

ギニアグラスの遺伝資源の特性評価

蝦名真澄 幸喜香織 稲福政史* 奥村健治**

I 要 約

ギニアグラス遺伝資源 200 点および品種 6 点について遺伝資源調査マニュアル¹⁾に従って 1 次必須特性調査を行ったところ結果は以下のとおりであった。

1. 特性の平均は桿長で 111.6cm, 穂長で 29.2cm, 茎の太さで 1.94mm, 葉身長で 29.9cm, 葉身幅で 1.86cm および千粒重で 0.91g であった。
2. 特性のレンジは, 桿長が 54~183cm, 穂長は 12.5~56cm, 茎の太さは 0.85~4.1mm, 葉身長は 10.8~71.0cm, 葉身幅は 0.8~4.1cm および千粒重は 0.503~1.80g であった。
3. 調査した形質の主成分分析の結果, 第一主成分の寄与率は 54.9%, 第二主成分の寄与率は 14.0%, 第三主成分の寄与率は 12.6% で, 第三主成分までの累積寄与率は 81.5% となった。
4. 調査した形質の相関分析の結果, 葉身幅と茎の太さの間に最も高い相関が得られ, 相関係数 $r=0.872$ ($p<0.01$) となった。千粒重の形質は調査した他の形態特性とは有意な相関関係が認められなかった。

II 緒 言

ギニアグラス (*Panicum maximum* Jacq.) は, イネ科キビ亜科のキビ族に属するイネ科植物で, ケニア, タンザニアを中心とする東アフリカに自生している。多くは多年生, また, 一部は一年生の収穫量の暖地型牧草で, 広く世界の熱帯および亜熱帯で利用されている。交雑可能な近縁種として *P. trichocladum* と *P. infestum* が知られており²⁾, 染色体は $2n=4X=32$ とギニアグラスと同様で, 東アフリカでは, これらと中間タイプを示す個体も認められている³⁾。

ギニアグラスの利用は広く世界の熱帯および亜熱帯で認められる⁴⁾ が, 原産地のアフリカでは栽培利用が認められる地域よりさらに広域な気候条件で自生が認められている⁵⁾。原産地の適応地域は, 標高 0~2400m, 北緯 16.3 度, 南緯 25 度, 年間 700~1100mm の降水, 平均気温 19.1~22.9 度といわれている⁴⁾。ギニアグラスの原産地はマダガスカルを含むアフリカ全土であるが, 東アフリカに多くの変異個体が認められることからこの地域が適応発散の地域であろうと考えられている²⁾。

ギニアグラスのほとんどの遺伝資源は四倍体 ($2n=4X=32$) のアポミクシスで, 自然界では約 7% の比率で有性生殖系統が存在しているといわれている⁶⁾。自然界ではこれらギニアグラスの有性生殖集団と, 交雑可能な近縁種である *P. infestum* および *P. trichocladum* がアポミクシス集団も含めて, 二倍体および四倍体を自発的な半数化および倍数化を経ながら様々な変異集団を形成しているものと考えられている⁷⁾。ギニアグラスはアポミクシスとしては条件的アポミクシスに分類され, アポミクシス個体であっても部分的に有性生殖胚を生じる⁸⁾。ギニアグラスの利用は, 原産地以外では, 奴隸船によりアメリカ大陸に運ばれカリブ海地方での利用が広まったのが始まりとされ, ブラジルでは現在でも 1700 年代に持ち込まれたものが 'Coloniao' という系統名で利用されている⁵⁾。その後, 米国やオーストラリアなどに遺伝資源が導入され, 1935 年にはオーストラリアで品種 'Hamill' が育成されている。また, 1940 年代から 80 年代にかけ, 米国, フランス, 日本を中心に精力的な遺伝資源収集と育種が行われ²⁾, これらの収集を経て 1976 年にはオーストラリアで放牧向けの耐霜性に富む品種として 'ガットン' が育成されている⁹⁾。

わが国におけるギニアグラス遺伝資源の導入は 1970 年代に先見的な導入が宝子戸ら¹⁰⁾により精力的に行われた。その後, 中島ら¹¹⁾による二倍体有性生殖系統 'GR297' の発見は, 現在のギニアグラス育種に道を開く大きな発見で, その交雑後代からのアポミクシス品種 'ナツカゼ' の育成が行われた。さらに, 中川ら¹²⁾が二倍体有性生殖系統 'GR297' からコルヒチン倍化により四倍体有性生殖系統 '農 1 号' を作成した。これにより, アポミクシスを示すギニアグラス遺伝資源のほとんどと同じ倍数性での

交雑育種が可能となり、豊富な遺伝資源に見いだされる特徴的な形質を交配によって集積することが可能となっている。現在までの遺伝資源探査の結果、保存によって多少の重複はあるものの、自生地であるタンザニア、ケニアを中心に、南はモザンビーク、ジンバブエ、南アフリカ、北はウガンダ、エチオピア、スーダンにいたる地域におよぶ約2400点の豊富な遺伝資源が農業生物資源研究所ジーンバンクで保存されている。また、これらの遺伝資源から永年利用品種‘ナツユタカ’および単年利用品種‘ナツコマキ’などの優れた品種が開発されている。

Ⅲ 材料および方法

1. 材料

沖縄県畜産研究センターで遺伝資源の種子増殖事業を実施し、平成15および16年度に受け入れた200点の遺伝資源についてジーンバンクの遺伝資源特性調査マニュアルに従い1次特性を調査した。200点の遺伝資源は、自生地のアフリカより導入された遺伝資源、遺伝資源より発見された有性生殖系統との半兄弟系統、‘農1号’×‘ナツカゼ’の単交配全兄弟系統、および国際農林水産業研究センターの石垣支所で保存されていた来歴不明の遺伝資源系統を含んでいた。品種では‘ソイルクリーン’、‘ナツカゼ’、‘ナツユタカ’、‘ナツコマキ’、‘ガットン’および‘パイカジ’を用いた。

2. 特性調査

特性調査は遺伝資源全体の開花盛期にあわせて行った。調査した特性は、草型、桿長、穂長、茎の太さ、葉身長、葉身幅、出穂期である。草型の調査は1立型～9ほふく型の観察評点で行い、草型の特性以外は測定値を用いた。また、出穂期は調査が2年間にわたるため、各年度の平均出穂日と系統毎の出穂日の差を出穂期として用いた。栽培は沖縄県畜産研究センター（今帰仁）にて、ジフィーポットに播種し約1カ月経過した苗を条移植して行った。施肥等の栽培管理は沖縄県の栽培指標に従って行った。統計解析はJMP (ver. 4.0, sas incorporation) を用いた。クラスター解析はWard法を用い、各クラスターに分類後、相関解析および主成分分析を行った。

Ⅳ 結果および考察

1. ギニアグラス遺伝資源および品種の特性

遺伝資源特性調査の概要を表1に示す。桿長の平均は111.6cmで、最大は‘農1号’×‘ナツカゼ’の単交配全兄弟系統の204-108の183cm、最小は遺伝資源有性生殖系統との半兄弟系統H8-4の54cmであった。穂長の平均値は29.2cmで、最大はエチオピア原産の遺伝資源系統GR313の56cmで、最小は半兄弟系統H11-3の12.5cmであった。茎の太さは平均が1.94mmで、最大は半兄弟系統H5-21の4.1mmで、最小は半兄弟系統H11-13の0.85mmであった。葉身長の平均値は29.9cmで、最大はタンザニア原産の遺伝資源系統TAI24-7-1の71.0cmで、半兄弟系統H4-19の10.8cmであった。葉身幅の平均値は1.86cmで、最大は愛知県指定試験で循環選抜されたGHR89-2の4.1cmで、最小は半兄弟系統H12-10の0.8cmであった。千粒重の平均は0.91gで、最大は有性生殖系統との半兄弟系統H8-4の1.8gで、最小は同じくH4-21の0.503gであった。出穂期では、最も晩生だったのがケニア原産の遺伝資源系統の73-514および73-705で、平均出穂日より45.2日晩生であった。また、最も早生だったのが、半兄弟系統H12-9および-10で平均出穂日より13.8日早生だった。半兄弟系統H12-10は用いた材料の中で最も早生で、葉身幅が狭い系統であった。沖縄県畜産研究センターで育成した‘パイカジ’は穂長が33.2cmで、調査した遺伝資源の穂長の分布から平均値から上位の四分位点の中間に位置していた。また、茎の太さは、1.5mmで同じく平均値から下位の四分位点の中間に位置していた。これに対して‘パイカジ’の対照品種となった‘ナツユタカ’では穂長が38.0cmと90%分位点に近く、茎の太さは2.9mmと同様に90%分位点付近であった。

表1 ギニアグラス遺伝資源および品種の特性値の概要

特性	単位	平均値	標準偏差	変動係数	レンジ		四分位点	
					最小値	最大値	上位	下位
草型	観察評点	4.41	1.13	25.6	2	7	5	4
桿長	cm	111.6	28.9	25.9	54	183	132.6	90.4
穂長	cm	29.2	8.6	29.5	12.5	56	35.5	21.5
茎の太さ	mm	1.94	0.76	39.2	0.85	4.1	2.6	1.2
葉身長	cm	29.9	11.4	38.1	10.8	71	36.4	20.8
葉幅	cm	1.86	0.68	36.6	0.8	4.1	2.5	1.3
千粒重	g	0.913	0.187	20.5	0.503	1.80	0.991	0.843
出穂期	±平均開花日	-	10.8	-	-13.8	45.2	5.2	-6.8

2. ギニアグラス遺伝資源および品種の特性値にもとづくクラスター解析

調査した特性値にもとづくクラスター解析を行い、200系統の遺伝資源系統を6系統の品種とともにグループ分けを行った。その結果、Ward法を用いて5つのクラスター数を設定した場合に、遺伝資源の来歴をある程度反映するグループ分けを行うことができた(図1)。グループ1は、'ソイルクリーン'と'ナツカゼ'を含むグループで、'農1号'×'ナツカゼ'の単交配後代のほとんどと、愛知県でナツカゼをもとに循環選抜された系統が含まれている。これらは、単年生が強く、採種性の良好な大型の系統で、多量の種子を作るために穂長が大きく、穂を支えるために茎が太いという特徴を持つ系統であると考えられる。また、グループ2は平成18年に育成された新品種'パイカジ'を含むグループで、国際農林水産業研究センターの石垣支所で保存されていた来歴不明の系統や'パイカジ'の半兄弟およびケニア原産のGR-250, GR-199およびエチオピア原産のGR373などが含まれている。このグループは茎の太さおよび穂長などの形態が調査した遺伝資源のなかでほぼ平均値に近い数値をとるグループとなっている。グループ3は'ナツユタカ'を含むグループで、調査した自生の遺伝資源系統のほとんどがこのグループに属していた。このグループ3に含まれる遺伝資源はケニア原産の73-514, -705や-753さらにGR-144, -144および-199, また、タンザニア原産のTAI24および29などを含んでいた。また、グループ4はブラジルで育成された'MOMBASA'および南アフリカ原産の遺伝資源GR428およびGR436を含む系統で、グループ2に比べ穂長がやや短く、かつ茎の太さがやや細い傾向がある。最後のグループ5は最も穂長が短く、かつ茎の太さが細い特徴があり、'ガットン'および'ナツコマキ'と'パイカジ'の半兄弟が多く含まれていた。

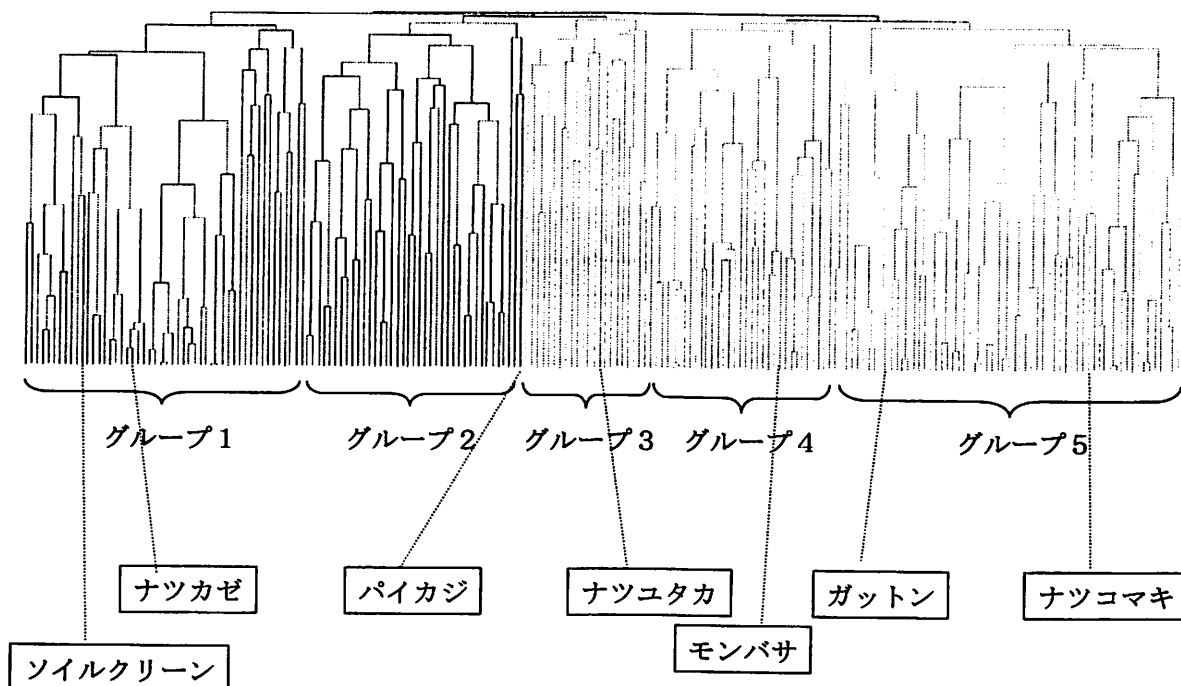


図1 形態特性によるギニアグラス遺伝資源のクラスター解析

3. ギニアグラス遺伝資源および品種の特性値にもとづく主成分分析

ギニアグラス遺伝資源および品種の特性値にもとづく主成分分析の結果を表2に示す。第一主成分の寄与率は54.9%となった。特性では穂長、茎の太さ、葉身幅および葉身長固有ベクトルが、それぞれ0.436, 0.442, 0.440 および 0.407 となった。第二主成分の寄与率は14.0%, 第三主成分の寄与率は12.6%で、第三主成分までの累積寄与率は81.5%となった。第二主成分固有ベクトルでは、草型および出穂期の固有ベクトルがそれぞれ0.578 および 0.557 となった。また、千粒重は第三主成分固有ベクトルが最大となった。各主成分固有ベクトルの大きさおよび寄与率から、調査した形態特性の分散を説明する特性は第一主成分では穂長、第二主成分では草型および第三主成分では千粒重であった。以上の3つ特性と第二主成分の出穂期の特性値は、ギニアグラス遺伝資源の各系統の特徴を捉えるための指標として優れていると考えられる。

表2 ギニアグラス遺伝資源および品種の特性値の主成分分析

	第一主成分	第二主成分	第三主成分	第四主成分
固有値	4.40	1.12	1.01	0.74
寄与率	54.9	14.0	12.6	9.0
累積寄与率	54.9	68.9	81.5	90.8
固有ベクトル				
草型	-0.206	0.578	-0.176	0.734
稈長	0.354	-0.420	-0.061	0.374
穂長	0.436	0.096	-0.053	0.124
茎の太さ	0.442	-0.080	0.007	0.097
葉身長	0.407	0.373	-0.010	0.034
葉身幅	0.440	-0.126	0.008	0.126
千粒重	0.011	0.100	0.981	0.150
出穂期	0.294	0.557	-0.020	-0.508

4. ギニアグラス遺伝資源および品種の特性の相関関係

ギニアグラス遺伝資源および品種の特性の相関関係を表3に示す。最も高い相関を示していたのは、葉身幅と茎の太さで $r=0.872$, $p<0.01$ であった。また、次に高い相関関係が認められたのは茎の太さと穂長で $r=0.829$, $p<0.01$ であった。千粒重は調査したどの特性とも相関関係が認められなかった。また、草型および出穂期はこれ以外の特性と比べ相関関係が弱かった。稈長、穂長、茎の太さ、葉身長および葉身幅には相互に強い相関が認められた。これらの相関関係から、ギニアグラスでは、大きな穂を支えるために太い茎が必要で、茎が太くなると、葉鞘部分が大きくなるため、それに伴い葉身幅も大きくなる傾向があることを示している。また、葉身幅が大きくなると葉身長も長くなる傾向があることが示唆される。

表3 ギニアグラス遺伝資源および品種の特性の相関関係

	草型	稈長	穂長	茎の太さ	葉身長	葉身幅	千粒重
草型							
稈長	-0.368 **						
穂長	-0.274 **	0.627 **					
茎の太さ	-0.388 **	0.689 **	0.829 **				
葉身長	-0.137 *	0.461 **	0.806 **	0.721 **			
葉身幅	-0.401 **	0.723 **	0.794 **	0.872 **	0.724 **		
千粒重	-0.037	-0.037	-0.005	0.027	0.05	0.025	
出穂期	-0.155 *	0.145 *	0.538 **	0.472 **	0.689 **	0.435 **	0.009

お互いの相関の強かった茎の太さと穂長およびお互いの相関の弱かった出穂期と穂長の相関関係を図2および3に示す。調査した遺伝資源系統には、交配による半兄弟および全兄弟の集団が含まれているが、特に相関の強い茎の太さと穂長の相関図では、遺伝資源集団全体の中で特性の分散が小さいため高い密度で分布しており、図2の等高線による分布密度表示で集中していることが示されている。これに

対して、相関が弱かった出穂期と穂長の相関図（図 3）では、交配による集団の分布が比較的分散している。これは、ギニアグラス育種を進めていく上で、ギニアグラス遺伝資源を用いて相関関係が強く認められた特性について、逆方向の育種改良目標を設定した場合、選抜集団を非常に大規模にする必要があることを示唆している。また、相関関係の弱い特性について相関関係とは逆方向の育種を行うことは比較的容易であることを示唆している。

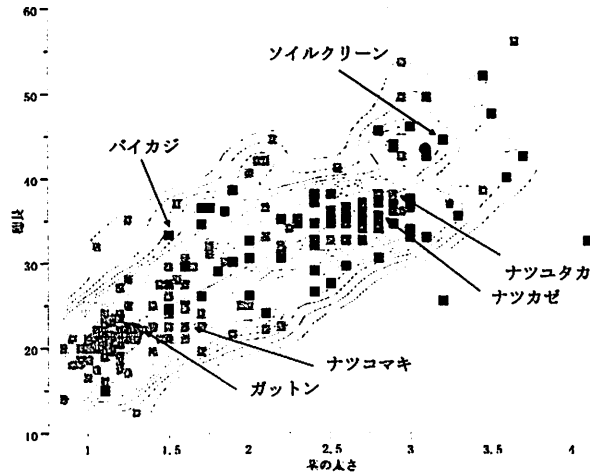


図 2 茎の太さと穂長の相関関係

幸喜ら¹³⁾はギニアグラス遺伝資源系統の消化率と茎の太さには相関関係が認められ、茎が太いほど消化率が低い傾向があると報告している。また、花穂そのものの消化率の低下は、刈り遅れによる全体の消化率の低下に最も影響すると考察している。消化率を向上させるためには、育種の1次選抜では茎が細く、穂の小さな系統を選抜することが消化率を向上させるために有効である。消化性を向上させるために茎の細い系統を選抜する方向に育種された品種にはブラジルで育成された‘マサイ’があげられる。‘マサイ’はフランスの遺伝資源を用いてブラジル EMBRAPA にて選抜・育成された系統であるが、葉身幅が細く、茎が細く、穂が小さいという特徴があり、穂の形態特性から *P. infestum* との自然交雑種であると予想されている。また、‘ガットン’は南アフリカの遺伝資源からオーストラリアで選抜された品種であるが、形態特性は茎が細く、穂が小さく、消化性には優れているものの、収量性の高い品種とはいえない。

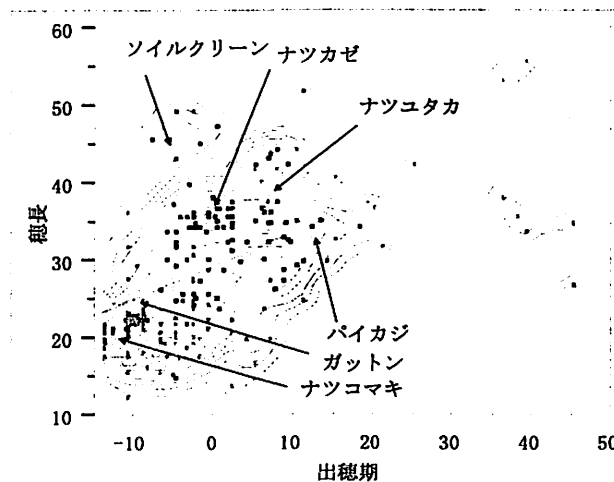


図 3 出穂期と穂長の相関関係

いっぽう、茎が太く、稈長が長い大型のギニアグラスは収量性が高い傾向¹⁴⁾が認められる。つまり、消化性を高くするには茎を細くし、穂を小型にする方向が有効であるが、収量性は下がる。そのため、ギニアグラスの重要な育種目標である収量性と消化性をあわせもつ品種を育成するためには育種方向としては、茎を細くし、葉伸長の長い系統を選抜するなど相関の高い形質を逆方向に育種選抜する必要がある、困難な育種方向であることが示唆される。そのため、例えば収量性と出穂期のように相関関係の小さな形質に注目し、収量性の高い晩生品種を育成することで、利用時期にはほぼ出穂しないような特性を持たせることが重要であると考えられる。

V 引用文献

- 1) Nagamine T. and Takeda H. (1999) Forage crops: warm season grasses. *The Descriptors for Characterization and Evaluation in Plant Genetic Resources*. 1, 202-207, National Institute of Agrobiological Resources
- 2) Combes D. and Pernès J. (1970) Variations dans le nombre chromosomique du *Panicum maximum* Jacq. En relation avec le mode de reproduction. Sér. D. 270, 782-785, *Comptes Rendus Academie des Sci.*, Paris.
- 3) Savidan Y. H. (1982) Nature et hérédité de l'apomixie chez *Panicum maximum* Jacq. *ORSTOM Travaux et Documents*, 153. ORSTOM, Paris.
- 4) Duke J. A. (1983) *Panicum maximum* Jacq. (Poaceae: Guinea grass, Hamilgrass) *Handbook of Energy Crops*. Center for new crops and plant products. Purdue University, West Lafayette, 1-6.
- 5) Muir J. P. and Jank L. (2004) Guinea grass. *Warm-Season (C4) Grasses, Agronomy Monograph no. 45*. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, USA, 589-621.
- 6) Pernès J. (1975) Organization Évolution D' un Groupe Agamique: La Section Des *Maximae* Du Genre *Panicum* (Graminées). *Mémoires ORSTOM*, 75. ORSTOM, Paris.
- 7) Savidan Y. and Pernès J. (1982) Diploid-tetraploid-dihaploid cycles and the evolution of *Panicum maximum* Jacq. *Evolution* 36, 596-600.
- 8) Warmke H. E. (1951) Cytotaxonomic investigations of some varieties of *Panicum maximum*. *Am J Bot* 41, 5-11.
- 9) Edey L. A. and Miles J. F. (1976) A comparison of 60 *Panicum* introductions in SE Queensland. *Trop Grassl* 10, 79-88.
- 10) Hojito S. and Horibata T. (1982) Plant exploration, collection and introduction from Africa. *Nekken Shiryo* 58. Trop. Agric. Res. Ctr., Tokyo, Japan, 1-120.
- 11) Nakajima K., Komatsu N., Mochizuki N. and Suzuki S (1979) Isolation of diploid and tetraploid sexual plants in guinea grass (*Panicum maximum* Jacq.). *Jpn J Breed* 29, 228-238.
- 12) Nakagawa H. and Hanna W. W. (1992) Induced sexual tetraploids for breeding guinea grass (*Panicum maximum* Jacq.). *J Japan Grassl Sci* 38, 152-159.
- 13) 幸喜香織・伊藤康子・稲福政史・奥村健治・蝦名真澄・守川信夫 (2003) 高消化性ギニアグラス育成のための選抜法の開発, 沖縄畜試研報, 41, 123-130
- 14) 幸喜香織・蝦名真澄・稲福政史・奥村健治・伊藤康子 (2004) ギニアグラス新品種育成, 沖縄畜試研報, 42, 47-51