第1章　緒　　論

1. ペレニアルライグラスの一般的特性

本研究の対象作物となるペレニアルライグラス(別名:イングリッシュライグラス，学名:*Lolium perenne* L.，英名:perennial ryegrass，english ryegrass，和名:ホソムギ，以下PR)は，イチゴツナギ亜科(Subfamily *Pooideae*)，イチゴツナギ連(Tribe *Poeae*)ドクムギ属(Genus *Lolium*)に属する，多年生のイネ科草本植物であり，牧草や法面植物，緑化植物として利用されている(図 1-1)。寒地型牧草は概ねこのイチゴツナギ亜科に属し，同じイチゴツナギ連には寒地型牧草として有用なイタリアンライグラス(*Lolium multiflorum* Lam.，以下 IR)，オーチャードグラス(*Dactylis glomerata* L.，以下OG)，メドウフェスク，トールフェスクなどが存在する(Clayton・ Renvoize 1986)。なお，同様に寒地型牧草として有用なチモシー(*Phleum pratense* L.，以下TY)はレッドトップやリードカナリーグラスなどと同じカラスムギ連(Tribe *Aveneae*)に属し，スムーズブロムグラス(*Bromus inermis* Leyss.，以下SBG)はマウンテンブロームグラスなどと同じスズメノチャヒキ連(Tribe *Bromus*)に属する(表 1-1)。

属を同じくする IR とは，近縁であり形状も良く似ているが，表 1-2 に示すように出穂時の草高が低くて茎も葉も狭い点や展開前の葉身は中肋で折りたたまれている点，芒(のげ)がない点などで判別できる(吉山・藤本 1989；山田 1963)。また，PRはIRと自然状態でも容易に交雑することが知られ，よく中間型も見られる(三井ら 1968)。両者を交配させてPR，IR 両方の特性を併せ持ったものをハイブリッドライグラス(*Lolium hybridum*)と呼び，これは世界中で数多く育種されている(山田 1999)。

PR は本来二倍体(n=14)の植物であるが，倍数性育種により人為的に四倍体(n=28)の品種も数多く育成されている。概して四倍体品種は二倍体品種に比べると形態が大型化し，草丈は長く，葉幅は広く，葉色は濃緑色を呈し穂長は長く，小穂数も多く，粒重も重いことから，飼料用として優良な品種が多い。一方，法面緑化用や芝草用の品種の多くは二倍体品種である(山田 1999)。

他のイネ科牧草と比較して初期生育がよく，分げつ力も極めて高いため定着がすみやかである(吉山・藤本 1989)。出穂期の草丈は50-70cmほどで，高くても1m前後であり，IRより低い。成長した個体は分げつが多いことから叢状を示し，どちらかと言えば下繁草である。小穂は穂軸に相対し交互に単独につき，穂状花序を形成する。小穂は扁平で，1 小穂に約 10 の小花を着生する(上野 1987；川端 1979；山田 1963)。葉色は濃緑色で葉の表面に光沢がある。

PR の原産地は南ヨーロッパから西アジアが原産(吉山・藤本 1989)といわれるが，新石器時代の農耕者(移住者)によって西方へ持ち込まれたとされ(高崎・雑賀 1990)，ヨーロッパ，アジアの温帯および北アフリカに自生し，今日では世界中の温帯地域に分布する(山田 1999)。永年生イネ科牧草では最も栽培歴の古い草種であるとされ，17 世紀には英国で栽培が始まり(三井ら 1968)，現在ではヨーロッパ，特に冷涼温和な海洋性気候を持つオランダや英国では最も重

表 1-1 主要寒地型牧草の系統分類.

Subfamily(亜科)	Tribe (連)	Scienetific name (学名)	Grass and foragename (牧草および飼料作物名)
Pooideae (イチゴツナギ亜科)	*Poeae* (イチゴツナギ連)	***Lolium perenne* L.**	**Perennial ryegrass(ペレニアルライグラス，ホソムギ)**
		Lolium multiflorum Lam.	Italan ryegrass(イタリアンライグラス，ネズミムギ)
		***Dactylis glomerata* L..**	**Orchardgrass(オーチャードグラス，カモガヤ)**
		Poa pratensis L..	Kentucky bluegrass(ケンタッキーブルーグラス，ナガハグサ)
		Festuca arundinacea Schreb.	Tall fescue(トールフェスク，オニノウシノケグサ)
		Festuca pratensis Huds.	Meadow fescue(メドウフェスク，ヒロハノウシノケグサ)
	Aveneae (カラスムギ連)	***Phleum pratense* L..**	**Timothy(チモシー，オオアワガエリ)**
		Phalaris arundinacea L..	Reed canary grass(リードカナリーグラス，クサヨシ)
		Phalaris aquatica L..	Hardinggrass(ハーディンググラス)
		Agrositis gigantea Roth	Redtop(レッドトップ，コヌカグサ)
		Arrhenatherum elatius (L.)J. & K. Presl.	Tall oatgrass(トールオートグラス)
		Avena sativa L..	Oat(エンバク)
	Bromeae (スズメノチャヒキ連)	***Bromus inermis* Leyss.**	**Smooth bromegrass(スムーズブロムグラス，コスズメノチャヒキ)**
		Bromus catharticus Vahl.	Rescuegrass(レスキュグラス)
		Bromus marginatus Nees ex Steud.	Mountain brome(マウンテンブロム)
	Triticeae (コムギ連)	*Agropyron* spp.	Crested wheatgrass(クレステッドホイートグラス)
		Psathyrosachys juncea (Fisch.) Nevski	Russian wildrye(ロシアンワイルドライ)
		Secale cereale L.	Rye(ライムギ)
		Triticum aestivum L.	Wheat(コムギ)
		Hordeum vulgare L.	Barley(オオムギ)

1) Clayton WD・Renvoize SA(1989)の分類に基づく.

図 1-1 ペレニアルライグラス(左:写真, 右:図).
1)写真の品種は平成 20 年に北海道立上川農業試験場天北支場で育成された天北 5 号(品種名チニタ)(吉田・藤井 2008).

表 1-2 両ライグラスの形態上の区別.

草種	ペレニアルライグラス	イタリアンライグラス
全形	小型	大型
草丈	低い	高い
茎	やや扁平	円筒形
葉色	濃緑	淡緑
稚葉	折りたたまれる	巻かれている
基部	赤みを帯びる	青～黄色を帯びる
葉鞘頂部の葉耳	小さいか退化	明瞭
止葉の長さ	約 21cm	約 28cm
止葉の幅	狭い	広い
穂長	短い(約 26cm)	広い(約 33cm)
外花えいの芒	ほとんどなし	有り

1) 山田(1963)の分類に基づく.

要な多年生牧草の一つである(山田 1963)。さらにはその嗜好性と栄養価の高さから, アメリカ, オーストラリア, ニュージーランドなど, 広く世界の冷温帯諸国においても盛んに栽培されている。

環境適性についてみると, PR は温和でやや湿りの多い気象に適し, 冷涼で海洋性の気候を持つ地域で多く栽培されている(伊東 2000;山田 1963)。低温・短日条件下でも比較的生育がよく, 晩秋にも良く生育して生育期間が長い(早川・佐藤 1973)が, その反面耐暑性や耐寒性は高いとは言い難い(伊東 2000)。

また, 窒素施肥に対する反応も大きく, やや重粘な湿りのある肥沃土を最も好むが, 軽しょう土でも水と肥料を十分与えれば良く生育する(山田 1963;吉山・藤本 1989)。逆に土壌肥沃度の低い場所では, 他のイネ科植物が侵入しやすくなる傾向が大きい(Robson ら 1989)。なお, このような高い吸肥力と定着のすみやかさを活かして果樹園においてリンゴの下草にも用いられる(三木ら 2009)。

飼料としての品質はイネ科牧草の中でも最も高く評価され(山田 1963), 家畜の嗜好性や消化率, 耐蹄傷性も極めてよいとされる(山田 1999)。こうしたことから, 世界各地において牛や羊の飼料として, 乾草, サイレージ, 放牧のいずれにも利用されるが, 主として放牧地での利用に重点がおかれている(川端 1979)。

2. 天北地方の概説

本研究の対象となる天北地方は北海道最北部に位置し，かつての行政区画上の天塩国と北見国の北辺部を指していたが，現在では営農事情や気象・土壌・地形等の自然条件が類似する宗谷支庁全域と留萌・上川・網走支庁の北部のことを示す場合が多い（図 1-2）。中央部には日高山脈に発する山地が南北に連なっている。その南部は標高 1,000m 以上あるが，中部に向かって低まり，北端部では 100-200m の丘陵をなしている。東はオホーツク海，西は日本海に面し，さらに北は宗谷海峡をへてサハリンを望み，稚内西方に位置する利尻，礼文の離島も含む。

当地方の開拓は貞享 2 年（1685 年）に松前藩の直轄地として宗谷場所が設けられたことに始まり，沿岸部は交易や漁場として発展する一方で，バレイショや雑穀が栽培されていた（北海道宗谷支庁 2009）。一方，明治 20 年代に稚内に乳牛が導入されたことにより家畜の飼養が始まり，内陸部においても明治 31 年（1898 年）に農業を目的とした入植が始まった（奥村 1973）。それ以降当地方の農業は乳牛とバレイショの混合経営が昭和初期まで主体であり，稚内市勇知地区，歌登町などはバレイショの特産地として名声を博した時期もあった（奥村 1973）。

その後，昭和 28-31 年（1953-56 年）に頻発した冷害やでんぷん価格の暴落を契機に国や道の施策が酪農・畜産の振興に向けられ，昭和 31 年（1956 年）に天北地方の多くの地域が集約酪農地帯の指定を受け，特に昭和 36 年（1961 年）に制定された農業基本法において国が打ち出した農業構造政策により規模拡大が急速に進められ（北海道宗谷支庁 2009），畑酪混合農業あるいは有畜農業から，広大な草地資源を活かした酪農専業地帯へと転換し，昭和 30 年代後半から経営面積・乳牛の飼養頭数も飛躍的に拡大し（坂本 1984），現在では北海道東部の根釧地方（釧路および根室支庁管内）と並ぶ一大草地酪農地帯となっている。

近年では国際化が進む中，天北地方の酪農経営もいっそうのコスト削減や，良質乳生産の拡大が求められる。こうした中で自動給餌機や搾乳ロボット，哺乳ロボットなどの導入により，作業の省力化や生産性の向上を図る農家が増えている。また，酪農ヘルパー利用組合も多く活動し，一戸当たりの利用日数も年々増加傾向にある（北海道宗谷支庁 2009）。さらに，現在ではコントラクタと飼料調製供給機能を併せ持ち，TMR（Total Mix Ration）飼料を一箇所で集中的に製造して酪農家に供給する TMR センターの設立が活発になっており（北海道留萌支庁 2006；北海道宗谷支庁 2009；鈴木 2009），2009 年現在天北地方では既に 10 数箇所が稼働している。

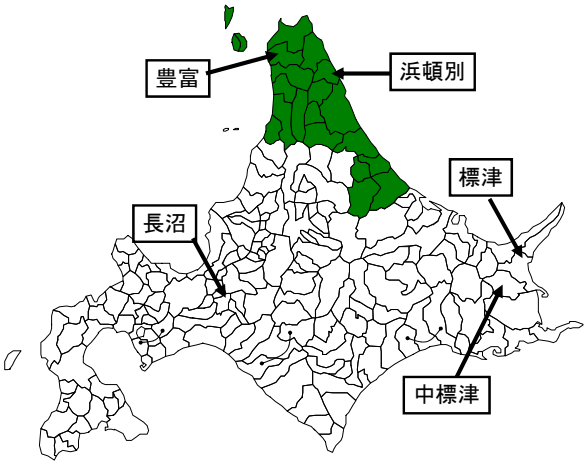

図1-2 北海道と天北地方
（塗りつぶされた部分が天北地方）.

天北地方の酪農の特色として，放牧の盛んな地域であることが挙げられる。放牧を実施している農家，放牧されている乳牛頭数の割合は全道平均や根釧地方と比較しても高く，一頭当たりの放牧地面積も多い（石田 2003）。酪農家の放牧に対する意識も高く，放牧に関する自主研究グループが活動を行っている（北海道宗谷支庁 2007）。

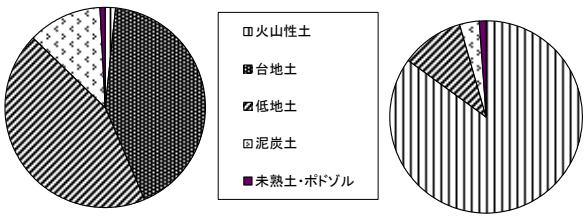

表 1-3 天北地方と根釧地方（釧路支庁+根室支庁）の全耕地の土壌構成（面積当たり）.
左：天北地方，　右：根釧地方

もう一つの天北地方の特徴として，土壌があげられる。我が国における草地酪農の代表的地域は，根釧地方，小岩井高原，那須高原，八ヶ岳山麓，蒜山高原，阿蘇，霧島山麓などが挙げられるが，これらはいずれも火山性土に属し（奥村 1973），例えば根釧地方は全耕地の 85%が火山性土である。これに対し天北地方は灰色台地土や褐色森林土を主体とする台地土が草地面積の 4 割強を占め，低地土も含めた鉱質土では全耕地の 86%を占める（図 1-3）。この土は全般に火山性土に比べ無機養分は多く含むものの，腐植含量が少なく細粒質で保水性および透水性に乏しいという特性を持っている（中辻ら 2008）。また，サロベツ原野や西側を中心に，排水性も保水性も悪く地耐力も低い泥炭土が多く

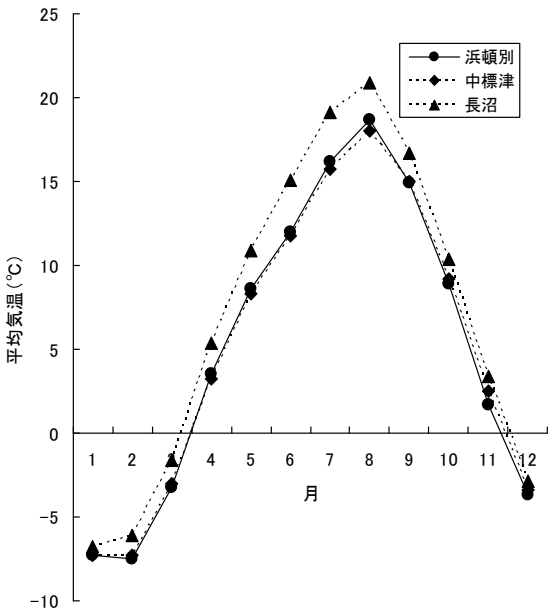

図1-4 浜頓別(天北地方)と中標津(根釧地方),
長沼(道央地方)の月別平均気温.
(アメダスデータ平年値より, 過去22年分)

分布し, 草地開発における大きな問題となっている(北海道宗谷支庁 2009;北海道留萌支庁 2006;北海道網走支庁 2008)。

気象について言えば, 天北地方は亜寒帯気候に属し, 北海道でも最も冷涼な気候であるが, 対馬暖流が宗谷岬を迂回して枝幸近辺にまで達するので高緯度の割には温暖である(図 1-4)。冬期の気温自体は低いものの, 根釧地方と異なり積雪量が多いため土壌凍結が起こらない。このため, 根釧地方に比べ栽培草種に要求される耐寒性や耐凍性は低いと言える。一方, 夏期は根釧地方に比べ降水量が少ない年の割合が多く, 5-9 月(牧草の主要生育期間)の降雨量は 430-500mm 程度で, 根釧地方の約 7 割と少ない(表 1-3)。また, 降水量と牧草蒸発散量との量的関係に基づいて定義した乾燥期間(岩間ら 1983)に該当する日数も全般に根釧地方より多く, 特に 5-8 月は乾燥しやすい傾向がある。さらに前述した重粘土を中心とした土壌も影響して, 2-4 年に一度の割合で干ばつが発生している。近い例では 2005 年に浜頓別では 6 月中旬以降ほぼ 40 日降雨が観測されず, 普及センターや農業試験場などの行政機関では対策を求められた。ただし気温について言えば夏期であっても 20 度前後と冷涼であり(図 1-4), 牧草生育期間の日照時間も根釧地方と比較して長いことから(表 1-3), 耐暑性が低い寒地型牧草の栽培には適していると考えられる。

3. 国内(特に天北地方)における PR 栽培の現況

PRは日本には明治初期に導入されたが, ヨーロッパに比べ気温の年較差が大きく, 特に夏期高温多湿な我が国の気候と耐暑性の低いPRは合わず, 本州では栽培適地となりうる場所が少ないことから, 普及は東北北部や高冷地にとどまった(高崎・雑賀1990)。またPRは北海道には明治10年札幌農学校にアメリカから導入されたと言われる(大原1995)が, その耐凍性の低さから東部の火山性土等を主とする土壌凍結地帯では不向きで, 栽培に適した範囲は中央部や北部の鉱質土壌等の非凍結地帯に限定される(裏ら 1995)。しかしながら, 北海道北部の天北地方は夏期冷涼であり, さらに冬期は多雪により土壌凍結が無いことから, 気象条件からみて国内では数少ないPRの栽培適地であるといえる。このような好条件もあり, PRの栽培面積は増加傾向にありその種子播種量から10,000ha程度と推定される(吉田ら 2009)。

なお, 日本での飼料としての利用はいずれの地域においても家畜の嗜好性や耐蹄傷性の高さから, マメ科牧草との混播草地における放牧利用が大部分(吉山・藤本 1989)であったが, 海外, 特にヨーロッパでは貯蔵粗飼料としての利用も多い。天北地方の酪農家においてもこれまで PR を放牧に利用してきたが, 近年はその適した気候下で生産される PR の生産量と栄養価の高さから, 採草用草種として利用する酪農家も多く存在し, 採草用草種としての栽培利用法に関する研究への要望も強い。また, 天北地方では牧草生産の低下する夏以降は草量の多い春から初夏よりも約 1.5 倍の放牧地を必要とする(石田ら 1995)。このため, 同じ草地で 1 年のうちに採草利用と放牧利用を行ういわゆる兼用利用草地を設け調整している酪農家が多く見られる。兼用利用草地の利用形式は農家の経営や規模により異なるが, 主な兼用利用法としては早春から初夏にかけて1番草を採草利用し, その後夏から秋は放牧地として利用するという形式があげられる。このような兼用草地においても, その優れ

表 1-3 天北地方と根釧地方の気象特性(アメダスデータ平年値より).

地点	天北地方		根釧地方	
	浜頓別	豊富	中標津	標津
5-9 月の積算降水量(mm)	492	431	658	630
5-9 月の積算日照時間(hrs)	690	716	632	639

1) 降水量は過去 22 年, 日照時間は過去 12-15 年の平均.

た放牧適性と採草利用時も含めた嗜好性，栄養価の高さからPRが用いられる場合が多い。このように，これまでの放牧専用地のみならず，採草専用地，兼用草地においても，PRの利用とニーズは拡大しつつあると言える。

4. 既往の研究

PRに関する研究はヨーロッパ，特にイギリスを中心に行われており，その需要の高さから牧草に関する研究の中でもとりわけ多くの研究者の研究対象となっている。例えば，北海道に比べて栽培適期が 2–3 ヶ月長いイギリスで，年間250kg/ha 以上の窒素多肥条件で実施された試験では，年間の乾物収量はhaあたり12,000-16,000kgでTYよりも乾物生産性が高いと報告されている（Harkessら1990；Steen 1992）。また，スコットランド（Douglas・ Crawford 1993）やアイルランド（Lovett ら 2004）では窒素施肥量と乾物消化率，飼料成分についての研究がされている。また，多くの栽培研究は現状に即してシロクローバ（*Trifolium repens* L.，以下 WC）との混播条件で行われる事例が多く，この組み合わせは草種構成の維持や収量の観点からみても混播相性が良いこと（Frame 1990；Newman・Rovira 1975）や混播によって飼料価値が上昇すること（Schilsら 1999）が報告されている。また，良好な飼料成分とサイレージ発酵適性の高さから，PR を原料草として調製したサイレージは，TY や OG よりも優れたサイレージが調製可能とされている（Wilson・Collins 1980）。また，栽培適性や嗜好性の向上を目的としてイギリス，オランダを中心として多くの国で PR の育種が実施されており，PR全体では約400品種，農業用品種は芝草との兼用も含めると約 250 品種が OECD に登録されている（大原 1995）。例を挙げるとイギリスでは S23，S24，S101 など，オランダではファントム，リベール，グリマルダなどであり，その他の国ではデンマークでトーブ，ニュージーランドでヤッチンワン，カナダでパシフィックなどが育成されている（山田 1999；三井ら 1968；山田 1963）。

日本国内でも，ペレニアルライグラスは多くの研究材料となっており，耐塩性（海野・山本 2004b）や耐凍性（山下・島本 1996），高温ストレス（Imadaら 1993）についての生理学的研究やアレロパシー（高橋ら 1992）や競合力（Sugiyama・Nakajima1995；山田・渋谷 1981），についての生態学的研究に加え，内生菌であるエンドファイトに関する研究（Saigaら2003）もされている。また，PRは早川・佐藤（1973）や Yayotaら（2000），西道ら（2002）など多くの放牧関連の研究の対象草地となっており，北海道を中心に PR を用いた放牧技術の開発が進められている。

天北地方は前述したように広大な草地面積を活かした草地酪農が展開されており，さらに気候から見て PR の数少ない栽培適地であることから導入が進んでおり，天北農業試験場（現上川農業試験場天北支場）を中心に PR の研究がなされている。例をあげると中村ら（1985）や下小路ら（1984）は越冬性や晩秋の管理法について検討し，石田ら（1995）は PR を用いた天北地方における集約放牧技術を提案し，また，石田（1993）は放牧地における PR の混播草種には WC が適するとしている。さらに前述した一つの草地を季節によって採草，放牧利用と使い分ける兼用利用法についても佐竹ら（1998）によって研究され，乾草としての適性を坂東ら（1998）が評価している。

また，こうした需要の拡大から天北農業試験場（現：上川農業試験場天北支場）では 1972 年から新品種開発のための試験を行っており，これまで晩生の放牧用品種「ポコロ」（佐藤ら 2002）と，中生の採草・放牧兼用草種「天北 5 号（品種名チニタ）」（吉田・藤井 2008）を育成している。なお，PR の育種は天北農業試験場の他，雪印種苗や山梨県酪農試験場で実施されており，雪印種苗ではフレンドが，山梨県酪農試験場ではキヨサト，ヤツボク，ヤツカゼなどが育成されている（山田 1999）。また，過去に北海道農業試験場で 1982-1999 年に PR 育種を行っていた（中村 2002）。

しかし，採草利用についての検討は PR の利用が盛んな地域でもこれまでほとんど行われておらず，さらに兼用利用についても佐竹ら（1998）の研究程度であり，PR の能力を活かすためにも採草利用，兼用利用も含めた総合的な PR の栽培利用法，施肥管理法の確立が求められている。

5. 本研究の目的

本研究の第一の目的は，最初に第2章において前項で述べてきた多くの長所を有する PR について，近年天北地方で拡大されている採草利用を中心に収量，飼料成分，（主に混播草地の場合）草種構成などから見た望ましい施肥管理について提案する。まず PR の施肥に対する反応が明確に出やすい単播採草地において，施肥配分と施肥量について検討する。ついで，北海道において混播相手として一般的に用いられるマメ科牧草である WC との混播草地における施肥量について検討する。さらに，先にも述べた1番草を適期に刈取って採草利用（天北地方では6月後半に該当）した後に，放牧地として利用する兼用利用という草地の利用法が天北地方では見られるが，この兼用利用時の適切な施肥量についても検討する。

第二の目的は，第3章で採草利用時の PR の飼料価値，生育特性，環境耐性（ここでは耐干性について取り上げる）について他草種との比較も加えつつ調査し，天北地方にお

ける有用性を明らかにする。最初に，天北地方で広く栽培されているイネ科牧草である OG と TY を比較として用いて，PR のその乾物生産性と採草用粗飼料としての価値について検討する。次いで，採草利用時には大変重要な項目となりうる WSC や単少糖などの糖含量とサイレージ発酵について焦点を当て，PR への窒素施肥量が及ぼす影響について，簡易サイレージなどを用いて，精密に解析する。また，PR で現れた収量や飼料成分，糖含量の窒素施肥に対する反応性を比較するために，比較対象としてTYを用いて草種による反応の違いを調査する。さらに，天北地方特有の問題である干ばつに対する適性を他草種との比較も交えつつ，ポット試験で調査する。

以上から，PR の採草利用時の草種特性と長所を活かした栽培管理や他草種も合わせた有効な草地管理法の確立により，飼料自給率の向上と酪農基盤の強化の一助とすることを目的とする。

第 2 章　ペレニアルライグラス草地の窒素施肥管理法

1. ペレニアルライグラス単播採草地の窒素施肥配分

採草利用での窒素施肥法を明らかにするため，収量，窒素利用率，*in vitro* 乾物消化率(IVDMD)，飼料成分等からみた望ましい窒素施肥配分を検討した。

1）材料と方法

供試草地と年間施肥量

供試品種は PR の晩生品種「フレンド」を用いた。1998 年 5 月に播種量 30kg/ha として，暗色表層酸性褐色森林土に分類される（北海道立中央農業試験場 1993）天北農業試験場圃場内の牧草地を，散播により更新した。この草地を更新後 2 年目から 3 年間，試験に用いた。供試土壌の化学性は常法（北海道立中央農業試験場 1992）により測定し，表 2-1-1 に示した。0-5cm 層の pH と可給態リン酸は北海道の土壌診断基準値内，交換性カリウムは同基準値をやや上回っていた。なお，PR の刈取管理は年 3 回刈りとした。この理由は，天北農試が行った別の試験で，PR を採草利用するときの年間の刈取回数は 3 回が適当と指摘されていることによる（岡元ら 2003）。1 番草は 6 月 14 日前後（出穂始から出穂期），2 番草（2000 と 2001 の平均刈取日は 8 月 3 日），3 番草（同じく 9 月 21 日）はそれぞれ再生期間を約 50 日おいて刈取った。

年間合計施肥量は，北海道施肥ガイドの年間 3 回刈り OG の台地土に準じた。すなわち，ha 当たりの年間乾物収量 8,000-10,000kg を想定し，ha 当たり窒素を 180kg，リン酸を 60kg，カリウムを 150kg とした。窒素肥料は尿素を，リン酸肥料は過リン酸石灰を，カリウム肥料は硫酸カリウムを施用した。2 年平均の施肥日は早春が 4 月 27 日，1 番草後が 6 月 15 日，2 番草が 8 月 4 日，3 番草後が 9 月 22 日であった。

施肥配分

施肥配分は年 3 回施肥の前期重点区（以下，前期と略），均等施肥区（均等），後期重点区（後期），秋代替施肥区（代替），および年 4 回施肥の一部秋施肥区（一部秋）の 5 処理と無施肥区を設けた。上記の年間施肥量での施肥配分処理は 1999 年春から開始し，各番草に対する具体的な窒素施肥配分量は表 2-1-2 に示した。早春と 3 番草後は 1 番草への施肥，1 番草後は 2 番草への施肥，2 番草後は 3 番草への施肥である。また，代替区は前期区の早春施肥量 90kg の全量を秋の 3 番草刈取り後に施肥した区，一部秋区は同じく 90kg を早春 60kg，秋 30kg に分施した区である。試験区は 1 区 6.25m²（2.5m ×2.5m）で，6 反復設けた。

なお，リン酸，カリウムの施肥配分は窒素に準じたが，本研究では収量に最も大きな影響を及ぼすと考えられる窒素を中心に解析した。

収量調査および調査項目

収量調査は 1 m² のコドラートを用いて行った。すなわち，生草重を測定し，そのうちの一定量を採取して PR とその他の草種に選別後，呼吸酵素を失活させるために Smith（1971）の方法に従い，ただちに 90℃で 1 時間乾燥した。次いで，70℃で 48 時間通風乾燥させ乾物率を

表 2-1-1. 供試草地の土壌化学性.

層位	pH (H_2O)	全窒素 (%)	培養窒素	可給態リン酸（ブレイ第二法）	交換性塩基（mg/100g 乾土）		
			(mg/100g 乾土)		K_2O	CaO	MgO
0-5cm	5.96	0.22	7.9	45.2	26.3	239	27.3
5-20cm	5.92	0.19	4.8	27.4	7.2	260	20.7

表 2-1-2. 処理区名と窒素施肥配分量(kg/ha)[1].

処理	略名	早春	1 番草後	2 番草後	3 番草後
前期重点	前期	90	60	30	0
均等施肥	均等	60	60	60	0
後期重点	後期	30	60	90	0
代替施肥	代替	0	60	30	90
一部秋施肥	一部秋	60	60	30	30

[1] 年間施肥量は ha 当たり 180kg.

表 2-1-3. 窒素施肥配分がペレニアルライグラスの乾物収量(kg/ha)に及ぼす影響.

処理[2]	2000 年 1 番草	2000 年 2 番草	2000 年 3 番草	2000 年 合計	2001 年 1 番草	2001 年 2 番草	2001 年 3 番草	2001 年 合計	2 ヵ年平均 1 番草	2 ヵ年平均 2 番草	2 ヵ年平均 3 番草	2 ヵ年平均 合計
前期	2380 a	3190 a	1830 bc	7400 a	3101 ab	3634 a	2070 c	8804 ab	2740 ab	3412 a	1950 c	8102 ab
均等	2550 a	3630 a	2550 b	8730 a	3010 b	3494 a	2946 b	9450 a	2780 ab	3562 a	2748 b	9090 a
後期	2130 a	3440 a	3030 a	8600 a	1839 c	3300 a	4192 a	9331 a	1984 c	3370 a	3611 a	8965 a
代替	2360 a	3010 a	2100 c	7470 a	2057 c	3681 a	1894 c	7632 b	2209 bc	3345 a	1997 c	7551 b
一部秋	2950 a	3350 a	2140 c	8440 a	4119 a	3542 a	1926 c	9587 a	3535 a	3446 a	2033 c	9014 a
無施肥	660 b	1082 b	973 d	2715 b	505 d	717 b	687 d	1909 c	583 d	900 b	830 d	2312 c

[1]同一列で同一文字を含む処理間に有意差(p＜0.05)なし.

[2]処理区名は表 2-1-2 と同じ.

表 2-1-4. 試験終了時の基底部被度(%)[1]

処理[2]	PR	その他草種	裸地
前期	70 ab	0	30 ab
均等	73 a	1	26 b
後期	67 ab	0	33 ab
代替	62 ab	0	38 ab
一部秋	56 b	2	43 a

[1]2001 年秋調査. 同一列で同一文字を含む処理間に有意差(p＜0.05)なし.

[2]処理区名は表 2-1-2 と同じ.

求め, ha 当たりの収量を乾物重で示した。なお, 草種構成割合は PR が 90%以上であったことから, 収量は PR のみで表示した。

永続性の指標として, 試験終了年の晩秋にコドラート(50cm×50cm, 3 反復)を用いて, 各処理区の基底部被度を調査した。各番草の収穫時には, 固定コドラート(50cm×50cm)内の PR の全茎数と有穂茎(出穂茎と穂孕茎)を計測し, 全茎数に対する有穂茎の割合を算出した。

また, 2001 年には, 各処理区の 0-5cm 土壌について, 常法によりアンモニウム態窒素および硝酸態窒素含有量を測定した。ブレムナー法により土壌を浸出し, 浸出液中のアンモニウム態窒素をインドフェノール青吸光光度法で, 硝酸態窒素(NO_3-N)を銅カドミウム還元ナフチルエチレンジアミン法(日高 1997)で分析した。両含量の合計を無機態窒素含有量とした。

牧草体の IVDMD と飼料成分

乾燥後粉砕した牧草体を供試して, IVDMD や飼料成分を分析した。窒素は硫酸と過酸化水素を用いて分解し

表 2-1-5. ペレニアルライグラスの茎数および一茎重[1].

処理[2]	茎数(本/㎡) 1 番草	茎数(本/㎡) 2 番草	茎数(本/㎡) 3 番草	一茎重(mg 乾物/本) 1 番草	一茎重(mg 乾物/本) 2 番草	一茎重(mg 乾物/本) 3 番草
前期	4434	4698	3627	62	76	56
均等	4627	4985	3915	60	75	72
後期	3755	4501	4097	54	83	89
代替	3637	4968	4338	61	68	49
一部秋	4331	4461	3613	82	82	60

[1]2000, 2001 年の平均値.

[2]処理区名は表 2-1-2 と同じ.

表 2-1-6. 窒素施肥配分がペレニアルライグラスの窒素吸収量(kg/ha)に及ぼす影響.

処理[2]	2000 年 1 番草	2000 年 2 番草	2000 年 3 番草	2000 年 合計	2001 年 1 番草	2001 年 2 番草	2001 年 3 番草	2001 年 合計	2 ヵ年平均 1 番草	2 ヵ年平均 2 番草	2 ヵ年平均 3 番草	2 ヵ年平均 合計
前期	42 a	58 ab	40 c	140 b	44 a	48 ab	35 c	127 a	43 ab	53 a	38 c	134 b
均等	42 a	68 a	56 b	166 a	39 a	44 b	59 b	142 a	40 ab	56 a	57 b	154 a
後期	29 b	65 ab	72 a	166 a	18 b	40 b	91 a	149 a	24 c	52 a	81 a	157 a
代替	38 ab	57 b	43 bc	138 b	20 b	51 a	35 c	106 b	29 b	54 a	39 c	122 b
一部秋	44 a	59 ab	45 bc	148 ab	43 a	46 ab	34 c	123 a	44 a	53 a	39 c	136 ab
無施肥	10 c	19 d	23 d	51 c	6 c	11 c	11 d	28 c	8 d	15 b	17 d	40 c

[1]同一列で同一文字を含む処理間に有意差(p＜0.05)なし.

[2]処理区名は表 2-1-6 と同じ.

表 2-1-7. ペレニアルライグラスの各番草における窒素利用率(%)[1].

処理[2]	1 番草	2 番草	3 番草	年間利用率
前期	39(9)[3]	63(6)	68(3)	52(18)
均等	54(6)	68(6)	67(6)	64(18)
後期	52(3)	62(6)	72(9)	66(18)
代替	23(9)	64(6)	73(3)	46(18)
一部秋	40(9)	62(6)	74(3)	53(18)

[1]2000 および 2001 年の分析値. 窒素利用率は以下の式により算出.
窒素利用率(%)＝(処理区の窒素吸収量-無施肥区の窒素吸収量)/窒素施肥量×100.
[2]処理区名は表 2-1-7 と同じ.
[3]( )内は当該番草への窒素施肥量(kg/10a).

表 2-1-8. 窒素施肥配分がペレニアルライグラスの in vitro 乾物消化率(%)に及ぼす影響[1].

処理[2]	1 番草	2 番草	3 番草	平均
前期	79.8 a	56.0 b	65.1 a	66.9
均等	79.3 a	63.5 a	69.1 a	70.6
後期	81.4 a	61.2 ab	64.4 a	69.0
代替	82.3 a	59.6 ab	65.2 a	69.0
一部秋	82.6 a	61.4 a	65.8 a	69.9

[1]2000 および 2001 年の平均値. 同一列で同一文字を含む処理間に有意差(p＜0.05)なし.
[2]処理区名は表 2-1-2 と同じ.

表 2-1-9. 窒素施肥配分がペレニアルライグラスの水溶性糖類(WSC)(%DM)に及ぼす影響.

処理	1 番草	2 番草	3 番草
前期	27.4	10.0	14.9
均等	29.1	10.7	12.6
後期	32.2	10.1	11.5
代替	32.1	10.7	11.6
一部秋	28.1	10.1	13.0

[1]2000 および 2001 年の平均値.
[2]処理区名は表 2-1-2 と同じ.

(水野・南 1980), フローインジェクション法(中島 1987)により定量した。粗蛋白質(CP)は窒素含量に6.25を乗じて求めた。

IVDMD は Tilley and Terry (1963)により, 水溶性糖類(WSC)はアンスロン法(大崎 1990)により, 2000 および 2001 年の 2 ヵ年分を分析した。中性デタージェント繊維(NDF), 酸性デタージェント繊維(ADF), NO_3-N, 粗灰分(CA), 粗脂肪(EE)は常法(藤田 2001)により 2000 年の試料についてのみ測定した。

2)結果

収量, 基底部被度および窒素利用率

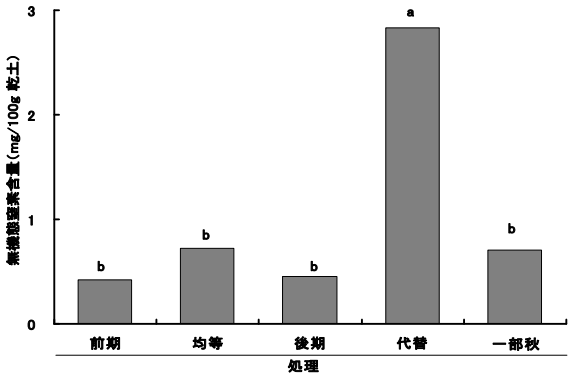

図 2-1-1. 土壌中無機態窒素含量.
2001 年早春の施肥前の 0-5cm 土層を採取. 同一文字を含む処理間に無機態窒素含量の有意差(p＜0.05)なし. 処理区名は表 2-1-2 と同じ.

1999 年の春から施肥配分処理を開始したため, 代替区と一部秋区では前年(1998 年)秋の施肥を行っていない。したがって, 表 2-1-3 には各処理区とも年間施肥量が同一である 2000 年と 2001 年の収量を示した。年間収量は 8,100-9,100kg/ha の範囲で, 均等≒一部秋≒後期≧前期≧代替の順であった。すなわち, 1 番草に対して 90kg もの多量の窒素を春または秋に一度に施肥した前期区と代替区がやや低い傾向であったが, その他の 3 処理区はほぼ同等であった。番草毎にみると, 1, 3 番草で

表 2-1-10. 窒素施肥配分がペレニアルライグラスの飼料成分(%)に及ぼす影響[1].

	中性デタージェント繊維(NDF)			酸性デタージェント繊維(ADF)			粗蛋白質(CP)		
処理[2]	1 番草	2 番草	3 番草	1 番草	2 番草	3 番草	1 番草	2 番草	3 番草
前期	42.2	61.4	53.2	24.7	38.6	30.9	11.0	11.4	13.7
均等	40.0	57.1	53.3	22.2	32.8	29.8	10.4	11.5	13.7
後期	38.6	58.2	52.8	20.3	36.4	32.1	8.6	11.9	14.8
代替	39.9	56.7	53.7	22.7	36.5	30.7	10.1	11.4	12.8
一部秋	42.0	57.0	54.5	22.9	33.8	32.4	9.4	11.3	13.0

	硝酸態窒素(NO_3-N)[3]			粗灰分(CA)			粗脂肪(EE)		
処理	1 番草	2 番草	3 番草	1 番草	2 番草	3 番草	1 番草	2 番草	3 番草
前期	−	−	−	8.1	7.8	9.3	2.0	1.7	2.0
均等	−	−	0.01	7.1	10.0	8.8	1.9	1.9	1.9
後期	−	−	0.01	7.6	9.3	9.5	1.5	1.9	1.9
代替	−	−	−	6.7	9.8	9.4	1.5	2.0	1.7
一部秋	−	−	−	7.6	9.3	9.0	1.4	1.7	2.1

[1]2000 年の分析値.
[2]処理区名は表 2-1-2 と同じ.
[3]−は検出限界以下.

は窒素配分量が 30kgと少ないと低収であった。窒素配分量が同一である 2 番草では各処理とも大差がなかった。なお，一般に 2001 年の収量は 2000 年と同等かそれ以上であったものの，両年とも処理区間の傾向は変わらなかった。これらの PR の収量水準は，当地方の採草利用の OG や TY と同程度かやや低かった。

永続性の目安として調査した試験終了時の基底部の PR 被度は，均等区が 73%と高かったものの，他処理との間で有意差が得られないことが多かった(表 2-1-4)。ただし，多収であった一部秋区は 56%で均等区より有意に低かった。裸地割合は基底被度と逆の傾向を示した。

茎数は 1m² 当たり 3,613-4,985 本，一茎重は 49-89mg の範囲で，各番草における処理間差は判然としなかった(表 2-1-5)。ただし，茎数は 1 番草の後期区と代替区，3 番草の前期区と一部秋区が 3,700 本前後と少なく，一茎重は 1 番草の後期区と 3 番草の代替区が約 50mg と小さかった。茎数と一茎重が劣っていたこれらの区の番草収量はいずれも低かった。また，有穂茎割合は 1 番草では代替区，前期区，一部秋区が 20%近くであり，均等区や後期区が 10%程度であった。2 番草では各区とも 0-10%の範囲であったが，その中では前期が約 10%と高かった。3 番草では有穂茎はほとんど観察されなかった。

窒素吸収量は年間で 120-160kg/ha で，年間および番草別の処理間差の傾向は収量と類似していた(表 2-1-6)。すなわち，2 ヶ年平均の年間窒素吸収量は代替区が最も少なく，収量が同等であった均等区，後期区，一部秋区の比較では，一部秋区が低かった。番草別では，一般に窒素配分量が高いと窒素吸収量も多かった。これらの傾向は，2000 と 2001 年とも同様であった。

2 ヶ年の平均窒素利用率は 3 番草(67-74%)＞2 番草(62-68%)＞1 番草(23-54%)の順で，年間では 46-66%であった(表 2-1-7)。番草別にみると，処理区の傾向は一定ではなかったが，1 番草に比べて 2 および 3 番草の変動幅は小さかった。1 番草の代替区は 23%と特に低かったのに対して，均等区と後期区は高く 50%を上回った。結局，1 番草の利用率が良好であった均等および後期の両区が，年間利用率も 63，65%と高かった。

一方，施肥前の早春における土壌の無機態窒素含量は，晩秋に窒素 90kg を施肥した代替区が最も高かった(図 2-1-1)。しかし，土層 0-5cm に含有される窒素量を ha 当たりに換算すると 14kg であり，晩秋に施肥した窒素の 20%にも満たなかった。

IVDMD と飼料成分

IVDMD も収量と同じ理由で 2000 年，2001 年の 2 ヶ年平均で表した。いずれの処理も全般に 1 番草が 80%前後と高く，次に 3 番草が 65%前後，夏期に収穫する 2 番草は 64%以下と低かった(表 2-1-8)。各区の年間平均は，67%と低かった前期区を除くと，いずれも 70%前後であった。番草別に各処理を比較すると，1 番草では処理間差が明らかでなかったが，年間収量の 7-8 割を占める 2・3 番草では均等区が最も高かった。また，2 番草の前期区は 56%と低かった。

WSC 含量は，全般に IVDMD と同様に，1 番草が

27-32%と高く，3 番草が 12-15%，2 番草では 10-11%と低かった（表 2-1-9）。窒素施肥量との関係で見ると，1 番草の WSC 含量は早春の窒素配分量の増加に伴い低下する傾向を示したものの，3 番草では判然としなかった。

NDF 含量は 38.6-61.4%，ADF 含量は 20.3-38.6%でいずれも 2 番草＞3 番草＞1 番草の順であった（表 2-1-10）。また，2 番草では両繊維含量とも前期区が高かった。なお，サイレージ適性を見る上で重要な WSC は IVDMD と正の強い相関（r＝0.95**），NDF・ADF は IVDMD と負の強い相関（いずれも r＝0.96**）が認められた。

CP 含量は 9.4-14.8%で 3 番草＞2 番草＞1 番草を示し，NO_3-N 含量は全ての番草及び処理区において 0.01%以下であった。これに対して CA と EE 含量は番草間や処理間で明確な傾向がみられなかった。

3）考察

年間平均収量は均等区≒一部秋区≒後期区≧前期区≧代替区の順であった。この原因について，窒素の吸収量と利用率を中心に考察する。

最も低収であった代替区の年間の平均窒素吸収量，利用率（表 2-1-6，2-1-7）は，各々約 120kg/ha，46%といずれも低く，これが低収の主因と考えられる。特に窒素を 90kg/ha 施用した 1 番草をみると，吸収量と利用率は同量の窒素を施用している前期区や一部秋区より著しく小さかった。このことは，施肥前の早春の土壌に残存している窒素量が施肥量の 20%以下しかなかったこと（図 2-1-1）も考慮すると，代替区において最終番草後に多量に施用された窒素が融雪水などにより流亡し，1 番草へ有効に利用されなかったものと理解される。

年間平均収量がやや低かった前期区の 1 番草収量は，90kg の窒素が施用されていたにもかかわらず，同 60kg の均等区並しか得られなかった。このことと窒素配分量の少なかった 3 番草の低収が，前期区の減収に大きく影響していたと考えられる（表 2-1-3）。両区の 1 番草収量が同等であった理由は前期区の 1 番草窒素利用率が多量の窒素が一度に施用されたためか低く，かつ窒素吸収量も均等区をやや上回るにすぎなかったことによると推察される。

さらに，年間平均収量が同等であった一部秋区，後期区，均等区を比較すると，一部秋区は 3 処理の中では年間の窒素吸収量，利用率とも劣っているが，IVDMD が高く良質な 1 番草の高収により年間収量が確保された。ただし，同区は施肥作業を 4 回行う点で営農条件としては極めて不利であることに留意する必要がある。このような 1 番草の高収は，窒素利用率が低いことからすると冬期間の窒素流亡が示唆されるものの，後述する秋施肥効果に起因すると考えられる。

後期区は，年間窒素利用率が高く，窒素流亡が少ないなど優れている側面はある。しかし，同区では収量が窒素配分量の多い 3 番草に偏り，逆に良質で採草利用としてのメリットの大きい 1 番草の収量が低いため問題である。なお，牧草中の NO_3-N は，乳牛の硝酸塩中毒の原因として重視されているが，Shiel ら（1999）は，収量を維持しつつ PR 生育後期の NO_3-N の上昇を避けるためには，同時期の窒素施肥を減らすことを提案している。しかし，本試験では，各区のいずれの番草とも NO_3-N は低く，後期区の 3 番草においても上昇は認められなかった。このことは，NO_3-N を抑えるための生育後期の減肥は必要ないことを示している。

これに対して，各番草に同量の窒素を配分した均等区は，生育期間を通して窒素の吸収が偏りなく効率的に行われ，年間の平均収量が約 9,100kg/ha，窒素吸収量が約 150kg/ha，窒素利用率が 64%といずれも良好であった。また，年間平均の IVDMD も約 71%で，やや低い前期区を除いた各区と大差がない。ただし，均等区の IVDMD は年間収量の 7-8 割を占める 2，3 番草では最大値が得られ，番草間のばらつきも小さかった（表 2-1-8）。すなわち，同区の牧草は量，質とも本試験で設定した処理の中では最も有利であることが指摘される。

一方，草地に対する最終番草後の施肥をここでは秋施肥とするが，北海道における秋施肥の翌年 1 番草収量に対する効果は，OG について近藤（1973）と坂本・奥村（1978）が，TY について松中（1987a）と木曽・菊池（1990）が報告している。それらによると，OG では早春の草勢や 1 番草収量に秋施肥の効果が認められる。しかし，1 番草収穫までの生育期間が長い TY は，早春の草勢は良いが，1 番草の収量まではその効果が持続しない。今回供試した PR では，早春施肥分の一部を前年度の秋に配分した一部秋区は，同じ量を 1 番草に対し春に全量施肥した前期区と比べると，1 番草の窒素吸収量や利用率に大差がないにもかかわらず，同収量が上回る傾向にあることから，秋施肥の効果は OG のように認められたと判断できる。これに対して，全量を秋施肥した代替区は，前述したように窒素の流亡があるため，1 番草の収量や窒素吸収量が低かった。すなわち，代替区のような全量の秋施肥は，早春施肥の代替的役割を完全に果たすわけではなかった。

また，本試験では経年的な収量低下が各区とも認めら

れなかったが，永続性の目安の一つとして調査したPRの基底部被度は，高収であった均等区が最も高かった。その理由の一つとして，各番草の高い窒素吸収量・利用率に起因して茎数・一茎重（表 2-1-5）も比較的良好に維持されたことが考えられる。これに対して，一部秋区のように裸地が多いと，雑草やケンタッキーブルーグラスなどのほふく型牧草の侵入を容易にし，PR 採草地の植生が悪化する恐れがある。したがって，基底部被度でも均等区が有利な配分であると推察される。なお，今回の施肥配分の試験は，OGに準じた年間窒素施肥量180kg/haで行った。先に述べたイギリスの Steen（1992）や Harkess ら（1990）の試験は年間 250kg/ha 以上の窒素多肥条件で実施されていることからも分かるように，窒素施肥量は気象条件等により変動するので，地域に合った適正な量を設定する必要がある。また，天北地方は夏期冷涼で，PRの生育に適しているので，適正な窒素施肥量は180kg/ha を上回ることが予想される。したがって，今後は高収量と高栄養価が得られる年間の窒素施肥量についても検討する必要がある。

以上から，北海道北部の天北地方において PR を年 3 回刈り，年間窒素施肥量 180kg/ha で採草利用するとき，最も望ましい窒素施肥配分は，収量，基底部被度，窒素利用率および IVDMD 等から総合的に判断すると，各番草へ窒素を60kg/haずつ均等に施用する早春:1番草刈取り後:2 番草刈取り後＝1:1:1 であると提案できる。このような条件で PR を採草利用すると，当地方において OG や TY 採草地に匹敵する乾物収量と栄養収量を得ることが可能であると考えられる。

4）摘要

天北地方の年 3 回刈り PR 草地を用いて，年間窒素施肥量 180 kg/ha を早春および各番草後に前期重点（90, 60, 30, 0 kg/ha），均等施肥（60, 60, 60, 0 kg/ha），後期重点（30, 60, 90, 0 kg/ha），秋代替施肥（0, 60, 30, 90 kg/ha），一部秋施肥（60, 60, 30, 30 kg/ha）と配分する区を設け，検討を行った。均等施肥は，年間乾物収量が約 910 kg/ha，基底部被度が 73%，年間窒素利用率が64%および年間IVDMDが約71%と良好な結果が得られた。その原因は年間を通し窒素の吸収が偏りなく効率的に行われたためと考えられる。

2. ペレニアルライグラス単播採草地の窒素施肥量

採草利用条件下での窒素施肥法を確立するため，収量，窒素利用率， IVDMD，飼料成分等からみた望ましい年間窒素施肥量を検討した。

1）材料と方法

供試草地と刈取管理

採草地はPRの晩生品種「ポコロ」を用い，2001年9月に播種量 30kg/ha で散播により更新した。圃場は暗色表層酸性褐色森林土に分類される（北海道立中央農業試験場 1993）天北農業試験場圃場内にあり，前歴は採草地であった。この採草地を更新後，2年目から3年間試験に用いた。常法（北海道立中央農業試験場 1992）により測定した供試土壌の化学性は表2-2-1に示されるようである。pH は北海道の土壌診断基準値内で，可給態リン酸，交換性塩基は同基準値をやや下回っていた。なお，風乾土 100g 当たりの熱水抽出性窒素は試験開始 1 年目が6.7mg，2年目および3年目がともに5.8mg であり，北海道施肥ガイド（木曽ら 2002）の「土壌診断に基づく施肥対応」によれば，ほぼ標準量を施用できる土壌であった。

PR の刈取管理は前項（第2章1）同様に年3回刈りとした。1番草（出穂始めに当たる6月中旬），2番草（7月下旬もしくは8月上旬）および3番草（9月中旬もしくは下旬）の間隔はそれぞれ約50日とし，3年間の刈取日は表2-2-2に示されるようであった。

施肥管理

施肥配分は前項（第2章1）の結果に基づき，早春，1番草刈取直後，2番草刈取直後にそれぞれ1/3ずつ施肥する年3回の均等施肥で行った。年間窒素施肥量はha当たり90，160，180，210，240kg 施肥した区と窒素を与えない無窒素区をそれぞれ9反復ずつ設けた。窒素肥料は尿素を用いた。

リン酸とカリウムの年間合計施肥量と施肥配分は，北海道施肥ガイドに示される年間3回刈りOGの台地土の基準値に準じた。すなわち，各区共通で それぞれ60および150kg/ha とし，早春，1番草刈取後，2番草刈取後にそれぞれ1/3ずつ施肥した。リン酸肥料は過リン酸石灰を，カリウム肥料は硫酸カリウムを用いた。

収量調査および調査項目

収量調査は1m²のコドラートを用いて高さ5cmで刈取った。すなわち，生草重を測定し，そのうちの一定量を採取して PR とその他の草種に選別後，呼吸酵素を失活させるために Smith（1971）の方法に従い，ただちに 90℃で1時間乾熱処理した。次いで，70℃で48時間通風乾燥させて乾物率を求め，ha 当たりの乾物収量を得た。各番草の収穫時には，草丈と固定コドラート（50cm×50cm）内のPRの茎数，一茎重（乾物重），出穂茎割合（2004年は非計測）を測定した。

乾燥・粉砕した牧草体を供試して，IVDMD や飼料成分を分析した。窒素以外の成分は2002と2003年の2年間分析した。窒素は湿式分解（水野・南 1980）し，フローインジェクション法（中島 1987）により定量した。CP は窒素含量に6.25を乗じて求めた。

IVDMD は Tilley・Terry（1963）の方法を基に，WSC は熱水で 10 分間抽出し，除蛋白した後アンスロン法（大崎 1990）によって定量した。NDF，ADF，CA および NO_3–N は常法（藤田 2001，宮崎 2001）により測定した。

また，NDF から以下の推定式（牧草・飼料作物栄養価問題検討委員会 1991）を用いて TDN を推定し，推定TDN収量を算出した。

推定TDN（%DM）＝100.8–0.72×NDF（%DM）

推定TDN収量（kg/ha）＝推定TDN（%DM）×乾物収量（kg/ha）

2）結果

気象

試験地の気象データは稚内地方気象台浜頓別地域気象観測地点（アメダス）から得た。2002および2003年は6月中旬から7月下旬まで平年に比べてそれぞれ2–5℃低

表 2-2-1. 供試草地の土壌化学性 [1].

pH（H_2O）	熱水抽出性窒素 [2]	可給態リン酸（ブレイ第二法）	交換性塩基		
			K_2O	CaO	MgO
5.6	6.7	15.0	7.0	135	9.5

[1] 層位は熱水抽出性窒素は 0–20cm，それ以外は 0–5cm．pH 以外は mg/100g 乾土．
[2] 105℃，60 分で抽出．

表 2-2-2. 供試草地の刈取日(月/日).

番草	2002 年	2003 年	2004 年
1	6/10	6/12	6/16
2	7/30	8/4	8/3
3	9/17	9/17	9/27

く，2004 年は 7 月下旬から 8 月上旬にかけて平年よりも 3℃近く高かった。降水量は 3 年とも年合計で見れば概ね平年並みであったが，2003 年は牧草生育期間である 5–10 月を中心に平年よりも少ない時期が多かった。

収量および窒素利用

PR の 3 ヵ年の平均乾物収量を表 2-2-3 に示した。試験 1 年目の 2002 年は 2003 および 2004 年と比べて年間合計収量が高かった。無窒素区と 90kg/ha 区以外はいずれも各年の年間合計乾物収量が 7,500kg/ha 以上で，3 年間で平均した年間合計乾物収量は 10,000kg/ha 以上となった。また，1 回の収穫量も無窒素区と 90kg/ha 区以外は，ほとんどの場合にロールベーラ作業を行う上で必要な草量とされる 2,000kg/ha を上回った。窒素施肥量の影響を見ると，窒素施肥量が増えると乾物収量は増加したが，210kg/ha 区と 240kg/ha 区の間に有意な差は見られなかった。年次別でみると，乾物収量の増加は更新 2 年目の 2002 年では 180kg/ha，2003 と 2004 年では 210kg/ha において頭打ちになった。

草丈は全体として窒素施肥量が増加するほど高くなる傾向を示した。とりわけ 90kg/ha 区は全ての年次の全番草において，他の区よりも低い値を示した。番草毎の傾向を見ると，90kg/ha 区を除くと 1 番草が 34–55cm，2 番草が 27–48cm，3 番草が 30–47cm であり，いずれの年も 1 番草が他の番草に比べてやや高かった。年次による差を見ると，2002 年が 2003 および 2004 年に比べてやや高い傾向を示した。出穂茎割合は 2002 年と 2003 年の差は小さく，1 番草は 10–36%，2 番草は 0–15%の範囲であり，3 番草では出穂は観測されなかった。1 番草，2 番草とも 90kg/ha 区と 240kg/ha 区が他に比べると出穂茎割合がやや高い傾向が見られた(図表省略)。

茎数密度は窒素施肥量間で 1m² 当たり約 4,100–8,800 本，一茎重は 17–111mg の範囲で，90kg/ha 区が小さい傾向を示したが，その他の区における処理間差は判然としなかった(表 2-2-4)。一茎重は 2002 年では 210kg/ha 区が最も重く，2003 および 2004 年では窒素施肥量が多い方が重くなる傾向を示した。

窒素吸収量は年によってかなり変動したものの，3 ヶ年平均の年間窒素吸収量を見ると，窒素施肥量が増えるとともに増加する傾向を示し，ほぼ施用した窒素と同量の窒素を吸収した(表 2-2-5)。年次による差を見ると，90 から 180 kg/ha 区では 2002 年が最も窒素吸収量が多く，その後減少した。他方，210 および 240kg/ha 区では 2003 年が最も窒素吸収量が高かった。

施肥された窒素が植物に吸収された割合を示す窒素利用率は窒素施肥量が増えるとともに増加する傾向を示した(表 2-2-6)。番草毎に見ると 160–210 kg/ha 区では，1 番草の利用率が他に比べるとやや低い傾向を示した。施肥した窒素 1kg 当たりの乾物増収量は 160–210kg/ha 区で高い値を示した。この傾向は 2 番草でより顕著に現れた。

IVDMD と飼料成分

IVDMD は全般に 1 番草が 80%前後と高く，2 および 3 番草でも 75%前後と比較的高い値を示した(表 2-2-7)。番草別に各処理を比較すると，1 および 3 番草では処理間差が有意でなかったが，夏期にあたる 2 番草では窒素

表 2-2-3. ペレニアルライグラスの乾物収量(kg/ha).

窒素施肥量	2002年				2003年			
(kg/ha)	1番草	2番草	3番草	合計	1番草	2番草	3番草	合計
90	4337 ab[1]	3000 b	2608 b	9945 b	2295 b	1848 b	1731 b	5874 b
160	4839 bc	4256 c	4315 c	13411 c	3063 bc	3252 c	3133 c	9448 c
180	5385 c	5280 d	4140 c	14805 d	3197 bc	3832 cd	3213 c	10242 c
210	5505 c	5195 d	4241 c	14941 d	3670 cd	4557 e	4200 d	12427 d
240	5709 c	4486 c	4630 c	14825 d	4473 d	4244 de	4689 d	13406 d
無窒素区	3340 ab	1680 a	1070 a	6090 a	1080 a	750 a	530 a	2360 a
窒素施肥量	2004年				3年間平均			
(kg/ha)	1番草	2番草	3番草	合計	1番草	2番草	3番草	合計
90	2835 b	937 b	970 b	4743 b	3156 b	1928 b	1770 b	6854 b
160	3597 c	2135 c	1782 c	7515 c	3833 c	3214 c	3080 c	10125 c
180	3647 c	2373 c	2194 cd	8214 c	4076 cd	3828 d	3180 c	11087 d
210	4300 d	2719 d	2480 d	9498 d	4491 de	4157 e	3640 d	12289 e
240	4145 cd	2736 d	2664 d	9545 d	4776 e	3822 d	3990 d	12592 e
無窒素区	1250 a	370 a	390 a	2010 a	1890 a	940 a	660 a	3490 a

[1]同一列内で同一文字を付した値の間に有意差(p＜0.05)なし.

表 2-2-4. ペレニアルライグラスの茎数密度と一茎重.

年	窒素施肥量 (kg/ha)	茎数密度(本/m²)			一茎重(mg)		
		1 番草	2 番草	3 番草	1 番草	2 番草	3番草
2002	90	6114	4864	4115	71	62	63
	160	5750	5552	4979	84	77	87
	180	6494	5912	5768	83	89	72
	210	4948	5205	4320	111	100	98
	240	6652	6283	4957	86	71	93
2003	90	4659	6912	4672	49	27	37
	160	5387	8776	5811	57	37	54
	180	5987	8579	6893	53	45	47
	210	5552	8840	6059	66	52	69
	240	6645	7912	5744	67	54	82
2004	90	5296	5605	5192	54	17	19
	160	4696	6275	5773	77	34	31
	180	5520	6627	6392	66	36	34
	210	5197	7984	6280	83	34	39
	240	5723	7475	5496	72	37	48

表 2-2-5. ペレニアルライグラスの窒素吸収量(kg/ha)

窒素施肥量	2002年				2003年			
(kg/ha)	1番草	2番草	3番草	合計	1番草	2番草	3番草	合計
90	44 b[1)]	41 b	35 b	120 b	29 b	31 b	31 b	91 b
160	60 c	66 c	73 de	199 c	43 bc	60 c	59 c	161 c
180	64 c	83 d	59 c	206 cd	49 c	76 d	64 c	189 c
210	69 c	82 d	68 cd	219 d	65 d	95 de	82 d	242 d
240	101 d	77 d	80 e	258 e	81 e	87 e	102 e	271 d
無窒素区	29 a	23 a	14 a	66 a	14 a	12 a	11 a	37 a
窒素施肥量	2004年				3年間平均			
(kg/ha)	1番草	2番草	3番草	合計	1番草	2番草	3番草	合計
90	31 b	20 b	24 b	74 b	35 b	31 b	30 b	95 b
160	50 c	43 c	43 c	135 c	51 c	56 c	58 c	165 c
180	54 cd	54 d	53 cd	161 d	55 c	71 d	59 c	185 d
210	59 d	65 e	60 de	184 e	65 d	80 e	70 d	215 e
240	69 e	63 e	71 e	203 f	84 e	76 de	84 e	244 f
無窒素区	13 a	8 a	11 a	32 a	19 a	14 a	12 a	45 a

[1]同一列内で同一文字を含む処理間に有意差（$p < 0.05$）なし.

表 2-2-6. ペレニアルライグラスの窒素利用率および単位施肥窒素当たりの乾物増収量 [1)].

窒素施肥量	窒素利用率(%)				単位施肥窒素当たりの乾物増収量(kg/kgN)			
(kg/ha)	1 番草	2 番草	3 番草	年間	1 番草	2 番草	3 番草	年間
90	52	55	60	56	42	33	37	37
160	60	79	87	75	36	43	45	41
180	61	95	78	78	36	48	42	42
210	65	95	83	81	37	46	43	42
240	81	77	90	83	36	36	42	38

[1)]2002–2004 年の平均値.

窒素利用率(%)＝(処理区の窒素吸収量–無窒素区の窒素吸収量)/窒素施肥量×100.

単位施肥窒素当たりの乾物増収量(kg/kgN)＝(処理区の乾物収量–無窒素区の乾物収量)/窒素施肥量.

表 2-2-7. ペレニアルライグラスの IVDMD および WSC[1].

窒素施肥量	IVDMD(%)			WSC(%DM)		
(kg/ha)	1 番草	2 番草	3 番草	1 番草	2 番草	3 番草
90	80.9 a[2]	77.2 a	73.6 a	31.1 a	22.2 a	21.9 a
160	80.5 a	77.2 a	74.4 a	28.4 a	20.4 ab	17.2 ab
180	78.9 a	76.3 ab	72.5 a	25.3 ab	17.7 abc	18.3 ab
210	81.0 a	75.1 ab	73.5 a	24.5 ab	15.3 bc	18.5 ab
240	80.0 a	72.2 b	72.6 a	23.1 c	13.6 c	15.7 c

[1]2002 および 2003 年の平均値.

[2]同一列内で同一文字を付した値の間に有意差(p＜0.05)なし.

表 2-2-8. ペレニアルライグラスの化学成分[1]. (%DM)

窒素施肥量	NDF			ADF			CP		
(kg/ha)	1 番草	2 番草	3 番草	1 番草	2 番草	3 番草	1 番草	2 番草	3 番草
90	43.5	51.0	49.9	20.9	28.2	27.5	7.2	9.5	9.8
160	45.3	52.0	52.3	23.1	28.3	28.2	8.2	10.6	11.1
180	47.7	53.4	59.6	24.5	28.1	28.6	8.4	11.1	10.7
210	48.6	56.5	60.7	24.7	29.0	29.6	9.5	11.4	11.1
240	49.6	57.4	60.9	25.4	30.3	29.5	11.2	11.8	12.2
窒素施肥量	CA			NO_3-N					
(kg/ha)	1 番草	2 番草	3 番草	1 番草	2 番草	3 番草			
90	6.1	8.0	9.3	—[2]	—	—			
160	6.3	8.5	8.9	0.01	—	—			
180	6.5	8.9	9.2	—	—	0.01			
210	6.9	9.0	9.4	—	0.01	—			
240	6.8	8.6	9.2	0.01	0.01	0.02			

[1]2002 および 2003 年の平均値.

[2]検出限界以下.

施肥量の増加に従い減少する傾向を示し, 240kg/ha 区は 90 および 160kg/ha 区に比べ 5%低い値を示した。

WSC 含量は IVDMD と同様に 1 番草で 23–31%と高く, 2 および 3 番草でもそれぞれ 14–22%, 16–22%と比較的高い値を示した(表 2-2-7)。窒素施肥量との関係で見ると, WSC 含量は窒素施肥量の増加にともなって減少する傾向を示した。この傾向は全ての番草で見られたが特に 2 番草で強く現れ, 2 番草において 240kg/ha 区は 90kg/ha 区に比べて 9%近く低い値を示した。

NDF 含量は 43.5–60.9%, ADF 含量は 20.9–30.3%でいずれも窒素施肥量の増加とともに増加する傾向を示した(表 2-2-8)。この傾向は全ての番草で見られた。番草間を比較すると 1 番草が 2 および 3 番の再生草に比べて低い傾向を示した。CP 含量は 7.2–12.2%で窒素施肥量の増加とともに増加する傾向を示したが, 3 番草ではその

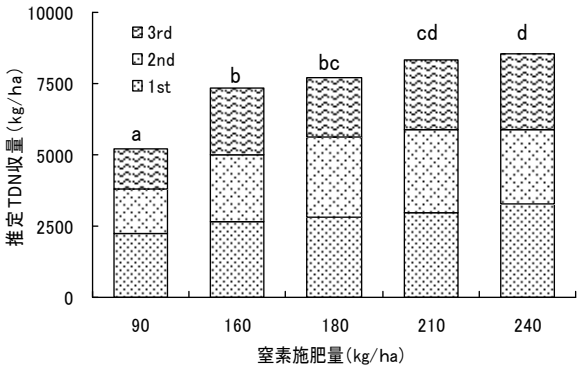

図 2-2-1. ペレニアルライグラスの推定 TDN 収量(番草別).

異なる文字を付した処理の年合計収量には有意義差(5%)がある.

傾向は判然としなかった。番草間を比較すると，1 番草が 2 および 3 番草の再生草に比べて低い傾向を示した。CA 含量は 6.1–9.4%で窒素施肥量の増加に伴って増加する傾向を示したがその差は小さく，3 番草ではその傾向は判然としなかった。番草間を比較すると，1 番草が 2 および 3 番草の再生草に比べて低く，再生草の間では 3 番草が 2 番草に比べ高い傾向を示した。NO_3–N 含量は全ての番草及び処理区において 0.02%以下であった。

推定 TDN 収量は乾物収量と同様の傾向を示し，窒素施肥量の増加とともに増加したが，210kg/ha 区と 240kg/ha 区の間に有意な差は見られなかった（図 2-2-1）。

3）考察

収量および窒素利用率

本試験を実施した道北の台地土では，草地の更新直後に土壌窒素の供給が旺盛になること報告されている（三木 1993）。試験 1 年目の 2002 年において土壌の熱水抽出性窒素が他の年と比べやや高かった理由は，2002 年が試験更新 2 年目に当たり，土壌由来の窒素の供給が旺盛な時期に該当したためと考えられる。また，2003 および 2004 年に比べ，2002 年の収量と草丈が高かった理由も土壌窒素の供給が多かったことが原因と推測される。2003 および 2004 年が 210kg/ha まで窒素施肥量の増加とともに収量が増加したのに対し，2002 年は 180kg/ha で頭打ちになった。また，一茎重も 2003 および 2004 年と 2002 年では傾向が異なり，2002 年は 210kg/ha 区が最大となった。これらの理由としては，2002 年には窒素の供給力が高かったことから，頭打ちとなる窒素施肥量が 2003 および 2004 年に比べて低かった可能性が強い。ただし，2003 年と 2004 年の土壌の窒素は大きな変化がないことから，2 年目以降は頭打ちとなる窒素施肥量は大きな変化はないものと推察される。

また，気候についてみると，2004 年は 2002 および 2003 年に比べ夏期の気温が高かったが，この夏期の高温が PR の生育に負の影響を与え，2004 年の特に 2 番草および 3 番草の乾物収量が他の年に比べて低くなったと推察される。

3 年間平均の乾物収量を見ると，210kg/ha までは窒素施肥量の増加とともに乾物収量が増加したが，210kg/ha 区と 240kg/ha 区の間には有意差がなく，特に 2 番草では 210kg/ha 区の方が多収となった。これに関連して，PR においては窒素施肥量を増してゆくと，非構造性炭水化物（NSC）が減少し，1 番草刈取後の茎数の回復が悪化し，2 番草以降の収量が低下するという報告があり（高崎ら 1985），このことから本試験でも同様の原因によると推察される。

3 年間平均の窒素吸収量および窒素利用率は施肥量の増加とともに増加した。これらの結果から PR は比較的吸肥力の強い草種であり，本試験で検討した 240kg/ha までの範囲では施肥窒素が PR に吸収されずに土壌に残留し，環境に負荷を与える可能性は少ないと考えられる。他方，単位施肥窒素当たりの乾物増収量は 160–210kg/ha で高い値を示し，乾物生産の点から見ると 240kg/ha は 160–210kg/ha に比べて効率的ではないと考えられた。

以上の結果から，PR 単播草地における収量性や窒素利用からみた窒素施肥量は ha 当たり 210kg が望ましいと考えられた。

IVDMD と飼料成分

窒素施肥量の増加とともに WSC と 2 番草の IVDMD は低下し，CP，NDF，ADF は増加した。スコットランド（Douglas・ Crawford 1993）やアイルランド（Lovett ら 2004）で行われた試験ではいずれも窒素施肥量の増加とともに乾物消化率や WSC が減少し，ADF，CP，CA が増加したと報告されている。今回の結果も概ねこの結果と一致する。しかし，今回の試験ではいずれの処理・番草でも IVDMD は 70%以上，NDF 含量は 65%以下，ADF 含量は概ね 30%以下と良好な値を示した。PR はもともと OG や TY に比べて栄養価の高い牧草であり（増子ら 1994a；岡元ら 2003），最も栄養価が低い傾向を示した 240kg/ha 区においても，他草種よりも良好な値であった。

採草利用を行う農家の多くはサイレージ利用を行っていることから，採草利用を考える上で WSC 含量はサイレージ発酵品質に影響を与える重要な要素であり，乾物中 10%以上必要であると指摘されている（増子 1999）。また，WSC 含量の高い牧草を給餌した泌乳後期の乳牛は，乳生産量が増加すると報告されている（Miller ら 2001）。今回の試験においてはいずれの処理・番草とも WSC が乾物中 10%を下回るものは見られなかった。これは PR が窒素施肥量によらず比較的 WSC の高い草種であることを示している。

しかし，2000 および 2001 年に行った過去の試験においては 2 番草において IVDMD が 60%以下，WSC 含量が 10%近くまで低下する場合もあった（第 2 章 1 項）。これは 2000 年が平年に比べ夏期の気温が高い年であったのに対し，本試験では 2002 および 2003 年とも平年に比

べ夏期冷涼な年であったため，このような飼料成分の差を生み出したと推察される。2000 年のような夏期高温な年に本試験を実施した場合，IVDMD や WSC 含量は今回の結果よりも低下することも考えられるため，今後の検討を要する。

なお，牧草中の NO_3–N は，乳牛の硝酸塩中毒の原因として重視されており，イギリスでは PR において過剰な窒素施肥によって上昇すると報告されている（Shiel ら 1999）。しかし，本試験では，いずれの番草とも NO_3–N 含量は低く，240kg/ha においても 0.01%以下であったことから，今回実施した範囲においては，実用上問題ないと考えられた。

石栗（1981）は，PR が OG に比べて温度による飼料成分の変化が大きい草種であると報告している。今回の試験は夏期の平年気温が 20 度以下と冷涼で，年による変動が大きい天北地域で行われたものであることから，夏期の気温が高い地域や年においては栄養価が今回得られた値より低下することが予測される。

結論

北海道北部の天北地方の台地土において PR を年 3 回刈りで採草利用する場合，望ましい年間窒素施肥量は，収量，窒素利用および IVDMD，飼料成分等から総合的に判断すると， 210kg/ha と考えられた。このような条件で PR を採草利用すると，天北地方においては OG や TY を上回る栄養価と，それらの草地に匹敵する乾物収量を得ることが可能と考えられる。

4）摘要

天北地方の年 3 回刈り PR 単播草地における，適正な年間窒素施肥量を窒素処理 5 段階（90，160，180，210，240kg/ha）を設けた圃場試験により検討した。乾物収量は窒素施肥量が増加するに従って増加したが，210kg 区と 240kg 区の間に有意差は認められなかった。窒素利用率は窒素施肥量の増加とともに上昇し，単位施肥窒素当たりの乾物増収量は 160–210kg で最大となった。IVDMD と WSC は窒素施肥量の増加により減少し，繊維と CP は増加した。これらの結果から年間窒素施肥量は ha 当たり 210kg が望ましいと考えられた。

3．ペレニアルライグラス・シロクローバ混播採草地の窒素施肥量

天北地方において栽培面積の増加が期待されるPRとWC の混播草地について，採草利用のための適正な窒素施肥量を明らかにするため，収量，窒素肥効，マメ科率，IVDMD，および飼料成分等から検討した。

1）材料と方法

供試草地と刈取管理

供試品種は PR には晩生の「ポコロ」（佐藤ら 2002）を，WCにはラジノ型「カリフォルニアラジノ」を用いた。播種量はha当たりPRが30kg，WCが5kgで，2001年9月に，暗色表層酸性褐色森林土に分類される（北海道立中央農業試験場 1993）天北農業試験場圃場内に播種した。この草地を播種後 2 年目から 3 年間，試験に用いた。供試土壌の化学性は常法（北海道立中央農業試験場 1992）により測定し，表 2-3-1 に示した。pH，可給態リン酸は北海道の土壌診断基準値（木曽ら 2002）内で，交換性塩基は同基準値をやや下回るものもあった。なお，風乾土100g当たりの熱水抽出性窒素は試験開始1年目が 6.7mg，2 年目が 5.7mg，3 年目が 5.9mg であり，三木・高尾（1984）の知見を基にした北海道施肥ガイド（木曽ら 2002）の「土壌診断に基づく施肥対応」によれば，ほぼ施肥標準量の窒素を施用できる土壌であった。PR の刈取管理は既報（岡元ら 2003）に準じ，年 3 回刈りとした。1 番草は出穂始めに当たる 6 月中旬，2 番草（7 月下旬または8月上旬），3番草（9月中旬または下旬）はそれぞれ再生期間を約 50 日おいて刈取高 5cm で刈取った。3 年間の刈取月日は表 2-3-2 に示されるようであった。

施肥管理

施肥配分は前項（第 2 章 1）の単播草地における結果に基づき，早春，1 番草刈取直後，2 番草刈取直後にそれぞれ 1/3 ずつ施肥する年 3 回の均等施肥とした。年間窒素施肥量は天北地方で採草利用される代表的な OG および TY の混播草地に対する窒素施肥量がマメ科率に応じてha当たり40–100kgで設定されていることとPR単播草地の窒素施肥量が TY 単播草地より多いことを考慮し，ha当たり60，90，120kgとした。これらに加え，窒素を施肥しない無窒素区も設けた。肥料は尿素を用いた。

リン酸とカリウムの年間合計施肥量と施肥配分は，北海道施肥ガイド（木曽ら 2002）に記載の慣行の年間 3 回刈りOGの台地土における量と配分に準じた。すなわち，各区共通で それぞれ60および150kg/haとし，早春，1番草刈取後，2番草刈取後にそれぞれ1/3ずつ施用した。リン酸肥料は過リン酸石灰を，カリウム肥料は硫酸カリウムを用いた。

調査項目および方法

収量調査は前報（第 2 章 2）に準じて行った。いずれの試験処理区でも PR と WC の合計草種構成割合が 95%以上であったことから，収量はPRとWCの合計のみで表示した。

乾燥後粉砕した牧草体を供試して，IVDMD や飼料成分を分析した。窒素以外の飼料成分は 2002 および 2003 年の 2 年分について分析したが，2002 年の WC については十分なサンプル量を確保できなかったものが一部あり， それらについては 2003 年単年の値を表示した。全窒素は硫酸と過酸化水素を用いて分解（水野・南 1980）した後，フローインジェクション法（中島 1987）により定量した。CP は全窒素含量に6.25を乗じて求めた。IVDMD は Tilley・Terry （1963）により，WSC はアンスロン法（大崎 1990）により，NDF，ADF は藤田（2001）の方法により測定した。

隣接圃場において，同時期に同じ刈取り条件で行われた PR 単播の栽培試験（第 2 章 2）の結果を用いて，0 および 90kg/ha 区において WC から PR へ移譲された窒素量を推定した。推定には混播条件のイネ科牧草の窒素吸収量から単播条件のイネ科牧草の窒素吸収量を差引いて窒素移譲量を求める差引法（Simpson 1976）を用いた。

試験地点の気象

気象データは稚内地方気象台浜頓別地域気象観測地

表 2-3-1. 供試草地の土壌化学性 [1].

pH（H_2O）	熱水抽出性窒素	可給態リン酸（ブレイ第二法）（mg/100g 乾土）	交換性塩基（mg/100g 乾土）		
			K_2O	CaO	MgO
5.7	6.7	23.9	14.0	194	19.2

[1]層位は熱水抽出性窒素が 0-20cm，それ以外では 0-5cm.

表 2-3-2. 供試草地の刈取日(月/日).

番草	2002 年	2003 年	2004 年
1	6/10	6/12	6/16
2	7/30	8/ 4	8/ 3
3	9/17	9/17	9/27

点(アメダス)から得た。2002 および 2003 年の平均気温は 6 月中旬から 7 月下旬まで平年に比べてそれぞれ 2–5℃低く, 2004 年は 7 月下旬から 8 月上旬にかけて平年よりも 3℃近く高かった。降水量は年合計で見れば 3 年とも概ね平年並みであったが, 2002 年については 5 月前半から 6 月前半は降雨がほとんどなく, 2003 年も牧草生育期間の 5–10 月は平年よりも少なかった。

3)結果

収量とマメ科率, 単位施肥窒素当たりの乾物増収量

3 ヵ年の乾物収量を図 2-3-1 に示した。草種別の乾物収量は試験 1 年目の 2002 年が 2003 および 2004 年に比べていずれの処理区でも PR の収量が多く, WC の収量は少なかった。年間乾物収量は 2004 年の無窒素区以外いずれも 7,000kg/ha 以上で, また, 各番草の収穫量も無窒素区以外は概ね 2,000kg/ha を上回った。窒素施肥量の影響を見ると, 施肥量が増えるとPRの乾物収量が増加する一方で, WCの乾物収量は減少した。この傾向は3ヵ年を通して見られたが, 窒素施肥による WC 減少割合は WC 収量が比較的高かった 2003 年で特に明らかであった。年次別に乾物総収量を見ると, 2002 年と 2004 年は窒素施肥量が増えるとともに増加したが, 2003年は窒素施肥量の影響は見られなかった。

マメ科率(新鮮重)は年次による差が大きく, 2002 年では1番草が低く, 他の番草でも10%以下の処理区が多かった。2003, 2004 年ではそれぞれ 9–57%, 5–35%であった。窒素施肥量の影響を見ると, いずれの年も施肥量が増えるとともにマメ科率が低下し, 特に120kg/ha 区の3番草はいずれの年も 10%を下回った(表 2-3-3)。

窒素吸収量についてみると, いずれの年でも, 窒素施肥量が増えるとともに PR の窒素吸収量は増加し, WC の窒素吸収量は減少する傾向を示した(図 2-3-2)。PR と WC を合わせた窒素吸収量の年次による差を見ると, 2002 年は窒素施肥量が増えるとともに増加したが, 2003 年は逆に窒素施肥量が増えるとともに減少し, 2004 年は 60 および 90kg/ha 区が他の区に比べてやや高い傾向を示した。単位施肥窒素当たりの乾物増収量(2002–2004 年の平均値)は, 番草別では 2 番草以外で 90kg/ha 区が最も高く, 年間においても 90kg/ha 区が最も高かった(表 2-3-4)。

推定窒素移譲量を図 2-3-3 に示した。2002 年はマメ科率が低かったため年間 20kg/ha 台であったが, 2003 および 2004 年は 40–70kg/ha の範囲であった。0 , 90kg/ha 区の各年の窒素移譲量はそれぞれ年間 22–70, 27–52kg/ha の範囲で, 0 kg/ha 区と 90kg/ha 区を比較すると 2002 年は概ね同等であったが, 2003 および 2004 年では 0 kg/ha 区の方が多かった。

IVDMD と飼料成分

PR と WC の IVDMD と各飼料成分を表 2-3-5 に示した。IVDMD は PR では全般に 1 番草が 77–79%と高く, 再生草である 2, 3 番草でも 70–76%と比較的高い値を示した。一方, WC は 1 番草と 3 番草は 75–78%と高かったが, 2 番草は 64–69%と他の番草に比べ低かった。番草別に各窒素施肥処理区を比較すると, 1, 3 番草では処理区間差が明らかでなかったが, 夏期にあたる 2 番草では PR, WC とも窒素施肥量の増加にともないやや高まる傾向を示した。

WSC 含量は, PR では 1 番草が 24–28%と高く, 再生草である 2, 3 番草でも 12–24%であり, 比較的高い値を維持した。一方, WC は 1 番草では 12–20%とやや高かったが, 2 番草で 5–8%程度に低下し, 3 番草では 10–12%の値を示した。窒素施肥量との関係で見ると, PR の 2 番草と 3 番草, および WC の 1 番草は窒素施肥量の増加にともない WSC 含量が高くなる傾向を示した。

NDF 含量は PR では 1 番草が 46–47%と低く, 2 番草は 52–57%と他の番草に比べ高く, 3 番草は 50–52%とやや低かった。WC では 1 番草が 25–26%, 2 番草が 37–42%, 3 番草が 29–32%で, 番草間の傾向は PR と同様であった。年間を通して WC は PR よりも NDF 含量が 15–20 ポイント程度低かった。ADF 含量は PR では 1 番草が他の番草に比べ低く 24–25%で, 2 番草が 28–32%, 3番草が28–30%であった。WC では1番草が最も低く 19–21%, 2 番草が 32–35%と他の番草に比べ高く, 3 番草が 22–24%であった。WC は PR よりも NDF 含量ではすべての番草で 15–20 ポイント, ADF 含量では 2 番草以外でそれぞれ低かった。窒素施肥量との関係を見ると, 2 番草において PR では NDF 含量, ADF 含量が, WC では NDF 含量が, 窒素施肥量の増加にともないそれぞれ減少する傾向を示した。

CP 含量は PR, WC 両草種において窒素施肥量による影響が判然とせず一定の傾向がみられなかった。番草

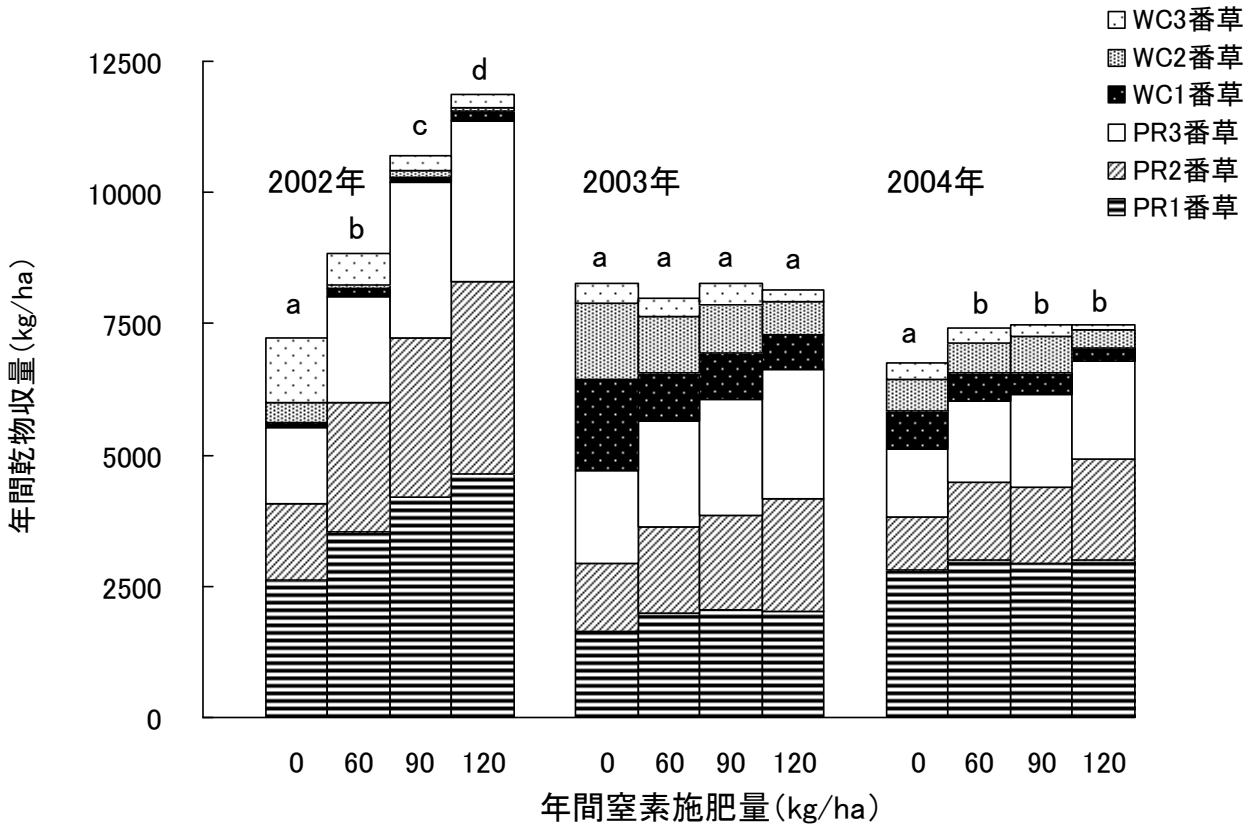

図 2-3-1. ペレニアルライグラス（PR）とシロクローバ（WC）の年間乾物収量.

各年において同一文字を付した年間合計乾物収量に有意差(p＜0.05)なし.

表 2-3-3. 混播草地のマメ科率（新鮮重%）.

窒素施肥量	2002 年			2003 年		
(kg/ha)	1 番草	2 番草	3 番草	1 番草	2 番草	3 番草
0	5	28	46	57	51	20
60	5	5	24	39	43	17
90	3	7	9	40	35	16
120	5	2	7	30	26	9
窒素施肥量	2004 年			平均		
(kg/ha)	1 番草	2 番草	3 番草	1 番草	2 番草	3 番草
0	24	35	21	29	38	29
60	18	25	17	20	24	19
90	15	29	13	19	24	13
120	10	14	5	15	14	7

間を比較すると，PR では 1 番草が 2，3 番草の再生草に比べて低い傾向を示し，WC では 3 番草が他の番草に比べ高い傾向を示した。全番草において WC の CP 含量は PR の概ね 2 倍程度であった。

3）考察

乾物収量の年次間差を見ると， 2002 年は 2003，2004 年に比べ PR の収量が高い一方で，WC の乾物収量は低く，マメ科率も低い値となった。この原因としては更

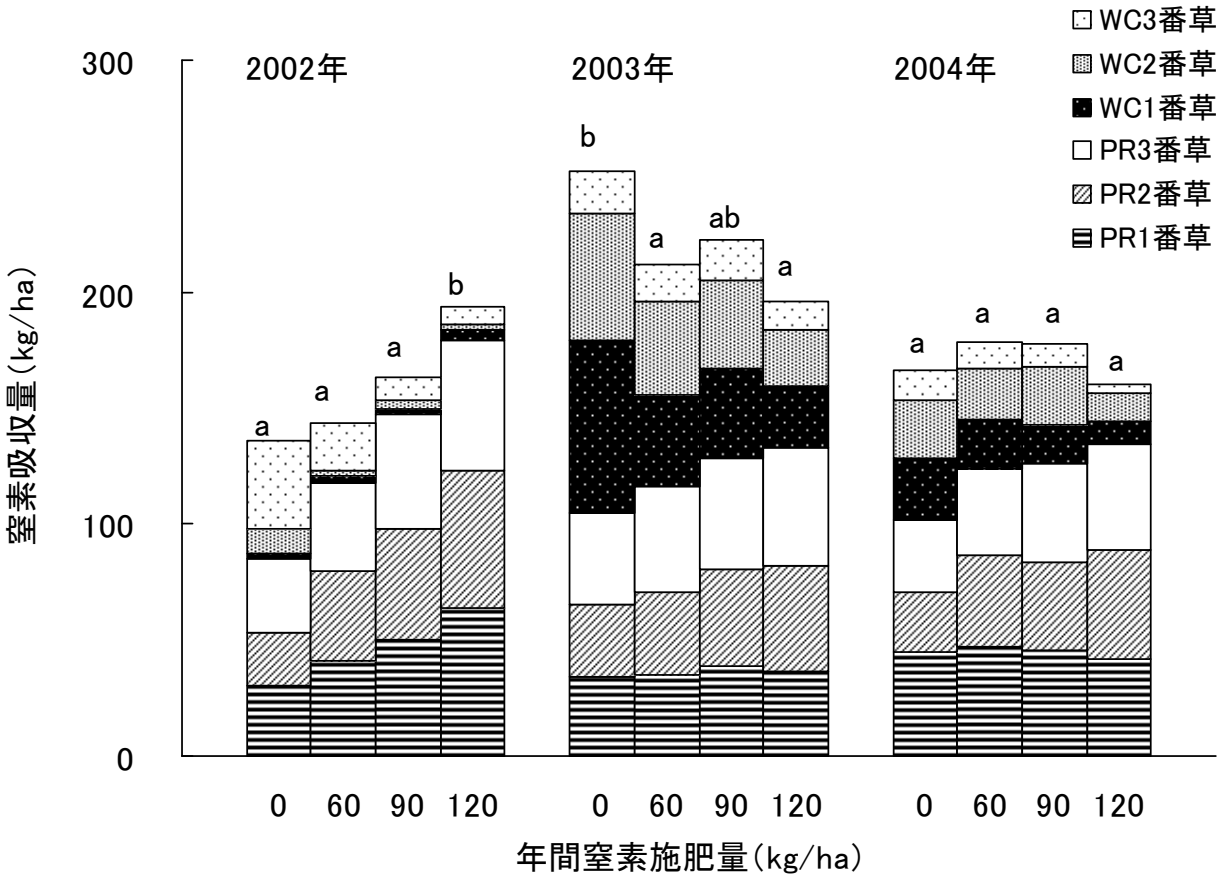

図 2-3-2.　ペレニアルライグラス（PR）とシロクローバ（WC）の年間窒素吸収量.

各年において同一文字を付した年間合計窒素吸収量に有意差（p＜0.05）なし.

新 2 年目であり WC の匍匐茎の伸長がまだ不十分なことが考えられるが，その他にも土壌の特性と少雨が考えられる。本試験を実施した道北の台地土では，更新直後に土壌窒素の供給が旺盛になることが三木（1993）によって報告されている。更新2年目である2002年の土壌の熱水抽出性窒素は他の年と比べやや高く，三木（1993）が指摘する土壌窒素の供給が旺盛な時期に該当する。このような土壌窒素の高い時期のため，吸肥力の高い PR の乾物収量が増加した一方，もともと幼苗期の越冬性が低い WC は PR との競合で不利になったと考えられる。また，Lewis（1991）や McEwen ら（1989）は WC が PR に比べ乾燥ストレスに弱いと報告しているが，2002 年の 5，6 月には降水の少ない状態が続いており，そのことがさらに WC の割合を低下させたと推察される。

乾物収量に及ぼす窒素施肥量の影響を見ると，いずれの年も窒素施肥量が増えるに従い，PR の乾物収量は増加し，WC の乾物収量は減少した。WC の窒素施肥量に対する反応は，窒素施肥により根粒菌の窒素固定が減少した（吉田 1988）ことと，PR が増収したことから相対的に WC の生育が抑圧されたためと考えられる。PR と WC を合わせた合計乾物収量は年次により異なったが，3 年間の平均乾物収量は主として PR の乾物収量の影響を受け，窒素施肥量の増加にともない増加する傾向が見られたが，90kg/ha 区と 120kg/ha 区の間に有意な差は見られなかった。年次別に見ると，窒素施肥量によって乾物収量が増加する傾向は 2002 年においてより顕著に現れ，一方 2003 年では窒素施肥量に対する反応が見られなかった。2002 年はマメ科率が低く，WC からの窒素移譲の影響が小さかったため，一方 2003 年は反対にマメ科率が 30% 以上と高く，WC からの窒素移譲の影響が大きかったためであると考えられる。

天北地方は一般に 5，6 月の降水量が少なく，さらに同地方で主体となる重粘土は保水性も低いことから WC の生育は不安定であり（東田 1993），2003 年のようなマメ科割合が持続されるとは考えにくい。このため窒素無施肥条件下では根粒菌が固定する窒素に窒素源を大きく依存するため，マメ科率が低下した年には大きく減収する可能性が高い。また，少量の窒素施用によって生育が促進した混生イネ科牧草が，窒素固定を阻害する土壌中の可給態窒素を吸収することによって，マメ科牧草の窒素固定に

表 2-3-4. 混播草地の単位施肥窒素当たりの乾物増収量(kg/kgN).

窒素施肥量	単位施肥窒素当たりの乾物増収量 1)			
(kg/ha)	1 番草	2 番草	3 番草	年間
60	8.1	18.8	6.1	11.0
90	10.7	20.2	15.7	15.5
120	9.6	20.8	13.2	14.5

1)2002-2004 年の平均値.
単位施肥窒素当たりの乾物増収量＝(処理区の乾物収量-無窒素区の乾物収量)/窒素施肥量.

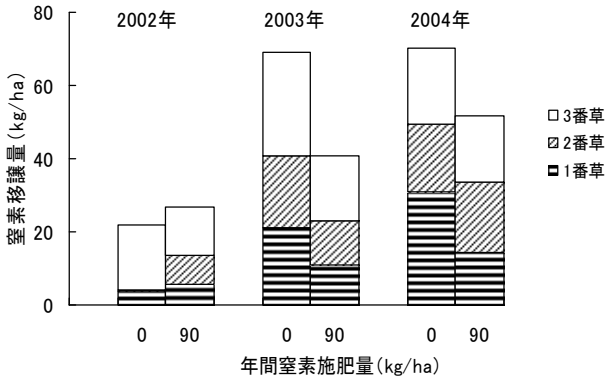

図 2-3-3. シロクローバからペレニアルライグラスへの推定窒素移譲量.

対し促進的に働くため，長期的には総体の収量増加につながるという報告(Jo ら 1985)もある。これらのことを考慮すると，混播草地であってもある程度の窒素肥料は必要であると考えられる。

PR と WC を合わせた 3 年間の平均窒素吸収量は，いずれの処理区も 170–190kg/ha とほぼ同じ水準にあり，処理区間に有意な差はなかった。第 2 章 2 では PR 単播について検討したが，その際には施肥した窒素が吸収される割合を示す窒素利用率と単位施肥窒素当たりの乾物増収量を用いて窒素肥効の解析を行った。しかし本試験ではいずれの処理区でも窒素吸収量がほぼ同等であったため，単位施肥窒素当たりの乾物増収量のみで解析を行ったが，その値は 90kg/ha 区で最も高かった。

窒素吸収量がほぼ同じであった理由としては，WC からの窒素の移譲の影響が考えられた。すなわち WC からの窒素の移譲量を 3 年間の平均で算出すると，0 および 90kg/ha 区でそれぞれ ha 当たり年間 54 および 40kg であった。東田(1986)は窒素を年間 0 および 60kg/ha 施肥した OG・WC 混播草地における移譲量を 33–57kg/ha と算出しているが，今回の結果も概ねその結果と一致するものであった。一方，イギリスの Laidlaw(1988)は圃場試

表 2-3-5. ペレニアルライグラスとシロクローバの IVDMD および飼料成分 1).

番草	窒素施肥量	ペレニアルライグラス(%DM)					シロクローバ(%DM)				
	(kg/ha)	IVDMD	WSC	NDF	ADF	CP	IVDMD	WSC	NDF	ADF	CP
1	0	79.3	24.4	47.1	25.4	10.2	77.6	11.9	25.8*	19.9	21.8
	60	78.9	28.2	46.1	24.8	9.1	74.9	14.5	25.0*	21.2	20.6
	90	77.2	28.4	47.1	24.3	9.7	75.3	16.1	25.0*	20.1*	21.9
	120	78.3	26.3	47.2	24.0	9.9	74.8	19.7	25.4*	18.6*	21.4
2	0	69.8	12.3	57.4	32.4	12.4	64.3	5.3	42.4	34.9	20.4
	60	71.1	19.6	54.3	31.5	11.7	65.8	8.4	40.2	32.2	19.4
	90	71.3	17.1	52.8	27.6	12.2	66.7	6.6	40.4	34.7	21.7
	120	73.2	23.5	51.6	27.8	11.7	68.5	6.5	37.3	32.4	22.4
3	0	75.9	15.0	51.1	29.5	13.7	75.7	11.6	29.5	22.9	23.9
	60	73.8	17.8	51.8	27.9	13.0	74.9	11.1	30.6	22.2	25.6
	90	75.8	21.8	50.3	27.8	11.9	76.6	10.0	30.5	22.5	24.6
	120	75.4	22.7	49.9	27.7	12.0	77.5*	12.3	31.9	24.3	25.2

1)2002 および 2003 年の平均値. *は 2003 年単年の値.
IVDMD：in vitro 乾物消化率，WSC：水溶性糖類，NDF：中性デタージェント繊維，
ADF：酸性デタージェント繊維，CP：粗蛋白質.

験において年間 0–90kg/ha の窒素を施肥した PR・WC 混播草地において，WC から 104–142kg/ha の窒素移譲が行われたと報告している。これは今回得られた値より大きいが，その原因としては北海道に比べて生育期間が 2–3 ヶ月長いイギリスで行われた試験であること，また本試験の行われた重粘土に比べ排水も通気性もよい壌土の圃場で行われたため，根粒菌による窒素固定量が多かったことなどが考えられる。しかし，90kg/ha の窒素を施肥した区の窒素移譲量は窒素無施肥区における窒素移譲量の 7 割強程度であり，これは本試験の結果と一致するものであった。単位施肥窒素当たりの乾物増収量と窒素移譲量に関する本研究の結果は，混播草地において 90kg/ha 程度の施肥であれば， WC による窒素固定と PR への窒素移譲が無施肥区には及ばないものの一定量期待でき，施肥と併せ安定した窒素供給が望め，高い乾物生産をもたらすことを示唆する。

次に，牧草の飼料品質に目を転じると，今回の試験では PR はいずれの処理区・番草でも IVDMD は 70%以上，NDF 含量は 60%以下，ADF 含量は 33%以下と良好な値を示した。さらに，WC も IVDMD は概ね 65%以上，NDF 含量は 43%以下，ADF 含量は 2 番草では若干高いものの 35%以下で，その他の番草では 25%以下であった。これらのことは，PR，WC とも他草種と比較すると栄養価の高い草種であることを示している。今回の試験では PR，WC 両草種において，窒素施肥量が増えると 2 番草を中心に飼料品質が若干良好になる傾向が見られた。この原因については判然としないが，PR については窒素施肥によって PR の生育が旺盛となり，光合成による炭水化物生成が促進されたため，WC については施肥により根粒菌活性が低下し，根粒菌で消費する炭水化物が減少し，WC 体内で貯蔵されたためであると考えられる。

採草利用を行う農家の多くはサイレージとして利用していることから，採草利用を考える上ではサイレージ発酵品質に影響を与える WSC は大変重要な要素であり，乾物中 10%以上必要であると言われている（増子 1999）。また，放牧では嗜好性にも関係すると言われ（Jones・Roberts 1991），WSC の高い牧草を給餌した泌乳後期の乳牛は，乳生産量が増加することが報告されている（Miller ら 2001）。今回の試験においてはいずれの処理区・番草とも PR では WSC 含量が乾物中 10%を下回るものは見られなかった。これは PR が比較的 WSC 含量の高い草種であることを示している。一方 WC では，2 番草で若干低かったものの，それでも 5%以上となった。草地全体として試算すると，もっとも低い 2 番草の無窒素区でも，WSC 含量が 10%近くになったため，サイレージ発酵の面では問題はないと思われる。

以上のことを考慮して，PR・WC 混播草地に対する適正窒素施肥量について考察する。まず，窒素施肥量が多いほど PR と WC を合わせた全体の乾物収量が増加したが，単位施肥窒素当たりの乾物増収量は 90kg/ha 区が最も高かった。飼料品質についてみると，PR，WC とも窒素施肥量が増えると若干飼料品質が良好になる傾向が見られた。混播草地の評価においては，乾物生産性だけでなくマメ科率の多少も重要な要件である。本試験の結果によると 120kg/ha 区のマメ科率は特に 3 番草において低く，3 年とも 10%を下回ったことから，混播草地の意義として重要な，マメ科率維持に及ぼす窒素施肥の影響を勘案すると，混播草地の年間窒素施肥量としては不適当と考えられた。これらを総合すると北海道北部の天北地方の台地土において PR・WC 混播草地を年 3 回刈りで採草利用する場合，収量，単位施肥窒素当たりの乾物増収量，マメ科率からみた望ましい窒素施肥量は 90kg/ha であると考えられる。また 90kg/ha では IVDMD と飼料品質も高く，無施肥と比べ 7 割強程度の窒素移譲量も期待でき，窒素施肥と併せ安定的な窒素供給が継続的に得られる。

4）摘要

北海道天北地方の年 3 回刈り PR・WC 混播草地における適正な年間窒素施肥量について，3 年間にわたり窒素処理 4 段階（0，60，90，120kg/ha）を設けて検討した。窒素施肥量が増加するに従い乾物収量は増加したが，マメ科率は低下し，120kg/ha では 3 番草でいずれの年も 10%を下回った。IVDMD と WSC などの飼料成分については，主として 2 番草において窒素施肥量の増加により飼料品質が良好になるものがみられたが，単位施肥窒素当たりの乾物増産量から見ると年間窒素施肥量は ha あたり 90kg が望ましかった。90kg の窒素施肥下では年間 40kg/ha 近くのシロクローバからの窒素移譲も見込まれた。

4. ペレニアルライグラス・シロクローバ混播草地における採草・放牧兼用利用時の窒素施肥量

天北地方におけるPRを用いた集約放牧に関する体系的な施肥管理技術の確立に資するため，PR と WC を混播した採草・放牧兼用草地を対象として，収量，マメ科率，窒素吸収および品質等からみた適切な窒素施肥量を検討した。

1）材料と方法

供試草地と刈取管理

供試品種は PR が晩生の「フレンド」，WC が中葉型「ラモーナ」である。播種量はPRが27kg/ha，WCが3kg/haで，1997 年 7 月に，天北農業試験場内の暗色表層酸性褐色森林土に分類される（北海道立中央農業試験場 1993）圃場に混播した。この PR と WC の混播草地を1998-2001年は年8-9回の多回刈り条件で窒素，リン酸，カリウムをそれぞれ年間 60，80，150kg/ha 施肥し管理した。本試験には播種後 6 年目の 2002 年から 3 年間用いた。混播草地のマメ科率は毎年約 25%であったが，試験開始前年の 2001 年は 10%と低かった。

試験開始時における供試土壌の化学性は，常法（北海道立中央農業試験場 1992）により測定し，表 2-4-1 に示した。pH，可給態リン酸，交換性カリウムは北海道の土壌診断基準値（木曽ら 2002）内であった。ただし，交換性カルシウムは同基準値を下回っていたため，試験開始時に炭酸カルシウムを ha あたり 2,100kg 施用した。熱水抽出性窒素は風乾土 100g 当たり 5.7mg で，当地方では窒素肥沃度が中程度の土壌であった。

この混播草地を 2002 年以降，春は採草地として扱い，出穂期である 6 月中旬に刈取った（採草期）。その後，7 月から 10 月までは放牧地として扱い，約 3 週間の再生期間をおいて，年 5-6 回の刈取りによる模擬放牧を行った（放牧期）。採草期，放牧期とも牧草は地際 5cm で刈取った。3 年間の刈取月日は表 2-4-2 に示した。

窒素施肥処理

窒素処理として 4 水準を設け，各区の年間窒素施肥量は 0，30，60，90kg/ha とし，窒素肥料は尿素を用いた。窒素を施肥しない無窒素区を，施肥した窒素の吸収量等を解析するために設置した。一区面積 5.0m² (2.0m×2.5m)で，6 反復の乱塊法で設置した。リン酸とカリウムの年間合計施肥量は，各区共通でそれぞれ 80 および 110kg/ha とした。リン酸肥料は過リン酸石灰を，カリウム肥料は硫酸カリウムを用いた。

施肥は早春（4 月下旬）および採草期の1番草刈取後（6 月中旬）の年間 2 回行った。窒素，リン酸，カリウムの施肥配分はいずれも早春，1 番草刈取後に年間施肥量の半分ずつを施用した。これは，放牧地の施肥回数が年間 1 回（6 月）であるとの既往の知見（北海道立天北農業試験場 1996）を参考にして決めた。

また，放牧期には家畜の排泄物が還元されることを想定して，2002 年と 2003 年の最終番草刈取後に 25,000kg/ha の堆肥を表面施用した。この量は，乳牛のふん尿排泄量（農林水産省農林水産技術会議事務局 1999）と標準的な放牧形態（加納・落合 1995）から推定し求めた。堆肥の養分は新鮮重当たり窒素が 0.65-0.70%，リン酸が 0.60-0.65%，カリウムが 0.50-0.55%であった。なお，本試験では堆肥施用に伴う化学肥料の減肥は行わなかった。

収量調査と牧草分析

収量調査はいずれの処理区も 1m² のコドラート内を刈取り，生草重を測定して行った。そのうちの一定量を採取してPRとWC，その他の草種に選別した。Smith（1971）の方法に従い，その一部をただちに 90℃で 1 時間乾熱し，呼吸関連酵素を失活させた。次いで，70℃で 48 時間以上通風乾燥させて乾物率を求め，ha当たりの収量を乾物重で示した。草種構成割合はいずれの処理区においても PR と WC が新鮮重当たり 98%以上であったことから，収量は PR と WC の合計のみで表示した。

飼料成分の分析には，乾燥後粉砕した植物体を供試した。窒素は 2002-2004 年の 3 年分，それ以外の飼料成分

表 2-4-1. 供試草地の土壌化学性 [1].

pH（H_2O）	熱水抽出性窒素	可給態リン酸（ブレイ第二法）	リン酸吸収係数	交換性塩基（mg/100g 乾土）		
	（mg/100g 乾土）			K_2O	CaO	MgO
5.5	5.7	24.2	1435	16.1	112	9.2

[1]土壌の採取深は熱水抽出性窒素が 0-20cm，それ以外が 0-5cm.

表 2-4-2.　刈取期(月/日).

利用方式名 1)	番草	年次		
		2002	2003 2)	2004
採草期	1	6/13	6/18	6/18
放牧期	2	7/ 4	7/ 7	7/ 5
	3	7/25	7/30	7/22
	4	8/13	8/21	8/11
	5	9/ 5	9/17	9/ 8
	6	9/26	10/15	9/21
	7	10/21	-	10/20

1)採草期は採草地として扱い，出穂期に刈取った.
放牧期は放牧地として扱い，約 3 週間隔で年 5-6 回刈取る模擬放牧である.
2)2003 年の放牧期は 5 回刈取り.

は 2003, 2004 年の 2 年分の採草期(NDF は放牧期も)の試料を分析した。なお，一般に PR 放牧利用時の飼料成分については，高品質であることが既に多くの知見(川崎 1992;須藤ら 2001;中野 2003)により示されていることから，本試験では測定の対象としなかった。全窒素は，硫酸と過酸化水素を用いて分解(水野・南 1980)した後，フローインジェクション法(中島 1987)により定量した。CP は全窒素含量に 6.25 を乗じて求めた。WSC はアンスロン法(Yem・Willis 1954)により，NDF, ADF および CA は藤田(2001)の方法により測定した。

2003, 2004 年 2 年分の TDN と TDN 収量は，第 2 章 2 項と同様に，NDF を用いた推定式(牧草・飼料作物栄養価問題検討委員会 1991)から算出した。

TDN(%DM)＝100.8–0.72×NDF(%DM)

TDN 収量(kg/ha)＝TDN(%DM)×収量(kg/haDM)

また，無窒素区および 60kg 区のそれぞれにおける WC による大気窒素の固定量および固定窒素の PR への移譲量は，本試験と同じ刈取り施肥条件である隣接した PR 単播草地の窒素吸収量を用いて，差引法(Simpson 1976)から算出した。

窒素固定量(kg/ha)＝(混播草地における PR と WC の合計窒素吸収量)－(単播草地における PR の窒素吸収量)

窒素移譲量(kg/ha)＝(混播草地における PR の窒素吸収量)－(単播草地における PR の窒素吸収量)

試験地点の気象

気象データは，天北支場内にある稚内地方気象台浜頓別地域気象観測地点(アメダス)から得た。平均気温は 2002, 2003 年の 6 月中旬-7 月下旬が平年に比べ 2-5℃低い期間が多く，2004 年の 7 月下旬-8 月上旬が同じく 3℃近く高かった。降水量は年合計で見れば 3 年とも概ね平年並みであったが，2002 年は 5 月前半-6 月前半にかけては 61mm と少なく干ばつ傾向で，2003 年の 5-10 月も少ない期間があった。

統計処理

乾物収量，年間窒素吸収量，単位施肥窒素当たりの乾

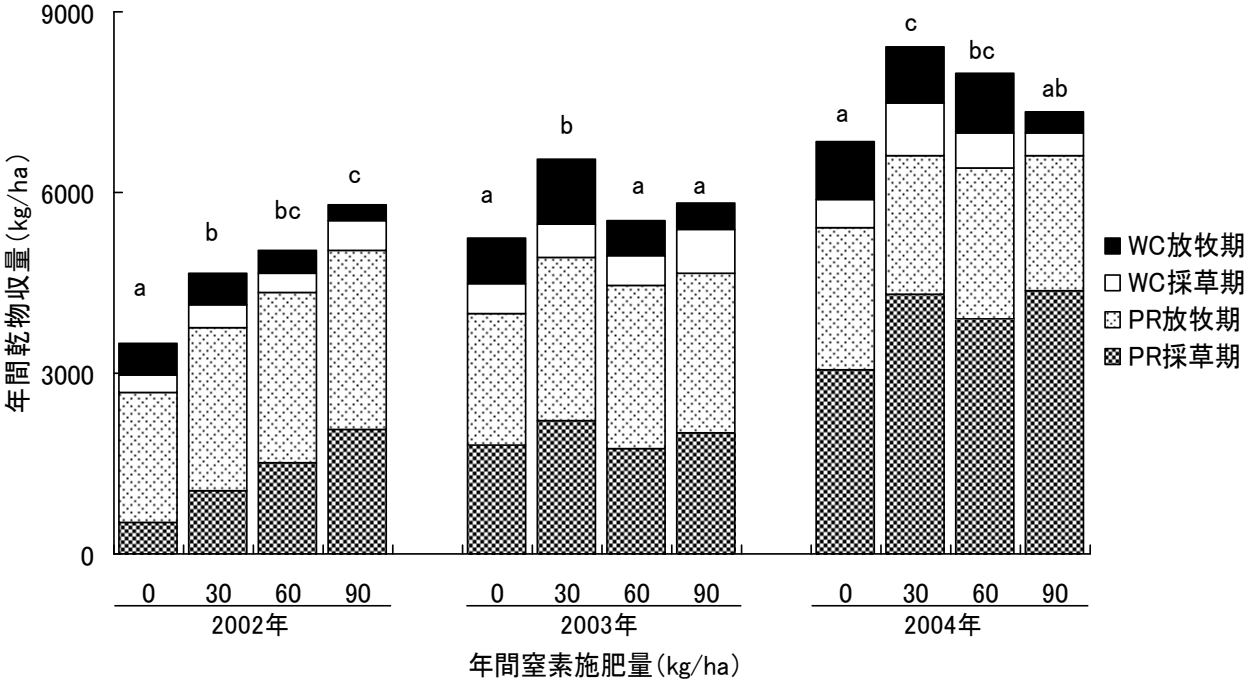

図 2-4-1.　ペレニアルライグラス(PR)・シロクローバ(WC)混播兼用草地における年次・草種別の乾物収量.
各年次において同一文字を付した年間収量に有意差なし($p<0.05$, Tukey 法).

表 2-4-3. ペレニアルライグラス・シロクローバ混播兼用草地の 3 年平均の乾物収量.

窒素施肥量 (kg/ha)	乾物収量(kg/ha)[1]																							
	採草期		放牧期																				年間合計	
	1 番草		2 番草		3 番草		4 番草		5 番草		6 番草		7 番草		放牧期合計									
0	2291	a	357	a	456	a	691	a	603	ab	565	ab	616	b	2974	a	(0.22)[2]						5265	a
30	3112	b	461	ab	611	a	712	a	660	b	646	b	476	ab	3425	a	(0.17)						6536	b
60	2932	ab	543	b	685	a	679	a	632	b	589	ab	558	ab	3332	a	(0.10)						6264	b
90	3336	b	626	b	716	a	594	a	500	a	467	a	324	a	2965	a	(0.26)						6301	b

[1]2002-2004 年の平均値. ただし, 7 番草は 2002, 2004 年の平均値.
同一列で同一文字を付した乾物収量に有意差なし(p＜0.05, Tukey 法).
[2]カッコ内は放牧期の各区における番草別収量の変動係数.

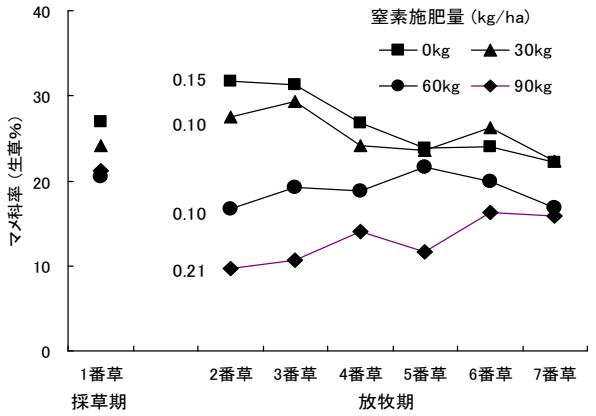

図 2-4-2. ペレニアルライグラス・シロクローバ兼用草地における番草別マメ科率の推移 [1].

[1]2002-2004 年の平均値, ただし 7 番草は 2002, 2004 年の平均値.
[2]図中の数字は放牧期の各区における番草別マメ科率の変動係数.

物増加量, および TDN 収量は, 年間窒素施肥量を要因とした一元配置による分散分析で解析し, 平均値の差の検定は Tukey の方法で行った。放牧期の番草間における収量, マメ科率のばらつきの評価には, 各区の変動係数を用いた。

2）結果

乾物収量

PR・WC 混播兼用草地の年次, 草種別の乾物収量を図 2-4-1 に示す。合計収量は, 2002 年の無窒素区以外では 4,500kg/ha を上回った。同一年次内で各区を比較すると, 2002 年では窒素施肥量が増えると主として採草期や放牧期の PR が増収し, 合計収量も増加した。これに対して, 2003, 2004 年の合計収量は, PR と WC ともに高収であった 30kg 区が最も高かった。なお, 2002 年の WC 収量は放牧期および採草期ともに 2003, 2004 年より低い値を示した。

3 年間の平均合計収量は, 無窒素区が 5,265 kg/ha と

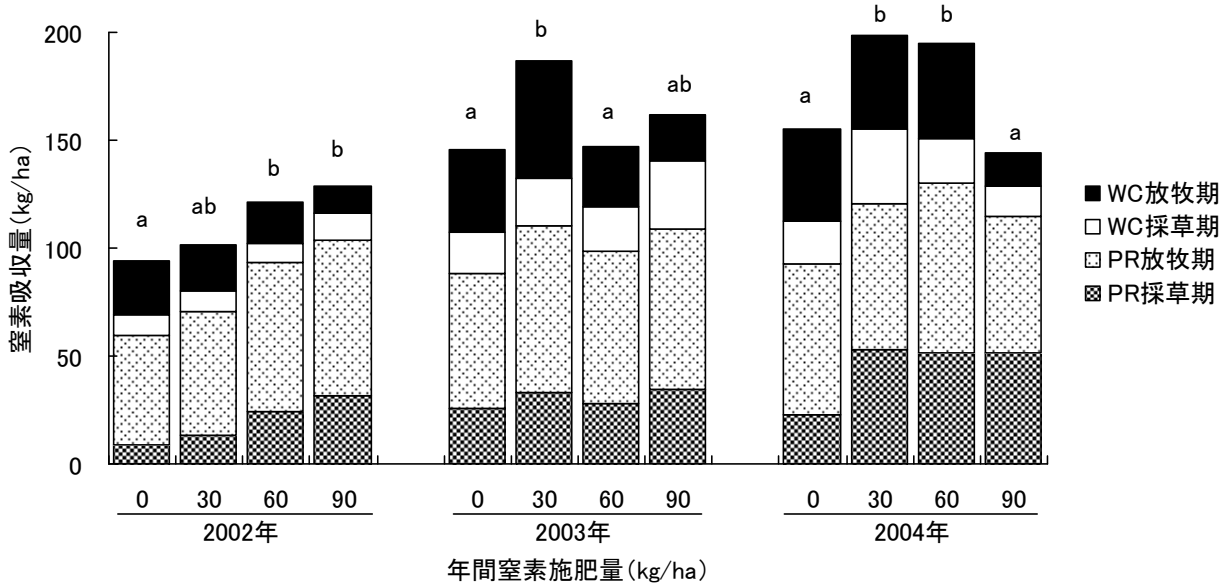

図 2-4-3. ペレニアルライグラス(PR)・シロクローバ(WC)混播兼用草地における年次・草種別の窒素吸収量.

各年次において同一文字を付した年間収量に有意差なし(p＜0.05, Tukey 法).

表 2-4-4. ペレニアルライグラス・シロクローバ兼用草地の単位施肥窒素当たりの乾物増加量 1).

窒素施肥量 (kg/ha)	単位施肥窒素当たりの乾物増加量(kg/kgN)		
	採草期	放牧期	年間合計
30	55 b2)	30 b	42 b
60	21 a	26 ab	23 a
90	23 a	11 a	17 a

1) 2002-2004 年の平均値.
単位施肥窒素当たりの乾物増加量は以下の式により算出.
単位施肥窒素当たりの乾物増加量(kg/kgN)
＝(処理区の乾物収量-無窒素区の乾物収量)/窒素施肥量.
2) 同一列で同一文字を付した単位施肥窒素当たりの乾物増加量に有意差なし(p＜0.05, Tukey 法).

他の区に比べ有意に低かった(表 2-4-3)。30kg, 60kg, 90kg 区の収量は, 6,264-6,536kg/ha であり, 年次・草種別推移(図 2-4-1)とは異なり窒素施肥量の影響は認められなかった。この傾向は採草期や放牧期の合計収量も同様であった。ただし図 2-4-1 から明らかのように, 後述する干ばつ害があったと考えられる 2002 年を除いた 2 年間の平均収量では, 30kg 区が 7,489kg/ha と多収であった(p＜0.05 で有意差あり)。

3 年間平均の番草別収量を見ると, 年間合計に対する 1番草収量(採草期)の占める割合は 44-53%の範囲であった。放牧期においては, 7 月の 2, 3 番草では窒素施肥量の増加により増収傾向を示したのに対し, 4 番草以降ではこの関係が判然としなかった。放牧期における各番草収量の変動係数は 0.10-0.26 で, 30kg と 60kg 区が小さかった。

マメ科率

番草別のマメ科率は, 採草期では無窒素区が 27%と高かったが, 窒素施肥により減少し, 60kg 区と 90kg 区は 20%前後となった(図 2-4-2)。一方, 放牧期のマメ科率は 10-32%の範囲で変動し, 採草期と同様に, 窒素施肥量が増えると低下する傾向であった。無窒素区と 30kg 区は各番草とも高く, 特に放牧期の 2, 3 番草では約 30%もあった。両区とも番草が進むにつれ低下したが, それでも 22%以上を保っていた。放牧期間の平均マメ科率は無窒素区が 27%, 30kg 区が 26%と良好であった。これに対して, 90 kg 区は各処理区の中で常に低く推移し, 2-5 番草では約 10%, 最も高かった 7 番草においても 16%程度であった。60kg 区は両区の中間で, 放牧期を通して 15-20%であった。なお, 各番草におけるマメ科率の変動係数は 0.10-0.21 で, 30 kg と 60kg 区が比較的小さかった。

窒素吸収量

各処理区における年次・草種別の窒素吸収量の傾向は, 収量の場合と類似していた(図 2-4-3)。すなわち, 2002 年では窒素施肥量が増えると主として PR の窒素吸収量が高まり, 全体の窒素吸収量も増加した。これに対し, 2003, 2004 年では 30kg 区が最も高く, 特に WC の窒素吸収量は著しく高かった。単位施肥窒素当たりの乾物増加量は, 採草期, 放牧期とも 30kg 区がそれぞれ 55, 30kg/kg と最も多かった(表 2-4-4)。

WC による大気窒素の固定量(表 2-4-5)は多く, 無窒素区, 60kg 区でそれぞれ 80, 79kg/ha と多く, 全窒素吸収量に占める割合は 63, 50%と高かった。窒素移譲量(表 2-4-5)は, 年次により変動が大きかったものの, 採草期と放牧期を合わせた 3 年間平均では無窒素区, 60kg 区ともに 26-28kg/ha であった。

TDN 収量と飼料成分含有率

年間平均の TDN 含量および TDN 収量は, それぞれ 67.0-69.2%および 3,565-5,576kg/ha の範囲であった(図 2-4-4)。窒素施肥量と TDN 収量との関係を見ると, 両年の合計 TDN 収量は他の区に比べて無窒素区が低く, 30kg 区が最も高かった。この傾向は乾物収量の場合と類似していた。

PR と WC の 1 番草(採草期)の飼料成分を表 2-4-6 に示したが, いずれの成分でも草種間差が認められた。す

表 2-4-5. ペレニアルライグラス・シロクローバ混播兼用草地における窒素固定量と窒素移譲量 1).

	年間窒素施肥量 (kg/ha)	採草期 (kg/ha)		放牧期 (kg/ha)		年間合計 (kg/ha)	
窒素固定量	0	22	(12-28)	58	(40-67)	80	(52-95)
	60	35	(19-58)	44	(32-56)	79	(59-114)
窒素移譲量	0	6	(3-9)	22	(15-29)	28	(17-38)
	60	13	(6-24)	13	(4-24)	26	(10-36)

1)2002-2004 年の平均値。カッコ内は(最大値-最小値).

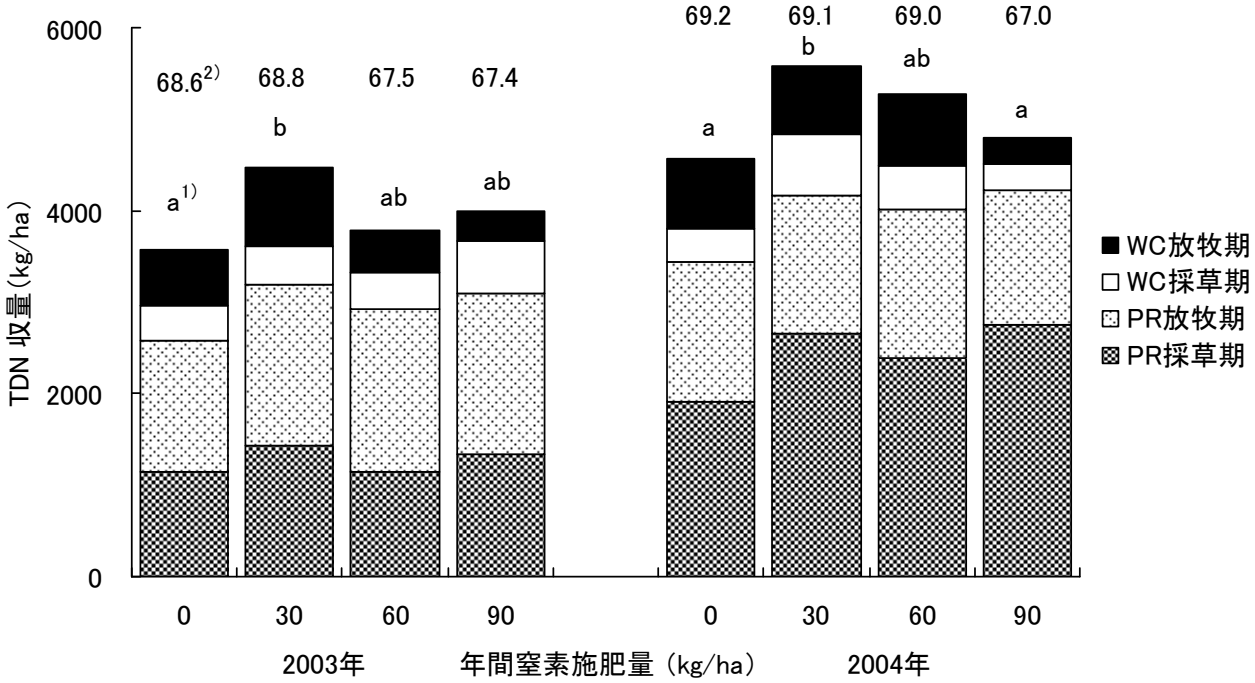

図 2-4-4. ペレニアルライグラス（PR）・シロクローバ(WC)混播兼用草地の可消化養分総量（TDN）とその収量.

[1)]各年次において同一文字を付した年間 TDN 収量に有意差なし($p<0.05$, Tukey 法).

[2)]棒グラフ上の数字は年間の平均 TDN(%).

表 2-4-6. 1 番草（採草期）のペレニアルライグラスとシロクローバの各種飼料成分含有量 [1)].

草種	窒素施肥量 (kg/ha)	飼料成分含有量（%DM） WSC	NDF	ADF	CP	CA
ペレニアルライグラス	0	23.3	54.2	27.9	8.1	7.5
	30	22.5	53.3	27.6	8.5	8.1
	60	21.2	52.2	27.4	9.1	8.3
	90	21.4	54.6	28.5	9.0	8.0
シロクローバ	0	6.1	29.0	24.0	23.6	11.2
	30	5.9	30.0	24.5	24.5	10.6
	60	5.5	30.5	27.2	27.2	11.0
	90	6.4	28.9	28.6	28.6	11.0
全体 [2)]	0	20.2	49.9	27.2	10.8	8.1
	30	19.5	49.1	27.0	11.4	8.5
	60	18.3	48.5	26.8	12.2	8.8
	90	18.6	50.2	27.8	12.1	8.5

[1)] 2003 および 2004 年の平均値. WSC：水溶性糖類, NDF：中性デタージェント繊維, ADF：酸性デタージェント繊維, CP：粗蛋白質, CA：粗灰分.

[2)] 加重平均により算出.

なわち, PR は WC に比べて, WSC（21.2-23.3%）, NDF（52.2-54.6%）, ADF（27.4-28.5%）含量が高く, 逆に CP（8.1-9.1%）と CA（7.5-8.3%）含量が低かった。同一草種内で窒素処理の影響を見ると, PR では 60kg 区と 90kg 区において WSC が約 21%とやや低く, CP が約 9%とやや高い程度であった。WC では 60kg 区と 90kg 区の CP

が 27-28%と高かった。しかし，その他の成分では PR，WC ともに窒素施肥処理間の差は判然としなかった。PR と WC を加重平均した収穫物全体での飼料成分含量で比較しても，60kg 区と 90kg 区の WSC が他に比べ若干低い以外は，窒素処理による明確な差はほとんど示されなかった。

3)考察

放牧を行う酪農家が放牧計画を立てる上で，放牧地の草地生産性は，季節を通して一定であることが望ましい。さらに，WSC が高いが CP の低いイネ科牧草とその逆であるマメ科牧草との混播草地では，飼料の品質や栄養面からみると，適切なマメ科率を安定して維持することが重要であると指摘されている(湯藤 1999)。

今回調査した採草期の牧草における各種の飼料成分含量は，いずれも飼料としては概ね良好なものであった(表 2-4-6)。特にサイレージの良質発酵に重要な WSC の収穫物全体の含量は，良質発酵に必要な乾物中含量 10%(増子 1999)を大きく上回るものであった。また，単播草地の場合(第 2 章 2 項)とは異なり，窒素施肥処理による飼料成分の明確な差は一部の成分を除いて認め難かったが，この傾向は PR・WC 混播採草地の結果(第 2 章 3 項)とほぼ一致していた。窒素施肥の飼料成分への影響が混播草地で小さい理由としては，後述するように，同草地ではWCの大気窒素の固定とPRへの移譲があることが考えられる。すなわち，このような施肥以外から加わる窒素の全窒素吸収量に占める割合が高かったために，施肥窒素そのものの影響が飼料成分へ反映されなかったものと推察される。

以上のように，PR と WC 混播草地の飼料成分へ及ぼす窒素施肥の影響は小さかったため，同兼用草地での適切な窒素施肥量については各窒素処理区のマメ科率，乾物収量，TDN 収量および窒素吸収量等から検討することとする。

まず，窒素を施用していない無窒素区は，収量，窒素吸収量，TDN 収量が他の処理区に比べ低いが，平均的に見るとマメ科率が約 30%と高い点が注目される。ただし，天北地方は一般に 5，6 月の降水量が少なく干ばつ害が発生しやすく，さらに当地方の草地基盤の主体である酸性褐色森林土をはじめとする重粘土は保水性も低い(東田 1993)ので，PR に比べ乾燥ストレスが弱いとされる WC(Lewis 1991; McEwen ら 1989)の生育が不安定であることに留意する必要がある。例えば，今回の試験期間中で 2002 年の WC 収量が少なかったのは(図 2-4-1)，前年である 2001 年のマメ科率そのものが低かったことも一因かもしれないが，5，6 月に少雨状態が続いたことが大きく影響したものと理解される。なお，WC が固定した大気窒素の PR への移譲量は年次変動が大きいものの，今回窒素移譲量の算出を行った無窒素区と 60kg 区の移譲量に差はなく，いずれも 3 年間平均で 30kg /ha 弱であり，これは，TY あるいは OG と WC の混播草地(東田 1986，1993)と同程度であった(表 2-4-5)。このことは，今回設定した窒素施肥量の範囲では 窒素移譲量の差は小さく，窒素移譲量の草種間差も小さいことを示唆する。

以上から，窒素反応性の大きい PR の窒素供給源を乾燥ストレスに弱く生育が不安定な WC からの移譲窒素のみに依存するのは，安定的に収量を確保する上でリスクが大きいと推察される。北海道天北地方の施肥基準では，マメ科率が 15-50%の PR 集約放牧草地で 30kg/ha の窒

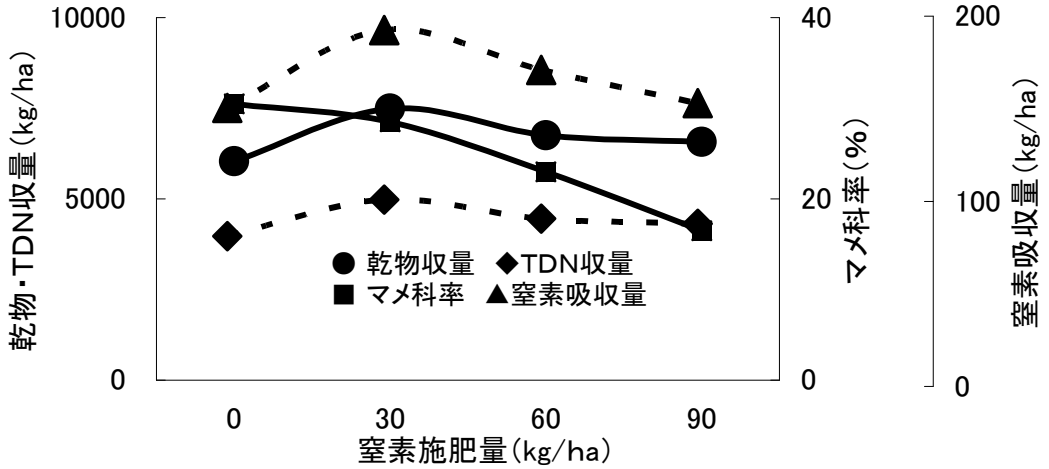

図 2-4-5. 干ばつ年を除いたペレニアルライグラス・シロクローバ兼用草地における乾物収量，TDN収量，マメ科率および窒素吸収量の関係.

素施肥量が設定されている（北海道立天北農業試験場 1996）ことも考え併せると，PR・WC 混播兼用草地においても，一定量の窒素を施肥することが望ましい。

次に，窒素を施用した 30kg，60kg，90kg 区を見ると，マメ科率や収量の番草間のばらつきは 30kg 区と 60kg 区が小さく，しかもマメ科率は 15%を上回り比較的安定していた（年平均で各々26，19%）。これに対して，90kg 区は収量の番草間のばらつきが大きい上に，マメ科率が著しく低い難点があった。

窒素施肥量とマメ科率や収量との関係では（図 2-4-1，2-4-2），TY とマメ科草混播草地での例（木曽・菊地 1988）と同様に，窒素施肥量が増えるとマメ科率が低下し，窒素施肥に対する収量の反応もマメ科草が多いと鈍いことが本試験でも認められた。すなわち，収量への窒素施肥の影響は，WC の少ない 2002 年では強く現れ，収量増に顕著に反映した。しかし，WC が多かった 2003 年と 2004 年では，窒素施肥量が増えても必ずしも増収には結びつかなかった。これは， WC による大気窒素の固定やその移譲に起因して施肥窒素の収量に対する反応性が低かった（嶋田 1990）ためと思われる。

なお，施肥窒素の増大によりマメ科率の低下や WC 収量が減る傾向にあったが，これらが減少するメカニズムとしては，従来からイネ科とマメ科牧草の混播草地において指摘されているように（嶋田 1990，吉田 1988），窒素施肥により PR の生育が促進し，草丈の低く受光態勢が悪い WC が PR により抑圧されること，さらに窒素施肥量の増加は根粒菌の窒素固定を減少させること等から，施肥窒素が PR の生産に有利に働いたことによると理解される。

一方，乾物収量と TDN 収量は，前述した干ばつ害が発生したと推定される 2002 年以外の 2 カ年では 30kg 区が最も高かった。これは，リン酸やカリウム等が十分施用されている条件では，収量に大きな影響を与える窒素の吸収量が同区で多かったことが主因と考えられる。さらに，PR・WC 混播採草地の試験（第 2 章 3）と同様に，単位施肥窒素当たりの乾物増加量を算出して施肥窒素の増収効率を評価すると，乾物増加量は 30kg 区が高く（表 2-4-4），施肥窒素の効率の面でも 30kg 区が優れていた。

以上から，各窒素処理区のマメ科率，乾物収量，TDN 収量および窒素吸収量等に基づき（図 2-4-5）総括的に考察すると，PR と WC 混播兼用草地の適切な窒素施肥量は，本試験で設定した窒素量の範囲では，30kg/ha と判断される。この条件下では，WC から PR へ年間約 30kg/ha 程度の窒素移譲も期待できる。

4）摘要

1 番草を採草し，その後約 3 週間毎（年間 5-6 回）に模擬放牧を行った北海道天北地方の PR・WC 混播兼用草地を対象に年間窒素施肥量を 4 処理設け（0，30，60，90 kg/ha），適正な窒素施肥量を検討した。年間の平均乾物収量は，干ばつ年を除くと 30kg 区が 7,489kg/ha と最大であった。同区はマメ科率も年間平均で 26%と良好であり，TDN 収量や窒素吸収量，単位施肥窒素あたりの乾物増加量も高かった。また，放牧期の番草ごとの収量，マメ科率のばらつきも小さかった。これに対して無窒素区ではマメ科率は高いが低収であり，60kg 区と 90kg 区はともにマメ科率が低かった。以上から，PR・WC 混播兼用草地の適正な窒素施肥量は 30kg/ha と判断した。

5. ペレニアルライグラス単播兼用草地における窒素施肥法の検討

前項では PR と WC を混播した採草・放牧兼用草地を対象としたが，実際には天北地方には土壌や気象的要因からマメ科牧草の維持は難しく，放牧地においてもイネ科単播草地が多いのが現状である。そこで，本項では前項同様に設定した PR 単播の採草・放牧兼用草地において，収量，窒素吸収および品質等からみた適切な窒素施肥量を検討した。

1）材料と方法

供試草地と刈取管理

供試品種は PR が晩生の「フレンド」である。播種量は PR が 27kg/ha で，1997 年 7 月に，天北農業試験場内の暗色表層酸性褐色森林土に分類される（北海道立中央農業試験場 1993）圃場に散播した。この草地を 1998-2001 年は年 8-9 回の多回刈り条件で窒素，リン酸，カリウムをそれぞれ年間 150，80，150kg/ha 施肥し管理した。本試験には播種後 6 年目の 2002 年から 3 年間用いた。

試験開始時における供試土壌の化学性は，常法（北海道立中央農業試験場 1992）により測定し，表 2-5-1 に示した。pH，可給態リン酸，交換性カリウム，交換性マグネシウムは北海道の土壌診断基準値（木曽ら 2002）内であった。ただし，交換性カルシウムは同基準値を下回っていたため，試験開始時に炭酸カルシウムを ha あたり 2,100kg 施用した。熱水抽出性窒素は風乾土 100g 当たり 5.8mg で，当地方では窒素肥沃度が中程度の土壌であった。

この草地を 2002 年以降，春は採草地として扱い，出穂期である 6 月中旬に刈取った（採草期）。その後，7 月から 10 月までは放牧地として扱い，約 3 週間の再生期間をおいて，年 5-6 回の刈取りによる模擬放牧を行った（放牧期）。採草期，放牧期とも牧草は地際 5cm で刈取った。3 年間の刈取月日は表 2-5-2 に示した。

窒素施肥処理

窒素処理として 4 水準を設け，各区の年間窒素施肥量は 0，60，120，180kg/ha とし，窒素肥料は尿素を用いた。窒素を施肥しない無窒素区を，施肥した窒素の吸収量等を解析するために設置した。一区面積 4.0m² (2.0m×2.0m)で，6 反復の乱塊法で設置した。リン酸とカリウムの年間合計施肥量は，各区共通でそれぞれ 80 および 110kg/ha とした。リン酸肥料は過リン酸石灰を，カリウム肥料は硫酸カリウムを用いた。

施肥は早春（4 月下旬）および採草期の1番草刈取後（6 月中旬）の年間 2 回行った。窒素，リン酸，カリウムの施肥配分は混播草地の試験（第 2 章 4 項）にならい，いずれも早春，1 番草刈取後に年間施肥量の半分ずつを施用した。

また，放牧期には家畜の排泄物が還元されることを想定して，2002 年と 2003 年の最終番草刈取後に 25,000kg/ha の堆肥を表面施用した。この量は，乳牛のふん尿排泄量（農林水産省農林水産技術会議事務局 1999）と標準的な放牧形態（加納・落合 1995）から推定し求めた。堆肥の養分は新鮮重当たり窒素が 0.65-0.70%，リン酸が 0.60-0.65%，カリウムが 0.50-0.55%であった。なお，本試験では堆肥施用に伴う化学肥料の減肥は行わなかった。

収量調査と牧草分析

収量調査はいずれの処理区も 1m² のコドラート内を刈取り，生草重を測定して行った。そのうちの一定量を採取して PR とその他の草種に選別した。Smith（1971）の方法に従い，その一部をただちに 90℃で 1 時間乾熱し，呼吸関連酵素を失活させた。次いで，70℃で 48 時間以上通風乾燥させて乾物率を求め，ha当たりの収量を乾物重で示した。草種構成割合はいずれの処理区においても PR が新鮮重当たり 98%以上であったことから，収量は PR のみで表示した。乾燥後粉砕した植物体を分析に供試した。

窒素は，硫酸と過酸化水素を用いて分解（水野・南 1980）した後，フローインジェクション法（中島 1987）により定量した。第 2 章 2 項と同様に， 窒素から窒素利用率

表 2-5-1. 供試草地の土壌化学性 [1].

pH（H_2O）	熱水抽出性窒素	可給態リン酸（ブレイ第二法）（mg/100g 乾土）	交換性塩基（mg/100g 乾土）		
			K_2O	CaO	MgO
5.6	5.8	27.0	19.4	120	10.4

[1]土壌の採取深は熱水抽出性窒素が 0-20cm，それ以外が 0-5cm.

表 2-5-2.　刈取期(月/日).

利用方式名 1)	番草	年次		
		2002	2003 2)	2004
採草期	1	6/13	6/18	6/18
放牧期	2	7/ 4	7/ 7	7/ 5
	3	7/25	7/30	7/22
	4	8/13	8/21	8/11
	5	9/ 5	9/17	9/ 8
	6	9/26	10/15	9/21
	7	10/21	-	10/20

1) 採草期は採草地として扱い，出穂期に刈取った．放牧期は放牧地として扱い，約 3 週間隔で年 5-6 回刈取る模擬放牧である．

2) 2003 年の放牧期は 5 回刈取り．

や単位施肥窒素あたりの乾物増収量を算出した。

品質については，2003，2004 年 2 年分の TDN 含有率および収量を評価の対象とした。TDN と TDN 収量は，第 2 章 2 項と同様に NDF を藤田(2001)の方法により測定し，NDF を用いた推定式(牧草・飼料作物栄養価問題検討委員会 1991)から算出した。

TDN(%DM)＝100.8–0.72×NDF(%DM)

TDN 収量(kg/ha)＝TDN(%DM)×収量(kg/haDM)

試験地点の気象

気象データは，天北支場内にある稚内地方気象台浜頓別地域気象観測地点(アメダス)から得た。平均気温は 2002，2003 年の 6 月中旬-7 月下旬が平年に比べ 2-5℃低い期間が多く，2004 年の 7 月下旬-8 月上旬が同じく 3℃近く高かった。降水量は年合計で見れば 3 年とも概ね平年並みであったが，2002 年は 5 月前半-6 月前半にかけては 61mm と少なく干ばつ傾向で，2003 年の 5-10 月も少ない期間があった。

統計処理

乾物収量，草丈，年間窒素吸収量，窒素利用率，単位施肥窒素当たりの乾物増加量，および年間 TDN 収量は，年間窒素施肥量を要因とした一元配置による分散分析で解析し，平均値の差の検定は Tukey の方法で行った。また，年間 TDN 収量については各区の標準偏差を図中に示した。

2)結果

乾物収量・草丈

PR 兼用草地の番草別乾物収量を表 2-5-3 に示す。採草期(1 番草)の収量は 1,285-4,349kg/ha，放牧期(2-7 番草)の収量は 1,591-4,054kg/ha であり，採草期と放牧期をあわせた合計収量は，2,877-8,403kg/ha であった。各区を比較すると，窒素施肥量が増えると主として採草期や放牧前期(2-4 番草)の収量が増収し，年間合計収量も増加した。しかし，放牧後期(5-7 番草)はいずれの区も低収であり，各番草の収量も 282-454kg/ha とすべての区で 500kg/ha を下回った。採草期，放牧前期，放牧後期に分けて各区の収量の変化を見ると，採草期，放牧前期においてはいずれも窒素施肥の増加によって収量が増加したものの，放牧後期では窒素施肥の影響はほとんどみられず，いずれの区も放牧前期における無窒素区の収量水準にまで低下していた(図 2-5-1)。

3 年間の平均草丈は，採草期が 26-45cm，放牧期が 11-24cm であり，採草期や放牧前期では窒素施肥量が増加するとともに草丈が 5-19cm 高くなる傾向が見られたが，放牧後期においてはいずれの番草，区においても 15cm 以下であり，窒素施肥の影響は見られなかった(表 2-5-4)。

窒素利用

各処理区における窒素吸収量の傾向は，収量の場合と類似していた(表 2-5-5，図 2-5-1)。すなわち，採草期(13-61kg/ha)や放牧前期(4-42kg/ha)においては窒素施肥量が増えると窒素吸収量が高まり，年間全体の窒素

表 2-5-3.　ペレニアルライグラス・シロクローバ混播兼用草地の 3 年平均の乾物収量.

窒素施肥量 (kg/ha)	乾物収量(kg/ha)1)								
	採草期	放牧期							年間合計
	1 番草	2 番草	3 番草	4 番草	5 番草	6 番草	7 番草	放牧期合計	
0	1285 a2)	199 a	174 a	355 a	378 a	297 a	282 a	1591 a	2877 a
60	2178 ab	672 b	525 b	471 ab	454 a	317 a	310 a	2646 b	4825 b
120	3268 bc	1023 bc	1038 c	538 bc	389 a	318 a	298 a	3505 c	6773 c
180	4349 c	1223 c	1188 c	633 c	441 a	358 a	315 a	4054 c	8403 c

1) 2002-2004 年の平均値．ただし，7 番草は 2002，2004 年の平均値．

2) 同一列で同一文字を付した乾物収量に有意差なし($p<0.05$，Tukey 法)．

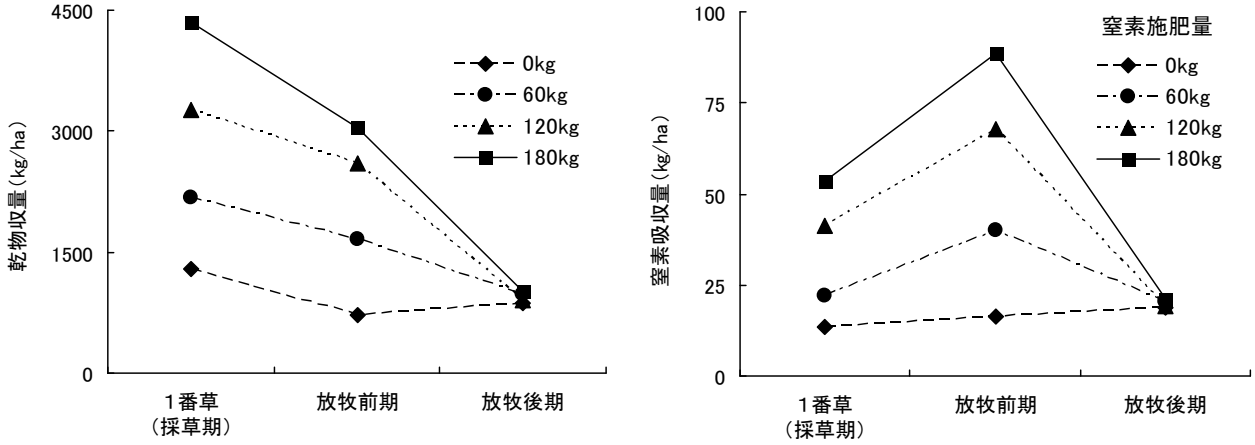

図 2-5-1 兼用単播草地における 3 年間平均乾物収量(左), 3 年間平均窒素吸収量(右)の変化.
放牧前期は 2-4 番草, 放牧後期は 5-7 番草.

表 2-5-4. 窒素施肥量がペレニアルライグラス兼用草地の草丈(cm)に及ぼす影響.

窒素施肥量 (kg/ha)	採草期	放牧期					
	1 番草	2 番草	3 番草	4 番草	5 番草	6 番草	7 番草
0	26 a	12 a	12 a	14 a	13 a	12 a	11 a
60	31 b	16 b	16 b	15 a	13 a	12 a	12 a
120	40 c	21 c	21 c	17 b	14 a	13 a	12 a
180	45 d	22 c	24 d	19 b	15 a	13 a	12 a

[1] 2002-2004 年の平均値. ただし, 7 番草は 2002, 2004 年の平均値.
同一列で同一文字を付した乾物収量に有意差なし($p<0.05$, Tukey 法).

表 2-5-5. 窒素施肥量がペレニアルライグラス兼用草地の窒素吸収量(kg/ha)に及ぼす影響.

窒素施肥量 (kg/ha)	乾物収量(kg/ha)[1]								
	採草期	放牧期							年間合計
	1 番草	2 番草	3 番草	4 番草	5 番草	6 番草	7 番草	放牧期合計	
0	13 a	4 a	4 a	8 a	8 a	7 a	3 a	35 a	48 a
60	22 ab	17 ab	13 a	11 ab	9 a	7 a	4 a	60 ab	82 ab
120	41 bc	31 bc	25 b	12 ab	8 a	7 a	4 a	87 bc	128 bc
180	61 c	42 c	32 b	15 b	9 a	8 a	4 a	110 c	171 c

[1] 2002-2004 年の平均値. ただし, 7 番草は 2002, 2004 年の平均値.
同一列で同一文字を付した窒素吸収量に有意差なし($p<0.05$, Tukey 法).

表 2-5-6. ペレニアルライグラスの窒素利用率および単位施肥窒素当たりの乾物増収量 [1].

窒素施肥量	窒素利用率(%)			単位施肥窒素当たりの乾物増収量(kg/kgN)		
(kg/ha)	採草期	放牧期	年間	採草期	放牧期	年間
90	29 a[2]	84 a	57 a	30 a	35 a	32 a
120	46 a	87 a	67 a	33 a	32 a	32 a
180	54 a	83 a	68 a	34 a	27 a	31 a

[1] 2002–2004 年の平均値.
窒素利用率(%)＝(処理区の窒素吸収量–無窒素区の窒素吸収量)/窒素施肥量×100.
単位施肥窒素当たりの乾物増収量(kg/kgN)＝(処理区の乾物収量–無窒素区の乾物収量)/窒素施肥量.
[2] 同一列内で同一文字を付した値の間に有意差($p<0.05$)なし.

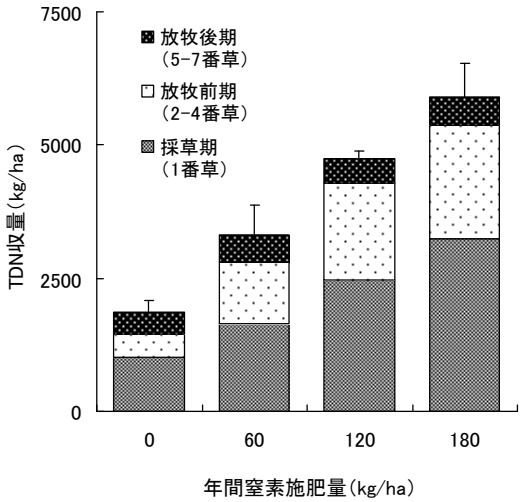

図 2-5-2　窒素施肥量がペレニアルライグラス兼用草地の TDN 収量に及ぼす影響.

[1)]2003, 2004 年の平均値. バーは年間 TDN 収量の標準偏差.

吸収量も増加した。しかし，放牧後期においてはいずれの区も低収であり，各番草の窒素吸収量も 3-9kg/ha とすべての区で 10kg/ha を下回り，窒素施肥量による差はほとんど見られなかった。

窒素利用率は採草期が 29-54%，放牧期が 83-87%，年間 57-68%であり若干 90kg 区が低い傾向があったが，有意差はなかった。単位施肥窒素当たりの乾物増加量は，採草期，放牧期とも 27-35kg/kg と同様の値であり，年間も 31-32kg/kg で窒素施肥量による影響はみられなかった（表 2-5-6）。

TDN 収量と飼料成分含有率

年間平均の TDN 含量は，それぞれ無窒素区が 65%と若干他の区よりも低かったが，それ以外は 69-70%と大きな差は見られなかった（データ省略）。および 3,565-5,576kg/ha の範囲であった（図 2-5-2）。2 年間平均の TDN 収量は採草期が 1,019-3,253kg/ha，放牧期が 853-2,649kg/ha 採草期と放牧期をあわせた合計収量は，1,872-5,902kg/ha であった。窒素施肥量と TDN 収量との関係は収量，窒素吸収量と同様であり，両年の合計 TDN 収量は他の区に比べて無窒素区が低く，180kg 区が最も高かった。この傾向は乾物収量の場合と類似していた。すなわち，採草期や放牧前期においては窒素施肥量が増えると TDN 収量が高まり，年間全体の TDN 収量も増加した。しかし，放牧後期においては各区とも 414-524kg/ha と低く，窒素施肥量による差はほとんど見られなかった。

3）考察

北海道立天北農業試験場（1996）によって提案されたマメ科率 15-50%の PR 集約放牧草地に対する窒素施肥法は，リン酸，カリウムとも年1回 6 月中下旬に施肥するものである。必要な施肥回数の減少は，酪農家の労力軽減に繋がり，省力化かつ効率の良い酪農経営に貢献すると考えられる。本研究ではこのような視点から，兼用草地の放牧期について混播（第 3 章 4 項），単播（本項）ともに施肥回数を 1 回と設定し，施肥量を検討した。

前項で述べたように，混播草地では 30kg/ha を採草期と放牧期に半量ずつの施肥を行えば，収量や窒素利用も良好で，番草による収量やマメ科率のばらつきも小さい草地管理が可能であった。しかし，本項での収量（表 2-5-3）や窒素吸収量（表 2-5-5）の結果を見ると，放牧期に対し 6 月下旬の 1 回の施肥だけでは，放牧後期に当たる 5-7 番草において深刻な収量，窒素吸収量低下をまねくことが明らかとなった。放牧においては基本的には草丈 20cm の利用が推奨されており（裏ら 1995），15cm でも問題はないとされているが（中村ら 2006），今回の放牧後期の各番草の草丈は 15cm 以下であり（表 2-5-4），実際の放牧地においては入牧するには尚早であることがうかがわれる。しかし，刈取間隔は 3 週間前後設けており，同時に行った混播の試験結果（第 3 章 4 項）が良好であったことから考えると，刈取り間隔が不適切であったとは考えづらく，施肥法が原因だと考えられる。PR は肥沃な環境を好み，肥沃度の低い場所では，他のイネ科植物が侵入しやすくなる傾向が大きい（Robson ら 1989）ことも併せ考慮すると，放牧期に対して 1 回の施肥は単播草地の兼用利用時においては肥切れによる低収を招き，植生の悪化を招く危険も大きいことから，単播草地の兼用利用時には不適当であると考えられる。

なお，今回の番草別の結果を見ると 8 月に刈取った 4 番草までは施肥による影響が出ているが，その後は施肥の影響がほぼ消失していること（表 2-5-3，表 2-5-5，図 2-5-1）を考えると，遅くとも 8 月中下旬にかけて，再度窒素施肥を行う必要があることが示唆される。放牧草地への施肥法について北海道施肥ガイド（木曽ら 2002）では，先述したマメ科率 15-50%の PR 集約放牧草地以外は年間 3 回に施肥を均等配分で行うことが推奨されているが，その施肥時期は早春，6 月中下旬の次の施肥時期が 8 月下旬とされており，今回の結果からの推察出来ることと一致する。

なお，窒素の肥効については単播採草地（第 2 章 2 項）と同様，窒素吸収量から窒素利用率と単位施肥窒素

当たりの乾物増収量を算出して調査した。単播採草地においては単位施肥窒素当たりの乾物増収量は160–210kg/ha に比べ，240 kg/ha では低下し，施肥効率の低下が示唆されたが，本項の単播兼用草地においては今回設定した範囲では窒素利用率，単位施肥窒素当たりの乾物増収量はいずれも処理間で有意な差はなかった。これらのことと，放牧後期においていずれの処理も肥切れが原因と思われる低収であったことを考えると，今回設定した 180kg/ha までの範囲では施肥窒素が環境に負荷を与える可能性は少ないことと，乾物生産において有効であることが示唆される。これらの事実を明らかにするためにも，適切な施肥配分の下での適正な施肥量のさらなる研究が急がれる。

また，今回は飼料成分への検討は TDN と TDN 収量のみであったが，TDN 含有率について無窒素区が他の区に比べ低いことと考えると，単播兼用草地については収量や窒素利用のみならず牧草の品質のためにも窒素施肥が必要であることが考えられる。採草地においては混播草地よりも単播草地の方が窒素施肥の飼料成分に及ぼす影響が大きい（第 2 章 2 項，第 2 章 3 項）ことを考えると，牧草品質や採草期に収穫した牧草のサイレージ適性などについて早急に検討を行う必要があると考えられる。

このように，兼用利用時の単播草地においては，混播草地と異なり，放牧期に対して 1 回の施肥では放牧後期の著しい低収により，PR の長所である放牧期を通した安定した生産性に欠けることから不適当であり，遅くとも 8 月下旬までに再度の施肥が必要であることが推察された。今後適切な施肥配分の下で，収量や飼料成分からみた窒素施肥量の検討が望まれる。

4）摘要

1 番草を採草し，その後約 3 週間毎（年間 5-6 回）に模擬放牧を行った北海道天北地方の PR 単播兼用草地を対象に年間窒素施肥量を 4 処理設け（0，60，120，180 kg/ha），適正な窒素施肥量を検討した。施肥配分は採草期用に早春，放牧期用に 1 番草刈取後とそれぞれ均等配分した。いずれの処理区も採草期や放牧期の前半では窒素施肥の増加により収量，窒素吸収量とも上昇したが，放牧期の後半においていずれの区も著しく低収であり，窒素施肥による影響はほとんど見られなくなった。このように単播草地の放牧期 1 回施肥は放牧後期において肥切れをもたらすことから不適当であり，遅くとも 8 月下旬までに再度の施肥が必要であることが推察され，施肥配分の再考が求められた。今後適切な施肥配分の下で，収量や飼料成分からみた窒素施肥量の検討が望まれる。

第 3 章　ペレニアルライグラスの採草利用時の生育・飼料特性

1．他草種（オーチャードグラス，チモシー）との乾物生産性と飼料価値の比較

前章では PR の窒素施肥法について検討を行ってきたが，天北地方では PR の他にも OG および TY が主たるイネ科牧草として栽培されている。今後，天北地方においてさらなる PR の普及を図るには，PR の採草用草種としての生育特性や飼料価値を OG や TY と比較し，それぞれの長所を生かした栽培法や経営内における採草地に用いる草種の割合を考えることが必要である。本報告ではこれら 3 草種の採草利用時における生育特性を調査するとともに，飼料成分，サイレージ発酵適性の指標となる糖と酸緩衝能を検討し，各草種の特徴を明らかにした。

1）材料と方法

供試草地

供試品種は PR が中生の「オウビスク」，OG が晩生の「バッカス」，TY が早生の「オーロラ」を用い，それぞれの草地を造成した。各草種の播種量はいずれも ha 当たり 30kg で，2004 年の 7 月に，暗色表層酸性褐色森林土に分類される（北海道立中央農業試験場 1993）上川農業試験場天北支場（以下，天北支場）圃場内に散播した。試験には，これらの草地を播種後 2 年目からの 2 年間（2005 年および 2006 年）用いた。年間の刈取り回数は PR と OG が 3 回，TY が 2 回である。いずれも 1 番草は出穂始から出穂期にかけて刈取り，各再生草はそれぞれ約 50 日の再生期間をおいて刈取った。2 年間の各草の刈取月日を表 3-1-1 に示す。

表 3-1-1　3 草種の刈取月日．

草種 [1]	番草	調査年（月/日） 2005 年	2006 年
PR	1	6/17	6/19
	2	8/10	8/ 7
	3	9/26	9/27
OG	1	6/17	6/13
	2	8/10	8/ 2
	3	9/26	9/22
TY	1	6/22	6/23
	2	8/22	8/18

[1]PR：ペレニアルライグラス，
OG：オーチャードグラス，TY：チモシー．

施肥は PR は第 2 章 1，2 の結果に基づき，OG と TY が北海道施肥ガイド（木曽ら 2002）に基づいた。すなわち，年間施肥量は ha 当たり窒素では PR が 210kg，OG が 180kg，TY が 160kg で，リン酸とカリウムはいずれの草種もそれぞれ 60kg，150kg である。施肥配分は PR と OG が早春，1 番草刈取り後，2 番草刈取り後に年間施肥量の 1/3 ずつを均等に，TY が早春，1 番草刈取り後にそれぞれ 2:1 の割合で分施した。

調査項目

生育と収量調査法

3 草種の経時的な生育調査は，越冬後の生育が始まったと見なした 5 月 10 日以降から 1 番草収穫時まで，約 10 日毎に行った。1 番草刈取り後は，いずれの草種もしばらくの間は生育が緩慢であったため，試料採取が可能になってから調査した。生育調査は乾物重と草丈，および固定コドラート(50cm×50cm)内の全茎数（有穂茎と伸長茎）を測定し，全茎数と乾物重から一茎重を算出した。

収量調査はいずれの草地も 1m² のコドラートを用いて（6 反復）行った。生草重を測定し，そのうちの一定量を採取して PR とその他の草種に選別した。その一部を Smith（1971）の方法に従い，ただちに 90℃で 1 時間乾熱し，呼吸関連酵素を失活させた。次いで，70℃で 48 時間以上通風乾燥させて乾物率を求め，ha 当たりの収量を乾物重で示した。草種構成割合は対象草種が 95%以上占めていたことから，収量は対象草種のみで表示した。なお，1 番草の各生育時期で調査した収穫部の乾物重を用いて，個体群生長速度（1 日当たりの乾物増加量，以下 CGR）を算出した。

化学分析法

各番草の収穫時の試料は，上記の方法で通風乾燥後粉砕し，各飼料成分を測定した。CP は湿式分解（水野ら 1980）し，フローインジェクション法（中島 1987）により定量した窒素含量に 6.25 を乗じて求めた。NDF，ADF，CA は常法（藤田 2001）により測定した。ミネラルは CP 用に湿式分解した液を用いて定量した。リン（以下 P）はバナドモリブデンを用いた比色法を，カリウム（以下 K），カルシウム（以下 Ca），マグネシウム（以下 Mg）は原子吸光法（後藤 1990）で分析した。

サイレージ適性は，3 草種の各種糖含量，糖組成，酸緩衝能から評価した。

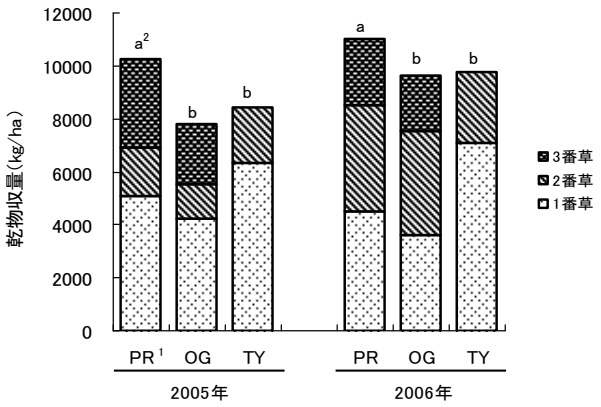

図 3-1-1 3 草種の番草別乾物収量

1)PR:ペレニアルライグラス, OG:オーチャードグラス, TY:チモシー.

2)各年の異なる文字を付した草種の年間収量に有意差あり.

($p<0.05$, Tukey 法)

WSC は熱水で 10 分間抽出し, 硫酸亜鉛と水酸化バリウムで除蛋白した後, アンスロン法によって定量した。単糖類, 二糖類の分析は選別後の新鮮試料を用いた。試料は 80%エタノールに一晩以上浸し, 磨砕抽出した抽出液を減圧濃縮した後に Sep-PakC18 で精製した。この試料を高速液体クロマトグラフィー(以下 HPLC)で測定した。HPLC のカラムは Shodex NH2P–50 4E を用い, 移動相 H_2O/CH_3CN=25/75, 流速 1.0mL/min, 示差屈折率検出器, カラム温度 35℃の条件下で分析した。

寒地型イネ科牧草において, WSC の主たる構成成分は単糖類, 二糖類, フラクタンである(増子 1994b)ことから, 次の式からフラクタン含量を推定した。

フラクタン含量＝WSC－(単糖類+二糖類)

各草種の酸緩衝能は, 2006 年の試料を用いて石川ら(2005)の方法で測定した。すなわち, 乾物で 0.5g の試料に蒸留水 50mL を加え, 攪拌しながら pH4 が最終点となるまで 0.1M 塩酸を 0.2mL ずつ加え pH の変化を記録し, pH4 に必要な塩酸の量(滴定酸度)を基に酸緩衝能を算出した。

気象条件

試験地の気象データは, 天北支場内にある稚内地方気象台浜頓別地域気象観測地点(アメダス)から得た。

2005 年の平均気温は 5 月が低かったが, それ以降は平年並かやや高かった。降水量は5月-7月にかけて平年より少なく推移し, 特に 6 月 15 日から 7 月 25 日までの 40 日間はほとんど降水が観測されなかったが, その後はほぼ平年並に推移した。日照時間は期間を通して平年並か平年を上回った。

2006 年の平均気温は, 4 月上旬-6 月中旬にかけて平年よりも低い旬が多く, その後 7, 8 月にかけては平年よりも高く推移した。降水量は 7 月と 9 月は平年よりも少なく, 日照時間は 5, 7 月が平年よりも長かったが, 降水量, 日照時間とも生育期間合計で見れば概ね平年並みであった。

2)結果

収量と収量構成要素

乾物収量を図 3-1-1 に示した。年間収量は, 各草種とも 2005 年が 2006 年より若干低かった。草種間では, 両年とも PR が最も多く, 2005 年が 10,250kg/ha, 2006 年が 11,020kg/ha であった。次いで TY が 8,410, 9,750kg/ha, OG が 7,800, 9,620kg/ha であった。番草別に見ると, 1 番草では TY が多収で, 2005 年が 6,320kg/ha, 2006 年が 7,110kg/ha であった。全ての番草において PR の収量は, OG と同等かこれよりも多かった。また, PR と OG の 2005 年の 2 番草収量は, 2006 年と比較して著しく少なかった。

1 番草の各生育時期の CGR は, いずれの草種も 2005 年は 5 月では低かったが, 6 月上旬から急激に高まった(図 3-1-2)。同じく, 2006 年は 5 月中旬では低く, 5 月下旬から上昇した。また, 2005 年は草種による大きな差は見られなかったが, 2006 年は PR が他草種に比べ 5 月下旬で低く, 6 月上旬で高かった。

再生草の乾物重の経時変化を図 3-1-3 に示した。PR と OG を比較すると, 2005 年では全ての時期において PR が OG を上回った。特に 2 番草において OG では 7 月中ほとんど増加しなかったが, PR では低水準ながらも増加を続けた。一方, 2006 年の 2 番草は両草種ともほぼ同等の生育を示し, 3 番草は PR が OG をやや上回ったが, その差は 2005 年よりも小さかった。TY の 2 番草は, 両年とも刈取り後 30 日程度は生育が緩慢であったが, その後生長が進み, 収穫時には OG の 3 番草並の収量が得られた。

全茎数は PR が 4,000-7,000 本/m², OG と TY が 1,000-3,000 本/m² の範囲であった(図 3-1-4)。1 番草における経時変化を見ると, OG と TY は 5 月中-下旬に最高になるが, その後 1 番草収穫時まで減少した。これに対し, PR は収穫時まで増加した。再生草の全茎数は TY では増加し, 逆に OG では減少したが, PR は年次により傾向が異なった。

一茎重の経時変化を図 3-1-5 に示した。一茎重は 3 草種とも生育の経過とともに増大し, 特に 1 番草の OG と TY では 6 月に著しく上昇した。OG の一茎重は多くの時期で

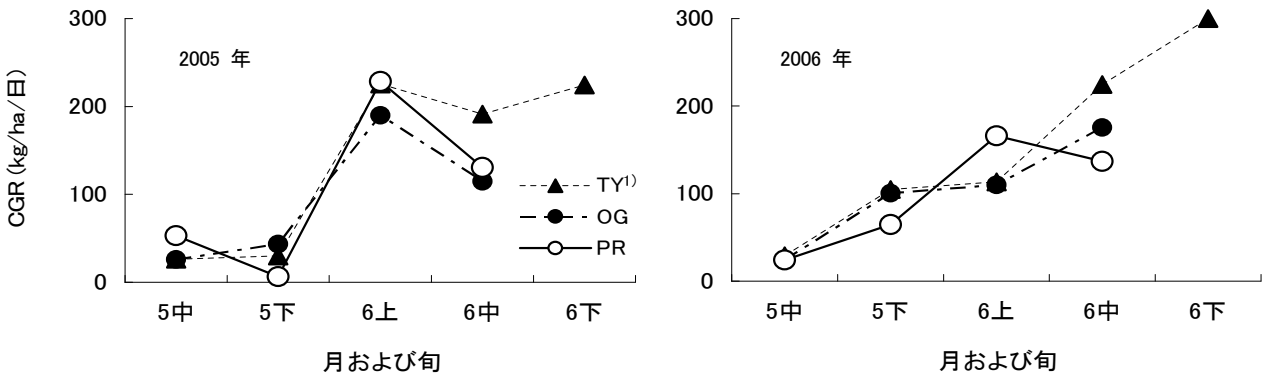

図 3-1-2　3 草種の 1 番草生育時における個体群生長速度（CGR）の経時変化

1)PR：ペレニアルライグラス，OG：オーチャードグラス，TY：チモシー．

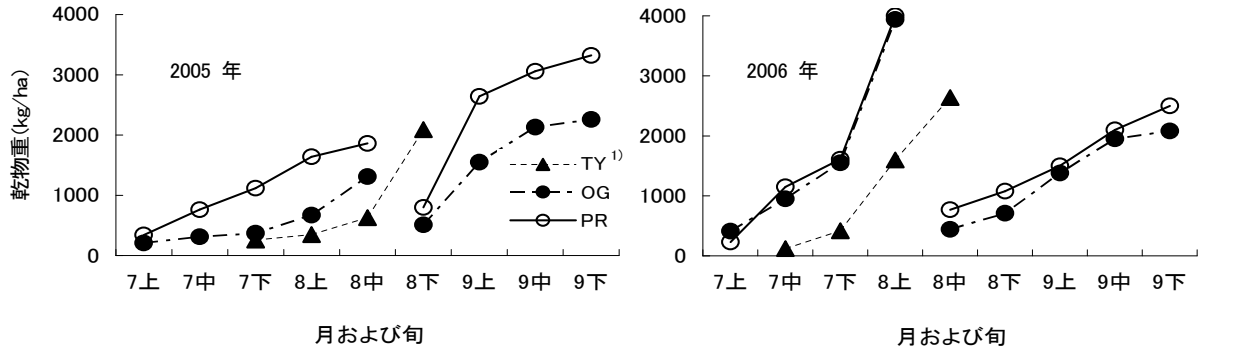

図 3-1-3　3 草種の再生草における乾物重の経時変化

1)PR：ペレニアルライグラス，OG：オーチャードグラス，TY：チモシー．

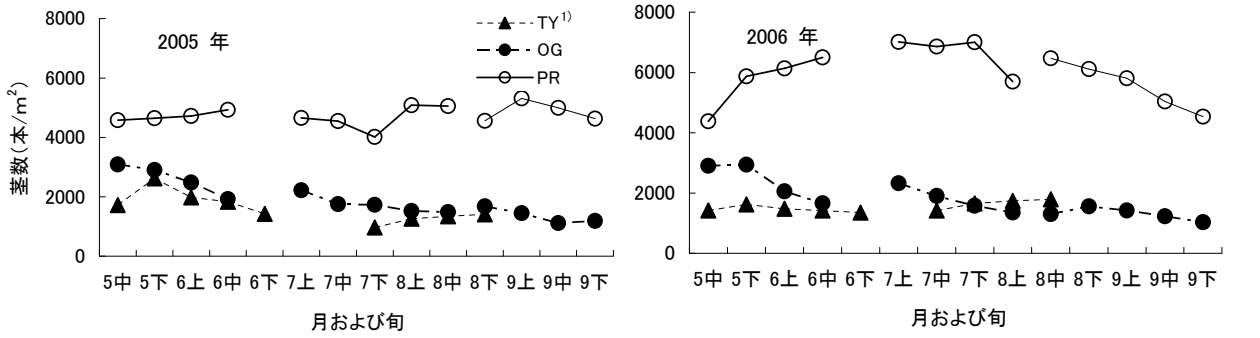

図 3-1-4　3 草種における茎数の経時変化

1)PR：ペレニアルライグラス，OG：オーチャードグラス，TY：チモシー．

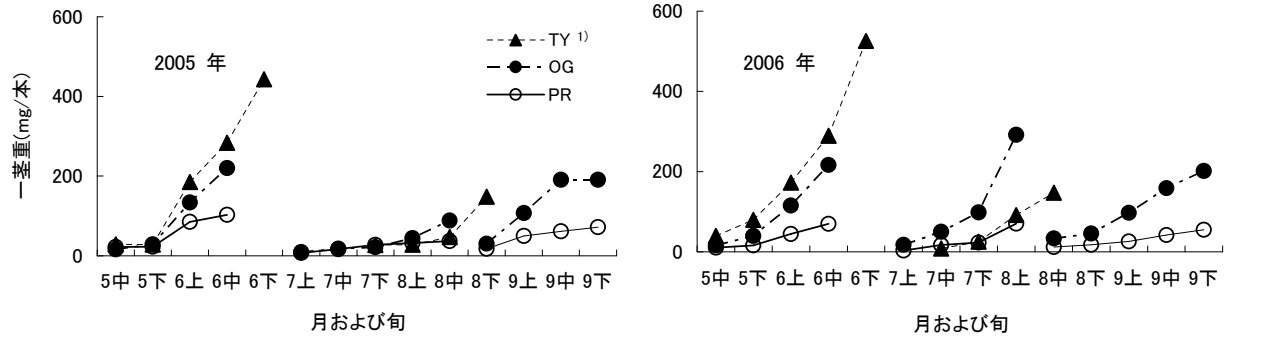

図 3-1-5　3 草種における一茎重の経時変化

1)PR：ペレニアルライグラス，OG：オーチャードグラス，TY：チモシー．

PR よりも大きかったが，2005 年の 2 番草の 7 月時点では両草種とも大差がなかった。収穫時の PR の一茎重は TY，OG と比較すると小さかった。

飼料成分，各種糖含量および酸緩衝能

各草種の飼料成分を表 3-1-2 に示した。ADF は PR が 16.6-29.9%，OG が 23.3-35.9%，TY が 28.2-37.0%であった。NDF は PR が 32.4-55.4%，OG が 45.4-64.6%，TY が 52.7-65.4%であった。両年の ADF，NDF とも全ての番草において TY，OG，PR の順で高かった。一方，CA は草種間に大きな差はなかったが，
CP は PR が OG や TY より高い傾向であった。ミネラルでは，P，K，Mg は草種間の違いが判然としなかったが，Ca では PR が他草種を上回ることが多かった。ミネラルバランスを草種別に見ると，PR は他草種よりも Ca/P が高く，K/(Ca+Mg)が低かった。なお，家畜飼養や家畜栄養の観点から，Ca/P は 1-3，K/(Ca+Mg)は 2.2 以下が基準値として設けられている（木曽ら 2002，雑賀 1990）が，OG と TY の一部を除いて，3 草種とも概ねこの範囲内であった。

3 草種の乾物当たりの各種糖含量を表 3-1-3 に示した。WSC は PR が 10.6-34.4%，OG が 5.2-24.2%，TY が 7.5-13.2%であり，PR が他草種に比べ高い傾向が見られた。特に，2005 年の TY の 2 番草を除くと，両年の全ての番草において PR の WSC は OG と TY を上回った。単糖類としてフルクトース（以下 Fru）とグルコース（以下 Glu）が検出され，二糖類としてスクロース（以下 Suc）が検出されたものもあった。PR の Fru 含量は 1.4-4.4%，Glu 含量が 1.1-3.8%，Suc 含量は 1.5%以下で，単糖類・二糖類は OG と同等であったが，TY よりやや高かった。また，PR のフラクタン含量は 7.2-28.8%で，一般に OG や TY よりも高い例が多かった。

これらの値から算出した WSC 中における各草種の糖組成を表 3-1-4 に示した。概して PR は単糖類の割合が低く（12-48%），フラクタンの割合が高い（48-84%）傾向にあった。また，3 草種とも 2005 年は 2006 年よりも単糖類が高く，フラクタンの割合が低いことが多かった。

PR の乾物当たりの酸緩衝能は 0.17-0.22 mE/g で，同じく TY が 0.18-0.19mE/g，OG が 0.17-0.18mE/g であった（表 3-1-5）。3 草種の酸緩衝能を比較すると，再生草において PR が他の 2 草種に比べてやや高い値を示すものの，草種間で大きな差は認められなかった。

3）考察

生育特性

年間収量は 2 年間とも PR>TY≒OG であり，PR が最も高かった（図 3-1-1）。PR が高収をあげた主な原因として，窒素施肥量が ha 当たり 210kg と 3 草種中で多かったことが考えられる。この施肥量は岡元ら [13]に準じたものだ

表 3-1-2 3 草種の収穫時における飼料成分とミネラルバランス.

			一般成分（乾物%）				ミネラル含量（乾物%）				ミネラルバランス [1]	
年次	草種 [2]	番草	ADF	NDF	CA	CP	P	K	Ca	Mg	Ca/P	K/(Ca+Mg)
2005	PR	1	23.5	45.8	6.8	10.5	0.21	1.17	0.26	0.09	1.2	1.48
		2	22.9	41.1	9.2	21.2	0.31	1.76	0.31	0.16	1.0	1.59
		3	24.1	45.0	9.9	22.2	0.29	3.16	0.59	0.23	2.1	1.67
	OG	1	31.3	58.8	6.3	8.1	0.17	1.31	0.22	0.08	1.3	1.89
		2	23.6	47.4	9.7	20.2	0.37	2.20	0.24	0.17	0.7	2.14
		3	28.1	50.7	8.3	18.0	0.27	3.28	0.39	0.21	1.5	2.27
	TY	1	33.8	62.1	6.4	8.2	0.18	1.37	0.18	0.09	1.0	2.15
		2	28.2	52.7	7.8	9.4	0.27	1.54	0.22	0.18	0.8	1.54
2006	PR	1	16.6	32.4	5.9	8.2	0.26	1.95	0.53	0.15	2.0	1.28
		2	29.9	55.4	8.1	10.7	0.25	2.08	0.69	0.21	2.8	1.04
		3	26.1	46.3	9.7	12.2	0.39	2.97	0.76	0.27	2.0	1.27
	OG	1	23.3	45.4	6.9	9.8	0.29	2.96	0.39	0.21	1.4	2.06
		2	35.9	64.6	8.2	7.6	0.30	2.63	0.53	0.21	1.8	1.53
		3	32.4	56.7	10.2	9.6	0.43	3.59	0.50	0.23	1.2	2.08
	TY	1	31.7	56.9	6.8	9.2	0.27	2.87	0.39	0.21	1.4	2.03
		2	37.0	65.4	6.7	10.6	0.30	2.84	0.41	0.21	1.4	1.95

[1] ミネラルバランスは Ca/P は重量比、K/(Ca+Mg)は当量比.

[2]PR：ペレニアルライグラス，OG：オーチャードグラス，TY：チモシー.

表 3-1-3　3 草種の糖含量.

年次	草種 3)	番草	糖含量(乾物%)				
			Fru1)	Glu	Suc	フラクタン	WSC
2005	PR	1	2.9	3.8	-2)	16.8	23.5
		2	1.8	1.6	-	7.2	10.6
		3	4.4	3.7	0.6	8.1	16.8
	OG	1	3.7	3.5	0.1	4.9	12.3
		2	1.1	1.2	0.2	2.7	5.2
		3	1.8	1.7	0.2	11.3	14.9
	TY	1	1.4	3.5	0.1	2.5	7.5
		2	1.3	2.3	-	9.6	13.2
2006	PR	1	1.6	2.5	1.5	28.8	34.4
		2	1.4	1.1	0.1	10.9	13.5
		3	1.8	1.7	0.9	10.3	14.7
	OG	1	2.7	2.5	2.3	16.7	24.2
		2	1.0	0.9	0.2	3.6	5.7
		3	1.9	1.8	1.3	2.6	7.7
	TY	1	1.0	2.5	0.3	5.2	9.0
		2	0.9	2.1	0.4	6.7	10.0

1) Fru：フルクトース（単糖類），Glu：グルコース（単糖類），
Suc：スクロース（二糖類），WSC：水溶性炭水化物，
フラクタンの推定式：
フラクタン含量（乾物%）＝WSC-（Glu+Fru+Suc）.
-2) は検出限界以下.
3) PR：ペレニアルライグラス，OG：オーチャードグラス，
TY：チモシー.

が，同報告の中で PR は 240kg/ha までの範囲では窒素吸収量および窒素利用率が施肥量の増加とともに高まっており，PR が比較的吸肥力の強い草種であり，多く窒素を施肥しても有効に利用されることを示している。また，窒素施肥量が増加すると飼料成分が低下する（Douglas・Crawford 1993, Lovett ら 2004）危惧はあるが，今回の結果を見ても PR は他草種と比較して ADF，NDF が低いことから（表 3-1-2），繊維成分から判断した飼料品質は良質であり，設定された PR の窒素施肥量が妥当であることを裏付ける。

TY と OG を比較すると，TY は窒素施肥量と刈取り回数が少ないにもかかわらず，OG と同等の収量が得られた。これは TY が OG より 1 番草の収量が非常に高いことが大きく影響している。松中・川田（2007）は TY が OG，メドウフェスクより多収であった理由として，TY は 1 番草の生育期間が日射量最多の 6 月に他草種よりも長く，またその時期の葉面積指数も高いことから，1 番草の窒素施肥反応に優れていることを挙げている。図 3-1-2 から分かるように，草種・年次にかかわらず 1 番草の 6 月における CGR は 5 月と比較して非常に高いが，特に TY はこの時期の生育期間が長いことから，本結果は上記の松中・川田の見解と

表 3-1-4　3 草種の各種糖組成.

年次	草種 2	番草	糖組成(%) 1)		
			単糖類	二糖類	フラクタン
2005	PR	1	28	0	72
		2	32	0	68
		3	48	4	48
	OG	1	59	1	40
		2	44	3	53
		3	23	1	76
	TY	1	65	1	33
		2	27	0	73
2006	PR	1	12	4	84
		2	18	1	81
		3	24	6	70
	OG	1	21	10	69
		2	34	3	62
		3	48	17	34
	TY	1	39	3	58
		2	30	4	67

1) 水溶性炭水化物（WSC）中の組成割合.
フラクタンの算出は表 3-1-3 と同じ.
2) PR：ペレニアルライグラス，OG：オーチャードグラス，
TY：チモシー.

符合する。すなわち，TY は OG よりも刈取りが遅いため，6 月の CGR が高い時期を有効に活かした結果，窒素施肥反応に優れ高い 1 番草収量が得られたと考えられる。

降水量との関係について見ると，2005 年の 6 月 15 日-7 月 25 日に発生した干ばつの影響が確認された。特に収量を見ると 2005 年の PR，OG の 2 番草は 2006 年と比較して非常に少なく（図 3-1-1），また TY も 1 番草刈取り後 40 日が経過した 8 月上旬においても再生が著しく悪く，350kg/ha に止まっている（図 3-1-3）。OG 2 番草は生育初期の 20 日間に水分供給がないと，深刻な収量低下

表 3-1-5　3 草種の酸緩衝能（2006 年）

草種 1)	番草	酸緩衝能（mE/乾物 g）
PR	1	0.17
	2	0.22
	3	0.20
OG	1	0.17
	2	0.17
	3	0.18
TY	1	0.18
	2	0.19

1) PR：ペレニアルライグラス，
OG：オーチャードグラス，TY：チモシー.

を招くと報告(中辻ら 2005)されているが，本試験(OG の 1 番草刈取り日:2005 年 6 月 17 日，2006 年 6 月 13 日)もそれを支持する結果となっている。また，今回の結果をみる限り，PR もこの期間の水不足が収量低下の一因となっていると思われた。ただし，PR は無降水の状態でも TY や OG に比べ地上部が増加し続けており，降水後の生育や 3 番草の生育も良好であった。海外においては，PR は OG よりも耐乾性が強い(Jackson 1974)との報告があり，PR の耐乾性に関する機作については，今後詳細に検討する必要がある。一方，TY は生育途中一時的に干ばつの被害がみられたが，2 番草収量への影響は PR や OG ほど大きくはなかった。この理由の一つとして，TY の 2 番草収穫日が他草種に比べ遅いため，干ばつ状態が解消されてから収穫までの期間が長かったことが考えられるが，TY の乾燥ストレスに対する反応が他草種と異なる可能性も示唆される。

茎数は 1 番草の生育期間を通して TY と OG は減少したが，PR では増加し続けた。一茎重は TY，OG は 6 月に入ると急激に増大したが，PR の増加はこれらと比較すると小さかった。一般に OG は栄養生長期(天北地方では 5 月中旬に該当)(坂本 1984)，TY は幼穂形成期(同 5 月下旬)(藤井ら 2007，松中 1987b)に茎数がピークを迎え，その後は群落間の相互遮へいなどにより弱小な分げつが枯死し，両草種の茎数は減少する。しかし，PR は TY，OG よりも密度が高いにもかかわらず，このような現象が発生しなかったか，それを上回る分げつの発生があったと思われる。これらの結果から，1 番草の収量増加要因が OG と TY の場合は有効分げつ(全茎数)の一茎重の増加が大きかったのに対し，PR の場合はそれに加え新規分げつの発生も関与していると推察される。

2 番草の茎数を TY と OG で比較すると，TY が増加しているのに対し，OG では減少していた。これは再生茎の違いに基づくと考えられる。すなわち，TY においては 1 番草における伸長茎のほとんどが生長点を切除されて 1 番草刈取り後に枯死し(藤井ら 2007，松中 1987b)，新しく分げつが発生するため茎数が徐々に増加するのに対し，OG は既存分げつの多くが迅速に再生するため(坂本 1984)，茎数が早期にピークを迎え，その後は上述の相互遮へいなどにより弱小分げつが枯死し，減少していくものと理解される。

以上のことから，PR の年間乾物収量は他の 2 草種より高く，また，ほぼ全ての番草で OG の収量を上回った。一方，TY は 1 番草が非常に高収であった。1 番草の主な収量の増加要因を解析すると，TY や OG が一茎重の増大であるのに対し，PR は分げつ数の増加も関与している特徴が示された。これらのことから，PR は従来から採草利用されている TY や OG と比較しても高い乾物生産を示し，採草用草種としても十分利用価値を有すことが明らかとなった。

飼料特性

PR は他草種と比較すると，飼料成分では ADF，NDF が低く，CP も同等か上回った。また，ミネラルでは Ca が高く，ミネラルバランスも Ca/P が高く，K/(Ca+Mg)が低かった。これらからすると，PR は 3 草種の中で最も良質な粗飼料であると考えられる。

一般的に WSC(Jones・Roberts 1991)や単糖類・二糖類(Mayland ら 2000)含量が高いほど，乳牛の嗜好性に良い影響を与えると言われている。本結果では，PR の単糖類・二糖類は OG と同等であったが TY よりやや高く，WSC は 3 草種中最も高かった(表 3-1-3)。PR の嗜好性は他のイネ科牧草と比較して高い(坂東ら 1997)が，各糖類の高含量はそれらを裏付けている。

本試験は各草種の採草利用を想定した検討であるため，サイレージ適性も評価の重要な要素である。グラスサイレージの良質発酵には WSC 含量が乾物中 10%以上必要であると指摘されているが(増子 1999)，PR は全ての番草で 10%を超えるとともに，各番草で OG を上回った(表 3-1-3)。また，サイレージ発酵にはフラクタンの影響も大きい(第 3 章 2 章)が，PR はフラクタン含量および WSC におけるフラクタンの割合とも他草種より高かった(表 3-1-3，3-1-4)。これらの点から見ても，PR は良質発酵への好条件を備えている草種であると言える。

一方，PR の酸緩衝能は再生草で他草種より若干高い傾向であったが，その差はわずかである(表 3-1-5)。もともと酸緩衝能は発酵品質に対し決定的な要因ではなく副次的(増子 1994)であり，材料草の糖含量が十分ある場合は酸緩衝能の影響はほとんどない。すなわち，PR は両年の全番草で WSC が 10%以上あるので，良好な発酵品質が期待される。なお，サイレージ適性を考える際に PR は OG に比べ予乾時の水分低下が遅い(坂東ら 1998)との指摘もあるが，近年では飼養規模の大型化に伴い貯蔵形式も予乾の必要のないバンカーサイロなどを用いたダイレクトカットサイレージが主流となると想定されるため，PR が有する予乾の問題点は今後重要ではなくなると思われる。

このように，PR は放牧に限らず採草用としても，OG，TY より飼料品質が良好で WSC，フラクタン含量等が高く，サイレージ発酵にも適していることが明らかになった。したがって，採草利用下の乾物生産等の生育特性も考慮する

と， PR を従来からの草種である OG, TY と組み合わせて利用すれば，天北地方における効率的な自給粗飼料の生産に貢献すると思われる。

4）摘要

PR と OG を年間 3 回刈り，TY を年間 2 回刈りの条件で，その生育特性を経時的に調査した。PR の年間乾物収量は ha 当たり 10,000-11,000kg と他の 2 草種より高く，また全ての番草で OG の収量を上回った。一方，TY は 1 番草で ha 当たり 6,000-7,000kg の高収が得られた。主な収量の増加要因は，1 番草では TY や OG が有効分げつの一茎重の増大であるのに対し，PR は分げつ数の増加も関与している特徴が示された。一般に PR は他草種よりも飼料品質が良好で，水溶性炭水化物やフラクタン含量が高く，サイレージ発酵にも適していた。以上のことより，PR は放牧に限らず採草用としても利用価値の高い草種であり， OG, TY と組み合わせて利用すれば，天北地方における効率的な自給粗飼料の生産に貢献できると思われる。

2. 窒素施肥が糖含量とサイレージ発酵に及ぼす影響

前章において，PR 単播採草地では窒素施肥量が増えると WSC 含量が低下したが，その組成の変化についてはいまだ知られておらず，サイレージ発酵に及ぼす影響についてもわかっていない。さらに放牧などの短草利用時と採草利用時の糖組成の違いも不明である。

そこで本項では，天北地方において，PR の窒素施肥量の違いが各種糖組成やサイレージの発酵品質に及ぼす影響について，放牧利用との比較も含めて検討した。

1）材料と方法

供試草地（採草地）

採草地は第 2 章 2 と同じ圃場を用いた。すなわち PR の晩生品種「ポコロ」を用い，2001 年 9 月に播種量 30kg/ha で散播により完全更新した草地であり，前歴はアルファルファの採草地である。この採草地を更新後 2 年目から 3 年間窒素施肥量を変えて栽培を継続して行い，本試験では処理開始 3 年目にあたる 2004 年に収穫した牧草を分析に供した。

PR の刈取管理は年 3 回刈りとした。1 番草は出穂始めの 6 月 16 日に刈取り，2 番草および 3 番草はそれぞれ 8 月 3 日， 9 月 27 日と約 50 日の再生期間をおいて地際から 5cm の高さで刈取った。

年間合計窒素施肥量は ha 当たり 90，180，240kg 施肥する区を設け，窒素肥料は尿素を用いた。リン酸とカリの年間合計施肥量は，各区共通で それぞれ 60 および 150kg/ha とし，リン酸肥料は過リン酸石灰を，カリ肥料は硫酸カリウムを用いた。施肥配分は第 2 章 1 の結果に基づき，早春，1 番草刈取直後，2 番草刈取直後にそれぞれ 1/3 ずつ施肥する年 3 回の均等施肥とした。

供試草地（模擬放牧地）

上記の圃場とは別に，放牧利用を想定して多回刈りを行う草地を 2003 年 8 月に完全更新し,2004 年に試験を行った。前歴は採草地である。品種は採草地と同様に晩生の「ポコロ」を用い，播種量 25kg/ha で散播により播種した。放牧環境に類似した生理生態学的条件にするために，草丈が 20cm になった時点で毎回地際から 6cm の高さで刈取り，年間 9 回刈取りを行った。分析試料は夏期に当たる 7 月 5 日に刈取った 4 番草と秋期に当たる 9 月 10 日に刈取った 7 番草を用いた。

窒素，リン酸およびカリウムの年間施肥量は，それぞれ 150，80，150kg/ha とし，それぞれ尿素，過リン酸石灰，硫酸カリウムを用いた。施肥は 4 月 22 日，6 月 21 日，8 月 23 日にそれぞれ年間施肥量の 1/3 ずつを均等に分施した。

収量調査と牧草分析

収量調査はいずれの草地も 1m² のコドラートを用いて刈取って，生草重を測定し，そのうちの一定量を採取して PR とその他の草種に選別した。Smith（1971）の方法に従い，その一部をただちに 90℃で 1 時間乾熱し，呼吸関連酵素を失活させた。次いで，70℃で 48 時間以上通風乾燥させて乾物率を求め，ha当たりの収量を乾物重で示した。なお，草種構成割合は PR が 95%以上であったことから，収量は PR のみで表示した。模擬放牧地の 4 番草は葉（葉身）と茎（葉鞘も含む）に分けた。7 番草は茎がほとんどないため，部位別には分けなかった。

各種の単糖類・二糖類の分析は選別後の PR の新鮮試料（または凍結試料）を用いた。試料は 80%エタノールに一晩以上浸し，磨砕抽出した抽出液を減圧濃縮した後に Sep-PakC18 で精製した。この試料を HPLC を用いて測定した。HPLC のカラムは Shodex NH2P–50 4E を用い，移動相 H_2O/CH_3CN=25/75，流速 1.0mL/min，示差屈折率検出器 RI，カラム温度 35℃の条件下で分析した。一方 WSC の分析は通風乾燥後に粉砕した PR 試料を供試し，熱水で 10 分間抽出し，硫酸亜鉛と水酸化バリウムで除蛋白した後に，アンスロン法（大崎 1990）によって定量した。

WSC の主たる構成成分が単糖類，二糖類，フラクタンである（増子ら 1994b）ことから，次の式を用いてフラクタン含量を推定した：フラクタン含量（推定）＝WSC－（単糖類+二糖類）。

サイレージ調製と発酵品質評価

採草地において収穫した牧草を用いて，パウチ法（田中・大桃 1995）を基に考案した圧縮袋法（岡元ら 2004）によってサイレージに調製した。すなわち，牧草約 1kg を収穫後ガラス室において一定時間（晴天時 4-5 時間，曇天および雨天時は約 16 時間）予乾した後に約 5cm に細断し，酸素吸収剤・インジケータを同封した圧縮袋に充填した。

サイレージは 50 日以上貯蔵した後で開封し，抽出液を作成した後， VBN（揮発性塩基態窒素）/TN（全窒素）と VFA（揮発性脂肪酸）を定量し，V-score を算出（蔡 2004）して品質を評価した。

表 3-2-1. ペレニアルライグラスの乾物収量.

草地の種類	窒素施肥量 (kg/ha)	番草別収量(kg/ha) 1	2	3	4	5	6	7	8	9	年合計
採草地	90	2835 a[1]	937 a	970 a							4743 a
	180	3647 b	2373 b	2194 b							8214 b
	240	4145 b	2736 c	2664 b							9545 c
模擬放牧地	150	739	886	827	1020	645	643	917	355	377	6410

[1]同一列で同一文字を含む処理間に有意差(p<0.05)なし(採草地の処理区のみ).

表 3-2-2.　ペレニアルライグラスの糖類含量(%DM).

草地	番草	刈取月日	窒素施肥量 (kg/ha)	部位	WSC	フラクタン[1] (推定)	単糖類 Fru[2]	単糖類 Glu[2]	二糖類 Suc[2]	二糖類 Mal[2]	単小糖合計
採草地	1	6/16	90	-	31.2	25.1	2.16	1.77	2.21	-	6.14
			180	-	28.0	20.7	2.59	1.62	3.08	-	7.29
			240	-	24.8	16.4	4.07	2.65	1.65	-	8.37
	2	8/3	90	-	12.5	4.6	1.80	1.57	4.49	-	7.86
			180	-	11.1	3.4	1.60	2.00	4.06	-	7.65
			240	-	8.7	2.1	1.93	1.86	2.79	-	6.58
	3	9/27	90	-	14.5	6.7	2.51	5.22	0.11	-	7.83
			180	-	14.2	5.3	3.03	5.74	0.10	-	8.87
			240	-	12.5	3.8	2.85	5.85	0.03	-	8.72
模擬放牧地	4	7/5	150	葉	13.1	7.4	2.42	2.16	1.14	0.44	5.72
			150	茎	7.8	3.7	2.07	1.65	0.34	0.30	4.06
	7	9/10	150	-	6.4	0.8	2.07	2.03	1.49	-	5.59

[1]フラクタンの推定式;フラクタン(推定)＝WSC-(単糖類+二糖類).
[2]Fru:フルクトース, Glu:グルコース, Suc:スクロース, Mal:マルトース.

表 3-2-3. ペレニアルライグラスサイレージの VBN 比率, VFA 含量および V-score.

番草	窒素施肥量 (kg/ha)	VBN/TN (%)	VFA(%FM) 酢酸	VFA(%FM) プロピオン酸	VFA(%FM) 酪酸	V-score[1] (点)
1	90	3.68	0.06	0.03	0.05	96
	180	3.25	0.08	0.04	0.00	100
	240	3.57	0.07	0.05	0.00	100
2	90	6.65	0.03	0.02	0.00	97
	180	7.52	0.04	0.02	0.10	87
	240	8.66	0.10	0.05	0.25	73
3	90	4.90	0.07	0.02	0.05	96
	180	5.47	0.10	0.00	0.06	95
	240	6.17	0.07	0.02	0.10	90

[1] 80 点以上:良, 60-80 点:可, 60 点以下:不良.

表 3-2-4. ペレニアルライグラスサイレージの発酵品質と原料草の糖類含量との相関.

発酵品質	WSC	フラクタン (推定)	単糖類 Fru[1]	単糖類 Glu[1]	二糖類 Suc[1]	単少糖合計
酢酸	0.04	0.03	0.48	0.42	-0.63	0.10
プロピオン酸	0.33	0.37	0.20	-0.56	0.25	-0.52
酪酸	-0.57	-0.52	-0.39	0.00	0.00	-0.33
VBN/TN	-0.89 **	-0.85 **	-0.60	-0.03	-0.28	0.03
V-score	0.65	0.59	0.48	0.09	-0.14	0.31

**は p<0.01 で有意な相関を示す.
[1]Fru:フルクトース, Glu:グルコース, Suc:スクロース, Mal:マルトース.

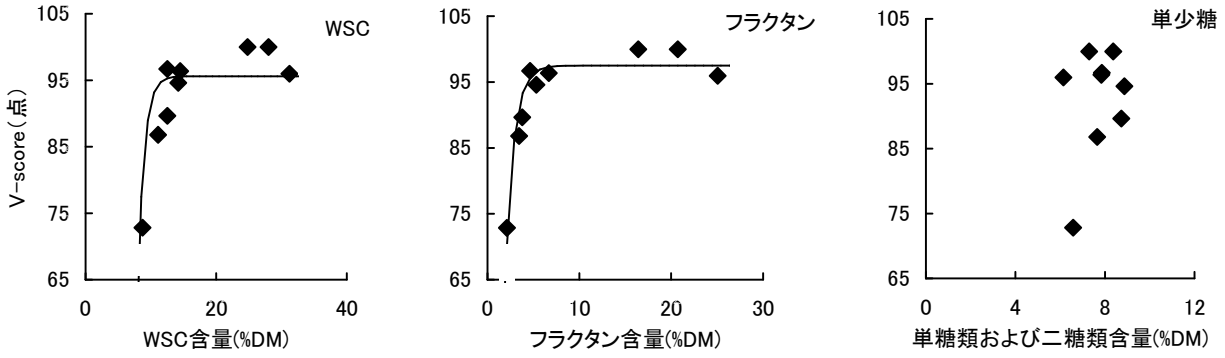

図 3-2-1. ペレニアルライグラスにおけるサイレージの V-score と原料草各種糖含量との関係.

2)結果

PR の 2004 年の平均乾物収量を表 3-2-1 に示す。採草地では 90kg/ha 区は年間合計乾物収量が 4743kg/ha であったが，180，240kg/ha 区はそれぞれ 8214，9545kg/ha であった。番草毎の乾物収量は 90kg/ha 区の 2,3 番草以外は 2000kg/ha を上回り，他の年の試験および他草種と比較しても概ね天北地方における標準的な収量であった。模擬放牧地においては，9 月上旬の 7 番草までは 600-1050kg/ha で，9 月下旬の 8 番草，10 月中旬の 9 番草は 350-400kg/ha の水準であった。

糖類の分析結果を表 3-2-2 に示した。WSC 含量(%DM)は採草地では 1 番草で 24.8-31.2%と高く，2，3 番草ではそれぞれ 8.7-12.5%，12.5-14.5%であり，窒素施肥量の増加に伴い減少した。模擬放牧地では放牧草の 4 番草は茎と葉においてそれぞれ 7.8%および 13.1%，7 番草は 6.4%であった。

単糖類の Fru と Glu，二糖類の Suc は採草地のすべての試料から検出され，模擬放牧地ではさらに一部マルトース(以下 Mal)が検出された。各種の糖含量は，採草地の 1-3 番草で Fru が 1.60-4.07%，Glu が 1.57-5.85%，Suc が 0.03-4.49%だった。番草別にみると，Fru は 1 番草と 3 番草で高く，2 番草では 1%台であった。Glu は 3 番草ではいずれも 5%台と高く，1 番草，2 番草は 1-2%台であった。Suc は 3 番草が 0.03-0.11%と他の番草に比べ際立って低かった。窒素施肥による影響をみると，単糖類では 1 番草の Fru が窒素施肥により若干高まった以外には明確な傾向が見られないのに対し，二糖類である Suc は再生草において窒素施肥量の増加に従って概ね減少する傾向が見られた。一方模擬放牧地についてみると，単糖類含量は 4,7 番草双方で Fru が 2.07-2.42%，Glu が 1.65-2.16%であった。二糖類は 4 番草では茎よりも葉に多く存在し，茎では Suc，Mal とも 0.30-0.34%程度であったのに対し，葉では Suc が 1.14%，Mal が 0.44%であった。7 番草では Mal は検出されず，Suc が 1.49%であった。

WSC 含量と単小糖含量から推定したフラクタン含量は 1 番草が 16.4-25.10%と高く，2 番草，3 番草はいずれも 10%以下であった。いずれの番草も窒素施肥によりフラクタン含量が減少した。一方模擬放牧地では，4 番草では茎よりも葉に多く含まれ，7 番草ではフラクタン含量は 0.8%と著しく低かった。

採草地で得られた牧草を用いて調製したサイレージの VBN/TN，VFA 含量，および V-score を表 3-2-3 に示す。VBN/TN は 2 番草が 6.6-8.7%とやや高く，次いで 3 番草(4.9-6.2%)であり，1 番草は 3%台と低かった。窒素施肥量との関係をみると，2，3 番草では窒素施肥量が増えると VBN/TN も増加した。VFA の酢酸とプロピオン酸はいずれのサイレージも 0.1%以下であったが，酪酸は 240kg/ha 区の 2 番草では 0.1%を超え，0.25%とやや高い値を示した。これらから算出した V-score は概ね 80 点以上で「良」の評価が得られたが，240kg/ha 区の 2 番草では 73 点で「可」の評価となり，他に比べ低かった。

サイレージの発酵品質と原材料の糖類含量におけるそれぞれの単相関を表 3-2-4 に表す。WSC と VBN/TN，フラクタンと VBN/TN の間にそれぞれ有意な負の相関が見られた。これらの相関はそれぞれ 1%水準で有意であった。V-score と各種糖の含量との関係を検討した(図 3-2-1)。WSC とフラクタン含量の増加に対する V-score の反応は頭打ちになっていたことから，指数関数式

表 3-2-5. ペレニアルライグラスサイレージの V-score と原料草の糖類含量との関係への指数曲線当てはめの結果.

糖類含量	WSC	フラクタン（推定）	単糖類＋二糖類
a	-1.40×10^{-5}	-115.61	-3485
b	1.40×10^{-5}	212.66	3579
決定係数	0.89	0.96	0.28
P	< 0.001	< 0.001	> 0.05

1) a と b は $y=a+b\times(1-e^{-x})$ の式におけるパラメータ.

［$y=a+b\times(1-\exp(-x))$; y は V-score, a と b はパラメータ, x は糖組成含量（%DM）］を適用したところ，フラクタンと WSC との関係において良好な当てはまりを示した（表 3-2-5）。

$$y=a+b\times(1-\exp(-x))$$

ここで y は V-score, a と b はパラメーター, x は糖成分含量を示す。

3）考察

採草地で得られた牧草の WSC 含量は，前項（第 2 章 2）で得られた値に比べ，2 番草および 3 番草で低い値を示し，特に 2 番草では 10%近くと低かった。前項で分析に供した牧草は 2002 年および 2003 年に得られたものであるが，これらの年が全般に夏期冷涼な年であるのに対し，本試験に供した牧草を得た 2004 年は夏期温暖な年であった。PR は高温による飼料成分の変動が大きい草種であるため（石栗 1981），夏期においてこのような WSC 含量の差が生じたものと推察される。ただし，240kg/ha 区の 2 番草以外では WSC 含量が 10%以上であり，模擬放牧地においても，採草地においても概ね平年並みの収量が得られたことから，2004 年が特異な気象条件であったと考える必要はないと考えられた。

一般に PR を含めた C3 植物は，光合成の結果，同化産物として Suc を生じる。シンクまでは Suc の形態で師管内を移動し，生長エネルギーとして利用される時は単糖類として存在する（杉山 1993）。また，PR を含めた寒地型牧草における炭水化物の貯蔵形態はフラクタンであることが知られている（小島・伊沢 1967）。これらのことを踏まえ今回の採草地の結果を見ると，1 番草において貯蔵態であるフラクタンの絶対量が多くて割合も高いのは，生殖生長への遷移期で子実を充実させる準備段階にあったため，地上部，特に茎部が一時的に貯蔵シンクとして機能していた（巽 1994）ためと推察された。一方，再生草である 2, 3 番草のフラクタンの割合が少なく絶対量も少なかった。これは貯蔵態の炭水化物を刈取りによって失い，生長シンクである葉部が多かったため，利用し易い形態の単糖類や Suc の割合が高かったと考えられた。さらに模擬放牧地において，4 番草の茎部以外はフラクタンの割合が少なく，単小糖，特に単糖類の割合が同時期の採草地のものよりも高かった。この理由の一つは，採草地の再生草よりもさらに刈取りが多かったからであると推察された。一方，4 番草の茎部はやや出穂がみられたことから，子実を充実させる生理的準備段階においてフラクタンが集積していたと推察された。

なお，模擬放牧と実際の放牧との差について，Brockman・Wolton（1963）はマメ科率やマメ科牧草からの窒素移譲には影響があるが，イネ科単播草地での影響は小さいとしている。また，放牧地における排糞の影響は総面積の 11%に過ぎないという報告（Thomas ら 1990）もあることから，本試験の模擬放牧地での結果は実際の放牧地で起こることを示唆している。

第 2 章 2 項での結果やこれまでの報告（Reid・Strachan 1974；Keating・O'Kiely 2000）と同様，本試験でも PR は窒素施肥量を増やすことにより乾物収量は増加するが，WSC 含量が低下することが認められた。この結果から窒素施肥によって減少するのは WSC の中でもフラクタンと二糖類であり，単糖類への影響は小さかった。これは Jones ら（1965）の結果とも一致しており，窒素施肥が栄養生長による乾物収量の増加を促すために糖が消費され，貯蔵態の糖の合成が妨げられているものと推察される。

今回調製したサイレージのうち，年間 240kg/ha の窒素施肥を行った区の 2 番草でのみ発酵品質の評価が低かった（表 3-2-3）。この処理区の WSC 含量は採草地の中で最も低くて 10%を下回り，フラクタン含量も最低であったことから考えると，WSC 含量，とりわけフラクタンの含量の低さがサイレージ発酵へ悪影響を及ぼした原因の 1 つと考えられた。和泉ら（1982）もチモシー主体草地において，窒素多肥によりサイレージの品質が低下すると報告している。サイレージの発酵品質については多くの原因が考えられるため，本試験の結果だけで結論づけることはできない。しかしながら，今回 WSC 含量とフラクタン含量が発酵品質の 1 つである VBN/TN とそれぞれ高い負の相関を示し（表 3-2-4），V-score とも非線形回帰の関係で高い相関を示した（表 3-2-5）。これらのことを考えると，PR においても，窒素多肥が WSC，特にフラクタン濃度を下げ，ひいてはサイレージの発酵品質を悪化させている可能性が高いと考えられた。

4）摘要

異なる窒素施肥量（90, 180, 240kg/ha）で年３回採草利用した PR を用いて，各種糖含量やサイレージの発酵品質に及ぼす影響について調査を行った。別の圃場で模擬放牧利用も行って，糖組成を比較した。採草利用した牧草は模擬放牧利用した牧草よりも一般にフラクタン含量が高かった。窒素多肥で WSC が低下した場合は，良好なサイレージ発酵品質は得られなかった。発酵品質が WSC およびフラクタン含量と密接な関係を示したことから，窒素多肥が WSC，特にフラクタン濃度を下げ，サイレージの発酵品質も悪化させたと考えられた。

3．収量と飼料成分，サイレージの発酵品質等の窒素施肥反応性の比較（チモシーを対象として）

これまで PR を中心に望ましい窒素施肥技術や窒素施肥と飼料成分，糖との関係を調査した。ここで，PR で現れた窒素施肥と飼料成分や発酵品質等との関係を他草種と比較するために北海道で広く栽培されている（吉澤ら 2005）TY を対象に収量と飼料成分，サイレージの発酵品質等の窒素施肥反応性を調査し，PR の草種特性と比較する。

1）材料および方法

供試草地と刈取管理

試験には TY 単播採草地を用いた。TY の早生品種「オーロラ」を 2004 年 5 月に播種量 25kg/ha で散播した（OG 主体草地を更新）。圃場は酸性褐色森林土に分類される（北海道立中央農業試験場 1993）北海道立上川農業試験場天北支場内にあり，更新後 2 年目から 3 年間（2005-2007 年），窒素施肥試験を実施した。常法（北海道立中央農業試験場 1992）により測定した供試土壌の化学性は，交換性 MgO が北海道の土壌診断基準値（木曽ら 2002）をやや上回っていたが，それ以外は同基準値を満たしていた（表 3-3-1）。

TY の刈取りは年 2 回とした。出穂期に当たる 6 月下旬に 1 番草を刈取り，その後約 50 日の再生期間をおいた 8 月中・下旬に，2 番草を刈取った。ただし，2005 年は少雨に起因して 2 番草の再生が悪かったため，再生期間を他の 2 年間よりも長くした。3 年間の刈取月日は表 3-3-2 に示した。

窒素施肥処理

年間窒素施肥量として ha 当たり 0，80，160，240kg 施用した処理区（それぞれ 0kg 区，80kg 区，160kg 区，240kg 区）を設けた。このうち 160kg 区は，北海道が道北の台地土（褐色森林土・灰色台地土等）の TY 単播採草地を対象に設定した施肥標準量（木曽ら 2002）である。窒素の施肥配分は早春，1 番草刈取直後が 2:1 の割合で，窒素肥料は尿素を用いた。試験は 6 反復（1 区面積 6.25m²）の乱塊法で実施した。

リン酸とカリウムの年間合計施肥量と施肥配分は各区共通で，前述の TY 単播採草地の施肥標準量に準拠した。すなわち，リン酸は 60kg/ha およびカリウムは 150kg/ha とし，両養分の配分は早春，1 番草刈取直後が 2:1 である。リン酸肥料は過リン酸石灰を，カリウム肥料は硫酸カリウムを用いた。

収量調査と牧草分析

収量調査は 1 区につき 1m² のコドラートを用いて，地際から高さ 5cm で刈取った。生草重を測定し，そのうちの一定量を採取して TY とその他の草種に選別後，呼吸酵素を失活させるために Smith（1971）の方法に従い，ただちに 90℃で 1 時間乾熱処理した。次いで，70℃で 48 時間通風乾燥させて乾物率を求め，ha 当たりの乾物収量を算出した。なお，90%以上が TY であったため，乾物収量は TY の収量で表している。2005，2006 年の各番草の収穫時には，草丈と固定コドラート（50cm×50cm）内の TY の茎数，一茎重（乾物重）を測定した。WSC や単少糖含量，糖組成は刈取り時刻により変動する（相馬ら 2006）ため，収穫作業は概ね午前 9-11 時の間に行った。

乾燥・粉砕した牧草体を供試して，飼料成分を分析した。窒素は湿式分解（水野・南 1980）し，フローインジェクション法（中島 1987）により定量した。CP は窒素含量に 6.25 を乗じて求めた。

WSC は熱水で 10 分間抽出し，除蛋白した後アンスロン法（Yemm and Willis 1954）で定量した。NDF，ADF，CA は常法（藤田 2001）により測定した。

選別後の TY 新鮮試料を用いて各種の単少糖を分析した。試料は 80%エタノールに一晩以上浸し，磨砕抽出した抽出液を減圧濃縮し，Sep-PakC18 で精製した後に HPLC で測定した。HPLC のカラムは Shodex NH2P–50 4E を用い，移動相 H_2O/CH_3CN=25/75，流速 1.0mL/min，示差屈折率検出器，カラム温度 35℃の条件下で分析した。第 3 章 2 項に準じ 1 試料につき 2 連

表 3-3-1. 供試草地の土壌化学性 [1)].

pH（H_2O）	熱水抽出性窒素 [2)]	可給態リン酸（ブレイ第二法）（mg/100g 乾土）	交換性塩基（mg/100g 乾土）		
			K_2O	CaO	MgO
6.0	6.7	22.8	19.2	203	23.8

[1)] 層位は熱水抽出性窒素は 0–20cm，それ以外は 0–5cm.

[2)] 105℃，60 分で抽出.

表 3-3-2. 供試草地の刈取日(月/日).

番草	2005 年	2006 年	2007 年
1	6/22	6/26	6/22
2	8/22	8/12	8/16

で測定した。この条件では 3 糖類までの単少糖が検出できる。なお，WSC の主たる構成成分が単糖類，二糖類，フラクタンである（増子ら 1994b）ことから，フラクタンは WSC から単少糖を差引いて求めた。

酸緩衝能は，2006 年の試料を石川ら（2005）の方法で測定した。すなわち，乾物で 0.5g の試料に蒸留水 50mL を加え，攪拌しながら pH4 が最終点となるまで 0.1M 塩酸を 0.2mL ずつ加え pH の変化を記録し，pH4 に必要な塩酸の量（滴定酸度）を基に酸緩衝能を算出した。

なお，乾物収量・草丈や各種糖含量・組成，および飼料成分含量等は，年次により値そのものは変動したものの，これらに対する窒素施肥量の影響は 3 年間ほぼ類似した傾向であったので，データは 3 年間の平均値で表示した。

サイレージ調製と発酵品質の評価

2005 年と 2006 年に収穫した 1 番草は，パウチ法（田中・大桃 1995）を基に考案した圧縮袋法（第 3 章 2 項）によって，次のようにサイレージに調製した。収穫後の牧草約 1kg をガラス室で一定時間（晴天時 4-5 時間，曇天および雨天時は約 16 時間）予乾した後，約 5cm に細断し，酸素吸収剤・インジケータを同封した圧縮袋に充填した。サイレージは 1 区 6 反復の試料を 1 つにして良く混合した後，2 連で調製した。なお，0kg 区はサイレージ調製をしなかったが，これは低収で必要量を確保できなかったからである。

サイレージは 60 日以上貯蔵した後に開封し，生の TN を測定した。また，常法（蔡 2001）により抽出液を作成した後， 抽出液中の VBN および VFA を定量した。サイレージの発酵品質は VBN/TN と VFA および V-score から（蔡 2004）評価した。

統計処理

乾物収量，草丈，窒素利用率，各飼料成分含量，各糖含量および酸緩衝能は，年間窒素施肥量を要因とした一元配置による分散分析で解析し，平均値の差の検定は Tukey の方法で行った。また，酸緩衝能については各区の標準偏差を図中に示した。

2）結果

乾物収量と窒素利用率

TY の 3 ヵ年平均の年間乾物収量は，2,791-9,866kg/ha で，草丈は 30-96cm であった（表 3-3-3）。窒素施肥量が多いほど増収するものの，160kg 区と 240kg 区の間には有意な差が見られなかった。また，0 と 80kg 区は 160 や 240kg 区より著しく低収であった。この窒素施肥と収量反応との関係は，1，2 番草の収量や

表 3-3-3. チモシーの乾物収量，草丈，窒素利用率に及ぼす窒素施肥量の影響 1).

窒素施肥量	乾物収量(kg/ha)			草丈(cm)		窒素利用率(%) 2)		
(kg/ha)	1 番草	2 番草	合計	1 番草	2 番草	1 番草	2 番草	年間
0	1986 a	805 a	2791 a	55 a	30 a	-	-	-
80	5334 b	1470 b	6803 b	80 b	41 b	83 b	30 a	65 ab
160	6729 c	2728 c	9457 c	90 c	47 c	82 b	45 b	71 b
240	7068 c	2798 c	9866 c	96 d	51 d	64 a	43 b	57 a

1)いずれの項目も 2005-2007 年の平均値. 同一列内で同一文字間に有意差（p＜0.05）なし.
2)窒素利用率(%)＝（処理区の窒素吸収量–無窒素区の窒素吸収量）/窒素施肥量×100.

表 3-3-4. チモシーの飼料成分に及ぼす窒素施肥量の影響 1). (%DM)

窒素施肥量	NDF		ADF		CP		CA	
(kg/ha)	1 番草	2 番草	1 番草	2 番草	1 番草	2 番草	1 番草	2 番草
0	59.0 a	65.1 bc	33.6 a	36.5 b	7.4 a	9.0 a	6.2 a	7.6 a
80	61.0 ab	61.9 a	34.1 a	34.0 a	7.0 a	8.7 a	6.7 a	7.0 a
160	61.5 ab	63.0 b	34.2 a	34.6 a	10.0 b	9.2 a	7.1 a	6.7 a
240	62.9 b	65.0 c	34.6 a	35.8 b	10.6 b	11.3 b	7.5 b	7.1 a

1)2005–2007 年の平均値. 同一列内で同一文字を付した値の間に有意差（p＜0.05）なし.

表 3-3-5. チモシーの各種糖含量に及ぼす窒素施肥量の影響[1].

窒素施肥量	Fru		Glu		Suc		単少糖[2]		フラクタン		WSC	
(kg/ha)	1番草	2番草	1番草	2番草	1番草	2番草	1番草	2番草	1番草	2番草	1番草	2番草
0	1.7 a	2.2 b	3.7 a	2.8 a	0.9 ab	0.5 a	6.3 a	5.5 a	6.3 b	2.1 b	12.6 c	7.5 ab
80	2.1 b	1.9 ab	4.7 a	2.9 a	1.2 b	0.5 a	8.0 a	5.4 a	2.4 ab	2.8 b	10.4 bc	8.2 b
160	1.9 ab	1.9 ab	4.8 a	3.3 a	0.9 ab	0.7 a	7.6 a	5.9 a	0.6 ab	1.1 ab	8.2 ab	7.1 ab
240	1.5 a	1.7 a	4.4 a	2.9 a	0.7 a	0.4 a	6.7 a	5.0 a	0.2 a	0.2 a	6.9 a	5.3 a

[1]2005-2007年の平均値. 単位は乾物あたり%. 同一列内で同一文字を付した値の間に有意差(p＜0.05)なし.
[2]単少糖含量はFru + Glu + Suc, フラクタン含量はWSC − (Fru + Glu + Suc)で算出.

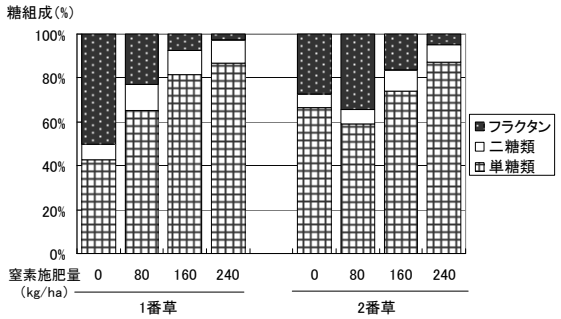

図 3-3-1　チモシーの各種糖組成に及ぼす窒素施肥量の影響[1].

1)　WSC に占める組成割合. 2005-2007 年の平均値.

2)　フラクタンの算出方法は表 5 と同様.

草丈でもほぼ同様であった。

茎数密度は 1m² 当たり約 1,004-1,494 本で，窒素施肥量や番草間での差は小さかったのに対して，一茎重は両番草とも一般に窒素施肥量が増すと共に増加する傾向にあった(データ省略)。

施肥された窒素が植物に吸収された割合を示す 窒素利用率は，160kg 区では 1 番草，2 番草，年間がそれぞれ 82，45，71%で，いずれも高かった(表 3-3-3)。

飼料成分・糖含量と発酵品質評価

NDF 含量は 59.0-65.1%，ADF 含量は 33.6-36.5%，CP は 7.0-11.3%，CA は 6.2-7.6%の範囲であったが，窒素施肥量の飼料成分へ及ぼす影響は，必ずしも明確でなかった(表 3-3-4)。ただし，NDF と CP は低収の 0kg 区以外では特に 2 番草で，CA は 1 番草で，それぞれ窒素施肥量が増加すると高まる傾向であった。各窒素処理区を番草間で比較すると，2 番草が 1 番草を上回った NDF や 0kg 区を除くと，3 成分とも 1，2 番草間で大差がなかった。

各種の糖含量を表 3-3-5 に示したが，本試験からは単糖類の Fru と Glu，二糖類の Suc が検出された。各糖含量の 3 年間の平均値を見ると，Fru が 1.5-2.2%，Glu が 2.8-4.8%，Suc が 0.4-1.2%，単少糖が 5.0-8.0%，フラクタンが 0.2-6.3%，WSC が 5.3-12.6%であった。1 番草の Fru・Suc・単少糖さらに 1・2 番草のフラクタンおよび WSC は，一般に 0kg 区で除くと，有意でないことが多いものの窒素施肥量の増加に従って概ね減少する傾向であった。番草別では，Fru とフラクタン以外の糖はどの区でも 1 番草が 2 番草よりも高かった。

WSC に占める糖組成の平均値は，単糖類が 43-87%，二糖類が 6-12%，フラクタンが 2-50%であった(図 3-3-1)。両番草とも窒素施肥量の増加に従いフラクタンの割合は減少し，逆に単糖類の割合は増加した。

TY の酸緩衝能は各番草とも窒素施肥量の増加に伴い高まり，また各区の 2 番草は 1 番草をやや上回った(図 3-3-2)。

サイレージの発酵品質は，VBN/TN が 3.7-7.1%，酢酸が 0.04-0.39%，プロピオン酸が 0.01%以下，酪酸が 0-0.21%であった(表 3-3-6)。これらに対する窒素施肥の影響は判然としないことが多かったが，プロピオン酸を除

表 3-3-6. チモシー1番草サイレージの VBN 比率，VFA 含量および V-score.

年次	窒素施肥量	VBN/TN	VFA(%FM)			V-score[1]
	(kg/ha)	(%)	酢酸	プロピオン酸	酪酸	(点)
2005	80	4.2	0.04	0.01	0.05	96
	160	3.7	0.06	0.00	0.00	100
	240	5.3	0.40	0.01	0.17	85
2006	80	4.7	0.22	0.00	0.16	87
	160	6.0	0.18	0.00	0.12	87
	240	7.1	0.39	0.00	0.21	77

[1] 80 点以上：良，60-80 点：可，60 点以下：不良.

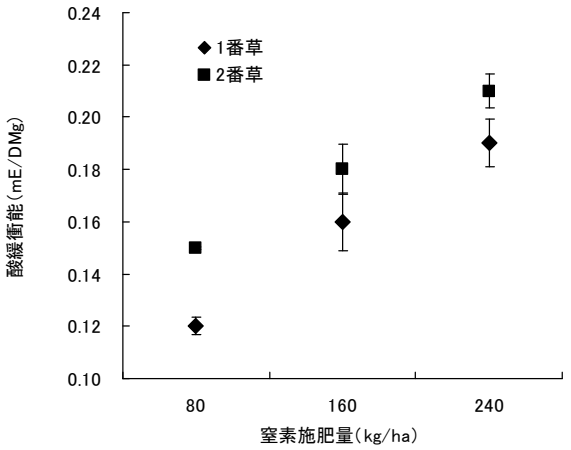

図 3-3-2 チモシーの酸緩衝能に及ぼす窒素施肥量の影響[1)].
[1)]2006 年の試料，バーは標準偏差を示す(n=4).
番草内で同一文字間に有意差(p＜0.05)なし.

く各項目は両年とも 240kg 区が最も高く，また各処理区とも 2006 年が 2005 年を上回った。各項目から算出した V-score は概ね 80 点以上で「良」の評価であった。しかし，240kg 区はいずれの年も他の区よりも低く，特に 2006 年では 77 点で「可」であった。

3)考察

一般に TY 単播採草地への窒素施肥適量は，土壌養分含量が土壌診断基準値内にあるときでは 160kg/ha と設定されている(木曽ら 2002)。これをほぼ満たしている本試験の 160kg 区の乾物収量，1 番草の草丈，茎数はそれぞれ 9,457kg/ha，90cm，1,379 本/m で，年間の窒素利用率も 74%と高い(表 3-3-3)。また，窒素施肥量を多くすると草丈が長くなり，さらに一茎重の増大を通じて増収する。このような 160kg 区の収量水準や窒素施肥に対する反応性は，第 3 章 1 項の結果や既往の成果(松中 1987b；木曽・菊池 1990)とほぼ一致する。すなわち，本試験における窒素施肥に伴う TY の収量等の変動は，通常認められる範囲内にあったと考えられる。このような条件で実施された試験であることを踏まえて，TY における窒素施肥と飼料成分，糖類や発酵品質との関連を考察する。

今回得られた窒素を 160kg/ha 施用した条件下での TY の飼料成分含量は，第 3 章 1 項の PR や OG に比べて， NDF(62-63%)や ADF(34-35%)は同等か高めなのに対して，CP(9-10%)は同等か低めで，CA(約 7%)では大差がなかった。また，飼料成分含量に対する窒素施肥の影響は必ずしも判然としなかったが，NDF と CP では N 施肥量が増加すると高まることがうかがえた。このような傾向は既往の報告(和泉ら 1972，1981；安井ら 2003)と類似することが多かった。ただし，TY における窒素施肥による NDF の上昇は第 2 章 2 項や第 3 章 2 項でみられた PR のそれより小さかった。これは，第 3 章 1 項で示されたように TY が PR より窒素施肥反応性が弱いことも要因の一つとして考えられるが，このような草種間差については，今後詳細な検討が必要である。

TY 糖含量の 160kg 区の 3 年間平均値は，過去の報告(増子ら 1994b)における TY のレベルと概ね一致していた。一方，WSC(7-8%)では PR や OG よりも低かった。単少糖(6-8%)は OG よりも高いが，PR とは同等であった。また，WSC に占める単少糖の割合は両草種に比べ高かった。

窒素施肥と糖含量の関連をまず WSC についてみると，第 3 章 2 項で見られた PR の場合や OG の場合(Jones ら 1965)と同様に，窒素施肥量が増えると WSC 含量は減少するものの，TY ではもともと WSC 含量が低いことも一因してか，この減少程度は 3-4 ポイントであり第 2 章 2 項で示された PR の 6-9 ポイントより小さい特徴が認められた。また，第 3 章 2 項において PR でも示されているが，フラクタン，Fru，Suc も低下する場合が多く，その中ではフラクタン含量や WSC 中のフラクタンの組成比の低下が顕著であった。現在，TY の糖含量等に対する窒素施肥の影響を十分に解析できるほどの知見は集積していないが，本試験からは WSC の低下が比較的小さいことやフラクタンの減少割合が大きいことなど，窒素施肥と糖との関係における TY の特性の一端が示唆される。

原料草の高い酸緩衝能は，乳酸発酵時における pH 低下を妨げるため，サイレージ調製上は好ましくないとされている(岡本・花田 1999)。ただし，原料草の WSC 含量が乳酸を生産するのに十分な量がある場合は，酸緩衝能の影響は小さく(服部ら 1996)，発酵品質に対し酸緩衝能は決定的な要因にはならない(増子 1994)。本結果では，Trembray ら(2005)も認めたように，両番草とも窒素施肥が増加すると酸緩衝能が高まった(図 3-3-2)。TY の WSC 含量は PR に比べて低く(第 3 章 1 項)，しかも 240kg 区で最も低下したことから(表 3-3-5)，酸緩衝能が発酵品質に影響するリスクは PR に比べ TY では大きいだろう。この点からすると，WSC がもともと低いことに加えて，窒素施肥の増加に伴って WSC が低下し，酸緩衝能が増大する TY では，窒素の多肥は望ましくないと言える。

さらに，240kg 区から収穫した 1 番草サイレージは，80，160kg 区より VBN/TN，酢酸，酪酸が高く，V-Score も低いことから，明らかに発酵品質が低下していた。この原因

は窒素施肥により WSC やフラクタンが減少したこと，および酸緩衝能が上昇したことによると推察されるが，和泉ら（1982）も TY 主体の牧草サイレージは，窒素多肥により発酵品質が低下することを報告している。

一方，前述したように 240kg/ha は，標準窒素施肥量である 160kg/ha と比較して，収量は同等であるが窒素利用率が低く NDF を増加させるなど，効率的生産や飼料成分の観点からもマイナス要因となり望ましくない。すなわち，良質粗飼料の効率的生産のためには，過剰な窒素施肥は避け，適正に窒素施肥を行うことの必要性が指摘できる。

以上のように，TY への窒素施肥量が増加すると，NDF や CP は上昇した。糖含量は WSC やフラクタンを中心に減少し，酸緩衝能も増大するため，過剰に窒素施肥されたサイレージの発酵品質は低下することが明らかとなった。これらのことは，飼料成分や糖含量および発酵品質等からみても，適正な窒素施肥が重要であることを示している。

4）摘要

北海道天北地方の TY 単播採草地において，窒素施肥量（0, 80, 160, 240kg/ha）が，飼料成分や糖含量，酸緩衝能およびサイレージの発酵品質に及ぼす影響を調査した。TY への窒素施肥量が増加すると，NDF や CP が上昇したが，PR と異なり明確な傾向が現れなかった。糖含量は WSC やフラクタンを中心に減少したが，PR と比べるとその変動は小さいものであった。酸緩衝能も増大するため，PR 同様に過剰に窒素施肥されたサイレージの発酵品質は低下することが明らかとなった。これらのことは，飼料成分や糖含量および発酵品質等からみても，PR 同様 TY でも適正な窒素施肥が重要であることを示している。

4. 天北地方を模した干ばつ気象条件下の生育と再生について

これまで PR の草種特性と窒素施肥に対する収量や飼料成分の反応性について検討してきたが，天北地方は 1 章で述べたように 2-3 年に一度干ばつが発生する地帯である。このような地帯にPRを導入するためには，ある程度の耐干性も要求されることから，本項では天北地方を模した干ばつ条件下の生育と再生について，TY，OG および SBG と比較しつつ調査し，耐干性について調査した。

1） 材料と方法

供試植物と試験処理

土壌は砂丘土で砂が 980g/kg，有機炭素が 0.3g/kg，可給態リン酸が 16.7mg/kg，交換性カルシウム，マグネシウム，カリウムをそれぞれ 0.4cmol/kg 含み，pH は 6.6 であった（Eneji ら 2001）。この砂丘土を，1/5000a のワグネルポットに充填した。

PR（品種ポコロ），TY（品種キリタップ），OG（品種ハルジマン），SBG（品種アイカップ）を鳥取大学乾燥地研究センターの温室内で 2006 年 9 月 26 日にポットに播種した。発芽後，1 ポット当たり 5 個体に間引いた。2006 年の 12 月 29 日に地上部の掃除刈り（一度目の刈取り）を行い，この後再生してきた再生草を 2007 年 1 月 22 日から試験に供試した。

試験期間中の土壌水分は 80-60g/kg と 30-15g/kg の 2 処理設けた。これらはそれぞれ pF1.5-1.6，1.9-3.8 に相当し（井上・野村 1983），以後それぞれ湿潤区と乾燥区と称する。ポットは土壌の水分状態を維持するために試験期間中 1-2 日毎に重さを測定した。土壌水分処理と草種の組合せで 6 反復設けた。この試験を以後，乾燥試験と称する。

2 回目の刈取りを 2007 年 2 月 28 日に実施し，収穫部をサンプリングした。各処理の 3 ポット分は根と茎基部をサンプリングし，残りは前番草の乾燥が再生に及ぼす影響をみるために再生試験と称して栽培を継続した。これらの試験は全て短日条件下で行ったため，供試植物は栄養生長期下であった。

再生試験の土壌水分処理は pF1.5-1.6 に相当する 80-60g/kg（井上・野村 1983）のみで行った。ポットは土壌の水分状態を維持するために試験期間中 1-2 日毎に重さを測定した。3 回目の刈取りは 2007 年 3 月 27 日に行い，収穫部と茎基部をサンプリングした。温室の温度は 2005 年の天北地方の干ばつ時の気候を参考に 5-20 度の範囲内に設定した。日照時間は 278.9 時間，相対湿度は試験期間全体を通して 35％以下であった。

播種時に被覆尿素 0.5g，尿素 0.5g，過リン酸石灰 2g とケイ酸カリウム 1g を，掃除刈直後に被覆尿素 1g，尿素 1g，過リン酸石灰 1g と硫酸カリウム 2g を，2 回目の刈取直後に尿素 1g をそれぞれ 1 ポット当たりに施肥した。

収量調査と解析

牧草は地上 5cm で刈取り，刈取られた部分を以後収穫部と称する。一方，5cm 以下を茎基部と称するが，茎基部

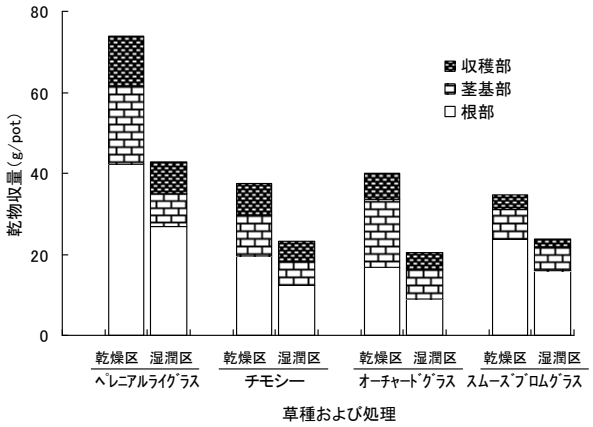

図 3-4-1 各草種のポットあたり収穫部，茎基部，根部の乾物重．
[1]ポット 5 個体で，6 反復． （乾燥試験）

表 3-4-1. 乾燥ストレスが収穫部，茎基部，地上部，根部，全体の乾物重と S/R（地上部/地下部）比に及ぼす影響（乾燥試験）．

草種	収穫部	茎基部	地上部[2]	根部	全体	S/R 比
ペレニアルライグラス	0.63 a[3]	0.46 a	0.61 a	0.66 a	0.60 ab	0.90 a
チモシー	0.65 a	0.61 ab	0.66 a	0.71 a	0.64 ab	0.99 a
オーチャードグラス	0.65 a	0.43 a	0.58 a	0.53 a	0.51 a	0.93 a
スムーズブロムグラス	0.55 a	0.79 b	0.66 a	0.82 a	0.74 b	1.14 a

[1]収穫部は 6 反復の平均，その他は 3 反復の平均．値は湿潤区を 1 とした際の相対値．
[2]地上部は収穫部と茎基部の合計．
[3]同一列で同一文字を含む処理間に有意差（$p<0.05$，Tukey 法）なし．

表 3-4-2. 乾燥ストレスが茎数，一茎重，草丈に及ぼす影響（乾燥試験）.

草種	処理	茎数 (tillers pot^{-1})	一茎重 (mg tillers^{-1})	草丈 (cm)
ペレニアルライグラス	湿潤区	231 e[2)]	138 bc	21 c
	乾燥区	175 d	92 ab	21 c
チモシー	湿潤区	101 c	182 d	25 d
	乾燥区	72 a	157 cd	19 c
オーチャードグラス	湿潤区	99 c	236 e	20 c
	乾燥区	97 bc	117 abc	14 b
スムーズブロムグラス	湿潤区	75 ab	152 cd	14 b
	乾燥区	82 abc	98 ab	10 a
			ANOVA	
土壌水分		* [3)]	*	*
草種		*	*	*
土壌水分×草種		*	*	*

1)茎数と一茎重は 6 反復の平均，草丈は 20 反復の平均.
2)同一列で同一文字を含む処理間に有意差（p<0.05，Tukey 法）なし.
3)*は 5%水準で有意差あり.

表 3-4-3. 乾燥ストレスが CGR，RGR，NAR，LAR に及ぼす影響（乾燥試験）.

草種	CGR	RGR	NAR	LAR
ペレニアルライグラス	0.26 ab[2)]	0.29 ab	0.31 ab	1.21 a
チモシー	0.32 ab	0.36 ab	0.43 ab	0.95 a
オーチャードグラス	0.05 a	0.06 a	0.05 a	1.03 a
スムーズブロムグラス	0.79 b	0.86 b	1.10 b	0.87 a

1) それぞれのデータは 4 反復の平均．値は湿潤区を 1 とした際の相対値.
2) 同一列で同一文字を含む処理間に有意差（p<0.05，Tukey 法）なし.

と根は土壌を水洗した後にサンプリングした。新鮮重を測定後，90℃で 1 時間乾熱し，次いで 70℃で 48 時間通風乾燥させて乾物率と乾物重を求めた。地上部の乾物重は収穫部と茎基部の合計として計算した。

草丈と茎数，一茎重を乾燥試験と再生試験，それぞれの収穫日の 2 月 28 日と 3 月 27 日に測定した。葉面積は葉面積計（林電工，AAL-410）にて測定した。*Pl* は 20 反復，その他は 6 反復で測定した。成長解析は乾燥試験期間の前後に測定した DW と LA から行った。個体群成長速度（CGR）と相対成長率（RGR），純同化率（NAR）および葉面積比（LAR）を以下の式より算出した。なお，t_1 と t_2 は乾燥処理の最初と最後の日，w_i と L_i は i 日目の乾物収量 (g)と葉面積(cm^2)をそれぞれ表す。

$$CGR = (w_2 - w_1) / (t_2 - t_1)$$

$$RGR = (\ln w_2 - \ln w_1) / (t_2 - t_1)$$

$$NAR = (w_2 - w_1) / (t_2 - t_1) \times (\ln L_2 - \ln L_1) / (L_2 - L_1)$$

$$LAR = (\ln w_2 - \ln w_1) / (w_2 - w_1) \times (L_2 - L_1) / (\ln L_2 - \ln L_1)$$

乾燥試験の収穫 6 日前の 2007 年 2 月 22 日の晴天時に，光合成測定装置（LI-6400）を用いて，十分展開した上位の葉の光合成速度（*Pn*）と気孔コンダクタンス（*Gs*），細胞内二酸化炭素濃度（*Ci*）および蒸散速度（T）を 3 反復で測定した。

乾燥試験の収穫 2 日前の 2007 年 2 月 26 日に，プレッシャーチャンバーを用いて葉の水ポテンシャル（Ψ）を 6 反復で測定した。乾燥試験の収穫日である 2007 年 2 月 28 日に Wright ら（1983）の方法に則って，相対含水率（RWC）を 10 反復で測定した。

統計解析

試験は乱塊法で行い乾燥試験は 6 反復，再生試験は 3 反復設けた。草種を要因とした一元配置，もしくは草種と土壌水分処理を要因とした二元配置による分散分析で解析し，平均値の差の検定は Tukey の方法で行った。

表 3-4-4. 乾燥ストレスが *Pn*(光合成速度), *Gs*(気孔コンダクタンス), *Ci*(細胞内二酸化炭素濃度), T(蒸散速度), RWC(相対含水率), Ψ(水ポテンシャル)に及ぼす影響(乾燥試験).

草種	処理	*Pn* ($\mu molCO_2m^{-2}s^{-1}$)		*Gs* ($molH_2Om^{-2}s^{-1}$)		*Ci* ($\mu molCO_2mol^{-1}$)	T ($mmolH_2Om^{-2}s^{-1}$)		RWC (%)		Ψ (MPa)	
ペレニアルライグラス	湿潤区	25.3	c[2]	0.21	a	168	1.77	c	86.4	cd	-1.35	a
	乾燥区	21.9	bc	0.13	ab	124	1.21	abc	82.5	b	-2.34	cd
チモシー	湿潤区	18.8	ab	0.18	a	215	1.63	bc	90.8	d	-1.57	a
	乾燥区	17.0	ab	0.12	ab	143	1.15	ab	82.5	bc	-2.44	d
オーチャードグラス	湿潤区	22.7	bc	0.28	b	234	2.32	c	88.9	d	-1.64	ab
	乾燥区	15.2	a	0.11	a	145	1.02	a	88.3	d	-2.59	d
スムーズブロムグラス	湿潤区	20.2	abc	0.16	ab	162	1.44	abc	81.8	bc	-1.88	bc
	乾燥区	21.3	abc	0.15	ab	138	1.20	abc	68.4	a	-2.20	cd
						ANOVA						
土壌水分		*	[3]	*		*	*		*		*	
草種		*		N.S.		N.S.	N.S.		*		N.S.	
土壌水分×草種		*		*		N.S.	*		*		*	

[1] *Pn*, *Gs*, *Ci* と T は 3 反復, RWC は 10 反復, *Ψ は* 6 反復の平均.
[2] 同一列で同一文字を含む処理間に有意差(p<0.05, Tukey 法)なし.
[3] *は 5%水準で有意差あり, N.S.はなし.

2)結果

乾燥試験

収穫部, 茎基部, 根部の乾物重を図 3-4-1 に, 湿潤区に対する乾燥区の相対値(D/W)を表 3-4-1 に示した。乾燥ストレスは全草種の乾物重を低下させたが, SBG は茎基部, 根部, および植物全体の D/Wを他草種より高い状態で維持した。一方, OG は植物全体の D/W がもっとも低かった。

草丈, 茎数, 一茎重をみると(表 3-4-2), PR と TY は茎数に処理間で有意差があった。一方, 一茎重では OG と SBG で乾燥区が湿潤区より下回った。草丈は, TY, OG および SBG では乾燥ストレスの下で有意に低下したが, PR では有意差はなかった。

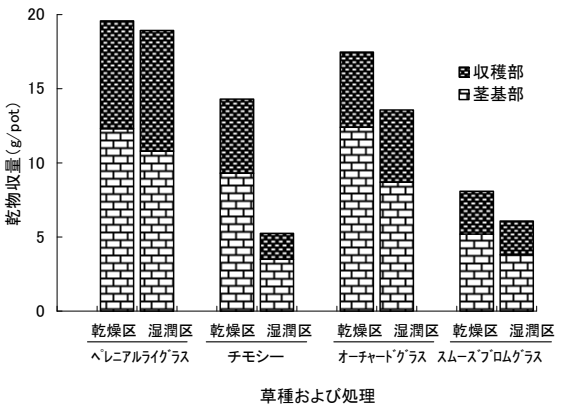

図 3-4-2 各草種のポットあたり収穫部, 茎基部, 根部の乾物重.
[1] 1 ポット 5 個体で, 3 反復. (再生試験)

成長解析の湿潤区に対する乾燥区の相対値(D/W)を表 3-4-3 に示したが, SBG の CGR, RGR および NAR の D/W は OG のそれよりも有意に高かった。

Pn, *Gs*, *Ci*, T, RWC および Ψ を表 3-4-4 に示した。乾燥ストレスは OG の *Pn*, *Gs* および T を有意に低下させたが, 他草種は変化なかった。乾燥ストレスは全草種で *Ci* を有意に低下させたが, 草種の影響や相互作用は有意ではなかった。OG 以外の全草種で, 乾燥区の RWC は湿潤区よりも有意に低下した。PR, TY, OG の Ψ は, 乾燥区が湿潤区より有意に低かったが, SBG では有意差はなかった。

再生試験

異なる水分処理を加えた後, 刈取って湿潤条件で再生させた牧草の収穫部, 茎基部, 地上部の乾物重を図 3-4

表 3-4-5. 前番草の乾燥ストレスが収穫部, 茎基部, 地上部, 根部, 全体の乾物重と S/R(地上部/地下部)比に及ぼす影響(再生試験).

草種	収穫部		茎基部		地上部[2]	
ペレニアルライグラス	1.12	b[3]	0.91	b	0.98	b
チモシー	0.36	a	0.38	a	0.37	a
オーチャードグラス	0.97	b	0.71	ab	0.79	b
スムーズブロムグラス	0.83	ab	0.95	b	0.87	b

[1] 3 反復の平均. 値は湿潤区を 1 とした際の相対値.
[2] 地上部は収穫部と茎基部の合計.
[3] 同一列で同一文字を含む処理間に有意差(p<0.05, Tukey 法)なし.

-2 に，湿潤区に対する乾燥区の相対値（D/W）を表 3-4-5 に示した。TY では前番草で乾燥ストレスを受けた乾燥区の乾物収量はずっと湿潤状態で栽培された湿潤区より特に低かった。TY の D/W は，収穫部においては PR と OG，茎基部では PR と SBG，地上部では他草種すべてに対して有意に低かった。一方 PR では，乾燥区の収穫部乾物収量は湿潤区よりも高く，D/W も 100 を超えた。

草丈，茎数，一茎重をみると（表 3-4-6），前番草の乾燥ストレスは PR の茎数を増加させ，TY の茎数を減らした。また， TY と SBG の草丈は前番草の乾燥ストレスによって低下したが，PR の草丈は増加した。

3）考察

乾燥試験

植物全体の乾物重と CGR，RGR の D/W は SBG が最高で OG が最低だった（図 3-4-1，表 3-4-3）。NAR も同様であったが，LAR は草種間で有意な差がなかった。よって，乾燥ストレスで RGR が減少したのは，形態学的な変化よりも生理学的な変化によるものと考えられる。また，RGR の草種間差は生理学的機能の違いで説明できる。乾燥ストレスにより，S/R 比が変動しなかった（表 3-4-1）ことから，形態学的な変化は小さいと考えられる。Bittman・Simpson（1987）は SBG の NAR は乾燥ストレスを受けた後でも一定であると報告しており，Eneji ら（2005）は暖地型牧草では乾燥ストレスによって S/R 比が変わることはないとしているがこれらの結果は今回の結果と一致する。

光合成と蒸散は植物の生理学的な機能として最も重要なものの一つである。乾燥ストレスは OG のみ，*Pn*，*Gs*，T を低下させた。Jaballah ら（2008）も OG について同様の報告を行い，OG が乾燥ストレスに敏感に対応して *Pn*，*Gs* を低下させるとしている。このことから OG と SBG の乾燥ストレス下での生育の差は光合成や蒸散の違いによるものと考えられる。

さらに，各植物の茎数，草丈，一茎重は乾燥ストレスに対して明確に反応していた。乾燥ストレスは PR の分げつ発生力を，OG と SBG の茎の成長を妨げ，TY においては分げつ発生力と茎の成長両方を妨害した。これらの結果は草種による収量構成要因の違いとも関連があるのではないかと推察される。

SBG は乾燥により RWC が低下したが，Ψ には影響がなかった。一方，OG は乾燥により Ψ は低下したものの，RWC には影響がなかった。Kallida ら（2008）は OG の RWC について同様の報告をしており，Schulte と Hinckley（1985）は RWC と Ψ の関係を細胞壁の弾性やもともとの浸透ポテンシャルの違いによって説明している。今回我々の試験における SBG と OG の違いは細胞内の浸透調整機能と細胞壁の弾性の違いによる可能性も考えられる。

今回の結果からは，SBG は高い耐干性を有することが示されたが，一方で土壌水分の高い状態には適さないとされ（古谷ら 1988），Harkess ら（1990）も近縁種であるブロムグラス（ヤクナガイヌムギ）はイギリスの干ばつリスクの高い地域以外の地域への栽培には適さないとしており，今回の湿潤区でも草種間で収量が最も低かった。今回供試した 4 草種の中で SBG は唯一地下茎を伸張して繁殖する草種であり，これが高い耐干性と関連している可能性も考えられる。これらのことを整理するためにも，SBG の

表 3-4-6. 前番草の乾燥ストレスが茎数，一茎重，草丈に及ぼす影響（再生試験）.

草種	処理	茎数 (tillers pot^{-1})	一茎重 (mg tillers^{-1})	草丈 (cm)
ペレニアルライグラス	湿潤区	193 c	102	20 b
	乾燥区	238 d	80	24 a
チモシー	湿潤区	82 b	178	24 a
	乾燥区	41 a	128	17 c
オーチャードグラス	湿潤区	103 b	170	16 c
	乾燥区	89 b	154	17 c
スムーズブロムグラス	湿潤区	94 b	89	15 c
	乾燥区	85 b	74	12 d
			ANOVA	
土壌水分		*	*	N.S.
草種		*	*	*
土壌水分×草種		*	N.S.	*

1)茎数と一茎重は 3 反復の平均，草丈は 20 反復の平均.
2)同一列で同一文字を含む処理間に有意差（$p<0.05$，Tukey 法）なし.
3)*は 5%水準で有意差あり，N.S.はなし.

環境適応性についてはさらなる研究が必要であろう。

OG は干ばつ回避性に優れるが，耐干性そのものは高くないと考えられる。T や RWC，Ψ の結果から考察すると，OG は蒸散を低下させ，浸透調整物質を集積することにより，脱水を防いでいるのではないかと推察される。OG はフェスク類に比べて乾燥による RWC の低下が小さいとの報告（Kallida ら 2008）もあり，これら浸透調整物質についても今後の研究が望まれる。

PR と TY は今回の結果から見ると OG よりも耐干性が高いかのように見える。PR は OG よりも干ばつの影響が少なく，乾燥ストレス後の再生がかえって促進したとの報告（Norris・Thomas 1982；Florence ら 1998）もある。また，Jackson（1974）は OG が高い干ばつ回避能力を持つものの，PR より耐干性そのものは低いと結論している。これらの結果は我々の結果と一致する。

しかしながら，TY が OG よりも高い耐干性を有するというのは疑わしい。本研究では，TY の根茎の分布が両処理とも他草種に比べ浅い土層にとどまっているのを観察したが（データ未掲載），根圏が浅い植物は干ばつ時には不利であり，多くは枯死か休眠を招く（Schwinning ら 2005）場合が多い。さらに，Garwood ら（1979）は TY の耐干性の低さを指摘しており，今回の再生試験でもこれに類似した結果を示している。TY の耐干性については次項で議論したい。

今回乾燥試験の期間は天北地方の干ばつを参考にして 40 日間としたが，Satger ら（2008）によると 40 日程度では光合成や葉の伸張がとまる程度であるとしている。本結果でも再生試験を通して枯死した個体はなく，天北地方の干ばつによる問題は牧草の生存そのものよりも生産力の低下やそれによる雑草との競合力の低下が大きいことが示唆される。

再生試験

再生試験の結果からは，PR の乾燥ストレス後の補償的な再生能力の高さと，それとは対照的な TY の低さ，そして OG と SBG はそれらの中間に位置することが示された。PR と TY の違いは耐干性の違いと結論づけられるであろう。

本試験では，PR は両処理とも高い再生力を示し，乾燥試験で乾燥ストレスを受けた乾燥区は湿潤区よりも収穫部乾物重，茎数，草丈を示した。本試験は短日条件下で行われたことが PR の生育に有利に働いたことも考えられるが，Thomas ・James（1999）は PR が乾燥下で糖類，特にフラクタンを集積し，これらは乾燥ストレスが消えたあとに再生力を改善するとしている。我々の過去の結果（第 3 章 2 項）からも干ばつが去った後，PR は高い再生能力を示した。Norris・Thomas（1982）と Jackson（1974）らも PR が良好な耐干性と，乾燥ストレスが消えた後の高い再生能力を有する草種であると述べており，このことからも PR は天北地方のような冷涼かつ干ばつが発生しやすい地帯で生存しうる能力を持つと考えられる。

一方，TY は再生試験では他草種に比べて著しく低い生産性と再生力を示した。仮に耐干性の高い雑草が TY 草地に侵入していたとすれば，これらは干ばつ時にはびこり，草種構成がさらに悪化することも考えられる。ゆえに，干ばつ発生地帯では TY 草地の永続性は不安定であると考えられる。この結果については短日条件の影響も考えられるが，湿潤区は順調な再生を示していることを考えると，Garwood ら（1979）が報告したように，本試験でも TY の耐干性の低さが示されたと結論できる。

今回の TY の結果については，球茎における炭水化物の蓄積と代謝は TY の再生に大きな役割を果たすことが知られており（Yamamoto ら 1979；Mino・Maeda1976），その一連の代謝が植物ホルモン（Mino ら 1976），特に ABA（Mino ら 1979）と深い関係があることがわかっているが，これらが乾燥ストレスによって生産されてフラクタンの単少糖への加水分解を妨害し，再生が悪化した可能性も考えられる。

なお，今回の実験全体では，供試した植物が実際に圃場で栽培されるよりも小さかった。これは再生試験が 27 日間と通常の再生期間 40-60 日より短いためと考えられる。しかしながら，草種構成を維持するために雑草の侵入を防ぐためにも，初期成長は実際の圃場においても極めて重要である。今回の結果は供試草種間の干ばつ後の初期再生力の違いを浮き彫りにしたことからみても，現場への示唆を含むものと考えられる。

今回の結果を検証するためにも，干ばつ発生地帯である天北地方の実際の圃場でこれらの草種の再生力も含めた適応性を検証するさらなる研究が必要であると言えよう。

結論

乾燥ストレスは供試した各草種の光合成速度に異なる影響を与え，OG はその干ばつ回避性によりもっとも影響を受けた。一方 SBG はその高い耐干性からもっとも影響を受けなかった。TY 以外の草種は前番草の乾燥ストレスの影響は小さかった。PR は乾燥ストレスがなくなった後で特に注目すべき補償的な再生を見せた一方で，前番草の乾燥ストレスは TY の再生能力を著しく損なわせた。

4）摘要

天北地方は冷涼な気候の下でしばしば干ばつが発生する。そこで本試験では天北地方の干ばつを模した気象条件下における寒地型牧草 4 草種（PR，TY，OG，SBG）の乾物生産性と再生力を評価した。最初に「乾燥試験」と称して，生長における水ストレスの直接の影響を調査するためにポット栽培した各植物を，半分は乾燥条件下で，残りは湿潤条件下で栽培した。次にこれらを「再生試験」と称して過去の水ストレスの影響を調査するために，両区を湿潤条件で栽培した。両試験とも冷涼な気温（5-20℃）の下で行った。PR は乾燥により減収したが，再生試験では乾燥区は湿潤区を上回る再生を見せた。TY は他草種に比べて乾燥による減収は大きくなかったものの，再生力が大きく損なわれた。OG は乾燥によって 4 草種の中でもっとも減収したが，再生試験ではその影響を示さなかった。SBG は乾燥による影響がもっとも小さく，高い耐干性が示されたが，乾物収量は 4 草種中もっとも低かった。

5. 干ばつ気象条件下の養分吸収と内部成分の変動について

前項では天北地方を模した干ばつ条件下の生育と再生について，TY と OG，SBG と比較しつつ調査し，耐干性について調査した。しかし，各草種の耐干性の機作の違いを理解するためには，糖や無機塩など内部成分を調査することは重要であると考えられ，また飼料成分におよぼす影響も看過できない。そこで本項では，前項の試験で得られた牧草を用いて，干ばつ気象条件下の養分吸収と内部成分の変動について調査を行った。

1） 材料と方法

供試植物と試験処理

栽培条件の詳細は第 3 章 4 項に示し，本項で使用した牧草は第 3 章 4 項で言うところの乾燥試験から得た。土壌は砂丘土で砂が 980g/kg，有機炭素が 0.3g/kg，可給態リン酸が 16.7mg/kg，交換性 K ，Ca，Mg をそれぞれ 0.4cmol/kg 含み，pH は 6.6 であった（Eneji ら 2001）。この砂丘土を，1/5000a のワグネルポットに充填してポット試験を行った。2006 年 9 月 28 日に鳥取大学乾燥地研究センターの温室内において PR（品種ポコロ），TY（品種キリタップ），OG（品種ハルジマン），SBG（品種アイカップ）を播種した。発芽後 3 週間程度で植物体を 1 ポット当たり 5 点に間引き，12 月 29 日に掃除刈りし株を確保し，再生してきた 2 番草を 2007 年 1 月 22 日から 2 月 28 日まで試験に供した。

試験期間中の土壌水分は 80-60g/kg と 30-15g/kg の 2 処理設けた。これらはそれぞれ pF1.5-1.6，1.9-3.8 に相当し（井上・野村 1983），以後それぞれ湿潤区と乾燥区と称する。ポットは試験期間中，土壌の水分状態を維持するために 1-2 日毎に重さを測定した。これらの試験は全て短日条件下で行ったため，供試した牧草はいずれも一貫して栄養生長期であった。

温室の温度は 2005 年の天北地方の干ばつ時の気候を参考に 5-20 度に設定した。日照時間は 278.9 時間，相対湿度は試験期間全体を通して 35%以下であった。

播種時に被覆尿素 0.5g，尿素 0.5g，過リン酸石灰 2g とケイ酸カリウム 1g を，掃除刈直後に被覆尿素 1g，尿素 1g，過リン酸石灰 1g と硫酸カリウム 2g をそれぞれ 1 ポット当たりに施肥した。

2 月 28 日に牧草を地上 5cm で刈取り，刈取られた部分を以後収穫部と称し，一方，5cm 以下を茎基部と称する。茎基部は水洗して土を除去した後にサンプリングした。新鮮重を測定後，呼吸酵素を失活させるために 90℃で 1 時間乾熱し，次いで 70℃で 48 時間通風乾燥させて乾物率と乾物重を求めた。

化学分析法

各番草の収穫時の試料は，上記の方法で通風乾燥後粉砕し，各成分を測定した。窒素は湿式分解（水野ら 1980）し，フローインジェクション法（中島 1987）により定量した。NDF，ADF，CA，ケイ酸は常法（藤田 2001）により測定し，ケイ酸からケイ素（以下 Si）を算出した。Si 以

表 3-5-1. 各草種における各種無機成分含有率（乾物あたり）.

部位	草種	処理	無機養分（DM%）													
			N		P		K		Ca		Mg		Na		Si	
収穫部	ペレニアルライグラス	湿潤区	3.20	*	0.19	**	3.53		0.15	*	0.25	*	0.22	**	0.45	**
		乾燥区	4.01		0.42		3.41		0.20		0.32		0.35		0.61	
	チモシー	湿潤区	4.53		0.26		3.61		0.21		0.34		0.04		0.41	*
		乾燥区	4.89		0.22		3.29		0.18		0.36		0.04		0.27	
	オーチャードグラス	湿潤区	4.98		0.19		3.21		0.18		0.33		0.24		0.31	
		乾燥区	5.24		0.21		3.65		0.20		0.35		0.25		0.34	
	スムーズブロムグラス	湿潤区	5.02		0.07	*	3.61		0.26	*	0.33	*	0.02	*	0.96	*
		乾燥区	5.24		0.25		3.18		0.37		0.39		0.03		0.71	
茎基部	ペレニアルライグラス	湿潤区	0.95	*	0.06	**	1.16		0.25		0.15	**	0.17	**		
		乾燥区	1.54		0.21		1.28		0.20		0.22		0.33			
	チモシー	湿潤区	0.98	*	0.18		0.94		0.09	*	0.15	*	0.10			
		乾燥区	1.82		0.25		1.41		0.31		0.23		0.13			
	オーチャードグラス	湿潤区	0.95	*	0.23		0.84	*	0.10		0.16	*	0.21			
		乾燥区	2.56		0.26		1.99		0.24		0.25		0.21			
	スムーズブロムグラス	湿潤区	0.88	*	0.14	**	0.80		0.06	*	0.14	*	0.11			
		乾燥区	1.69		0.24		1.18		0.29		0.21		0.10			

1)茎基部の Si は分析を行っていない.
2)各草種の乾燥区と湿潤区で t 検定を行い，*は 5%水準，**は 1%水準で有意差あり.

表 3-5-2. 各草種収穫部における各種糖含有率(DM%)

草種	処理	単糖類				二糖類		単糖・二糖合計		WSC	
		フルクトース		グルコース		スクロース					
ペレニアルライグラス	湿潤区	1.3	**1)	2.0	**	2.7		6.0	**	18.0	**
	乾燥区	2.3		3.1		2.4		7.8		10.0	
チモシー	湿潤区	2.1		3.4		2.6	**	8.1	*	9.5	**
	乾燥区	2.0		2.7		0.6		5.3		5.8	
オーチャードグラス	湿潤区	1.3	*	1.5	*	1.7	*	4.6		9.8	**
	乾燥区	2.2		2.5		2.3		7.1		7.3	
スムーズブロムグラス	湿潤区	1.2		1.6		0.7		3.5		5.6	
	乾燥区	1.2		1.5		0.3		3.0		4.5	

1)各草種の乾燥区と湿潤区で t 検定を行い，*は 5%水準，**は 1%水準で有意差あり.

外の無機成分は CP 用に湿式分解した液を用いて定量した。P はバナドモリブデンを用いた比色法を，K，Ca，Mg，ナトリウム（以下 Na）は原子吸光法（後藤 1990）で分析した。

WSC は乾燥試料を熱水で 10 分間抽出し，硫酸亜鉛と水酸化バリウムで除蛋白した後，アンスロン法（Yemm and Willis 1954）によって定量した。単糖類，二糖類の分析は収穫時の新鮮試料を用いた。試料は 80%エタノールに一晩以上浸し，磨砕抽出した抽出液を減圧濃縮した後に Sep-PakC18 で精製した。この試料を HPLC で測定した。HPLC のカラムは Shodex NH2P–50 4E を用い，移動相 H_2O/CH_3CN=25/75，流速 1.0mL/min，示差屈折率検出器，カラム温度 35℃の条件下で分析した。寒地型イネ科牧草において，WSC の主たる構成成分は単糖類，二糖類，フラクタンである（増子ら 1994b）ことから，次の式からフラクタン含量を推定した。

フラクタン含量＝WSC－（単糖類+二糖類）

茎基部の非構造性炭水化物（NSC）含量は小島・林らの方法（1965）で行った。すなわち乾燥試料を熱した 0.25%シュウ酸の中で 30 分間加水分解して抽出し，水酸化ナトリウムで中和後飽和酢酸鉛で除蛋白を行い，濾過したものをアンスロン法（Yemm and Willis 1954）で測定した。

収穫時に十分伸長した葉身から 10 cm^2 のリーフディスクを採取し，葉表面のクチクラワックス含有量の測定に供した。クチクラワックス含有量の測定は Barnes ら（1996）や Takamatsu ら（2001）の方法に従った。すなわち，まず，リーフディスク 10 cm^2 をクロロホルム 10 ml に浸漬させ，ワックスを抽出した．次いで，アドバンテック No.6 濾紙を用いて抽出液を濾過し，減圧下でクロロホルムを完全に蒸発させ，蒸発前後の重量変化からクチクラワックス含量を算出した。

統計解析

各種無機成分，各糖，茎基部 NSC，各飼料成分，およびクチクラワックス含量は，各草種の乾燥区と湿潤区の間において t 検定を行い，有意差を判定した。また，反復数はクチクラワックス含量が 6，茎基部 NSC 含量は 3，その他は 4 で行った。

2）結果

収穫部の無機成分含有率は，乾物あたりで窒素が 3.20-5.24%，P が 0.07-0.42%，K が 3.18-3.65%，Ca が 0.15-0.37%，Mg が 0.25-0.39%，Na が 0.02-0.35%，Si が 0.27-0.96%の範囲内であった（表 3-5-1）。主として PR と SBG において乾燥により無機成分含有率が高まる傾向にあった。PR は K 以外において乾燥区の含有率が湿潤区よりも有意に高く，特に P，Na，Si の上昇は顕著であった。SBG は P，Ca，Mg，Na で乾燥区の含有率が湿潤区よりも有意に高かったが，Si は逆に低下した。一方で

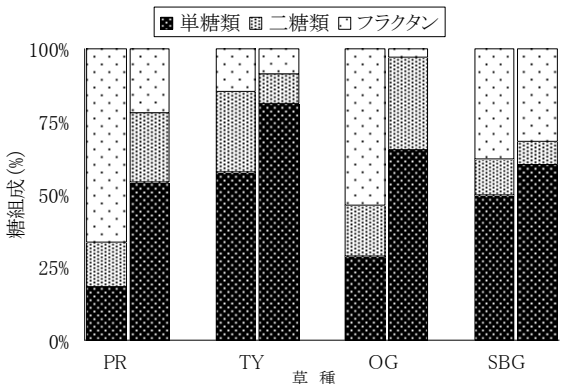

図 3-5-1　各草種における糖組成.

各区とも左が湿潤区，右が乾燥区，
PR：ペレニアルライグラス，TY：チモシー，
OG：オーチャードグラス，SBG：スムーズブロムグラス
フラクタンは下の式により推定.
フラクタン ＝ WSC －（ 単糖類 ＋ 二糖類 ）

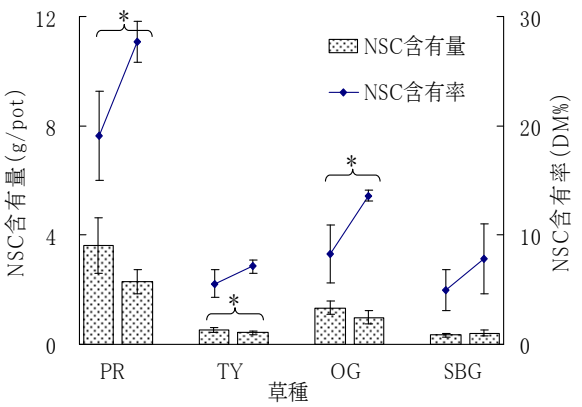

図 3-5-2 各草種茎基部における NSC 含有率および ポット当たり含有量.

各区とも左が湿潤区, 右が乾燥区.
PR:ペレニアルライグラス, TY:チモシー,
OG:オーチャードグラス, SBG:スムーズブロムグラス.
乾燥区と湿潤区でt検定を行い, *は5%水準で有意差あり.
バーは標準偏差を示す(n=3).

TY は Si 以外で有意な差は見られず, OG は全ての成分において乾燥による含有率の変化が見られなかった。

茎基部の無機成分含有率は, 乾物あたりで窒素が 0.88-2.56%, P が 0.06-0.26%, K が 0.80-1.41%, Ca が 0.06-0.31%, Mg が 0.14-0.25%, Na が 0.10-0.33%の範囲内であった(表 3-5-1)。茎基部では収穫部と異なる傾向を見せ, 全ての草種で窒素と Mg 含有率が乾燥により有意に上昇した。その他 PR, SBG では P と Na, TY では Ca, OG では K, SBG では P と Ca 含有率が, それぞれ乾燥区の値が湿潤区よりも有意に高かった。

収穫部の糖についてみると, Fru は 1.2-2.3%, Glu は 1.5-3.4%, Suc は 0.3-2.7%, 単少糖は 3.0-8.1%, WSC は 4.5-18.0%だった(表 3-5-2)。PR と OG では乾燥区の単糖類の Fru, Glu 含有率が湿潤区よりも有意に高く, OG は二糖類の Suc 含有率でも乾燥区が有意に高かったが, TY では逆に Suc 含有率は乾燥により有意に低かった。単少糖合計では PR で乾燥により含有率が有意に上昇したが, TY では逆に低下した。WSC は SBG 以外の草種で乾燥により減少した。

WSC に占める各糖の糖組成を見るといずれの草種でも乾燥によりフラクタンの割合が減少し, 単糖類の割合が増加する傾向にあったが, その傾向は PR と OG で顕著であり, SBG では差が小さかった(図 3-5-1)。

茎基部の乾物あたり NSC 含有率は 5.0-27.7%であり, 乾燥区と湿潤区の差に着目するといずれも乾燥によって上昇する傾向にあったが, 特に PR と OG が有意に上昇した(図 3-5-2)。ポット当たりの含有量でみると SBG 以外は減少する傾向にあり, 特に TY は有意に減少した。

収穫部の飼料成分についてみると, NDF が 46.4-51.6%, ADF が 17.5-22.6%, CA が 9.0-9.9%, EE が 3.1-4.2%であった(表 3-5-3)。乾燥による含有率の変化は PR と OG で CA が上昇した以外は各成分ともほとんど見られなかった。

葉面積当たりのクチクラワックス含有量は 100-202μg/cm² で, 草種の差は判然としなかったが, PR と SBG は乾燥によって有意に増加する傾向にあった(図 3-5-3)。

3)考察

体内における各無機成分のバランスや濃度が植物の耐干性機構へ影響を与えることは, P(長井ら 1984;実岡ら1989), K(Andersonら1992;Ashrafら2001), Mg(長井ら 1984), Si(Trenholm ら 2004;Hattori ら 2005;Sonobe ら 2009)などで報告されており, それぞれ根の成長や気孔コンダクタンス, および蒸散速度などに影響し水利用効率を改善することが報告されている。本研究の結果を見ると, 収穫部と茎基部双方において, PR と SBG の P, Mg, Si 濃度が乾燥区が湿潤区よりも高かったが, これは上記でも同様であった。また, PR は Na がもともと高く,

表 3-5-3. 各草種収穫部における各飼料成分含有率(DM%)

草種	処理	NDF	ADF	CA		EE
ペレニアルライグラス	湿潤区	50.2	22.0	9.3	*1)	3.4
	乾燥区	51.5	22.6	9.5		3.5
チモシー	湿潤区	50.9	20.7	9.1		3.6
	乾燥区	49.8	21.5	9.1		3.7
オーチャードグラス	湿潤区	50.3	19.8	9.0	*	4.2
	乾燥区	51.6	18.8	9.3		3.9
スムーズブロムグラス	湿潤区	46.4	17.5	9.6	*	3.1
	乾燥区	47.9	18.1	9.8		3.4

1)各草種の乾燥区と湿潤区で t 検定を行い, *は 5%水準, **は 1%水準で有意差あり.

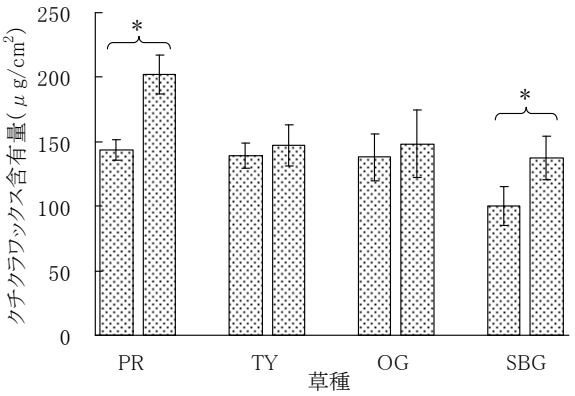

図 3-5-3　各草種の葉面積当りクチクラワックス含量.

各区とも左が湿潤区,右が乾燥区.
PR:ペレニアルライグラス,TY:チモシー,
OG:オーチャードグラス,SBG:スムーズブロムグラス.
乾燥区と湿潤区でt検定を行い*は5%水準で有意差あり.
バーは標準偏差を示す(n=6).

さらに乾燥により上昇しているが，これはもともと PR は寒地型牧草の中では比較的高い耐塩性を示す草種であること(海野・山本 2003, 2004a)に加えて，Na を集積して脱水を防いでいる可能性も考えられる。また，茎基部についてみると，いずれの草種も窒素含有率が乾燥によって高まってたが，これは干ばつ終了後の再生に備えて蓄積していることが示唆される。その他にも乾燥によって含有率が上昇する無機成分は草種によって異なり，これらの挙動が耐干性機構に関与している可能性も示唆された。

収穫部の単少糖についてはPRとOGで各糖に上昇がみられた(表 3-5-2)。タバコ(Pilon-Smits ら 1995)においても乾燥によって上昇するのは主として単少糖であり，牧草において遊離の糖である単少糖の集積は浸透調整や乾燥への適応と深く関係するとされる(Humphreys1989)。収穫部における糖組成でもこの 2 草種が特に顕著に乾燥により単少糖の割合が増大したこと(図 3-5-1)からも，本結果を考えるとOGとPRはそのような浸透調整機構が働いていることが示唆される。一方，収穫部の WSC 全体としては SBG 以外低下し，かつ TY では単少糖もろとも低下が見られたが，茎基部の NSC 含量は上昇傾向にあり，PRとOGでは明確に上昇が見られた。このように水欠乏によって糖代謝が変化し，デンプンのような高分子の炭水化物含量が減少し，単少糖含量が増加することは知られている(Kramer 1983)。また，寒地型牧草の茎基部 NSC 含量が乾燥により上昇することはBussoら(1989)やHuang・Gao(2000)によっても報告されており，塩ストレスでも同様の傾向が報告される(海野・山本 2004a)。また，各種糖が地上部のなかでも部位によって偏在すること(Spollen・Nelson1994；Amiard ら 2003)も知られている。乾燥時における牧草の高分子フラクタンの集積は干ばつ時でなく干ばつが解消した時の再生のためであり(Humphreys1989； Thomas・James1999)，茎基部における糖の集積により，乾燥によるダメージを補う良好な再生を示す(Horst・Nelson1979)ことや，また再生試験の結果(第 3 章 4 項)から考えると，OG や PR は乾燥時に再生時に備え NSC を蓄積する機能が働いていたと考えられる。一方，SBG は糖の変動がほとんどなかったが，SBG はもともと耐干性の高い牧草と考えられることから，今回設定した乾燥条件はそのような機構を働かせなくても無機成分などで対応できる段階であった可能性が高い。TY は茎基部の NSC 含有率は変化がないものの，ポット当たりの含有量は有意に減少しており(図 3-5-2)，単少糖も含めて全体の糖が低下し(表 3-5-2)，さらに再生試験では深刻な低収を招いた(第 3 章 4 項)ことから，耐性機構が働いていないことも推察される。

また，収穫部の飼料成分については，干ばつによって CA が上昇した以外は一定の傾向が見られなかった。CA についてはSiや無機成分の上昇などが理由として考えられるが，他の報告(Sheafferら1992)を見ると，NDF等の繊維が乾燥によって減少したと言う例もある。干ばつと飼料成分との関係については，実圃場規模においてさらなる検証が必要であろう。

さらに今回クチクラワックス含量を測定したが，Sen(1987)は電顕を用いてこの方法でバレイショの葉の表面からエピクチクラワックスが除去されることを証明している。よって，今回のクチクラワックス含量はエピクチクラワックスにほぼ相当すると考えられるが，今回の草種の中ではPRと SBG が有意に上昇した。これまでにソルガム(Saneoka・Ogata 1987)やえん麦(Bengtson ら 1978；Svenningsson・Lijenberg 1986)，ワタ(Bondada ら 1996)において乾燥によって葉のワックス含量，特にアルカン含量が増加することが報告されており，さらに増加する植物は水利用効率やクチクラ抵抗を上昇させると報告している。このような機構が今回供試したPRやSBGに働いている可能性も示唆される。

これまで見てきたように，無機成分や糖，およびクチクラワックスについての反応は草種によって大きく異なり，乾燥に対して働く耐性機構の違いが示唆され，各草種の耐干性の違いが影響している可能性も考えられる。特に糖については干ばつ解消時の再生に対して大きな関連を持つことも示された。これらの各草種において異なる生理的反応と耐干性の関連を明確にするためにも，圃場試験などでさらなる検討が望まれる。

4）摘要

前項の研究で得られた試料を用いて無機成分と各種糖，クチクラワックス含量を分析し、乾燥条件によって寒地型牧草に生じるこれらの成分の変動について調査を行った。無機成分は地上部では PR と SBG を中心に数種の元素で乾燥による含有率の上昇が見られ，茎基部では全草種で窒素と Mg 含有率が上昇したが，それ以外は草種によって傾向が異なった。糖含量は地上部において PR と OG で単少糖が乾燥により上昇し，WSC 中の組成から見ても単少糖の割合が大きく上昇した。これらの草種は茎基部におけるNSC含有率の乾燥による上昇も大きかった。一方，SBG はいずれも乾燥によって変化することはなく，TYは地上部で二糖類やWSCが乾燥によって減少した。飼料成分は各草種とも CA 以外は変化がなく，クチクラワックス含量はPRとSBGで乾燥により上昇した。以上のように無機成分や糖，およびワックスについての反応は草種によって大きく異なり，乾燥に対して働く耐性機構の違いが示唆された。各草種の耐干性の違いが影響している可能性も考えられ，特に糖については干ばつ解消時の再生に対して大きな関連を持つことが示された。

第 4 章　総合考察

1. ペレニアルライグラスの施肥管理技術の確立

PR はこれまで放牧用草種として用いられてきたが，放牧地に必要な施肥量は放牧条件により糞尿の排泄量や放牧草の採食量が大きく変わることから，施肥量については体系だった検討がなされていない。このため，PR に対する施肥量に関する知見が乏しかった。しかし，近年短草・高栄養な放牧草を適度な輪換によって採食させ，放牧の依存度合いや草地の単位面積あたりの乳生産を高める集約放牧技術（竹田ら 2002）が注目され，天北地方でも短草利用に適した PR を用いて集約放牧を導入する農家が多く見られることから，放牧地に関する施肥管理技術も見直しを求められている（酒井 2003）。こうした中，北海道立天北農業試験場（1996）によってマメ科率が 15-50%の PR 集約放牧草地に対する施肥技術が提案された。しかし，地元酪農家の間では草地の季節生産性の変化から兼用利用草地を設ける農家が多く，さらに PR の通年採草利用への要望がよせられているにもかかわらず，兼用草地や採草地への施肥についての検討が進んでいなかった。

こうしたニーズに応える形で，本研究の第 2 章においては PR の単播採草地の窒素の年間施肥配分（第 2 章 1 項），年間窒素施肥量（第 2 章 2 項）について，また WC との混播採草地の窒素施肥量（第 2 章 3 項），WC との混播草地における兼用利用時の窒素施肥量（第 2 章 4 項）について検討を行い，適正な窒素施肥量を提案した。これと前述したマメ科率 15-50%の集約放牧草地を加えることで，表 4-1 に示すような採草・放牧・兼用と様々な利用方式に対応した PR の施肥管理技術が確立された。

特に，兼用草地の施肥については PR を含めた全草種でこれまで詳しい検討がされていなかったが，本研究では WC との混播草地（第 2 章 4 項）と単播草地（第 2 章 5 項）両方において施肥法を検討した。その結果，混播草地においては施肥法が確立されたが，単播草地においては混播草地と異なり，今回設定した施肥配分では不適当であったため，適正な施肥配分のもとで，さらなる検討が急がれる。

他草種の採草地における施肥技術と比較すると，単播草地の年間施肥量は 210kg/ha であり，年間 2 回刈取りの TY（160kg/ha）のみならず，OG（180kg/ha）よりも高かった。これは PR が他草種に比べ吸肥力が強い草種であることを示している。もともと PR は肥沃な土壌に適した草種であり（吉山・藤本 1989）であり，土壌肥沃度の低い場所では，他のイネ科植物の侵入を許しやすい（Robson ら 1989）ことも併せ考えると，PR を採草利用する上では十分量の窒素施肥を行うことは，必要不可欠であると考えられる。ただし，放牧地においては放牧の形式や併給粗飼料の有無により，必要な放牧草量やふん尿の排泄量が左右することから一概には言えないが，それでも本試験や集約放牧草地の試験（北海道立天北農業試験場 1996）をみると，収量などから窒素施肥反応性が高いことが推察される。このことから PR に対してはいかなる利用形式においても窒素施肥管理の重要性が示唆されることから，今回 PR における窒素施肥技術を確立したことの意義は大きい。

さらに，最近の粗飼料生産においては，多収のみならず，高品質の自給飼料を生産する技術も求められているが，これまでの北海道における草地への施肥量の設定は主として肥料の利用効率や乾物収量，マメ科率などへの影響をもとに行われてきた。しかしながら，本研究では昨今の時流をかんがみ，各飼料成分や IVDMD への影響も施肥量を設定する検討項目として新たに加えた。その結果，単播草地では窒素施肥量が増加するとともに ADF や NDF の繊維含量や CP 含量が増加し，WSC 含量や IVDMD が低下する傾向を示すことが明らかとなった（第 2 章 2 項）。また，窒素施肥量の増加によって糖の中でもフラクタンや二糖類が減少し，結果としてサイレージ調製にも悪影響を及ぼすものもあった（第 3 章 2 項）。また，こ

表 4-1.　ペレニアルライグラスの窒素施肥管理法.

草地	刈取回数	マメ科率 FW%	窒素施肥量 kg/ha	施肥配分
放牧	―	15～50	30	年間 1 回（6 月下旬）
採草（単播）	年間 3 回	10 未満	210	年間 3 回均等（早春，1 番草後，2 番草後）
採草（混播）	年間 3 回	10 以上	90	年間 3 回均等（早春，1 番草後，2 番草後）
兼用	採草 1 回後放牧	15～50	30	年間 2 回均等（早春，1 番草後）

[1)]道北の台地土を対象としている.

れら PR 単播草地における窒素施肥による飼料成分への影響は TY 単播草地のそれ(第 3 章 3 項)よりも大きく，収量や施肥効率のほかに飼料成分の点からみても，PR の栽培生理にとって窒素施肥が重要な要素であることが明らかになった。

しかし，その一方で混播草地においては，WC の大気窒素の固定と PR への移譲によって窒素施肥自体の影響が小さくなり，採草地(第 2 章 3 項)でも兼用草地(第 2 章 4 項)でも窒素単播草地で見られたような傾向は見られなかった。これらと混播草地の収量反応性の結果から，WC との混播条件は PR にとって大きい外的要因である土壌肥沃度や窒素施肥の影響を窒素固定および移譲により，緩和させる効果があることが推察される。PR の栽培研究が盛んな西ヨーロッパでは，草地生産性(Frame 1990)や他感作用(Newman・Rovira 1975)，飼料価値(Schils ら 1999)からみた混播相性とその有利性を考慮して，PR は WC と混播される事例が多く，また北海道でも放牧地では栄養価や草地生産性等から WC との混播が推奨されているが(石田 1993)，これはさらに窒素施肥管理のばらつきや肥沃度の差による影響を軽減させる上でも有効であると指摘できる。

また，1 番草のマメ科率に応じて施肥量が TY では 4 区分，OG では 3 区分に分類されている(木曽ら 2002)が，今回 PR では細かい設定は行っていない。これは，天北地方は一般に 5，6 月の降水量が少なく，さらに同地方で主体となる重粘土は保水性も低いことから WC の生育は不安定であり(東田 1993)，マメ科率を定率で安定的に継続させるのは難しい。また，特に TY は年間 2 回刈取りで 1 番草の比重が大きい草であるため，1 番草のマメ科率に応じて決定するのが妥当であるが，PR は再生草の比重が大きい草であり，年間を通したマメ科率の評価が重要である。これらのことを踏まえ，本研究では PR 採草地，兼用草地においてマメ科率による細密な区分を行わず，WC との混播による集約放牧草地の基準であるマメ科率 15-50%を兼用草地にも適用した。また，採草利用の場合は同様の草地でも草丈を伸ばして利用するため，生草重当たりではマメ科率が若干低下することが予測されることから，採草地ではマメ科率 10%で区分し，10%以上を混播草地，以下は単播草地とすることとした。また，マメ科率の対象も放牧地に倣い，1 番草ではなく，年間とした。もともと PR は数年放牧地として利用した草地を採草利用したり，兼用利用したりと流動性のある利用が想定され，また放牧専用と兼用を各年で実施する交互利用を行う方が永年放牧利用するよりも草種構成や収量の永続性の面からもよいとされる(石田ら 1995)ことから，利用形式にかかわらず草種を通して同一の基準を用いることは現実的であると考えられる。ただし，今回設定した窒素施肥量では，採草地も兼用草地も 1 番草のマメ科率は設定した範囲内であることから，TY，OG 採草地に設けられた基準と比較しても整合性はあり，矛盾するものではない。

北海道施肥ガイド(木曽ら 2002)では TY，OG などについて地域別，土壌別に施肥量を設定している。本研究で得られた PR の採草地の窒素施肥法は道北の台地土で得られたものであるため，各地域・各土壌への応用を考えたい。まず道東は PR の栽培が適さない地帯とされていることから，混乱を避けるためにも施肥量を設定する必要はない。次に P_2O_5，K_2O 施肥量は現状では年間利用回数が等しい OG に準じていることから，他地域・他土壌においても現時点では OG と同様とする。窒素施肥量について，OG・TY では地域による差はなく，土壌でも泥炭土以外は共通で，泥炭土のみ両草種とも窒素施肥量が 20kg/ha 低く設定されていることから，PR でもこれを準拠する。目標収量については，ポコロ(佐藤ら 2002)やチニタ(吉田ら 2009)の地域適応性試験では多回刈条件において道央(滝川)は道北(浜頓別)よりも年間で 1 割ほど収量が高いことから，今回はこれを準拠する。このように考察すると，表 4-2 に示すように，PR の栽培に適した道南・道央と道北において PR の施肥標準が提案される。

表 4-2 ペレニアルライグラス採草地[1)]の施肥管理法の提案(単位は kg/ha，年間)．

地帯	地帯区分	マメ科率による区分	低地土				泥炭土				火山性土				台地土			
			目標収量[2)]	N	P_2O_5	K_2O	目標収量	N	P_2O_5	K_2O	目標収量	N	P_2O_5	K_2O	目標収量	N	P_2O_5	K_2O
道南・道央	1～9	10%以上	5,000～5,500	9	6	18	5,000～5,000	7	8	22	5,000～5,500	9	8	18	5,000～5,500	9	6	18
		10%未満		21	6	18		19	8	22		21	8	18		21	6	18
道北	10～12	10%以上	4,500～5,000	9	6	15	4,500～5,000	7	8	22	4,500～5,000	9	6	15	4,500～5,000	9	6	15
		10%未満		21	6	15		19	8	22		21	6	18		21	6	15

1)ペレニアルライグラス採草地とは，ペレニアルライグラスとマメ科牧草が混播されている草地及びペレニアルライグラス単一草地をいう。
2)年間3回利用を前提とする。そのときの施肥配分は，早春:1番草刈取後:2番草刈取後＝1:1:1とする。
3)苦土の年間施肥量は泥炭土と火山性土について4kg/10aとする。
4)炭カルの年間追肥量(pH5.5-6.0草地)は，40kg/10aとする。
5)1番草を採草利用し，その後集約放牧草地として利用するマメ科率15-50%の兼用利用草地についての年間施肥量については，
$N-P_2O_5-K_2O$ = 3-8-11(kg/10a)を早春と1番草刈取後に1:1の割合で施肥する(道北台地土・低地土に適用)。

今回提案した施肥標準は暫定とした部分や他の事例を準拠した事例が多く，今後更なる検証が必要ではあるものの，PR の利用については道北にとどまらず，道央や道南でもニーズは高く，そのニーズに十分応えうると考えられる。

2. ペレニアルライグラスの草種特性とその利点

PRは飼料成分や嗜好性が良好であること（山田1963；山田1999）はこれまで指摘されてきたが，本研究でも第3章1項において，OGやTYに比べてCPが高く，ADF，NDF が低く飼料成分が良好であることが確認された。また，Ca 含有率も高く，他草種よりも Ca/P が高く K/(Ca+Mg)が低いことから，ミネラルバランスから見ても良好である。さらに，WSC やフラクタンも他草種に比べ高い一方で，酸緩衝能は他草種と比べ特に高いわけではないことからサイレージ発酵には有利と考えられる。このサイレージ適性の高さは，第 3 章 2 項で簡易で調製したサイレージにおいても概ね良好な値を示したことからも確認される。さらには窒素施肥による変化は TY より大きいものの（第 2 章 2 項，第 3 章 3 項），過剰に窒素施肥したものでも，標準栽培した TY や OG よりも良好な成分を示した（第 2 章 2 項，第 3 章 1 項）。

また生産性についても，OGやTYを上回る生産性を示した。PR は草丈が OG，TY に比べて低く，一茎の大きさも小さいが，分げつ能力が高く，茎数は両草種をはるかに上回り，これらの茎は 1 番草の刈取時期においても増え続け，刈取後も速やかに再生する（第 3 章 1 項）。高い生産性はこの高い分げつ能力と窒素施肥反応性の高さによるものと考えられる。この生産性と品質を考えると同じ年 3 回利用のOGを大きく上回る栄養収量が得られると考えられる。なお，兼用や採草利用を含めた PR の現地実証試験（北海道立天北農業試験場 2006）でも，その高い飼料品質と乳生産への改善が認められており，現場への普及が急がれる。

本研究では第3章4項，5項において環境耐性の中でも天北地方で頻発する干ばつ害に対する耐性について特に焦点を当て検討した。PR は干ばつ時には収量，茎数の減少などの影響を受けるものの，干ばつ状態が解消した際の再生の程度は大きく，湿潤区よりも高い再生および収量を示した。このことから，本研究で設定した天北地方をモデルにした乾燥ストレスでは，年間で見ればその減収は少なく，さらには致命的な障害を生み出さないことが示唆される。SBG は耐干性が強いとされ，本試験でもそれが証明されたが，普及面積は少なく，多湿な圃場での栽培には不向き（古谷ら 1988）とされている。天北地方の土壌のうち，大半を占める鉱質土と泥炭土は排水性が悪い圃場が多く，まとまった雨により容易に多湿な環境となることから，SBG の全面的な導入は困難である。一方 PR は砂丘土を用いた試験のみならず（第 3 章 4 項），場内の褐色森林土を用いた試験（第 3 章 1 項）の 2 番草生育期に発生した 40 日間にわたる乾燥時にも地上部乾物重が増加し続けており，降水後の生育や 3 番草の生育も OG や TY に比べて良好であった。PR は OG や TY と異なり，茎を大きくすることよりも，分げつし茎を増やすことにより収量を増やす特性を持った草種（第 3 章 1 項，第 3 章 4 項）であり，茎の寿命も他の採草用草種に比べそれほど長くないとの報告もある。この草種特性が干ばつ時に致命的な障害を与えず，かつ再生時に速やかな再生を可能にしているのではないかと考えられる。また，糖に関してはOGと同様に茎基部における集積や収穫部における組成の変化などが見られ，一部の無機成分濃度や葉表面のクチクラワックス含量もSBGと同様に上昇が見られた。これら生理学的な反応も PR の耐干性と再生力を高めていると考えられる（第 3 章 5 項）。水島（2009）によると天北地方を構成する宗谷，留萌，網走管内では長期的に夏期間の降水が減少する傾向にあり，今後さらに干ばつに対する適応力の重要性は増すと考えられるため，天北地方における他草種との相対的な強弱も含めた PR の乾燥耐性については，今後のさらなる詳細な検討が待たれる。

他の環境耐性についていうと，耐酸性は弱い草種であり（寶示戸 1994），pH の低い圃場では石灰資材などによる改善がより必要である。また，冠水に対する抵抗性は中程度とされる。しかし，北海道では抵抗性の強いものはケンタッキーブルーグラスやリードカナリーグラスのような雑草として扱われる草種のみであることから，良質牧草の中では強い方と考えられる（南山ら 1974）。また，海野・山本（2003，2004a）によれば PR は IR やトールフェスク，メドウフェスクよりも高い耐塩性を示す耐塩性草種である。一方，PR は耐暑性や耐凍性に弱いが，天北地方の気候条件下ではこれらの耐性が要求される状況は少なく，むしろ日本国内では数少ない PR の栽培適地といってよい。

以上のことから，天北地方においてPRは適応性，環境耐性が強いため，その高い乾物生産性と飼料品質をいかんなく発揮できると考えられる。すなわち，良質自給粗飼料の増産のためにも，放牧地，採草地，または兼用草地のいずれにおいてもさらなる PR の栽培の普及が望ましい。

3. 天北地方におけるペレニアルライグラスの長所を活かした草地管理法

本項では前項で述べてきた PR の特長を活かしつつ，天北地方の酪農家の現場における PR の具体的な活用方法について提案する。

現在，PR の北海道優良品種としては中生の「チニタ」と晩生の「ポコロ」の 2 品種が認定されている。これらの 2 品種の利用用途について，前者は採草放牧兼用品種として，後者は通年放牧用品種として用いる利用モデルを吉田（2008）は提案している。すなわち，天北 5 号は中生品種であるため 1 番草の出穂が早く，かつ後述するように採草用草種として主要な TY の出穂期とも 7-10 日ずれること，また採草利用時の WSC が高く，良好なサイレージ適性を示すことから，1番草を適期に採草利用し，その後放牧地として利用する兼用草種として用いることが望ましい。一方ポコロは晩生であることから出穂による不食過繁地の出現のリスクが低い上に，多回刈利用時の春の生産性もチニタに比べ高いことから通年放牧用草種として用いることが望ましい。これらを適時組み合わせ，さらには兼用草地の 1 番草を草地の生産性が低下する 9 月下旬以降に放牧草の不足分として給餌することによって，放牧期間を通して偏りなく粗飼料を給与することが可能になる。また，通年採草を行っても PR は OG や TY よりも高い生産性と良好な飼料成分を示した（第3章1項）ことから，通年採草地も適時設け，良質な貯蔵粗飼料を確保することも重要であると考えられる。その際には，採草利用で高い飼料品質を示し，かつ刈取適期が TY と重ならないチニタを用いるのがふさわしいと考えられる。

個人で経営する酪農家の多くは，畑作農家や稲作農家と異なり，土地に余裕がない農家を除けば所有する圃場すべてに対しゆきとどいた管理を行っているわけではない場合が多い。また，特に天北地方は，近年離農に伴った農地拡大が行われたことにより，遠隔地にある圃場や飛び地の圃場の割合が他地方と比較しても高い。また，土壌も重粘土や泥炭土など水はけが悪く，気候や水分状態によっては重機で作業を行うことが困難な圃場も多く見受けられる。このような状況で，すべての圃場に同じような管理を行おうとすると，草地資源を有効に活かせず刈り遅れの草地が多く発生し，全体的に低品質・低栄養な粗飼料しか得られず，結果として乳飼比の高い濃厚飼料に依存した経営になってしまう場合が多い。現に，他地域に比べても刈遅れの傾向は顕著である（竹田ら 2001）。

PR は，これまで述べてきたように，放牧・採草利用，いずれの場面においても施肥反応性が高く（第 2 章 2 項，第 3 章 3 項），適切な施肥管理下では他草種をしのぐ良好な生育を示す（第 3 章 1 項）。また，放牧利用時は年間 8-9 回の利用が，採草利用時でも年間 3 回の刈取りが推奨され，いずれの場合においても他草種と比較して年間利用頻度の多い草種である。このことから，PR の放牧地や兼用地は酪農家の圃場の中でも農家や道路から近くにあるようなきめ細かい管理が可能な場所に配置し，採草地についてもこれを考慮することが望ましいと考えられる。このように PR を用いてきめ細かい管理を行うことで年間にわたって良質な粗飼料を確保することが可能になる。また，北海道で主たる採草用草種として用いられる TY は雑草との競合力が弱く，管理を要する草種だが，TY は早生品種であっても一番草の出穂期が 6 月下旬であり，採草用，兼用草種として推奨される PR の中生品種（チニタで 6 月中旬）とは 7-10 日ほど異なることから，刈取スケジュールが重なることはなく，両草種とも適期に刈取り良質粗飼料を多く生産することが可能である。さらに，再生草についても刈取時期が競合することはなく，両草種の草地を適度な割合できめ細かい管理が可能な圃場に配置すれば，作業効率を考える上でも効率よく生産性の高い圃場管理が可能となる。一方で遠方に位置しているような，条件が良好ではない，きめ細やかな管理が難しい圃場に関しては，比較的競合力が強く，粗放な管理にも耐える草種 OG を導入したり，さらには既存植生のまま管理をしたりすることが望ましい。このような圃場では作業がスムーズに進み，適した時期に刈取りができれば泌乳牛用の良質粗飼料をして収穫を行うが，降雨などによって収穫作業がスムーズに進まなかった年などは前述したようなきめ細かい管理が可能な PR 草地や TY 草地を優先し，ここで得られた牧草は敷き藁や育成・乾乳牛用の粗飼料として利用することとする。このような各草種の特性を活かしたメリハリの利いた管理を行うことで，全体的に低品質な粗飼料ではなく，確実に一定量の良質粗飼料を確保することが可能となる。

一方で，天北地方でも近年増加傾向にある TMR センター（北海道留萌支庁 2006；北海道宗谷支庁 2009）においては，配達する飼料の品質を安定させることが重要であり（鈴木 2009），逆に全圃場から収穫される粗飼料の品質を平準化させることを要望する場合もある。PR は収穫時期が遅れても他草種に比べれば良好な飼料品質を示し，また，TY よりも他草種との競合性が強い。このような場合は，刈り遅れによる飼料成分の低下が大きい OG や TY などを優先的に刈取りし，他草種との競合力が弱い TY をきめ細かく管理し，PR は刈取りの優先度を低下させ，若干粗放な管理を行ってもよい。ただし，PR は吸肥力が強く耐酸性に問題があることから，石灰などによる pH 管

理と十分な施肥，年間の刈取回数を極力守るべきであろう。

ここでは土地に余裕のある放牧を営む酪農家と TMR センターをモデルとして考えたが，放牧を営まない農家にとっても採草利用したPRは良質粗飼料として十分価値のあるものであり， PRをTYとともに良好粗飼料の材料として利用することは大いに価値があると考えられる。一方，土地に余裕のない農家であればその土地を有効に使うべく全草地できめ細かい管理を行うことが予想される。このような農家であれば乾物生産性，飼料価値ともに良好な PR の必要性がますます高まると考えられるだろう。

また，伊藤ら（2008）および福中ら（2008）は石れき草地や傾斜地における TY を用いた簡易更新法を提案しているが，天北地方であれば初期生長や定着力が TY よりも強い PR を用いれば，より確実な植生改善が可能になる。また，そのような条件の悪い草地においては，TY より PR の方がより永続性を発揮すると思われる。さらには天北地方特有の干ばつ害に対してもTYよりも耐干性が高いと考えられる（第 3 章 4 項）ことから，PR は TY よりも干ばつリスクの高い圃場で栽培しても，植生悪化や減収などの可能性が小さいと考えられる。このように PR はこれまで TY を導入しても永続させることが困難である圃場においても，その特性を活かし，良質粗飼料を生産することが可能である。

なお，PR は吸肥力が強いゆえに窒素施肥量が多く，他草種と比較しても施肥管理が重要な草種であると考えられるが，近年北海道で提案されたふん尿主体施肥設計法（三枝ら 2004）を用いて，ふん尿主体の施肥管理を行えば，ふん尿の処理と施肥が同時に可能になり，化学肥料の購入が抑えられる。特に PR は放牧地でも堆肥の利用法が開発され（堤・佐竹2004），採草地の窒素施肥量も多いことから，他草種より多くのふん尿を草地に還元することが可能である。さらに近年では圃場別のふん尿主体の施肥設計を容易にする「AMAFE」（松中ら 2009）も開発されており，これを用いれば環境と経営，飼料生産いずれにも有利なふん尿主体施肥と草地の有効利用はますます促進されるだろう。

このように，草地資源に立脚した，飼料自給率の高い足腰の強い酪農を展開させていくためには，冷涼かつ土壌凍結の起こらない天北地方の気候に適した PR を利用・活用すべき場面は大変広く，有用な草種であると考えられる。

4. 今後の研究の展開

これまで，PR の優れた特性とそれを活かした栽培法指針について述べてきたが，ここからは今後の北海道における PR の更なる研究方向について述べる。

本研究では PR について窒素施肥を中心とした栽培管理（第 2 章）について検討を行い，既往の成果と合わせて単播の採草地，WC との混播草地における採草利用，兼用利用，放牧利用について施肥管理技術が確立された。しかし，第 2 章 5 項で指摘したマメ科率が 15%を下回る採草・放牧兼用草地への年間窒素施肥技術において，施肥配分が不十分であり，さらなる検討事項も明らかとなった。また，PR は OG，TY と異なり，Ca 含量，吸収量が高くミネラルバランスが良好であった（第3章1項）ことから，三要素以外の養分，特に Ca についてもこれら草種と要求量が異なることも考えられ，既往の報告（寶示戸 1994）に基づいたきめ細やかなリン酸・石灰資材の投入等によって収量や永続性が大きく改善される可能性も示唆される。また，PR の天北地方における永続性はTYよりも良好であり，他草種と比較しても遜色はないが，有機物施用や表層切断処理など含めた永続的に良好な生産性および植生を維持するための管理技術の検討も必要と言えよう。さらに，本研究では PR の混播相手として，既往の文献（Schilsら 1999；Frame 1990；Newman・Rovira 1975）や天北地方の放牧地での事例（石田 1993）に基づき，全研究で WC を用いたが，アカクローバやアルサイククローバ，アルファルファや近年注目されているガレガ（岩渕ら 2007）などとの混播適性についても検討を行う必要があると考えられる。また，第3章4項でふれたように， PRも含めた各草種の耐干性の相対的な強さに関する，現地におけるさらなる検討も重要である。

また，育種については上川農業試験場天北支場では「天北 5 号」（品種名「チニタ」）の育成をもって育種事業を中止したが，他の機関では育成を行っており，さらには海外品種の導入なども考えられる。そのような今後導入されるであろう新品種に最も望む点としては，越冬性，特に耐寒性の向上があげられる。PR は良好な性質を多く有しながら，その耐寒性の低さから栽培適地は冬期多雪地帯に限定され（吉田ら 2009），土壌凍結の発生する道東では栽培に適さない。大規模酪農地帯である根釧地方や十勝地方を有する道東においても仮に PR が安定的に栽培できれば，放牧をはじめとして大いに普及されることであろう。佐藤ら（2007）も根釧地方で PR エコタイプの収集などを行っており，今後はこれらを育種材料として用いた耐寒性を中心とした改良が望まれる。また，越冬性に関連するも

う一つの形質として，雪腐病菌への耐病性も重要である。道東では雪腐大粒菌核病が，天北地方のような北海道の多雪地帯においては雪腐黒色小粒菌核病や雪腐褐色小粒菌核病，紅色雪腐病が主として発生するが（君ヶ袋・大内 1989；佐藤 1999），これらに罹病すると分げつが枯死したり，早春の萌芽や草勢が著しく低下するなどし，ひいては低収や草種構成悪化に繋がる危険を有する。薬剤散布などの防除手段はあるものの現実の草地においては実用的ではないため，耐病性の高い品種が望まれる。これら越冬性に関連した形質の他にも，多収性や耐暑性，永続性などにおいてさらなる改良を望みたい。

さらに，これまで上川農業試験場天北支場において育成された 2 品種のさらなる普及と利用のためにも，これら両品種の特性を活かした，放牧農家における草地の管理法について具体的な方式の検討と実証試験が必要であると考えられる。また，採草利用についても農家における実証を通して既往の草種よりもメリットが多いことを現場レベルにおいて示し，さらなる採草利用の普及を図ることが必要と考えられる。また，天北地方の中でも気象や土壌などの条件は地点により大きく異なり，これらから導入すべき草種が制限されることも考えられる。例えば TY などは耐干性に問題があり，逆に SBG は干ばつ常襲地帯に適すが多湿地帯には適さない（第 3 章 4 項）が，実際にはこのような草種特性は考慮されず，結果として全地域で画一的な栽培がされており，結果として期待される生産性や飼料品質，永続性を示さない場合が多々ある。このことから，天北地方内の各地域における PR を含めた各草種の栽培適性などを評価し，その地域に適正草種を明示する必要も高い。近年は「精密農業」という概念（渋澤 1999）が提唱され，草地分野でもそれに関連した研究が始められているが（牧野ら 2006a，2006b），これらの研究と適正草種の明示によってきめ細かい現場に即した各草種の特性を活かした草地生産が可能になり，その下で PR の普及が速やかになると考えられる。

以上指摘した事項は今後期待する研究のうちの一部に過ぎないが，これからの研究の進展により，PR の栽培が普及されることによって酪農家におけるさらなる良質粗飼料生産が可能になり，輸入飼料に依存せず飼料自給率を高めた，経済的にも環境的にも健全な酪農経営が各農家や TMR 法人において営まれることが天北地方の発展，振興にもつながる。また，天北地方の気候に適した PR を放牧，採草，兼用といった様々な条件で有効に用いることにより，天北地方ならではの酪農が形づくられ，特色ある地方づくりにも貢献できるであろう。

第 5 章　要約

ペレニアルライグラス（*Lolium perenne* L., 以下 PR）は，イネ科の多年生牧草で，その嗜好性と栄養価の高さから，現在では西ヨーロッパをはじめとする世界中の温帯地域で栽培される。北海道北部に位置する天北地方は夏期冷涼かつ冬期に土壌凍結が起こらないため日本国内では数少ない PR の栽培適地である。この草種は日本国内ではこれまで主として放牧に利用されてきたが，近年天北地方の酪農家の間では採草利用も含めた総合的利用体系を求める声が高い。

そこで，本研究では採草利用，採草・放牧兼用利用における窒素施肥技術を開発するともに，主として採草利用した PR の粗飼料としての価値や生育，環境耐性などの生理学的特性について他草種との比較も交えつつ検討した。

1. ペレニアルライグラス草地の窒素施肥管理法

1）年 3 回刈取を行う PR 単播草地の窒素施肥配分（年間窒素施肥量は 180kg/ha）について検討を行った結果，早春，1 番草刈取後，2 番草刈取後に 1:1:1 と等分に施肥する処理が，年間乾物収量，基底部被度，年間窒素利用率および年間 IVDMD ともに良好な結果を示した。その原因は年間を通し窒素の吸収が偏りなく行われたためと考えられる。

2）PR 単播草地を年 3 回刈りで採草利用する場合の適正な年間窒素施肥量について，窒素処理 6 段階（0, 90, 160, 180, 210, 240kg/ha）を設けて検討した。窒素施肥量の増加により収量と繊維，CP は増加し，I VDMD と WSC は減少した。収量，窒素利用および IVDMD，飼料成分等からみて年間窒素施肥量は 210kg/ha が望ましいと判断された。

3）PR・WC 混播草地を年 3 回刈りで採草利用する場合の適正な年間窒素施肥量について，窒素処理 4 段階（0, 60, 90, 120kg/ha）を設けて検討した。飼料成分については PR 単播草地と傾向が異なった。年間 90kg/ha の窒素を施肥した区は約 9,000kg/ha の年間乾物収量が期待でき，単位施肥窒素当たりの乾物増産量も最も高く，年間 40kg/ha 近くのシロクローバからの窒素移譲も期待でき，適正な窒素施肥量であると判断された。

4）1 番草を採草し，その後約 3 週間毎（年間 5-6 回）に模擬放牧を行った PR・WC 混播兼用草地を対象に年間窒素施肥量を 4 処理設け（0, 30, 60, 90 kg/ha），適正な窒素施肥量を検討した。年間 30kg/ha の窒素を施肥した区は乾物収量や TDN 収量，窒素吸収量，単位施肥窒素あたりの乾物増加量が高く，マメ科率も良好であった。この条件下では年間約 30kg/ha 程度の窒素移譲も期待でき，放牧期の番草ごとの収量，マメ科率のばらつきも小さいため，適正な窒素施肥量であると判断した。

5）1 番草を採草し，その後約 3 週間毎（年間 5-6 回）に模擬放牧を行った PR 単播兼用草地を対象に年間窒素施肥量を 4 処理設け（0, 60, 120, 180 kg/ha），適正な窒素施肥量を検討した。いずれの処理区も放牧期の後半において著しく低収であり，単播草地の放牧期 1 回施肥は放牧後期において肥切れをもたらすことが明らかになった。今後適切な施肥配分の下で，収量や飼料成分からみた窒素施肥量の検討が望まれる。

2. ペレニアルライグラスの採草利用時の生育・飼料特性

1）PR と OG を年間 3 回刈り，TY を年間 2 回刈りの条件で，その生育特性を経時的に調査した。PR は他の 2 草種より年間乾物収量が高く，飼料品質も良好で，高い糖含量からサイレージ発酵にも適していることから，放牧に限らず採草用としても利用価値の高い草種であることが明らかとなった。

2）異なる窒素施肥量（90，180，240kg/ha）で栽培した PR 単播草地年 3 回刈りで採草利用し，各種糖含量やサイレージの発酵品質について調査を行った。採草利用した牧草と模擬放牧利用した牧草は各糖含量，糖組成が異なった。発酵品質は WSC およびフラクタン含量と密接な関係を示し，窒素多肥で WSC，フラクタンが低下した牧草からは，良好なサイレージ発酵品質は得られない場合もあった。

3）北海道の主力草種である TY 単播草地で窒素施肥量（0, 80, 160, 240kg/ha）が，飼料成分や糖含量，酸緩衝能およびサイレージの発酵品質に及ぼす影響を調査した。TY への窒素施肥量が増加すると，NDF や CP が上昇し，糖含量は WSC やフラクタンを中心に減少したが，PR と比べるとその変動は小さかった。酸緩衝能，サイレージ発酵品質は過剰な窒素施肥で悪化し，PR 同様 TY でも適正な窒素施肥が重要であることが示された。

4) PR の耐干性を相対的に比較するため，天北地方の干ばつを模した気象条件下における寒地型牧草 4 草種（PR, TY, OG, SBG）の乾物生産性と再生力を評価した。PR は乾燥により減収したが，再生試験では乾燥区が湿潤区を上回る再生を見せた。TY は再生力が大きく損なわれ，OG は乾燥による減収は大きいものの再生力は損なわれず， SBG は高い耐干性が示されたが，乾物収量では 4 草種中もっとも低かった。このことから PR は干ばつが頻発する天北地方でも栽培に適することが示唆された。

5) 干ばつ試験で得られた試料を用いて無機成分と各種糖，クチクラワックス含量を分析し，乾燥条件によって寒地型牧草に生じる成分の変動について調査した。無機成分や糖，およびワックスについての反応は草種によって大きく異なり，耐干性の違いと，それに基づく乾燥に対して働く耐性機構の違いが示唆された。特に糖については干ばつ解消時の再生に対して大きな関連を持つことが示された。

3. 結論

以上のように，本研究では PR の採草利用時，採草・放牧兼用利用時における窒素施肥管理法が確立された。これらの施肥管理法の基準には従来の収量や施肥効率，マメ科率のみならず，飼料成分への影響も加味されている。さらに，これらをもとに PR の採草地における施肥指針が提案された。

また，PR の生産性，窒素利用率，飼料品質，サイレージ適性は他草種よりも良好であり，収量，飼料品質に対する窒素施肥反応性も高く，適正に施肥管理すると良質粗飼料が多く生産できることが示された。さらに PR は干ばつが頻発する天北地方でも栽培できる程度の耐干性を有することが明らかとなった。

PR は多様な利用性を有するため，栽培適地である天北地方でさまざまな酪農経営において積極的に導入し有効活用することによって，柔軟かつ有益な草地管理が可能になり，酪農の振興につながると考えられる。すなわち，天北地方ならではの酪農が形づくられ，特色かつ魅力ある地方づくりにも貢献できるであろう。

第 6 章 Summary

Perennial ryegrass (*Lolium perenne* L., PR) is a kind of temperate grass that is cultivated in many temperate areas in the world, including Western Europe, because of its forage quality and its clear preference by dairy cows. The Tenpoku region, located in the northernmost part of Hokkaido, is a suitable area to cultivate PR because of the coolness of the summer and the abundance of snow, which protects the grass against the chill of winter. In Japan, PR has historically been used mainly for grazing. Recently, many farmers in Tenpoku have begun to use PR not only for grazing, but also for silage and hay, and there is an increasing necessity to establish a synthetic management system of PR including use for cutting.

Therefore, we conducted a study to determine a suitable nitrogen fertilizing method for PR fields intended for cutting, and for integrated cutting and grazing. Secondly, we researched the forage quality and physiological characteristics including productivity, response to N, and environmental tolerance of perennial ryegrass compared with other grass species.

1. Nitrogen fertilization for perennial ryegrass fields.

1) A study was conducted to evaluate the split application methods of fertilizer nitrogen for PR monoculture fields cut three times a year. Three equal splits in early spring and immediately after the first and second cuts are most appropriate as these results in the highest values of annual forage yield, basal coverage of the grass, annual nitrogen recovery and mean *in vitro* dry matter digestibility. These superior results may be attributable to the constant availability of nitrogen and its efficient uptake by plants throughout the year.

2) The optimal nitrogen fertilizer rate for PR meadows cut three times a year was determined in a field experiment applying six nitrogen rates (0, 90, 160, 180, 210 and 240 kg/ha/year). With the increasing nitrogen rates, herbage DM yield, and fibre and crude protein contents of herbage increased, while *in vitro* dry-matter digestibility and water-soluble carbohydrate content of herbage decreased. The results show that the annual nitrogen rate of 210 kg/ha is most appropriate in terms of ideal annual forage yield, nitrogen efficiency, *in vitro* dry matter digestibility and forage quality.

3) A field experiment was conducted to determine the recommended application rate of nitrogen fertilizer for mixed sown meadows of PR and white clover (WC). The meadow was cut three times per year, and nitrogen fertilizer was applied at four levels: 0, 60, 90 and 120 kg /ha/year. The effect of nitrogen fertilization on forage quality was different from that for grass monoculture fields. A 90 kg nitrogen application showed high productivity (approximately 9000 kg DM/ha) and the increase in DM yield per unit of nitrogen applied was the greatest. Moreover, WC supplied nitrogen about 40 kg/ha per year for grass growth at this rate. We conclude that the recommended rate of nitrogen fertilizer is 90 kg/ha per year.

4) We conducted field experiments to determine suitable application rates of nitrogen fertilizer for integrated cutting and grazing of PR / WC fields. Before the first cutting in mid-June the fields were managed as meadows. Following the first cut, they were cut five or six times to simulate grazed pasture. Annual nitrogen fertilizer rates were 0, 30, 60 and 90 kg/ha. Among the treatments, annual total dry matter yield, annual yields of total digestible nutrients, total nitrogen uptake and increase in DM yield per unit of nitrogen applied were highest and average legume ratio was high at 30 kg/ha. Moreover, the coefficients of variation for DM yield and legume ratio during the pasture period were lower, and WC supplied about 30 kg /ha per year for grass growth at this rate. Therefore, a suitable application rate of nitrogen is 30 kg/ha.

5) A field experiment was conducted to determine the most suitable application of nitrogen fertilizer for integrated cutting and grazing of PR monoculture fields. Before the first cutting in mid-June the fields were managed as meadows. Following the first cut, they were cut five or six times to simulate grazed pasture. Annual nitrogen fertilizer rates were 0, 60, 120 and 180 kg/ha, half of which was applied in early spring in the meadow period, and half of which was given at the beginning of the pasture period. Grass productivity and nitrogen uptake declined in the latter half of the pasture period in every treatment, which suggested that this split application method was unsuitable for a PR monoculture field. Further research is necessary to determine suitable application rates of nitrogen fertilizer for productivity and forage quality under appropriate split applications.

2. Growth and forage character of perennial ryegrass for cutting use.

1) We evaluated the growth characteristics and forage quality of PR, orchardgrass (OG) and timothy (TY) by a field experiment in which cuts were made three times a year for PR and OG, and twice for TY. The annual dry matter yield was the highest in PR (11-12 ton/ha) among the three grass species, and the forage quality of PR was superior to OG and TY. In addition, PR showed high contents of WSC and fructan, so it was considered that PR is suitable for silage fermentation. From these results, it was concluded that PR is suitable not only for pasture, but also for meadows.

2) The effect of 3 levels of nitrogen fertilization (90, 180 and 240 kg/ha/year) on the sugar composition of the PR meadow and the fermentation quality of the silage made from it was investigated. The meadow was cut 3 times per year and silage was made from each cut at each level of nitrogen application. In general, grass from the meadow showed different sugar content and composition from that of the simulated grazing field. The fermentation quality of the silage was closely associated with the WSC and fructan contents of the materials used to make the silage, and the WSC and fructan contents of the PR meadow were reduced by high rates of fertilizer nitrogen application, which were not always sufficient to give silage of good fermentation quality.

3) The effect of the four rates of fertilizer nitrogen (0, 80, 160 and 240 kg/ha/year) on forage quality, sugar content, acid buffering capacity and silage fermentation of TY monoculture meadows (this is the most popular forage grass for meadows in Hokkaido) was investigated in a field experiment. The NDF and CP of the herbage increased, and the sugar content, mainly WSC and fructan, decreased with increasing nitrogen rates in the herbage; however, these effects of nitrogen fertilization on forage quality and sugar were smaller than with PR meadow. Too much nitrogen increased acid buffering capacity and gave poorer quality silage. The results show the importance of an appropriate rate of nitrogen fertilization in determining the forage quality, sugar content and silage fermentation.

4) We evaluated the productivity and regrowth ability of PR, TY, OG and smooth bromegrass (SBG) under drought conditions as sometimes occur in the Tenpoku region by analyzing several physiological and morphological traits to compare their drought tolerance. Drought adversely affected the growth of PR, but the species showed high compensatory growth in the regrowth experiment. The regrowth ability of TY was heavily impaired by drought. OG was the most susceptible to drought, but its regrowth ability was not affected, so that damage was limited to the growth that occurred when plants experienced the drought. SBG proved to be highly drought tolerant, but its dry matter yield was the lowest. These results showed that PR had the advantage of being able to survive in drought-prone areas in cool climatic zones such as the Tenpoku region.

5) We conducted chemical analysis and investigated the effects of drought described in 4) on mineral nutrients, sugar, leaf epicuticular wax contents of

the temperate grasses (PR, TY, OG and SBG). The results for mineral nutrients, sugar, and cuticular wax showed different responses among grass species, and suggested a difference in drought tolerance and function caused by drought. In particular, the changes in sugar content and composition were closely associated with regrowth after drought conditions were relieved.

3. Conclusion

As mentioned above, we established a suitable nitrogen fertilizing method for PR fields for cutting and for integrated cutting and grazing. In this study, to establish these nitrogen fertilizing methods, we took into consideration not only productivity, nitrogen efficiency and ratio of legumes, but also, for the first time, forage quality. Moreover, we propose a fertilization standard in Hokkaido for PR meadows on the basis of these results.

Productivity, nitrogen efficiency and forage quality of PR were superior to OG and TY, therefore PR is suitable for silage fermentation because of its high content of WSC and fructan. The productivity and forage quality of PR were more sensitive to nitrogen fertilization compared to other species, which shows that PR has high productivity and excellent quality under appropriate fertilization. Moreover, PR had drought tolerance, which would allow it to be cultivated in drought-prone areas in Hokkaido such as the Tenpoku region.

Since PR is widely available and suitable for cultivation in the Tenpoku region, dairy farmers could manage fields flexibly and effectively if it were introduced and properly utilized in the dairy system. This would assist in development of the dairy industry. It would help to realize an original dairy style peculiar to the Tenpoku region, which would contribute to the character and attractiveness of the region.

引 用 文 献

Amiard V, Morvan-Bertrand A, Billard JP, Huault C, Keller F, Prud'homme MP (2003) Fructans, but not the sucrosyl-garactosides, raffinose and loliose, are affected by drought stress in perennial ryegrass. Plant Physiol 132: 2218-2229

Anderson MN, Jensen CR, Lösch R (1992) The interaction effects of potassium and drought in field-grown barley. I. yield, water-use efficiency and growth. Soil and Plant Sci 42: 34-44

Ashraf M, Ahmad Ashfaq, McNeilly T (2001) Growth and photosynthetica in pearl millet under water stress and different potassium supply. Photosynthetica 39: 389-394

坂東 健・寒河江洋一郎・石田 亨(1997)天北地域における粗飼料の調製・給与に関する実態および今後の意向(その1 実態). 北農 64:291-298

坂東 健・佐竹芳世・石田 亨・中村克己(1998)ペレニアルライグラスの乾草利用の検討. 道立農試集報 75:37-40

Barnes JD, Percy KE, Paul ND, Jones P, McLaughlin CK, Mullineauz PM, Creissen G, Wellburn AR (1996) The influence of UV-B radiation on the physicochemical nature of tobacco (*Nicotiana tabaccum* L.) leaf surface. J Exp Bot 47:99-109.

Bengtson C, Larsson S, Liljenberg C (1978) Effects of water stress on cuticular transpiration rate and amount and composition of epicuticular wax in seedlings of six oat varieties. Plant Physiol 44: 319-324

Bittman S, Simpson GM (1987) Soil water deficit effect on yield, leaf area, and net assimilation rate of three forage grass: crested wheatgrass, smooth bromegrass, and altai wildrye. Agron J 79: 768-774.

牧草・飼料作物栄養価問題検討委員会(1991)牧草・飼料作物の栄養価評価の手引. 北農会, 札幌, p44–46

Bondada BR, Oosterhuis DM, Murphy JB, Kims KS (1996) Effect of water stress on the epicuticular wax composition and ultrastructure of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) leaf, bract, and boll. Environ Exp Bot 36: 61-69

Brockman JS, Wolton KM (1963) The use of nitrogen on grass/white-clover swards. J Brit Grassl Soc 18: 7-13

Busso CA, Richarda JH, Chatterton NJ (1990) Nonstructural carbohydrates and spring regrowth of two cool-season grasses: Interaction of drought and clipping. J Range Manage 43: 336-343

蔡 義民(2001)サイレージの分析法. 改訂粗飼料の品質評価ガイドブック(自給飼料品質評価研究会編), 日本草地畜産種子協会, 東京, p36-42

蔡 義民(2004)サイレージ分析. サイレージ～より高品質なサイレージ, より乳牛が喰い込むサイレージ～, デーリィ・ジャパン社, 東京, p1-8

Clayton WD, Renvoize SA (1986) GENERA GRAMINUM-Grasses of the World-. Royal Botanic Gardens, Kew.

Douglas JT, Crawford CE (1993) The response of a ryegrass sward to wheel traffic and applied nitrogen. Grass Forage Sci. 48:91-100

Eneji AE, Yamamoto S, Honna T (2001) Rice growth and nutrient uptake as affected by livestock manure in four Japanese soils. J Plant Nutri 24: 333-343

Eneji AE, Inanaga S, Muranaka S, Li J, An P, Hattori T, Tsuji W. (2005) Effect of calcium silicate on growth and dry matter yield of *Chloris garaya* and *Sorghum sudanense* under two soil water regimes. Grass Forage Sci 60: 393-398

Frame J (1990) Herbage productivity of a range of grass species in association with white clover. Grass Forage Sci 45:57-64

藤井弘毅・山川政明・澤田嘉昭・牧野 司・松原哲也(2007)チモシー(*Phleum pretense* L.)における新旧分げつの交代の季節性ならびに各番草収量構成分げつの発生時期について. 日草誌. 53(別):20-21

藤田泰仁(2001)一般成分分析法. デタージェント分析法. 改訂粗飼料の品質評価ガイドブック(自給飼料品質評価研究会編), 日本草地畜産種子協会, 東京, p7-13

福中正行・中村毅志・伊藤憲治(2008)簡易更新・初冬季播種による傾斜草地の植生改善事例(その2). 北草研報 42:39

古谷政道・下小路英男・川村公一・中住晴彦・植田精一・増谷哲雄・樋口誠一郎・筒井佐喜雄・眞木芳助・田辺安一・嶋田 徹・中山貞夫・青田盾彦(1988)スムーズブロムグラス新品種「アイカップ」の育成について. 道立農試集報 57:

35-48

Garwood EA, Tyson KC, Sinclair J (1979) Use of water by six grass species 1.dry-matter yields and response to irrigation. J Agric Sci Camb 93: 13-24.

後藤重義(1990)原子吸光法, 植物栄養実験法(日本土壌肥料学会監修). 博友社, 東京, p134-142

Harkess RD, Morrison MW, Frame J (1990) Herbage Productivity of brome grass (*Bromus caribnatus*). Grass Forage Sci 45:383-392

服部育男・熊井清雄・福見良平(1996)可溶性炭水化物(WSC)および乳酸緩衝能(LBC)がサイレージの発酵品質に及ぼす影響. 愛媛大農場報告 17:39-46

Hattoti T, Inanaga S, Araki H, An P, Morita S, Luxová Miroslava, Lux A (2005) Application of silicon enhanced drought tolerance in *Sorghum bicolor*. Physiol Plant 123: 459-466

早川康夫・佐藤康夫(1973)放牧期間の延長. 第 4 報 ASP 用草種の選定と晩秋放牧. 北農試研究報告 104:19–31

東田修司(1986)混播草地における N 循環とマメ科草の維持技術. 北草研報 20:30-36

東田修司(1993)天北地方における重粘土草地の土壌微生物活性と牧草生産. 道立農試報告 80:1-110

日高 伸(1997)土壌環境分析法. 博友社, 東京, p231-255

寶示戸雅之(1994)草地土壌の経年的酸性化と牧草の生育特性に関する研究. 道立農試報告 83:1-106

北海道網走支庁(2008)オホーツクの農業 2008. 北海道網走支庁, 網走, p1-33

北海道立中央農業試験場(1992)土壌および作物栄養の診断基準—分析法(改訂版)—. 北海道立中央農業試験場, 長沼, p51–103

北海道立中央農業試験場(1993)宗谷支庁. 北海道土壌図一覧, 道立農試資料 21:54-55

北海道立天北農業試験場(1996)ペレニアルライグラス集約放牧草地のシロクローバを維持するための窒素施肥法. 平成 7 年度研究成果情報(北海道農業), 農林水産省北海道農業試験場編, 札幌, p202-203

北海道立天北農業試験場(2006)ペレニアルライグラス「ポコロ」の導入による草地植生および家畜利用性の改善. 平成 18 年普及奨励ならびに指導参考事項, 北海道農政部, 札幌, p158-160

北海道留萌支庁(2006)留萌の農業 2006. 北海道留萌支庁, 留萌, p1-31

北海道宗谷支庁(2007)Topic of Soya. 宗谷の農業 2007, 北海道宗谷支庁, 稚内, p7

北海道宗谷支庁(2009)宗谷の農業 2008. 北海道宗谷支庁, 稚内, p1-43

Horst GL, Nelson CJ (1979)Compensatory growth of tall fescue following drought. Agron J 71: 559-563

Huang B, Gao H (2000) Root physiological characteristics associated with drought resistance in tall fescue cultivars. Crop Sci 40: 196-203

Humphreys MO (1989) Water-soluble carbohydrates in perennial ryegrass breeding. I. Genetic differences among cultivars and hybrid progeny grown as spaced plants. Grass Forage Sci 44:231-236

Imada T, Razmjoo K, Hirano J, Kaneko S, Ishii R (1993) Response of perennial ryegrass(*Lolium perenne* L.) cultivars to heat stress. Jpn J Glassl Sci 39:225-235

井上光弘・野村安治(1983)砂丘砂の水分恒数と乾燥過程における土壌水分特性曲線の決定. 砂丘研究 30:15-25

石田 亨(1993)放牧地における合理的草種・品種の組合せ. 北草研報 27:27-32

石田 亨・寒河江洋一郎・川崎 勉・坂東 健・裏 悦次(1995)ペレニアルライグラス放牧草地の集約利用技術. 道立農試集報 68:51-60

石田 亨(2003)第 4 章牧草生産からみた放牧導入のための必要条件 第 3 節 天北地方の場合. 酪総研特別選書 No.76 放牧で牛乳生産を-北海道での放牧成功の条件-, 酪農総合研究所, 札幌, p71-86

石黒敏機(1981)ペレニアルライグラスとオーチャードグラスのめん羊による自由採食量と飼料価値の比較. 日草誌 26:430–434

石川尚人・志水勝好・永西 修(2005)ケナフ葉サイレージのタンパク質画分と発酵特性. 日草誌 51:303-306

伊藤憲治・中村毅志・福中正行(2008)簡易更新・初冬季播種による石れき草地の植生改善事例. 北草研報 42:40

伊東睦泰(2000)Ⅶ. イネ科牧草 4.ライグラス類. 作物学(Ⅱ)-工芸・飼料作物編-, 文永堂出版, 東京, p167-175

岩渕 慶・我有 満・堀川 洋(2007)ガレガ(*Galega orientalis* Lam.)のチモシー(*Phleum pratense* L.)との混播適性. 日草誌 53:221-226

岩間秀炬・渡辺治郎・小川和夫(1983)寒冷地域における重粘土草地の灌漑(Ⅰ)農土誌 51:197-203

和泉康史・大橋尚夫・及川 寛(1972)窒素施用水準および刈取時期が乾草とサイレージの消化率および養分摂取量に及ぼす影響. 日畜会報 43:603-610

和泉康史・黒沢弘道・石田 亨・尾上貞雄・小倉紀美・蒔田秀夫(1982)窒素施肥量が牧草サイレージの飼料価値に及ぼす影響. 日畜会報 53:313-320

Jaballah S, Gribaa A, Volaire F, Ferchichi A (2008) Ecophysiological responses of perennial grasses *Stipa lagascae* and *Dactylis glomerata* under soil water deficit. Options Méditerranéennes Serie A 79:303-307

Jackson DK (1974) The course and magnitude of water stress in *Lolium perenne* and *Dactylis glomerata*. J Agric Sci Camb. 82:19-27

Jo J, Yoshida S, Kayama K (1985) Effect of legume/grass association on the growth and symbiotic nitrogen fixation of leguminous forages. Jpn J Grassl Sci 30:351–359

Jones DIH, APGriffith G, Walkers JK (1965) The effect of nitrogen fertilizers on the water-soluble carbohydrate content of grasses. J Agric Sci 64: 323-328

Jones EL, Roberts JE (1991) A note on the relationship between palatability and water–soluble carbohydrates content in perennial ryegrass. Ir J Agric Res 30:163-167

Kallida R, Al Faiz C, Shaimi N (2008) Water stress effects on perennial grasses growth and behaviour. Options Méditerranéennes Serie A 79:309-313

加納春平・落合一彦(1995)放牧計画および方法. 集約放牧マニュアル(集約放牧マニュアル策定委員会編), 北海道農業改良普及協会, 札幌, p61-73

川端習太郎(1979)寒地型イネ科牧草. 農業技術体系畜産編 7 飼料作物, 農林漁村文化協会, 東京, p621-628

川崎 勉(1992)6.ペレニアルライグラスと放牧技術. ぐらーす 36(3):24-29

Keating T, O'Kiely P (2000) Comparison of old permanent grassland, *Lolium perenne* and *Lolium multiflorum* swards grown for silage. 3. Effects of varying fertilizer nitrogen application rate. Ir J Agric Food Res 39:35-53

君ヶ袋尚志・大内義久(1989)第 3 章飼料作物の栽培 4. 病虫害と防除. 粗飼料・草地ハンドブック, 養賢堂, 東京, p517-542

木曽誠二・菊地晃二(1988)チモシー(*Phleum pratense* L.)を基幹とする採草地におけるマメ科草混生割合に基づいた窒素施肥量. 日草誌 34:169-177

木曽誠二・菊池晃二(1990)チモシー(*Phleum pratense* L.)を基幹とする採草地の窒素施肥配分に関する研究. Ⅰ. 窒素施肥配分が数種チモシー品種の乾物収量に及ぼす影響. 日草誌 35:293-301

木曽誠二・高橋市十郎・三枝俊哉・早川嘉彦・奥村正敏(2002)牧草・飼料作物. 北海道施肥ガイド(北海道農政部道産食品安全室編), 北海道農政部, 札幌, p202–229

近藤秀雄(1973)牧草地に対する秋施肥に関する研究. 第 1 報 オーチャードグラス草地の早春の生産性に対する秋施肥と春施肥の比較. 北農試研報 106:109-121

小島邦彦・林 兼六(1965)牧草炭水化物の生理化学的研究. I 可溶性糖類の溶性区分について. 日草誌 10: 199-206

小島邦彦・伊沢 健(1967)牧草炭水化物の生理化学的研究. 第2報 草種による炭水化物特性について. 日草誌 13:39-49

Kramer PJ, Boyer JS (1995) Water relations of Plnat and Soil. Academic press, Orlando, US.

Laidlaw AS (1988) The contribution of different white clover cultivars to the nitrogen yield of mixed swards. Grass Forage Sci 43:347–350

Lewis GC (1991) Interactions between pesticide treatment, cutting frequency and rate of N fertilizer on white clover grown in mixture with perennial ryegrass. Grass Forage Sci 46:399-403

Lovett DK, Bortolozzo A, Conaghan P, O'Kiely P, O'Mara FP (2004) *In vitro* total and methane gas production as influenced by rate of nitrogen application, season of harvest and perennial ryegrass cultivar. Grass Forage Sci 59:227–232

前田善夫(2004)牧草・飼料作物に対するふん尿主体施肥設計法. 平成15年度新しい研究成果—北海道地域—, 北海道農業研究センター, 札幌, p85-88

牧野 司・林 拓・佐藤尚親・三浦 周・岡元英樹(2006a)リモートセンシング技術の草地への適用～圃場単位での牧草収量推定および草地整備事業への利用～. 日草誌 52(別 1):38-39

牧野 司・林 拓・佐藤尚親・三浦 周・岡元英樹(2006b)リモートセンシング技術の草地への適用～市町村単位での草地の抽出および牧草収量推定～. 日草誌 52(別 2): 12-13

増子孝義(1994)サイレージを決定する要因. サイレージの科学, デーリィ・ジャパン社, 東京, p16-20

増子孝義・小野淳史・古川信明・大谷 忠(1994a)北海道で栽培した寒地型イネ科牧草における粗蛋白質, ADF および可溶性糖類(WSC)含量の生育ステージ別, 刈取り回次別変化. 日草誌 40:227-229

増子孝義・兒玉厳雄・植松 斉・久保井栄・前田良之・山中義忠(1994b)北海道で栽培した寒地型イネ科牧草における

単糖・二糖類含量の生育ステージ別，刈取り回次別変化．日草誌．40:230-233

増子孝義（1999）サイレージの発酵．サイレージ科学の進歩（内田仙二編），デーリィ・ジャパン社，東京，p86-131

松中照夫（1987a）秋から春にかけての窒素吸収量，施肥配分がチモシーの 1 番草収量に及ぼす影響．土肥誌 58: 566-572

松中照夫（1987b）寒冷・寡照地域のチモシー草地に対する窒素施肥法に関する研究．道立農試報告 62:6-44

松中照夫・川田純充（2007）草地の乾物生産から見た基幹草種としてのチモシーの優位性．北草研報．41:45

松中照夫・三枝俊哉・佐々木寛幸・松本武彦・神山和則・古館明洋・三浦 周（2009）環境に配慮した酪農のためのふん尿利用計画支援ソフトウェア「AMAFE」．土肥誌 80: 177-182

Mayland HF, Shewmaker GE, Harrison PA, Chatterton J (2000) Nonstructural carbohydrates in tall fescue cultivars: relationship to animal preference. Agron J 92:1203-1206

McEwen J, Day W, Henderson IF, Johnston AE, Plumb RT, Poulton PR, Spaull AM, Stribley DP, Todd AD, Yeoman DP (1989) Effects of irrigation, N fertilizer, cutting frequency and pesticides on ryegrass, ryegrass-clover mixtures, clover and Lucerne grown on heavy and light land. J Agric Sci Camb 112: 227-247

三木直倫・高尾欽弥（1984）経年酸性化草地における施肥窒素の利用率と土壌窒素供給力．道立農試集報 51:43–54

三木直倫（1993）寒冷地における草地土壌の有機物並びに窒素の経年的動態とそれに基づく窒素施肥管理法に関する研究．道立農試報告 79:52–73

三木直倫・稲川 裕・村松裕司・山口作英（2009）リンゴ「ハックナイン」良質果生産のための樹冠下植生管理と窒素施肥対応．道立農試集報 93:（印刷中）

Miller LA, Moorby JM, Davies DR, Humphreys MO, Scollan ND, MacRae JC, Theodorou MK (2001) Increased concentration of water-soluble carbohydrate in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.): milk production from late-lactation dairy cows. Grass Forage Sci 56:383–394

南山 豊・木戸賢治・永井秀雄（1974）牧草の冠水に対する草種間差について．北農 41:9-18

Mino Y, Maeda K (1976) Changes in the activities of sucrose and fructosan hydrolyzing enzymes in the haplocorm of timothy plant (*Phleum pratense* L.) after cutting. Jpn J Grassl Sci 22: 1-6.

Mino Y, Oomagari A, Shimada K (1976) Effect of some plant hormones on the metabolism of carbohydrates in the sliced haplocorms of timothy plant (*Phleum pratense* L.). Grassl Sci 22: 175-179.

Mino Y, Sato T, Yamamoto S (1979) Effect of abscisic acid on the induction of sucrose and fructosan hydrolyzing enzymes in the haplocorm of timothy (*Phleum pratense* L. cv. Climax) after cutting. Grassl Sci 25: 43-48.

三井計男・三井豊穂・嶋村匡俊・高畑 滋・平野孝雄・広瀬又三郎・桜井茂作・熊井清雄・眞田 雅・小原道郎・宮内紀一・小瀬川康雄・関塚清蔵・宝示戸貞雄・吉山武敏・渡辺成実・小池袈裟市・井出喜三（1968）第Ⅳ編 青刈飼料作物・牧草類各論 3.イネ科牧草類，飼料作物草地ハンドブック，養賢堂，東京，p422-461

宮崎 茂（2001），硝酸態窒素．改訂粗飼料の品質評価ガイドブック（自給飼料品質評価研究会編），日本草地畜産種子協会，東京，p33–35

水野直治・南 松雄（1980）硫酸-過酸化水素による農作物中 N, K, Mg, Ca, Fe, Mn 定量のための迅速前処理法．土肥誌 51:418-420

水島俊一（2009）道内における過去の観測データによる降水特性の変化傾向．北農 76:203-211

長井武雄・藤山英保・磯田英夫（1984）ヒマワリの葉中無機要素濃度と蒸散速度との関係．鳥取大砂丘研報 23:65-71

中島秀治（1987）フローインジェクション分析法による耕地土壌及び畑作物体ケルダール分解液中の全窒素定量．東北農試研究資料 7:37-44

中村克己・湯本節三・小倉紀美（1985）天北地方におけるペレニアルライグラス放牧草地の晩秋利用法．北草研報 18:173–175

中村克己・下小路英男・吉沢 晃・筒井佐喜雄・大槌勝彦（1988）ペレニアルライグラス草地における秋および春の刈取管理が永続性に及ぼす影響．北草研報 22: 131-134

中村克己（2002）Ⅴ．草地・飼料作 1.飼料作物の育種 1)品種育成 (7)ペレニアルライグラス（*Lolium perenne* L.）．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），北海道農業研究センター 北海道立中央農業試験場，札幌 長沼 p155-157

中村直樹・新宮裕子・吉田昌幸・岡元英樹・井内浩幸（2006）ペレニアルライグラス主体放牧地における異なる中牧区放牧方式での草地利用率および食地割合．北草研報

40:41
中野長三郎(2003)北海道天北地域の放牧利用の実体と今後の課題. 牧草と園芸 51(3):1-4
中辻敏郎・松中照夫・木曽誠二(2005)オーチャードグラスの2番草および3番草生育に重要な水分供給時期. 土肥誌 76:169-174
中辻敏朗(2008)北海道北部重粘土装置の牧草生産性に対する低水分ストレスの影響評価に関する研究. 道立農試報告 119:1-53
Newman EI, Rovira AD (1975) Allelopathy among some British grassland species. J Ecol 63:727-737
西道由紀子・八代田真人・八代田千鶴・中辻博喜・近藤誠司・大久保正彦(2002)泌乳牛を輪換放牧したペレニアルライグラス優先草地における放牧前イネ科草高が牧草生産量と利用草量に及ぼす影響. 日草誌 47:594-598
農林水産技術会議事務局(編)(1999)日本飼養標準. 乳牛(1999 年版). 中央畜産会, 東京, p81-86
Norris IB, Thomas H (1982) The effect of droughting on varieties and ecotypes of *Lolium*, *Dactylis* and *Festuca*. J Appl Ecol 19: 881-889.
岡本明治・花田正明(1999)寒地型牧草. サイレージの材料, サイレージ科学の進歩(内田仙二編), デーリィ・ジャパン社, 東京, p34-47
岡元英樹・堤 光昭・奥村正敏・中村克巳・木曽誠二・佐藤尚親・二門 世・葛岡修二・高品 純・山上良明(2003) 採草用ペレニアルライグラス単播草地の栽培・利用技術. 2001 年度新しい研究成果—北海道地域—, 北海道農業研究センター, 札幌, p103-107
岡元英樹・佐竹芳世・奥村正敏・吉田昌幸・森井泰子(2004)衣類圧縮袋を用いた簡易サイレージ調製試験法. 日草誌 50(別):222-223
奥村純一(1973)天北地方に分布する各種土壌とそれに対応する草地造成, 管理の基本方式. 道立農試報告 22:1-107
大原益博(1995)ペレニアルライグラスの越冬性. 北海道芝草研報 19:11-22
大崎 満(1990)植物体有機成分の粗分画と定量. 植物栄養実験法(日本土壌肥料学会監修), 博友社, 東京, p204–217
Pilon-Smits EAH, Ebskamp MJM, Paul MJ, Jeuken MJW, Weisbeek PJ, Smeekens SCM (1995) Improved performance of transgenic fructan-accumulating tobacco under droughty stress. Plant Physiol 107: 125-130
Reid D, Strachan NH (1974) The effects of a wide range of nitrogen rates on some chemical constituents of the herbage from perennial ryegrass swards with and without white clover. J Agric Sci 83:393-401
Robson MJ, Parsons AJ, Williams TE(1989)2.Herbage production: grasses and legumes, 2.5.Species for sowing. Grass its production and utilization second edition, Blackwell scientific publications, Oxford, UK, p60-69
雑賀 優(1990)3.草地の飼料としての価値. 草地学. 文永堂出版, 東京, p157-166
Saiga S, Kodama Y, Takahashi H, Tsuiki M(2003) Endophyte removal by fungicides from ramets of perennial ryegrass and tall fescue. Glassl Sci 48: 504-509
三枝俊哉・松本武彦・三木直倫・寶示戸雅之・大塚省吾・岡元英樹・二門 世・奥村正敏・木曽誠二・渡部 敢・田村 忠・阿部英則・前田善夫(2004)牧草・飼料作物に対するふん尿主体施肥設計法. 平成 15 年度新しい研究成果—北海道地域—, 北海道農業研究センター, 札幌, p85-88
酒井 治(2003)3.放牧地の施肥. やさしい施肥管理の手引ー牧草・飼料作物編ー(監修 北海道立中央農業試験場), ホクレン, 札幌, p57-58
坂本宣崇・奥村純一(1978)牧草の周年栄養生理と肥培管理に関する研究 第 2 報 秋施肥の持つ意義. 道立農試集報 40:40-50
坂本宣崇(1984)高緯度積雪地帯におけるオーチャードグラスの周年管理に関する栄養生理学的研究. 道立農試報告 48:1-55
Saneoka H, Ogata S (1987) Relationship between water use efficiency and cuticular wax deposition in warm season forage crops grown under water deficit conditions. Soil Sci Plant Nutr 33: 439-448
実岡寛文・藤田耕之輔・尾形昭逸(1989)暖地型イネ科飼料作物の耐干性に対するリン酸施与効果. 日草誌 35:116-126
佐竹芳世・石田 亨・中村克巳・坂東 健(1998)天北地域におけるペレニアルライグラス主体草地の兼用利用. 道立農試集報 75:41-46
Satger S, Ruget F, Volaire F, Brisson N, Leliévre F (2008) A model to simulate tiller dynamics of perennial forage grasses under severe Mediterranean drought. Options Méditerranéennes Serie A 79:269-273
佐藤尚親・井内浩幸・竹田芳彦・大原益博・中村克巳・佐藤公一・吉沢 晃・下小路英男・筒井佐喜雄・手塚光明・蒔田

秀夫・大槌勝彦・佐々木紘一・山木貞一（2002）ペレニアルライグラス新品種「ポコロ」の育成．道立農試集報 82：57-66

佐藤尚親・林 拓・牧野 司（2007）中標津町で収集したライグラス類後代の越冬関連形質評価．北草研報 41：32

佐藤倫造（1999）イネ科牧草の主要病害．自給飼料シリーズ No.3 目で見る牧草と草地，酪農総合研究所，札幌，p92-93

Schils RLM, Vellinga ThV, Kraak K (1999) Dry-matter yield and herbage quality of a perennial ryegrass/white clover sward in a rotational grazing and cutting system. Grass Forage Sci 54: 19-29

Schulte PJ, Hinckley TM (1985) A comparison of pressure – volume curve data analysis techniques. J Exp Bot 36: 1590-1602.

Schwinning S, Starr BI, Ehleringer JR (2005) Summer and drought in cold desert ecosystem (Colorado Plateau) part I: effects on soil water and plant water uptake. J Arid Environ 60: 547-566

Sen A（1987）Chemical composition and morphology of epicuticular waxes from leaves of *Solanum tuberosum*. Z Naturforsch 42：1153-1158

Sheaffer CC, Peterson PR, Hall MH, Stordahl (1992) Drought effects on yield and quality of perennial grasses in the north central United States. J Prod Agric 5: 556-561

澁澤 栄（1999）プレシジョンファーミングを探る－日本型精密農法のシナリオー．農林水産技術研究ジャーナル 22（5）：42-46

Shiel RS, El Tilib AMA, Younger A（1999）The influence of fertilizer nitrogen, white clover content and environment factors on the nitrate content of perennial ryegrass and ryegrass/white clover swards. Grass Forage Sci 54：275-285

嶋田 徹（1990）2.草地の生産管理．草地学（大久保忠旦，広田秀憲，高崎康夫，上野昌彦，雑賀 優，安宅一夫，小林裕志，嶋田 徹，村山三郎，菊池正武，中西五十著），文永堂出版，東京，p195-207

下小路英男・吉澤 晃・大槌勝彦（1984）ペレニアルライグラスの越冬性に及ぼす秋の刈取時期と N 施用量の影響．北草研報 18：68–71

Simpson JR (1976) Transfer of nitrogen from three pasture legumes under periodic defoliation in a field environment. Aust J Exp Agric Animal Husb 16: 863-870

Smith D（1971）植物組織からの全非構造性炭水化物（TNC）の抽出および分析法（上野昌彦訳，原題名 Removing and analyzing total non-structural carbohydrates from plant tissue）．日草誌 17：75-82

相馬幸作・増子孝義・清水千尋・山田和典・蔡 義民（2006）北海道の基幹牧草であるチモシー（*Phleum pratense* L.）の可溶性炭水化物含量および糖組成の変動に及ぼす要因．日畜会報 77：495-500

Sonobe K, Hattori T, An P, Tsuji W, Eneji E, Tanaka K, Inanaga S (2009) Diurnal variations in photosynthesis, stomatal conductance and leaf water relation in sorghum grown with or without silicon under water stress. J Plant Nutr 32: 433-442

Spollen WG, Nelson CJ (1994) Response of fructan to water deficit in growing leaves of tall fescue. Plant Physiol 106: 329-336

Steen RWJ（1992）The performance of beef cattle given silages made from perennial ryegrasses of different maturity groups, cut on different days. Grass Forage Sci 47：239-248

須藤賢司・落合一彦・池田哲也（2001）メドウフェスク（*Festuca prantensis* Huds.）およびペレニアルライグラス（*Lolium perenne* L.）草地の集約放牧利用による産乳性とその比較．日草誌 47：386-392

Sugiyama S, Nakashima H（1995）Variation in competitive ability and correlated traits in cultivated populations of *Lolium perenne*. Glassl Sci 41：9-15

杉山達夫（1993）植物生産と代謝．植物栄養・肥料学（山崎耕宇，杉山達夫，高橋英一，茅野充男，但野利秋，麻生昇平著），朝倉書店，東京，p28-72

鈴木善和（2009）第12章北海道におけるTMRセンターの粗飼料利用．地域資源を活用した家畜生産システム（日本草地学会編集），社団法人畜産技術協会，東京，p175-185

Svenningsson M, Liljenberg C (1986) Changes in cuticular transpiration rate and cuticular lipids of oat (*Avena sativa*) seedlings induced by water stress. Physiol Plant 66: 9-14

高橋佳孝・藤井義晴・魚住 順・大谷一郎・五十嵐良造（1992）草地におけるアレロパシーの解明とその評価に関する研究Ⅲ．ペレニアルライグラス茎葉中のフェノール性物質．日草誌 38：226-233

Takamatsu T, Sase H, Takada J（2001）Some physiological properties of *Cryptomeria japonica*

leaves from Kanto, Japan: potential factors causing tree decline. Can J For Rea 31:663-672

高崎康夫・Rossiter J・Reeks J(1985)窒素水準がペレニアルライグラスの 1 番刈後の茎数と貯蔵養分に及ぼす影響. 日草誌 31(別):96–97

高崎康夫・雑賀 優(1990)Ⅱ.牧草の生理生態. 草地学(大久保忠旦, 広田秀憲, 高崎康夫, 上野昌彦, 雑賀 優, 安宅一夫, 小林裕志, 嶋田 徹, 村山三郎, 菊池正武, 中西五十著), 文永堂出版, 東京, p65-81

竹田芳彦・中村克己・木曽誠二・出口健三郎・大原益博・堤光昭・澤田嘉昭・田川雅一・山川政明・酒井 治・吉澤晃・寶示戸雅之(2001)北海道のチモシー主体採草地における牧草生産の現状と実態. 北農 68:91-94

竹田芳彦・井原澄男・荻間 昇・中野長三郎・石田 亨・木曽誠二・峰崎康裕・堤 光昭・奥村正敏・佐竹芳世・井内浩幸・佐藤尚親・吉田昌幸・乙部裕一・大塚省吾・岡元英樹・遠谷良樹・草刈直仁・岡田直樹・山口正人・中村克己・出口健三郎(2002)天北地方における集約放牧技術の現地実証と経営成果. 北農 69:306-317

田中 治・大桃定洋(1995)プラスチックフィルムを用いた小規模サイレージ発酵試験法(パウチ法)の開発. 日草誌 41: 55-59

巽 二郎(1994)光合成同化産物の転流と蓄積. 植物生産生理学(石井龍一編), 朝倉書店, 東京, p54-78

Thomas H, James A (1999) Partitioning of sugars in *Lolium perenne* (perennial ryegrass) during drought and on rewatering. New Phytol 142: 295-305.

Thomas RJ, Logan KAB, Ironside AD, Bolton GR (1990) The effects of grazing with and without excretal returns on the accumulation of nitrogen by ryegrass in a continuously grazed upland sward. Grass Forage Sci 45:65-75

Tilley JMA, Terry RA(1963)A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. J Brit Grassld Society 18:104-111

Tremblay GF, Belanger G and Drapeau R (2005) Nitrogen fertilizer application and developmental stage affect silage quality of timothy (*Phleum pratense* L.). Grass Forage Sci 60:337-355

Trenholm LE, Datnoff LE, Nagata RT (2004) Influence of silicon on drought and shade tolerance of St. augustinegrass. Horttechnology 14: 487-490

堤 光昭・佐竹芳世(2004)ペレニアルライグラス放牧地における堆肥利用法. 北農 71:13-18

上野昌彦(1987)16.飼肥料作物 イネ科. 第2次増訂改版農学大事典(野口弥吉・川田信一郎監修), 養賢堂, 東京, p748-759

海野洋揮・山本紳朗(2003)K^+溶出による牧草の耐塩性検定法. 日草誌 49:486-489

海野洋揮・山本紳朗(2004a)塩ストレス下のイネ科牧草における水溶性糖類の変化. 日草誌 50:300-303

海野洋揮・山本紳朗(2004b)ペレニアルライグラスの耐塩性に及ぼすフラクタンの影響. 日草誌 50:314-315

裏 悦次・石田 亨・池田哲也・三枝俊哉・澤田嘉昭・川崎 勉・湯藤健治(1995)集約放牧マニュアル. 北海道農業改良普及協会,札幌, p25-29

Volaire F, Thomas H, Leliévre F (1998) Survival and recovery of perennial forage grasses under prolonged Mediterranean drought I. Growth, death, water relations and solute content in herbage and stubble. New Phytol 140: 439-449.

Wilson RK, Collins DP (1980) Chemical composition of silages made from different grass genera. Ir J Agric Res 19:75-84

Wright GC, Smith RCG., Morgan JM (1983) Differences between two grain sorghum genotypes in adaptation to drought stress. III Physiological responses. Aust J Agric Res 34: 637–651.

山田敏彦(1999)各節 1.寒地型イネ科牧草 2)ペレニアルライグラス. 3)ハイブリッドライグラス. 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, p19-28

山田豊一(1963)第 10 章イネ科牧草(各論). 牧草の栽培と利用, 養賢堂, 東京, p216-287

山田豊一・渋谷 功(1981)草地群落における競争の変遷に関する研究 Ⅱ. ペレニアルライグラスとトールフェスクの混播初期生育群落における競争の進行と葉面積指数. 日草誌 27:51-54

Yamamoto S, Kami S, Mino Y (1979) Effect of phytosynthate on the carbohydrate metabolism in the haplocorm of timothy (*Phleum pratense* L.). Jpn J Grassl Sci 25: 49-54.

山下雅幸・島本義也(1996)ペレニアルライグラス(*Lolium perenne* L.)における耐凍性の品種群による分化. 日草誌 42:57-62

安井さくら・森本陽子・義平大樹・安宅一夫・岡本全弘・松中照夫(2003)チモシー草地に対するバイオガスプラント消化液の施用事例 第 2 報サイレージの消化性. 北草研報 37:57

Yayota M, Sasaki C, Nishimichi Y, Nakatsuji H, Kondo S and Okubo M (2000) Seasonal changes of area of dung patches under strip grazing for lactating dairy cows. Glassl Sci 46: 101-110

Yemm EW, Willis AJ (1954) The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. Biochem J 57: 508-514

吉田昌幸（2008）中生・兼用利用向けのペレニアルライグラス「天北5号」. デーリィマン 2008 年 5 月号, デーリィマン社, 札幌, p70

吉田昌幸・藤井弘毅（2008）ペレニアルライグラス新品種「天北 5 号」. 北農 75（2）: 48

吉田昌幸・藤井弘毅・井内浩幸・飯田憲司・堤　光昭・佐藤尚親・中村克己・竹田芳彦・大原益博・佐藤公一・蒔田秀夫・筒井佐喜雄・吉澤　晃・大槌勝彦（2009）ペレニアルライグラス新品種「チニタ」の育成. 道立農試集報 94: 17-30

吉田重方（1988）草地における生物窒素固定. 日草誌　34: 20-28

吉山武敏・藤本文弘（1989）第1章飼料作物・野草の種類・育種・採種 2. イネ科牧草. 粗飼料・草地ハンドブック, 養賢堂, 東京, p35-79

吉澤　晃・下小路英男・古谷政道・藤井弘毅・佐藤公一・玉置宏之・鳥越昌隆・中住晴彦・川村公一（2005）チモシー新品種「なつさかり」の育成. 道立農試集報 88: 37-47

湯藤健治（1999）素晴らしい草地. 自給飼料シリーズ　NO.3 目で見る牧草と草地（山下太郎編）, 酪農総合研究所, 札幌, p56-57

謝　　辞

本研究を取りまとめるに当たり，鳥取大学教授の藤山英保博士には本研究の学位論文審査に推薦いただき，また本稿の御校閲に際しては終始懇切丁寧なるご指導とご配慮を賜った。鳥取大学教授山本定博博士，島根大学教授増永二之博士，山口大学教授進藤晴夫博士には本稿の御校閲と懇切丁寧なる御教示を頂いた。鳥取大学准教授山田 智博士には本稿の御校閲を賜り，大変多くの有益なご助言と温かいご支援，ご協力を頂いた。謹んで感謝申し上げる。

本研究の多くは，北海道立天北農業試験場（平成 18 年 4 月以降は北海道立上川農業試験場天北支場）で実施したものであり，研究期間中天北農業試験場長として在任された今 友親氏，杉本亘之博士，川崎 勉氏，上川農試天北支場長として在任された竹田芳彦博士，扇 勉博士の諸氏には研究期間全体を通じて，温かい激励とご指導を賜った。とりわけ木曽誠二博士には天北農業試験場主任研究員時代と上川農業試験場天北支場長時代の双方において，本研究の当初の段階から真摯なご指導と心温まる激励を多く賜った。ここに謹んで感謝の意を示したい。

また，天北農業試験場研究部長および上川農業試験場天北支場技術普及部長として在任された，松原一實氏，荻間 昇氏，大村邦男博士，山川政明氏，宮崎 元氏の諸氏には研究途上で多くのご指導とご支援を賜った。天北農業試験場主任研究員として在任された，宮森康雄氏，三浦 周氏の両氏には温かいご助言と多くの示唆に富むご指摘を頂いた。上川農業試験場天北支場技術普及部次長として在任された石田 亨氏，吉澤 晃氏の両氏には数多くの有益なご助言を頂いた。厚く御礼申し上げる。

本研究の設計と実施にあたっては，前天北農業試験場草地環境科長の奥村正敏博士および古館明洋氏（現上川農業試験場天北支場主査）の両氏から，終始詳細かつ熱心なご指導，ご鞭撻を賜った。兼用利用，模擬放牧などの試験でご協力いただいた前牧草飼料科研究職員吉田昌幸氏と前任者でもある前土壌肥料科研究職員二門世氏には試験遂行時，および本研究の基となる投稿論文作成時において共著者としての貴重なご意見と心温まるご支援と激励を多々頂いた。前草地環境科研究職員乙部裕一氏，大塚省吾氏の両氏には，本研究のみならず多くの分野にわたっての有益な議論と共同作業を共にしていただいた。前天北農業試験場牧草飼料科長の中村克己氏，堤 光昭氏，前牧草飼料科研究主査の佐竹芳世氏の諸氏には着任当初牧草について全くの門外漢であった私に，一から草の基礎を懇切丁寧に教えて頂いた。その他の天北農業試験場，上川農業試験場天北支場の研究員諸氏も含め，皆様に心から感謝申し上げたい。

上川農業試験場天北支場は技術普及部一部体制で地域対応研究を主とすることから，普及職員の皆様との議論は現場の情報を知り，技術の現場への還元をはかる上で大変重要であった。特に本研究の緒論や総合考察をとりまとめるに当たり，主任普及指導員の山下一夫氏，前主査の宮崎隆章氏，主査の齋藤博明氏の諸氏には現場の情報やニーズについて多くの貴重なご助言を頂いた。深く感謝申し上げる。また，中野長三郎前主任専門技術員には，天北農業試験場時代に酪農の基礎や現地を見る重要性を教えて頂き，また異動してからも何度も温かい応援を頂いた。心から感謝申し上げたい。

圃場作業や実験施設の管理にあたっては，笹木正志氏，松原哲也氏ら歴代農業技能員（現主任）の諸氏には，圃場管理および試験遂行に関し的確なアドバイスと多大なるご協力，ご支援を頂いた。草地環境科および環境グループ所属の歴代臨時職員の皆様には圃場作業から実験補助，事務作業にいたるまで試験遂行全般にわたって多岐にわたりご協力いただいた。特に佐藤 恵氏，菊地志歩氏，野呂田清美氏，伊藤真紀子氏には博士論文および本報告を取りまとめる上で多大なるご協力をいただいた。管理科所属の歴代臨時農業技能員の皆様には試験期間を通し圃場管理および試験遂行について多くのご協力を頂いた。また，吉田幸司氏，奈良匡巳氏，久保田勝氏をはじめとする歴代の天北農業試験場総務課，および上川農業試験場天北支場総務の諸氏には試験遂行や論文投稿，外部発表，本報告作成における事務手続きや予算の執行において，格段のご協力を頂いた。チームとして研究の遂行を陰になり日向になり支えて下さった皆様に謹んで心からの謝意を表したい。

また，本研究の一部は鳥取大学乾燥地研究センターで行われた平成 18 年度長期国内研修「耐乾性が異なる寒地型牧草の生理学的機能解明」で行われた。委託先となった鳥取大学乾燥地研究センター生理生態分野助教授の安 萍博士，客員教授稲永 忍博士の両氏には研修期間中に温かいご支援と激励を頂いた。また，客員教授のモハン・C・サクシーナ博士には研修内容のみならず，英文校正についても懇切丁寧なご指導を頂き，心温まる激励を頂いた。留森英眞子事務補佐員には研修にかかわ

る手続きにおいて多くのご協力を頂いた。修士課程学生（当時）の石井一成氏には，修士論文を作成する最中に研修に伴う準備作業や研修中に作業の協力など篤いご支援とご協力を頂き，研修内容についてもご助言をいただいた。博士課程学生（当時）の曽野部香里博士には研修中は実験を遂行する上で貴重なアドバイスを多く頂き，さらには学位取得にあたっては様々な情報を提供して頂いた。他にも，生理生態分野の学生や研究員の諸氏には研修内容をはじめとする有用な議論を共にしていただいた。古巣でもある皆様に心からの御礼を申し上げたい。

根釧農業試験場研究部長三木直倫博士，主任研究員三枝俊哉博士，草地環境科長松本武彦博士，草地環境科研究職員木場稔信氏，技術普及部主査酒井 治氏，畜産試験場畜産環境科長甲田裕幸氏の諸氏には，同じ草地環境の研究者としてその時々に有益なご助言とご指摘を頂いた。根釧農業試験場乳牛飼養科研究職員の西道由紀子博士には，VFA 分析について貴重なご意見とご協力を頂いた。畜産試験場草地飼料科長玉置宏之博士には，本研究の総合考察をまとめる上で有益なご助言をいただいた。北見農業試験場牧草科長藤井弘毅氏には，牧草生理について貴重なご意見をいただいた。この場を用いて御礼申し上げたい。

また，東京農業大学教授の増子孝義博士には，研究を遂行する上で数多くの貴重なご助言と温かいご支援をいただいた。酪農学園大学教授の松中照夫博士，同准教授澤本卓治博士の両氏には試験遂行期間中，折にふれて機知に富んだ貴重なご助言やご指摘をいただいた。北海道農業研究センター根圏域研究チーム主任研究員の小林創平博士には博士論文作成に当たって有益なご助言を多く頂いた。また，九州沖縄農業研究センター畜産飼料作研究部主任研究官服部育男博士，筑波大学大学院生命環境科学研究科石川尚人博士の両氏には酸緩衝能の測定法についてご助言を賜った。謹んで感謝の意を表する。

以上の諸氏に改めて衷心より謝意を表する。

最後に故郷を遠く離れた北海道での研究活動を，心配しつつも陰ながら応援してくれた埼玉の家族と，支えてくれた全国各地の親愛なる友たちに心からの感謝の気持ちを捧げたい。