

第7章 総 合 考 察

1. 乾物消化率の推定方法

育種試験の各段階で家畜を供試し、消化試験を行うことは不可能である。このためより簡便な消化率推定法が必要になる。本試験では *in vitro* の乾物消化率推定法について検討した。

Tilley and Terry法による推定乾物消化率と標準試料の乾物消化率の相関係数は0.956で、両群の平均値や変異係数の差は極く小さかった。しかしながらこの方法は管理の比較的難しいルーメンフィステル装着の家畜が必要であり、分析にやや長い時間を要する。

酵素による乾物分解率と標準試料の乾物消化率の相関はセルラーゼあるいはセルラーゼ+ペプシン処理が高く、相関係数は0.9以上を示した。酵素による乾物分解率から乾物消化率推定の回帰式によって得られた推定乾物消化率と、標準試料の乾物消化率の平均値の差は小さかった。振とう分解法あるいは静置分解法ともに同様の結果であった。本法は操作が簡単で、分解時間が短いことから、乾物消化率推定の簡便法と考えられる。

本試験では2種類の乾物消化率推定方法を検討したが、その推定値と標準試料の乾物消化率の相関係数は高く、いずれの方法も育種試験に应用可能であり、結果は既往の報告と同傾向であった。しかしながらそれぞれの方法に長・短所があり、各試験段階で使い分けが必要と考えられた。

以上述べた *in vitro* の乾物消化率推定方法を使い以下の研究を進めた。

2. 乾物消化率の変異

乾物消化率選抜の前段階として、チモシー乾物消化率の変異を検討した。育種母材間の変異が小さければ選抜はかなり難しいものになる。このため乾物消化率が育種の対象として適当な形質かどうかを、変異の大きさから検討した。

年間3回収穫の52品種系統の乾物消化率の変異

を検討したが、各番草のレンジは10%以上で、極めて大きく、いずれも品種系統間に高い有意性を示した。番草をこみにした平均乾物消化率も品種系統間に高い有意性を示した。供試品種系統を熟期により群別し、その乾物消化率を検討したが、各群ともレンジは大きい、早生群及び中晩生群は番草により有意性が認められなかった。

早生群に属し、40品種系統の366クローンの1番草乾物消化率を検討したが、レンジは20.9%と大きく、母材別乾物消化率を検討することにより、高い乾物消化率クローンを多く含む育種母材が明らかになった。

以上の結果からチモシーにおける乾物消化率の変異はかなり大きく、乾物消化率は選抜可能な形質と考えられた。

乾物消化率は他の飼料成分と同様に、チモシーの生育の進展に従って変化するが、特に生殖生長を伴い比較的生育の変化が著しい1番草の乾物消化率が、生育の進展に従ってどのような変化を示すか検討した。

52品種系統を1週間間隔で経時的に6回収穫したが、乾物消化率は生育が進むに従い直線的に減少した。熟期群別の平均乾物消化率も同様の傾向であったが、早生群は急激に、晩生群は緩やかに減少した。各収穫時期とも乾物消化率のレンジは10%以上で極めて大きかった。

52品種系統の葉身及び茎部乾物消化率の変異は、茎部がやや大きい傾向を示すが、両部位ともレンジは10%前後でかなり大きかった。このためこれら部位別に乾物消化率に関する選抜が可能と考えられた。しかしながら葉身乾物消化率と茎部乾物消化率の相関係数は比較的小さく、一方に対する乾物消化率の選抜は、他方の部位の乾物消化率にあまり大きい影響を及ぼさないものと考えられた。

一方葉身の一部から茎葉全体の乾物消化率の推定が可能ならば、発芽後生育初期の立毛状態の個

体の乾物消化率の推定が容易である。しかしながら葉身乾物消化率と茎葉乾物消化率の相関係数は比較的小さく、葉身乾物消化率から茎葉乾物消化率の推定は困難と考えられた。

3. 乾物消化率と生理的及び形態的形質の関係

乾物消化率の選抜により他の重要な形質が損なわれては育種の意味がなくなる。また生理的あるいは形態的形質から乾物消化率推定の可能性を検討するため、若干の形質と乾物消化率の関係を検討した。

多葉性は従来から牧草品質向上のための選抜形質であった。葉部率は品種系統間あるいはクローン間変異が大きく、乾物消化率と葉部率の相関係数は1番草で有意性を示した。この結果葉部率の選抜は、乾物消化率をも選抜することになる。しかしながら相関係数は比較的小さく、葉部率から乾物消化率を推定することはかなり困難と考えられた。

飼料成分の一つとして粗蛋白質と乾物消化率の関係を検討した。母株とその多交配後代系統及び乾物消化率で選抜したクローンの粗蛋白質は、いずれも大きい変異を示し、乾物消化率との相関係数はクローンでやや小さいが、母株とその多交配後代系統で比較的大きかった。この結果乾物消化率の選抜は粗蛋白質を高める可能性が大きいと考えられた。

茎葉中水分は収量や嗜好性とも関係があると考えられ、乾物率と乾物消化率の関係を検討した。多交配後代系統と乾物消化率で選抜したクローンの乾物率の変異は比較的大きく、乾物消化率との相関係数は両群とも負の有意性を示した。この結果は茎葉中水分の多い材料ほど乾物消化率が高い傾向を示すが、茎葉中水分と収量は負の関係と考えられ、乾物消化率と収量の関係を表しているとも考えられる。しかしながら乾物率と乾物消化率の相関係数は比較的小さく、茎葉中水分から乾物消化率の推定はかなり難しいと考えられた。

牧草病害はその生育を阻害するだけでなく、飼料価値を低下させる。このためチモシーの代表的

な病害である斑点病及びすじ葉枯病と乾物消化率の関係を検討した。

斑点病の品種系統間変異は比較的大きく、すじ葉枯病の変異は斑点病に比較すると小さかった。両病害の罹病程度と乾物消化率の相関は負の関係と考えられるが、相関係数は比較的小さかった。しかしながら罹病程度の異なる葉身サンプルの乾物消化率と斑点病罹病程度の相関係数は -0.873 と大きかった。両病害とも年次により発生の差異はあるが、毎年発生する。このため両病害の発生を抑制するため、耐病性育種との連携が重要と考えられた。

簡易で一般的な調査形質から乾物消化率の推定が可能ならば、乾物消化率の初期選抜はかなり効率的になる。このため育種試験で一般的に調査する形質と乾物消化率の関係を検討した。乾物消化率と他の形質の相関は1番草において有意性を示す形質が多いが、その相関係数は比較的小さく、乾物消化率選抜の参考程度に使われ、これらの形質から乾物消化率の推定は困難と考えられた。

一般に品質と収量は負の関係と考えられ、牧草だけでなく、他の作物にも共通した現象である。このため乾物消化率と乾物収量の関係を検討した。1番草の乾物消化率と乾物収量の相関係数は比較的小さいが、遺伝相関はかなり大きく、収量の犠牲なしに乾物消化率を高めることは不可能に近い。しかしながら早生群は相関係数や遺伝相関が小さく、収量に対する十分な検討により、収量を損なうことなしに乾物消化率を高めることが可能と考えられた。中・晩生群における乾物消化率の選抜は、収量を考え併せるとかなり難しいと考えられた。年間合計収量と各番草の群別乾物消化率の相関は小さく、いずれも有意水準以下であった。

以上乾物消化率と他の形質の関係を検討したが、十分な注意のもとに乾物消化率の選抜を行うことができれば、他の重要な形質を損なうことはないと考えられた。また育種試験における一般的で簡易な調査形質から乾物消化率の推定は、かなり難しいと考えられる。

4. 乾物消化率の選抜

チモシーは乾物消化率の変異が大きく、乾物消化率と他の形質の関係においても大きな問題は少ないと判断された。このため乾物消化率の遺伝力を算出し、高乾物消化率系統の実験的育成を行った。また乾物消化率の世代間の比較や、選抜を効率的に行うため乾物消化率の幼苗検定を試みた。

乾物消化率の遺伝力は既に第3章で広義の遺伝力として0.896 (1番草) を算出したが、より実用的に母株とその多交配後代系統の親子回帰による遺伝力を算出した。早生群に属する1番草の遺伝力は0.891で、かなり大きい値が得られ、乾物消化率の選抜は現実的に可能性が高いと判断された。

一般に牧草種子は育成から栽培まで数世代の増殖が行われる。この増殖によって形質が変化し、特性が失われては育種の意味がなくなる。このため合成品種法と集団選抜法によって育成された各1品種を供試し、世代の違いによる乾物消化率の変異を検討したが、両品種とも世代間の差は小さく、有意性は認められなかった。以上からチモシーにおける乾物消化率の世代間の変異は極く小さいものと推測された。

乾物消化率の選抜効果を確認するため、乾物消化率を選抜目標に実験的に系統を育成した。乾物消化率の高・低両母材から合成品種法で育成した2系統の乾物消化率から、乾物消化率の選抜効果が確認された。しかしながら標準品種と育成系統の乾物消化率の差は小さかった。これらの系統の母材は乾物消化率に強い選抜を加えていないことから、実際の育種においては、更に乾物消化率の向上が期待できると考えられる。集団選抜法による個体選抜は、選抜サイクルが進むに従い、平均乾物消化率が高まった。

選抜の効率化あるいは選抜精度の向上を目的として、幼苗に対する乾物消化率の選抜を試みた。温室で育成した幼苗と圃場に移植後の個体の乾物消化率に一定の傾向は認められなかった。供試材料の乾物消化率の変異が小さいことも原因の一つと考えられるが、今後は試験の条件について、更に検討が必要と考えられた。

5. 乾物消化率に及ぼす環境要因の影響

乾物消化率は牧草の生育環境から種々の影響を受け、生育環境と品種の交互作用が有意性を示す場合が少なくない。このため生育環境がチモシー品種の乾物消化率に及ぼす影響を検討した。

チモシーは冷涼な気象に適し、高い生育温度に弱い欠点を持っている。このため生育温度が乾物消化率に及ぼす影響を検討した。乾物消化率に及ぼす生育温度の影響は明らかで、生育温度が高くなるに従い、乾物消化率は有意に低下した。品種と生育温度の交互作用は有意水準以下で、乾物消化率に対する生育温度の影響はチモシーに一般的な現象と考えられた。今後は高温条件下で乾物消化率の低下しない品種育成のための検討が必要と考えられた。

チモシーは過湿状態の土壌でも良く生育するが、土壌の乾燥に弱い欠点を持っている。このため乾物消化率に及ぼす土壌水分の影響を検討した。一般に乾燥土壌より湿潤な土壌で栽培されている牧草の乾物消化率が高いと考えられる。しかしながら1・2番草とも品種と土壌水分の交互作用は有意性を示し、品種により土壌水分から受ける影響は異なると考えられ、乾燥土壌下の栽培で乾物消化率の低下しない品種育成の可能性が考えられた。

チモシーは早春の強い日射量下で急激な生育を示すが、他の寒地型牧草に比較すると耐陰性が劣ると考えられる。このため乾物消化率に及ぼす日射量の影響を検討した。一般に乾物消化率は日射量の減少に伴い低下すると考えられる。本試験においても日射量の減少に従い、各品種の乾物消化率は有意に低下した。品種と日射量の交互作用は有意水準以下で、日射量と乾物消化率の関係はチモシーに一般的な現象と考えられた。低日射条件は栽培技術で対応できない気象要因の一つであり、低日射量下で乾物消化率の低下しない品種育成のための検討が必要と考えられる。

チモシーは土壌に対する適応性が広く、各種の土壌に比較的良く生育する。しかしながら最適な土壌、施肥条件は品種により異なると考えられ、乾物消化率に及ぼす窒素施肥と土壌の影響を検討

した。適量の窒素施肥は収量だけでなく、乾物消化率を高める。本試験においても窒素施肥で各品種の乾物消化率が向上した。しかしながら2番草で品種と窒素施肥の交互作用が有意性を示し、施肥窒素に対する乾物消化率の反応は品種により異なった。

土壌の違いによる乾物消化率の影響は比較的小さいが、1番草の葉身乾物消化率で、品種と土壌の交互作用が有意性を示し、土壌の違いが乾物消化率に及ぼす影響は品種により異なった。以上の結果から乾物消化率の選抜において、施肥量や土壌の違いについても考慮する必要があると考えられた。

チモシーは比較的日長に敏感で、長日下で節間伸長し、花芽分化するが、日長に対する反応は品種により異なると考えられる。飼料成分に対しても同様の影響が考えられ、日長時間の違いが乾物消化率に及ぼす影響を検討した。乾物消化率は日長時間の長い区が明らかに高く、葉身及び茎部とも品種と日長時間の交互作用は有意性を示した。異なる日長時間の乾物消化率の差から、品種の群別が可能であり、体内成分も形態的形質と同様に、

品種により日長反応が異なった。今後は生育や飼料成分が、日長時間に大きな影響を受けない品種の育成が必要と考えられた。

以上の結果から乾物消化率に及ぼす生育環境の影響は品種により異なり、個体においても同様の結果が考えられ、乾物消化率の選抜において、年次や季節あるいは圃場や施肥量が異なる場合、乾物消化率の変動に注意が必要と考えられた。

昭和49年から昭和58年までの10年間に、北海道における乳用牛の飼養頭数は36%、肉用牛は88%、搾乳牛1頭当りの乳量は23%増加した。同じく牧草地面積は14%、チモシー種子需給量は12%増加したが、反面牧草収量は横ばいで、搾乳牛1頭当りの飼料費は97%増加した¹⁰³⁾。このような情勢のなかで、牧草育種は収量だけでなく、高品質を最大の目標にしなければならない。幸いにしてチモシーにおける乾物消化率の選抜は、本研究の結果から十分可能性が高いことが判明した。今後は、本研究で得られた知見をもとに高乾物消化率品種を育成し、畜産発展の一助としたい。

摘 要

育種試験における乾物消化率推定のための簡易な *in vitro* 法を検討した。Tilley and Terry 法による推定乾物消化率と標準試料の乾物消化率の相関係数は0.956で、両乾物消化率の平均値や変異係数の差は極く小さかった。

セルラーゼによる乾物分解率と乾物消化率の関係を検討した。振とう分解法及び静置分解法ともに標準試料の乾物消化率に比較し、20%以上低い乾物分解率を示した。しかしながら乾物分解率と乾物消化率の相関係数は0.9以上で、セルラーゼによる乾物分解率から乾物消化率推定の回帰式によって得られた推定乾物消化率と、標準試料の乾物消化率の平均値の差は小さかった。

2種類の *in vitro* による乾物消化率推定法を検討したが、その推定値と標準試料の乾物消化率の相関係数は大きく、操作が比較的簡単で、短時間で測定が可能のため、いずれの方法も育種試験に適した方法と考えられた。

チモシーの乾物消化率の変異を検討した。年間3回収穫の52品種系統の乾物消化率は、各番草ともレンジは10%以上で、品種系統間に高い有意性を示した。レンジは3番草が最も大きく、次いで1番草、2番草の順であった。番草をこみにした平均乾物消化率も品種系統間で高い有意性を示した。熟期別品種系統間のレンジは、早生群が他の群に比較し小さかった。

乾物消化率のクローン間変異を検討した。366クローンの1番草乾物消化率のレンジは20.9%と大きく、高い乾物消化率のクローンを多く含む育種母材が明らかになった。

生育に伴う乾物消化率の変化を52品種系統の1番草を供試し検討した。1週間間隔で経時的に6回収穫したが、乾物消化率は生育が進むに従い直線的に減少した。熟期別平均乾物消化率も同様の傾向であったが、早生群は急激に、晩生群は緩やかに減少した。各収穫期の乾物消化率のレンジは10%以上で、生育が進むに従い大きくなる傾向を

示した。

52品種系統の葉身及び茎部（葉鞘と穂を含む）乾物消化率の変異は、茎部がやや大きいのが、両部位ともレンジは10%前後であった。しかしながら葉身乾物消化率と茎部及び茎葉乾物消化率の相関係数は比較的小さかった。

以上から乾物消化率の変異はかなり大きく、分散分析表から算出した広義の遺伝力は1番草0.896、2番草0.563、3番草0.773で乾物消化率は選抜可能な形質と推測された。

乾物消化率と生理的及び形態的形質の関係を検討した。葉部率（茎葉重に対する葉身重の割合）と乾物消化率の相関係数は1番草で高い有意性を示した。しかしながら相関係数は比較的小さく、葉部率から乾物消化率の推定はかなり困難と考えられた。

粗蛋白質と乾物消化率の関係を検討した。その相関係数は1・2番草とも高い有意性を示し、乾物消化率の選抜は粗蛋白質を高める可能性が大きいと推測された。

乾物率（生草重に対する乾物重の割合）と乾物消化率の関係を検討した。乾物率の変異は比較的大きく、乾物率と乾物消化率の相関係数は負の高い有意性を示した。しかしながら相関係数は比較的小さく、乾物率から乾物消化率の推定はかなり難しいと考えられた。

チモシー斑点病及びすじ葉枯病の罹病程度と乾物消化率の関係を検討した。

圃場での斑点病罹病程度と乾物消化率の相関係数は1・2番草で負の有意性を示した。また斑点病の罹病程度の異なる葉身の乾物消化率と罹病程度の相関係数は-0.873で高い有意性を示した。

圃場におけるすじ葉枯病の罹病程度と乾物消化率の相関係数は1番草で負の有意性を示した。

両病害とも年次の差はあるが毎年発生する。このため生育だけでなく、乾物消化率をも低下させるものと考えられ、耐病性育種との連携が更に重

要と考えられた。

育種試験における一般的な調査形質と乾物消化率の関係を検討した。乾物消化率と各形質の相関係数は草丈、茎数、葉身幅、草型、出穂程度（2番草）で高い有意性を示したが、それらの相関係数は比較的小さく、これらの形質から乾物消化率を推定することはかなり難しいと推測された。

乾物収量と乾物消化率の関係を検討した。52品種系統の1番草乾物収量と乾物消化率の相関係数は -0.553 で高い有意性を示した。同じく遺伝相関は全体で -0.809 と極めて高い値を示した。しかしながら早生群の遺伝相関は -0.282 と比較的小さく、収量を損なうことなしに乾物消化率を高めることが可能と考えられた。中・晩生群は極めて高い遺伝相関を示し、収量との関連で、選抜はかなり困難と推測された。一方年間合計収量と各番草の群別乾物消化率の相関係数は小さく、有意水準以下であった。

乾物消化率の遺伝力を親子回帰から算出した。乾物消化率に未選抜の早生群に属する24母材と、その多交配後代系統の1番草の乾物消化率の遺伝力は 0.891 で、かなり大きい値が得られ、乾物消化率の選抜は可能性が高いと判断された。

一般に牧草種子は育成から栽培まで数世代の増殖が行われる。このため増殖世代間の乾物消化率の変異を検討した。ノサップ（合成品種法）とセンボク（集団選抜法）の乾物消化率の世代間の差は小さく、有意性は認められなかった。このことから乾物消化率の世代間変異は比較的小さいものと推測された。

乾物消化率に対する選抜の効果を確認するため、乾物消化率を選抜目標に実験的に系統を育成した。合成品種法で育成した早生2系統の乾物消化率から、選抜効果が認められた。また個体選抜は選抜サイクルが進むに従い、集団の平均乾物消化率が高まった。以上の結果と既に述べた遺伝力などから推測し、乾物消化率の選抜は十分可能と判断されたが、育成系統の乾物収量は標準品種と比較し、やや低い傾向を示した。

選抜の効率化あるいは選抜精度の向上を目的として、幼苗に対する乾物消化率の選抜を試みた。

温室で育苗した幼苗と幼苗を収穫した後の再生草の乾物消化率の変異は大きく、圃場に移植後の個体の乾物消化率の変異は小さかった。幼苗と圃場に移植後の個体の乾物消化率の間に一定の傾向は認められなかった。今後は乾物消化率の推定法を含め、再検討が必要と考えられた。

乾物消化率は牧草の生育環境から種々の影響を受けると考えられる。このため生育環境の違いが、乾物消化率に与える影響を出穂期の異なる5品種を供試して検討した。

生育温度が乾物消化率に及ぼす影響を検討した。生育温度と乾物消化率の関係は明らかで、生育温度が高くなるに従い、乾物消化率は有意に低下した。この傾向はチモシーに一般的な傾向と考えられ、高い生育温度で乾物消化率の低下しない品種育成が必要と考えられた。

土壌水分が乾物消化率に及ぼす影響を検討した。土壌水分の減少に伴い乾物消化率は低下の傾向を示すが、1・2番草とも品種と土壌水分の交互作用は有意性を示し、乾燥土壌下の栽培で乾物消化率の低下しない品種育成の可能性が考えられた。

日射量が乾物消化率に及ぼす影響を検討した。日射量の減少に伴い、乾物消化率は有意に低下した。品種と日射量の交互作用は有意水準以下で、日射量と乾物消化率の関係はチモシーに一般的な現象と推測された。今後は低日射量下で乾物消化率の低下しない品種育成の検討が必要と考えられる。

窒素施肥と土壌の違いが乾物消化率に及ぼす影響を検討した。

窒素施肥により乾物消化率は有意に向上した。しかしながら2番草で品種と窒素施肥の交互作用が有意性を示し、窒素施肥に対する乾物消化率の反応は品種により異なった。

土壌の違いによる乾物消化率の影響は比較的小さいが、1番草の葉身乾物消化率で、品種と土壌の交互作用が有意性を示した。以上の結果から乾物消化率の選抜において、窒素施肥量や土壌の違いについても考慮する必要があると考えられた。

日長時間の違いが乾物消化率に及ぼす影響を検

討した。日長時間を長くすることにより乾物消化率は有意に向上した。しかしながら葉身及び基部ともに品種と日長時間の交互作用が有意性を示し、乾物消化率に及ぼす日長時間の影響は品種により異なった。

以上から乾物消化率に及ぼす生育環境の影響は品種により異なり、乾物消化率の選抜において年次、季節、圃場あるいは施肥量が異なる場合、十分な注意が必要と考えられた。

謝

本論文の取りまとめに当たり、北海道大学教授喜多富美治博士に懇切なる御指導と御校閲を賜った。また北海道大学教授津田周彌博士、同教授木下俊郎博士並びに同教授朝日田康司博士には御校閲と多くの御助言を賜った。更に帯広畜産大学元学長大原久友博士並びに同教授吉田則人博士には終始多くの御指導と激励を賜った。ここに謹んで謝意を表する。

本研究は、北海道農業試験場草地開発第2部牧草第1研究室長植田精一氏（元北見農業試験場牧草科長）、同てんさい部育種第1研究室長増谷哲雄博士（前北見農業試験場牧草科長）、東北農業試験場草地部草地第1研究室長樋口誠一郎氏（前北見農業試験場研究職員）並びに天北農業試験場作物科長筒井佐喜雄氏（前北見農業試験場研究職員）の御指導と御協力によって行われた。ここに深甚なる謝意を表する。

辞

本研究の遂行において、北見農業試験場元場長中山利彦博士、同元専門技術員太田竜太郎氏、中央農業試験場主任研究員平井義孝氏、道南農業試験場土壌肥料科長下野勝昭博士、農業研究センター麦導入保存研究室長佐々木宏氏、北見農業試験場管理科職員諸氏、同牧草科研究職員下小路英男氏、同研究職員川村公一氏、同研究職員中住晴彦氏、同米山美恵子氏並びに同斎藤優美子氏に多くの御協力をいただいた。また元鹿児島大学橋爪徳三教授、畜産試験場阿部亮室長、草地試験場中嶋紘一科長並びに同荒智室長に多くの御指導をいただいた。特記して謝意を表する。

本研究は農林水産省指定試験事業の一環として行われた。道立農業試験場、同畜産試験場、農林水産省草地試験場、同北海道農業試験場並びに農林水産技術会議事務局の関係各位に感謝の意を表する。

引用文献

- 1) 阿部亮, 堀井聡, 亀岡喧一(1972)セルラーゼによる粗飼料の乾物消化率推定法に関する研究Ⅲ. Two Step法の乾物消化率推定への応用. 日畜会報. 43, 175-180.
- 2) Adams, R.S. (1961) Results of feed analysis in feeding dairy cattle. J. Dairy Sci. 44, 2105-2112.
- 3) Alberda, T. (1970) The influence of carbohydrate reserves on respiratoin, and dry matter production of intact plants. Proc. XI Int. Grassl. Congr. 517-522.
- 4) Alexander, R. H., and M. McGowan (1961) A filtration procedure for the in vitro determination of digestibility of herbage. J. Brit. Grassl. Soc. 16, 275-276.
- 5) Allard, H. A. (1941) Growth and flowering of some tame and wild grasses in response to different photoperiods. J. Agr. Res. 62, 193-228.
- 6) Allinson, D. W. (1971) Influence of photoperiod and thermoperiod on the IVDMD and cell wall components of tall fescue. Crop Sci. 11, 456-458.
- 7) Anderson, M. J., M. W. Pedersen, and D. R. Waldo (1973) Nutritive value of alfalfa selected for saponin. Agron. J. 65, 759-761.
- 8) Archibald, J. G., H. Fenner, D. F. Owen, Jr., and H. D. Barnes (1961) Measurement of the nutritive value of alfalfa and timothy hay by varied techniques. J. Dairy sci. 44, 2232-2241.
- 9) Asay, K. H., I. T. Carlson, and C. P. Wilsie (1968) Genetic variability in forage yield, crude protein percentage, and palatability in reed canarygrass, Phalaris arundinacea L.. Crop Sci. 8, 568-571.
- 10) Barker, R. E., and A. W. Hovin (1974) Inheritance of indole alkaloids in reed canarygrass (Phalaris arundinacea L.). I. Heritability estimates for alkaloid concentration. Crop Sci. 14, 50-53.
- 11) Barnes, R. F., and G. O. Mott (1970) Evaluation of selected clones of Phalaris arundinacea L. I. In vivo digestibility and intake. Agron. J. 62, 719-721.
- 12) Barton, F. E., and D. Burdick (1979) Preliminary study on the analysis of forage with a filter-type near-infrared spectrometer. J. Agric. Food Chem. 27, 1248-1252.
- 13) Berg, C. C., and R. R. Hill, Jr. (1983) Quantitative inheritance and correlations among forage yield and quality in timothy. Crop Sci. 23, 380-384.
- 14) Bowman, D. E., and A. G. Law (1964) Effects of temperature and daylength on the development of lignin, cellulose, and protein in Dactylis glomerata L. and Bromus inermis Leyss.. Agron. J. 56, 177-179.
- 15) Breese, E. L. (1967) Herbage quality. In vitro digestibility in cocksfoot. Rep. Welsh Pl. Breed. Stn. for 1966. 35-41.
- 16) Brown, W. F., J. M. Spiers, and C. W. Thurman (1976) Performance of five warm-season perennial grasses grown in southern Mississippi. Agron. J. 68, 821-823.
- 17) Buckner, R. C., J. R. Todd, P. B. Burrus, and R. E. Barnes (1967) Chemical composition,

- Palatability and digestibility of ryegrass-tall fescue hybrids, Kenwell and Kentucky 31 tall fescue varieties. *Agron. J.* 59,345-349.
- 18) Buckner,R.C., P.B.Burrus,II, and L.P.Bush(1977) Registration of Kenhy tall fescue. *Crop Sci.* 17,672-673.
- 19) Buckner,R.C., P.B.Burrus, P.L.Cornelius, L.P.Bush, and J.E.Leggett(1981) Genetic variability and heritability of certain forage quality and mineral constituents in *Lolium-Festuca* hybrid derivatives. *Crop Sci.* 21,419-423.
- 20) Burdick, D., F.E.Barton, II, and B.D. Nelson (1981) Prediction of bermudagrass composition and digestibility with a near-infrared multiple filter spectrophotometer. *Agron. J.* 73,399-403.
- 21) Burns,J.C., and D.Smith(1980) Nonstructural carbohydrate residue, neutral detergent fiber, and *in vitro* dry matter disappearance of forages. *Agron.J.* 72,276-281.
- 22) Burton,G.W., R.H.Hart, and R.S.Lowrey(1976) Improving forage quality in bermudagrass by breeding. *Crop Sci.* 7,329-332.
- 23) Burton,G.W., W.G.Monson, J.C.Johnson, Jr., R.S.Lowrey, H.D.Chapman, and W.H. Marchant(1969) Effect of the d2 Dwarf gene on the forage yield and quality of pearl millet. *Agron. J.* 61,607-612.
- 24) Burton,G.W., and W.G.Monson(1972) Inheritance of dry matter digestibility in bermudagrass, *Cynodon dactylon* (L.) Pers. *Crop Sci.* 12,375-378.
- 25) Bushice,T.H.(1968) Effects of inbreeding on fertility in *Medicago sativa* L.. *Crop Sci.* 8,231-234.
- 26) Campbell,A.R., and R.C.Pickett(1986) Effect of nitrogen fertilization on protein quality and quantity and certain other characteristic of 19 strains of *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *Crop Sci.* 8,545-547.
- 27) Carlson,G.E.(1972) アメリカにおける飼料作物の収量、草質および季節生産性改善に関する研究活動とその成果—北海道における草地・畜産の印象—. 北海道草研報. 6,5-16(眞木芳助訳).
- 28) Carlson,I.T., K.H.Asay, W.F.Wedin, and R.L.Vetter (1969) Genetic variability *in vitro* dry matter digestibility of fall-saved reed canarygrass *Phalaris arundinacea* L.. *Crop Sci.* 9,162-164.
- 29) Chalupa,W., and D.D.Lee(1966) Estimation of forage nutritive value from *in vitro* cellulose digestion. *J. Dairy Sci.* 49,188-192.
- 30) Chapman,H.D., W.H.Marchant, G.W.Burton, W.G.Monson, and P.R.Utley(1978) Performance of steers grazing Pensacola bahia, Coastcross-1 bermudagrass. *J. Anim. Sci.* 32,374.
- 31) Chapman,H.D., W.H.Marchant, P.R.Utley, R.E.Hellwing, and W.H.Monson(1972) Performance of steers on Pensacola bahiagrass. *J. Anim. Sci.* 34,373-378.
- 32) Christie,B.R., and D.N.Mowat(1968) Variability of *in vitro* digestibility among clones of bromegrass and orchardgrass. *Can. J. Plant Sci.* 48,67-73.
- 33) Christie,B.R.(1977) Effectiveness of one cycle of phenotypic selection for *in vitro* digestibility in bromegrass and orchardgrass. *Can. J. Plant Sci.* 57,57-60.

- 34) Clements,R.J.(1969) Selection for crude protein content in Phalaris tuberosa L. 1. Response to selection and preliminary studies on correlated responses. Aust. J. Agric. Res: 20,643-652.
- 35) Collins,M., and P.N.Drolson(1982) Composition and digestibility of smooth brome-grass clones selected for high and low IVDMD. Agron. J. 74,287-290.
- 36) Cooper, J. P., J.M.A. Tilley, W.F.Raymond, and R.A. Terry (1962) Selection for digestibility in herbage grasses. Nature 196,1276-1277.
- 37) Coulman,B.E., K.W.Clark and D.L.Woods(1977) Effects of selected reed canary grass alkaloids on in vitro digestibility. Can. J. Plant Sci. 57,779-785.
- 38) Donefer,E., P.J.Niemann, E.W.Crampton, and L.E.Lloyd (1963) Dry matter disappearance by enzyme and aqueous solutions to predict the nutritive value of forages. J. Dairy Sci. 46,956-970.
- 39) Donnelly,E.D., and W.B.Anthony(1973) Relationship of serica lespedeza leaf and stem tannin to forage quality. Agron. J. 65,993-994.
- 40) Drolsom,P.N., and N.A.Jorgensen(1973) Breeding for improved dry matter digestibility in smooth brome-grass (Bromus inermis Leyss.). Crop Sci. 13,556-558.
- 41) Dudley,J.W., and R.J.Lambert(1969) Genetic variability after 65 generations of selection in Illinois high oil, low oil, high protein and low protein strains of Zea mays L.. Crop Sci. 9,179-181.
- 42) Eck,H.V., G.C.Wilson, and T.Martinez(1981) Tall fescue and smooth brome-grass. II. Effects of nitrogen fertilization and irrigation regimes on quality. Agron. J. 73, 453-456.
- 43) Evans,D.E.(1973) Drying effects on the nylon bag digestibility of alfalfa (Medicago sativa L.). Crop Sci. 13,118-119.
- 44) Fribourg,H.A., and R.W.Loveland(1978) Seasonal production, perloline content, and quality of fescue after N fertilization. Agron. J. 70,741-745.
- 45) Fribourg,H.A., and R.W.Loveland(1978) Production, digestibility, and perloline content of fescue stockpiled and harvested at different seasons. Agron. J. 70,745-747.
- 46) Fribourg,H.A., and R.J.Creel(1981) Selection of concomitant variates affecting regrowth, yield, and digestibility in forage sorghums. Agron. J. 73,443-445.
- 47) 古谷政道, 植田精一, 樋口誠一郎, 筒井佐喜雄(1982) 牧草の乾物消化率推定のための迅速セルラーゼ法の応用. 北海道立農試集報. 47,23-30.
- 48) 古谷政道, 増谷哲雄, 樋口誠一郎, 筒井佐喜雄(1983) 生育温度の違いがチモシー品種の生育と乾物消化率に及ぼす影響. 北海道立農試集報. 49,1-11.
- 49) 古谷政道, 増谷哲雄, 樋口誠一郎, 筒井佐喜雄(1983) チモシー品種の生育と乾物消化率に及ぼす日長時間の影響. 北海道草研報. 17,83-86.
- 50) 古谷政道, 増谷哲雄, 樋口誠一郎, 筒井佐喜雄(1983) チモシー品種の生育と乾物消化率に及ぼす土壌水分の影響. 北海道立農試集報. 50,13-24.
- 51) 古谷政道, 増谷哲雄, 樋口誠一郎, 筒井佐喜雄(1984) チモシー品種の生育と乾物消化率に及ぼす遮光の影響. 北海道立農試集報. 51,1-14.

- 52) 古谷政道(1984) 品質育種の重要性和育種的対応の現状. 北海道草研報. 18,22-29.
- 53) 古谷政道, 増谷哲雄, 筒井佐喜雄(1985) チモシー品種の生育と乾物消化率に及ぼす窒素施肥と土壌の影響. 北海道立農試集報. 52,12-24.
- 54) Furuya,M., T.Masutani, and S.Tsutsui(1985) Effects of high temperature stress on growth and digestible dry matter content of timothy cultivars. Proc. XV Int. Grassl. Congr. 429-431.
- 55) Gil,H.C., R.L.Davis, and R.F.Barnes(1976) Inheritance of *in vitro* digestibility and associated characteristics in Medicago sativa L.. Crop Sci. 7,19-21.
- 56) 後藤寛治(1970) 牧草の栄養価と育種. 北海道草研報. 4,1-11.
- 57) Gross,C.F., and G.A.Jung(1978) Magnesium, Ca, and K concentration in temperate-origin forage species as affected by temperature and Mg fertilization. Agron. J. 70,397-403.
- 58) Gross,D.F., C.J.Mankin, and J.G.Ross(1975) Effect of diseases on *in vitro* digestibility of smooth bromgrass. Crop Sci. 15,273-274.
- 59) Hanson,A.A., and V.G.Sprague(1953) Heading of perennial grasses under greenhouse conditions. Agron. J. 45,248-251.
- 60) Hanson,A.A., and H.L.Carnahan(1956) Breeding perennial forage grasses. U.S.D.A. Tech. Bull. No.1145,35-37.
- 61) Harrinson,A.M., A.Pike, P.D.Putwain, and T.H.McNeilly (1984) Variation in digestibility in nine populations of perennial ryegrass (Lolium perenne) and its genetic basis. Euphytica 33,497-506.
- 62) 橋口渉子(1968) 計量育種における統計的方法. 農林水産技術会議事務局監修, 農林水産試験研究のための統計的方法. 農林統計協会. 東京. 217-225.
- 63) Hiu,Jr.,R.R., and R.F.Barnes(1977) Genetic variability for chemical composition of alfalfa II. Yield and traits associated with digestibility. Crop Sci. 17,948-952.
- 64) Hogan,M.R., B.W.Henderson,Jr., E.R.Berousek, R.C.Wakefield, and R.W.Gilbert (1967) Effect of level of intake and other factor on digestibility of Climax timothy hay. J. Dairy Sci. 50,86-89.
- 65) 北海道立北見農業試験場土壌肥料科(1982) 秋播小麦に対する効率的な窒素施肥法試験. 35(北海道農業試験会議資料).
- 66) Holt,E.C., and R.L.Dalrymple(1979) Seasonal patterns of forage quality of weeping lovegrass cultivars. Agron. J. 71,59-62.
- 67) Hovin,A.W., G.C.Marten, and R.E.Stucker (1976) Cell wall constituents of reed canarygrass: Genetic variability and relationship to digestibility and yield. Crop Sci. 16,575-577.
- 68) Howarth,R.E., B.P.Goplen, J.P.Fay, and K.-J.Cheng(1976) Digestion of bloat-causing and bloat-safe legumes. Ann. Rech. Vet. 10,332-334.
- 69) 井澤弘一(1976) 病害による牧草飼料価値の低下. 植物防疫. 30,164-170.
- 70) Johnson,R.R.(1966) Techniques and procedures for *in vitro* and *in vivo* rumen studies J. Anim. Sci. 25,855-875.
- 71) Johnson,V.A., P.J.Mattern, and J.W.Schmidt(1967) Nitrogen relations during spring

- growth in varieties of Triticum aestivum L. differing in grain protein content. Crop Sci. 7,664-667.
- 72) Julen,G., and A.Lager(1966) Use of the in vitro digestibility test in plant breeding. Proc. 10th Int. Grassl. Cong. 652-657.
 - 73) Jung,G.A., R.E.Kocher, C.F.Gross, C.C.Berg, and O.L.Bennett(1976) Nonstructural carbohydrate in the spring herbage of temperate grasses. Crop Sci. 16,353-359.
 - 74) Jung,G.A., D.E.Brann, and G.W.Fissel(1981) Environmental and plant growth stage effects on composition and digestibility of crownvetch stems and leaves. Agron. J. 73,122-128.
 - 75) Kamstra,L.D., J.G.Ross, and D.C.Ronning(1973) In vivo and in vitro relationship in evaluating digestibility of selected smooth brome grass synthetics. Crop Sci. 13,575-576.
 - 76) 金子幸司(1962) アメリカの牧草育種と採種. 海外農業生産性視察報告42. 農林水産業生産性向上会議. 東京. 35-38.
 - 77) Kemper,D.W., and R.C.Sorensen(1974) Comparative effects of nitrogen and liming on three crop growth on four soils. Agron. J. 66,92-97.
 - 78) Kendall, W.A., J.R.Todd, and W.C.Templeton, Jr. (1970) Simplification of the dry matter disappearance technique to estimate forage quality. Crop Sci. 10,47-48.
 - 79) Klock,M.A., S.C.Schank,and T.E.Moore(1975) Laboratory evaluation of quality in subtropical grasses. III. Genetic variation among digitaria species in in vitro digestion and its relationship to plant morphology. Agron. J. 67,672-675.
 - 80) Kock,D.W.(1976) In vitro dry matter digestibility in timothy (P. pratenses L.) cultivars of different maturity. Crop Sci. 16,625-626.
 - 81) 窪田文武, 安達篤 (1978) 日長時間・気温・日射量およびこれらの要因の相互作用が主たる寒地型牧草の生育におよぼす影響. 日草誌. 24,148-153.
 - 82) Kunellius,H.T., L.B.Macleod, and F.W.Calder(1974) Effects of cutting management on yield, digestibility, crude protein, persistence of timothy, brome grass, and orchardgrass. Can. J. Plant Sci. 54,55-64.
 - 83) Lamba,P.S., H.A.Ahlgren, and R.J.Muckenhikn(1949) Root growth of alfalfa, medium red clover, brome grass, and timothy under various soil conditions. Agron. J. 41,451-458.
 - 84) Lechtenberg,V.L., D.A.Holt, and H.W.Youngberg (1971) Diurnal variation in non-structural carbohydrates, in vitro digestibility, and leaf to stem ratio of alfalfa. Agron. J. 63,719-724.
 - 85) Lloyd,L.E., H.F.M.Jeffers, E.Donefer, and E.W.Crampton(1961) Effect of four maturity stages of timothy hay on its chemical composition, nutrient digestibility and nutritive value index. J. Anim. Sci. 20,468-473.
 - 86) Mack,A.R., and B.J.Finne(1970) Differential response of timothy clonal lines and cultivars to soil temperature, moisture and fertility. Can. J. Plant Sci. 50,295-305.
 - 87) Marten,G.C., R.F.Barnes, A.B.Simons, and F.J.Wooding (1973) Alkaloids and palatability of Phalaris arudinacea L. grown in diverse environments. Agron. J. 65,199-

201.

- 88) Marten, G.C., A.B. Simons, and J.R. Frelich (1974) Alkaloids of reed canarygrass as influenced by nutrient supply. *Agron. J.* 66, 363-369.
- 89) Marten, G.C., and A.W. Hovin (1980) Harvest schedule, persistence, yield, and quality interactions among four perennial grasses. *Agron. J.* 72, 378-387.
- 90) 増谷哲雄, 古谷政道, 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. 北海道立農試集報. 45, 101-113.
- 91) Mcleod, M.N., and D.J. Minson (1971) The error in predicting dry matter digestibility from four different methods of analysis for lignin. *J. Brit. Grassl. Soc.* 26, 251-256.
- 92) McLeod, M.N. (1972) A note on the suitability of the *in vitro* digestibility technique for very small plant samples. *J. Brit. Grassl. Soc.* 27, 261-263.
- 93) 三秋尚 (1971) 窒素施肥と飼料作物の品質. 江原薫監修, 飼料作物草地の研究. 養賢堂. 東京 263-276.
- 94) Miller, F.R., R.S. Lowrey, W.G. Monson, G.W. Burton, and H.J. Cruzado (1972) Estimates of dry matter digestibility differences in grain of some *Sorghum bicolor* (L.) Moench varieties. *Crop Sci.* 12, 563-566.
- 95) Minson, D.J., C.E. Harris, W.F. Raymond, and R. Milford (1964) The digestibility and voluntary intake of S22 and H.1 ryegrass, S170 tall fescue, S48 timothy, S215 meadow fescue and germinal cocksfoot. *J. Brit. Grassl. Soc.* 19, 298-305.
- 96) Monson, W.G., and P.R. Utley (1974) Effects of diet of fistulated steer on *in vitro* and *in vivo* nylon bag digestibility of forage-corn mixtures. *Agron. J.* 66, 358-360.
- 97) 森本宏 (1968) 飼料学. 養賢堂. 東京. 58-62.
- 98) Mowat, D.N., R.S. Fulkerson, W.E. Tossell, and J.E. Winch (1965) The *in vitro* dry matter digestibility of several species and varieties and their plant parts with advancing stage of maturity. *Can. J. Plant Sci.* 45, 321-331.
- 99) 中嶋絃一, 鶴見義朗, 吉山武敏 (1981) トールヘエスク (*Festuca arundinacea* Schreb.) の乾物消化率と諸形質の関連性及び乾物消化率の品種間差異. 九州農試報. 21, 371-384.
- 100) 成田武四 (1958) 荳科及び禾本科牧草の病害短報 (1). 北海道立農試集報. 2, 45-61.
- 101) Nguyen, H.T., D.A. Sleper, and A.G. Matches (1982) Inheritance of forage quality and its relationship to fensile strength in tall fescue. *Crop. Sci.* 22, 67-72.
- 102) 西原夏樹 (1962) 牧草の病害 (II) グラス類. 千葉県農業試験場資料. 2, 6-13.
- 103) 農林省北海道統計情報事務所 (1975～各年) 北海道市町村別農業統計.
- 104) 岡本全弘, 広瀬可恒 (1972) 人工ルーメンによる牧草の消化に関する研究 I. 牧草の生育にともなう *in vitro* ルーメン消化の変化について. 日畜会報. 43, 499-505.
- 105) 大原益博, 山川政明, 田辺安一 (1983) 数種寒地型牧草の1番草の生育に伴う *in vitro* 乾物消化率, 粗蛋白質含量および収量の推移. 日草誌. 29, 161-168.
- 106) 大原久友 (1965) 草地学概論. 明文書房. 東京. 40-43.
- 107) 大原久友 (1966) 反芻家畜における草類の摂取量と消化性におよぼす要因について. 日畜会報 37, 191-197.
- 108) Pedersen, M.W., E.L. Sorensen, and M.J. Anderson (1975) A comparison of pea aphid-resistant and susceptible alfalfa for field performance, saponin concentration,

- digestibility, and insect resistance. Crop Sci. 15,254-256.
- 109) Peterson,A., and B.R.Baumgardt(1967) The Tilley and Terry method of estimating the digestible dry matter of forage as altered and adapted for use at this station. Res. Rep. Dept. of Dairy Sci., Univ. of Wis. 66-71.
 - 110) Pitman,W.D., D.W.Vietor, and E.C.Holt(1981) Digestibility of kleingrass forage grown under moisture stress. Crop Sci. 21,951-953.
 - 111) Porter,T.K., and J.H.Reynolds(1975) Relationships of alfalfa cultivar yields to specific leaf weight, plant density, and chemical composition. Agron. J. 67,625-629.
 - 112) Quesenberry,K.H., D.A.Sleper, and J.A.Cornell(1978) Heritability and correlations of IVOMD, maturity, and plant height in rhodes grass. Crop Sci. 18,847-850.
 - 113) Raymond,W.F.(1969) The nutritive values of forage crops. Ad. in Agron. 21,1-108.
 - 114) Rees,M.C., and D.J.Minson(1979) The validity of in vitro techniques using rumen fluid or cellulase for predicting changes in the dry matter digestibility of grasses caused by fertilizer calcium, sulphur, phosphorus and nitrogen. Grass and Forage Sci.34,19-25.
 - 115) Reid,D.(1966) The response of herbage yield and quality to a wide range of nitrogen application rates. Proc. X Int. Grassl. Congr. 209-213.
 - 116) Ried,J.T., W.K.Kennedy, K.L.Turky, S.T.Slack, G.W.Trimberger, and R.P.Murphy (1959) Symposium on forage evaluation : I. What is forage quality from the animal standpoint?. Agron. J. 51,213-216.
 - 117) Reid,R.L., D.C.Shelton, J.A.Welch, and G.A.Jung (1959) Pasture quality as determined by in vitro and in vivo techniques. J. Anim. Sci. 18,1537-1538.
 - 118) Rogers,H.H., and E.T.Whitmore(1966) A modified method for the in vitro determination of forage digestibility in plant-breeding studies. J. Brit. Grassl. Soc. 21, 150-152.
 - 119) Ross, J.G., S.S.Bullis, and K.C.Lin (1970) Inheritance of in vitro digestibility in smooth brome grass. Crop Sci. 10,672-673.
 - 120) 雑賀優(1977) 家畜生産における牧草品質の重要性和育種的対応. 育種学最近の進歩, 18,86-94.
 - 121) 雑賀優, 宝示戸貞雄(1977) オーチャードグラスにおける消化率の個体間変異および消化率と形態的・生理的形質との関係. 日草誌. 23,177-182.
 - 122) 佐久間勉, 成田武四(1961) チモシー斑点病とその病原菌 Heterosporium phlei Gregory について. 北海道立農試集報. 7,77-89.
 - 123) Schaffret, R.E., V.R.Lichtenberg, D.L.Oswalt, J.D.Axtell, R.C.Pickett, and C.L. Rhykerd(1974) Effect of tannin on in vitro dry matter and protein disappearance in sorghum grain. Crop Sci. 14,640-642.
 - 124) Schank,S.C., M.A.Klock, and J.E.Moore(1973) Laboratory evaluation of quality in subtropical grasses : II. Genetic variation among hemarthrias in vitro digestion and stem morphology. Agron. J. 65,256-259.
 - 125) Schoberlein,W., and W.Lanpeter(1977) The effects of global radiation before harvesting upon the digestibility of the dry matter of some grass species. Proc. XIII

- Int. Grassl. Congr. 1,245-249.
- 126) Shenk, J.S., and F.C. Elliott (1970) Two cycles of directional selection for improved nutritive of alfalfa. *Crop Sci.* 10,710-712.
 - 127) Simons, A.B., and G.C. Marten (1971) Relationship of indole alkaloids to palatability of Phalaris arundinacea L. *Agron. J.* 63,915-918.
 - 128) Singh, M., W.L. Ogren, and J.M. Widholm (1974) Photosynthetic characteristics of several C₃ and C₄ plant species grown under different light intensities. *Crop Sci.* 14,563-566.
 - 129) Singh, Y., and J.E. Winch (1974) Morphological development of two alfalfa cultivars under various harvesting schedules. *Can. J. Plant Sci.* 54,79-87.
 - 130) Sleper, D.A., and P.N. Drolsom (1974) Analysis of several morphological traits and their associations with digestibility in Bromus inermis Leyss.. *Crop Sci.* 14,34-36.
 - 131) Sleper, D.A., G.B. Garner, K.H. Asay, R. Boland, and E.E. Pickett (1977) Breeding for Mg, Ca, K, and P content in tall fescue. *Crop Sci.* 17,433-438.
 - 132) Smith, D., and O.R. Jewiss (1966) Effects of temperature and nitrogen supply on the growth of timothy (Phleum pratense L.). *Ann. appl. Biol.* 58,145-157.
 - 133) Smith, D., D.A. Rohweder, and N.A. Jorgensen (1974) Chemical composition of three legume and four grass herbage harvested at early flower during three years. *Agron. J.* 66,817-819.
 - 134) Snaydon, R.W. (1972) The effect of total water supply, and frequency of application, upon lucerne. *Aust. J. Agric. Res.* 23,253-256.
 - 135) Stratton, S.D., D.A. Sleper, and A.G. Matches (1979) Genetic variation and interrelationships of in vitro dry matter disappearance and fiber content in orchardgrass herbage. *Crop Sci.* 19,329-332.
 - 136) Stratton, S.D., and D.A. Sleper (1979) Genetic variation and interrelationships of several minerals in orchardgrass herbage. *Crop Sci.* 19,477-480.
 - 137) Sugino, K., and B.R. Christie (1973) Relationship between in vitro digestibility and morphological characters in alfalfa (Medicago sativa L.) I. Genetic variability of I.V.D.. *Japan. J. Breed.* 23,79-85.
 - 138) 鈴木茂, 藤本文弘 (1974) 合成品種育種. 農技研遺伝 5 研資料. 9-22.
 - 139) Tan, W.-K., G.-Y. Tan, and P.D. Walton (1978) Genetic variability in acid detergent fiber, crude protein, and their association with some morphological characters in smooth brome grass. *Crop Sci.* 18,119-121.
 - 140) 田中幸彦 (1977) 成分育種, FAO/IAEA の共同研究—蛋白を中心とした成分育種の現況—, 育種学最近の進歩. 18,37-52.
 - 141) Tarumoto, I., and Y. Masaoka (1978) Digestibility of fresh sorghum leaf by simple cellulase digestion method. *J. Japan. Grassl. Sci.* 24,1-9.
 - 142) Taylor, R.W. and D.W. Allinson (1982) Response of three warm-season grasses to varying fertility levels on five soils. *Can. J. Plant Sci.* 62,657-665.
 - 143) Terry, R.A., D.C. Mundell, and D.F. Osdourn (1978) Comparison of two in vitro procedures using rumen liquor-pepsin or pepsin-cellulase for prediction of forage di-

- gestibility. J. Brit. Grassl. Soc. 33,13-18.
- 144) Thaden,R.T., J.G.Ross, and A.Akyurek(1975) Variability of in vitro dry matter digestion in diallel and polycross progenies of intermediate wheatgrass. Crop Sci. 15,375-377.
 - 145) Thomas,J.G., and R.M.Morris(1973) The seasonal patterns of digestible organic matter and protein production from grasses in the North Pennines. J. Brit.Grassl. Soc. 28,31-40.
 - 146) Tilley,J.M.A., R.E.Deriaz, and R.A.Terry(1960) The in vitro measurement of herbage digestibility and assessment of nutritive value. Proc. 8th Int. Grassl. Congr. 533-537.
 - 147) Tilley,J.M.A., and R.A.Terry(1963) Two stage technique for the in vitro digestion of forage crops. J. Brit. Grassl. Soc. 18,104-111.
 - 148) Tingle,J.N., and C.R.Elliott(1975) Forage yield and quality of cultivated perennial grasses harvested at the early heading stage. Can. J. Plant Sci. 55,271-278.
 - 149) 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.
 - 150) 植田精一, 古谷政道, 樋口誠一郎, 筒井佐喜雄(1970) チモシーにおける高可消化成分系統の選抜に関する研究 第1報 可消化乾物量の品種間差異と主要形質の関係. 日草誌. 16,65.
 - 151) 植田精一, 眞木芳助, 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. 38,1-7.
 - 152) 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. 北海道立農試集報. 38,34-46.
 - 153) 植田精一, 増谷哲雄, 古谷政道, 樋口誠一郎, 筒井佐喜雄(1977) チモシー新品種「ホクシユウ」の育成について. 北海道立農試集報. 38,47-61.
 - 154) Utle, P. R., R. S. Lowrey, W. H. Marchant, R. E. Hellwing, J. L. Butler, and W. C. McCormick (1971) Comparative feeding value of pelleted Pensacola bahiagrass, Coastal bermudagrass and Cosstcross-1 bermudagrass harvested at four and eight weeks of age. J. Anim. Sci. 33,147-150.
 - 155) Van Soest,P.J.(1964) Symposium on nutrition and forage pasture : new chemical procedure for evaluating forages. J. Anim. Sci. 23,838-845.
 - 156) Van Soest,P.J.(1965) Symposium on factors influencing the voluntary intake of herbage by ruminants : voluntary intake in relation to chemical composition and digestibility. J. Anim. Sci. 24,834-843.
 - 157) Van Soest,P.J.(1967) Development of a comprehensive system of feed analyses and its application to forages. J. Anim. Sci. 26,119-128.
 - 158) Vogel,K.P., H.J.Gorz, and F.A.Haskins(1981) Heritability estimates for forage yield, in vitro dry matter digestibility, crude protein, and heading date in indian grass. Crop Sci. 21,35-38.
 - 159) Vogel,K.P., F.A.Haskins, and H.J.Gorz(1981) Divergent selection for in vitro dry matter digestibility in switchgrass. Crop Sci. 21,39-40.
 - 160) Vogel,K.P., R.Britton, H.J.Gorz, and F.A.Haskins(1984) In vitro and in vivo

- analyses of hays of switchgrass strains selected for high and low in vitro dry matter digestibility. Crop Sci. 24,977-980.
- 161) Walker,D.M.(1959) The in vitro digestion of roughage dry matter. J. Agric. Sci. 53,192-197.
- 162) Watson,Jr.,C.E., R.V.Frakes, D.O.Chilcote, D.A.Sleper, and A.G.Matches(1978) Genetic variation for peroline, N, and digestibility in tall fescue. Crop Sci. 18,458-460.
- 163) Wedin,W.F., I.T.Carlson, and R.L.Vetter(1966) Studies on nutritive value of fall-saved forage, using rumen fermentation and chemical analyses. Proc. 10th Int. Grassl. Congr. 424-428.
- 164) Wilson,J.R., and T.T.Ng(1975) Influence of water stress on parameters associated with herbage quality of Panicum maximum var. trichoglume. Aust. J. Agric. Res. 26,127-137.
- 165) Woelfel,C.G., and B.R.Poulton(1960) The nutritive value of timothy hay as affected by nitrogen fertilization. J. Anim. Sci. 19,695-699.
- 166) Wright,A.J.(1973) The selection of parents for synthetic varieties of outbreeding diploid crops. Theor. Appl. Genet. 43,79-82.
- 167) Wright, S.(1922) The effects of inbreeding and crossbreeding on guinea pigs. U.S.D.A. Bull. 1121 (鈴木茂, 藤本文弘(1974) 合成品種育種による).
- 168) 吉田則人(1970) 酪農飼料. 明文書房. 東京. 32-113.
- 169) 吉山武敏(1971) 飼料作物・牧草の育種と導入. 1. 育種目標. 江原薫監修. 飼料作物・草地の研究. 養賢堂. 東京. 277-292.
- 170) Yougner,V.B., F.J.Nudge, and S.Spaulding(1978) Seasonal changes in nonstructural carbohydrate levels and innovation number of Kentucky bluegrass turf growing in three plant-climate areas. Agron. J. 70,407-411.
- 171) 湯本節三, 島本義也, 津田周彌(1982) チモシーの自生集団における生態型的変異に関する研究Ⅲ. 高温に対する研究. 日草誌. 28,1-7.

Studies on selection for dry matter digestibility in the breeding program of timothy plants

by

Masamichi Furuya

Summary

1. The application of the simple method for predicting the dry matter digestibility of timothy plants

1) The Tilley and Terry in vitro digestion method

The mean dry matter digestibilities of 10 forages analysed by Tilley and Terry in the in vitro and in vivo digestion methods were similar. The correlation coefficient between the dry matter digestibilities by the Tilley and Terry in vitro method and the in vivo method was highly significant ($r=0.956$; $p<0.01$), and the regression equation $Y=7.92+0.88X$ was calculated, where $Y=\text{in vivo}$ and $X=\text{dry matter digestibility by the Tilley and Terry in vitro method}$.

2) The simple enzyme digestion method

The simplified cellulase digestion methods for estimation of dry matter digestibility of timothy plants were examined.

a) The shaking digestion method by Furuya et al. (1982)

The dry matter digestibility values of 10 forages analysed by this method were lower than those of the in vivo method. The correlation coefficient between dry matter digestibility by this method and that of the in vivo method was highly significant ($r=0.902$; $p<0.01$), and the regression equation $Y=41.64+0.58X$ was calculated, where $Y=\text{in vivo}$ and $X=\text{dry matter digestibility by this method}$.

b) The non-shaking digestion method by Ueda et al. (1970)

The dry matter digestibility values of 28 forages analysed by this method were lower than those of the Tilley and Terry in vitro method. However, the correlation coefficient between the dry matter digestibilities by this method and the Tilley and Terry in vitro method was highly significant ($r=0.943$; $p<0.01$), and the regression equation $Y=20.40+1.22X$ was calculated, where $Y=\text{dry matter digestibility by the Tilley and Terry in vitro method}$ and $X=\text{dry matter digestibility by this method}$.

It is concluded that the simple cellulase digestion method is very useful for the selection of high digestible plants or strains.

It is concluded that these analyses were an accurate and rapid method of predicting dry matter digestibility in timothy plants.

2. Variability of dry matter digestibility in timothy plants

1) Variability of dry matter digestibilities among varieties or strains

Dry matter digestibilities of 50 varieties and 2 strains were estimated for the 1st, 2nd, and 3rd crops. The dry matter digestibilities in the 1st, 2nd, and 3rd crop showed a large variability among 52 variabilities and strains. The mean dry matter digestibility for the 1st crop of 52 varieties and strains was 59.1%, that for the 2nd crop was 64.2%, and that for the 3rd crop was 67.7%. The range of the dry matter digestibilities for the 1st crop of 52 varieties and strains was 13.8%, that for the 2nd crop was 12.3%, and that for the 3rd crop was 16.5%. The differences of dry matter digestibilities among 52 varieties and strains were highly significant in all the crops.

2) Variability of dry matter digestibilities among clones

Dry matter digestibilities of 366 early maturing clones (derived from 29 varieties and 11 strains) were estimated for the 1st crop. The dry matter digestibilities in the 1st crop showed a large variability among 366 clones. The mean dry matter digestibility for the 1st crop of 366 clones was 61.9%, the range of the dry matter digestibilites for the 1st crop of 366 clones was 20.9% (51.6% to 72.5%).

The dry matter digestibilities in the 1st crop showed a large variability among 40 mother lines (29 varieties and 11 strains).

3) Changes in dry matter digestibilities with the advancing primary growth of varieties or strains

Changes in dry matter digestibilities with the advancing primary growth of 50 varieties and 2 strains were investigated. The dry matter digestibilities of each crop for primary growth showed a large variability among 52 varieties and strains. The ranges of the dry matter digestibilities of each crop for the primary growth of 52 varieties and strains were 10.5% or more, respectively. In all timothy varieties and strains studied, the dry matter digestibilites with the advancing primary growth decreased. The dry matter digestibilities of early, medium early, and medium late maturing varieties and strains decreased rapidly, while those of late maturing varieties and strains decreased slowly.

4) Variabilities of the dry matter digestibilities of leaves and stems among varieties and strains

The dry matter digestibilities of leaf blades and stems (with the leaf sheath and head) of 50 varieties and 2 strains were estimated. The dry matter digestibilities of the leaf blades and stems of each crop for primary growth showed large variabilities among 52 varieties and strains. The ranges of the leaf blade and stem dry matter digestibilities of each crop for the primary growth of 52 varieties and strains were 9.7% or more, respectively. The mean dry matter digestibilities of the leaf blades of each crop were higher than those of the stems, while the coefficients of variation and the ranges were

lower. The correlation coefficients between the whole plant dry matter digestibilities and the leaf blade or stem dry matter digestibilities with the advancing primary growth were highly significant. However, the value for the dry matter digestibility of the whole plant reflected those of both the leaf blades and stems, particularly that of the stems.

3. The relationships between dry matter digestibility and the morphological or physiological characteristics in timothy plants

1) The relationship between dry matter digestibility and the leaf weight ratio

The relationship between the dry matter digestibilities and the leaf weight ratios (percentage of leaf blade weight to whole plant weight; dry matter basis) of 50 varieties and 2 strains was investigated for the 1st, 2nd, and 3rd crops. The leaf weight ratios for the 1st and 2nd crops showed a large variability among 52 varieties and strains. However, that for the 3rd crop showed a small variability among 52 varieties and strains. The correlation coefficient between the dry matter digestibility and the leaf weight ratio for the 1st crop was highly significant. However, little relationships were found between them for the 2nd and 3rd crops.

The relationships between the dry matter digestibilities and leaf weight ratios with the primary growth of 50 varieties and 2 strains were investigated. The leaf weight ratios with the advancing primary growth showed a large variability among 50 varieties and 2 strains. The correlation coefficients between the dry matter digestibilities and the leaf weight ratios with the advancing primary growth of 52 varieties and strains were highly significant.

The correlation coefficient between the dry matter digestibilities and the leaf weight ratios for the 1st crop of 216 clones was highly significant.

2) The relationship between dry matter digestibility and crude protein

The relationships between the dry matter digestibilities and crude protein contents (dry matter basis) for 24 plants and their polycross progenies were investigated. The crude protein contents for the 1st crop showed a large variability in both the 24 plants and their polycross progenies. The correlation coefficients between the dry matter digestibilities and the crude protein contents for the 1st crop in both the 24 plants and their polycross progenies were highly significant.

The relationship between the dry matter digestibilities and crude protein contents for 216 clones (fourteen samples of the 2nd crop were unanalysed) was investigated. The crude protein contents for the 1st and 2nd crops showed a large variability among 216 clones. The correlation coefficients between the dry matter digestibilities and the crude protein contents for the 1st and 2nd crops were highly significant.

3) The relationship between dry matter digestibility and the dry weight ratio

The relationship between the dry matter digestibilities and the dry weight ratios (percentage of dry weight to fresh weight in foliage) for 24 polycross progenies was

investigated for the 1st crop. The dry weight ratios for the 1st crop showed a large variability among 24 polycross progenies. The negative correlation coefficient between dry matter digestibility and the dry weight ratio for the 1st crop was highly significant.

The relationship between the dry matter digestibilities and the dry weight ratios for 230 clones was investigated for the 1st crop. The dry weight ratios for the 1st crop showed a large variability among 230 clones. The negative correlation coefficient between the dry matter digestibility and the dry weight ratio for the 1st crop was highly significant.

4) The relationships between dry matter digestibility and plant diseases

The relationships between the dry matter digestibilities and plant diseases for 50 varieties and 2 strains were investigated for the 1st, 2nd and 3rd crops. Purple spot susceptibilities of natural inoculation in the field for the 1st, 2nd, and 3rd crops showed a large variability among the 52 varieties and strains. The negative correlation coefficient between the dry matter digestibilities and the purple spot susceptibilities (rating scale=1: least to 5: most) for the 1st crop was highly significant, but those for the 2nd and 3rd crops were small.

The relationship between the dry matter digestibilities and the purple spot susceptibilities of greenhouse inoculation for 8 leaf blades of the 1st crop was investigated. The negative correlation coefficient between the dry matter digestibilities and the purple spot susceptibilities for 8 leaf blades was highly significant ($r = -0.873$; $p < 0.01$).

The brown stripe susceptibilities (rating scale=1:least to 5:most) of natural inoculation in the field for the 1st and 3rd crops showed a large variability among the 52 varieties and strains, but that for the 2nd crop was small. The negative correlation coefficient between the dry matter digestibilities and the brown stripe susceptibilities for the 1st crop was highly significant, but small. The correlation coefficients between them for the 2nd and 3rd crops were small and not significant.

Varieties and strains susceptible to plant diseases showed a low dry matter digestibility.

5) Relationships between dry matter digestibility and the other agronomic characteristics.

Characteristics of 50 varieties and 2 strains were investigated for plant height, date of heading, leaf color, no. of tillers, leaf width, growth habit, no. of panicles, culm thickness, and leaf blade weight. The negative correlation coefficients between dry matter digestibility and plant height, leaf width, and growth habit for the 1st crop, and no. of panicles for the 2nd crop were highly significant, but small. The correlation coefficients between the dry matter digestibility and date of heading and no. of tillers for the 1st crop were highly significant, but small, without date of heading.

6) The relationship between dry matter digestibility and dry matter yield

The relationship between the dry matter digestibilities and dry matter yields for 50 varieties and 2 strains was investigated for the 1st, 2nd, and 3rd crops. The negative

correlation coefficient between the dry matter digestibilities and the dry matter yields for 52 varieties and strains was highly significant for the 1st crop, but little relationships were found between them for the 2nd and 3rd crops.

The negative genetic correlation between the dry matter digestibilities and the dry matter yields for 52 varieties and strains was very high ($r_g = -0.809$) for the 1st crop. However, the negative genetic correlation between the dry matter digestibilities and the dry matter yields for 8 early maturing varieties and strains was low ($r_g = -0.282$), for the 1st crop.

The environmental correlation between the dry matter digestibilities and the dry matter yields for 52 varieties and strains was low for the 1st crop.

4. Selection for dry matter digestibility in timothy plants

1) The heritability estimates for dry matter digestibility

The dry matter digestibilities of 24 parents and their polycross progenies were estimated for the 1st crop. The mean dry matter digestibility for the 1st crop of 24 parents was 59.0%, that for the 1st crop of 24 polycross progenies was 55.8%. The range of dry matter digestibility in the parent was 15.4% and 9.2% in the polycross progeny. The dry matter digestibilities for the 1st crop showed significant variability in both the 24 parents and their polycross progenies.

The correlation coefficient between the dry matter digestibility of the parent and that of the polycross progeny was highly significant. The heritability estimates for dry matter digestibility derived from the parent-polycross progeny correlation was 0.891.

These results thus suggest that genetic variability in dry matter digestibility exists within timothy plants, and can be utilized by the breeder.

2) Difference of dry matter digestibility between the generations in multiplication of the cultivars

The difference of dry matter digestibility among the 2 generations in multiplication of the 2 cultivars was investigated for 2 years. A large difference of dry matter digestibility was found among them for the 1st crop of the 1st year in Nosappu timothy, and little differences were found among them for the other generation in all crops in Nosappu and Senpoku timothy. However, the differences among the 2 generations in multiplication of the 2 cultivars showed no significance for all of the crops.

3) Breeding for dry matter digestibility

High and low dry matter digestibility strains were bred by synthetic methods using 3 clones derived from 24 unselected early maturing clones. The differences of the dry matter digestibilities between the high and low synthetic strains was significant for all of the crops, but small. The differences of the dry matter yields between them were not of significance for all of the crops.

The high dry matter digestibility strain was bred by the synthetic method using 5

clones derived from 28 early maturing clones (selected in dry matter digestibility of the 1st crop). The difference of the dry matter digestibilities between the high synthetic strain and Nosappu (check cultivar) timothy was significant for the 1st crop of the 2nd year. Furthermore, the dry matter digestibility for the 1st crop of the 2nd year of the high synthetic strain was 3.6% higher than that of Nosappu timothy. The differences of the dry matter yields between them were not significant for all of the crops.

Selection for improved dry matter digestibility by the individual selection method was investigated. The mean dry matter digestibility of the plants in each selection cycle was increased by advancing the selection cycle.

4) Seedling selection for dry matter digestibility

Selection for dry matter digestibility at the young seedling stage was investigated. Dry matter digestibility showed a large variability among 44 seedlings, while those of their plants in the field showed a small variability for all of the crops. The correlation coefficients between the dry matter digestibilities of the seedlings in the greenhouse and those for each crop of their plants in the field were not significant, respectively.

5. Adaptability of timothy cultivars to environmental conditions

1) Effects of air temperature on dry matter digestibility

The effects of air-temperature on dry matter digestibility were examined using 5 cultivars. In all timothy cultivars studied, the dry matter digestibilities of the leaf blade and herbage were highest under the lowest air-temperature regime. The interaction between air-temperatures and cultivars in dry matter digestibility showed no significance.

2) Effects of soil moisture on dry matter digestibility

The effects of soil moisture on dry matter digestibility were examined using 5 cultivars. The mean dry matter digestibilities of the leaf blade and stem (with leaf sheath and head) for the 1st crop of all cultivars were highest under the lowest soil moisture regime (i. e. the lowest growth). Those of the 2nd crop were highest under the highest soil moisture regime. The interaction between soil moistures and the cultivars in dry matter digestibility showed significance for the 1st and 2nd crops.

3) Effects of light intensity on dry matter digestibility

The effects of solar radiation on dry matter digestibility were examined using 5 cultivars. In all of the timothy cultivars studied, the dry matter digestibilities of the leaf blade and stem (with leaf sheath and head) for the 1st crop were decreased by low solar radiation. The mean dry matter digestibility for the 2nd crop was lowest under the 45% of full solar radiation regime. The interaction between the levels of solar radiation and the cultivars in dry matter digestibility showed no significance for the 1st and 2nd crops.

4) Effects of nitrogen application and soil on dry matter digestibility

The effects of nitrogen application and soil on dry matter digestibility were examined using 5 cultivars.

In all of the timothy cultivars studied, the dry matter digestibilities of the leaf blade and stem (with leaf sheath and head) for the 1st and 2nd crops were increased by nitrogen application, and the interaction between the nitrogen application levels and the cultivars in dry matter digestibility showed significance for the 2nd crop.

The mean dry matter digestibilities of the leaf blade and stem for the 1st crop were highest under the Kunneppu soil regime, while those of the 2nd crop were lowest. The interaction between soils and cultivars in dry matter digestibility of the leaf blade showed significance for the 1st crop.

5) Effects of day length on dry matter digestibility

The effects of day length on dry matter digestibility were examined using 5 cultivars. In all of the timothy cultivars studied, the dry matter digestibilities of the leaf blade and stem (with leaf sheath and head) for the 1st crop were increased by long day length treatments. However, the interaction between two long day length treatments and the cultivars in dry matter digestibility for the 1st crop showed a highly significance.