

F₁ イネ幼植物の養分吸収におけるヘテロシス

一井 眞比古・中村 雅彦

(香川大学農学部)

平成元年7月31日受理

要 旨: 12 F₁ 雑種およびそれらの両親6品種からなる18系統(品種を含む)のイネ(*Oryza sativa* L.)を供試し、それらの25日苗における養分吸収能力、とりわけ NH₄⁺-N, NO₃⁻-N, PおよびK吸収速度 (mg・plant wt g⁻¹・h⁻¹) に着目し、F₁ 雑種植物におけるヘテロシスの発現について検討した。結果の概要は以下のとおりである。

(1) 植物体の大きさに係わる形態形質ではヘテロシスがほとんど認められなかったが、いずれの養分要素の吸収速度においてもきわめて大きなヘテロシスが認められた。(2) 吸収速度はK, NH₄⁺-N, NO₃⁻-N, Pの順に小さくなり、KではPの5倍以上の吸収速度を示した。このような関係はF₁ 雑種または両親品種のいずれにおいても同じであった。(3) 吸収速度におけるヘテロシスは NO₃⁻-N, P, NH₄⁺-N, Kの順に小さくなり、最も大きい NO₃⁻-N のヘテロシス程度は約80%, 最も小さいKで約30% であり、養分要素によってヘテロシスの大きさが著しく異なった。(4) 吸収速度のヘテロシス程度と植物体重および植物体重のヘテロシス程度との相関はいずれの養分要素においても有意でなかった。(5) NH₄⁺-N 吸収速度とK吸収速度間、および両吸収速度におけるヘテロシス程度間の相関は有意で、かつ正であった。(6) 以上の結果は、養分吸収能力のような生理形質におけるヘテロシスが形態形質におけるヘテロシスに先行して現れること、並びに養分吸収能力におけるヘテロシスはF₁ 雑種植物の大きさとは無関係のF₁ 雑種固有の高い生理活性に依存することを示唆している。

キーワード: イネ, F₁ 雑種, 窒素吸収, ヘテロシス, 養分吸収速度。

Heterosis for Nutrient Uptake in F₁ Rice Hybrid-seedlings: Masahiko ICHII and Masahiko NAKAMURA
(Faculty of Agriculture, Kagawa University, Miki, Kagawa 761-07, Japan)

Abstract: Nutrient uptake and morphological features in 12 rice hybrids were compared with the corresponding parental values. The uptakes of ammonium-N, nitrate-N, phosphorus and potassium (in nutrient mg・plant wt g⁻¹・h⁻¹) were determined by using 25-day-old seedlings. The results revealed that: (1) Nutrient uptake showed desirable heterosis, unlike morphological features. (2) Nutrient uptake was larger in the order of potassium, ammonium-N, nitrate-N and phosphorus. Potassium was five times as uptake as phosphorus. These facts also were observed in the F₁ hybrids and their parents. (3) The degree of heterosis for nutrient uptake was higher in the order of nitrate-N, phosphorus, ammonium-N and potassium. The degrees for nitrate-N and potassium were 80% and 30%, respectively. (4) Plant weight and its heterosis did not show significant correlations to heterosis for nutrient uptake. (5) Correlations between nitrate-N and potassium uptake, and between the heterosis for their uptakes were highly positive significant. (6) It can be concluded that heterosis for physiological characters such as nutrient uptake appears before that for morphological characters, and that the higher nutrient uptake of the F₁ rice hybrid was presumably not dependent on their larger weight, but on the higher rate of physiological ability.

Key words: F₁ hybrid, Heterosis, Nitrogen uptake, Nutrient uptake, Rice.

イネのF₁ 雑種植物においても収量^{4,6-9)}をはじめ、その構成要素である1穂粒数や千粒重^{12,16)}などの農業形質に顕著なヘテロシスが認められている。しかしながら、生理的形質のヘテロシスについてはあまり明らかにされておらず、また実験の結果も様々である。Poら¹¹⁾および春原ら¹⁴⁾は光合成速度にヘテロシスが認められないことを報告しているのに対し、村山ら¹⁰⁾並びに Yamauchi および Yoshida¹⁹⁾は組合せによって光合成速度にヘテロシスが認められることを報告している。またF₁ 雑種植物の光呼吸が親品種より低いことを Lin および

Yuan⁵⁾は示したが、梶木ら³⁾は両者に差がないことを示した。一方、植物の同化過程の出発点であり、同化能力に大きな影響を及ぼすと考えられる窒素吸収量について、鈴木および諸岡¹⁵⁾は顕著なヘテロシスを認めているが、他の無機要素に関する報告は見当たらない。また同化能力や養分吸収能力に吸収量より密接に関連すると思われる吸収速度を扱った研究例は少ない。

F₁ 雑種植物の大きな特徴のひとつは旺盛な初期生育であり¹⁸⁾、その引き金が胚の大きさであるとの報告^{13,17)}もある。生長を生理的反応の結果である

Table 1. Morphological features of F₁ hybrid-seedlings compared with those of thier parents.

Cultivar and F ₁	Characteristic value				Heterosis(%)			
	Seedling height (cm)	Root length (cm)	Root number	Plant weight (mg)	Seedling height	Root length	Root number	Plant weight
Azusa (Az)	16.3	9.5	12.0	28	—	—	—	—
Ginmasari (Gi)	18.1	10.2	10.2	35	—	—	—	—
Chiyohikari (Ch)	19.1	10.3	10.3	31	—	—	—	—
Satominori (St)	16.9	9.7	8.8	29	—	—	—	—
Sachiwatari (Sa)	17.9	8.8	12.1	30	—	—	—	—
Yaeho (Ya)	18.2	10.8	12.0	33	—	—	—	—
Az×Gi	15.4	10.3	12.0	29	-10	5	8	-8
Az×Ch	18.3	10.1	11.2	27	3	2	0	-8
Az×St	17.9	10.8	11.4	26	8	13	10	-9
Az×Sa	17.2	8.2	11.4	27	0	-10	-5	-7
Az×Ya	18.1	11.1	11.1	28	5	9	-7	-8
Gi×Ch	20.1	11.2	10.6	31	8	9	3	-6
Gi×St	21.6	11.3	11.4	35	23	14	20	9
Ch×St	20.4	10.0	11.4	32	13	0	19	7
Ch×Sa	19.4	10.9	10.6	29	5	14	-5	-5
Ch×Ya	19.1	11.2	10.6	29	2	6	-5	-9
St×Sa	18.7	10.9	10.9	29	7	18	4	-2
Sa×Ya	18.8	10.1	10.6	31	4	3	-12	-2

$$\text{Heterosis(\%)} = ((F_1 - MP) / MP) \times 100.$$

とするならば、初期生育の旺盛さを生理的側面から追究することが重要であると考えられる。また養分吸収能力は植物の生理機能の欠くことのできないもののひとつであると共に、F₁ 雑種植物の旺盛な初期生育と密接な関連をもつと思われる。

以上のような観点から、主要養分要素であるアンモニア態窒素（以下 NH₄⁺-N と略記）、硝酸態窒素（以下 NO₃⁻-N と略記）、リン（以下 P と略記）、およびカリウム（以下 K と略記）の吸収能力の指標である吸収速度に着目し、それらにおけるヘテロシスの発現程度を F₁ 雑種イネの幼植物を用いて明らかにしようとした。

材料と方法

1. 植物体の養成 イネ (*Oryza sativa* L.) 6 品種（アズサ、チヨヒカリ、ギンマサリ、サチワタリ、サトミノリおよびヤエホ）並びにそれらの F₁ 雑種 12 系統を供試した。供試系統（品種を含む）の種子をシャーレに播種し、30°C で発芽させた。播種後 5 日目には供試 1 系統当たり 15 個体を水 (pH 5.0) を入れた試験管（直径 18 mm）に 1 個体ずつ移植し、直ちに人工気象器（20°C, 8000 lux, 7:00 ~ 18:00; 明, 19:00 ~ 7:00; 暗）に移した。10 日目からは、185 μM (NH₄)₂SO₄, 225 μM MgSO₄ · 7H₂O, 90 μM KNO₃, 90 μM KH₂PO₄, 45 μM K₂

SO₄, 185 μM Ca(NO₃)₂ · 4 H₂O および 5 μM F₂C₆ H₅O₅ · x H₂O を含む pH 5.0 に調節した 30 ml 水耕液でそれまでと同様に同器内で 1 個体ずつ培養した。その後 5 日毎に水耕液を交換した。

2. 養分吸収速度の測定 養分吸収能力の指標である吸収速度を求めるために播種後 25 日目の幼植物を用いた。吸収開始 12 時間後における水耕液中の NH₄⁺-N, NO₃⁻-N, P および K 残存量をそれぞれ測定し、初期量と残存量との差を吸収量とした。それらの吸収量を植物体重および吸収時間で除した吸収速度 (mg · plant wt g⁻¹ · h⁻¹) を個体毎に求めた。NH₄⁺-N の定量にはネスラー試薬で発色させ、420 nm の吸光度を測るネスラー法を用いた。NO₃⁻-N の定量には、水耕液の 220 nm および 270 nm の吸光度を測り、両者の差から NO₃⁻-N 量を求める紫外線吸光度法を用いた。P の定量には、モリブデン酸アンモニウムで発色させ、440 nm の吸光度を測るバナドモリブデン酸法を用いた。K の定量には炎光法を用いた。

3. 幼植物の形態調査 養分吸収試験終了後直ちに幼植物の草丈、根長（最大根長）、根数および植物体重（茎葉および根の乾物重）を個体別に測った。

4. ヘテロシスの評価 F₁ 雑種植物の形態形質および養分吸収能力における雑種強勢の大きさをヘテロシス程度とし、それを次式によって求めた、

Table 2. Nutrient uptake of F_1 hybrid-seedlings compared with those of their parents.

Cultivar and F_1	Characteristic value ($\times 10^{-2} \text{mg} \cdot \text{plant wt g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)				Heterosis(%)			
	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	$\text{NO}_3^-\text{-N}$	P	K	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	$\text{NO}_3^-\text{-N}$	P	K
Azusa (Az)	11.3	3.38	2.68	13.7	—	—	—	—
Ginmasari (Gi)	14.1	4.10	2.92	13.5	—	—	—	—
Chiyohikari (Ch)	12.5	4.31	1.70	15.4	—	—	—	—
Satominori (St)	10.1	2.46	1.63	12.6	—	—	—	—
Sachiwatari (Sa)	13.5	4.81	2.20	20.2	—	—	—	—
Yaeho (Ya)	11.4	3.59	2.15	15.7	—	—	—	—
Az \times Gi	17.4	6.36	5.69	17.0	34	70	104	25
Az \times Ch	17.1	6.62	3.10	16.9	44	72	42	16
Az \times St	19.4	7.83	3.70	20.1	81	168	72	53
Az \times Sa	16.9	5.74	2.47	17.5	36	40	1	3
Az \times Ya	21.6	7.90	2.97	20.7	90	127	23	41
Gi \times Ch	14.6	6.58	2.57	21.7	10	56	12	50
Gi \times St	19.4	9.50	3.32	24.1	60	190	47	85
Ch \times St	12.6	5.22	3.24	20.0	12	54	95	43
Ch \times Sa	16.9	6.25	2.27	14.7	30	37	16	-7
Ch \times Ya	15.1	5.52	3.07	16.5	26	40	59	6
St \times Sa	18.6	7.05	4.55	18.5	58	94	138	13
Sa \times Ya	22.7	7.43	3.88	19.1	82	77	78	6

$$\text{Heterosis}(\%) = ((F_1 - \text{MP}) / \text{MP}) \times 100.$$

ヘテロシス程度 (%) = $((F_1 - \text{MP}) / \text{MP}) \times 100$
 但し, MP は両親の平均値である.

結果と考察

F_1 雑種 12 系統およびそれらの両親品種の幼植物における形態的特性ならびにそのヘテロシス程度を示したのが第 1 表である. 両親品種および F_1 雑種の草丈はそれぞれ 16 cm~19 cm および 15 cm~22 cm であり, 両者における変異の幅は似かよっていた. F_1 雑種における根長, 根数および植物体重の変異は草丈の場合と同様, 両親品種における変異とほぼ同じであった. これらの結果からも予想されるように, F_1 雑種におけるヘテロシス程度は全般に小さく, 20% を超えることはほとんどなく, 負であることもしばしばであった. 草丈, 根長および根数ではヘテロシス程度が-10% から 20% であったが, 植物体重ではほとんど負であった.

第 2 表は F_1 雑種 12 系統およびそれらの両親品種における養分吸収能力並びにそのヘテロシス程度を示したものである. なお養分吸収能力を養分要素それぞれの吸収速度 ($\times 10^{-2} \text{mg} \cdot \text{plant wt g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$; 以下 mg と略記する) で表わした. F_1 雑種における $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$, P および K 吸収速度の平均はそれぞれ 17.8 mg, 6.83 mg, 3.40 mg および 18.9 mg であり, それに対し両親品種のそれらはそれぞ

れ 12.2 mg, 3.78 mg, 2.21 mg および 15.2 mg であり, 養分要素にかかわらず F_1 雑種は両親品種より大きな吸収速度を示した. また F_1 雑種および両親品種のいずれにおいても吸収速度は K, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$, P の順に小さくなった. これらの結果, すなわち吸収速度における両親品種と F_1 雑種との差から予想され, かつ表からも明らかなように, 大きなヘテロシスが多くの組合わせにおいて認められた. $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$, P および K 吸収速度ではヘテロシス程度がそれぞれ 10~90%, 40~190%, 0~140% および -10~90% であった. 形態形質ではしばしば負のヘテロシスを示したのに対し, 吸収速度ではほとんどすべてが正で, かつ高かった.

第 1 表および第 2 表から, 供試 F_1 雑種の形態形質および吸収速度における平均ヘテロシス程度を求め, それらの結果を示したのが第 3 表である. 平均ヘテロシス程度は F_1 雑種 12 系統におけるヘテロシス程度の平均である. 形態形質における平均ヘテロシス程度はいずれも 10% 以下であり, ヘテロシスがほとんど認められなかった. これに対し, 吸収速度における平均ヘテロシス程度は形態形質に比べてきわめて大きかった. K 吸収速度では約 30% であったが, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ および P 吸収速度では約 50% 以上であり, いずれの養分要素において

Table 3. Average of heterosis of morphological features and nutrient uptake in F₁ hybrid-seedlings.

	Seedling height	Root length	Root number	Plant weight	Uptake			
					NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	P	K
Average of heterosis(%)	6	7	3	-4	47	85	57	28

Table 4. Heterosis of morphological features and nutrient uptake in different parental cultivars.

Parents	Seedling height	Root length	Root number	Plant weight	Uptake			
					NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	P	K
Azusa	1	4	1	-8	57	95	48	28
Ginmasari	16	12	16	-2	35	83	30	68
Chiyohikari	6	6	2	-4	24	52	45	22
Satominori	13	11	13	1	53	106	88	49
Sachiwatari	4	6	-4	-4	52	62	58	4
Yaeho	4	6	-8	-6	66	81	53	18

もきわめて顕著なヘテロシスが認められた。また平均ヘテロシス程度は NO₃⁻-N, P, NH₄⁺-N, K の順に小さくなり、ヘテロシスの発現程度が養分要素によって大きく異なることを示した。

吸収速度にヘテロシスが見られたことは大変興味深い。本研究における養分吸収能力の指標である吸収速度が前述のごとく単位植物体重当たり、単位時間当たり吸収量であることを考えると、F₁ 雑種植物の高い養分吸収能力は植物体の大きさに依存するのではなく、F₁ 雑種固有の遺伝的能力に依存することを本実験の結果は示唆している。一方、F₁ 雑種植物でしばしば観察される旺盛な初期生育は、F₁ 雑種胚の大きさに起因するとの報告^{1,13,17)}がある。しかしながら、本実験の結果では植物体の大きさを消去した指標である吸収速度においてヘテロシスが認められたが、形態形質においてヘテロシスがほとんど認められなかった。これらの事実を併せ考えると、F₁ 雑種植物の旺盛な初期生育は胚の大きさのみによってもたらされないことを推察させる。

第1表および第2表の結果からも明らかなように播種後25日目の幼植物における形態形質ではヘテロシスがほとんど認められなかったにも拘らず、養分吸収能力では顕著なヘテロシスが認められた。この事実は、形態形質に先んじて生理形質にヘテロシスが発現することを示唆している。さらに形態形質は生理生化学的反応の最終的結果であり、かつその生理生化学的反応は遺伝的に制御されていることを併せ考えると、ヘテロシスの発現機構を解明するために生理生化学的形質を対象にした研究が重要になるであろう。

ヘテロシスの発現が親品種によってどのように異なるかを調べるため、親品種別のヘテロシス程度の平均を示したのが第4表である。ヘテロシス程度は親品種および形質によって異なり、すべての親品種に共通した一定の傾向は認められなかった。ただサトミノリにおける形態形質および養分吸収能力のヘテロシス程度はチヨヒカリにおけるそれらのおよそ2倍であった。この事実から、特定の品種を片親に用いることによって養分吸収能力における高いヘテロシスの発現を期待しうることを示唆される。

第5表は吸収速度のヘテロシス程度と植物体重またはそのヘテロシス程度との相関係数を示したものである。いずれの相関係数も有意でなく、かつ小さかった。吸収速度のヘテロシス程度と植物体重との関係から、吸収速度において観察された高いヘテロシスは F₁ 雑種植物が両親品種より大きいことに起因するのではなく、F₁ 雑種固有の生理活性の高さに起因することが示唆される。このことは、吸収速度のヘテロシス程度と植物体重のヘテロシス程度との相関が有意でなかった事実からも推察されるであろう。

吸収速度およびそのヘテロシス程度について、養分要素間の関係のうち一定の傾向が認められたのは NO₃⁻-N と K との関係である。両者の関係を図示したのが第1図である。両吸収速度間、ならびに両ヘテロシス程度間のいずれにおける相関係数も有意で、かつ正の高い値を示した。F₁ 雑種集団で見られたこのような事実、並びに生態型が異なる集団、たとえば日本型およびインド型イネのいずれにおいても NO₃⁻-N および K 吸収速度間で有意で高い正の

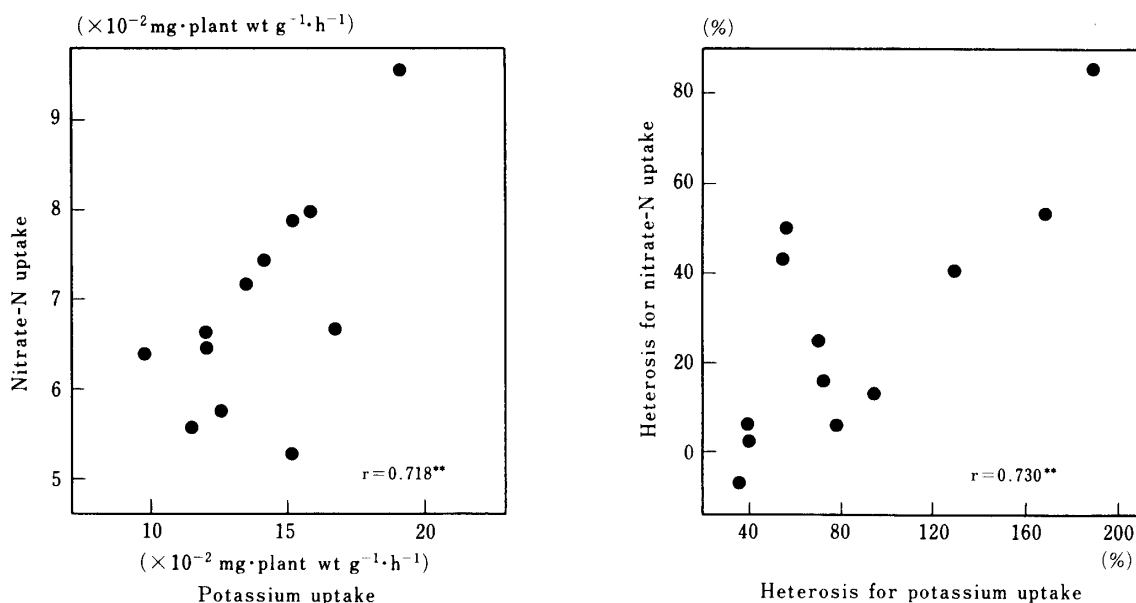


Fig. 1. The relationship between nitrate-N and potassium uptake in F_1 hybrid seedlings.

Table 5. Correlation coefficients between plant weight and nutrient uptake.

	Heterosis for uptake			
	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	$\text{NO}_3^-\text{-N}$	P	K
Plant weight	-0.197 _{NS}	0.204 _{NS}	0.118 _{NS}	0.505 _{NS}
Heterosis for plant weight	-0.095 _{NS}	0.299 _{NS}	0.254 _{NS}	0.494 _{NS}

NS : Non significant.

相関を示した²⁾ことは、植物における $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 吸収機構が生理的にも遺伝的にも K 吸収機構と密接に関連していることを示唆している。

引用文献

1. Akita, S., L. Blanko and S.S. Virmani 1986. Physiological analysis of heterosis in rice plant. Japan. J. Crop Sci. 55 (Extra Issue 1) : 14-15.
2. 一井眞比古・津村英男 1989. イネ幼植物における無機養分吸収速度の生態種 (型) 間変異. 日作紀 58 : 7-12.
3. 梶木信幸・秋田重誠・田中市郎・雨宮 昭 1976. 栽培稲および雑種第一代の光合成と光呼吸特性. 日作紀 45 (別 2) : 177-178.
4. Kaushik, R.P. and K.D. Sharma 1986. Extent of heterosis in rice (*Oryza sativa* L.) under cold stress conditions — Yield and its components. Theor. Appl. Genet. 73 : 136-140.
5. Lin, S.C. and L.P. Yuan 1980. Hybrid rice breeding in China. Innovative approach to rice breeding IRRI, Los Baños, Philippines, 35-51.
6. Maurya, D.M. and Shingh, D.P. 1978. Heterosis in rice. Indian J. Genet. Plant Breed. 38 : 71-76.
7. 村山盛一 1973. イネの一代雑種利用に関する基礎的研究 I. ヘテロシスの程度とその発現様相. 育雑 23 : 22-26.
8. Murayama, S., T. Omura and K. Miyazato 1974. Basic studies on utilization of hybrid vigor in rice. IV. Heterosis under different cultural conditions. Japan. J. Breed. 24 : 287-290.
9. 村山盛一 1976. イネの一代雑種利用に関する基礎的研究. 琉球大農学報 23 : 1-71.
10. 村山盛一・小笠原直樹・宮里清松・野瀬昭博 1984. イネの F_1 雑種の物質生産に関する研究. (第 III 報) 二面交配による個葉の光合成速度におけるヘテロシス. 日作紀 53 (別 2) : 100-101.
11. Po, H., N. Oishi and K. Ishihara 1984. Heterosis in rice with reference to agronomic characters and leaf photosynthesis. Japan. J. Crop Sci. 52 (Extra Issue 2) : 102-103.
12. Ponnuthurai, S., S.S. Virmani and B.S. Vergara 1984. Comparative studies on the growth and grain yield of some F_1 rice (*Oryza sativa* L.) hybrids. Philipp. J. Crop Sci. 9 : 183-193.
13. Sinha, S.K. and R. Khanna 1975. Physiological, biochemical and genetic basis of heterosis. Adv. Agron. 27 : 123-174.
14. 春原嘉弘・矢島正晴・鈴木 守・関 寛三 1985. 水稻 F_1 雑種の物質生産 — 初期生育及び Sink size におけるヘテロシス. 日作紀 54 (別 1) : 132-133.
15. 鈴木保宏・諸岡 稔 1986. F_1 水稻の窒素吸収. 土肥誌 57 : 149-154.
16. Virmani, S.S., R.C. Aquino and G.S. Khush 1982. Heterosis breeding in rice (*Oryza sativa* L.). Theor. Appl. Genet. 63 : 373-380.
17. Yamada, M., T. Ishige and Y. Ohkawa 1985. Reappraisal of Ashby's hypothesis on heterosis of

-
- physiological traits in maize, *Zea mays* L. *Euphytica* 34 : 593—598.
18. 山口彦之 1985. 細胞質雄性不稔. CMC. 東京.
19. Yamauchi, M. and S. Yoshida 1985. Heterosis in net photosynthetic rate, leaf area, tillering, and some physiological characters of 35 F₁ rice hybrids. *J. Exp. Bot.* 36 : 274—280.
-