

トウモロコシ耐倒伏性の簡易検定法*

櫛 引 英 男**

A Simple Method of Testing Lodging Resistance of Maize

Hideo KUSHIBIKI

トウモロコシの耐倒伏性の検定にはいくつかあるが、いずれも実用性に難点があり、ほとんど利用されていない。そこで、「引倒し法」を考案し、1967年から育種上に利用してきた。

この方法は、雄穂の首部を掴んで弧を描くように地表に向けて引倒し、地表近くで離し、この過程およびその後の復元状態を4～5のパターンに区分し、それによって材料の耐倒伏性を評価するものである。

この方法による材料の評価は実際の倒伏発生程度とよく合致した。また、検定パターンは遺伝的に相加的で、親とその F_1 の関係をうまく説明できた。

耐倒伏性の強い交雑品種「ワセホマレ」の構成自殖系統「T₀15」は「引倒し法」によって選抜育成され、また、他の3自殖系統も簡便かつ有効に評価された。

I 緒 言

トウモロコシの倒伏は受光態勢を含む同化転流機構の悪化と機械収穫損失率に与える影響が大きいので耐倒伏性は品種育成上、最も重要な形質の1つとして位置づけられている。

作物の倒伏には4つの型があり、そのうち挫折型、転び型、及びわん曲型の3つがトウモロコシにみられる⁷⁾。トウモロコシの耐倒伏性検定法ないし評価の仕方にはいくつかあり、それぞれは倒伏型に特徴的な固有の精度をもっている^{2,3,4,5,6,8,9)}。従って一般的に1つの検定法によって、多様な耐倒伏性を検定するには無理がある。しかし、問題は、これまで少なくとも5つ以上ある検定法が、

わが国で実際の育種上にほとんど利用された例がないことにある。この原因は、これまでの検定法が数量化を主なねらいとして測定機具を利用するために圃場では利用困難なこと、また検定によって作物体を破壊するために検定後の個体を維持できないことにあった。特にこうした理由から、自殖系統育成の際の個体選抜には利用することが不可能であった。

以上のことから、圃場で簡単に検定でき、また検定した個体が維持採種され、世代を継続できることを前提にして「引倒法」を考案した。この方法は1967年以降、実際の育種上に利用してきたが、かなり有効であることが認められたので報告する。

II 検定方法

図1に検定方法を示した。まず、雄穂の下部付近を手で掴んで、弧を描くように地表に向けて引倒し、次いで地表近くで離す方法である。この過

1978年12月15日受理

* 本報の一部は日本育種、作物学会北海道談話会講演会(1978)で発表した。

** 北海道立十勝農業試験場、河西郡芽室町

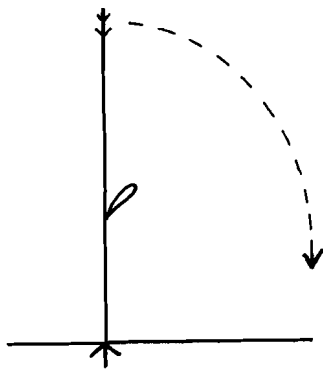


図1 検定の方法

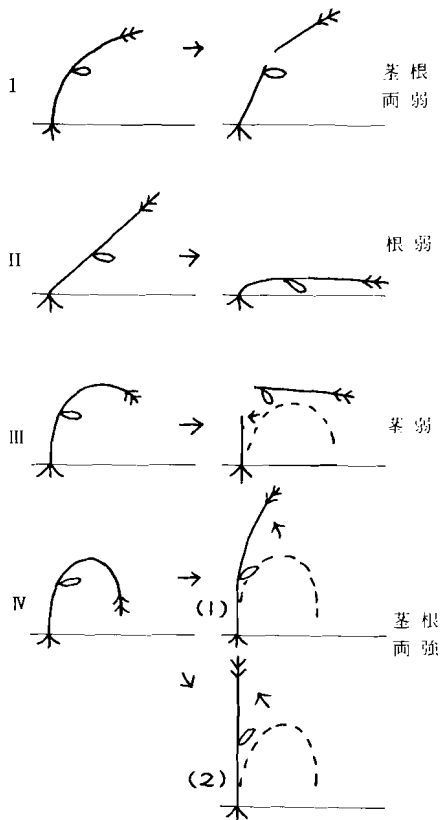


図2 検定の引倒パターン

程及びその後の状態によって、図2に示すように、「I」～「IV」のパターンに区分し、それによって強弱を判定する。

「I」は引倒しの最初の段階で茎部が折れ、同時に根も被害をうけるので、折れた後の下位茎は傾斜したままである。わん曲型の倒伏の多い品種、

系統がこのパターンに入る。

「II」は引倒しにより、根系が折損するものの、地上部がほとんど影響を受けないので、地上部が真直の状態地表に接する。転び型の品種系統が、このパターンに入る。

「III」は、根は強いが、茎が弱いからために、引倒しの途中で茎部が折れる。折損後の下位茎は根が強いから直立している。わん曲型で倒伏発生の著しい場合に挫折型のみられる品種、系統が、このパターンに入る。

「IV」は地表面までの引倒しに耐え、引倒し後は元の状態に直立、または直立に近い状態に戻る。根は強く、茎は強靱である。引倒し後の状態によって、2つに区分できる。1つは引倒し後にやや曲った状態に戻る「IV-1」、他は引倒し前と同じ状態で完全に直立する「IV-2」である。前者は茎が柔らかいことによって、「III」よりも「IV」に入ったパターンと考えられる。

III 試験結果と考察

1. 引倒パターンと圃場倒伏

表1は引倒しパターンと各パターンに属する自殖系統について、これまで倒伏のみられた4ヶ年間の倒伏個体発生割合を示した。

「I」と「II」に属する自殖系統のほとんどは、他のパターンよりも倒伏個体割合が多く、特に1972年と1975年は、50%以上の値を示す系統が多かった。

「III」では、1967年は倒伏皆無、1970年と1972年には若干倒伏するものが認められ、1975年には「I」と「II」より少ない50%前後の値を示した。

「IV」は倒伏発生の著しい1975年のみに倒伏がみられ、またこの年次においても倒伏の認められない系統があった。

表2は、同様にして、実際に栽培されている交雑品種を引倒しパターンにより、倒伏個体割合を示したものである。自殖系統の場合と同様に、パターンと倒伏個体割合はかなりパラレルであることが認められる。

2. 自殖系統とその交雑品種に現れる検定パターン、倒伏、及び引倒し力

表3には自殖系統及び交雑品種について、倒伏、引倒しパターン、及び引倒し力を示した。ここでいう引倒し力とは、「引倒し法」によって程が地表

表1 自殖系統の引倒しパターンと倒伏個体割合(%)

パターン	自殖系統名	1967	1970	1972	1975
I 型	Co 50	80			
	ND 283	40	50		
	W 9	0	30	60	100
II 型	A 171	10	10	90	100
	CM 39	40	5	30	100
	N 19	0	0	20	50
	N 21	100	40	30	100
	N 138	0	0	40	50
	Q 709			100	
	W 22			20	
	W 28	0	20	90	
	W 182B	80		100	
	WD	40			60
III 型	F 7			40	50
	T 6	0	20	20	80
	W 25	0		0	50
	W 79A	0	0	20	60
	W 401	0	0	0	50
	W H	0		0	50
IV-1 型	A 509	0	0	0	40
	CM 7	0	0	0	
	RW 11				30
	RB 262				0
	To 15		0	0	70
	W 401	0	0	0	50
IV-2 型	CM 37	0	0	0	40
	CM 38	0	0	0	
	CMV 3	0	0	0	10
	RV 37	0	0	0	40
	W 41A	0	0	0	50
	W 55	0	0	0	
	W 59E	0	0	0	0

近く倒されるまで、または折損するまでに至る最大荷重を特殊バネ秤で測定してえたものである。前項と同様、材料の引倒しパターンと倒伏個体割合との間には正の相関関係が認められた。

引倒し力と倒伏個体割合との関係は自殖系統間ではほとんど認められないが、交雑品種間だけみると、両測定値間の関係は負の傾向を示した。また、自殖系統と交雑品種を合せるとほとんど関係が認められなかった。

表2 交雑品種の引倒しパターンと倒伏個体割合(%)

パターン	品種名	1973	1975	1976	1977	1978	平均
I 型	ホクユウ	6	90	8	32	73	56
II 型	Jx 844	3	90	5	40	27	33
III 型	ヘイゲンワセ	8	77	7	12	12	23
	C 535	1	80	—	11	30	31
IV 型	ワセホマレ	2	67	0	2	8	16
	W 537	3	70	0	10	—	21
	P 3715	0	63	3	11	7	17

図3は、生体重、秤表、及び両測定値により重みづけをした引倒し力の指数と倒伏個体割合の相関関係を示したものである。生体重及び $\sqrt{\text{生体重} \times \text{秤長}}$ で重みづけした引倒し力と倒伏個体割合の間に0.1%水準の有意な相関係数が推定されたが、秤長によった場合は有意でなかった。

有意な相関関係を示した2つの指数のうち、交雑品種と自殖系統の引倒し力/ $\sqrt{\text{生体重} \times \text{秤長}}$ は倒伏個体割合とよく合致した。しかし、引倒し力/生体重、及び図示しなかったが引倒し力/生体重 $\times$ 秤長の交雑品種における値が自殖系統よりも低く示された。以上の範囲内において、自殖系統とそのF₁における親子関係をみるには引倒し力/ $\sqrt{\text{生体重} \times \text{秤長}}$ が適当と推察された。

表4には「ワセホマレ」、「ヘイゲンワセ」、及びその構成自殖系統等について、倒伏個体割合、引倒しパターン、引倒し力、及び引倒し指数を示した。

まず、「ワセホマレ」の倒伏個体割合についてみる。種子親「SC・A」では弱い親の「N19」とはほぼ同じになり、花粉親「SC・B」ではいずれも倒れていない。また、「ワセホマレ」自身、「DC・(A $\times$ B)」は数字としては両親の平均以下の値を示した。これらについて、倒伏個体割合の持つ範囲の大きいことと、0%を示す材料にも耐倒伏性の品種差異があることを考慮すればF₁に現れる倒伏個体割合はほぼPまたは弱い親に近い値と考えられる。

引倒しパターンのF₁に現れる自殖系統も概ねPで示され、倒伏発生個体割合とかなりよく対応した。

親子関係を説明する上で、比較的適当と思われる引倒し力/ $\sqrt{\text{生体重} \times \text{秤長}}$ は単交配までは説明

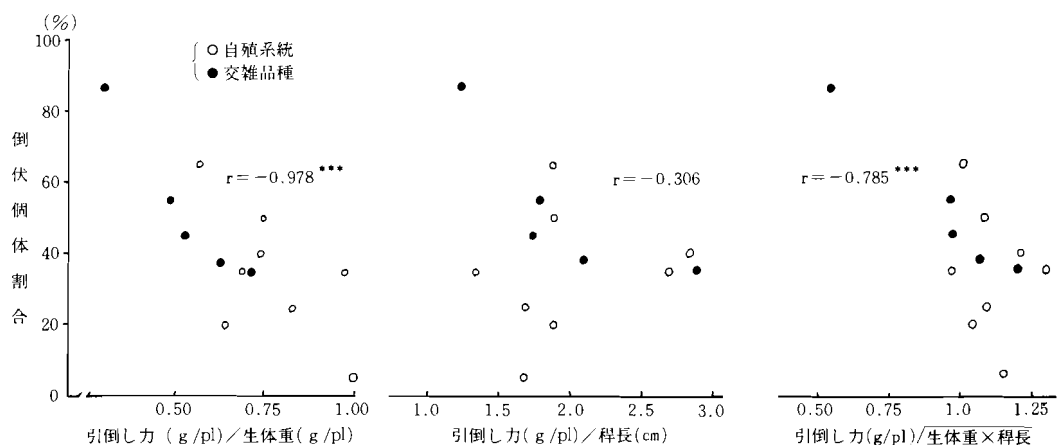


図3 倒伏と重みづけをした引倒し力

表3 引倒しパターンと倒伏, 引倒し力, 及び個体の大きさ

材 料		パターン	倒伏個体割合(%)			引倒し力* (g/pl)	稈 長* (cm)	生体重* (g/pl)
			1975	1972	平 均			
自 殖 系 統	N 21	II	100	30	65	350	186	610
	N 19	"	50	20	35	200	148	290
	T 6	III	80	20	50	300	155	400
	W 79A	IV	60	20	40	350	123	470
	To 15	"	70	0	35	400	147	410
	W 41A	"	50	0	25	200	116	240
	CM 37	"	40	0	20	250	130	390
	CMV 3	"	10	0	5	250	148	250
交 雑 品 種	ホ ク ユ ウ	I	90	73*	87	350	276	1,180
	ヘイゲンワセ	III	77	12	45	400	229	750
	C 535	"	80	30	55	450	252	910
	ワセホマレ	VI	67	8	38	500	236	800
	P 3715	"	63	7	35	850	297	1,200

注: *は1978

できるが、 $DC \cdot (A \times B)$ では値が大きすぎた。引倒し力と他の2つの指数、引倒し力/生体重及び引倒し力/稈長は表中の()に示すように、 F_1 の値はPの0.5~2.0倍の値を示し、ほとんど倒伏個体割合を説明できなかった。

次に、「ヘイゲンワセ」について述べる。「ワセホマレ」の場合と同様に、倒伏個体割合はPまた

は弱い親に近い値が示された。これに引倒しパターンを対応させると、W79Aのパターンが1ランク低いだけでよく合致した。引倒し指数及び引倒し力は「ワセホマレ」以上に多様な値を示して、倒伏個体割合の親子関係とほとんど対応できなかった。

表4 2つの複交配種の倒伏、引倒しパターン、その他の親子関係

材 料		倒 伏 個 体 割 合				引 倒 し パターン	引倒し力	引 倒 し 指 数 A	引 倒 し 指 数 B	引 倒 し 指 数 C
		反 復			平 均					
		1	2	3						
ワ セ ホ マ レ	N19	25	20	20	22	II	200	.69	4.7	.97
	To15	0	0	0	0	IV	400	.98	6.6	1.63
	N19×To15	40	20	25	28	III	350 (117)	.47 (56)	2.1 (37)	.86 (75)
	CM37	0	0	0	0	IV	250	.64	4.9	1.11
	CMV 3	0	0	0	0	IV	250	1.00	6.8	1.11
	CM37×CMV 3	0	0	0	0	IV	500 (200)	.79 (96)	3.8 (65)	1.38 (115)
	N19×To15、 CM37×CMV 3	10	10	0	7	IV	500 (118)	.63 (100)	2.7 (92)	1.15 (103)
ヘ イ ゲ ン ワ セ	W41A	0	0	0	0	IV	200	.83	7.2	1.20
	W79A	0	0	0	0	III	350	.75	6.1	1.46
	W41A×W79A	0	0	0	0	IV	250 (91)	3.2 (41)	1.7 (25)	.66 (50)
	N19	15	10	15	13	II	200	.69	4.7	.97
	CM 7	0	0	0	0	IV	200	.59	3.8	.87
	N19×CM 7	20	20	15	18	III	450 (225)	.62 (97)	2.8 (66)	1.12 (122)
	W41A×W79A、 N19×CM 7	20	10	20	17	III	400 (114)	.53 (113)	2.3 (102)	.97 (109)

1. 引倒し指数A=引倒し力(g/pl)/生体重(g/pl)
 " B=引倒し力(g/pl)/稈長×生体重(cm×g/pl)
 " C=引倒し力(g/pl)/√稈長×生体重(cm×g/pl)
 2. ()はp 対比%

IV 論 議

F₁に示されるトウモロコシの耐倒伏性は両親の中間か弱い方の親に近い値を示すといわれている。筆者は1967年の品種間ダイアレルクロスの結果から、耐倒伏性における遺伝的な相加性の重要性をえている(未発表)。従って、耐倒伏性の強い一代雑種の育成には、耐倒伏性の強い自殖系統を育成する必要がある。このためには、耐倒伏性の強い自殖系統の選定や育成過程において、理想的には全世代において評価される必要がある。しかし、倒伏はいつの世代でも発生すると期待できず、また栽培条件によって極端に左右されるという特異な面をもっている。こうしたことから、耐倒伏性を間接的に評価する方法として、これまで、稈基重、稈径および稈壁の厚さ、挫折荷重、根系の

大小又は根量、稈の曲げ強度、引抜き抵抗、および倒伏指数等が発表されてきた。

しかし、これらの検定法は、育種の場、特に自殖系統育成上に利用されることはなかったと思われる。その原因は緒言に記した通りである。

優良な自殖系統を育成するには、一般的には育成規模を大きくすることが望ましいが、この育成規模を左右するのが交配個体数である。従って、交配時あるいは交配時まで有効な選抜淘汰が行えるのであれば、交配個体をそれだけ少なくすることができ、育成規模を拡大することなしに育種事業が遂行できる。この点で、「引倒し法」は耐倒伏性の強い自殖系統育成に有効に利用されてきた。また、この方法は数秒間のうちに評価が可能であるので、他の組合せや保存に関する交配作業、開花調査等が重複している場合にも、時間的にほと

んど無理なく利用できた。しかしながら、系統によっては登熟期間中に耐倒伏性や引倒しパターンが大きく変化するものがあり、このため、筆者は交配個体数を収穫予定数より多くし、1972年からは約1.5倍、1976年からは約2.5倍とし、収穫までに数度の検定淘汰を繰り返してきた。

「引倒し法」の利用上の問題として、稈長の長い F_1 などでは応用し難いことがある。これは引倒しの範囲が大きくなるために、スムーズに引倒しができないからである。従って、自殖系統の育成及び選定には「引倒し法」を用い、 F_1 の評価は圃場における倒伏個体割合によることにした。

耐倒伏性の強い複交配一代雑種「ワセホマレ」の構成自殖系統である「Tol5」は、「引倒し法」によって選抜育成され、耐倒伏性の点で劣るといわれる北方型フリント種の中でデント種なみの強い耐倒伏性をもっている。また、「CM37」及び「CMV3」も「引倒し法」によって極く強いと判断されたデント種の自殖系統である。「ワセホマレ」自身は多くの圃場試験により、輸入品種を含む早熟性品種中では最も耐倒伏性の強い品種である¹⁾。

F_1 に現れる引倒しパターンは概ねPとなり、圃場における倒伏個体割合とかなり良く合致した。しかし、引倒し力における F_1 とその親の関係はもとより、個々の材料の引倒し力と倒伏個体割合とも合致しなかった。また、稈長及び個体当り生体重で重みづけをした引倒し指数では、自殖系統及び交雑品種個々の倒伏個体割合とは概ね合致したが、 F_1 と構成系統の関係を説明するには無理があった。つまり、計器利用による測定値は複雑な耐倒伏性を評価するには要因を除去し過ぎていると考えられる。例えば、5つの計測値による判別式²⁾の場合でさえ、耐倒伏性の序列とかなり異なる材料がみられている。

こうした点からみると、「引倒し法」は多分に感覚的な要素をもっているが、各々の引倒しパター

ンは多数要因の集積された結果であると考ええる。そして、このことが圃場における倒伏個体割合と引倒しパターンが合致し、実際の自殖系統育成上にも有効に利用できたものと推察される。

引用文献

- 1) 楠引英男, 仲野博之, 桑島昭吉, “サイレージ用トウモロコシ新品種「ワセホマレ」の育成について” 北海道立農試集報, 41, 91—103 (1979).
- 2) 源馬琢磨, 釣岡勉, “トウモロコシ耐倒伏性程度の一指標” 日本育種・作物学会北海道談話会会報, 13, 50 (1973).
- 3) 谷信輝, 鈴木義則, “トウモロコシの倒伏” 農業気象, 23(1), 31—32 (1967).
- 4) Zuber, M.S. and Grogan, C.O. “A new technique for measuring stalk strength in corn”. Crop Sci. 378—380(1961).
- 5) 仲野博之, “トウモロコシの耐倒伏性に関する研究, 1, 根系の自殖系統間差異” 日本育種・作物学会北海道談話会会報, 13, 48 (1973).
- 6) Crane, P.L., Efrain, Diaz B., Jesus A. Rivera G. and Julio C. Toro M. “Stalk strength of strains of maize of Colombia, Ecuador, and Venezuela as measured by rind thickness” Crop Sci. 6, 210—212, (1966).
- 7) 宮坂昭, “作物の倒伏と根—作物の形態と機能” 農業技術, 29(3), 107—112 (1974).
- 8) Musick, G. J., Fairchild, M.L., Ferguson, V.L. and Zuber, M.S. “A method of measuring root volume in corn (*Zea mays* L.)” Crop Sci. 5, 601—602 (1965).
- 9) Loesh, P.J., Calvert, O.H., and Zuber, M.S. “Interrelations of Diplodia stalk rot and two morphological traits associated with lodging of corn” Crop Sci. 2, 469—472 (1962).
- 10) ————Zuber, M.S. and Grogan, C.O. “Inheritance of crushing strength and rind thickness in several inbred lines of corn.” Crop Sci. 3, 173—174 (1963).

A Simple Method of Testing Lodging Resistance of Maize

Hideo KUSHIBIKI*

Summary

Various methods to evaluate lodging resistance of maize have been proposed. However, none of those methods can be applied to the program for developing resistant breeds. We have devised "Bow Pulling Method" and applied to the breeding of maize since 1967. The method is simple and useful in fields and gives no permanent harm to the plant tested and its progenies.

In the "Bow Pulling" test, the understem immediately below the tassel of test maize is grasped, pulled to the ground as if drawing a bow, and ungrasped near the ground. The behavior of the test maize during the "Bow Pulling" and after undergrasping can be classified into four to five pattern and the lodging resistance of the plant can be estimated accordingly.

The results of testing several inbred lines and hybrids by this test correlate positively with natural lodging records in fields for some years. The patterns resulting from this test are genetically additive, and the relation of constituent inbred lines to hybrids can be explained well by the patterns of lodging rates.

"To 15", a lodging-resistant inbred line constituent of "Wase-homare" was selected based on the "Bow Pulling" test. Three other inbred lines could also be successfully evaluated by this test.

The "Bow Pulling Method" cannot be applied to hybrids of high stem. Thus, we recommend to use the "Bow Pulling" test to inbred lines and the natural lodging test in fields to hybrids in the breeding of system having high lodging resistance.

* Hokkaido Prefectural Tokachi Agricultural Experimental Station, Memuro, Hokkaido, 082, Japan.