

第5章 種子生産性の簡易選抜法の開発

緒言

第4章の各試験結果から、以下の知見が得られた。

- 1) チモシーの種子生産性を改良するための選抜指標として、1穂種子重あるいは種子密度が有効である。
- 2) これら2形質は外観形質との関係が密接でないため、種子生産性の良否判定には採種試験が不可欠である。
- 3) これら2形質は環境に対しやや不安定であるが、同一の環境条件下では狭義の遺伝率が高い。

北見農試で育成されたチモシー品種は、育成地での育種家種子生産後、国内および海外で2段階に分けて増殖される。したがって、優良品種の迅速な増殖により、普及までの年限を確実に短縮するためには、これら全ての採種予定地における種子生産性が並行的に改良される必要がある。しかし、育成地である北見農試での種子生産性の改良のみであっても、育種家種子の円滑な増殖を通じ、優良品種の普及までの年限の短縮に相当程度貢献できる。また前章で触れたように、近年頻繁に採用される母系選抜法では、通常構成親栄養系の種子生産性が直接検定されないため、この育種法を採用する場合には、何らかの方法で親栄養系候補の種子生産性を検定しなければ、極端に種子生産性が劣る栄養系が系統の構成親となる危険がある。

こうした背景に基づき、育成地におけるチモシーの種子生産性を簡易かつ確実に検定できる方法の開発を試みた。そして、チモシーの種子収量は1穂種子重または種子密度によってその大半が決定されることから、検定法としては個体または栄養系の少数の穂から実際に採種を行い、その1穂種子重または種子密度をもって当該栄養系の種子生産性を判定する方法が適当と考えた。

ただ、採草用チモシーは遅くとも出穂始の2週間後、すなわち開花前に1番刈が行われるため、2番草の競合力や耐病性など、一般栽培上重要な形質を検定するために1番草を刈り払う圃場では、簡易検定は行えない。したがって、この検定のためには、少なくとも選抜される可能性がある優良個体の株(分けつ)の一部を圃場外に持ち出す必要があるが、この際に、どうしても株の一部を損傷することが避けられないという問題がある(ただし切り穂のように、止葉を含めた上位葉1~2枚だけが付いた穂を持ち出す場合は、この限りではない)。

本章では以上のことを踏まえ、

i) 切り穂

- ii) 育苗用トレーに移植した分けつ
 - iii) 引き抜いた節間伸長茎
- の3種類の材料のそれぞれについて、
- i) 1穂種子重(または種子密度)と圃場での採種試験における同形質との一致度
 - ii) 茎または分けつを持ち出す際に生じる損傷が、その後の株の生育に与える影響
- を調査し、それぞれの材料がチモシー種子生産性の簡易検定に利用できるか否かを検討した。

5-1. 切り穂を用いた検定法

出穂始の2週間後および開花始に採取した「切り穂」を、採取直後から培養液に浸して採種時まで管理した場合、その種子収量が種子生産性の簡易検定に利用できるか否かを調べた。

材料および方法

供試材料として、試験4Bに供試された42栄養系から10栄養系(これらは試験4Cの11栄養系とは3栄養系を除き一致しない)を選び、2000年晩秋に試験4Bの圃場から掘り上げ、1/5000aワグネルポット(以下ポットと呼ぶ)に3反復で再移植した。これらのポットは、翌年2月まで低温短日条件に置かれた後、3月から、昼温23℃、夜温16℃、日長16時間に設定された北見農試牧草科温室(以下温室と呼ぶ)内に移された。これらのうち1反復について、各栄養系の代表的な出穂茎を切り穂として採取した。採取時期は出穂始の2週間後と開花始の2時期とし、採取本数は栄養系あたり各時期4本ずつとした。切除部位は止葉がついている節の約5cm下とした。培養は温室内で行った。培養液の成分は表5-1の通りである。培養中は週に1~2回、切り口の更新を行った。採種後、各切り穂の穂長と1穂種子重(=種子収量)を測定し、併せて、温室内に置かれた2反復のポットについて種子収量、1穂種子重および穂長を測定した。

以後、この試験を試験5Aと呼ぶ。

結果および考察

試験5Aの結果を、表5-2および図5-1に示した。ポットの株の1穂種子重と切り穂における同形質(切り穂からの種子収量)との相関係数は、開花始に切除した

表5-1. 試験5Aにおける切り穂の培養液の成分

薬品名	濃度(W/V)	備考
ショ糖	3.0%	市販の上白糖を使用
亜硫酸水	0.15%	5%亜硫酸水(関東化学製・鹿1級)を使用
次亜塩素酸ナトリウム	0.015%	5%次亜塩素酸ナトリウム水溶液(和光純薬製)を使用

注) 希釈には北見農試に供給される水道水を用いた。

培養中は2~3日おきに5%次亜塩素酸ナトリウム水溶液を培養液1リットルあたり3ml/加えた。雑菌の繁殖を抑えるため、培養液には常にエアレーションを行った。

表5-2. 試験5Aの調査結果

栄養系 番号	切り穂の試験結果						温室内の1/5000aワグネル ポットからの採種試験結果			
	出穂始の2週間後			開花始時			穂	1穂 種子	種子 密度	ポット あたり 種子収量
	穂	1穂 種子	種子	穂	1穂 種子	種子				
	長 (mm)	重 (mg)	密度 (mg/cm)	長 (mm)	重 (mg)	密度 (mg/cm)	長 (mm)	重 (mg)	密度 (mg/cm)	(g/株)
1(1)	67.5	7.5	11.1	51.8	60	11.9	34.8	17	5.1	0.75
2(4)	-	-	-	45.8	18	3.8	30.6	3	1.1	0.08
3(12)	46.0	2.3	5.0	42.5	30	6.7	34.9	34	9.4	1.34
4(15)	56.5	8.5	15.7	40.8	73	17.5	29.1	87	30.1	1.94
5(21)	45.3	1.8	3.6	40.8	33	8.1	29.6	17	6.3	0.59
6(27)	46.5	5.8	12.1	45.3	88	20.2	34.0	54	15.2	2.44
7(30)	55.5	1.3	2.5	51.8	53	10.1	38.5	55	12.9	2.67
8(32)	33.8	4.0	12.1	33.5	23	6.6	21.9	10	4.9	0.30
9(36)	43.0	4.5	10.6	40.5	103	25.4	35.1	48	13.0	2.67
10(41)	56.5	3.5	6.5	51.8	95	18.7	37.6	84	20.6	2.61

温室内1/5000aワグネルポットの採種試験の同形質との相関

.579 .252 .374 .825** .749* .652*

温室内1/5000aワグネルポットの採種試験の種子収量との相関

.211 -.024 -.059 .361 .839** .792** .679* .840** .707* (1.00)

注) 栄養系番号のカッコ内の数値は試験4Bにおける栄養系番号を示す。

栄養系番号4の出穂始の2週間後の切り穂は全てが培養中に枯死した。

*, **: それぞれ5%, 1%水準で有意

(n=10. ただし出穂始の2週間後に採取した切り穂についてはn=9).

切り穂の場合は高かった ($r=0.749^*$) が、出穂始の2週間後に採取した切り穂の場合は低かった ($r=0.252$). ポットの株の1穂種子重に替えて、ポットからの種子収量を用いた場合も同じ傾向にあった(開花始に切除した切り穂: $r=0.839^{**}$, 出穂始の2週間後の切り穂: $r=-0.024$).

清水および清水らは、オーチャードグラス、イタリアンライグラスおよびペレニアルライグラスの穂を開花直前に切除して切り穂とし、それらを一定組成の培養液で以後採種時まで培養した結果、千粒重や発芽率が自然登熟種子のそれと大差ないなど、良好な種子が得られたと報告している⁸⁴⁻⁸⁶⁾. 本研究ではこれらの研究結果に基づき、同様の培養液の成分や切除部位の方法などを採用した。開花始時に採取した切り穂の1穂種子量が、温室内(すなわち同じ環境条件)における株の種子収量および

他の種子生産性の指標と高い相関をもっていた点で、本研究は清水らの報告と共通している。しかし、実際の採草用チモシーの育種では、1番草を開花始時まで置くことはなく、通常は出穂始の1~2週間後に1番刈が行われる。したがって、切り穂の採取時期は遅くとも出穂始の2週間後である必要があるが、本研究では、出穂始の2週間後に採取された切り穂では、同じ環境条件下にある実際の種子生産性を十分な精度で予測できなかった。培養液の成分やその他培養条件を改善することにより、出穂始の2週間後、あるいはそれ以前の生育段階で採取された切り穂でもある程度の精度で当該栄養系の種子生産性を予測できる可能性は否定できないが、現段階では切り穂は種子生産性の簡易検定の材料として適当ではないと判断した。

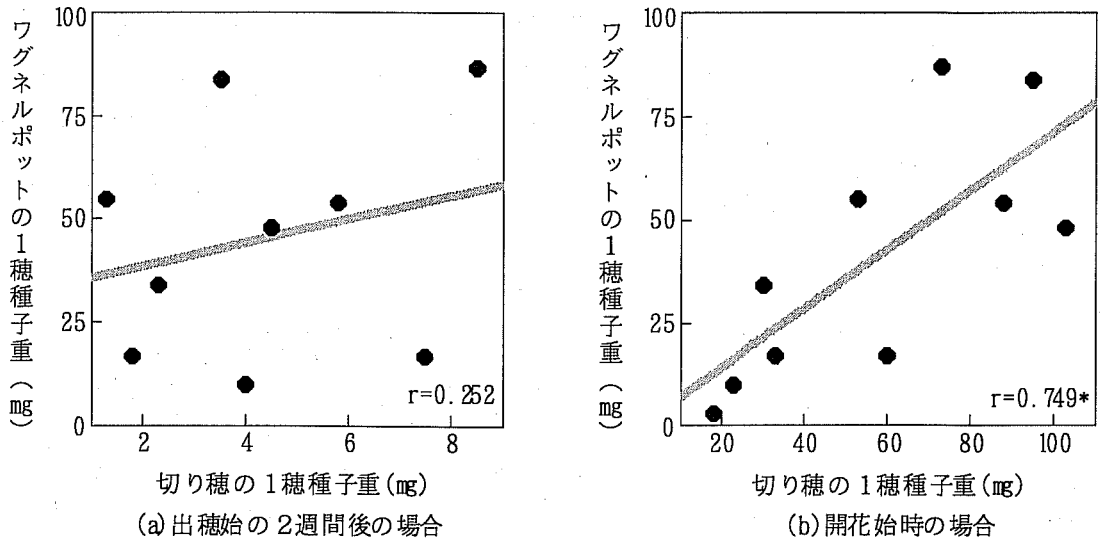


図5-1. 切り穂の1穂種子重とワグネルポットの1穂種子重との関係

「出穂始の2週間後」および「開花始時」は、それぞれ切り穂の採取を行った時を示す。* : 5%水準で有意。

5-2. 育苗用トレーに移植した分けつを用いた検定法

株から掘り上げた後、育苗用トレー（72穴、東罐興産株式会社製、商品名：「トーカセルトレー」、図5-2）に移植した分けつが、種子生産性の簡易検定に利用できるか否かを調べた。

材料および方法

試験4Bに供試され、そのまま同圃場で管理されていた早生11栄養系（4Cの11栄養系と同じ）について、2001年の晩秋に株の一部（分けつ）をスコップで切除して掘り上げ、育苗用トレーに移植した。移植密度は3セルに1セルの割合とし（図5-2）、1セルあたりの移植分けつ本数は2本とした。1栄養系あたり移植セル数（反復）は2とし、土は試験4Bが行われていた圃場から採取した。移植後2002年2月まで低温、短日条件下で管理した後、3月から昼温23℃、夜温13℃、18時間日長に設定された温室内に移し、採種のための管理を行った。同年5月に採種を行った際には、各セル（反復）中の最も長い穂について、穂長と1穂種子重を調査した。

また、分けつを切除した株のその後の生育を調べるため、供試した11栄養系の各々について、分けつを掘り上げた2株と掘り上げなかった2株の、翌2002年の越冬性と早春の草勢（いずれも1:極不良～9:極良の評点評価）を、試験4Bと同じ圃場で調査した。

以後、この試験を試験5Bと呼ぶ。

また、同様の試験を繰り返して行った。すなわち2002年早春に、試験5Bと同じ方法で、試験4Cおよび5Bと同じ早生11栄養系の分けつをスコップで掘り上げ、以後採種時まで温室内で採種のための管理を行った。この試験が試験5Bと異なっていたのは、以下の4点である。

- 1) 育苗用トレーに入れた土をセル成型用育苗培土（片倉チッカリン株式会社製、 $N-P_2O_5-K_2O-MgO=280-1700-170-80mg/kg$ ）とした。
- 2) 栄養系あたり移植セル数（反復）を4とした。
- 3) 日長を自然条件とした。
- 4) 分けつ掘り上げ後の圃場の株の生育調査を行わなかった。

同年7月に採種を行った際には、試験5Bと同じ方法で穂長と1穂種子重を調査した。

以後、この試験を試験5Cと呼ぶ。

結果および考察

(1) 試験5B、5Cと圃場での採種試験4B、4Cの間の種子生産性の指標の一致度

試験5B、5Cの試験結果と、圃場での採種試験、すなわち試験4B（2000年採種）と4C（2002年採種）の試験結果との相関を、表5-3および図5-3に示した。1穂種子重は圃場での採種試験と試験5B、5Cとの間の相関が高くなかったが、これを穂長で割った種子密度は圃場試験の同形質との相関が高かった。この結果をさらに詳しく検討するため、第4章で種子生産性の年次間

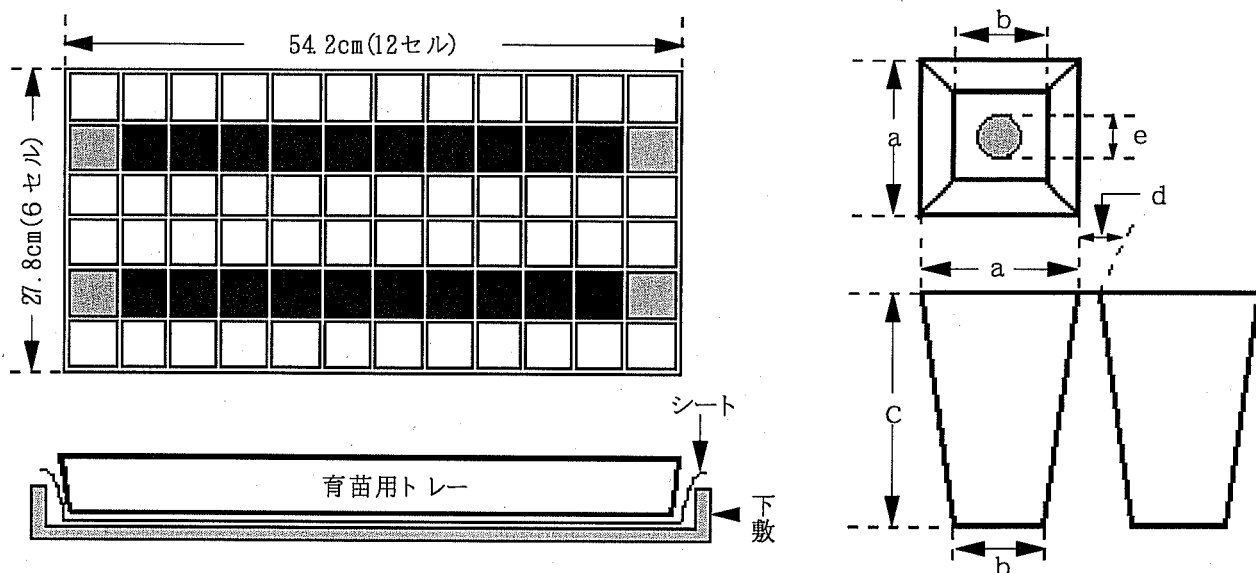


図5-2. 育苗用トレーの模式図

左上：全体を上から見たところ。黒い部分が実際に分げつを移植したセル。
 灰色の部分は除外の分げつを移植したセル。それ以外の部分には分げつを移植しなかった。
 左下：分げつを移植した後の管理の様子をヨコから見たところ。セルと下敷き（深さ約3cm）の間に不透水性のシートを敷き、シートの上に水を張ることにより分げつに水分を補給した。
 右上：1つのセルを上から見たところ。灰色の部分（底の中心）には穴が空いている。
 下：2つのセルをヨコから見たところ。
 a～eの長さはそれぞれa：40.8mm, b：21.5mm, c：58.0mm, d（セルとセルの間）：4mm, e（穴の直径）：9mm。ただしd・eは筆者による実測値。bは業者公表値（セル容積58.0cc）からの計算値。他（左上図のタテ・ヨコの長さを含む）は業者公表値。

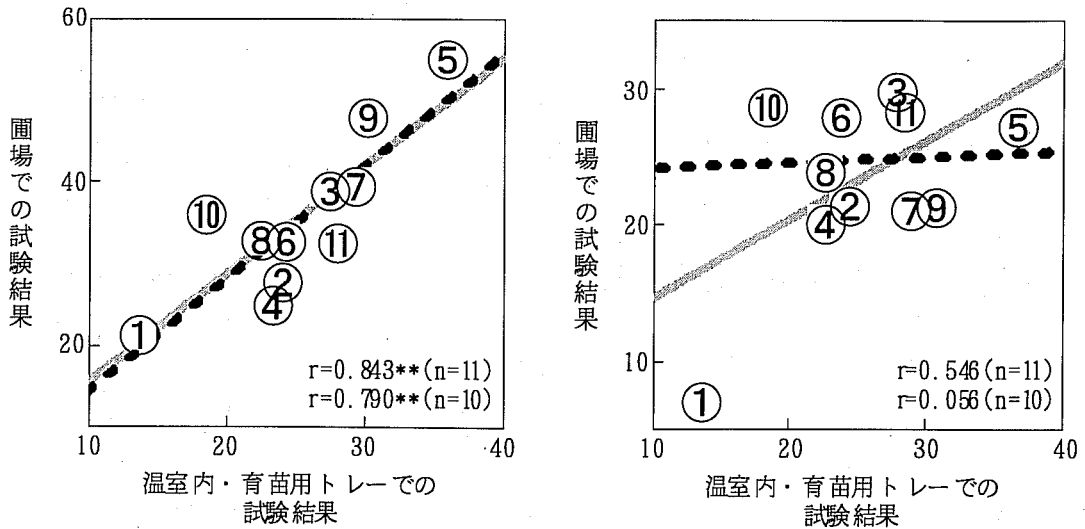
変動が大きいと判断された10栄養系について、試験5B, 5Cと4B, 4Cを比較したところ、育苗用トレーを用いた両試験結果は、特に2000年の圃場試験4Bの結果とよく一致した。

温室内で採種した場合の1穂種子重が圃場で採種した場合の1穂種子重とあまり相関が高くなかったのは、穂長に原因があると考えられる。圃場で採種した場合の穂長の傾向は、試験4Bと4Cの間ではほぼ一致していた ($r=0.822^{**}$) が、温室内で採種した5B, 5Cの穂長の傾向は、2A, 4Cのそれと一致しただけでなく、5B, 5Cの相互間においても一致度が低かった ($r=0.275$)。穂長は、1穂あたりの小穂数によってその大半が決定されることから、その決定に最も影響を与えるのは、幼穂形成過程の中でも後半に当たる小穂分化期（幼穂分化過程の調査基準⁶⁶⁾における第Ⅷ期に相当）の環境であると考えられる。早生のチモシーの場合、北見地方では通常5月中旬に約半数の分げつがこの段階に達する¹²⁷⁾が、この段階の環境条件が、温室内の採種試験と圃場でとのそれとの間で大きく異なっていたことが、穂長の傾向の不一致となって現れたと考えられる。

しかし試験5B, 5Cの種子密度は、圃場試験4B

（2000年採種）の同形質と高い相関を持っていた。試験4A～4Dでの種子密度と種子収量との相関係数は、順に0.735, 0.673, 0.664および0.716といずれも高く（表4-1-3, 4-2-3, 4-2-4, 4-2-6）、したがって種子密度は種子生産性の選抜指標に充分なり得る。このことから、育苗用トレーに分げつを移植し、温室内で小規模な採種を行う方法は、その種子密度を評価することにより、チモシー栄養系の種子生産性の簡易検定法として充分利用できると結論した。また、この育苗用トレーの試験の開始（温室内で長日条件下に置く）時期については、2月下旬（試験5B）でも4月中旬（同5C）でも大きな違いがなかった。

ただこの育苗用トレーを用いた方法も、試験4C、すなわち2002年の圃場における採種試験の結果との相関は、2000年の場合ほど高くはなかった ($r=0.546$)。これは試験4Bと4Cの試験結果があまり一致しなかったことにも関係しているが、今後は、この育苗用トレーを用いた方法が、なぜ2000年の場合とだけ相関が高かったのか、2002年のような出穂始以降冷涼に経過する年の圃場での種子生産性をよりの確に予想するためには、どのような工夫をすればよいか、などについて検討する必要がある。



(a) 圃場採種が2000年 (試験4B) の場合 (b) 圃場採種が2002年 (試験4C) の場合

図5-3. 種子密度における試験5C (温室内・育苗用トレー利用) と試験4B・4C (圃場) の関係

両図の○で囲まれた番号は、試験4Cにおける栄養系番号を示す。
 灰色の実線および黒の点線は、それぞれ全11栄養系について、および圃場試験で種子収量性の序列の年次間変動が大きかった10栄養系 (本文参照) についての回帰直線を示す。 **: 1%水準で有意。

表5-3. 試験5B・5Cの調査結果

栄養系番号	試験4B・4Cの平均値 ¹⁾				試験5B			試験5C		
	穂長 (mm)	1穂種子重 (mg)	種子密度 (mg/cm)	株あたり種子収量 (g/株)	穂長 (mm)	1穂種子重 (mg)	種子密度 (mg/cm)	穂長 (mm)	1穂種子重 (mg)	種子密度 (mg/cm)
1	159	220	14.3	10.4	50.3	101	20.2	49.8	47	13.7
2	169	420	24.8	23.0	39.3	99	23.2	36.0	75	23.7
3	141	480	34.1	28.9	36.5	119	31.7	44.0	81	27.8
4	161	398	23.4	31.3	38.3	88	19.6	45.0	80	23.1
5	129	547	41.4	27.5	29.8	99	33.6	34.5	105	36.5
6	155	473	30.1	28.9	30.8	67	22.1	60.0	95	23.9
7	142	432	30.8	32.7	38.5	109	28.4	29.3	72	29.1
8	226	634	28.4	31.3	39.5	109	27.9	40.0	88	22.7
9	159	589	34.7	35.2	37.8	110	26.9	44.0	115	30.3
10	197	641	32.5	38.0	45.8	130	27.9	56.3	61	18.5
11	151	443	30.4	21.1	30.0	89	29.1	36.8	79	28.2

圃場試験における同形質との相関¹⁾

①全11栄養系について見た場合

試験4B (2000年採種)	.320	.429	.789**	.229	.640*	.843**
試験4C (2002年採種)	.604*	.266	.643*	.295	.284	.546
試験4B・4C平均値	.446	.402	.835**	.266	.554	.829**

②年次変動の大きい10栄養系²⁾について見た場合

試験4B (2000年採種)	.539	.519	.730*	.269	.443	.790**
試験4C (2002年採種)	.716*	.392	.545	.282	-.338	.056
試験4B・4C平均値	.625	.554	.824**	.284	.227	.701*

注) 栄養系番号の数値は試験4Cと同じである。

試験4B・4Cの試験結果についてはそれぞれ表4-2-3および表4-2-4を参照。

1) *, **: それぞれ5%, 1%水準で有意 (n=10または11)。

2) 試験4Bと4Cの間で種子収量性の序列の変動が大きかった10栄養系 (第4章参照)。

あろう。それは、チモシー（あるいは他の寒地型イネ科牧草）の種子生産性の年次や場所に関する変動の原因の究明という根本的な問題の解決にもつながる。

(2) 分けつを掘り上げた株のその後の生育

一方、試験5Bにおいて2001年晩秋に分けつの掘り上げ処理を行った栄養系と、処理を行わなかった栄養系の、翌年の越冬性と早春草勢を表5-4に示した。掘り上げ処理を行った株は行わなかったものに比べ、両形質について明らかに劣っていた。また、早春の草勢においては、分けつを掘り上げた株と掘り上げなかった株の評点の相関係数が負になっている。このことは、分けつの掘り上げ処理の有無によって、その後の各栄養系間の生育の良否の序列が大きく変化していることを示唆している。したがって、分けつの掘り上げ処理を行った株のその後の生育を調査しても、掘り上げ処理を行わなかった場合の生育を推定することは難しいと考えられた。

以上のように、育苗用トレーに分けつを移植して採種を行う方法は、圃場に残っている当該個体（あるいは栄養系）の生育調査を、分けつ掘り上げ後に行う予定がない場合に利用が限られるが、チモシー栄養系の種子生産性の簡易検定法として十分に利用できる、と判断した。

5-3. 株から引き抜いた節間伸長茎を用いた検定法

表5-4. 試験5Bに供試した分けつを掘り上げた株と掘り上げなかった株との翌春の生育の比較

栄養系 番号	越冬性 ('02.4. 1)		早春の草勢 ('02.5. 7)	
	掘り上げ		掘り上げ	
	なし	あり	なし	あり
1	5.5	4.5	4.5	4.0
2	5.0	4.5	5.0	4.0
3	5.0	4.5	5.0	4.5
4	6.0	5.0	6.0	4.5
5	5.0	3.5	5.5	3.5
6	4.0	3.5	4.5	3.5
7	6.0	4.5	5.0	4.0
8	5.5	3.5	5.0	3.5
9	5.5	4.5	5.5	2.5
10	4.5	4.5	4.0	5.0
11	5.0	2.5	4.0	4.5
平均	5.2	4.1	4.9	4.0
有意性 ¹⁾	**		**	
相関係数 ²⁾	.410		-.418	

注) 栄養系番号の数値は試験4Cと同じである。

1) 各形質において、掘り上げ処理の有無によって平均値の差が生じたかどうかを、全栄養系を対象としてt検定した結果。

**：1%水準で有意。

2) 各形質における掘り上げ処理ありと同なしの間の相関係数。

チモシーの節間伸長茎の基部は硬く、とくに降雨により土壌が湿って柔らかい状態であれば、その基部を持って上に引っ張ることで、容易に節間伸長茎を引き抜くことができる。この方法によって採取した節間伸長茎が、種子生産性の簡易検定に利用できるか否かを調べた。

材料および方法

2002年5月22日に、試験4B、5Bおよび5Cと同じ早生11栄養系の節間伸長茎を株から引き抜き、以後採種時まで温室内で水栽培した。1栄養系あたり8本の節間伸長茎を2本ずつ4束に分け、水道水を張った60cm×38cmのバットにこれらの束（計44束）を約320束/m²の密度で立てた。この際、束が互いにもたれ合ったり倒れたりしないように配慮した。水栽培中、月に一度家庭園芸用複合肥料（村上物産株式会社製「ハイポネックス液5-10-5」）をバットあたり5ml投与した。採種時には、各束の中で最も長かった穂について、穂長と1穂種子重を測定した。

以後、この試験を試験5Dと呼ぶ。

また、節間伸長茎を引き抜いた株のその後の生育を調べるため、試験5Dにおいて茎の引拔を行ったのと同じ日に、試験5Dとは別の試験圃場において乱塊法4反復で個体植されていた早生30栄養系（これらの早生栄養系は試験4Bに供試されていた42栄養系の一部であるが、試験4C、5B～5Dで供試された11栄養系とは4つを除き一致しない。また試験5Aで供試された10栄養系はすべて含まれる）のうち1反復のみについて、全栄養系から節間伸長茎を引き抜き、以後の生育を他の3反復と比較した。株（=栄養系）あたり引き抜いた節間伸長茎は4本とした。

またこれとは別に、2番草での節間伸長茎の引抜の影響の有無を調べるため、2002年8月13日（1番刈後55日目）に、個体植されていた「ノサップ」40個体のうちの20個体の節間伸長茎を引き抜き、以後の生育を引抜処理をしなかった20個体と比較した。株あたり引き抜いた節間伸長茎は同様に4本とした。

以後、この試験を試験5Eと呼ぶ。

結果および考察

(1) 試験5Dと圃場での採種試験4B、4Cの間の種子生産性の指標の一致度

試験5Dの試験結果と圃場での採種試験、すなわち試験4B（2000年採種）と4C（2002年採種）の試験結果との関係を、表5-5および図5-4に示した。試験5Dの種子生産性の指標2形質は、圃場試験4B、4Cの

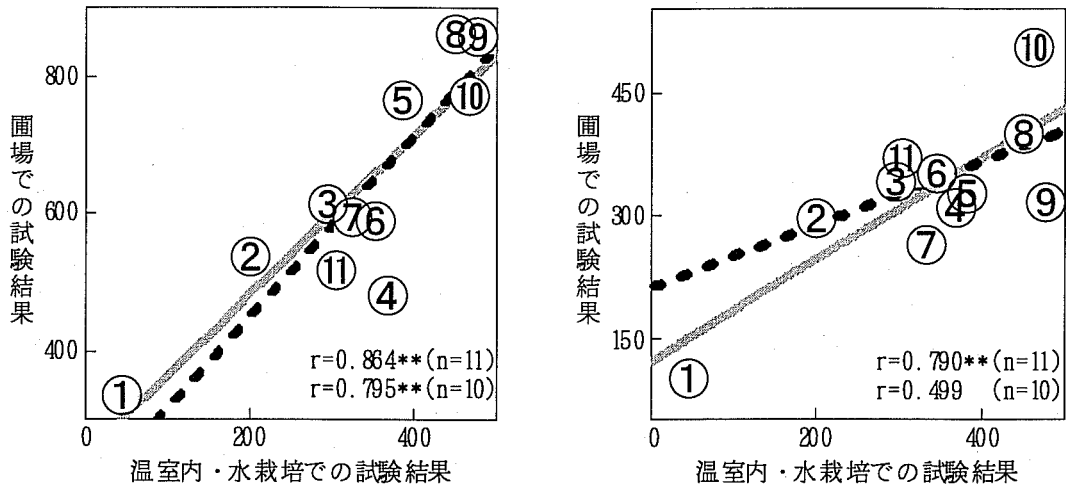


図5-4. 試験5D（温室内・水栽培）と試験4B・4C（圃場）との1穂種子重(mg)の関係

両図の○で囲まれた番号は、試験4Cにおける栄養系番号を示す。

灰色の実線および黒の点線は、それぞれ全11栄養系について、および圃場試験で種子収量性の序列の年次間変動が大きかった10栄養系（本文参照）についての回帰直線を示す。 **：1%水準で有意。

表5-5. 試験5Dの調査結果

栄養系番号	穂長 (mm)	1穂種子重 (mg)	種子密度 (mg/cm)
1	100	46	5.2
2	112	200	17.4
3	107	296	26.8
4	155	367	29.6
5	108	383	36.2
6	107	344	28.9
7	120	328	28.0
8	135	450	33.6
9	146	474	33.6
10	153	456	27.3
11	116	302	25.4

圃場試験における同形質との相関¹⁾

①全11栄養系について見た場合			
試験4B(2000年採種)	.387	.864**	.740**
試験4C(2002年採種)	.673*	.790**	.732*
試験4B・4C平均値	.507	.910**	.843**
②年次変動の大きい10栄養系 ²⁾ について見た場合			
試験4B(2000年採種)	.368	.795**	.685*
試験4C(2002年採種)	.774**	.499	.129
試験4B・4C平均値	.532	.811**	.635*

注) 試験4B・4Cおよび両試験の平均値については、それぞれ表4-2-3, 4-2-4および4-3-3を参照。

1) *, **: それぞれ5%, 1%水準で有意 (n=10または11)。

2) 試験4Bと4Cの間で種子収量性の序列の変動が大きかった10栄養系(第4章参照)。

いずれの結果ともおおむね高い相関を持っていたが、種子生産性の指標2形質の中では1穂種子重が、また2回の圃場試験の中では2000年に採種を行った試験4Bが、それぞれとくに高い相関を持っていた。

2002年に採種を行った圃場試験4Cに比べ、2000年の試験4Bの方がより高い相関を持っていたという点では、試験5Dの結果は前節に示した育苗用トレーを用いた試験5B, 5Cの結果と共通している。しかし5Dの結果が5B, 5Cの両試験と異なる点として、5B, 5Cでは種子密度の方が1穂種子重に比べ圃場試験の結果とよく一致したのに対し、試験5Dでは逆に1穂種子重の方が一致度がやや高かった。この傾向は、とくに年次間変動が大きかった10栄養系について2002年の圃場試験(4C)の結果と比較した場合に著しかった(1穂種子重の場合: $r=0.499$, 種子密度の場合: $r=0.129$)が、これは試験5Dに供試された出穂茎が、2002年5月下旬まで圃場で生育していた、すなわち試験4Cとほとんど同じ環境条件下におかれていたことと関係がある。前述したように、北見地方における早生のチモシーの穂長は5月中旬以前の環境条件によりその大半が決定される。このことにより、2002年5月下旬に圃場から採取された試験5Dの出穂茎の穂長が、同年に圃場で採種された試験4Cの同形質と高い相関を持つ結果につながり、さらにこの穂長の一致性の高さにより、両試験間では穂長の影響を受ける1穂種子重の方が、種子密度よりも高い相関係数となったと考えられる。

以上のことから、節間伸長期に圃場から引き抜いた分

表5-6. 試験5E (1番草) の試験結果

形質	1番草				2番草			
	萌芽 良否	早春 草勢	出穂 始	刈取時 草丈	再生	斑点病 罹病程度	出穂 程度	草勢
調査日(月.日)	4.15	5.7		6.14	7.5	8.6	8.6	8.6
評点・計測法	1:極不良 ~9:極良	1:極不良 ~9:極良	6月 の日	cm	1:極不良 ~9:極良	1:無・微 ~9:甚	1:無・極少 ~9:極多	1:極不良 ~9:極良
引抜処理をした反復 ²⁾								
Ⅲ	4.87	5.10 ^{ab}	9.47 ^a	104.3 ^b	4.40 ^a	3.33 ^a	4.20	4.93 ^{ab}
引抜処理をしなかった反復 ²⁾								
Ⅰ	4.77	4.93 ^b	9.00 ^{ab}	104.8 ^{ab}	3.97 ^b	3.10 ^{ab}	4.43	4.70 ^b
Ⅱ	5.00	5.37 ^a	8.73 ^b	106.9 ^a	4.37 ^a	2.93 ^b	4.10	5.20 ^a
Ⅳ	4.90	5.07 ^{ab}	8.60 ^b	105.7 ^{ab}	4.20 ^{ab}	3.33 ^a	4.13	4.87 ^{ab}
3反復平均	4.89	5.12	8.78	105.8	4.18	3.12	4.22	4.92
t値 ³⁾	0.16	0.17	3.53 ^{**}	1.42	1.61	1.90	0.15	0.10

注) 1) 1番草の萌芽良否と早春草勢は引抜処理を行う前の値。

2) 右肩の異文字間には5%水準で有意差あり。

3) 引抜処理の有無による差の有意性を検定した。**: 1%水準で有意差あり。

表5-7. 試験5E (2番草) の調査結果

形質	2番草 ¹⁾				3番草			
	斑点病 罹病程度	出穂 程度	草丈	草勢	再生	斑点病 罹病程度	草丈	草勢
調査日(月.日)	8.6	8.6	8.6	8.6	8.29	10.17	10.21	10.17
評点・計測法	1:無・微 ~9:甚	1:無・極少 ~9:極多	cm	1:極不良 ~9:極良	1:極不良 ~9:極良	1:無・微 ~9:甚	cm	1:極不良 ~9:極良
引抜処理を行った20個体 ²⁾								
平均	4.3	3.8	106	4.6	4.9	4.4	61.2	5.2
標準偏差	0.80	1.52	9.0	0.68	0.55	0.88	15.4	0.95
引抜処理を行わなかった20個体 ²⁾								
平均	3.8	3.3	105	4.2	4.9	4.2	58.9	5.2
標準偏差	0.83	1.45	9.6	0.70	0.64	0.70	11.8	0.77
t値	1.885	1.040	0.717	1.791	0.000	0.443	0.600	0.000

注) 1) 2番草の全調査形質は引き抜き処理を行う前の値。

2) 全形質とも引抜処理の有無による有意差はなかった。

げつを温室内で採種時まで水栽培する方法は、その1穂種子重または種子密度を評価することにより、栄養系の種子生産性の簡易検定法として充分利用できると判断した。

(2) 節間伸長茎の一部を引き抜いた株のその後の生育

試験5Eにおいて、2002年の1番草節間伸長期に4本の節間伸長茎の引抜処理を行った栄養系(1反復)と処理を行わなかった栄養系(3反復)について、その後の生育を表5-6に示した。分散分析による反復間差、およびt検定による処理間差を検討した結果、引抜処理を行った反復の出穂始は処理を行わなかったものに比べ0.7日(1%水準で有意)おそかったが、他の形質においては差がなかった。また出穂始においても、引抜処理は

栄養系間の序列の変化を引き起こしていないと判断された(相関係数: $r=0.861^{**}$ $n=30$)。このことから、1番草において節間伸長茎の引抜処理を行った栄養系(個体)を処理を行わなかったものと比較する場合、出穂始については1日程度の差を考慮する必要があるが、それ以外の形質については特別な配慮は必要なく、したがって、引抜処理後の個体(栄養系)は引き続き調査、検定の対象として支障がないものと考えられた。

また、2002年2番草において、4本の節間伸長茎の引抜処理を行った個体と、処理を行わなかった個体の、その後の生育を表5-7に示した。引抜処理を行った個体の3番草の再生および草勢は、処理を行わなかったものと差がなかった。このことから、2番草において引抜処理を行った個体(栄養系)も、その後引き続き調査、

検定の対象として問題ないと推察された。

5-4. まとめ

本章各試験結果を表5-8にまとめた。供試材料の採取方法(表(a))として、分けつを掘り上げる方法は、その後当該個体(栄養系)の調査を行わない場合に限られるが、切り穂については全く支障がなく、また引き抜いた節間伸長茎もほぼ支障なく利用できる。一方、種子生産性の検定方法(表(b))として、切り穂では信頼できるデータを収集できなかったが、育苗用トレーに分けつを移植する方法、および引き抜いた節間伸長茎を水栽培する方法では、信頼できるデータを収集できた。

実際に、どのような形で材料の採取および検定を行うのかは、各方法の長短所、検定しようとする栄養系の数、検定を行いたい時期などの要素を総合的に判断することにより決められる。たとえば、試験5Bの方法は、分けつを掘り上げた株に対するその後の生育調査が行えない欠点があるが、冬季～春季、すなわちチモシー育種の作業が比較的少ない時期に種子生産性検定が行える利点がある。通常牧草の個体選抜試験は試験開始後3年(初年目には本格的な調査を行わないので、実質的な調査は2年間)で終了するため、母系選抜系統の構成親栄養系を最終決定する段階として、種子生産性簡易検定を行うのであれば、試験5Bの方法は利用可能である(圃場に残された株は、その後の生育調査には使えないものの、翌年の圃場での母系選抜系統作出のための採種試験には使えるであろう)。また、試験5Dの方法は、試験時期がチ

モシー育種の繁忙期(夏季)と重なる欠点があるものの、採種までの管理が簡単で、かつ節間伸長茎採取後も引き続き生育調査が行えるという利点がある。さらに、圃場にある株の生育調査を引き続き行い、かつ種子生産性の検定を冬季～春季の、作業が比較的少ない時期に行うことも、(やや煩雑だが)可能である。すなわち、

- 1) 検定したい栄養系(個体)の2番草の節間伸長茎を引き抜く。
- 2) その後しばらく水栽培して発根を促し、発根後育苗用トレーに移植する。
- 3) 2)と同時に、節間伸長茎を基部から10cm程度の高さで切除し、再生芽と新たな分けつを生じさせる。
- 4) 以後、分けつを試験5Bと同様に管理し、翌春に種子生産性の検定を行う。

という方法である。この方法を採れば、たとえば試験3年目の2番草までで優良と判断された個体から節間伸長茎を引き抜き、翌年早春にその種子生産性を検定する一方、圃場では3番草、さらには翌年の越冬性までを引き続き調査することが可能となり、前述の試験5Bの方法に比べ、同じ試験年数でより多くの情報(すなわち個体選抜試験における試験4年目の越冬性)を得られる。

前章において、チモシーの種子生産性の効果的な改良のためには、種子収量の検定を複数の環境条件下で行う必要があると結論したが、本章で開発された、これらの簡易検定を実際の圃場での採種試験と組み合わせることにより、圃場での採種試験だけを行う場合よりもより短い時間、あるいはより少ない労力で、種子生産性の確実な検定を行うことが可能となるため、今後種子生産性の

表5-8. 各試験結果のまとめ

(a) 供試材料の採取

方法	①切り穂	②スコップによる 分けつ掘り上げ	③節間伸長茎の 引抜(1番草)	④節間伸長茎の 引抜(2番草)
試験名	(5A)	5B	5E	5E
利用の可能性 ¹⁾	◎	△	○	◎
備考	その後の調査に支障なし	採種後に生育調査の予定がない場合に利用が限られる	引抜により出穂始が約1日おくれる他は支障なし	その後の調査に支障なし

(b) 圃場での種子生産性との一致度

方法	①切り穂	②スコップによる 分けつ掘り上げ	③節間伸長 茎の引抜 ²⁾
試験名	5A	5B・5C	5D
利用の可能性 ¹⁾	×	◎	◎
備考	開花始時に採取した切り穂のみ一致度が高かったが、栽培試験での1番刈は開花前なので不都合である。	特に出穂始以降高温に経過した2000年の圃場試験(試験4B)の結果とよく一致した。	②と同じ

注) (a, bとも)

1) ◎:非常に高い, ○:かなり高い, △:やや高い, ×:低い。

2) 本研究では1番草で採取した材料のみ検定したが、5B～5Dの試験結果より、明らかに2番草を材料とした場合も支障なく利用できると思われる。

改良が加速されることが期待できる。

育種目的での牧草の種子生産性の簡易検定法については、既往の報告がない。一方でスムーズブロムグラス、オーチャードグラスおよびライグラス類など、チモシー以外の自家不和合性寒地型イネ科牧草の多くでも、1穂

種子数（または1穂種子重）が種子収量と密接に関連していることが報告されている^{1,17,94,96}。もしこれらの草種においても種子生産性の簡易検定法が確立されれば、その優良品種の早期普及に貢献することになる。

第6章 総合考察

6-1. 総括および各形質についての改良育種の状況

第2～5章で述べた、1番草での耐倒伏性、1番刈後の競合力および種子生産性について、得られた知見とそれに基づく効率的な選抜方法を以下にまとめた。また、一連の試験は、北見農試における採草用チモシー早生品種育成試験の一環として行われており、これまでに得られた知見を基に、各形質の改良が進められている。この状況も併せて以下に記した。

(1) 1番草の耐倒伏性

- 1) 後代検定試験において3回の倒伏程度の調査（各調査時の生育段階は、それぞれ穂孕み期、出穂始期および出穂期の後期にほぼ相当する）を行ったが、相互間の寄与率、つまり一致度は、いずれも低かった（表2-1）。このことから、異なる生育段階における耐倒伏性は、互いに異なる形質として捉えられるべきであると考えられた。
- 2) しかし、耐倒伏性を調査した時の後代系統の生育段階が、親栄養系のそれと近い場合には、両者間の相関は高かった（表2-2、2-3および図2-1、2-2）。したがって、各生育段階ごとの耐倒伏性の狭義の遺伝率は高いと考えられた。
- 3) 1)および2)より、チモシーの1番草の耐倒伏性は、その調査を個体選抜試験（親栄養系を選ぶ試験）で各生育段階ごとに行えば、1サイクルの選抜でも相当程度改良できると結論された。
- 4) 筆者らは、これまでに2つの早生の耐倒伏性系統、「北系00306（集団選抜系統）」および「北系00307

（母系選抜系統）」を育成した。これら2系統の構成親栄養系を基礎集団（個体選抜試験）から選抜する際には、上記3)で得られた結論のように、その個体がどの生育段階においても常に優れた耐倒伏性を示していることを重視した。実際、育成されたこれら2系統の1番草の倒伏程度は、現在流通している北見農試育成品種「ノサップ」より明らかに低く、民間育成の耐倒伏性品種「オーロラ」とほぼ同じ水準にある（表6-1）。

(2) 1番刈後の競合力

- 1) シロクロバ（*Trifolium repens* L.）との競合条件下で行った後代検定試験の結果から、採草用チモシーの1番刈後の競合力は、2番草の再生および節間伸長程度（以後これら2形質を競合力関連形質と呼ぶ）と密接に関係していることが判明した。
- 2) 競合力関連形質の親子相関は、いずれも高かった（図3-1）。また、シロクロバに対する競合力について重点的に選抜された栄養系群の後代は、他の基準で選抜された栄養系群の後代に比べ、明らかにシロクロバに対する競合力が優っていた（表3-5）。以上のことから、競合力の狭義の遺伝率は高いと考えられた。
- 3) しかし、シロクロバとの競合条件と単播条件の間では、競合力関連形質の寄与率、すなわち両者の一致度は低かった。このことから、単播条件では競合力を的確に推定できないと考えられた。
- 4) 2)および3)より、採草用チモシーの1番刈後競合力は、個体選抜試験あるいは後代検定試験のどちらか一方を競合条件下で実施すれば、1サイクルの選抜でも相当程度改良できると結論された。
- 5) 前述した早生の2系統「北系00306」および「北系00307」の構成親栄養系を決定した基礎集団では、中葉型シロクロバ「ソーニャ」との競合条件下で調査が行われた。両系統の構成親栄養系決定に際しては、1番草の各生育段階における耐倒伏性だけでなく、1番刈後の競合力も同様に重視された。これら2系統の1番刈後の競合力の検定はまだ行われていないが、表3-5で示したように、競合力で選抜された栄養系群の後代系統の競合力が、他の後代系統に比べ明らかに優れていたことから、2系統の競合力は確実に改良されているものと推定される。

表6-1. 効率的な耐倒伏性の育種法に則って育成された早生2系統の倒伏程度

	1番草の		乾物収量(kg/a)	
	倒伏程度	草丈(cm)	1番草	年合計
耐倒伏性2系統				
北系00306	4.3	109	67.6	117.5
北系00307	3.3	107	63.1	114.2
標準、参考品種				
ノサップ	7.0	100	62.9	109.2
オーロラ	4.8	102	69.1	110.3
lsd(5%)	1.8	n.s.	n.s.	n.s.

注) いずれも2年目の数値（3年目は倒伏の発生がなかった）。

倒伏程度の評点法は1:無または微～9:甚。

5% lsd値は他の4系統を加えた計8品種系統の分散分析結果より算出。

(3) 種子生産性

- 1) チモシーの種子収量に対しては、穂数よりも1穂種子重の方がより密接な関係にあった。また1穂種子重を構成する2要素、1穂種子数と千粒重とでは、前者の方が種子収量とより密接に関係していた。さらに1穂種子数を構成する2要素、穂長と穂1cmあたり種子数とでは、後者の方が種子収量とより密接に関係していた(表4-1-3)。すなわちチモシーの種子生産性の良否は、穂数や穂長などの外観形質では的確に判断できないと考えられた。
- 2) 同一の栄養系群を異なる年次に採種試験に供試した結果、種子生産性の年次変動はやや大きかった。とくに、ある年次に優良な種子生産性を示した栄養系が、他の年次では中程度の種子生産性しか示さない例がしばしば見られた(表4-2-4, 図4-2-2)。このことから、とくに厳しい選抜、つまり種子生産性に優れる栄養系だけを選抜しようとする場合は、その検定を複数の環境条件下で行う必要があると考えられた。
- 3) 同一環境条件下で検定された種子生産性の狭義の遺伝率は高かった(表4-2-6)。
- 4) 2)および3)より、チモシーの種子生産性は、複数の環境条件下での検定を個体選抜段階で行えば、1サイクルの選抜でも相当程度改良できると結論された。
- 5) 1)の知見に基づき、温室内で行えるチモシーの種子生産性の簡易検定法を開発した。2種類の材料、すなわち晩秋または早春に圃場から掘り上げ育苗用トレーに移植した分けつ、および5月下旬に圃場から引き抜き水栽培した節間伸長茎は、圃場での種子生産性を高い精度で再現できた。
- 6) 種子生産性について重点的な改良が行われてきた系統は現在のところ存在しないが、今回開発された簡易検定法を圃場での採種試験と組み合わせることにより、今後種子生産性の改良が加速されることが期待される。

6-2. さらに効率的なチモシー育種を目指すために

(1) 新形質の改良を行う場合の現行の方法とその問題点

緒論でも述べたように、極早生から晩生までの各熟期群に採草用の優良品種が一通り揃い、一方で酪農家にさらなる生産コストの削減が求められている現在、チモシーに対する要望も、以前の「安定栽培」から、「作りやすさ」「低コスト化」を求める水準へと高度化してきており、これらの要望に応えるため、筆者が属する北見農試牧草

科は、前章までに取り扱った各形質の改良に取り組んできた。今後はこの流れがさらに加速し、チモシー育種家が改良を求められる形質はより一層多様化すると考えられる。しかし、種子生産コストの低減が求められる今日、牧草育種に携わる研究者の数、あるいは牧草育種に使われる圃場面積が増える状況にはない。したがって今後は、新しい形質の改良をこれまで以上に効率的に行える方法を構築しなければ、多様化する酪農家の要望に対し、きめ細かく、かつ素早く対応した新品種を育成することが難しくなるであろう。

これまでの北見農試のチモシー育種において、新しい形質の改良は基本的に以下の手順で行われた(図6-

1). すなわち

- 1) 栄養系評価(または個体選抜、以下同様)試験において、当該形質を重点的に調査し、その結果から当該形質について優れた個体を選抜する。この際新しい遺伝資源の活用を目的として、しばしば国内外の多数の品種が供試される(移植年を含め通常3か年)。
- 2) 1)で選抜された個体を交配試験に供し、種子(後代系統)を得る(通常1~2か年)。
- 3) 2)で作出された後代系統を後代検定試験に播種、または次のサイクルの個体選抜試験に供試し、その選抜効果を確認すると同時に新たな選抜を行う(播種・移植年を含め通常3か年)。

チモシーの新しい形質の改良に関するこのような手法は、国内のみならず外国においても見られる^{102,105,126)}し、また他の寒地型、多年生、他殖性牧草の育種においても広く採用されている^{8,25,36)}。しかし、少なくとも北見農試におけるチモシー育種のように、歴史があり、優良遺伝資源(栄養系および後代系統種子)の蓄積が進んでいる育種機関にとって、この方法は「牧草における新形質の効率的な改良」という視点から見た場合、以下のような問題点が含まれていることを指摘しなければならない。

- ・試験規模が大きくなり、また時間がかかる。

過去の試験では、上記の1)、栄養系評価試験において、数十~数百栄養系を2~4反復栽植した(第2,3章)。また、1)~3)を順に行うと、通常7か年以上を要する。実際、第2章で述べた耐倒伏性の場合、親栄養系の移植が1994年、後代系統の調査開始が2000年であり、第3章における競合力の場合、親栄養系および後代系統の調査開始がそれぞれ1993年、2000年であった。

- ・当該形質の選抜効果が不明なまま、選抜を行わなくてはならない。

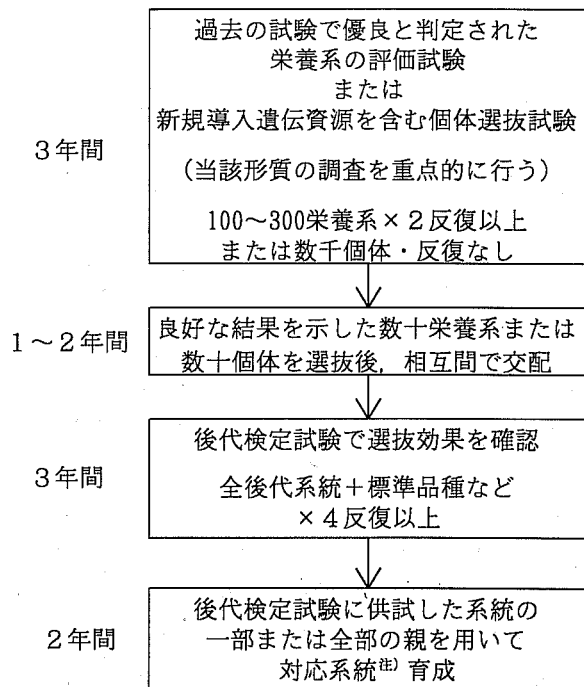


図6-1. チモシーや他の多年生・他殖性牧草における新形質改良の際に北見農試において従来採用されてきた方法

注) 当該形質について既存品種・系統よりも一定程度改良された系統。

言い換えれば、個体または栄養系の調査と選抜に少なからぬ労力と時間をかけたにもかかわらず、その選抜効果が確認できない場合がある。具体的には、

- i) 当該形質の狭義の遺伝率が低い場合
- ii) 当該形質が環境の影響を受けやすい場合に、このような事態が起こりうる。

今回取り扱った3形質の中には、結果として狭義の遺伝率が低いと結論されたものはなかったが、種子生産性は環境の影響をやや受けやすかった(表4-2-4, 図4-2-2)。もし第4章において、2000年の親栄養系の調査結果を用いて種子生産性の狭義の遺伝率の推定しなければならなかったとすれば、その数値は11.9~14.6% (種子収量の親子相関は0.215)と、2002年(後代系統の種子生産性検定と同じ年)の結果を用いた場合(50.1~62.6%、種子収量の親子相関は0.560)を大幅に下回る(表4-2-6)。すなわち充分な選抜効果が確認できないままに終わってしまう。このため効率的な種子生産性育種法として導かれる結論も、「狭義の遺伝率が低いから、後代検定試験による検定と選抜が望ましく、個体または栄養系の選抜段階での検定はあまり意味がない」というものになったであろう。同様に第2章の耐倒伏性についても、もし2000

年6月24日に後代系統群に倒伏をもたらす風雨がなかったら、A群においては耐倒伏性の選抜効果が十分に確認できなかったであろう(図2-1)。したがって耐倒伏性の効率的選抜法としては、「狭義の遺伝率が材料により高い場合と低い場合とに分かれるため、確実な選抜のためには後代系統に対する検定が不可欠である」という結論が導かれ、また生育段階と耐倒伏性との関連も議論できなかったであろう。

(2) 確実に成果を上げるための「親子同時検定」の提案

前節までに示した試験結果およびこれらを基に得られた知見から、新形質の改良法として、図6-1に示したものよりもさらに「効率的」なものを考えたい。「効率的」とは、

- i) 同程度の改良をより短い時間、あるいはより少ない労力で行える
- ii) 狭義の遺伝率が低かったり、環境の影響を受けやすい形質も確実に改良できる

ということを目指す。具体的には、当該形質の広義および狭義の遺伝率、および環境に対する安定性、という3要素を、早期に、簡便に、かつ正確に把握できる方法である。

これらの条件を満たした新形質改良法として、「親子同時検定」を提案する(模式図を図6-2に示した)。

この方法は、第4章、種子生産性の項で、その狭義の遺伝率の推定を行った試験4Bおよび4Cと、基本的には同じである。育種の歴史が長く、多数の栄養系とそれらの後代系統種子が蓄積されている場合に限り適用できる方法であるが、上述した諸条件をすべて満たしている。すなわち、

- ・ 同程度の改良をより短い時間、あるいはより少ない労力で行える。

前々節で述べたこれまでの手法(図6-1)では、当該形質の選抜効果の確認までに2回の試験と1回の交配(通常は全部で7~8年間)が必要だが、この方法では1回の試験(3年間)だけで当該形質についての確実な選抜が行える(図6-2(a))。この場合、「1回の試験」の規模がかなり大きくなる問題があるが、試験を2回に分割する手法(図6-2(b))。第4章の種子生産性の親子同時検定と同手法)を採れば、1回の試験の規模を、(a)との比較においては言うまでもなく、図6-1の場合に比べても大幅に縮小できる。

- ・ 当該形質を確実に改良できる。

前節に示したように、図6-1の方法では、当該形質が

点を指摘したい。

まず第1点として、北見農試が育成したチモシーの品種系統、あるいは保有している優良栄養系は、少なくとも実際の育種場面では充分すぎるほどの多様性を持っている、ということである。チモシーはイネ、麦類、ダイズなど日本における主要な子実作物と異なり、自家不和合性、多年生で、かつ栽培植物としての歴史が浅い。これらのことは、品種系統内のみならず各個体内においても相当なヘテロ性が保持されていること、および淘汰や機会的浮動によって消失した遺伝子が少ないことを強く示唆している。

実際、第2章の表2-4、および第5章の表5-7に示したように、早生品種「ノサップ」の品種内変異は、

調査されたとの形質においても大きかった。「ノサップ」の構成親の数は4¹⁴⁾と、北見農試育成品種の中では最も少ないにも関わらず、このような大きな品種内変異が見られたことから、構成親の数がより多い他の品種においては、品種内変異はさらに大きいと考えられる。また、第2章で取り扱った耐倒伏性(表2-2、表2-3)、第3章で取り扱った競合力(表3-2)、および第4章で取り扱った種子生産性(表4-1-2、表4-2-3)の、栄養系間、あるいは後代系統間の変異もまた大きかった。各形質の選抜を行った母集団は、極力ジーンプールを広く採ろうとして作られたものではなく、むしろ1~2回の選抜サイクルを経た個体群、言い換えれば北海道への適応度について選抜された結果、その意味ではジーンプ

表6-2 近年検定が行われた導入遺伝資源の主要な特性

a) 第6次導入遺伝資源評価試験(1995~1997年)									
品種名	育成国	出穂始		越冬性 ²⁾	斑点病 ³⁾ 1996年 2番草	年間合計			
		6月の日				乾物収量 ⁴⁾			
		1996年	1997年	1996年		1996年	1997年		
Tia	フィンランド	25	20	5.0	6.7	97	81		
Tuuka	フィンランド	25	20	4.7	6.0	99	85		
ノサップ ¹⁾	日本	21	17	5.7	3.7	(83.2)	(118.8)		
ホクシュウ	日本	34	25	6.0	5.3	94	84		

b) 第7次導入遺伝資源評価試験(早生群, 1999~2001年)									
品種名	育成国	出穂始		越冬性 ²⁾	斑点病 ³⁾ 2000年 1番草	年間合計			
		6月の日				乾物収量 ⁴⁾			
		2000年	2001年	2000年		2000年	2001年		
Sobol	チェコ	16	10	4.8	5.5	86	89		
ノサップ ¹⁾	日本	16	9	5.3	3.5	(92.8)	(70.3)		

c) 第7次導入遺伝資源評価試験(中生群, 1999~2001年)										
品種名	育成国	出穂始		越冬性 ²⁾	斑点病 ³⁾			年間合計		
		6月の日			2000年	2001年		乾物収量 ⁴⁾		
		2000年	2001年	2000年	2001年	1番草	1番草	2番草	2000年	2001年
Iki	フィンランド	17	13	5.3	5.3	5.0	2.5	4.8	96	89
アッケシ ¹⁾	日本	18	14	4.5	5.3	2.3	1.5	3.0	(98.0)	(77.9)

注) (表(a)~(c)共通)

- 1) 標準品種。
- 2) 1:極不良~9:極良。
- 3) 罹病程度について、1:無または微~9:甚。ただし品種間差が1未満の場合は記載しなかった。
- 4) 標準品種は実数(kg/a)、他は対標準品種百分比。

d) 中生後代検定試験(2001年~)									
系統群名	原産国	出穂始	越冬	早春	斑点病 ³⁾	年間合計			
品種名	育成国	6月の日	性 ²⁾	草勢 ²⁾	2番草	乾物収量 ⁴⁾			
17後代系統平均	ロシア(サハリン)	18	7.2	5.3	3.3	91			
アッケシ ¹⁾	日本	17	7.5	6.8	2.8	(101.4)			

注) サハリンから導入した遺伝資源を個体植した後、1995年から3年間調査した結果、比較的優良と判断された18個体を調査終了後隔離圃場に移植し、採種を行った。このうち種子収量が多かった17個体の後代系統を、2001年から「アッケシ」とともに供試した。調査結果は全て2002年のもの。

- 1) 標準品種。
- 2) 1:極不良~9:極良。
- 3) 罹病程度について、1:無または微~9:甚。
- 4) 標準品種は実数(kg/a)、他は対標準品種百分比。

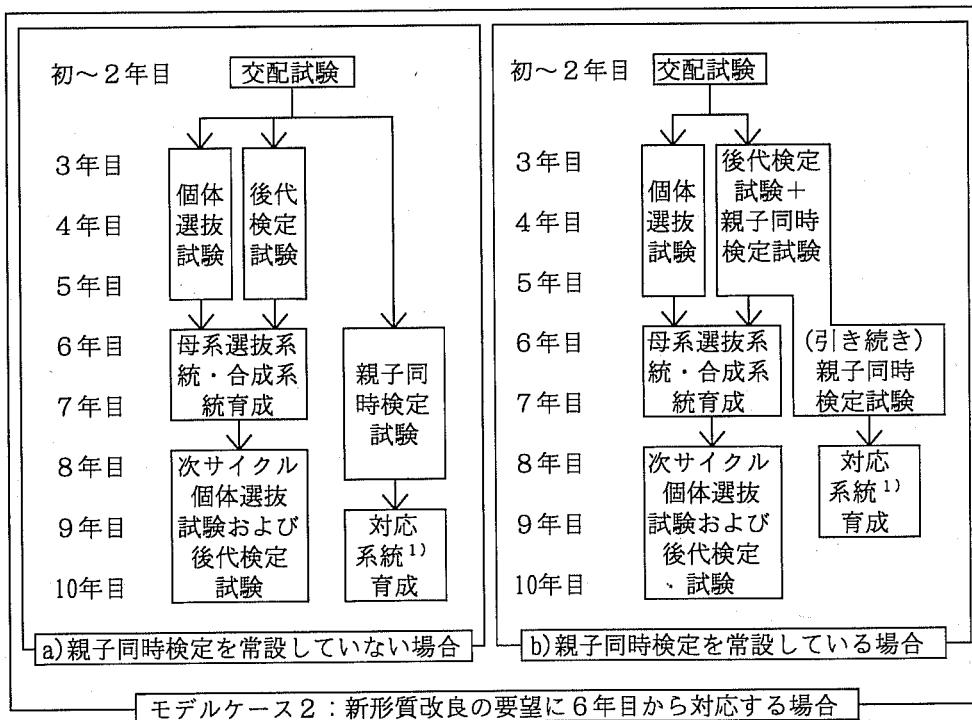
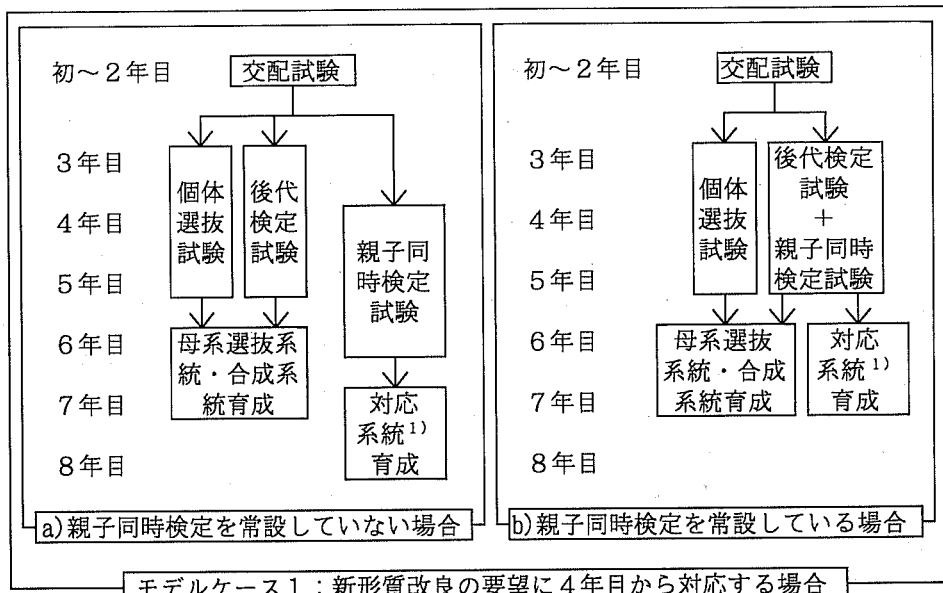


図6-3 通常の育種試験の中に親子同時検定を取り入れた場合の育種の流れ
注) 当該形質について既存品種・系統よりも一定程度改良された系統。

※親子同時検定を「常設化」した育種方法は、していないものに比べ、
①当該形質について一定程度改良がなされた「対応系統」の育成が1年早まる。
②親子同時検定のために新たに圃場を造成する必要がない。
等の長所を持つ。

ールがある程度小さくなった個体群である。とくに、第4章(種子生産性)の試験4Bで扱った42栄養系(表4-2-3)の種子親は、いずれも種子生産性そのものについて厳しく選抜された経歴を持つ。にもかかわらず、これらの株あたり種子収量は2.0g~35.4gの変異を持ち、

その変動係数(標準偏差を全平均で割った値)は26.0%に及んでいた。このように、北見農試が保有する選抜母集団の中には、過去に選抜が行われた形質でさえも、依然として大きな変異が観察されている。このことから、これまで選抜されたことがない形質についても、大きな

遺伝変異が包含されていることを充分予想できる。

第2点として指摘したいのは、選抜母集団の遺伝的多様性を広く採ろうとすると、北海道の気候への適応性に欠ける個体の割合が増える危険がある、ということである。北海道におけるチモシーの本格的な育種の歴史は数十年程度しかないが、その間にチモシーの北海道への適応性、具体的には斑点病に対する抵抗性などは確実に高まってきたし、外国品種に由来する極早生・晩生品種の越冬性も、北海道での栽培に十分な水準まで引き上げられてきた(表1-2)。したがって、新規に海外から北見農試に導入される(すなわち北海道における適応性について選抜が加えられていない)遺伝資源の多くは、越冬性、耐病性、収量性などの主要形質において、今日の流通品種よりも劣る場合が多い(表6-2)。一方で、これらの主要形質の選抜は流通品種育成後も絶えず繰り返されている。このような状況において、たとえ新規に海外から導入された遺伝資源の中に、新たに改良を試みようとする形質について相当優れたものがあっても、その越冬性や耐病性などを今日北見農試が保有する選抜母集団の水準まで引き上げるには、相当な労力と時間が必要となろう。

以上の2点を考えると、少なくともこれまで重点的に取り組んだことがない形質の改良を試みる場合は、極力ジーンプールを広く採ろうとするよりも、繰り返し越冬性や耐病性などについて選抜されてきた手持ちの遺伝資源を選抜母集団とした方が、結局有利(より短い時間、あるいは少ない労力で、酪農家が求める品種を育成できる可能性が高い)であろう、という結論に達する。

(4) さらに育種を効率化させるための「親子同時検定の常設化」の提案

前々節では、新しい形質について改良の必要が生じた段階で、親子同時検定を開始することを前提にして、図6-2のような育種の流れを提案した。しかし、改良の必要が生じてから、その都度新しい圃場を造成するのは労力を要するし、年によっては新しい試験を行いたくてもそのための圃場を確保できないこともある。また、親

子同時検定の初年目、つまり親を移植、後代を播種した年次には、実際上何の検定もできない。

このような問題を解決し、新しい形質の改良を一層効率的に行う方法として、親子同時検定の「常設化」、すなわち通常の育種試験の中で、常に親子同時検定が行われるような方法を導入することを提案する(図6-3)。

この方法を採用し、通常の育種事業の中で行われる後代検定試験の中に、予め親栄養系を移植しておけば、もし、これまでに選抜したことのない形質を改良する必要が生じた場合、最短2年間でその形質の効果的改良法の決定に必要な3要素、すなわち広義、狭義の遺伝率および環境に対する安定性を検定できる。また種子生産性など、通常の採草用品種育成試験では検定できない形質についてこれらの知見を得ようとする場合でも、後代検定試験の終了後引き続いて2年間、同一圃場で親子同時検定を行うことにより、これら3要素の検定を行える。今後、様々な制約の中で少しでも多くの形質について効果的改良を目指すためには、このような「親子同時検定の常設化」も検討されるべきと考える。

6-3. 最後に

1番草の耐倒伏性、1番刈後の競合力および種子生産性の改良のために行われた各試験の結果を基に、チモシーにおいて新形質の改良をより効率的に行うためには、従来より行われてきた改良法、すなわち最初に個体選抜試験を行う方法を改め、親子同時検定を組み入れた新しい方法を採ることの必要性を前節までに述べた。この議論の基礎になった試験は、全て早生の採草用チモシーを材料としたものである。しかし、得られた知見の多くは、他の熟期・他の用途のチモシーのみならず、他の多年生・他殖性の牧草の育種事業にも適用されうるのであろう。今後多くの牧草育種機関が、酪農家の多様な要望によりきめ細かく、より柔軟に応えられる体制をとれば、より優良な品種がより早期に育成、普及されよう。そのことが、最終的に日本の自給粗飼料の良質化、低コスト化につながることを期待したい。

引用文献

- 1) Acikogoez, E. and A. S. Tekeli (1980) Seed yield and its components in smooth brome grass (*Bromus inermis* Leyss.) cultivars. *Euphytica* 29: 199-203.
- 2) Ahlgren, G. H. (1956) Timothy and Brome grass. in *Forage Crops* (Second Edition), McGraw-Hill Book Company, Inc., New York. p. 171-191.
- 3) Alderson J., W. C. Sharp (1995) *Phleum pratense* L. - Timothy. in *Grass Varieties in the United States*. Ed. United States Department of Agriculture. CRC Press Inc., Boca Raton, Florida. p. 215-223.
- 4) Andrews, C. J. and E. Lindgren (1983) A comparison of cold hardiness and ice encasement tolerance of timothy grass and winter wheat. *Canadian Journal of Plant Science* 63: 429-435.
- 5) Barker, R. E., M. D. Casler, I. T. Carlson, C. C. Berg, D. A. Sleper and W. C. Young III (1997) Convergent-divergent selection for seed production and forage traits in orchardgrass: II. Seed yield response in Oregon. *Crop Science* 37: 1054-1059.
- 6) Berg, C. C., A. R. McElory and H. T. Kunelius (1996) Timothy. in *Cool-Season Forage Grasses*. Ed. G. A. Peterson, P. S. Baenziger and J. M. Bigham. No. 34 in the series *Agronomy*. American Society of Agronomy, Inc. p. 643-664.
- 7) Bowley, S. R. (1997) Breeding Methods for Forage Legumes. in *Biotechnology and the Improvement of Forage Legumes*. Ed. B. D. McKersie and D. C. W. Brown. CAB International. U. K. p. 25-42.
- 8) Casler, M. D., I. T. Carlson, C. C. Berg, D. A. Sleper and R. E. Barker (1997) Convergent-divergent selection for seed production and forage traits in orchardgrass: I. Direct selection responses. *Crop Science* 37: 1047-1053.
- 9) Clayton, W. D. and S. A. Renvoize (1986) *Grasses of the World*. Her Majesty's Stationary Office, London.
- 10) 伊達 毅・渡辺清武・由川和美・岡崎 勉・宗石忠信・大矢秀三 (1986) トウモロコシの耐倒伏性に関する研究. 福井県農業試験場研究報告第10号. 55-62.
- 11) 江原 薫 (1954) 飼料作物の種子生産. 飼料作物学 (上巻). 養賢堂 (東京). p. 118-134.
- 12) 江原 薫 (1954) チモシー. 飼料作物学 (下巻). 養賢堂 (東京). p. 30-71.
- 13) 江原 薫 (1968) 芝草の種類とその品種. 芝草と草地造成と管理. 養賢堂 (東京). p. 172-243.
- 14) Elgersma, A. (1985) Floret site utilization in grasses: difinitions, breeding perspectives and methodology. *Journal of Applied Seed Production* 3: 50-54.
- 15) Elgersma, A. (1988) Cytology of seed development related to floret position in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Euphytica* (Suppl.): 59-68.
- 16) Elgersma, A., S. G. Stephenson and A. P. M. den Nijs (1989) Effects of genotype and temperature on pollen tube growth in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) *Sexual Plant Reproduction*. 2: 225-230.
- 17) Elgersma, A. (1990) Seed yield related to crop development and to yield components in nine cultivars of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Euphytica* 49: 141-154.
- 18) 藤井弘毅・山川政明・澤田嘉昭 (2000) チモシーの倒伏に及ぼす生育段階および気象要因の影響. 北海道草地研究会報 34: 28-32.
- 19) 古谷政道 (1985) チモシー. 北海道牧草優良品種の解説. 北農会 (札幌). p. 39-51.
- 20) 古谷政道 (1990) 牧草におけるヘテロシス育種の現状と問題点. 育種学最近の進歩. 31: 14-25.
- 21) 古谷政道・増谷哲雄・樋口誠一郎・筒井佐喜雄・下小路英男・川村公一・中住晴彦・藤井弘毅 (1992) チモシー新品種「キリタツ」の育成について. 北海道立農業試験場集報. 64: 75-89.
- 22) 古谷政道・筒井佐喜雄・植田精一・増谷哲雄・樋口誠一郎・下小路英男・川村公一・中住晴彦・藤井弘毅・中山貞夫 (1992) チモシー新品種「アッケシ」の育成について. 北海道立農業試験場集報. 64: 91-105.
- 23) 古谷政道・下小路英男・中住晴彦・藤井弘毅 (1996) チモシー (*Phleum pratense* L.) 品種の種子収量と関連形質. 日本草地学会誌 42: 255-259.
- 24) 源馬琢磨 (1978) 寒地型飼料作物の栽培. 畜産大事

- 典. 養賢堂 (東京). p. 596-607.
- 25) 後藤寛治・川端習太郎・森 行雄 (1968) オーチャードグラス品種の草収量と種子収量に見られる変異. 北海道農業試験場彙報 93: 84-88.
- 26) 後藤寛治 (1984) イネ科牧草 (その1. 寒地型). 飼料作物学. 文永堂 (東京). p. 32-53.
- 27) Guo, Y. D. and S. Pulli (2000) An efficient androgenic embryogenesis and plant regeneration method through isolated microspore culture in timothy (*Phleum pratense* L.). Plant Cell Reports 19: 761-767.
- 28) Hanson, A. A. and M. W. Evans (1951) Timothy. in Forages. Ed. H. D. Hughes, M. E. Heath and D. S. Metcalfe. The Iowa State University Press. p. 251-257.
- 29) 林 光昭 (1978) 栄養障害. 畜産大事典 (内藤元男監修). 養賢堂 (東京). p. 874-885.
- 30) Higuchi, S., S. Ueda, M. Furuya and S. Tsutsui (1977) Parent-progeny relationship in timothy (*Phleum pratense* L.). SABRAO (Society for the Advancement of Breeding Researchs in Asia and Oceania) Journal. 14(b): 40-41.
- 31) Hill, N. S., D. O. Belesky, W. C. Stringer (1991) Competitiveness of tall fescue as influenced by *Acremonium coenophialum*. Crop Science 31: 185-190.
- 32) 宝示戸貞雄 (1987) チモシー. 農学大事典第2次増訂改版 (野口弥吉・川田信一郎監修). 養賢堂 (東京). p. 748.
- 33) 北條良夫 (1976) 作物の倒伏と強稈性. 作物—その形態と機能 (下巻). 農業技術協会 (東京). p. 166-183.
- 34) 日向康吉 (1991) 他殖性植物の育種法. 植物育種学 (共著). 文永堂 (東京). p. 103-122.
- 35) 池谷文夫 (1968) トウモロコシ. 牧草・飼料作物の品種解説 (農林水産省草地試験場編) 日本飼料作物種子協会 (東京). p. 111-128.
- 36) 磯部祥子・我有 満・内山和宏 (1999) アカクローバのクラウンおよび根の内部崩壊における品種差異について. 育種学研究 1(別): 253.
- 37) 金川直人 (1983) 寒地での寒地型採草地の維持と管理. 畜産全書 飼料作物. 農山漁村文化協会 (東京). p. 185-212.
- 38) 片山正孝 (1993) 牧草の早刈り運動とその成果—根室支庁営農指導対策協議会の取り組みから— . 北農 60: 47-51.
- 39) 川端幸蔵・西田 朗・横内囃生 (1995) 重回帰分析. 応用統計ハンドブック (応用統計ハンドブック編集委員会編). 養賢堂 (東京). p. 120-157.
- 40) 川端習太郎 (1987) 牧草の育種. 農学大事典第2次増訂改版 (農学大事典編集委員会編). 養賢堂 (東京). p. 1226-1229.
- 41) 川瀬 勇 (1956) 禾本科牧草. 牧草講義. 養賢堂 (東京). p. 97-185.
- 42) Kim, K. J, K. H. Kim and H. S. Lee (1982) Varietal difference of lodging occurrence in soybean plant. Korean Journal of Crop Science 27(3): 254-260.
- 43) 木曾誠二・能代昌雄 (1997) チモシー (*Phleum pratense* L.) 採草地の早刈り管理法 2. 早刈りがチモシー・シロクローバ (*Trifolium repens* L.) 混播草地の草種構成, 乾物収量および可消化養分総量に及ぼす影響. 日本草地学会誌 43: 258-265.
- 44) 木曾誠二・能代昌雄 (1999) チモシー (*Phleum pratense* L.) 採草地の早刈り管理法 3. 早刈りしたチモシー・シロクローバ (*Trifolium repens* L.) 混播草地の2番草再生器官における葉面積と相対照度の垂直分布. 日本草地学会誌 45: 170-175.
- 45) 喜多富美治 (1970) 飼料作物. 明文書房 (東京). p. 185-186.
- 46) 北見農業試験場 (2002) 作況. 平成13年度北海道立北見農業試験場年報. p. 6-20.
- 47) 濃沼圭一・池谷文夫・伊東栄作 (1996) トウモロコシの生育ステージに伴う耐倒伏性関連形質の変化. 日本草地学会誌 42(別): 100-101.
- 48) 小松敏憲 (1999) オーチャードグラス (*Dactylis glomerata* L.) における種子収量とその関連形質の品種間差異と年次変動. 草地試験場研究報告 57: 10-18.
- 49) 真木芳助・嶋田 徹 (1966) チモシーにおける収量決定要素の解析. 北農 33: 34-37.
- 50) 真木芳助 (1985) チモシー「センボク」—集団選抜育種— . 作物育種の理論と方法 (中島哲夫監修). 養賢堂 (東京). p. 408-411.
- 51) 増子孝義 (1994) サイレージの調製技術. サイレージの科学. デーリィ・ジャパン (東京). p. 39-63.
- 52) 増谷哲雄 (1982) チモシー. 北海道農業技術研究史. 北農会 (札幌). p. 542-545.
- 53) 増谷哲雄・古谷正道・樋口誠一郎・筒井佐喜雄・植田精一 (1981) チモシー新品種「クンプウ」の育成について. 北海道立農業試験場集報. 45: 101-113.
- 54) 増谷哲雄・宝示戸貞雄・樋口誠一郎・古谷政道・筒

- 井佐喜雄 (1984) チモシーの採種量および採種関連形質 (1)品種間差異について. 北海道草地研究会報. 18: 104-107.
- 55) 増谷哲雄・宝示戸貞雄・樋口誠一郎・古谷政道・筒井佐喜雄 (1984) チモシーの採種量および採種関連形質 (2)施肥処理について. 北海道草地研究会報. 18: 107-109.
- 56) 松尾孝嶺 (1986) 耐病性および耐虫性の育種. 育種学. 養賢堂 (東京). p. 321-339.
- 57) 松尾孝嶺 (1990) 雑種強勢. 育種学要論. 養賢堂 (東京). p. 107-120.
- 58) McElory, A. R. and H. T. Kunelius (1995) Timothy. *in* Forages (Fifth Edition). Volume I: An Introduction to Grassland Agriculture. Ed. R. F. Barnes, D. A. Miller and C. J. Nelson, Iowa state university press. p. 305-311.
- 59) 宮坂 昭 (1965) 作物の根と倒伏. 作物—その形態と機能 (下巻). 農業技術協会 (東京). p. 164-195.
- 60) 森 行雄 (1968) オーチャードグラスおよびチモシーの採種量に及ぼす栽培要因の影響. 北海道農業試験場彙報. 93: 78-83
- 61) Muntzing, A. (1930) Cyto-genetic studies on hybrids between two *Phleum* species. *Hereditas* 20: 103-136.
- 62) 中島和彦・竹田芳彦・堤 光昭 (1992) 混播草地におけるチモシーおよびマメ科牧草の動態 2. チモシー「ノサップ」主体草地の植生に及ぼすアカローバ品種の影響. 北海道草地研究会報 26: 176-179.
- 63) 名久井忠 (1989) トウモロコシサイレージ. 最新・サイレージ 調製と給与の決め手. デーリィマン社 (札幌). p. 33-42.
- 64) Nielsen, E. L. and D. C. Smith (1960) Evaluation of characters in polycross, inbred, and open-pollinated progenies of timothy. *Agronomy Journal* 52: 89-93.
- 65) 西原夏樹 (1990) チモシーの病害. 原色牧草の病害. 雪印種苗 (札幌). p. 49-70.
- 66) 農林省農業改良局研究部 (1955) 麦類の幼穂分化過程の調査基準. p. 1-16.
- 67) 小田桂三郎・鈴木 守・宇田川武俊 (1966) 麦類品種の倒伏に関与する形質並びに倒伏指数に関する研究. 農業技術研究報告 D 15: 55-91.
- 68) 大川泰一郎・石原 邦 (1997) 水稻における稈基部の挫折強度形質の遺伝的特徴—コシヒカリと中国117号との交配F1~F3を用いて—. 日本作物学会紀事 66: 603-609.
- 69) Organization for Economic Co-operation and Development (1991) List of cultivars eligible for certification 1991.
- 70) Organization for Economic Co-operation and Development (2001) List of cultivars eligible for certification 2001.
- 71) 長田武正 (1993) オオアワガエリ. 増補日本イネ科植物図譜. 平凡社 (東京). p. 370-371.
- 72) Pendelton, J. W. (1954) The effect on lodging on spring oat yield and test weight. *Agronomy Journal* 46: 265-267.
- 73) Qai, C. and M. R. Bullen (1991) Characterization of genomes of timothy (*Phleum pratense* L.) I. Karyotypes and C-banding patterns in cultivated timothy and two wild relatives. *Genome* 34: 52-58.
- 74) Qai, C. and M. R. Bullen (1994) Analysis of genome-specific sequences in *Phleum* species: identification and use for study of genomic relationships. *Theoretical and Applied Genetics* 88: 831-837.
- 75) 三枝俊哉・木曾誠二・能代昌雄 (1993) チモシー基幹草地の早刈りによる植生変化とその対策. 北農 60: 54-56
- 76) 佐藤 庚 (1979) チモシー (オオアワガヘリ). 飼料作物栽培の基礎 農山漁村文化協会 (東京). p. 127-131.
- 77) 千藤茂行 (1998) トウモロコシ. 北海道における作物育種. 協同組合通信社 (札幌). p. 219-244.
- 78) Sheaffer, C. C., D. C. Rasmusson and S. R. Simmons (1994) Forage yield and quality of semidwarf barley. *Crop Science* 34: 1662-1665.
- 79) Sheaffer, C. C., P. Seguin and G. J. Cuomo (1998) Sward Characteristics and Management Effects on Cool-season Grass Forage Quality. *in* Grass for Dairy Cattle. Ed. J. H. Cherney and D. J. R. Cherney. CABI Publishing. U. K. p. 73-100.
- 80) 嶋田 徹・植田精一 (1970) チモシーにおける諸形質の変異 第1報 草収量と種子収量の相関. 北海道立農業試験場集報 29: 48-50.
- 81) Shimada, T. and Y. Maki (1972) History of local strains of timothy in Hokkaido and its breeding implications. *Journal of Japanese Grassland Science*. 18: 267-276.
- 82) 島貫忠幸・佐藤徹 (1983) チモシーがまの穂病の発病経過と罹病植物の内生菌系保菌部位. 北海道農業試験場研究報告 138: 87-97.

- 83) 島貫忠幸・佐藤徹 (1984) チモシーがまの穂病の発病経過と罹病株からの *E. typhina*-free 個体の作出について. 日本草地学会誌 30(別): 211-212.
- 84) 清水矩宏・大杉立 (1977) 牧草類の切穂の人工培養による種子の形成と発芽習性 II. イタリアンライグラスおよびペレニアルライグラスにおける培養条件の確立. 草地試験場研究報告. 11: 34-45.
- 85) 清水矩宏 (1978) 牧草類の切穂の人工培養による種子の形成と発芽習性 I. 数種寒地型牧草における切穂の人工培養による種子形成の可能性. 日本草地学会誌 23: 295-300.
- 86) 清水矩宏・大杉立 (1980) 牧草類の切穂の人工培養による種子の形成と発芽習性 III. オーチャードグラスにおける培養条件. 日本草地学会誌 25: 319-325.
- 87) 下小路英男 (1991) 寒地型牧草における育種の成果と新品種の有効利用. 自給飼料 16: 19-27.
- 88) 下小路英男・古谷政道・中住晴彦・藤井弘毅 (1991) 混播草地の草種割合におけるチモシー品種系統間差異. 北海道草地研究会報. 25: 143-146.
- 89) 下小路英男 (1994) チモシー新品種「SB-T-8710」. 北農 61: 290.
- 90) 下小路英男 (1994) チモシー新品種「MT-1-85」. 北農 61: 291.
- 91) 下小路英男・吉澤晃・鳥越昌隆・玉置宏之 (1994) チモシーにおける耐倒伏性の選抜効果. 北網圏農業談話会報 4: 48-49.
- 92) 下小路英男 (1998) チモシー. 北海道における作物育種(三分一敬監修). 北海道協同組合通信社(札幌). p. 245-263.
- 93) Spedding, C. R. W. and E. C. Diekmahns (1972) Timothy (*Phleum pratense*). in Grasses and Legumes in British Agriculture. Ed. C. R. W. Spedding and E. C. Diekmahns. Commonwealth Agricultural Bureaux. U. K. p. 199-214.
- 94) Stratton, S. D. and H. W. Ohm (1989) Relationship between orchardgrass seed production in Indiana and Oregon. Crop Science 29: 908-913.
- 95) 須藤浩 (1971) 乾草の作り方. サイレージと乾草—つくり方と与え方—. 養賢堂(東京). p. 222-236.
- 96) 杉信賢一・鈴木信治・小松敏憲 (1989) イタリアンライグラス(*Lolium multiflorum* Lam.)の耐倒伏性および種子収量に対する選抜効果. 1. 耐倒伏性及び関連形質の変異と相互関係. 日本草地学会誌 34: 300-308.
- 97) 杉信賢一・鈴木信治・小松敏憲 (1989) イタリアンライグラス(*Lolium multiflorum* Lam.)の耐倒伏性及び種子収量に対する選抜効果. 2. 耐倒伏性および関連形質の遺伝率と選抜効果. 日本草地学会誌 34: 309-317.
- 98) 杉信賢一・鈴木信治・小松敏憲 (1989) イタリアンライグラス(*Lolium multiflorum* Lam.)の耐倒伏性及び種子収量に対する選抜効果. 3. 選抜系統の耐倒伏性, 種子収量および生産力評価. 日本草地学会誌 34: 318-324.
- 99) 杉山修一・中嶋博 (1994) オーチャードグラス(*Dactylis glomerata* L.)品種における競争力の品種間変異とその関連形質. 日本草地学会誌 40: 179-189.
- 100) 杉山修一・中嶋博 (1995) ペレニアルライグラス(*Lolium perenne* L.)品種における競争力の品種間変異とその関連形質. 日本草地学会誌 41: 9-15.
- 101) 杉山修一 (1999) 混播草地における草種間の相対優占度の遺伝変異: その潜在的影響とメカニズム. 日本草地学会誌 44: 303-309.
- 102) Surprenant, J., R. Michaud and G. Allard (1990) Effect of one cycle of divergent phenotypic selection for crude protein, digestibility and digestible yield in timothy. Canadian Journal of Plant Science 70: 757-765.
- 103) Suzuki, M. (1989) Fructans in forage grasses with varying degrees of cold hardiness. Journal of Plant Physiology 134: 224-231.
- 104) 高井智之・松浦正宏・中嶋紘一 (1998) イタリアンライグラスの耐倒伏性新品種「ニオウダチ」の育成とその特性. 草地試験場報告 56: 1-12.
- 105) 竹田芳彦・内山和宏・中島和彦・山口秀和 (1998) アルファルファ(*Medicago sativa* L.)品種におけるそばかす病抵抗性の個体変異並びにその選抜効果. 日本草地学会誌 44: 73-79.
- 106) 玉置宏之・吉澤晃・鳥越昌隆・佐藤公一 (1999) チモシー耐倒伏性の指標としての「出穂茎の反発力」の検討. 北海道草地研究会報 33: 35.
- 107) 玉置宏之・吉澤晃・藤井弘毅・佐藤公一 (2002) チモシー新品種「SB-T-9502」. 北農 69: 46.
- 108) 筒井佐喜雄 (1977) 耐病性育種の最近の成果と問題点. 育種学最近の進歩 18: 76-85.
- 109) 筒井佐喜雄・古谷政道・川村公一 (1990) チモシー斑点病抵抗性品種育成に関する研究 3. 抵抗性の検定方法について. 北海道草地研究会報 24: 140-144.

- 110)筒井佐喜雄・古谷政道・川村公一 (1990)チモシー斑点病抵抗性品種育成に関する研究 4. 抵抗性選抜効果の実証. 北海道草地研究会報 24: 145-148.
- 111)筒井佐喜雄・古谷政道・中村克己・川村公一 (1991)チモシー斑点病抵抗性品種育成に関する研究 5. 育成系統の斑点病抵抗性および2, 3の特性. 北海道草地研究会報 25: 103-107.
- 112)植田精一・真木芳助・田辺安一・嶋田 徹・中山貞夫・筒井佐喜雄 (1971)チモシー新優良品種「センボク」について. 北農 38(2): 1-7.
- 113)植田精一 (1974)チモシー. 飼料作物の品種解説. 農林水産技術会議事務局. p. 43-46.
- 114)植田精一・増谷哲雄・樋口誠一郎・古谷政道・筒井佐喜雄 (1977)チモシー新品種「ノサップ」の育成について. 北海道立農業試験場集報. 38: 34-46.
- 115)植田精一・増谷哲雄・樋口誠一郎・古谷政道・筒井佐喜雄 (1977)チモシー新品種「ホクシュウ」の育成について. 北海道立農業試験場集報. 38: 47-61.
- 116)植田精一 (1978)北海道立北見農業試験場試験地. 指定試験事業50年史. 農林水産技術会議. p. 255-257.
- 117) Ueda, S. (1990) Timothy breeding in Japan. Japan Agricultural Research Quarterly. 24: 195-201.
- 118)脇本 隆 (1987)草種構成のあり方. 草地の生産生態 (後藤寛治編). 文永堂 (東京). p. 273-281.
- 119)渡辺利通 (1993)倒伏抵抗性. 育種とバイオサイエンス (蓬原雄三編). 養賢堂 (東京). p. 401-418.
- 120) Wilton, A. C. and L. J. Klebesabel (1973) Karyology and phylogenetic relationships of *Phleum pratense*, *P. commutatum* and *P. bertolonii*. Crop Science 13: 663-665.
- 121)八木忠之 (1998)イネの強稈性に関する育種学的研究. 北陸農業試験場報告. 41: 19-78.
- 122)矢萩久嗣・中山貞夫・石井幸夫 (1996)イタリアンライグラスの耐倒伏性・晩生新品種「ヒタチヒカリ」の育成. 茨城県畜産試験場研究報告. 23: 31-49.
- 123)矢萩久嗣・廣井清貞・杉田紳一 (2000)オーチャードグラスの採種性向上のための育種法に関する研究. 1. 選抜指標の解明と好採種性素材について. 草地試験場研究報告 58. 1-9.
- 124)山田敏彦・岸田諭俊・矢崎聖二・R. E. Barker (1998)日本とアメリカ合衆国オレゴン州におけるペレニアルライグラス品種の採種性に関する比較試験. 日本草地学会誌 44(別): 164-165.
- 125)吉山武敏, 藤本文弘 (1989)イネ科牧草. 粗飼料・草地ハンドブック. 養賢堂 (東京). p. 35-79.
- 126)吉澤 晃・下小路英男・鳥越昌隆・玉置宏之 (1995)チモシーの1番草穂ばらみ期刈りによる2番草収量の個体変異. 北海道草地研究会報 29: 30-32.
- 127)吉澤 晃・下小路英男・鳥越昌隆・玉置宏之 (1996)チモシーの幼穂分化と生育過程. 日本草地学会誌 42(別): 32-33.
- 128)吉澤 晃 (1999)チモシー. 牧草・飼料作物の品種解説 (農林水産省草地試験場編). 日本飼料作物種子協会 (東京). p. 38-46.
- 129)吉澤 晃 (2002)チモシー. 北海道農業技術研究史 1981-2000 (北海道農業試験研究機関創立100周年記念行事記念誌出版委員会編). p. 150-152.
- 130)雪印種苗株式会社北海道研究農場牧草・飼料作物育種グループ (1998)牧草・飼料作物の優良品種の開発と普及. 北海道草地研究会報 32: 9-11.

摘 要

チモシー (*Phleum pratense* L.) は、北海道の草地面積58万haの約70%に栽培されており、北海道の最も重要なイネ科牧草となっている。道立北見農業試験場はこれまでに、北海道内での安定栽培が可能なチモシー6品種を育成した。しかし近年、酪農家のチモシーに対する要望は、作りやすさ、低コスト化を求める水準へと高度化、多様化している。本研究では、今日とくに改良の要望が強い1番草での耐倒伏性、1番刈後の競合力および種子生産性の効果的な育種改良法を明らかにし、さらにチモシーや他の他殖性、多年生牧草における諸形質の改良を、従来より効率的に行える新しい手法を考案、提示した。

(1) 1番草における耐倒伏性の効果的な育種改良法

採草用チモシーの1番草での倒伏は、収量の減少、品質の低下および草地の荒廃を招く。親栄養系とその後代系統に対する1番草の耐倒伏性の調査結果から、生育段階が互いに異なる場合の耐倒伏性は、互いに異なる形質として取り扱われるべきものであること、および、各生育段階における耐倒伏性の狭義の遺伝率が高いこと、の2点を見出した。したがってチモシーの耐倒伏性は、それが生育段階別に調査されていれば、1回の個体選抜でも相当程度の育種改良が可能であることが明らかとなった。

(2) 1番刈後の競合力の効果的な育種改良法

採草用チモシーの1番刈後競合力の不足は、チモシー割合の低下、雑草の侵入を通じ、草地の荒廃を招く。親栄養系とその後代系統とを、シロクローバとの競合条件と単播条件とで調査した結果、競合力の狭義の遺伝率が高いこと、および、単播条件での試験結果では競合力を的確に推定できないこと、の2点を見出した。したがってチモシーの競合力は、それが競合条件で検定されていれば、1回の個体または後代系統に対する選抜でも、相当程度の育種改良が可能であることが明らかとなった。

(3) 種子生産性の効果的な育種改良法

チモシーの種子生産性は、優良品種の早期普及と増殖コストの削減を図るために重要である。栄養系および後代系統を用いた採種試験から、種子収量は1穂種子重、さらには穂1cmあたり種子数と密接に関連していること、および、種子生産性の序列の年次間変動はやや大きい、その狭義の遺伝率は高いこと、の2点を見出した。したがってチモシーの種子生産性は、それが複数の環境条件下で検定されていれば、1回の個体選抜でも相当程度の育種改良が可能であることが明らかとなった。また、温室内で行えるチモシー栄養系の種子生産性の簡易検定法を開発した。圃場での実際の採種試験をこの簡易検定と組み合わせることにより、種子生産性の育種改良が加速されることが期待できる。

(4) チモシーおよび他の他殖性、多年生牧草における諸形質の効率的改良法

チモシーにおいて、これまで改良されることがない形質を従来よりも効率的に改良できる新手法を、各試験で得られた知見を基に考案、提示した。

従来の改良法は、(1)個体に対する調査と選抜、(2)優良個体間での交配、(3)後代検定試験における選抜効果の確認、という3段階の手順で行われていた。しかしこの方法には、労力と時間が掛かること、および狭義の遺伝率が低かったり、環境の影響を受けやすい形質では、必ずしも選抜効果の確認ができないこと、などの問題点がある。

これに対し提案した新手法では、親栄養系とその後代系統を同一圃場で調査する「親子同時検定」を最初に行う。これにより、当該形質の効率的改良法の検討に不可欠な3要素、すなわち広義、狭義の遺伝率および環境に対する安定性を、早期にかつ正確に把握できる。したがって、従来の手法では選抜効果が確認できない場合があった(狭義の遺伝率が低い、または環境の影響を受けやすい)形質についても、常に効率的な選抜を行える。またこの新手法はチモシー以外の他殖性、多年生牧草の育種にも適用できる。

The Effective Breeding Methods for Improving Important Traits of Timothy (*Phleum pratense* L.)

Hiroyuki TAMAKI

Summary

Timothy (*Phleum pratense* L.) is cultivated on 70% of all grasslands in Hokkaido, the northernmost Japanese prefecture. We, Kitami Agricultural Experiment Station, have bred six timothy varieties having high adaptability to Hokkaido, through which we have greatly contributed to the increase of its cultivation. However, we recently have come to be required to improve various characters we have paid no attention before. Especially the following three characters are very strongly requested to improve: the lodging resistance during the first flush, the competitive ability after the first cut and the seed productivity. Here discussed are the effective breeding methods for these three characters, and through this discussion, a new effective breeding method for timothy is subsequently proposed to improve its newly targeted characters. This method can also be applied to other perennial and outbreeding forage crops.

(1) The effective breeding method for the lodging resistance in the first flush.

The lodging during the first flush in timothy for forage harvesting deteriorates not only the quality of the harvest but also the vegetation of the grassland.

The lodging resistance of progeny lines were investigated three times during the first flush, with the intervals of 6-10 days, and was compared with that of their parents. The results indicated that the resistance in the different growth stages should be considered different characters from each other, but that the heritabilities in the narrow sense in each growth stages are high. Therefore it is concluded that the lodging resistance can be improved drastically by even one individual selection procedure as long as it is investigated in each growth stages during the first flush.

(2) The effective breeding method for the competitive ability after the first cut

The poor competitive ability after the first cut in timothy not only decreases its annual yield but also deteriorates the vegetation of the grassland. Parents and their offspring were investigated in the competing condition with white clover (*Trifolium repens* L.) as well as with no other species. These results indicated that the heritability in the narrow sense of the ability is high, but that it cannot be estimated precisely without tests in the competing conditions with other species. Therefore it is concluded that the competitive ability can be improved drastically by even one individual selection procedure as long as it is tested in the competing condition with other species.

(3) The effective breeding method for the seed productivity

It takes long time and much cost to reproduce seeds of a timothy variety having poor seed productivity. The tests where clones and their offspring were examined in the productivity and in other related characters indicated that the seed yield is closely related to the panicle seed weight or the number of seed per panicle length. These tests also showed that the order of seed productivity among clones is quite unstable to the yearly environmental change, but that its heritability in the narrow sense is high. Therefore it is concluded that the productivity can be improved drastically by even one individual selection procedure as long as it is tested in the plural environments different from each other.

In this research, some easy methods were also invented to examine the seed productivity of timothy clones. The combination of the field tests and these easy methods is expected to accelerate improving the seed productivity of timothy.

(4) A new breeding method to improve the characters of timothy more effectively

From the results obtained from (1) to (3), a new effective breeding method for timothy was inductively invented to improve its newly targeted characters.

The conventional breeding method applied in this case consists of three procedures, namely (a) the individual selection, (b) the mating among the selected individuals, and (c) the progeny test to confirm the selection effectiveness. But it takes long time as well as much labor to complete all of the these procedures. Furthermore, the selection effectiveness cannot be confirmed if the character has

poor heritability in the narrow sense or if it is unstable to the yearly environmental change.

The first procedure of the new method is the small-scale test called "parent-offspring simultaneous test," which, before the selection, provides breeders with accurate information on the three factors of the targeted character, its heritability in the broad and narrow senses and stability to the environmental change. Therefore, by applying this new method, breeders can effectively improve even the characters difficult to do in the conventional one.

Also this can be applied to other perennial and outbreeding forage crops than timothy.