

学位論文題名

Studies on effective breeding methodologies to improve
the nutritive value in timothy (*Phleum pratense* L.)

(チモシー (*Phleum pratense* L.) の栄養価改良に向けた効果的な
育種方法に関する研究)

学位論文内容の要旨

チモシー (*Phleum pratense* L.) は北海道内における草地面積の約80%を占める代表的な牧草である。家畜へ高栄養価の牧草を給与させることは家畜の生産性を向上させるとともに輸入濃厚飼料の削減にもつながる。自給粗飼料多給型の環境保全型農業の推進のためには、チモシーの栄養価を改良することは重要な育種目標である。効率的に育種を実施するには、当該形質の遺伝率、遺伝子型と環境や管理条件との交互作用の程度、他の農業形質との関係等の情報を把握する必要があるが、チモシーでは消化性形質を除いて栄養価形質の選抜に関する報告が少なく、サイレージ発酵品質に影響する水溶性炭水化物 (WSC) および日本で広く採用され、家畜の乾物摂取量を精度高く推定できる酵素分析分画による評価形質の選抜に関する報告はない。また、栄養価形質は、気象条件の異なる年次および場所間、異なる生育時期、刈取時刻および窒素施肥水準間で変動することが報告されている。他の飼料作物では、高栄養価を示す遺伝子型は環境ストレス耐性形質で劣るという負の相関関係がみられ同時改良する上での問題が指摘されており、チモシーでもその点を評価する必要がある。一方、農業形質から栄養価形質の間接評価が可能であれば、省労力なため数千点規模でのスクリーニングが可能となる。また、チモシー草地では年間に2回程度の収穫を行うが、1番草の選抜が2番草の改良につながれば、1回の検定で済むため効率的である。そこで、チモシーの栄養価形質を効果的に改良する育種方法を構築する目的で本研究を行った。最初に、利用で主体となる1番草について遺伝率、遺伝子型と年次、場所、生育時期、刈取時刻および窒素施肥水準との交互作用、他の農業形質との関係を調査した。次に、家畜の嗜好性が低いとされる2番草について遺伝子型と番草 (1番草と2番草) および年次との交互作用、遺伝率を調査した。栄養価の評価形質として、高消化性繊維、低消化性繊維 (Ob)、細胞壁物質 (OCW)、繊維消化性としてOb/OCWと酸性デタージェントリグニン/セルロース、WSCおよび粗蛋白質を遺伝解析に用いた。

1番草の遺伝率を推定するため、早生の親子集団を供試した。その結果、ObおよびWSC含量とOb/OCWの3形質は狭義の遺伝率が高いことから個体選抜による改良が有効であること、形質相互間および乾物重との遺伝相関は効率的な同時改良が可能である相関かもしくは弱い相関で、それら形質間および収量性との同時改良が可能であることが明らかになった。以下の試験からは、この3形質について解析を行った。

1番草の遺伝子型と年次および場所との交互作用の程度を評価するため、早生の集団を供試して、2年次および2場所（訓子府町と中標津町）においてそれぞれ検討した。分散分析および相関係数の検定の結果、3つの栄養価形質は、遺伝子型と年次および場所との交互作用は有意ではなく、年次および場所間において有意な相関が得られ、単一環境下での選抜が効果的であることが明らかになった。

1番草の遺伝子型と生育時期および刈取時刻との交互作用の程度を評価するため、早生の2集団を供試して、2つの生育時期（出穂始期と出穂揃期）および晴れと曇りの両日で2つの刈取時刻（朝と夕方）においてそれぞれ検討した。分散分析および相関係数の検定の結果、3形質は、遺伝子型と生育時期および刈取時刻との交互作用は有意ではなく、生育時期および刈取時刻間の相関係数は有意であった。このことから、それらの変動要因において相対的な遺伝子型の序列の変動程度が小さく、短時間内に収穫することで、どの出穂時期または刈取時刻でも効果的な選抜が可能であることが解明された。

中生の集団を供試して、各農業形質との遺伝相関係数の検定を、また各農業形質を独立変数として重回帰分析を実施した。その結果、ObとWSC含量に関して高栄養価を示す遺伝子型は越冬性にやや劣るといふ負の遺伝相関が認められ、実用的な品種を育成する上では各農業形質による1次選抜後、栄養価形質で2次選抜することが望ましいこと、また、重回帰分析では複数の農業形質を用いても約50%以下の寄与率であるため、各農業形質からの間接選抜は難しいことが示された。

1番草の遺伝子型と窒素施肥水準との交互作用の程度を評価するため、中生の集団を供試して、3つの窒素施肥水準（窒素3、7、11g/m²）間で検討した。分散分析および相関係数の検定の結果、3つの栄養価形質において、遺伝子型と窒素施肥水準との交互作用は有意ではなく、水準間で有意な相関が得られ、異なる窒素施肥水準における相対的な遺伝子型の序列は変動の程度が小さいことが明らかになった。

遺伝子型と番草および2番草における遺伝子型と年次との交互作用の程度を評価するため、中生の集団を供試して、2つの番草および2年次においてそれぞれ検討した。また、2番草の遺伝率を推定するため、中生の親子集団を供試して遺伝解析を実施した。分散分析および相関係数の検定の結果、WSC含量は年次間での遺伝子型の序列の変動程度が小さく、節間伸長茎割合の高い材料では番草間での変動程度も小さかったが、WSC含量を除く2形質は番草および年次間での変動程度が大きかった。遺伝解析の結果では、3形質とも狭義の遺伝率は中程度以上の値を示した。したがって、WSC含量は節間伸長茎割合の高い材料の場合では1番草からの選抜が2番草の改良にもつながり、他2形質の選抜は複数環境下における後代検定での評価が望ましいことが解明された。

以上、3つの栄養価形質を指標にして選抜することが栄養価の改良には効率的であり、栄養価評価の前に各農業形質で選抜後、1番草では3形質による個体選抜を適用すること、2番草では複数環境下における後代検定での選抜を適用すること、相加的遺伝分散を活用する循環選抜が有効であることが本研究から明らかとなり、チモシーの栄養価改良の効果的な育種手法を構築することができた。現在、本手法を用いて育種を展開中であり、WSC含量で1回の個体選抜を経た育成系統は、標準品種と比べ2番草のWSC含量と発酵品質の指標であるVスコアで有意に優れた。また、3形質で1回の栄養系選抜を経た後代集団は、平均において標準品種と比べ1、2番草のOb含量で1.8~2.2%低く、Ob/OCWで0.5~0.9%低く、WSC含量で1.0~1.4%高かった。これらも含めた様々な材料において、世代を繰り返す循環選抜により優良遺伝子を集積することで、更なる改良が見込まれている。今後、本研究で得られた効果的な育種手法により、栄養価に優れたチモシー優良品種が育成できる可能性が高まり、自給粗飼料を主体とした環境保全型農業の推進に貢献することが期待される。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 山 田 敏 彦
副 査 教 授 荒 木 肇
教 授 大 原 雅
准教授 星 野 洋一郎
教 授 貴 島 祐 治 (大学院農学研究院)

学位論文題名

Studies on effective breeding methodologies to improve the nutritive value in timothy (*Phleum pratense* L.)

(チモシー (*Phleum pratense* L.) の栄養価改良に向けた効果的な育種方法に関する研究)

チモシー (*Phleum pratense* L.) は北海道内草地面積の約 80% を占める代表的な牧草である。家畜への高栄養価な牧草給与は家畜の生産性向上とともに輸入濃厚飼料の削減にもつながり、チモシーの栄養価の改良は重要な育種目標である。効率的な育種には、当該形質の遺伝率、遺伝子型と環境や管理条件との交互作用の程度、他の農業形質との関係等の情報が必要であるが、チモシーでは消化性形質を除いて栄養価形質の選抜に関する報告は少なく、サイレージ発酵品質に影響する水溶性炭水化物 (WSC) および日本で広く採用され、家畜の乾物摂取量を精度高く推定できる酵素分析分画による評価形質の選抜に関する報告はない。そこで、チモシーの栄養価形質を効果的に改良する育種方法の構築を目的に本研究を行った。

1 番草における各種栄養価関連形質の遺伝率推定には、早生の親子集団を供試した。低消化性繊維 (Ob)、WSC 含量および Ob/細胞壁物質 (OCW) の 3 つの形質は狭義の遺伝率が高く、個体選抜による改良が有効なこと、形質相互間および乾物重との遺伝相関は効率的な同時改良が可能な相関かもしくは弱い相関で、3 形質間および収量性との同時改良が可能なことが明らかになった。以下の試験では、この 3 形質に関して遺伝解析を実施した。

1 番草における遺伝子型と年次および場所との交互作用の程度を評価するため、早生の集団を供試し、2 年次および 2 場所 (訓子府町と中標津町) で検討したところ、交互作用は有意ではなく、年次および場所間で有意な相関が得られ、単一環境下での選抜が効果的であることが明らかになった。

早生の 2 集団を供試し、1 番草における 2 つの生育時期 (出穂始期と出穂揃期) および晴れと曇りの両日で 2 つの刈取時刻 (朝と夕方) を比較した。遺伝子型と生育時期および刈取時刻との交互作用は有意ではなく、生育時期および刈取時刻間の相関係

数は有意であった。これらの変動要因において相対的な遺伝子型の序列の変動程度は小さく、短時間内の収穫であれば、どの出穂時期または刈取時刻でも効果的な選抜が可能ながことが解明された。

中生の集団を供試し、3形質と各農業形質との遺伝相関係数の検定を、また各農業形質を独立変数として重回帰分析を実施した。ObとWSC含量に関して高栄養価を示す遺伝子型は越冬性にやや劣るという負の遺伝相関が認められ、実用品種を育成する上では、各農業形質による1次選抜後、栄養価形質で2次選抜することが望ましいこと、また、重回帰分析では複数の農業形質を用いても約50%以下の寄与率であるため、各農業形質からの間接選抜は難しいことが示された。

1番草における遺伝子型と窒素施肥水準との交互作用の程度を評価するため、中生の集団を供試し、3つの窒素施肥水準間で検討した。遺伝子型と水準との交互作用は有意ではなく、水準間で有意な相関で、異なる水準における相対的な遺伝子型の序列は変動の程度が小さいことが明らかになった。

遺伝子型と1番草と2番草間および2番草における遺伝子型と年次との交互作用の程度を中生の集団を供試して評価した。また、2番草の遺伝率を推定するために、中生の親子集団を供試し遺伝解析を実施した。WSC含量は年次間での遺伝子型の序列の変動程度が小さく、節間伸長茎割合の高い材料では番草間での変動程度も小さかったが、WSC含量を除く2形質は番草および年次間での変動程度が大きかった。3形質とも狭義の遺伝率は中程度以上の値を示した。節間伸長茎割合の高い材料の場合では、WSC含量については1番草での選抜が2番草の改良にもつながり、他2形質の選抜は複数環境下での後代検定による評価が望ましいことが解明された。

以上、栄養価改良には3形質による選抜が効率的で、評価前に各農業形質で選抜後、1番草では3形質による個体選抜を適用すること、2番草では複数環境下で後代検定による選抜を適用すること、相加的遺伝分散を活用する循環選抜が有効であることが解明され、チモシー栄養価改良の効果的な育種手法を構築することができた。現在、本手法を用いた育種が展開中で、WSC含量で1回の個体選抜を経た育成系統では、標準品種に比べ2番草のWSC含量と発酵品質の指標であるVスコアは有意に優れた。また、3形質で1回の栄養系選抜を経た後代集団は、標準品種に比べ、1・2番草のOb含量で1.8~2.2%、Ob/OCWで0.5~0.9%、WSC含量で1.0~1.4%それぞれ改良することができた。

今後、本研究で構築した栄養価改良に向けた効果的な育種手法は、チモシー育種現場で活用され、高栄養価な新品種育成に貢献し、自給粗飼料を主体とした環境保全型農業の推進につながることを期待される。

よって、申請者は博士(環境科学)の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。