

第3章 熱帯牧草の育種法の確立に関する研究

九州においては、オーチャードグラス(*Dactylis glomerata* L.)やチモシー(*Phleum pratense* L.)などの温帯牧草は、春季および秋季には良好な生育をするものの、夏季の高温、高日射条件下では阿蘇山の高標高地でさえ生育障害を被る。そのため、この夏季の高温、高日射条件を最大限に利用し、干ばつにも強いC4植物である熱帯牧草を用いて飼料生産を行おうという試みがなされてきた。そこで、草地試験場、九州農業試験場、および熱帯農業研究センターが中心になって、熱帯牧草の導入と評価試験がなされた^{58,62,63,89)}。その結果、九州農業試験場草地部牧草第1研究室(現牧草育種法研究室)には、1985年までに45属170種5441点にのぼる熱帯イネ科牧草が導入され、保存されている⁷⁹⁾。

わが国における熱帯牧草の育種は、初期においては永年草地を想定していたためか、霜に強い *Paspalum* 属が育種素材として着目された。そして、1959年以降、バヒアグラス(*Paspalum notatum* FLUGGE)の育種が九州農業試験場草地部で始められたのがその最初である。バヒアグラスにはコモン型(Common Type)と呼ばれる四倍体アポミクシス系統とペンサコラ型(Pensacola Type)と呼ばれる二倍体有性生殖系統が存在する。しかし、当時はアポミクシス遺伝子进行操作する手法が確立されていなかったために、ペンサコラ型を育種素材とし、母系選抜法によって育種を試み、1969年にバヒアグラス農林1号「ナンブウ」が農林登録された。その後、1964年にバヒアグラスの育種は鹿児島県農業試験場大隅支場に移管され、おもに合成品種法を用いて、1973年に農林2号「シンモエ」が²⁶⁾、1975年に農林3号「ナンゴク」が育成され、農林登録された。また、1964年以降、ダリスグラス(*Paspalum dilatatum* POIR.)の育種が九州農業試験場で始められ、系統選抜法によって、1980年にダリスグラス農林1号「ナツグモ」が育成され、農林登録された⁹²⁾。現在、バヒアグラスは、宮崎県あるいは高知県の海拔500m以下の草地で放牧利用されたり、園地の芝草として用いられている。また、土地保全機能が高いことから沖縄本島北部地域での利用も試みられている。一方、ダリスグラスは、九州で麦角病が多発したために採種および利用が困難で現在は栽培されていない。

ところが、九州の低標高地の農家は広い畑を持たないため、バヒアグラスを多年生牧草として用いた場合の収量では家畜頭数を維持できない。そのため、この地域での典型的な飼料生産体系は、夏季に長大作物のトウモロコシあるいはソルガム栽培によるサイレージ利用、冬季に温帯牧草のイタリアンライグラスの乾草あるいはヘイレージ利用が一般的で

ある。しかし、冬季あるいは春季は降雨が多くて乾草生産が困難なため、夏季の高温高日射条件を十分に利用して乾草生産を行うことが可能な熱帯牧草に対する農家の期待も大きかった。

その後、熱帯牧草が大いに注目された時期がある。それは、米の生産過剰による減反政策に端を発するもので、1980年頃から水田利用再編の一環として、転換畑に飼料作物を導入しようとする試みであった。確かに、熱帯牧草の多くのものはトウモロコシやソルガムよりも耐湿性に優れるが、完全に畑地化できない湿潤な転換畑は、オオクサキビ (*Panicum dichotomiflorum* MICHX.), キシュウスズメノヒエ (*Paspalum distichum* L.), およびイヌヒエ (*Echinochloa crus-galli* (L.) BEAUV.) のように水田で雑草化する植物を除いては、畑地で収量の高い熱帯牧草にとって好ましい生育地とは言えず、特に、排水不良田の転換畑では熱帯牧草の利点を活用するというよりは欠点ばかりを見ることに終始したといえる。

そして、今また、熱帯牧草が注目されている。熱帯牧草と一言と言っても、その中には非常に多くの属、種が含まれており、その草丈だけを見ても数cmの芝状の種から、4 mを越えるネピアグラスのような種まである。その意味で、熱帯牧草は熱帯、亜熱帯の草地の改良にとっての無尽蔵の遺伝資源であるといえる。しかし、上記の耐霜性や耐湿性といった環境要因で適草種選定を行った場合にはかなりの種が脱落してしまう。一方、現在注目されているように、温帯地域では多年生牧草として用いるのではなく、乾燥に強く、高品質多収で乾草生産あるいは放牧利用が可能な牧草という視点で評価する場合、我々はまだすべての熱帯牧草を評価したとは言えない。また、熱帯牧草には、生殖様式がアポミクシスと言われる無性生殖による種子生産を行う種が多く、 F_1 雑種の種子を、なんら隔離の必要もなく、容易にかつ大量に増殖することを可能にするアポミクシス育種法の導入が可能な種が多いことから、最近注目を集めている⁴¹⁾。このような新育種法が、また新たな牧草評価の選抜規準を作り出すこともある。

本研究ではローズグラスとギニアグラスを材料に用いた。両牧草ともアフリカの熱帯圏を原産とする多年生であるが、わが国では沖縄県を除き、一年生の夏作物として最も広く栽培され、注目されている熱帯牧草である。一般的に、多年生の牧草は初期生育が遅くて一年目の収量は高くなく、年がたつにつれて株が大きくなって増収するものである。また、わが国で栽培されている市販品種は、すべて多年生として栽培されているアフリカやオーストラリアにおいて導入評価がなされたり、選抜されたりしたものである。そのため、必ずしも一年生栽培に適した品種であるとは言えない。これが、両品種を育種材料に選んだ

第一の理由である。第二の理由は、この両牧草は種内の形態的変異が大きいことである。

多年生牧草を一年生牧草として利用するために必要な特性として、初期生育が早いこと、栽培1年目の収量が高いこと、および流通の面からみて種子生産性が高いことがあげられる。この研究はそのような視点から行った、熱帯牧草をわが国の温帯圏や亜熱帯圏に順化しようとする熱帯牧草の育種の試みである。その中には、導入、評価、選抜、種内の有望遺伝子の探索など、できうるかぎり両牧草の育種を可能にする技術を用いた。ここで行った育種法が有効であったのかどうかは、今後、この研究の過程で育成したローズグラス農林1号「ハツナツ（九州1号）」、あるいは二倍体有性生殖系統にコルヒチン倍加処理をおこなって育成したギニアグラス四倍体有性生殖中間母本「農1号（熱研1号）」や四倍体有性生殖系統とナツカゼとの交雑後代から選抜した四倍体有性生殖中間母本「熱研3号」の能力によって試されるのかもしれない。

第1節 ローズグラスの育種法の確立に関する研究

現在 OECD 登録されているローズグラス品種は、ボマ (Boma)、カリデー (Callide)、エルンバ (Elmba)、カタンボラ (Katambora)、マサバ (Masaba)、ムバララ (Mbarara)、ポコット (Pokot)、サンフォード (Samford)、および本研究の過程で育成されたハツナツであり⁶⁴⁾、以下にハツナツ以外の品種の来歴を示す。

ボマ：1969年以後、ケニアにおいて、マサバを母材にして、草勢に優れた早生個体を選抜して合成した品種。

カリデー：オーストラリアが、1953年にタンザニアのムプワプワ (Mpwapwa) 畜産試験場から導入した Q3307 に由来し⁶⁵⁾、ケニアではムプワプワ、タンザニアでコングワ (Kongwa) と呼ばれる品種と同一であると考えられる^{4,5)}。

エルンバ：ケニアにおいて、ムバララを母材として草勢に優れた早生個体を選抜して合成した品種⁷⁾。

カタンボラ：ザンビアのザンベジ川流域に位置するカタンボラ地方に自生する生態型を収集したものである⁸⁸⁾。

マサバ：ケニアのエルゴン山 (Mt. Elgon) 近くのエンデベスで収集され、当初エンデベス (Endebess) という名で呼ばれ、その後改名された⁶⁾。

ムバララ：ウガンダのムバララ地方から導入された系統から選抜された品種⁶⁾。

ポコット：ケニアのポコット地方から導入された系統から5個体選抜を行って育成された品種⁶⁾。

サンフォード：当初、ケニアからシエラレオネに導入され、この環境に適応し、生存した生態種をオーストラリアに導入して登録した品種である⁶⁵⁾。

以上のように、ローズグラス OECD 登録品種の中では、カリーデ、カタンボラ、マサバ、ムバララ、およびサンフォードは、単なる生態型を導入しただけ、あるいは種子増殖時に多少の淘汰圧がかかっただけの品種である。

一方、アメリカ合衆国においては、カイガラムシ抵抗性品種のベル(Bell)が、抵抗性検定試験、個体選抜、選抜個体の後代検定試験を行った後に育成されている⁷⁸⁾。

このように、ローズグラスの交雑育種法に関する研究は多くない。その理由としては、小花が微小なために除雄や人工交配が困難なこと、他殖性であるために1個体の有望個体のみでは品種とならないことなどがあげられる。しかし、ローズグラスは多年生であるから個体の株保存が可能であること、個体植えにするとストロンを多数出すことから栄養体繁殖による個体の大量増殖が可能であること、1個体に生じる穂が多いことから交雑によって一度に得られる後代の数が多いことなど、新しい育種法を確立する上での利点も多い。すでに、この研究でも、ローズグラスの生殖様式は有性生殖の他殖性であることが確認されたことから、ローズグラスにおいても種々の交雑育種法の適用が可能であるが、最も適した育種方法は母系選抜法とポリクロスであると考え、以下の選抜を行った。他殖性の育種では、淘汰圧をあまりに高くすると自殖率が高まる結果、ヘテロシス効果が失われることがある。アメリカ合衆国では、二倍体有性生殖のペンサコラ型バヒアグラスの圃場での選抜と穂培養による室内でのポリクロスによって、他殖性であるにも関わらず10世代以上選抜して、1サイクル毎に収量が増加し、まだ収量のピークに達せず、選抜効果があると言う驚くべき結果がある⁹⁾。

他殖性の育種において重要なことは、

- a) できる限り選抜圃場での条件を均一にすること。
- b) 望む形質を得るために必要な遺伝子型を高頻度に獲得するための簡易な交雑方法や遺伝子分析などの方法を確立すること。
- c) 何度も繰り返すこと。

の3点であるとされる(BURTON, 未発表)。本研究は、ジョージア大 Coastal Plain Experiment Station でパーミューダグラス、バヒアグラス、パールミレットなどの育種を行っている BURTON 博士からこの教えを受ける以前に行われた試験ではあったが、基本的にはこの考え方にそって行われた。

ここでは、まず、わが国に導入されている系統の染色体数ならびに出穂特性や形態的特

性の変異幅を明らかにした上で、おもに西南暖地での一年生栽培に有効な特性である、初期生育、および一年生栽培での多収性を育種目標にして、系統選抜、個体選抜、および多交配を繰り返すことによって得られた結果について報告する。

(1) ローズグラス導入系統の特性調査

本研究では、現在までにわが国に導入された系統の染色体数を調査し、農家の栽培に近い密植条件下で出穂特性や形態的特性の調査を行い、二倍体でかつ生育が良好、またフォーズカタンボラなどの早生の系統よりもやや晩生で、中生のカタンボラよりも早生の系統を選抜した経過を示す。

材料および方法

供試材料は、表27に示した農業技術研究所種子貯蔵管理室（現農業生物資源研究所ジーンバンク）保存の22品種系統および表28に示した草地試験場が南アフリカ共和国から導入した18系統と対照品種として現在わが国で最も広く栽培されているカタンボラ、長野種畜牧場で増殖されたフォーズカタンボラ（長牧系）、およびムバララを用いた。

試験方法は、上記の種子を1979年5月10日に九州農業試験場草地部圃場に、1区2m×3m=6m²、50cm間隔、4列条播で直播した。施肥は、基肥としてN、P₂O₅、K₂O、各々1kg/aとした。

調査項目は、染色体数、出穂始日、初期草丈（播種後45日）、穂長、枝梗数、種子重、および発芽率であった。染色体数の調査は花粉母細胞を供試し、酢酸カーミン押し潰し法を用いて行った。出穂始日は区内で出穂が連続して起こった最初の日とした。穂長は枝梗最下部から最上部までとした。種子重は裸種子ではなく、裸種子1、2粒を含む小穂100粒を無作為に3回取り出してその平均の重さを1,000粒重に換算した。発芽率の調査は、種子重の調査と同様に、100粒を無作為に取り出し、直径9cmのシャーレに濾紙を2枚敷き、約5mlの蒸留水を加えて昼30—夜20℃、明暗（各12hr）条件、3反復で行った。

結 果

すでに記述したように、供試40品種系統の中で、Q3307の2系統とムバララのみが四倍体（2n=40）であり、他はすべて二倍体（2n=20）であった（表27、28）。供試系統の出穂始日、穂長、枝梗数、出穂時草丈、種子千粒重、および発芽率を表27と表28に示した。

二倍体の出穂始日をみると、Katambora GunsonsとRhodesia Sunが極早生のフォーズ

表27 農業技術研究所保存ローズグラス品種系統の染色体数および特性

品種系統名	導入番号	染色体数	出穂始 (月・日)	穂 長 (cm)	枝梗数	出穂時草丈 (cm)	千粒重 (g)	発芽率 (%)	選抜系統
Rhodesia san	520010	20	7.27	10.5	13.5	164.0	0.373	50	
Katambora Gunsons	520004	20	7.28	9.2	11.4	156.5	0.333	37	
Australia Dounyuu	800008	20	7.31	10.5	14.6	166.6	0.291	30	
Gun iku 11	040002	20	8.01	9.5	15.2	158.7	0.369	54	
Kitale Kenya	520008	20	8.01	9.3	14.3	156.4	0.338	29	
E. Tvl.	520001	20	8.02	9.0	11.2	144.4	0.327	35	
13375	800005	20	8.05	11.1	11.1	177.0	0.310	23	
Katambora	800002	20	8.05	10.0	13.2	165.4	0.305	18	
Tochiraku kei	040002	20	8.05	9.1	10.8	142.0	0.345	55	
CQ569 (800003)	800003	20	8.05	9.0	8.8	143.8	0.345	31	
Fords Local 8158	520007	20	8.05	8.5	10.0	152.9	0.274	22	
FC35, 275	610001	20	8.05	8.3	9.8	155.6	0.362	59	
CQ569 (800006)	800006	20	8.08	10.5	11.5	162.3	0.368	42	
Gunsons	520006	20	8.08	9.3	13.7	166.1	0.323	34	
Commercial	800001	20	8.09	10.4	9.3	143.9	0.335	42	+
Swaziland	520002	20	8.09	9.7	10.8	167.1	0.304	41	+
Fords Katambora 8189	520005	20	8.10	10.3	13.7	167.5	0.305	33	+
Q3307 (800004)	800004	40	8.11	15.0	14.2	184.1	0.296	5	
Lourenco Marq.	520003	20	8.11	10.3	12.1	143.9	0.310	33	+
K5939, 73-572	510001	20	8.11	10.1	14.6	158.9	0.310	23	+
Morocco Common	490001	20	8.11	9.9	9.9	146.5	0.299	33	+
Q3307 (800007)	800007	40	8.28	15.2	16.1	207.5	0.306	11	

表28 南アフリカ共和国より導入したローズグラス系統と市販品種の染色体数と特性

品種系統名	導入番号	染色体数	出穂始 (月・日)	穂 長 (cm)	枝梗数	出穂時草丈 (cm)	千粒重 (g)	発芽率 (%)	選抜系統
N70/444	CG154	20	8.01	11.1	10.6	147.7	0.349	31	
N70/448 (Mpwapwa)	CG158	20	8.02	10.8	10.2	137.9	0.391	44	
N70/169	CG148	—	8.04	12.2	13.5	197.4	0.275	25	
N70/449 (Nzoia)	CG159	20	8.04	11.9	12.7	145.8	0.331	40	
N68/55	CG145	20	8.04	10.9	9.7	187.6	0.279	24	+
N70/172	CG144	20	8.04	10.9	14.5	159.3	0.295	28	
N70/441	CG152	20	8.04	10.6	11.8	145.3	0.331	39	
N70/446	CG156	20	8.04	10.3	12.0	133.3	0.344	35	
N70/447 (Alego)	CG157	20	8.04	10.1	13.2	155.9	0.410	62	
N70/439	CG151	—	8.04	9.8	17.5	149.1	0.351	45	
N70/438	CG150	—	8.04	9.2	11.5	141.9	0.383	50	
N70/437	CG149	20	8.04	8.9	9.2	151.6	0.324	43	
N70/442	CG153	20	8.04	8.9	11.8	146.4	0.353	32	
N70/445	CG155	20	8.04	8.1	8.6	143.0	0.348	34	
N68/190	CG146	20	8.09	10.0	13.6	172.4	0.338	39	
N70/171	CG143	20	8.09	10.6	16.4	183.7	0.301	23	+
N68/192	CG142	20	8.09	12.4	12.9	175.4	0.276	15	+
N70/168	CG147	20	8.11	11.6	16.5	178.2	0.294	12	+
フォーズカタンボラ		20	7.27	11.1	11.2	160.3	0.325	28	
カタンボラ		20	8.13	11.7	16.2	160.2	0.322	31	+
ムバララ ¹		40	11.01	—	—	—	—	—	

注1：出穂直後に霜のため枯死。

カタンボラ(長牧系)と同様に、7月27日、28日と最も早く、Lourenco Marques, K5939, 73-532, および Morocco Common が8月11日と遅かったが、中生のカタンボラよりも2日程度早かった。一方、四倍体系統のQ3307は、800004が中生程度であり、800007が中生系統よりも2週間程度晩生であるが、極晩生の四倍体品種ムバララに比べて2ヶ月以上出穂が早かった。四倍体品種のほとんどが短日植物で、熊本では11月にならないと出穂しないが、このQ3307の2系統はそれらよりはかなり出穂が早く、非常に特異な遺伝子型を備えていると思われた。

出穂時草丈を見ると、四倍体のQ3307(800007)が最も高く、207cm程度であった。一方、最も低い系統は二倍体のTochiraku Kei(栃酪系: 栃木県酪農試験場の導入系統)とN70/438で、142cmであった。しかし、二倍体系統の中にも、特に南アフリカ共和国からの導入系統のN70/196, N68/55およびN70/171のように180cmを越える大型系統があった。

穂長をみると、四倍体のQ3307の2系統が約15cmと最も大きく、他の二倍体系統は12cm以下であり、Fords Local 8158, FC35, 275, およびN70/445が最も小さく、8.5cm程度であった。

枝梗数についても、Q3307の2系統は多く、14~16本であったが、二倍体系統の変異幅は8~17本と広がった。

種子千粒重(千小穂重)の変異は、0.27~0.41gであったが、Q3307の2系統は約0.3g

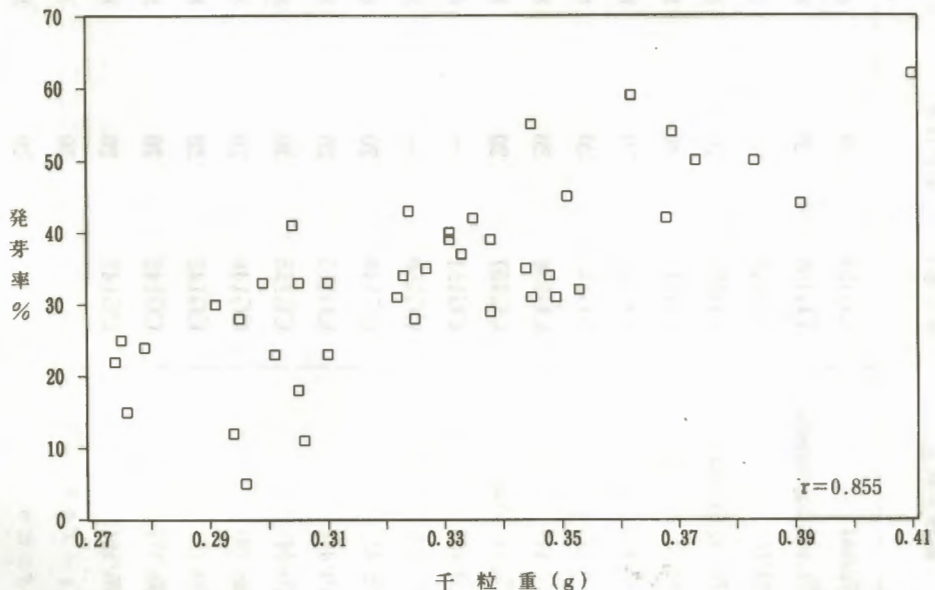


図4 ローズグラス品種・系統の千粒重と発芽率の関係

とやや軽かった。最も重かったのは N70/447 (Alego) で、0.41 g であった。

種子発芽率の変異幅は 5 ~ 62% と広く、Q3307 の 2 系統は各々 5 %, 11% と低かった。一方、Rhodesia san など 6 系統が 50% 以上であった。種子千粒重と発芽率の関係を示したのが図 4 である。種子千粒重と発芽率の相関係数は $r = 0.855$ と高い正の相関を示した。

考 察

ここで供試した系統はわが国に導入され、保存されているほとんどのローズグラス遺伝資源にあたるが、全体的にみて二倍体の早生系統がほとんどであり、四倍体の系統も従来知られている品種よりもかなり早生であった。これは、これらの品種系統は導入系統を国内の温帯圏で増殖した種子であることが原因と考えられる。この試験でも、四倍体品種のムバララは熊本において 11 月にならないと出穂せず、その結果、その後の霜によって枯死し、出穂時の特性調査ができなかった。南アフリカ共和国からの系統を導入した草地試験場（栃木県）では低温によるローズグラスの生育停止や枯死は熊本よりも早いから、増殖可能な系統の限界出穂時期は熊本での 8 月下旬になったことが考えられる。

このことは二つの問題を提起する。その一つは、導入系統の中で極晩生系統が特性調査や増殖時に失われるという問題であり、もう一つは系統が早生化するという問題である。わが国で保存されている系統に極晩生のものが含まれていないのは、前者が原因と考えられる。また、市販のカタンボラの出穂始日が 8 月 13 日であったのに対して、種子貯蔵管理室保存の Katambora の出穂始日は 8 月 5 日と 1 週間程度早まっていた。多少形態的な差もあり、両系統が異なることも考えられるが、生殖様式が他殖性で系統内に大きな変異を持つローズグラスでは増殖地での遺伝的浮動によって早生化したことも考えられる。

四倍体系統の Q3307 の 2 系統は、草丈や穂が二倍体系統よりも大きく、ローズグラスの変異の中では特異な形態的特性を備えていたことから、育種母材として非常に興味深い。出穂時期を多少異にし、形態的にも多少異なる 2 系統が存在する理由は不明であるが、オーストラリア、クイーンズランド州 Department of Primary Industry の Loch 博士から直接聞いた話では、この Q3307 はオーストラリアの品種、カリーデの母系統にあたるということであった。しかし、穂が大型で茎葉が大きい点は同様であるが、カリーデはほふく型の個体が多く含まれているのに対して、Q3307 の 2 系統は共に立型であることから、やはり、上記の種子増殖時の遺伝的浮動によって、すなわち無意識の早生個体の選抜と同時に得られた系統であると推定された。

ローズグラスの小穂の中で種子の占める重量割合は約 50% であり⁴⁵⁾、種子が存在するか否

かによる小穂重の差は大きい。図4でも、千小穂重とその発芽率、すなわち種子稔実率との相関が高く、必ずしも千小穂重は小穂の大きさを示しているわけではない。Q3307の2系統は、のげが長く小穂も大きいにもかかわらず、稔実率が低いために千小穂重が低いと推定された。この原因として、ローズグラスの生殖様式は有性生殖の他殖性であるために、周囲に高い密度で植えられ、すでに出穂している二倍体系統との交雑が起こり、この際に交雑不和合や三倍体の出現による不稔が生じたことが考えられるが、今後の研究が必要である。

すでに記述したように、西南暖地ではローズグラスが冬季に枯死することから一年生栽培が行われている。そのため、元来多年生であるローズグラスの長所が利用できない。一

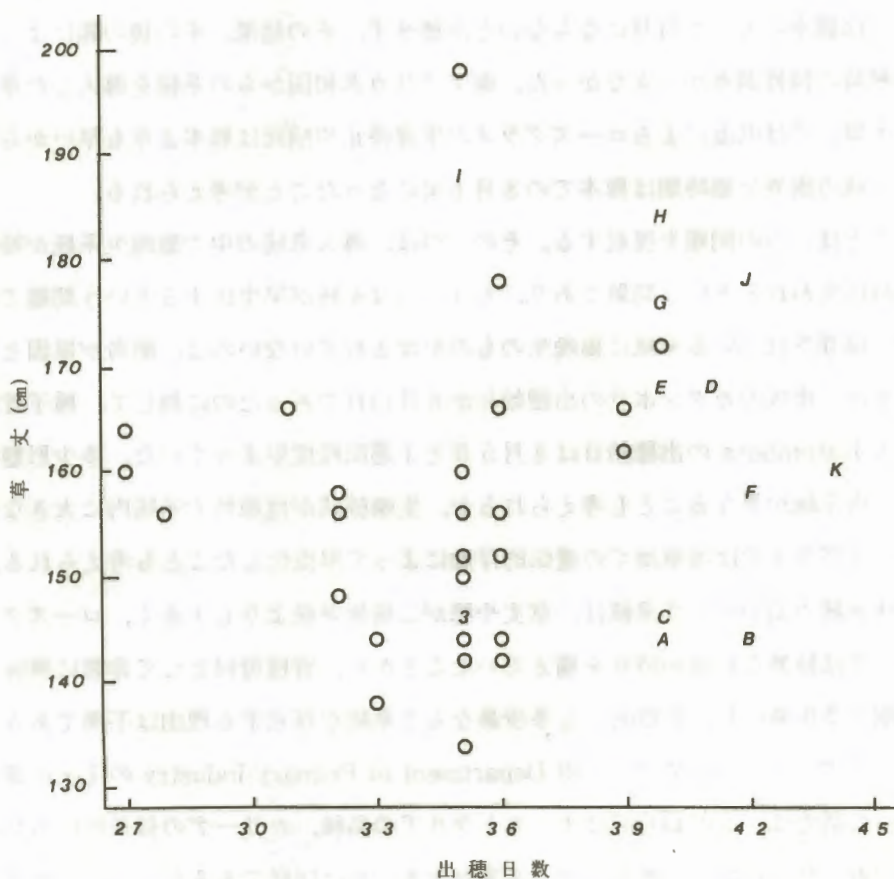


図5 40系統の中から選抜した11系統の出穂期と草丈の関係

A: Commercial; B: Lourenco Marques; C: Morocco common;
D: Fords Katambora 8189; E: Swaziland; F: K5939, 73-572;
G: N68/192; H: N70/171; I: N68/55; J: N70/168; K: Katambora
出穂日数は7月1日を起算日とした出穂までの日数

方、西南暖地での一年生栽培における熱帯牧草の育種に対する要望は初期生育、種子の発芽性、および飼料価値である³⁹⁾。種子発芽は種子販売業者の種子の調整不十分が原因であることが多く、また飼料価値の問題は栽培法や刈り取り時期の影響が大きいことから、ここでは、育種目標をメヒシバなどの雑草に負けない初期生育と一年生栽培における多収性であるとして、以下の選抜試験を行った。

この結果、表27および表28中に+で示した11系統を選抜した。これらの11系統の出穂時草丈と出穂期の関係を図5に示した。N68/55は出穂期が他の選抜系統よりもやや早い、二倍体の中で最も草丈が高かったことから選抜系統に加えた。選抜系統については圃場において放任受粉を行い、母系ごとに採種した種子を母系とし、以下の個体選抜試験の材料とした。

(2) ローズグラスの個体変異と草型による個体選抜の効果に関する研究

ローズグラスの品種系統は、有性生殖の他殖性であることから品種系統内の個体変異幅が広い。そこで、生育良好でかつ出穂期が中生程度の二倍体11系統を母材として、初期生育に優れ、かつ一年生栽培での収量が高い系統を育成するための個体選抜を試みた。

i) 11系統より生育旺盛な43母系の選抜

供試材料は上記の試験で選抜された11品種系統 (Commercial, Lourenco Marques, Morocco Common, Fords Katambora 8189, Swaziland, K5939,73-572, N68/192, N70/171, N68/55, N70/168, およびカタンボラ) を用いた。

試験方法は、1985年5月10日、11系統各300個体を育苗箱に播種して育苗し、初期生育に優れた23個体を選抜し、6月10日に、11系統×23個体=253個体を1.5m×1.5mの間隔で九州農業試験場草地部の圃場に個体植えにした。個体番号は、Commercialを母系とする23個体を1001~1023, Lourenco Marquesを2001~2023, Morocco Commonを3001~3023, Fords Katambora 8189を4001~4023, Swazilandを5001~5023, K5939,73-572を6001~6023, N68/192を7001~7023, N70/171を8001~8023, N68/55を9001~9023, N70/168を10001~10023, カタンボラを11001~11023とした。

調査項目は、出穂始日、草型 (ほふく型=1-立型=5の5段階評価)、初期草丈 (移植45日後)、初期ストロン長およびストロン数、ストロン径 (細=1-太=5) などの形態的特性であった。そして、これらの調査結果から初期生育と草勢に優れた個体を選抜した。

表29 出穂時の草勢が旺盛な43個体の諸特性

系統番号	初期草丈	出穂 (早1-晩5)	草型 (ほふく1-立5)	ストロン径 (細1-太5)	ストロン長 (短1-長5)	初期 ストロン数
1017	40	3	3	3	5	1
2001	35	1	5	1	3	4
3006	45	3	1	3	3	5
3010	35	5	1	3	3	4
3015	45	1	3	3	3	4
3021	30	3	1	4	3	3
4003	50	1	3	3	3	6
4008	40	3	3	4	3	3
4023	40	1	1	4	3	1
5005	40	1	1	4	2	1
5009	40	1	3	4	2	1
5010	50	2	5	4	4	1
5011	35	1	3	4	2	1
5012	45	1	5	3	3	1
5022	30	1	3	4	4	1
6001	40	3	1	5	3	1
6004	30	3	1	5	3	3
6007	50	1	3	5	5	1
6009	45	3	1	5	3	1
6011	45	1	5	3	3	1
6012	50	2	1	5	5	1
6014	35	1	1	4	3	1
6016	40	1	3	3	3	2
6017	40	5	1	5	5	1
6021	45	5	1	4	5	1
7008	35	5	1	3	3	4
8002	35	1	1	3	1	5
8003	45	2	3	1	2	3
8012	35	1	5	1	3	2
8014	40	1	1	5	3	1
8017	30	5	1	5	3	5
8018	35	1	1	5	3	3
8020	35	5	1	1	3	6
9011	40	3	1	5	2	3
9013	45	1	3	1	3	3
9020	30	5	1	4	3	1
10002	40	1	3	3	2	2
10005	45	1	3	2	3	5
10009	35	2	3	3	2	3
10011	35	3	1	5	2	4
10013	45	3	3	3	3	3
10017	25	5	3	5	2	1
11001	50	2	3	5	2	6

結果および考察

初期草丈が高く、生育が旺盛な選抜43個体の初期草丈、出穂期、草型、初期ストロン数、ストロン長、およびストロン径を表29に示す。

選抜された個体は、Commercial と Lourenco Marques から1個体、Morocco Common から4個体、Fords Katambora 8189から3個体、Swaziland から6個体、K5939,73-572 から10個体、N68/192から1個体、N70/171から7個体、N68/55から3個体、N70/168から6個体、およびカタンボラから1個体であった。

これらの個体の出穂期を見ると、早生から晩生（カタンボラ程度）までの変異があったが、早生に属するものが27個体と約6割を占め、一方、晩生のものは9個体と約2割で、全体的に早生化していることがわかった。この原因として、育苗箱で300個体から23個体に選抜した際に、初期生育との関係で早生個体が多く選抜されたことが考えられる。

選抜された個体の草型、ストロン数、ストロン径などの形態的特性の変異も大きく、この個体選抜においては、初期生育と主にストロンの特性と草勢による収量性によってのみ選抜が行われたことを示している。

これら43個体の選抜後、それ以外の210個体は刈払い、43個体間の放任受粉を圃場において行い、各々の個体から得られた種子をそのまま系統とし、43母系を育成した。

ii) 生産力予備検定による43母系からの多収9母系の選抜

初期生育と収量性で選抜された43個体間の放任受粉で得られた43母系を、通常栽培で行われる密植条件で生産力を調査し、多収系統を選抜するのがこの研究の目的である。

材料および方法

供試材料として、表29に示した選抜43母系を用い、比較品種としてフォーズカタンボラ（熊牧系）、カタンボラ、およびマサバを用いた。

試験区は、 $1\text{ m} \times 3\text{ m} = 3\text{ m}^2$ 、50cm、2列条播、乱塊法2反復で試験を行った。施肥は、基肥としてN、 P_2O_5 、 K_2O 、各々1 kg/a、追肥としN、 K_2O 、各々1 kg/aとした。播種日は1981年5月15日で刈り取り回数は3回で、区全体を刈り取った。

乾物率は、約500 gの試料を3日間乾燥器の中で乾燥させた重量を計測して換算した風乾物率を用いた。

表30 選抜43系統の乾物収量

系統番号	乾物収量(kg/a)	対熊牧系比(%)	選抜
1017	151.5	103.6	
2001	157.6	107.7	+
3006	157.2	107.5	+
3010	145.5	99.5	
3015	132.0	90.2	
3021	129.4	88.4	
4003	144.4	98.7	
4008	147.8	101.0	
4023	134.2	91.7	
5005	153.0	104.6	
5009	155.5	106.3	
5010	165.0	112.8	+
5011	158.3	108.2	+
5012	157.6	107.7	+
5022	141.1	96.4	
6001	143.3	98.0	
6004	132.6	90.6	
6007	137.6	94.1	
6009	151.8	103.8	
6011	175.6	120.0	+
6012	148.6	101.6	
6014	152.4	104.2	
6016	160.4	109.6	+
6017	135.1	92.3	
6021	131.1	89.6	
7008	138.1	94.4	
8002	133.5	91.3	
8003	152.0	103.9	
8012	151.5	103.6	
8014	128.2	87.6	
8017	143.1	97.8	
8018	129.0	88.1	
8020	161.3	110.3	+
9011	162.3	110.9	+
9013	135.8	92.8	
9020	127.7	87.3	
10002	141.5	96.7	
10005	118.3	80.9	
10009	146.2	99.9	
10011	128.5	87.8	
10013	151.2	103.3	
10017	144.3	98.6	
11001	148.2	101.3	
熊牧系	146.3	100.0	
カタンボラ	124.0	84.8	
マサバ	123.2	84.2	

結果および考察

供試した43母系の3回の刈り取りの合計収量を表30に示した。フォーズカタンボラ、カタンボラ、およびマサバは市販品種の中で最も多収の有望品種であるが、供試した43系統の対フォーズカタンボラ比の平均は99.2と高く、20系統が熊牧系を上回った。また、5010、6011、8020、および9011の4系統がフォーズカタンボラよりも10%以上多収であった。このことは、育苗箱内での初期生育の選抜と個体植えでの収量性の選抜とではあるにもかかわらず、密植栽培においても収量性に関して選抜の効果があったことを示している。

43母系は43個体間の放任受粉によって得られた系統であるが、各系統によって草型や種子形態などに特徴が認められた。これら43個体の中から、図中に+で示した乾物収量が高い9母系を選抜した(表30)。

iii) 9母系360個体の草型による分類と選抜

ここでは、43母系の中から選抜された多収9母系の生産力を再度調査し、同時に各母系を構成する個体の特性を調査し、西南暖地での一年生栽培における多収性に関係する形質を解析し、それに基づいて有望個体を選抜するのが目的である。

材料および方法

a. 選抜9母系の収量試験

供試系統は、1981年に選抜した多収の9母系(2001, 3006, 5010, 5011, 5012, 6011, 6016, 8020, 9011)と比較品種として、フォーズカタンボラ(熊牧系)、カタンボラ、ガンソン、パイオニア、栃酪系、および四倍体系統のQ3307を用いた。

試験区は、 $2.4\text{ m} \times 2\text{ m} = 4.8\text{ m}^2$ 、60cm 4列条播、乱塊法3反復で試験を行った。播種日は、1982年5月11日で播種量は発芽率40%の種子2.5g/区(50g/a)を基準にし、あらかじめ行った発芽試験の結果から、発芽率に応じて1.2g、2.5g、5.0g/区の3段階とした。刈り取りは4回(7月2日、7月29日、8月30日、および10月7日)で、中2列を調査した。

施肥は、基肥としてN、 P_2O_5 、 K_2O を各々1kg/a、追肥としN、 K_2O を、各々1kg/a刈り取り後に施用した。

収量、草丈などのデータは農林水産研究計算センターのアプリケーションプログラムであるGRIMS/CGSを用いてデータベース化した⁸¹⁾。

b. 9 母系360個体の草型による分類と選抜

供試材料は上記の a と同様である。1982年 5 月13日に各母系当り400粒をペーパーポットに播種し、初期生育に優れた40個体を選抜した。6 月 7 日に 9 系統各40個体、合計360個体を1.8m×2.0mの間隔の個体植えて移植した。調査項目は、生育期全般にわたって、生草重および乾物重（8 月 6 日刈り取り）、初期草勢（移植後約30日目の 7 月 5 日に調査）、草丈（7 月30日）、初期ストロン数（7 月 5 日）、ストロン径（長径×短径：7 月 5 日）、秋季草勢（10月 4 日）、葉長および葉幅（最大展開葉：8 月 2 日）、草型（ほふく型＝1－立型＝5の5段階評価：8 月 2 日）、稈径（第1節と第2節間の長径：8 月 2 日）、再生力（不良＝1－良＝5の5段階：刈り取り 2 週間後の 8 月19日）、刈り取り後出穂日（連続して出穂の見られた最初の日を刈り取り日から換算した日数）、穂長（最下枝梗の根元から穂先までの長さ：8 月 2 日）、種子重（約 1 週間毎に穂刈り採種した種子の総重量）などの収量や形態に関係する項目、耐湿性（梅雨時期の湿害による黄色化の有無による、無＝0－有＝4の5段階評価：8 月 2 日）、耐病性（主にシュガーケーンモザイク病の被害の有無による、無＝0－有＝4の5段階評価：8 月 2 日）などの36項目について調査した。360個体のデータはすべて GRIMS/CGS を用いてデータベース化した。

表31 供試品種系統の総生草重

系 統 名	記号	生草重(kg/a)	対標比(%)	有意差検定
Q 3 3 0 7	L	941	121	a
6 0 1 1	F	939	121	a
2 0 0 1	A	919	118	a b
ガンゾン	N	867	111	a b c
カタンボラ	K	824	106	b c d
9 0 1 1	I	807	104	c d
5 0 1 1	D	807	104	c d
3 0 0 6	B	783	101	c d
フォーズカタンボラ	J	779	100	c d
6 0 1 6	G	778	100	c d
5 0 1 0	C	766	98	c d
5 0 1 2	E	763	98	c d
8 0 2 0	H	729	94	d e
パイオニア	M	653	84	e f
栃酪系	O	620	80	f

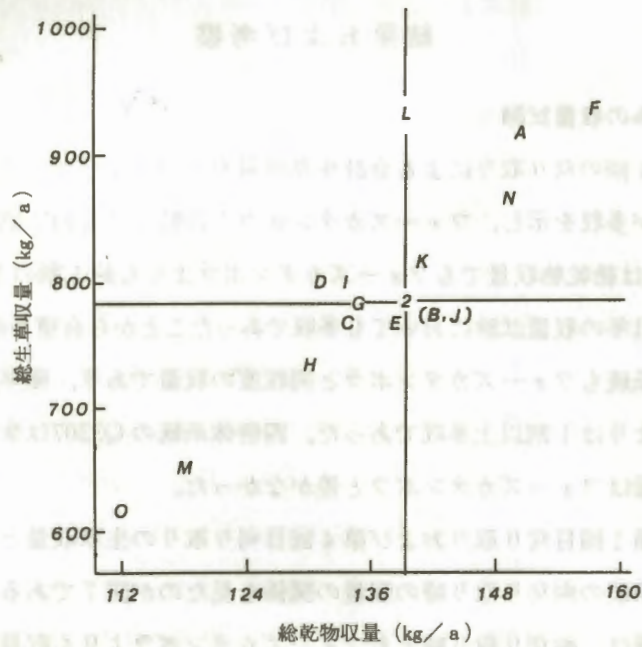


図6 供試系統の総乾物収量と総生草収量の関係
各系統の記号は表31に示す。フォーズカタン
ボラの生草収量と乾物収量を直線で示す。

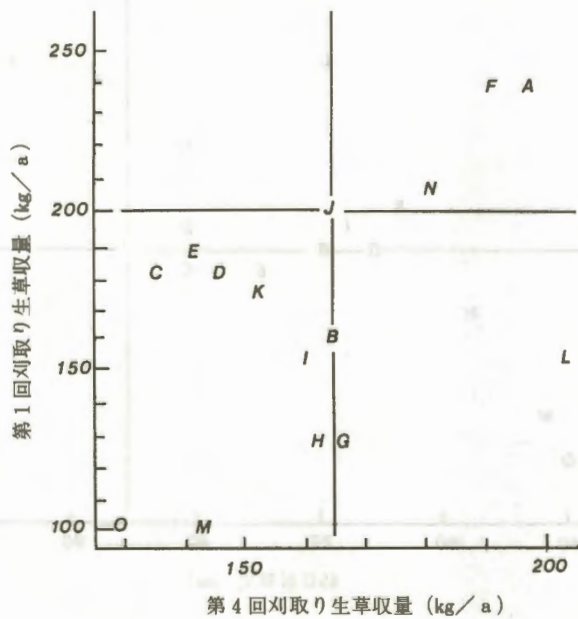


図7 供試系統の第1回刈り取りの生草収量と第4回
刈り取りの生草収量の関係
各系統の記号は表31に示す。フォーズカタンボ
ラの生草収量を直線で示す。

結果および考察

a. 選抜9母系の収量試験

選抜9母系の4回の刈り取りによる合計生草収量を表31に示した。この中で、2001および6011の2系統が多収を示し、フォーズカタンボラと比較しても約2割収量が高かった。また、この2系統は総乾物収量でもフォーズカタンボラよりも約1割の多収であり(図6)、表30に示した1981年の収量試験においても多収であったことから有望多収系統と思われた。また、他の選抜系統もフォーズカタンボラと同程度の収量であり、極早生品種系統のパイオニアや栃酪系よりは1割以上多収であった。四倍体系統のQ3307は生草収量が最も高かったが、乾物収量はフォーズカタンボラと差がなかった。

総生草収量は第1回目刈り取りおよび第4回目刈り取りの生草収量と相関が高かったことから、各品種系統の両刈り取り時の収量の関係を見たのが図7である。ここでも2001および6011の2系統は、両刈り取り時ともフォーズカタンボラよりも収量が高く、生育の初期においても後期においても収量が高いことがわかった。一方、Q3307は後期の収量が高い

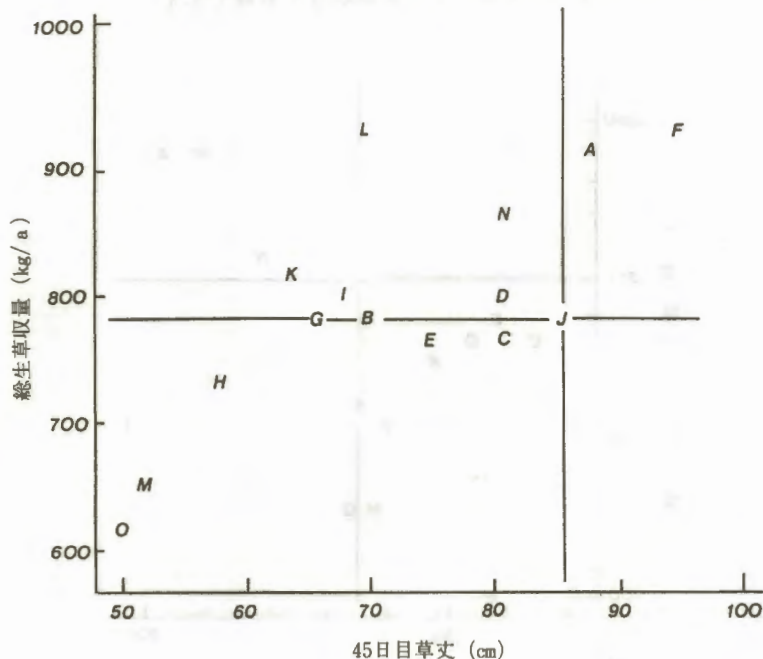


図8 供試系統の初期生育と総生草収量の関係
各系統の記号は表31に示す。フォーズカタ
ンボラの生草収量と草丈を直線で示す。

にもかかわらず初期の収量が低く、初期生育に問題があると思われた。

各品種系統の初期生育、すなわち移植後45日目の草丈と総生草重の関係をみたのが図8である。両特性の相関は高く ($r=0.743$)、このことは初期生育の段階で個体あるいは系統選抜することが西南暖地での多収性品種育成のための有効な方法であることを示唆している。フォーズカタンボラ（熊牧系）は熊本種畜牧場（現家畜改良センター熊本牧場：熊本県菊池郡合志町）において10年以上継代で増殖されてきた系統であることから、自然淘汰によって熊本の環境条件に適応したことが考えられている、初期生育の早い系統である。この熊牧系は、供試品種の中では45日目の草丈が最も高かったが、2001および6011の2系統はこの点においてもフォーズカタンボラよりも優れていた。

6. 9母系360個体の草型による分類と選抜

供試9母系に含まれる各40個体の生草重の分布を示したのが表32である。表31に示したように、これらの9母系はこの試験と同時にを行った収量試験でもフォーズカタンボラと比較して94%以上の収量を示している。収量の低い品種に含まれる個体の生草重の分布についての情報はないが、表32を見ると、対フォーズカタンボラ比が各々121、118と高い6011および2001では生草重が3000gを越える多収個体が他の系統に比べてやや多いことがわかる。このことは、品種を構成する個体の個体植えでの生産力が密植条件で栽培した場合にも反映されていることを示唆している。

9母系360個体から生育不良個体を除いた303個体の生草重および乾物重、初期草勢、草

表32 各系統内における個体重の分布と各系統の生産力検定試験での生草重の対標比

系統番号	生 草 重 (g)					対標比
	0-999	1000-1999	2000-2999	3000-3999	4000-	
2001	11(27.5)	14(35.0)	12(30.0)	2(5.0)	1(2.5)	118
3006	12(30.0)	17(42.5)	9(22.5)	2(5.0)	0(0.0)	101
5010	10(25.0)	13(32.5)	16(40.0)	1(2.5)	0(0.0)	98
5011	10(25.0)	22(55.0)	5(12.5)	3(7.5)	0(0.0)	104
5012	11(27.5)	19(47.5)	9(22.5)	1(2.5)	0(0.0)	98
6011	10(25.0)	13(32.5)	13(32.5)	3(7.5)	1(2.5)	121
6016	16(40.0)	18(45.0)	5(12.5)	1(2.5)	0(0.0)	100
8020	15(37.5)	17(42.5)	6(15.0)	2(5.0)	0(0.0)	94
9011	14(35.0)	16(40.0)	9(22.5)	0(0.0)	1(2.5)	104

対標比は第31表に示した、フォーズカタンボラに対する比
()内は頻度%

表33 生育良好な303個体における15形質の相関

形 質	生草重	乾物重	初期草勢	草丈	初期スト ロン数	ストロン径	秋季草勢	葉長	葉幅	草型	稈径	再生力	出穂日	穂長
乾物重	0.97**													
初期草勢 ¹	0.57**	0.57**												
草丈 ²	0.02	0.04	0.36**											
初期ストロン数 ¹	0.66**	0.70**	0.45**	0.03										
ストロン径 ¹	0.03	-0.04	0.29**	0.27**	-0.29**									
秋季草勢 ³	0.34**	0.32**	0.02	-0.13	0.12	-0.14								
葉長	-0.08	-0.05	0.22*	0.64**	-0.20*	0.43**	-0.11							
葉幅	-0.10	-0.12	0.26**	0.58**	-0.18	0.44**	-0.20*	0.67**						
草型 ⁴	0.05	0.06	0.18	0.61**	0.04	0.06	0.06	0.42**	0.34**					
稈径	0.17	0.12	0.22*	-0.02	-0.02	0.39**	0.01	0.08	0.15	-0.06				
再生力 ⁵	0.00	-0.01	0.04	0.19	-0.21	0.23**	0.32**	0.29**	0.23*	0.14	0.08			
刈取後出穂日	-0.08	-0.06	-0.16	-0.20*	-0.01	-0.11	0.14	-0.14	-0.16	-0.13	-0.07	-0.14		
穂長	0.11	0.07	0.14	0.09	-0.12	0.29**	0.07	0.22*	0.16	0.03	0.41**	0.21*	-0.10	
種子重	0.06	0.05	0.03	0.25*	-0.16	0.24*	0.18	0.27**	0.26**	0.13	0.17	0.42**	-0.35**	0.09

1 : 7月5日調査, 2 : 7月30日調査, 3 : 10月4日調査, 4 : 8月2日調査, 5 : 8月19日調査

* 5%有意差, ** 1%有意差

丈、初期ストロン数およびストロン径、秋季草勢、葉長および葉幅、草型、稈径、再生力、刈り取り後出穂日、穂長、種子重の相関係数を表33に示した。生草重と乾物重の相関は $r=0.57$ と高く、これらと相関の高い形質は、初期ストロン数（生草重との間で $r=0.57$ 、乾物重との間で 0.70 ）、初期草勢（生草重と乾物重との間で共に $r=0.57$ ）、および秋季草勢（生草重との間で $r=0.34$ 、乾物重との間で $r=0.32$ ）であり、草丈、葉長、および葉幅、草型、再生力などは相関が低かった。このことは、種々の草型の多収個体が存在することを示しており、今後の育種目標についても種々の草型の多収系統の育成が可能なことを示唆している。また、初期草勢は、草丈（ $r=0.36$ ）、初期ストロン数（ $r=0.45$ ）、ストロン径（ $r=0.29$ ）、葉長（ $r=0.22$ ）と葉幅（ $r=0.26$ ）および稈径（ $r=0.22$ ）との間で有意な正の相関を示した。牧草の栽培において重要な形質である再生力はストロン径（ $r=0.23$ ）、葉長（ $r=0.29$ ）および葉幅（ $r=0.23$ ）との間で有意な正の相関を示し、このことが秋季草勢（ $r=0.32$ ）と種子重（ $r=0.42$ ）につながっていると推定される。また、牧草種子の普及において不可欠の種子生産力は、草丈（ $r=0.25$ ）、ストロン径（ $r=0.24$ ）、葉長（ $r=0.27$ ）と葉幅（ $r=0.26$ ）、および繰返しになるが再生力（ $r=0.42$ ）との間で有意な正の相関を示し、刈り取り後の出穂日との間で有意な負の相関（ $r=-0.35$ ）を示した。

これらの牧草育種における有用形質に関係する形質がストロンの形態であることに着目し、以下のようなストロンの形態、すなわちストロン数とストロン径によるローズグラス個体のタイプ分けを試みた。ストロン数は生育にともなって増加するため、生育の前期と後期で調査を行った結果、前期と後期のストロン数の相関は高く（ $r=0.64$ ）、ある一定時期のストロンの多少は個体の特性であると判断した。また、ストロン径（長径×短径）も稈径（長径）との相関が高く（ $r=0.52$ ）、これも個体の持つ特性であると判断した。

9母系360個体から生育不良の個体を除いた303個体のストロン数とストロン径による散布図を図9に示した。この散布図を、ストロン数の平均値である12本およびストロン径の平均値である 12mm^2 で区分し、ストロンが太くて少ないAタイプ（写真10A）、ストロンが細くて少ないBタイプ（写真10B）、およびストロンが細くて多いCタイプ（写真10C）の3タイプに分類した。ストロンが太くて多いDタイプはほとんど存在しなかった。

A、B、C、およびDタイプ各々に属する個体の生草重の分布を示したのが表34である。生草重が2,000 g未満の個体の割合はBタイプでは約74%と最も高く、多収個体の頻度が低いことがわかった。また、この割合はAタイプでは約68%であった。一方、Cタイプでは16.7%と低く、また3,000 g以上の個体が30%を越え、多収個体の頻度が高いことがわかつ

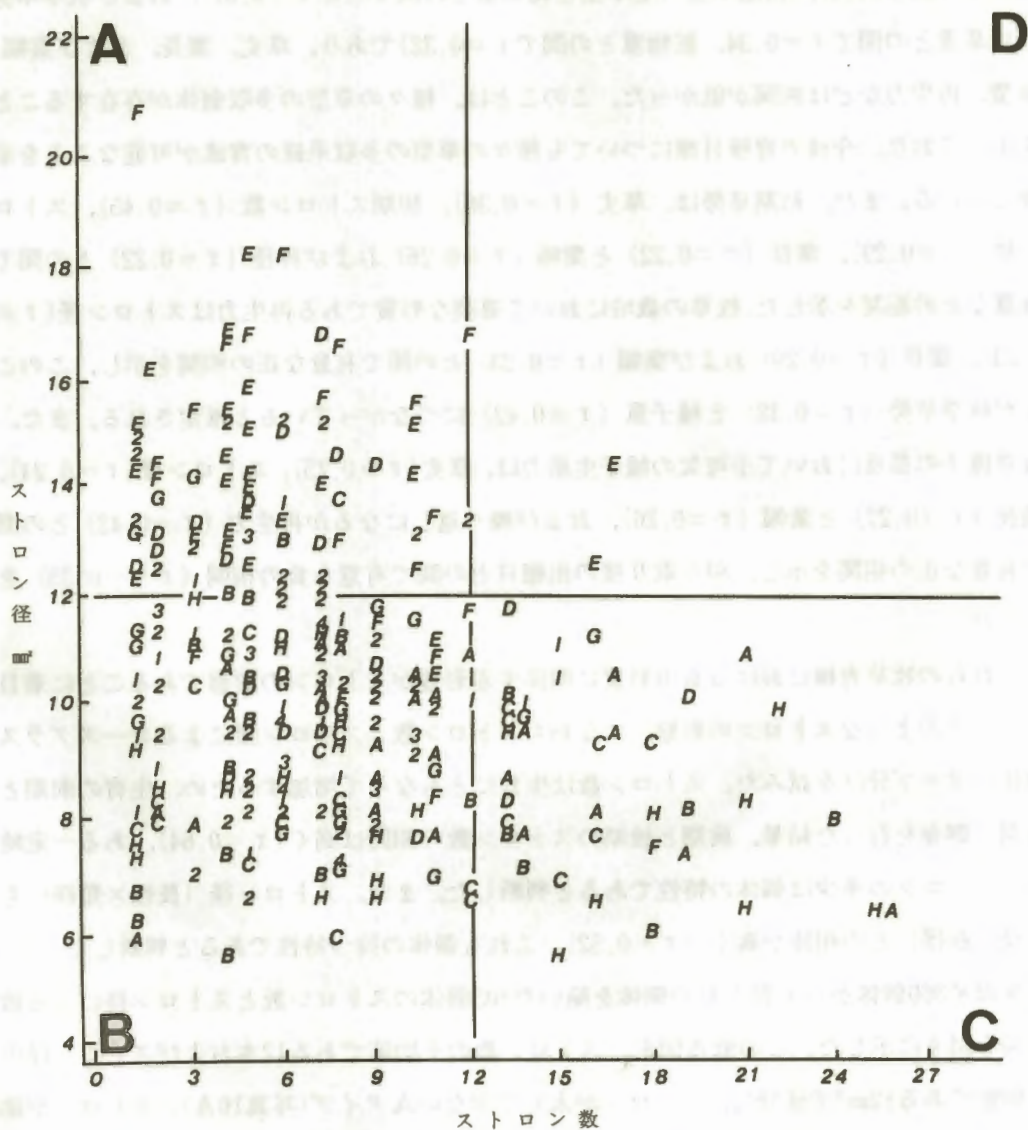


図9 ストロン径とストロン数による303個体のタイプ分け

A—Iは、供試9母系の識別記号；A：2001, B：3006, C：5010,
D：5011, E：5012, F：6011, G：6016, H：8020, I：9011



写真10 ストロンの特性で分類したA, B, およびCタイプの草姿
A: Aタイプ; B: Bタイプ; C: Cタイプ

表34 生育不良個体を除いた319個体における各タイプ内の個体重の分布

タイプ	生 草 重 (g)				
	0-999	1000-1999	2000-2999	3000-3999	4000-
A	17(18.9)	44(48.9)	25(27.8)	3(3.3)	1(1.1)
B	49(24.1)	102(50.2)	47(23.2)	5(2.5)	0(0.0)
C	1(4.2)	3(12.5)	12(50.0)	6(25.0)	2(8.3)
D	0(0.0)	1(50.0)	1(50.0)	0(0.0)	0(0.0)

()内は頻度%

表35 生育不良個体を除いた319個体における
早晩性の分布

タイプ	早生	晩生
A	45(50.0)	45(50.0)
B	60(29.6)	143(70.4)
C	3(12.5)	21(87.5)
D	1(50.0)	1(50.0)

()内は頻度%

表36 供試9系統各々に含まれる個体におけるA, B, C, およびDタイプの割合

系 統 番 号	Aタイプ	Bタイプ	Cタイプ	Dタイプ
2 0 0 1	1(2.7)	30(81.1)	6(16.2)	0(0.0)
3 0 0 6	3(8.8)	28(82.4)	3(8.8)	0(0.0)
5 0 1 0	4(10.8)	30(81.1)	3(8.1)	0(0.0)
5 0 1 1	18(46.1)	20(51.3)	1(2.6)	0(0.0)
5 0 1 2	28(77.7)	6(16.7)	0(0.0)	2(5.6)
6 0 1 1	25(71.4)	9(25.7)	1(2.9)	0(0.0)
6 0 1 6	4(12.1)	28(84.9)	1(3.0)	0(0.0)
8 0 2 0	1(2.9)	26(76.5)	7(20.6)	0(0.0)
9 0 1 1	6(17.6)	26(76.5)	2(5.9)	0(0.0)

()内は頻度%

た。

8月6日の刈り取り時に出穂していたか否かによって早生あるいは晩生と分類し、各タイプに属する個体の早晩生の割合を示したのが表35である。Aタイプは早生と晩生が50%ずつであるが、Bタイプでは約70%、Cタイプでは87.5%が晩生であった。このことから、Aタイプには早生個体が多く、一方、Cタイプには晩生個体が多いことがわかった。またBタイプは両者の中間であった。

供試9母系各々に含まれる個体の各タイプの割合を示したのが表36である。これを見ると、Aタイプが70%以上の5011と6011のグループとCタイプが15%以上で、かつBタイプとCタイプの合計が90%以上の2001と8020のグループに分類され、他はその中間であった。収量試験で多収を示した6011と2011の2系統が、前者はAタイプの多いグループに属し、後

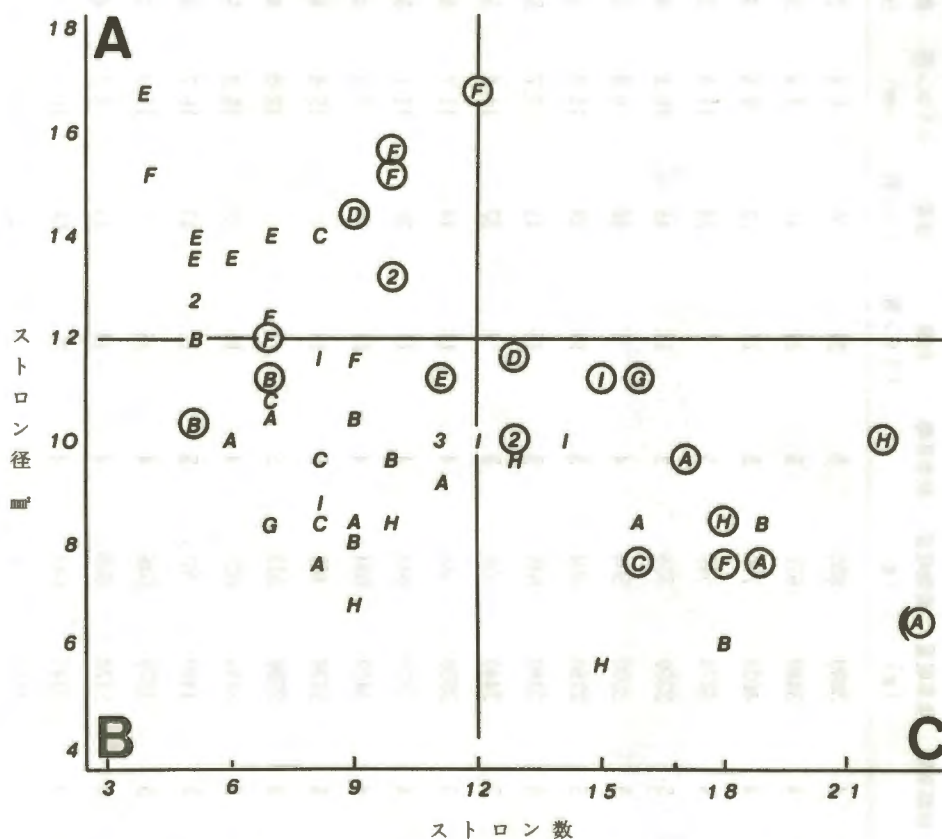


図10 生育良好な59個体のストロンの太さと数によるタイプ分け
A—Iは、供試9母系の識別記号；A：2001，B：3006，C：5010，
D：5011，E：5012，F：6011，G：6016，H：8020，I：9011

表37 選抜された超多収20個体の特性

系統番号	初期草勢	生草収量 (g)	乾物収量 (g)	秋季草勢	初期 ストロン数	後期 ストロン数	ストロン径 (mm ²)	稈径 (mm)	葉幅 (cm)	草型	早晚性	刈取後出穂日 (月・日)	タイプ	選抜
2001	4	3090	655	5	26	56	6.4	2.9	0.97	4	晩	8.24	C	+
2001	4	3400	670	5	19	47	7.4	3.6	0.77	3	晩	10.01	C	
2001	4	4020	776	5	17	52	9.5	3.4	0.77	3	晩	8.21	C	+
3006	4	3270	546	5	7	34	11.0	3.8	0.93	4	晩	8.24	B	+
3006	5	2350	559	5	13	45	10.1	4.1	1.23	4	晩	9.01	C	
3006	5	3000	504	4	5	40	9.3	4.2	1.10	4	晩	8.30	B	+
5010	5	2760	494	5	10	28	13.2	3.8	1.03	4	晩	8.31	A	+
5010	5	3180	649	5	16	43	7.7	5.3	0.97	4	晩	8.21	C	+
5011	5	2440	459	5	9	37	14.4	5.0	0.87	3	晩	8.24	A ¹	
5011	5	3550	589	4	13	44	11.7	5.7	1.03	4	早	8.19	C	+
5012	4	3270	644	4	11	36	11.1	5.0	0.83	3	晩	8.21	B ¹	+
6011	4	3420	694	4	18	36	7.5	4.2	0.57	2	晩	8.19	C	+
6011	5	2130	462	5	10	42	15.6	4.8	0.73	4	早	8.24	A ¹	
6011	5	2700	513	5	7	37	12.0	4.2	1.07	2	晩	8.24	A ¹	+
6011	5	3150	627	4	10	30	15.2	5.9	0.83	2	晩	8.24	A	+
6011	5	4400	761	5	12	43	16.7	4.9	0.97	4	晩	8.21	A ¹	+
6016	5	3370	546	4	16	37	11.3	3.0	0.63	4	早	8.25	C	+
8020	4	3170	669	4	18	45	8.2	4.1	1.00	3	晩	9.21	C	+
8020	5	3140	644	4	22	68	10.0	2.2	0.83	4	早	8.26	C	+
9011	5	4230	838	5	15	45	11.1	6.4	0.90	3	晩	8.24	C	+

1: 後期ではストロン数の多くなった個体

表38 選抜された多収Aタイプ16個体の特性

系統番号	初期草勢	生草収量 (g)	乾物収量 (g)	秋季草勢	初期 ストロン数	後期 ストロン数	ストロン径 (mm ²)	稈径 (mm)	葉幅 (cm)	草型	早晩性	刈取後出穂日 (月・日)	選抜	採種
5010	5	2530	450	4	8	32	13.8	5.5	0.77	4	早	8.19	+	+
5010	5	2760	494	5	10	28	13.2	3.8	1.03	4	晩	8.31	+	+
5011	5	2440	459	5	9	37	14.4	5.0	0.87	3	晩	8.24	+	+
5012	4	2020	374	5	5	29	12.9	6.0	0.93	4	晩	8.22		
5012	4	2030	382	4	7	31	12.3	5.7	0.80	2	晩	8.21	+	
5012	4	2040	381	4	5	34	13.6	5.3	0.80	2	早	8.18	+	
5012	4	2090	374	5	5	24	12.6	4.6	0.83	2	早	8.26	+	+
5012	4	2170	449	4	4	35	16.9	4.2	0.90	4	早	8.20	+	
5012	4	2370	441	4	5	32	13.9	4.2	0.73	2	晩	8.21	+	
5012	4	2550	553	4	6	30	13.4	6.0	0.77	2	晩	8.21	+	+
5012	4	2600	530	4	7	22	13.9	5.3	0.80	3	晩	8.19	+	+
6011	4	2570	411	4	10	34	13.1	5.5	0.90	3	晩	9.02	+	+
6011 ¹	5	2000	390	4	4	37	15.2	4.2	0.77	5	早	8.21		
6011 ¹	5	2130	462	5	10	42	15.6	4.8	0.73	4	早	8.24		
6011	5	3150	627	4	10	30	15.2	5.9	0.83	2	晩	8.24	+	+
6011 ¹	5	4400	761	5	12	43	16.7	4.9	0.97	4	晩	8.21		

1: 後期にストロン数が多いグループにはいるためにAタイプの選抜個体から除去

表39 選抜された多収Bタイプ15個体の特性

系統番号	初期草勢	生草収量 (g)	乾物収量 (g)	秋季草勢	初期 ストロン数	後期 ストロン数	ストロン径 (mm)	稈径 (mm)	葉幅 (cm)	草型	早晚性	刈取後出穂日 (月,日)	選抜	採種
2001	3	2170	532	4	8	29	7.4	2.4	0.60	4	早	8.18	+	
2001	3	2220	406	4	6	22	9.8	4.6	0.87	2	晩	8.21	+	
2001	4	2390	497	5	11	28	9.1	4.4	0.83	4	早	8.21	+	
2001	5	2360	481	4	11	33	10.1	5.7	0.97	4	晩	9.06	+	
2001	5	2620	493	4	9	24	8.2	2.9	0.80	2	早	8.24	+	+
3006	4	3270	546	5	7	34	11.0	3.8	0.93	4	晩	8.24	+	+
3006	5	2170	434	4	5	30	11.9	4.4	0.77	2	晩	8.26	+	
5010	3	2100	435	5	8	32	9.5	3.4	0.70	2	晩	9.01	+	+
5010	4	2100	464	4	7	34	10.6	3.8	0.83	2	早	8.24	+	
5010	4	2260	475	4	8	33	8.4	3.4	0.87	2	早	8.20	+	
6011	5	2500	508	4	9	31	11.5	5.5	0.83	2	晩	8.20	+	+
6016	3	2290	437	4	7	26	8.2	3.7	0.80	3	晩	8.20	+	+
9011	4	2240	482	4	12	34	10.1	3.4	0.97	3	晩	8.19	+	
9011	4	2300	449	5	8	23	11.6	5.0	0.90	2	晩	8.24	+	+
9011	4	2410	443	4	11	35	10.0	3.4	0.80	4	晩	8.19	+	

表40 選抜された多収Cタイプ18個体の特性

系統番号	初期草勢	生草収量 (g)	乾物収量 (g)	秋季草勢	初期 ストロン数	後期 ストロン数	ストロン径 (mm)	稈径 (mm)	葉幅 (cm)	草型	早晩性	刈取後出穂日 (月・日)	選抜	採種
2001	4	2360	526	4	16	40	8.2	2.9	0.63	3	晩	8.20		
2001	4	3090	655	5	26	56	6.4	2.9	0.97	4	晩	8.24	+	+
2001	4	3400	670	4	19	47	7.4	3.6	0.77	3	晩	10.01	+	+
2001	4	4020	776	4	17	52	9.5	3.4	0.77	3	晩	8.21	+	+
3006	4	2290	419	5	18	45	5.9	3.4	0.70	3	晩	8.21		
3006	4	2390	507	5	19	40	8.2	3.8	0.73	3	晩	9.29	+	+
3006	5	2350	559	5	13	45	10.1	4.1	1.23	4	晩	9.01		
5010	4	2720	607	4	13	57	10.0	4.2	0.83	4	早	8.24	+	
5010	5	3180	649	5	16	43	7.7	5.3	0.97	4	晩	8.21	+	+
5011	5	3550	589	4	13	44	11.7	5.7	1.03	4	早	8.19	+	+
6011	4	3420	694	4	18	36	7.5	4.2	0.57	2	晩	8.19	+	+
6016	5	3370	546	4	16	37	11.3	3.0	0.63	4	早	8.25	+	+
8020	4	2280	545	5	15	40	5.6	3.4	0.77	3	晩	8.19		
8020	4	2770	590	5	13	62	9.5	3.1	0.70	3	晩	8.21		
8020	4	3170	669	4	18	45	8.2	4.1	1.00	3	晩	9.21	+	+
8020	5	3140	644	4	22	68	10.0	2.2	0.83	4	早	8.26	+	+
9011 ¹	3	2360	470	5	14	30	10.0	4.3	1.03	3	晩	9.30		
9011	5	4230	838	5	15	45	11.1	6.4	0.90	3	晩	8.24	+	+

1: 後期ストロン数が30と少ないので, Cタイプの選抜個体から除去

者はCタイプの多いグループに属していることは、どちらのタイプが多い場合にも多収になりうることを示しており、今後の多収品種の育成を草型の面から考える上で興味深い。

次に、360個体の中から多収の上位59個体を抽出して、図9と同様にストロンの太さと数で散布図にし、A、B、およびCのタイプ分けを行った結果が図10である。この多収59個体の中には、2001から11個体、3006から8個体、5010から7個体、5011から2個体、5012から9個体、6011から8個体、6016から2個体、8020から6個体、および9011から6個体が含まれていた。これをタイプ別でみると、Aタイプが18個体、Bタイプが24個体、Cタイプが17個体であり、どのタイプにもどの系統にも多収個体が存在していることがわかった。

この中で、個体重が上位の超多収20個体をみると、この中には9母系全てからの個体が含まれているが、収量試験で最多収の2母系（2001、6011）から、合計8個体（40%）が含まれていた（表37、図10）。このことは、個体植えの場合と密植栽培の場合でローズグラスの草型は大きく異なるが、個体植えで調査した母系を構成する個体の生産力がそのまま母系の生産力に反映されており、個体植えでの個体選抜法が多収品種の育成に有効であることを示している。一方、これら超多収20個体のタイプをみると、Aタイプが6個体、Bタイプが3個体、Cタイプが11個体と全てのタイプが含まれているが、ストロンが細くて多いタイプが約半数を占め、ほふく型の個体が超多収になりやすいことを示唆している。これら超多収20個体は、11月10日に堀上げ、栄養系として温室で株保存し、次年度の育種素材とした。

A、B、およびCタイプの多収品種を育成する目的で、データベースシステムを用いた個体選抜を行った。Aタイプについては、初期草勢の5段階評価で3～5、生草収量が2000～5000gで、かつ秋季草勢の5段階評価が4あるいは5で病虫害のなかった個体の中から、ストロン数が12本以下でストロン径が12.1以上のものを抽出した結果、16個体を選出された（表38）。同様の生育条件で、Bタイプについては、ストロン数が12本以下で、ストロン径が12.0以下でかつ、後期のストロン数が35本以下のものを抽出した結果、15個体を選出された（表39）。やはり、同様の生育条件で、Cタイプについては、ストロン数が13本以上でストロン径が12.0以下のものを抽出した結果、18個体を選出された（表40）。

iv) A、B、およびCタイプの選抜とポリクロス

Aタイプについては、表38に示したように、生育良好でかつストロンが太くて少ない16個体の中から生育後期にストロン数が増加した3個体を除いた、4母系に由来する13個体について、あらかじめストロンを切取って栄養繁殖で増殖した各々の個体をポットで育て、

夏季に特性調査と選抜を行った1982年秋季に人工気象室内でポリクロスを行った。この13個体の中から、個体重を考慮し、かつ同一母系に由来する育成母系を減らすことを考慮して選抜した8母系についてのみ採種し、合計8母系を育成した。

Bタイプについては、表39に示したように、生育良好でかつストロンが細くて少ない6母系に由来する15個体について同様に人工気象室内でポリクロスを行った。そして、各母系ごとに生育の優れた1個体を選抜した6個体についてのみ採種し、合計6母系を育成した。

また、Cタイプについては、表40に示したように、生育良好でかつストロンが細くて多い18個体の中から生育後期にストロン数が減少した1個体を除き、同一母系に由来する個体を減らし、8母系に由来する12系統について人工気象室内でポリクロスを行った。そして、11個体についてのみ採種し、合計11母系を育成した。

ここでは、1983年にこれらAタイプ8母系、Bタイプ6母系、Cタイプ11母系を圃場に展開して特性調査を行い、選抜効果などを推定した結果を示す。

材料および方法

供試系統は、上記のAタイプ8母系、Bタイプ6母系、Cタイプ11母系を用い、1983年4月25日に各母系について300粒を播種箱内に播種し、初期生育に優れた25個体を選抜した。5月26日に、九州農業試験場草地部の圃場に、25母系×25個体、合計625個体を1.5m×1.5mの間隔で個体植えて移植した。

調査項目は生育期間の全般にわたり、草丈、草勢、生草収量などの収量に係る項目とストロンの形状、草型、葉幅などの形態に関する項目および、出穂始日、耐病性程度(主にシュガーケーンモザイクウイルスによる茎葉の脱色)の26項目について調査した。刈り取りは、出穂期(8月17日)と生育後期(10月20日)の2回、一斉に刈り取って収量を調査した。ただし、2回目の刈り取りに関しては全てを計量せず、評点法を併用した。これら625個体のデータはすべて、農林水産研究計算センターのGRIMS/CGSを用いてデータベース化し、処理の効率化を図った。

結果および考察

625個体の中から、生育前期、後期ともに生育が良好な172個体を抽出してストロンの特性を見たのが図11である。この図を見ると、生育良好な172個体の分布は前年度の生育良好な59個体の分布と同様の傾向を示したことから、この分布がストロンの太さと数の分布の

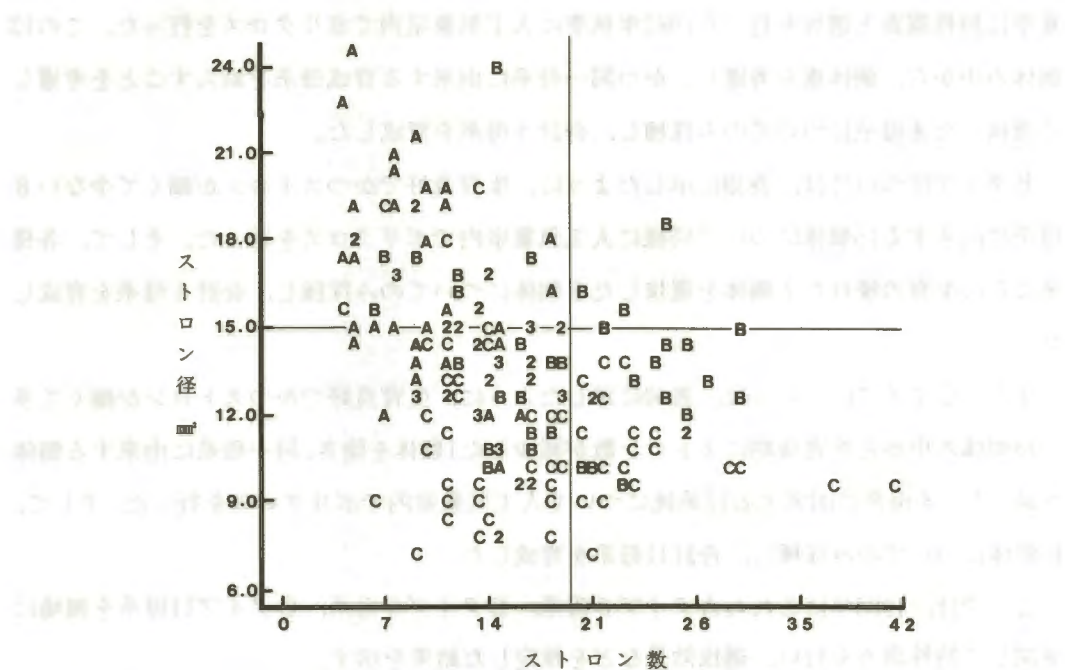


図11 A, B, C各タイプ内の放任受粉で得られた、生育良好な172個体のストロンの特性
図中のA, B, Cは母材のタイプを示す。

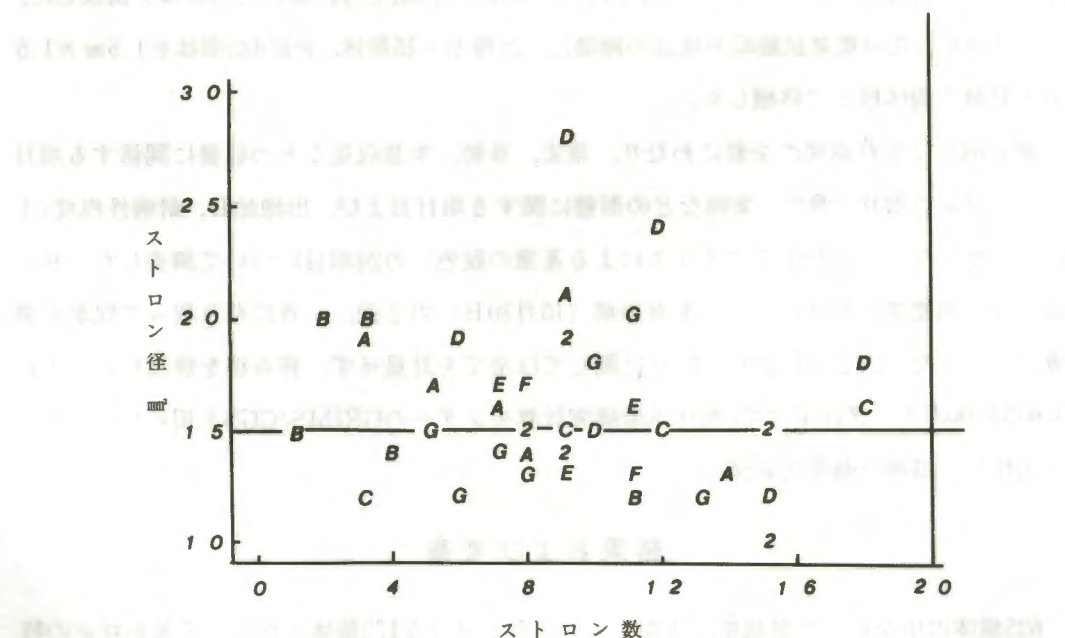


図12 Aタイプ間の放任受粉後代の中の多収43個体のストロンの特性
図中のA—Hは選抜された8母系を示す。

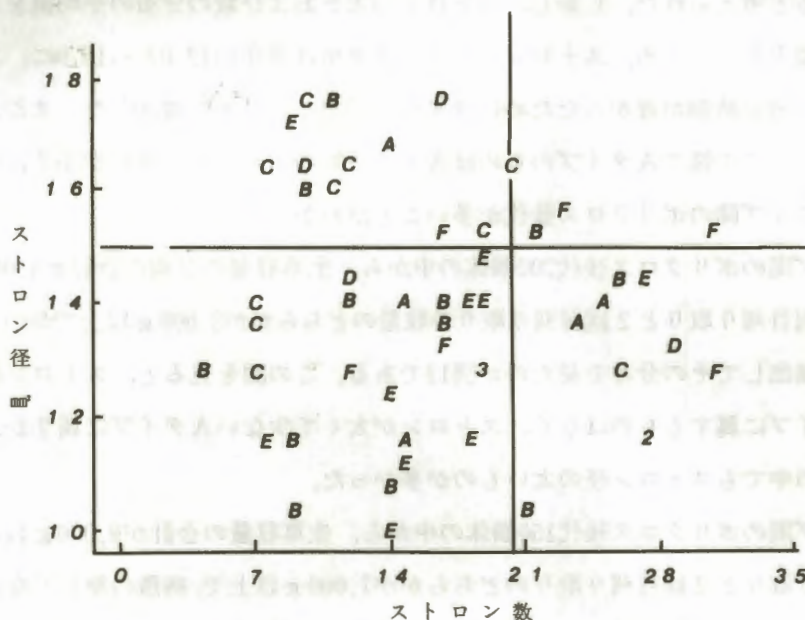


図13 Bタイプ間の放任受粉後代の中の多収52個体のストロンの特性
図中のA—Fは選抜された6母系を示す。

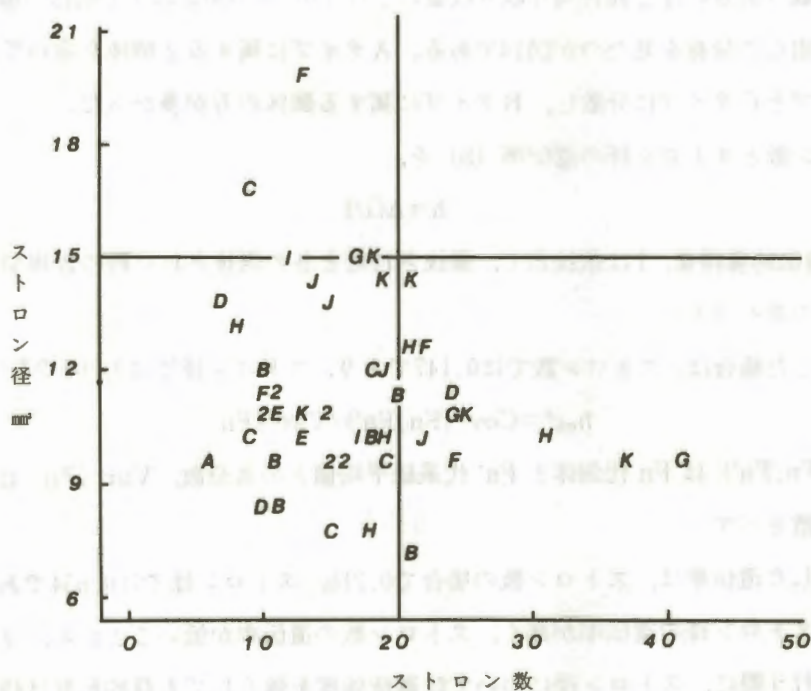


図14 Cタイプ間の放任受粉後代の中の多収49個体のストロンの特性
図中のA—Kは選抜された11母系を示す。

典型であると考えられた。しかし、ストロンの太さおよび数の分布の平均値を各タイプ分けの基準値としたところ、ストロンの太さの基準値は昨年の12.0から15.0に、ストロン数の基準値は測定時期が遅かったために昨年度の12本から21本に増加した。また、以下に詳しく示すが、この図でAタイプのものはAタイプ間のポリクロス後代が多く、CタイプのものはCタイプ間のポリクロス後代が多いことがわかった。

Aタイプ間のポリクロス後代200個体の中から、生草収量の2回の合計が4,000 g以上あるいは1回目刈り取りと2回目刈り取りの収量のどちらかが3,000 g以上でかつ生育良好な43個体を抽出してその分布を見たのが図12である。この図を見ると、ストロン数が20本以上のCタイプに属するものはなく、ストロンが太くて少ないAタイプに属するか、あるいはBタイプの中でもストロン径の太いものが多かった。

Bタイプ間のポリクロス後代150個体の中から、生草収量の合計が9,000 g以上あるいは1回目刈り取りと2回目刈り取りのどちらかが7,000 g以上で、病徴の激しくない52個体を抽出して分布をみたのが図13である。この分布図は選抜以前の多収個体の分布に似て、A、B、Cの全てのタイプに分散した。

Cタイプ間のポリクロス後代275個体の中から生草収量の合計が8,000 g以上あるいは1回目刈り取りあるいは2回目刈り取り収量のどちらかが6,000 g以上で病徴の激しくない49個体を抽出して分布を見たのが図14である。Aタイプに属する2個体を除いて、他の全てはBタイプとCタイプに分散し、Bタイプに属する個体の方が多かった。

ストロン数とストロン径の遺伝率 (h) を、

$$h = \Delta G / i$$

[ΔG は遺伝的獲得量、 i は選抜差で、選抜されたときの選抜された群の表現型の平均と集団平均との差を示す]

から算出した場合は、ストロン数では0.147であり、ストロン径では0.706であった。一方、

$$h_{BN}^2 = \text{Cov} (F_n, F_n') / \text{Var} (F_n)$$

[$\text{Cov} (F_n, F_n')$ は F_n 代個体と F_n' 代系統平均値との共分散、 $\text{Var} (F_n)$ は F_n 代全個体間の分散を示す]

から算出した遺伝率は、ストロン数の場合で0.210、ストロン径では0.654であった。このように、ストロン径の遺伝率が高く、ストロン数の遺伝率が低いことから、ローズグラスの選抜を行う際に、ストロン径については選抜強度を強くしても目的形質は得やすいが、ストロン数については選抜強度を高めすぎると目的の遺伝子を失う可能性が高いことが明らかになった。

表38の中で+の印を付けた選抜Aタイプ12個体、および表40の中で+の印を付けた選抜Cタイプ12個体は、1984年にそれぞれのタイプ毎に隔離圃場に移植してポリクロスを行い、得られた種子を各々ローズグラス「九州3号」(Aタイプ) および「九州2号」(Cタイプ)と命名し、系統適応性検定試験の材料とした。

なお、1982年の試験と同様に、図12に示したAタイプ間のポリクロス後代43個体の中から多収でかつストロン径が18mm以上の10個体を選抜し、あらかじめストロンを移植して増殖した個体をポットで育て、1983年秋季に人工気象室内でポリクロスを行って、Aタイプの選抜を継続した。同様に、図13に示した52個体の中からストロン数が19本以下、ストロン径が15mm以下の7個体について人工気象室内でポリクロスを行ってBタイプの選抜を継続した。また、同様に、図14に示した49個体の中から多収でかつストロン径が15mm以下でストロン数が20以上の11個体についても人工気象室内でポリクロスを行ってCタイプの選抜を継続した。

v) ローズグラス「九州1号」の育成と特性調査

ここでは、ストロンのタイプに関係なく、多収でかつ秋季の草勢に優れた個体を選抜し、選抜個体間のポリクロスを行って多収品種を育成することを試みた。1982年に超多収で選抜された20個体の中から、刈り取り後の出穂が10月1日と遅い1個体と収量のやや低い3個体を除いた16個体について、1983年にストロンを用いて育成したクローン各々8個体を50cm×50cmの個体植えて、16個体をランダムに配置した8反復の種子増殖圃場を作り、ポリクロスを行って採種した種子合計2.0kgを混合し、ローズグラス「九州1号」と命名した。この種子を採種1代種子とし、採種1代種子を選抜なしに圃場で増殖したのが採種2代である。収量試験では主に採種2代種子を供試した。すでに記述したように、同様の方法でCタイプの中から選抜した12個体のポリクロスによってローズグラス「九州2号」を、Aタイプの中から選抜した12個体のポリクロスによってローズグラス「九州3号」を育成し命名した。ここでは、これらの系統の特性評価と収量性を知る目的で、特性調査と生産力検定試験および他場所における系統適応性試験を行った結果を示す。

材料および方法

a. ローズグラス「九州1号、2号、および3号」の特性調査

供試種子は、ローズグラス「九州1号」の採種1代種子と採種2代種子を用いた。また、Cタイプを選抜したローズグラス「九州2号」およびAタイプを選抜したローズグラス「九

州3号」も供試し、対照品種としてフォーズカタンボラ（熊牧系）、カタンボラ、および四倍体品種のボマを用いた。

試験方法は、1985年4月26日に各系統150粒ペーパーポットに播種し、生育良好な苗を104個体選抜し、5月29日に1.5m×1.5mの間隔で圃場に移植した。調査項目は、初期草丈（6月28日調査）、中期草勢（7月15日）、草型、ストロン径、ストロン数、生草重、再生力、稈径（穂首節を調査）、葉の厚さ、出穂始日など、個体選抜の場合とほぼ同様に行った。

また、初期生育を調査するために、1/2000 a ワグネルポットを用いて、人工気象室内での栽培試験を行った。供試品種系統は、九州1号、カタンボラ、およびフォーズカタンボラであった。気温は、昼35℃/夜25℃、昼30℃/夜20℃、昼25℃/夜15℃の変温条件とした。播種は7月4日に行い、調査は2週間後の7月16日に行った。調査項目は、草丈、分げつ数および生草重で、各々10個体を調査した。

b. ローズグラス「九州1号、2号、および3号」の生産力検定試験

供試材料は、九州1号、九州2号、および九州3号と対照品種として、フォーズカタンボラとカタンボラを用いた。

試験方法は、1984年と1985年の2回にわたって実施し、両年とも、5月10日に30cm条播で播種し、6月下旬あるいは7月上旬から刈り取りを開始し、以後、3週間間隔の多回刈り区（1984年は合計6回、1985年は5回刈り取り）、4週間間隔の標準刈り区（1984年は合計5回、1985年は4回刈り取り）、および5週間間隔の少回刈り区（1984年は合計4回、1985年は合計3回刈り取り）の3段階の刈り取り頻度で収量調査を行った。また、刈り取り時に出穂程度も調査した。1985年には、九州1号、カタンボラ、およびフォーズカタンボラについて生育良好な10個体を抽出して、初期生育の調査を行った。調査項目は、播種後30日目の6月10日の草丈、葉数、径数および個体重、約45日後の6月23日の草丈であった。

1区面積は、1984年が $2.1\text{m} \times 3.0\text{m} = 6.3\text{m}^2$ 、1985年が $1.8\text{m} \times 3.0\text{m} = 5.4\text{m}^2$ で乱塊法3反復で試験を行った。施肥は、基肥としてN、 P_2O_5 、 K_2O 、各々0.7kg/a、追肥としN、 K_2O 、各々0.7kg/a刈り取り後に施用した。

結果および考察

a. ローズグラス「九州1号、2号、および3号」の特性調査

各系統に含まれる個体の各形質の平均値および標準偏差（S.D.）を表41に示した。

個体調査の平均値による各品種系統の特性をみると、初期生育は九州1号がボマと同様にやや優り、九州2号がやや劣った。草型は、九州3号が最も立型であり、九州1号およ

表41 育成系統の個体特性

品種系統合	初期草丈 (cm)	S.D.	中期草勢	S.D.	草型	S.D.	ストロン径 (長径×短径)	S.D.	ストロン数	S.D.	個体重 (kg)	S.D.	再生力	S.D.	释径 (mm)	S.D.
九州1号 ¹	43.0	7.39	2.8	0.84	2.7	0.84	17.7	4.18	10.8	6.42	2.06	0.86	3.5	0.76	2.4	0.31
九州1号 ²	40.7	7.29	2.7	0.79	2.6	0.85	15.8	3.43	11.8	6.59	2.22	0.85	3.7	0.96	2.3	0.28
九州2号	37.4	6.66	2.7	0.72	2.5	0.79	14.4	2.61	11.4	5.62	1.87	0.57	3.4	1.02	2.4	0.27
九州3号	40.7	7.79	2.5	0.83	3.4	0.72	20.6	4.12	8.5	4.82	1.75	0.64	3.8	0.68	2.4	0.27
フォーズカタンボラ	39.6	9.72	2.7	1.15	1.9	0.82	17.4	4.51	8.1	4.99	2.03	0.99	2.8	0.61	2.3	0.33
カタンボラ	39.2	8.91	2.7	0.58	1.7	0.57	11.9	2.54	11.2	4.60	2.44	0.81	2.6	0.80	2.0	0.39
ボマ	40.2	5.80	2.4	0.96	1.8	0.73	18.8	5.13	10.4	4.11	1.87	0.81	3.8	1.01	—	—

1:採種1代; 2:採種2代

表42 育成系統における出穂個体の出現頻度

品種系統名	7月25日~31日	8月1日~5日	8月6日~10日	8月11日~15日	8月16日~20日	8月21日~28日	8月29日以降
九州1号 ¹	6	19	19	15	17	8	15
九州1号 ²	8	19	19	23	17	6	10
九州2号	0	15	29	17	12	0	25
九州3号	10	17	23	23	15	0	12
フォーズカタンボラ	0	10	13	23	19	15	19
カタンボラ	0	0	2	4	2	0	92
ボマ	0	0	0	0	0	0	100

1:採種1代; 2:採種2代

び2号がこれに次ぎ、フォーズカタンボラ、ボマ、およびカタンボラはほふく型であった。また、ストロン径は九州3号が最も太く、ボマと九州1号がこれに次ぎ、カタンボラが最も細かった。九州2号はカタンボラよりもやや太かったが、育成3系統の中では最も細かった。個体重ではほふく型のカタンボラが最も高く、九州1号とフォーズカタンボラがこれに次ぎ、九州3号は最も低かった。一方、再生力は九州3号とボマが最も優り、フォーズカタンボラとカタンボラは低かった。なお、九州1号の採種第1代とこれを再度増殖した採種第2代の間ではいずれの形質においても有意な差はなく、形質が安定していることが認められた。

育成3系統の特性を以下に示す。

九州1号：フォーズカタンボラおよびカタンボラに比べて立型である。また、刈り取り後の再生力が旺盛である。なお、カタンボラと比較するとストロン径が有意に太い。

九州2号：ストロンの形状がCタイプ（細くて多い）の個体を選抜して育成したものであるが、ストロンが細いという特徴を示す。各タイプの個体の出現頻度をみると、Cタイプが26%、Bタイプ（細くて少ない）が74%で、Aタイプ（太くて少ない）は全く出現しない。また、フォーズカタンボラやカタンボラに対して立型の傾向を示し、再生力がやや旺盛である。

九州3号：ストロンの形状がAタイプのものから育成され、草型は3系統の中では最も立型で、ストロンがかなり太く、葉も厚い。また、再生力も旺盛である。

表43 九州1号、カタンボラ、およびフォーズカタンボラにおける温度制御下での初期生育

形 質	生育温度	九州1号	カタンボラ	フォーズカタンボラ
草 丈 (cm)	35℃/25℃	45.4	39.2	48.8
	30℃/20℃	53.3	34.0	40.3
	25℃/15℃	35.8	26.1	31.9
分けつ数	35℃/25℃	4.2	5.6	4.3
	30℃/20℃	4.3	7.9	3.4
	25℃/15℃	3.5	3.6	4.2
個 体 重 (g)	35℃/25℃	1.80	1.83	2.52
	30℃/20℃	2.09	1.61	1.20
	25℃/15℃	1.78	0.99	1.60

表44 育成系統の刈り取り頻度に対する収量反応

品種系統名	生 草 重			乾 物 重		
	多回刈り	標準刈り	少回刈り	多回刈り	標準刈り	少回刈り
九州1号	1984	848	868	965	148	163
	1985	956	1014	882	145	173
	平均	902	941	924	147	168
	対カタンボラ比	104	97	101	104	96
九州2号	1984	800	873	942	142	161
	1985	998	1011	917	155	182
	平均	899	942	929	149	172
	対カタンボラ比	103	97	101	105	98
九州3号	1984	774	876	949	133	153
	1985	1000	1002	927	152	173
	平均	887	939	938	143	163
	対カタンボラ比	102	96	102	101	93
フォーズ カタンボラ	1984	754	860	935	135	160
	1985	1008	943	925	157	167
	平均	881	902	930	146	163
	対カタンボラ比	101	93	101	103	93
カタンボラ	1984	756	856	887	132	157
	1985	985	1093	949	151	194
	平均	870	975	918	141	175
	対カタンボラ比	100	100	100	100	100

供試品種系統の出穂状況を表42に示した。四倍体のボマは極晩生で8月中には出穂を見なかった。また、カタンボラも刈り取り時の8月下旬には極めて少ない個体しか出穂しなかった。九州1号、2号、3号、およびフォーズカタンボラは7月下旬から8月中旬にかけて多くの個体が出穂し、相似た出穂パターンを示したが、九州1号および3号はフォーズカタンボラよりもやや早生であった。

人工気象室内で行った、九州1号、カタンボラ、およびフォーズカタンボラの温度制御下での初期生育を表43に示した。草丈と個体重をみると、九州1号は、昼35℃/夜25℃区においてやや生育が劣るものの、それ以外の区では従来から最も初期生育が早いと言われているフォーズカタンボラよりも初期生育が良好であり、特に低温区でカタンボラに有意に優った。このことは、気温がまだ低い4月下旬から5月上旬に初期生育の選抜を行った効果が現れたと考えられる。一方、九州1号の分けつ数はどの区においてもフォーズカタンボラと同様であり、ほふく型でかつ分けつ数の多いカタンボラよりも少なかった。

b. ローズグラス「九州1号、2号、および3号」の生産力検定試験

各系統の各刈り取り頻度における生草収量と乾物収量を表44に示した。生草収量をみると、2年間の平均収量はいずれの刈り取り区でも系統間差はほとんどなく、九州1号は対カタンボラ比が少回刈り区で101、標準刈り区で97、多回刈り区で104であった。刈り取り頻度に対する反応を見ると、少回刈り区を100とした場合、いずれの系統も標準刈り区で96~106の範囲、多回刈り区で95~98の範囲にあり、刈り取り頻度を変えても総生草収量はほとんど変わらないことがわかった。一方、乾物収量の場合も、いずれの刈り取り区でも系統間差は大きくなく、対カタンボラ比でみると、低いもので93、高いもので105であった。刈り取り頻度に対する反応をみると、いずれの系統も生草収量の場合と同様の傾向を示し、少回刈り区と標準刈り区の間ではほとんど収量に差は認められなかったが、多回刈り区では少回刈り区の83~86%に減収した。

九州1号の各刈り取り時の出穂程度と乾物率を表45に示した。これをみると、標準刈り区では2番草以降の乾物率は17~20%であるのに対して、少回刈り区の乾物率は20%と高く、多回刈り区では13~19%と低かった。各品種の生草収量は少回刈りの場合でも多回刈りの場合でも差がなかったのに対して、多回刈りでは乾物収量が10~15%の減収となった原因は、多回刈り区では刈り取り間隔が短いことによって出穂率が低下し、それによって乾物率が低下したことが原因と考えられた。

九州1号とカタンボラの標準刈り区における2年間の1番刈りの生草収量を比較したのが表46である。生育期間の合計収量を比較した場合には大差がなかったが、1番草のみで

表45 九州1号における刈り取り時の出穂程度と乾物率

		1 番草	2 番草	3 番草	4 番草	5 番草
少回刈り	刈り取り月／日	7/4	8/10	9/18		
	出穂程度 ¹	0.0	2.3	2.3		
	乾物率%	12.5	20.0	19.9		
標準刈り	刈り取り月／日	7/8	8/6	9/2	10/3	
	出穂程度	0.0	1.0	0.7	3.3	
	乾物率%	11.2	19.8	17.2	19.2	
多回刈り	刈り取り月／日	7/4	7/25	8/15	9/5	10/5
	出穂程度	0.0	0.3	1.3	1.7	2.7
	乾物率%	12.1	13.6	19.0	16.3	16.5

1 : 0 = 無 ~ 5 = 多

表46 九州1号およびカタンボラの1番刈生草収量(kg/a)

年 度	九州1号(A)	カタンボラ(B)	A/B
1984	284	256	1.11
1985	219	200	1.10

表47 九州1号, カタンボラ, およびフォーズカタンボラにおける圃場条件下での初期生育

形 質	九州1号	カタンボラ	フォーズカタンボラ
草丈(6/10; cm)	26.9	23.4	28.1
草丈(6/23; cm)	72.6	59.9	80.3
葉数	8.7	8.9	9.0
分けつ数	4.2	4.8	4.2
個体重(g)	1.469	1.264	1.584

みた場合には、九州1号はカタンボラよりも10%程度の多収であり、初期生育が優れていることが証明された。

播種後30日目に、試験区から抽出した九州1号, カタンボラ, およびフォーズカタンボラの草丈, 分けつ数, 個体重, および播種後45日目の草丈を表47に示した。これを見ると、九州1号の初期生育はフォーズカタンボラよりはやや劣るものの、カタンボラと比較して

表48 各試験場所で行われた、育成系統の一年生栽培における乾物収量の対カタンボラ比

場 所	播種日	刈取回数	九州1号	九州2号	九州3号	フォーズカタンボラ	カタンボラ (kg/a)
鹿児島農試	1984/4.20	4	104	106	107	103	174.8
	1985/4.15	4	97	99	100	104	196.2
長崎畜試	1984/5.15	4	109	104	107	111	136.4
	1985/5.22	4	105	109	103	106	185.0
滋賀畜試セ	1984/5.18	3	141	122	122	108	81.4
	1984/7.02	2	120	114	114	115	80.1
	1985/5.30	3	100	97	101	102	85.1
愛知農総試(牧草畑)	1984/5.25	3	121	116	114	132	92.8
	1985/5.27	3	105	99	103	106	126.2
愛知農総試(転換畑)	1984/5.24	3	94	87	88	93	117.8
	1985/5.23	3	123	122	123	120	97.3
平均			109	105	105	106	134.7

草丈伸長は速やかで、生育量も有意に高く、このことが1番草の多収につながったと考えられた。一方分げつ数はポット試験の場合と同様にカタンボラの方が多かった。

参考のために、鹿児島県農業試験場大隅支場、長崎県畜産試験場、滋賀県畜産技術センター、愛知県農業総合試験場の4場所で、同一の品種系統を用いてほぼ同一の試験設計で行われた2年間の収量試験の結果を表48に示した。環境条件の差によって、各地域における収量の差は大きいですが、すべての刈り取り試験の平均値でみると、九州1号、2号、3号共に標準品種のカタンボラを上回り、特に九州1号は109%と最も多収であり、系統選抜および個体選抜の効果が証明された。このローズグラス九州1号は、上記の各地域での系統適応性検定試験を経て、1987年にわが国で最初のローズグラス品種となり、ローズグラス農林1号「ハツナツ」として農林登録された⁵⁰⁾。

vi) 四倍体系統 Q3307のストロンの形態変異

すでに表28で示したが、四倍体品種ムバララの出穂始日は11月1日となる。このようにほとんどの四倍体品種は短日性で、わが国の日長条件下では極晩生となり、霜によって枯死するために採種が不可能である。ところが、すでに表27に示したように、四倍体と確認されたQ3307は他の四倍体品種とは異なり8月中下旬に出穂するため、わが国でも自然条件下で採種が可能な特殊な系統である。すでに記述したように、この系統はオーストラリアの品種であるカリデーの母材となった系統である。このジャイアントタイプであるカリデーは、二倍体品種のパイオニアよりも耐寒性に優り、出穂が二倍体品種よりも遅いため牛に対する嗜好性が低下せず、クイーンズランド州の各地域で有望とされている³²⁾。そこで、この四倍体ジャイアントタイプのストロンの特性を調査し、今後の育種の可能性について考察した。

材料および方法

供試材料は、Q3307（農業技術研究所種子貯蔵管理室保存の品種番号800007）に由来し、各々増殖年次と増殖場所が異なる5系統（Ku1875, Ku2073, Ku2378, Ku2383, Ku2384）を用い、1983年にiv章に示した同じ方法で個体を育成した。発芽率に差があったことから、Ku1875から50個体、Ku2073から225個体、Ku2378から225個体、Ku2383から300個体、Ku2384から200個体の合計1,000個体を、1.5m×1.5mの個体植えて移植した。調査項目および調査方法も同時に行ったiv章に示したものと同一であるが、個体数が多かったために収量については5段階の評点法と収量調査を併用した。

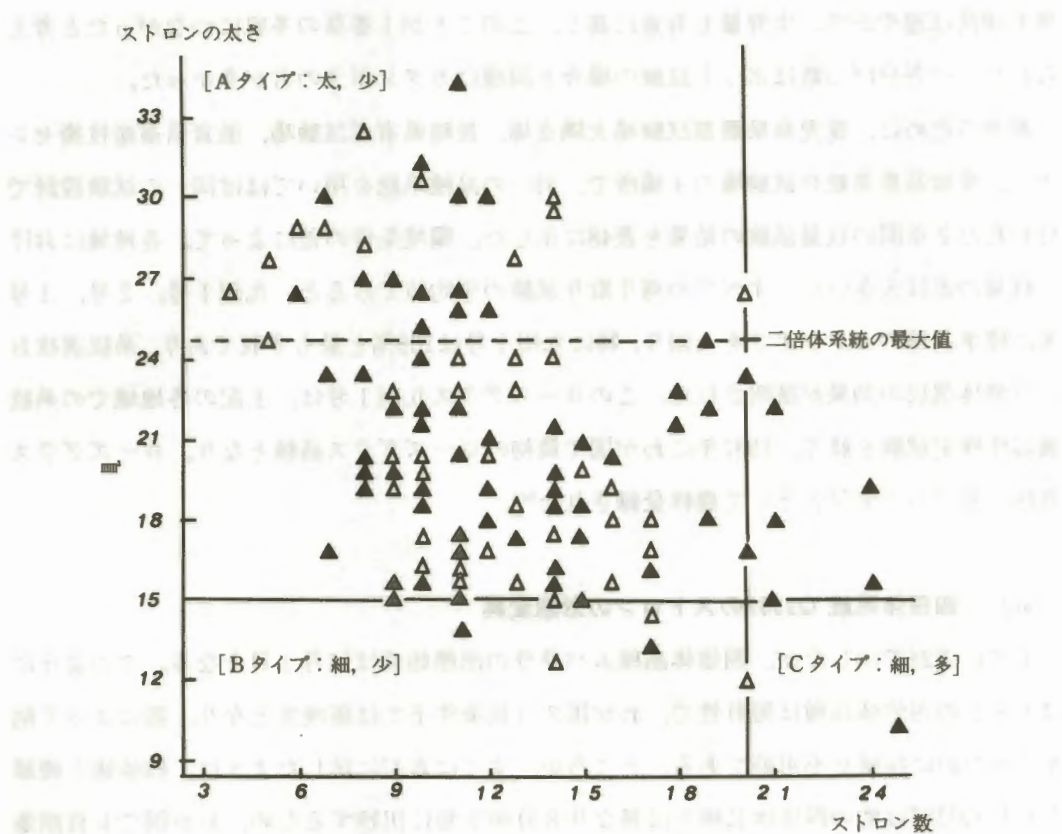


図15 生育良好な122個体のストロンの特性
▲は多収個体を示す。

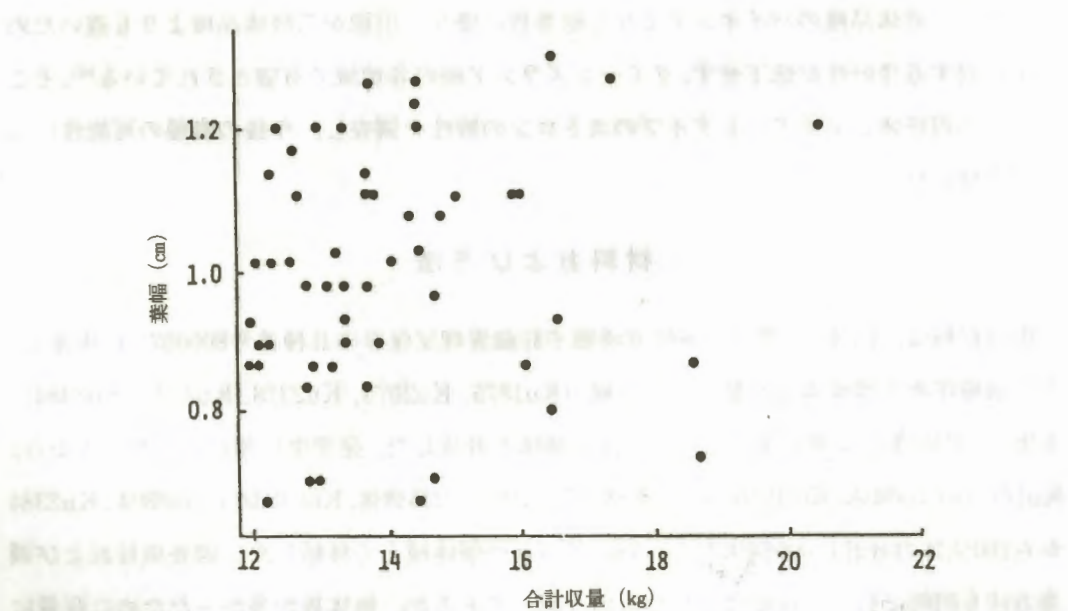


図16 多収56個体における葉幅と2回の刈り取りの合計収量の関係

結果および考察

圃場に展開した1,000個体の中から生草収量が上位の122個体を抽出して、図11と同様にストロン数と太さの関係をみたのが、図15である。これをみると、Q3307はストロンの細いBタイプおよびCタイプに属する個体は少なく、ほとんどがストロンが太くて少ないAタイプに属した。また、ストロンの太さの変異は二倍体のものと重複しているものの、図に示したように、二倍体の最大値を上回る太いストロンを持つものが30個体ほど存在した。このレベルのストロンの太さはたとえAタイプの選抜を繰り返したとしても得難い変異と思われる。また、収量とストロンとの間にははっきりとした関係はなく、どのタイプにも多収個体が存在することがわかった。

一方、Q3307の2回の刈り取り合計収量が上位の優良56個体について、葉幅と合計収量の関係を示したのが図16である。一般に二倍体系統の葉幅は1 cm以下であるが、1 cm以上のものが約半数存在した。しかし、両形質間にも相関はなく、広い葉幅の変異を持った多収個体が存在していることがわかった。

このQ3307の生草収量は、すでに表31と図6に示したように選抜母系の6011と並んで最も多収であったが、乾物率が低いために乾物収量はフォーズカタンボラと同程度であった。Q3307の育種目標としては、初期生育を改良することが最も重要である。そこで、二倍体系統で行ったような初期生育での選抜、ポリクロスを繰り返すことによって、二倍体系統では得難い、ストロンが太くて葉幅が広い品種育成のための育種素材として有望であり、この母材によっても、わが国の栽培法と風土に適した品種の育成が可能となるであろう。

vii) 個体選抜と世代促進技術

ローズグラスは、個体植えにした場合と密植栽培した場合で大きく形態が異なる。特に、密植栽培ではほとんど出現しないストロンが個体栽培で多数発生するために、個体選抜法が果して品種育成に有効であるのかどうかという疑問がある。一方、個体選抜の面から考えると、この研究でも行ったように、初期の実生段階での初期生育の選抜は密植条件で可能であるが、個体重をはじめとする諸特性の調査には個体の識別を可能とするために1個体当たり、最低1.5 m × 1.5 mが必要であった。この面積でさえ、秋季まで刈り取りを行わずに放置すると隣接する個体間での識別が困難になるほどストロンの生育は旺盛であることから、8月上旬に一斉に刈り取り処理を行うことが必要であった。

しかし、主に初期生育と生草収量で選抜した個体間のポリクロスによって育成した九州

1号の収量が高かったことから、個体植えによる選抜の効果は十分に高かった。このことは言い換えると、初期生育による選抜と個体植えでの生産力は草型や形態は変化しても密植栽培での生育に反映することを示唆している。また、ローズグラスの場合には、個体植えで選抜することはストロンから育成したクローン個体による世代短縮技術が可能になる。すなわち、個体選抜圃場で既に目標形質の調査が終わり、選抜個体が決定されているものについては、あらかじめストロンを用いてクローン個体を育てておき、秋季に人工気象室内でポリクロスを行う。また、刈り取り調査の結果やそれ以後の調査結果に基づいて選抜を行う場合でも、刈り取り後に生じるストロンからクローン個体を育成して、同様にポリクロスを行うことができる。この方法によって、年度内に次世代種子を得ることが可能になり、ポリクロスに要する1年間を短縮することができる。圃場での調査後、株を堀上げ、それを分割して同様にポリクロスを行うことも有効な方法である。しかし、通常株が大きくなりすぎてポリクロスに広い面積が必要なこと、同時にいくつかの形質、例えば収量、ストロン径、耐病性などで選抜する際に、株をいくつかに分割する煩雑さが伴うこと、栽培初期に選抜形質がすでに調査されていても他の諸特性の調査が終了するまでは交雑が行えないことが問題点としてあげられる。ストロンからのクローン個体の育成は、3節程度あるストロンを切り取り、基部2節を土中に埋めるだけでよく、各節から新たに芽と根が生じる。このように、ストロンによるクローン個体の育成は簡易でかつ大量に得ることができることからポリクロスには有効であり、選抜年度内の人工気象室内でのポリクロスを併用した世代短縮法は、今後ローズグラスの育種には必要不可欠の技術であると思われる。バヒアグラスでは、地際部の根を備えた出穂茎の水耕栽培法による、室内での200個体のポリクロスが可能な技術が開発され、実際に育種に用いられている⁹⁾。バヒアグラスは地下茎を備えていることから環境抵抗性が強く、穂の長さを入れても50~60cmであり、草丈が1.5mを越えるローズグラスとは同一視はできないが、今後、水耕栽培法や穂培養技術が開発されれば、ローズグラスの育種において、200個体以上のポリクロスが室内で可能になり、より一層選抜、ポリクロスのサイクルを加速させることができるであろう。

第2節 ギニアグラスの育種法の確立に関する研究

ギニアグラスの生殖様式はアポミクシスとされ、このアポミクシス遺伝子を利用した育種法はアポミクシス植物のみならず、イネ、トウモロコシ、コムギ、ソルガム、パールミレットといった主要穀類への導入が試みられている。

このアポミクシスは、視点を変えると、種子による遺伝子型のクローン化と考えられる²¹⁾。HANNA and DUJARDIN²²⁾は、パールミレットの近縁種からアポミクシス遺伝子を導入する研究の中で、アポミクシスが植物育種に与える可能性として(1) F_1 雑種の遺伝子型を固定する、(2) 上記の遺伝子型の大量増殖が可能になる、(3) 採種に隔離の必要がないため採種法が簡易になる、(4) 種子生産時に生じるある種の不稔性を回避する、(5) 遺伝資源を短時間に有効に利用することができる、(6) 以上から、現在経済的に採算の取れない種において、 F_1 雑種の利用が可能になると記述している。ギニアグラスの育種に当てはめた場合、ここで指摘された(4)、(5)、および(6)については、すでに倍数性の異なるギニアグラスの細胞学的調査の章で議論したように多少問題のあるところであるが、稔実率が下がろうとも、 F_1 雑種の遺伝子型をアポミクシスで固定し、隔離栽培の必要なく、大量増殖が可能になる育種法は品種育成において魅力的であり、大きな利点である。

わが国におけるギニアグラスの導入とアポミクシス育種法の確立への試みと問題点については中川^{38,41)}の抄録がある。この育種法を確立する際に最も重要なことは、種内にアポミクシスの存在しない作物については、近縁野生種や他の属からアポミクシス種を選定してなんらかの方法で交雑する必要があるが、ギニアグラスのようなアポミクシス種においては有性生殖個体の探索と有性生殖系統の育成が不可欠である。また、その際に問題になる点は、ほとんどのアポミクシス系統が、ギニアグラスにおいても⁸⁹⁾、バヒアグラスにおいても¹⁰⁾四倍体であり、かつ二倍体系統が有性生殖であり、遺伝的変異の大半が四倍体アポミクシス遺伝子プールの中に含まれていることである。そのため、この二倍体有性生殖系統を交雑に用いるためには染色体の倍加処理が必要である。また、アポミクシス種では「二倍体、四倍体、および六倍体ギニアグラスの細胞遺伝学的調査」の章に示したように、非還元卵の受精による異倍数体の出現が頻繁に起こるため、高次倍数体の系統も存在する。ギニアグラスも六倍体のアポミクシス系統が存在し、SAVIDAN⁷¹⁾と中川(未発表)は熱帯圏では六倍体の系統が多年生栽培で収量が高いという結果を得ている。このことから、六倍体レベルの育種も有効と考えられるが、すでに示したように六倍体系統の種子稔性が低

いこととほとんどの遺伝的変異は四倍体に備わっていることを考え合わせると、ギニアグラスでは四倍体レベルでの交雑育種法が適当であり、そのためには四倍体レベルの有性生殖系統の育成が必要となる。

海外では、コートジボワールに所在するフランスの Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM) の研究者達によって、最初に二倍体有性生殖系統が発見され¹²⁾、その後、二倍体有性生殖株のホルヒチン処理で倍加した四倍体有性生殖系統を用いて、遺伝子分析や交雑育種が展開された^{68,71)}。一方、アメリカ合衆国においては、四倍体有性生殖個体が単離され^{24,83)}、アポミクシス個体との交雑によって遺伝子分析もなされた。

わが国においては、1971年から1973年にかけて、東アフリカからギニアグラス140系統が導入され²⁵⁾、その中から後代検定法によって二倍体有性生殖系統73-1126 (GR297) が発見されたことはすでに記述したが、これと同時に他の導入系統の中から、四倍体有性生殖の N68/96-8も単離された⁵⁴⁾。この発見は、わが国のギニアグラスアポミクシス育種法への第一歩であり、これによってアポミクシス育種法への道が拓かれた。この二倍体有性生殖の GR297は、早生であり、初期生育が遅いと言われるギニアグラス系統に比べて、初期生育が優れた系統であることが知られている⁶³⁾。また、この系統はすでに「ナツカゼの細胞遺伝学的調査」の章で示したように、ナツカゼの母本であり、亜熱帯の石垣島での栽培結果では典型的な一年生である。

わが国の西南暖地での一年生栽培におけるギニアグラスの育種目標の一つに初期生育あるいは低温伸長性の改良が上げられる。そこで、まず、初期生育に優れる品種育成のための四倍体有性生殖母本を育成するために行った、GR297へのホルヒチン倍加処理の試みと倍加個体間の相互交雑後代について記述する。

一方、南西諸島では、ギニアグラスは多年生牧草として草地で利用されていることから、高温、高日射、および干ばつなどの厳しい気象条件下と劣悪な土壌条件下で生育旺盛な、永続性に優れる品種の育成が望まれている⁸⁹⁾。そこで、次に、HANNA *et al.*²⁴⁾ の単離した多年生四倍体有性生殖個体 Pm49と初期生育が早く、生産力が高いナツカゼを交雑して得られた雑種の特性と、その雑種の中から選抜した生産力の高い多年生四倍体有性生殖系統の育成について記述する。

そして、次に、ホルヒチン倍加処理によって育成された系統とアポミクシス系統との交雑を行って得た雑種の特性を調査し、Pm49後代の特性と比較し、母本の違いによる雑種の特性の差を知り、今後のギニアグラスアポミクシス育種法の可能性について考察する。

(1) 二倍体有性生殖系統のコルヒチン倍加処理による四倍体有性生殖系統の育成

すでに記述したように、世界で最初の二倍体有性生殖個体へのコルヒチン倍加処理法による四倍体有性生殖個体の作出、これを母本とした交雑育種の試みはコートジボワールにある ORSTOM の研究者達によってなされ、アポミクシス育種法はここで発展した。しかし、彼らの用いた二倍体有性生殖系統を現地で視察したところ、この系統は多年生で、いわゆるハミル型に属していることから、わが国の二倍体有性生殖系統 GR297 とは大きく異なることがわかった。また、倍加処理過程についての報告はないが、PERNES *et al.*⁶⁷⁾ は、株を刈り取り、再生芽にコルヒチン処理を行って四倍体作出している。

ここでは、一年生二倍体有性生殖の GR297 種子に対してコルヒチン倍加処理を行い、得られた倍加植物を相互に交雑して、種子による増殖が可能な四倍体有性生殖系統の育成を試みた。

材料および方法

二倍体有性生殖系統 GR297 は、九州農業試験場保存番号 Ku1681 を用い、DUJARDIN and HANNA¹⁸⁾ がパールミレット近縁種の *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. の染色体倍加に用いた方法に準じて、1986 年にジョージア大の Coastal Plain Experiment Station において以下に記述するようにコルヒチン処理を行った。

1. 種子からえいを除き、濾紙を敷いたシャーレ内にばらまき、28℃ に設定した恒温器内に 48 時間放置して催芽する。

2. 芽および根が 1 - 2 mm 伸びた種子を紙タオルに包み、0.1% コルヒチン水溶液に 4 時間浸漬する。

3. 処理した種子を水道水で 1 時間水洗し、コルヒチンを洗い流す。

4. この種子を直径 5 cm の素焼ポットに播種する。

このようにコルヒチン処理を行った苗を温室内で育て、播種 6 週間目にあたる 5 月 20 日に、約 10 cm に育った苗を Coastal Plain Experiment Station の圃場に 1 m × 1 m で移植した。対照として、未処理の GR297 系統 10 個体 (GR297-1 ~ GR297-10) とアポミクシス系統の Ku5954 を同時に育苗した。

調査項目の中で、出穂始日は葉鞘から最初に穂の先端が現れた日とした。体細胞の染色体数の調査は、素焼のポットで育った苗の根端を採取して、2 時間モノブロムナフタレンの飽和水溶液で前処理を行った後に、固定処理は行わず、室温下で 5 N の塩酸に 8 時間浸漬

し、よく水洗した後に、フォイルゲン染色した材料を、酢酸カーミンで再度染色して行った。減数分裂の調査は、穂の一部のみを供試して、各個体最低3個体について調査した。穂の一部は、酢酸アルコール（1：3）で固定後、酢酸カーミン押し潰し法を用いて行った。胚嚢分析は、開花期の穂をそのまま FAA 溶液（ホルマリン 5 ml, 酢酸 5 ml, 70% エチルアルコール 90 ml 混合液）で固定し、段階的に第3ブチルアルコールで脱水処理をした後に、パラフィンに包埋して、12 μ m の厚さの切片にし、サフラニンとファーストグリーンで分染した。また、花粉稔性はヨード・ヨードカリ溶液で染色された花粉の割合から推定した。

染色体倍加植物は温室内で袋掛け受粉あるいは温室内でポリクロスを行って母系毎に採種した。得られた種子は、1987年4月21日に直径5 cmの素焼ポットに播種し、6月24日に九州農業試験場圃場に1 m $\times$ 30 cmで移植した。対照として、GR297を Coastal Plain Experiment Station 圃場で放任受粉を行って、株毎に採種した種子も同様に圃場に展開した。

調査項目は、上記のもの以外に、移植後45日目の草丈と分げつ数、出穂期の稈長（最長茎について調査）、穂長、稈径（地面から第1節と2節目の間）、止葉の一枚下葉の葉幅と葉長についてであり、稈長以外は3反復で調査した。

結 果

二倍体有性生殖系統 GR297の発芽種子660個体にコルヒチン処理を行った後に、ポット

表49 コルヒチン処理を行った発芽種子から無作為に抽出した個体の染色体数

供試個体数	染色体数 (2n)	
	16	32
31	22	9

表50 コルヒチン処理で生じた枯死個体、染色体倍加個体（2n=32）およびキメラ個体数（2n=16と32）とその出現率

処理個体数	個 体 数			
	枯 死	正常 (2n=16)	キメラ個体	倍加個体
660 (%)	583 (88.33)	73 (11.07)	1 (0.15)	3 (0.45)

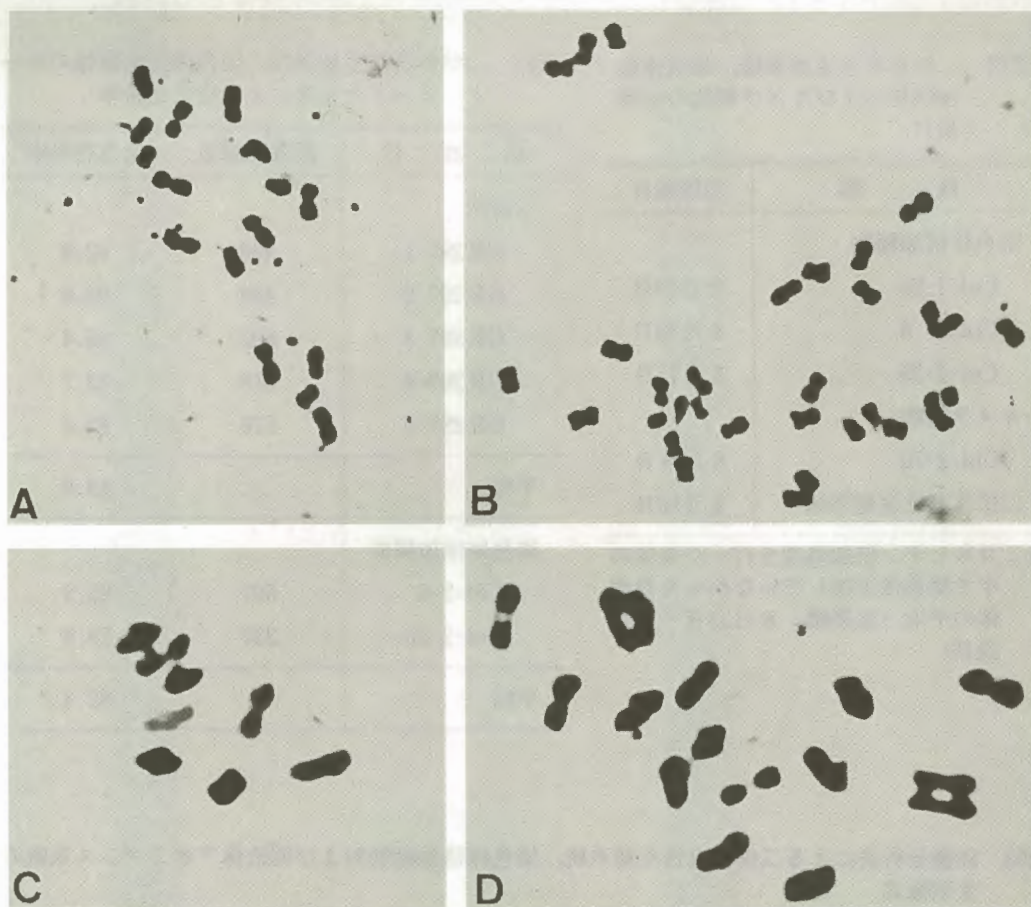


写真11 ギニアグラス二倍体系統 (GR297) およびコルヒチン倍加四倍体の根端の体細胞分裂と花粉母細胞の減数分裂 ($\times 2000$) (NAKAGAWA and HANNA, 1992)。
 A : GR297の根端細胞の分裂像 ($2n=16$) ; B : コルヒチン倍加四倍体の根端細胞の分裂像 ($2n=32$) ; C : GR297の花粉母細胞の減数分裂中期像 (8 II) ;
 コルヒチン倍加四倍体の花粉母細胞の減数分裂中期像 ($2 \text{ IV} + 12 \text{ II}$)

で育苗した個体から無作為に抽出した31個体の根端の染色体数を調査し、その結果を表49に示した。これをみると、調査個体中9個体の根端の染色体数が倍加して、 $2n=32$ となっている。また、コルヒチン処理した実生の多くは葉が広く濃緑化していたが、表50に示したように、コルヒチン処理を行った660個体の中で、約88%の実生は枯死し、11%は二倍体のままであり (写真11A)、3個体の四倍体植物 ($2n=32$; 写真11B) および1個体のキメラ植物 ($2n=16$ および 32) が得られた。二倍体の花粉母細胞の減数分裂ではすべて8個の二価染色体が出現し (写真11C)、コルヒチン倍加四倍体では数個の四価染色体が出現した (写真11D)。

染色体倍加四倍体植物は二倍体植物よりも生育が緩慢で、その出穂期は二倍体のままの

表51 二倍体有性生殖系統，染色体倍加植物およびキメラ植物の出穂始日

種 類	出穂始日
染色体倍加植物	
Col-1-29	9月18日
Col-2-6	9月20日
Col-2-35	8月17日
キメラ植物	
Col-2-70	8月6日
二倍体有性生殖系統 ¹	8月12日

1：コルヒチン倍加処理を行った個体の中で染色体倍加していなかった73個体の平均（変異幅：6月25日～9月22日）

表52 二倍体有性生殖個体と染色体倍加個体のヨード・ヨードカリ法による染色花粉率

倍 数 性	調査花粉数	染色花粉率
二倍体		
GR 297-1	483	92.8
GR 297-2	490	93.9
GR 297-3	602	85.4
GR 297-4	618	83.7
GR 297-5	576	93.2
平均		89.8
染色体倍加個体		
Col-2-6	607	85.3
Col-2-35	337	79.5
平均		82.4

表53 胚嚢分析法による二倍体有性生殖系統，染色体倍加植物および四倍体アポミクシス系統の生殖様式

個体名	倍数性	胚珠数 ¹					有性生殖率 ²	雌性不稔率 ³
		調査数	S	SA	A	ab		
GR297-1	2x	32	27	0	0	5	100.0	15.6
GR297-2	2x	27	17	0	0	10	100.0	37.0
GR297-7	2x	57	53	0	0	4	100.0	7.0
GR297-9	2x	22	18	0	0	4	100.0	18.1
GR297-10	2x	33	27	0	0	6	100.0	18.1
Col-1-29	4x	28	26	0	0	2	100.0	7.1
Col-2-6	4x	32	30	0	0	2	100.0	6.3
Ku5954 ⁴	4x	159	3	6	135	15	1.9	9.4

1：S=1個の有性生殖胚，SA=有性生殖胚とアポミクシス胚が混在，A=1あるいは複数のアポミクシス胚，ab=胚嚢が存在しないか発生の途中で退化

2：有性生殖率=S/(S+SA+A)×100， 3：雌性不稔率=(ab/調査数)×100

4：5個体の合計

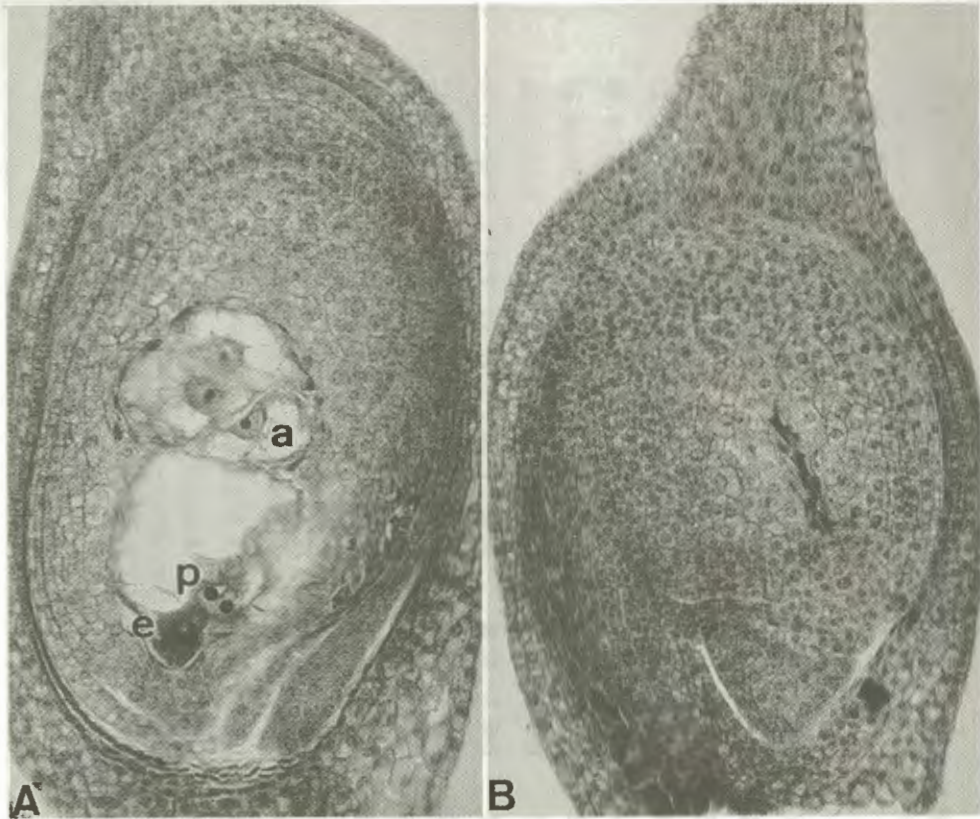


写真12 コルヒチン倍加四倍体の有性生殖胚(A)および胚嚢が存在しない雌性不稔の胚珠(B) (NAKAGAWA and HANNA, 1992)。e : 卵核 ; p : 極核 ; a : 反足細胞 (×250)

処理植物の変異の範囲内にあったが、やや晩生であった(表51)。また、表52に示したように、2個体の染色体倍加植物の花粉稔性の平均は約82%で二倍体植物5個体の平均値の約90%よりもやや低かった。

5個体の二倍体有性生殖個体(GR297-1, GR297-2, GR297-7, GR297-9, および GR297-10)と2個体の染色体倍加植物(Col-1-29および Col-2-6)の胚嚢分析の結果を表53に示した。対照として用いたアポミクシス系統の Ku5954は、有性生殖率が約2%で雌性不稔率が約9%の条件的アポミクシスであった。一方、供試した二倍体植物は雌性不稔率が7~37%までの変異を持つ完全な有性生殖であり、染色体倍加四倍体植物も雌性不稔率が10%以下の完全な有性生殖であった(写真12A)。ここでいう雌性不稔とは、子房内に全く胚嚢が形成されない雌ずいのことである(写真12B)。

キメラ植物の袋掛け自殖後代、染色体倍加植物間のポリクロス後に母系毎に採種した後代および母系毎に採種した二倍体有性生殖個体の圃場での放任受粉後代の特性を表54に示

表54 二倍体有性生殖個体および染色体倍加植物の後代の形態的特性と標準偏差

母 本 名	後 代 数	45日目草丈 (cm)	穂 長 (cm)	茎 数	稈 長 (cm)	稈 径 (mm)	葉 長 (cm)	葉 幅 (cm)
GR297-1	11	71.2±9.7	41.4±3.3	19.5±7.7	178.1±13.5	7.83±0.97	42.2±6.6	3.05±0.60
GR297-2	11	72.6±5.9	39.0±6.0	15.1±4.1	188.7±17.0	8.66±0.94	47.7±7.1	3.06±0.48
GR297-3	10	67.1±8.2	34.2±2.5	21.9±8.3	189.8±15.9	8.53±0.96	54.8±11.4	3.52±0.42
GR297-4	10	63.7±12.8	31.2±3.1	20.3±5.3	210.9±22.0	9.15±1.09	47.9±10.0	3.31±0.43
GR297-5	10	72.5±9.3	30.4±1.7	17.2±6.7	170.9±25.9	8.57±0.91	46.4±11.2	3.12±0.38
GR297-6	8	69.4±9.0	30.9±1.7	15.0±4.1	177.2±14.6	9.48±0.68	49.6±8.1	3.29±0.32
GR297-7	10	79.9±11.4	31.2±3.7	17.8±8.8	193.8±22.2	8.77±1.75	45.3±14.6	3.33±0.56
GR297-8	10	72.8±8.3	33.1±2.5	19.5±4.1	196.3±32.8	8.86±1.28	47.4±7.3	3.44±0.28
GR297-9	8	74.3±5.6	33.4±3.0	14.5±3.6	195.8±25.1	9.73±1.17	48.8±7.2	3.45±0.42
GR297-10	10	66.8±8.0	33.6±3.8	21.1±9.5	187.5±13.7	8.85±0.76	55.2±7.2	3.56±0.25
平 均		71.0	33.8	18.2	188.9	8.84	48.5	3.31
Col-1-29	4	68.4±3.5	30.5±9.7	16.8±6.0	113.0±27.6	7.25±0.35	52.3±9.8	4.00±0.14
Col-2-6	11	63.0±10.7	32.8±5.3	12.1±4.8	148.9±28.6	11.17±2.93	49.0±5.7	4.14±0.82
Col-2-70 ¹	6	60.3±19.9	29.5±6.4	16.3±10.4	171.8±44.4	8.43±2.10	45.7±11.0	3.48±0.80
平 均		63.9	30.9	15.1	144.6	8.95	49.0	3.87

1:キメラ植物の染色体倍加穂の袋掛け自殖後代

した。二倍体植物10個体の各後代8～11個体の初期草丈の平均値は、約64～80cmの範囲であったが、倍加四倍体植物3個体間のポリクロスの後に2個体各々から採種した後代の初期草丈の平均値は63cmおよび68cmと変異は重複しているものの、倍加植物後代は親植物と同様に二倍体系統後代よりも初期生育が遅かった。また、キメラ植物の倍加した穂を袋掛け自殖で採種した後代も、倍加四倍体の場合よりもやや初期生育が遅かった。同じく、穂長を見ると、二倍体系統の後代の平均値の変異は約30～41cmであるのに対して、四倍体系統後代は各々30.5および32.8cmと二倍体の変異幅内ではあるがやや短いことが認められた。また、キメラ植物後代は二倍体系統の変異の平均値よりもやや短く、29.5cmであった。莖数は、二倍体系統後代の平均値の変異が15～22本であるのに対して、四倍体系統後代は各々12本および17本、キメラ個体後代は16本と少なかった。稈長は、二倍体系統後代の平均値の変異が約171～211cmと長いものに対して、四倍体系統後代の Col-1-29 は113cm、Col-2-6 は149cmでかなり短かった。しかし、キメラ植物は172cmで二倍体系統後代の下限值と同じ長さであった。一方、稈径は、二倍体系統後代の平均値の変異が7.8mmから9.7mmであったのに対して、四倍体系統後代は2系統で異なり、Col-1-29は7.3mmで細く、Col-2-6は11.2mmで非常に太かった。また、キメラ植物の後代は二倍体系統後代と同程度の太さであった。葉幅は二倍体系統後代の平均値の変異が3.1～3.6cmであったのに対して、四倍体系統後代では2系統とも広く4cmを越えたが、葉長は差がなかった。また、キメラ植物後代は二倍体系統後代の上限值に等しい葉幅であった。

考 察

コルヒチン処理によって染色体倍加植物を得る試みは、現在までに多くの種で試みられている。MORGAN³⁶⁾ はイネ科牧草の若い分けつ茎への処理法を記述した。一方、YERMANOS and GILL⁹⁰⁾ は、*Linum* 属の異なる部位に異なった濃度のコルヒチン溶液を処理して、最も効果的な方法は発芽種子に0.1%コルヒチン溶液を6時間処理し、その際に根には処理しないようにすることであると結論している。本研究では、まだ小さな状態ではあったが、芽と根を同時に処理し、水道水で1時間洗い流す方法を用いた。この結果、約90%の幼苗は枯死したが、3個体の染色体倍加植物と1個体のキメラ植物が得られた。

染色体倍加植物の葉が広いことがよく指摘されるが、二倍体有性生殖系統は他殖であるために系統内の変異幅が広く、幼苗の段階では形態的特性が染色体倍加植物を単離する指標とはならなかった。また、幼苗の段階での根端の染色体数調査も結果的には決め手にはならず、調査個体の約30%の根端が倍数化しているにもかかわらず、生存77個体に占める

倍加個体の率は4%以下であった。そのため、本研究で行ったように、出穂時に穂の一部を採取して花粉母細胞の減数分裂中期の像による染色体数の調査が最も確実な倍加個体の単離法であった。また、3穂の穂の調査で発見したキメラ植物については以後に出穂した穂も含めて27穂を調査し、穂ごとに倍加しているかどうかを調査し、すでに示したように倍加した穂には袋掛けを行って自殖種子を得た。他殖性であるために、自殖で得られた種子は多くはなかったが、染色体倍加植物の後代を得る方法として有効であった。実際に発見できたキメラは1個体のみであったが、ギニアグラスの穂は30cm以上の長さのものも少なくなく、多くの枝梗からなるため、ここで行ったように穂の一部のみを採取し、染色体数を調査し、残りの大半の穂を用いて交雑を行う方法は今後のギニアグラスの交雑試験においても非常に有効な方法と思われた。

染色体倍加植物3個体間のポリクロスで得られた後代の特性は、二倍体有性生殖系統の圃場での放任受粉後代の特性と比較すると、やや初期生育が遅く、稈が短くて茎数も少なかったが、葉幅が広くて稈径の太い個体が多かった。このため四倍体植物後代は倒伏に強かったが、他の形質は出穂期も含めて両者に差はなかった。

KOMATSU and NAKAJIMA³¹⁾は、ここで供試した二倍体有性生殖系 GR297 に B 染色体が出現し、その数が増加するにしたがって花粉稔性と種子稔性が低下すると報告している。しかし、ここで作出した染色体倍加植物には出現しないことから、アポミクシス育種法を用いたギニアグラスの育種事業において有効な中間母本となりうることがわかった。

また、染色体倍加植物と二倍体有性生殖系統の雌性不稔率や花粉稔性に大差がなかったことは、この四倍体有性生殖個体がそのまま中間母本としてアポミクシス育種法に利用可能であることを示している。しかし、母材として用いた GR297 の自殖率は1.5%と低く(表25)、染色体倍加植物の場合でも自殖種子を大量に得ることが困難なことから染色体倍加植物が GR297 と同様に一年生であったことから株保存も不可能であった。そのため、1987年に圃場に展開した四倍体有性生殖3個体間のポリクロス後、母系ごとに2、3度採種した系統、あるいはキメラ植物の染色体倍加穂に袋掛け採種して得た合計9母系から得られた四倍体有性生殖26個体の中から8個体を選抜した。それらを1987年秋季にポットに堀上げ、人工気象室内でポリクロスを行い、やはり母系ごとに採種した。この中から種子量の多かった3母系を選抜し、各々 Col 1-1, Col 1-2, Col 1-3 と命名した。これらの系統について、1988年以降、特性調査と後に示すアポミクシス系統との交雑後代の特性調査を行った。その結果、Col 1-1には葉枯病が発生したために選抜から外し、残る2系統のうち、交雑後代の特性調査結果から Col 1-3 が中間母本として有望であることを認め、四倍体有性生殖



写真13 ギニアグラス中間母本「農1号」の草姿

のギニアグラス中間母本「熱研1号」と命名した(写真13)。1991年にこの系統はギニアグラス中間母本「農1号」として農林登録された⁵¹⁾。この系統は、隔離状態での系統内個体間のポリクロスによって容易に維持できる。ほとんどの四倍体有性生殖系統は株で保存されているために、系統の形態的変異はほとんどないという利点を持つが、栄養繁殖的に増殖されることから、海外への持ち出しに植物防疫上の問題が伴う。しかし、このギニアグラス「農1号」は種子で維持されていることからこの問題も少なく、大量増殖も可能なため中間母本としての利用も容易であり、今後、わが国のみならず海外においてもギニアグラスアポミクス育種において大きな武器となるであろう。

(2) 異なる有性生殖系統を母本とした交雑後代の特性比較

すでに記述したように、自然界にも四倍体有性生殖個体が存在する。これらの遺伝資源は、(1) COMBES et PERNES¹²⁾ が単離したハミルタイプの多年生二倍体有性生殖系統、(2) NAKAJIMA *et al.*⁵⁴⁾ が単離した GR297に代表される一年生二倍体有性生殖系統、(3) HANNA *et al.*²⁴⁾ の単離した多年生四倍体有性生殖個体 Pm49、および(4) NAKAJIMA *et al.*⁵⁴⁾ の単離した多年生四倍体有性生殖個体 N68/96-8に分類することができる。NAKAJIMA⁵³⁾ は、1981年に GR297が探索されたタンザニアのイリング (Iringa) からドドマ (Dodoma) 周辺で

集中的にギニアグラス87点の探索導入を行った。これらの導入系統の中には極晩生のものも多く、幼植物の得られた54系統は既存のハミルタイプ、ガットンタイプ、ナツカゼタイプに分類され、(2)のGR297と同様のナツカゼタイプに属する二倍体有性生殖系統も見いだされているが、他のタイプの有性生殖系統は発見されなかった⁸⁰⁾。

ここでは、多年生四倍体有性生殖個体 Pm49とナツカゼの交雑による雑種の特性と GR297へのコルヒチン倍加処理と選抜によって育成した一年生四倍体有性生殖3系統に数種のアポミクシス系統を交雑した雑種の特性調査を行い、有性生殖系統の違いによる雑種の特性を比較した。

材料および方法

供試母本は、Coastal Plain Experiment Station 保存の多年生四倍体有性生殖個体 Pm49と一年生四倍体有性生殖系統のCol 1-1, Col 1-2, およびCol 1-3 (ギニアグラス「熱研1号」：中間母本「農1号」) を供試した。一方、花粉親にはアポミクシス品種のナツカゼ、永続性に優れるアポミクシス系統の九州3号、および一年生のアポミクシス系統の Ku5954を用いた。

交雑方法は、SCHERTZ and CLERK⁷⁷⁾ がソルガムの交雑のために開発したプラスチックバッグ法で除雄処理を施した後に、花粉を集めたパラフィン袋をかぶせる方法を用いた (写真14A, B)。

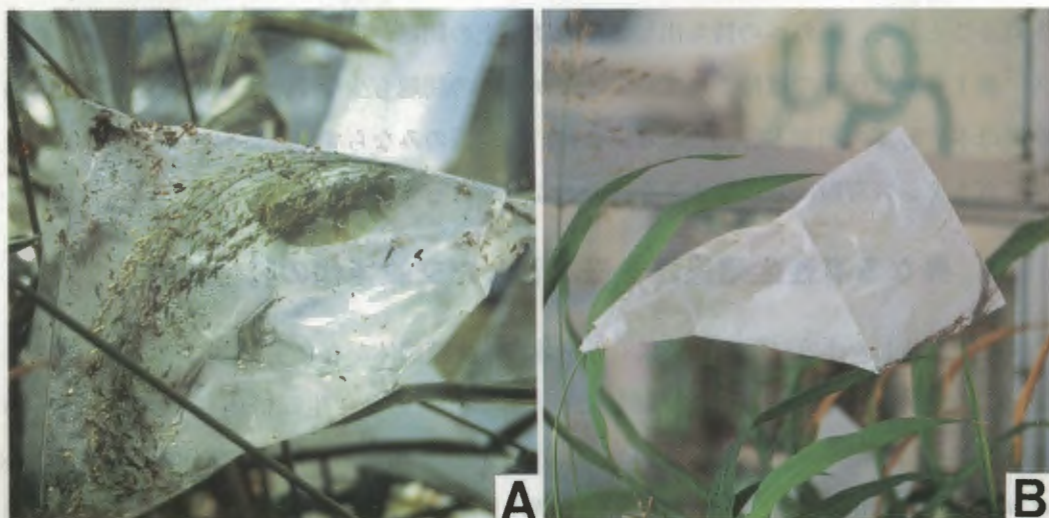


写真14 プラスチックバッグ法によるギニアグラスの穂の除雄(A)と袋掛け法による受粉(B) (NAKAGAWA, 1990)

Pm49を母本とした交雑は、1986年に Coastal Plain Experiment Station の圃場において行い、雑種個体の調査は1987年に交雑種子を九州農業試験場草地部の圃場に展開した。1988年にこの F_1 個体の株を熱帯農業研究センター沖縄支所圃場に移植した。また、同時に、株ごとに採種した九州農業試験場圃場での放任受粉種子を展開して後代の特性調査を行った。一方、Col 1-1, Col 1-2, および Col 1-3 (熱研 1 号) を母本とした交雑は、1987年に九州農業試験場人工気象室内で行い、1988年に交雑種子を熱帯農業研究センター沖縄支所圃場に展開して F_1 個体の特性調査を行った。

交雑種子はすべて直径 5 cm の素焼ポットあるいはジフィーポットに播種し、約 10 cm に育った苗を、九州農試では $1\text{ m} \times 25\text{ cm}$ 、熱研沖縄支所では $2\text{ m} \times 2\text{ m}$ で個体植えにした。また、対照として、花粉親となった品種系統も同様に播種、移植を行った。

調査項目はコルヒチン倍加植物後代の調査形質とはほぼ同様の移植 45 日目の初期草丈、稈長、穂長、葉幅、草丈、再生力、個体重などの生育特性と形態的特性であった。生殖様式の調査も、すでに記述したサリチル酸メチルによる透明化法を用いた。

結 果

Pm49×ナツカゼの交雑による F_1 雑種 18 個体の胚嚢分析の結果を表 55 に示した。 F_1 雑種の生殖様式は、完全な有性生殖：アポミクシスが 10：8 に分離した。また、8 個体のアポミクシス個体の中で、5 個体の有性生殖率は 0 % であり、他の 3 個体は各々 3.3%, 4.0 %, および 17.4 % であった。一方、有性生殖 10 個体の雌性不稔率は、16.1～94.4 % と変異幅が大きかった。

Pm49×ナツカゼの F_1 雑種 18 個体の形態的特性、および 18 個体各々の圃場での放任受粉後代の特性と標準偏差を表 56 に示した。母本となった Pm49 は現在も Coastal Plain Experiment Station で株保存されていることから、 F_1 あるいはそれらの放任受粉後代と同一圃場で比較試験をすることができなかったため、1986 年にそこで行った調査データを用いた。なお、表中に F_1 で示した 39-1 から 40-11 まで 18 個体の特性値は株で育成した個体のデータである。草型を見ると、母本の Pm49 はほふく型であり、花粉親のナツカゼは立型であったが、 F_1 の草型はすべてほふく型であった。茎数のデータは取らなかったが、Pm49 は分げつ数が多く、ナツカゼは分げつ数が少なかった。個々の形態的特性を見ると、 F_1 の穂長は 17～31 cm の変異幅で、ナツカゼよりは短く、18 個体のうち 5 個体は Pm49 と同じかそれよりも短く、他の 13 個体は両親の中間であった。稈長も、125～179 cm の変異幅でナツカゼよりも短く、Pm49 と同じかそれ以下の個体が 8 個体で他の 10 個体は両親の中間であった。

表55 胚囊分析法によるPm49×ナツカゼのF₁の生殖様式

個 体 名	胚珠数 ¹					有性生殖率 ²	雌性不稔率 ³
	調査数	S	SA	A	ab		
39-1	18	1	0	0	17	100.0	94.4
39-2	26	12	0	0	14	100.0	53.8
39-7	31	26	0	0	5	100.0	16.1
39-9	30	23	0	0	7	100.0	23.3
39-10	31	13	0	0	18	100.0	58.1
40-1	34	15	0	0	19	100.0	55.9
40-5	35	25	0	0	10	100.0	28.6
40-6	25	13	0	0	12	100.0	48.0
40-8	25	14	0	0	11	100.0	44.0
40-11	35	23	0	0	12	100.0	34.3
39-4	29	0	7	19	3	0.0	10.3
39-5	25	1	1	23	0	4.0	0.0
39-8	30	1	2	27	0	3.3	0.0
39-11	23	4	4	15	0	17.4	0.0
40-2	19	0	3	16	0	0.0	0.0
40-7	26	0	6	20	0	0.0	0.0
40-9	23	0	3	20	0	0.0	0.0
40-10	35	0	6	25	4	0.0	11.4

1 : S = 1 個の有性生殖胚, SA = 有性生殖胚とアポミクシス胚が混在, A = 1 あるいは複数のアポミクシス胚, ab = 胚囊が存在しないか発生の途中で退化

2 : 有性生殖率 = $S / (S + SA + A) \times 100$, 3 : 雌性不稔率 = $(ab / \text{調査数}) \times 100$

止葉幅は、0.9～2.2cmの変異幅で、1個体を除きすべて両親の間であった。また、葉は柔らかく、表面には短毛が密生しており、ナツカゼの特性が現れていた。稈径と生草収量についてはPm49のデータはないが、稈径はナツカゼ以下であった。F₁は株の断片の移植によって育成した個体のものではあるが、播種あるいは移植同年の10月16日刈り取り時の生草収量がナツカゼ以上の多収個体も存在した。また、3年間にわたるそれ以降の生草収量の推移を表57に示した。種子から個体を育成する際に枯死した個体もあるためすべてがそうであるとはいえないが、F₁ 18個体すべては強度の多年生であることがわかった。そして、ナツカゼの合計収量が24.8kgであったのに対して、最も収量が高かったのは40-6, 39-10, 40-8で各々、42.4, 36.1, 36.0kgであった。一方、収量の低かったのは39-7, 40-5, 40-10, および39-9で各々9.8, 14.5, 15.7, および15.7kgであった。

表56 Pm49×ナツカゼのF₁の特性および圃場での放任受粉後代の特性と標準偏差

個 体 名	穂 長 (cm)		稈 長 (cm)		止 葉 幅 (cm)		稈 径 (cm)		生 草 収 量 (kg)	
	F ₁	後 代	F ₁	後 代	F ₁	後 代	F ₁	後 代	F ₁	後 代
有性生殖										
39-1	30	29.8±6.9	150	145.3±29.8	1.3	1.96±0.61	0.5	0.82±0.28	5.3	2.50±1.74
39-2	21	27.1±5.4	127	144.3±20.5	1.2	1.63±0.24	0.2	0.48±0.12	5.2	4.47±1.92
39-7	17	26.8±5.4	78	129.3±34.9	0.9	1.28±0.31	0.4	0.42±0.13	0.1	3.74±2.01
39-9	29	26.3±6.7	137	133.8±41.7	2.2	1.86±0.52	0.4	0.52±0.16	3.2	2.49±2.15
39-10	25	27.5±6.4	101	125.4±24.5	1.7	1.44±0.55	0.5	0.50±0.16	8.3	3.93±1.88
40-1	25	30.0±5.3	101	168.3±30.0	1.7	1.80±0.63	0.5	0.57±0.12	6.0	6.87±2.81
40-5	31	24.5±6.7	123	136.0±32.3	1.9	1.61±0.44	0.5	0.48±0.08	3.6	2.86±1.80
40-6	26	28.2±6.3	146	142.8±22.4	1.5	1.92±0.34	0.5	0.47±0.08	8.4	4.50±1.27
40-8	24	29.3±3.5	135	149.2±37.2	1.5	1.83±0.52	0.4	0.50±0.13	7.3	5.17±1.42
40-11	22	27.0±5.6	122	127.4±41.4	1.5	1.42±0.51	0.4	0.54±0.17	4.0	2.08±2.58
アボミクシス										
39-4	30	34.5±2.0	144	179.4±14.1	1.9	1.98±0.20	0.5	0.55±0.08	6.0	5.70±1.16
39-5	26	32.9±3.1	137	178.6±17.7	1.5	1.93±0.36	0.4	0.59±0.10	5.4	6.35±1.21
39-8	24	25.5±4.2	119	140.3± 8.7	1.4	1.53±0.31	0.5	0.53±0.08	7.0	4.27±0.97
39-11	31	29.3±2.2	139	147.9± 8.4	1.8	1.65±0.40	0.3	0.44±0.05	5.5	5.31±0.87
40-2	30	29.5±1.9	141	156.4±13.1	1.4	1.75±0.42	0.6	0.55±0.10	2.3	5.93±1.50
40-7	26	28.8±3.8	140	151.3±12.9	1.9	1.79±0.21	0.5	0.48±0.08	7.0	6.29±0.94
40-9	22	21.4±2.1	135	148.9±11.7	1.6	1.63±0.27	0.3	0.50±0.09	5.8	7.64±1.48
40-10	25	28.1±1.5	124	147.2± 7.5	1.4	1.43±0.19	0.5	0.53±0.05	2.9	3.27±0.89
Pm49 ¹	24		136		1.1		—		—	
ナツカゼ	36		218		3.1		0.9		7.4	

1 : Coastal Plain Experiment Station 圃場でのデータ

表57 Pm49×ナツカゼのF₁およびF₁の放任受粉後代の生草収量 (kg) の推移

系 統 名	1988,10.16	1989,2.15	1989,6.20	1989,9.25	1990,5.15	1990,8.6	1990,12.17	合 計
39-1	5.3	2.3	6.5	5.8	5.5	3.9	1.8	31.1
後代	2.5	1.2	2.7	3.6	3.7	5.5	2.7	21.9
39-2	5.2	3.9	7.8	5.0	6.5	4.2	2.4	35.0
後代	4.5	3.9	9.2	8.1	7.2	5.4	2.7	41.0
39-7	0.1	1.0	3.3	1.9	3.2	2.5	0.5	12.5
後代	2.0	1.7	4.6	4.2	3.4	3.2	1.4	20.5
39-9	3.2	1.7	4.2	2.9	2.0	2.0	0.4	16.4
後代	2.5	1.3	2.9	2.8	3.4	5.4	2.2	20.5
39-10	8.3	3.9	8.6	6.4	5.4	5.0	2.4	40.0
後代	3.9	2.0	5.4	6.5	5.0	6.3	2.9	32.1
40-1	6.0	3.3	6.4	3.5	4.2	3.1	1.4	27.9
後代	6.9	2.4	6.0	8.2	3.9	4.7	2.3	34.3
40-5	3.6	1.4	3.5	2.5	3.0	2.1	0.6	16.7
後代	2.9	1.7	4.2	4.1	3.9	3.4	2.4	22.5
40-6	8.4	3.9	9.5	10.0	10.0	6.7	4.2	52.7
後代	4.5	2.9	6.3	6.3	5.9	4.5	1.7	32.2
40-8	7.3	3.3	9.6	7.0	7.2	5.5	2.4	42.3
後代	5.2	1.7	4.5	4.2	3.2	2.7	1.3	22.8
40-11	4.0	2.3	6.5	4.6	4.9	3.5	2.5	28.3
後代	2.1	0.8	3.4	2.0	0.4	0.8	0.3	9.9
39-4	6.0	2.6	6.4	7.4	5.0	5.0	1.5	33.9
後代	5.7	2.9	6.5	7.6	5.6	5.1	2.1	35.4
39-5	5.4	2.7	7.0	8.0	5.7	4.4	2.1	35.3
後代	6.4	2.7	6.3	6.5	4.9	4.7	1.8	33.1
39-8	7.0	3.9	7.8	8.8	7.8	3.2	2.8	41.3
後代	4.3	3.1	7.9	8.2	5.9	5.6	2.1	37.0
39-11	5.5	3.5	8.6	5.0	4.9	4.2	1.8	33.5
後代	5.3	3.2	6.2	5.5	5.3	4.9	1.9	32.2
40-2	2.3	2.2	8.4	5.6	5.0	4.4	1.5	29.4
後代	5.9	3.5	6.9	7.3	5.0	4.7	2.0	35.3
40-7	7.0	3.2	6.8	5.9	6.5	5.7	2.7	37.8
後代	6.3	3.4	6.5	7.3	6.3	5.6	2.1	37.5
40-9	5.8	2.0	4.6	5.0	3.5	3.1	1.7	25.7
後代	7.6	3.9	9.5	9.1	7.9	6.2	3.0	47.2
40-10	2.9	2.0	3.9	2.4	3.0	2.5	0.9	17.6
後代	3.3	2.7	5.2	3.9	3.6	2.8	0.9	22.4
ガットン	4.2	3.2	10.0	7.3	7.3	5.9	3.4	41.2
カツカゼ	7.4	1.0	3.1	8.1	1.3	4.2	1.3	26.3

表58 コルヒチン倍加4倍体育性生殖系統とナツカゼ、九州3号、およびKu5954との交雑後代の特徴

母 系 統	初期草丈 (cm)	変異幅	稈 長 (cm)	変異幅	個 体 重 (kg)	変異幅	穂 長 (cm)	葉 幅 (cm)	草 型	再 生
×ナツカゼ 熱研1号(22) 熱研1号(2) 熱研1号(15) Col1-2(35) Col1-2(14) Col1-2(17)	89	57-117	200	169-229	6.4	3.6-10.1	38	4.2	2.6	2.7
	93	90-95	222	217-227	7.3	6.3-8.2	38	3.5	3.0	4.0
	78	51-106	190	86-231	4.2	0.3-9.6	40	3.8	2.5	2.6
	88	56-106	192	95-239	5.5	0.7-9.1	39	3.7	2.1	2.3
	94	83-103	212	165-236	7.2	4.8-10.9	42	4.1	1.9	2.7
	84	51-105	178	129-214	5.3	1.5-10.0	37	3.5	1.9	3.3
ナツカゼ(5)	107	95-115	218	203-233	7.4	5.5-9.3	36	3.6	3.0	4.0
×九州3号 Col1-1(4)	99	90-106	166	157-170	7.6	6.7-8.4	52	2.9	2.5	5.0
	83	81-84	123	111-135	5.9	4.0-7.7	30	1.8	4.5	5.0
×Ku5954 熱研1号(38) 熱研1号(8) Col1-2(35)	75	28-102	193	86-232	2.9	0.3-6.5	41	4.1	4.7	1.7
	67	53-80	176	93-227	3.8	0.4-6.4	39	4.5	2.8	1.6
	75	45-101	178	50-249	4.9	0.4-9.7	40	3.9	3.3	1.4
	105	97-118	223	208-241	5.7	4.0-6.7	43	5.0	4.8	0.0

同一母本名のものは、系統が同一であるが、株が異なる。母本名の後の()内の数字はF₁個体数を示す。草型の評点は、立型=1-ほふく型=5、再生は、否=0-良=5。

F₁ の放任受粉後代の特性を見ると、アポミクシス系統の場合は F₁ とほぼ同じ形態であった。生草収量は F₁ が株移植によって個体を育成したのに対して、後代は種子で育成した苗を移植したことから一番草では多少の差が現れた個体があった。しかし、3 年間にわたる生草収量の合計は40-9を除いて大差がなかった。また、有性生殖系統の場合は後代の変異が大きく、平均値も F₁ を上回る系統、下回る系統の両方が存在した。

一方、コルヒチン倍加四倍体有性生殖系統 Col 1-1, Col 1-2, および Col 1-3 (熱研 1 号) を母本とした交雑後代の特性を表58に示した。

熱研 1 号あるいは Col 1-2×一年生の Ku5954 の F₁ の初期生育は花粉親よりも遅く、草丈も低く、葉幅も狭かった(写真15A)。個体重は花粉親を上回るものも存在したが、非常に収量の低いものも存在したため平均値は花粉親以下であった。すでに表54に示したように、コルヒチン倍加個体間の交雑による後代の稈長の平均値が約150cm、穂長が約30cm、葉幅が約 4 cmであり、形態的には両親の中間といえた。一方、草型は花粉親がほふく型であるのに対して母本が立型であるために中間型の F₁ が多かった。また、再生力は花粉親が全く再生しないのに対して、F₁ は低度ではあるが再生した。しかし、すべて一年生であった。

熱研 1 号あるいは Col 1-2×ナツカゼの F₁ の初期生育の平均値は、花粉親のナツカゼの平均値が107cmであるのに対して78~94cmと低かった。しかし、熱研 1 号との雑種の中にナツカゼの変異を上回るものが存在した。また、収量においてもナツカゼを上回る個体が存在し、穂長と葉幅の平均値は両親のいずれよりも広がった。一方、草型は両親の中間で、ナツカゼよりもやや立型になった(写真15B)。そして、F₁ は一年生と多年生に分離した。

Col 1-1×九州 3 号の F₁ は 4 個体のみであったが、初期生育、稈長、穂長および生草重は花粉親よりも優れ、葉幅と草型は両親の中間型であった(写真15C)。また、F₁ すべては再生力が九州 3 号と同様に強く、多年生であった。

コルヒチン倍加四倍体有性生殖個体とアポミクシス系統のナツカゼあるいは Ku5954 を交

表59 コルヒチン倍加四倍体有性生殖個体を母本としてアポミクシスのナツカゼおよび Ku5954 を交雑した後代の生殖様式の分離 (括弧内は出現率)

	供試個体数	有性生殖	アポミクシス	細胞塊出現 ¹
×ナツカゼ	105(100)	60(57.1)	45(42.9)	26(24.8)
×Ku5954	72(100)	32(44.4)	40(55.6)	9(12.5)

1: 有性生殖あるいはアポミクシス胚に細胞の塊が生じる現象



写真15 コルヒチン倍加四倍体有性生殖系統を母本とし、アポミクシス品種系統と交雑した F_1 の草姿

A : ×Ku5954 ; B : ×ナツカゼ ; C : ×九州3号

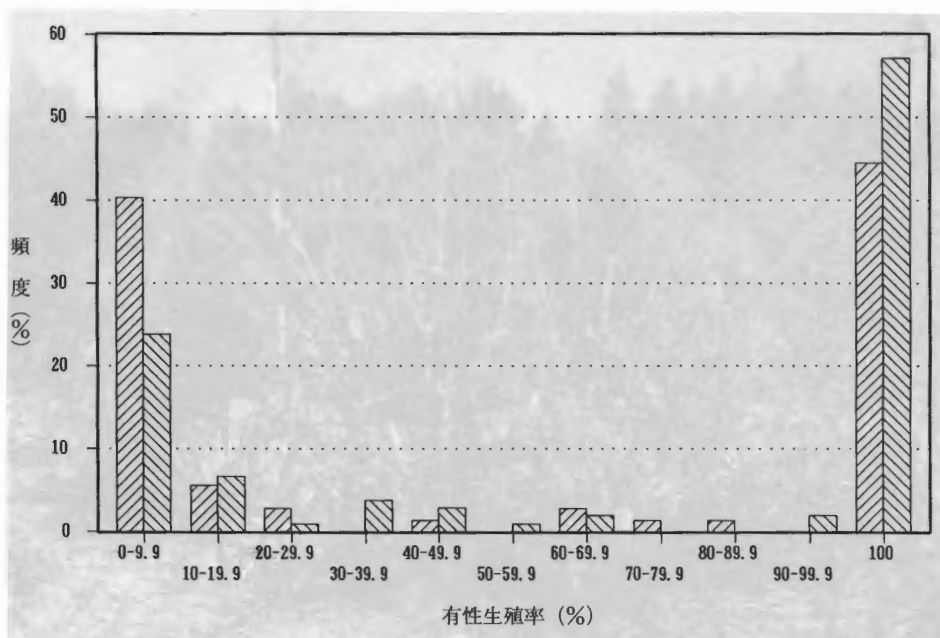


図17 コルヒチン倍加四倍体有性生殖系統に Ku 5954あるいはナツカゼを交雑した F_1 の有性生殖率の分離
 ▨× Ku 5954, ▩× ナツカゼ

雑した F_1 から無作為に抽出した個体の生殖様式の分離を表59に示した。いくつかの母本をこみにしたデータではあるが、2種類のアポミクシス系統と交雑した後代は有性生殖とアポミクシスが約1:1に分離し、アポミクシス個体の有性生殖率は連続変異を示した(図17)。また、表59で細胞塊と示した、両親のいずれにも出現しない組織が特にナツカゼとの交雑後代で頻繁に観察された。また、有性生殖個体には雌性不稔率が高い個体も多かった。

考 察

遺伝子分析を行うほど個体数は多くなかったにもかかわらず、多年生の Pm49と一年生のコルヒチン倍加系統を母本とした交雑を行うことによって、今後アポミクシス育種法を用いた品種育成を行う際に重要ないくつかのことが明らかになった。

その第一は年生の問題である。コルヒチン倍加処理で育成した一年生の熱研1号あるいは Col 1-2と一年生の Ku5954の F_1 は完全な一年生であり、やはりコルヒチン倍加処理で育成した一年生の Col 1-1と多年生の九州3号の F_1 すべては多年生であった。ナツカゼはすでに記述したように多年生であり、コルヒチン処理の母材となった一年生二倍体有性生殖系統の GR297と多年生の四倍体アポミクシス系統との F_1 と推定されている。その意

味で、ナツカゼの母本は一年生であるため残ってはいないが、熱研1号あるいはCol 1-2とナツカゼとの交雑は戻し交雑に近い。この交雑の F_1 は一年生と多年生が分離した。以上から、多年生は一年生に対して優性であり、一年生個体は劣性ホモの遺伝子を持ち、ナツカゼはこの遺伝子座に関してはヘテロであることが推定される。多年生の Pm49とナツカゼの F_1 すべてが多年生であったこともこの仮説を支持し、Pm49と九州3号はこの遺伝子座が優性ホモであることが推定される。沖縄における熱帯牧草の育種目標は永続性と消化率および牛に対する嗜好性であり³⁹⁾、多年生が優性であるとすれば交雑によって多年生の有望系統を育成することは簡易であると言える。ただ、永続性の強度に変異があることも認められることから、ポリジーニックな遺伝子の関与も考えられ、今後のより精密な解析が必要である。

第2はヘテロシスの問題である。ナツカゼは初期生育に優れ、一年生の生産力が非常に高い。GR297は初期生育に優れるもののそれ自体の生産力は高くなく、再生力も低いことから、ナツカゼは母本の GR297から初期生育と高消化率を、花粉親から再生力と生産力を受け継ぎ、両親の長所を合わせ持った品種であると言える。ギニアグラスのアポミクシス育種法のもっとも容易な点は、ある特性を備えた理想型(Ideotype)を想定し、それに対応する遺伝子型の両親を交雑する方法が有効なことである。次章で詳しく述べるが、PERNES *et al.*⁶⁸⁾ もこの点に注目し、ギニアグラスの育種法として、理想型を設定して目的形質を備えた四倍体有性生殖と四倍体アポミクシス系統を交雑して両者の目的形質を備えた F_1 を選抜する方法を記述している。NOIROT⁶⁹⁾ はこの方法を用いて種子生産性の高い系統を育成した。熱研1号あるいはCol 1-1×Ku5954の F_1 は両親の中間の形質を示す個体が多いものの葉幅は花粉親に近くなり、一方再生は母本に近くなり、理想型を設定して交雑を行うことがいかに重要かが示された。一方、Col 1-1 ×九州3号の F_1 は両親のいずれよりも形質が上回るヘテロシス効果がみられた。すなわち、 F_1 の葉幅および草型は両親の中間であり、再生力は非常に強い九州3号と同程度であるが、稈長、穂長および個体重は両親よりも高くなった。一般に、アポミクシス種は遺伝的にヘテロ接合体である場合が多く、すでにヘテロシス効果はアポミクシス個体に現れており、交雑を行っても低下するだけであるとの考えもある。しかし、すべてのアポミクシス個体がすべての遺伝子座でヘテロになっているわけではないから、両親の遺伝子型の組合せによってはこのようなヘテロシス効果も期待できることがわかった。

第3は F_1 の生殖様式の問題である。ギニアグラスにおけるアポミクシスの遺伝様式については現在2つの仮説が提出されている。HANNA *et al.*²⁴⁾ は、ここでも供試した Pm49

表60 ギニアグラスの有性生殖個体 (AaBb) 間の交雑後代の遺伝子型 (HANNA *et al.*, 1973)

	AB	Ab	aB	ab
AB	AABB	AABb	AaBB	AaBb
Ab	AABb	AAbb	AaBb	<u>Aabb</u>
aB	AaBB	AaBb	aaBB	<u>aaBb</u>
ab	AaBb	<u>Aabb</u>	<u>aaBb</u>	<u>aabb</u>

下線はアポミクシス

表61 ギニアグラス有性生殖個体 (aaaa) とアポミクシス個体 (Aaaa) の交雑後代の遺伝子型 (SAVIDAN, 1981)

	Aa (50%)	aa (50%)
aa	Aaaa	aaaa

の自殖後代は有性生殖とアポミクシスが11:5に分離したことから表60に示した2遺伝子モデルを提出した。すなわち、A遺伝子座あるいはB遺伝子座のどちらかあるいは両方が優性ホモの場合は有性生殖であり、遺伝子型が aabb, Aabb, および aaBb の個体はアポミクシスであるというものである。一方、SAVIDAN⁷²⁾ は、コルヒチン倍加処理で作出した四倍体有性生殖などを母本としてアポミクシス個体と交雑した結果、これとは逆に、有性生殖はアポミクシスに対して劣性で、1遺伝子に支配されていると言う仮説を提出した。すなわち、有性生殖個体の遺伝子型は aaaa であり、アポミクシス個体は Aaaa であるとした(表61)。また、雄性配偶体が形成される際に AA の遺伝子型は致死になるため、AAaa, AAAa, AAAA の遺伝子型のアポミクシスは存在しないとした。また、二倍体レベルではアポミクシスは機能せず、*Panicum intortum* ANDERS. との交雑後代に生じた二ゲノム性半数体もアポミクシスであるにもかかわらず種子は不稔であるとも報告している⁷⁶⁾。中島・望月⁵⁶⁾ は、単離した四倍体有性生殖系統 N80/96-8⁵⁴⁾ に由来する有性生殖系統にアポミクシス系統を交雑した後代の遺伝子分析からSAVIDAN(1981)の結果を支持する結論を導いた。しかし、アポミクシス胚が出現する(有性生殖率 0~99%)かアポミクシス胚が全く出現しない(有性生殖率が100%)かで分離比を見た場合は有性生殖とアポミクシスの分離比が1:1になるが、アポミクシス個体の有性生殖率は0~10%および90~100%にモードを持つ連続変異を示したことからポリジーン的な遺伝子の関与を示唆した。第55表に示したように、Pm49×ナツカゼのF₁において有性生殖とアポミクシスが10:8に分離した。また、コルヒチン倍加四倍体有性生殖個体とアポミクシス系統のナツカゼ、あるいはKu5954と交雑したF₁の有性生殖とアポミクシス系統との分離比は各々、60:45、および32:40であった。これらを1:1であると仮定し、SAVIDAN⁷²⁾の説に従えば、Pm49とコルヒチン倍加四倍体有性生殖系統の生殖様式に関する遺伝子型は同一で aaaa であり、ナツカゼの

遺伝子型が Aaaa と考えられる。しかし、HANNA *et al.*²⁴⁾ の説によって Pm49 の遺伝子型が AAaaBBbb, ナツカゼの遺伝子型が AAaabbbb であると仮定した場合にも後代は 1 : 1 に分離することから決定的な証拠にならない。自殖率が非常に低いことが自殖後代によってホモ接合体かヘテロ接合体かを断定する方法を困難にしているが、今後、有性生殖個体間の交雑や戻し交雑を行って遺伝子分析を行う必要がある。また、アポミクシス個体の有性生殖率は、中島・望月⁵⁶⁾が指摘するように連続変異を示したが、これがポリジーン的な遺伝子の作用によるものか他の主働遺伝子によるものかはこの試験ではわからなかった。しかし、特に、戻し交雑にあたるナツカゼとの交雑後代で両親に現れない細胞塊が現れたことはなんらかの他の主働遺伝子の作用を示唆する。また、アポミクシスの現象は有性生殖個体に多い雌性不稔の問題と密接に関連しているようにも思え、これを支配する遺伝子の関与も考えられる。配偶体や接合体の致死が関与すれば遺伝子分析はよりいっそう複雑になるであろう。最近、アポミクシス遺伝子は胚嚢発生経路における遺伝子転写を活性化し、胚嚢促進遺伝子を働かせるスイッチにあたる DNA 付着タンパク質を製造する遺伝子であるという分子レベルの興味深い仮説が提出された⁶⁶⁾。確かに胚嚢形成に関わる一連の化学反応が 1 遺伝子あるいは 2 遺伝子に支配されているという事実は、この分子レベルの解釈の方が理解し易い。この問題は、今後アポミクシス遺伝子の単離と細胞への導入が可能になれば、徐々に解明されるであろう。

もう一つの重要な点は母本の特徴が F_1 の特徴に与える影響である。これは理想型の選定やヘテロシスの問題とも重複する問題ではあるが、アポミクシス育種法の確立に際して重要な問題であるので記述する。すでに記述したように、コルヒチン倍加四倍体有性生殖系統×ナツカゼの交雑は一種の戻し交雑であるといえ、 F_1 の平均値だけを見ればナツカゼ以下の形質が多い。しかし、この F_1 の中にもナツカゼを上回る草丈や生草重を示す大きな個体が存在し、戻し交雑の有効性も示唆された。ただ、草型と再生力はより母本に近づき、ナツカゼよりも立型で再生力が弱くなったため、より一層温帯での一年生栽培向きの特性を示した。一方、多年生の Pm49×ナツカゼの F_1 は、葉が柔らかくて表面に細かい柔毛が密生しており、一見して花粉親のナツカゼの特性であるとわかるが、草型は母本と同様にほふく型であり、永続性に優れる多年生であった。このように、ここで供試した 2 種の母本は一年生、多年生と特性が異なることから、品種育成に関して全く異なった特性を備えている。すなわち、大ざっぱに言うとも熱研 1 号に代表されるコルヒチン倍加四倍体有性生殖系統はわが国では西南暖地の一年生栽培に適した品種育成に有効であり、一方、Pm49 は沖縄での多年生栽培に適した品種育成に有効である。ただ、コルヒチン倍加四倍体



写真16 ギニアグラス四倍体有性生殖中間母本
「熱研3号」の草姿

有性生殖系統×九州3号の F_1 のように、沖縄での多年生栽培に適したものが出現することもあるので、花粉親の選定も重要であることは言うまでもない。

これらの結果から、熱研1号に続き、Pm49×ナツカゼの F_1 , 18個体の中から最も生産力が高く、雌性不稔率が高くない40-6を多年生四倍体有性生殖のギニアグラス中間母本「熱研3号」(写真16)に選定した⁴⁴⁾。これによって、わが国の保有する四倍体有性生殖系統は、NAKAJIMA *et al.*⁵⁴⁾ の単離した「熱研2号」⁴⁴⁾ を含めて3種となり、ORSTOMで保存される多年生の二倍体有性生殖系統を除いた、文献に現れる全ての有性生殖遺伝資源に由来する中間母本を得たことになった。中間母本3系統は、今後、ギニアグラスのアポミクシス育種法を用いた品種育成には必要不可欠である。

(3) アポミクシス育種法の現状と将来

PERNES *et al.*⁶⁸⁾ はギニアグラスの交雑育種の一方法を提唱している。これは、まず第一段階は二倍体レベルでの選抜を行い、ポリクロスを行って生産性の高い二倍体有性生殖の遺伝子プールを作る。そして、これらの二倍体をコルヒチン処理によって染色体倍加し、四倍体有性生殖の遺伝子プールを作る。第二段階は、理想型を設定して目的形質を備えた四倍体有性生殖と四倍体アポミクシス系統を交雑し、両者の目的形質を備えた F_1 を選抜する。その F_1 の中でアポミクシスで固定されているものは品種として増殖に移し、有性生殖のものは戻し交雑の母本にするか、あるいは、再度四倍体有性生殖の遺伝子プールに

入れて次の交雑サイクルに持っていくというものである。この育種法はアポミクシス育種法の基本となるものである。また、SAVIDAN *et al.*⁷⁵⁾ は、基本的にはこの方法に賛成しながらも、保有する遺伝資源の量と質に制限がある場合や育種目標によっては応用できない場合もあることから、ブラジルにおいて独自の状況に応じて改良を加えた育種法を確立した。これは、5月に交雑を終了し、休眠打破のために包穎を除去し、6月に播種、生殖様式と他の特性調査後の選抜を行って交雑を行うことにより、この間通常3年間かかるものを1年間に短縮するものである。

現在わが国に保存されている二倍体有性生殖系統のGR297は、草丈や出穂期で広い変異が認められるものの、ORSTOMで保存されている二倍体有性生殖の変異は含まず、その変異には限界がある。だから、わが国の現状では二倍体レベルでの量的形質に関する選抜がはたして有効であるかどうか疑問である。それよりは以下に述べるように、二倍体レベルでは病害抵抗性の選抜のみを行い、コルヒチン倍加処理によってできる限り多くの四倍体有性生殖個体を作成し、これと自然界に存在する変異に富んだ四倍体アポミクシス系統との交雑によって四倍体有性生殖の遺伝子プールの遺伝的変異を拡大することに重点を置く方法の方がより有効であると考えられる。特に、沖縄県においては、遺伝子プールの中の多年生個体は圃場で越冬可能であることから、特性調査と遺伝子プールの系統保存を同時に行うことが可能であり、PERNES *et al.*⁶⁸⁾ やSAVIDAN *et al.*⁷⁵⁾ の提出した育種方法が大いに有効である。

一方、アポミクシスを操作する際に忘れてはならない問題に、耐病性と雌性不稔の現象がある。このアポミクシス育種法の欠点は、かつてトウモロコシで行われた雄性不稔系統を用いた一代雑種利用の育種の欠点と基本的に同じである。すなわち、アポミクシス個体は母本の細胞質がそのまま後代に伝わっていく上に、アポミクシスで固定された品種内の個体はすべて全く同一の遺伝子組成を備えているので、ある病原菌の出現が品種内すべての個体を壊滅的に冒してしまうという、元来品種内に多様な遺伝的変異を持つ牧草品種では想像できない事態が起こる可能性があることである。それを防ぐためには二倍体レベルであれ、四倍体レベルであれ、母本の選抜の段階で耐病性だけは注意深く確認しておく必要がある。そのためにも、細胞質の異なる中間母本を、できるだけ多く育成することが重要である。幸いにして、このような事態はまだ起こっていないが、実際の品種育成の場では、出穂反応などの栽培形質は同じで、耐病性については遺伝的に異なる細胞質を備えたいくつかのアポミクシス系統を混合した品種の育成も考慮しておく必要がある。

アポミクシスと雌性不稔の問題は多少矛盾した現象に聞こえるかも知れない。すでに他

の章で記述したように、DARLINGTON¹⁴⁾は、アポミクシスを「不稔性から回避するために変異の可能性を捨てた、袋小路への進化である。」と指摘したし、HANNA and DUJARDIN²²⁾は、アポミクシスが植物育種に与える可能性の中で不稔性の回避を指摘している。確かに、コモントタイプと呼ばれるアポミクシスの五倍体ダリスグラスの種子稔実率が20%を超えることもあるように⁹¹⁾、倍数体や異数体であっても母株と全く同一の遺伝子型を備えた種子の形成が可能になる例は多い。しかし、アポミクシス遺伝子を種属間交雑や両親の染色体数が異なる場合の交雑に利用する際に、たとえ不稔は回避できても種子稔性が低下する問題が伴う例は多い。すなわち、すでに記述したようにギニアグラスの六倍体系統は四倍体植物の非還元卵と四倍体植物の還元花粉との交雑によって生じたと推定されているが、この植物はアポミクシスであるにもかかわらずその種子稔性は5%以下と低い。また、ダリスグラスのアポミクシス個体 ($2n=50$) を母本として有性生殖個体 ($2n=40$) を交雑した F_1 は、染色体数が $2n=70$ のアポミクシスであったが、種子稔実率は1%程度しかないことも報告されている²⁾。また、二倍体レベルではアポミクシス個体が機能しないことから、有性生殖の *Panicum infestrum* ANDERS にギニアグラスアポミクシス系統を交雑した F_1 後代に生じる二ゲノム性半数体は、アポミクシスであるにもかかわらず種子は全く形成されないという報告もある⁷⁶⁾。このアポミクシスと種子不稔の問題は、今後、アポミクシス遺伝子を種の領域を越えて操作する際に避けて通れず、必ず問題になるであろう。これが、牧草のように、実際に利用する部位は種子でなく茎葉であり、1穂に生じる小花の数が非常に多く、そのうえ穂の数も多い場合には、かなり不稔率が高い場合にも品種の利用に際して採種の効率以外にはそれほど問題にならない。種子稔性がたとえ低くても、母系と全く同一の遺伝子型の後代が生じることの利点は、従来他殖性の牧草品種が抱えていた採種の問題を解決して余りある。一方、これが現在最も注目されているイネ^{11,66)}、コムギ¹³⁾、トウモロコシ⁷⁴⁾、ソルガム³⁷⁾、パールミレット²²⁾ のような種子を直接利用する作物への導入となると種子不稔は大きな問題である。今後、これらの種へのアポミクシス遺伝子の導入に際して、戻し交雑や他の方法で稔実率が高まるのかどうか何よりもまず明らかにされなければならない点である。

第4章 総 合 考 察

この研究では、まず、熱帯イネ科牧草の中で、わが国で最も重要なローズグラスとギニアグラスについて近縁野生種も含めた細胞遺伝学的調査を行って生殖様式と倍数性を明らかにした。

細胞遺伝学的調査においてはいくつかの知見が得られた。まず、染色体の調査は、クロリス属もギニアグラスも根端が小さい上に染色体が微小なために、花粉母細胞の減数分裂の調査の方が容易であった。

花粉母細胞の減数分裂の調査では、酢酸アルコールで固定後、1, 2日以内に染色して検鏡を行うことが重要であり、固定の期間が長くなるにしたがって、各染色体が分離しにくくなる現象があった。また、特に染色体数の多い種については移動期を過ぎると染色体数の調査が不可能であった。

ギニアグラス根端の体細胞分裂の調査は、モノブロムナフタレンによる2時間の前処理後、固定処理は行わず、室温条件下で5 Nの塩酸に8分間浸漬した後にフォイルゲン染色を行い、酢酸カーミンで重染する方法が簡易でかつ効果的であった。ギニアグラスの根端はローズグラスよりも太いことから、比較的容易に根端の分裂像が観察された。

ここで行った一連のギニアグラス生殖様式の細胞学的調査の過程で、従来から知られている胚嚢分析法による生殖様式の調査方法を改良した。生殖様式の調査には後代検定法と胚嚢分析法があり、両方法による有性生殖とアポミクシスの判定および有性生殖率はよく一致したという報告がある⁵⁵⁾。しかし、両方法によって得られた結果は互いに相補的で、一方だけで判断するのは危険であり、綿密な調査のためには両方法を併用する必要がある。この研究で明らかになったように、ナツカゼにおいて有性生殖率が高いにもかかわらず後代に全く変異の認められないことや袋掛け受粉をした場合に種子稔性が低くなる原因、また六倍体アポミクシス植物の種子稔性が非常に低い原因などまだ不明な点もあり、今後の受精に関する綿密な細胞学的調査が必要である。この後代検定法には環境の影響の少ない主働遺伝子をマーカーに用いるのが有効なことはいうまでもないが、量的形質によってもある程度推定が可能であることがわかった。また、この研究では、胚嚢分析法にパラフィン切片法と透明化法を併用した。パラフィン切片法では標本作成の作業時間は1雌ずい当たり40~60分と長時間かかるため100個単位の調査が限界であるのに対して、透明化法は短時間で、1,000個単位の雌ずいの調査が可能になる長所がある⁹³⁾。また、多胚の場合に胚

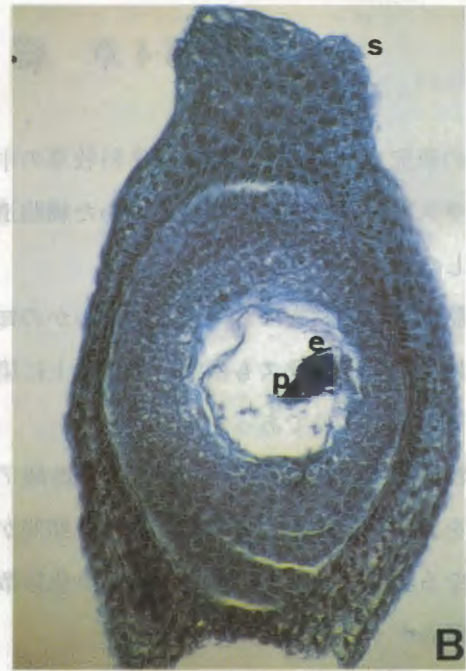
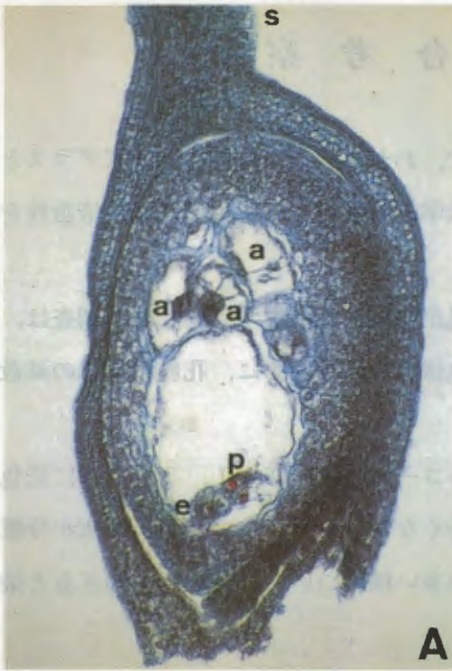


写真17 パラフィン切片法でみたギニアグラス有性生殖胚(A)とアポミクシス胚(B)
(NAKAGAWA, 1990)。
e : 卵核 ; p : 極核 ; a : 反足細胞 ; s : 柱頭の一部 (×150)

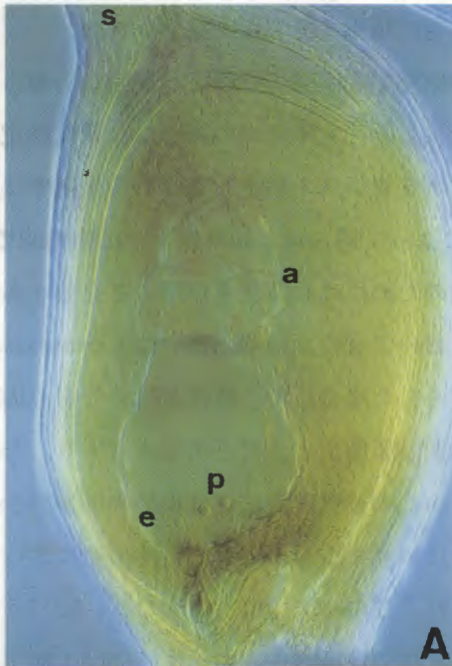


写真18 透明化法でみたギニアグラス有性生殖胚(A)とアポミクシス胚(B)
(NAKAGAWA, 1990)。
e : 卵核 ; p : 極核 ; a : 反足細胞 ; s : 柱頭の一部 (×150)

囊の数が容易にわかるため、胚囊分析に適しているという指摘もある⁵⁵⁾。その上、技術がパラフィン切片法に比べて容易なことも指摘されている⁹³⁾。一方、透明化を行う場合にはパラフィン切片法による像をよく理解しておくことが必要との指摘があるように、綿密な組織学的調査のためにはパラフィン切片法が有効である。この研究で用いたサフラニンとファーストグリーンによる複染法では、細胞質および繊維素は青または緑に、核は赤に、また木化したり壊死した組織も赤く染まり(写真17A, B)、組織の識別が容易で、発生学的調査には不可欠である。しかし、アポミクシス胚か有性生殖胚かの識別に関しては両者に全く差はなく(写真17Aと写真18A、および写真17Bと写真18B)、各々の長所を生かして使い分けることが必要である。この研究では2種の透明化液を用い、各々の長所と短所はすでに記述した。この透明化液の研究も進んできており、より解像力の高い新しい透明化液も報告されている¹³⁾。

Chloris 属の中には、ローズグラスも含めてアポミクシス個体は発見できなかったが、自殖性の種も他殖性の種も存在することがわかった。また、染色体数は変異に富んでおり、*Chloris* 属の中には二倍体から十二倍体の種まで存在することがわかった。すべて有性生殖であったことから生殖様式はローズグラスとの種間交雑の妨げとはならないことが明らかとなった。今後は、この倍数性の違いを克服する育種法や交雑方法などの確立が必要である。基本的には、ローズグラスの二倍体あるいは四倍体植物をコルヒチンで倍加して交雑する方法が有効であろうが、近縁種では多価染色体が観察されなかったことから、両者をコルヒチンで倍加して交雑することも必要かもしれない。また、ローズグラスには自殖率がきわめて低い系統も存在することから、これを母本とすれば除雄処理が必要ないことも考えられる。

一方、*Panicum* 属の中にはギニアグラスをはじめとするアポミクシスの種が多いが、カラードギニアグラスは有性生殖であることを確認した。カラードギニアグラスは耐湿性に優れ、耐湿性を備えていないギニアグラスの改良母材として注目される。今までのところではギニアグラスとカラードギニアグラスとの交雑に成功したという報告はないが、ギニアグラスのアポミクシス遺伝子をまず近縁種の中で利用してみることは、今後アポミクシス遺伝子をイネやコムギなどへの導入する可能性を考える上で興味深い。

また、ギニアグラスの二倍体、四倍体、および六倍体の品種系統の生殖様式と染色体行動を明らかにし、アポミクシス種の異なる倍数体の出現機構と進化における役割を推定した。今後、ギニアグラスの遺伝的変異の一次中心であるというタンザニアからケニアにかけての地域^{12,53)}や二次中心と言われるアンチル列島⁷³⁾での探索導入を行い、導入系統の綿

密な染色体数調査を行うことによって自然界にこれらの高次倍数体がどれくらいの割合で存在しているのかを知ることも興味深い。

次いで、細胞遺伝学的研究を踏まえた上で、両種の育種を行うための方法と技術を模索した。

ローズグラスは二倍体と四倍体が存在するが、四倍体系統のほとんどが極晩生であるために二倍体を育種素材に選んだ。しかし、四倍体系統であるにもかかわらず、Q3307はわが国でも採種が可能であり、生草収量はきわめて高いことから、今後の育種母材として有望である。

この研究では、すでに染色体調査と特性調査を行った系統の中から初期生育と生産性に優れる系統を選抜し、ストロンの特性によって個体をタイプ分けし、タイプ毎にエリート個体を抽出してポリクロスを行い、ストロンが細くて多いCタイプからローズグラス「九州2号」を、ストロンが太くて少ないAタイプから「九州3号」を育成した。また、これとは別に、タイプに関係なく収量の高い個体を選抜して多収系統「九州1号」を育成した。これらの3系統すべては、各地の試験場で標準品種のカタンボラよりも6%以上の多収であった。これらの系統は、熱帯地域に適応しているカタンボラとは異なり、選抜が行われた温帯地域に適応している。この温帯地域での栽培において重要な形質は初期生育や秋季草勢のような低温伸長性であり、熱帯牧草にとってはまだ低温の幼苗期に初期生育の優れた個体の選抜を行った効果が現れたことが考えられる。また、いずれのタイプでも多収品種を育成することが可能であったことは、今後のローズグラス育種の方向を考える上で興味深い。この研究の過程で育成された「九州1号」は最も生産力が高く、わが国で最初のローズグラス品種として農林登録され、ローズグラス農林1号「ハツナツ」と命名された。

個体植えにした状態での草型と通常栽培の密植条件とで草型の大きく異なるローズグラスにおいて、個体植えで選抜した系統が果して密植条件で多収になるのかという点が、選抜を開始した時点での疑問であった。しかし、個体植えで生産力の高い個体を選抜してポリクロスを行った系統が多収性を示したことは、密植栽培での多収品種の育成に個体植えによる選抜も有効であることを示している。

この研究の過程で、ローズグラスの選抜方法として、 $2\text{m} \times 2\text{m}$ 程度の間隔で個体植えにし、出穂期に1度刈り取り調査を行うことによって個体間の識別を可能にし、同時に生産力を調査する方法をとった。この方法はローズグラスの個体選抜を行う上で不可欠であり、かつ有効な方法であった。また、同時に選抜した個体から刈り取り時あるいは刈り取り前にストロンを採取して栄養体繁殖によって個体を育成し、秋季に人工気象室内でポリクロ

スを行う世代短縮技術を確立した。この技術は通常2年間かかる選抜—ポリクロスの過程を1年間に短縮するのみならず、人工気象室の数だけ異なったポリクロスが可能であり、同一の母株を育種目標の異なる何種類かのポリクロスに供試することも容易であった。これら一連の育種方法は今後ローズグラスの育種において重要な技術となるであろう。

ギニアグラスのほとんどの系統は四倍体のアポミクシスであり、ほとんどの変異が四倍体に含まれることから、ギニアグラスにおいては四倍体レベルでの交雑育種法が有効であると考え、二倍体有性生殖系統を母材としてコルヒチン倍加処理を行った。そして、ここで得られた3個体の四倍体有性生殖個体間のポリクロスと後代の選抜およびポリクロスを行ってギニアグラス中間母本「熱研1号」を育成した。また、四倍体有性生殖系統 Pm49 と生産力の高いナツカゼを交雑して18個体の F_1 の中から、個体番号40-6をギニアグラス中間母本「熱研3号」に選定した。これら2種の中間母本はアポミクシス系統との交雑後代の特性調査により、「熱研1号」は主に西南暖地での栽培品種育成に有効であり、「熱研3号」は南西諸島向きの品種育成に有効であることがわかった。アポミクシス育種法の欠点は、品種内のすべての個体が全く同一の細胞質と遺伝子型を持つことであり、ある病原菌の出現がその品種全てを壊滅的に冒してしまう可能性があることである。これに対抗する手段としては、できるだけ多くの細胞質の異なる有性生殖系統を持つことであり、今後、探索導入によってできるだけ多くの二倍体あるいは四倍体有性生殖個体を得ることが必要である。

また、ギニアグラスの交雑方法には、除雄処理を施してから交雑する方法と除雄処理を施さずに交雑する方法があり、SAVIDAN⁷¹⁾ は、この研究でも示したように、有性生殖個体は自殖率が低く、また特徴的な形態を持っているものが多く自殖種子が混在しても雑種と容易に見分けられるという理由から、除雄処理を施さずに母本と花粉親の穂を一緒に袋掛けし、母本の穂からのみ採種する方法を用いていた。しかし、この方法では後代の自殖率が高まり、戻し交雑時に生殖様式の分離比が有性生殖に偏る欠点があるため、中島・望月⁵⁶⁾ の方法と同様に、自殖率が低いことを確認した有性生殖個体をアポミクシス系統の増殖圃場内に移植して採種する方法や、株をポットで育成し、有性生殖個体の周りにアポミクシス系統を並べて交雑する方法がより効果的であるとした⁷⁵⁾。一方、HANNA *et al.*²⁴⁾ は、SCHERTZ and CLARK⁷⁷⁾ がソルガムの交雑のために開発したプラスチックバッグ法によって除雄処理を行った。これは、開花前の穂にビニール袋をかぶせて密封し、全ての小花が開花し終わるまで放置し(写真15A)、パラフィン袋に集めた花粉を振りかけ、そのまま袋かけする方法である(写真15B)。この方法は、ビニール袋内部の湿度を100%に保つことに

より葯の裂開と受粉を妨げ、同時に日照条件下では内部に溜る水が高温になるために花粉が死ぬという2つの効果を備えている。この方法の欠点は1穂全ての小花の開花が終わるまでに1週間程度を要し、その間に初期に開花した小花の受粉適期が過ぎたり、かびが発生したりして、一度に得られる種子量が上記の2法よりも少ないことである。しかし、自殖が妨げられ、高い確立で雑種が得られる上に、1個体の母本に対して多数の花粉親の交雑が同時に行える点では他の2法よりも優っていることから、この除雄法はギニアグラスの交雑育種法において有効であることがわかった。

ギニアグラスのアポミクシス育種法は、この研究によっても技術的には十分に確立されたといえる。しかし、実際の育種は今まだその緒についたばかりであり、不明な点が多い。ただ、明らかなことは、四倍体有性生殖個体と種々のアポミクシス系統を交雑すると、大きな遺伝的変異を持った新しい遺伝子型の F_1 集団が形成されることである。母本あるいは花粉親の選定によっても変異の幅は異なることから、今後は、組合せ検定や形質間の相関に関わる研究も必要になるであろう。

アポミクシス育種法の優れた点を一言で示すと、 F_1 雑種がヘテロ接合体であってもそのまま固定でき、なんら隔離処置を必要とせずに F_1 雑種の維持や大量増殖が可能になることである。これは従来の他殖性品種の抱えていた採種の問題を解決し、今後、他の作物の育種へも波及していくことであろう。そのためにも、より一層ギニアグラスのアポミクシスの現象を遺伝学的かつ細胞学的に解明していくことが最も重要な課題である。

最後に、これら一連の研究では探索や、遺伝資源交換によって試験研究機関から導入された系統が大きな役割を果たした。筆者は、九州農業試験場において牧草第一研究室（別名牧草導入研究室）、熱帯農業研究センター沖縄支所作物導入じゅん化研究室と、遺伝資源導入と導入系統の評価あるいは育種を主業務とする研究室において約14年間にわたって研究を行った。現在、両研究室は機構改革によって、前者は牧草育種法研究室に、後者は作物育種研究室に吸収合併された。両研究室において導入試験がなくなったわけではないが、研究室名から「導入」が消滅したことに一抹の寂しさを覚える。すべての育種事業や育種研究が導入から始まり、導入によって発展してきた例は枚挙にいとまがない。この事実を鑑み、今後、今以上に遺伝資源の導入と評価および増殖保存への認識が高まることが望まれる。

第5章 要

約

熱帯牧草の生殖様式は多種多様であり、有性生殖の自殖あるいは他殖の種以外にアポミクシスと呼ばれる種子による栄養体繁殖の種や種子が全く形成されないためにストロンや地下茎による栄養体繁殖の種まで存在する。また、同種内に異なる倍数体が存在する種も多く、交雑育種法の導入を困難にしている。また、一方では、遺伝子型をそのままアポミクシスで固定して F_1 雑種の採種を簡易化するアポミクシス育種法が注目され、これをアポミクシス種以外の種にも導入しようとする試みがある。ここでは、アポミクシスであるとの報告もあるローズグラスとアポミクシス種のギニアグラスおよび近縁種の細胞遺伝学的調査を行い、この結果をふまえた新育種法の確立を試みた。

1) 海外から輸入されるローズグラス (*Chloris gayana* KUNTH) の種子稔実率が低いことから、この原因を明らかにするために、現在までに導入された48品種系統を供試して染色体数と花粉形成の過程を調査した。その結果、導入品種系統には二倍体 ($2n=20$) と四倍体 ($2n=40$) が存在し、両者とも花粉形成の過程は正常であり、種子稔性が低い原因は採種時の気象条件や採種方法が原因と考えられた。また、減数分裂の移動期において、二倍体では10対の二価染色体が存在し、そのうちの1対の染色体が仁に付着し、四倍体では0～5個の四価染色体が出現し、2対の染色体が仁に付着するのが観察された。

2) 四倍体品種系統の四価染色体の出現頻度には差があり、なんらかの育種手法を用いて育成された品種系統では出現頻度が低いことが明らかとなった。

3) また、自殖花粉の柱頭上での発芽および花粉管の伸長を観察したところ、柱頭反応が観察され、他殖で自殖種子はほとんど形成されないにもかかわらず、花粉は正常に発芽し、柱頭に深く侵入しているのが観察され、自殖種子形成の抑制はそれ以後の過程で行われていることが推定された。

4) ローズグラスを含めた *Chloris* 属14種36系統を供試して染色体数、生殖様式、および形態的特性を調査した。その結果、供試系統の中には二倍体 ($2n=20$)、四倍体 ($2n=40$)、八倍体 ($2n=80$)、十倍体 ($2n=100$)、および十二倍体 ($2n=120$) が存在したが、四倍体のローズグラス以外では多価染色体は観察されなかった。また、生殖様式はすべて8核性の *Polygonum* タイプの胚を備えた有性生殖であり、アポミクシス胚を持つものは存在しなかった。そして、ローズグラスのみが他殖性であり、他のすべては自殖性であった。一方、高次倍数体では気孔が大きい傾向が認められたが、倍数性と形態的特性の関係は明ら

かでなかった。しかし、26形質の数値データを用いてクラスター分析を行った結果、34系統は7グループに分類され、同じ倍数体の種が同一グループに含まれる傾向が認められた。

5) ギニアグラス (*Panicum maximum* JACQ.) のアポミクシス育種法を確立するために、簡易な胚嚢分析法である透明化法を用いてギニアグラス20品種系統と1変種、近縁種のカラードギニアグラス (*P. coloratum* L.) 19品種系統、*P. antidotale* RETZ. 1系統、*P. deustum* THUNB. 1系統、および *P. milioides* の生殖様式を調査した。その結果、完全な有性生殖のGR297を除いたすべてのギニアグラス品種系統の生殖様式は apospory の条件的アポミクシスであり、その有性生殖率は0~25%であった。一方、カラードギニアグラスのすべての系統は有性生殖であった。また、他の3種は条件的アポミクシスであった。

6) 二倍体 ($2n=16$)、四倍体 ($2n=32$) および六倍体 ($2n=48$) のギニアグラスの根端細胞で染色体数を確認した後に花粉母細胞の減数分裂における染色体行動の調査を行った結果、二倍体では8対の二価染色体が観察されたが、四倍体では四価染色体が出現し、 $3\text{ IV} + 10\text{ II}$ が26%と最も多く、六倍体では六価染色体が出現し、 $3\text{ VI} + 4\text{ IV} + 7\text{ II}$ が12%と最も多い組合せであった。この六倍体は四倍体アポミクシス系統の後代に出現し、六倍体の後代からは五倍体植物が得られた。このことから、アポミクシスは後代に全く変異を生じないのではなく、非還元卵や還元卵が機能して異なる倍数体や新しい遺伝子型を作出しながら新しい環境に適応していくという非常に優れた適応戦略を備えていることがわかった。また、高次倍数体では遅滞染色体が観察されたが小核は観察されず、倍数性が高くなるにしたがってやや花粉稔性が低下する傾向が認められた。

7) 供試した各倍数体の生殖様式は、二倍体が有性生殖の他殖性、四倍体および六倍体は条件的アポミクシスであったが、六倍体では柱頭が3本あるいは4本生じる形態変異や雌性不稔が現れ、種子稔実率は5%以下と低かった。このことから、アポミクシスは必ずしもすべての不稔性を回避する手段とはならないことが示唆された。

8) 二倍体有性生殖とアポミクシス系統との交雑によって生じたギニアグラス「農林1号」のナツカゼは四倍体であることを確認した。この品種は二倍体の非還元卵と四倍体の還元花粉との受精によって生じた可能性が高く、有性生殖胚の出現率が自然界のアポミクシス系統よりも高いことが明らかになった。しかし、後代の調査では変異個体は全く観察されず、この有性生殖胚の機能が妨げられていることが考えられた。

9) 胚嚢分析法で透明化法は *Chloris* 属にも *Panicum* 属にも有効であることがわかった。また、ギニアグラスの生殖様式の調査でパラフィン切片法と透明化法を比較した結果、精密な胚嚢の調査にはパラフィン切片法がより有効であるが、生殖様式の確認においては両

者に差はないことがわかった。

10) わが国での一年生栽培に適したローズグラス品種を育成する目的で、これまでわが国に導入された品種系統を供試した中から二倍体の11系統を選抜し、次年度各系統について初期生育に優れた23個体を圃場に展開し、生育旺盛な43個体を選抜し圃場でポリクロスを行って個体ごとに採種し43母系を育成した。これら43母系の栽培条件下での生産力の調査を行った後に多収の9母系を選抜した。これら9母系各々について初期生育に優れた40個体を選抜して合計360個体を圃場に展開し、特性調査を行った。この結果、収量に密接に結びつく特性がストロンであることに着目し、データベースシステムを利用して、ストロンの太さと数によってAタイプ(太くて少ない)、Bタイプ(細くて少ない)、およびCタイプ(細くて多い)にグループ分けを行い、グループ内でのエリート個体間のポリクロスを行って後代の特性を調査した。そして、Aタイプ後代にはAタイプあるいはBタイプに属するものが多く、Bタイプ後代は当初の分布と同一のA、B、およびCタイプに分布し、Cタイプ後代はほとんどがBおよびCタイプに分布した。ここで、ストロンの太さの遺伝力は0.7程度と高かったが、数の遺伝力は0.2程度とやや低いことがわかった。これらの中からタイプに関係なく多収の個体を選抜してポリクロスを行いローズグラス「九州1号」を育成した。また、再度Aタイプのエリート個体間のポリクロスによって「九州3号」を、Cタイプのエリート個体間のポリクロスによって「九州2号」を育成した。これらの系統の収量試験を行った結果「九州1号」が多収であったことから、ローズグラス農林1号「ハツナツ」として農林登録された。

11) この過程で、ローズグラスのストロンを用いてクローン個体を作出し、冬季に人工気象室内でポリクロスを行う世代短縮技術を確立した。

12) ギニアグラスはほとんどの変異が四倍体のアポミクシス系統に含まれていることから、四倍体レベルでの交雑育種が有効と考え、二倍体有性生殖系統660個体にコルヒチン倍加処理を行って、四倍体有性生殖の3個体と1個体のキメラ植物を誘起し、四倍体有性生殖間の相互交雑と後代の選抜によってギニアグラス四倍体有性生殖系統「熱研1号」を育成した。この系統は、世界で最初の、種子で増殖可能な四倍体有性生殖系統であり、ギニアグラス中間母本「農1号」として農林登録された。

13) 「農1号」は完全な一年生であり、これを母本として多年生のアポミクシス系統と交雑するとやや永続性に劣る多年生の F_1 が多く生じたが、花粉親によっては非常に永続性に優れるヘテロシスを示す組合せがあった。一連の交雑結果から、多年生は一年生に対して優性であり、一年生は劣性ホモであることが推察された。また、有性生殖系統とアポミ

クシス系統の F_1 は有性生殖とアポミクシスがほぼ 1 : 1 に分離し、アポミクシス系統の有性生殖率は連続変異を示したことから、アポミクシスを決定する遺伝子以外に有性生殖率を決定する何らかの遺伝子が存在することが示唆された。

14) 一方、アメリカ合衆国で保存される多年生の四倍体有性生殖個体 Pm49 とナツカゼの交雑によって得た 18 個体の F_1 の調査を行った結果、 F_1 は有性生殖とアポミクシスがほぼ 1 : 1 に分離し、すべて両親の特徴を兼ね備える多年生であった。これらの中から非常に生産力の高い有性生殖個体「40-6」をギニアグラス中間母本「熱研 3 号」に選定した。

15) 以上のように、二種の中間母本を用いたギニアグラスのアポミクシス育種法を確立し、さらに今後のアポミクシス育種法の将来を考察した。

謝

辞

本研究をまとめるにあたり、有益な御指導と御助言を賜った京都大学農学部植物生殖質研究施設の阪本寧男教授に心からお礼申し上げる。農林省に入省以後、研究分野は異なったが、農薬研究施設、石井象二郎名誉教授、故上山昭則教授、津田盛也助教授、深海 浩名誉教授、高橋正三教授、上野民夫教授から学生の頃と変わらぬ御激励をいただいたことに深く感謝する。また、アポミクシス育種に関わる細胞遺伝学的手法の御指導と本研究を遂行するにあたり御助言を賜った、アメリカ合衆国ジョージア大学 Coastal Plain Experiment Station の Wayne W. Hanna 博士、Michel Dujardin 博士、および Glenn W. Burton 博士に厚く御礼申し上げる。細胞遺伝学的研究手法に関しては神戸大学農学部植物防疫学科、小野 一名名誉教授と京都文教短期大学、渡辺光太郎教授からも御教示を賜ったことに御礼申し上げる。終始これらの研究の共同研究者であった草地試験場飼料生産利用部牧草生理研究室、清水矩宏室長には過去の貴重な体験に基づくご助言をいただいたことに深く感謝する。農業生物資源研究所細胞育種部、中島阜介部長からのギニアグラスの胚囊分析技術の御指導およびギニアグラス遺伝資源の御提供とギニアグラスアポミクシス育種法に関する御指導と御助言を賜ることなしにこの研究はありえなかった。厚く御礼申し上げる。

この研究で重要な役割を果たした遺伝資源は、熱帯農業研究センターのプロジェクトで宝示戸貞夫、堀端俊造両氏が探索導入したアフリカコレクションの一部であった。これらの遺伝資源なしにこの研究はありえなかった。両氏に深く御礼を申し上げる。また、貴重な遺伝資源を配布して下さった農業技術研究所種子貯蔵管理室（現農業生物資源研究所ジーンバンク）、南アフリカ共和国、Division of plant and Seed Control、オーストラリア CSIRO, Division of Tropical Crops and Pastures および J. B. Hacker 博士、およびクィーンズランド州 Division of Primary Industries に対しても御礼を申し上げる。ローズグラス個体や *Chloris* 属の膨大なデータの解析は、農林水産研究計算センターを利用した。ここに御礼申し上げる。

これらの研究の圃場試験を支えていただいた元九州農業試験場業務科、松岡保孝氏、九州農業試験場業務科、山田四雄氏、熱帯農業研究センター沖縄支所業務科、登野城 昇氏と前津盛祥氏、作物育種研究室、金城幸子氏、および東北農業試験場業務科、田村 恒氏の御協力がなければこの研究は遂行しえなかった。厚く感謝の意を表する。

また、ローズグラス「九州 1 号」、「九州 2 号」、および「九州 3 号」の系統適応性検定試

験をしていただいた鹿児島県農業試験場大隅支場、長崎県畜産試験場、滋賀県畜産技術センター、愛知県農業総合試験場に対してここに御礼を述べる。

九州農業試験場草地部、早川康夫元部長、宝示戸貞夫元部長、牧草第1研究室、佐藤博保元室長、企画連絡室、桃木徳博研究第3チーム長、熱帯農業研究センター沖縄支所、奈良正雄支所長からは御助言と激励を常にいただいた。ここに感謝の意を表する。

この論文の印刷にあたって、広島県立農業技術センター前重道雅所長、上本 哲生物工学研究所所長、土居嘉明育種研究室長の御指導と御助言を賜った。厚く感謝の意を表する。

引 用 文 献

- 1) BASHAW, E.C.: 1980. Apomixis and its application in crop improvement. Hybridization of crop plants. ed. by W.R. Fehr and H. H. Hadley, Amer. Soc. Agronomy, Madison, Wis. : 45-63.
- 2) BENETT, H.W., B.L. BURSON and E.C. BASHAW : 1969. Intraspecific hybridization in Dallisgrass, *Paspalum dilatatum* POIR. Crop Sci. 9 : 807-809.
- 3) BOGDAN, A.V.: 1959. The selection of tropical ley grasses in Kenya: general consideration and methods. East Afr. J. 24 : 206-217.
- 4) — : 1961. Intra-variety variation in Rhodes grass (*Chloris gayana* KUNTH) . J. Brit. Grassl. Soc. 16 : 238-239.
- 5) — : 1969. Review article: Rhodes grass. Herb. Abstr. 39(1) : 1-13.
- 6) — : 1977. Tropical pasture and fodder plants. Longman Inc., New York : 477 pp.
- 7) BOONMAN, J.G.: 1978. Rhodes grass breeding in Kenya II. Clonal evaluation for seed yield within maturity classes of two varieties. Euphytica 27 : 419-426.
- 8) BROWN W.V. and W.H.P. EMERY : 1958. Apomixis in the *Gramineae* : *Panicoideae*. Amer. J. Bot. 45 : 253-263.
- 9) BURTON, G.W.: 1982. Improved recurrent restricted phenotypic selection increases Bahiagrass forage yield. Crop Sci. 22 : 1058-1061.
- 10) — and Forbes Jr. I.: 1960. Genetics and manipulation of obligate apomixis in common bahiagrass (*Paspalum notatum* FLUGGE) . Proc. XIth Int. Grassl. Congr. : 66-71.
- 11) CAI, D. : 1992. The Chinese efforts to produce an apomictic rice. Apomixis Newsletter 5 : 61-63.
- 12) COMBES, D. et J. PERNES : 1970. Variation dans le nombre chromosomiques du *Panicum maximum* JACQ. en relation avec le mode de reproduction. C.R. Acad. Sci., Paris, 270 : 782-785.
- 13) CRANE, C.F and J.G. CARMEN : 1987. Mechanism of apomixis in *Elymus rectisetus* from eastern Australia and New Zealand. Am. J. Bot. 74 : 477-496.

- 14) DARLINGTON, C.D. : 1939. The evolution of genetic systems. University Press, Cambridge, England : 149pp.
- 15) — and A.P. WYLIE : 1955. Chromosome atlas of flowering plants. George Allen and Unwin Ltd., London : 519pp.
- 16) DE WET, J.M.J. : 1954. Chromosome numbers in a few South African grasses. Cytologia (Tokyo) 19 : 97-103.
- 17) — : 1968. Diploid-tetraploid-haploid cycles and the origin of variability in *Dichanthium* agamospecies. Evolution 22 : 394-397.
- 18) DUJARDIN, M. and W.W. HANNA : 1989. Fertility improvement in tetraploid pearl millet. Euphytica 42 : 285-289.
- 19) GOULD F.W. : 1958. Chromosome numbers in southwestern grasses. Amer. J. Bot. 45 : 757-767.
- 20) HACKER, J.B. : 1968. Polyploid structure in the *Setaria sphacelata* complex. Aust. J. Bot. 16 : 539-544.
- 21) HANNA, W.W. and E.C. BASHAW : 1987. Apomixis: its identification and use in plant breeding. Crop Sci. 27 : 1136-1139.
- 22) — and M. DUJARDIN : 1985. Inter-specific apomixis in *Pennisetum*. Proc. XVth Int. Grassl. Congr. : 249-250.
- 23) —, W.G. MONSON, J.W. DOBSON Jr., and R.R. DUNCAN : 1986. Dry matter yield and *in vitro* dry matter digestibility of winter hardy *Panicum maximum* JACQ. selections. Trop. Agric. (Trinidad) 63 : 101-104.
- 24) —, J.B. POWELL, J.C. MILLOT, and G.W. BURTON : 1973. Cytology of obligate sexual plants in *Panicum maximum* JACQ. and their use in controlled hybrids. Crop Sci. 13 : 695-697.
- 25) 宝示戸貞夫・堀端俊造 : 1982. アフリカからの新作物探索導入調査報告書. 熱研資料58 : 120pp.
- 26) 宝満正治 : 1974. バヒアグラス農林2号「シンモエ」. 日草九支会報4-2 : 29-30.
- 27) HUTCHSON, D.J. and E.C. BASHAW : 1964. Cytology and reproduction of *Panicum coloratum* and related species. Crop Sci. 4 : 151-153.
- 28) HUTTON, E.M. : 1961. Inter-variety variation in Rhodes grass (*Cloris gayana* KUNTH). J. Brit. Grassl. Soc. 16 : 23-29.

- 29) JAUHAR, P. P. : 1969. Aneuploid alteration of chromosome number in the *Panicum maximum* complex. Indian J. Genet. and Plant Breed. 29: 342-347.
- 30) JONES, R. J. and A. J. PRITCHARD : 1971. The method of reproduction in Rhodes grass (*Chloris gayana*). Trop. Agric. (Trinidad) 48: 301-307.
- 31) KOMATSU T. and K. NAKAJIMA : 1988. B chromosomes in diploid guineagrass (*Panicum maximum* JACQ.). Japan. J. Breed. 38: 151-157.
- 32) LOCH, D. S. 1980. Seed assures future of Callide Rhodes. Qld. Agric. J. 106: 183-187.
- 33) 前川 勇・清水矩宏・庄子一成・伊佐真太郎・大城真栄・仲宗根一哉・福地 稔: 1985. パニカム属の草種および品種・系統比較 第1報 多年利用3年目までの収量性. 冲畜試報 23: 41-61.
- 34) MOFFET, A. A. : 1944. Note on the cytology of Rhodes grass. Rhodes. Agric. J. 41: 11-13.
- 35) — and R. HURCOMBE : 1949. Chromosome numbers of South African grasses. Heredity 3: 369-373.
- 36) MORGAN, W. G. : 1976. A technique for the production of polyploids in grasses. Euphytica 25: 443-446.
- 37) MURTY, U. R. : 1992. Achieving apomictic reproduction in Sorghum in India and USA. Apomixis Newsletter 5: 50-60.
- 38) 中川 仁: 1989. ギニアグラスの導入とアポミクシス育種法. 熱帯農研集報66: 58-65.
- 39) — : 1989. 育種からみた熱帯牧草の現状と将来. 牧草と園芸37巻5号: 15-19.
- 40) NAKAGAWA, H. : 1990. Embryo sac analysis and crossing procedure for breeding apomictic guineagrass (*Panicum maximum* JACQ.). JARQ 24: 163-168.
- 41) 中川 仁: 1991. ギニアグラスの導入とアポミクシス育種法の確立. 「育種学最近の進歩」第32集: 101-117.
- 42) NAKAGAWA, H. and W. W. HANNA : 1990. Morphology, origin and cytogenetics of a 48-chromosome *Panicum maximum*. Cytologia 55: 471-474.
- 43) — and — : 1992. Induced sexual tetraploids for breeding guineagrass (*Panicum maximum* JACQ.). J. Japan. Grassl. Sci. 38: 152-159.
- 44) 中川 仁・中島皐介・清水矩宏・板倉 登: 1992. ギニアグラス多年生, 四倍体, 有性生殖系統(「熱研2号」, 「熱研3号」)の育成. 草地飼料作研究成果最新情報7: 9-10.

- 45) ——・佐藤博保(1981) ローズグラスの種子生産に関する研究 第8報 風選の効果について。九州農業研究 43:135.
- 46) NAKAGAWA, H. and H.SATO: 1981. Cytological studies on tropical grasses 1. Meiosis of pollen mother cells and the formation of pollens of Rhodes grass (*Chloris gayana* KUNTH.). Bull. of Kyushu Natl. Agric. Expt. Stn. 21:317-313.
- 47) 中川 仁・佐藤博保:1988. ギニアグラス近縁種の生殖様式。九州農業研究 50:157.
- 48) ——・——・望月 昇・青柳直二郎・高崎久生・細木康彦・高木啓輔・平川孝行・田村紘吉・宝満正治・福地 稔:1982. ローズグラス(*Chloris gayana* KUNTH)の採種量と関連形質の地域間差。九農試報告 22:433-453.
- 49) NAKAGAWA, H., N.SIMIZU, and H.SATO: 1987. Chromosome number, reproductive method and morphological characteristics of *Chloris* species. J. Japan. Grassl. Sci. 33:191-205.
- 50) 中川 仁・清水矩宏・佐藤博保:1988. ローズグラス新品種「ハツナツ」。九州農業研究 50:158.
- 51) NAKAGAWA, H., N. SHIMIZU, H.SATO, T.MOMONOKI, and H.NAKANO: 1991. Development of a sexually reproducing tetraploid line for breeding apomictic guineagrass. TARC Newsletter Vol.2, No. 3:4-5.
- 52) NAKAJIMA, K.: 1978. Comparison of major agronomic characters in guineagrass and colored guineagrass. JARQ 12:145-151.
- 53) ——:1985. Isolation of sexual plants in guineagrass and the potential of its hybridization breeding in Japan. Proc. XVth Int. Grassl. Congr.:285-289.
- 54) ——, T.KOMATSU, N.MOCHIZUKI, and S. SUZUKI:1979. Isolation of diploid and tetraploid sexual plants in guineagrass (*Panicum maximum* JACQ.). Japan. J. Breed. 29:228-238.
- 55) ——, N.MOCHIZUKI:1983. Degrees of sexuality in sexual plants of guineagrass by the simplified embryo sac analysis. Japan. J. Breed. 33:45-54.
- 56) 中島阜介・望月 昇:1985. ギニアグラスにおけるアポミクシスの遺伝。育雑35別2:282-283.
- 57) ——・越智茂登一・望月 昇:1977. ギニアグラスとカラードギニアグラスの種内変異の比較。草地試研報 10:60-73.
- 58) ——・——・——:1978. アフリカより収集・導入したギニアグラスの特性と変異。草

- 地試研報 12:38-53.
- 59) 生井兵治・福沢 努・細田友雄:1968. ローズグラスの育種学的研究 I.細胞学的ならびに発生学的研究. 育雑18別 1:171-172.
 - 60) NOIROT, M.:1985. The genetic improvement of *Panicum maximum* JACQ. for the seed production. Proc. XVth Int. Grassl. Congr.:260-261.
 - 61) 農林水産技術会議事務局:1983.牧草類の採種栽培技術確立に関する研究. 研究成果 146:165pp.
 - 62) 越智茂登一・堀端俊造・宮崎尚時・前岡邦彦・高田寛之:1985. アフリカからの探索・収集草種の評価と有望草種の選定. 石垣島における暖地型イネ科草種の一次評価. 草地試研報 31:31-56.
 - 63) ——・中島皐介:1977. パニカム属草種の種・品種特性とその類別 I. 既導入品種の栽培上の特性とその類別. 草地試研報 11:78-97.
 - 64) O.E.C.D.:1990. List of cultivars eligible for certification under the O.E.C.D.. Organization for Economic Co-operation and Development, Directorate for Agriculture and Food, 2, rue Andre-Pascal, 75775 Paris Cedex 16: pp.68.
 - 65) ORAM, R.N.:1990. Register of Australian herbage plant cultivars. 3rd edition. CSIRO, Australia:304pp.
 - 66) PEACOCK, W.J.:1992. Genetic engineering and mutagenesis for apomixis in rice. Apomixis Newsletter 4:3-7.
 - 67) PERNES, J., D.COMBES, R.RENE-CHAUME, et Y.SAVIDAN:1975. Biologie des populations naturelles du *Panicum maximum* JACQ. Cah. ORSTOM, sér. Biol. X(2):77-89.
 - 68) ——, R.RENE-CHAUME et Y.SAVIDAN:1975. Schéma d'amélioration génétique des complexes agamiques du type *Panicum*. Cah. ORSTOM, sér. Biol. X(2):67-75.
 - 69) SATO, H., N.SHIMIZU, H.NAKAGAWA, and K.NAKAJIMA:1990. A new registered cultivar "Natsukaze" of guineagrass. JARQ 23:196-201.
 - 70) SAVIDAN, Y.:1975. Hérité de l'apomixie contribution à l'étude de l'hérité de l'apomixie sur *Panicum maximum* JACQ. (analyse des sacs embryonnaires). Cah. ORSTOM, sér. Biol. X:91-95.
 - 71) ——:1980. Chromosomal and embryological analyses in sexual × apomictic hybrids of *Panicum maximum* JACQ.. Theor. Appl. Genet. 57:153-156.

- 72) — : 1981. Genetics and utilization of apomixis for the improvement of guinea-grass (*Panicum maximum* JACQ.). Proc. XIVth Int. Grassl. Congr. 182-184.
- 73) — : 1982. Embryological analysis of facultative apomixis in *Panicum maximum* JACQ.. Crop Sci. 22: 467-469.
- 74) — : 1992. New maize × *Tripsacum* hybridizations and the feasibility of apomixis transfer. Apomixis Newsletter 4: 16-18.
- 75) —, L. JANK, J. C. G. COSTA and C. B. DO VALLE : 1989. Breeding *Panicum maximum* in Brazil. 1. genetic resources, mode of reproduction and breeding procedures. Euphytica 41: 107-112.
- 76) — and J. PERNES : 1982. Diploid-tetraploid-dihaploid cycles and the evolution of *Panicum maximum* Jacq.. Evolution 36: 596-600.
- 77) SCHERTZ, K. R. and L. E. CLERK : 1967. Controlling dehiscence with plastic bag for hand crosses in *Sorghum*. Crop Sci. 7: 540-542.
- 78) SCHUSTER, M. F. and H. A. DEAN : 1973. Rhodesgrass scale resistance studies in rhodesgrass. J. Economic Entomology 66: 467-469.
- 79) 清水矩宏 : 1985. 暖地型牧草およびその類縁植物の種子保存リスト. 九州農試研究資料第64号 : 247pp.
- 80) —・佐藤博保・中川 仁・中島皐介 : 1985. アフリカからの新導入ギニアグラスの特性と遺伝資源としての有望性. 九州農業研究 47: 171.
- 81) —・鈴木信治・杉信賢一・須山哲夫・秦 隆夫 : 1982. 草地飼料作研究におけるデータベースシステム [GRIMS/CGS] を利用したデータベース管理と解析システム. 草地試資料No. 56-11: pp350.
- 82) 志佐 誠・加藤幸雄・渡辺光太郎 : 1976. 植物遺伝学 III. 生理形質と量的形質, 木原 均監修, 高橋隆平 編集, 1・4 花粉生理 : 96-121. 裳華房.
- 83) SMITH, R. L. : 1972. Sexual reproduction in *Panicum maximum* JACQ.. Crop Sci. 12: 624-627.
- 84) 鈴木 茂 : 1978. クラスターアナリシスによる数値分類法 (2). 農林研究計算センター報告 A14: 33-96.
- 85) WARMKE, H. E. : 1951. Cytotaxonomic investigations of some varieties of *Panicum maximum* and *P. purpurascens* in Puerto Rico. Agron. J. 43: 143-149.
- 86) — : 1954. Apomixis in *Panicum maximum*. Amer. J. Bot. 41: 5-11.

- 87) 渡辺光太郎(1974)イネ科花粉の発芽における柱頭反応の役割。京都家政短大研究紀要
第13集：26-41.
- 88) WEST, O. : 1952. Promising new grasses for seeded pastures in Southern
Rhodesia. Rhodes. Agric. J. 49 : 89-95.
- 89) 山田豊一・宝示戸貞夫・越智茂登一 : 1974. パニカム属牧草の国内導入状況調査結果の
とりまとめ。草地試資料 No. 49-10 : 21pp.
- 90) YERMANOS, D. M. and K. S. GILL : 1967. Induction of polyploidy in *Linum* species.
Crop Sci. 7 : 423-427.
- 91) 吉山武敏・寺田康道・鶴見義朗 : 1973. パスバラム属の特性(1)一般特性。日草誌19(別
2) : 56-57.
- 92) 吉山武敏・鶴見義朗・中嶋紘一・松本 聡・寺田康道・葵 一八・平井俊臣 : 1981. グ
リスグラス新品種「ナツグモ」について。九農試報 21 : 353-369.
- 93) YOUNG, B. A., R. T. SHERWOOD, and E. C. BASHAW : 1979. Cleared-pistil and thick-
sectioning techniques for detecting aposporous apomixis in grasses. Can. J. Bot.
57 : 1668-1672.

Cytogenetical Study and Breeding of some Tropical Grasses

Hitoshi NAKAGAWA

Summary

1. Rhodesgrass (*Chloris gyana* Kunth) which is a tropical grass native to Africa, is one of the promising forage grasses in Kyushu and Okinawa Islands in Japan. Germination rates of imported seeds of the grass, however, are ordinary low and those of multiplied seeds in Japan vary in places. Meiotic division of pollen mother cells and formation of pollen grains of the grass and also the germination of pollen grains on the stigma were cytologically investigated to elucidate the reason. In the case of diploid cultivars and strains, 10 bivalent chromosomes of which one attached to a nucleolus were clearly observed at diakinesis. Lagging chromosomes were not observed at metaphase I and mature pollens were formed. In the case of tetraploid cultivars, 1 to 5 ring-shaped quadrivalent chromosomes appeared at diakinesis and metaphase I. Two bivalents or one quadrivalent attached to a nucleolus. As in the case of diploids, pollen formation was normal. As quadrivalents were observed, tetraploids were thought to be autotetraploids, though the frequencies of the appearance of quadrivalents varied in cultivars. Pollen grains pollinated to self-stigma germinated and elongated their pollen tubes into the stigma. In the case of rhodesgrass, which is thought to be an allogamous plant, inhibition of self-pollination occurs after this process, if the self-pollination is inhibited. As a result, low germination rates of cultivars of rhodesgrass were not resulted from meiotic division of pollen mother cells or pollen germination but another reasons unknown. In the process of this investigation, I recognized that Choboku-kei Fords Katambora, Gunsons, Pioneer, and Katambora were diploids ($2n=20$), and Mbarara, Elmba, Masaba, and Pokot were tetraploids ($2n=40$).

2. Frequencies of appearing quadrivalents in tetraploid cultivars, Elmba, Masaba, Mbarara, Pokot, and Q3307 (800004 and 800007) were investigated. The value of chi-square showed that pollen mother cells from the same cultivar had similar tendency of appearing quadrivalents. Frequencies of appearing quadrivalents in tetraploid cultivars, however, were varying in the cultivars. The number of quadrivalents per cell in Masaba, which is a kind of landrace, is 2.26 and highest of all. While, the number of quadrivalents in Elmba and 2 Q3307 lines, which are produced by some selections, were lower than Masaba and around 0.8. The number of quadrivalents in the other cultivars was 1.65. This suggests that the selection reduced the frequencies of appearing quadrivalents in tetraploid cultivars.

3. Chromosome number, method of reproduction, and 26 morphological characteristics were investigated in 14 species of the genus *Chloris*. Chromosome numbers of the *Chloris* species were as follows; $2n=20$: *Chloris gayana* Kunth, *C. roxburghiana* Schult., *C. pilosa* Schumach. and *C. virgata* Sw.; $2n=40$: *C. gayana* Kunth., *C. pycnothrix* Trin., *C. acicularis* Lindl., *C. radiata* Sw.; $2n=80$: *C. ciliata* Sw., *C. distichophylla* Lag.; $2n=100$: *C. castilloniana*; $2n=120$: *C. truncata* R. Br. Method of reproduction was studied by embryo sac analysis (clearing methods with a mixture of 10g lactic acid, 10g chloral hydrate, 10g phenol, 10g eugenol, and 5g xylene or with methyl salicylate) and seed set tests. Embryo sac analyses showed that the species had sexual eight nucleate embryo sacs. Seed set data indicated that *C. gayana* (rhodesgrass) is cross-pollinated and the other species are self-pollinated. Stem length, length and branch number of inflorescence and heading date in *Chloris* species showed wide variation. Among the species, *C. gayana* was taller and more vigorous than any other wild relatives. Tetraploid strains of *C. gayana* appeared to be giant types of diploid strains of *C. gayana*. Stomata of *C. truncata* (12x), *C. castilloniana* (10x), *C. distichophylla* (8x), *C. ciliata* (8x), and tetraploid *C. gayana* were significantly larger than those of any other diploid or tetraploid species. The relationships between ploidy levels and the other morphological characteristics were not always consistent. Cluster analysis was applied to numerical data of 26 morphological characteristics. Thirty four strains of 12 species tested were classified into 7 groups. Each group tended to have species with the same ploidy level.

4. Guinea grass (*Panicum maximum* JACQ.) is one of the most important tropical forage grasses native to tropical Africa and cultivated widely in tropical, subtropical, and even in temperate regions. Previous to the breeding of guinea grass, method of reproduction in 20 strains of guinea grass and 1 strain of Green panic (*P. maximum* Jacq. var. *trichoglume* Eyles), and its related species, colored guinea grass (*P. coloratum* L.), *P. antidotale* Retz., *P. deustum* Thunb., and *P. millioides* were studied by embryo sac analysis. Embryo sac analysis by the use of two clearing methods mentioned above indicated that all the strains of guinea grass and Green Panic except GR297 reproduced by aposporous apomixis with 0 to 25 % of sexual embryo sacs, while, GR297 was obligately sexual. The embryo sac analysis also indicated that *P. antidotale*, *P. deustum*, and *P. millioides* were facultatively apomictic similar to guinea grass and that *P. coloratum* was obligately sexual.

5. Chromosome behavior, method of reproduction, fertility and morphological characteristics were studied in 48-chromosome plants derived from a 32-chromosome accession (PI298996) of guinea grass. Multivalent associations were found in diakinesis and metaphase I which resulted in 33% of the microsporocytes having one or more laggards at anaphase I. Pollen stainability in I_2KI ranged from 65% to 85%. Embryo sac analyses indicated that plants reproduced by a high level of apomixis

with some sexual embryo sac development which probably accounts for the occasional off-type plants produced. The 48-chromosome plants apparently originated from the fertilization of a 32-chromosome unreduced egg from an apomictic plant by a reduced 16-chromosome male gamete. The 32- and 48-chromosome plants were morphologically similar. A 40-chromosome plant resulting from a reduced 24-chromosome egg fertilized by a 16-chromosome male gamete was also found among the open-pollinated offspring from a 48-chromosome plant. The discovery of a 48-chromosome plant in a 32-chromosome accession and a 40-chromosome plant in a 48-chromosome offspring are other examples of the influence of apomixis in formation and maintenance of new cytotypes in nature.

6. Chromosome behavior, method of reproduction, fertility and morphological characteristics were studied in a new guineagrass cultivar, Natsukaze, produced by a sexual x apomictic cross. Natsukaze was tetraploid ($2n=32$) and showed 0-7 quadrivalents at metaphase I. Natsukaze was found in open-pollinated progenies of the diploid sexual line, GR297 ($2n=16$), and probably resulted from fertilization of an unreduced egg by a reduced sperm from the pollen of a tetraploid apomictic line. Pollen stainability of Natsukaze was 77% and somewhat lower than the diploid female parent (90%) and about the same as an apomictic line, Ku5954 (80%). Natsukaze was facultatively apomictic with 11% sexuality, somewhat higher than that of an apomictic strain, which showed ca. 2% sexuality. No off-types appeared in the open-pollinated progenies of Natsukaze. Therefore, sexual embryo sacs appear to not compete as well as apomictic sacs.

7. The breeding of apomictic species, such as guineagrass, requires identification of reproduction mechanism and establishment of efficient crossing procedures. Two embryo sac analyses, i.e. a paraffin sectioning method and two clearing methods, were applied to guineagrass for comparison. An efficient procedure for hybridization in the breeding program of apomictic guineagrass is proposed. The results of the present study indicate that the paraffin sectioning method is available for histological studies on development of embryo sacs, though it requires a skilled technique and much time, while the clearing methods are quicker and simpler than the paraffin sectioning method. There are no significant differences between the two methods in identifying reproduction methods. A plastic bag method can be effectively used for emasculation and hybridization of guineagrass. An advantage of using apomixis in the breeding program is to provide an efficient method for fixing desirable genotypes of F_1 hybrids and simplifying commercial seed production. For practical use of apomictic guineagrass, it may be necessary to mix a few apomictic lines with diverse cytoplasm and genetic backgrounds for protection from pathogens infecting specific cytoplasm.

8. In Japan except Okinawa Islands, rhodesgrass is cultivated as an annual grass because of the cool temperature and frost in winter, though the grass is perennial.

After the identification of chromosome numbers and a yield trial of 40 strains of rhodesgrass introduced from tropical Africa, selection of fast growing and high yielding plants was made from 11 early maturing diploid strains with vigorous growth. Four types of populations were developed by the use of data base system and selection; 1) Type A: the plant with thick and fewer stolons, 2) Type B: the plant with thin and fewer stolons, 3) Type C: the plant with thin and many stolons, 4) HY Type: the plant with vigorous growth regardless of stolon type. The polycrosses of the stolon propagated selected plants of each type were made in separate green houses in winter. As the thickness ($h=0.8$) and the number of stolon ($h=0.2$) had significantly high heritabilities, progress from phenotypic selection was possible. Two cycles of selection and the intermating were made for both Type A and Type C in 2 years, and two lines developed for germplasms were named Kyushu No. 3 and Kyushu No. 2, respectively. The yield trials of the lines in Kagoshima Prefectural Agricultural Experiment Station, Nagasaki Prefectural Livestock Experiment Station, Shiga Prefectural Livestock Research Center, and Aichi Prefectural Agricultural Experiment Station showed that the Kyushu No.1 derived from HY Type is most productive. The line was registered as rhodesgrass Norin 1 and named 'Hatsunatsu' rhodesgrass in 1987.

9. A new breeding method, a recurrent selection in the field in summer and the crossing by the use of plants produced from stolons of selected plants in greenhouse in winter, was established in the process of breeding rhodesgrass.

10. The sexual autopoloid ($2n=32$) plants of guineagrass were produced by treating germinating diploid seeds with 0.1% colchicin for 4 hours. Flowering date, fertility and leaf length were similar for diploids and the induced tetraploids. Induced tetraploids had shorter stems, fewer tillers and wider leaves. These true-breeding seed propagated induced tetraploid plants were sexual and provide added breeding opportunities for crossing sexual and apomictic guineagrass types at the tetraploid level. A new registered tetraploid sexual line, Noh PL 1, was produced by the crossing of the sexual plants and the selection. The Noh PL 1 guineagrass is annual and the hybrids between the line and apomictic males grew fast and the productivity in the first growing season was high though the productivity of the line itself is not very high.

11. Another tetraploid sexual line, Nekken No.3, was selected from the progenies of Pm 49 x Natsukaze. The Pm49, a tetraploid sexual plant, was isolated in Coastal Plain Experiment Station, Tifton, GA. The line is perennial and vegetatively propagated by tillers. The hybrids between the line and apomictic males have tolerance to heat and droughts in subtropical small islands.

12. The reproductive method of the progenies produced by sexual x apomictic cross segregated to sexual and apomictic progenies (1 : 1) and the sexualities of the apomictic hybrids showed continuous variation and the values ranged from 0 to 90%.

The crossings showed that perennial is dominant to annual. Some hybrids showed remarkable hybrid vigors.

13. Utilization of apomictic germplasm and manipulation of apomixis in guineagrass for both temperate and subtropical regions becomes possible by the use of the sexual lines in Japan.