Isao TARUMOTO and Hisakazu OIZUMI: STUDIES OF FORAGE SORGHUM BREEDING. II. THE CHARACTERISTICS OF MALE-STERILE STRAINS. (With English summary p. 282) Japan. J. Breeding Vol. 17, No. 4, 1967.

Synopsis. Sixteen male-sterile strains of a-line (male-sterility) and b-line (non-restorer) introduced mainly from the U.S. were tested in this study. It was recognized from the tests of self- and cross-pollinations that all the strains except one or two could be maintained and utilized for producing hybrid seeds. All the strains were recognized as belonging to the dwarf grain sorghum, but there were highly significant variance between strains, especially in plant height, tillering number and green forage yield. The interesting classified table of these traits was obtained and it may be easily used to pick up excellent strains as seed parents for better forage sorghum.

青刈ソルガムの雑種強勢利用に関する育種学的研究

(第2報) 雄性不稔系統の特性検定について

樽 本 勲・大 泉 久 一

(中国農業試験場) (畜産試験場)

I. 緒 言

第1報において青刈ソルガムの育種においては、雑種第1世代に発現される雑種強勢を利用するのが一番効果的であり、またその母本 (seed parent) としての矮性グレイソルガムに属する雄性不稔系統利用の可能性は大きいという結果を報告した。さて1代雑種作成の母本となるソルガムの雄性不稔系統 (以後 MS-strain と略す) が細胞質遺伝を行ない、自殖不稔な male-sterile line (a-line) とその維持系統である自殖可稔な non-restorer line (b-line) とからなり、a-line の維持は a-line×b-line の交配、1代雑種の作成は a-line×c-line の交配 (c-line: restorer line) によること (STEPHENS and HOLLAND, 1954), さらに不稔性の原因は“タペート細胞崩壊の異常遅延が花粉粒への充分なる必須栄養の供給を妨げる”ことによる (SINH and HADLEY, 1961) ことも報告されている。また MS-strains は矮性グレイソルガムより育成された関係上、その特性は矮性グレイソルガムと稔性以外では同一特性を有すること (QUINBY and MARTIN, 1954, STEPHENS and HOLLAND, 1954) が報告されている。これらの報告にもとづき直ちに導入した MS-strains を供し青刈用一代雑種育成へと進んでもよいのであるが、不稔性の発現が多少環境条件により左右されること (DUVICK, 1959), また MS-strains の維持と一代雑種作成の各交配可能性に対する杞憂より、まず MS-strains の稔性・交配特性につき、さらに今後の交配組合せ選定の効率化を計るための資料をうるために MS-strains の青刈特性につき、

各々検討を加えることにした。

本試験のとりまとめにあたっては作物部長坪井八十二博士からご指導とご鞭撻をいただいた。また作物第6研究室の諸氏から種々助力・助言をいただいた。ここに各位に対し深甚なる謝意を表す。

II. 材料および方法

1965 年 3 月までに主に U.S.A. より導入した 25 対の MS-strains 中、種子量の関係から下記 16 対の MS-strains を稔性・交配特性試験に、また青刈特性検定にはこれら MS-strains に加えて対照 2 品種 (Reliance, Tennessee Red Top) を供試した。

Male-sterile strains used in this study.

A; Reliance, B; Martin, C; Redbine 58, D; Combine kafir 60, E; Westand, F; Wheatland, G; Redlan, H; 3121, I; 3127, J; 3128, K; 3197, L; 390, M; 4692, N; Martin, O; 385, X; 406,

Each male-sterile strain consists of a-line (male-sterility) and b-line (non-restorer fertility).

青刈特性と MS-strains の自殖可稔率検定は中国農試畑作圃場 (福山) で、その他の検定はガラス室 (夏期) および温室 (冬期) 内で行なつた。

1. 圃場試験 試験は2反復の乱塊法で実施し、1965 年 5 月 19 日に畦長 3.0 m, 畦巾 0.8 m の条に株間 20 cm の1点3粒の点播を行ない、播種後 20 日目に間引して1本立とした。1区 15 株中 10 株を青刈特性用として出穂期刈を行なつた。なお青刈特性の調査形質ならびに調査方法は第1報とほぼ同様であり省略する。また残り 5 株を自殖可稔率検定用とし、開花直前の穂に袋かけを行ない成熟期に刈取り、可稔率、穂、粒の

1966 年 10 月 15 日受領

特性等を調査した。なお刈取前に成熟期の莖長・穂長を測定し青刈特性のデーターとした。

2. ガラス室・温室内試験 上記 16 対の MS-strains および c-line をポットで栽培し、1965 年夏期にガラス室内で a-line×b-line の維持交配ならびに a-line×c-line の 1 代雑種作成交配を行ない、各交配稔実程度を観察し、また 1965 年冬期に温室内（最低温度 23°C）で各交配後代の自殖可稔率を開花直前の袋かけ法により検定した。

III. 試験結果および考察

1. 稔性・交配特性について

MS-strains の自殖可稔率調査結果は第 1 表に示した。a-line については A, C（それぞれ 13.9%, 3.1%）を除いてすべて稔実率は 0% となり、完全不稔になることがわかった。b-line については M (0.0%) を除いて 81.4 ~ 95.1% の高稔実率を示し、b-line の維持は容易であった。a-line×b-line の稔実率は b-line に花粉活性のな

Fig. 1 Maintenance of male-sterile strains. (Left; a-line, Center; a-line×b-line, Right; b-line.)

い M を除いて非常に高い稔実率を得（第 1 図），さらにこの後代の稔実率は 0% となつたことから、M 以外の MS-strains の維持は可能であることがわかった。

Table 1. Seed-fertility percentage, 1000-seed weight and seed color of male-sterile strains

Strain	Line	Character		
		Seed-fertility (%)	1000-seed* weight (g)	Seed color
A	a	13.9	27.6	Orange-brown
	b	86.9		
B	a	0.0	29.8	brown
	b	90.3		
C	a	3.1	28.9	orange-brown
	b	86.6		
D	a	0.0	22.7	white
	b	86.9		
E	a	0.5	28.4	yellow-light orange
	b	87.5		
F	a	0.0	34.2	yellow
	b	95.1		
G	a	0.0	32.3	light yellow
	b	87.0		
H	a	0.0	21.9	yellow-light brown
	b	86.5		
I	a	0.0	27.8	light yellow
	b	86.8		
J	a	0.0	20.5	light yellow
	b	84.3		
K	a	0.0	25.2	white
	b	91.4		
L	a	0.0	23.7	white
	b	91.7		
M	a	0.0	...	(white)
	b	0.0		
N	a	0.0	23.9	light brown
	b	86.3		
O	a	0.0	23.7	white
	b	87.8		
X	a	0.0	26.8	yellow-light brown
	b	81.4		

* 1000-seed weight (g) of b-line gotten by self-pollination.

a-line×c-line の 1 代雑種作成交配では、c-line として染色体数が a-line と同数の $2n=20$ を有する 2 倍体植物（グレイソルガム、ソルゴー、スーダングラス）を用いた場合には高稔実率を得たが（第 2 図）、 $2n=40$ の 4 倍体植物（ソルガムアルマム、ジョンソングラス）を用いた場合には非常に低い稔実率しかうることができなかつた。また a-line を母本とし Restorer な 2 倍体植物を父本 (pollen parent) とした交配では、MS-strains の維持が不可能であつた M をも含めたすべての a-line で高稔実率を得ることができた。1 代雑種の稔実率は非常に高く、ほぼ完全可稔となり、また現在までの観察で部分不稔ないしは不稔となつたものは存在しなかつた。

以上の結果から大部分の MS-strains は維持可能であり、直ちに 1 代雑種作成用の母本として利用しうることが明らかとなつた。ただし A については不稔性発現に対するより一層の選抜が必要とされ、M については再導入等の対策が必要であらう。

2. 青刈特性について

1) MS-strains の特徴

MS-strains と対照 2 品種（Restorer な矮性グレイソルガム：Reliance とソル

Fig. 2 Hybrid seed production by utilizing a-line as seed parent. (Left; a-line, Center; a-line $\times$ c-line, Right; c-line)

ゴ- : Tennessee Red Top) の各平均値を第2表に示した。MS-strains とソルゴ-との比較により判然とした差が認められたのは草丈、収量、葉重率においてであり、この比較から MS-strains は草丈が矮性で、青刈収量が低収で葉重率が高いという特徴を有することがわかった。この特徴はとりもなおさず矮性グレイソルガムの特徴であること (中国農試 1963) は、第2表の対照品種 Reliance と第5表の A(Reliance) との該当形質

がほとんど一致することからも明らかであった。この結果からも MS-strains と矮性グレイソルガムは稔性以外では同一特性を有することがわかり、MS-strains が矮性グレイソルガムに属することがわかった。

2) 変異の有無ならびにその大いさ

今後青刈ソルガム育成の交配母本 (seed parent) となる MS-strains がどの形質に strains 間変異を有し、その大いさはどの程度か、また MS-strains の育成過程から同一 strain 内の a-line と b-line は稔性以外では同一特性を有すると考えられるがはたしてどうかを検討するために、各調査形質毎に分散分析を行ない、その結果を第3表に示した。

全調査形質をともし lines 間には有意性が認められず、同一 strains 内の a-line と b-line との特性発現に差がないことがわかった。この結果から今後は a-line と b-line をこみにした strain について検討を加えることにする。

さて strains 間に高い有意性が認められたのは、1 番刈時の分けつ数、1 番刈後 30 日目の草丈を除いたすべての調査形質においてであり、1 番刈時の草丈と生草重、1 番刈後 30 日目の茎数、2 番刈時の草丈と茎数と生草重、成熟期の茎長および合計生草重にはその変動係

Table 2. Mean value for each character of male-sterile strains and check varieties (C.V.)

		Days to 50% heading (days)	First harvest					
			Plant height (cm)	Leaf number (no.)	Tiller number (no.)	Stalk diameter (cm)	Green forage yield (kg/a)	Leaf weight ratio (%)
Ms-strain	Mean value	68.3	127.1	17.5	0.7	2.19	158.3	31.4
	Standard deviation	7.67	36.60	2.77	0.84	0.412	83.55	6.26
	Coef. of Vari. (%)	11.24	28.81	15.86	1.19	18.81	52.77	18.36
	Standard error	1.10	2.94	0.32	0.24	0.07	18.63	0.51
C.V.	Reliance	61.0	121.0	14.0	0.6	1.67	82.5	35.2
	Tennessee Red Top	80.0	226.9	18.0	1.3	2.02	314.8	20.6
Early regrowth		Second harvest				Mature time		Total Green forage yield
Plant height (cm)	Tiller number (no.)	Plant height (cm)	Tiller number (no.)	Green forage yield (kg/a)	Leaf weight ratio (%)	Stem length (cm)	Head length (cm)	(kg/a)
95.3	5.5	101.3	4.7	197.5	32.5	91.7	24.4	373.8
7.50	2.62	33.87	2.27	115.23	7.22	49.35	4.58	159.52
7.66	47.90	33.45	48.19	58.35	20.78	53.81	18.76	42.67
2.67	0.45	2.24	0.42	23.18	1.16	4.18	0.66	30.25
93.8	2.1	101.5	2.1	98.8	36.6	94.2	25.5	222.9
112.5	6.6	193.4	4.3	371.0	18.8	187.0	26.8	685.8

Table 3. Significant test of mean square for each character of male-sterile strains

Source	D. F.	Days to 50% heading	First harvest					
			Plant height	Leaf number	Tiller number	Stalk diameter	Green for- age yield	Leaf wei- ght (%)
Replicates	1	5.09	101.9	0.523	0.771	0.010	1653.8	4.76
Treats ;								
Strain	14(15#)	52.77**	1345.8**	7.513**	0.427	0.153**	5513.1**	38.08**
Line	1	0.25	4.0	0.096	0.067	0.021	992.3	0.23
St×Li	14(15#)	7.02	41.5	0.429	0.291	0.022	1645.9	2.45*
Error	29(31#)	4.84	34.7	0.396	0.223	0.020	1388.1	1.05
Early regrowth		Second harvest				Mature time		Total green for- age yield
Plant height	Tiller number	Plant height	Tiller number	Green for- age yield	Leaf wei- ght (%)	Stem length#	Head length#	
8.73	0.870	2.6	4.108	2540	10.17	11.4	0.11	26
31.44	6.216**	1156.1**	4.499**	12312**	48.33**	2610.7**	18.65**	22080**
3.11	0.390	2.2	0.008	1409	12.79	98.9	2.83	47
26.55	0.868	31.8	0.850	1338	4.81	24.2	2.87	4270
28.49	0.827	20.1	0.712	2150	5.35	69.9	1.75	3660

** Significant at 0.01 level. * Significant at 0.05 level. Some character# has D.F.# in the ().

Table 4. Correlation coefficients in some pairs of characters within male-sterile strains

Characters		First harvest				Second harvest			Days to 50% heading	Total green forage yield
		Plant height	Leaf number	Tiller number	Green forage yield	Plant height	Tiller number	Green forage yield		
1st harvest	Plant height	—	0.522*	—	0.802**	0.921**	—	—	0.415	—
	Leaf number	0.522*	—	—	0.776**	—	—	—	0.894**	—
	Tiller number	—	—	—	0.089	—	0.353	—	—	—
	Stalk diameter	—0.415	—	—	0.097	—	—	—	—	—
	Green forage yield	0.802**	0.776**	0.089	—	—	—	0.735**	0.639*	0.861**
	Leaf weight percentage	—0.879**	—0.507*	—	—0.730**	—	—	—	—	—
E. R.	Plant height	—0.003	—	—	—	—0.013	—	0.066	—	—
	Tiller number	—	—	0.388	—	—	0.918**	0.647**	—	0.533*
2nd harvest	Plant height	0.921**	—	—	—	—	—0.148	0.655**	0.403	—
	Tiller number	—	—	0.353	—	—0.148	—	0.456†	—	—
	Green forage yield	—	—	—	0.735**	0.655**	0.456†	—	0.855**	0.959**
	Leaf weight percentage	—	—	—	—	—0.778**	—	—0.483†	—	—
M. T.	Stem length	0.983**	—	—	0.774**	0.896**	—	0.544*	0.406	0.624*
	Head length	—	—	—	—	—	—	—	—0.283	0.027
Days to 50% heading		0.415	0.894**	—	0.639*	0.403	—	0.855**	—	0.772**

** Significant at 0.01 level. * Significant at 0.05 level. † Significant at 0.10 level.

E. R.: Early regrowth after first harvest. M. T.: Mature time.

数 (第2表) よりも特に大きい変異の存在が認められた。

以上の結果から strains 間には生草重, また後述するように生草重と密接な関係にある草丈と茎数で有意に大

きい変異の存在が認められ, このことは導入した既存の MS-strains のうちより青刈ソルガム育種の母本として有望な MS-strains 選定の可能性を示唆するものと考察された。

Table 5. Statistical relationships and classifications for total green forage yield, stem length at mature time, days to 50% heading and tiller number at early regrowth after first harvest of male-sterile strains

Ms-strain	Total green forage yield	
	kg/a	Statistical significance*
M	540.5	a
L	484.9	a b
G	424.3	b c
B	411.0	b c d
C	389.6	c d
F	373.9	c d
J	362.8	c d
N	361.0	c d
O	353.0	c d
I	350.8	c d
K	394.4	c d
E	342.2	c d
H	330.5	c d
D	318.1	d
A	215.2	e
High yield group >450 kg/a M, L,		
Medium yield group 250-450 kg/a G~D		
Low yield group <250 kg/a A,		

Ms-strain	Tiller number at early regrowth	
	numbers	Statistical significance*
I	7.20	a
F	7.05	a
M	7.00	a
H	6.40	a b
C	5.85	a b c
J	5.55	b c
L	5.50	b c
O	5.40	b c
D	5.35	b c
E	5.30	b c
B	5.20	b c
K	4.90	b c
N	4.70	c
G	4.55	c
A	2.15	d
Many numbers group >6 no. I, F, M, H,		
Medium numbers group 3-6 no. C~G		
Few numbers group <3 no. A,		

Ms-strain	Stem length at mature time	
	cm	Statistical significance*
L	156.7	a
M	130.3	b
G	108.9	c
C	100.9	c d
K	94.5	d e
A	94.1	d e
N	93.7	d e
O	93.4	d e
D	93.0	d e
B	90.3	d e f
E	82.7	e f
F	77.8	f g
H	69.4	g h
X	63.1	h
J	59.6	h
I	59.2	h
2-dwarf group >120 cm L, M,		
3-dwarf group 70-120 cm G~F		
4-dwarf group <70 cm H, X, J, I,		

Ms-strain	Days to 50% heading	
	days	Statistical significance*
F	73.3	a
M	72.8	a b
L	72.0	b c
G	70.3	b c d
K	69.8	b c d
C	69.8	b c d
O	69.3	c d e
I	69.3	c d e
B	69.0	c d e
D	69.0	c d e
N	66.8	d e f
E	66.5	e f
X	65.8	e f
H	65.8	e f
J	64.5	f
A	58.5	g
Late heading group >75 days —		
Medium heading group 65-75 days J~F		
Early heading group <65 days A,		

* Measured by Duncan's multiple range test. Means belonging to the same subgroup (same letter) are not significantly different.

第 6 表

遺伝子型による分類*	成熟期の 茎長(cm)	雄性不稔系統	利用型による分類
1 個の劣性矮性遺伝子を有する系統 (1-dwarf)	170 以上	なし	Sorgo
2 個の劣性矮性遺伝子を有する系統 (2-dwarf)	120~170	L, M,	青刈, 実取兼用型の Grain sorghum
3 個の劣性矮性遺伝子を有する系統 (3-dwarf)	70~120	G, C, K, A, N, O, D, B, E, F,	普通のコンバイン型の Grain sorghum
4 個の劣性矮性遺伝子を有する系統 (4-dwarf)	50~70	H, X, J, I,	実用型なし

* POEHLMAN (1959) の分類に準拠した。

Fig. 3 Classification for height genes of male-sterile strains. (Left ; 4-dwarf, Center ; 3-dwarf, Right ; 2-dwarf.)

3) 形質間相関

おもに生草重と他の形質との間の相関を求めた結果を第4表に示した。1 番刈時の生草重は、1 番刈時の草丈、成熟期の茎長、出穂までの日数および葉数との間に正の有意な相関を有し、葉重率との間に負の有意な相関を有した。また2 番刈時の生草重は2 番刈時の草丈、成熟期の茎長、出穂までの日数、1 番刈後 30 日目の茎数との間にそれぞれ正の有意な相関を有した。また合計生草重は2 番刈時の生草重と同傾向にあつた。以上の結果から成熟期の茎長が長く、出穂の遅いものほど（例えば M, L, G）生草重は高収を得ることが、またこれら質2 形において劣つていても1 番刈後 30 日目の茎数、すなわち再生初期茎数の増加により、ある程度の高収を得た MS-strains（例えば I, J）の存在も認められた。

4) 主要形質の有意差検定

2), 3) の結果から重要とみなされる4 形質、すなわち成熟期の茎長、出穂までの日数、1 番刈後 30 日目の茎数、合計生草重につき各々 MS-strains 間の有意差検定を行ない（第5表）、またこの結果をもとにした既往の資料(POEHLMAN, 1959, 中国農試, 1963)とも照し合わせ分類をこころみた結果を第5表のラン外に示した。このうち成熟期の茎長（第3図）が今後の組合せ能力試験等に及ぼす影響が特に大きいようなので (CASADY, 1965), これにつき第6表のごとく詳しい分類を行なつた。

成熟期の茎長のみならずこれら分類結果は今後の交配組合せ選定における重要な資料になるものと考察された。

IV. 摘 要

主に U.S.A. より導入した雄性不稔系統 (MS-strains) の維持・利用の可能性究明のため稔性・交配特性について、また今後の交配組合せ選定の資料をうるため青刈特性につき検討を行なつた。

1. 稔性・交配特性について 自殖率検定結果、2, 3 の MS-strains を除いて a-line は完全不稔、また b-line はほぼ完全可稔となつた。a-line × b-line の維持交配では高稔実率を示し、その後代の自殖可稔率は 0% となり、a-line の維持も可能であつた。a-line × c-line の1 代雑種作成交配では c-line の染色体数が a-line と同じ $2n=20$ の2 倍体植物との場合には高稔実率を得たが、 $2n=40$ の4 倍体植物との場合には非常に低い稔実率しか得られなかつた。

2. 青刈特性について 検定した MS-strains はすべて青刈収量の低収な矮性グレイソルガムに属することがわかつた。また分散分析の結果、strains 間に大部分の形質で高い有意性が認められ、生草重、草丈、茎数には変動係数よりも大きい変異の存在が認められた。生草重は草丈、茎数、出穂までの日数とそれぞれ高い正の相関関係にあることも明らかとなつた。これら主要青刈形質につき有意差検定を行ない、その結果にもとづき興味ある分類表（第5表）を得た。これら分類結果は今

後の交配組合せ選定における重要な資料になるものと考察された。

引用文献

1. CASADY, A. J. 1965. Effect of a single height (Dw) gene of sorghum on grain yield, grain yield components and test weight. *Crop Sci.* 5: 385~388.
2. 中国農試作物部第6研究室, 1963. 昭和38年度“ソルガム属作物の導入に関する研究成績”(謄写)
3. DUNCAN, D. B. 1955. Multiple range and multiple F tests. *Biometrics.* 11: 1~42.
4. DUVICK, D. N. 1959. The use of cytoplasmic male-sterility in hybrid seed production. *Economic Botany.* 13: 167~195.

5. POEHLMAN, J. M. 1959. *Breeding Field Crops.* (Chapter 14. Breeding Sorghum). Henry Holt Company, Inc. New York.

6. QUINBY, J. R. and MARTIN, J. H. 1954. *Sorghum Improvement.* *Advances in Agronomy* VI, A. G. Norman, Ed. Academic Press Inc.,

7. SINGH, S. P. and HADLEY, H. H. 1961. Pollen abortion in cytoplasmic male-sterile sorghum. *Crop Sci.* 1: 430~432.

8. スネデカー著(訳本). 1963. 統計的方法(岩波書店).

9. STEPHENS, J. C. and HOLLAND, R. F. 1954. Cytoplasmic male-sterility for hybrid sorghum seed production. *Agron. Jour.* 46: 20~23.

Summary

In the previous report, it was found that male-sterile strains could be utilized for breeding productive hybrids of forage sorghum.

In this report, it was tested if male-sterile strains (ms-strains) introduced mainly from the U. S. could be maintained and utilized for producing hybrid seed. Forage characteristics of ms-strains were investigated to get the index for selecting excellent ms-strains as seed parents in making productive hybrids (of forage sorghum). In the summer of 1965 a yield trial was conducted at the Chugoku Agricultural Experiment Station, which contained sixteen ms-strains and two check varieties (dwarf grain sorghum; Reliance, and sorgho; Tennessee Red Top), and in both 1965 and 1966 the tests of self- and cross-pollination were done in the greenhouse.

1. Tests of capacities of self- and cross-pollinations.

In the self-pollination test by bagging heads before the first brooming, all a-line except Reliance and Redbine 58 (13.9% and 3.1%, respectively) had zero seed-fertility percentage, and all b-lines except 4692 (0.0%) had high seed fertility percentage (81.4~95.1%). In each cross-pollination test of a-line $\times$ b-line and a-line $\times$ c-line, high seed-fertility percentage was obtained (Fig. 1 and Fig. 2). Moreover, in the self-pollination test of the above crosses,

the progenies of a-line $\times$ b-line could get no seed, but those of a-line $\times$ c-line obtained high seed-fertility percentage (about 90.0~100.0%).

It was recognized that all ms-strains except one or two could be maintained and utilized for producing hybrid seed.

2. Forage characteristics.

All ms-strains were recognized to belong to the dwarf grain sorghum by comparing forage characteristics of ms-strains with those of check varieties in table 2. But there was highly significant variances between the ms-strains for each character, especially in plant height, tiller number and green forage yield (Table 3). Moreover, total green forage yield had significant correlation coefficients with stem length at the maturity stage, days to 50% heading and tiller number at the early stage of regrowth (Table 4). Duncan's multiple range test for these important forage characters was conducted and from the test the interesting classified table was obtained (Table 5). This seems to be important data for picking out excellent ms-strains as seed parents in making productive hybrids of forage sorghum.

I. TARUMOTO *Chugoku Agricultural Experiment Station, Fukuyama.*

H. OIZUMI *National Institute of Animal Industry, Chiba.*