Hiroshi KATO and Hyoji NAMAI : Intervarietal Variations of Floral Characteristics with Special Reference to F_1 Seed Production in Japonica Rice (*Oryza sativa* L.) (English Summary on p.86)

日本型イネの F_1 採種効率を高めるための 花器形質の品種間差異

加藤 浩・生井 兵治

(筑波大学農林学系, 新治郡桜村, 〒305)

自殖性作物であるイネで, F_1 種子の大量採種を可能とするには, 種子親となる雄性不稔系統の自然交雑率を飛躍的に高める必要がある。そこで自然交雑率に関係する花器形質について温帯日本型の日本型育成品種, 在来品種, ならびに OKA (1958) と OKA and CHANG (1962) の分類による熱帯日本型を対象に調査を行った。また, 農林水産省生殖質保存管理室の種子保存目録の中の品種名のあとに (Majiri 品種) と記載されている日本型在来品種に着目した。種子親の花器形質として穎花あたり露出柱頭数 (2 本ある柱頭について開穎時の露出柱頭数), 花粉親の花器形質として穎花から抽出した直後の葯の花粉残存数を調査した。各花器形質について有意な品種間差が見られた。穎花あたり露出柱頭数は, 熱帯日本型は平均 0.52 本で最も多く, 1.0 本以上の品種も見られた。一方, 温帯日本型では値の小さい品種がほとんどであるが, (Majiri) の記載がある在来品種の平均値は (Majiri) の記載がない品種より大きく, さらに前者には水口糯 (No.72) のように 0.5 本以上の大きな値を示す品種がいくつかあった。したがって, 穎花あたり露出柱頭数が自然交雑率と深くかかわっていることが示唆された。また, 葯抽出時の花粉残存数は, 熱帯日本型の Mangarsi I (No.129) が最高で葯あたり 1,736 粒であり, 温帯日本型の日本在来品種でも 1,000 粒を越える品種が多数みられた。以上, 温帯日本型でも形質に分離が生ずる雑駁な品種には自然交雑率を高め得る花器形質が存在するので, これらの品種を利用すれば花器形質の改良が可能である。自然交雑率をさらに高めるためには, 交雑不稔を生じるなどの問題はあがあるが, 熱帯日本型の有用花器特性を遺伝子給源として利用できると思われる。

KEY WORDS : *Oryza sativa*, Japonica rice, floral characteristics, stigma protrusion, residual pollen, hybrid seed production, hybrid variety.

緒 言

最近, 多くの研究者がイネ F_1 雑種の実用化に関心を持っている (SHINJYO 1975, VIRMANI *et al.* 1981, VIRMANI and EDWARDS 1983, KANEDA 1986)。イネ F_1 雑種の実用化には F_1 種子の経済的な大量採種が不可欠であるが, 雄性不稔個体上の F_1 種子の結実率は低い。中国では, 風がない場合 20~30 分間隔で綱を引いて穂をゆらすなどして交雑を補助しているが (LIN and YUAN 1980), それでも 33~45% の結実率に過ぎず (CHANG 1979), AZZINI and RUTGER (1982) が行った圃場試験でもせいぜい 40% の結実率であり, 経済的な大量採種は困難である。

このような低い結実率は栽培イネの自然交雑が通常は著しく起こりにくいことである。したがって, イネの種子親・花粉親の開花期や開花時刻の同調, 稈長差の効果 (VIRMANI and EDWARDS 1983), 風的作用などの受粉生態を明らかにするとともに, 高い結実率を保障する種子親, 花粉親の花器形質を明らかにし, F_1 採種にとってより望ましい品種の探索, 育成を図ることにより F_1 種子の経済的な大量採種が可能となる。イネの花器形質と他殖率に関して, OKA and MORISHIMA (1967) は *Oryza perennis* MOENCH その他の野生稻について, 雌蕊長, 開穎と開葯の時間差などの

花器形質に基づき、他殖率を推定している。この結果によれば、野生稻の中には著しく広い遺伝的変異がみられ、特にアフリカの系統には 100% 他殖性と推定されるものもみられる。また、PARMAR *et al.* (1979 a, b) および VIRMANI and ATHWAL (1973) は、インド型品種について自然交雑率を高める花器形質として、種子親としては開穎時間が長く、雌蕊が長く、柱頭の露出率が高く閉穎後も柱頭が露出していること、また花粉規としては、葯が大きいことと花糸が長く葯が穎花の外によく飛び出すことが望ましいものと推測し、これらについてかなりの品種間差異があることを報告している。

したがって、日本型イネの自然交雑率を高めるために、野生稻やインド型品種からの形質導入を図ることが考えられる。しかし、国際イネ研究所 (IRRI) で野生稻から栽培稻への形質導入を図ったところ、野生稻の花器形質と他の野生稻の形質との間に強い連鎖がみられている (IRRI 1985)。インド型イネから日本型イネに花器形質の導入を図る場合にも同様の問題が予想され、野生稻やインド型イネからの花器形質の導入はかなり困難であろう。もし、野生稻やインド型イネを利用しなくても日本型イネの自然交雑率向上が図れれば、雑種不稔 (MORINAGA 1968) や不良食味その他不都合な問題を考慮せず、日本型イネでの F_1 雑種の実用化が可能となる。しかし、日本型イネの自然交雑率に関する花器形質についての研究はほとんど行われていない。

そこで本研究では、日本型イネにおける自然交雑率に関する花器形質の調査を行った。OKA (1958) と OKA and CHANG (1962) の分類によれば、日本型イネには日本のイネに相当する温帯日本型の他にジャワ稲に相当する熱帯日本型があるので、温帯日本型である日本型育成品種、同在来品種とともに熱帯日本型も供試した。なお、自殖性作物のイネでも品種内で形質の分離が生ずることがある。この分離が生ずる原因には突然変異、採種時の手違いなどの他に、他品種との自然交雑が考えられている (安田 1951)。農林水産省生殖質保存管理室には同一品種名の日本型在来品種が何点も保存されており、中には種子保存目録中の品種名の後に (Majiri) と記載されており、自然交雑により形質に分離が生じた可能性がある雑駁な品種 (以下、Majiri 品種と称する) が保存されている。そこで Majiri 品種とそうでない品種を調査対象に含め、花器形質に違いがあるかどうかについて着目しながら調査を行った。

種子親の花器形質としては、穎花から露出した柱頭数を示す穎花あたり露出柱頭数および柱頭露出に深いかかわりがあると思われる雌蕊長に着目した。また、花粉親の花器形質としては、葯の大きさや総花粉数よりも、開穎し葯が穎花から抽出した後どれだけの花粉を放出・散布できるかが重要であると考え、葯抽出時点での葯上の花粉残存数を取り上げた。

材料および方法

供試した温帯日本型と熱帯日本型の品種番号、品種名、入手先機関の保存番号、収集・導入地、入手先の機関名を Table 1 に示した。温帯日本型として育成品種 14 品種各 1 点、在来品種 43 品種 101 点を用いた。なお、農林水産省生殖質保存管理室の種子保存目録中で (Majiri) と記載されていない通常の保存品種 16 品種各 1 点 (以下 A 群と称する) と、(Majiri) と記載されている品種についてはその記載がない同名品種を含めて別群とし、27 品種 85 点 (以下 B 群と称する) を調査対象とした。さらに、熱帯日本型として 18 品種各 1 点を用い、合計で 75 品種 133 点を供試した。温帯日本型のうち育成品種と在来品種の分類は、北陸農業試験場 (1979)、農林省農務局 (1935) ならびに農林水産省生殖質保存管理室のパスポートデータに基づいた。なお、育成品種には試験研究機関における純系分離育種法および突然変異育種法による品種も含めた。また、在来品種と育成品種に同音の品種がいくつかあるが、ここで供試した Niji Mochi (虹糯)、Sakae Mochi (さか

Table 1. Cultivars used in this study

Name of sample	Acc. No. in source institution	Collection site	Source institution
Temperate Japonica (115 samples of 57 cultivars)			
Improved cultivar (14 samples of 14 cultivars)			
1) Akinishiki ¹⁾			Univ. Tsukuba
2) Jin Heung ¹⁾			do.
3) Koshihikari			do.
4) Nipponbare ¹⁾			do.
5) Norin 8 ¹⁾			do.
6) Norin 22 ¹⁾			do.
7) Ozora ¹⁾			do.
8) Reimei			do.
9) Shinano Mochi ^{1) 2)}			do.
10) Taichung 65			do.
11) Tamanishiki ¹⁾			do.
12) Toride 1 ¹⁾			do.
13) Bozu 5	666		Nat. Inst. Genet.
14) Nihonmasari			Hokuriku Nat. Agr. Exp. Sta.
Local cultivar ⁶⁾ (101 samples of 43 cultivars)			
Group A (16 samples of 16 cultivars)			
15) Asahi ¹⁾			Univ. Tsukuba
16) Hokoku ¹⁾			do.
17) Murasakiine ¹⁾			do.
18) Shinriki ¹⁾			do.
19) Somewake			do.
20) Bohai	848	Taiwan	Nat. Inst. Genet.
21) Gun-eiki	562		do.
22) Hirayama ⁵⁾	535		do.
23) Kameji	548		do.
24) Kinoshita Mochi ²⁾	563		do.
25) Mansaku	571		do.
26) Ta-pei-mang	708	North China	do.
27) Tsao-siao-pei-tao	709	Central China	do.
28) Urasan ⁵⁾	501		do.
29) Aikoku	090399		NIAR ⁷⁾
30) Takara	040927		do.
Group B (85 samples of 27 cultivars)			
31) Akamai	070059	Kochi Prefecture	NIAR
32) Akamai ³⁾	070158		do.
33) Akamai (Majiri) ⁴⁾	070060	Kochi Pre.	do.
34) Akamai (Majiri)	070061	do.	do.
35) Aka Wase	030159	Toyama Pre.	do.
36) Aka Wase	060110	Wakayama Pre.	do.
37) Aka Wase	020575		do.
38) Aka Wase (Majiri)	030122	Toyama Pre.	do.
39) Aka Wase (Majiri)	030120	do.	do.
40) Aka Wase (Majiri)	060111	Wakayama Pre.	do.
41) Aka Mochi ²⁾	080249	Simane Pre.	do.

Name of sample	Acc. No. in source institution	Collection site	Source institution
42) Aka Mochi ²⁾	090289	Kagoshima Pre.	do.
43) Aka Mochi (Majiri)	060199	Nara Pre.	do.
44) Aka Mochi (Majiri)	080250	Shimane Pre.	do.
45) Biruma Mochi ²⁾	060122	Wakayama Pre.	do.
46) Biruma Mochi (Majiri) ²⁾	060223	do.	do.
47) Chosen Mochi ²⁾	020116	Fukushima Pre.	do.
48) Chosen Mochi ²⁾	020224	do.	do.
49) Chosen Mochi (Majiri) ²⁾	020117	do.	do.
50) Enryu	060368	Wakayama Pre.	do.
51) Enryu (Majiri)	060123	do.	do.
52) Fukukami	090159	Oita Pre.	do.
53) Fukukami (Majiri)	090054	do.	do.
54) Ginbozu	030164	Ishikawa Pre.	do.
55) Ginbozu	080150	Hiroshima Pre.	do.
56) Ginbozu (Majiri)	080092	do.	do.
57) Ginbozu (Majiri)	080151	do.	do.
58) Honmyo ²⁾	030113	Niigata Pre.	do.
59) Honmyo (Majiri)	030114	do.	do.
60) Honmyo (Majiri) ²⁾	040728	Nagano Pre.	do.
61) Kuro Mochi ²⁾	080203	Shimane Pre.	do.
62) kuro Mochi	080289	do.	do.
63) Kuro Mochi	080295	do.	do.
64) Kuro Mochi (Majiri) ²⁾	080204	do.	do.
65) Kuro Mochi (Majiri) ²⁾	080205	do.	do.
66) Kuro Mochi (Majiri) ²⁾	080206	do.	do.
67) Meguro	060222	Wakayama Pre.	do.
68) Meguro	060326		do.
69) Meguro (Majiri)	060219	Wakayama Pre.	do.
70) Meguro (Majiri)	060221	do.	do.
71) Mizukuchi Mochi	040734	Nagano Pre.	do.
72) Mizukuchi Mochi (Majiri)	040722	do.	do.
73) Mizukuchi Mochi (Majiri) ²⁾	040723	do.	do.
74) Murasaki Mochi ²⁾	020167	Akita Pre.	do.
75) Murasaki Mochi ²⁾	020185	do.	do.
76) Murasaki (Majiri) ²⁾	020152	do.	do.
77) Murasaki (Majiri) ²⁾	020153	do.	do.
78) Niji Mochi	080207	Shimane Pre.	do.
79) Niji Mochi ²⁾	080223	do.	do.
80) Niji Mochi (Majiri) ²⁾	080224	do.	do.
81) Oba Mochi ²⁾	040508	Ishikawa Pre.	do.
82) Oba Mochi ²⁾	040730	Nagano Pre.	do.
83) Oba Mochi (Majiri) ²⁾	040714	do.	do.
84) Oba Mochi (Majiri) ²⁾	041010	do.	do.
85) Sakae Mochi ²⁾	080227	Shimane Pre.	do.
86) Sakae Mochi (Majiri) ²⁾	080228	do.	do.
87) Sekiyama	020108	Fukushima Pre.	do.
88) Sekiyama	020206	do.	do.
89) Sekiyama	020207	do.	do.
90) Sekiyama (Majiri)	020109	do.	do.
91) Sekiyama (Majiri)	020208	do.	do.
92) Shakkinkiri ²⁾	040732	Nagano Pre.	do.

Name of sample	Acc. No. in source institution	Collection site	Source institution
93) Shakkinkiri (Majiri)	040733	do.	do.
94) Shinriki Mochi ²⁾	090295	Kagoshima Pre.	do.
95) Shinriki Mochi (Majiri) ²⁾	060232	Wakayama Pre.	do.
96) Shinriki Mochi (Majiri) ²⁾	090296	Kagoshima Pre.	do.
97) Shin Senbon	080100	Hiroshima Pre.	do.
98) Shin Senbon (Majiri)	080101	do.	do.
99) Tachi Mochi ²⁾	020105	Fukushima Pre.	do.
100) Tachi Mochi (Majiri) ²⁾	020204	do.	do.
101) Taisho Mochi ²⁾	060168	Shiga Pre.	do.
102) Taisho Mochi (Majiri) ³⁾	020223	Fukushima Pre.	do.
103) Taisho Mochi (Majiri) ²⁾	020227	do.	do.
104) Tokushige ³⁾	020112	Fukushima Pre.	do.
105) Tokushige (Majiri) ²⁾	020113	do.	do.
106) Tokushige (Majiri)	020215	do.	do.
107) Tokushige (Majiri) ²⁾	020216	do.	do.
108) Yamabiko	070065	Tokushima Pre.	do.
109) Yamabiko (Majiri)	070066	do.	do.
110) Yamasaka ²⁾	070025	do.	do.
111) Yamasaka (Majiri)	070114	do.	do.
112) Yonkoku Mochi ²⁾	080266	Shimane Pre.	do.
113) Yonkoku Mochi (Majiri)	080213	do.	do.
114) Yutaka Shuho	080065	do.	do.
115) Yutaka Shuho (Majiri)	080217	do.	do.
Tropical Japonica (18 samples and 18 cultivars)			
116) Balid	244	Philippines	Nat. Inst. Genet.
117) Betong ²⁾	344	Indonesia	do.
118) Davao ³⁾	201	Philippines	do.
119) Gadi	321	Indonesia	do.
120) Gaisen ^{2) 5)}	532	Japan	do.
121) Garumbalay	219	Philippines	do.
122) Gu-jing-xiao-hong-diao ²⁾	1040	South China	do.
123) Inakupa × malagkit sinaguig	221	Philippines	do.
124) Kaniranga	325	Indonesia	do.
125) Kirishima ⁵⁾	537	Japan	do.
126) Macan coranglan	206	Philippines	do.
127) Macan menita	224	do.	do.
128) Malagkit pirurutong ²⁾	242	do.	do.
129) Manggarsi I	336	Indonesia	do.
130) Padi ladang ase poeloe komok	657	do.	do.
131) Sinanpablo	220	Philippines	do.
132) Ta-tung-tsailai	701	North China	do.
133) Tosa Mochi ²⁾	565	Japan	do.
Total 133 samples of 75 cultivars			

¹⁾ Observed only female floral characteristics.

²⁾ Waxy sample judged by its endosperm color.

³⁾ Mixed sample with waxy and nonwaxy plants. Samples without ²⁾ or ³⁾ are nonwaxy.

⁴⁾ (Majiri) means contamination. The sample with this word is named contaminated sample.

⁵⁾ Upland cultivar.

⁶⁾ Local cultivars were divided into group A and B. Group A means 16 cultivars which were those without remark recorded as "Majiri", and group B means 85 samples of 27 cultivars which were those with the same cultivar name and contained those with remark recorded as "Majiri".

⁷⁾ National Institute of Agrobiological Resources.

Table 2. Distribution of waxy and nonwaxy cultivars classified according to endosperm color of the 85 samples in the local cultivars of group B¹⁾ of Temperate Japonica

Classification	Number of cultivars	Waxy	Mixed	Nonwaxy
		Number of samples		
Waxy samples only in the same name cultivar	7	20	0	0
Nonwaxy samples only in the same name cultivar	9	0	0	29
Waxy and nonwaxy sample(s) in the same name cultivar	8	14	0	11
Mixed sample and waxy and/or nonwaxy sample(s) in the same name cultivar	3	4	3	4
Total	27	38	3	44

¹⁾ Same in Table 1.

えもち), Yamabiko (山彦) は在来品種である. 熱帯日本型は OKA (1958) と OKA and CHANG (1962) の分類に従った.

育成品種には日本の育成品種 12 品種のほかに, 台湾と韓国の品種を各 1 品種ずつ加えた. また, すでに自然交雑率が調査されている台中 65 号 (新城 1975) とニホンマサリ (FUJIMAKI *et al.* 1977) を含めた. 在来品種 43 品種には台湾 1, 中国北部 1, 中国南部 1 の各品種各 1 点を含む. 他はすべて日本の在来品種であるが, このうち 2 品種各 1 点は陸稲である. 熱帯日本型 18 品種は主として東南アジアの島嶼に分布する品種であり, このうち 2 品種各 1 点は陸稲である. さらに, 全供試品種 75 品種のうち 24 品種は糯品種である. なお, 温帯日本型の B 群に属する保存品種には, 胚乳色から判断して, 同一品種名で保存されている品種のなかに, 粳イネの品種と糯イネの品種が混ざって保存されているものなどがあった (Table 1, 2). すなわち, 27 品種中 8 品種は糯イネと粳イネの保存品種が混ざっており, 3 品種は糯または粳イネ保存品種の他に糯個体と粳個体の分離がみられる保存品種であった. 種子親としての花器形質についてはこれらすべての供試品種について調査し, 花粉親としての花器形質については, 温帯日本型の育成品種 5 品種各 1 点, 在来品種 39 品種 97 点 (A 群 12 品種各 1 点, B 群 27 品種 85 点), 熱帯日本型 18 品種各 1 点について調べた.

温帯日本型の育成品種の花器形質は 1982 年に 9 品種, 1983 年に 3 品種, 1984 年に 2 品種調査した. 在来品種のうち A 群は 1982 年に 4 品種, 1983 年に 3 品種, 1984 年に 9 品種調査した. B 群はすべて 1983 年に調査した. 熱帯日本型は 1984 年に調査した. 各品種とも 1/5,000 a のワグネルポットに育成し, ビニールハウス内で開穎開始 2~3 日目の開穎最盛期の 2~3 個体について各 2~3 穂ずつ 3 日間連続して調査を行った.

種子親の花器形質として取り上げた穎花あたり露出柱頭数は各品種について日ごとに約 50 穎花の露出している柱頭数を調査した. なお, イネの柱頭は 2 本に枝分かれしているため, 穎花あたり露出柱頭数は最大 2.0 本である. また, 雌蕊長は, 2 本に枝分かれした雌蕊の基部から柱頭の先端までの長さとし, 毎日各品種について開穎中の約 30 穎花を採取し, 3 対 1 の酢酸アルコールで固定後, 顕微鏡下でマイクロメータを用いて測定した.

花粉親の花器形質として取り上げた葯抽出時点の葯上の花粉残存数は, 開穎の最盛時刻に, 葯が穎花の外に抽出した時点の穎花を 40 穎花ずつ 3 日間採取し, 花粉残存率と葯内の総花粉数を調査した. 花粉残存率の算出法は, まず各穎花から 6 本の葯をスライドグラスにのせ, 全部で 720 本

の葯について各葯の花粉残存程度を顕微鏡下で観察し、9段階に分類した。すなわち、花粉が全くないか痕跡程度の状態を“0”とし、まだ開葯しておらず花粉がすべて残っている状態を“8”とした。このようにして求めた花粉残存程度の平均値を、すべての花粉が残っている状態の“8”を100とする百分率に換算することによって花粉残存率を求めた。一方、葯内の総花粉数は、同じ40穎花から1本ずつ取り出した40本の葯の長さを測り、鈴木(1981)による葯長と葯内の総花粉数との回帰式、 $Y=1277X-1172$ (Y : 葯内の総花粉数, X : 葯長) から推定した。この葯内の総花粉数と花粉残存率をかけて、葯抽出時点の葯上の花粉残存数を算出した。

さらに、上記の花器形質と種子の粒形との関連をみるため、全品種計133点について保存中の種子5粒ずつをダイヤルキャリパーで測定することにより種子の長幅比を求めた。なお、本研究に用いた品種のうち、温帯日本型のニホンマサリを除く育成品種および在来品種のA群の種子は筑波大学農林技術センターならびに国立遺伝学研究所、ニホンマサリは北陸農業試験場、在来品種のB群の種子は農林水産省農業生物資源研究所生殖質保存管理室、熱帯日本型の種子は国立遺伝学研究所よりそれぞれ譲り受けた。

結 果

種子親の花器形質に関する調査結果を Fig.1 に示した。穎花あたり露出柱頭数についてみると、熱帯日本型では全く露出していない品種は少なく、ほとんどは0.3本以上であり、なかには1.2本と高い値を示すものまであった。一方、温帯日本型では、0.3本以下の品種がほとんどであるが在来品種、特にB群の中のMajiri品種には0.66本の水口糯(No.72)、むらさき(No.77)、関山(No.90)などのように半数以上の穎花で柱頭露出がみられる品種もあった。雌蕊長については、

Fig.1. Variations of floral characteristics for seed parent.

Samples of Temperate Japonica

Samples of improved cultivars (●)

Samples of local cultivars; group A (■)

Samples of local cultivars; group B

Contaminated samples (◇)

Samples of others (□)

Tropical Japonica (△)

¹ The maximum number of protruding stigmas per pistil is 2.0 in rice, because a pistil of rice has two parted stigmas.

² Sample number shown in Table 1.

1.25 mm から 2.35 mm の範囲にあり、熱帯日本型では 1.7 mm 以上の品種が多く、温帯日本型ではそれ以下のものが多かった。熱帯日本型と、温帯日本型の在来品種、特に B 群には図の右上方に位置し雌蕊が長く露出柱頭数が多い品種がみられた。しかし、これまでに雄性不稔系統の自然交雑率が調べられている台中 65 号 (No.10) やニホンマサリ (No.14) を含む温帯日本型の育成品種は雌蕊が 1.5 mm 程度で短く、露出柱頭数が最高でもコシヒカリ (No.3) の 0.38 本と低い値であった。陸稲 4 品種のうち熱帯日本型の凱旋 (No.120) は露出柱頭数 0.62 本で、他は 0.15 本以下であった。雌蕊長は凱旋が 1.85 mm、浦三が 1.74 mm で他は約 1.5 mm であった。

Table 3. Distribution of cultivars on number of residual pollen per anther at anther protruding stage in improved and local cultivars of Temperate Japonica, and Tropical Japonica

Cultivars	No. of cultivars	No. of samples	Number of residual pollen per anther ¹⁾								
			0	201	401	601	801	1001	1201	1401	1601
			to 200	to 400	to 600	to 800	to 1000	to 1200	to 1400	to 1600	to 1800
Temperate Japonica											
Improved cultivars	5	5	0	1	2	1	0	1	0	0	0
Local cultivars											
A) ²⁾	12	12	3	2	0	3	2	1	0	1	0
B) ³⁾	27	85	1	6	20	25	15	9	8	1	0
1) Contaminated samples		44	1	2	12	9	8	6	5	1	0
2) Others		41	0	4	8	16	7	3	3	0	0
Tropical Japonica	18	18	1	2	4	3	2	2	1	2	1

¹⁾ Counted by the formula viz. $P=p \times Y$

P: The number of residual pollen per anther.

p: The percentage of residual pollen in an anther at the anther protruding stage. The degree of residual pollen was classified into 9 grades under microscopic view on 720 anthers of 120 spikelets per one line.

Y: The number of pollen in undehecence anther which was estimated by using $Y=1,277X-1,172$ (SUZUKI 1981).

X: Anther length.

LSD (0.05)=428.

²⁾ Same in Table 1.

³⁾ Same in Table 1.

Fig. 2. Anther length and the percentage of residual pollen at anther protruding stage.

Each mark is the same in Fig. 1.

¹⁾ Sample number shown in Table 1.

²⁾ Number of residual pollen.

花粉親の花器形質である1葯あたりの花粉残存数を Table 3 に、花粉残存数算出のもとになった花粉残存率と葯長を Fig.2 に示した. 熱帯日本型では花粉残存数 1,000 粒以上の品種が約 3 分の 1 を占め, 特に Manggars I (No.129) は花粉残存率が 90% と高く, 花粉残存数 1,739 粒であった. 一方, 温帯日本型では花粉残存数 1,000 粒以下の品種が全体の約 8 割を占め, 育成品種ではレイメイ (No.8) が花粉残存率 59.8% で 1,006 粒の花粉残存数を示した他はいずれも低い値であった. しかし, 在来品種には花粉残存率 60% 以上で, 1,400 粒以上の花粉残存数を示す赤米 (No.34) や染分 (No.19) のような品種もみられた. また, 花粉残存数が 1,000 粒以上の品種の葯長はほとんどが 2.0 mm 以上であった. 長さ 2.0 mm 前後の葯では, 花粉残存率約 70% 以上の場合に 1,000 粒以上の花粉残存数を有し, 2.5 mm 前後では約 50% の花粉残存率で 1,000 粒以上の花粉残存数とみなされた. なお, 花粉残存率と葯長の間に相関はみられなかった.

次に, 温帯日本型の育成品種, 在来品種の A 群と B 群および熱帯日本型の花器形質について品種間差をみるため各形質の平均値を Table 4 に示した. 穎花あたりの露出柱頭数と雌蕊長では有意な差がみられ, 熱帯日本型の露出柱頭数は平均 0.517 本と最も多く, 雌蕊長も平均 1.84 mm と長かった. 温帯日本型の露出柱頭数では, 在来品種の B 群が A 群より大きな値を示した. 雌蕊長については在来品種の A 群が平均 1.70 mm で最も長く, 育成品種は 1.55 mm と最も短かった. 葯抽出時の花粉残存数は, 平均値としては熱帯日本型で最も大きく, 次いで温帯日本型の在来品種の B 群, A 群, 育成品種の順番で小さくなったが, その差は有意ではなかった. 花粉残存率については, 熱帯日本型と在来品種の B 群では平均約 50% と高かった. 葯長についても熱帯日本型と温帯日本型の在来品種の A 群が平均約 2.3 mm と大きい値を示した. 穎花の長幅比は熱帯日本型が大きく平均 2.9 であった.

Table 4. Floral characteristics in improved and local cultivars of Temperate Japonica, and Tropical Japonica

Cultivars	Floral characteristics for seed parent		Floral characteristics for pollen parent			Length-width ratio of spikelet
	No. of protruded stigmas per spikelet	Pistil length (mm)	No. of residual pollen per anther	% residual pollen at anther protruding stage	Anther length (mm)	
Temperate Japonica						
Improved cultivars	0.138bc ¹⁾	1.55 d	596	38.4 b	2.14 b	2.17 b (2.00-2.31) ²⁾
Local cultivars						
A) ³⁾	0.084 c	1.70 b	619	33.6 b	2.29 a	2.14 b (1.82-2.34)
B) ⁴⁾						
Contaminated samples	0.175 b	1.60 c	782	50.3 a	2.11 b	2.18 b (1.88-2.93)
Others	0.155 b	1.61 c	738	48.2 a	2.12 b	2.15 b (1.82-2.41)
Tropical Japonica	0.517 a	1.84 a	792	50.2 a	2.28 a	2.90 a (2.41-3.90)
Mean	0.200	1.64	745	47.4	2.16	2.25

¹⁾ Means followed by the same letter do not differ at 5% level probability according to Duncan's Multiple Range Test.

²⁾ Range of variation.

³⁾ Same in Table 1.

⁴⁾ Same in Table 1.

Table 5. Correlation coefficients among floral characteristics in 115 Japonica rice samples of 57 cultivars

	Pistil length	No. of residual pollen per anther	Length-width ratio of spikelet
No. of protruded stigmas per spikelet	0.344**	0.194 ¹⁾	0.209*
Pistil length		0.148 ¹⁾	0.067
No. of residual pollen per anther			0.154 ¹⁾

*, ** Significant at the 5% and 1% level, respectively.

¹⁾ Correlation coefficients in 102 Japonica rice samples of 44 cultivars.

花器形質間の相関を Table 5 に示した。穎花あたり露出柱頭数と雌蕊長の間に相関係数 $r=0.344$ と正の相関関係がみられ、穎花あたり露出柱頭数と長幅比の間にも $r=0.209$ と弱い正の相関関係がみられた。

考 察

イネの F_1 雑種を実用化するにあたっては、 F_1 種子の経済的な大量採種を可能にする必要がある。そこで本研究では、日本型イネについて、自然交雑しやすい花器形質を持つ雄性不稔の種子親と、花粉を大量に空中に放出する花粉親を育成するための基礎研究として、花器形質の品種間差異を調査し、望ましい花器形質を備えた品種の探索をこころみた。

これまでに、細胞質雄性不稔性または遺伝子雄性不稔性を育成品種に導入し、イネの自然交雑率を調べた実験がいくつかある。新城 (1975) は、台中 65 号に細胞質雄性不稔性を導入し、それらの結実率を調べた。雄性不稔系統 (台中 65 号) と花粉親系統 (台中 65 号) を 1:1 の割合で栽培した場合に 20%, 1:2 で 25.7%, 1:5 で 38.3% の結実率を得た。また、FUJIMAKI *et al.* (1977) によるニホンマサリの人為誘発遺伝子雄性不稔系統を種子親とし正常系統を花粉親とした実験では、10% 以下の結実率であった。このように、これまで得られた雄性不稔系統の結実率は低く、種子親対花粉親 1:5 という実際栽培ではあり得ない状況でも約 40% であり、このままでは F_1 種子の経済的大量採種は不可能である。これらの試験に用いられている育成品種の種子親としての花器形質をみると、穎花あたり露出柱頭数は、台中 65 号で 0.04 本、ニホンマサリで 0.18 本、雌蕊長はいずれも約 1.5 mm と短く、花粉親の花器形質である 葯抽出時の葯内の花粉残存数も、数百粒と少なく、いずれの花器形質とも育成品種の平均かそれ以下の値であった。この原因は、日本型イネは基本的には自殖性程度が高く、しかも日本の育成品種では、遺伝的に固定し斉一性に優れることがきわめて強く要求されるので、雑駁性が強く淘汰される過程で、自然交雑に関係する花器形質が無意識的に淘汰されたためと考えられる。したがって、自然交雑しにくい花器形質を備えた育成品種に雄性不稔性を導入してもそれだけでは F_1 種子の経済的大量採種は不可能であり、温帯日本型における F_1 雑種の実用化のためには種子親・花粉親の花器形質を改良し、 F_1 採種圃における自然交雑率を飛躍的に高める必要がある。

温帯日本型でも、在来品種の B 群、中でも特に Majiri 品種には、育成品種に比べて柱頭が露出しやすい品種があった。さらに、これらの保存品種には同一品種名の糯イネとして保存されていながら粳イネ品種が混ざっているものや、糯個体と粳個体の分離がみられる品種などがあった (Table 1, 2)。これはある時点で糯イネと粳イネの自然交雑がおこり雑駁となったことを意味する。したがって、柱頭が露出しやすいことが自然交雑率と密接にかかわっていることが明らかであり、分離がみられる雑駁な在来品種には、自然交雑率を高め得る花器形質の遺伝子給源として利用可能な品種があることがわかった。さらに、進化的にみてイネの起源種に近い熱帯日本型は、温帯日本型より

も自然交雑率を高める花器形質については優れていることがわかった。また、進化的にみて起源種に近いインド型品種は熱帯日本型よりも自然交雑率を高める花器形質についてさらに優れていることが知られている (PARMAR *et al.* 1979 b)。しかし、インド型品種は日本型品種との間に雑種不稔が生じ易く、種子の形質も大きく異なるので、日本型イネの花器形質の改良のための遺伝子給源としては不向きである。熱帯日本型はインド型品種よりも温帯日本型との間に雑種不稔を示す可能性が小さく、また粒形も温帯日本型に近いので、インド型品種よりは有効な遺伝子給源として利用できるものと思われる。

ところで、Table 5 と Fig. 1 より雌蕊長は露出柱頭数と正の相関があり、露出柱頭数 0.5 本以上の品種は雌蕊長 1.6 mm 以下の品種ではみられず、1.8 mm 以上の品種では約 3 分の 1 が 0.5 本以上の露出柱頭数を示した。VIRMANI and ATHWAL (1974) も、*Oryza sativa* L.f. *spontanea* × IR 8 の F_2 集団での調査結果から、露出した柱頭の割合と柱頭長の間に、正の相関があったことを報告している。したがって、雌蕊長も自然交雑率を高める有効な花器形質の一つである。さらに、諸花器形質間の相関では、穎花あたりの露出柱頭数と穎花の長幅比にも弱い正の相関がみられた (Table 4)。このことから、温帯日本型でも穎花の形に変異があり、穎花が細長いことは、柱頭が露出しやすいことと相関関係が認められるので、穎花ないしは種子の長幅比を調べることで、種子親としての優れた花器形質を選抜する一つの指標となるであろう。また、花粉残存数の多い品種としては葯が大きくかつ花粉残存率が高いことが望まれるが、両形質間に正の相関関係はみられなかった (Fig. 2)。このことから、葯の長さだけに着目して選抜を繰り返すと花粉残存率が小さく結果として花粉残存数が少ない系統を選んでしまう危険性がある。多数の花粉を空中に放出し自然交雑率を高める優れた花粉親の育成には、葯が大きく花粉残存率が高い花粉親を探索し利用する必要があるが、このように両形質を合わせ持つ花粉親を作出できる可能性は高い。

本実験では少数ながら、4 品種の陸稲についても花器形質の調査を行った。このうち熱帯日本型に属する凱旋では露出柱頭数が 0.62 本と多かった。また、日本在来の陸稲には水稻に比べ広い遺伝的変異が存在し、しかも熱帯日本型に分類される品種があることが知られている (山口・木村 1958)。このことから陸稲には優れた品種が存在する可能性があり、今後詳細な調査をする価値があると思われる。

以上のことから、温帯日本型とくに日本のイネで F_1 採種効率の向上を図るためには、育成品種を用いただけでは困難である。しかし、Majiri 品種など在来品種の有用遺伝子を用いることによって花器形質の改良を図ることの可能性が明らかになったので、温帯日本型について自然交雑率が高められ、経済的な大量採種が可能となるものと期待される。自然交雑率をさらに高めるためには、雑種不稔を生ずる場合があるが、日本の品種と近縁とされている熱帯日本型を有用花器特性の遺伝子給源として利用することが考えられる。

謝 辞

本論文の校閲をいただいた筑波大学農林学系菊池文雄教授に心から謝意を表わす。また、本研究の材料として、農林水産省農業生物資源研究所生殖質保存管理室、国立遺伝学研究所佐野芳雄博士、筑波大学農林技術センター、北陸農業試験場藤巻宏博士（現、農林水産技術会議事務局）より貴重な種子を頂いた。ここに心より感謝する。

引用文献

- AZZINI, L. E. and J. N. RUTGER 1982. Amount of outcrossing on different male steriles of rice. *Crop Sci.* **22** : 905~907.
- CHANG, T. T. 1979. Hybrid rice. In "Plant Breeding Perspective". SNEEP, J. and A. J. Th. HENDRIKSEN (eds.), PUDOC, Wageningen, Netherlands. 173~174.
- FUJIMAKI, H., S. HIRAIWA, and K. KUSHIBUCHI 1977. Artificially induced male-sterile mutants and their usages in rice breeding. *Japan. J. Breed.* **27** : 70~77.
- 北陸農業試験場 1979. "水稻の育成品種・系統の来歴と品種名一覧" 北陸農業試験場編, 社団法人 農林水産技術情報協会, 東京. 1~234.
- IRRI (International Rice Research Institute) 1985. Seed production. In "Annual Report for 1984". IRRI, Los baños, Philippines. 132~133.
- KANEDA, C. 1986. Rice breeding for extremely higher yielding ability by Japonica-Indica hybridization. *JARQ.* **19** : 235~240.
- LIN, S. C. and L. P. YUAN. 1980. Hybrid rice breeding in China. In "Innovative Approaches to Rice Breeding". IRRI, Los baños, Philippines. 35~51.
- MORINAGA, T. 1968. Origin and geographical distribution of Japanese rice. *JARQ.* **3** : 1~5.
- 農林省農務局 1935. 第4 奨励品種ノ来歴概要ノ一. "農事改良資料第 97 道府県ニ於ケル主要食糧農作物品種改良事業ノ成績並ニ計画概要" 農林省農務局編, 農林省農務局, 東京. 229~309.
- OKA, H. I. 1958. Intervarietal variation and classification of cultivated rice. *Indian J. Genet.* **18** : 79~89.
- and W. T. CHANG 1962. Rice varieties intermediate between wild and cultivated forms and the origin of the Japonica type. *Bot. Bull. Acad. Sinica* **3** : 109~131.
- and H. MORISHIMA 1967. Variations in the breeding systems of wild rice, *Oryza perennis*. *Evolution* **21** : 249~258.
- PARMAR, K. S., E. A. SIDDIQ and M. S. SWAMINATHAN 1979 a. Variation in components of flowering behavior of rice. *Indian J. Genet.* **39** : 542~550.
- , ——— and ——— 1979 b. Variation in anther and stigma characteristics in rice. *Indian J. Genet.* **39** : 551~559.
- SHINJO, C. 1975. Genetical studies of cytoplasmic male sterility and fertility restoration in rice, *Oryza sativa* L. *Sci. Bull. Coll. Agr. Univ. Ryukyus* **22** : 1~57.
- 新城長有 1975. 沖繩の一・二期作における細胞質雄性不稔イネの交雑率. *育雑* **25** (別1) : 92~93.
- 鈴木正一 1981. イネにおける障害型耐冷性と花器形質との関係. I 葯長および柱頭長の品種間差異と栽植密度の影響. *育雑* **31** : 57~64.
- VIRMANI, S. S. and D. S. ATHWAL 1973. Genetic variability in floral characteristics influencing outcrossing in *Oryza sativa* L. *Crop Sci.* **13** : 66~67.
- and ——— 1974. Inheritance of floral characteristics influencing outcrossing in rice. *Crop Sci.* **14** : 350~353.
- , R. C. CHAUDHARY and G. S. KHUSH 1981. Current outlook on hybrid rice. *Oryza* **18** : 67~84.
- and I. B. EDWARDS 1983. Current status and future prospects for breeding hybrid rice and wheat. *Adv. Agron.* **36** : 145~214.
- 山口彦之・木村定雄 1958. 日本陸稲在来品種の若干の形質の品種間差異について. *育雑* **7** : 241~246.
- 安田貞雄 1951. 作物の退化. "種子生産学" 安田貞雄著, 養賢堂, 東京. 177~186.

Summary

For practical use of F_1 hybrid in Japonica rice it is necessary to increase natural outcrossing rate and seed set percentage on cytoplasmic male sterile lines in hybrid seed production field by reforming those floral characteristics which do not normally fit cross-pollination. Floral characteristics of some wild species and Indica cultivars of rice are estimated to fit natural outcrossing (OKA and MORISHIMA 1967, PARMAR *et al.* 1979 a). Although introduction of these characteristics from wild rice or Indica to Japonica is one way of increasing natural outcrossing in Japonica rice, it is too difficult to introduce only these floral characteristics owing to the strong linkage between the floral charac-

teristics and undesirable wild rice traits (IRRI 1985). In addition, Indica-Japonica hybrid shows hybrid sterility (MORINAGA 1968). Accordingly, we studied the intervarietal variations in the most important floral characteristics for increasing natural outcrossing viz. the number of protruding stigmas per spikelet and pistil length for seed parent, and the number of residual pollen at the anther protruding stage for pollen parent.

The materials used in this experiment were Temperate (115 samples of 57 cultivars) and Tropical Japonica (18 samples of 18 cultivars) as shown in Table 1. The Temperate Japonica were classified into 14 improved cultivars and 43 local cultivars. The local cultivars were divided into group A and B. Group A means 16 cultivars which were those without remark recorded as "Majiri", and group B means 85 samples of 27 cultivars which were those with the same cultivar name and contained those with remark recorded as "Majiri". "Majiri" means contamination. Natural outcrossing is considered as a cause of the occurrence of the contamination.

The Tropical Japonica revealed the highest mean number of protruding stigmas (0.517) and two of them exhibited more than 1.0 in protruding stigmas, and showed the highest mean pistil length (1.84 mm) (Fig. 1 and Table 4). On the other hand, most of the Temperate Japonica showed smaller number of protruding stigmas. But group B had a larger number of protruding stigmas than group A (0.175 and 0.155 v.s. 0.084), and four of contaminated samples of group B showed more than 0.5 in protruding stigmas. Moreover, in 27 cultivars of group B, 8 cultivars contained individually waxy and nonwaxy sample(s), and 3 cultivars contained individually mixed sample with waxy and nonwaxy plants and waxy and/or nonwaxy sample(s) (Table 1, 2). These differentiation in the 11 cultivars would be caused by natural outcrossing. Therefore, stigma protrusion is considered to contribute to high natural outcrossing rate.

For pollen parent, 1/3 of the Tropical Japonica cultivars possessed more than 1,000 residual pollen, with the maximum value being 1,736 (Table 3). In the local cultivars there are also several cultivars possessing more than 1,000 residual pollen. These cultivars are promising materials because they have some effective floral characteristics which supply a lot of pollen to seed parent.

Moreover, the length-width ratio of spikelet was positively correlated with the number of protruding stigmas even in the Temperate Japonica cultivars (Table 5). Thus, slender shape of spikelet might be used roughly for identifying the practical floral characteristics of seed parent.

We conclude that floral characteristics of Temperate Japonica can be improved by introducing the promising floral characteristics which ensure high outcrossing rate from some contaminated cultivars. Tropical Japonica would be also a good gene source having superior floral characteristics for increasing natural outcrossing of Temperate Japonica, though hybrid sterility with Temperate Japonica and some undesirable traits such as grain shape and taste might limit partly its practical utilization in hybrid seed production.

H. KATO

H. NAMAI

Institute of Agriculture and Forestry, University of Tsukuba, Sakura, Niihari 〒305