

第I章 緒 論

第1節 北海道における馬産の発展経過

北海道の馬の歴史は古く、慶長20年（1615年）に津軽藩が松前藩に種雄馬1頭を贈った記録がある。享和2年（1802年）には有珠、虻田両郡に牧場を開き南部和種馬を移入し、さらに安政4年（1857年）に浦河に分場を設けた。これら3牧場によって幕府の馬産が行われた⁴⁰⁾。

北海道日高地方は日本における軽種馬の主産地として発展し、日本における軽種馬の80%以上を生産しているが、日高地方の馬産の歴史は寛政年間に遡る。幕府は北辺防備の必要から、浦河から知床に至る地を直轄とし、諸藩の藩兵を各場所に駐屯させた。この時、駐屯地付近の開墾とともに、場所間の交通や運搬の手段として南部馬が配置された。これが日高地方における馬産の起源となっている。

本格的な農業開拓は明治3年「東蝦夷地御親料規則」が定められ、彦根藩等の藩士や九州の農民が各地に団体入植したことに始まる。明治5年、開拓使は馬の改良を目的に新冠牧場を設置した。ここで、日高地方に散在していた野馬2,262頭を収容し、南部地方から種雄馬10頭を購入して交雑をはかった。明治10年（1876年）に新冠牧場は新冠馬牧場と改められ、17年（1884年）には新冠御料牧場と改称され、馬の改良増殖に貢献した³⁹⁾。

北海道の馬産は農耕馬需要の拡大によって発展してきたが、明治20年以降、軍備強化にともない民間における馬の増殖が図られ、今日の馬産地日高の基礎が作られた⁹⁰⁾。日露戦争後明治39年（1906年）馬政第1次計画が策定され、軍馬の生産に重点がおかれた。この計画で日高種馬場が開設され、サラブレッド、アラブ等の品種が導入された。これが後の日高の馬産に大きな影響を与えた。その後、昭和20年までは軍用馬としての改良が積極的に行われてきた。昭和20年以降は農耕用として活躍してきたが、農業の機械化とともにその役割が薄れた。一方、競馬の復活とともに軽種馬の生産が積極的に行われるようになり、日高支庁管内の軽種馬の飼養頭数は昭和25年には707頭にすぎなかったが³⁸⁾、昭和50年には13,200頭、昭和60年12,396頭、平成3年には14,952頭の繁殖雌馬が飼養されている。平成3年度の生産頭数は10,151頭に及んでいる⁴⁵⁾。

第2節 日高地方における飼料生産

明治2年（1869年）に開拓使が設置された。明治4年（1871年）に開拓使10か年計画が樹立されてから本格的な農業開発が推進され、ケプロンらの外人顧問団を招へいし、欧米農法の導入を図った。この時期の北海道農業は黎明期にあり、導入した欧米農法と在来農法との融合をはかり北海道農法の成立に努めた。そして、明治40年（1907年）ごろプラウ馬耕を中心とする馬耕手刈の技術体系、すなわち北海道農法の原型がつけられた⁴⁰⁾。

北海道における家畜の飼料としての牧草の栽培は明治7年（1874年）に七重に設けられた七重勸業試験場でチモシーの他17草種の生産性比較試験に初めてみる事が出来る。大正3年（1914年）にはアカクロバ、アルファルファ、チモシー、オーチャードグラス、オーレンスブROOMグラス、トールオートグラス、ケンタッキールグラス、レッドトップ等の草種が優良と認められ、一般に普及奨励された⁴⁰⁾。今日アカクロバ、チモシー、オーチャードグラスにみられる生態型すなわち北海道在来種の由来はここに求めることができる。

日高地方の軽種馬生産農家の草地はチモシー主体草地である。管内の農協での品種別種子販売量や各種調査結果からみて、そのほとんどは早生品種である。チモシーの早生品種を利用している理由について、生産者や技術指導者から確たる根拠は示されていない。この地方の冬期間は北海道では穏やかな地帯であるが、積雪が少なく、土壤凍結がみられる。チモシーは北海道でもっとも多く利用されているイネ科牧草であるが、この草種は北海道で利用されている牧草のなかではもっとも越冬性に優れた草種である⁴⁸⁾。冬期間、積雪が少なく土壤凍結がみられる地帯ではチモシー以外のイネ科牧草は凍害や病害によるいわゆる冬枯れによって翌春の生産が著しく低下することがある。日高地方もチモシー以外の草種ではこの冬枯れの影響で生産が不安定であったと思われる。チモシーが利用されるに至った要因の1つが生産の安定であったと考えることが出来る。馬に給与する牧草はチモシーがもっとも適しているとされてきたのは軽種馬生産の主産地である日高でチモシーが利用されてきたためと思われる。NRC⁸⁷⁾の飼養標準では、利用するForageはその地域に適し、安定した生産をあげる草種を利用すると述べている。日本においても東北以南はオーチャー

ドグラスから暖地型牧草まで様々な草種が利用されている。

日高支庁管内の牧草生産量の年次推移をみると、1965年に10a当たり生草で2,740kg, 1975年2,990kg, 1985年3,180kg, 1992年3,260kgである。北海道の草地型酪農地帯である根釧地方の牧草生産をみると、1965年1,690kg, 1975年3,265kg, 1985年3,690kg, 1992年3,600kgである⁴⁵⁾。草地型酪農地帯に比べて日高地方の牧草生産の伸びは小さい。草地型酪農地帯の牧草生産が飛躍的な発展を示した背景には試験研究の果たした役割は大きい。根釧地方の牧草の生産と利用に関する試験研究の成果は多く^{32,37,115,123)}、これらがこの地方の牧草生産に寄与してきた。適応する品種の選定や、肥培管理、利用法まで系統的な研究が行われてきた。これに対して、日高地方の牧草生産に関する試験研究は少なく、単発的な土壌調査等の調査研究^{3,35)}が行われている程度で、系統的な試験研究例はみられない。

第3節 研究の背景と目的

日高は日本における最大の馬産地帯として発展してきた。日高の農業生産額の70%以上は軽種馬の生産によって占められている。この生産を支えているのは農耕地の75%を占める牧草地である。しかし、日高地方の牧草生産に関する試験研究は少なく、造成法や混播組み合わせに関する研究がみられる程度である(北海道立中央農業試験場、道央地域における混播草地の秋季造成に関する試験成績、北海道農業試験会議成績会議資料、1981)。また、軽種馬の飼養管理に関する研究は乳牛や肉牛など他の家畜に比べると非常に少ない。主として家畜衛生分野での研究が精力的に行われ、疾病発生の予防対策は積極的に行われている。日本中央競馬会主催の「生産地における軽種馬の疾病に関するシンポジウム」が毎年静内

町で開催され、1993年で21回を数える。

北海道では14支庁に60か所の農業改良普及所が配置されている。これまで、馬産地帯の農業改良普及所に馬を担当する農業改良普及員の配置はなかったが、1985年によく専門の普及員が配置され、普及指導が行われるようになった。しかし、普及指導に役立つ研究成果が少なく、その役割を十分果たすに至っていなかった。牧草の栽培を例にとると、北海道の優良品種として登録されている牧草は13草種64品種を数える⁴⁶⁾。しかし、静内町農業共同組合の種子販売量をみると、チモシーの早生品種1種で販売量の85%を占めるなど、十分研究成果が生かされていない現状にある。これが日高地方の牧草生産量が低迷している一因ともなっていると考えられる。

一方、牧草は乾物生産量が多いとともに栄養収量が安定的に多収であることが求められる。牧草の栄養収量は単に粗タンパク質や無機物含有率が高いことだけでなく、給与された牧草は家畜に十分摂取され、且つ可消化乾物摂取量が多いことが要求される。馬による牧草の採食量や消化率を調べた例は少なく、わずかに飼料の繊維含有率が高いと消化率が牛に比べて低いことが示されていること⁸⁹⁾やサイレージの嗜好性は良好で乾草より採食量が多いと報告⁵⁴⁾されている程度である。近年、馬での消化率や採食量を調べる試験が行われるようになったが、日高地方の馬産地帯で生産された牧草について消化率や栄養価を調べた例もわずかである^{73,106)}。乳牛や肉牛、豚などは飼養標準に基づいて必要とする栄養量を摂取できるように飼料給与がなされているが、馬では生産者が経験を頼りに飼料給与を行っているのが現状である。

このような現状から、本研究は日高地方の牧草生産の問題点を明らかにし、馬にとって良質な飼料を生産するための方策を検討することを目的として実施した。

第Ⅱ章 採草地における土壌の養分状態

北海道は酪農王国とされ、約53万ヘクタールの牧草地が造成され、耕地面積の44%を占めている⁴⁵⁾。主要な草地地帯は根釧および天北地方である。根釧地方の草地の多くは黒ボク土に立地し、天北地方は褐色森林土に多く、地域によっては泥炭土に草地が立地している。この両地方で北海道の草地面積の48%を占めている。従って、北海道における草地土壌に関する研究はこの両地方で積極的に行われており^{37,74,94,101)}、草地の造成から維持管理に至る一連の成績がある。これらを基に合理的な草地の造成管理の指標が作成されてきた^{42,43,44)}。しかし、軽種馬生産の主産地である日高地方の草地に関する研究例はほとんどみられず、単発的に土壌調査例がみられる程度である。従って、種々の土壌群の特徴を把握し、問題点を指摘するには至っていない。土壌調査報告⁴¹⁾では各土壌の特徴を報告しているが、草地土壌についての詳細な検討はなされていない。

一方、日高地方で栽培されている牧草をみると、販売されている種子からみてほとんどがチモシーの早生品種である。北海道に適する草種の適応性の検討は明治の初期に始まっている。以来、様々な草種、品種の検討がなされてきたが、チモシーがこの地域にもっとも適する草種として定着したのは、この地帯は冬季間積雪が少なく土壌凍結がみられることから、越冬性に優れたチモシーが経験的に適草種としてもっとも多く栽培されているとみられる。

第1節 日高地方に分布する土壌群とその特徴

地力保全基本調査分類に従って日高地方の土壌をみると、この地方には岩屑土、砂丘未熟土、黒ボク土、多湿黒ボク土、黒ボクグライ土、褐色森林土、灰色台地土、褐色低地土、灰色低地土、グライ土、泥炭土の土壌群が存在している。日高山脈から太平洋岸に向かって流れている大小河川にそって発達した沖積土地帯に褐色低地土、灰色低地土、グライ土、泥炭土が存在し、河川と河川間の丘陵地帯には褐色森林土、灰色台地土、黒ボク土地帯がみられる。土壌群にはそれぞれ特徴がある。従って、土壌群の特性に適合した管理が求められる。

日高地方における土壌群別の面積を全耕地および畑地について表Ⅱ-1に示した。

表Ⅱ-1 日高支庁における農耕地土壌分類別面積³¹⁾

	全耕地	畑・草地
	ha	ha
岩屑土	250	250
砂丘未熟土	78	78
黒ボク土	22,494	22,350
多湿黒ボク土	706	655
黒ボクグライ土	448	
褐色森林土	1,981	1,981
灰色台地土	128	128
褐色低地土	6,559	3,159
灰色低地土	3,567	2,043
グライ土	1,262	501
泥炭土	2,688	2,037
合計	40,161	33,182

畑・草地の面積の内草地の割合が92%を占めていることから³⁰⁾、畑・草地での土壌群別割合が草地での割合とみることが出来る。黒ボク土(多湿黒ボク土を含む)がもっとも多く22,350haで67%を占める。次いで褐色低地土9.5%、灰色低地土、泥炭土6.1%となっている。

一方、この地方には黒ボク土や多湿黒ボク土では分類出来ない種々の火山性土が存在している⁴¹⁾。新冠の中央以北では樽前山系と有珠山系の粗粒火山灰からなり、また、以南では支笏起源の古いローム質の火山灰が堆積して出来たものが主体となっている³⁰⁾。したがって、西部地区とされる門別町や平取町は240年～300年前の樽前山火山灰a層、b層、有珠山火山灰c層に覆われており、これより南東部すなわち新冠町からえりも岬にかけて恵庭岳火山灰a層、支笏降下堆積物の古い火山灰で覆われている。このため、西部地区では淡色黒ボク土が多くを覆っているが、中部地区から東部地区にかけて次第に腐植含量の高い黒ボク土となっていく。

第2節 日高地方の採草地土壌の化学的特徴

1) 試験方法

(1) 調査地域と調査年

日高地方を東部、中部、西部の3地区に分け、各々1989年、1990年および1991年に調査した。調査草地数はその地区の草地面積に応じて決め、概ね100ha当たり1

筆とした。東部地区ではえりも町、様似町、浦河町、三石町より各々10筆、13筆、68筆および35筆を選定した。中部地区では静内町および新冠町から各々54筆、63筆を選定した。西部地区では門別町および平取町より各々77筆、16筆を選定した。選定した草地の土壌区分別の割合はこの地区の土壌区分別の面積割合には対応していない。採取は概ね6月中旬から下旬にかけて行い、土壌は表層より10cmの深さで採取した。採取後、風乾し、2mmの篩を通して分析試料とした。牧草は土壌採取時に土壌採取地点からチモシー1番草生草を採取した。乾燥後粉碎し分析試料とした。

1992年および1993年に門別町、新冠町、静内町、三石町および浦河町の30牧場76筆の採草地について、土壌の表層および下層の養分状態の差異および前年までの調査結果を補足するために土壌および牧草を採取し、その養分状態を調べた。採取は6月中旬から下旬にかけて行い、牧草はチモシー1番草の生草を採取した。

(2) 分析方法

土壌 pH はガラス電極法により、風乾土20gに水50mlを加え、かき混ぜながら約1時間放置した後測定した。リン酸吸収係数はリン酸アンモニウム液法で測定した。土壌10gにリン酸吸収原液20mlを加え、時々攪拌しながら24時間室温に放置した後ろ過し、ろ液を発色させてリン酸を測定し吸収量を調べた。有効態リン酸はブレイNo2法およびトルオーグ法によって測定した。陽イオン交換容量はショーレンベルガー法により、塩化カリウム

溶液中のアンモニア態窒素は水蒸気蒸留法により定量した。交換性石灰および苦土は陽イオン交換容量測定に用いた1規定酢酸アンモニウム (pH7) 抽出液を用いて原子吸光法で測定した。交換性カリは同一の抽出液を用いた炎光度法で測定した。測定値は風乾土中の値で示した。

2) 結果

(1) 土壌区分別化学性

前述のように日高地方には種々の土壌群が存在するが、ここでは北海道の土壌および作物栄養の診断基準や施肥標準で用いられている沖積土、泥炭土、火山性土および洪積土の4区分に合わせて、低地土、泥炭土、黒ボク土および褐色森林土に分類した。低地土には褐色低地土、灰色低地土、グライ土を、黒ボク土には多湿黒ボク土を、褐色森林土には灰色台地土、岩屑土を含めて示した。

土壌区分別の土壌 pH を表Ⅱ-2に示した。土壌 pH は4.62~7.32の範囲にあり、全体の平均で5.96であった。低地土6.08、泥炭土5.91、黒ボク土5.86、褐色森林土5.88で、低地土が黒ボク土より高い値であった。土壌区分内の標準偏差は同様の値であった。

リン酸吸収係数および塩基交換容量を表Ⅱ-3に示した。リン酸吸収係数は黒ボク土が1172ともっとも高く、低地土が621でもっとも低く、全体の平均で918であった。各土壌区分ともっとも高い値は2000以上であった。陽イオン交換容量は5.7~54.4me/100gの範囲にあり、全体の平均では23.7me/100gであった。泥炭土が29.0me/100gともっとも大きく、低地土が19.4me/100g

表Ⅱ-2 土壌区分別土壌 pH

	低地土	泥炭土	黒ボク土	褐色森林土	全体
平均	6.08 ^{a*}	5.91 ^{ab}	5.86 ^b	5.88 ^{ab}	5.96
標準偏差	0.54	0.58	0.40	0.52	0.49
最大	7.32	6.82	7.15	6.93	7.32
最小	4.83	4.73	4.62	4.90	4.62

*: 異文字間に1%水準で有意差

表Ⅱ-3 土壌区分別リン酸吸収係数および陽イオン交換容量

	低地土	泥炭土	黒ボク土	褐色森林土	全体
リン酸吸収係数					
平均	621 ^{a*}	997 ^b	1172 ^b	1063 ^b	918
標準偏差	272	366	558	529	514
陽イオン交換容量 (me/100g)					
平均	19.4 ^{b*}	29.0 ^a	27.0 ^a	24.3 ^a	23.7
標準偏差	6.5	8.5	10.4	7.5	9.4

*: 異文字間に1%水準で有意差

表Ⅱ-4 土壌区分別交換性塩基含量

	低地土	泥炭土	黒ボク土	褐色森林土	全体
交換性 CaO(mg/100g)					
平均	351 ^{b*}	491 ^a	319 ^b	387 ^{ab}	348
標準偏差	140	156	195	158	173
交換性 MgO(mg/100g)					
平均	67 ^a	81 ^a	37 ^b	79 ^a	56
標準偏差	41	43	27	74	43
交換性 K ₂ O(mg/100g)					
平均	25 ^a	21 ^{ab}	16 ^b	22 ^{ab}	20
標準偏差	15	6	19	9	17
塩基飽和度(%)					
平均	82 ^a	73 ^a	45 ^b	71 ^a	65
標準偏差	32	25	20	27	31
石灰飽和度(%)					
平均	67 ^a	62 ^a	42 ^b	57 ^{ab}	55
標準偏差	26	19	20	18	25

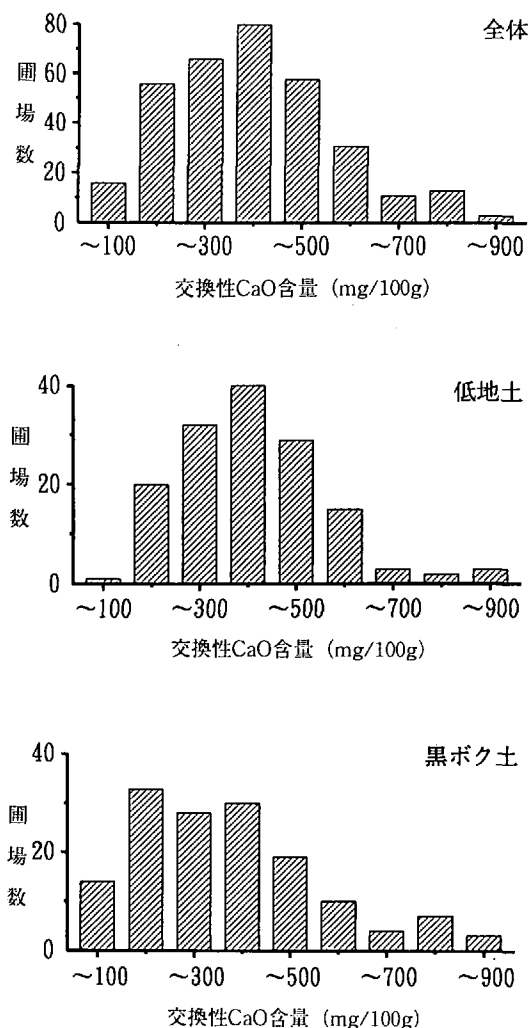
*：異文字間に1%水準で有意差

ともっとも小さかった。

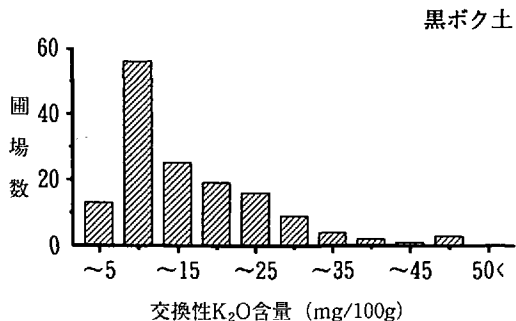
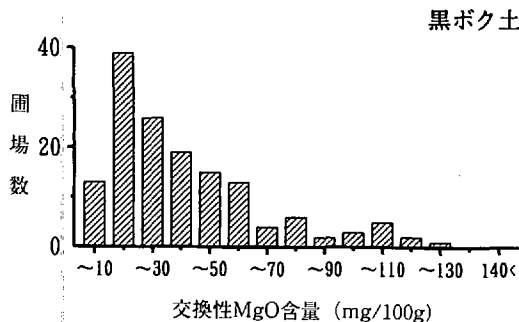
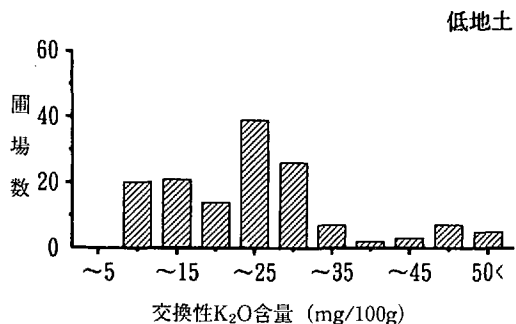
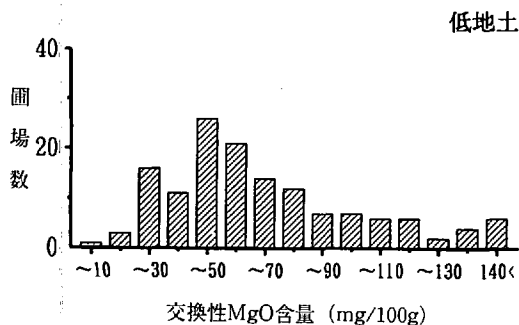
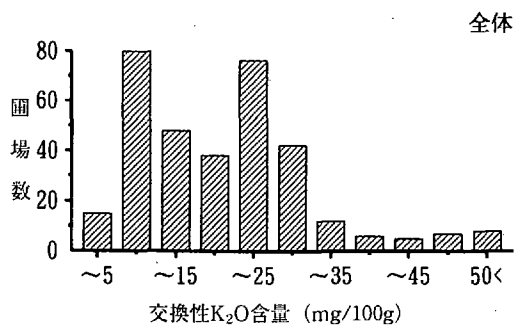
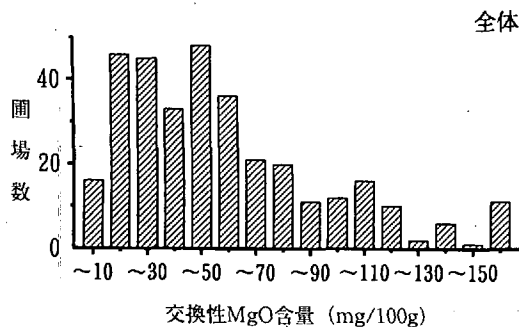
交換性塩基含量を土壌区分別に表Ⅱ-4に、例数の多い低地土および黒ボク土について度数分布を図Ⅱ-1, 2, 3に示した。交換性石灰は31~869mg/100gの範囲にあり、全体の平均で348mg/100gであった。土壌区分別では泥炭土が491mg/100gでもっとも高く、黒ボク土が319mg/100gでもっとも低かった。最小値および最大値とも黒ボク土でみられ、土壌区分内の標準偏差は黒ボク土で大きかった。

交換性苦土は5~299mg/100gの範囲にあり、全体の平均で56mg/100gであった。交換性石灰と同様に泥炭土が81mg/100gでもっとも高く、黒ボク土が37mg/100gでもっとも低かった。最大値は褐色森林土でみられ、標準偏差も褐色森林土で大きかった。

交換性カリは3~194mg/100gの範囲にあり、全体の平均で20mg/100gであった。交換性石灰、苦土と同様に黒ボク土が低い含量であったが、高い含量の土壌は低地土であった。塩基飽和度は低地土が82%ともっとも高く、黒ボク土が45%ともっとも低かった。全体の平均で65%であった。石灰飽和度は低地土で67%、黒ボク土で42%で、全体の平均は55%であった。塩基飽和度と同様の傾向であった。



図Ⅱ-1 交換性石灰含量の度数分布



図Ⅱ-2 交換性苦土含量の度数分布

図Ⅱ-3 交換性カリ含量の度数分布

ブレイNo 2法およびトルオーグ法で測定した有効態リン酸含量を表Ⅱ-5に、低地土および黒ボク土の度数分布を図Ⅱ-4, 5に示した。ブレイNo 2法でみた有効態リン酸は2~185mg/100gの範囲にあり、全体の平均で50mg/100gであった。土壌別では褐色森林土が38mg/100gでもっとも低く、低地土が59mg/100gでもっとも

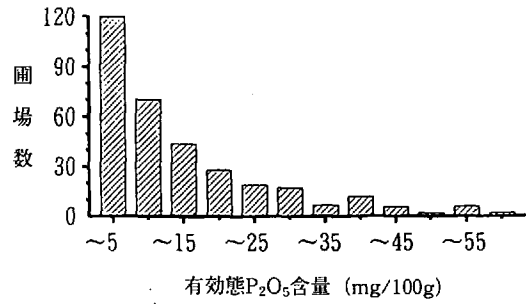
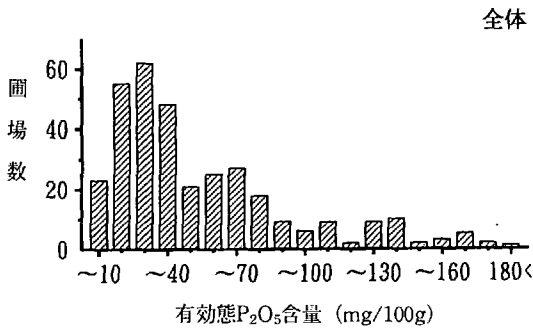
高い含量であった。トルオーグリン酸は0.9~59.3mg/100gの範囲にあり、全体の平均で12.8mg/100gであった。土壌区別では低地土がもっとも高かった。他の土壌区分は低地土のおおよそ1/2の含量であった。ブレイNo 2リン酸より低地土と他の土壌との差が大きかった。

表Ⅱ-5 有効態リン酸含量(mg/100g)

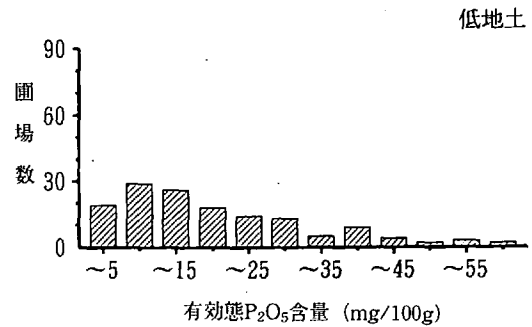
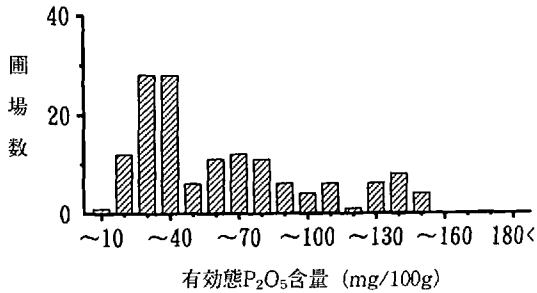
	低地土	泥炭土	黒ボク土	褐色森林土	全体
ブレイNo 2 P ₂ O ₅					
平均	59 ^{a*}	42 ^{ab}	44 ^b	38 ^b	50
標準偏差	39	26	42	27	40
トルオーグP ₂ O ₅					
平均	18.5 ^a	8.4 ^b	8.7 ^b	7.6 ^b	12.8
標準偏差	13.3	8.5	10.7	7.2	12.6

*: 異文字間に1%水準で有意差

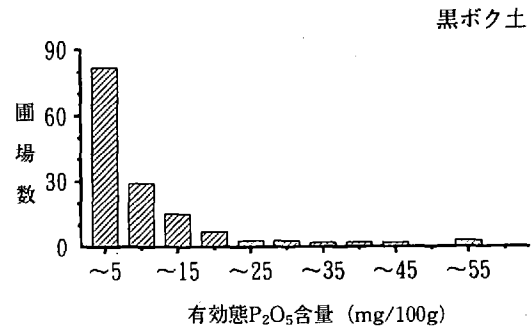
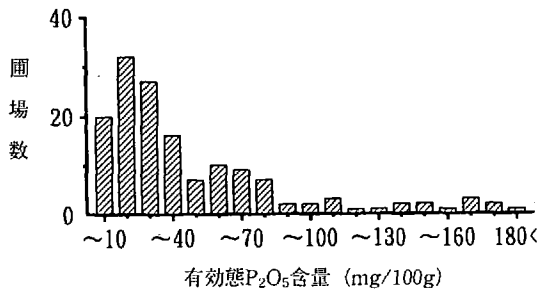
全体



低地土



黒ボク土



図Ⅱ-4 有効態リン酸（ブレイNo2法）の度数分布

図Ⅱ-5 有効態リン酸（トルオーグ法）の度数分布

(2) 地区別化学性

例数の多かった低地土および黒ボク土について日高地方を東部地区（三石町，浦河町，様似町，えりも町），中部地区（新冠町，静内町）および西部地区（平取町，門別町）に区分して検討した。

低地土の化学性について地区別に表Ⅱ-6-1，2に

示した。えりも町は1筆の調査であるため除外して検討した。

交換性塩基含量を地区毎の平均でみると，交換性石灰含量は東部，中部および西部地区が各々438，273および261mg/100gと東部地区が他の地区より高い含量であった。交換性カリ含量は各々31，20，16mg/100gと石灰

表Ⅱ-6-1 地区別土壌の化学性：低地土

	調査筆数	交換性塩基(mg/100g)			有効態P ₂ O ₅ (mg/100g)	
		CaO	MgO	K ₂ O	ブレイNo2法	トルオーグ法
西部						
平取	7	168±38	75±20	11±3	26±7	14±4
門別	17	300±138	70±24	18±10	51±28	18±9
中部						
新冠	29	274±81	59±33	19±9	72±40	26±16
静内	22	272±121	52±34	22±22	103±39	31±14
東部						
三石	17	433±90	73±63	30±20	59±36	16±10
浦河	41	448±115	68±43	33±13	36±18	11±6
様似	10	421±108	107±26	23±6	56±26	11±7

平均値±標準偏差

表Ⅱ-6-2 地区別土壤の化学性：低地土

		調査 筆数	リン酸 吸収係数	土壤pH	陽イオン 交換容量 (me/100g)	塩基 飽和度 (%)	石灰 飽和度 (%)
西部							
平取	7	547±134	5.85±0.21	16±4	63±13	37±7	
門別	17	451±208	5.88±0.54	17±4	82±17	59±16	
中部							
新冠	29	501±173	5.87±0.44	18±6	58±13	54±14	
静内	22	548±144	6.04±0.47	22±8	47±15	46±15	
東部							
三石	17	875±378	6.13±0.43	20±5	100±17	81±15	
浦河	41	684±249	6.37±0.59	19±6	110±27	89±26	
様似	10	734±282	5.94±0.51	24±7	93±21	67±16	
平均値±標準偏差							

と同様に東部地区が高い含量であった。交換性苦土含量は各々74, 56および71mg/100gで石灰およびカリと異なり中部地区が他より含量が低かった。一方、有効態リン酸含量はブレイNo2法でみると東部, 中部および西部地区各々46, 85および44mg/100gと交換性塩基含量と異なり中部地区が高い含量であった。リン酸吸収係数は東部, 中部および西部地区各々745, 521および479であった。東部地区から西部地区にかけて含量が低くなったり, 値が低くなる成分は交換性石灰およびカリ含量, リン酸吸収係数, 土壤pHであった。陽イオン交換容量は東部, 中部および西部地区各々20, 20および17me/100gで西部地区がやや低い値であった。塩基飽和度は東部地区が106%と高かった。

黒ボク土の化学性を地区別に表Ⅱ-7-1, 2に示した。様似町では黒ボク土の調査例がなく除外した。交換性塩基含量をみると, 交換性石灰含量は東部, 中部および西部地区各々493, 362および196mg/100gであった。交換性カリ含量は各々28, 15および12mg/100gで, 交

換性苦土含量は55, 37および28mg/100gであった。低地土の場合と同様, 交換性石灰およびカリ含量は東部地区から西部地区にかけて次第に低くなっていた。低地土の場合と異なり, 交換性苦土含量も東部から西部地区にかけて低くなった。有効態リン酸は低地土と同様に中部地区が他より高い含量で, 各々38, 64および28mg/100gであった。リン酸吸収係数は各々1896, 1051および941で東部地区から西部地区にかけて低くなっていた。陽イオン交換容量は東部, 中部および西部地区各々35, 29および21me/100gと東部から西部にかけて低くなった。塩基飽和度および石灰飽和度も東部地区が他より高い値であった。

以上のように, 交換性苦土含量で低地土と黒ボク土でやや異なるものの, 交換性塩基含量は東部地区>中部地区>西部地区の関係がみられた。同様の傾向はリン酸吸収係数でもみられた。ブレイNo2法でみた有効態リン酸含量は交換性塩基含量とは異なり, 中部地区が他の地区より高い含量であった。

表Ⅱ-7-1 地区別土壤の化学性：黒ボク土

		調査 筆数	交換性塩基(mg/100g)			有効態P ₂ O ₅ (mg/100g)	
			CaO	MgO	K ₂ O	ブレイNo2法	トルオーグ法
西部							
平取	9	103±39	15±6	12±7	21±18	5±5	
門別	52	212±113	31±27	11±8	29±35	7±10	
中部							
新冠	33	268±95	37±24	17±32	63±49	12±10	
静内	25	270±106	38±20	13±6	65±50	15±14	
東部							
三石	5	465±145	38±13	28±5	56±27	7±4	
浦河	16	568±232	48±20	34±19	32±12	2±1	
えりも	8	360±128	79±41	17±4	37±19	4±2	
平均値±標準偏差							

表Ⅱ-7-2 地区別土壌の化学性：黒ボク土

調 査		リン酸	土壌pH	陽イオン 交換容量 (me/100g)	塩 基 飽和度 (%)	石 灰 飽和度 (%)
筆 数		吸収係数				
西 部						
平 取	9	648±320	5.71±0.25	16±5	30±10	23±8
門 別	52	992±405	5.79±0.34	22±7	43±19	34±16
中 部						
新 冠	33	1001±441	5.92±0.39	29±12	42±14	47±22
静 内	25	1118±409	6.03±0.33	30±10	41±18	47±21
東 部						
三 石	5	1840±383	5.79±0.25	30±4	64±14	56±15
浦 河	16	1865±514	5.94±0.58	37±10	63±16	54±15
え り も	8	1992±261	5.49±0.43	33±5	55±29	41±22
平均値±標準偏差						

(3) 表層と下層の化学性の差異

草地は一度造成されると多年にわたって耕起されずに利用される。肥料や土壌改良資材も造成後は表面に散布されるだけである。したがって、永年利用を続けると表層と下層では土壌の養分状態に違いが出てくる。イネ科牧草の多くは土壌の表面から5cm程度の層に活性根の多くが分布する。したがって、合理的肥培管理を行うためには表層と下層の土壌養分の差異を把握する必要がある。表面から5cmまでの層と20cm～25cmまでの層から土壌を採取し、各々を表層および下層として以下に示した。

表層および下層の土壌pH、リン酸吸収係数、陽イオン交換容量を表Ⅱ-8に、交換性塩基含量および有効態リン酸含量を土壌区別に表Ⅱ-9に示した。

土壌pHは各土壌区分とも表層と下層で差はみられな

かった。リン酸吸収係数ではやや下層が高い傾向にあるが、大きな差ではなかった。陽イオン交換容量でも表層と下層に差異はみられなかった。標準偏差も表層と下層で同程度であった。

交換性塩基をみると、交換性石灰含量は表層が下層よりやや高い傾向にあるものの大きな差ではなかった。交換性苦土含量は低地土および黒ボク土では差がなかったが、褐色森林土では表層が下層に比べて高い含量であった。日高の軽種馬生産農家では草地造成時におき土（脚注）を行って草地を造成する方法を採る場合がある。おき土の層が厚く表層では本来の土壌が出現しない草地を褐色森林土に区分した。おき土は黒ボク土の草地に褐色森林土を用いている例が多く、このため褐色森林土で表層と下層で交換性苦土含量が異なると考えられる。交

表Ⅱ-8 土壌区別土壌pH、リン酸吸収係数および陽イオン交換容量

土 壤 pH	低 地 土		黒 ボ ク 土		褐 色 森 林 土		全 体	
	表 層	下 層	表 層	下 層	表 層	下 層	表 層	下 層
平 均	5.84	5.90	5.75	5.85	5.77	5.92	5.77	5.87
標 準 偏 差	0.59	0.52	0.42	0.36	0.41	0.44	0.51	0.45
最 大	7.10	7.08	6.60	6.52	6.95	6.63	7.10	7.08
最 小	4.87	5.09	4.74	5.22	5.14	4.96	4.74	4.96
リン酸吸収係数								
平 均	905	926	1391	1411	1098	1386	1143	1215
標 準 偏 差	196	379	492	519	288	495	421	517
最 大	1346	2410	2366	2469	1929	2527	2366	2527
最 小	520	320	646	544	770	572	520	320
陽イオン交換容量 (me/100g)								
平 均	23.5	21.7	26.9	25.4	30.2	31.5	26.2	25.1
標 準 偏 差	6.7	6.7	10.3	10.7	7.6	9.0	8.8	9.7
最 大	36.6	34.5	48.9	46.5	43.8	44.8	48.9	46.5
最 小	9.2	8.9	12.8	10.7	14.9	11.1	9.2	8.9

おき土：客土の一方法で、耕土層の厚さ増加、地盤のかさあげ、浮土鎮圧などを目的に行われる（大内 力・小倉武一監修：日本の地力一技術的・経営的解明一）。

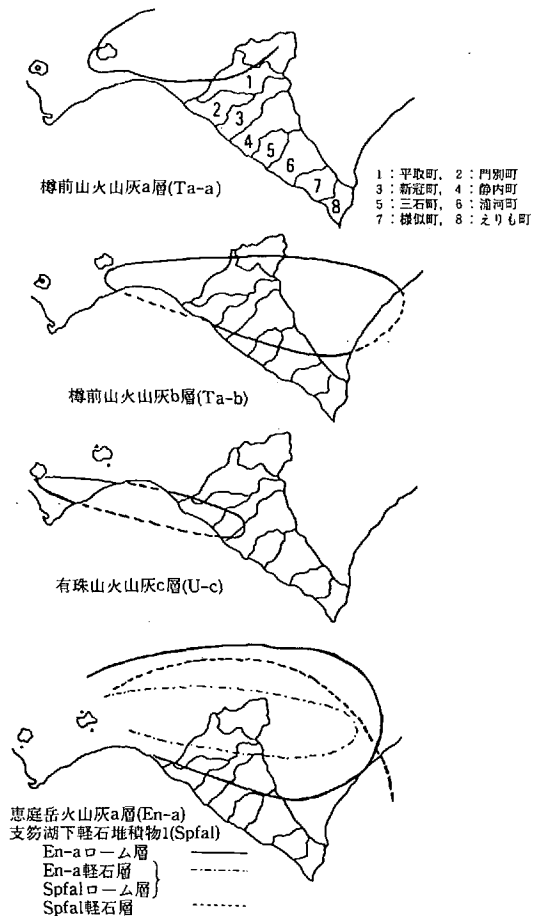
表Ⅱ-9 土壤区分別交換性塩基および有効態リン酸含量 (mg/100g)

	低地土		黒ボク土		褐色森林土		全 体	
	表層	下層	表層	下層	表層	下層	表層	下層
交換性CaO								
平均	409	350	312	286	495	483	382	347
標準偏差	183	128	222	175	141	192	207	179
最大	770	636	1105	850	735	808	1105	850
最小	107	140	45	14	179	174	45	14
交換性MgO								
平均	61	62	37	34	105	78	59	53
標準偏差	19	27	31	36	42	47	39	39
最大	98	142	137	163	176	161	176	163
最小	27	19	7	4	12	15	7	4
交換性K ₂ O								
平均	22	15	10	8	36	21	20	13
標準偏差	16	10	7	6	40	24	23	14
最大	79	58	34	26	176	103	176	103
最小	7	6	4	3	5	4	4	3
有効態P ₂ O ₅								
平均	56	35	60	35	39	22	54	33
標準偏差	33	21	51	33	28	22	41	27
最大	135	84	200	138	113	96	200	138
最小	6	4	4	4	8	1	4	1

換性カリ含量は表層が下層に比べてやや高い含量であった。ブレイNo2法による有効態リン酸含量で違いがみられ、各土壤区分とも表層に比べて下層で低い含量であった。下層は表層の60%程度の含量であった。表層のリン酸含量が高くなっているのはリン酸質肥料が十分施用され、リン酸は土壤中であまり移動しないため表層に蓄積し、下層が低くなっていると考えられる。

3) 考 察

リン酸吸収係数や陽イオン交換容量などは肥培管理の影響は小さく、土壤そのものが本来持っている性質である。したがって、これらは主として土壤の違いがその値の違いとなって現れることが一般的である。リン酸吸収係数は低地土に比べて黒ボク土が高い値となる。日高地方でも低地土に比べて黒ボク土のリン酸吸収係数は高い値となっている。しかし、低地土あるいは黒ボク土内においても地域によってその値が大きく異なることが明らかとなった。黒ボク土でみると、東部地区のリン酸吸収係数は1896であるのに対して中部地区は1051、西部地区は941であった。東部地区に比べて中部および西部地区は約1/2の値であった。この違いはこの地域を覆っている火山灰そのものの違いによると考えることが出来る(図Ⅱ-6)。すなわち、西部地区では降灰年次が新しい未熟火山土の分布が多く⁴¹⁾、中部から東部にかけては古



図Ⅱ-6 日高地方における火山灰の分布

い火山灰に起因する腐植含量の高い黒ボク土となっている。この火山灰の降灰年次あるいは噴火した山の違いが影響している。

交換性塩基含量も土壌区分間、地域間で違いがみられた。土壌区分間で大きな違いがみられたのは交換性苦土含量であった。泥炭土および褐色森林土が高い含量で、ついで低地土で、黒ボク土がもっとも低い含量であった。苦土はヨウリンなどの土壌改良資材から供給されるとともに近年は苦土入り化成肥料が多く施用されているため、土壌の交換性苦土含量は高くなっていると考えられる。1976年の調査例でも日高地方の交換性苦土含量は58mg/100gと報告されている³⁵⁾。しかし、土壌区分間の差異は施用に起因したのではなく、土壌本来の供給力の違いと考えられる。日高地方は変性岩地帯で、マグネシウム含量の高い蛇紋岩が表層に露出している地域もみられ⁶²⁾、蛇紋岩質土壌に特有の植生が存在するところもある¹¹⁸⁾。褐色森林土は蛇紋岩風化物を含んでいるため交換性苦土含量が高くなっていると考えられる。また、泥炭土も高い苦土含量を示した。泥炭土の多くは三石町や浦河町に分布している。三石町は海岸付近に蛇紋岩の露頭がみられる⁶²⁾ことから地域全体が高い交換性苦土含量を示した。このため、泥炭土でも高い苦土含量となった。蛇紋岩の影響の少ない黒ボク土の苦土含量がもっとも低い値を示した。

交換性石灰含量は泥炭土が高い値を示した。前述のように泥炭土は東部地区に分布し、東部地区は他の地区に比べて交換性石灰含量が高い地帯であることに一因があるとみられる。また、土壌診断基準に示される基準値が他の土壌に比べて高く、永年の石灰施用が泥炭土の交換性石灰を高めていることも考えられる。

有効態リン酸含量や交換性塩基含量は土壌区分間で差異がみられたが、地域間でも違いがみられた。有効態リン酸や交換性塩基含量は草地の肥培管理にも影響を受ける^{61,99,100)}。カリを除く交換性塩基含量にみられた地区間の傾きや有効態リン酸含量の地区間の違いは肥培管理の差異をその原因に出来ない。最近の調査結果（日本飼料作物種子協会：軽種馬用草地等利用状況調査報告1993）でも、施肥量や土壌改良資材の投入量に地区間差をみることは出来ない。土壌本来の養分供給量にこのような地域の違いがあるものとするのが妥当である。陽イオン交換容量やリン酸吸収係数でみられたように、この違いは日高地方を覆っている火山灰が地区によって降灰年次や噴出源の山が異なっていることが一因となると考えられる。さらに、地区間の交換性塩基含量の差異には火山灰のほかに表層地質の違いが影響している

と考えられる。地区によって地質構造帯が異なる。概ね西部、中部地区は白亜系～第三系褶曲帯、東部地区のうち三石町から浦河町にかけては神居古潭帯、浦河町から様似町にかけては白亜系向斜帯、えりも町は日高帯となっている。これら構造帯を構成している岩石が風化堆積して日高地方の土壌を生成している。このうち神居古潭帯や日高帯の一部は塩基性岩からなり、蛇紋岩をともなっている^{47,62)}。この風化物の塩基含量の違いが地区間の土壌養分の違いに反映していると考えられた。

一方、北海道において、草地管理は土壌診断に基づいて肥培管理を行うために、土壌および作物栄養の診断基準⁴²⁾、土壌診断に基づく施肥対応⁴³⁾、北海道施肥標準⁴⁴⁾が刊行されている。これらは指導機関の営農指導に活用されている。この土壌診断基準に基づいて日高地方の土壌の養分状態の問題点を検討したい。

北海道で利用されている草地土壌（維持管理草地）の診断基準値を表Ⅱ-10に示した⁴²⁾。土壌pHは土壌区分に係わりなく5.5～6.5が望ましい範囲とされている。この基準に照らしてみると、土壌pHが5.5以下で酸性の矯正が必要とみられる圃場は約25%であった。5.0以下となるような草地はわずかであった。一方、6.5以上の草地は25%あり、7.0以上の草地も10筆みられた。土壌pHを必要以上に高くすることは後述するように微量要素の吸収などにも影響がでることから、基準値の範囲内にあることが望ましい。

交換性塩基では石灰および苦土含量が基準値を大きくうまわる草地がみられた。交換性石灰は火山性土をさらに3区分して基準値が示されている。未熟火山性土では150～300mg/100g、黒色火山性土では200～400mg/100g、厚層黒色火山性土では300～500mg/100gの範囲が望ましいとされている。100mg/100g以下の草地が14筆で、上限値を越えた含量の草地が24筆みられた。非火山性鉍質土では200mg/100g以上とされているが、基準値以下の草地は24筆で、多くの圃場が高い石灰含量であった。泥炭土では400～800mg/100gとされている。石灰の施用は酸性土壌を矯正し、作物の生育に良好な土壌pHにするとともに、作物のカルシウム吸収を高める。しかし、後述するように交換性石灰が400mg/100g以上では牧草中のカルシウム含有率は一定以上高くない。篠原・原田¹⁰⁵⁾は交換性石灰含量は150～300mg/100gが適当であるとしている。必要以上の石灰の施用はマグネシウムの吸収を抑制することにもなる。土壌pHを把握し、pH矯正に必要な量の施用にとどめるべきである。交換性苦土含量も基準値以下の草地はわずかで、むしろ基準値を越える高い含量の草地が多かった。本来苦土含

量の多い土壌に加えて造成時にヨウリン等の土壌改良資材の施用が影響していると考えられる。木村・倉島⁶⁰⁾の報告にみられるように、石灰および苦土は牧草のカルシウムおよびマグネシウムの吸収に各々拮抗的に働くことから、ともに適切な含量に保つことが必要であると考えられる。

有効態リン酸含量も診断基準に示された基準値を上回る草地が多かった。近年、有効態リン酸含量の高い草地が多くなり、三枝ら^{98,100)}によって土壌診断に基づく施肥対応のなかで減肥が提案されている。日高地方もリン

酸の集積が進んでおり、土壌診断に基づき適切な対応が必要となっている。

これらに対して、交換性カリ含量は適性な含量にあった。牧草中のカリウム含有率は家畜が必要とする含有率に比べて著しく高い成分である。カリウム含有率が高い牧草は家畜のカルシウムやマグネシウム欠乏症発生の一因になるとされており、他の要素に比べて施用が控え目になっていることや、牧草による吸収や溶脱が多いためと考えられる。

表Ⅱ-10 維持管理草地における土壌診断 (土壌および作物栄養の診断基準：平成元年)

診断項目	診断基準			留意事項	備考
	火山性土	非火山性鉍質土	泥炭土		
pH (H ₂ O)	5.5~6.5	5.5~6.5	5.5~6.5	適正 pH を維持するためには下限値に達する以前に対策を講じる	
有効態リン酸 (P ₂ O ₅) mg/100g	未熟：30~60 黒色：20~50 厚層 黒色：10~30	20~50	30以上		ブレイNo2法 振とう時間 1分 土：液=1：20 液温 30℃
交換性石灰 (CaO) mg/100g	未熟： 150~300 黒色： 200~400 厚層 黒色： 300~500	200以上	400~800	pH を優先させて対策を講じる	基準値の対象となる土壌のCEC (me/100g) 未熟 5~10 黒色 10~20 厚層黒色 20~30 非火山性鉍質土 20 泥炭土 50
交換性苦土 (MgO) mg/100g	未熟：15~25 黒色：20~30 厚層 黒色：25~35	10~20	30~50	蛇紋岩母材の土壌で30mg以上では含苦土資材の施用は不要	
交換性カリ (K ₂ O) mg/100g	未熟：15~25 黒色：20~30 厚層 黒色：25~35	15~20	30~50		
石灰・苦土比	5~10	5~10	5~10	塩基含量の対策を優先して対策を講じる	当量比
苦土・カリ比	2以上	2以上	2以上		

褐色火山性土は黒色火山性土の値を適用する。

第3節 採草地土壌の微量元素含量

土壌 pH や交換性塩基含量は牧草が正常に生育し、高い生産をあげるために重要な要因であると同様に微量元素も牧草の生育にとって必要な要素である。北海道においては水田土壌や畑土壌について微量元素の診断基準が定められているが、草地土壌の診断基準は定められていない。いくつかの作物では銅や亜鉛、マンガン、ほう素、鉄などの欠乏症や過剰症の発生がみられる^{109,116}。しかし、牧草では南山⁷⁷)によってアルファルファにほう素欠乏症の発生が報告されているにすぎない。

一方、微量元素は単に牧草の生育にとって必要であるばかりでなく、家畜にとっても必須の要素である。したがって、家畜の飼料となる牧草はそれ自体が正常に生育するための含量の他に、家畜が必要とする量を供給できる含量であることが望まれる。ここでは、採草地土壌の微量元素の全含有率および可溶性含有率を調べた。材料は第2節で供試した土壌を用いた。

1. 土壌中のセレン含有率

セレンは動物では必須元素となっており、とくに筋肉の発達に必要な元素である。植物では有用元素に分類されている³⁴) が、必須性が確認されていないことや、分析手法が煩雑であったことなどから、日本の草地におけるセレンの動態に関する研究は少なかった。しかし、動物にとって必須元素であり、一部に飼料中のセレン欠乏によるとみられる筋疾患いわゆる白筋症の発生が報告されてきたことなどから^{2,36,53,110})、草地における動態について検討を要する元素である。

北海道は日本の他の地域と比べて土壌中のセレン含有率が低いとされている⁶)。馬ではセレン欠乏症の対策と

して、既にセレン製剤の使用が認められているため、軽種馬生産農家では分娩前後にセレン製剤の投与が行われている^{36,88})。ここでは、採草地土壌の全セレン含有率、一部の土壌について可溶性セレン含有率を調べ、土壌中での存在形態や可溶性の程度を検討した。

1) 分析方法

全セレン含有率：土壌 1～2 g を硝酸 50 ml、過塩素酸 5 ml による分解後水素化物発生原子吸光法で測定した。

可溶性セレン含有率：土壌 50 g を熱水 100 ml で 30 分間煮沸し、ろ過後水素化物発生原子吸光法で測定した。

遊離酸化鉄：浅見・熊田の方法によって測定した¹⁷)。

2) 結果

土壌中の全セレンおよび可溶性セレン含有率を表 II-11 に、全含有率の度数分布を図 II-7 に示した。

土壌の全セレン含有率は 0.01～1.77 ppm の範囲にあり、平均で 0.42 ppm であった。土壌区別では低地土は 0.35 ppm、泥炭土 0.48 ppm、黒ボク土 0.49 ppm および褐色森林土 0.47 ppm であった。低地土が他の土壌に比べてやや低い含有率であった。含有率の分布をみると、全体では 0.5 ppm 以下の土壌が多く、低い含量域に分布をしている。低地土も同様の分布であったが、黒ボク土では高い含量の土壌もみられ、平準な分布をしている。

東部地区について検討した可溶性セレン含有率は 0.0000～0.0081 ppm の範囲にあり、平均で 0.0008 ppm であった。低地土および泥炭土が黒ボク土および褐色森林土に比べて高い傾向にあった。

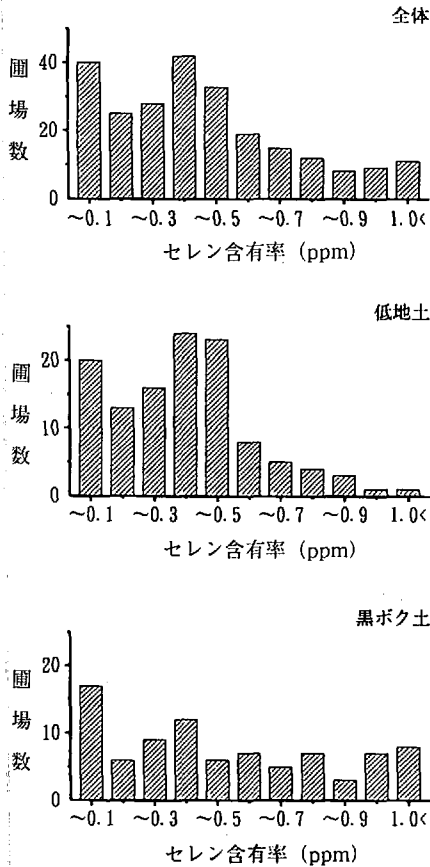
全セレン含有率および可溶性セレン含有率と遊離酸化鉄との関係を図 II-8 に示した。遊離酸化鉄含有率と全セレン含有率との間に $r = 0.484$ の有意な相関関係があり、遊離酸化鉄含有率が高い土壌では全セレン含有率も高くなった。しかし、可溶性セレン含有率は遊離酸化鉄

表 II-11 土壌区分のセレン含有率 (ppm)

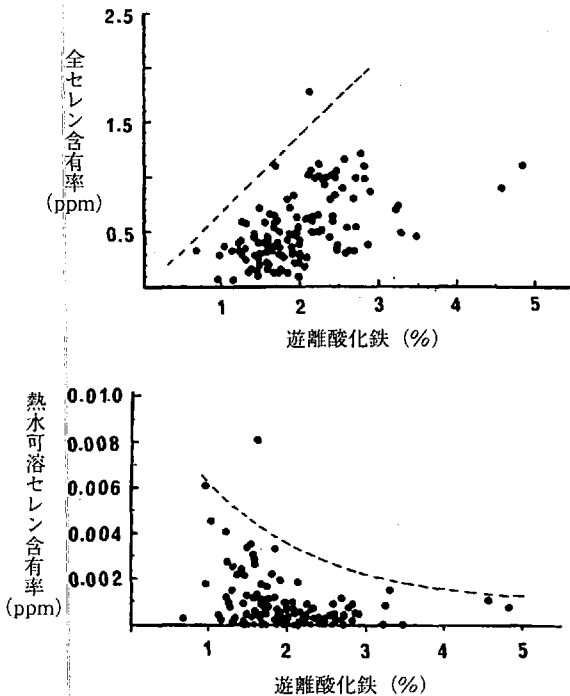
		低地土	泥炭土	黒ボク土	褐色森林土	全体
全含有率						
平均		0.352 ^{b*}	0.484 ^{ab}	0.486 ^a	0.471 ^{ab}	0.419
標準偏差		0.228	0.380	0.343	0.267	0.298
最大		1.100	1.770	1.210	0.980	1.770
最小		0.010	0.040	0.020	0.100	0.010
可溶性含有率 ^{a)}						
平均		0.0012	0.0008	0.0003	0.0005	0.0008
標準偏差		0.0015	0.0008	0.0003	0.0004	0.0012
最大		0.0081	0.0033	0.0011	0.0011	0.0081
最小		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

a) : 可溶性含有率は東部地区の土壌のみを供試した。

* : 異文字間に 1% 水準で有意差



図II-7 全セレン含有率の度数分布



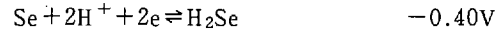
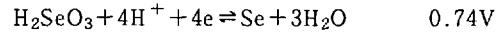
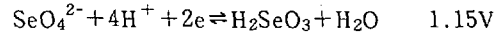
図II-8 遊離酸化鉄と全セレンおよび熱水可溶性セレン含有率の関係

含有率が高いと低くなる傾向を示した。

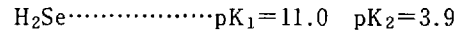
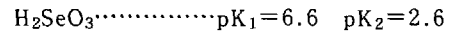
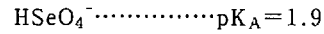
3) 考察

(1) 土壌におけるセレンの酸化状態

土壌中の全セレン含有率は遊離酸化鉄と正の相関が認められた。土壌中におけるセレンは酸化還元状態によって-2, 0, 4および6価の形で存在していると考えられている。セレンの酸化還元反応¹²⁾は

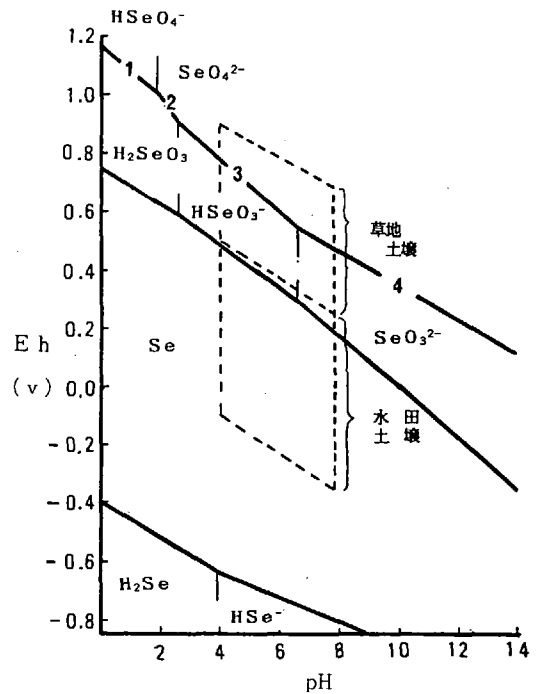


であり、また解離定数¹²⁾は



である。

セレンの Eh-pH ダイアグラムはセレンの酸化還元電位から導くことができる。図II-9に示した Eh-pH ダイアグラムから、草地土壌では概ね Eh (V) は0.4~0.6Vの範囲にあると思われ、これらのことから判断すると、草地土壌で重要な酸化状態は6価のセレン酸 SeO_4^{2-} および4価の亜セレン酸 HSeO_3^- , SeO_3^{2-} となると考えられる。



図II-9 セレンの Eh-pH ダイアグラム

1 : E=1.15V-0.0885pH

2 : E=0.982V-0.118pH

3 : E=0.889V-0.0885pH

4 : E=0.545V-0.059pH

(2) セレンの可溶性と酸化鉄の関連

多くの場合、可溶性は溶解度積から求めることが出来る。土壌における難溶解性化合物は6価の場合より4価の場合に多い。セレン酸はその溶解性および流亡によって土壌中で豊富には存在できないと考えられる。しかし、亜セレン酸の溶解度積はセレン酸より小さいので土壌中で不溶性の塩として存在しているものと考えられる。

亜セレン酸鉄の溶解度積¹²⁾は

$$[\text{SeO}_3^{2-}]^3 [\text{Fe}^{3+}]^2 = 10^{-30.7} \text{である。}$$

図II-8に示したように、全セレン含有率は遊離酸化鉄含有率に比例して高くなり、熱水可溶セレンは逆に遊離酸化鉄が高いと低くなる傾向を示していることから、亜セレン酸第2鉄 $\text{Fe}_2(\text{SeO}_3)_3$ の溶解性は土壌における遊離鉄の共有イオン効果によって低くなっていると考えられる。亜セレン酸は酸化第二鉄と速やかに結合するとの報告²⁴⁾があり、これを裏付けるものと思われた。これは酸化鉄による共有イオン効果による亜セレン酸の溶解度の低下によると考えることができる。

2. 土壌中の銅含有率

銅は地殻中に0.0001%存在し、土壌中の量は母材の銅含量、肥料、殺菌剤の施用量などによって左右される。土壌中の銅含量不足による植物体の欠乏症は小麦に特徴的に現れている^{82,83)}。可溶性銅含量が0.2~0.5ppmで欠乏症が発生するとされているが、黒ボク土では0.5ppm以下になる例が多い⁷⁹⁾。

日高地方の土壌の銅含量についての調査例をみると、土壌群によって可溶性銅含有率は異なることが報告されている³⁵⁾。ここでは日高地方の土壌区分別、地区別の全銅含有率および可溶性銅含有率を調べ、可溶性銅含有率を支配している土壌中の他の要素との関連について検討を試みた。

1) 分析方法

全銅含有率：土壌1gを硝酸2ml、過塩素酸5ml、硫酸1mlの3混酸により分解後、原子吸光法で測定した。

可溶性銅含有率：0.1N塩酸抽出法によって得た値を可溶性銅とした。土壌10gに対して0.1N塩酸50mlで1時間振とう後ろ過し、ろ液を原子吸光法で測定した。

2) 結果

全銅および可溶性銅含有率を土壌区分別に表II-12に示した。土壌の全含有率は6~67ppmの範囲にあり、全体の平均では26ppmであった。土壌区分別では低地土が34ppmともっとも高く、黒ボク土が19ppmでもっとも低かった。全道の畑土壌における低地土の全銅含有率は31ppm、黒ボク土では25ppm、褐色森林土では27ppm⁷⁹⁾となっているが、日高地方では黒ボク土および褐色森林土でやや低い値となっている。可溶性銅含有率は0.03~13.24ppmの範囲にあり、平均で2.53ppmであった。土壌区分別では低地土が4.47ppmでもっとも高く、黒ボク土が0.69ppmでもっとも低かった。土壌区分別の含有率の序列は全含量と同様であったが、全銅含有率に比べて土壌区分別の差が大きい。

全銅含有率に対する可溶性銅含有率の割合を表II-13に示した。低地土は全銅含有率および可溶性銅含有率が高いだけでなく、全銅含有率に対する可溶性銅含有率の比率も高くなっているのに対して、黒ボク土は全銅および可溶性銅含有率が低だけでなく、可溶性銅含有率の比率も低くなっている。

3) 考察

可溶性銅含有率に影響する要因について検討した。土壌中の全銅含有率と可溶性銅含有率の関係を明らかにするため、東部地区の土壌を用いて若干の検討を試みた。可溶性銅含有率と全銅含有率、リン酸吸収係数および土壌pHとの関係を図II-10に示した。全銅含有率と可溶

表II-12 土壌区分別の銅含有率 (ppm)

		低地土	泥炭土	黒ボク土	褐色森林土	全体
全含有率						
平均		34 ^{a*}	29 ^{ab}	19 ^c	23 ^{bc}	26
標準偏差		11	10	6	7	11
最大		67	48	47	37	67
最小		14	6	7	11	6
可溶性含有率						
平均		4.47 ^a	3.41 ^a	0.69 ^c	1.91 ^b	2.53
標準偏差		2.34	2.81	0.78	1.68	2.54
最大		13.24	8.84	4.53	5.21	13.24
最小		0.44	0.42	0.03	0.05	0.03

*：異文字間に1%水準で有意差

表Ⅱ-13 全銅に対する可溶性銅含有率の割合 (%)

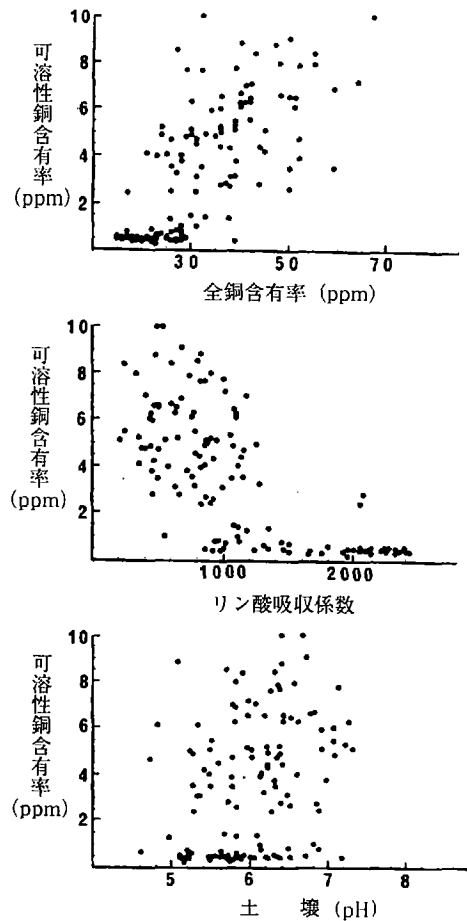
	低地土	泥炭土	黒ボク土	褐色森林土	全体
平均	12.7	10.6	4.0	7.5	8.3
標準偏差	5.9	8.0	4.3	6.3	6.8
最大	41.4	31.7	23.7	21.7	41.4
最小	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0

性銅含有率との間には密接な関係が認められ、一般に作物に銅欠乏の発生が危惧される可溶性銅含有率0.5ppm以下となるのは全銅含有率が30ppm以下の土壤に集中した。土壤のリン酸吸収係数と可溶性銅含有率の間にも密接な関係がみられた。可溶性銅含有率の低い黒ボク土あるいは褐色森林土はいずれもリン酸吸収係数が高く、リン酸吸収係数が1400以上の土壤では可溶性銅含有率はほとんど1ppm以下の含有率であった。土壤pHと可溶性銅含有率の間には関係はみられなかった。

可溶性銅含有率の測定に用いた0.1N塩酸抽出液中のH⁺濃度と可溶性銅含有率との関係、0.1N塩酸抽出液中のAl³⁺、Ca²⁺の濃度および(Al³⁺+Ca²⁺+Mg²⁺)濃度とH⁺濃度との関係を図Ⅱ-11に示した。1、2の例外を除いてH⁺濃度が12~13me/l以下では可溶性銅含有率が1ppm以上にはならない。このことから、0.1N塩酸に含まれる100me/l相当量のH⁺の大部分は土壤中のカルシウムやマグネシウム、アルミニウムその他の陽イオンと交換され、抽出液中においてはH⁺が12~13me/lに低下し、その消失したH⁺の87~88me/lに相当する他の陽イオンが87~88me/l溶出してくるものと考えられることができる⁷⁸⁾。

そこで、0.1N塩酸抽出液中のAl³⁺、Ca²⁺の濃度とH⁺濃度との関係を見ると、ともに類似の傾向で負の相関関係にある。しかし、Al³⁺はH⁺が低くなるにともない高くなるが、約5me/l以下になると再び低下する。これに対して、Ca²⁺はH⁺が0に近づくまで増加した。可溶性銅含有率が0.5ppm以下になるような土壤ではAl³⁺およびCa²⁺濃度が40me/l以上であった。抽出液中の主要陽イオンであるAl³⁺、Ca²⁺およびMg²⁺の合計濃度とH⁺の関係を見ると、両者間にはきわめて高い相関関係があり、H⁺が10me/l以下の領域ではAl³⁺、Ca²⁺、

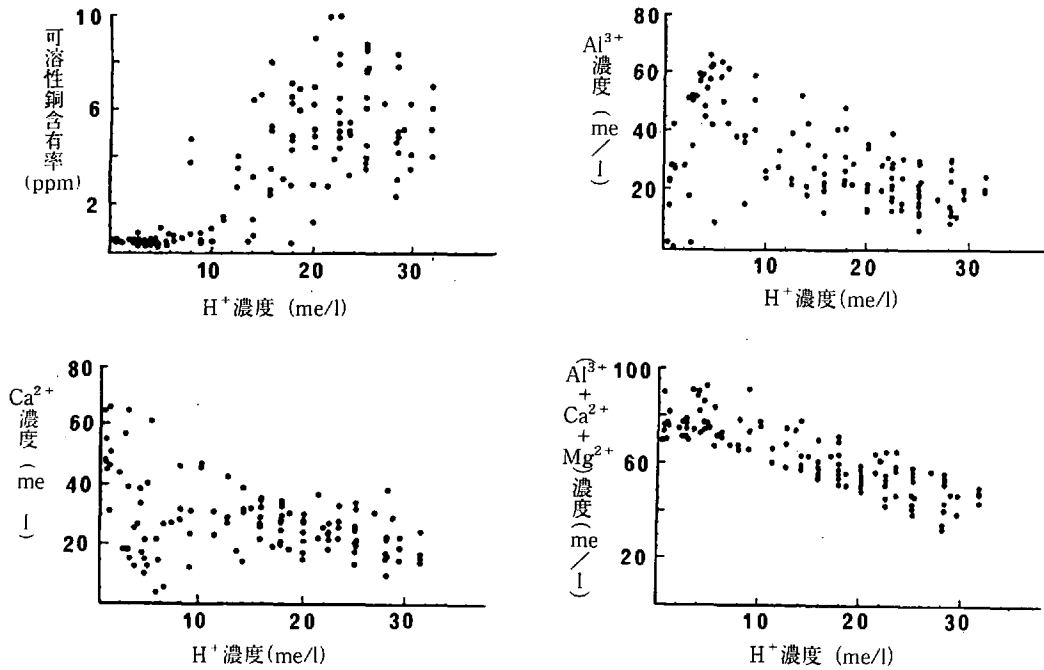
Mg²⁺の合計濃度は90me/l以上に達する場合もあった。また、下限をみてもその合計は70me/l以上となり、抽出液中のH⁺と交換される陽イオンの大部分はこの3イオンで占められているといえる。この3イオンの中ではAl³⁺の影響がもっとも高い。このことがアルミニウムに富む黒ボク土の0.1N塩酸抽出銅含有率を低くしている原因であると思われた(表Ⅱ-14)。



図Ⅱ-10 可溶性銅含有率と全銅含有率、リン酸吸収係数および土壤pHの関係

表Ⅱ-14 0.1N塩酸抽出液中のAl³⁺、Ca²⁺、Mg²⁺およびH⁺含量(me/l)

	低地土	泥炭土	黒ボク土	褐色森林土	全体
Al ³⁺	23.7	24.5	41.0	37.4	29.0
Ca ²⁺	26.6	29.3	31.9	22.4	27.7
Mg ²⁺	5.5	5.2	4.1	5.9	5.2
計	55.8	59.0	77.0	65.7	61.9
H ⁺	20.4	15.4	4.6	14.8	15.7



図II-11 0.1N塩酸抽出液中の H^+ 濃度と可溶性銅含有率、
0.1N塩酸抽出中の Al^{3+} 、 Ca^{2+} の濃度および
($Al^{3+}+Ca^{2+}+Mg^{2+}$)濃度との関係

3. 土壌中のマンガン含有率

北海道の畑土壌におけるマンガンは低地土で見ると、全含有率は893ppm、易還元性マンガンは124ppm、黒ボク土では全含有率で1037ppm、易還元性マンガンは64ppmと報告されている⁷⁹⁾。作物のマンガン過剰障害について報告⁵⁸⁾されているように、マンガンは欠乏症より過剰障害が危惧される要素である。

土壌区分別の全マンガン含有率、可溶性マンガン含有率および全含有率に対する可溶性含有率の比率について検討した。

1) 分析方法

全マンガン含有率：土壌1gを硝酸2ml、過塩素酸5ml、硫酸1mlの3混酸により分解後、原子吸光法で測定した。

交換性マンガン含有率：交換性塩基含量測定に用いた1N酢酸アンモニウム(pH7)で抽出し、抽出液のマンガン原子吸光法で測定した。

易還元性マンガン：0.2%ヒドロキノン含有1N酢酸アンモニウム(pH7)で抽出し、抽出液中のマンガン原子吸光法で測定した。

2) 結果

土壌区分別に全マンガン、交換性マンガンおよび易還元性マンガン含有率を表II-15に示した。

全含有率は139~3083ppmの範囲にあり、全体の平均で525ppmであった。土壌区分別では低地土が648ppmでもっとも高く、黒ボク土がもっとも低かった。交換性マンガンは0.8~85.9ppmの範囲にあり、平均で16.7ppmであった。土壌区分別では泥炭土がもっとも高く33.7ppmで、黒ボク土が8.5ppmともっとも低い含有率であった。易還元性マンガンは低地土がもっとも高く、交換性マンガンの場合と異なり泥炭土と序列が異なった。

全含有率に対する交換性マンガンおよび易還元性マンガンの比率を表II-16に示した。

全含有率に対する交換性マンガン含有率の割合は0.0~33.5%の範囲にあり、平均で3.0%であった。土壌区分別では泥炭土が8.0%ともっとも高く、黒ボク土では1.9%であった。低地土と褐色森林土は同様の値であった。易還元性マンガンでは1.6~73.3%の範囲にあり、平均で18.0%であった。土壌区分別では泥炭土がもっとも高く34.5%であり、黒ボク土が14.2%でもっとも低い割合であった。交換性マンガン、易還元性マンガンとも全含有率に対する比率は泥炭土>低地土=褐色森林土>黒ボク土との序列となった。

表Ⅱ-15 土壤区別のマンガン含有率 (ppm)

	低地土	泥炭土	黒ボク土	褐色森林土	全 体
全 含 有 率					
平 均	648 ^{a*}	425 ^b	423 ^b	503 ^b	525
標 準 偏 差	311	221	169	164	265
最 大	3083	1017	1371	842	3083
最 小	194	139	157	246	139
交換性マンガン					
平 均	22.5 ^b	33.7 ^a	8.5 ^c	19.5 ^b	16.7
標 準 偏 差	16.5	23.6	9.1	17.6	16.4
最 大	85.9	85.8	65.9	76.8	85.9
最 小	3.5	9.0	0.8	2.2	0.8
易還元性マンガン					
平 均	122 ^{ab}	140 ^{ab}	60 ^c	96 ^{bc}	93
標 準 偏 差	78	143	40	61	76
最 大	799	745	258	286	799
最 小	7	22	8	29	7

* : 異文字間に1%水準で有意差

表Ⅱ-16 全マンガンに対する可溶性マンガン含有率の割合 (%)

	低地土	泥炭土	黒ボク土	褐色森林土	全 体
交換性マンガン					
平 均	3.4	8.0	1.9	3.8	3.0
標 準 偏 差	2.6	7.7	1.7	3.3	3.3
最 大	12.9	33.5	8.1	15.2	33.5
最 小	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0
易還元性マンガン					
平 均	19.4	34.5	14.2	19.2	18.0
標 準 偏 差	9.4	18.2	7.8	11.0	10.8
最 大	65.9	73.3	44.9	55.3	73.3
最 小	1.6	8.0	2.0	7.8	1.6

3) 考察

北海道の畑土壤のマンガンについてみると、易還元性マンガンは土壤別では低地土>褐色森林土>黒ボク土で、低地土が高い含有率であることが示されている⁷⁹⁾。この序列は日高地方の土壤でも変わらない。しかし、交換性マンガンでは各土壤群とも含有率の変動が大きく、黒ボク土では100%を越える変動係数であった。この変動を検討するために、低地土を褐色低地土、灰色低地土およびグライ土に区分し、黒ボク土を黒ボク土および多湿黒ボク土に区分して交換性マンガンおよび易還元性マンガンを表Ⅱ-17に示した。交換性マンガンは褐色低地土<灰色低地土<グライ土でグライ土がもっとも高い含有率であった。火山性土では黒ボク土<多湿黒ボク土であった。これらのことは交換性マンガンが土壤の水分含量すなわち還元状態と関係していることを示すと考えられる⁸⁴⁾。

表Ⅱ-17 土壤群別可溶性マンガン含有率(ppm)

	低地土	褐色低地土	灰色低地土	グライ土
交換性マンガン	18.2	28.9	37.3	
易還元性マンガン	125	111	122	
	火山性土	黒ボク土	多湿黒ボク土	
交換性マンガン	8.4	12.2		
易還元性マンガン	59	86		

4. 土壤中の亜鉛含有率

北海道の畑土壤における全亜鉛含有率は低地土で86ppm、黒ボク土で66ppm、可溶性亜鉛含有率は低地土で7.3ppm、黒ボク土で5.4ppmと報告されている⁷⁹⁾。また、可溶性亜鉛含有率が1.5ppm以下では作物に欠乏症がみられるとされている。北海道でも一部の地域でサイレージ用トウモロコシに亜鉛欠乏症の発生がみられている¹¹⁹⁾が、牧草での亜鉛欠乏の報告がみられない。し

かし、亜鉛は馬の栄養にとっても重要な要素であり、土壌中の実態を把握することは重要である。

他の要素と同様に土壌区分別の全亜鉛含有率、可溶性亜鉛含有率および全含有率に対する可溶性含有率の比率について検討した。

1) 分析方法

全亜鉛含有率：土壌 1 g を硝酸 2 ml, 過塩素酸 5 ml, 硫酸 1 ml の 3 混酸により分解後、原子吸光法で測定した。

可溶性亜鉛含有率：0.1N 塩酸抽出法によって得た値を可溶性亜鉛とした。土壌 10 g に対して 0.1N 塩酸 50 ml で 1 時間振とう後ろ過し、ろ液を原子吸光法で測定した。

2) 結果

土壌区分別に全亜鉛含有率および可溶性亜鉛含有率を表 II-18 に示した。

全含有率は 20-106 ppm の範囲にあり、全体の平均では 58 ppm であった。土壌区分別では低地土がもっとも高く 70 ppm, 黒ボク土が 45 ppm ともっとも低かった。可溶性亜鉛含有率は 0.57-15.99 ppm の範囲にあり、全

体の平均で 3.56 ppm であった。土壌区分別では全含有率と同様に低地土がもっとも高く 4.40 ppm, 黒ボク土がもっとも低く 2.67 ppm であった。

全含有率に対する可溶性含有率の比率をみると、0.0-23.1% の範囲にあり、平均で 6.1% であった。土壌区分別では全含有率や可溶性含有率ほどの土壌区分間の差はなかった (表 II-19)。

3) 考察

北海道ではトウモロコシ¹¹⁹⁾や玉ねぎ⁷⁶⁾に亜鉛欠乏症の発生が報告されている。トウモロコシで亜鉛欠乏が発生している土壌は 0.1N 塩酸可溶の亜鉛が 1.5 ppm 以下である。このため、土壌診断基準では 2 ppm 以上が望ましい含有率としている。しかし、牧草での亜鉛欠乏の発生例の報告はみられない。日高の採草地土壌では 0.1N 塩酸可溶の亜鉛含有率が 1.0 ppm 以下の草地は少なく、チモシーに亜鉛欠乏が危惧される草地は少なかった。

表 II-18 土壌区分別の亜鉛含有率 (ppm)

		低地土	泥炭土	黒ボク土	褐色森林土	全体
全含有率						
平均		70 ^{a*}	58 ^b	45 ^c	67 ^{ab}	58
標準偏差		12	17	13	12	17
最大		106	80	94	87	106
最小		38	24	20	43	20
可溶性含有率						
平均		4.40 ^a	4.23 ^{ab}	2.67 ^b	3.58 ^{ab}	3.56
標準偏差		2.32	1.38	1.77	2.37	2.21
最大		15.99	7.13	9.94	9.28	15.99
最小		0.68	1.79	0.57	0.78	0.57

5. 表層と下層および地区間の微量元素含有率の差異

前節で採草地土壌の表層と下層の一般化学性の差異を検討し、経年的な草地の肥培管理によって表層と下層では有効態リン酸や交換性石灰の含量が異なっていることを示した。微量元素についても、表層と下層の含有率の違いを土壌区分別、地域別に検討した。

1) 方法

前節で供試した採草地土壌を用い、表層と下層について微量元素の全含有率および可溶性含有率を調べた。

2) 結果

セレン、銅、マンガンおよび亜鉛の全含有率および可溶性含有率を土壌区分別に表 II-20, 21 に示した。

土壌区分別の全含有率では各要素とも表層と下層で差異はなかった。褐色森林土のセレン含有率でのみ差がみられ、下層が表層より高い含有率であった。土壌区分別の含有率はすでに述べたように銅、マンガンおよび亜鉛含有率は黒ボク土が他の土壌に比べて低い含有率であった。

表 II-19 全亜鉛に対する可溶性亜鉛含有率の割合 (%)

		低地土	泥炭土	黒ボク土	褐色森林土	全体
平均		6.0	7.1	6.1	5.3	6.1
標準偏差		3.0	2.4	4.0	3.4	3.5
最大		18.6	11.1	23.1	13.6	23.1
最小		0.0	0.0	0.0	1.2	0.0

可溶性含有率では交換性マンガン含有率が表層と下層で著しく異なった。低地土および褐色森林土では、下層は表層の1/2程度の含有率であった。しかし、易還元性マンガン含有率では褐色森林土で下層が表層に比べやや低い含有率であったが、他の土壌では差はみられなかった。亜鉛含有率では下層が表層に比べやや低い傾向がみられた。銅含有率では褐色森林土で下層が表層に比べてやや低い含有率であった。すでに述べたように、おき土層が厚く表層で本来の土壌が出現しなかった草地は褐色森林土に区分した。これらの草地は黒ボク土で多いことから、褐色森林土の下層の値は黒ボク土の値を含んでいるため、表層と下層で差がみられる結果となった。

地区別に表層および下層の全含有率、可溶性含有率を表Ⅱ-22, 23に示した。土壌区分別の全含有率は表層および下層で違いがないことを示したが、地区毎にみても表層と下層に含有率に差はみられなかった。しかし、地区間の違いは下層でも明瞭でセレン、銅およびマンガン含有率は門別<新冠<静内<三石と西部地区から東部地区にかけて次第に高くなり、浦河では三石よりやや低い含有率であった。亜鉛含有率も同様の傾向で、浦河は三石と同程度の含有率であった。

可溶性含有率では地区の序列が全含有率とやや異なったものの、概ね西部地区から東部地区にかけて高くなる。

これら地区による差異は低地土、黒ボク土および褐色

表Ⅱ-20 表層および下層の全含有率 (ppm)

	セレン		銅		マンガン		亜鉛	
	表層	下層	表層	下層	表層	下層	表層	下層
低地土								
平均	0.557	0.583	39	41	778	732	74	73
標準偏差	0.252	0.285	16	16	473	477	8	9
黒ボク土								
平均	0.551	0.565	22	23	355	391	38	37
標準偏差	0.331	0.320	13	17	118	202	14	15
褐色森林土								
平均	0.582	0.956	33	35	573	550	72	64
標準偏差	0.194	0.546	14	22	133	209	16	18
全体								
平均	0.559	0.648	31	32	557	549	58	56
標準偏差	0.277	0.393	16	19	364	371	21	21

表Ⅱ-21 表層および下層の可溶性含有率 (ppm)

	0.1N塩酸可溶				交換性マンガン		易還元性マンガン	
	銅		亜鉛		表層	下層	表層	下層
	表層	下層	表層	下層				
低地土								
平均	3.15	4.13	4.74	3.95	20.0	11.4	236	218
標準偏差	1.57	1.55	1.78	1.24	19.4	11.9	196	297
黒ボク土								
平均	0.69	0.83	2.93	2.78	6.2	4.8	67	71
標準偏差	1.13	1.11	1.89	1.69	4.6	4.6	39	49
褐色森林土								
平均	1.96	1.49	5.63	4.18	26.4	12.3	244	157
標準偏差	1.03	1.47	2.99	2.35	20.9	11.8	130	135
全体								
平均	1.90	2.24	4.16	3.49	15.6	8.9	166	144
標準偏差	1.69	2.03	2.37	2.09	17.5	10.1	161	207

表Ⅱ-22 地区別全含有率 (ppm)

		セレン		銅		マンガン		亜鉛	
		表層	下層	表層	下層	表層	下層	表層	下層
門別町									
平均	均	0.357	0.380	17	16	287	275	36	35
標準偏差	偏 差	0.125	0.112	5	4	53	69	11	13
新冠町									
平均	均	0.417	0.428	27	25	397	385	42	42
標準偏差	偏 差	0.222	0.272	14	14	145	155	19	18
静内町									
平均	均	0.489	0.512	25	25	453	526	54	53
標準偏差	偏 差	0.235	0.277	12	13	149	250	17	18
三石町									
平均	均	0.816	0.946	40	48	815	777	71	72
標準偏差	偏 差	0.293	0.472	14	21	592	598	13	15
浦河町									
平均	均	0.630	0.852	38	38	715	675	79	72
標準偏差	偏 差	0.173	0.282	18	19	165	182	6	12
全体									
平均	均	0.559	0.648	31	32	557	549	58	56
標準偏差	偏 差	0.277	0.393	16	19	364	371	21	21

表Ⅱ-23 表層および下層の可溶性含有率 (ppm)

		0.1N塩酸可溶				交換性マンガン		易還元性マンガン	
		銅		亜鉛		表層	下層	表層	下層
		表層	下層	表層	下層				
門別町									
平均	均	0.99	1.27	1.95	1.88	5.7	2.4	44	44
標準偏差	偏 差	1.23	1.62	1.09	1.18	6.6	1.6	12	19
新冠町									
平均	均	1.09	1.30	3.94	3.43	8.4	6.4	106	93
標準偏差	偏 差	1.36	1.59	2.01	1.36	7.2	5.2	73	54
静内町									
平均	均	2.25	2.11	2.84	2.43	13.5	7.2	105	110
標準偏差	偏 差	2.02	1.91	0.98	0.93	11.8	6.6	56	69
三石町									
平均	均	2.25	3.32	4.58	4.21	22.9	15.0	276	276
標準偏差	偏 差	1.52	1.94	1.97	1.58	23.5	15.3	249	387
浦河町									
平均	均	2.58	2.81	6.53	4.79	23.4	10.8	244	153
標準偏差	偏 差	1.52	2.12	2.30	2.97	19.6	8.9	107	83
全体									
平均	均	1.90	2.24	4.16	3.49	15.6	8.9	166	144
標準偏差	偏 差	1.69	2.03	2.37	2.09	17.5	10.1	161	207

森林土をこみにしたデータで比較した。そこで、土壌区分別に比較するため、第2節で供試した例数の多い低地土および黒ボク土について、地区別の含有率を比較した。

低地土の全含有率を地区別にみると(表Ⅱ-24)、マンガンおよび亜鉛含有率は東部>中部>西部の関係が明

瞭であった。様似町がマンガン、亜鉛とももっとも高い含有率であった。全セレン含有率も中部地区に比べて東部地区が高い含有率であった。

黒ボク土の全含有率を地区別にみると(表Ⅱ-25)、マンガンおよび亜鉛含有率では西部地区から東部地区に

かけて次第に高くなっている。セレン含有率も中部地区に比べ東部地区が高かった。低地土の可溶性含有率をみると (表Ⅱ-26), 交換性

および易還元性マンガンが西部地区から東部地区にかけて次第に高くなっている。可溶性銅含有率は中部地区が西部および東部地区に比べて低い含有率であった。可溶

表Ⅱ-24 低地土の地区別全含有率 (ppm)

	セレン	銅	マンガン	亜鉛
平取町		36±7	483±96	59±7
門別町		26±7	420±126	63±10
新冠町	0.269±0.210	28±7	546±177	63±8
静内町	0.211±0.175	33±13	616±244	67±10
三石町	0.369±0.254	34±11	782±600	69±9
浦河町	0.441±0.184	40±10	758±233	79±9
様似町	0.500±0.243	42±11	841±218	81±10
全体	0.352±0.228	34±11	648±311	70±12

平均±標準偏差, 平取町および門別町のセレンは欠測

表Ⅱ-25 黒ボク土の地区別全含有率 (ppm)

	セレン	銅	マンガン	亜鉛
平取町		18±5	304±112	35±9
門別町		19±6	349±105	43±12
新冠町	0.390±0.253	16±5	480±185	41±11
静内町	0.272±0.249	17±7	486±119	44±11
三石町	0.838±0.282	22±3	559±410	58±10
浦河町	0.679±0.307	21±4	468±157	50±8
えりも町	0.940±0.215	25±2	428±74	68±13
全体	0.486±0.343	19±6	423±169	45±13

平均±標準偏差, 平取町および門別町のセレンは欠測

表Ⅱ-26 低地土の地区別可溶性含有率 (ppm)

	0.1N塩酸可溶		交換性	易還元性
	銅	亜鉛	マンガン	マンガン
平取町	5.90±1.66	2.86±0.60	6.7±1.9	63±22
門別町	4.56±2.30	4.17±2.10	11.0±6.2	74±43
新冠町	2.80±1.35	2.89±1.81	19.7±9.7	102±41
静内町	3.75±2.08	2.74±1.21	24.4±16.6	111±160
三石町	4.65±2.30	4.58±1.51	31.2±20.1	143±24
浦河町	5.46±2.52	5.90±2.25	24.0±16.2	158±38
様似町	5.05±1.63	6.78±1.55	43.5±18.3	131±32
全体	4.47±2.34	4.40±2.32	22.5±16.5	122±78

平均±標準偏差

表Ⅱ-27 黒ボク土の地区別可溶性含有率 (ppm)

	0.1N塩酸可溶		交換性	易還元性
	銅	亜鉛	マンガン	マンガン
平取町	1.20±0.95	2.14±1.45	2.7±1.0	27±7
門別町	0.76±0.89	2.71±1.67	4.8±4.3	40±26
新冠町	0.66±0.57	2.24±1.16	10.3±7.0	79±42
静内町	0.45±0.60	2.26±1.28	9.5±5.4	55±45
三石町	0.49±0.08	4.88±2.23	6.0±3.0	91±19
浦河町	0.73±0.98	2.55±1.82	17.7±20.6	89±23
えりも町	0.47±0.13	4.89±2.71	15.9±8.5	87±38
全体	0.69±0.78	2.67±1.77	8.5±9.1	60±40

平均±標準偏差

性亜鉛含有率は門別町を除くと東部地区が西部および中部地区より高い含有率であった。

黒ボク土の可溶性含有率をみると（表Ⅱ-27）、交換性および易還元性マンガンが低地土と同様に西部地区から東部地区にかけてしだいに高くなる傾向にあった。しかし、可溶性銅および亜鉛含有率では地区間に明瞭な差はみられなかった。

3) 考察

表層と下層で含有率に差がみられたのは交換性マンガンであった。交換性マンガンは土壌 pH や酸化還元状態の影響を強く受ける^{57,113)}。土壌中のマンガンの溶解度は主として土壌反応および酸化還元平衡に支配される¹⁸⁾。土壌中のマンガンの大部分は不可給態の3価と4価の酸化物となっており、可給態として土壌溶液中に存在するのは2価のマンガンであると考えられている¹⁸⁾。一方、酸化還元電位が低いほど、また土壌 pH が低いほど Mn^{2+} の存在量は増加する⁵⁹⁾。土壌中の全マンガン含

有率は表層と下層で差は認められなかった。易還元性マンガンも表層と下層で含有率に差はなかった。また、土壌 pH も表層と下層でほとんど差はなかった。しかし、交換性マンガンすなわち Mn^{2+} が表層に比べて下層で低かった。 Mn^{2+} は還元的になるほど、また酸化還元電位が低くなるほど多くなる。これから考えると下層で高くなると考えるのが妥当である。下層で交換性マンガン含有率が低くなったのは土壌 pH や還元状態の差異では説明出来なかった。

銅、亜鉛およびセレン含有率には表層と下層で違いはなかった。セレンは下層への移動は少ないとされている¹¹⁷⁾。各要素とも地区間で交換性塩基含量の場合と同様に全含有率および可溶性含有率で違いがみられた。交換性塩基含量と同様に西部地区<中部地区<東部地区の関係がみられた。前節で考察したように、地域によって火山灰の降灰年次や噴出源が異なることや地質の構造帯が異なっていることによると考えられた。

第Ⅲ章 チモシーの飼料成分含有率

馬は栄養の多くを粗飼料、主として牧草から摂取する。離乳後から生後1年目までの一時期は濃厚飼料に依存する割合は高いが、育成馬や繁殖馬の飼料の70%程度は牧草によって給与されている。したがって、牧草の飼料成分含有率は馬の栄養要求量を満たすことの出来る含有率であることが望ましい。

日高地方の軽種馬生産農家で栽培されている牧草の多くはチモシーの早生品種である。ここで生産されているチモシーの飼料成分含有率を調べ、栄養要求量を満たすことが出来る含有率であるかどうかを検討した。

第1節 チモシーの粗タンパク質および無機成分含有率

1) 方法

(1) 試料の採取

第Ⅱ章で調査した採草地よりチモシー1番草の生草を採取した。採取は土壌採取時に行った。採取時のチモシーの生育ステージは概ね出穂期から出穂揃期であった。牧草の採取は土壌採取地点の直上とした。

採取した牧草は70℃で48時間以上通風乾燥機で乾燥した後、粉碎し、1mmの篩を通して分析試料とした。

(2) 分析方法

粗タンパク質は硫酸-過酸化水素水で分解⁸¹⁾した後、水蒸気蒸留法で窒素を定量し、窒素含有率を6.25倍して粗タンパク質含有率とした。無機物は粗タンパク質定量に用いた分解液を用いて、カルシウム、マグネシウムは原子吸光法で、リンは比色法で、カリウムは炎光度法で測定した。各成分含有率は乾物中の含有率で示した。

2) 結果

チモシー1番草の粗タンパク質および無機成分含有率を地区別に表Ⅲ-1に、土壌区別に表Ⅲ-2に示した。

粗タンパク質含有率は5.1~19.1%の範囲にあり、平均で7.7%であった。地区別にみると静内町がもっとも低く、えりも町が高かったが、大きな差ではなかった。土壌区別でも違いはみられなかった。平均値の7.7%はチモシー1番草の出穂期の粗タンパク質含有率としてはやや低い値である⁹¹⁾。馬の飼養標準に示された粗タンパク質の維持の要求量は8.0%であり、維持量は粗飼料から摂取することとしている⁸⁷⁾。8.0%以上の含有率のチモシーは約30%であった。調査時の生育ステージは出穂揃期であるが、生産者が収穫し、乾草を調製しているのはさらにステージが進んでからであるため、実際に馬に給与されているチモシーの粗タンパク質含有率はさらに低いことが予想される。

カルシウム含有率は0.11~0.90%の範囲にあり、平均で0.28%であった。地区別では東部地区がやや高い傾向がみられた。土壌区分間では差はみられなかった。土壌の交換性石灰含量との関係を見るため、第Ⅱ章で調べた交換性石灰含量と牧草のカルシウム含有率との相関図を図Ⅲ-1、2に示した。図からみられるように、交換性石灰含量が400mg/100g程度までは牧草のカルシウム含有率も石灰含量にともなって高くなるが、400mg/100g以上ではカルシウム含有率は高くない。馬の飼養標準⁸⁷⁾では、カルシウムの維持量を0.24%としている。調べたチモシーの約50%が0.25%以下の含有率であった。妊娠中や泌乳中の繁殖雌馬や育成馬ではさらに要求量が

表Ⅲ-1 地区別粗タンパク質および無機成分含有率(%)

	粗タンパク質	カルシウム	リン	マグネシウム	カリウム
えりも町	8.75±1.56	0.29±0.10	0.33±0.05	0.16±0.04	1.91±0.36
様似町	8.25±0.87	0.32±0.06	0.34±0.03	0.14±0.03	2.00±0.30
浦河町	8.75±2.81	0.35±0.13	0.35±0.07	0.12±0.03	2.00±0.31
三石町	7.43±1.19	0.37±0.12	0.31±0.05	0.11±0.03	1.82±0.28
静内町	6.68±0.81	0.23±0.08	0.23±0.02	0.19±0.04	1.80±0.27
新冠町	7.37±1.06	0.25±0.06	0.24±0.03	0.22±0.06	1.88±0.28
門別町	7.56±1.25	0.22±0.05	0.31±0.05	0.10±0.02	2.10±0.32
平取町	7.50±0.87	0.21±0.04	0.32±0.04	0.10±0.02	2.09±0.28
全体	7.68±1.56	0.28±0.10	0.29±0.06	0.14±0.06	2.01±0.32

平均値±標準偏差

表Ⅲ-2 土壤区分別粗タンパク質および無機成分含有率 (%)

		粗タンパク質	カルシウム	リ	ン	マグネシウム	カリウム
低地土							
平均		7.73	0.28	0.30		0.14	2.01
標準偏差		1.31	0.11	0.07		0.05	0.26
最大		12.56	0.90	0.52		0.31	2.78
最小		5.12	0.14	0.14		0.06	1.18
泥炭土							
平均		7.62	0.30	0.30		0.13	1.81
標準偏差		0.81	0.09	0.05		0.05	0.24
最大		8.93	0.47	0.36		0.32	2.34
最小		5.81	0.13	0.19		0.09	1.37
黒ボク土							
平均		8.00	0.28	0.29		0.16	1.91
標準偏差		2.15	0.11	0.06		0.07	0.37
最大		19.06	0.75	0.45		0.41	2.84
最小		5.06	0.11	0.14		0.06	1.10
褐色森林土							
平均		7.25	0.26	0.29		0.12	1.95
標準偏差		0.93	0.07	0.06		0.03	0.29
最大		9.68	0.49	0.37		0.18	2.52
最小		5.31	0.18	0.12		0.07	1.37
全体							
平均		7.68	0.28	0.29		0.14	1.95
標準偏差		1.75	0.10	0.06		0.06	0.32
最大		19.06	0.90	0.52		0.41	2.84
最小		5.06	0.11	0.12		0.06	1.10

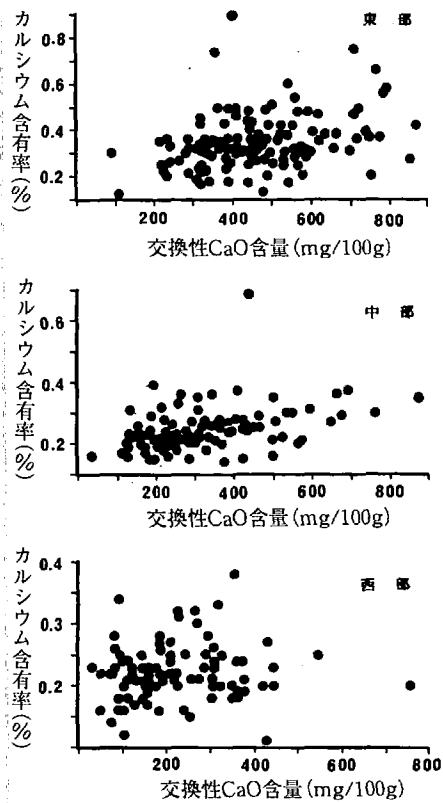
高いので、全般にカルシウムは不足しているとみられる。

リン含有率は0.12~0.52%の範囲にあり、平均で0.29%であった。リン含有率を地区別にみると、静内町および新冠町が他の地区に比べて低い含有率であった。土壤区分別では差はみられなかった。馬の維持量としての含有率は0.17%⁸⁷⁾であり、概ね要求量を満たしていた。土壌中の有効態リン酸は土壤診断基準に照らしてみると高い含量の土壌が多かったが牧草のリン含有率との間には有意な関係はみられなかった(図Ⅲ-3)。また、家畜の飼料としてカルシウムとリンの比率Ca/P比は1~2の範囲にあることが望ましい。地区別にみると、西部地区の門別町、平取町でチモシーのカルシウム含有率がリン含有率より低く、おおくのチモシーのCa/P比は1以下であった。土壤区分別にはカルシウムとリンの含有率は同程度であった。

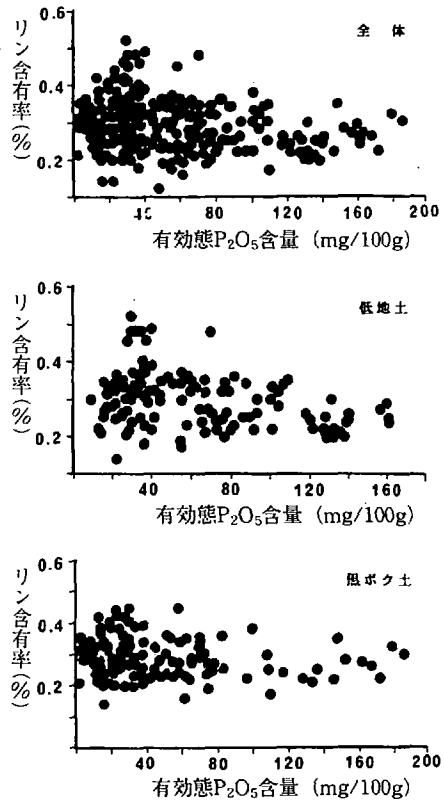
マグネシウム含有率は0.06~0.41%の範囲にあり、平均で0.14%であった。地区別の含有率は静内町および新

冠町の中部地区が他の地区に比べて高い含有率であった。地区別では中部>東部>西部の傾向にあった。土壤区分別では大きな違いはなかった。馬の飼料としての要求量は0.09~0.11%⁸⁷⁾である。西部地区では0.09%以下のチモシーが一部みられたが、多くのチモシーは0.09%以上の含有率であり、不足する例は少なかった。

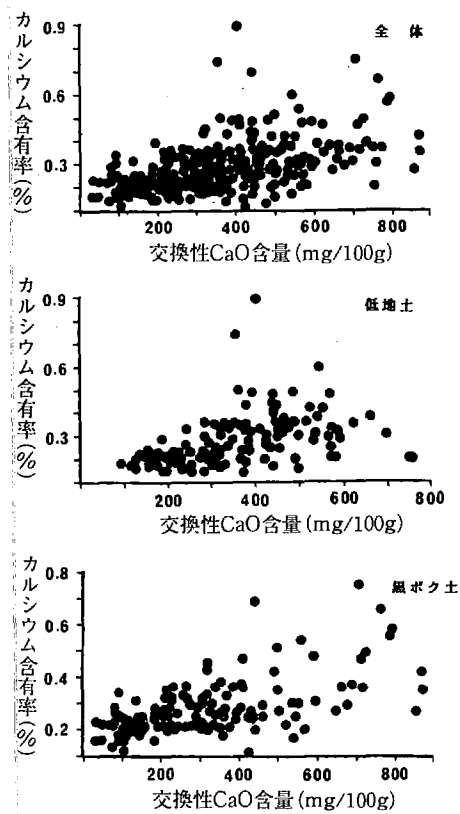
カリウム含有率は1.10~2.84%の範囲にあり、平均で2.01%であった。地区別では静内町や三石町がやや低い含有率であった。土壤区分別では泥炭土でやや低い含有率であった。馬の飼料として必要な含有率は0.30~0.42%である⁸⁷⁾。チモシーすべてがこの値を越えている。カリウムは植物が必要とする含有率と飼料として必要な含有率が大きく異なる成分であり、牧草のカリウム含有率は家畜が必要とする含有率より高い。カリウム摂取量が多いと血清マグネシウムの低下がみられ、グラスステタニー症発生の一因とされるなど、カリウムはむしろ高いための問題が指摘される成分である。



図Ⅲ-1 地区別交換性石灰含量と牧草中のカルシウム含有率の関係



図Ⅲ-3 土壤別有効態リン酸(ブレイNo2法)と牧草中のリン含有率の関係



図Ⅲ-2 土壤別交換性石灰含量と牧草中のカルシウム含有率の関係

第2節 チモシーの微量元素含有率

1) 方法

前節で用いたチモシーを供試した。銅、マンガン、亜鉛および鉄の分析は前節で用いた分解液を供試し、原子吸光法で測定した。セレンは試料5gを硝酸-過塩素酸による湿式灰化後ろ過し、水素化物発生原子吸光法で測定した。含有率は乾物中の値で示した。

2) 結果

チモシー1番草の微量元素含有率を地区別および土壤区分別に表Ⅲ-3、表Ⅲ-4に示した。

セレン含有率は0.000~0.328ppmの範囲にあり、平均で0.017ppmであった。地区別では静内町および新冠町が他の地区に比べてやや低い含有率であった。土壤区分別では低地土および泥炭土のチモシーは黒ボク土および褐色森林土のチモシーに比べて高い含有率であった。低地土および泥炭土は最大値でも他の土壤に比べて高い含有率であった。セレンは植物では有用元素に分類されているが³⁴⁾、動物では必須元素である。馬の飼料としての必要量は0.1ppmとされている。0.1ppm以上の含有率のチモシーは全体の1%にすぎず、ほとんどのチモシーは0.05ppm以下の含有率であった。北海道では馬

にセレン欠乏による白筋症の発生が危惧されるため、セレン製剤の投与が行われている³⁶⁾。

銅含有率は2.3~29.0ppmの範囲にあり、平均で7.5ppmであった。オーチャードグラスでは6.7ppm¹¹⁴⁾と報告されているが、一部に高い含有率のチモシーがあり、これよりやや高い含有率であった。地区別では静内町および新冠町が他の地区に比べて高い含有率であった。土壌区分別では黒ボク土のチモシーが他に比べてやや高い含有率であったが、大きな違いはなかった。第II章で述べたように土壌の可溶性銅含有率は土壌によって大

きな違いがある。しかし、牧草の銅含有率と可溶性銅含有率の関係は図III-4に示すように、明瞭な関係はなかった。土壌中の可溶性銅含有率が0.5ppm以下では作物に銅欠乏が危惧される。小麦や大麦では欠乏症の発生がみられるが^{28,82,83)}、牧草のような茎葉を利用する作物では欠乏症の発生は少ないと考えられる。しかし、馬の飼料としての必要量は10ppmとされており⁸⁷⁾、調べたチモシーの88%は10ppm以下の含有率であった。

マンガン含有率は1~128ppmの範囲にあり、平均で46ppmであった。地区別では東部地区のチモシーが中

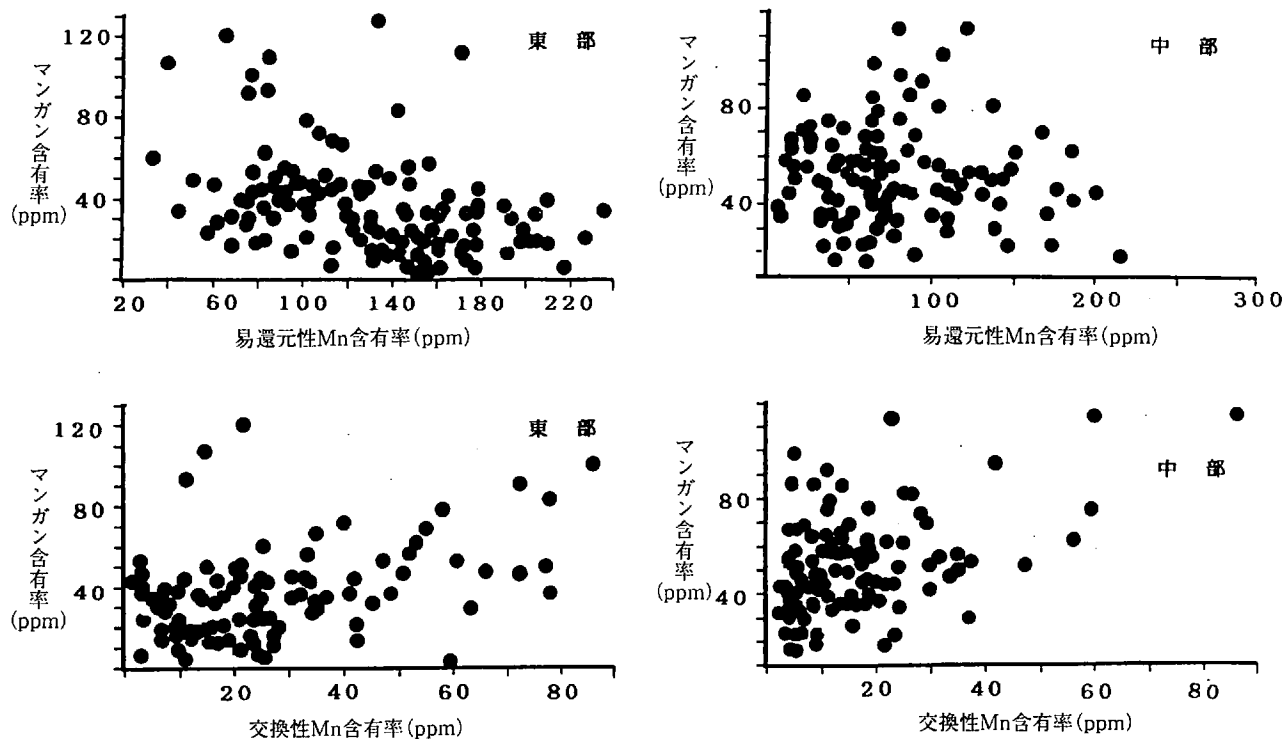
表III-3 地区別微量元素含有率 (ppm)

	セレン	銅	マンガン	亜鉛	鉄
えりも町	0.013±0.010	6.4±1.0	39±23	22±4	41±5
様似町	0.025±0.027	6.8±0.5	38±23	21±3	39±6
浦河町	0.023±0.027	5.9±2.1	35±21	22±5	48±26
三石町	0.022±0.054	4.8±1.6	38±32	19±3	41±10
静内町	0.009±0.007	8.5±3.2	53±20	20±13	59±20
新冠町	0.010±0.018	10.5±5.0	52±22	22±6	66±37
門別町	0.020±0.008	7.2±1.6	51±19	22±4	56±14
平取町	0.015±0.010	7.8±0.9	45±10	21±2	55±11
全体	0.017±0.025	7.5±3.3	46±23	21±7	54±24

平均±標準偏差

表III-4 土壌区分別微量元素含有率 (ppm)

	セレン	銅	マンガン	亜鉛	鉄
低地土					
平均	0.021	7.6	42	21	55
標準偏差	0.024	2.8	24	5	28
最大	0.172	19.5	114	45	207
最小	0.000	2.3	1	14	23
泥炭土					
平均	0.030	6.8	59	21	43
標準偏差	0.070	4.1	34	5	11
最大	0.328	23.1	120	39	76
最小	0.002	3.6	9	13	30
黒ボク土					
平均	0.012	7.7	48	22	56
標準偏差	0.009	3.8	19	5	23
最大	0.056	29.0	128	39	190
最小	0.000	2.3	6	10	19
褐色森林土					
平均	0.011	6.3	46	23	43
標準偏差	0.008	1.8	22	18	12
最大	0.030	10.1	107	109	67
最小	0.002	2.8	14	13	25
全体					
平均	0.017	7.5	46	21	54
標準偏差	0.024	3.4	23	7	24
最大	0.328	29.0	128	109	190
最小	0.000	2.3	1	5	19



図Ⅲ-6 易還元性マンガンおよび交換性マンガン含有率と牧草中のマンガン含有率の関係

ンガンと異なり、もっとも変動が小さい要素であった。馬の飼料として亜鉛の必要量は40ppmとされている⁸⁷⁾。チモシーの90%が40ppm以下の含有率であった。

第3節 施肥による粗タンパク質および無機成分含有率の変化

1) 方法

試験1：窒素、リン酸、カリおよび石灰を組み合わせる表Ⅲ-5に示した試験区を設置した。試験は日高支庁管内の褐色低地土に造成されたチモシー（品種：ホクオウ）単播草地を用いて行った。造成後4年経過した草地に表Ⅲ-5の処理区を設けた。施肥量は北海道施肥標準に準拠した。年間の施肥量を早春、1番草刈り取り後および2番草刈り取り後の3回に分け、分施割合を3：2：1とした。石灰は全量を早春に施用した。収量調査は1988年は1番草を6月13日、2番草9月1日に、1989年には各々6月15日、8月21日に、1990年は1番草を6月13日、2番草を8月9日、3番草を10月17日に行った。試験は1988年から1990年までの3か年とし、分析は1989年および1990年の試料について行った。

試験2：窒素、リン酸、カリおよび石灰を組み合わせる表Ⅲ-6に示した試験区を設置した。試験は北海道立中央農業試験場内の灰色低地土に造成したオーチャード

表Ⅲ-5 試験区分および施肥量

試験区	施肥量 (kg/10a)			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
NPK	16	10	18	0
NP	16	10	0	0
NK	16	0	18	0
PK	0	10	18	0
NPKCa	16	10	18	100
PKCa	0	10	18	100
-F	0	0	0	0

表Ⅲ-6 試験区分および施肥量

試験区	施肥量 (kg/10a)			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
NPK	4	10	20	0
NP	4	10	0	0
NK	4	0	20	0
PK	0	10	20	0
NPKCa	4	10	20	100
PKCa	0	10	20	100
2PK	0	20	40	0
-F	0	0	0	0

ア)混播草地を用いて行った。試験草地の造成は1987年

6月に行い、造成年1番草収穫後から処理を開始した。施肥量は北海道施肥標準に準拠した。年間の施肥量を早春および1, 2, 3番草収穫後に4回に分け均等に分施した。収穫は造成2年目より年4回行い、分析試料は4年目(1990年)に採取した。収穫は1, 2, 3および4番草を各々6月1日, 7月17日, 8月28日および10月22日に行った。

試験3: 窒素質肥料として尿素および塩安を各々3, 6および12kg/10aの3処理を組み合わせ、窒素の施用量および窒素の基質の違いによるチモシーの粗タンパク質および無機成分含有率の変化を検討した。試験草地は灰色低地土に造成された3年目のチモシー(品種: クンプウ)単播草地および黒ボク土に造成された3年目のチモシー(品種: ノサップ)主体草地を供試した。施肥は早春, 1番草刈り取り後, 2番草刈り取り後の3回とし, 均等に分施した。リン酸およびカリは各区同一量で各々10, 18kg/10aを3回の均等分施とした。施肥量は日高地方の実態に合わせて, 平均的な施用量として窒素6kg/10aを基準とし, その半量および倍量とした。

2) 結果

試験1

乾物収量および牧草の粗タンパク質無機成分含有率を表Ⅲ-7に示した。調査結果は2, 3年目について示した。1, 2年目は2回刈, 3年目は3回としたが, チモシーの乾物収量には大差なかった。年間の乾物収量は窒素を施用した区では1200kg/10a程度であったが, 窒素を施用しない区では1000kg/10a程度であった。

成分含有率をみると, 粗タンパク質含有率はおおよそ1番草では9%, 2番草では12%, 3番草では19%であった。施肥処理間の含有率の差は1番草で窒素を施用しない区がやや低い含有率であったが, 2, 3番草では差はみられなかった。施肥処理間の差よりも番草間の差が大きく, 1番草は3番草の1/2程度の含有率であった。

カルシウム含有率は1番草では処理間の傾向が明瞭でなかったが, 2, 3番草で窒素を施用しない区が他より高い含有率であった。窒素を施用しても石灰施用の効果があり, NPK区に比べてNPKCa区が高い含有率であった。粗タンパク質と同様に1番草に比べ2, 3番草で高くなった。リン含有率は施肥による差はみられなかった。1990年には1番草に比べて2, 3番草がやや高い含有率であった。マグネシウム含有率は施肥処理間に明瞭な差はみられなかった。1番草に比べて2, 3番草が高い含有率であった。

銅含有率は施肥処理間に差はみられなかった。番草間の差も小さく, 1990年に1番草が2, 3番草に比べてや

や低い含有率であった。マンガン含有率は3年目に施肥処理間の違いが明瞭となり, 窒素を施用しない区が低い含有率となった。1番草に比べて2, 3番草がやや高い含有率であった。亜鉛含有率は施肥処理間の差はみられず, 番草間の違いもみられなかった。

試験2

乾物収量および粗タンパク質無機成分含有率を表Ⅲ-8に示した。

乾物収量は1番草ではオーチャードグラスがアルファルファより多収であったが, 2, 3, 4番草はアルファルファが多収であった。

粗タンパク質含有率はオーチャードグラス, アルファルファとも処理間に差はみられなかった。オーチャードグラスは番草間の違いが大きかった。アルファルファはオーチャードグラスに比べて1番草では約2.5倍の含有率であり, 2, 3, 4番草では差は小さくなった。カルシウム含有率も粗タンパク質と同様で処理間に差はなく, オーチャードグラスでは1番草に比べて2, 3, 4番草は約2倍の含有率であった。アルファルファでは番草間に差はみられなかった。リンおよびマグネシウム含有率もオーチャードグラスでは処理間に差はなく, 1番草に比べて他の番草の含有率が高かった。アルファルファでは番草間の違いがオーチャードグラスほど大きくなかった。

鉄含有率をみると, オーチャードグラス, アルファルファとも処理間に明瞭な差はなかった。処理間の差より番草間の差が大きかった。オーチャードグラスでは1, 2, 番草に比べ3, 4番草が高い含有率となった。アルファルファでは1, 4番草が2, 3番草に比べて高い含有率であった。マンガン含有率はオーチャードグラスで石灰を施用した区が低い含有率であった。アルファルファでも同様の傾向がみられるが, オーチャードグラスに比べて差が小さかった。番草間の差はオーチャードグラスでは2番草が他の番草より高い含有率であった。アルファルファでは4番草が他の番草よりやや高い含有率であった。また, アルファルファのマンガン含有率はオーチャードグラスの1/4程度の含有率であった。

銅含有率はオーチャードグラス, アルファルファとも処理間に明瞭な傾向はみられなかった。亜鉛含有率も両草種とも処理間に差はなかったが, 番草間で差があり, オーチャードグラスでは3番草が, アルファルファでは1番草が他の番草より高い含有率であった。

試験3

試験1, 2では, 窒素を施用した区と施用しない区の間でマンガン含有率に差がみられた。試験3では窒素施

用量の差および窒素質肥料の基質の違いについて検討した。乾物収量および粗タンパク質無機成分含有率を表Ⅲ

- 9 に示した。

年間乾物収量は窒素を12kg/10a 施用した区でおおよ

表Ⅲ-7-1 チモシーの乾物収量および粗タンパク質含有率

試験区	乾物収量 (kg/10a)					粗タンパク質 (%)				
	1989年		1990年			1989年		1990年		
	1 番草	2 番草	1 番草	2 番草	3 番草	1 番草	2 番草	1 番草	2 番草	3 番草
NPK	808	410	661	361	193	9.3	10.2	9.6	10.3	17.2
NP	825	422	741	396	207	9.4	11.5	10.0	12.7	20.1
NK	835	466	716	378	216	10.4	12.2	10.3	12.1	19.0
PK	623	341	629	314	161	7.9	12.2	8.1	11.9	18.8
NPKCa	718	431	668	351	232	10.2	11.7	10.4	12.9	19.7
PKCa	530	275	521	326	125	8.5	12.7	7.6	12.6	18.4
-F	531	320	618	319	160	8.1	12.2	7.7	12.4	18.0

表Ⅲ-7-2 チモシーのカルシウムおよびリン含有率 (%)

試験区	カルシウム					リン				
	1989年		1990年			1989年		1990年		
	1 番草	2 番草	1 番草	2 番草	3 番草	1 番草	2 番草	1 番草	2 番草	3 番草
NPK	0.22	0.30	0.20	0.29	0.33	0.28	0.27	0.27	0.32	0.42
NP	0.24	0.34	0.22	0.38	0.42	0.28	0.27	0.29	0.33	0.39
NK	0.25	0.34	0.21	0.30	0.33	0.29	0.26	0.26	0.26	0.32
PK	0.19	0.53	0.22	0.44	0.45	0.27	0.31	0.27	0.31	0.41
NPKCa	0.26	0.38	0.26	0.38	0.44	0.29	0.28	0.28	0.31	0.38
PKCa	0.20	0.54	0.24	0.52	0.52	0.28	0.34	0.26	0.36	0.44
-F	0.20	0.50	0.20	0.50	0.42	0.27	0.32	0.25	0.32	0.39

表Ⅲ-7-3 チモシーのマグネシウム (%) および銅含有率 (ppm)

試験区	マグネシウム					銅				
	1989年		1990年			1989年		1990年		
	1 番草	2 番草	1 番草	2 番草	3 番草	1 番草	2 番草	1 番草	2 番草	3 番草
NPK	0.11	0.14	0.20	0.29	0.36	9.0	11.9	13.5	14.0	14.2
NP	0.11	0.14	0.20	0.30	0.33	10.7	12.4	11.7	12.7	13.8
NK	0.12	0.15	0.21	0.26	0.31	14.7	10.8	11.9	13.3	13.6
PK	0.10	0.17	0.21	0.32	0.36	10.5	8.6	10.5	14.2	15.1
NPKCa	0.11	0.14	0.23	0.32	0.32	12.7	12.7	11.6	13.2	13.1
PKCa	0.10	0.18	0.20	0.35	0.40	8.1	8.8	12.8	16.2	15.1
-F	0.10	0.18	0.20	0.38	0.41	9.3	11.3	11.5	15.0	14.6

表Ⅲ-7-4 チモシーのマンガンおよび亜鉛含有率 (ppm)

試験区	マンガン					亜鉛				
	1989年		1990年			1989年		1990年		
	1 番草	2 番草	1 番草	2 番草	3 番草	1 番草	2 番草	1 番草	2 番草	3 番草
NPK	40	52	66	106	130	22.7	24.5	26.1	28.1	27.6
NP	42	49	57	77	81	22.7	21.3	26.0	27.4	29.4
NK	63	64	62	82	98	25.6	28.8	26.0	26.6	27.4
PK	46	60	49	80	72	20.4	30.8	23.0	30.4	30.9
NPKCa	43	51	57	80	78	26.9	24.5	27.4	29.3	29.1
PKCa	31	49	41	59	65	20.1	26.2	23.5	30.3	29.8
-F	39	48	36	70	66	19.2	27.2	22.0	32.7	31.4

表Ⅲ-8-1 オーチャードグラスおよびアルファルファの乾物収量 (kg/10a)

試験区	オーチャードグラス				アルファルファ			
	1番草	2番草	3番草	4番草	1番草	2番草	3番草	4番草
NPK	294	113	87	80	151	130	160	117
NP	259	123	96	128	171	107	159	88
NK	276	101	93	172	183	148	176	155
PK	209	85	63	78	194	181	197	111
NPKCa	276	100	88	101	175	162	177	108
PKCa	203	95	76	86	209	164	187	115
2PK	200	88	62	74	202	173	198	112
-F	250	83	82	82	186	170	186	109

表Ⅲ-8-2 オーチャードグラスおよびアルファルファの粗タンパク質含有率 (%)

試験区	オーチャードグラス				アルファルファ			
	1番草	2番草	3番草	4番草	1番草	2番草	3番草	4番草
NPK	7.6	12.8	20.4	17.8	22.6	21.6	20.6	24.2
NP	8.4	12.9	19.5	17.7	21.8	22.9	21.3	24.2
NK	8.1	12.7	19.2	17.5	21.8	21.4	20.7	24.1
PK	8.5	13.5	19.7	18.4	21.9	18.9	21.0	24.4
NPKCa	8.7	12.8	19.0	17.6	21.7	21.0	20.4	24.1
PKCa	8.6	13.8	19.7	17.9	21.0	20.9	20.8	24.9
2PK	8.4	13.9	19.4	18.2	20.1	21.1	20.6	25.7
-F	8.2	13.6	19.9	17.5	23.0	21.6	21.5	24.8

表Ⅲ-8-3 オーチャードグラスおよびアルファルファのカルシウム含有率 (%)

試験区	オーチャードグラス				アルファルファ			
	1番草	2番草	3番草	4番草	1番草	2番草	3番草	4番草
NPK	0.15	0.30	0.27	0.28	1.11	1.22	0.94	1.24
NP	0.16	0.33	0.27	0.29	1.21	1.25	1.05	1.52
NK	0.15	0.29	0.28	0.26	1.16	1.19	1.04	1.34
PK	0.16	0.31	0.30	0.30	1.22	1.19	1.03	1.33
NPKCa	0.19	0.32	0.34	0.32	1.22	1.21	1.04	1.48
PKCa	0.18	0.33	0.34	0.32	1.24	1.26	1.00	1.29
2PK	0.16	0.33	0.31	0.32	1.12	1.10	1.00	1.46
-F	0.15	0.31	0.35	0.29	1.20	1.30	1.02	1.21

表Ⅲ-8-4 オーチャードグラスおよびアルファルファのリン含有率 (%)

試験区	オーチャードグラス				アルファルファ			
	1番草	2番草	3番草	4番草	1番草	2番草	3番草	4番草
NPK	0.24	0.48	0.42	0.36	0.36	0.29	0.30	0.26
NP	0.29	0.49	0.51	0.37	0.36	0.32	0.32	0.28
NK	0.27	0.48	0.48	0.37	0.33	0.29	0.28	0.25
PK	0.28	0.52	0.51	0.40	0.35	0.29	0.30	0.25
NPKCa	0.29	0.49	0.50	0.37	0.36	0.30	0.30	0.27
PKCa	0.27	0.51	0.50	0.37	0.33	0.30	0.31	0.28
2PK	0.28	0.49	0.49	0.38	0.35	0.30	0.31	0.30
-F	0.27	0.52	0.51	0.39	0.32	0.29	0.30	0.26

表Ⅲ-8-5 オーチャードグラスおよびアルファルファのマグネシウム含有率 (%)

試験区	オーチャードグラス				アルファルファ			
	1番草	2番草	3番草	4番草	1番草	2番草	3番草	4番草
NPK	0.15	0.32	0.34	0.26	0.44	0.47	0.32	0.38
NP	0.18	0.34	0.35	0.27	0.49	0.50	0.35	0.42
NK	0.18	0.32	0.34	0.27	0.43	0.45	0.33	0.36
PK	0.18	0.33	0.35	0.27	0.44	0.40	0.31	0.37
NPKCa	0.18	0.32	0.34	0.26	0.44	0.41	0.30	0.30
PKCa	0.18	0.33	0.35	0.26	0.43	0.41	0.32	0.34
2PK	0.17	0.33	0.34	0.26	0.41	0.42	0.31	0.37
-F	0.18	0.36	0.37	0.29	0.49	0.50	0.35	0.40

表Ⅲ-8-6 オーチャードグラスおよびアルファルファのカリウム含有率(%)

試験区	オーチャードグラス				アルファルファ			
	1番草	2番草	3番草	4番草	1番草	2番草	3番草	4番草
NPK	2.67	3.93	3.84	3.88	3.50	2.31	2.80	2.84
NP	3.04	3.95	4.49	3.78	2.73	2.21	2.62	2.54
NK	2.90	3.95	4.58	3.93	3.31	3.05	2.78	2.91
PK	2.96	4.11	4.56	4.07	3.59	3.01	3.16	2.96
NPKCa	3.15	3.98	4.52	3.94	3.17	2.57	2.93	3.07
PKCa	2.81	4.07	4.57	3.88	3.44	2.62	2.99	2.93
2PK	2.98	4.22	4.70	4.04	3.75	2.18	3.07	3.29
-F	2.83	3.88	4.40	3.82	2.86	2.13	2.57	2.53

表Ⅲ-8-7 オーチャードグラスおよびアルファルファの鉄含有率(ppm)

試験区	オーチャードグラス				アルファルファ			
	1番草	2番草	3番草	4番草	1番草	2番草	3番草	4番草
NPK	111	114	130	282	179	83	109	171
NP	106	102	185	251	188	95	102	149
NK	105	108	155	267	141	121	92	169
PK	145	115	192	262	194	103	103	175
NPKCa	137	114	160	242	159	82	101	155
PKCa	133	129	198	264	178	91	101	164
2PK	140	141	179	252	170	92	92	187
-F	110	132	217	302	157	89	104	211

表Ⅲ-8-8 オーチャードグラスおよびアルファルファのマンガン含有率(ppm)

試験区	オーチャードグラス				アルファルファ			
	1番草	2番草	3番草	4番草	1番草	2番草	3番草	4番草
NPK	77	128	83	94	32	26	26	36
NP	89	126	107	91	29	24	22	31
NK	83	114	95	90	29	24	23	31
PK	76	105	81	75	30	23	24	31
NPKCa	46	69	61	52	26	20	21	22
PKCa	41	61	60	54	23	21	21	24
2PK	77	106	82	74	30	24	25	35
-F	64	90	72	70	27	21	22	28

表Ⅲ-8-9 オーチャードグラスおよびアルファルファの銅含有率(ppm)

試験区	オーチャードグラス				アルファルファ			
	1番草	2番草	3番草	4番草	1番草	2番草	3番草	4番草
NPK	8.3	11.1	12.2	13.5	8.0	6.4	7.6	8.3
NP	10.1	11.4	14.9	13.0	7.5	7.2	7.8	7.5
NK	9.1	11.2	15.1	13.0	7.1	9.9	8.1	7.8
PK	10.0	13.0	14.3	13.5	8.1	7.6	7.2	8.3
NPKCa	10.1	12.6	14.9	13.6	8.4	6.9	7.6	7.9
PKCa	11.0	13.1	14.1	13.7	7.5	5.9	7.1	8.7
2PK	9.4	12.6	15.1	13.3	7.4	6.8	7.2	7.5
-F	9.1	12.5	15.2	14.3	8.0	7.6	7.6	8.5

表Ⅲ-8-10 オーチャードグラスおよびアルファルファの亜鉛含有率(ppm)

試験区	オーチャードグラス				アルファルファ			
	1番草	2番草	3番草	4番草	1番草	2番草	3番草	4番草
NPK	20.4	21.6	28.7	22.1	29.3	22.2	18.4	20.9
NP	22.3	22.0	30.4	22.6	27.4	24.7	18.7	20.4
NK	21.1	21.7	29.7	21.7	27.3	25.9	17.8	20.9
PK	22.3	21.0	29.1	22.0	27.6	22.4	18.2	20.9
NPKCa	22.5	21.2	28.7	21.3	26.6	23.1	18.1	19.3
PKCa	22.5	21.4	29.7	21.7	27.3	22.5	18.7	19.2
2PK	22.4	23.1	29.1	21.1	27.4	24.5	17.8	20.4
-F	20.6	20.8	30.2	21.7	26.6	21.1	18.8	21.3

そ1000kg/10aで、試験1より少なかった。これは窒素
施用量の違いである。灰色低地土の試験区では窒素が少
ない区はシロクロバの侵入が著しかった。乾物収量

に尿素と塩安の違いは影響しなかった。土壌の違いでは
灰色低地土のチモシーの収量は黒ボク土よりやや高かっ
た。シロクロバを含めた収量では差はさらに大きくな

表Ⅲ-9-1 チモシーの乾物収量 (kg/a)

試 験 区	1991年			1992年		
	1 番草	2 番草	3 番草	1 番草	2 番草	3 番草
灰色低地土						
塩安	30.5	13.9	20.7	33.8	24.7	26.7
尿素	34.3	10.8	20.0	37.2	21.5	28.6
窒素 3	25.5	8.0	16.0	32.5	17.0	25.9
窒素 6	32.1	11.2	18.5	34.4	23.1	25.6
窒素 12	39.6	17.7	26.4	39.6	29.3	31.4
黒ボク土						
塩安				32.5	27.8	18.7
尿素				30.9	27.0	19.1
窒素 3				25.8	23.7	16.4
窒素 6				32.5	25.2	18.2
窒素 12				36.8	33.3	22.1

表Ⅲ-9-2 チモシーの粗タンパク質含有率 (%)

試 験 区	1991年			1992年		
	1 番草	2 番草	3 番草	1 番草	2 番草	3 番草
灰色低地土						
塩安	9.0	9.8	13.5	9.5	9.5	10.5
尿素	8.8	9.7	12.2	9.3	11.1	10.7
窒素 3	8.2	10.0	13.3	9.3	11.9	10.8
窒素 6	9.4	9.6	12.9	9.4	10.0	10.8
窒素 12	9.1	9.9	12.7	9.5	9.0	10.1
黒ボク土						
塩安				8.9	8.7	9.4
尿素				8.7	8.6	10.0
窒素 3				8.4	8.9	10.0
窒素 6				8.9	8.6	9.2
窒素 12				9.2	8.5	10.0

表Ⅲ-9-3 チモシーのカルシウム含有率 (%)

試 験 区	1991年			1992年		
	1 番草	2 番草	3 番草	1 番草	2 番草	3 番草
灰色低地土						
塩安	0.33	0.29	0.20	0.23	0.30	0.36
尿素	0.29	0.27	0.19	0.22	0.36	0.36
窒素 3	0.32	0.29	0.19	0.22	0.39	0.37
窒素 6	0.31	0.28	0.19	0.23	0.30	0.36
窒素 12	0.30	0.26	0.20	0.22	0.30	0.36
黒ボク土						
塩安				0.32	0.35	0.43
尿素				0.30	0.34	0.42
窒素 3				0.30	0.35	0.44
窒素 6				0.30	0.33	0.40
窒素 12				0.34	0.35	0.44

った。

粗タンパク質含有率には窒素用量や窒素の基質の違いはみられなかった。窒素用量の少ない区では収量が少な

いことや、侵入したシロクローバの固定窒素が影響していることが考えられた。カルシウム含有率は処理間に差はみられなかった。番草間に違いがみられ、1991年の灰

表Ⅲ-9-4 チモシーのリン含有率 (%)

試験区	1991年			1992年		
	1番草	2番草	3番草	1番草	2番草	3番草
灰色低地土						
塩安	0.28	0.28	0.38	0.54	0.63	0.65
尿素	0.28	0.27	0.36	0.56	0.64	0.64
窒素 3	0.28	0.30	0.40	0.54	0.66	0.65
窒素 6	0.27	0.27	0.37	0.54	0.64	0.65
窒素 12	0.29	0.26	0.34	0.56	0.61	0.63
黒ボク土						
塩安				0.29	0.36	0.33
尿素				0.27	0.39	0.35
窒素 3				0.28	0.40	0.36
窒素 6				0.28	0.36	0.33
窒素 12				0.28	0.36	0.33

表Ⅲ-9-5 チモシーのマグネシウム含有率 (%)

試験区	1991年			1992年		
	1番草	2番草	3番草	1番草	2番草	3番草
灰色低地土						
塩安	0.12	0.17	0.20	0.12	0.15	0.16
尿素	0.12	0.17	0.18	0.11	0.17	0.15
窒素 3	0.12	0.18	0.20	0.12	0.18	0.16
窒素 6	0.12	0.17	0.19	0.12	0.15	0.15
窒素 12	0.12	0.16	0.18	0.12	0.15	0.15
黒ボク土						
塩安				0.10	0.16	0.15
尿素				0.16	0.17	0.16
窒素 3				0.19	0.17	0.15
窒素 6				0.09	0.16	0.14
窒素 12				0.11	0.18	0.17

表Ⅲ-9-6 チモシーの銅含有率 (ppm)

試験区	1991年			1992年		
	1番草	2番草	3番草	1番草	2番草	3番草
灰色低地土						
塩安	8.7	6.9	7.8	6.7	9.5	9.6
尿素	8.5	6.7	7.1	7.3	9.8	9.2
窒素 3	8.5	6.7	7.6	6.6	10.1	9.2
窒素 6	8.3	6.8	7.4	6.7	9.4	9.8
窒素 12	8.9	6.8	7.5	7.7	9.5	9.1
黒ボク土						
塩安				6.3	8.9	8.7
尿素				4.2	8.5	9.0
窒素 3				5.8	9.3	9.1
窒素 6				5.5	8.4	9.1
窒素 12				4.5	8.5	8.2

色低地土では1番草から3番草にかけて低くなる傾向を示し、1992年には両土壌とも1番草から3番草にかけて高くなる傾向を示し、逆の結果となった。

リン含有率は窒素施用量が多くなるとやや低くなる傾向がみられるが大きな違いではなかった。番草別では1番草に比べて2、3番草で高い傾向にあった。マグネシ

表Ⅲ-9-7 チモシーのマンガン含有率 (ppm)

試験区	1991年			1992年		
	1番草	2番草	3番草	1番草	2番草	3番草
灰色低地土						
塩安	29	39	51	57	58	69
尿管素	26	28	31	46	47	54
窒素 3	26	32	37	50	50	55
窒素 6	27	34	40	54	53	63
窒素 12	28	34	45	51	52	67
黒ボク土						
塩安				70	186	139
尿管素				57	143	113
窒素 3				66	176	140
窒素 6				62	164	129
窒素 12				62	153	108

表Ⅲ-9-8 チモシーの亜鉛含有率 (ppm)

試験区	1991年			1992年		
	1番草	2番草	3番草	1番草	2番草	3番草
灰色低地土						
塩安	25.2	28.2	32.2	29.4	32.8	30.7
尿管素	25.5	28.3	32.6	30.4	38.0	33.6
窒素 3	23.2	29.6	34.6	29.3	37.7	32.6
窒素 6	26.2	28.1	31.7	29.9	34.5	32.2
窒素 12	26.6	27.0	30.9	30.4	33.9	31.6
黒ボク土						
塩安				29.0	26.5	24.2
尿管素				26.6	28.4	25.2
窒素 3				26.9	29.2	24.8
窒素 6				29.1	27.7	24.9
窒素 12				27.3	25.6	24.4

表Ⅲ-9-9 チモシーの鉄含有率 (ppm)

試験区	1991年			1992年		
	1番草	2番草	3番草	1番草	2番草	3番草
灰色低地土						
塩安	73	131	126	110	102	167
尿管素	73	143	116	102	111	165
窒素 3	76	155	132	105	124	171
窒素 6	75	137	112	108	100	162
窒素 12	66	119	120	104	97	163
黒ボク土						
塩安				67	103	89
尿管素				63	101	90
窒素 3				59	102	86
窒素 6				72	100	94
窒素 12				64	104	88

ウム含有率も処理間に差はみられず、番草間で、1番草に比べて2, 3番草が高い含有率であった。

微量元素含有率では、窒素質肥料の違いによる差がマンガン含有率にみられた。尿素に比べて塩安を施用した区の含有率が高くなった。窒素施用量の差では灰色低地土で窒素施用量の多い区で高くなる傾向にあったが、黒ボク土では差はみられなかった。試験1, 2でみられたように窒素施用はマンガン含有率に影響し、窒素施用によって土壌pHが低くなるような条件で高くなることが明らかであった。他の要素では処理間に差はみられなかった。各要素とも番草間で含有率が異なり、1番草に比べて2, 3番草で高くなる傾向であった。

第4節 チモシーにおける粗タンパク質および無機成分含有率の品種間差

第1節ではカルシウム含有率が馬の飼料としてはかならずしも十分な含有率でないこと、第2節では微量元素は鉄を除き馬の飼料としては不足していることを示した。また、第3節では微量元素の含有率を馬の飼料として望ましい量に改善するために施肥対応を検討したが、十分な含有率まで高めることが困難であった。これら前節までの検討では、チモシーにとっては正常に生育するのに十分な含有率であると考えられた。

そこで、チモシーの品種間差および品種内の個体間差を検討し、育種的な方法により成分含有率の改善の可能性について検討した。

1) 方法

供試した品種はクンプウ（極早生種）、ノサップ（早

生種）、センボク（早生種）およびホクシユウ（極晩生種）の4品種で、各品種について20個体を採取した。供試材料は北海道立北見農業試験場（牧草育種指定試験地）内の個体選抜試験圃場より採取した。採取は各個体株中に出穂が3茎となった時点とし、採取時の生育ステージが同一となるようにした。

2) 結果

粗タンパク質、無機成分含有率および微量元素含有率の平均値と分散の品種間差異を表Ⅲ-10に示した。

各成分含有率の品種間の序列が異なった。粗タンパク質およびリン含有率はクンプウ、ノサップがセンボクおよびホクシユウに比べて高い含有率で、センボクはホクシユウより高い含有率であった。カルシウム含有率はクンプウがセンボク、ノサップより高く、ホクシユウとは差はなかった。センボクは他の品種より低かった。マグネシウム含有率はノサップが他の品種より高く、他の品種の間では差はなかった。

微量元素では、鉄含有率はクンプウが他の品種より低かった。ノサップはセンボクより高く、ホクシユウとは差がなかった。マンガン含有率はホクシユウが他の品種より低く、クンプウがもっとも高い含有率であった。銅含有率はセンボクが他の品種より低く、ノサップがもっとも高かった。亜鉛含有率はセンボクが他の品種より高く、他の品種の間には差はなかった。各成分とも含有率に品種間差がみられた。また、分散でもいくつかの成分で品種間に有意な差があった。これらは成分含有率を育種的方法で改善することが出来る可能性のあることを示している。

表Ⅲ-10 各成分含有率の平均値と分散の品種間差異（※：5%水準で有意差あり）

	粗タンパク質(%)				カルシウム(%)				リン(%)			
	クンプウ	ノサップ	センボク	ホクシユウ	クンプウ	ノサップ	センボク	ホクシユウ	クンプウ	ノサップ	センボク	ホクシユウ
平均値	8.2	8.2	6.1	5.3	0.25	0.21	0.18	0.22	0.25	0.25	0.23	0.19
標準偏差	1.1	1.1	0.8	0.8	0.06	0.04	0.04	0.05	0.02	0.02	0.03	0.02
有意性												
クンプウ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ノサップ	ns	—	—	—	※	—	—	—	ns	—	—	—
センボク	※	※	—	—	※	※	—	—	※	※	—	—
ホクシユウ	※	※	※	—	ns	ns	※	—	※	※	※	—
分散性												
クンプウ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ノサップ	ns	—	—	—	ns	—	—	—	ns	—	—	—
センボク	ns	ns	—	—	ns	ns	—	—	ns	※	—	—
ホクシユウ	ns	ns	ns	—	ns	ns	ns	—	ns	ns	ns	—

各成分の含有率の行列相関を表Ⅲ-11に品種毎に示した。乾物収量と各成分含有率の間にはクンプウにおける鉄およびホクシュウにおけるマンガンを除き相関関係はみられなかった。乾物収量と相関関係がないことは収量性の改善を図っても成分含有率は高くないことを

示している。各品種に共通して粗タンパク質含量が多く成分と高い相関関係にあった。粗タンパク質含有率を高めることによりカルシウム、リン、マグネシウムや亜鉛含有率も高くなる可能性がある。微量元素では亜鉛を除きあまり他の成分との相関はみられなかった。

		マグネシウム(%)				カリウム(%)				鉄(ppm)			
		クンプウ	ノサップ	センボク	ホクシュウ	クンプウ	ノサップ	センボク	ホクシュウ	クンプウ	ノサップ	センボク	ホクシュウ
平均値		0.06	0.07	0.05	0.05	2.18	1.77	1.76	1.49	85	128	108	117
標準偏差		0.01	0.02	0.01	0.01	0.29	0.15	0.22	0.28	17	19	41	35
平均値性	クンプウ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	ノサップ	※	—	—	—	※	—	—	—	※	—	—	—
	センボク	ns	※	—	—	※	ns	—	—	※	※	—	—
	ホクシュウ	ns	※	ns	—	※	※	※	—	※	ns	ns	—
分散性	クンプウ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	ノサップ	※	—	—	—	※	—	—	—	ns	—	—	—
	センボク	ns	※	—	—	ns	ns	—	—	※	※	—	—
	ホクシュウ	ns	※	ns	—	ns	※	ns	—	※	※	ns	—

		マンガン(ppm)				銅(ppm)				亜鉛(ppm)			
		クンプウ	ノサップ	センボク	ホクシュウ	クンプウ	ノサップ	センボク	ホクシュウ	クンプウ	ノサップ	センボク	ホクシュウ
平均値		48	42	43	31	3.29	5.07	1.55	3.89	16.4	15.9	13.2	15.0
標準偏差		12	5	9	6	1.45	1.05	0.86	1.50	2.8	2.3	2.0	2.1
平均値性	クンプウ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	ノサップ	※	—	—	—	※	—	—	—	ns	—	—	—
	センボク	ns	ns	—	—	※	※	—	—	※	※	—	—
	ホクシュウ	※	※	※	—	ns	※	※	—	ns	ns	※	—
分散性	クンプウ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	ノサップ	※	—	—	—	ns	—	—	—	ns	—	—	—
	センボク	ns	※	—	—	※	ns	—	—	ns	ns	—	—
	ホクシュウ	※	ns	※	—	ns	ns	※	—	ns	ns	ns	—

表Ⅲ-11-1 クンプウにおける各成分の相関行列

	CP	Ca	P	Mg	K	Fe	Mn	Cu	Zn
CP									
Ca	0.497*								
P	0.690**	0.434							
Mg	0.225	0.792**	0.382						
K	0.694**	0.422	0.616**	0.172					
Fe	0.042	0.018	0.121	-0.186	-0.096				
Mn	0.588**	0.581**	0.279	0.324	0.536**	-0.062			
Cu	0.255	0.216	0.133	0.108	0.376	-0.344	0.369		
Zn	0.606**	0.374	0.226	0.012	0.414	0.149	0.812**	0.429	
DM	-0.095	0.084	-0.034	0.243	0.235	-0.537*	-0.033	-0.013	-0.316

*: 5%水準で有意差, **: 1%水準で有意差, DM: 乾物収量との関係を示した。

表Ⅲ-11-2 ノサップにおける各成分の相関行列

	CP	Ca	P	Mg	K	Fe	Mn	Cu	Zn
CP									
Ca	0.267								
P	0.561**	0.277							
Mg	0.547*	0.779**	0.528*						
K	0.486*	-0.217	0.443	0.048					
Fe	-0.177	0.104	-0.040	0.132	0.155				
Mn	0.282	0.546*	0.538*	0.688**	0.143	0.395			
Cu	0.346	0.430	0.189	0.420	0.152	-0.119	0.374		
Zn	0.710**	0.548*	0.681**	0.751**	0.172	-0.183	0.576**	0.441	
DM	-0.191	0.568**	-0.088	0.345	-0.475*	0.059	0.173	0.276	0.159

*：5%水準で有意差，**：1%水準で有意差，DM：乾物収量との関係を示した。

表Ⅲ-11-3 センボクにおける各成分の相関行列

	CP	Ca	P	Mg	K	Fe	Mn	Cu	Zn
CP									
Ca	0.861**								
P	0.807**	0.718**							
Mg	0.757**	0.811**	0.682**						
K	0.661**	0.659**	0.818**	0.472*					
Fe	0.521*	0.507*	0.121	0.569**	0.219				
Mn	0.526*	0.507*	0.279	0.411	0.410	0.286			
Cu	0.163	0.334	0.133	0.369	0.299	0.451*	0.001		
Zn	0.641**	0.818**	0.226	0.437	0.310	0.328	0.411	0.100	
DM	-0.346	-0.135	-0.034	0.152	-0.391	-0.096	-0.354	0.320	-0.218

*：5%水準で有意差，**：1%水準で有意差，DM：乾物収量との関係を示した。

表Ⅲ-11-4 ホクシュウにおける各成分の相関行列

	CP	Ca	P	Mg	K	Fe	Mn	Cu	Zn
CP									
Ca	0.522*								
P	0.738**	0.428							
Mg	0.569**	0.563**	0.383						
K	0.648**	0.338	0.638**	0.013					
Fe	0.384	0.040	0.162	0.051	0.026				
Mn	0.321	0.515*	0.335	0.440	0.158	-0.018			
Cu	0.374	0.558**	0.399	0.115	0.484*	-0.152	0.419		
Zn	0.453*	0.611**	0.391	0.229	0.500*	0.010	0.452*	0.581**	
DM	-0.204	-0.205	-0.241	-0.113	-0.420	-0.031	-0.518*	-0.129	-0.278

*：5%水準で有意差，**：1%水準で有意差，DM：乾物収量との関係を示した。

第5節 考 察

牧草の粗タンパク質や無機成分含有率を論議する場合、牧草自体が正常に生育するために必要な含有率とともに、家畜の飼料として必要とする含有率を考慮する必要がある。チモシー1番草の粗タンパク質や無機成分含有率は概ね牧草が正常に生育するために必要な量を含んでおり、牧草そのものに欠乏症が危惧されるような含有率ではなかった。粗タンパク質、カルシウム、リン、マグネシウ

ムおよびカリウム含有率は一部に低い含有率のチモシーがみられ、これまで報告⁹¹⁾されている含有率に比べて同程度かやや低い含有率であった。オーチャードグラスの含有率に比べると低かった^{64,111,112)}。馬の飼料としてその含有率をみると、不足する要素がある。馬の飼料として牧草の飼料成分含有率を評価する基準はないが、牧草は家畜の維持飼料として位置づけられ、良質な牧草であれば生産にも寄与できるものである。したがって、牧草に求められる含有率の下限は家畜の維持の養分要求

量を満たす含有率である。

そこで、馬の飼養標準⁸⁷⁾に示された維持の要求量を満たす含有率であるかどうかを基準として各要素の含有率をみた。既に述べたように粗タンパク質は繁殖用雌馬の場合8.0%が維持の要求量である。8.0%以上の含有率のチモシーは全体の25%程度であった。日高地方で生産された多くのチモシーは粗タンパク質含有率がやや低いことが示された。粗タンパク質含有率が低い要因の一つに窒素施肥量がやや少ないことがあげられる。施肥量は北海道施肥標準に示された量の60%程度の施用量であった。窒素施用量が少ない場合でも収穫を出穂期に行くと粗タンパク質は8.0%以上の含有率になることが示された(表Ⅲ-9-2)ことから、牧草の収穫適期とされている出穂期に行うことが必要である。

カルシウム含有率をみると、0.25%以下の含有率のチモシーが半数を占めた。馬の維持量として0.24%を必要としていることから、カルシウムも不足する要素である。石灰を施用してカルシウム含有率を高めることには限界があり、他の方法が必要になる。アルファルファのカルシウム含有率はオーチャードグラスの3~4倍の値であった。マメ科牧草を利用することはカルシウムの供給量を多くするとともに、粗タンパク質をも多くすることになり有効な手段である。このことから、軽種馬生産牧場でもアルファルファ等マメ科牧草の栽培利用が望ましいと考えられる。

マグネシウムおよびリンは概ね馬の要求量を満たす含有率であった。土壌中の交換性苦土や有効態リン酸は十分な含量であり、牧草中のマグネシウムやリン含有率が不足することは少ないと考えられた。むしろ、交換性苦土や有効態リン酸は過剰な例がみられた。土壌中の亜鉛含量が少ない場合にはリン酸の過剰が亜鉛欠乏を引き起こす原因ともなることから、過剰なリン酸施用は控える必要があると考えられた。

微量元素については様々な作物について過剰障害や欠乏症が確認されている¹⁰⁹⁾。北海道においても、コムギ^{82,83)}や大麦²⁸⁾にみられる銅欠乏症、玉ねぎ⁷⁶⁾、トウモロコシ¹¹⁹⁾の亜鉛欠乏症、ハウレンソウのマンガン欠乏症¹⁰³⁾、水稻のマンガン過剰症⁵⁸⁾などが報告されている。しかし、牧草についてはアルファルファにほう素欠乏症⁷⁷⁾が報告され、オーチャードグラス¹⁰⁸⁾で亜鉛欠乏症が確認されている他は微量元素の欠乏症や過剰症発生の報告はみられない。第Ⅱ章3節に示したように、土壌中の微量元素含有率は銅および亜鉛などでは他の作物では欠乏症の発生が危惧されるような含量の土壌がみられた。しかし、牧草に肉眼的に欠乏症が確認されることはなく、

牧草中の含有率でも著しく低い含有率の例はなかった。しかし、馬の飼料としてみると微量元素も含有率は低いことが明らかであった。

鉄は馬の要求量を十分供給出来る含有率であった。馬の維持要求量は40ppmである。40ppm以下のチモシーはほとんどみられなかった。北海道のオーチャードグラスの鉄含有率は平均76ppmと報告されており⁶⁵⁾、家畜の飼料として鉄が不足することはないものと考えられる。しかし、他の要素では不足が目立った。

チモシーのマンガン含有率は平均で46ppmで、約40%のチモシーが馬の維持要求量40ppm以下の含有率であった。オーチャードグラスのマンガン含有率は北海道内の平均で128ppm⁶⁵⁾、全国の平均でも127ppm¹¹³⁾と報告されており、チモシーはオーチャードグラスよりマンガン含有率は低いものと考えられる¹²⁶⁾。マンガン含有率が低いチモシーは交換性石灰含量が多く、土壌pHの高い草地で得られた。pHが高くなると、交換性マンガン含有率が低くなり、牧草のマンガン含有率が低くなることが明らかであった。石灰を多量に施用してもカルシウム含有率を高めることには限界がある。交換性石灰含量は400mg/100g以上では牧草のカルシウム含有率に効果は認められない。むしろ、マンガンの吸収を阻害し、馬の必要量を満たさない含有率になることが認められた。第3節の施肥試験の結果で示したように、窒素質肥料としての塩安の施用はマンガンの含有率を高めた。土壌pHが高くマンガン吸収が抑制されるような草地では窒素質肥料として生理的酸性肥料とされる塩安はマンガン含有率を高める効果があると考えられた。

微量元素のなかで飼料としてもっとも欠乏しているのはセレンである。馬のセレン要求量は0.1ppmである。0.1ppm以上の含有率のチモシーは1%にすぎなかった。90%は0.05ppm以下の含有率であった。馬以外の家畜、乳牛^{52,53,92)}や肉牛¹¹⁰⁾でもセレン欠乏による白筋症の発生が報告されている。可給態とされている熱水可溶セレン含有率が著しく低いことがチモシーのセレン含有率を低くしている⁵⁾。土壌中でセレンは鉄と亜セレン酸塩を形成していると考えられ、土壌の遊離酸化鉄含有率が高い土壌で熱水可溶セレン含有率が低く、牧草中のセレン含有率が低くなる。しかし、土壌中の鉄はセレンの約10,000倍の含量であるため、溶解度積から考えて、土壌溶液中にセレンが溶出しにくく、セレンの可給態化は困難であると考えられる。

北海道全域が土壌中のセレン含有率が低い⁶⁾。したがって、土壌中のセレン含有率を高めるためにセレン酸や亜セレン酸の施用が考えられる。セレンの土壌への直

表Ⅲ-12 リードカナリーグラスとチモシーのセレン含有率の比較 (ppm)

	低地土	泥炭土	黒ボク土	平均
リードカナリーグラス	0.059	0.023	0.031	0.035
チモシー	0.008	0.012	0.009	0.009

接の施用は牧草のセレン含有率を高めるには有効である^{15,22,25)}。しかし、施用量によっては家畜に過剰障害が発生する含有率になることから^{22,25)}きめ細かな対応が必要となる。施用するセレンの形態によって、また土壌によって牧草のセレン含有率は大きく異なる⁶⁶⁾。このため、セレンを直接施用して牧草のセレン含有率を高めるためには、土壌区別にセレンの形態や施用量について詳細な検討が必要である。また、牧草のセレン含有率は生育する季節によって異なり²³⁾、リン酸の施用がアルファルファのセレン含有率を高くするとの報告¹³⁾もある。牧草のセレン含有率を高めるために、土壌中の可溶性セレン含有率を高め、可溶性セレン含有率を高める肥培管理技術の確立が必要となる。

既に、軽種馬生産農家ではセレン欠乏の対策としてセレン製剤の馬への直接投与が行われている。欧米でもセレン欠乏地帯はマップ化され^{24,68)}、欠乏地帯では家畜への直接投与が行われており⁷¹⁾、ビタミンEとの併用は白筋症予防に効果的な方法である^{36,52)}また、牧草のセレン含有率は低い、配合飼料にはセレン含有率が高い例もあり⁶⁷⁾、飼料給与を吟味することも重要である。

一方、表Ⅲ-12にはリードカナリーグラスのセレン含有率を示した。チモシー採取時に混生していた草地よりチモシーと同時に採取したリードカナリーグラスのセレン含有率は平均でチモシーの4倍の含有率であった。土壌中のセレンが豊富な地帯ではセレンを特異的に吸収する集積植物が知られている¹²¹⁾。これら集積植物のセレン含有率に比べるとリードカナリーグラスのセレン含有率は低い。しかし、牧草の草種間でも含有率に差があることが報告されており^{15,126)}、リードカナリーグラスはチモシーに比べてセレン含有率が高いものと考えた。リードカナリーグラスも本来牧草として導入された草種であり、生態型として定着したものが侵入して草地内に群落を形成している。有効に利用することによりセレン供給には有効である。

チモシーの平均亜鉛含有率は21ppmで、オーチャードグラスの亜鉛含有率24ppm⁶⁵⁾と同様の含有率であった。オーチャードグラスでは亜鉛含有率が9ppmで欠乏症がみられたとの報告がある¹⁰⁸⁾。亜鉛含有率が10ppm以下のチモシーはみられず、チモシーに亜鉛欠乏はないものと考えられた。しかし、馬の飼料としてみると、セ

レンに次いで欠乏している。日高における最近の調査によると、馬に骨端症発生の比率が高い牧場では亜鉛摂取量が低い傾向にあることが報告されている⁴⁾。馬の維持量は40ppmとされており、40ppm以上のチモシーはほとんどみられなかった。チモシーの亜鉛含有率が低く骨端症発生の一因となっていることが示唆された。また、亜鉛含有率は施肥の差異による変動や品種・個体間の変異も小さく、含有率を高くするためには畑作物の例にみられるような硫酸亜鉛等の施用⁷⁶⁾が必要になると考えられた。

亜鉛同様に銅含有率も馬の飼料としてみると不足する要素であった。チモシーの平均含有率は8.1ppmであった。オーチャードグラスでは北海道の平均で5.4ppmと報告⁶⁵⁾されており、これよりはやや高い含有率であった。馬の骨端症の発生に銅の不足^{10,11)}が影響しており、朝井は日高での骨端症発生は銅不足が大きな要因と述べている⁴⁾。飼養標準⁸⁷⁾では要求量を10ppmとしているが、調べたチモシーの約90%は10ppm以下の含有率であった。銅も亜鉛と同様に施肥の違いによる差は小さい。大麦の銅欠乏症には硫酸銅の施用が有効である²⁹⁾。豚の飼料には銅が添加されているため、豚糞の銅含有率は高いことが知られている。豚糞スラリーの施用は銅含有率を高めると報告⁷⁾されている。家畜が要求する含有率に高めるためにはこれらの方法を検討する必要があると考えられた。

粗タンパク質や無機成分含有率は生育ステージ、生育時期および施肥量によって異なる。粗タンパク質含有率は窒素施用量および生育ステージによって異なることは明きらかであるが、第3節試験1のチモシー単播草地の場合でみられたように、窒素無施用で粗タンパク質含有率が低くなるのは1番草のみで、2、3番草では窒素施用の影響はみられず、収量が少なくなると含有率は高くなる。第3節試験2のオーチャードグラスとアルファルファ混播草地の例ではオーチャードグラスの粗タンパク質含有率は窒素施用の影響は全くみられず、オーチャードグラスは収量の多い番草ほど粗タンパク質含有率は低くなる。オーチャードグラスとアルファルファを混播している場合にはアルファルファに寄生する根粒菌が固定する窒素をオーチャードグラスが有効に利用し、粗タンパク質含有率は窒素無施用でも低くならないと考えられ

る。

カルシウム含有率はチモシー、オーチャードグラスでは窒素を施用することによってやや低くなる。しかし、番草間の違いが大きく、1番草に比べ他の番草の含有率が高くなる。リン、マグネシウム含有率は施肥による差異はみられず、1番草に比べ他の番草で高い値を示した。カルシウム、リンおよびマグネシウム含有率が1番草で他の番草より低い値を示したのは生育ステージが進むと低くなるとともに、生育時期の違いで土壤中の各成分の可給態の含量の違いが影響していると考えられる。チモシーおよびオーチャードグラスの銅含有率もリンと同様に1番草が他の番草に比べて低い値を示し、番草での含有率の違いは生育ステージの違いによるものと考えられた。亜鉛含有率も銅含有率に類似した傾向を示した。

アルファルファの各成分含有率はイネ科牧草と異なり、番草間の含有率の違いは小さかった。各番草の乾物収量がイネ科牧草ほど違いはなく、生育ステージにさほど差がなかったためと考えられた。

牧草の各成分含有率は生育ステージが進むにともなって低くなることから、番草間の成分含有率は収量が少ない番草で高い値を示すことが多い。しかし、各番草の生育季節が異なり、主として気温の影響がみられる場合が

ある。リン含有率が夏季間の番草で高い値を示しているのは地温の上昇により土壤中のリンの可給態化が進むためと考えられた。

チモシー品種間に多くの成分で含有率に有意な差があった。また、分散にも品種間に差があった。これまで、消化率を高くする選抜が可能である^{51,95)}ことや無機成分含有率の品種間差は育種に利用できる可能性⁹⁶⁾のあることが示されている。SAIGA⁹⁷⁾はオーチャードグラスで、MOSELEY⁸⁵⁾はイタリアンライグラスで品種間の無機物含有率の違いがめん羊の血液の無機物濃度に差をもたらすことを報告している。尾形⁹³⁾も微量元素含有率が草種によって異なることを報告し、MIKA⁷⁵⁾は無機成分含有率に品種間差があることを報告している。乾物収量と各成分の含有率の間に有意な関係はみられなかった。これらは育種によって特定の成分を高く出来る可能性があることを示している。乾物収量と成分含有率に有意な関係がなかったことは収量を目標にした改良では成分含有率を高くすることは出来ないことを示していると考えられる。とくに銅含有率は品種間、個体間の変異が大きいことから、銅含有率の高いチモシーの育成が可能であることが示唆された。