

採草用チモシー(Phleum pratense L.)における1番刈後の競合力とその効果的な改良方法

誌名	日本草地学会誌
ISSN	04475933
著者	玉置, 宏之 吉澤, 晃 鳥越, 昌隆 ほか2名,
巻/号	48巻2号
掲載ページ	p. 136-141
発行年月	2002年6月

採草用チモシー (*Phleum pratense* L.) における 1 番刈後の競合力と その効果的な改良方法

玉置宏之・吉澤 晃・鳥越昌隆*・佐藤公一・下小路英男**

北海道立北見農業試験場 (099-1496 北海道常呂郡訓子府町弥生 52)

*北海道立十勝農業試験場 (082-0071 北海道河西郡芽室町新生南 9 線 2)

**北海道立中央農業試験場 (069-1395 北海道夕張郡長沼町東 6 線北 15 号)

Kitami Agricultural Experiment Station, Yayoi, Kunneppu-cho, Tokoro-gun, Hokkaido 099-1496, Japan

*Tokachi Agricultural Experiment Station, Shinsei, Memuro-cho, Kasai-gun, Hokkaido 082-0071, Japan

**Hokkaido Central Agricultural Experiment Station, E6 N15, Naganuma-cho, Yubari-gun, Hokkaido 069-1395, Japan

受付日: 2001 年 4 月 5 日/受理日: 2002 年 1 月 23 日

Synopsis

Hiroyuki TAMAKI, Akira YOSHIZAWA, Masataka TORIKOSHI, Koichi SATO and Hideo SHIMOKOJI (2002): The Effective Selection Procedure for Competitive Ability in the Growth after the First Cut of Timothy (*Phleum pratense* L.) for Forage Use. *Grassland Science* 48, 136-141.

A progeny test, where lines of timothy (*Phleum pratense* L.) for forage harvesting were grown on the competing condition with white clover (*Trifolium repens* L.), was carried out simultaneously with another test, where the same lines were grown on the competing condition with no other species, to learn how to improve its competitive ability in the growth after the first cut effectively. Results from the tests where the progenies as well as their parents were examined showed (1) that the competitive ability in the second flush had high heritability in the narrow sense, (2) that evaluating the ability in the third flush was less important than that in the second, and (3) that it was difficult to estimate the ability precisely without tests done under competing conditions. So it is concluded that, as long as the competitive ability of timothy is examined under competing conditions, it can be improved remarkably even by an individual selection procedure.

Key words: Competitive ability, Parent-offspring correlation, Progeny test, Regrowth, Timothy, White clover.

緒 言

今日、チモシーは北海道の草地面積 58 万 ha の 70% に栽培されていると推定され、道内の最重要草種の地位を占めている¹⁾。そのほとんどは採草用または採草・放牧兼用である²⁾が、この場合の問題点として 1 番刈後のチモシーの競合力の低さが指摘されている。チモシーは春の生育 (スプリングフラッシュ) が旺盛な反面、とくに夏 (採草・兼用利用では通常この時期が 2 番草生育期に当たる) の高温・乾燥条件下では生育が不良になる³⁾。そのためチモシーを採草利用した場

合、2 番草以降チモシーが混播マメ科牧草や雑草との競合に負け、結果としてチモシー割合が低下するケースが多い。

1 番刈後の競合力に優れる新品種が育成されればこの問題を解決できるが、そのためには採草用チモシーの 1 番刈後の競合力の効果的な改良方法についての知見を得る必要がある。そこで本研究では、これまで単播条件でのみ行われてきた後代検定試験を、シロクローバとの競合条件でも並行して実施した。そしてそれら後代系統とその親栄養系の試験結果を比較することにより、チモシーの 1 番刈後の競合力を効果的に改良する方法について検討した。

材 料 と 方 法

1. 親栄養系の調査と選抜

親栄養系は 2 群の評価試験から由来した。一方は 1992 年から 4 年間、早生の 99 栄養系を供試した試験である。各栄養系は 4 反復で栽植されたが、そのうちの 2 反復の株間のみ、移植後 (1992 年) にシロクローバ大葉型品種「エスパンソ」を播種した。この 2 反復では翌 1993 年の春以降、シロクローバのランナーがチモシー株内に侵入し、シロクローバとの競合条件が創出された。もう一方の 2 反復にはシロクローバを播種せず、適宜雑草防除を行った (このような他草種との競合がない状態を以後「無競合条件」と呼ぶ)。1993-1995 年に通常の採草用の管理 (出穂期に 1 番刈を行う年 3 回刈) を行いながら形質・収量調査を行った。具体的な調査項目を表 1 に示した。シロクローバとの競合条件 (以後これを単に「競合条件」と呼ぶ) の試験区では 1 番草の生草収量および 2・3 番草の草勢のみが調査された。調査終了後にシロクローバに対する競合力、すなわち競合条件下での生育が良好な 13 栄養系を選抜した。1996 年にこれらの栄養系の間で交配を行った後、採種量が多かった 9 栄養系を選抜した。以後この 9 栄養系およびその後代系統を A 群と呼ぶ。

親栄養系が由来したもう一方の群は、1993 年から 3 年間、早生の 328 栄養系を 2 反復・無競合条件下で栽植した試験である。これらの栄養系は 1994-1995 年に A 群の無競合条件の試験区と同じ方法で管理・調査された。調査終了後に草勢・

一部は北海道草地研究会平成 11 年度発表会 (1999 年 12 月) において発表した。

表 1. 各試験において調査された形質.

調査形質	調査対象				
	親 栄 養 系			後代系統	
	A 群		B 群	競合条件 ^{a)}	無競合条件 ^{b)}
	競合条件 ^{a)}	無競合条件 ^{b)}	無競合条件 ^{b)}		
1 番草					
・越冬性 (1: 極不良-9: 極良の評点)	○	—	○	○	○
・早春草勢 (1: 極不良-9: 極良の評点)	○	—	○	○	○
・出穂始日	○	—	○	○	○
・茎の固さ (1: 極軟-9: 極剛を触感で評点)	—	—	—	—	○
・斑点病罹病程度 (1: 無または微-9: 甚の評点)	○	—	○	—	○
・刈取時草丈 (cm)	○	—	○	○	○
・乾物収量 (kg/a)	○	○ ^{c)}	○	○	○
2 番草					
・再生 (1: 極不良-9: 極良の評点)	○	—	○	○	○
・出穂茎割合 (畦または株内の茎が全く出穂していない状態を1, 全て出穂した状態を9とする評点)	○	—	○	○	○
・節間伸長茎割合 (畦または株内の茎が全く節間伸長していない状態を1, 全て節間伸長した状態を9とする評点)	○	—	○	○	○
・茎数密度 (1: 極疎-9: 極密の評点)	—	—	—	○	—
・斑点病罹病程度 (1 番草と同じ)	○	—	○	—	○
・シロクロバ混入度 (チモシー畦中へのシロクロバランナーの混入の程度について, 1: 無または微-9: 甚の評点)	—	—	—	○	—
・刈取時草丈 (cm)	○	—	○	○	○
・乾物収量 (kg/a)	○	—	○	○	○
・刈取時草勢 (1: 極不良-9: 極良の評点評価)	—	○	—	—	—
3 番草					
・再生 (2 番草と同じ)	○	—	○	○	○
・節間伸長茎割合 (2 番草と同じ)	○	—	○	○	○
・斑点病罹病程度 (1 番草と同じ)	○	—	○	—	○
・シロクロバ混入度 (2 番草と同じ)	—	—	—	○	—
・刈取時草丈 (cm)	○	—	○	○	○
・乾物収量 (kg/a)	○	—	○	○	○
・刈取時草勢 (2 番草と同じ)	—	○	—	—	—

- a) シロクロバとの競合条件を指す.
- b) 他草種との競合がない条件を指す.
- c) 生草収量の調査を行った.

耐病性の優れた 31 栄養系を選抜した。1996 年にこれらの栄養系の間で交配を行った後、採種量が多かった 18 栄養系を選抜した。以後、この 18 親栄養系およびその後代系統を B 群と呼ぶ。

2. 後代検定試験

A・B 両群の後代系統、採種量のみで選抜された別のもう 1 群の後代系統群、および標準品種などからなる 56 品種系統を、1997 年に 60 cm 間隔・4 反復で条播し、無競合条件の後代検定試験を開始した。1999 年に通常の管理（出穂期に 1 番刈を行う年 3 回刈）を行いながら収量・形質調査を行った。具体的な調査項目を表 1 に示した。

また 1998 年に、この無競合条件の後代検定試験と全く同

一の品種系統を用い、シロクロバとの競合条件の後代検定試験を開始した。この試験圃場は無競合条件の後代検定試験に隣接した圃場に設けられた。チモシー各品種系統は 4 反復でシロクロバ中葉型品種「ソーニャ」と交互に条播された。播種時のチモシー畦とシロクロバ畦との間隔は 30 cm で、翌 1999 年春以降、シロクロバのランナーがチモシー畦内に混入して競合条件が創出された。1999 年に通常の管理を行いながら形質・収量調査を行った。2・3 番草での形質調査にはシロクロバ混入度が加えられた (表 1)。収量調査の際には収穫物中にシロクロバが混入していたが、224 試験区 (56 品種系統×4 反復) 全てでチモシーとシロクロバの選別を行うことは困難であったため、秤量の際にこの選別を行

表 2. 競合条件の後代検定試験における 2 番草の競合力の指標の調査結果の概要^{a)}.

競合力の指標	平均	標準偏差	最高値	最低値	広義の遺伝率 (%) ^{b)}	1 番草出穂始との相関係数 ^{c)}
乾物収量 (kg/a)	28.3	4.21	36.5	18.0	80.7	-0.023
シロクローバ混入度	3.0	0.81	5.3	1.5	77.8	+0.097

- a) 数値は全て 4 反復の平均値。
 b) 分散分析の結果からの推定値。
 c) 2 形質とも有意性なし。

わず、収穫物は全てチモシーであると見なした。

3. 競合力の指標

本研究では品種系統の競合力を、競合条件の後代検定試験の 2・3 番草における乾物収量 (単位 kg/a, 多収なほど競合力が高い) とシロクローバ混入度 (評点が低いほど競合力が高い) の 2 形質で評価することとした。以後この 2 形質を「競合力の指標」と呼ぶ。

結果と考察

1. 2 番草の競合力の指標の変異

競合条件の後代検定試験における 2 番草の競合力の指標の調査結果の概要を表 2 に示した。乾物収量では最高値と最低値との間に 2 倍以上の差が見られるなど、大きな品種系統間差があった。また分散分析の結果から推定された両形質の広義の遺伝率も高かった。

一方、2 番草の競合力の指標と 1 番草での出穂始との相関は低かった。チモシーにおいては晩生のもほど競合力が高いことが知られているが、この結果は競合力の改良が熟期の早生化を伴わなくても充分可能であることを示している。

2. 2 番草の競合力関連形質の特定

2 番草の競合力と関連の深い形質を特定するため、2 番草の競合力の指標を従属変数、競合条件の後代検定試験で調査された他の 5 形質、すなわち再生・出穂茎割合・節間伸長茎割合・茎数密度および刈取時草丈 (表 1) を独立変数の候補とする重回帰分析を行った。各候補を独立変数として採用するか否かの判断は、 F_{IN} 値を 2.0 とした変数増加法³⁾に従った。この結果を表 3 に示した。乾物収量、シロクローバ混入度のいずれを従属変数とした場合でも、独立変数として採用されたのは節間伸長茎割合 (評点が高いほど競合力が強い) と再生 (良好なほど競合力が強い) の 2 形質だけであった。このことから、これら 2 形質が 2 番草の競合力を決定づける主要因であると結論づけた。以後これらを「2 番草競合力関連形質」と呼ぶ。

3. 2 番草の競合力の狭義の遺伝率

チモシーの 2 番草の競合力の効果的な改良方法を議論する上では、その狭義の遺伝率を検討することが不可欠である。本研究ではこれを、(1) A・B 両群の 2 番草の競合力関連形質の親子相関、および (2) シロクローバ競合条件の後代検定試験での 2 番草競合力の指標および関連形質についての、A 群 (その親栄養系は競合条件下での生育で選抜された) と他の後代系統群との比較、の 2 方法で行うこととした。

(1) A・B 両群の 2 番草の競合力関連形質の親子相関

表 3. 競合条件の後代検定試験における 2 番草の競合力の指標を従属変数とした重回帰分析の結果。

① 乾物収量を従属変数とした場合。

順位 ^{a)}	形質 (独立変数) ^{b)}	累積寄与率
1	節間伸長茎割合	0.7669
2	再生	0.8036

② シロクローバ混入度を従属変数とした場合。

順位 ^{a)}	形質 (独立変数) ^{b)}	累積寄与率
1	節間伸長茎割合	0.6640
2	再生	0.7258

a) F_{IN} 値を 2.0 とした変数増加法に従って独立変数に採用された順位。

b) 茎数密度・出穂茎割合および刈取時草丈はいずれの場合も変数として採用されなかった (本文参照)。

この結果を図 1 に示した。なお親栄養系において該当形質が複数回調査されている場合は、全調査の平均値を親栄養系の数値とした。各形質の親子相関 r_{PO} は、A・B 群ともほぼ同じであった。18 組の親子が対象となった B 群の r_{PO} は、再生・節間伸長茎割合のいずれにおいても有意に高かった。再生については HIGUCHI ら²⁾ が別の集団における親子相関として 0.40 (5% 水準で有意) を報告しており、今回の調査結果も概ねこれと一致する。

この親子相関から狭義の遺伝率を検討した。本研究の場合、親子相関 r_{PO} および親子回帰から求められる狭義の遺伝率 h^2 はそれぞれ

$$r_{PO} = C_{PO} / (\sigma_P \cdot \sigma_O)$$

$$h^2 = 2C_{PO} / (\sigma_P^2)$$

(ただし C_{PO} は親子の共分散, σ_P, σ_O はそれぞれ親および子の標準偏差)

と表されるので、 r_{PO} と h^2 との関係は、

$$r_{PO} = h^2 \times \{\sigma_P / (2\sigma_O)\}$$

となる。本研究では親子を同一年に供試していないため、 σ_P と σ_O を単純に比較できないが、図 1 に示したそれぞれの σ_P と σ_O の大きさを考慮すると、親子を同一条件下で試験した場合に $\{\sigma_P / (2\sigma_O)\}$ が極端に大きくなるとは考えにくい。従って図 1 に示した親子相関の高さは、2 番草競合力関連形質の狭義の遺伝率が高いことを示していると考えられる。

(2) 競合条件の後代検定試験での 2 番草競合力の指標および関連形質についての、A 群と他の後代系統群との比較

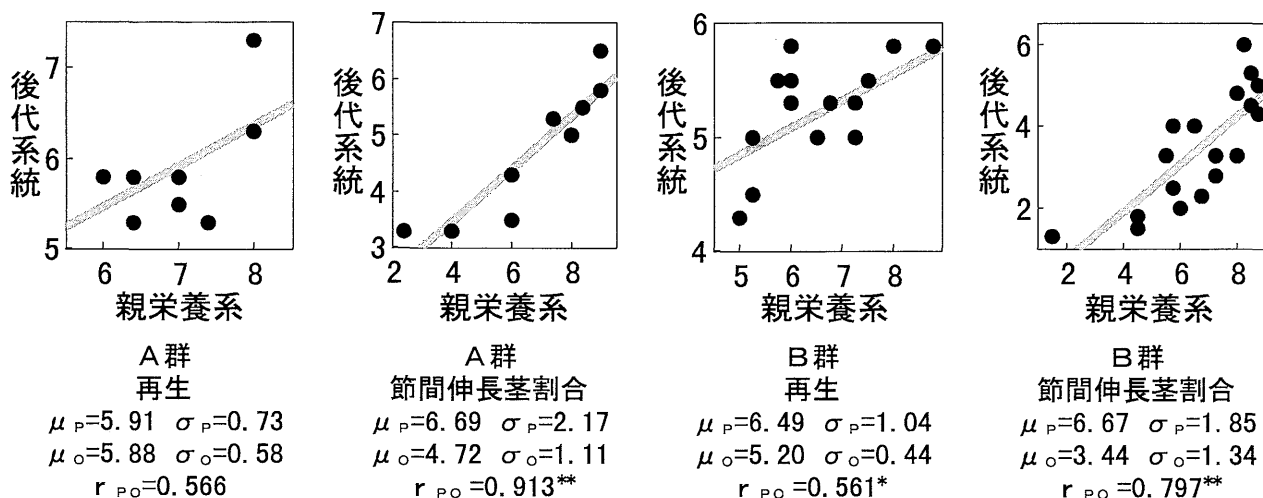


図 1. 2 番草の競合力関連形質の親子相関図。
 各形質の評点方法は表 1 を参照。
 供試親子数は A 群が 9 組, B 群が 18 組。
 A 群の親栄養系の数値は 1992-1993 年の無競合条件の試験区における全調査の平均。
 B 群の親栄養系の数値は 1994-1995 年の全調査の平均。
 後代系統の数値は A・B 両群とも無競合条件の試験における 1999 年の調査。
 $\mu_P \cdot \mu_O$ はそれぞれ親栄養系・後代系統の平均値。
 $\sigma_P \cdot \sigma_O$ はそれぞれ親栄養系・後代系統の標準偏差。
 r_{PO} は親子相関。*および**はそれぞれ 5%・1% 水準での有意性を示す。

表 4. 競合・無競合両条件の後代検定試験における 2 番草競合力の指標およびその関連形質についての, A 群後代系統と他の後代系統群との比較。

形質	A 群後代系統群 ^{a)}		他の後代系統群 ^{b)}		t 値 ^{c)}
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	
競合条件の試験の 2 番草の乾物収量 (kg/a)	31.9	2.5	27.9	4.0	2.844**
シロクロバ混入度	2.50	0.54	3.03	0.79	1.897
再生	5.75	0.86	4.64	0.90	3.299**
節間伸長茎割合	6.94	0.83	6.26	1.29	1.501
無競合条件の試験の 2 番草の乾物収量 (kg/a)	19.0	1.4	18.3	1.5	1.238

a) 系統数 9.
 b) 系統数 43.
 c) t 検定の自由度 50. **は 1% 水準での有意性を示す。

この結果を表 4 に示した。乾物収量と再生については, A 群後代系統が他の後代系統群よりも 1% 水準で有意に優れていた。またシロクロバ混入度と節間伸長茎割合については有意性はなかったものの, A 群後代系統が他の後代系統群よりもやや優れる傾向を示した。この結果もまた, 競合力の選抜効果, つまり狭義の遺伝率が高いことの表れと考えられる。

以上の 2 点から, 2 番草の競合力の狭義の遺伝率は高いと結論された。

4. 2 番草の競合力関連形質の無競合・競合両条件の後代検定試験間の比較

本研究では, 同一の品種系統を用いた無競合・競合両条件の後代検定試験が同一年に隣接圃場において行われている。もし競合条件の試験で見られた 2 番草の競合力の指標や関連

形質についての品種系統間差が無競合条件の試験でも維持されていれば, 競合条件の試験を行うことなく競合力を的確に判断できることになり, 競合力の効果的な選抜に大きく寄与することになる。本研究ではこの可能性を, (1) 2 番草の競合力の指標および関連形質についての両試験間の寄与率の調査, および (2) 競合条件の試験の 2 番草のシロクロバ混入度を従属変数, 無競合条件の試験の 1・2 番草で調査された全 13 形質 (表 1) を独立変数とする重回帰分析, の 2 方法で検討することとした。

(1) 2 番草の競合力の指標および関連形質についての両試験間の寄与率の調査

この結果を表 5 に示した。両試験は同一年に隣接圃場で調査されているにもかかわらず, その寄与率は最も高い節間伸長茎割合の場合でも 50% に達しなかった。これらの寄与率

表 5. 無競合・競合両条件の後代検定試験間の 2 番草競合力の指標および関連形質の寄与率^{a)}.

形 質	寄与率 (%)
2 番草競合力の指標	
乾物収量	38.2
2 番草競合力関連形質	
節間伸長茎割合	46.9
再 生	19.4

a) n=56.

もう 1 つの競合力の指標であるシロクローバ混入度は無競合条件では調査されていない。

は、無競合条件の試験結果から競合力を的確に判断するために必要な水準に達していないと考えられた。

(2) 競合条件の試験の 2 番草のシロクローバ混入度を従属変数、無競合条件の試験の 1・2 番草で調査された全 13 形質を独立変数とする重回帰分析

この重回帰分析から得られた累積寄与率は 53% にとどまった。これは、無競合条件の試験の 1・2 番草で調査された全ての形質をもってしても、2 番草の競合力の指標の変異の約半分しか説明できないことを意味しており、(1) の結果同様、無競合条件の試験結果から競合力を的確に推定することの難しさを示していると考えられた。

以上の 2 点に加え、表 4 に示したように、競合条件の後代検定試験で示された A 群後代系統の 2 番草での多収性が、無競合条件では明らかでなかった（すなわち無競合条件と競合条件では 2 番草の収量性の傾向が異なっている）ことから、競合力の選抜を無競合条件の試験結果だけからの確に行うことは難しいと結論された。

古谷¹⁾は、無競合条件とオーチャードグラスとの競合条件の 2 条件で並行して行われたチモシー後代検定試験の収量の品種系統間変異が殆ど一致しないことを見出している。競合条件での収量性の傾向が無競合条件のそれと異なっている点で本研究の結果は古谷の知見と共通するが、今後はシロクローバに対する競合力が、オーチャードグラスや、北海道においてチモシーと最も頻繁に混播されるアカクローバ、さらには雑草を含む他の草種に対する競合力と同義であるかどうかの確認が必要となる。

5. 3 番草の競合力

道内の採草用チモシーは年 2 回刈で利用されるケースもあるが、地域および品種によっては年 3 回刈も少なくない。著者らは 3 番草における競合力も 2 番草同様に重要であると想定し、3 番草でも 2 番草と同様の調査を行った。

3 番草の 2 つの競合力の指標、乾物収量とシロクローバ混入度のうち、分散分析の結果有意な品種系統間差が見られたのはシロクローバ混入度のみであった。乾物収量で有意な品種系統間差が現れなかったのは、チモシーの 3 番草の絶対的な収量が少なかったことで収穫の際に混入するシロクローバの割合が相対的に高くなり、結果として測定された収量の品種系統間差が小さくなったことによると考えられる。従って本研究では、3 番草の競合力はシロクローバ混入度で評価す

表 6. 競合条件の後代検定試験における 3 番草のシロクローバ混入度と他の形質との間の相関係数^{a)}.

形 質	3 番草シロクローバ混入度 ^{b)}
2 番草の再 生	-0.611**
“ 節間伸長茎割合	-0.594**
“ シロクローバ混入度	0.806**
“ 乾物収量 (kg/a)	-0.635**
3 番草の再 生	-0.130
“ 節間伸長茎割合	0.074
“ 刈取時草丈 (cm)	0.051
“ 乾物収量 (kg/a)	0.219

a) n=56.

b) ** は 1% 水準での有意性を示す。

るのが適当と考えられた。

表 6 に、競合条件の後代検定試験の 2・3 番草の各形質と 3 番草のシロクローバ混入度との相関係数を示した。3 番草のシロクローバ混入度は、3 番草の他の形質との相関が低かった一方で、2 番草の競合力と関係がある形質との相関が高かった。このことは、2 番草生育時にチモシー畦内に侵入したシロクローバのランナーが 3 番草生育時にもそのまま残存し、3 番草のシロクローバ混入度の評価に大きく影響していると同時に、3 番草生育時に新たに発生する競合が 2 番草に比べ小規模であることの表れと考えられる。

このことから、3 番草での競合力の評価は 2 番草ほど重要ではなく、競合力の検定は 2 番草で重点的に行うべきであると考えられた。

6. チモシーの 2 番草以降の競合力の効果的な選抜方法

今回実施した競合条件の試験は、無競合条件に比べ圃場の造成に多くの労力を必要とする。育種事業の省力化のためには、無競合条件の試験結果をもって競合力を的確に推定できることが望ましいが、今回の試験結果は競合条件の試験の実施が競合力の効果的な改良に不可欠であることを示している。しかし今回の結果はまた、チモシー 2 番草の競合力が狭義の遺伝率の高い形質であること、すなわち 1 回の個体選抜でも競合力を相当程度改良できることをも示している。

現在の北見農試における採草用チモシーの育種では、基礎集団など個体選抜の段階では畦間または株間にシロクローバを播種した競合条件で実施している一方で、後代検定試験は無競合条件でのみ実施している。圃場管理のための労力と競合力の選抜効果を考え併せた場合、各段階で競合・無競合両条件の試験を同時並行させることなく、競合力について相当程度の改良が期待できるという点で、現在北見農試が採用している試験方法は、競合力の効果的な改良方法として考えられるいくつかの最良策の 1 つと言えるだろう。

謝 辞

本稿のとりまとめに当たり、嶋田徹帯広畜産大学名誉教授および山田敏彦北海道農業試験場作物開発部イネ科牧草育種研究室長にご指導を頂きました。ここに記して、厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 1) 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.
- 2) HIGUCHI, S., S. UEDA, M. FURUYA and S. TSUTSUI (1977) Parent-progeny relationship in timothy (*Phleum pratense* L.). SABRAO. 14 (b), 40-41.
- 3) 川端幸蔵・西田 朗・横内園生 (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. pp. 120-157.
- 4) 下小路英男 (1998) チモシー. 北海道における作物育種 (三前一敬監修). 北海道協同組合通信社. 札幌. pp. 245-263.
- 5) 吉澤 晃 (1999) チモシー. 牧草・飼料作物の品種解説 (草地試験場編). 日本飼料作物種子協会. 東京. pp. 38-45.

要 旨

玉置宏之・吉澤 晃・鳥越昌隆・佐藤公一・下小路英男 (2002) : 採草用チモシー (*Phleum pratense* L.) における1番刈後の競合力とその効果的な改良方法. 日草誌 48, 136-141.

採草用チモシーにおける1番刈後の競合力の効果的な改良方法を検討するため, 同一の後代系統を単播条件とシロクロバとの競合条件の2つの試験に供試した。両試験および後代系統の親栄養系に対する調査から, 2番草競合力は狭義の遺伝率の高い形質であること, 3番草競合力は2番草ほど重要でないこと, および競合条件の試験を行わずに競合力を的確に推定することは困難であることが結論された。これらのことからチモシーの競合力は, それが競合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改良できると考えられた。

キーワード：親子関係, 競合力, 後代検定試験, 再生, シロクロバ, チモシー.