 水稲穎花根活量と籽粒灌漿結実的関

- 係. 作物学報 18:81—89.
19. ———・山本由徳・新田洋司 1995. 中国産日本型  
水稻 9004 系統の多収要因の解析. 第1報 面積当  
たりの籾数水準同一下での日本稲品種との収量性の比  
較. 日作紀 64:545—555.
20. ———・新田洋司・山本由徳 1996. ———.  
第2報 精玄米千粒重の成立要因. 日作紀 65:575  
—584.
21. 翁 仁憲・武田友四郎・縣 和一・箱山 晋 1982. 水  
稲の子実生産に関する物質生産的研究. 第1報 出穂  
期前に貯蔵された炭水化物および出穂後の乾物生産  
が子実生産に及ぼす影響. 日作紀 51:500—509.
22. 山本由徳・吉田徹志・榎本哲也・吉川義一 1991. 日  
印交雑稲および半矮性インド稲の籾数生産能率と登  
熟特性. 日作紀 60:365—372.
-