Kazuyoshi TAKEDA : Notched Grains Developed on the Lines Derived from Crosses between Rice Cultivars. (Unbalanced Growth in Floral Glumes and Caryopsis in Rice. VII.) (English summary on p.156)

栽培品種間の交雑後代におけるくびれ米の発生

(イネにおける穎と子房の相互関係, VII)

武 田 和 義

(岡山大学農業生物研究所, 倉敷市)

くびれ米を発生しない‘正常’品種間の交雑後代でくびれ米が発生する原因を明らかにするために, くびれ米を発生しやすい新2号の親組合せである亀の尾1号と改良愛国(いずれもくびれ米を発生しない)の交雑を行い, 新2号並にくびれる系統を育成した。くびれ米歩合の高い系統では穎と子房の長さのアンバランスが大きかった。選抜効果から推定したくびれ米歩合の遺伝力は $F_2 \rightarrow F_3$ で 0.67 と高かった。亀の尾1号と改良愛国の玄米の長さはほとんど等しいが, F_2 には顕著な超越分離が認められ, 小粒個体でくびれ米歩合が高かった。‘正常’品種間の F_2 13 組合せにおいて, 粒大の分離が大きい集団ほどくびれ米が発生しやすい傾向が認められた。穎の長さと子房の長さに遺伝的な組換えが起こり, ‘正常’品種間の交雑後代においても穎と子房の長さがアンバランスでくびれ米を発生しやすい遺伝子型が現れる。

KEY WORDS : *Oryza sativa*, notched grain, grain quality, transgression, calyopsis.

緒 言

くびれ米(胴切米)に関しては, 遺伝的側面と環境的側面を強調するそれぞれの立場から多くの報告があるが, 著者は遺伝と環境の両面からくびれ米の発生機構ならびにくびれ米歩合の変異性について研究してきた。

その間に得られた一応の結論として「イネの穎の長さを支配する遺伝要因と子房の長さを支配する遺伝要因が完全には同一でなく, そのため穎と子房の長さには遺伝的なアンバランスが潜在しており, 子房の本来の長さが穎の収容能力を著しく越えた場合, 子房の伸長が穎によって妨げられ, くびれ米を発生するに至る。穎と子房の長さ, および登熟はそれぞれ遺伝的形質であり, また環境条件によっても影響されるので, くびれ米の発生は品種と環境の両方によって変異する」と言うことができる。

前報(武田 1982)では, 小粒性主働遺伝子が関与する F_2 集団を供試して, 穎と子房の長さの遺伝的アンバランスがくびれ米発生の要因であることを再確認した。このような主働遺伝子が関与するモデル的な場面での解析結果はそれなりに明解ではあるが, これが微働遺伝子に支配されて連続的な変異を示す場合の多い実際の育種素材にも適用し得る情報であるか否かが検証されなければならない。

そこで本論文では栽培品種間の F_2 13 集団を供試して, くびれ米を発生しない品種間の交雑後代からくびれ米を発生する品種が出来る原因を解析した。供試材料には冷害年次にくびれ米を多発する品種(氏家ら 1954)として知られる新2号が由来した亀の尾1号×改良愛国の交雑組合せが含まれている。

材料および方法

実験 1

1974 年に亀の尾 1 号×改良愛国の F_2 集団 1443 個体から各 1 穂を採ってくびれ米歩合を調査したところ、集団の約 1/3 の個体にくびれ米が発生し、くびれ米歩合は最高 61% (51 度) に達した。この集団からくびれ米歩合の上限 11 個体を選抜して翌年 F_3 を各系統 10 個体ずつ栽培し、系統平均値で最高約 32% (34.4 度) のくびれ米が発生することを確認した後、1976 年に新たに F_2 918 個体を両親ならびに F_1 と共に栽培してくびれ米歩合と玄米の長さを調査した。この F_2 集団からくびれ米歩合に関して上限、下限各 5% に相当する個体を選抜し、翌年 F_3 を各系統 10 個体ずつ栽培してくびれ米歩合を調査した。1976 年は冷害年次でくびれ米が発生しやすい気象条件にあった (武田・一戸 1978)。

材料は 4 月下旬に播種し、5 月下旬に三要素各 10 kg/10 a を施与した水田 (弘前大学農学部付属農場、青森県北津軽郡金木町) に 21×21 cm の密度で 1 本植えた。完熟後に収穫し、屑米を除く玄米 100 粒を採ってくびれ米歩合を調査し、その統計処理にあたっては百分率の角度変換値を用いた。玄米の長さは各個体から 10 粒の標本を抽出し、マイクロスケールで測定した。

実験 2

実験 1 に供試した亀の尾 1 号×改良愛国の交雑後代からくびれ米歩合の上限に選り続けた F_6 9 系統を 1981 年に岡山大学農業生物研究所のファイトロンで栽培し、その粒大とくびれ米歩合を調査した。

材料は 4 月下旬に播種し、5 月下旬に三要素各 0.7 g を施与した 1/5000 a ワグナーポットに 4 株 1 本植えし、1 系統 2 ポットとした。それぞれの系統の出穂始めまでは網室、それ以後はファイトロンで栽培した。ファイトロンの温度条件は、くびれ米を発生しやすくするために 15 時から翌朝 9 時までは 15°C の低温とし、9 時から 15 時までは開花、受精を行わせるため、12 時に 28°C を最高とする変温とした。対照区は完熟期まで一貫して網室で栽培した。

前記の F_6 系統の他に関連品種として亀の尾 1 号、改良愛国、新 2 号およびシンツルモチ、また、くびれ米を発生し難い対照品種としてフジミノリと早生稔、ならびにくびれ米を発生しやすい対照品種として清野 1 号と水野黒糯 (武田ら, 1980, 1981) を加えた。なお、シンツルモチは新 2 号と鶴糯 2 号の交雑から育成された品種である。

穎による規制を除いた状態で子房を発達させるために、低温処理区の各個体から 1~2 本の穂を抽出し、開花後 2~3 日目に穎の先端を切除した。切穎した穂は硫酸紙の袋で保護した。

完熟後に収穫して良く乾燥し、穎に包まれた状態で発達した玄米 (無処理玄米) と穎の先端が切除された状態で発達した玄米 (切穎玄米) をそれぞれ 10 粒ずつ採り、マイクロスケールで長さを測定した。以後、無処理玄米の長さを Cl, 切穎玄米の長さを Tl と略記し、両者のアンバランスの程度を示す指標として Tl/Cl を用いる。くびれ米歩合の調査には、屑米を除く無処理玄米 100 粒を供した。

実験 3

実験 1 において、くびれ米を発生しない品種間の交雑後代にくびれ米を多発する系統が現れたので、その普遍性を確かめるために、通常の栽培条件ではくびれ米を発生しない品種間の 13 組合せ (Table 2) を供試して F_2 個体のくびれ米歩合と粒大を調査し、粒大の分離の程度とくびれ米発生との関係を解析した。

交配親のうち、房吉、H-347 および Sesia は大粒、青系 79 号およびロシア 86 号はやや大粒、

それ以外は我国の一般栽培品種・系統であり，良好な登熟条件ではいずれもくびれ米を発生しない。なお，亀の尾1号×改良愛国（集団番号 615）は実験1の材料と共通である。

材料は 1976 年から 1978 年にわたって金木圃場で栽培した。栽培・調査方法などは実験1と同様である。

結 果

実験 1

亀の尾1号 (P_1) × 改良愛国 (P_2) の F_2 918 個体におけるくびれ米歩合の分離を選抜実験の結果と共に Fig.1 に示す。集団の約半数の個体にくびれ米が発生し，くびれ米歩合は最高 36% (37 度) に達した。

選抜差と遺伝獲得量の比から算出したくびれ米歩合の遺伝力は 0.67 で，量的形質としては高い値であった。 F_3 系統平均値の最高は約 39% (38.9 度) で，予備実験の結果（約 32%）と近似していた。

Fig. 1. Frequency distribution of notched grain frequency in F_2 plants and in selected F_3 lines of a cross Kamenno-o 1 × Kairyō Aikoku. Selection differential=20.1, genetic gain=14.8, and heritability=0.67.

親品種の Cl は亀の尾1号で 4.9 mm，改良愛国で 4.8 mm と近似していたが， F_2 個体の Cl は 4.3~5.3 mm と明らかな超越分離を示した (Fig.2)。5% 水準で小粒親よりも有意に小粒の F_2 は 103 個体 (11.2%)，大粒親よりも大粒の F_2 は 49 個体 (5.3%) であった。この小粒超越個体群のくびれ米歩合は平均 2% (8.0 度)，大粒超越個体群では 0.2% (2.6 度) と，その差は 0.1% 水準で有意であり ($t=4.2$)，明らかに小粒個体群でくびれ米歩合が高かった。一方，くびれ米歩合の上限に選抜した

Fig. 2. Segregation of caryopsis length in Kamenno-o 1 × Kairyō Aikoku F_2 population. Shaded areas indicate the plants exceeding P_1 or P_2 at the 5% level, respectively.

個体群の当代における Cl は平均 4.69 mm, 下限に選抜した個体群では 4.82 mm と, その差は 0.1% 水準で有意であり ($t=4.2$), くびれ米歩合の高い個体は小粒であった。

実験 2

供試品種・系統の低温処理区における Tl, Cl, Tl/Cl, くびれ米歩合, ならびに対照区におけるくびれ米歩合を平均値間の有意差を示す Tukey の D 値 (Snedecor 1956) と共に Table 1 に示す。なお, 後述するように F_6 系統内には遺伝的分離が認められたので, 標準誤差は品種内個体変異から推定した。

亀の尾 1 号, 改良愛国ならびにくびれ米歩合の低い対照品種では Tl/Cl が 1.3 前後, 低温処理区におけるくびれ米歩合は 11% (19.3 度) 以下であったが, 新 2 号およびシンツルモチではそれぞれ 1.35 程度, 75% (60 度) 前後と高く, 亀の尾 1 号×改良愛国の F_6 選抜系統ではそれぞれ 1.3~1.4, 14~60% (22~51 度) の範囲にあった。くびれ米歩合が最も高かった清野 1 号ではそれぞれ 1.47, 約 89% (70.4 度) であった。氏家ら (1954), 長戸・小林 (1957), 浪岡ら (1975) も報告しているように, 登熟初期の低温処理によってくびれ米が多発するが, フジミノリや早生稔においては, このような条件でもくびれ米歩合が 2.6% (9.3 度) および 0.6% (4.4 度) と極めて低いことが注目される。

F_6 選抜系統のうち, くびれ米歩合が最も高かった '823058' は, 粒大およびくびれ米発生に関するかぎり, 新 2 号に近い特性を示すといえる。また, シンツルモチの粒大ならびにくびれ米歩合は片親の新 2 号に近似していた。

Table 1. Length of glume-clipped caryopsis (Tl) and non-treated caryopsis (Cl), Tl/Cl ratio, and notched grain frequency (in degree of angle) under low temperature condition, and notched grain frequency (in degree of angle) under natural condition in Kamen-o 1×Kairyō Aikoku F_6 lines selected for high grain notching and some check cultivars.

Lines or cultivars	Tl (mm)	Cl (mm)	Tl/Cl	Notched grain freq.	
				Low temp.	Natural
823034	6.24	4.55*	1.37	37.9**	3.5
823037	6.92**	4.90	1.42**	35.6**	1.4
823040	6.89**	5.25**	1.32	22.3	1.4
823058	6.57	4.75	1.38**	50.5**	1.4
823101	6.24	4.78	1.31	35.8**	1.4
823120	6.60	4.96	1.33	33.2**	1.4
823128	6.68	4.99	1.34	35.9**	3.5
823135	6.40	4.80	1.33	29.2	1.4
823148	6.59	5.01	1.32	22.8	2.0
1. Kamen-o 1	6.58	5.09	1.29	19.3	0
2. Kairyō Aikoku	6.35	4.82	1.31	11.5	0
3. Shin 2	6.39	4.74	1.35	57.8	2.1
4. Shintsurumochi	6.35	4.68	1.36	60.9	6.0
5. Fujiminori	6.31	5.03	1.25	9.3	0.7
6. Waseminori	6.30	4.79	1.32	4.4	0
7. Kiyono 1	7.31	4.97	1.47	70.4	0.7
8. Mizunokuromochi	6.98	4.90	1.43	63.5	0
Tukey's D value ($p=0.05$)	0.28	0.13	0.07	13.9	6.2

* and **: Transgression being less than lower parent and more than higher parent, respectively.

一方、これらの品種、系統は良好な登熟条件下ではほとんどくびれ米を発生せず、対照区におけるくびれ米歩合は最高のシンソルモチでも約 1% (6.0 度) にすぎなかった。

TUKEY の D 値からみて、これらの形質の品種・系統による変異は、対照区におけるくびれ米歩合を除いていずれも統計的に有意であった。

環境変異の小さい形質として認められている玄米の長さ (Cl) の個体変異を変異係数でみると、品種で平均 1.29% であるのに対し、 F_6 選抜系統では 1.53% と高く、系統内に遺伝的分離のあることが示唆された。また、Tl の変動係数は品種で平均 1.97% と Cl の変動係数の 1.5 倍に達し、玄米の長さを規制する籾殻の役割が明らかにされた。Tl/Cl の変動係数はおおむね Tl 並であった。

低くびれ米品種群、 F_6 選抜系統群ならびに高くびれ米品種群の Tl/Cl とくびれ米歩合との関係は一貫した回帰線上にあり (Fig. 3)、Tl/Cl

で示される頤と子房の長さのアンバランスがくびれ米発生の要因であることが示唆された。ただし、Fig. 3 にも示されるように、Tl/Cl が同一の水準にあってもくびれ米歩合にはかなりの変異があるので、くびれ米の発生には頤と子房の長さのアンバランス以外の要因も関与していると思われる。

なお、本実験に供試された対照品種の Tl/Cl は従来の実験で得られた値よりも、いずれも 0.1 ポイントほど高かった。ファイトロンにおける低温時の湿度はほぼ飽和しており、そのため切頤玄米が良く伸長して Tl/Cl が高まったものと見られるが、低温によって Tl が増大する可能性もあるので、温度と湿度が切頤玄米の伸長に及ぼす影響について検討中である。

実験 3

F_2 集団で観察された Cl の平均値、レンジ、変動係数、くびれ米歩合の平均値、レンジ、各集団中でくびれ米を発生した個体の割合ならびに各集団の出穂盛期を Table 2 に示す。なお、同一の遺伝的背景においても糯粒の Cl は粳粒に比べて 2~3% 短くなることが知られている (武田ら 1975) ので、糯粳性に関して分離のある組合せ (集団番号 609, 610, 611, 612, 714 および 715) においては集団の約 1/4 を占める粳ホモ個体を対象にして Cl の統計量を算出した。

1976 年は前述のように、くびれ米の発生しやすい冷害年次だったので、1976 年に栽培された晩生と極晩生の集団はストレス条件下で登熟した群とし、それ以外の集団は準ストレス条件下で登熟した群とした。後者を標準あるいは対照群とせず準ストレス群としたのは、これらの後代の一部を後に岡山大学農業生物研究所 (岡山県倉敷市) において栽培したところ、倉敷圃場ではくびれ米がほとんど発生しなかったため、津軽半島の中央部に位置し、“ヤマセ” (冷涼な偏東風) の常襲地帯である金木圃場は、平年においてもある程度のストレス条件にあったと考えざるを得ないためである。

Fig. 3. Relation between the ratio of caryopsis/glume length (Tl/Cl) and notched grain frequency. ● : Selected F_6 lines of Kamen-o 1 x Kairyo Aikoku
Δ : Check cultivars (cf. Table 1).
*** : Significant at the 0.1% level.

Table 2. Caryopsis length and notched grain frequency (in degree of angle), percentage of grain-notching plants and medium of heading date of 13 F₂ populations examined

Population number	Parental combination	N ¹⁾	Caryopsis length (mm)		Notched grain frequency		% of notched plants ²⁾	Heading date	Year	Ripening condition ³⁾
			Mean	Range	Mean	Range				
611	Toramochi × Russia 86	454	5.35	4.85~5.69	3.00	6.26	0~40.9	58.8	Late August	1976
612	Takasagomochi × Mutsukogane	281	5.24	4.93~5.47	2.07	1.84	0~16.4	25.6	do.	do.
613	Shin 2 × Sesia	342	5.73	4.91~6.92	6.90	6.24	0~39.8	45.0	do.	do.
614	Shin 2 × Fusayoshi	875	5.74	4.55~6.94	9.70	11.69	0~51.7	76.2	Early Sept.	do.
615	Kameno-O1 × Kairyō Aikoku	918	4.79	4.32~5.32	3.32	5.13	0~36.9	52.2	Late August	do.
609	Aomirimochi 7 × Mutsukogane	404	5.18	4.57~5.34	2.53	0.12	0~12.0	9.7	Middle Aug.	do.
610	Mochi 42-5 × Yukara	344	4.95	4.51~5.35	3.13	1.00	0~14.3	15.4	Early August	do.
711	Fusayoshi × Akiminori	97	5.93	4.79~7.09	10.25	5.84	0~38.7	53.6	Early Sept.	1977
714	Tenmazairaimochi × Waseminori	358	4.99	4.65~5.33	2.51	0.64	0~12.9	9.2	Early August	do.
715	Higashidorizairaimochi × Yukara	389	5.01	4.75~5.98	2.98	1.64	0~21.1	22.1	do.	do.
719	H-347 × Reimei	214	5.67	4.87~6.96	6.37	2.39	0~35.7	23.4	Late August	do.
721	H-347 × Fusayoshi	162	6.62	5.26~7.82	8.14	1.45	0~25.8	13.6	do.	do.
803	Aokei 79 × Fusayoshi	1236	5.81	4.95~6.88	7.62	1.46	0~25.1	18.1	do.	1978

1) : Population size. 2) : Percentage of plants which developed notched grain. 3) : Stress by low temperature.

我国の一般栽培品種間の F_2 (609, 610, 612, 615 および 714) では Cl が 4.3~5.5 mm の範囲にあったが、東通在来糯×ユーカーラ (715) の F_2 には Cl が 5.9 mm を越える、やや長粒の個体が散見された。東通在来糯は青森県の在来品種であるが、ユーカーラは支那稻の荔支江に由来しており、荔支江の Cl は 6.2 mm と長粒なので (農水省北陸農試 1978), 荔支江から導入された Cl に関与する遺伝子が東通在来糯×ユーカーラの F_2 において組換えられ、超越分離を起こした可能性がある。H-347×房吉 (721) のような大粒系統間の F_2 では Cl が 7.8 mm 以上の長粒個体が現れた。

Cl の分離の程度を示すには、いくつかの統計量を用い得るが、ここでは変動係数を用いることにする。一般に我国の栽培品種間の F_2 では Cl の変動係数が 2~3% であったが、房吉や Sesia のような大粒品種に関与する F_2 では Cl の分離が甚しく、Cl の変動係数が 10% を越える例も見出された。

我国の一般栽培品種間の F_2 では Cl の分離が小さく、このような集団では平年の金木圃場程度の準ストレス条件 (609, 610, 714, 715) で集団の 9~22% の個体に、最高 4~13% (12~21度) のくびれ米が発生し、その集団平均値は 0~0.1% (0.1~1.6 度) と低いけれども、Cl の分離が大きい集団をストレス条件下で栽培すると、集団の半数以上の個体にくびれ米が発生し、くびれ米歩合は最高 60% を越える場合があった (集団番号 614)。

Cl の変動係数とくびれ米歩合の集団平均値 (平均値), 集団内の最高値 (最高値) ならびに各集団中でくびれ米が発生した個体の割合 (発生個体率) との関係を図 4~6 に示す。

Cl の変動係数と '平均値' の間にはストレス群で $r=0.89$, 準ストレス群で $r=0.77$ と、いずれも 5% 水準で有意な相関があ

Fig. 4. Relationship between the segregation of caryopsis length and the mean of grain-notching in F_2 populations.
 Δ : Grown under stress condition.
 $\bullet$: Grown under semi-stress condition.
 $*$: Significant at the 5% level.

Fig. 5. Relationship between the segregation of caryopsis length and the maximum of grain-notching in F_2 populations.
 Δ : Grown under stress condition.
 $\bullet$: Grown under semi-stress condition.
 ** : Significant at the 1% level.

Fig. 6. Relationship between the segregation of caryopsis length and percentage of grain-notching plants in F_2 populations.

△ : Grown under stress condition.

● : Grown under semi-stress condition.

レス群において高かったが、最高値および発生個体率ではストレス群と準ストレス群の値に有意差がなかった。

考 察

水稻新2号は亀の尾1号×改良愛国の交雑から1939年に新潟県農試において育成された、低温条件でくびれ米を多発する品種であり、例えば、1953年の冷害年次には宮城県で最高78%のくびれ米を発生したと報告されている(氏家ら1954)。ところが、その交雑親である亀の尾1号と改良愛国は実験2の結果にも示されるように、新2号が約70%のくびれ米を発生するような条件下でもそれぞれ11%と4%のくびれ米を発生するにすぎず、通常の栽培条件においては全くくびれ米を発生しない。

このように、実際の育種事業によって‘正常’品種間の交雑から一種の超越型が育成された過程を実験的に再現し、その原因を明らかにすることは、育種への基礎的な情報提供となるものと考えられる。そこで、本研究の実験1では亀の尾1号×改良愛国の後代にくびれ米を多発する系統が現れることを確かめ、実験2ではそのような系統の穎と子房の長さのアンバランスが大きいことを確めた。

くびれ米を多発する性質そのものが遺伝形質であり、主働遺伝子が関与するという立場(盛永・福島1943, SEETHARAMAN 1967, その他)からすると、くびれ米を発生しない亀の尾1号と改良愛国の交雑後代にくびれ米を発生する新2号が育成されたのは、両親が補足遺伝子を持っていたことによると考えられるが、 F_2 の分離様式および $F_2 \rightarrow F_3$ の選抜実験の結果は(Fig. 1), くびれ米の遺伝性が単純なものではないことを示唆している。

著者は多数の品種、系統、雑種集団を供試してくびれ米の発生機構を解析し、くびれ米を発生する性質そのものは遺伝形質ではなく、穎と子房の長さのアンバランスによって発現される二次的形質であると主張してきた。

亀の尾1号のClは4.9mm、改良愛国では4.8mmとほとんど差がないが、 F_2 集団には明らかな超越分離が認められる(Fig. 2)。ClとTlの間には、Clが3~8mmの品種間変異で $r=0.8$

り、(Fig. 4), ‘最高値’との間にも準ストレス群では $r=0.86$ と1%水準で有意、また、ストレス群では $r=0.77$ と有意ではないが密接な相関があった(Fig. 5)。
‘発生個体率’の間にはストレス群、準ストレス群共に統計的に有意ではないが $r=0.69$ 程度の相関があった(Fig. 6)。すなわち、一般にClの分離が大きい集団ほど、くびれ米の発生個体率、最高値ならびに平均値が高くなる傾向があると言える。

平均値、最高値および発生個体率をストレス群と準ストレス群と比較するとClの変動係数が等しければこれらの値は登熟条件の悪いストレス群で明らかに高い。Clの変動係数に対する各形質の回帰係数は、平均値ではスト

(武田・高橋 1970), 広範な分離を示す F_2 集団で $r=0.6\sim0.8$ (武田 1983) の相関があるので, Cl に超越分離が起これば Tl にも超越分離が起こる可能性が高く, 事実, 実験 2 に供試された F_2 選抜系統の Tl は最高 6.92 mm で親の値を統計的に有意に越えていた (Table 1)。更に, Tl と Cl の相関が 1.0 ではないため, Tl と Cl に組換えが起こり, Tl/Cl にも超越分離が起こることになる。実際, 亀の尾 1 号と改良愛国の Tl/Cl は 1.3 前後であるのに対して新 2 号では 1.35, F_2 選抜系統のあるものでは 1.42 に達し, 有意に親の値を越えていた。

低くびれ米品種群, F_2 選抜系統群および高くびれ米品種群の Tl/Cl とくびれ米歩合との関係は一貫した回帰線上にあり (Fig. 3), 両者の相関係数は 0.8 と高く (F_2 系統群内では $r=0.56$), Tl/Cl に超越分離が起こればくびれ米歩合にも超越分離の起こることが示唆された。実際に供試した F_2 9 系統のうち, 6 系統で低温処理区のくびれ米歩合が有意に親の値を超えていた。

したがって, 亀の尾 1 号と改良愛国のような, くびれ米を発生せず, しかも粒大の近似した品種間の交雑後代にくびれ米が発生する原因は, Tl と Cl に超越分離が起こり, 更に Tl と Cl の組換えによって Tl/Cl の高い遺伝子型が現れるためであると言える。

亀の尾 1 号 $\times$ 改良愛国の F_2 系統 '823058' は Tl , Cl , Tl/Cl およびくびれ米歩合に関するかぎり新 2 号に良く近似しており, 新 2 号の特性がこの実験によって再現できたと言える。また, シンツルモチは親の新 2 号に比べてわずかに短粒化しているが, Tl/Cl およびくびれ米歩合に関するかぎり新 2 号の特性を良く伝えている。

実験 3 では, くびれ米を発生しない品種間の後代に新 2 号のようなくびれ米を発生する品種が育成された事例が異例なものであるかどうかを知るために, くびれ米を発生しない品種間の F_2 13 集団を供試し, Cl の分離の大きい集団では Tl の分離も大きく, Tl/Cl の変異が大きくなるためにくびれ米を多発する個体が現れるという仮説に基づいて, Cl の分離程度とくびれ米発生との関係を解析した。供試組合せ数は多いとは言えないが, 粒形, 粒大を異にする外国稲から遺伝質を導入する場合を想定して, 房吉, H-347, Sesia, 青系 79 号, ロシア 86 号などの大粒あるいは長粒品種の関係する組合せを含めている。

冷害年次の 1976 に栽培された晩生および極晩生集団 (ストレス群) はもちろん, 準ストレス群においても集団の少くとも 9% の個体でくびれ米が発生しており (Table 2), ストレスあるいは準ストレス条件下で雑種集団にくびれ米が発生するのは稀な現象ではないことが示された。

供試集団の数が十分でないために, 統計的に有意性の認められない場合もあるが, 一般に, Cl の分離が大きい集団ほど集団内でくびれ米を発生する個体の割合が高く, くびれ米歩合の最高値ならびに集団平均値が高くなる (Fig. 4~6)。また, 登熟条件が悪いとこれらの値は一層高くなり, ストレス条件下で栽培された新 2 号 $\times$ 房吉 F_2 (集団番号 614) では集団の 76% の個体に最高 62% (約 52 度) のくびれ米が発生した (Table 2)。

実験 2 および 3 で明らかにされたように, 登熟期の温度が低い条件でくびれ米を多発する系統も, 倉敷の自然条件のように良好な登熟条件下ではくびれ米をほとんど発生しない場合が多い。したがって, くびれ米を発生するような系統を淘汰するにはくびれ米の発生しやすいストレス条件を設定しなければならないが, そのためにはファイトトロンのような施設を用いなくても, 東北地方南部あるいは北陸地方に適応する品種を青森県北部で栽培した実験 1 および 3 のように, その系統が, いわゆる限界出穂日より遅く出穂するような地域や作期に栽培してくびれ米を発生するか否かを判定すれば良い。

品質に関して厳しい選抜を受けた改良品種を良好な環境で栽培するかぎり, くびれ米の発生は稀な現象であるが, 実験 3 で明らかにされたように, ストレスあるいは準ストレス条件下で雑種集団

中にくびれ米を発生する個体が現れるのは普遍的な事実である。栽培品種においても、縣神力、愛国2号、恵比須、改良神力、吉備穂、畿支中生23号、同54号、畿支晩生36号、同39号、同74号、同162号、同173号、同174号、雄神、晩生亀治、関取1号、四国12、静岡源本1号、神力糯、相徳、伊予相徳1号、豊穂1号、山口糯3号（岡村1935）、フタケトリ、藤坂5号、農林24号、信濃糯3号、新2号、鶴糯1号（氏家ら1954）、かちほなみ、農林33号（森村・本間1972）、フクニシキ、ササミノリ、染分、トヨニシキ、ヨネシロ（浪岡ら1975）、清野1号、水野黒糯、モロ、関山2号、戦捷、ワラベハタモチ、ヤカン（武田ら1981）およびシンツルモチ（本論文）など、くびれ米を高率で発生した事例の報告は少ない。

最近、超多収品種の育成あるいは耐病虫性導入のために、粒大、粒形を異にする品種間の交雑が頻繁に行われるようになってきているが、粒大の分離の大きい組合せでは穎と子房の長さがアンバランスで、登熟期の温度が低いとくびれ米を発生しやすい遺伝子型が現れるという事実は寒冷地や高冷地のイネ育種、あるいは粒形、粒大を異にする品種間で交雑を行う場合に留意されるべき知見であろう。

謝 辞

本研究の実験1および3は弘前大学農学部において実施された。実験の遂行に便宜をはかれた弘前大学農学部教授斎藤健一博士ならびに実験に協力された一戸克之君に謝意を表します。

引用文献

- 森村克美・本間 昭 1972. 胴切米の発生について. (Ⅱ) 育雑 22 (別1): 67~68.
- 盛永俊太郎・福島栄二 1943. 稲の形態と遺伝. I. 畸形形質と遺伝. 九大農芸雑誌 10: 301~339.
- 長戸一雄・小林喜男 1957. 胴切米の発生に関する研究. 日作紀 26: 13~14.
- 浪岡 実・高館正男・佐藤尚雄 1975. 水稻冷害の実際的研究. 第43報 登熟期の低温処理による胴切米発生
の品種間差異. 日作東北支部報 17: 1~2.
- 農水省北陸農試 1978. 内外稲品種の特性解析. 第2報. 北陸農業研究資料 No. 4: 114~115.
- 岡村 保 1935. 胴切米に就いて. 農学研究 25: 221~296.
- SEETHARAMAN, R. 1967. Inheritance of notch in rice kernels. Ind. J. Genet. 27: 465~472.
- SNEDECOR, G. W. 1956. Statistical methods. (5th Ed.) Iowa State Col. Press. Iowa, USA p. 251.
- 武田和義・高橋萬右衛門 1970. イネの穎と子房の大きさの相対的關係. I. その不均衡程度の品種間差異と畸形粒の発生. 育雑 20: 337~343.
- ・中山林三郎・斎藤健一 1975. 糯硬性が玄米の大きさに及ぼす影響. (イネにおける穎と子房の相互關係, IV) 育雑 25: 87~92.
- ・一戸克之 1978. 米質に関する育種学的基礎研究. IV. 昭和51年の異常気象と“くびれ米”(胴切米)の発生. 日作東北支部報 20: 13~15.
- ・———・斎藤健一 1980. くびれ米歩合の品種変異と環境変異. 弘大農報 33: 1~13.
- ・———・——— 1981. くびれ米(胴切米)の発生機構ならびにくびれ米歩合の変異性. 日作紀 50: 502~508.
- 1982. 小粒性主働遺伝子によるくびれ米の発生. (イネにおける穎と子房の相互關係, V) 育雑 32: 353~364.
- 1983. くびれ米歩合ならびに穎と子房の長さのアンバランスの選抜反応と相互関係. (イネにおける穎と子房の相互關係, VI) 育雑 33: 印刷中
- 氏家四郎・斎藤豊治・佐藤三郎 1954. 冷害年次における胴切米の発生状況. 農及園 29: 1317~1318.

Summary

A rice cultivar Shin 2 derived from a cross combination, Kamen-o 1×Kairyo Kikoku, develops notched grains with high percentage especially under low temperature condition, whereas their parental cultivars produce notched grains very little. Thus, Shin 2 can

be regarded as a transgressive type in respect of grain-notching. To clarify how the grain-notching line has been derived from the 'normal' parents is the main purpose of this study.

The first experiment was performed using F_2 and F_3 plants of a Kameno-o $1 \times$ Kairyo Aikoku cross. After a preliminary test of F_2 and F_3 plants, a total of 918 F_2 plants, and their parents and F_1 plants as well, were investigated for notched grain frequency and caryopsis length in 1976. About a half of the F_2 plants developed notched grains with a maximum frequency of 36%. The top and bottom 5% of the F_2 population were selected for grain-notching, and the F_3 lines were evaluated in 1977. Heritability value of the noched grain frequency estimated from the selection response was 0.67. The highest mean value of notched grain frequency was 39% in F_3 lines evaluated (Fig. 1).

As shown in Fig. 2, the F_2 plants varied widely in caryopsis length from 4.3 to 5.3 mm, while both of the parents were almost similar, namely, 4.9 and 4.8 mm in Kameno-o 1 and Kairyo Aikoku, respectively. Thus, transgressive segregation was remarkable; 49 F_2 plants (5.3% of the population) developed longer caryopses than Kameno-o 1 and 103 plants (11.2%) had shorter ones than Kairyo Aikoku. The frequency of notched grains developed on these transgressive short grain F_2 plants was higher than that of transgressive long grain F_2 plants ($t=4.2$, $p<0.001$). Furthermore, mean caryopsis length of F_2 plants selected for high grain-notching was significantly shorter than that of selected for low grain-notching (4.69 vs. 4.82 mm, $t=4.2$, $p<0.001$).

Progeny lines from the cross were continuously selected for high grain-notching until F_6 generation, and nine high notching lines were bred. In the second experiment, these F_6 lines, the parental cultivars and six check cultivars were grown under both natural and low temperature conditions using phytotron in 1981. The caryopsis length and notched grain frequency of these entries were examined.

In this experiment, upper parts of the floral glumes on one or two panicles of each plant were clipped-off two or three days after anthesis and the glume-clipped panicles were protected by parchment bags to allow the full expression of the potential length of caryopsis (Tl) without restriction by the size of floral glumes. The inside length of floral glumes (Cl) was indicated by the length of caryopsis naturally developed in a state encased in the floral glumes.

In all the entries, Tl exceeded Cl, and Tl/Cl ratio varied from 1.25 to 1.47. Tl and Cl of the F_6 lines varied around the parental value, and transgression of Tl and Cl were statistically significant in some of the F_6 lines. Notched grain frequency and Tl/Cl ratio of some F_6 lines exceeded those of parental cultivars. An F_6 line '823058' revealed such high notched grain frequency and Tl/Cl ratio as Shin 2, a high grain-notching variety derived from kameno-o $1 \times$ Kairyo Aikoku cross (Table 1). Correlation between Tl/Cl ratio and notched grain frequency was statistically significant among the entries examined (Fig. 3).

In the third experiment, a total of 6,074 F_2 plants from 13 crosses between 19 'normal' cultivars were investigated for notched grain frequency and caryopsis length in 1976, 1977 and 1978.

Depending upon the temperature condition during the grain filling period, the 13 F_2 populations were divided into two groups, namely late heading F_2 populations grown in

1976 with cool summer were clasified as stress group and the others were as semi-stress group (Table 2).

In the stress group, 26~76% of the F_2 plants developed notched grains. Highest frequency of notched grains was 62%, and population mean was 0.4~4%. In the semi-stress group, 9~54% of the F_2 plants produced notched grains, with the highest frequency of 39%. Population mean was as low as 0~1%.

Magnitude of segregation for the caryopsis length in F_2 population between Japanese common cultivars was small and the coefficient of variation was only 2~3%. However, when such long grain lines as Aokei 79, Fusayoshi, H-347 or Sesia were concerned, magnitude of segregation for the caryopsis length was large and the coefficient of variation was as high as 10%.

As shown in Figure 4, 5 and 6, respectively, the magnitude of segregation for the caryopsis length was found to correlate closely with the population mean of the notched grain frequency, maximum of the notched grain frequency in the F_2 population, and also with the proportion of grain-notching plants in the F_2 population.

These results reveal the followings: Although Tl and Cl of Kamen-o 1 are very similar to those of Kairyo Aikoku, significant transgression for these traits occurs in the segregating population derived from their hybridization. Because Tl and Cl are not controlled by the completely same genetic factors (TAKEDA 1982), segregation of Tl and Cl gives rise to the unbalance between Tl and Cl. In those genotypes with high Tl/Cl ratio, caryopsis elongation is severely restricted by the floral glumes, and it causes grain-notching. Generally, plants in a hybrid population between 'normal' parents tend to produce notched grains, and wider the segregation of caryopsis length more the grain-notching in a population.

K. TAKEDA

Institute for Agricultural and Biological Sciences, Okayama University, Kurashiki 710