

# 7. とうもろこしの耐性育種の成果と展望

千藤茂行\*

## 1. 耐冷性育種

### 1) 背景

北海道の道東・道北地域のとうもろこしは、4～5年に1回の割合で冷害に遭遇する。これら冷害は、十勝農試のデータでみると、a生育期間を通して低温・寡照・過湿に経過する場合(1993年など)、b生育前～中期(出穂期頃まで)にかけて低温・寡照・過湿に経過する場合(1983年など)、c生育の後半(出穂期頃から登熟期)に低温・寡照・多雨に経過する場合(1980年)の3つに大別され、bの場合が最も多い。いずれの場合も生育が遅延し、登熟が遅れ、減収と品質低下をもたらすので、耐冷性の向上は重要課題である。

### 2) 冷害年のとうもろこしの生育の特徴

十勝農試では、指定試験が置かれて以降、主な冷害年には、生育・収量解析を行っており、その結果を要約すると以下の通りである<sup>1,2,3)</sup>。

上記a、bのように絹糸抽出期以前に低温・寡照・過湿に遭遇した場合、低温・寡照の程度が強くと長期に渡るほど、生育の遅延、絹糸抽出期の遅れ、登熟不良の程度は大きくなる。この場合、茎葉の生育は徒長気味となり、茎が細くなり、低温・寡照・過湿の程度が強いほど、特に、過湿傾向が強いほど茎葉の生育量は著しく抑制され、矮小化する。また、雌穂は登熟が遅れ、先端不稔が発生し、過湿傾向が強いと雌穂の矮小化や無雌穂の発生する場合もある(表1)。

一方、cの絹糸抽出期頃から登熟期にかけての低温・寡照・多雨によって、受粉が阻害され雌穂のぬめけ状不稔や先端不稔を発生し、また、登熟が遅延し減収する。

これに対して、十勝農試では昭和40年代、50年代に、人工気象室を用いて自殖系統およびF<sub>1</sub>雑種に対し生育の各ステージに低温処理(9.5～12°C、10日間)を行い、低温の生育・収量への影響について研究を行った<sup>4,5,6)</sup>。その結果、幼穂形成期における低温処理によって、下位節

は上位節に比べて、莖部は葉部に比べて、節間径は節間長に比べて、それぞれ乾物重の減少が大きかった。また、上位節の節間長は供試材料によってはむしろ低温処理で長くなった。このことから、全体として徒長気味の秆となり、倒伏しやすくなること、栄養体より雌穂特に子実重への影響が大きく、F<sub>1</sub>雑種と自殖系統を比較すると自殖系統の方がそれら形質の影響を受ける程度は大きいこと、また、収量に対する影響では、低温発芽性の高い系統は影響が小さいことなどを明らかにした。上記の研究成果は低温処理によって冷害年の生育状況に類似した状況が再現できることを示している。また、表2に示すように生育時期別の低温(9.5°C)10日間処理に対する反応を明らかにし、遅延および子実の減収程度からみると幼穂形成期頃が最も低温感受性が高く、次いで絹糸抽出期前後、登熟期の順で、幼苗期は生育の遅延は最も大きい回復するので、子実収量の影響という点では、感受性が小さいことを明らかにした。

### 3) 冷害克服のための育種の基礎研究

冷害を克服する育種戦略として、十勝農試では品種の早生化、耐冷性の強化の観点から研究を行ってきた。以下にそれらの具体的な研究成果を述べる。

#### (1) 早生化

冷害による登熟不良を回避するには、サイレージ用とうもろこしでは霜のおりる前に黄熟期に達する早熟な品種の育成が有効である(図1)。櫛引は、北海道各地の10年間の5月1日～10月5日の平均気温(0.1°C以上)の積算温度にもとづいて、6段階の地帯区分を行い、それぞれの地帯において平年的に刈取時に安定して黄熟期に達する早熟な品種の指針を与えた<sup>7)</sup>。これは、冷害年においても黄熟期かこれに近い熟度に達する早熟な品種の育種と作作品種の選定に対しての指針となった。

早晩性の指標としては、絹糸抽出期の早晩が最も普通に使用される。絹糸抽出期は、比較的少数の遺伝子の関与する量的遺伝形質であり、F<sub>1</sub>雑種の絹糸抽出期について、F<sub>1</sub>は早い親自殖系統に同じか、両親より早まることが知られている<sup>8)</sup>。十勝農試では、このヘテロシスの発現については、図2に示すように両親の絹糸抽出期の差が

\*北海道立十勝農業試験場  
とうもろこし育種指定試験地

およそ1週間より大きいと、ヘテロシスは早い親に近く、両親の差が1週間以内であると早い親よりさらに早まり、組合せによっては7~10日早まる傾向があるとする成績を得た(未発表)。即ち、極早生を作出するためには、両親とも絹糸抽出期が早く、その差も1週間以内の自殖系統を組合せることが効果的であり、早熟な自殖系統を数多く作出することが重要と考えられる。

しかし、早生化に伴う問題点は、気象良好年においては、早生化により収量性が低下することである(図1)。この打開策としては、異なる来歴に由来する早熟で組合せ能力の高い自殖系統を育成することが重要である。

(2) 耐冷性の向上

とうもろこしの耐冷性として問題になるものは、低温発芽性、低温生長性(幼穂形成期以前、幼穂形成期、絹糸抽出期前後)、減数分裂期の障害抵抗性、登熟期の霜害抵抗性である。このうち低温発芽性及び低温生長性をここではとりあげる。

a 低温発芽性

既に低温土壌下でのとうもろこし発芽性の差異は、フ

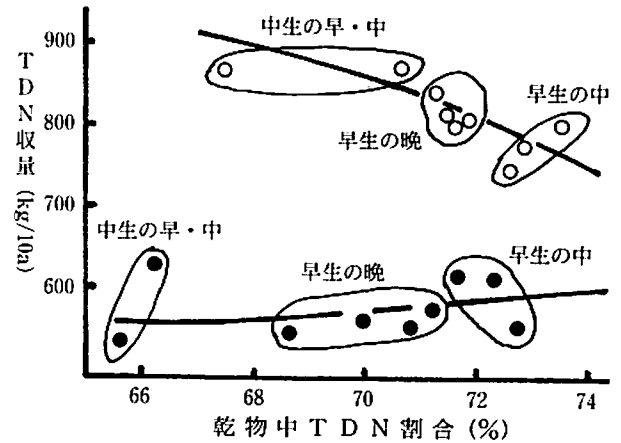


図1 サイレージ用早晩生品種の冷害年における収量性と品質

○：気象良好年(1994年)  
●：冷害年(1993年)

表1 冷害年(1993年)における十勝地方の地帯別のとうもろこし作況

調査地 <sup>1)</sup>	収穫時熟度 <sup>2)</sup>		絹糸抽出期(月日)			乾総重(kg/10a)			乾雌穂重(kg/10a)		
	1993	平年	1993	平年	比較	1993	平年	比率	1993	平年	比率
中部											
芽室町	7.0	8.0	8.14	8.1	13	941	991	95	422	498	85
山麓											
鹿追町	7.0	8.0	8.20	8.3	17	947	995	95	468	545	86
新得町	5.5	7.5	-	-	-	676	900	75	316	504	63
足寄町	6.5	8.0	8.19	8.7	12	740	1089	68	263	551	48
平均	6.3	7.8	8.20	8.5	15	788	995	79	349	533	66
沿海											
更別村	2.5	8.5	8.20	8.4	16	924	1100	84	283	538	53
忠類村	5.5	7.5	8.23	8.7	16	709	1099	65	295	573	52
浦幌町	2.5	8.5	9.3	8.11	23	571	1081	53	165	504	33
平均	3.5	8.2	8.26	8.7	18	735	1093	67	248	538	46

注1) 芽室町は十勝農試生産力検定試験、新得町と忠類村は十勝農試現地選抜圃生産力検定試験、その他は奨決現地試験の成績である。

2) 収穫時雌穂熟度 2:乳中、3:乳後、4:糊初、5:糊中、6:糊後、7:黄初、8:黄中、9:黄後。

3) 比較は平年との差(日)、比率は平年対比(%)である。

表2 生育各期の低温処理の生育・収量への影響(櫛引、1965)

処理時期	絹糸抽出期の 日数遅延(日)		稈長 <sup>3)</sup> (%)		乾総重 <sup>3)</sup> (%)		子実重 <sup>3)</sup> (%)	
	WM13R	W41A	WM13R	W41A	WM13R	W41A	WM13R	W41A
稚苗期	-5	-8	117	102	97	85	85	77
幼穂形成期	-4	-11	113	101	79	38	71	28
絹糸抽出期	+3	0	98	100	83	69	77	55
登熟期	0	+1	96	99	83	82	78	67
無処理	0	0	100	100	100	100	100	100

注1) 処理は9.5°C、30,000 Luxで10日間。試験は4反復で実施。

2) 供試材料はWM13R、W41Aともデント種の自殖系統である。

3) 表中の数字は無処理対比。

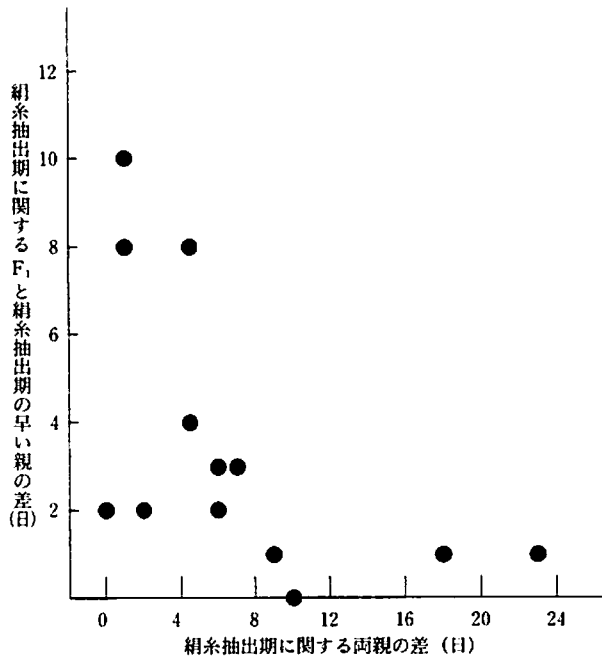


図2 親糸抽出期に関する両親の早晩生とヘテロシスの関連

ザリウム菌などの土壌菌に対する種子の抵抗性の差異によることが知られ、その検定法が確立されていたが<sup>9,10</sup>、十勝農試では土壌菌にたいする種子消毒の普及した状況では、土壌菌のない条件下での種子本来の低温発芽性が育種上重要であることを示した<sup>11</sup>。また、この種子本来の低温発芽性についての検定法を確立した<sup>12</sup>。即ち、低温発芽性は次式の比較低温発芽勢で示される。

$$\text{発芽勢 (\%)} = \frac{\text{低温条件下 (10°C) の発芽率}}{\text{常温下の発芽率}} \times 100$$

比較低温発芽勢は圃場発芽率との間に  $r=0.6\sim 0.9$  の統計的に有意 (1%水準) な相関関係がある。

本形質の F<sub>1</sub> に示される変異の遺伝分析については、

既に、相加的効果、優性効果及び両者の相互作用による部分が大きいこと及び選抜によって発芽性が改良されることが報告されている<sup>13,14</sup>。これに対し、十勝農試では低温発芽性の検定法を用いて、育成品種「ワセホマレ」、「ヘイゲンワセ」の8つの構成自殖系統、4つの構成単交配とそれらの F<sub>2</sub> 集団に対して、低温発芽性の遺伝様式を検討した<sup>15</sup>。その結果、低温発芽性については、F<sub>1</sub> は低温発芽性に優れた親自殖系統並かそれを上回るヘテロシスを示すことから、F<sub>1</sub> の交配組合せに当たっては、少なくとも片親に低温発芽性の高い自殖系統を用いることが有効であること、また、本形質は比較的少数の遺伝子によって支配される量的形質であること、親子相関が統計的に有意であり (表3)、また、実際、初期世代での選抜効果が高いこと等を明らかにした (表4)。

b 低温生長性 (幼苗期・幼穂形成期)

低温生長性は、低温条件 (8~15°C) での乾物重を検定指標とすると有効であることが知られている<sup>16,17</sup>。

十勝農試においても、低温生長性は低温年の3~7葉期の草丈、乾物重の測定によって検定できることを示し、また、低温生長性に関して自殖系統単交配に示される

表3 低温発芽性に関する親子相関及び初期生長との関連

交配組合せ	世代	比較低温発芽勢の親子相関		低温発芽性と初期生育との相関
		F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	
N19 × CM7	F <sub>2</sub>	0.80**		-0.05 <sup>2)</sup>
	F <sub>3</sub>		0.62**	-0.36 <sup>3)</sup>
W41A × W79A	F <sub>2</sub>	0.58**		0.07 <sup>2)</sup>
	F <sub>3</sub>		0.84**	0.33 <sup>3)</sup>

注1) \*\*: 1%水準で統計的に有意  
2) F<sub>3</sub>系統の初期生育  
3) F<sub>4</sub>系統の初期生育

表4 低温発芽性に関する選抜効果

交配組合せ	選抜 <sup>1)</sup> 方向	選抜 <sup>1)</sup> 系統数	F <sub>3</sub> 種子比較低温発芽勢 (%)	圃場発芽率11日目 (%)	F <sub>4</sub> 種子の比較低温発芽勢 (%)	F <sub>3</sub> 系統の初期生育		
						乾物重 (mg/個体)	草丈 (cm)	
							4葉期	8葉期
N19 × CM7	高	12	99.6 <sup>2)</sup>	65.0 <sup>2)</sup>	53.0 <sup>2)</sup>	114 <sup>2)</sup>	15.2 <sup>2)</sup>	37.2 <sup>2)</sup>
	低	10	24.2	50.4	15.8	110	15.2	40.7
	差		75.4**	14.6**	37.2**	4	0	-3.5
W41A × W79A	高	12	99.2	69.4	55.2	123	15.7	36.7
	低	9	44.8	51.3	32.1	119	15.5	34.4
	差		54.4**	18.1**	23.1**	4	0.2	2.3

注1) F<sub>3</sub>種子について比較低温発芽勢により高、低両方向に選抜。  
2) 表中の数字は選抜系統の平均値。  
3) \*\*: 1%水準で系統的に有意。

ヘテロシスは、両親を明らかに越えるほど大きいことを示した<sup>15)</sup>。

#### c 低温発芽性と低温生長性の関連

低温発芽性と低温生長性の関連については、密接な相関関係がみられず独立の関係にあること、北方プリント種は両形質に優れたものが多く、デント種は変異が大きいことが知られている<sup>18)</sup>。十勝農試においても、両形質の相関関係について、N19×CM7、W41A×W79Aの2組合せのF<sub>2</sub>、F<sub>3</sub>、F<sub>4</sub>世代を用いて検討した結果、遺伝相関はまったく認めず、独立の関係にあることを確認した(表3)。従って、両形質についての選抜により、両形質の同時的向上も可能である<sup>15)</sup>。

#### d 低温処理後の回復生長性

十勝農試では、自殖系統16点を用いて、3～7葉期に低温処理(10～12°C)を8日間行った後の、常温における回復生長性(日当の乾物重増加量)を調査した<sup>19)</sup>。その結果、この形質で自殖系統間で差異が認められ、低温処理後の回復生長性と種子の粒大との間に1%水準で統計的に有意な相関のあることが認められた。この傾向は、各自殖系統内の大粒種子と小粒種子との間にも認められた。このことから寒暖の繰り返される寒冷地では、耐冷性品種の育種には大粒種子の選抜が必要なことが示された。

### 4) 早生化及び耐冷性育種の成果

#### (1) 自殖系統育成

十勝農試では、これまで耐冷性の育種母材として、明治年間に北米から導入され北海道に適応した北方プリント種を活用してきた。

F<sub>1</sub>雑種の親となる自殖系統の育成では、低温発芽性、低温生長性の選抜を行って、早熟で耐冷性の強いプリント種自殖系統を多数育成してきた。この中で「To15」、「To38」は特に低温発芽性、低温生長性に優れた耐冷性

の強い系統である<sup>20)</sup>。また、十勝農試では1981年～1987年に実施した大型プロジェクト研究「グリーンエネルギー計画」の中で、寒地における高能力自殖系統の作出のためには、低温発芽性、低温生長性の優れた自殖系統を育成することが重要であるとして、「ハイゲンワセ」、「ワセホマレ」の構成単交配4組合せを育成母材にして両形質について同時選抜を5世代重ねて、両形質の特に優れた早熟で耐冷性の北方プリント種自殖系統「To76」、「To77」、「To78」、「To79」を育成した(表5)<sup>21)</sup>。このうち「To77」は、耐倒伏性、組合せ能力にも優れることから、早熟・耐冷性のF<sub>1</sub>品種育成の母本として活用されている。

#### (2) 新品種育成

早生化については、先述した「To15」、「To38」を利用して育成したサイレージ用の「ワセホマレ」(1978年育成)、「ダイハイゲン」(1983年育成)、「ヒノデワセ」(1985年育成)はいずれも早生で、特に、「ヒノデワセ」は極早生として育成されたが、現在でも最も早熟な部類に属する<sup>22,23,24)</sup>。現在、奨励品種決定現地試験に供試しているサイレージ用の「道交S16号」、「道交S17号」は「ヒノデワセ」並かやや早く、輸入品種と比べても最も早い熟期の系統である。

耐冷性品種育成では、先述した「To15」、「To38」を利用して、現在の栽培品種(F<sub>1</sub>)の中では最も耐冷性に優れた「ワセホマレ」、「ダイハイゲン」、「ヒノデワセ」を育成した<sup>22,23,24)</sup>。「ワセホマレ」、「ダイハイゲン」、「ヒノデワセ」は、いずれも早生で耐冷性が強いいため、1983年、1993年の大冷害において、他の輸入品種が絹糸抽出期の遅延、熟度の遅延、乾子実重の減収、TDN収量の減少を来すなかで冷害の影響をある程度軽減することができた(図3)<sup>23)</sup>。「ワセホマレ」、「ダイハイゲン」、「ヒノデワセ」は、昭和50年代に道東・道北におけるサイレージ用とうもろこしの早生化と作付け面積の拡大に多大の

表5 育成系統の低温発芽性と初期生長性

系統名	比較低温発芽勢 (%)			4葉期乾物量 (g/個体)			6葉期草丈 (cm)		
	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	平均	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	平均	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	平均
To76	88.0	92.0	90.0	230	345	288	21.0	24.0	22.5
N19 <sup>1)</sup>	15.9	14.5	15.2	200	357	279	17.8	19.2	18.5
To15 <sup>1)</sup>	45.5	48.0	46.8	185	325	255	17.8	22.4	20.1
To77	87.5	52.3	69.9	230	530	380	22.3	30.6	26.5
To78	87.5	91.4	89.6	200	340	270	20.8	23.5	22.2
To79	92.5	64.0	78.3	220	325	273	21.5	23.7	22.6
To15 <sup>1)</sup>	45.5	48.0	46.8	185	405	295	17.8	21.2	19.5
To31 <sup>1)</sup>	20.3	54.0	37.2	170	235	203	19.0	20.8	19.9

注1) 自殖系統育成における育種母材となった両親系統。

2) いずれの系統も北方プリント種である。

3) S<sub>1</sub>、S<sub>2</sub>は自殖世代を示す。

は早熟で耐冷性の最も強い「ワセホマレ」などの十勝農試育成品種でも不十分である。熟期的には「ヒノデワセ」より5～7日早い極早生で、耐冷性は「ワセホマレ」より一層強い品種が必要である。

早生化については、先述したように早生化と収量性の間には密接な相関関係があるため、実用的な極早生品種を育成するには、その相関を打ち破らなければならない。その方策としては、粒質など由来の異なるグループの各々において、早生・耐冷性で組合せ能力の高い高能力自殖系統を育成することである。

現在、サイレージ用では、多収性をねらうためF<sub>1</sub>組合せの片親としてヨーロッパフリント種やデント種の高能力自殖系統の育成に力を注いでいる。これらヨーロッパフリント種、デント種は耐冷性が北方フリント種より劣り、これらを用いた早生の耐冷性品種育種の障害となっている。ヨーロッパフリント種、デント種の自殖系統の耐冷性の強化が必要であるが、このためには、実際の観点からすると、北方フリント種の耐冷性因子を導入するよりも、北方フリント種以外の耐冷性遺伝資源を利用することが理想的である。しかし、そのような耐冷性の遺伝資源についての知見は不十分である。

現状では、遠縁系統間のF<sub>1</sub>にヘテロシスが出やすいことを考慮すると、ヨーロッパフリント種やデント種に北方型フリント種のもつ耐冷性因子のみを導入するには数回に及ぶ戻交雑を通して導入しなければならない。

現状のところ、ヨーロッパフリント種、デント種の自殖系統の耐冷性の強化は、北方フリント種を交配する系統育種法により実施されており、デント種の改良も含めて戻し交雑法の適用が今後の課題である。

北方フリント種自殖系統については、既に高水準に達しているが、「To 15」、「To 38」、「To 77」などの自殖系統を母材に集団改良を実施し、さらに耐冷性遺伝子の集積を図ることも重要である。

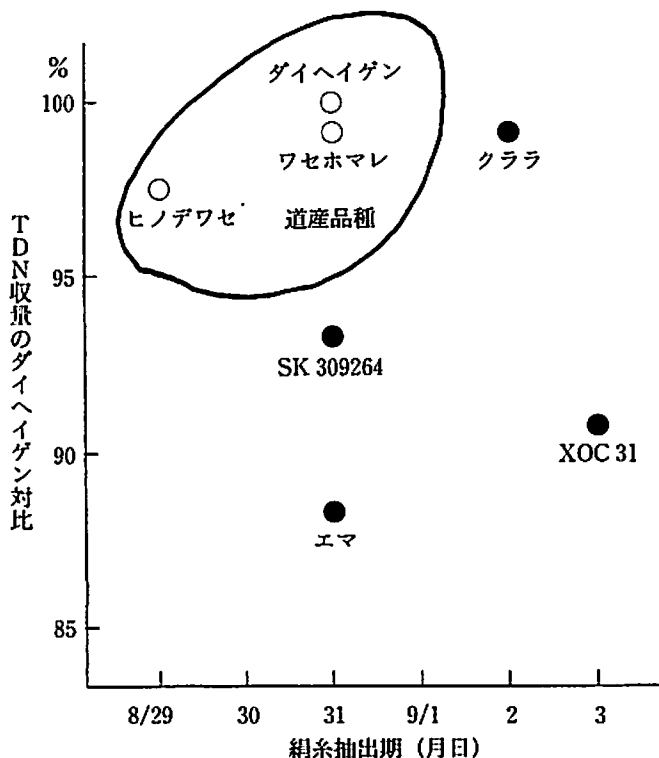


図3 冷害年(1993年)における道産品種の収量性

注1) エマ：基幹品種、クララ、XOC 31、SK 309264：多収な輸入品種。いずれも早生～早中の熟期である。  
注2) データは根拠農試生産力検定試験による。

貢献をした<sup>25)</sup>。最近の系統では、1993年の冷害下でも雌穂熟度が黄熟期にかけ、平年に近い収量性を示す系統が認められた。これらは耐冷性に優れた系統と考えられる(表6)。

### 5) 今後の研究方向と展望

1983年や1993年の大冷害を想定すると、その回避に

表6 冷害年(1993年)における有望系統の耐冷性

早晩生	系統名	初期生育 (1良～5不良)	絹糸抽出期 (月日)	雌穂熟度	乾雌穂重 (kg/10a)	TDN収量 (kg/10a)	対比 (%)	ステイ グリーン度 <sup>4)</sup>
早生の早	303*	1.8	8.15	黄初～中	544	785	136	○
	エマ	2.8	15	黄初	394	577	100	○
	ヒノデワセ	1.8	13	黄初	391	578	100	×
早生の中	93201*	1.0	8.13	黄初	561	780	114	○
	ダイヘイゲン	2.0	17	糊後	436	682	100	×
早生の晩	93233**	1.5	8.20	糊初	546	887	115	○
	ディア	3.0	20	糊初	410	769	100	◎

注1) \*：北方フリント×欧州フリントの組合せ。  
注2) \*\*：北方フリント×デントの組合せ。  
注3) 「エマ」、「ディア」は輸入品種で基幹品種であり、「ヒノデワセ」、「ダイヘイゲン」は耐冷性の奨励品種である。  
注4) ◎：非常に良好、○：良好、□：中間、△：やや劣る、×：劣る

これらの自殖系統の耐冷性の改良を通して5年後には「ワセホマレ」以上、さらに10年後には「ワセホマレ」などの現在の耐冷性品種の水準を大幅に越えた冷害に強いF<sub>1</sub>新品種の育成を旨としている。

## 2. 耐倒伏性

### 1) 背景

北海道の道東・道北地方は、夏期比較的日照時間が少なく、とうもろこしは軟弱徒長気味に生育しやすく、倒伏の発生することが多い。倒伏は、受光体勢を悪化させ、登熟を阻害し、雌穂の先端不稔の発生や矮小化による生産物の減少と品質の低下をもたらすばかりでなく、機械収穫時の収量損失や作業能率の低下をもたらす。このため、耐倒伏性の向上は育種上最も重要な課題の一つである。

### 2) 倒伏の被害解析

倒伏の被害解析の報告はいくつかなされてきたが、十勝農試では、スイートコーンを異なるステージに人為的に倒伏（ころび倒伏）させて雌穂収量への影響を解析した<sup>26)</sup>。この結果、絹糸抽出期以前より、絹糸抽出期後に倒伏させた場合に最も収量への影響が大きく、これは、主に雌穂の先端不稔の発生によるものであった。また、絹糸抽出直前の倒伏は不受精による扁粒列不稔も認められた。また、サイレージ用とうもろこしにおいて、倒伏程度の異なる圃場を機械収穫した場合と手刈りした場合を比較し、倒伏程度と刈取損失の関係を調査した<sup>27)</sup>。その結果、本来多収な品種でも、耐倒伏性が弱く、倒伏の発生の著しい場合は、機械収穫によって収穫損失が多く、低収となったのに対し、本来低収な品種でも倒伏のない品種の方が実収量は20~30%多くなった。倒伏の程度によっては減収率はさらに大きくなることが予想され、上記の成績から耐倒伏性の重要性が実証された。

### 3) 耐倒伏性の育種的基本研究

とうもろこしの耐倒伏性の機作は1965(昭和40)年頃から多くの研究者によって、稈壁の厚さ、挫折荷重<sup>28)</sup>、根系の大小<sup>29)</sup>、稈の曲げ強度<sup>30)</sup>、引き抜き抵抗<sup>31)</sup>など異なる要因から解明が行われてきたが、必ずしも十分に解明されてはいなかった。

#### (1) 耐倒伏性の機作

十勝農試では、耐倒伏性の機作の解明のために多数の自殖系統やF<sub>1</sub>雑種について根重、根数を調査した<sup>32,33)</sup>。

その結果、ころび倒伏個体では、根の折損が根の50%

に、しかも、基部から10cm以内に認められた。バネ計りによる引倒し抵抗の時期的推移をみると、出穂期以降急速に抵抗値は高まり、25~30日に最高値に達し、以降漸減する。このことは耐倒伏性も育成ステージによって異なることを示している。

また、自殖系統およびF<sub>1</sub>雑種についてバネ計りによる引倒し抵抗と生根重、乾根重は1%水準で統計的に有意な相関( $r=0.7\sim 0.9$ )があることを明らかにし、倒伏と根系との関連が強いことを示した。さらに、耐倒伏性の系統は、耐倒伏性の弱い系統に比べて全体の乾根重が大きく、上位の節当たりの乾根重も大きく、また、地上部重に対する根重の割合も大きい傾向にあること、さらに、地上部重に対する生根重の比は倒伏割合との間に1%水準で統計的に有意な高い負の相関があることを明らかにした。

以上から、倒伏と比較的密接に関連する根部の形質も明らかになったが、耐倒伏性の検定指標に利用するには、それら形質は調査時間と手間がかかりすぎるほか、検定作物に対し破壊的であり、実用性が低かった。

#### (2) 耐倒伏性の検定

十勝農試では、圃場で簡単に実施でき、非破壊的で、検定した個体から採種が可能となることを前提とする実用的な検定法「引倒し法」を考案した<sup>34)</sup>。

この方法は、図4に示すように雌穂下部付近を手でつかんで、上部雄穂の着生方向に円弧を描くように地表に向けて引倒し、地表に達したら手を離す。引倒し過程での植物体の状況と操作直後の回復状態によって、図4のようにI~IV型のパターンに区分して稈・根の強弱を総

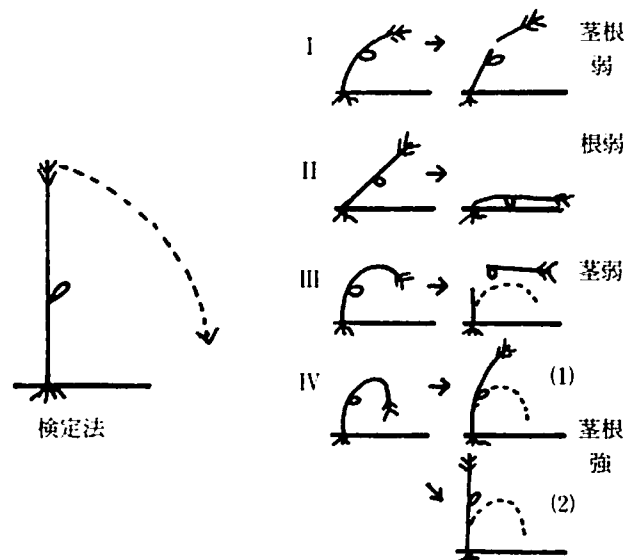


図4 検定法と引倒しパターン

合的に判定する。検定期間は交配時期、登熟後半の2回行う。

この検定法を多数の自殖系統とF<sub>1</sub>雑種に適用して得られた引倒しパターンと圃場で観察した倒伏割合との間には、I型に属する系統は倒伏し易く、順次II型、III型と倒伏し難くなり、IV型は最も倒伏し難いことを明らかにした。また、同一の材料について、パネ計りで測定した「引倒し抵抗」は倒伏個体割合との間にはほとんど関係が認められなかった。さらに、この「引倒し法」を用いて複交配品種「ワセホマレ」と「ダイヘイゲン」とその構成単交配・自殖系統の引倒しパターンを調査したところ、得られた引倒しパターンは、それら親子関係にある材料の実際の倒伏割合と比較的よく一致した。これらのことから、引倒し法は多分に感覚的な面も含むが、引倒しパターンが多様な要因の総合された結果と考えられ、これが実際の倒伏割合と密接な関係をもたらしており、実用的な耐倒伏性の検定法として特に自殖系統育成に活用できることを示した。

#### 4) 耐倒伏性育種の成果

##### (1) 自殖系統育成

十勝農試では「引倒し法」をサイレージ用とうもろこしとスイートコーンの自殖系統育成試験に利用し、自殖系統の抵抗性水準を引き上げてきた。この検定法が適用されて最初に育成された「To 15」は、当時、耐倒伏性の弱い北方フリント種の中では最も耐倒伏性が強かった<sup>20)</sup>。その後も本法を適用して北方型フリント種やスイート種を中心に耐倒伏性の強い自殖系統を多数育成してきた。1993年以降は新たにヨーロッパフリント種の耐倒伏性自殖系統も育成されている。図5には十勝農試で

育成した自殖系統について、1991年以前と以降に分けて耐倒伏性程度を示したが、最近は特に耐倒伏性レベルの向上が著しい傾向にある。

##### (2) 新品種育成

耐倒伏性のサイレージ用D<sub>1</sub>雑種の育成については、F<sub>1</sub>雑種そのものには「引倒し法」を適用しづらいので、この方法によって耐倒伏性が強いと評価された自殖系統を交配母本に選定することになっている。これまでに育成された「ワセホマレ」、「ダイヘイゲン」、「ヒノデワセ」は、いずれも新品種に認定された当時は同熟期の輸入品種に対して耐倒伏性は優れていた<sup>22,23,24)</sup>。

「ヘイゲンミノリ」は1989年に新品種に認定されたが、現在でも、耐倒伏性のレベルが向上した輸入品種に対してやや劣るものの大差ない強さである(表7)<sup>35)</sup>。

現在、奨励品種決定現地試験に供試している「道交S16号」、「道交S17号」は、耐倒伏性が強く、特に後者は耐倒伏性が最も強い同熟期の輸入品種「エマ」よりやや優れている。

スイートコーンでは、ホクレンとの共同研究で耐倒伏性の育成自殖系統と耐倒伏性は弱いが加工適性に優れる導入系統を交配して、「スイートメモリー」(1993年育成)<sup>36)</sup>、「サマースイート」<sup>37)</sup>、「スイートエール」(両者とも1995年育成)<sup>38)</sup>を育成した。これらの品種は既存の栽培品種(輸入品種)より耐倒伏性は明らかに強く、この面では世界の最先端にある(表8)。

#### 5) 今後の研究方向と展望

サイレージ用の輸入品種の耐倒伏性水準が高まる中で、「エマ」、「ディア」は1985年以降耐倒伏性の最も強い品種として君臨してきた。北海道の道東・道北地方で

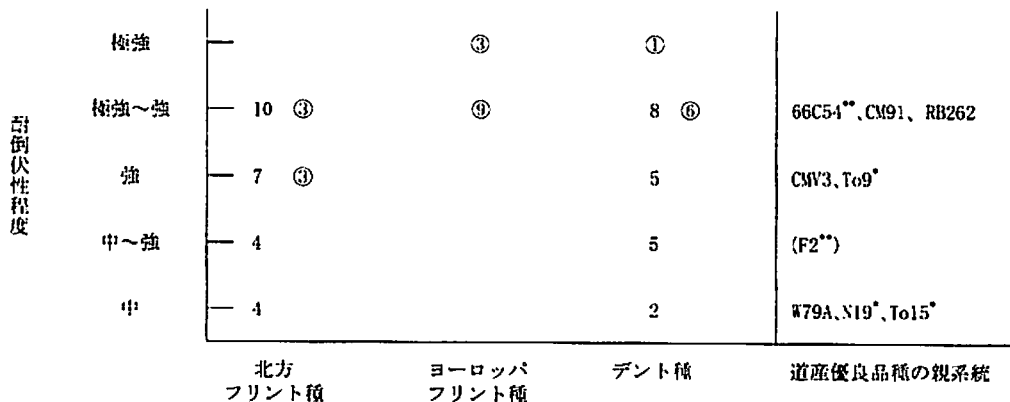


図5 十勝農試育成自殖系統の耐倒伏性の評価(1995年)

図中の数字：1990年までに育成された主要な系統の数、

○で囲ったもの：1991年以降に育成された系統数

\*：北方フリント種、\*\*：ヨーロッパフリント種、その他はデント種

表7 「ヘイゲンミノリ」と最近の輸入品種の倒伏割合(%)の比較

品 種	十勝農試	北見農試	上川農試	根釧農試	忠類村	美深町	別海町
ヘイゲンミノリ	0.5	1.0	0.1	15.0	19.3	0	37.0
ディア	0.5	1.0	0	14.0	40.1	—	—
セリア	0.3	0.7	0.3	—	21.0	2.5	—
コラリス	1.6	3.7	—	31.0	47.2	—	42.0

注1) サイレージ用外国導入品種選定試験におけるデータ。

2) 十勝農試、北見農試、上川農試、根釧農試は1990～1992年の3か年平均  
忠類村、美深町、別海町は1991～1992年の2か年平均である。

3) 「ディア」：準奨励品種(北海道、1985年認定)  
「セリア」：準奨励品種(北海道、1995年認定)  
「コラリス」：準奨励品種(北海道、1995年認定)

表8 最近のスイートコーン育成品種の耐倒伏性(%)

品種名	十勝 農試	北見 農試	上川 農試	ホクレン (長沼)
スイートメモリー <sup>2)</sup>	0.3	2.1	0.4	2.1
サマースイート <sup>2)</sup>	1.6	1.3	0	1.3
スイートエール <sup>2)</sup>	(2.2)	(1.8)	(0)	(1.8)
メロディスweet <sup>2)</sup>	0	0	0	0
リワード	31.7	9.4	0	9.4
GH1703	13.9	—	—	—
ページェント	20.0	(13.0)	(8.0)	(12.2)
ジュビリー	11.5	9.6	0	9.6

注1) 試験年次は1991～1994年の4か年平均。ただし、「スイートエール」は1992～1994年、「ページェント」十勝農試を除く3場は1991～1993年の3か年平均である。

2) 上段4品種が育成品種である。

みると両品種並の耐倒伏性水準にあれば、実質的には十分であるが、多くの商社が品種競争を行う状況下では、今後も耐倒伏性について「エマ」、「ディア」より強い品種の選定に向かうものと思われる。

十勝農試では、現在、北方フリント種、ヨーロッパフリント種、デント種の各々の分類群について耐倒伏性に優れた(極強を目指す)自殖系統の育成に力を注いでおり、今後これら自殖系統を利用することで、5年後には「エマ」、「ディア」以上の耐倒伏性をもつ新品種の育成が可能となろう。スイートコーンでは、5年後には最も耐倒伏性の強い「メロディスweet」<sup>39)</sup>並かこれを上回る新品種の育成が可能となろう。一方で、長期的になるが、上記のデント種などの分類群ごとに循環選抜法により、集団改良を実施し、耐倒伏性遺伝子の集積を図り、それらを基礎集団にして、耐倒伏性の自殖系統の育成を行うことが望ましい。

### 3. すず紋病抵抗性

#### 1) 背 景

北海道の道東・道北ではすず紋病が発生することがある。すず紋病の発生が著しい場合、葉が枯れ上り、雌穂

の先端不稔が発生して減収する。従来、十勝農試では抵抗性の向上のため北方フリント種の持つ圃場抵抗性を育成に利用してきた。現在、北海道ではすず紋病抵抗性が極弱と判断されるものは優良品種として選定されないことになっている。

#### 2) すず紋病抵抗性育種の成果

##### (1) 自殖系統育成

十勝農試では1983年からすず紋病抵抗性の向上をめざして、すず紋病検定試験を実施してきた。主に、サイレージ用とうもろこしとスイートコーンのF<sub>1</sub>雑種及びフリント種、デント種、スイート種のS<sub>5</sub>～S<sub>6</sub>世代の自殖系統を供試して抵抗性の検定を行っている。この結果、F<sub>1</sub>組合せの親となる自殖系統の中から「To 38」、「To 15」(以上フリント種)、「RB 262」、「W 401」、「RB 259」、「To 62」、「To 84」、「To 93」(以上デント種)、「Tos 24」、「Tos 27」、「Tos 35」、「Tos 37」、「Tos 38」、「Tos 43」、「V 711-B」(以上スイート種)をすず紋病抵抗性の強い系統として選定してきた。現在、これらの自殖系統はすず紋病抵抗性の強いF<sub>1</sub>組合せの作成に利用している。

##### (2) 新品種育成

F<sub>1</sub>雑種育成における成果としては、サイレージ用の「ワセホマレ」、「ヘイゲンミノリ」を挙げることができる。「ワセホマレ」の抵抗性は「中」、「ヘイゲンミノリ」は「弱～中」であり、一般に抵抗性の弱い早生品種の中では強い部類に属する。道東・道北地域においては「ワセホマレ」程度の抵抗性があれば、実用的には問題がないと考えられる。

#### 3) 今後の研究方向と展望

道東・道北地方には十勝の沿海部や天北地域などのようにすず紋病の発生しやすい地帯を含んでおり、今後ともすず紋病抵抗性の強化が必要である。十勝農試では、すず紋病抵抗性の自殖系統の育成を真正抵抗性(HxN)、



圃場抵抗性の賦与の両面から積極的に進めており、サイレージ用では、5年後には「ワセホマレ」よりも強い品種の育成は可能である。スイートコーンは、すす紋病抵抗性が弱いため、耐病性育種は一層重要であり、5年後にはサイレージ用の「ワセホマレ」並の抵抗性をもつ品種の育成を目指す。

#### 4. アブラムシ抵抗性育種

##### 1) 背景

北海道のとうもろこし栽培において、アブラムシの発生はしばしば見られ、年次によっては多発生する。しかし、アブラムシ抵抗性に対する育種学的な研究は少なく、また、日本の育種にはほとんど取り入れられてこなかった。

##### 2) アブラムシ抵抗性の育種的基礎研究

十勝農試では、育成品種、輸入品種を供試して、アブラムシのとうもろこしの雌穂、収量におよぼす影響及びアブラムシに対する抵抗性の品種間差異を調査した<sup>40)</sup>。アブラムシの寄生の指標としてアブラムシの排泄物に発生したカビによるすす状の黒変物及び植物体に付着した脱皮殻の量を指数化してこれを用いた。その結果、アブラムシの発生量と雌穂の不稔や矮小雌穂の発生割合との間には密接な相関関係が認められた。また、アブラムシに対する抵抗性はアブラムシ寄生指数と不稔や矮小雌穂の両者から評価でき、これには明らかな品種間差異が認

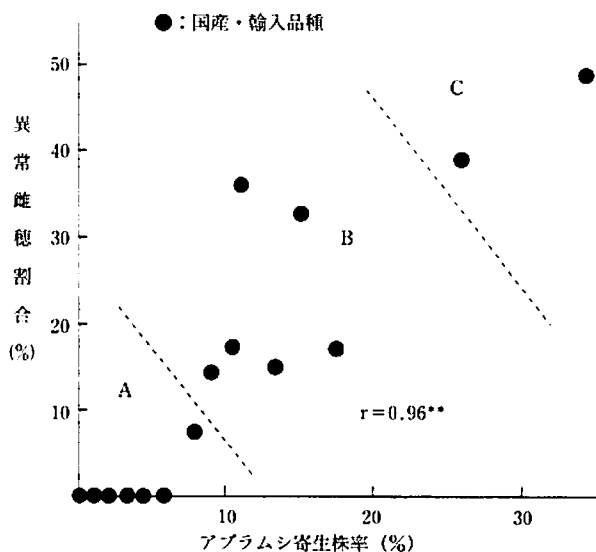


図6 アブラムシ寄生程度及び異常雌穂の品種間差異  
寄生株率：寄生指数0.6以上の株の割合  
異常雌穂割合：上記寄生株における不稔などの異常雌穂をもつ株の割合  
抵抗性について、A：強、B：中、C：弱

められた(図6)。また、アブラムシの寄生によって著しい減収となる場合もあることを示した。これらのことから、アブラムシの抵抗性を育種に取り込むことは可能であり、また、重要であることが示された。現在、自殖系統の育成試験の中にアブラムシ寄生指数による選抜を取り入れ、アブラムシ抵抗性に弱いものは淘汰している。

##### 3) 今後の研究方向と展望

研究は緒についたばかりである。今後さらに精度の高い簡易な検定法を開発するとともに、抵抗性の系統を評価・選定することにより、アブラムシ抵抗性育種に利用することができる。

#### 引用文献

- 1) 戸沢英男(1982). 昭和56年の異常気象と十勝の畑作物. "とうもろこし". 十勝農業試験場資料, 7: 14-21.
- 2) 長谷川寿保 他(1984). 昭和58年冷湿害による十勝の畑作物被害解析. "とうもろこし". 十勝農業試験場資料, 9: 27-35.
- 3) 千藤茂行 他(1994). 平成5年北海道における農作物異常気象災害に関する緊急調査報告書 "とうもろこし". 十勝農業試験場資料, 23: 106-110, 112-116.
- 4) 仲野博之・榎引英男(1967). とうもろこしの耐冷性に関する研究 (2)生育各期の低温影響について. 日本育種学会・作物学会北海道談話会会報, 7: 23.
- 5) 榎引英男(1970). とうもろこし耐冷性に関する研究 (4)低温処理による植物体への影響. 日本育種学会・作物学会北海道談話会会報, 10: 26-27.
- 6) 榎引英男(1973). トウモロコシの冷害と耐冷性検定. 日本育種・作物学会北海道談話会報 13: 66-68.
- 7) 榎引英男(1980). 寒冷地におけるサイレージ用トウモロコシの原料生産特性と早晩生の品種群の配合に関する研究 IV. 地帯区分と品種配合. 日本草地学会誌, 26: 7-13.
- 8) Jugenheimer, R.W.(1976). Corn, p.139-159 Wiley Interscience, N.Y.
- 9) Hoppe, P.E.(1955). Cold testing seed corn. Agron. J. 54: 523-525.
- 10) 森行雄(1964). トウモロコシの低温不発芽の原因とその対策. 農業及園芸, 39: 1079-1083.
- 11) 榎引英男(1971). とうもろこしの発芽に関する耐冷性とその検定法に関する研究 (1)現行法の問題点について. 北海道立農試集報, 24: 33-42.

- 12) 榎引英男・仲野博之 (1976). トウモロコシの発芽に関する耐冷性とその検定法に関する研究 (2)低温発芽性の検定法と表示. 北海道立農試集報, 35: 1-7.
- 13) McConnell, R.L.; Gardoner, C.O. (1979). Inheritance of several cold tolerance traits in corn. *Crop Sci.*, 19: 847-852.
- 14) Mock, J.J.; Bukri, A.A. (1976). Recurrent selection for cold tolerance in maize. *Crop Sci.*, 16: 230-233.
- 15) 長谷川寿保・千藤茂行・高宮泰宏・戸沢英男 (1987). トウモロコシにおける低温発芽性と初期生長性の遺伝性と選抜. グリーンエネルギー計画成果シリーズ, 14: 101-112.
- 16) Miedema, P. (1982). The effects of low temperature on *Zea mays*. *Advances in agronomy*, 95: 93-128.
- 17) 恩田重興・大河内英樹 (1942). 玉蜀黍幼苗の寒害抵抗性に関する品種間差異に就て. 育種研究, 1: 138-143.
- 18) 門馬栄秀 (1985). トウモロコシ自殖系統の低温下における発芽力と初期生育にみられる遺伝変異. 北海道農試研究報告, 143: 137-148.
- 19) 榎引英男・桑島昭吉 (1980). トウモロコシ種子の粒大と低温処理後の回復生長量の関係. 北海道立農試集報, 44: 47-51.
- 20) 戸沢英男・仲野博之他 (1988). トウモロコシ新親品種「To 15」の育成について. 北海道立農試集報, 57: 25-33.
- 21) 千藤茂行・門馬栄秀他 (1989). トウモロコシ高能率系統の作出. グリーンエネルギー計画成果シリーズ, 21: 71-84.
- 22) 榎引英男・仲野博之他 (1979). 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.
- 23) 十勝農試とうもろこし科 (1983). 北海道農業試験会議資料「サイレージ用とうもろこし「道交S 4号」の成績書”. 北海道立十勝農試, p.1-46.
- 24) 長谷川寿保 (1986). 飼料作物の新品種「ヒノデワセ」(とうもろこし農林交 25号). 新しい技術, 23: 43-49.
- 25) 十勝農試とうもろこし育種グループ (1986). トウモロコシ一代雑種品種「ハイゲンワセ」「ワセホマレ」「ダイハイゲン」の育成. 育種学雑誌, 36(別1): 6-9.
- 26) 十勝農試とうもろこし科 (1987). 「スイートコーン「十生13号」に関する成績書”. 昭和62年度北海道農業試験会議資料, p.1-43.
- 27) 十勝農試とうもろこし科 (1980). 「サイレージ用トウモロコシ新品種決定に関する参考資料「道交S 6号」”. 昭和55年度北海道農業試験会議資料 p.1-30.
- 28) Loesh, P.J.; Zuber, M.S., et. (1963). Inheritance of crushing strength and rind thickness in several inbred lines of corn. *Crop Sci.*, 3: 173-174.
- 29) Musick, G.L.; Fairchild, M.L.; et. (1965). A method of measuring root volume in corn (*Zea mays* L.). *Crop Sci.*, 5: 601-602.
- 30) Crane, P.L.; Efrain, D.B.; et. (1966). Stalk strength of strains of maize of Colombia, Ecuador and Venezuela as measured by rind thickness. *Crop Sci.*, 6: 210-212.
- 31) 源馬琢磨・釣岡勉 (1973). トウモロコシ耐倒伏性程度の一指標. 日本育種学会・作物学会北海道談話会会報, 13: 50.
- 32) 十勝農試とうもろこし科 (1972). 昭和46年度とうもろこし育種成績書. 北海道立十勝農試, p.1-138.
- 33) 仲野博之 (1973). トウモロコシ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.
- 34) 榎引英男 (1979). トウモロコシ耐倒伏性簡易検定法. 道立農試集報 42: 21-27.
- 35) 門馬栄秀・長谷川寿保他 (1995). とうもろこし新品種「ハイゲンミノリ」の育成について. 北海道立農試集報, 69: 41-53.
- 36) 高宮泰宏・千藤茂行他 (1996). 加工用スイートコーン新品種「スイートメモリー」の育成について. 北海道立農試集報, 70: 61-72.
- 37) 千藤茂行・三好智明他 (1996). 加工用スイートコーン新品種「サマースイート」の育成について. 北海道立農試集報, 70: 73-85.
- 38) 千藤茂行・三好智明他 (1995). 加工用スイートコーン新品種「スイートエール」(十生27号). 平成6年度新しい研究成果——北海道地域——北海道農業試験研究推進会議, p.28-32.
- 39) 千藤茂行 (1987). トウモロコシ新品種「メロディスイート」. 農業技術, 42: 464.
- 40) 千藤茂行・鈴木和織他 (1995). トウモロコシの雌穂の生育と収量に及ぼすアブラムシの影響と品種間差異. 北海道草地研究会報, 29: 51-54.