

牧草の養分吸収過程並びにそれに基く合理的  
施肥法に関する研究

原 田 勇

Studies on the Nutrio-Physiology of Pasture  
Crops, Especially on the Effective Fertilizer  
Application to Pasture Crops

Isamu HARADA  
The College of Dairy Agriculture  
Nopporo, Hokkaido, Japan

目 次

第1章 緒 論 .....	2
第2章 正常に生育せる牧草の生育に伴う養分吸収過程と有機構成々分の変遷 ...	6
第1節 正常栽培による牧草の養分吸収 .....	6
第2節 正常栽培による牧草の生育に伴う有機構成々分の変遷 .....	15
第3章 牧草栽培の本質に基く生育の攪乱 .....	23
第1節 牧草刈取後の再生長過程に於ける養分吸収 .....	23
第2節 牧草の再生長過程に於ける有機構成々分の変遷 .....	31
第4章 牧草の初期生育の特殊的意義と それに及ぼす土壤及び施肥条件の影響 .....	37
第1節 牧草の発芽並びに初期生育に及ぼす肥料濃度の影響 (その1) .....	38
第2節 牧草の発芽並びに初期生育に及ぼす肥料濃度の影響 (その2) .....	48
第3節 牧草の初期生育に及ぼす施肥位置の検討 .....	51
第4節 牧草の初期生育に及ぼす種子床条件の検討 (その1) 土壤水分の影響 .....	60
第5節 牧草の初期生育に及ぼす種子床条件の検討 (その2) 土壤 pHの影響 .....	65
第6節 牧草の初期生育に及ぼす鎮圧破碎の影響 .....	73
第5章 牧草の刈取処理と再生長との関係 .....	77
第6章 施肥量の相違に伴う牧草類の量的反応とそこに現れた問題点 .....	90
第1節 窒 素 .....	90
第2節 磷 酸 .....	111
第3節 加 里 .....	129
第7章 総 合 論 議 .....	144
第8章 結 語 .....	150
引 用 文 献 .....	154
英 文 摘 要 .....	157

## 第1章 緒 論

農林漁業基本問題調査会が、農業の基本問題と基本対策に示した、わが国の畜産物需要の見通しは、昭和33年度を基準にすると昭和44年度には食肉生産では37万tから99.6万tに、鶏卵生産は44.2万tから92.3万tに、そして牛乳生産は175万tから662万tへと飛躍的な需要増が見込まれている。これらの畜産物需要増加の背景は食糧消費の動向を支配する各種要因から詳細に検討された結果であるとされているが、その主要な要因は、わが国の国民所得が年々7%前後の、かなりの速度で増大するためであるとしている(94)。

以上のような食糧消費の、需要の見通しを前提として、生産政策の立場から生産の見通しを立てることが可能である。一般に生産量は作付面積、投下資本量及び投下労働量の如何によって変動するものであり、この関係の数式的表現が、いわゆる生産函数である。また技術の進歩は同一作付面積、同一投下資本量、同一投下労働量の場合でも生産量を増大せしめるものであることは周知の事実である。従って上記の需要が動かし難いものであるのに対し生産は投下生産要素及び技術進歩の如何によって、人為的に動かし得るものである。よって上記の目的達成のため、これらの畜産物生産の前提となる飼料の生産量は龍大な量に達することが期待される。さきの調査会のこの飼料生産の見通しでは、33年度39万3千haに対し、44年度では81万2千haで206.6%の増加しか見込めないのが現状である。この事實は畜産物生産はおよそ3倍の増加が期待されているのに対して、飼料の自給度が、その $\frac{2}{3}$ であることを示すものであり、飼料生産増強の必要性が急務であることを示すものである。これらのことは牧草栽培面積の増大と共に、合理的栽培による単位面積当りの収量の増大を図ることが必要不可欠であることは論を待たないところである。

驕ってわが国の飼料生産技術の現状を見ると、酪農についての歴史がいささか存在する北海道に於ても、その主要飼料作物すなわち牧草 dent corn および fodder beet の平均収量はわずかに30t/haに過ぎない(49)。

しかしながら牧草栽培は歴史的に見てもその歳月浅く、かつまたわが国畜産界の歴史に鑑み、これが量的並びに質的向上に関する研究に従事する研究者の層も薄く、最も立遅れた部門に属するものである。

そもそも牧草とは、本来その茎葉を家畜の飼料として栽培利用されてきた草本植物であるが、植物分類学からこれを見ると牧草のほとんどはイネ科 (Gramineae) かマメ科 (Legumineae) に属している。さてこれらの茎葉を主体とする牧草の特質を明確にするため、いまわが国における代表的作物である水稻の特徴をその乾物同化を基本に概観して対比して見ることとする。水稻は一般に生育の前期は緩慢に、中期に旺盛、後期に再び緩慢に、その経過は決して単純なものではないが、およそその傾向としての生長曲線は sigmoid 型を呈するものである。

しかしながら、これを子実生産の面から見るときは、その子実中澱粉は、出穂以前すでに茎葉に蓄積されていたものと、出穂後同化されたものと両者に由来するものとされている。さらに、出穂以前蓄積物の子実生産への貢献度は施肥窒素量により異なるものであって窒素量が少ないと多く、窒素量が多いと少くなるものであるとされている(78)。

これに反して牧草の特徴は、茎葉中に未だ主要養分が存在している間に収穫するという事実と年間2~5回に亘って再生長せしめて、刈取収穫、若しくは grazing を行なうということである。この事實は単位面積当りの有機物生産量が極めて大である反面、肥料養分の収奪が異常に多量であるという事実も容易に想像されるところである。そしてまた、栄養生長期の繰返しという事實は当然再生長の機構の問題にも重要な栄養生理的特性があると考えなければならない。これらのことは牧草の合理的栽培の基本的問題として牧草の生育に伴う養分要求がどのようになっているかを早急に確認する必要があることを

示すとともに再生長の mechanisms についても明確にされねばならぬことを示すものである。

牧草類の養分吸収並びにそれに基く施肥法に関連する研究は、その生育の一定期間あるいは植物体の一部位または一成分についての研究は数多く報告されている。例えば 1939 年 McCALL は fescue の一種 blue bench fescue (*Festuca indaboensis*) を分析して若い植物体は蛋白含量が 25.6% もあるがその後 4 カ月ではわずかに 4.6% であったと報告している<sup>81</sup>)。また施肥に関する報告は多く 1958 年、PRNSONS, J.L. は alfalfa-grass mixture 103) の研究を行ない legume-grass mixture が 3 カ年間 4 段階の 0~100 lb/acre の窒素を  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  として毎年 3 月下旬に施用した結果 bromgrass あるいは timothy と混播された alfalfa は窒素の施用量の差異によっては有意差は示さなかったが、alfalfa-orchardgrass mixture においては、乾物収量が 1.98 および 2.44 tons/acre と、施肥量によって相違した。しかし 25~50 lbs の窒素施用量の増加は alfalfa の消失による grass の増加によって全乾草試料中の蛋白割合を減少せしめたと報告している。同年 CHAMBLEE, D.S. 13) は alfalfa と orchardgrass による土壌水分の相対的な移行に関する研究を行ない、次のような事実を明らかにしている。すなわち alfalfa と orchardgrass の生育している畦および畦間の直下 3~24 inch の深さに石膏ブロックを設置し土壌水分の変化を週 3 回、牧草生育期間中測定した結果、生育のために良好な condition にあった春期においては、0~12 inch の層位において両牧草について同じ率で分布されており、より深い畦の下の土壌では alfalfa によって迅速に乾燥せられた。また乾燥年においては、alfalfa 圃場の水分 level は 3~30 inch の読みで萎凋点水分含量の 36% となった。Orchardgrass の生育はまた不十分な水分によって非常に減少したと報告している。又施肥試験についての報告も多いが、1960 年 DUELL, R.W. は 6 種の pasture grass に対する施肥試験を行なっている。すなわち窒素、燐酸および加里肥料成分の等量のもの 200, 600 および 1000 lb/acre の施用の結果では 1, 2 番草収量では増収となったが、3, 4 番草では増収しなかったと報告している<sup>21</sup>)。また、施肥試験についての報告も多いが、SINGH, R.N. および SEATZ, L.F. は 1961 年に 燐酸および石灰の 施用量と 施用時期の 差異による alfalfa の収量を検討しているが、40~120 lb/acre の 燐酸( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ) と 1~4t/acre の dolomite を播種前に施用した結果、最も高い収量は播種時に最大量の燐酸と石灰を施用した圃場において得られている。燐酸施用後 3 カ月経過の石灰施用は効果はなかったが、燐酸施用時あるいは燐酸施用前の石灰施用は効果的であった結果から、ある種の pH では溶解している燐酸から燐酸化合物の形成が平衡に達する速度はむしろ緩慢であると結論している<sup>108</sup>)。又 1962 年 GERVAIS, P., DIONNE, J.L., RICHARDSON, W.S. は 施用燐酸と加里の施用量を異にすることによる alfalfa の生産性と無機成分組成を研究し、acre 当り 60 lb の燐酸の施用は、収量を増大せしめず、60~120 lb の加里の施用量の増大によって、その反応が増大したと記している<sup>31</sup>)。この alfalfa 中の燐酸および加里は施用量の増大によってそれぞれ増大したが、しかし他の石灰の如きは、加里の施用によって減少したが燐酸によってはその作用は僅少なものであったと記述している。又 1964 年、BARBIER, S. は 植木鉢試験を行ない Kleegrasmischung の収量と混播率および質におよぼす窒素の影響を研究し、イネ科牧草に混播された Rotklee は窒素施用量を増大すれば直接的に減少することを明らかにしている<sup>5</sup>)。またその無機含量および蛋白含量については Rotklee でも Weißklee でも窒素施用量には無関係であったと報告し、Kleegrasmischung において、窒素施用量の増加により収量は増加する。また屢々の刈取処理によって収量の低下が認められると報告している。この種の研究は更に数多く存在するが<sup>84, 11, 19, 110, 66, 33</sup>) 牧草の栄養・生理的立場から行れた研究も少くない。1959 年 JUNG, G.A., SMITH, D. は alfalfa の cold resistance に対する土壌の燐酸と加里の影響について研究し、K:P の比率が 5:2 の alfalfa が cold resistance に対して最適であるとしている<sup>67</sup>)。また GOSS, R.L. は 1960 年に turf grass の root と shoot の生長におよぼす 窒素 level cutting の高さの影響を 検討している<sup>34</sup>)。この種の研究は 1961 年 HEINRICH, D.H. および CLARK, K.W. によって行れ、5 種の grass の longevity と productivity に及ぼす刈取回

数と施肥の影響について研究され48) 又 BLUE, W.G. 及び GAMMON, N. は 1963年に LAMBERT, D.A. は 1964年に(7,73) おいて研究が進められている。

一方, 1962年 TEEL, M.R. の行なった, 牧草に対する窒素と加里の生化学的中間物質におよぼす影響についての研究は, 従来の加里に対する消費吸収若しくは luxury absorption に対する思想を变革するものとして注目に値する。すなわち TEEL によれば, 植物の生合成の正常な一連の過程が若しさえぎられるならその substrate は集積するかあるいは反応が相互にからみ合うかのどちらかである。そして低い加里の体制下で生育せしめた orchardgrass は soluble-nitrogen compound と, malate の集積があり, 適度の加里の供給は malate と soluble protein の低下によって純蛋白の生合成が増大した事実から, critical potassium level を暗示している(113)。

わが国においても 1950年, 森本, 守屋は牧草の季節による組成の変化を研究し変化の存在する事実を確認している(92)。また松岡らも青刈ライ麦および青刈ベッチを用いて蛋白組成の変化を検討している(80)。

さてわが国においては北海道が一般に牧草栽培適地であり, 乳牛の飼育頭数も増大している現状にある。しかしながら本道の土壌的, 気候的条件は先に記した諸外国のそれとは大いに相異するところである。すなわち, 北海道の土壌は火山性土壌が大半を占め, その土壌は磷酸および加里の欠乏している土壌である(118)。また本道北部に主として分布する重粘性土壌の多くは酸性土壌であり, 荳科牧草の窒素固定根粒菌の活性を低下せしめること甚しいものがある(105)。一方気候的条件とくに気温について見るに, 平均気温 $5^{\circ}\text{C}$ 以上の牧草生育可能期間はわずかに6ヵ月である(114)。MICHAEL および DJURABI は圃場の土壌特性におよぼす30年間に亘る堆肥肥および化学肥料の影響についての研究から, 標高395

第1表

主要牧草栽培国の牧草生育可能月数

国名	地方名	測候所 (標高)	最高気温 (月平均気温 $5^{\circ}\text{C}$ 以上の月の)	最低気温	牧草生育可能 月数
New Zealand	Auckland	3m	18.3 $^{\circ}\text{C}$	~ 5.8 $^{\circ}\text{C}$	12ヵ月
	Christchurch	7m	16.4	~ 5.8	12ヵ月
	Dunedin	75m	14.3	~ 6.7	12ヵ月
	Hoitika	3m	15.3	~ 6.7	12ヵ月
	Wellington	120m	16.9	~ 8.8	12ヵ月
France	Clermont-Ferrand	330m	17.2	~ 5.7	9ヵ月
	Bordeaux	48m	19.4	~ 5.1	12ヵ月
	Lyon	198m	19.2	~ 5.7	9ヵ月
Germany	Berline	57m	18.9	~ 8.6	7ヵ月
	Dresden	112m	18.6	~ 8.6	7ヵ月
	München	538m	17.8	~ 7.8	7ヵ月
U. S. A.	Mineapolis	253m	23.4	~ 5.2	9ヵ月
Holland	Brussels	100m	16.8	~ 5.2	9ヵ月
日 本	札幌	18m	21.7	~ 5.4	7ヵ月
	帯広		20.4	~ 5.6	6ヵ月
	稚内		20.3	~ 8.3	6ヵ月
	根室		17.8	~ 6.8	6ヵ月
Denmark	Köbenhavn	5m	15.5	~ 5.1	7ヵ月



m の西ドイツ Stuttgart Hohenheim においては、この牧草生育平均日数が 225 日であると記述している<sup>88)</sup>。いまこれらの原則から考察すると第 1 表の如く、New Zealand の如きは月平均気温 5°C 以上の月数は実に 12 カ月である。また alfalfa の栽培の盛んな France の如きはおよそ 9 カ月から 12 カ月の期間にまたがっている。この傾向は Holland についても言及し得る。これに対して北海道の月平均気温 5°C 以上の月数が少ないことに加えて春秋期における 烈しい温度変化を考え合せると更に減少せしめられる傾向にある。

以上の如く土壌的にもまた気候的にも、西欧諸国あるいは New Zealand の如きとは全く相違する悪条件下のものである。

従って上述の如き諸外国の研究成果を、そのまま北海道あるいはわが国に導入適用することは不可能であり、多くの問題点を残すものである。これらの事実からわが国独自の環境下においての研究が必要であり、期待されるところである。

しかしながら、この種の重要な問題に対する研究は極めて不十分であり、わずかに早川、北岸らによる研究があるに過ぎない。すなわち早川、北岸らは牧草のリン酸吸収は還元溶出してくるリン酸によること、また加里の吸収量が以外に多量であり、牧草は加里欠乏症を呈し易い反面、過剰に施用することにより贅沢吸収の可能性があることなどを報告している<sup>47,70)</sup>。

しかしながら、牧草の合理的施肥法を樹立するため根本的に必要な事実は北海道という自然条件下において、牧草は如何なる状態に生育し、如何なる養分を如何に吸収しその機能を営んでいるか、そして更に、牧草栽培の原則として通例、刈取処理若しくは grazing が実施されるが、その再生長に当り、北海道という条件下で、牧草の生理に如何なる変化をもたらし、如何なる姿となっているか、ということをも根本的に追及しなければ、牧草栽培の総合的な対策は樹立出来ない。また一方牧草の生育相はその生理的特性から造成段階と維持段階の 2 段階に分けられるが、これは牧草栽培の合理的施肥法を明確にするためには、この点についても解明することが重要である。

よって著者はこれらの諸点を明確にしつつ最終的に牧草栽培の合理的施肥法を樹立せしめようとして本研究に着手したものである。

## 謝 辞

本稿を草するに当り、問題を提起され終始御懇篤な御指導を賜り、また本稿の御校閲を賜った石塚喜明博士に衷心より感謝の意を表するものである。また本研究に着手するまでの手順を進展せしめて下され、その後も限りない御指導と御支援を賜った酪農学園大学前学長、樋浦誠博士並びに元広島大学教授現在酪農学園大学教授池田実博士に深甚の謝意を表する。また本研究の実施並びにその取纏めのため、常に有意義な助言を与えられた帯広畜産大学、山田忍博士、大原久友博士、北海道大学教授佐々木清一博士、田中明博士、広島大学教授尾形昭逸博士、酪農学園大学高杉成道教授、北海道農業試験場早川康夫、帯広畜産大学田村昇市両博士に謝意を表する。本研究開始当初より現在まで常に有益な討論に与ってくれた、北海道農業試験場林満氏に感謝する。また本研究に協力戴いた酪農学園大学講師佐藤明氏、同房間稔氏、前同職員現在国立農業試験場美唄試験地勤務、栗崎弘利氏、同じく焼尻中学校勤務の清水祐二氏並びに酪農学園大学勤務の篠原功氏に感謝の意を表する。

## 第2章 正常に生育せる牧草の生育に伴う養分吸収過程と有機構成々分の変遷

### 第1節 正常栽培による牧草の養分吸収

緒言において述べた如く、まず、従来北海道において一般に用いられている耕作法によって栽培し、正常に生育した場合の養分吸収経過を明らかにすることから着手した。牧草としてはマメ科の代表として alfalfa (*Medicago sativa*) とイネ科の代表として orchardgrass (*Dactylis glomerata*) を撰んだ。

#### 1 研究方法

供試した圃場は酪農学園大学の試験圃場（北海道江別市）で洪積土壌である。そのおもな特性は第2表のようである。すなわちこの地域は植土で全窒素0.35%，炭素7.38%の土壌である。そのpHは水浸出で5.3、N-KClのそれでは4.9の酸性土壌でその $y_1$ は1.94である。置換性カルシウムは230mg/100g風乾土で少なくはないが、マグネシウムやカリウムは多くはなく、また有効態リン酸も少ない。上記の如き圃場に対して炭酸カルシウム2t/haを表層10cmに施用し、 $H_2O$ 及びKClによるpHをそれぞれ6.1および5.4に矯正した。肥料は第3表に示す肥料を全面散布し、およそ10cmの深さに混合した。Alfalfaは1962年5月1日、orchardgrassは5月15日播き幅10cm、畦幅50cmとしていずれも10kg/haの種子を播種した。

第2表 供試圃場に於ける土壌の特性

	土性	水分 (%)	腐植 (%)	全窒素 (%)	全炭素 (%)	C-N 率	pH		置換性酸度 $y_1$	ORG (meq)	置換性塩基 (meq)				塩基飽和度 (%)	有効リン酸 mg	リン酸吸収係数	土壌の三相分布 (%)		
							$H_2O$	KCl			CaO	MgO	$K_2O$	$Na_2O$				固相 (%)	気相 (%)	液相 (%)
第1層	植土	9.50	12.72	0.35	7.38	21.4	5.3	4.9	1.98	23.6	11.5	1.7	0.42	0.13	58.2	1.32	465	31.8	35.4	32.8
第2層	植土	9.85		0.34			5.2	4.9	1.94		11.9	1.4	0.38		1.40	465	34.0	32.3	34.0	

生育は順調であったので発芽後 alfalfa は30, 44, 55, 62, 73, 88, 122 および173日、orchardgrass は30, 44, 54, 64, 81, 108, 137, および159日に地上7cmのところから刈取り、直ちに80°Cで通風乾燥後粉碎し分析に供試した。窒素はケルダール法、リン酸はフィスク・サバロフ法25)により比色定量した。加里は焰光分析法、硫黄は硝酸マグネシウム灰化のA.O.A.C.法96)による重量法によりそれぞれ定量した。

第3表 Alfalfa 及び orchardgrass に対する施肥量

要素名	Alfalfa			Orchardgrass		
	要素量 kg/ha	使用肥料名	肥料のha当り kg	要素量 kg/ha	使用肥料名	肥料のha当り kg
N	40	硫酸アンモニウム	100	120	硫酸安素	300
$P_2O_5$	80	尿過	44	80	過	130
		磷	200		磷	200
$K_2O$	160	成	200	160	成	200
		苦	296		苦	296
微量要素		硫酸加里	25		硫酸加里	25
		F. T. E.			F. T. E.	

なお alfalfa および orchardgrass の生育期を生育状態の変化から第4表の如くに分けこの各時期について検討した。

2 実験結果並びに考察

1) Alfalfa (*Medicago sativa*) 並びに orchardgrass (*Dactylis glomerata*) の生育経過、生草重、乾物重及び草丈。

Alfalfa および orchardgrass の生育概況は第5表 a および b に示す如くである。Alfalfa の草丈は6月11日の発芽後30日頃より急激に伸長7月24日の開花中期を頂点に横ばいとなる。乾物重は8月8日の開花終期をピークに後急激に下降するが、この下降の主因をなすものは下葉の脱落と考えられる。しかしながら植物体内における移動も考えられるところであろう。生草重並びに乾物重とに分けて考察して見ると、葉部における乾物のピークは7月24日の開花中期であり、後次第に下降する。これに対して茎重は8月8日の開花終期をピークにやや横ばいとなる。これらの乾物とくに葉部を中心にその最高重を示す時期は7月24日発芽後73日目の開花中期ということになる。その後も茎重は増加しているので植物体内蓄積物は葉部から茎部へ移動する如き様相を呈する。従って葉重が最高値に達し後次第に下降するが、一方茎重はその頃でもわずかに上昇しているということから alfalfa の最高乾物蓄積期

第4表

Alfalfa 並びに orchardgrass の生育相

試料番号	1	2	3	4	5	6	7	8
生育時期	稚苗期	伸長期	蕾期	開花始期	開花中期	開花終期	下葉枯期	落葉期
期間	5.12~ 6.11	6.12~ 6.25	6.26~ 7.6	7.7~ 7.13	7.14~ 7.24	7.25~ 8.8	8.9~ 9.11	9.11~ 11.1
発芽後日数	30	44	55	62	73	88	122	173
特徴	草丈10cm内外で早ばつや塩類高濃度に弱い。根長も10cm程度である。	草丈、根長は20~30cmとなり、やや生長旺盛となる。	包蕾し始める。草丈40~50cm。	開花始め草丈は50cm内外である。	草丈の伸長停滞する。開花盛期である。	草丈の伸長停滞する。開花末期となる。	下葉が脱落腐敗してくる。茎葉は粗剛がある。	葉部は殆んど脱落し茎部のみ残る。極めて粗剛の感がある。

Orchardgrass

試料番号	1	2	3	4	5	6	7	8
生育時期	稚苗期	分けつ期	伸長期	充実期	葉身屈折始期	葉身屈折期	下葉枯期	枯葉期
期間	5.26~ 6.25	6.26~ 7.9	7.10~ 7.19	7.20~ 7.29	7.30~ 8.15	8.16~ 9.11	9.12~ 10.10	10.11~ 11.1
発芽後日数	30	44	54	64	81	108	137	159
特徴	草丈10~15cm早ばつや塩類高濃度に弱い。根の発達も貧弱である。	盛んに分ける。根の発達も良好となる。	草丈は40~50cmとなり盛んに伸長する。	葉身の幅も広くなり、内容が充実してくる。	葉身が、1~2枚しわん曲し始める。	大部分の葉身は屈折し下部葉は被覆される。	屈折葉のため下部葉は枯れ始める。	葉身の多くは枯れる。

第5表

生 育 概 況

a Alfalfa

試料番号	1	2	3	4	5	6	7	8
生育時期	稚苗期	伸長期	蕾期	開始花期	開中花期	開終花期	下枯葉期	落葉期
月 日	6.11	6.25	7.6	7.13	7.24	8.8	9.11	11.1
発芽後日数	30	44	55	62	73	88	122	172
草丈 (cm)	11.4	24.3	41.3	44.5	64.3	67.2	72.0	
茎数 (本)	1.0	1.0	2.2	3.5	7.1	12.0	18.0	
生草重 kg/ha	茎葉計		2350	4170	10240	19000	14900	15800
		996	3680	7530	11060	23600	34400	
乾物重 kg/ha	茎葉計		455	1130	1940	4100	3400	3400
		140	700	1430	2265	4890	6530	

b Orchardgrass

試料番号	1	2	3	4	5	6	7	8
生育月日	稚苗期	分けつ期	伸長期	充実期	葉身屈折始期	葉身屈折期	下枯葉期	枯葉期
月 日	6.25	7.9	7.19	7.29	8.15	9.11	10.10	11.1
発芽後日数	30	44	54	64	81	108	137	159
草丈 (cm)	15.3	25.2	43.0	57.0	84.5	105.2	110.0	115.0
茎数 (本)	2.0	5.2	6.8	10.0	13.0	14.0	15.0	15.2
生草重 kg/ha	618	1970	5950	11880	19400	22800	24800	19900
乾燥重 kg/ha	90	280	1080	1852	3460	4410	6200	5950

は7月25日～8月8日の間、発芽後およそ80日目の開花終期であるということが出来る。しかし、この時期はすでに葉重の増加はなく、逆に茎重のみの増加となっているので、葉部から茎部への移動によってこの乾物増加が生じているとも考えられるところである。

Orchardgrassの草丈はほぼS字型の生育曲線を示す。この傾向は生草重および乾物重についても同様である。このS字型を示すことは一般の作物の生育曲線としては当然であるが、orchardgrassの場合、とくに葉身屈折始期において、葉身の先端よりほぼ $\frac{2}{3}$ 部位より屈折が始まり、このため下部葉の光合成能率すなわち受光率<sup>91)</sup>を減少せしめるものと考えられる。この傾向はつぎの葉身屈折期に一層はげしくなる。いまこの間の事情を明らかにするため、各生育期の乾物生産速度すなわち1haから1日何kgの乾物が生産されているかを算定すると第6表の如くである。

$$* \frac{\text{乾物生産量 (kg/ha)}}{\text{生育期間(日)}} = \frac{3460(\text{kg})}{81(\text{day})} = 42.7$$

Alfalfa の乾物生産速度のピークは第5生育期の開花中期であり、orchardgrass では葉身屈折始期である。しかし orchardgrass では alfalfa の如き乾物蓄積のピークや葉部から茎部への移動も考えられないので、刈取適期を考える場合発芽後葉身屈折始期までの乾物生産速度 42.7\*を基礎に検討する必要がある。すなわち葉身屈折始期における乾物生産速度は94.6であり、そのつぎの葉身屈折期のそれは35.2であるからその前期の生産速度を大きく下廻っていることになる。また発芽後葉身屈折始期までの乾物生産速度をみると42.7であり葉身屈折期のその35.2より高い値を示している。従ってこの乾物重を中心にしかもその乾物生産速度をも考慮した最大乾物蓄積期は葉身屈折始期で、発芽後およそ80日頃であるとなることが出来る。このことは orchardgrass の刈取適期がその乾物重とその生産速度からみて葉身屈折始期にあるということである。

第6表

a Alfalfa 各生育期の乾物生産速度

生育時期	稚苗期	伸長期	蕾期	開始花期	開花期	開花期	下葉期	落葉期
各生育期間中の乾物増加量 (kg)	140	560	730	835	2625	1640	-1220	
**日数	30	14	11	7	11	15	34	
*乾物生産速度	4.7	40.0	66.4	119.4	238.6	109.3	-35.9	

b Orchardgrass

生育時期	稚苗期	分け期	伸長期	充実期	葉身屈折始期	葉身屈折期	下葉期	枯葉期
各生育期間中の乾物増加量 (kg)	90	190	800	772	1608	950	179	
**日数	30	14	10	10	17	27	29	
*乾物生産速度	3.0	13.6	80.0	77.2	94.6	35.2	6.2	

\* kg/day/ha \*\* 各生育期の日数

さきに記述した alfalfa についてもまた発芽後およそ80日頃が乾物の最大蓄積期であると考えられたが、alfalfa と orchardgrass の混播栽培がこのような乾物生産の最高になる点という側面からも極めて望ましいということが出来よう。

しかしながら alfalfa の刈取適期が第5表から考えて極めて短時日であるという事実はわが国の如き雨量の多い湿潤地帯ではその収穫の技術上十分考慮されねばならぬことである。

2) 各生育期における養分含有率

以上の如き生育相を示す牧草は各生育期において如何なる養分の吸収過程をへるかを明らかにするため、各期の窒素、リン酸、加里、カルシウム、マグネシウムおよび硫黄の含有率を測定した。その値は第7表 a および b の如くである。

(1) Alfalfa

**窒素:** 茎葉全体としては稚苗期においてその含有率高く、後次第に低下するが、開花中期において再び高まり後次第に低下する傾向を示す。しかし茎部は蕾期に低く開花中期までやや高まり後やや低下の傾向を示す。葉部は開花終期にやや低下する以外は蕾期から下葉枯期まで大差を示さない。また葉部は茎部に比較してその含有率がおよそ2倍である。

**リン酸:** 茎葉部の稚苗期におけるリン酸の含有率は高いが後次第に低下する。しかし、開花中期以後は上昇と低下が交互に起る如くである。この傾向は茎部も類似している。葉部は蕾期より開花中期までその含有率は高まりその後は茎部と類似する。葉部は茎部より常にその含有率が高い。

**加里:** 稚苗期の加里含有率は高いが生育期が進むに従い次第に減少して行き、一定の含有率を示す

第7表

各生育期の養分含有率

a Alfalfa (乾物当り %)

生育時期	稚苗期	伸長期	蓄期	開花始期	開花中期	開花終期	下葉枯期	落葉期
N	茎部		1.30	1.60	2.10	1.58	1.96	
	葉部		4.70	4.10	4.40	3.85	4.20	
	茎葉部	5.02	4.77	3.61	2.85	3.49	2.43	1.80
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	茎部		0.35	0.30	0.43	0.41	0.55	
	葉部		0.55	0.58	0.70	0.57	0.63	
	茎葉部	0.73	0.62	0.49	0.44	0.59	0.47	0.46
K <sub>2</sub> O	茎部		2.80	2.40	2.60	2.50	2.65	
	葉部		2.50	2.40	2.60	2.60	2.60	
	茎葉部	3.75	3.15	2.59	2.40	2.60	2.54	1.50
CaO	茎部		1.12	1.12	0.89	0.79	1.12	
	葉部		4.37	4.20	3.70	4.27	3.31	
	茎葉部	3.84	3.00	3.34	2.66	2.59	2.09	1.96
MgO	茎部		0.43	0.43	0.76	0.42	0.29	
	葉部		0.50	0.73	0.68	0.59	0.31	
	茎葉部	0.79	0.50	0.48	0.58	0.73	0.48	0.50
S	茎部		0.45	0.48	0.48	0.40	0.35	
	葉部		0.99	1.09	1.02	0.72	0.53	
	茎葉部	0.85	0.84	0.82	0.79	0.81	0.49	0.42
SiO <sub>2</sub>	茎部		0.52	0.55	0.40	0.30	0.30	
	葉部		0.34	0.33	0.35	0.85	0.70	
	茎葉部	0.44	0.50	0.40	0.44	0.39	0.52	0.67
灰分	茎部		12.50	7.40	7.95	7.50	7.50	
	葉部		13.50	12.80	12.15	12.70	11.30	
	茎葉部	12.52	12.60	13.18	10.11	10.60	9.40	7.10

b Orchardgrass (乾物当り %)

生育時期	稚苗期	分けつ期	伸長期	充実期	葉身屈折始期	葉身屈折期	下葉枯期	枯葉期
N	4.44	3.70	3.40	2.98	2.37	1.91	1.90	1.74
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.72	0.55	0.68	0.54	0.64	0.64	0.42	0.36
K <sub>2</sub> O	5.50	5.20	4.80	5.00	4.70	3.90	3.60	2.70
CaO	0.39	0.79	0.62	0.62	0.36	0.39	0.45	0.55
MgO	0.26	0.83	0.74	0.63	0.35	0.47	0.39	0.42
S	0.60	0.62	0.66	0.73	0.58	0.46	0.42	0.40
SiO <sub>2</sub>	1.90	3.40	2.75	2.40	2.92	4.50	3.20	4.00
灰分	15.0	14.4	13.4	14.9	14.6	12.7	10.4	11.4

が落葉期には再び低下する。茎葉の間には大きな差異は見出せない。

**カルシウム：** 茎葉全体としては、稚苗期に 3.84% という高い割合を示すが、後次第に低下し開花終期頃より 2% 内外の横ばいとなる。しかし茎部は変化少くほとんど 1% 内外の値であるが、葉部は茎部のおよそ 4 倍の含有率を示す。

**マグネシウム：** はじめ 0.79% と高い数値を示すが、後次第に下降する。開花中期に再び高まり、その後次第に低下する。この傾向は茎部についても葉部についても大差なく類似している。

**硫黄：** これは稚苗期より開花中期まではほとんど同じ 0.8% 内外である。その後やや急激に低下する。葉部は茎部のおよそ 2 倍の含有率である。

**珪酸：** 茎葉全体では各生育期を通じて大差を示さない。しかし茎部では生育の進むに従い低下の傾向があるのに対し葉部ではやや上昇の傾向がある。

## (2) Orchardgrass

**窒素：** Orchardgrass の茎葉はその稚苗期において 4.44% とかなり高い含有率を示すが、葉身屈折終期まではほぼ直線的に下降し、その後枯葉期まで 2% 近くの含有率を示す。

**磷酸：** 稚苗期から屈折期まで 0.6% 内外の含有率を示すが、その後は急激に低下して 0.4% 内外となる。

**加里：** 稚苗期の 5.5% から生育の進むにつれて次第に下降し、枯葉期の 2.7% まで続行する。

**カルシウム：** この含有率は稚苗期に 0.39% であるが、次の分けつ期では急激に上昇する。その後次第に低下して葉身屈折始期におよぶ。が、その後再び上昇して枯葉期に至る。

**マグネシウム：** この含有率はカルシウムのそれとほぼ類似の傾向を示す。すなわち稚苗期に極めて低く、分けつ期には急激に上昇する。その後伸長期、充実期、葉身屈折始期まで低下の一途をたどりその後、枯葉期まで 0.4% 内外の含有率を示す。

**硫黄：** 稚苗期より次第に含有率が高まり充実期を最高として後再び低下しつつ枯葉期に向う。

**珪酸：** 稚苗期より分けつ期に向って上昇するが、伸長期、充実期、葉身屈折始期までやや低下する。その後はやや上昇の傾向を示す。

## 3) Alfalfa および orchardgrass の含有率比較

**窒素：** 窒素含有率の生育各期を通じての変化を alfalfa と orchardgrass について比較すると生育初期に高く以後次第に低下する傾向は やや類似しているといい得る。しかしその含有率が alfalfa においては orchardgrass のそれより常に 1% ほど高い。これは当然ではあるが、特記すべきことである。また alfalfa の開花中期における含量の増加も orchardgrass と相違するところである。

**磷酸：** 磷酸の含有率については両牧草について大差を示さない。

**加里：** Orchardgrass と alfalfa の含有率の較差は生育の初期ほど大きく、生育の末期に近づくほど少なくなる傾向にある。その差異は初期 2% 程度 orchardgrass で大きく、末期では差異を示さない。

**カルシウム：** 稚苗期における alfalfa は orchardgrass より 10 倍近く高い含有率を示す。生育が進むにつれてその差異は少なくなる。

**マグネシウム：** 両牧草についての マグネシウム含有率は生育初期では alfalfa が orchardgrass より高い値を示すが、その後一度低下する。この時 orchardgrass は増大する。しかし生育の後半では大差を示さない。

**硫黄：** 両牧草で大差を示さない。

以上の如く豆科牧草とイネ科牧草の養分含有率は牧草の科の相違によりまた同一科に属する同一植物でもその生育時期により甚しく相違する。しかしさきに石塚、田中の研究による水稲中生栄光種に示される各養分含有率の生育期による変化は orchardgrass と極めてよく類似する (62)。

第8表

各生育期に於ける吸収養分の絶対量

a Alfalfa (kg/ha)

生育時期	稚苗期	伸長期	蕾期	開花始期	開花中期	開花終期	下葉枯期	落葉期
N	茎部		5.9	18.1	40.7	64.8	66.6	
	葉部		45.8	46.5	129.8	93.6	80.2	
	茎葉部	7.0	33.4	51.7	64.6	170.5	146.8	61.2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	茎部		1.6	3.4	8.3	17.6	18.7	
	葉部		5.4	6.6	20.7	17.0	12.0	
	茎葉部	1.0	4.3	7.0	10.0	29.0	34.6	15.6
K <sub>2</sub> O	茎部		12.7	27.1	50.4	102.5	90.1	
	葉部		24.3	27.2	76.7	63.2	49.7	
	茎葉部	5.3	22.1	37.0	54.3	127.1	139.8	51.0
CaO	茎部		5.1	12.7	17.3	32.4	38.1	
	葉部		42.6	47.7	109.2	103.8	63.2	
	茎葉部	5.4	21.0	47.7	60.4	126.5	101.3	66.6
MgO	茎部		2.0	4.9	14.7	17.2	9.9	
	葉部		4.9	8.3	20.1	14.3	5.9	
	茎葉部	1.1	3.5	6.9	13.2	35.8	15.8	17.0
S	茎部		2.0	5.4	9.3	16.4	11.9	
	葉部		9.7	12.4	30.1	16.5	10.1	
	茎葉部	1.2	5.9	11.7	17.8	39.4	22.0	14.3
SiO <sub>2</sub>	茎部		2.4	6.2	7.8	12.3	10.2	
	葉部		3.3	3.7	10.3	19.7	13.4	
	茎葉部		5.7	9.9	18.1	32.0	23.6	

b Orchardgrass (kg/ha)

生育時期	稚苗期	分けつ期	伸長期	充実期	葉折 身始	屈期	葉身 屈折	下葉枯期	枯葉期
N	4.0	10.3	36.7	55.2	82.0	84.2	117.8	103.5	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.7	1.5	7.3	10.0	22.1	28.2	39.7	21.4	
K <sub>2</sub> O	5.0	14.6	51.8	92.6	162.6	171.9	223.2	160.6	
CaO	0.4	2.2	6.7	11.5	12.6	17.2	27.9	32.7	
MgO	0.2	2.3	6.9	11.7	12.1	20.7	24.2	25.0	
S	0.5	1.7	7.1	13.5	20.1	20.3	26.0	23.8	
SiO <sub>2</sub>	1.4	9.5	29.7	44.4	101.0	202.9	198.4	238.0	

さて、このような含有率を示す牧草の各生育時期において吸収した養分の絶対量および1日当吸収量の最大は如何なる時期かを把握することは極めて有意義であろう。

## 4) 各生育期における吸収養分の絶対量



(1) Alfalfa: 各吸収養分の絶対量は生育時期の進むにつれて次第に増加し、一定時期において下降する傾向を示す。(第8表 a 参照) いま茎葉全体の吸収養分の絶対量を検討すると窒素, カルシウム, マグネシウムおよび硫黄の4要素は開花中期をピークにして後次第に下降する。つぎにリン酸, 加里および珪酸は開花終期まで吸収量が增大し、ついで下降する。しかしながら、いずれの要素についても開花始期より急激に吸収量を增大し、前者1群は開花中期まで、後者1群は次の開花終期までその傾向を示すが後次第に下降する。この最も盛んに吸収する開花中期における吸収速度を kg/day/ha で表現して見るとその絶対量は窒素において 9.6 kg/day/ha にもおよぶ。この事実は1日の間にこれだけの要素が、土壌あるいは根部から植物の地上部の側に供給されねばならぬことを示すものである。若しこれらの要素が円滑に供給されなければ直ちに alfalfa の生育不振すなわち収量低下となって現れるであろう。

これらの茎葉中の養分の絶対量の推移を茎部と葉部のそれから検討すると、茎部においての推移はいずれも開花終期まで次第に増大し、後ほとんどその増大は見られない。これに対して葉部は開花中期まで急激な吸収を示すが、後次第に低下する。この傾向は珪酸以外はいずれも類似している。珪酸はこの吸収増大が、開花終期まで続行し、ついで下降する。これらの茎部と葉部の絶対量の推移は始め葉部に蓄積されたものが、次に茎部に移行する如くにも見受けられる。この傾向はリン酸, 加里においてとくに顕著である。しかしながら一度吸収された養分が下葉枯期, 落葉期には急激に減少するのは主として落葉による脱落とも考えられるが、加里の如き場合には枯れ始めることにより K<sup>+</sup> のみの脱落も考えられるところである。

(2) Orchardgrass: この吸収養分の絶対量は第8表 b に示す如く、生育初期より次第にその吸収絶対量を増大し、下葉枯期まで継続し、その後増大しないものに窒素, マグネシウム, 硫黄および珪酸がある。次に生育初期より次第に吸収量を増大し下葉枯期まで継続するが、後急激に減少するものにリン酸と加里とがある。生育初期より生育末期まで吸収量が增大するものにカルシウムがある。

5) 収穫適期における養分収奪量

次に収穫適期においてこれらの牧草を収穫した場合 ha から吸収奪取する養分量を算出して見ると第9表の如くである。すなわち alfalfa では窒素が最も多く 170.7 kg であり、次に加里, カルシウムとなり、リン酸とマグネシウムおよび硫黄はほぼ同量で窒素の 1/3 内外である。

要素名	Alfalfa	Orchardgrass
	収奪量	収奪量
N	170.7	82.2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	28.9	22.1
K <sub>2</sub> O	127.1	162.6
CaO	126.7	12.5
MgO	35.7	12.1
S	39.6	20.1

Orchardgrass では加里が最も多く、162.6 kg、ついで窒素の 82 kg、リン酸と硫黄は 20 kg 程度、カルシウムとマグネシウムは 12 kg となっている。

6) 各生育時期における四要素の吸収速度

牧草は年間幾度も刈取り利用するので吸収の年間における絶対量はもとより、その速度すなわち時間の因子を含めて養分吸収を検討することが必要である。これなしにはこれらの繰返される再生長刈取に

対して適切な養分の動きを把握したことにはならないであろう。

以上の如き考え方から各生育期間の日数でその期間に ha 当りから吸収された養分の絶対量を除して得られた値すなわち吸収速度は第 10 表の如くである。

第 10 表

## a Alfalfa

## 四要素の吸収速度

生育時期	稚苗期	伸長期	蕾期	開花期 開始	開花期 期中	開花期 開終	下葉枯期	落葉期
各生育日数	30	14	11	7	11	15	34	40
N	吸収量(kg)	7.0	26.4	18.3	12.9	105.9	-12.1	-85.6
	吸収速度*	0.2	1.9	1.7	1.8	9.6	-0.8	-0.2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	吸収量	1.0	3.3	2.7	3.0	19.0	5.6	-15.1
	吸収速度	0.03	0.2	0.2	0.4	1.7	0.4	-0.1
K <sub>2</sub> O	吸収量	5.3	16.8	14.9	17.3	72.8	37.6	-88.8
	吸収速度	0.2	1.2	1.4	2.5	6.6	2.5	-0.8
CaO	吸収量	5.4	15.6	26.7	12.7	66.1	9.7	-34.7
	吸収速度	0.2	1.1	2.4	1.8	6.0	0.6	-1.9

## b Orchardgrass

生育時期	稚苗期	分けつ期	伸長期	充実期	葉身屈折 始期	葉身屈折 期	下葉枯期	枯葉期
各生育日数	30	14	10	10	17	17	29	20
N	吸収量(kg)	4.0	6.3	26.4	18.5	26.8	2.2	33.6
	吸収速度*	0.1	0.5	2.6	1.9	1.6	0.1	1.2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	吸収量	0.7	0.8	5.8	2.7	12.1	6.1	11.5
	吸収速度	0.02	0.05	0.58	0.30	0.71	0.36	0.40
K <sub>2</sub> O	吸収量	5.0	9.6	37.2	40.8	70.0	9.3	51.3
	吸収速度	0.2	0.7	3.7	4.1	4.1	0.5	1.5
CaO	吸収量	0.4	1.8	4.5	4.8	1.1	4.6	10.7
	吸収速度	0.01	0.13	0.45	0.48	0.07	0.27	0.36

\* (kg/day/ha)

## (1) Alfalfa の養分吸収速度

窒素、燐酸、加里およびカルシウムの4要素は共通して稚苗期、伸長期、蕾期および開花始期にはその吸収速度が、比較的緩やかであるが、開花中期におよんで急激にその速度を増大し後急激に低下する。ついで下葉枯期から落葉期では各要素の損失が日々行われていることがうかがえる。これらをやや詳細に検討すれば窒素は生育初期に極めて緩やかに、そしてその後はやや早く、開花中期は急速に、そして後やや要素が損失され枯葉期に至る。燐酸は開花中期までは窒素と同様の過程を通るが、開花終期には生育初期と同程度に緩やかとなり、ついで茎葉から静かにしかも次第に多く失われて行く。加里は稚苗期よ

り、開花中期まで漸増的に速度を増大し、開花終期にはほぼ稚苗期程度となるが、後やや急速について緩やかに損失して行く。カルシウムはほぼ加里と開花終期までは類似した速度を示すがその後わずかずつ損失して行く如くである。

### (2) Orchardgrass の養分吸収速度

この吸収速度は稚苗期、分けつ期においては極めて遅く、充実期にはやや速度を増すことは各要素共通しているが、その後窒素は葉身屈折始期までその速度を保ち葉身屈折期で急激に速度は低下するが、下葉枯期で再びやや高まり枯葉期で窒素は失れて行く。磷酸は下葉枯期まで緩やかに吸収されて行くが、枯葉期では磷酸が失れて行く。加里は葉身屈折始期まではかなりの速度で吸収するが、その後急激に速度をゆるめ枯葉期では相当量の加里が損失する。カルシウムは葉身屈折始期に一度速度を低下する以外は枯葉期まで緩やかに吸収を続ける。

### (3) Alfalfa と orchardgrass の吸収速度比較

一般的にいつて alfalfa はその吸収速度が生育初期から静かに増大し、開花中期をピークとして後急激に速度を低下し、その後は養分の損失という形をとる。これに対し orchardgrass は初期の形態は類似するが、alfalfa の如き生育のピークは見当らず、加里を除けば緩やかな吸収速度が継続する。しかし加里のみは alfalfa における速度と類似した速度を示すが、alfalfa における如きピークは存在しない。

## 3 摘 要

Alfalfa と orchardgrass を普通栽培として、その生育相からこれを8生育期に分け、その各期における生育経過を、主としてその養分吸収の面から検討し、次の如き事実が明らかとなった。

1) Alfalfa における乾物生産量の最も多くなる時期は第6生育期の開花終期にある。

Orchardgrass では第7生育期の下葉枯期にあるが、乾物生産速度のピークはいずれも第5期の alfalfa では開花中期にあり、orchardgrass では葉身屈折始期にある。このことから乾物生産速度を考慮した刈取適期は発芽後80日目頃である。

2) 窒素、磷酸および加里の含有率は alfalfa でも orchardgrass でも生育初期に高く末期に低下した。カルシウムと硫黄の含有率は alfalfa では初期に高く、末期に低下したが、orchardgrass では一定の傾向を示さなかった。マグネシウムと硅酸の含有率は生産期間中の変化に一定の傾向が見出せなかった。

3) Alfalfa の窒素、カルシウム、マグネシウムおよび硫黄の4要素の吸収量は生育の経過に伴い増大し、開花中期をピークとするが、その後は下降する。磷酸、加里および硅酸は開花後期まで吸収を続行し、ついて下降する。orchardgrass の窒素、マグネシウム、硫黄および硅酸は生育の経過に伴い増大し下葉枯期まで続行するが、その後は増大しない。磷酸と加里は下葉枯期まで増大し後急激に減少する。カルシウムは初期より末期まで増大し続ける。

4) 刈取適期における養分収奪量は ha 当り、alfalfa では窒素 170.7、磷酸 28.9、加里 127.1 kg であり、orchardgrass のそれは 82.0、22.1 および 162.6 kg であった。

5) 各生育期における窒素、磷酸、加里およびカルシウムの4要素の吸収速度 (kg/day/ha) を求めたが、その最大は alfalfa においては開花中期であり、その後は低下するばかりか、各要素の脱落も起る。orchardgrass における吸収速度は稚苗期、分けつ期においては極めて遅く、充実期および葉身屈折期にはやや速度を増大し、その後は低下するばかりか加里においては脱落が目立つ。

## 第2節 正常栽培による牧草の生育に伴う有機構成々分の変遷

第1節において alfalfa と orchardgrass が正常に生育した場合、その生育に伴って無機成分が如何なる経過で吸収されるかを明らかにした。またこれらの結果からその吸収速度を求め、牧草の生育に

伴うこれらの養分の牧草体形成における意義を解明しようとした。

ここでは、この問題を更に発展させるため、牧草の生育に伴う有機構成々分の変化を追求し、更に MORRISON 等 (28) により用いられている全可消化養分法により生育各期における飼料価値をも算定しようとして本研究を企図した。牧草類の炭水化物のみについては米国において、REYNOLDS および SMITH による優れた研究 (104) がある。

## 1 研究方法

本研究に用いた材料は第 1 節において記したものと全く同一のものである。分析法は以下の如く、粗蛋白はケルダール法により窒素を測定し、その数値に 6.25 を乗じて算出した。粗脂肪はソックスレーによるエーテル抽出法、粗繊維は A.O.A.C. 法 (97)、可溶性無窒素物は全乾物重から粗蛋白、水分、粗灰分、粗脂肪および粗繊維を差し引くことにより算出した。純蛋白は STUTZER 法、全炭水化物は試料 200 mg を採取し、0.7 N 塩酸 10 ml を加え、煮沸濃煎中で 2.5 時間加熱した後 100 ml 定容フラスコに濾過洗入し中和、0.3 N の水酸化バリウム溶液 3 ml と当量の約 5% 硫酸亜鉛溶液を加え除蛋白した後、ソモギイ法により定量しグルコース量として計算表示した。

## 2 実験結果並びに考察

### 1) 牧草の生育経過

本研究に用いた牧草すなわち alfalfa と orchardgrass の生育概況は第 5 表の如くであり、既に記述したところであるが、alfalfa と orchardgrass の生育期は 8 期に分けられ、その生草重並びに乾物重のピークは alfalfa においては第 6 期、開花終期であり、orchardgrass においては第 7 期の下葉枯期である。以下に粗蛋白、粗脂肪、粗繊維、可溶性無窒素物、純蛋白、全炭水化物並びにこれらから算出される全可消化養分の生育経過による変化を順次検討することとする。

### 2) 各生育期における有機構成成分の含有率

**Alfalfa: 粗蛋白:** 茎葉全体では稚苗期にその含有率高く生育が進むにつれて次第に低下するが、開花中期では一度やや高まり後次第に低下して枯葉期に至る。茎部においては蕾期から開花中期に向けてその含量を高めるが、開花終期には一たん低下し、下葉枯期には再び上昇する。これに対して葉部は蕾期から下葉枯期まで多少の変動はあるが、常に 25% 内外のかなり高い含有率を示す。葉部は常に茎部の 2 倍以上の粗蛋白を含有する。

**粗脂肪:** 茎葉全体におけるこの含有率は、開花始期に一たんやや低下することを除けば生育の経過に伴い第 6 期の開花終期まで増大する。茎部では葉部のおよそ  $\frac{1}{3}$  程度の含有率で蕾期から開花終期に向けてやや上昇する。この傾向は葉部でも類似する。

**粗繊維:** 茎葉全体では稚苗期から開花始期までは次第に上昇するが、開花中期で一たんやや低下し後再び上昇し横ばいとなる。茎部は蕾期から 40% をこえる高い含有率を示し、その後もやや上昇する。しかし葉部は常に 10% 内外の低い含有率でその変化も少い。

**可溶性無窒素物:** 茎葉全体ではおよそ 30% 内外であり、生育時期では極端な差異はない。しかし生育期によってやや低下の傾向を示す。茎部の含量は葉部のそれより常に低くおよそ 25% 内外であり、それに対し葉部は 33% 内外の数値を示す。

**Orchardgrass: 粗蛋白:** 稚苗期においては 27.8% とかなり高い含有率を示すが、生育の経過につれて次第に低下する。しかし葉身屈折期からはほぼ 10% の含有率となる。

**粗脂肪:** これは稚苗期から伸長期に向けてその含量が増大するが、その後充実期、葉身屈折始期および葉身屈折期に向けて低下する。

**粗繊維:** これは稚苗期より次第にその含量を増大し、葉身屈折始期まで増大するが、葉身屈折期、下

第11表

a Alfalfa

有機構成々分の含有率

生育時期の試料 No.	1	2	3	4	5	6	7	8
茎			8.1	10.0	13.2	9.9	12.3	
粗蛋白質			29.4	25.6	27.5	24.1	26.3	
計	31.2	29.8	22.6	17.8	21.8	15.2	17.4	11.3
茎			1.9	1.9	2.1	2.7	2.4	
粗脂肪			4.9	5.0	6.2	6.8	5.7	
計	3.6	3.8	3.9	3.5	5.1	5.0	3.6	1.8
茎			43.6	43.9	43.5	47.6	45.1	
粗繊維			6.0	9.1	10.2	10.4	7.3	
計	10.2	14.5	18.0	26.4	23.4	33.5	31.5	36.2
可溶性無窒素物			25.6	28.9	25.1	23.9	24.4	
計	31.0	30.8	34.0	33.8	31.5	28.9	30.1	35.4

数字は乾物当りの%

b Orchardgrass

生育時期の試料 No.	1	2	3	4	5	6	7	8
粗蛋白質	27.8	23.1	21.2	18.6	14.8	11.9	11.9	10.9
粗脂肪	3.7	4.3	4.9	4.5	3.8	4.5	3.4	2.9
粗繊維	19.2	22.2	22.6	27.6	29.7	29.0	29.1	25.4
可溶性無窒素物	26.1	27.9	29.7	26.3	29.2	33.6	37.1	41.2

数字は乾物当りの%

葉枯期まではほぼその値を保ち枯葉期には再びやや低下する。

**可溶性無窒素物:** これは粗脂肪と類似の傾向を示す。すなわち 稚苗期から伸長期までは やや含量が増大するが、充実期には一度低下し再び葉身屈折始期、葉身屈折期および下葉枯期と上昇する。(第11表 a, b 参照)

以上の数値から alfalfa においても orchardgrass においても まず粗蛋白質の最大値が現れ、ついで粗脂肪のピークが続き、粗繊維の最大値そして orchardgrass は可溶性無窒素物の最大値と続くが、alfalfa の可溶性無窒素物の含量のみは各生育期を通じて大差を示さないようである。

3) 生育の経過に伴う各有機構成々分の絶対量

上記の如き含有率を示す各有機構成々分が、生育の各時期においてどの程度の絶対量を示すであろうか、以下に各生育時期における有機構成々分の絶対量の変化を見て行くこととする。(第12表a, b 参照)

**Alfalfa: 粗蛋白:** 茎部におけるこの絶対量は、稚苗期より次第に増大し開花期に至るが、開花中期では急激に増大し、後次第に減少する。これが理由として考えられることは葉部から茎部あるいは根部への移動または葉部の脱落であるが、第5期から第6期の間の葉部の粗蛋白質の減少量は 225.6 kg/ha であり、茎部の増加は 249.8 kg/ha である。しかもこの時期には葉部の脱落はほとんど見られず、あっても

第12表

a Alfalfa 有機構成々分の絶対量

生育時期の 試料 No.	1	2	3	4	5	6	7	8
茎			36.9	113.0	256.1	405.9	418.2	
粗蛋白質			286.7	290.6	811.2	585.6	502.3	
計	43.7	208.6	323.6	403.6	1067.3	991.5	920.5	384.2
茎			8.6	21.5	40.7	110.7	81.6	
粗脂肪			47.8	56.8	182.9	165.0	108.9	
計	5.04	26.6	56.4	78.3	223.6	275.7	190.5	61.2
茎			198.4	496.1	843.9	1951.6	1433.4	
粗繊維			58.5	103.3	300.9	252.7	139.4	
計	14.3	101.5	256.9	599.4	1144.8	2204.3	1572.8	1230.8
茎			116.5	323.2	486.9	979.9	829.6	
可溶性無窒素物			369.5	446.1	1053.2	911.3	783.1	
計	47.6	215.6	486.0	769.3	1540.1	1891.2	1612.7	1203.6

数字は ha 当り kg

b Orchardgrass

生育時期の 試料 No.	1	2	3	4	5	6	7	8
粗蛋白質	25.0	64.7	229.0	344.5	512.1	548.2	737.8	648.6
粗脂肪	3.3	12.0	52.9	83.3	131.5	198.5	210.8	172.6
粗繊維	17.3	62.2	244.1	511.2	1027.6	1278.9	1804.2	1511.3
可溶性無窒素物	23.5	78.1	320.8	487.1	1010.3	1481.8	2300.2	2451.4

数字は ha 当り kg

僅少であるからこの時期から茎部への移動は勿論、根部への移動も積極的に起るとも考えられるところである。茎部では蕾期から次第に増大し、開花終期に至りその後下葉枯期では粗蛋白質の増加を見ない。葉部では蕾期から開花始期まではゆるやかに増加するが、その後の開花中期では急激に増大する。開花終期では急激に減少し、下葉枯期でもやや減少する。

**粗脂肪：** 茎葉と茎部の脂肪量は生育に伴い開花終期まで増加するが、葉部では開花中期まででその後はやや減少の傾向を示す。

**粗繊維：** 茎葉および茎部の繊維量は開花終期までは増大するが、その後次第に低下す。葉部は蕾期から開花中期までやや増大するがその後は増大しない。

**可溶性無窒素物：** 茎葉および茎部の無窒素物は、生育の経過に伴い開花終期まで増大する。葉部は生育の経過に伴い開花中期まで増大するが、開花終期では減少する。

**Orchardgrass：粗蛋白質：** この絶対量は生育の経過に伴い増大することは当然であるが、その増大率は葉身屈折始期まではほぼ同率である。しかしその後の葉身屈折期では増加が極めて少く下葉枯期でやや増大し、枯葉期には逆に減少する。

**粗脂肪：** 脂肪は稚苗期からほぼ等速度で葉身屈折期まで増加するが、下葉枯期ではその増加がにぶ

り枯葉期ではかえってその絶対量が減少する。

**粗繊維:** この量は下葉枯期まで次第に増大するが、枯葉期では増加は止む。

**可溶性無窒素物:** この数値は稚苗期および伸長期までは極めて僅少な増大であるが、その後は急激な増加を示し、ほぼ枯葉期まで継続する。

4) 粗蛋白生産速度

以上の如く、牧草の体構成々分について検討してきたが、alfalfa の含有率では、粗蛋白は生育初期に高く後期に低下する。これに対し絶対量では開花中期がピークであり、その後は下降する。従って苜科牧草栽培の主目的である粗蛋白生産という観点から見れば第5期の開花中期が最大量の粗蛋白蓄積期である。

第13表

a Alfalfa 各生育時期における粗蛋白生産速度

生育時期	1	2	3	4	5	6	7	8
各生育期間中の粗蛋白生産量 kg/ha	43.7	164.9	115.0	80.0	663.7	-75.8	-71.0	-536.3
各生育期間の日数	30	14	11	7	11	15	34	50
粗蛋白生産速度 (kg/day/ha)	1.5	11.8	10.5	11.4	60.3	-5.1	-2.1	-10.7

b Orchardgrass

生育時期	1	2	3	4	5	6	7	8
各生育期間中の粗蛋白生産量 kg/ha	25.0	39.7	164.3	115.5	167.6	12.7	213.0	-89.2
各生育期間の日数	30	14	10	10	17	27	29	22
粗蛋白生産速度 (kg/day/ha)	0.83	2.84	16.4	11.6	9.9	0.5	7.3	-4.1

また orchardgrass の粗蛋白の含有率は生育の進むにつれて低下し、葉身屈折期に至り 11.9% となり、その後はほぼ一定となる。これに対し絶対量では初期より次第に増加し、下葉枯期にピークを示し枯葉期にはやや低下する。従ってこれらの絶対量では第7生育期の下葉枯期に最大蓄積期があることとなるが、この蓄積の様相は必ずしも alfalfa の如きピークを示さない。

さてこのような蓄積の様相を呈する牧草を時間の要因を導入して再整理して見ると、第13表の如くである。すなわち 1 ha から 1 日何 kg の粗蛋白が生産されていることになるかを検討すると alfalfa においては第5生育期の開花中期に最大値があり、その他の生育期では極めて低いが、マイナスの数値を示している。これに対して orchardgrass では、第3期の伸長期に最大値がある。これらの数値から alfalfa においては第5生育期がその絶対量もまた発芽からその生育期までの平均粗蛋白生産速度においても最大であるということが出来るが、しかし orchardgrass ではこの関係はそう明瞭でないようである。Orchardgrass ではさきに乾物平均生産速度の最大は第5生育期の葉身屈折始期であることを明らかにしたので(38)、いま発芽後葉身屈折始期までの平均粗蛋白生産速度を求めて見ると、

$$\frac{\text{粗蛋白生産量 (kg/ha)}}{\text{生育期間 (day)}} = \frac{512.1(\text{kg})}{81(\text{days})} = 6.3$$

となる。各生育期のそれは第13表の如く、第6期の葉身屈折期のそれは 0.5 であり、また第7期は 7.3 であるから、これらを平均した生産速度は当然 6.3 を下廻るので、粗蛋白生産の時間を考慮した最大蓄積期は乾物平均生産速度と同じく第5期の葉身屈折始期であるといえる。(また第4生育期までの平均粗蛋白生産速度は 5.3 であり、第3生育期までのそれは 4.2 である。)

しかしながら、一方これらを飼料価値生産の観点から検討するときには、さきに記した乾物生産速度との粗蛋白生産速度だけではなお不足であろう。すなわちこれは、これらを総合した全可消化養分の概念から再考することが必要であると思われるので以下にその検討を行なうこととする。

#### 5) 生育各期の可消化養分

牧草の飼料価値の表示法は研究者により異なるが、いま MORRISON ら 28) により用いられた全可消化養分法を用いて生育各期の飼料価値を表現して見ると第 14 表の如くである。

### 第 14 表

a Alfalfa

牧草の全可消化養分量\*とその生産速度\*\*

生 育 時 期	1	2	3	4	5	6	7	8
茎葉部の全可消化養分量	75.2	362.6	723.4	1137.7	2501.9	3205.8	2618.7	1710.5
各生育期の全可消化養分量	75.2	287.4	360.8	414.3	1384.2	703.9	-587.1	--908.2
各 生 育 期 の 日 数	30	14	11	7	11	15	34	50
各生育期における全可消化養分の生産速度	2.5	20.5	32.3	59.2	124.0	46.9	-17.3	-18.2
各生育期までの日数	30	44	55	62	73	88	122	172
各生育期までの平均全可消化養分生産速度	2.5	8.2	13.2	18.4	34.3	36.4	21.5	9.9

\* 全可消化養分量は ha 当り kg      \*\* 生産速度は kg/day/ha

註: 粗蛋白は 71, 粗脂肪は 30, 粗繊維は 45, 可溶性無窒素物は 70% として計算する。

但し粗脂肪はその 2.25 倍とする。(MORRISON の digestion coefficient を用いる)

b Orchardgrass

生 育 時 期	1	2	3	4	5	6	7	8
茎葉部の全可消化養分量	40.7	129.6	509.6	862.1	1623.7	2127.5	3080.9	2883.3
各生育期の全可消化養分量	40.7	88.9	380.0	352.5	761.6	503.8	953.4	--197.6
各 生 育 期 の 日 数	30	14	10	10	17	27	29	22
各生育期までの全可消化養分の生産速度	1.4	6.4	38.0	35.3	44.8	18.7	32.9	-9.0
各生育期までの日数	30	44	54	64	81	108	137	159
各生育期までの平均全可消化養分生産速度	1.4	2.9	9.4	13.5	20.1	19.7	22.5	18.1

註: 粗蛋白は 52, 粗脂肪は 42, 粗繊維は 62, 可溶性無窒素物は 59% として計算する。但し粗脂肪はその 2.25 倍とする。

**Alfalfa:** この全可消化養分の絶対量は稚苗期より生育の進むに従い増大することは当然であるが、開花始期頃より急速に増大し、この傾向は開花中期まで続行する。しかし開花終期においてはこの急激な増大もとどまり、その後の下葉枯期ではやや減少の傾向を示す。

**Orchardgrass:** 生育初期から下葉枯期に向ってほぼ直線的に増大する。

以下に alfalfa と orchardgrass の全可消化養分量を総合的に検討して見ると、その最大蓄積期は alfalfa では第 6 期の開花終期、orchardgrass では第 7 期の下葉枯期である。これを全可消化養分の生産速度すなわち 1 ha から 1 日に生産される全可消化養分量の数値から考究するときは第 14 表の如くいずれも第 5 生育期において最大生産速度を示す。しかしこれを各生育期までの平均全可消化養分生産速度で見るときは、前者においては第 6 期、後者においては第 7 期に最大速度を示す。しかしながら alfalfa においては前述した粗蛋白あるいは後述する純蛋白はこの時期には既に低下し始めており、こ



の傾向はとくに alfalfa の葉部において顕著である。そしてこれに対応する如くに粗繊維と可溶性無窒素物が增大している。換言すれば第5生育期以後の平均可消化養分生産速度の増加は一方において粗蛋白から非蛋白への転換を含む増大と見ることが出来る。

6) 生育各期の純蛋白と全炭水化物

Orchardgrass においては、その成長が専ら葉身 (leaf blade) の生長による変化であるため、その体構成々分の蓄積の変動も比較的なめらかで、これらの含有率並びにその絶対量から飼料としての価値もほぼ検討することが可能であると考えられる。しかし alfalfa の茎部および葉部についてはそれぞれの体構成分の含有率並びに絶対量が生育時期により大きく変動するので、これらの体構成々分のみから飼料的価値を判定することはなお不足であると考えられる。またこれら牧草の生育経過を検討するための最終目的にもならないので、これらの補充的実験として純蛋白と全炭水化物を測定し、更に検討を続けることとした。(第15表参照)

第15表

a Alfalfa

牧草中の純蛋白と全炭水化物

生育時期	1	2	3	4	5	6	7	8	
純蛋白	茎部	含有率		5.6	4.7	7.7	7.7	10.6	
		絶対量		25.5	53.1	149.4	315.7	360.4	
	葉部	含有率		17.4	20.0	23.5	20.4	21.8	
		絶対量		169.7	227.0	693.2	495.7	416.3	
	計	含有率	24.7	23.1	13.7	12.3	17.2	12.4	14.6
		絶対量	34.6	161.7	195.2	280.1	842.6	811.4	776.7
全炭水化物	茎部	含有率		15.6	14.4	7.4	10.2	12.0	
		絶対量		71.0	162.7	143.6	418.2	408.0	
	葉部	含有率		4.2	6.0	8.4	7.8	12.6	
		絶対量		41.0	68.1	247.8	189.5	240.7	
	計	含有率	10.0	9.4	7.8	10.2	8.0	9.2	12.2
		絶対量	14.0	65.8	112.0	230.8	391.4	607.7	648.7

注: 含有率は乾物当りの%, 絶対量は ha 当り kg

b Orchardgrass

生育時期	1	2	3	4	5	6	7	8
純蛋白	含有率	19.2	15.4	11.7	16.6	11.2	11.0	10.0
	絶対量	17.3	43.1	126.3	307.4	387.5	485.1	620.0
全炭水化物	含有率	12.0	11.0	16.0	16.5	12.3	12.3	12.0
	絶対量	10.8	30.8	172.8	305.6	425.6	542.4	744.0

**Alfalfa: 純蛋白:** 茎部および葉部の純蛋白含有率は粗蛋白の生育経過に伴う変化に類似した変化をたどる。しかし茎部に比し葉部はおよそ3倍の含有率を示す。これが絶対量については生育の経過につれて増大するが葉部は開花中期よりやや減少の傾向を示す。茎部は開花終期までは増大するが、その後は横ばいとなる。

**全炭水化物:** 茎葉全体を分析した数値は 稚苗期から 蕾期までは やや低下するが、その後再び上昇する。開花中期では やや低下し 後次第に 上昇する。しかし茎部だけを見ると 蕾期から開花中期に向って は げしく 低下し、後再び 少しく 増大する。これに対して葉部は 蕾期において 極めて 低く、その後次第に 増加し 茎部と同含有率となる 如くである。これらの絶対量は開花中期以外は茎部において多く、葉部はお

よそ 1/2 である。生育の経過に伴いその絶対量を増大するが、葉部より茎部において増大がはげしい。

**Orchardgrass: 純蛋白:** この含有率は生育初期に高く、次第に低下する傾向にあり粗蛋白の傾向に類似するが、充実期のみはやや高い含有率となっている。これらの絶対量は生育の進行とともに増大する。

**全炭水化物:** この含有率は伸長期、充実期にやや増大する以外はほとんど 12%内外の数値である。その絶対量は生育の経過に伴いほぼ直線的に増大する。

以上、alfalfa と orchardgrass の純蛋白と全炭水化物の生育経過に伴う変化を検討したが、これらを飼料価値生産の観点から、この二成分に限定して見るときは、alfalfa の純蛋白では第 5 期の開花中期が最大蓄積期であり、これは粗蛋白のピークとも一致する。また全炭水化物では生育の進むにつれてその量が増大する傾向にあるので生育の末期の方が生産量が多いこととなる。Orchardgrass の純蛋白は alfalfa の如きピークを示さず生育に伴い、その量を増大せしめる如くである。また炭水化物の傾向は alfalfa と類似する。

#### 7) 有機構成々分の最大生産速度を示す時期における alfalfa と orchardgrass の比較

以上の考察から alfalfa においても、また orchardgrass においても有機物の最大生産速度を示す時期は第 5 生育期の alfalfa では開花中期、orchardgrass では葉身屈折始期であることが判明したので、この生育期における有機構成々分を比較検討することとする。すなわち、alfalfa の粗蛋白は 21.8、粗脂肪は 5.1、粗繊維は 23.4、可溶性無窒素物は 31.5%の含有率であり、orchardgrass ではそれぞれ 14.8、3.8、29.7 および 29.2%である。またその蓄積量では前者の粗蛋白で 1.07、粗脂肪 0.22、粗繊維 1.14、可溶性無窒素物は 1.54 t/ha である。後者ではそれぞれ 0.51、0.13、1.03、1.01 t/ha である。これを全可消化養分量で見ると前者では 2.50 t/ha、後者では 1.62 t/ha である。また純蛋白では前者で 0.84、後者は 0.39 t/ha であり、全炭水化物ではそれぞれ 0.39 t/ha、0.43 t/ha となっている。これらのいずれの成分（全炭水化物以外は）についても前者において多く、とくに粗蛋白、純蛋白、粗脂肪では 2 倍の生産となっている。また全可消化養分量では前者が後者の 1.4 倍量の生産を示す。

### 3 摘 要

正常に栽培された alfalfa と orchardgrass の 8 生育期における粗蛋白、粗脂肪、粗繊維および純蛋白、全炭水化物を測定することにより次の事実が明らかとなった。

1) Alfalfa の粗蛋白含有率は稚苗期に高いが、枯葉期に向って低下する。粗脂肪、粗繊維は初期に低く末期に高くなる。可溶性無窒素物は全生育期間を通じて大差を示さない。そして粗繊維以外は茎部より葉部において高い含有率を示す。

2) Orchardgrass の粗蛋白は生育初期に高くその後葉身屈折期まで次第に低下するが、その後は一定となる。脂肪は生育時期で多少異なるが 4%内外で大差を示さない。粗繊維は稚苗期に低く後次第に高まり、葉身屈折始期に至るがその後はほぼ一定となる。可溶性無窒素物は生育の経過に伴い増加するが、充実期に一度やや低下する傾向がある。

3) Alfalfa における粗蛋白、粗脂肪および粗繊維の絶対量は稚苗期より次第に増大し、粗蛋白は開花中期に、粗脂肪、粗繊維および可溶性無窒素物は開花終期において最高となり後次第に低下する。

4) Orchardgrass では生育の経過に伴い次第に増加し、可溶性無窒素物以外は下葉枯期に最高となり、枯葉期にはやや減少する。しかし可溶性無窒素物はこの期において若干の増加を示す。

5) Alfalfa と orchardgrass の純蛋白含有率並びに絶対量は粗蛋白の含有率並びに絶対量に類似するが、生育の初期より末期の方が粗蛋白と純蛋白の差は少ない。全炭水化物の含有率並びに絶対量では前者においてはおよそ 10%であるが、後者においては伸長期、充実期にやや増大する以外はおよそ 12%である。

6) 全可消化養分の絶対量は前者において、生育初期より次第に増大し、開花終期に最大となり後次

第に低下する。後者では生育初期より下葉枯期まで次第に増大するが枯葉期では増大が見られない。

7) 有機構成々分の最大生産速度を示す時期は前者では開花中期、後者では葉身屈折始期である。この時期の粗蛋白、純蛋白および全可消化養分の生産量は前者で1.07, 0.84および2.50 t/haであり、後者では0.51, 0.39および1.62 t/haである。

### 第3章 牧草栽培の本質に基づく生育の攪乱

#### 第1節 牧草刈取後の再生長過程に於ける養分吸収

著者はこれまで alfalfa (*Medicago sativa*) と orchardgrass (*Dactylis glomerata*) が、圃場において正常に栽培された場合の養分吸収とそれに基づく無機、有機両成分の集積移動の問題を明らかにしてきた。しかし牧草類の特徴はその栄養体を半ば連続的に刈取り、その再生長を期待しているところに一般作物と異なるところがある。著者のこれまでの観察では alfalfa は、高温による呼吸量の増大により同化量の相対的低下はあっても、その再生長の形態はほとんど同一である。これに対して orchardgrass は春期においてのみ幼穂が形成され、そして出穂する。この時期以外の再生長過程ではいずれも葉身のみが生長し刈取によってその繰返しが行れるものと観察された。

しかしながらわが国に於ては、これらの再生長過程においてどのように養分が吸収され、また移動するかを明らかにした研究は見出し得ない。

よって著者はこれらの問題点を明らかにする目的をもって、まず無機養分について、以下の研究計画に基づいて研究を行った。

#### 1 研究方法

##### 1) 供試圃場条件と栽培法

供試圃場は酪農学園大学研究圃場で洪積土壌である。また置換性カルシウム、マグネシウム及び加里はそれぞれ142.8, 30.0及び2.5 mg/100 g 乾土であり、加里は少ないが、堆厩肥と硫加でこれを補足した。塩基置換容量は19.3 meq. の土壌である。栽培法は畦巾35 cmの条播で播種量は alfalfa は ha 当たり20 kg, orchardgrass は15 kg である。施肥量は窒素(硫安と尿素の等成分)を ha 当たり50 kg, 燐酸は200 kg(過石と熔燐の等成分)、加里は50 kg(硫加)とした。他に堆厩肥を ha 当たり30 t 散布施用した。播種は5月1日に行い刈取は、alfalfa は7月25日、orchardgrass は8月15日として以後は再生長過程の様相を検討するため第16表に示す如く各生育期毎についてサンプリングを行い、分析に供試した。とくに根部のサンプリングには水洗しつづけるかぎり根部の破損、消失の無いように注意した。

ここでいう再生長過程とは先に記述した平均乾物生産速度の極大の時期で刈り取られた後再生長によって再び平均乾物生産速度の極大値を示す時期までを指すこととする。

#### 2 実験結果並びに考察

##### 1) Alfalfa 並びに orchardgrass の再生長過程における生育相

Alfalfa 並びに orchardgrass が刈取られた後の再生長過程における生育相は第16表の如く、alfalfa においては第5生育期、orchardgrass においては第6生育期に分けることができる。

Alfalfa では再生長が極めて早く、ほとんど5日目毎程度に生育期が転開する。Orchardgrass においてこの傾向は類似するが生長の後半はやや日数を要する。また両牧草において刈取後5～15日目の前半における生育相はその速度に於てもまたその外、外観的特徴においても甚しく異なるが、おおよそ2

第 16 表

a Alfalfa

再生長過程における生育相

試料番号	1	2	3	4	5
生育時期	従属再生長期	転換期 (伸長期)	独立再生長期 (つぼみ期)	開花始期	開花中期
刈取後日数	5	10	15	25	35
特 徴	淡緑色を呈し 栄養素は従属 的に再生長す る	正常な緑色と なり良く伸長 する	包蕾し始め独 立的に生長し ている	開花し始め草 丈は 50cm 内 外となる	草丈の伸長は 停滞し開花盛 期である

b Orchardgrass

試料番号	1	2	3	4	5	6
生育時期	従属再生 長期	転換期	独立再生長 移行期	伸長期	充実期	葉身屈折 始期
刈取後日数	5	10	15	20	30	40
特 徴	淡緑色の葉 身が従属的 に再生長す る	従属再生長 からの転換 期	栄養的に独 立して再生 長する	草丈40~50 cmとなり、 盛んに伸長 する	葉身の中も 広く内容も 充実してく る	葉身がわん 曲し始める

週間後の独立再生長期若しくは独立再生長移行期以後はほとんど最初の生育と変るところがない。

2) 生草並びに乾物収量

**Alfalfaの収量:** この生草並びに乾物収量は第17表aの如くである。すなわち刈株7~8cm以上の

第 17 表

再生長過程における生育概況

a Alfalfa

生育時期 (刈取後日数)	(cm)			生草重 (t/ha)			乾物重 (t/ha)			乾物 (%)		
	草丈	その他		地上部	刈株	根部	地上部	刈株	根部	地上部	刈株	根部
開花中期 (0)	68.0	7~8	26.0	21.55	3.29	6.72	3.95	0.85	1.52	1.83	25.8	22.6
従属再生長期 (5)	8.5	7~8	26.3	1.80	3.26	5.05	0.26	0.58	0.95	14.2	17.2	18.8
転換期 (10)	28.0	7~8	26.3	7.69	3.17	4.86	1.09	0.70	0.77	14.2	22.1	15.9
独立再生長期 (15)	40.5	7~8	28.3	10.64	3.23	6.44	1.66	0.70	1.12	15.6	21.7	17.4
開花始期 (25)	53.2	7~8	27.3	12.44	3.29	6.38	2.44	0.84	1.38	18.1	25.4	21.6
開花中期 (35)	62.5	7~8	25.0	12.53	3.52	6.29	2.57	0.89	1.78	20.5	25.3	28.3

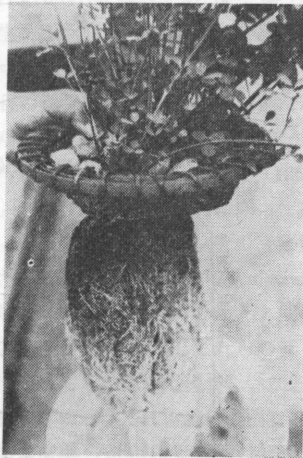
\* 地上部: 地上7~8cm以上の部位

\*\* 刈株: 地上から7~8cmの部位

\*\*\* 根部: 刈株以下の部位

地上部は刈取後直ちに再生長し25日目の開花始期まではかなり順調に生草重や乾物重を増大する。しかし25日を過ぎたころよりその増加は急激に止みほとんど横ばいとなっている。これに対して刈株は刈取によって5~15日目まではやや低下する傾向にあるが、その後はおよそ最初の刈取期の量になる。根部は地上部の刈取によって急激にその重量を低下し、刈取10日後の転換期(伸長期)ではその刈取時の乾物量の $\frac{1}{2}$ 近くまで減少する。しかしながらこれらの減少も独立再生長期(蓄期)から開花中期の15日から35日にかけて次第に増大し、刈取後25日の開花始期ではほぼさきの刈取時に復帰し、35日目の開花中期では刈取時以上の根重となる。これらの根重の刈取による低下は水耕栽培によっても明らかに認められるところである(40)。いまその水耕栽培による alfalfa の刈取処理の部分写真を示すと写真1及び2の如く、刈取処理により明らかに根部の老化が認められ、また乾物重も明確に低下することが、水耕した alfalfa の刈取による根部の変化が認められた。これらの数値に対して無刈取の alfalfa は地上部、刈株、根部共その重量の減少は見られない。

写真 1



無 刈 取

写真 2



刈取後16日目

**Orchardgrass の収量:** この刈取処理による変化は刈株の僅少な減少となって現れるが、根部の減少も刈取後5~20日目の従属再生長期~伸長期において認められる。さきに、CRIDER F.J. (29) は smooth

第17表

再生長過程における生育概況

b Orchardgrass

生育時期 (刈取後日数)	草丈その他 (cm)			生草重 (t/ha)			乾物重 (t/ha)			乾物率 (%)		
	地上部	刈株	根部	地上部	刈株	根部	地上部	刈株	根部	地上部	刈株	根部
従属再生長期 (5)	12.0	7~8	30.0	1.43	0.80	14.9	0.17	0.85	2.83	11.9	10.6	19.0
転換期 (10)	22.0	7~8	25.0	4.29	10.6	12.9	0.50	0.90	2.32	11.7	3.5	18.0
独立再生長移行期 (15)	35.0	7~8	32.0	7.87	11.2	14.3	1.26	1.20	2.86	16.0	10.7	80.0
伸長期 (20)	43.0	7~8	27.0	13.73	10.9	14.3	1.95	1.20	2.49	14.2	11.0	17.4
充実期 (40)	62.5	7~8	32.0	16.02	0.92	22.9	3.02	1.27	4.00	18.2	13.8	17.5
葉身屈折始期 (40)	78.0	7~8	30.0	18.05	1.08	23.0	3.25	1.20	4.14	18.0	11.1	18.0
刈取期 (0)				19.72	1.08	18.3	3.57	1.27	3.45	18.1	11.8	18.9

bromegrass, tall fescue, orchardgrass などのイネ科牧草を、root box を用いて実験し根の活性を指標に刈取処理の根に及ぼす影響を明らかにしている。CRIDER によればイネ科牧草の多くは刈取処理により根の活性（この場合ピートモス上に新しく生じた白色根の数）を低下するが、それは刈込みの度合で異なり地上部の全容積のおよそ 50% 以上の刈込みは例外なしにこの活性を低下せしめたと報告している。また OSWALT, D.L. BEATRAN D. A.R. 及び TEEL M.R. 101) は一定の深さに施用した  $^{32}\text{P}$  の利用が刈取処理により (orchardgrass 及び bromegrass) おくれることを見出し、この事実から、間接的にはあるが、刈取処理が、根の活性を低下せしめることを報告している。著者の研究においても、この乾物重の低下は第 17 表 b の如く明らかであり、これはこれらの牧草の再生長過程を検討する上に重要な手がかりを得る第 1 段階であると思われる。

3) 地上部、刈株及び根部の乾物率

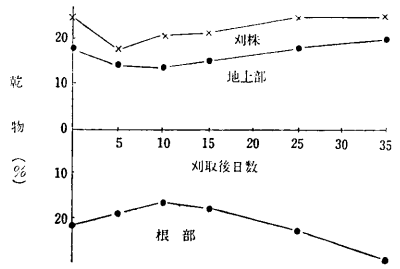
**Alfalfa の乾物割合：** この値は第 1 図の如く地上部、刈株は刈取処理によって一たんやや低下する。しかしその後直ちに含量を増大し、35 日目の開花中期では最初のそれより僅少な増大を示す傾向にある。これに対し根部は地上部刈株より およそ 5 日おくれ最低 16% 内外の含量を示すが、その後急激に増大して 35 日目では 28.3% の高乾物率となる。これが、無刈取の地上部で全生育期間を通じて大差なく刈株は低水分から次第に僅かずつ増大している。一方根部は 10~20 日後まで、急激に乾物重割合が、増大し盛んに貯蔵物質を集積している如くである。(これらの集積物質については次節で詳述する。)

**Orchardgrass の乾物割合：** この数値は、地上部、刈株については、alfalfa と類似の傾向を示す。すなわち刈取後 10 日目においてはかなりの乾物率の低下となる。しかし一方、根部の方の低下は見出し得ない。(これらの集積物については次節で記述する。第 2 図)

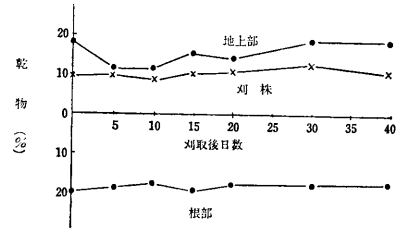
4) 乾物生産速度の推移

以上の如く刈取処理は地上部に対してもまた刈株及び根部の乾物量及びその率に対しても大きく影響するが、これらの再生長過程における乾物重の変化を経時的に如何なる傾向を示すかを明らかにする必要がある。

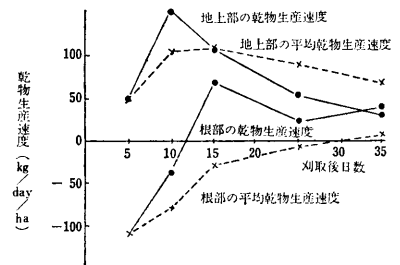
**Alfalfa の乾物平均生産速度：** この数値は第 3 図の如く、地上部では刈取後 15 日目の独立再生長期に最大平均生産速度 111 kg/day/ha を示す。その後は次第におそくなり 73 kg/day/ha となる。これに対して根部は刈取後 5 日目で -114 kg/day/ha の平均生産速度となっている。このことはたんに根部の集積物が低下するという事のみならず、この集積物が移動しているか、あるいは脱落していると考えなければ説明がつかない。しかしながらこの時期における地上部の増大は 52 kg/day/ha であり、根部の低下速度の 1/2 であり、また株部への移行も考えられない。従ってこの低下は土壤あるいは植物体外への相当量の移行を考えなければならない。これらの低下も刈取後 25 日目では増減せずほぼ一定の状態となる。



第 1 図 Alfalfa の再生長過程における乾物率の変化



第 2 図 Orchardgrass の再生長過程における乾物率の変化

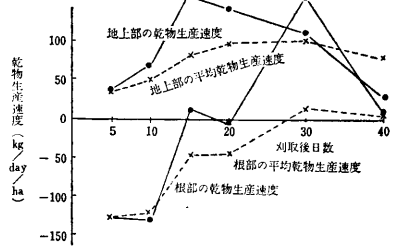


第 3 図 Alfalfa の再生長過程における乾物生産速度

**各生育期の乾物生産速度：** これらの関係を各生育期の乾物生産速度 kg/day/ha で見ると、地上部は刈取後5日目の従属再生長期で52kgであり極めておそいが、転換期の10日目では166kgでその3倍の速度となっている。その後は次第に低下し35日目開花中期では33kgとなる。この後半における速度の低下は7月末から8月下旬という本実験条件下では温度の影響という点にも十分考慮を払う必要があると思われる。これに対し根部は5～10日の従属再生長期～転換期では-114、-36kgであるが、15日目の独立再生長期では最も高く70kg/day/haとなり、その後はやや低下しつつ横ばいとなる。

**Orchardgrassの乾物平均生産速度：** これらの関係を各生育期までの乾物平均生産速度 kg/day/haで見ると、地上部は刈取後5日目の従属再生長期で34kg/day/haである。その後10～20日の転換期～伸長期と次第にその速度が加わり30日目の充実期では101kgと最高値を示し40日目の葉身屈折始期ではこの速度がやや低下して81.2となる。根部では刈取後5～10日目ではげしい根部の損失があるが、その後次第に速度を増し刈取後30日目では18kg/day/haとなりその後は横ばいとなる。

**各生育期の乾物生産速度：** 地上部のそれは刈取後は極めて遅く34kg/day/ha程度であるが、10日の転換期～15日の独立再生長期移行期と次第にその速度を増し、15日では最高の152kgとなる。その後は生育経過によって次第に低下し、40日目の葉身屈折始期では14kgとなる。これに対し根部では刈取後5日の従属再生長期で根からの脱落若しくは他部位への移行がはげしく-124、-126kg/day/haとなっている。その後は次第にプラスに向って速度を増し、30日後には18kg/day/haとなって、その後は等速度となる。



第4図 Orchardgrassの再生過程における乾物生産速度

以上のことから alfalfa においても orchardgrass においても、刈取処理によって根部の低下は明確でありその回復は alfalfa の方が orchardgrass よりも時間的には早いようである。しかしこれらの低下が主として如何なる要因によるかを、さらにその内容の面から明らかにすることは極めて望ましいことであろうが、これらについては次節で記述することとする。

5) 再生過程における無機養分の吸収

**無機養分の含有率：Alfalfa：窒素：** 地上部の含有率は刈取後5日目で最高値となりその後は35日目の開花中期まで次第に低下する。刈株及び根部は全期間を通じて大きな差異は示さない。

**磷酸：** 地上部の含有率は刈取5日目で最も高く、その後次第に低下して0.4%となるが、刈株と根部は刈取5日後まではやや高い含有率を示しているが、その後は急激に低下し、後次第に増大する。これらの急激な低下は根部に蓄積された澱粉の glucose-1-phosphate への転換と大いに関係していると考えられる<sup>35)</sup>が、一方これらの現象は水耕栽培の alfalfa では認められないことから<sup>43)</sup> PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> と Fe<sup>3+</sup> あるいは Al<sup>3+</sup> との結合も考えねばならぬところである。

**加里：** 加里の含有率は地上部、刈株、根部の各生育期を通じて大差なく、地上部3.0%、刈株で1.8%内外の含有率を示す。しかし刈取期と35日目の開花中期ではやや低下する傾向がある。

**カルシウム及びマグネシウム：** これらは各生育期で大きな差異を示さず、カルシウムは地上部で1.5%内外、刈株1～0.5%、根部で0.5%となっている。マグネシウムは地上部刈株、根部とも0.5%以下で各生育期を通じて大差を示さない。(第18表a参照)

**Orchardgrass：窒素：** この含有率は刈取後5～10日目の地上部においては4%程度の相当高い含有率であるが、生育の経過に伴い次第に低下し、40日目の葉身屈折始期では2.89%となる。この傾向は刈株でも類似するがその含有率は2%以下である。根部は1.2%内外で15日目の独立再生長期移行期で一たんやや低下するがその後は僅かに増加の傾向がある。

**磷酸：** 地上部は全生育期を通じて差異はないが、刈株根部では僅少である。

第 18 表 再生長過程における無機養分の含有率(%)

## a Alfalfa

生 育 時 期		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
開 花 中 期	T	2.88	0.44	2.40	2.08	0.32
	C	1.71	0.48	1.80	1.04	0.12
	R	1.59	0.62	1.50	0.28	0.30
従 属 再 生 長 期	T	4.43	0.96	3.10	1.60	0.36
	C	1.40	0.62	2.20	1.15	0.20
	R	2.10	0.67	1.70	0.36	0.34
転 換 期 (伸長期)	T	4.26	0.75	3.10	1.60	0.32
	C	1.36	0.05	1.70	0.89	0.32
	R	1.98	0.20	1.80	0.51	0.32
独 立 再 生 長 期	T	3.92	0.70	3.20	1.85	0.30
	C	1.44	0.11	1.70	0.67	0.20
	R	1.88	0.21	1.80	0.45	0.48
開 花 始 期	T	3.65	0.57	3.20	1.51	0.40
	C	1.28	0.14	1.80	0.62	0.20
	R	1.70	0.27	1.80	0.28	0.24
開 花 中 期	T	3.08	0.40	2.30	1.50	0.24
	C	1.70	0.16	1.50	0.50	0.22
	R	1.93	0.38	1.00	0.27	0.22

T = 地上部, C = 刈株, R = 根部

## b Orchardgrass

生 育 時 期		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
刈 取 期	T	2.90	0.53	4.50	0.56	0.32
	C					
	R					
従 属 再 生 長 期	T	3.99	0.53	5.00	0.56	0.32
	C	1.92		4.00	0.70	
	R	1.19	0.27	1.80	0.56	0.36
転 換 期	T	4.19	0.52	5.00	0.45	0.26
	C	1.85		4.00	0.73	0.36
	R	1.30	0.11	1.80	0.90	
独 立 再 生 長 移 行 期	T	3.82	0.54	5.20	0.56	0.32
	C	2.45		5.30	0.70	0.36
	R	1.04	0.16	1.60	0.56	
伸 長 期	T	3.40	0.60	4.60	0.65	0.40
	C	1.96		4.20	0.70	0.34
	R	1.26	0.10	1.00	0.58	0.34
充 実 期	T	3.18	0.48	5.00	0.56	0.40
	C	1.82		4.50	0.67	0.32
	R	1.38	trace	1.30	0.62	
葉 身 屈 折 始 期	T	2.89	0.58	4.70	0.56	0.32
	C	1.76		4.10	0.66	0.34
	R	1.34	trace	1.10	0.58	

T = 地上部, C = 刈株, R = 根部



**加里:** 地上部、刈株及び根部の含有率は各生育期を通じて大差なく、地上部で5.0、刈株で4.0、根部では1.5%内外である。しかし根部のみは生育の後期において若干低下の傾向がある。

**カルシウム及びマグネシウム:** 各生育期を通じて大差を示さない。(第18表b参照)

**無機養分の絶対量: Alfalfa: 窒素:** 地上部における窒素の絶対量は刈取後生育期の進むにつれて次第に増大するが、この傾向は磷酸、加里、マグネシウムについて共通している。カルシウムは生育の後期まで次第に増大する。

**Orchardgrass:** 地上部における窒素、加里、マグネシウムは刈取後次第に増加して、30日までに最高となり、その後は横ばいとなる。これに対して磷酸カルシウムは刈取後40日目の葉身屈折始期まで次第に増大した。(第19表参照)

第19表 再生長過程における無機養分の絶対量推移  
a Alfalfa (kg/ha)

刈取後日数 (生育時期)	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
開花中期	113.8	17.4	94.8	82.2	12.6
従属再生長期	11.5	2.5	8.1	4.2	0.9
転換期 (伸長期)	46.4	8.2	33.8	17.4	3.5
独立再生長期 (つぼみ期)	65.1	11.6	53.1	30.7	5.0
開花始期	82.1	12.8	72.0	34.0	9.0
開花中期	79.2	10.3	59.1	38.6	6.7

b Orchardgrass

刈取後日数	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
刈取期	103.5	18.9	160.7	19.9	11.4
従属再生長期	6.8	0.9	8.5	1.0	0.5
転換期	21.0	2.6	25.0	2.3	1.3
独立再生長移行期	48.1	6.8	65.5	7.1	4.0
伸長期	66.3	11.7	89.7	12.7	7.8
充実期	96.0	14.5	151.0	16.9	12.1
葉身屈折始期	93.9	18.9	152.8	18.2	10.4

6) 四要素の吸収速度

このような吸収量を示す牧草の各生育期の吸収速度は第20表の如くである。すなわち従属栄養期間と考えられる alfalfa の5~10日、orchardgrass における5~10日まではいずれの成分についても極めて吸収速度が遅く窒素で1.37~2.7 kg/day/ha であり、磷酸で0.2~2.7 kg/day/ha である。しかしその後の alfalfa 刈取後10日及び orchardgrass の刈取15~20日では独立栄養的な生長を行い、alfalfa では窒素で7.0、磷酸で1.12、加里で5.1、カルシウムで2.7 kg/day/ha とさきの吸収速度の2倍以上の速度を示す。これに対して orchardgrass では刈取後15日目で窒素と加里は最大値を示し、それぞれ5.5、8.1 kg/day/ha となっている。これに対して磷酸とカルシウムはややおくれて最大値が現れ、20日目に磷酸で1.0、カルシウムで1.12 kg/day/ha となっている。その後は alfalfa は吸収

速度が低下して、カルシウム以外は 35 日, orchardgrass では磷酸以外は 40 日の葉身屈折始期を過ぎるとほとんど養分吸収をしないかマイナスの吸収を示すようになる。すなわちこれは根部あるいは茎部への移行が考えられるところである。これらの問題については後日水耕法で明確に検討することとしたい。

第 20 表 各生育期における四要素の吸収速度 (kg/day/ha)  
a Alfalfa

刈取後日数 又は生育時期	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
開花中期 (刈取期)	-	-	-	-	-
従属再生長期	2.3	0.5	1.6	0.8	-
転換期 (伸長期)	7.0	1.1	5.1	2.6	-
独立再生長期 (つぼみ期)	3.7	0.7	3.9	2.7	-
開花始期	1.7	0.1	1.9	0.3	-
開花中期	-0.3	-0.3	-1.3	0.5	-

b Orchardgrass

刈取時期 又は生育時期	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
刈取期	-	-	-	-	-
従属再生長期	1.4	0.2	1.7	0.2	-
転換期	2.8	0.3	3.3	0.2	-
独立再生長期移行期	5.4	0.8	8.1	1.0	-
伸長期	3.6	1.0	4.8	1.1	-
充実期	3.0	0.3	6.1	0.4	-
葉身屈折始期	-0.2	0.4	0.2	0.1	-

### 3 摘 要

Alfalfa 及び orchardgrass を圃場に栽培し、その再生過程を前者は 5 生育期、後者は 6 生育期に分け、主として無機養分の吸収の立場に焦点を合せて検討し、次のような事実が明らかとなった。

1) Alfalfa の窒素及び磷酸含有率は地上部においては刈取後、従属再生長期で最高値となり、その後は開花中期まで次第に低下する。加里は生育期による差異は認められない。Orchardgrass の窒素含有率は刈取後伸長期で最も高く生育の経過に伴い次第に低下する。磷酸と加里は再生過程の全生育期で大差を示さない。

Alfalfa の地上部における無機養分の絶対量は刈取後開花始期まで生育期が進むにつれて次第に増大するが、この傾向は磷酸加里に共通している。Orchardgrass は、窒素、加里は刈取後次第に増加して充実期まで、磷酸は葉身屈折始期まで次第に増大した。その後は横ばいとなる。

2) 各生育期における地上部、刈株、根部の生草重及び乾物重は刈取処理により特異的に変化するが、とくに根部においては刈取後 alfalfa では転換期、orchardgrass では転換期～伸長期において各生育期を通じて最低となる。

3) Alfalfa の各生育期における乾物生産速度の最大は地上部では転換期(伸長期) 166 kg/day/ha で

あり、orchardgrass では独立再生長移行期で 152 kg/day/ha である。Alfalfa の平均乾物生産速度の最大は蕾期、orchardgrass は充実期にある。一方根部における乾物生産速度の最大は alfalfa で独立再生長期、orchardgrass で充実期、また平均乾物生産速度では開花中期、葉身屈折始期である。

4) Alfalfa 及び orchardgrass の四要素の吸収速度は従属栄養的な再生長期では極めてゆるやかな吸収を示すが、その後の生育期においては 2 牧草のいずれの成分についても、極めて早い吸収速度を示し、その後はやや急激に低下する。

### 第2節 牧草の再生長過程に於ける有機構成々分の変遷

著者は前節に於いて再生長過程においてとくに根重の変化が特徴的であることを確認した。すなわち刈取後一時根重は減少し、これが一定期間に再び恢復することを見出した。また地上部の再生長はその平均乾物生産速度から見てその最大は alfalfa で 15 日、orchardgrass では 30 日目であることを見出し、更にこの時期はその生育相から見てそれぞれ独立再生長期と充実期に該当することを明らかにし、そして更にこれらの再生長過程の養分吸収についても検討した。

本節では、これらの牧草が刈取後再生長するに当りその有機構成々分がどのようにに変遷するかを明らかにする目的をもって、以下の研究計画に基づいて行った結果について報告する。

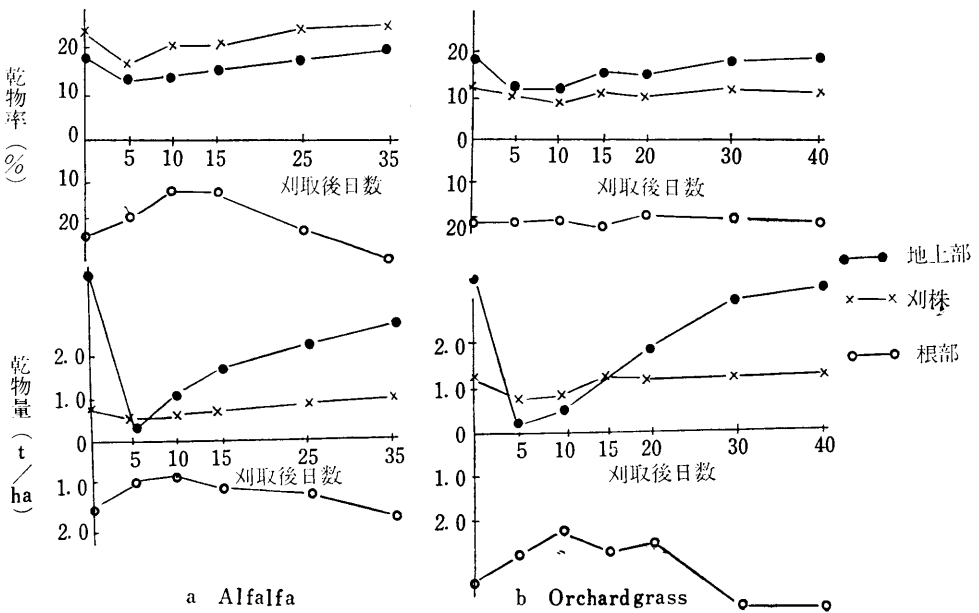
#### 1 研究方法

本研究に供試した試料は前節において用いたものと全く同一のものである。純蛋白の分析は STUTZER 法、粗繊維は A.O.A.C. 法、粗脂肪は SOXHLET 抽出器によるエーテル抽出法によった。全可消化養分は MORRISON の法に従って算定した 28)。

#### 2 実験結果並びに考察

##### 1) 再生長過程における生育概況

本研究に用いた牧草すなわち alfalfa と orchardgrass の生育概況は、第 5 図 a 及び b の如くであ



第 5 図 再生長過程における乾物率と乾物量の推移

る。Alfalfaにおいては刈取後地上部が次第に増大し、25日目の開花中期ではほぼ最大乾物量となる。これに対して刈株は刈取後5～10日目で若干の低下を示すが、大局的に見て大差を示さない。しかし根部の乾物量は刈取後5～10日目の従属再生長期から転換期へと急激に低下しほとんど $\frac{1}{2}$ 程度となるがその後は次第に回復して35日目の開花中期では刈取時以上の根重となる。これらの乾物率を見ると地上部、刈株、根部とも5～10日目の再生長期初期において減少が認められ、その後は再び増大して35日目の開花中期には地上部、刈株ではほぼ刈取時の含有率となるが、根部においては刈取時以上の含有率を示す。

Orchardgrassについてこれらの傾向を見ると、乾物重についてはほぼ類似の傾向を示す。しかし刈取後の根部における減少量は alfalfa 程ではない。また乾物率は地上部と刈株の刈取後5～20日目すなわち従属再生長期から伸長期まではやや低下する。しかし根部の低下は見出し得なかった。

## 2) 各生育期に於ける有機構成成分の含有率

このような再生長期概況を示す牧草の各生育期における主な有機構成成分を検討すると、次の如くである。(第21表a及びb参照)

第21表 再生長期過程における有機構成成分含有率(乾物中%)

### a Alfalfa

生育時期	刈取期 (開花中期)	従属再生長期	転換期	独立再生長期	開花始期	開花中期	
刈取後日数	0	5	10	15	25	35	
粗蛋白質	T	18.1	27.7	26.6	24.5	22.8	19.3
	C	10.7	8.8	8.4	9.0	8.0	10.6
	R	9.9	13.1	12.4	11.8	10.6	12.1
粗脂肪	T	4.4	3.6	5.0	5.1	3.3	3.1
	C	2.4	1.8	1.9	1.9	1.2	1.7
	R	2.5	2.0	2.4	1.5	0.9	1.7
粗繊維	T	30.5	32.2	21.0	23.7	30.5	39.4
	C	57.5	53.1	64.3	61.3	66.5	59.8
	R	30.7	38.4	47.3	43.6	35.0	25.3
可溶性無窒素	T	30.3	17.2	25.8	27.8	24.8	21.5
	C	12.6	17.0	3.8	9.2	5.7	11.2
	R	40.1	26.7	16.3	24.2	34.9	44.2

### b Orchardgrass

T=地上部, C=刈株, R=地下部

生育時期	刈取期	従属再生長期	転換期	独立再生長期移行期	伸長期	充実期	葉身屈折始期
刈取後日数	0	5	10	15	20	30	40
粗蛋白質	T	18.1	24.9	26.2	23.9	21.3	18.1
	C		12.0	11.6	15.3	12.3	11.4
	R		7.4	8.1	6.5	7.9	8.6
粗脂肪	T	5.0	5.3	5.7	5.3	5.7	5.0
	C		2.1	2.3	2.4	2.2	2.8
	R		1.0	1.4	0.8	1.4	1.0
粗繊維	T	35.3	26.5	27.9	24.0	28.3	30.0
	C	38.0	38.1	37.8	37.1	26.0	30.4
	R	26.5	20.5	21.3	28.5	36.0	28.3
可溶性無窒素	T	21.6	21.3	19.6	24.7	23.8	27.3
	C		25.7	27.1	23.1	38.6	32.6
	R		49.0	48.0	42.1	33.8	41.2

**粗蛋白：**地上部のこの含有率は刈取時と刈取後5日目では大きく異なる。すなわち前者では18%であるが後者では27.7%である。しかしその後生育が進展するにつれてこの含有率は次第に低下する。この傾向は alfalfa 及び orchardgrass に共通している。

**粗脂肪：**Alfalfa では刈取後一度やや低下するが、その後増大する。しかし刈取後25~35日後では3%程度となる。これに対して orchardgrass では刈取期と刈取後40日目の葉身屈折始期では5%程度であるが、その中間の期間は少しく増大する如くである。

**粗繊維：**地上部の粗繊維は10~15日目の再生長初期ではかなり低下するが、その後は次第に増大して35日目の開花中期では39.4%となる。これに対して刈株、根部では10~15日にやや増大する傾向があり、その後はやや低下する。これに対してこの期間の無刈取 alfalfa は地上部、刈株とも一方的に、しかも僅かずつ増大する傾向にある。しかし根部のそれは生育の進むにつれてやや低下する傾向を示す。これが主因は後述する如く根部への澱粉の集積によって相対的に粗繊維の含有率が低下するものと考えられる(写真3, 4, 5参照のこと)。Orchardgrass の粗繊維含有率は地上部、刈株、根部のいずれも30%内外であり、とくに根部は刈取後5~10日で若干低下し、20%内外となるが、その後は次第に増大し20日後の伸長期では36%となる。

**可溶性無窒素物：**刈取時には alfalfa, orchardgrass 共やや多く、前者で30.3, 後者で21.6%である。刈取後5~10日目の再生長初期ではやや低下し、前者の5日で17.2, 後者の10日目で19.6%となる。その後両者とも一度増大し前者の35日, 後者の40日目ではやや低下して21.5と27.3%となる。

### 3) 有機構成々分の絶対量(第22表 a, b 参照)

地上部における絶対量は以下の如くである。

**粗蛋白：**刈取後生育経過に伴い次第に増大し alfalfa では25日目の開花始期, orchardgrass では30日目の充実期で最大となり、その後は横ばいとなる。

**粗脂肪：**刈取後 alfalfa の15日目の独立再生長期, orchardgrass では30日目の充実期に最大となる。

**粗繊維：**Alfalfa においても orchardgrass においても刈取後生育経過に伴いほとんど直線的に増大する。

**可溶性無窒素物：**刈取後 alfalfa では25日目の開花始期 orchardgrass では30日目の充実期で最高となり、その後は横ばいとなる。

以上の数値から alfalfa では刈取後およそ15日まではかなり高い有機構成々分の集積が認められるが、その後はほとんど集積されていない。さきに報告した無刈取 alfalfa の生育経過と比較して見ると39)その前半の5~15日の間はやや類似した生育状態を示すが、その後は全く異なり、無刈取の alfalfa においては、その集積は直線的に増大しているのにこの再生長過程のそれは15日で早くも横ばいとなっている。

これらの原因を解明する目的で刈株と根部の有機構成々分の絶対量を算出して見ると、第22表の如くに粗蛋白、粗脂肪、粗繊維については時期により比較的には大きな変化を示さない。ところが、可溶性無窒素物は刈取後の日数で大きく変動する。すなわち、刈株、根部共10日目では極端に低下し、その後はげしく増大する。この傾向はとくに根部において顕著で、同じ傾向がその含有率についても示される。従って alfalfa の刈取後25日目以後の地上部における可溶性無窒素物の増加がないのは、主として根部へ移行しているとも考えられる。しかし温度による変化も無視出来ないであろう。これらについては後述することとする。これ程の傾向は orchardgrass には見当らないが、しかし刈取後20日目の伸長期ころにおける低下がありその後増大している。従って orchardgrass においては根部と地上部の可溶性無窒素物は同時に増大することが考えられる。

しかし一方 alfalfa の刈取後5~15日目, orchardgrass の20日目の根部における可溶性無窒素物

第22表

a Alfalfa 再生過程における有機構成成分の絶対量 (kg/ha)

生育時期		刈取期	従属再生期 長	転換期	独立再生期 長	開花始期	開花中期
粗蛋白質	T	71.5	72	290	407	511	496
	C	9.1	51	59	63	67	94
	R	15.1	12	96	132	146	215
粗脂肪	T	174	9	55	85	74	80
	C	20	10	13	13	10	15
	R	38	19	19	17	12	30
粗繊維	T	1205	84	229	393	683	1013
	C	489	308	450	429	559	532
	R	467	365	364	488	483	450
可溶性無窒素物	T	1197	45	281	462	556	553
	C	1075	99	27	64	48	100
	R	609	254	126	271	482	787

b Orchardgrass

生育時期		刈取期	従属再生期 長	転換期	独立再生期 長	開花始期	充実期	葉身屈折 始期
粗蛋白質	T	646	42	131	301	415	601	588
	C		102	104	189	148	149	132
	R		209	188	186	197	344	348
粗脂肪	T	179	9	29	67	111	169	163
	C		18	21	29	26	36	26
	R		28	33	23	35	40	41
粗繊維	T	1260	45	140	302	552	734	975
	C	483	324	340	445	312	437	366
	R	914	580	497	815	896	1216	1171
可溶性無窒素物	T	771	36	98	311	464	948	887
	C		218	244	277	463	414	440
	R		1387	1114	1204	842	1648	1767



写真5 3の後2週間毎3度刈取

写真4 3の後2週間毎2度刈取

写真3 適期刈取

(いずれも刈取後10日目)

の減少に注目しないわけにはいかない。この現実を 検討するため、いま無刈取 alfalfa と刈取後 2 週間毎連続的に 2 度刈取った alfalfa, 2 週間 3 度刈取った alfalfa を 試料として 根冠から 2.5 cm 下方の根部から切断切片を作製して顕鏡したのが写真 3～5 に示したものである。この写真は切片を過沃素酸カリ液で染色しているので黒化して見えるのはいずれも澱粉粒と考えられる。写真 3 を見ると明らかに各細胞中に澱粉粒が充填していることが認められる。これに対して刈取回数を増大すると写真に示されるように澱粉粒が刈取処理によって減少してくる。この刈取処理を更にはげしく繰返すと写真 5 のように細胞中の澱粉粒は極度に減少していることが確められる。これらの事実から少なくとも alfalfa の刈取処理は根部の有機成分とくに可溶性無窒素物に関係する、主として澱粉と考えられる部分が 1 時的に極端な減少を招来するものと結論することが出来る。

これが, orchardgrass については主として fructosan であり, 刈取処理により変化することが, DRAKE, M. らにより認められている 20)。

4) 生育各期の TDN 量 (kg/ha) とその生産速度 (kg/day/ha)

牧草の飼料価格を評価する一方法として MORRISON らの全可消化養分法(TDN)が、一般に用いられている。いまこの方法により再生長過程におけるその絶対量を求めて見ると第 23 表の如くである。

**Alfalfa:** 刈取後 5～15 日目までは直線的に増大し、その後はやや速度を減じて 35 日まで僅少な増大が認められる。しかしこれを各生育期の TDN 生産速度で見ると刈取後 10 日において最大であり、その前後はいずれもその速度は遅い。これらの刈取後各生育期までの平均 TDN 生産速度で検討すると、刈取後 15 日目の独立再生長期(蓄期)までは直線的に速度が増大するがその後は次第に低下し 35 日目の開花中期に至る

第 23 表 生育各期における TDN 量とその生産速度  
a Alfalfa

生育時期	刈取期	従属再生長期	転換期	独立再生長期	開花始期	開花中期	刈取期
地上部の TDN の絶対量 (kg/ha)	2005.3	126.5	542.8	856.6	1109.3	1249.1	
生育各期の TDN 生産速度 (kg/day/ha)		25.3	83.3	62.8	25.3	14.0	
各生育期までの平均生産速度		25.3	54.3	57.1	44.3	35.7	

b Orchardgrass

生育時期	刈取期	従属再生長期	転換期	独立再生長期移行期	伸長期	充実期	葉身屈折始期
地上部の TDN の絶対量 (kg/ha)	1741.6	79.5	240.2	590.5	936.7	1486.6	1587.6
生育各期における TDN 生産速度		15.9	32.1	70.1	69.2	55.0	10.1
各生育期における平均生産速度		15.9	24.0	39.4	46.8	49.6	39.7

**Orchardgrass:** この絶対量は刈取後 35 日目の葉身屈折始期まで増大する。また各生育期の TDN 生産速度は刈取後次第に増大して 20 日目で最高となり、69.2 kg/day/ha となるが、その後 30～40 日と次第に低下する。その各生産期までの平均 TDN 生産速度は 30 日目の充実期の 49.6 kg/day/ha が、最大で 40 日目の葉身屈折始期では 39.7 kg/day/ha と低下している。

## 5) 再生長過程の純蛋白と全炭水化物

一般に粗蛋白や可溶性無窒素物が牧草の栄養評価のために用いられるが、しかし窒素に対する加里の供給の不足は非蛋白態窒素を多くするという報告もある<sup>85)</sup>。一方、牧草の栄養評価の一方法として、MORRISON らの方法に対して正味エネルギーの方式を MCCULLOUGH<sup>82)</sup> は提唱している。これらことから牧草の再生長過程における有機構成々分を更に詳細に検討する目的をもって純蛋白と全炭水化物を測定した。これらの値は第 24 表及び第 25 表の如くである。

第 24 表

a Alfalfa 純蛋白質含有率とその絶対量

生育時期	刈取期	従属再生期	転換期	独立再生期	開花始期	開花中期	
含有率 (%)	T	11.3	18.3	17.2	18.1	13.6	14.6
	C	7.3	7.2	6.9	6.1	5.8	8.3
	R	6.9	10.9	8.5	8.3	6.9	7.8
絶対量 kg/ha	T	446.4	47.6	187.5	300.5	309.1	375.2
	C	62.1	41.8	48.3	42.7	48.7	73.9
	R	104.9	103.6	65.5	93.0	95.2	138.8

b Orhardgrass

生育時期	刈取期	従属再生期	転換期	独立再生期	伸長期	充実期	葉身屈折始期
含有率 (%)	T	11.8	18.9	18.0	18.4	17.0	14.6
	C	-	8.1	7.6	7.8	8.5	8.8
	R	-	6.4	6.9	6.4	6.3	6.6
絶対量 kg/ha	T	421.3	32.1	94.5	226.8	358.8	474.5
	C	-	69.0	68.4	96.6	102.0	94.0
	R	-	181.1	160.1	183.0	156.9	264.0

第 25 表

a Alfalfa 全炭水化物の含有率とその絶対量

生育時期	刈取期	従属再生期	転換期	独立再生期	開花始期	開花中期
含有率 (%)	T	11.6	4.6	10.2	10.3	9.0
	C	14.0	9.4	10.2	5.8	13.2
	R	37.2	19.8	12.8	17.8	34.0
絶対量 kg/ha	T	458.2	12.0	111.2	169.3	201.6
	C	119.0	54.5	71.4	40.6	110.9
	R	565.4	188.1	98.6	199.4	469.2

b Orchardgrass

生育時期	刈取期	従属再生期	転換期	独立再生期	伸長期	充実期	葉身屈折始期
含有率 (%)	T	17.0	12.6	11.2	14.0	13.8	15.8
	C	25.9	17.8	15.6	16.6	18.2	22.2
	R	20.5	18.4	16.4	15.8	21.0	19.8
絶対量 kg/ha	T	606.9	21.4	56.0	176.4	269.1	513.5
	C	328.9	151.3	140.4	199.2	218.4	266.4
	R	707.3	520.7	380.5	451.9	522.9	819.7

**Alfalfa: 純蛋白:** 刈取後 10 日目までは地上部は 18%内外のかなり高い含有率であるが、その後はやや低下して 14%内外となる。その絶対量は刈取後 15 日目までは急激に増大するが、その後はほとんど



横ばいで、35日目の開花中期でも15日目の独立再生長期（蕾期）以後の増大は僅少である。

**全炭水化物：**この含有率では刈取期は11.6%であるが、刈取後5日の従属再生長期で4.6%とはげしく低下する。その後5日では再び旧に復して10.2%となり、その後は含有率には大差を示さない。しかしその絶対量を見ると刈取後35日目の開花中期までは次第に増大するが、15日目までの増大が後半のそれに比較して極めて大である。

**Orchardgrass：純蛋白：**地上部のこの含有率は刈取後10日目まではほとんど差異なく、その後次第に低下して刈取後40日では14.6%となる。しかしその絶対量では生育経過に伴い増大し、30日目では最大の513.4 kg/haとなり、その後は増大が認められない。

**全炭水化物：**この含有率では刈取時17.0%が刈取後5～10日の再生長期初期には低下し11.2%となり、その後は生育の経過に伴い次第に増大して40日目で15.8%となる。一方その絶対量では生育の経過に伴い30日まで増大しつづける。刈株根部の純蛋白含量は大差がないが、絶対量は刈取により一時低下した後再び増大する。炭水化物は含量、絶対量とも刈取により低下した後再び増大する。

### 3 摘 要

単播した alfalfa と orchardgrass を用い、その刈取後の再生長期における有機構成成分の集積移動を検討するため、粗蛋白、粗脂肪、粗繊維、可溶性無窒素物及び純蛋白、全炭水化物を測定し、次の事実が明らかとなった。

1) 粗蛋白の含量は両牧草の地上部において刈取後5日の従属再生長期に極めて高く、その後生育経過に伴い低下する。粗脂肪は alfalfa では刈取後10～15日で5%それ以外は3～4%の範囲にあり、orchardgrass はおよそ5%内外である。粗繊維は10～15日の再生長期初期ではかなり低下する。その後の時期では増大する。可溶性無窒素物は刈取期にやや高く刈取処理により低下した後再び増大する。

2) これらの有機構成成分の絶対量は粗蛋白については alfalfa で25日の開花始期、orchardgrass では30日の充実期に最大となる。粗脂肪では15及び30日、粗繊維では生育経過に伴い増大する。可溶性無窒素物は25日の独立再生長期 orchardgrass で30日の充実期に最大となる。

3) TDN量は alfalfaで15日、orchardgrass で35日のそれぞれ独立再生長期、葉身屈折始期が最大である。その各生育期における生産速度の最大は前者で10日の転換期、後者で20日の独立再生長期移行期である。またその平均生産速度の最大は前者が15日で56.4 kg/day/ha、後者が30日で49.6 kg/day/ha である。

4) 地上部の純蛋白含有率は、両牧草とも再生長期の初期に高く後期に低下する。全炭水化物含量は、alfalfa では刈取後5～15日、orchardgrass では10～15日に最低となり後次第に増大する。

## 第4章 牧草の初期生育の特殊的意義とそれに及ぼす土壌及び施肥条件の影響

従来牧草はしばしば造成段階と維持管理段階に分けて考えられている<sup>70)</sup>。すなわち、前段階は発芽から第1回刈取までの時期をいい、後段階は刈取後の再生長、発芽、刈取りの繰返しの段階である。これは放牧利用の場合においても原則的に変わるものではない。

著者はこれまで正常に栽培された牧草類の無機養分吸収並びに有機構成成分の変遷をそのあるがままの姿として捕えてきた。その結果、供試した alfalfa 及び orchardgrass は第26表 a 及び b のごとく二つの大きな生育段階に分けられることを見出した<sup>38,39,40,41)</sup>。従って実際栽培の合理的方法を検討しようとする場合は、この両段階を別々に論ずることが望ましいと考えられる。とくに前段階におい

第 26 表

a Alfalfa

牧草類の造成段階と維持段階の比較

	造成段階 (各速度の極)			維持段階 (各速度の極)		
	発芽後 日数	生育期	速度	刈取後日数	生育期	速度
平均乾物生産速度 (kg/day/ha)	88	開花終期	74.2	15	独立再生長期	111.0
平均窒素吸収速度	73	開花中期	2.3	15	独立再生長期	4.3
平均加里吸収速度	73	開花中期	1.7	15	独立再生長期	4.2
平均 TDN 生産速度	88	開花終期	36.4	15	独立再生長期	57.0
平均純蛋白生産速度	73	開花中期	11.5	15	独立再生期	20.0

b Orchardgrass

	造成段階 (各速度の極)			維持段階 (各速度の極)		
	発芽後 日数	生育期	速度	発取後日数	生育期	速度
平均乾物生産速度 (kg/day/ha)	81	葉身屈折期 葉開始	42.7	30	充実期	101.0
平均窒素吸収速度	81	〃	1.1	30	〃	3.2
平均加里吸収速度	81	〃	2.0	30	〃	5.0
平均 TDN 生産速度	137	下葉枯期	2.25	30	〃	49.6
平均純蛋白生産速度	81	葉身屈折始期	4.8	30	〃	17.1

での生長速度は遅く、種々の環境条件、とくに土壤条件並びに肥料条件によって影響されるところ極めて大である。このことはまた反対に、一度造成された牧草は極めて旺盛な養分吸収を示し、盛に栄養生長を行うものであり、その必要最少限の条件を与えるならば容易に荒廃するものでないことを示すものであろう(45)。

よって著者は以下に牧草類の発芽並びに初期生育に限定して研究を進めることとする。

### 第 1 節 牧草の発芽並びに初期生育に及ぼす肥料濃度の影響 (その 1)

任意の土壤において牧草の生産を大きくしようと望むならば、まず牧草の発芽並びにその後の生育が良好である必要がある。半年間牧草収量を大きくしようとすれば極めて多量の施肥を試みなければならない。このような肥料の多投は必然的に牧草の発芽並びに初期生育を妨げるものである。このような関係を解決せずしては牧草の合理的施肥は成立し得ない。よって本研究においてはまずその前半の問題点を解決するため窒素、リン酸及び加里肥料の施用量を異にした圃場に alfalfa 及び orchardgrass をそれぞれ単播し、発芽並びに初期生育に及ぼす肥料濃度の影響を検討した。

## 1 実験計画

この研究には既に記述したごとく(38)、酪農学園大学圃場を用いその土壤の性質は第 2 表のごとくである。この圃場の内、前作馬鈴薯畑に厩肥 50 t/ha を施用し、4 月 21 日耕鋤後、alfalfa の圃場については炭酸カルシウムを 2.0 t/ha を、orchardgrass の圃場については 0.5 t/ha を全面散布し、ローターペーターで表層 10 cm に混合し、pH をそれぞれ 6.0 と 5.6 とした。この圃場に対して 5 月 1 日第 27 表の

第27表 肥料の施用設計

	硫	安	尿	素	過	石	熔	磷	硫	加
無肥区	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
窒素試験										
無 N 区	-	-	-	-	100	-	-	-	100	200
N 100 区	50	-	-	-	100	-	-	-	100	200
N 200 区 (標準区)	100	-	-	-	100	-	-	-	100	200
N 300 区	150	-	-	-	100	-	-	-	100	200
N 400 区	200	-	-	-	100	-	-	-	100	200
N 500 区	250	-	-	-	100	-	-	-	100	200
N 600 区	300	-	-	-	100	-	-	-	100	200
N 700 区	350	-	-	-	100	-	-	-	100	200
磷酸試験										
無 P 区	100	-	-	-	-	-	-	-	-	200
P 100 区	100	-	-	-	50	-	-	-	50	200
P 200 区	100	-	-	-	100	-	-	-	100	200
P 300 区	100	-	-	-	150	-	-	-	150	200
P 400 区	100	-	-	-	200	-	-	-	200	200
P 500 区	100	-	-	-	250	-	-	-	250	200
P 600 区	100	-	-	-	300	-	-	-	300	200
P 700 区	100	-	-	-	350	-	-	-	350	200
加里試験										
無 K 区	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K 100 区	100	-	-	-	100	-	-	-	100	100
K 200 区	100	-	-	-	100	-	-	-	100	200
K 300 区	100	-	-	-	100	-	-	-	100	300
K 400 区	100	-	-	-	100	-	-	-	100	400
K 500 区	100	-	-	-	100	-	-	-	100	500
K 600 区	100	-	-	-	100	-	-	-	100	600
K 700 区	100	-	-	-	100	-	-	-	100	700

註：いずれも N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O としての量 (kg/ha)

ごとき設計区分により肥料を全面散布し 10 cm の深さに混合施肥した。Alfalfa は Williamsberg 種を用い、5 月 1 日に 50 cm の畦巾で 10 kg/ha を播種した。また orchardgrass はウクライナ種を用い 5 月 15 日に 10 kg/ha を同じく条播した。また alfalfa については 5 月 5 日斜面寒天培養を行なった試験管 20 本分の根粒菌を微温水およそ 200 l に稀釈し、これを 1 ha の畦上に噴霧しレーキを用いて軽く覆土した。なお細部の実験法についてはその都度記述することとする。

2 実験結果並びに考察

1) 生育概況

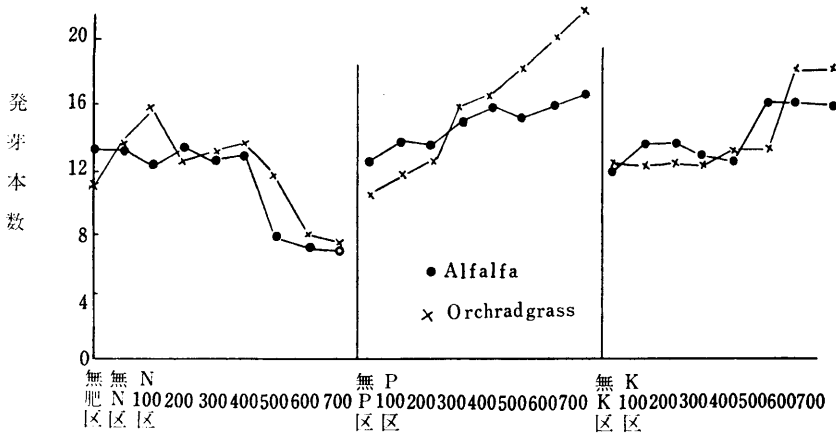
Alfalfa 及び orchardgrass の生育概況はほぼ同様の傾向を示した。Alfalfa の発芽後 40 日目、orchardgrass の 25 日目の写真は 6~7 の如くである。

- 無肥区： 発芽は順調であるが生長は貧弱である。
- 無窒素区： 発芽が不斉一で生育も不揃いである。
- 窒素 700 区： 発芽は極めて不良であり、その後の生育も不良である。
- 無磷酸区： 発芽はやや不良でその後の生育も悪い。
- 磷酸 700 区： 発芽良好にしてその後の生育も極めて良好である。
- 無加里区： 発芽は良好であるがその後の生育も良好である。
- 加里 700 区： 発芽は良好であるが、その後の生育は標準区と変わらない。
- 標準区 (各 200 区)： 発芽良好にして、その後の生育も順調である。

これらの写真に示されるごとく、無肥料、無窒素、無磷酸区はいずれも発芽が不良であり、しかもその後の生育も不良である。しかし窒素 700 kg 施用は発芽を不良にし、またその後の生育も不良にする。これに対して磷酸 700 区は発芽は勿論その後の生育も極めて良好である。加里は施肥量に関係なく発芽、生育ともに良好である。このことは窒素質肥料は無肥区と窒素 700 区との間に、磷酸は 700 区以上のところに、加里はこの条件ではいかなる施用量下でも発芽並びに初期生育の良好な点が、見出される可能性を暗示するものである。TELL ら<sup>101)</sup>によれば窒素の施用量の増大は根部の直径を大にするが伸長を低下せしめると述べている。またこのことは石塚、林ら<sup>50)</sup>によっても認められているところである。

2) 発芽個体数並びに草丈

各区において、その発芽個体数を測定した値は第 6 図のごとくである。すなわち、無肥区から窒素 400 区まではこの数値に差異を示さないが、それ以上の窒素施用は明らかに発芽個体数を減少せしめる傾向がある。磷酸についてのそれは施用量の増加に伴ない 700 区まで直線的に増大する。別に行なった試験によるとこれを更に増大した場合 ha 当たり 1300 kg 位までは上昇するが、それ以上は個体数を減少する。加里は 500 区までは大差を示さないが、それ以上の施用はやや急激に個体数を増加している。



第 6 図 施肥量の相違による発芽個体数の変化

このような傾向を持って発芽した牧草の草丈について発芽後 40 日後に測定した値は、第 7 図のごとくである。窒素の施用量の増加に伴ない窒素 100 区までは alfalfa では増大するが、その後は次第に低下している。しかし orchardgrass では 600~700 区において若干低下する程度である、磷酸については 700

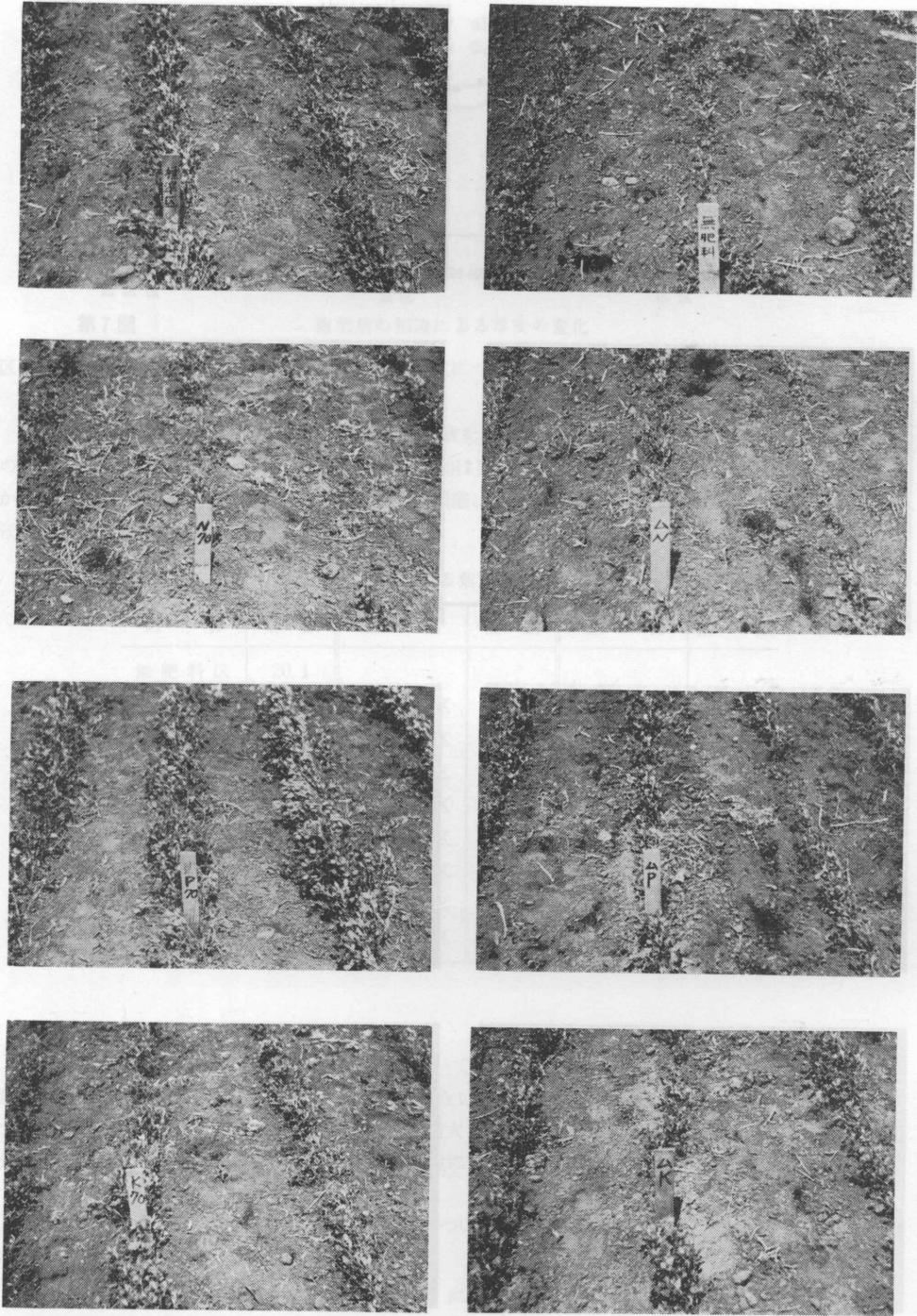


写真6 上左から下方へ、標準区、N 700区、P 700区、K 700区

上右から下方へ、無肥料区、無窒素区、無磷酸区、無加里区 (Alfalfa)

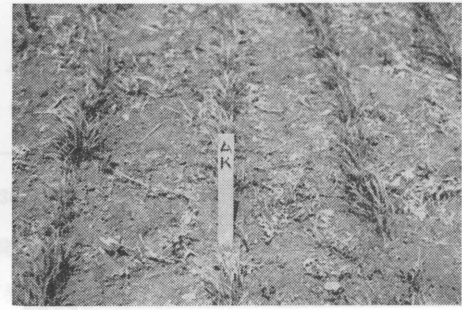
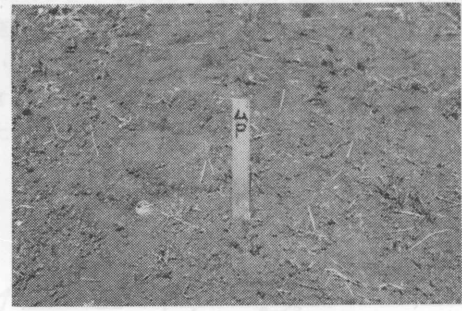
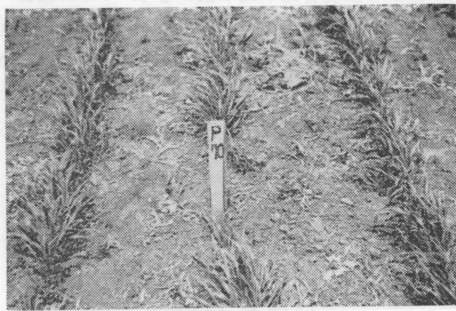
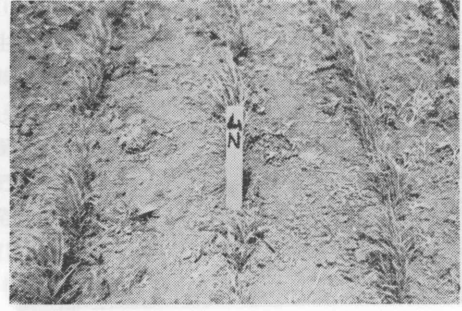
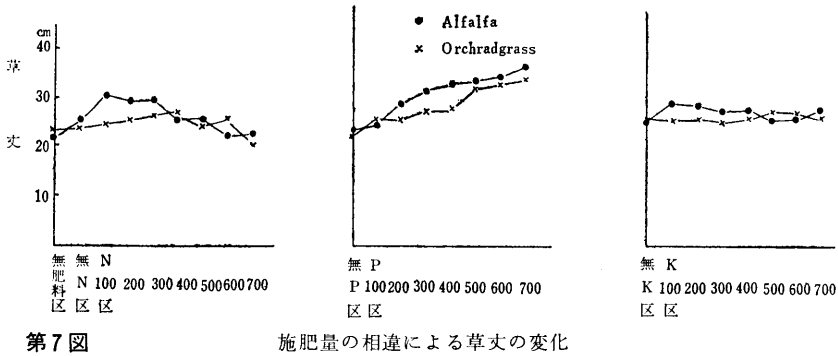


写真7 上左から下方へ、標準区、N 700区、P 700区、K 700区  
上右から下方へ、無肥料区、無窒素区、無磷酸区、無加里区。(Orchardgrass)



第7図 施肥量の相違による草丈の変化

区まで施肥量の増大に伴ない草丈は増大する。加里については明瞭な傾向は認め難い。

3) 施肥量の相違による葉数の変化

次に発芽後40日の伸長期における alfalfa の葉数を調査した結果は第28表のごとくである。これらの数値の示すごとく、窒素施用量300kgまでの増加は葉数の増加となって現れるが、それ以上の施用はかえって葉数の減少の方向に働くごとくである。磷酸はその施用量が増大するにつれて増大する傾向を示す。また加里は一定の傾向を示し難い。

第28表 施肥量の相違による葉数の変化 Alfalfa

区名	葉数	区名	葉数	区名	葉数
無肥料区	20.1				
無N区	22.0	無P区	26.6	無K区	27.3
N100区	23.5	P100区	28.3	K100区	30.6
N200区	29.5	P200区	29.5	K200区	29.5
N300区	29.9	P300区	30.0	K300区	31.0
N400区	25.0	P400区	37.2	K400区	29.0
N500区	22.5	P500区	33.5	K500区	27.4
N600区	20.9	P600区	34.7	K600区	29.5
N700区	21.6	P700区	33.6	K700区	30.0

4) 分けつ数の調査

発芽後35日目の orchardgrass の分けつ期において調査した分けつ数は第29表のごとくである。無肥区においては標準区に比して極端に分けつが少ない。窒素施用量300kgまでの増加は明らかに分けつ数を増大するが、それ以上の施用は分けつ数を増大しない。磷酸の施用量の増大も磷酸300kgまでは次第に分けつを促進せしめる。加里のそれは施用量による変化は見当らない。

5) 茎数の調査

伸長期の6月28日、発芽後43日目の alfalfa について測定した茎数は肥料の種類によりまた施肥量の多少により一定の傾向は見出し難かった。

以上のように alfalfa においても orchardgrass においても、窒素、磷酸及び加里の施用量の増減により発芽個体数に差異を生ずる。すなわち窒素施用量の増加は硫酸と尿素の broadcasting によるこの施肥法では200~300kg/ha までは好影響を示さず、それ以上の施用は極端に発芽本数を減少せしめ

第29表 Orchardgrass の分けつ数

区 名	分けつ数	区 名	分けつ数	区 名	分けつ数
無肥料区	1.5				
無 N 区	2.7	無 P 区	2.5	無 K 区	4.0
N 100 区	3.3	P 100 区	3.2	K 100 区	4.0
N 200 区	3.6	P 200 区	3.6	K 200 区	3.6
N 300 区	4.4	P 300 区	4.0	K 300 区	3.3
N 400 区	3.3	P 400 区	4.1	K 400 区	3.4
N 500 区	3.9	P 500 区	3.8	K 500 区	2.9
N 600 区	4.0	P 600 区	4.3	K 600 区	3.6
N 700 区	3.5	P 700 区	4.0	K 700 区	3.1

る。草丈は 300 kg/ha の付近が最高であり、この傾向は葉数、分けつ数にも認められる。窒素施用量を 0~700 kg まで変化せしめた本実験条件下においては、alfalfa についても orchardgrass についても窒素 300 kg のところが最良であると言えるが、しかしこの施肥法は broadcasting であるから、実際の初期生育のために働いている肥料は band system によって施用された肥料と同程度のものが利用されていると考えるのが妥当であろう。これらの原則から計算して、窒素の施用量何 kg が最も初期生育を良好にするかについては次節で詳述することとする。

磷酸についてはその施用量 700 kg までの増加は発芽数、草丈、葉数、分けつ数を増大せしめた。また 700 kg 以上 1600 kg までの施肥量についてもその影響を検討したが、1200 kg 程度が限度であり、それ以上の施用は明らかに初期生育を不良とする (36, 44)。磷酸は出来る限り種子に近接して施用することが望ましいことは既に多くの研究から明らかなことである (22, 23, 120)。石塚、林の研究 (60) によれば磷酸の red clover 生育に対する限界濃度は 500kg/ha であるとされている。これらの結果からも磷酸肥料の施用量の増加は望ましく、また土壤中磷酸の牧草による利用の特性 (47) から考えても基肥に多くの磷酸肥料を用い後の追肥量を減じて行くことが望ましいと思われされる。

加里については施肥の増減により明瞭な変化は認め難く、土壤中加里若しくは堆肥中の加里が供給されていると考えられる。肥培管理のやや行きとどいた土壤では初期生育のための加里肥料の施用はそれ程重要な役割を演じないと考えられる。いまこれらの土壤の牧草生育に関係深いと思われる置換性加里を測定して見ると、既に第2表に示したごとく、0.43 me で乾土 100 g 中 20.2 mg の加里が存在する。三須ら (87) によれば土壤中の置換性加里は ladino clover の収量と極めて高い相関があることを報告しているが、本試験圃場の3回刈取後の土壤の置換性加里は第30表のようであり、加里施用により次第にその量は増大しているが、しかしこの数値の 20 mg 以上では牧草の生育が極めて良好である。しかし少なくとも加里の施用量の差異若しくは置換性の加里量の差異と牧草の間には相関が見当たらないので牧草の初期生育のためには 20.2 mg/100 g の加里含量は十分な量であると考えられる。

第30表 加里施用量と土壤中の置換性加里

区 名	K <sub>2</sub> Omg/ 乾土100g	区 名	K <sub>2</sub> Omg/ 乾土100g
無 K 区	4.75	K 4 0 0 区	37.50
K 1 0 0 区	13.00	K 5 0 0 区	45.00
K 2 0 0 区	23.80	K 6 0 0 区	49.50
K 3 0 0 区	23.00	K 7 0 0 区	47.50



6) 生草重並びに乾物重

以上のような初期生育を示した牧草の初期生育量は第 31 表のごとくである。

以下に alfalfa と orchardgrass に分けて検討する。

a) Alfalfa

Alfalfa の発芽後 53 日目の蕾期における生草重並びに乾物重を見ると、無肥料区では最も少なく、窒素300区までは窒素施用量を増大するにつれて増加する。しかしそれ以上の窒素700区までの増肥は施肥量を増すにつれて、次第に生草重並びに乾物重を低下する。これが理由としては窒素施用による根の伸長の抑制、塩類濃度、とくに硫酸の高濃度による発芽並びにその後の生育障害であると考えられるが、これらの理由については次節で記述することとした。

磷酸は700区まで施用量を増大する程生草重も乾物重も増大した。土壤中において磷酸が不可給態化し易いことは古くより一般に知られているところであるが、このような増大をもたらす磷酸が土壤中でどのようにしているかは極めて興味あるところであるが、ここでは磷酸の増肥が初期生育量を増大せしめた事実を記載するとともに次節で詳述することとする。

加里は施用量を増大するにつれて加里300区までは増大する傾向にあるが、その後はやや減少する傾向にある。

第 31 表

a Alfalfa

施肥量の相違による初期生育量の変化

区 名	生草重	乾物重	区 名	生草重	乾物重	区 名	生草重	乾物重
無肥料区	4.50 <sup>*</sup>	1.04						
無 N 区	5.95	1.07	無 P 区	4.75	0.89	無 K 区	5.20	0.96
N 100 区	6.50	1.16	P 100 区	5.40	1.00	K 100 区	5.19	0.97
N 200 区	6.20	1.14	P 200 区	6.20	1.14	K 200 区	6.20	1.14
N 300 区	6.78	1.22	P 300 区	7.05	1.30	K 300 区	6.60	1.22
N 400 区	5.90	1.06	P 400 区	7.50	1.39	K 400 区	5.40	1.00
N 500 区	4.85	0.88	P 500 区	8.11	1.51	K 500 区	5.40	1.05
N 600 区	4.00	0.72	P 600 区	8.65	1.60	K 600 区	5.40	1.03
N 700 区	2.92	0.53	P 700 区	10.30	1.91	K 700 区	5.65	1.08

\* t/ha

b Orchardgrass

区 名	生草重	乾物重	区 名	生草重	乾物重	区 名	生草重	乾物重
無肥料区	7.80	1.39						
無 N 区	14.20	2.72	無 P 区	7.90	1.50	無 K 区	16.80	3.10
N 100 区	15.00	2.70	P 100 区	15.90	3.22	K 100 区	17.00	3.08
N 200 区	18.28	3.29	P 200 区	18.28	3.29	K 200 区	18.28	3.92
N 300 区	22.10	3.87	P 300 区	18.90	3.29	K 300 区	20.90	3.80
N 400 区	16.60	2.94	P 400 区	20.70	3.75	K 400 区	19.85	3.58
N 500 区	15.00	2.71	P 500 区	20.70	3.75	K 500 区	19.10	3.32
N 600 区	14.40	2.48	P 600 区	20.80	3.52	K 600 区	20.50	3.91
N 700 区	12.40	2.10	P 700 区	21.30	3.80	K 700 区	20.60	3.71

## b) Orchardgrass

Orchardgrass の発芽後 80 日目の葉身屈折始期における生草重並びに乾物重は第 31 表 b に示すように無肥料区最も少なく、窒素の施用量を増大すると窒素 300 kg までは増加するが、それ以上の増肥は明らかにこれを減少せしめる。

磷酸については無磷酸区は無肥料区に近い数値を示すが、磷酸施用量の増加に伴ない 400 kg までは次第に増大するが、それ以上の増肥は初期生育量を増大せしめない。

加里については、無加里区は無肥料及び無窒素、無磷酸のそれより増大している。加里肥料の施用量の増大によって、加里 300 区までは増大するがそれ以上の施用は初期生育量を増大せしめない。

## 7) 一番草の養分吸収

以上のような生育を示した alfalfa 並びに orchardgrass の一番草の乾草について、その養分の吸収を検討した値が第 32 表である。この分析のための試料は alfalfa について、7 月 8 日発芽後 57 日目の蕾期のものであり、orchardgrass は 81 日目の 8 月 15 日葉身屈折始期のものである。

第 32 表 Alfalfa 無機成分含有率 (%)

区 名	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	区 名	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	区 名	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	KO <sub>2</sub>
無肥料区	3.13	0.65	2.90								
無 N 区	3.00	0.46	3.20	無 P 区	3.55	0.44	2.90	無 K 区	3.40	0.46	2.60
N 100 区	3.35	0.44	3.05	P 100 区	3.82	0.44	3.00	K 100 区	3.50	0.47	2.70
N 200 区	3.60	0.46	3.10	P 200 区	3.60	0.46	3.10	K 200 区	3.60	0.46	3.10
N 300 区	3.75	0.48	2.90	P 300 区	3.75	0.48	3.05	K 300 区	3.55	0.47	3.05
N 400 区	3.50	0.48	2.90	P 400 区	3.65	0.46	2.85	K 400 区	3.30	0.48	3.00
N 500 区	3.85	0.48	3.10	P 500 区	3.43	0.44	2.80	K 500 区	3.60	0.44	2.90
N 600 区	3.70	0.56	2.90	P 600 区	3.40	0.43	2.75	K 600 区	3.65	0.45	2.85
N 700 区	3.80	0.56	3.25	P 700 区	3.20	0.46	2.80	K 700 区	3.65	0.45	3.05

## a) Alfalfa の養分吸収

**窒素：**無肥料区及び無窒素区では窒素含有率がやや低く 3.15, 3.00% であるが、窒素の施用量を増加すると次第に窒素%が増大する傾向を示す。磷酸の施用量を増加しても窒素の含有率は変化しない。加里の増肥も窒素の含有率には変化を与えない。

**磷酸：**無肥料区の磷酸含有率はやや高い値を示す。これは相対的に高い%を示すのみであって、その絶対量を検討すれば明らかに少ないこととなる。磷酸施用量、窒素施用量及び加里施用量の増加では明瞭な加里含有率の差異を示さない。

**加里：**無加里区の加里含有率はやや低いが、加里、窒素及び磷酸の増肥では明らかな傾向が認められない。

## b) Orchardgrass の養分吸収

**窒素：**無肥料区、並びに無窒素区の orchardgrass の窒素含有率はやや低く 2.06, 2.07% となっているが、窒素肥料施用量の増加に伴ない含有率が増大し N 700 区では 3.02% となる。磷酸施用量の増大は窒素の含有率には変化をあたえない。

**磷酸：**無肥料区の磷酸含有率は 0.63% で他の区の牧草磷酸含有率との間の明瞭な差異は認められない。無磷酸区ではやや低い傾向を示す。磷酸肥料の増加に伴ない変化はほとんど認め難い。加里についてもこの傾向は同様である。無肥料区より無磷酸区において磷酸含量の低いのは磷酸による生育促進によるものである。

第33表 Orchardgrass の無機成分含有率 (%)

区名	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	区名	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	区名	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
無肥料区	2.06	0.63	4.45						2.06	0.63	4.45
無N区	2.07	0.62	4.51	無P区	2.40	0.56	4.51	無K区	2.10	0.50	4.80
N100区	2.40	0.60	4.50	P100区	2.42	0.64	4.50	K100区	2.40	0.61	4.53
N200区	2.40	0.61	4.60	P200区	2.40	0.61	4.60	K200区	2.40	0.61	4.60
N300区	2.45	0.60	4.72	P300区	2.44	0.60	5.00	K300区	2.40	0.59	4.53
N400区	2.74	0.55	4.80	P400区	2.40	0.62	4.40	K400区	2.33	0.56	4.80
N500区	2.76	0.60	4.60	P500区	2.46	0.54	4.80	K500区	2.56	0.70	4.18
N600区	2.72	0.50	4.50	P600区	2.36	0.68	4.80	K600区	2.56	0.69	4.60
N700区	3.02	0.58	4.91	P700区	2.51	0.70	5.00	K700区	2.20	0.61	4.82

加里: この数値についても、加里肥料の施用量の増加により、また窒素及び磷酸肥料の増肥による加里含有率の差異は見出せない。

3 論 議

窒素、磷酸及び加里の施用量を異にした圃場で alfalfa 及び orchardgrass をそれぞれ単播した実験から、これらの牧草の肥料要素の影響を特に初期生育に限って明らかにしてきた。これまでわが国において行われてきた牧草栽培法では施肥して播種することが余り実行されていない。本実験においてとられた broadcasting による施肥法は今後次第に多肥栽培法が予測されるとき、牧草に対する一つの施肥法であると考えられる。しかしながら、さきにも記述したごとく初期生育のみを良好にするための肥料の broadcasting で用いた肥料全体が働いているとは考えられず、主として根の周囲に施用された肥料のみが利用されていると考えられるので、これらの肥料量を band system で施用した方が、むしろ肥料の経済性から望ましいところであると考えられる。

このような見地に立ってさきの実験結果を活用するならば、牧草の初期生育は意外に少ない肥料で、しかも良好な結果が期待されるものと信ずるものである。いまその最も初期生育量を大ならしめると思われる施肥量を畦巾 30 cm の場合を想定して算出した値は第34表のごとくである。

第34表 発芽並びに初期生育を良好にするための施肥量表

牧草名 施肥法 要素名	Alfalfa		Orchardgrass	
	** Broadcasting	* Band system	Broadcasting	Band system
N	kg/ha 300	kg/ha 100	kg/ha 300	kg/ha 100
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	700	233	400	133
K <sub>2</sub> O	300	100	300	100

\* 畦巾 30cm, 播巾 10cm

\*\* ha 当り要素量

4 摘 要

窒素、磷酸及び加里の施用量を異にした圃場に alfalfa と orchardgrass をそれぞれ単播し、これらの牧草の初期生育に対する影響を検討し以下のことが明らかとなった。

- 1) Alfalfa 及び orchardgrass の初期生育に対する窒素増肥の影響は broadcasting で 300 kg/ha までは良好である。しかし 400 kg/ha 以上では不良であった。
- 2) 燐酸については 700 kg/ha までは alfalfa では増肥に伴ない次第に草丈、葉数、生草重を増大した。Orchardgrass では 400 kg/ha であった。
- 3) 加里の増肥では施用量 300 kg/ha で良好な結果が得られ、それ以上の施肥は生育を促進しなかった。
- 4) 窒素、燐酸、加里肥料の施用量の増加に伴う植物体内のこれら無機成分の変化は orchardgrass の窒素を除いて明瞭な差異を示さない。Orchardgrass については窒素施用量の増加に伴う体内窒素%は 700 kg/ha まで次第に増大する。
- 5) 以上の結果から alfalfa 及び orchardgrass の発芽並びに初期生育のための施肥量は下表のごとく示される。

牧草名 施肥法 要素名	Alfalfa		Orchardgrass	
	Broadcasting	* Band system	Broadcasting	* Band system
	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha
N	300	100	300	100
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	700	233	400	133
K <sub>2</sub> O	300	100	300	100

\* 畦巾 30cm, 播巾 10cm

## 第 2 節 牧草の発芽並びに初期生育に及ぼす肥料濃度の影響 (その 2)

牧草の造成段階における養分要求は土壌中の主として液相中に存在する養分、若しくは極めて loose に吸着している部分に依存していることが考えられている (112)。前節において野幌の重粘性土壌を用いて、この事に関連する問題を検討した結果、窒素系列つまり施用窒素量を 0~700 kg/ha まで変化せしめた試験では alfalfa, orchardgrass 共、発芽個体数が窒素 400 kg/ha 以上から低下した。これに対して燐酸系列では 700 kg/ha まで施用量の増大に伴い増大している。加里系列では 500 kg/ha 以上から多少の増大が見られたのである。この傾向は alfalfa の葉数、orchardgrass の分けつ数にも同様の傾向として認められたのである。しかしながら標準区すなわち 200-200-200 に比較して無窒素区、窒素 700 区が、極めて発芽不揃いであり、また無燐酸区に比較して燐酸 700 区は極めて旺盛な生育を示した。そして更に加里では無加里区でもやや良好な生長を示し、加里 700 区でもそれ程生長に変化が認められなかった。

このような窒素施用量の増加に伴う過剰抑制作用並びに燐酸の卓効はどのような理由によるかを以下に検討することとする。

### 1 硫酸と尿素による窒素施肥量増大に伴う初期生育不良の解明

実験 I: すなわち窒素の過剰による初期生育不振の解明のため、まず土壌の塩類障害から検討することとした。第 2 表に既に記述した土壌 500 g を pF 1 の状態で一昼夜放置後 ガラスフィルターで吸引抽出した土壌溶液の塩類濃度をその伝導度で表示すると第 8 図のごとくである。この図によれば、燐酸、加里系列に比して明らかに窒素系列は電導度が高く、塩類障害がある可能性を暗示する。しかし硫酸の濃度と電導度の関係を見てみると土壌溶液の濃度程度では硫酸の mol 濃度は極めて稀薄で (0.007 mol) あり、これから計算される osmotic pressure も低く、これが直接牧草の初期生育を支配してい

第35表 Orchardgrass の NH<sub>4</sub>-N に対する response (発芽後 2 weeks 苗)

NH <sub>4</sub> -N 濃度 ppm	処理後 日数									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 2 8 0	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6 4 0	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
3 2 0	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-
1 6 6	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
8 0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
4 0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

+...normal growth    -...葉部の萎凋又は枯死

るとは考えられない。(第9図参照)

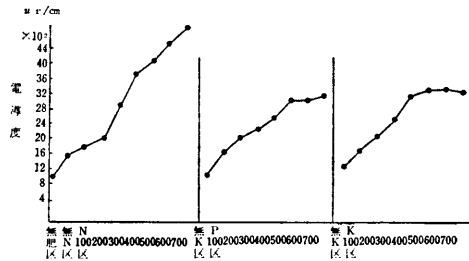
**実験Ⅱ:** そこでこれらの具体的な塩類, 換言すれば, 土壌の溶液の電導度の担手を測定するため, その土壌溶液の塩類を測定した値を示したのが第10図である。

ここで全窒素の大部分は NH<sub>4</sub>-N であることが判明するのであるが, 窒素系列の高電導度は窒素の中の NH<sub>4</sub>-N が増加していることによるものであることがこの図によって示されている。この NH<sub>4</sub>-N が牧草の初期生育を支配している可能性があると考えて検討したのが第35表である。

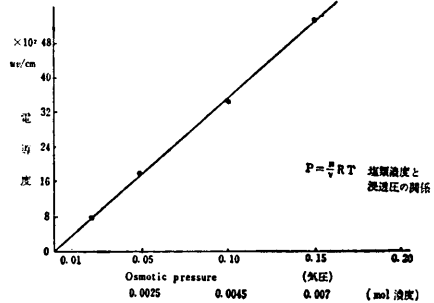
**実験Ⅲ:** Orchardgrass の2週間苗を用いて水耕法により硫酸濃度を異にして行った試験の結果は 160 ppm までは順調に生育するが, 320 ppm 程度になると生長がやや遅れる傾向がある。640 ppm ではそれぞれ極端な傾向となり, 1280 ppm 程度では下葉が枯れ生育が遅延してくる。従ってこれらの牧草の初期生育に対しては NH<sub>4</sub>-N の高濃度が関係していると考えられる。一定濃度以上の NH<sub>4</sub>-N の植物に対する害作用については既に石塚, 深井らにより報告されているが(55), 特に北海道の早春から, 5月末の頃は乾燥する季節である。施肥した肥料は土壤水分の損失に伴って高濃度となり, 牧草の初期生育を抑制する方向に働く可能性は大いに考えられるところである。

2 磷酸肥料による初期生育量の増大の解明

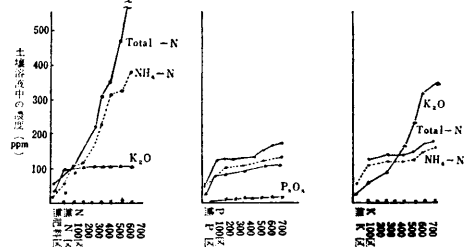
つぎに磷酸について行った実験について記述す



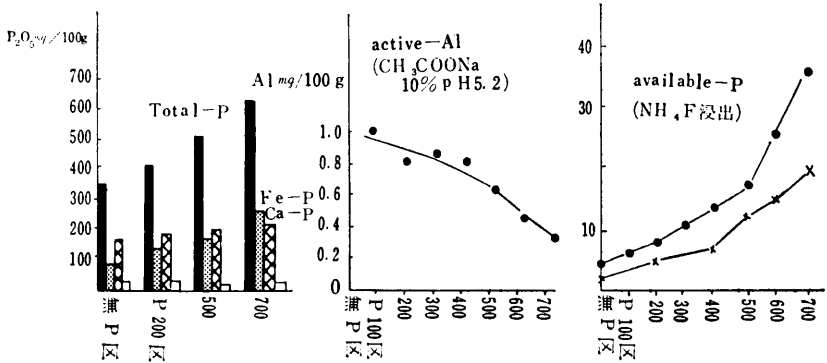
第8図 土壌溶液の電導度変化



第9図 硫酸の濃度と osmotic pressure 及び電導度との関係



第10図 土壌溶液中の total-N, NH<sub>4</sub>-N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 及び K<sub>2</sub>O の濃度



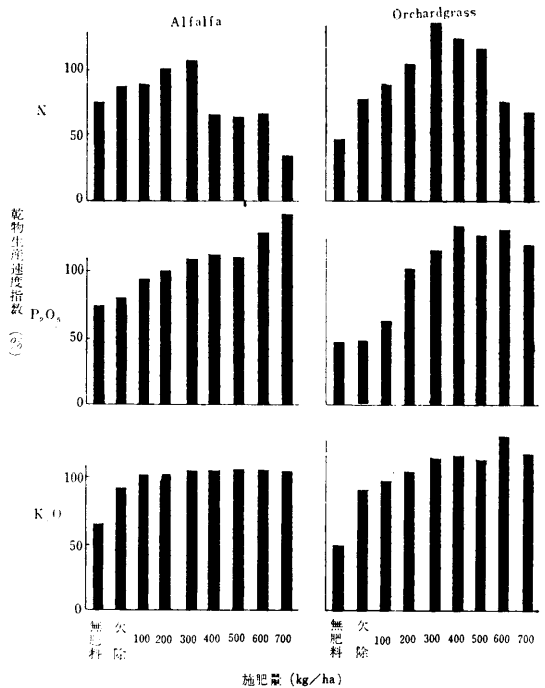
第1図 磷酸肥料の増肥に伴う土壤中Pの形態変化

る。

実験1：無磷酸区，磷酸200区，500及び700区の土壤をCHANG及びJACKSONの方法で15) fractionationして見たのが，第11図である。さきに図示した(第10図)土壤溶液中の磷酸の濃度は極めて稀薄であり磷酸700区においてもわずかに27ppmに過ぎない。他の磷酸はすべて結合して存在することが考えられるところである。第11図によれば磷酸を増加せしめれば土壤中のAl-Pが次第に増大して，他のCa-PやFe-Pは余り増大していないことが判明する。従って土壤中に施用された磷酸は従来から言われていたごとく，30)主としてAlと結合していることが考えられるわけである。このことは最近CHANG及びJUOによって報告されている有効磷酸と土壤中の磷酸の形態との関係からも，推論されるところである16)。すなわち彼らはAl-PとNH<sub>4</sub>-F浸出による有効態磷酸の間にはかなり高い相関があると報告しているが，播種後3カ月の土壤の磷酸の形態と有効態磷酸との間にはかなりの相関があるごとくである。一方牧草によって吸収された磷酸量は施用磷酸量の増大に伴い増大しており，また吸収絶対量も増大している(第32, 33表参照のこと)。これらの事実から施用磷酸量の増大は，たとえ活性化しているAl<sup>+++</sup>によって吸着され不活性化しても，なお土壤溶液中の磷酸濃度を高め，積極的に牧草の初期生育に役立っていると考えられる。またこの事実は活性アルミニウム含量の磷酸施用による低下からも裏付けられる。

3 施肥量の相違による乾物生産速度の推移

以上のような初期生育の関係を結論するため，初年日一番草の乾物生産速度指数(こ



第12図 乾物生産速度指定数の施肥量による推移 (初年日，1番草のみ)

これは発芽後第1回刈取りまでの日数で ha 当りの乾物量を除した値の相対値)で検討すると第12図のごとくである。窒素は300区まで、リン酸は alfalfa では700区まで、orchardgrass では400区まで、加里は300kg区までは施肥の効果が乾物量の増大となって現われている。

#### 4 結 言

以上の実験から牧草の造成段階の問題はつぎのように整理される。すなわち、牧草の造成段階における養分要求は主として土壤溶液または極めて loose に結合している養分によって賄われていると考えられる。

ここで  $\text{NH}_4\text{-N}$  の一定以上の濃度は牧草の初期生育を抑制する方向に働き、リン酸の多用は初期生育を極めて良好にするが、土壤溶液中のリン酸はリン酸700区においても27ppm以下の低濃度である。加里は施用量の多少で生育を余り左右しない。

これらの事実から alfalfa では窒素100、加里100、リン酸233、orchardgrass では窒素100、加里100、リン酸133kg/ha、そして土壤溶液の濃度では alfalfa で窒素150、リン酸30、加里100、orchardgrass では150、20、100ppmで最も良好な初期生育が期待出来るということが出来る。しかしこれが経済的に有利であるかどうかということは別問題である。

第36表 発芽並びに初期生育のための施肥量と土壤溶液濃度

要素名	Alfalfa		Orchardgrass	
	Broadcasting	Band system	Broadcasting	Band system
	kg/ha (ppm)		kg/ha (ppm)	
N	300 (150)	100	300 (150)	100
$\text{P}_2\text{O}_5$	700 (30)	233	400 (20)	133
$\text{K}_2\text{O}$	300 (100)	100	300 (100)	100

#### 第3節 牧草の初期生育に及ぼす施肥位置の検討

著者は先の研究において牧草の発芽並びにその初期生育が、肥料要素に影響されること極めて大なることを明らかにした(42)。とくにその肥料要素中、牧草の初期生育を大きく支配するものはリン酸であり、窒素、加里の作用は一般に少ないものであることを確めた(37)。そこで著者はこの初期生育に極めて有効に作用するリン酸を何処の位置に、如何なる方法によって施肥することが最も初期生育を良好にするかを明らかにする必要性を痛感し、以下の実験計画に基いて得られた結果について記述する。(写真8,9参照)

写真8 無リン酸区(alfalfaとorchardgrassの混播)



写真9 標準区(alfalfaとorchardgrassの混播)



初期生育に及ぼすリン酸の作用 (いずれも発芽後45日目) (野幌重粘性土壌の場合)

作物に肥料を施与する場合、作物と肥料との相対的位置によって、作物による養分の吸収量あるいは吸収経過は著しく異なるものである。わが国の畑作物に対する施肥位置の研究は石塚、田中及び林らにより手がけられ、根箱を用いた広範な実験がある(61,64,65)。しかし牧草の初期生育とくにその肥効が顕著である磷酸に焦点を合わせた研究は見当たらないようである。

### 1 実験方法の概略

本研究の目的を達成するため次のような実験計画を用いた。すなわち、まず第1に木框を用いることにより施肥位置すなわち層厚(5, 10, 15 cm) 差による生育差を検討し、ついでその生育差をもたらした原因を検討するため牧草ならびに土壌の両面からの解明を行った。第3にこれらの生育差をもたらす磷酸の由来を明らかにするため5万分の1ポットを用いることにより、施用磷酸の利用割合を<sup>32</sup>Pの利用により検討した。

供試した土壌は野幌重粘性土壌及び北海道大学圃場の沖積土壌である。これらの特性は第37表に示すごとくである。また供試した牧草は alfalfa 及び orchardgrass である。

第37表 供試土壌の特性

	土 性	腐 植 (%)	Total-N	Total-C	C-N ratio	pH		置換酸度
						H <sub>2</sub> O	KCl	
野幌重粘性 沖積土壌	埴 土	9.50	0.34	7.38	21.4	5.3	4.9	1.94
北 大 沖積土壌	壤 土	4.80	-	-	-	5.6	-	1.50
	置 換 性 塩 基 *				C. E. C. (m.e.)	塩 基 飽 和 度 (%)	磷酸吸収 係 数	有効磷酸 mg/100g**
	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O				
野幌重粘性 沖積土壌	11.5	1.7	0.13	0.43	23.6	58.2	465	1.32
北 大 沖積土壌	12.3	2.9	0.40	0.99	-	-	1088	2.65

\* m. e.    \*\* Bray's No.1 の方法による。

第38表 施肥位置の検討のための施肥量 (\*kg/ha)

作物名 施肥区分	Alfalfa			Orchardgrass		
	L 区	M 区	H 区	L 区	M 区	H 区
N (尿素と硫酸の等成分比)	*100	100	100	100	100	100
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (過石と燐の等成分比)	100	300	700	100	300	700
K <sub>2</sub> O (硫加)	100	100	100	100	100	100

### 2 木框による実験方法とその結果並びに考察

縦 50 cm, 横 50 cm, 深さ 50 cm の木框を土壌中に埋設し、上記の供試土壌を充填した。この土壌に対して、第38表のごとき施肥量を表層 5 cm, 10 cm 及び 15 cm の土層にそれぞれ均一に散布混合した。ここで施肥磷酸量の多い方から H, M, L 区と呼称することとする。

#### 1) 野幌重粘性土壌の場合

供試土壌が野幌重粘性土壌の場合は第39表及び第13図のような生育を示す。すなわち alfalfa の



L, M 区では、施肥層が10~15と分散されると若干草丈が短宿される。しかし施肥量が多量になればこの傾向はなくなる。これらの傾向は orchardgrass についても同様である。その発芽後 60 日間の初期生育量は第 40 表のごとくである。すなわち alfalfa の H 区、施肥量 700 kg/ha では 10 cm 位置の施肥が最も良好で 740 g/50 cm<sup>2</sup> となっている。5、10及び 15 cm 層までの施肥位置の比較では H 区以外はいずれも施肥層厚の増大に伴い生育量が低下している。しかし H 区のみは 10 cm 位置までの施肥が最大の生育量となっている。また施肥層厚が厚くなれば施肥量を増大することによって初期生育量が増大する傾向にある。

また orchardgrass では M 区施肥 300 kg/ha の 10 cm 施肥位置が最大の初期生育量で 545g/50cm<sup>2</sup>

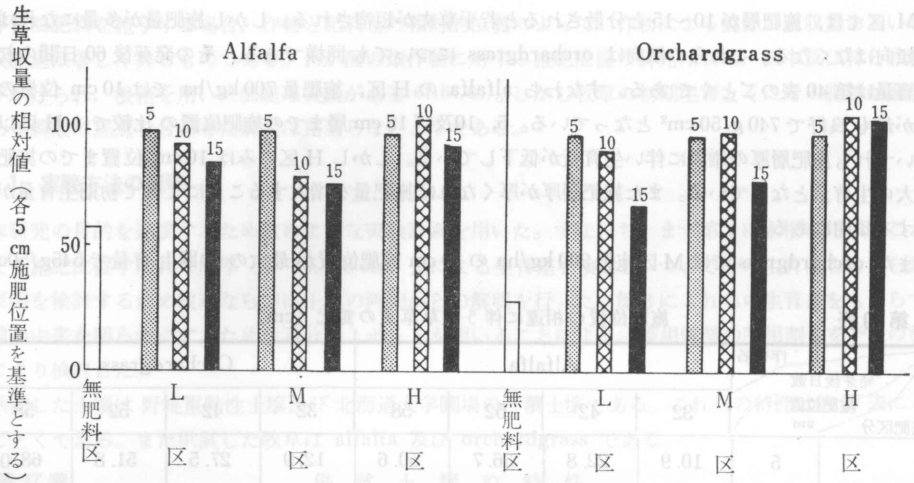
第 39 表 施肥位置の相違に伴う牧草草丈の変化 (cm)

作物名 発芽後日数 施肥位置 cm		Alfalfa				Orchardgrass			
		32	42	52	58	32	42	52	58
L 区	5	10.9	22.8	36.7	50.6	12.9	27.5	51.8	68.0
	10	10.7	23.3	35.6	50.7	12.5	26.9	46.9	65.7
	15	9.1	18.5	30.7	45.8	11.8	22.6	42.6	54.8
M 区	5	13.7	26.0	38.0	51.4	15.8	31.8	47.3	66.1
	10	11.5	22.9	36.2	48.4	12.4	28.3	48.5	69.5
	15	10.8	19.9	34.8	46.7	13.3	26.2	40.8	58.2
H 区	5	13.4	25.9	38.2	51.2	12.1	26.2	47.7	61.6
	10	13.8	24.6	38.4	53.8	12.8	28.4	44.9	63.1
	15	13.9	27.8	40.9	50.8	13.3	26.7	47.8	64.3
無肥料区	-	6.3	13.5	22.5	35.8	9.6	18.1	27.6	37.7

第 40 表 牧草の施肥位置の相違による初期生育量の変化

作物名 施肥位置 cm		Alfalfa				Orchardgrass			
		5	10	15	小計	5	10	15	小計
L 区	g/pot	600	578	500	1678	540	495	380	1415
	Ratio	100 (100)	96 (100)	83 (100)		100 (100)	92 (100)	70 (100)	100 (100)
M 区	g/pot	710	585	555	1850	540	545	430	1515
	Ratio	100 (118)	82 (101)	78 (111)		100 (110)	101 (110)	80 (113)	107 (107)
H 区	g/pot	700	740	670	2110	455	490	480	1425
	Ratio	100 (99)	105 (128)	96 (134)		100 (84)	108 (99)	105 (126)	100 (100)
施肥位置 小計	g/pot	2100	1903	1725		1535	1530	1290	
	Ratio	100	90	82		100	100	84	

( ) 内数字は施肥量の相違による ratio



第13図 施肥位置と初期生育との関係(発芽後60日)

写真10 施肥位置と根の伸長

磷酸施肥量 100kg/ha



左から無肥料 5 cm, 10 cm  
及び 15 cm 全層施肥

300kg/ha



左から無肥料 5 cm, 10 cm  
及び 15 cm 全層施肥

700kg/ha



左から無肥料 5 cm, 10 cm  
及び 15 cm 全層施肥

となっている。

施肥位置では H 区以外は、5、10 及び 15 cm と施肥層厚が厚くなる程生育量は低下している。また施肥量の相違に伴う変化では施肥層の厚くなる 10 及び 15 cm 施肥量ではいずれも施肥量が増大すると牧草の生育量は増大している。しかし逆に施肥層の薄い 5 cm では低下している。

またこのような生育を示した alfalfa の根長並びに根重を測定した数値は第 41 表及び写真 10のごとくである。これらの表及び写真によれば、その傾向は地上部の傾向にはほぼ一致した値を示す。(写真 10 参照)

第 41 表 Alfalfa の根重及び根長

施肥位置	5 cm		10 cm		15 cm	
	根重*	根長**	根重	根長	根重	根長
L 区	2.2	28.0	2.1	30.0	1.6	26.0
M 区	2.8	32.0	2.2	30.0	2.2	25.0
H 区	2.8	28.0	2.6	32.0	2.2	30.0

\* 50 cm<sup>2</sup> 当り kg \*\* cm 無肥料区は 1.05 kg と 23.0 cm であった。

2) 北大沖積土壌の場合

北大沖積土壌における初期生育量は第 42 表第 14 図のごとくである。施肥位置(層厚)では施肥層が

第 42 表 北大土壌の施肥位置と初期生育量との関係

施肥区分	施肥位置	5 cm	10 cm	15 cm
無肥料区	g/pot ratio	115*		
L 区	g/pot ratio	295 100(100)	300 101(100)	315 106(100)
M 区	g/pot ratio	325 100(112)	346 105(153)	360 109(114)
H 区	g/pot ratio	363 100(123)	414 114(138)	428 117(136)

( )内数字は施肥量の相違による ratio

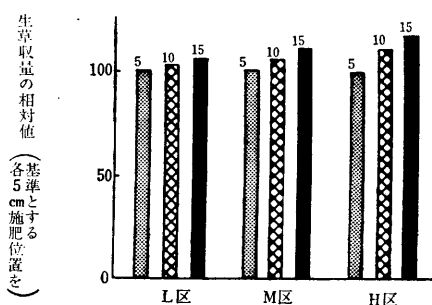
\* 播種後 45 日で採取したもの g/50cm<sup>2</sup>

厚くなるに伴って H 区では若干生育量の増大が見られる。また施肥量の増大に伴い、いずれの施肥位置(層厚)でも初期生育は増大している。このことは野幌重粘性土壌とやや趣きを異にしている。しかしこれは土壌の器械的組成と土壌の本来持っている養分量の相違によるものと考えられる。

3 施肥位置の相違に伴う初期生育差の解明

1) 牧草の体内無機成分

以上のような施肥法によって栽培された牧草の体内無機成分は第 43 表及び第 44 表のごとくである。すなわち



第 14 図 施肥位置と初期生育との関係 (播種後 45 日)

第43表 施肥位置の相違による無機成分の変化 (%)

野 幌 重 粘 土	Alfalfa					Orchardgrass					北 大 圃 場 Alfalfa					
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	
無肥料区	2.92	0.60	2.50	2.08	0.32	2.80	0.20	4.50	0.62	0.83	2.44	0.58	4.00	1.88	0.42	
L区	5 <sup>cm</sup>	3.24	0.60	3.25	1.96	0.28	3.10	0.43	5.10	0.80	0.78	3.40	0.70	4.55	1.76	0.42
	10	3.15	0.58	3.40	1.86	0.28	3.15	0.43	5.00	0.70	0.80	2.93	0.61	4.35	1.80	0.43
	15	3.30	0.31	2.85	2.24	0.24	2.90	0.49	5.00	0.65	0.80	3.10	0.60	4.25	1.78	0.42
M区	5	3.18	0.54	3.25	1.96	0.30	2.95	0.36	4.60	0.72	0.80	2.98	0.61	4.50	1.88	0.42
	10	3.30	0.47	2.70	2.00	0.26	3.00	0.45	4.75	0.68	0.82	2.97	0.60	4.55	1.89	0.52
	15	3.30	0.50	2.40	2.40	0.24	2.98	0.39	4.00	0.72	0.80	3.50	0.60	4.55	2.00	0.46
H区	5	3.28	0.39	2.35	2.48	0.24	3.00	0.42	4.15	0.70	0.75	2.98	0.60	4.50	1.88	0.42
	10	3.40	0.50	2.25	2.48	0.24	2.98	0.50	4.00	0.70	0.80	3.00	0.60	4.55	1.95	0.45
	15	3.35	0.58	2.30	2.40	0.36	3.00	0.49	4.40	0.92	0.69	3.10	0.58	4.50	1.90	0.38

第44表 施肥位置の相違による土壌の有効態成分の変化

		野 幌 重 粘 土 壤 性 洪 積 土 壤 Alfalfa				北 大 沖 積 土 壤 Orchardgrass				Alfalfa			
		*	**	**	**	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
無肥料区		3.30	16.0	699	41.0	3.00	16.0	699	40.0	5.3	47.5	346	48.0
L区	5 <sup>cm</sup>	4.80	17.5	705	41.5	3.50	16.0	715	43.0	12.5	50.0	346	46.0
	10	6.00	18.0	715	38.0	4.50	15.0	709	41.0	10.3	52.0	395	46.0
	15	3.50	15.0	700	41.0	2.60	10.5	712	33.0	8.5	53.0	385	50.0
M区	5	8.30	16.0	695	42.3	6.80	16.0	740	41.5	18.5	55.0	400	50.0
	10	7.30	9.5	690	40.8	6.30	11.5	711	43.0	14.8	54.0	372	46.0
	15	5.30	9.5	720	43.0	8.70	10.5	700	42.0	17.5	52.0	355	46.0
H区	5	17.20	10.0	790	41.3	18.8	9.5	693	43.0	42.5	50.0	366	46.0
	10	10.50	15.0	703	39.3	20.0	10.0	710	41.1	29.0	52.0	362	46.0
	15	7.80	15.0	699	38.9	6.80	10.0	710	42.2	26.5	57.0	420	48.0

\*BRAY'S No. 1 の方法による抽出測定値 mg/100g \*\*置換性成分 mg/100g 乾土

その体内無機成分含有率の検討では、窒素、リン酸、加里及びカルシウム、マグネシウムについても明らかな傾向は掴み難い。従ってさきに示した明確な生育量の差異というものはこのような初期の牧草の体内無機成分の含有率に直接的に影響を示すものではないものであり、牧草がこれらの養分を吸収する吸収力に差異を生じたのか、そのため相対的に生育量の差異となって現れたかのいずれかと考えられる。そこでまず土壌の側の問題を検討するため、その土壌中での無機養分量を検討したのが第43表である。有効リン酸の測定には BRAY'S No. 1 の方法を用いたが、本供試土壌が先に記述するごとく、Alphosphate が多く、この測定法が CHANG 及び JUO 16) によれば最もその型の phosphate と相関が高いという根拠によるものである。

2) 生育を異にした土壤の検討

第 44 表によると、磷酸については各土壤とも施肥層が深くなることによって、若干の低下となっているが、その他の置換性加里、カルシウム及びマグネシウムについては、何等の差異を認め得ない。また alfalfa には根粒菌の接種を行い窒素の供給力に差異があるとも考えられない。

従ってこれらの施肥位置による生育量の差異は磷酸の利用による牧草それ自身の吸収力の増大が原因して生育量が大きくなったものと考えられる。しかしながら、これらの施肥した肥料磷酸と本来の土壤中磷酸がどのように牧草に利用されたかはこの実験からは判明することが困難である。

4 <sup>32</sup>P による施肥-P と土壤-P の利用割合の検討

牧草の施肥位置が初期生育に明瞭な差異を作ることは既に判明したが、これは主として磷酸の供給力の差異にあるので、土壤中に本来存在する磷酸と、施肥された磷酸とが、牧草の初期生育段階においてどのような割合で吸収されて行くかを解明する目的でつぎのごとき実験を計画した。これらの実験方法については LARSEN らのすぐれた研究がある(75)。

1) 実験方法

毎年やや多量の磷酸肥料を施用した結果(毎年 500 kg/ha)多量の磷酸を含有する土壤と磷酸の施用を行わない結果少量の磷酸しか含有しない土壤(母材も地域も同一)を供試し、これらの土壤を 5 万分の 1 pot に充填し、その 5 cm 及び 10 cm の層厚に <sup>32</sup>P を含む肥料を施用した。施肥は窒素は硫安、磷酸は <sup>32</sup>P を含む過石、加里は硫加を用い、その施用量は P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> として 700 kg/ha 及び 300 kg/ha の 2 通りとした。その原土の特性と施肥計画は第 45 表及び 第 46 表のごとくである。この pot に alfalfa

第 45 表 原 土 の 特 性

	Total P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/100g	有効態 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> * mg/100g	pH (KCl)	置 換 性 **		
				K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
磷酸少量土壤	76.0	3.00	5.32	10.5	478	18.0
磷酸多量土壤	260.0	13.60	5.50	21.3	458	18.0

\* Bray's No. 1 の法による \*\* mg/100g 乾土

第 46 表 施 肥 設 計

	略 記 号	施 肥 位 置	施 肥 量
磷酸少量土壤	L ∅ 5	* 5 cm	** 4 g/pot
	L ∅ 10	10 cm	4 g/pot
	L h 5	5 cm	8 g/pot
	L h 10	10 cm	8 g/pot
磷酸多量土壤	H ∅ 5	5 cm	4 g/pot
	H ∅ 10	10 cm	4 g/pot
	H h 5	5 cm	8 g/pot
	H h 10	10 cm	8 g/pot

\* 全層に混合する。  
5 mcH<sub>3</sub><sup>32</sup>PO<sub>4</sub> を 100 g の過石と 20 g の硫安と 14 g の硫加に spray し、乾燥したもの。

と orchardgrass を混播の形で播種し、その後これら牧草によって吸収した  $^{32}\text{P}$  を GM カウンターで測定した。

## 2) 実験結果及び考察

これらのリン酸の土壌中における形態や有効態リン酸の測定法については CHANG 及び JACKSON<sup>15)</sup> 及び CHANG と JUO<sup>16)</sup> によって詳細な研究がなされている。彼等の研究によれば土壌中におけるリン酸は無機態と有機態リン酸に二大別され、更に無機態リン酸は Al-P, Fe-P 及び Ca-P に三大別することが出来るとしている。これらの形態のリン酸は土壌中の Al, Fe 及び Ca の存在量によりおよそその割合が決まるとし、この割合と従来多くの有効態リン酸の測定法との間の検討も行っている。

しかしながら土壌中リン酸の有効性に対しては必ずしも適切な測定法が決定され、公認されているわけではない。これが理由はリン酸の土壌中における形態が複雑であり、多くの土壌物質と化合し植物の利用し難い形態に変化する<sup>30)</sup>ということもその原因の一つである。しかし一方これらの有効態リン酸の把握が適切に行われない他面の理由は、植物自身のリン酸の吸収量が、他の窒素、加里などに比較して遙に僅少であるため、具体的に土壌中の如何なる形態の部分のリン酸が植物に利用されたかを明かにすることが困難であるということであろう。

リン酸を中心に施肥位置を検討する場合、これらの複雑な問題に真正面から立ち向わなければならない。

土壌中の有効態リン酸についてはさきにあげた CHANG 及び JUO により土壌中存在する Al-P 量との相関が高い方法として  $\text{NH}_4\text{F}$ ,  $\text{HCl}$  溶液による BRAY'S No. 1 の方法によって測定した<sup>9)</sup>。これは本供試土壌にリン酸を施用した場合 Al-P の存在が極めて大なる事実によるものである<sup>42)</sup>。またその値は第 47 表のごとくである。すなわち低リン酸の土壌では施肥による大きな差異は見せず 100 g 乾土中 8~11 mg の範囲に入っている。また高リン酸土壌では 17~22 mg の範囲で低リン酸土壌よりわずかに増大している。従ってこれらのリン酸の含量からでは施肥位置と施肥量の結論を掴むことが困難である。

そこで  $^{32}\text{P}$  を含むリン酸肥料を低リン酸土壌と高リン酸土壌にそれぞれ 5 cm と 10 cm の深さまで施肥し、その生育量を検討したのが第 48 表である。生草重では低リン酸土壌より高リン酸土壌の方が明らかに増大している。しかし施肥位置については 5 cm の方が 10 cm より大となっている。S. LARSEN 及び I.J. COOKE<sup>75)</sup> によれば次のごとき計算式から土壌中に存在する施肥リン酸量若しくは有効態リン酸量を算出している。すなわち

$$L = \left( \frac{C_f}{C_p} - 1 \right) X$$

ここで  $C_f$  は施用したリン酸の specific activity であり、 $C_p$  は植物中 P の specific activity である。

第 47 表 各土壌の施肥による有効態リン酸の変化

施肥区分	有効態 $\text{P}_2\text{O}_5$ mg/100g	Total- $\text{P}_2\text{O}_5$ mg/100g
L $\emptyset$ 5 cm	8.73	76.00
L $\emptyset$ 10 cm	9.75	
L h 5 cm	11.20	
L h 10 cm	9.20	
H $\emptyset$ 5 cm	19.60	260.00
H $\emptyset$ 10 cm	17.00	
H h 5 cm	22.00	
H h 10 cm	16.51	

第 48 表  $^{32}\text{P}$  による 吸 収 P の 由 来

	生 草 重 g/pot	乾 物 重 g/pot	牧草の吸収し た全 $\text{P}_2\text{O}_5$ 量 mg/pot	cpm/吸収 $\text{P}_2\text{O}_5$ 10mg	吸収した * $\text{P}_2\text{O}_5$ の由来	$\left(\frac{\text{CA}}{\text{CP}} - 1\right)_{x=y}$
L $\emptyset$ 5cm	9.0	2.80	3.20	3555	76	14.4
L $\emptyset$ 10	9.0	2.40	12.40	2960	63	21.9
Lh 5	9.4	3.40	6.8	4600	98	1.3
Lh 10	9.4	3.40	9.2	3970	85	10.2
H $\emptyset$ 5	16.2	4.00	15.4	185	3.9	44.2
H $\emptyset$ 10	14.6	3.60	13.2	262	5.6	51.2
Hh 5	15.8	4.04	15.0	793	16.8	49.2
Hh 10	11.2	2.54	11.4	733	15.6	50.0

\*  $\frac{\text{CP}}{\text{CA}} \times 100$  ここで contral cpm は 4700 cpm/10mg  $\text{P}_2\text{O}_5$   
 CP=specific activity of plant phosphate  
 CA=specific activity of applied phosphate

また X は施用した磷酸の量 (millimoles) であるとしている。いまこの 計算法によって 施用磷酸肥料の 残余割合, 若しくは 有効態磷酸量を算定して見たのが第 48 表 の y なる値である。この値によれば 低磷酸土壤においては その有効態磷酸量極めて少なく, とくに表層に磷酸を施与した場合は僅少となつて いる。これに対して高磷酸土壤では いずれも 50 以上の高い有効態磷酸量を示している。

しかしここで特に重要な事実は, 低磷酸土壤において施用磷酸に由来している植物体中磷酸が最低 63 最高 98 % までに至っている事実とこの土壤において施肥 5 cm 位置に施与された磷酸肥料に由来する植物吸収磷酸は 10 cm 位置のそれより常に高い割合を示すことである。これに対して高磷酸土壤ではその肥料に由来している磷酸は, わずかに 3.9~16.8 % の範囲にとどまっている。そして施肥位置では 5 cm でも 10 cm でも大差を示さない。この辺の数値は北大土壤と野幌土壤との関係を説明するために重要な一知見を与えるものと考えられる。

さきに石塚らは (58) 牧草の施肥磷酸の利用割合について研究し, 一般に畑作物が磷酸の欠乏症を示さないような土壤においては alfalfa も, orchardgrass もともに肥料磷酸の利用率は 極めて低いが, 一方磷酸が 制限因子となる程度の土壤の牧草の磷酸利用率は かなり高いことを明らかにしているが,  $^{32}\text{P}$  を用いた本実験はこれらの事実を良く説明し得るものと考えられる。すなわち本実験結果によれば, 低磷酸土壤における磷酸肥料中の磷酸は極めて有効であり, しかもその利用度は表層 5 cm の方が, 10 cm の方よりもその利用度大である。そして吸収された磷酸の大部分は施肥磷酸に由来している。

S. LARSEN によれば  $^{32}\text{P}$  に label された磷酸カルシウムを肥料として大麦を pot 栽培した 7 週後の植物と肥料中磷酸の  $^{32}\text{P}$  比率は土壤に対する磷酸の添加量とは無関係であったと報告している (74)。

これらの事実は低磷酸 level の土壤における磷酸施肥法の重要性を暗示するものであり, この磷酸の施肥法が施用磷酸の特性と土壤磷酸形態に関連して, 牧草の初期生育を大きく支配していると考えられる。

これに反して十分量の磷酸を保持する土壤では, その施肥磷酸の影響は極めて少ないことを示し, とくにその施肥磷酸の利用は極めて低いものである。

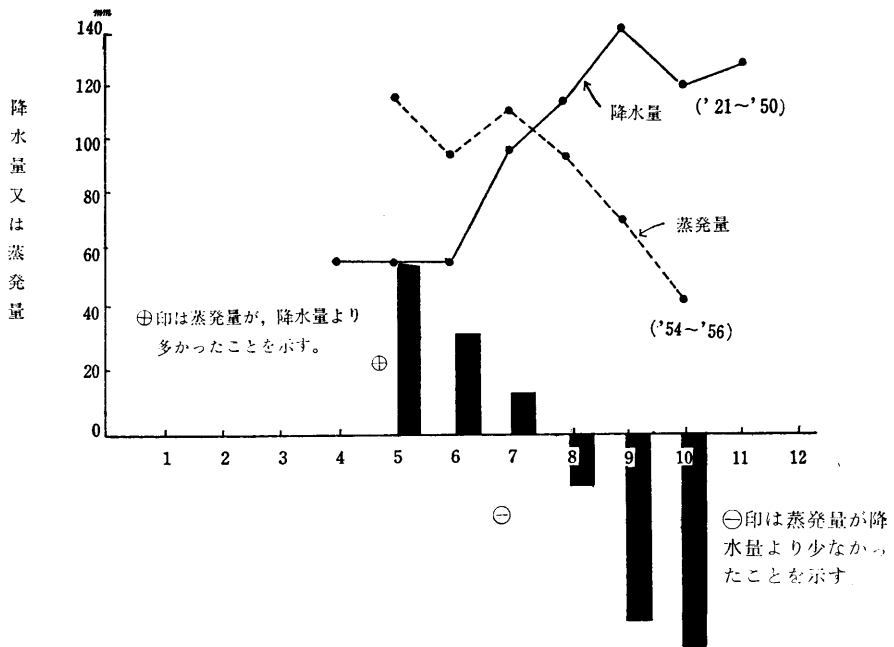
以上の事実は一般に牧草の初期生育に対して磷酸の増肥が土壤中に磷酸をかなり保持している土壤においても有効である現実と, 2~3 年後の牧草が磷酸無施用でも減収することなく一定収量を生産しつづけるという事実と照して, 土壤中の磷酸管理をどのように考へべきかという点において極めて有効な

基礎的知見を提供し得るものとする。

すなわち、土壌の有効リン酸 ( $P_2O_5$ ) 3 mg/100 g 乾土程度から 10 mg 程度の段階では施用リン酸に依存して牧草は初期生育を全うするが、有効リン酸 10 mg 以上 20 mg/100 g 乾土程度になるとほとんど土壌中に存在するリン酸で初期生育が全うされると考えられる。このことから 10 mg/100 g 以下の土壌では 300 kg/ha 以上のリン酸を薄層施肥として、また 10mg/100 g 以上の土壌では 300 kg/ha 以下のリン酸を厚層施肥とすることが牧草の初期生育を良好にするために望ましいことであると結論することが出来る。

### 第 4 節 牧草の初期生育に及ぼす種子床条件の検討 (その 1) 土壌水分の影響

植物が生育するために必要な条件は極めて多いが、就中水分が果す役割は重要な条件の一つである。N. A. MAXIMOV 93) は植物を耐乾性の見地から乾性型植物、中性型植物、水性型植物に三大別し、それぞれの特徴を述べている。それによると人間生活に関係の深い中性型植物は持続的な萎凋にかけると葉部の含水量百分比は低下しないが、乾物量が著しく減少することを認めている。また MCDERMOTT 83) は土壌に生育しているヒマワリの bleeding に対する土壌水分の影響を研究し、容易に有効化する水分範囲の 60% 以下の水分土壌においては bleeding が起らないことを認めている。更に F.M. ACHTON 26) は土壌水分の適、不適は甘蔗の光合成に極めて明敏に影響することを報告している。著者は池田らとともに 1954 年より土壌を植物生育の場としてとらえ、その三相の割合を土壌種類別に、また時期別、層序別に明らかにし、更にこれらと作物生育との関連を検討してきたのである (50,51,52,53)。それによると北海道においては 4 月上中旬の融雪後間もなく激しい乾燥期に入り、植物利用可能水の分布は極端な過剰状態から極端な不足状態に変化するのである。これらの気象条件は第 15 図に示すごとく、5、6、7 月は明らかに蒸発量が多く、また降水量が少なくなっている。この乾燥期における土壌三相と植物利用可能水の動きは土壌の種類により異なり、またこの水分の問題は大麥の初期生育にも大き



第 15 図

北海道石狩地方における気候 (降水量及び蒸発量)



く影響することを認めた。54)

著者は、これらの研究を基礎に牧草の発芽並びに初期生育に及ぼす土壌水分の影響を土壌の水分張力(pF)を指標に検討した。

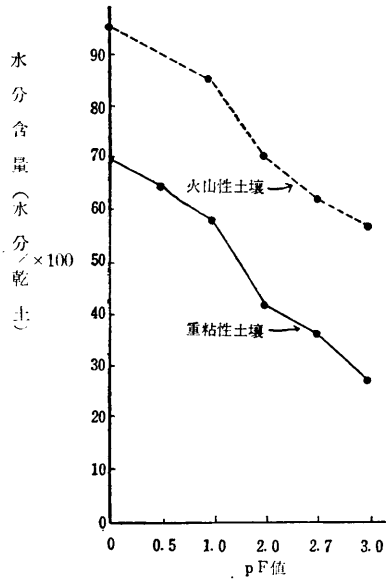
### 1 実験方法

供試土壌は野幌重粘性土壌及び月寒火山性土壌である。この供試土壌の特性は第49表のごとくである。

これらの土壌を 50 cm × 50 cm × 50 cm の木框に結め、水分条件は pF 0, 0.5, 1.0, 2.0, 2.7, 3.0 の6段階とした。またこれらの水分の調節は第16図に示した水分含量 ( $\frac{W}{S} \times 100$ , ここで W は水分, S は乾土(いずれも重量)) と pF との関係曲線によってその  $\frac{W}{S} \times 100$  から算出し、3日ごとに水分を測定することにより灌水補正した。施肥は第50表のごとく標準施肥と2倍施肥とした。この実験は屋外で行ったため降雨の際はビニールテントを用いて被覆した。

供試牧草は alfalfa と orchardgrass で播種量は前者が10 kg/ha、後者は5.0 kg/haとした。

また肥料の施肥法は表層10 cmに全層施肥とした。



第16図 供試土壌の曲線

第49表 供試土壌の特性

供試土壌	土性	腐植 %	全窒素 %	pH		CEC (me)	置換性塩基 (me)		塩基飽和度	磷酸吸収係数	有効態磷酸
				KCl	H <sub>2</sub> O		CaO	MgO			
重粘性土壌	埴土	6.2	0.23	4.9	5.3	23.6	11.5	1.7	58.2	465	1.32
火山性土壌	壤土	11.5	0.31	5.2	6.1	24.6	7.5	3.0	43.9	1178	trace

第50表 施肥量 (kg/ha)

要素名	肥料名	N		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O
		硫安	尿素	過石	熔磷	硫酸加里
Alfalfa	標準	40	40	100	100	100
	2倍	80	80	200	200	200
Orchard-grass	標準	80	80	100	100	100
	2倍	160	160	200	200	200

## 2 実験結果並びに考察

### 1) 生育相の検討

#### a) 発芽個体指数の変化

pF の相違に基づく牧草類の発芽状態を把握するため、播種2週間後における発芽個体数を調査した

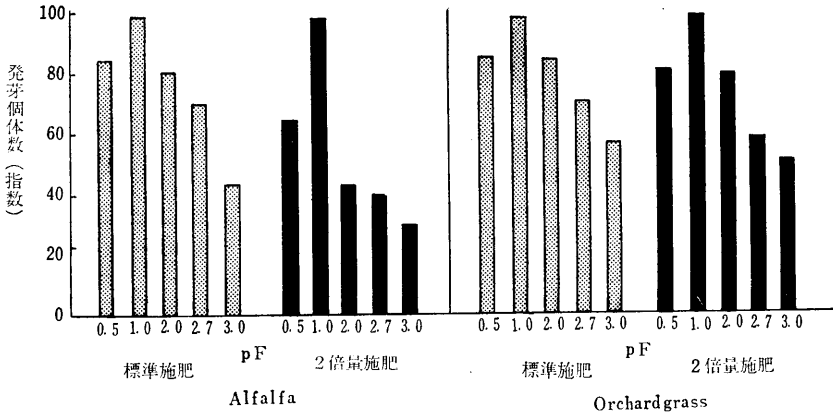
数値は第17図である。この図によれば発芽個体数は pF 1 を最高として0.5, 2.0, 2.7, 3.0の順に低下した。標準施肥区の alfalfa は pF 0.5 と 2.0 の指数は接近しているが pF 2.0 と 2.7 及び 3.0 のそれは 20~25%低下している。

Orchardgrass でもこの傾向は類似し、また施肥量が2倍になるとこの差異は一層大となる。

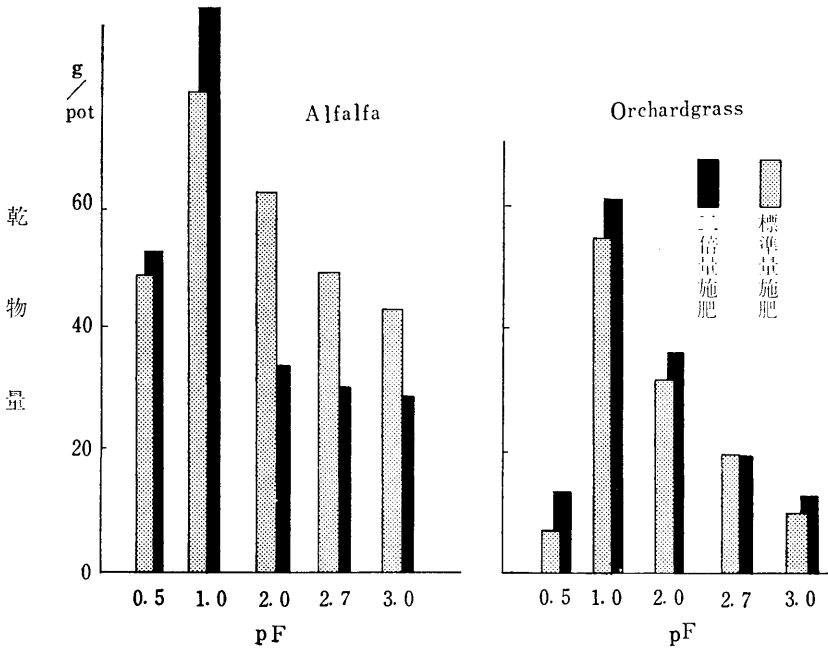
これらの傾向は火山性土壌についても類似した傾向を示した。

b) 初期生育量の変化

これらの発芽個体指数の相違は当然その後の初期生育量にも影響するわけであるが、pF の相違に伴う乾物重の変化を図示すると第18, 19図のごとくである。すなわち重粘性土壌では pF 1.0 において最も初期生育量が大であり、この傾向は施肥量の相違によっても変化しない。また火山性土壌の例では



第17図 発芽個体数の変化 (指数, 野幌重粘性土壌)

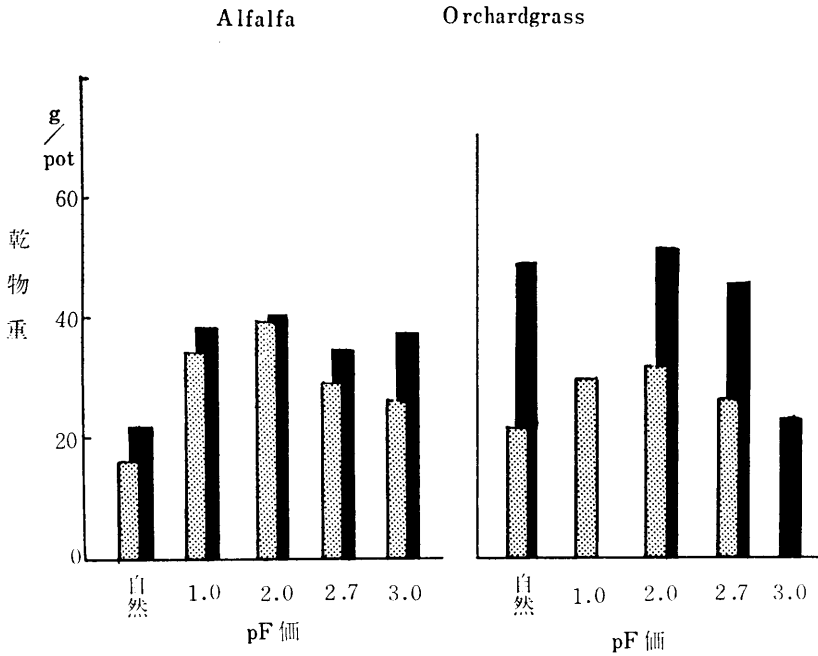


第18図 pF の相違に伴う乾物重の変化 (重粘性土壌)

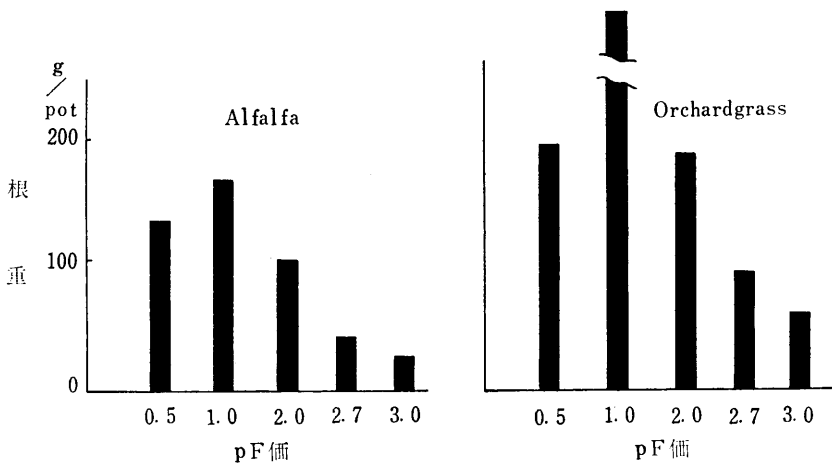
pF 2.0 が最大でその前後では重粘性土壌と同様やや低下しているが、その差異は僅少である。この火山性土壌と重粘性土壌における初期生育が pF 1 と 2 とに異なる理由は、土壌の特性に由来する有効水分の相違によるものと考えられる。

c) pF の相違に伴う根重の変化

このような生育量を示す牧草の根重を測定した値が第 20 図である。この数値によれば pF 1.0 では



第 19 図 pF の相違に伴う乾物重の変化 (火山性土壌)



第 20 図 pF の相違による根重の変化 (重粘性土壌)

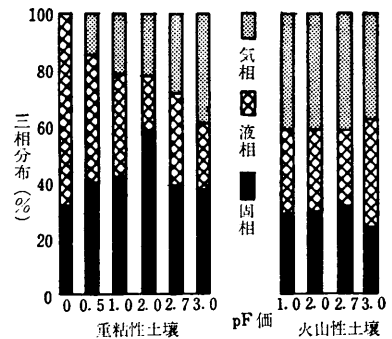
両牧草とも最大であり、それより pF 値が増大するに従ってやや急激に低下している。この傾向は地上部の生育量と極めて類似する。

以上のような pF の相違に伴う牧草の初期生育差が pF 以外の土壤の物理化学的、如何なる要因によって起っているかを以下に検することにする。

## 2) 生育差をもたらした要因の検討

### a) 土壤の三相分布の変化

土壤の三相分布が、植物の生育を大きく支配するところは、既に池田らによって明らかにされている(50~54)いま pF の相違に伴う三相分布を所定の pF に調製後 6 時間目に測定した値は第 21 図のごとくである。この測定結果によれば、重粘性土壤では pF の増大に伴い固相割合が次第に増大し後やや低下する。これに対して液相は pF の増大で一方的に減少する。また気相割合は逆に増大する。火山性土壤についてはこの割合は pF の相違によって明らかな相違を示さない。これは火山性土壤が如何に保水力が小さく、所定の pF に調製しても直ちにその土壤本来の pF すなわち三相分布の相違を示さない土壤であることが知られる。このことは乾燥期におけるはなはだしい水分不足を招来することが予測される。このような土壤において、牧草の良好な初期生育を期待するためには、さきに結論した初期生育量でも示されるように本実験条件下のとき 3 日に一度の灌水により pF 1 前後に調製されることが望ましいこととなる。



第 21 図 pF の相違に伴う土壤の三相分布の変化

### b) pF の相違と水分含量

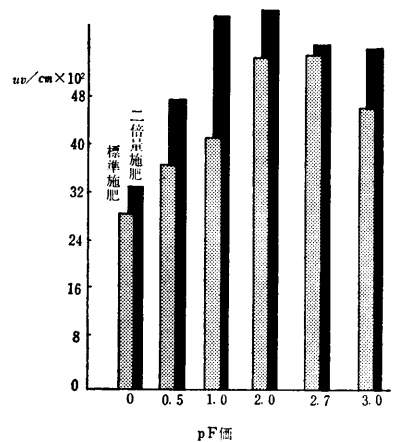
このことは既に第 16 図にその関係曲線をあげているが、重粘性土壤においては、初期生育の最も良好な点は pF 1.0 で水分/乾土×100 の表現を用いて表示するなら、おおよそ 60.5% の水分含量であることが望ましいこととなる。そしてこれが火山性土壤においても pF 1.0 で 70.7% である。また本土壤の最大容水量は前者で 70.5%，後者 96.9% である。

### c) pF の相違に伴う土壤溶液の電気伝導度の変化

牧草の発芽並びに初期生育に対して磷酸質肥料が極めて効果的であることは既に多くの研究が示すごとく明確なところであるが、一方窒素や加里の作用も見逃すことが出来ない。しかしながら、この窒素はその施用量をあやまると発芽障害やその後の初期生育が極めて不良となる事実がある。このことはまた pF の相違と関連して牧草の初期生育に重要な影響がある。

よって著者は pF と土壤溶液の塩類濃度との関係を検討する必要性を痛感し、まずその指標としての硫酸のモル濃度と電気伝導度との関係を求めることとした。この測定結果によれば硫酸のモル濃度と電気伝導度の関係は直線の関係があることは既に明かにしたところである(42)。

次に供試した重粘性土壤の溶液についての伝導度は第 22 図のごとき数値である。すなわち pF の増大で次第にその電導度は増大するが、その最大は  $61 \mu\text{V} \times 10^2 / \text{cm}$  程度であ



第 22 図 pF の相違に伴う土壤溶液の電気伝導の変化(alfalfa)

る。この電導度で示されるものを総て硫酸に換算しても、そのモル濃度は 0.007 M 程度であり、窒素で 242 ppm である。窒素 level としてはさきに記述したように窒素の濃度障害が起り始める程度の濃度である。第 21 図に示すごとく、pF 2.0 以上の高濃度では必ずしもその伝導度が増大しない。これはおそらく  $\text{CaSO}_4$ 、あるいは  $\text{FePO}_4$ 、 $\text{AlPO}_4$  などの塩類の沈澱が生じて来ているものと考えられるが、これらについては別の機会に追求することとする。

### 3 結 言

重粘性土壌及び火山性土壌を供試し、alfalfa 並びに orchardgrass の発芽並びに初期生育に及ぼす土壌水分(pF)の影響を検討するため土壌を  $50 \times 50 \times 50$  cm の木框に充填し 3 日ごとに pF を 0~3.0 まで調節することによって得られた結果は次のごとくである。

まずその発芽並びに初期生育量の最大は重粘性土壌では pF 1.0 であり、火山性土壌では pF 2.0 において、最も良好な水分条件の点が見出された。

この時の土壌の三相分布は前者で固相 44%、液相 35%、気相 21% であり、後者では 25、30 及び 45% であった。またこの時の水分含量(水分/乾土 $\times 100$ )は重粘性土壌では 60.5% であり、火山性土壌では 70.7% であった。

pF の相違に伴う土壌液相の塩類濃度を示す電気伝導度は当然異なるが、この相違は重粘性土壌では pF の増大で次第に増大し、その最大は  $64 \mu\text{S} \times 10^3/\text{cm}$  程度であった。これらの濃度から換算した  $\text{NH}_4\text{-N}$  の濃度は最大 242 ppm であり、牧草の初期生育を障害する限界濃度であった。

#### 第 5 節 牧草の初期生育に及ぼす種子床条件の検討(その 2)

##### 土壌 pH の影響

わが国における多くの作物については言うに及ばず、荳科牧草の生育に対しても土壌の酸性が大きな限界要因として認められている。多くの酸性土壌は植物に対して毒性を持つとされているが、しかしその毒性そのものについては必ずしも良く理解されていない。

過剰の aluminum (2,77)、過剰の mangan (1,107) と calcium (3) の欠乏が植物の生育の限界要因であると考えられる。最近の米国南東部における 17 種の土壌を検討した結果は結局過剰の Al が生育を減少させると報告されており、中性 KCl-extractable-Al は 0.05 から 2.5 me/100g 乾土の範囲にあったとしている(27)。そして酸性土壌において植物の初期生育を支配する要因は過剰の Al であり、そして石灰施用によってもたらされる収量の増加は KCl-extractable-Al が、減少するためであるとしている。しかしまたこれらの Al の過剰害というものは烈しい磷酸不足という現象を伴うという観察は WRIGHT によって結論されているところである (116,117)。

またその mechanisms については最近 RANDALL 及び VOSE らによって研究されている。すなわち perenial ryegrass (*Lolium perenne* L.) の根及び shoot に対して low aluminum と high aluminum ( $1.85 \times 10^{-4} \text{M}$ ) ( $18.5 \times 10^{-4} \text{M}$ ) の反応を検討し low level では根中及び shoot の磷酸の濃度も量も増大するが high level では、全磷酸は減少したと報告している。このことは、更に  $^{32}\text{P}$  の利用による autoradiograph でも確めている。そして結論的にその mechanisms は Cytochrom の reduction の aluminum による刺激 (stimulation) によって磷酸の吸収を増大しているという事実から aluminum は植物体中で磷酸と結合して磷酸欠乏を惹起せしめ毒性を発するとしている。

また、ARNON らは培養液中の水素イオン濃度の増大は calcinm の uptake を減少せしめるが、potassium, magnesium 及び硝酸態窒素の吸収には影響しなかったと報告している (4)。

一方、土壌中の aluminum, iron, manganese の溶解度は土壌の酸度によって影響するとする多くの報告がある (107)。

以上のように土壌の pH と植物の生育については多くの問題を残して今日に至っている。よって著者は牧草の初期生育に及ぼす pH の影響を検討するため、野幌重粘性土壌の場合における事例を明らかにし、この種の牧草初期生育不振に対する一解決法を打ち出そうとして以下の計画で実験した。

### 1 実験方法ならびに結果

**実験 1** pH 及び窒素 level の相違に伴う alfalfa, red clover 及び ladino clover の生育量

酪農学園大学研究圃場の供試土壌 (KCl pH 4.34, H<sub>2</sub>O pH 5.01) を  $\frac{N}{10}$ -NaOH によって緩衝曲線を求め pH(KCl) をそれぞれ 4.5, 5.5 及び 6.5 になるまで消石灰を加えて矯正した。この圃場に対して第 51 表のごとき処理で実験を開始した。1 区面積は 15m<sup>2</sup>3 連であり、播種は 5 月 5 日 ('63), 窒素肥料は硝安, 燐酸は過石と溶燐(140 kg/ha) 各 1/2 量ずつ, 加里は硫加 (600kg/ha) を用いた。播種法は 10×15.0 cm の圃場であるので 3 条とした。

a) pH の相違に伴う草丈, 生草重及び乾物重の変化

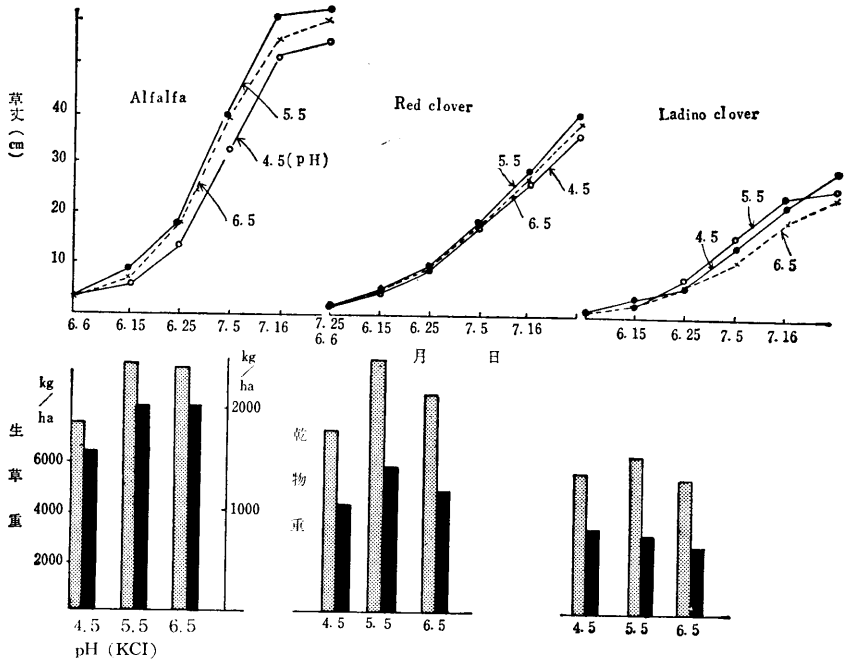
これらの変化は第 23 図のごとくである。すなわち草丈では alfalfa において pH 4.5 が若干低く経過する以外は pH の相違によって大きな差異は見出されない。しかし全体の生育を観察するときは pH 差は明確に現れている。

次に生草重並びに乾物重の変化を見ると pH 4.5 では alfalfa 及び red clover は 5.5 及び 6.5 に比較して低下しており, その割合は 2~3 割である。

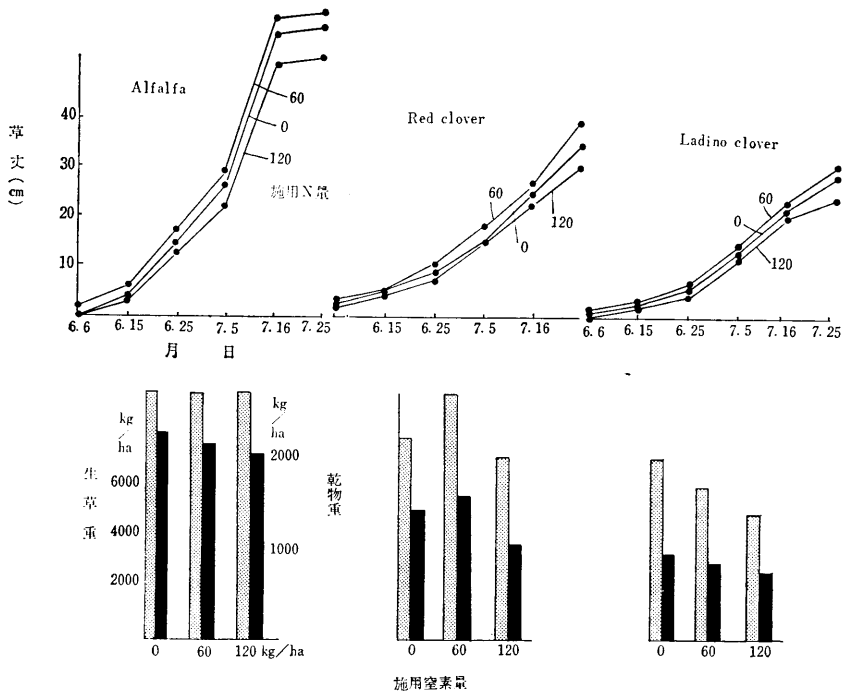
Ladino clover ではこの点若干異なり, pH 5.5 に最も良好な点があり, pH 6.5 では 5.5 に比し 84%

第 51 表 pH 及び窒素 level の相違に伴う, alfalfa, red clover  
及び ladino clover の生育相検討のための圃場組合せ

土壌の pH (KCl)	窒素 level kg/ha	供 試 牧 草 名
pH 4.5	0	{ Alfalfa (A) Red clover (R) Ladino clover (L)
	60	{ Alfalfa Red clover Ladino clover
	120	{ Alfalfa Red clover Ladino clover
pH 5.5	0	{ Alfalfa Red clover Ladino clover
	60	{ Alfalfa Red clover Ladino clover
	120	{ Alfalfa Red clover Ladino clover
pH 6.5	0	{ Alfalfa Red clover Ladino clover
	60	{ Alfalfa Red clover Ladino clover
	120	{ Alfalfa Red clover Ladino clover



第23図 pHの相違に伴う草丈、生草重及び乾物重の変化



第24図 窒素施与量の相違に伴う、草丈、生草重及び乾物重の変化

の乾物重となっている。

b) 窒素 level の相違に伴う草丈及び生草重, 乾物の変化

Alfalfa については, さきの報告で 100 kg/ha 程度の施肥量 (band system) が望ましいことを報告した。しかし従来しばしば, 豆科牧草には窒素肥料は不必要であると言われてきたばかりか, 時には有害であるとの意見を持つ研究者も多い。そこで初期生育における窒素施用量の影響を無窒素施肥区, 窒素 60 kg/ha 施肥区, 窒素 120 kg/ha 施肥区の 3 段階で比較検討したのが以下である。

これらの結果は第 24 図のごとくである。すなわち各牧草とも施用窒素の 0 区よりは 60 kg 区の方が若下草丈は良好である。しかし施用窒素を 120 kg とすると逆に少しく低下する。これらの傾向は ladino clover 以外の生草重にも見られる。乾物量では alfalfa, red clover で, 0 区, 窒素 60 kg 区では大差を示さず, 窒素 120 kg 区で若干低下している。また red clover は 0 区が生草重, 乾物重とも最大となっている。

c) pH 及び窒素施与量の相違に伴う固定窒素量の相違

pH 及び窒素施与量の相違に伴う固定窒素の相違は (結局粗蛋白量) は第 52 表のごとく, pH では 5.5 が最も窒素固定量が大きく, また窒素 level では 60 kg 区がいずれも大きな窒素固定を示している。ここで pH 5.5 以上の同一時間の同一条件ではいずれも alfalfa > red clover > ladino clover が 100 > 79 > 55 の順に窒素固定が大であることは牧草栽培の経済性を考える場合, 注目し値することと言わねばなるまい。

実験 2 pH の相違に伴う牧草の無機成分の変化

牧草中の無機成分の pH の相違に伴う変化は第 53 表のごとくである。

a) 無機成分の変化

pH の変化に伴う alfalfa の収量の変化は WILLARD<sup>8)</sup> によれば pH(H<sub>2</sub>O) 4.7, 5.2, 5.9, 6.8 及び 7.4 で, alfalfa の収量は 4, 12, 41, 100, 94% であったと報告されている。一方著者の研究ではさきに記述したごとく, pH(KCl) 6.5 と 5.5 の差異は 30% 内外で極めて小さくなっている。(WILLAD の pH(H<sub>2</sub>O) 5.2 が著者の pH 4.5 としてもその差異は WILLAD において大である。)

これらの収量差異をもたらす要因を解析しようとして行なった研究報告は少ないようである。よってまずその吸収養分から検討して見ることにした。第 53 表によれば alfalfa の窒素含量は pH 4.5 では明らかに低く 2.10%, pH の増大で 2.61 でやや高くなっている。Red clover では大差を示さない。Ladino clover では pH 5.5 で最大で 4.00% の低下で 2.70% と低下し, 6.5 でも 3.30 で 5.5 の 4.00%

第 52 表 窒素施用量の相違に伴う固定 N 量 kg/ha

N 量 \ pH		pH		
		4.5	5.5	6.5
Alfalfa	* 0	30	32	53
	60	34(100)**	33(100)	52(100)
	120	22	32	59
Red clover	0	32	34	44
	60	33(97)	44(79)	38(73)
	120	32	37	32
Ladino clover	0	22	29	24
	60	23(68)	31(55)	21(40)
	120	23	18	22

\* 施肥量 業 ( ) 内は比率



第53表 牧草中の無機成分含量

作物名	要素名	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
	pH					
Alfalfa	4.5	2.10	0.33	3.50	2.02	0.29
	5.5	2.60	0.37	4.00	2.10	0.28
	6.5	2.60	0.36	4.00	2.20	0.41
Red clover	4.5	3.20	0.23	3.80	1.09	0.50
	5.5	3.10	0.37	4.00	0.90	0.40
	6.5	3.20	0.35	3.50	1.10	0.39
Ladino clover	4.5	2.70	0.23	3.00	2.50	0.39
	5.5	4.00	0.37	3.50	1.90	0.52
	6.5	3.30	0.21	3.50	2.30	0.54

よりは低下している。磷酸は各牧草共 pH 4.5 ではやや低く ladino clover 以外は pH の上昇で含量が高くなり、pH の 5.5 と 6.5 では大差を示さない。加里は alfalfa と ladino clover は pH 4.5 で僅かに低下しているが、その他の pH 及び牧草間では大差を示さない。カルシウムは大差を示さない。マグネシウムでは alfalfa は pH の上昇で増大しているが、red clover ではかえって低下している。ladino clover では pH の増加で一たん上昇するが、後再び低下する如くである。

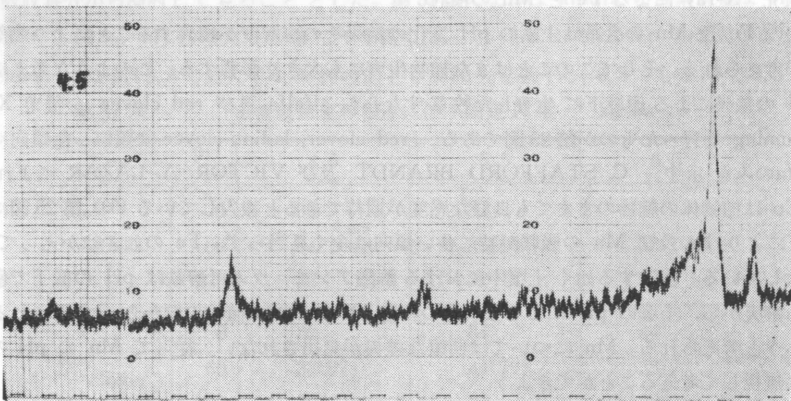
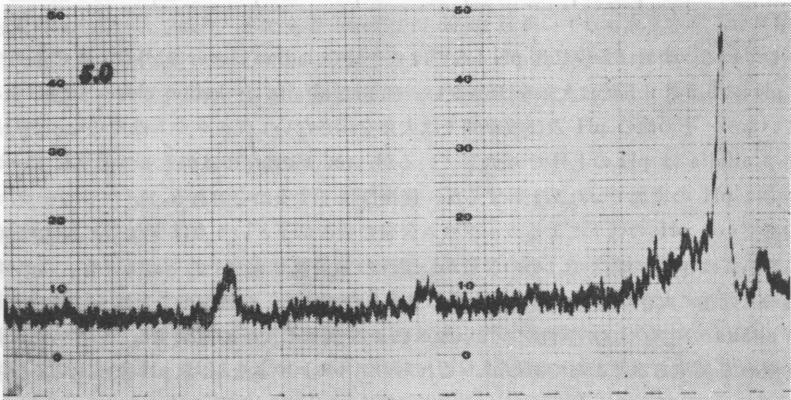
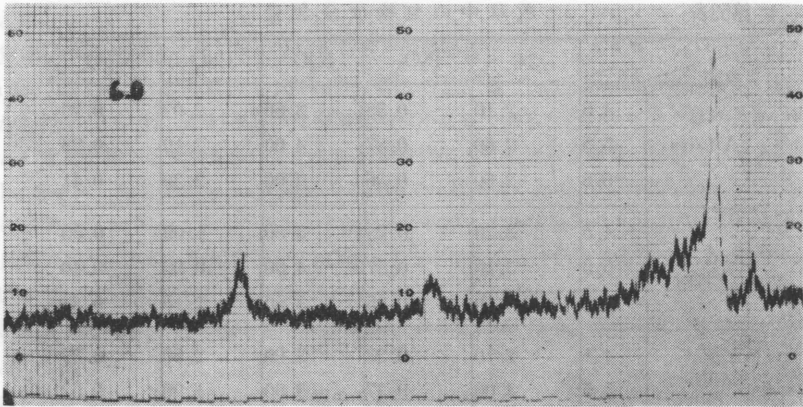
これらの事実から pH の低下によるカルシウム含量の吸収低下という点は少なくとも見当らない。しかし磷酸については pH の低下で、その含量がいずれの 苜科牧草も若干低下している。これは pH の低下が磷酸の有効性に大きく関係することを暗示するものである。これらのことは土壤酸性に基づく苜科牧草、就中 alfalfa の生育不良が活性アルミニウムによる 磷酸の欠乏に原因するという考えに通ずるものであり、極めて興味あるところであるが、これらのアルミニウムと 土壤 pH の問題は「土壤の pH と活性アルミニウム及び置換性カルシウム」の項で論ずることとしたい。

b) 螢光 X-ray による Fe と Mn の検討

牧草体内の Fe と Mn の含量は土壤の pH 変化の結果その溶解度が相異なることにより当然異ってくるのが考えられる。そしてこのことはまた植物生育にも大きく影響する。このような考えに立って土壤の pH の差異による 環境下に 生育した牧草すなわち alfalfa 及び red clover を螢光 X-ray を用いて scanning を行ったものが第 25 図である。(red clover, ladino clover は類似した傾向にあったので alfalfa のみを示す。) C. STAFFORD BRANDT 及び VICTOR A. LAZAR によれば Mo, Mn, Zn, Co は植物体の乾物のままでも良好な感度が期待できると報告している (109)。第 25 図によれば pH の低下により Fe 及び Mn の吸収が特に多い傾向は全く見当らず、Fe の如きはかえって pH の上昇で増大している。後述する如く 土壤中における 酢酸アンモニウム可溶鉄は pH の低下で僅かに増大している事実から、土壤の pH による吸収量の相違というよりは 植物の側からもたらされる積極的吸収であろうと考えられる。Mn については明瞭な差異が見出されない。従って Mn の pH の差異による影響は無視して考えることができよう。

実験 3 土壤の無機成分の検討

牧草類の pH 差による明確な生育差を解決する一つの方法として土壤の pH 並びに作物の生育に関連深いと考えられる成分の検討を行ったのが第 54 表である。これらの値は N-CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub> 抽出液の分析によるものである。これらの数値は明らかに土壤中では差異を示す。しかしこれが具体的に植物体中に吸収されていないことは既に記述したところである。



上より PH 6.5, 5.5, 4.5

45 KW

25 mA

測定条件

4×1

750 vol

1300mg からの ash を使用

第25図 Alfalfa plant の Mn 及び Fe の fluoresceus-X-ray の scanning

第 54 表 N-CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub> 可溶性 Al, Mn 及び Fe

	pH	Al <sup>+++</sup>	Mn <sup>+++</sup> mg/100g 乾土	Fe <sup>+++</sup> mg/100g 乾土
Alfalfa	4.5	1.8	0.54	0.32
	5.5	2.2	0.24	trace
	6.5	trace	trace	trace
Red clover	4.5	1.7	0.55	0.30
	5.5	0.5	0.17	trace
	6.5	trace	trace	trace
Ladino clover	4.5	trace	0.50	0.15
	5.5	0.5	0.19	trace
	6.5	trace	trace	trace

第 55 表 置換性 CaO, MgO 及び K<sub>2</sub>O 並びに P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> と NO<sub>3</sub>-N

	pH	CaO mg/100g	MgO mg/100g	K <sub>2</sub> O mg/100g	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/100g	NO <sub>3</sub> -N mg/100g
Alfalfa	4.5	140	14.0	42.5	21.0	trace
	5.5	305	16.0	62.5	16.0	2.5
	6.5	602	18.0	65.0	8.0	2.5
Red clover	4.5	120	20.0	47.5	25.0	2.5
	5.5	302	16.0	57.5	23.0	6.3
	6.5	542	20.0	70.0	11.0	6.3
Ladino clover	4.5	118	16.0	30.0	23.0	2.5
	5.5	269	18.0	70.0	23.0	2.5
	6.5	577	22.0	87.5	12.0	6.3

従って以上の事実は Fe あるいは Mn の問題が一次的にこれらの牧草の生育を支配的に影響しているとは考えられないところである。

次に第 55 表に示す CaO, MgO, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, NO<sub>3</sub>-N について記述する。すなわち置換性カルシウムでは pH の低いところで少なく、高いところで多くなっている。しかしこれは植物の体内成分からは明らかな差異として認め得なかった。マグネシウムについては大差を示さず、いずれも 14~22 mg/100 g 乾土の間に入っている。加里は若干 pH により差異を示すが、いずれも 20 mg/100 g の最低必要量を大きく上廻っているから pH の差異にとくに関連しているとは考えられない。磷酸については BRAY'S No. 1 の方法 9) が有効態磷酸を測定するには良好な方法であることを先に記述したが、pH が上昇したときは、この方法が必ずしも良好なこの種磷酸の測定法ではない可能性があるが、この数値によれば、その含量はいずれも 8 mg/100 g 乾土以上で磷酸不足は考えられない。硝酸態窒素については red clover の pH 6.5, ladino clover の 6.5 はやや高い含有量があるが、その他のものは大差を示さない。

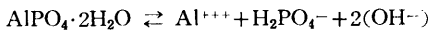
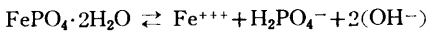
#### 実験 4 pH の変化に伴う土壌磷酸の形態変化

さきに記述した如く、pH の変化による磷酸の有効性はその土壌中における磷酸の形態が問題となると考えられる。よってこれらについて CHANG 及び JACKSON の fractionation により測定した値が第 56 表である。第 56 表によればこれらの土壌に施用された磷酸の大部分は pH の相違にほとんど

第 56 表 pH の相違に伴う 磷酸の形態 (alfalfa 耕作土)

PH の相違	施用 磷酸 kg/ha	CHANG及びJACKSONによる fractionation		
		Al-P mg/100g	Fe-P mg/100g	Ca-P mg/100g
4.5	0	35.5	15.0	17.0
	150	46.3	15.7	16.3
	300	42.5	14.0	15.9
	500	52.7	14.5	20.0
	700	66.5	23.0	20.5
6.5	0	27.0	15.0	16.0
	150	32.1	16.2	15.2
	300	45.0	16.0	18.5
	500	49.2	20.2	17.5
	700	59.6	14.5	21.0

ど関係なく Al-phosphate であり, Fe-phosphate 及び Ca-phosphate は極めて僅少な増大である。従って施用した磷酸の大部分は Al との結合として, 土壤中に存在し, これがその後の土壤条件, あるいは植物の変化によって, 除々に溶出利用されてくるものと考えられる。すなわち  $\text{FePO}_4$  及び  $\text{AlPO}_4$  の如きは難溶性であるが, 僅かに次式の如く解離することが知られている。そしてこれらの溶解積はそれぞれ,  $10^{-32.3}$  及び  $10^{-28.0}$  であり, 甚だ小さい。とくに  $\text{FePO}_4$  は  $\text{AlPO}_4$  に比し数万分の1である。



## 2 総合考察及び結言

豆科牧草の初期生育に及ぼす pH の影響を検討するため, 土壤の pH を消石灰を用いて 4.5, 5.5, 6.5(N-KCl) として alfalfa, red clover 及び ladino clover の3種の牧草により実験を行なった。

その結果 pH の相違により初期生育量及びその乾物重には明確な差異が認められた。しかしその差異は, これまで多くの研究者により指適された程大きなものではなかった。すなわち pH 4.5 と 5.5 との差異は 30%内外の差異にとどまっていた。この結果は必ずしも初期生育だけにとどまるものではなく, その後の生育を検討して見てもこの 30%の差異が上まわる結果とはならなかった。これらの事実は pH の低下が, Mn や Fe の過剰吸収をうながすこと, あるいは  $\text{Al}^{+++}$  による磷酸の植物体内移動の阻害という結論をある程度否定するものである。すなわち十分量の磷酸が供給されれば, 植物体中のカルシウム, 磷酸, その他の成分についても大差を示さず, これはたとえ土壤中における遊離 Fe, Al, Mn の量が相違しても, それが直接的に植物体成分に対応するものではないことを示している。しかし一方 pH の低下による収量の低下は明確で, これが事実は微生物の活性低下による根粒からの窒素供給力の不足に起因するものと推察される。写真 11 の alfalfa は pH 4.5 と 6.5 (KCl) の実験であるが, pH 4.5 の方が明らかに茎葉色が淡く, 一時的にはあるが窒素供給の僅少であることを示している。またこれらの事実を裏付けるため根粒数を測定すると, その着生は少なく, (第 57 表第 26 図参照) 窒素不足の茎葉の事実を明白に証明している。しかしこれらの事実も温度の上昇に伴って, また生育の進むに従って次第にその差異は少なくなる傾向にある。

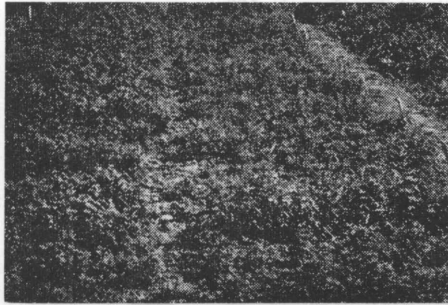
従ってこの pH 低下に基づく収量低下の直接的要因は窒素以外では少なくとも pH 低下にもとづく無

写真 11 土壌の変化による

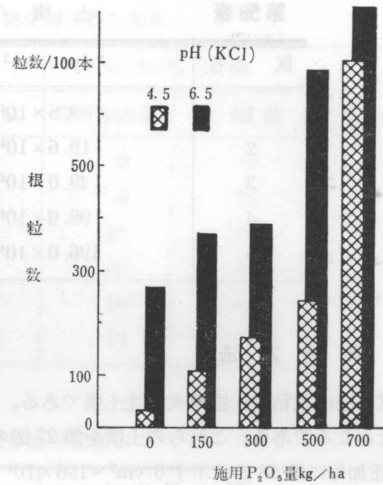
alfa.lfa の生育相

左側は pH 6.5

右側は pH 4.5



播種当年 6月30日写す。



第 26 図 pH の相違による根粒数の変化

第 57 表 pH の相違による根粒数の変化

施用 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 量 pH (KCl)	根 粒 数		
	0 kg/ha	300kg/ha	500kg/ha
4.5	20*	170	695
6.5	270	385	800

\*100 本当り根粒数

機成分が不足であるとは考えられず、根粒菌の活性低下が主因であるものと結論することができる。しかしこのことは窒素を十分供給すればこれを代替し得ると簡単に決することはできないようである。

### 第 6 節 牧草の初期生育に及ぼす鎮圧破碎の影響

牧草の発芽並びに初期生育を検討する場合その牧草地在如何なる土壌の物理的状态に置かれているかを明確にすることが極めて重要である。何となればこれらの土壌の物理的要素は一般に肥料養分に優先して、若しくは極めて密接な関連をもって植物の生育に影響するからである。

そしてさらに、最近の如く、牧草地の造成が次第に大型化され、しかも人馬の作業の段階から大型機械の導入による造成へと移行している現状から、これらの土壌の物理的特性を牧草の生育と関連せしめて明らかにすることが期待されることである。

著者はさきに池田らと共に土壌水分の問題を検討し、土壌水分状態と三相分布の関係から、土壌の物理的特性の側面を明らかにして来たのであるが(53)、ここではまず土壌鎮圧及び破碎の発芽並びに初期生育に及ぼす影響を検討しようとするものである。

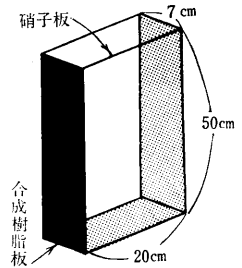
ここで、牧草の seed bed である土壌の鎮圧及び破碎を検討するという事は、結局土壌の三相分布を検討することとなる。しかし適度の水分状態にある土壌が、一連の圧力に対して、どのような三相分布を示し、さらに如何なる生育相を示すか、またその生育の変化はどのような理由によるかを検討した研究は少ないようである。よって以下に土壌の鎮圧、破碎について行なった実験結果について記述することとする。

第58表 土 壌 の 鎮 圧 度 表

区 名	dyne/cm <sup>2</sup>	g/cm <sup>2</sup>
1	9.8×10 <sup>4</sup>	100
2	19.6×10 <sup>4</sup>	200
3	49.0×10 <sup>4</sup>	500
4	98.0×10 <sup>4</sup>	1,000
5	196.0×10 <sup>4</sup>	2,000

1 実 験 方 法

供試土壌は重粘性土壌と火山性土壌である。これらの土壌の特性は既に記述したところである。これらの土壌を第27図の如きガラス箱に充填し、土壌5cm添加毎に第58表に示す0/cm<sup>2</sup>~196×10<sup>4</sup> dyne/cm<sup>2</sup>の圧力がかかるように5段階として alfalfa と orchardgrass とを混播し、その生育状態と土壌条件を検討した。



第27図 根 箱

2 実 験 結 果 並 び に 考 察

1) 鎮圧が発芽並びに初期生育量に及ぼす影響

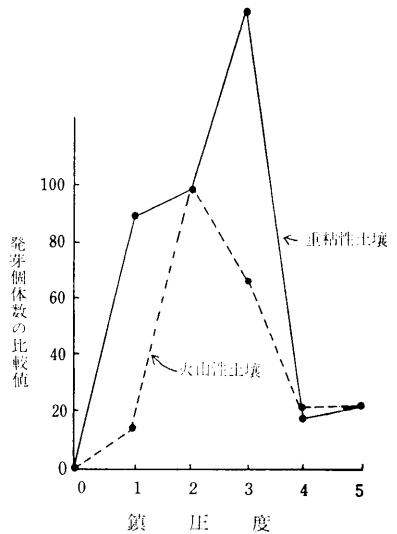
土壌の鎮圧が発芽並びに初期生育に及ぼす影響は第59表の如くである。すなわち重粘性土壌と火山性土壌の19.6×10<sup>4</sup> dyne/cm<sup>2</sup>を基準にすると鎮圧度が49.0×10<sup>4</sup> dyne/cm<sup>2</sup>まではやや発芽個体数を増大するが、これ以下でも以上でもその個体数は減少してくる。そして二種の土壌についての関係は第28図の如く火山性土壌では低鎮圧で極めて発芽不良であるが、重粘性土壌ではやや低下している。また高鎮圧では両土壌の差異は僅少である。

しかしながらこれが播種後30日における生育量は第59表の如く鎮圧の少ない土壌では重粘性土壌でも火山性土壌においても生育悪く49.0×10<sup>4</sup> dyne/cm<sup>2</sup>を100とした相対値ではいずれも低くなっている。しかしながらそれ以上の鎮圧では重粘性土壌では圧力をかけることによって次第に生育量は減少しているが、基準の49.0×10<sup>4</sup> dyne/cm<sup>2</sup>の20%程度の低下となっている。火山性土壌もこの傾向は類似するが、その最適鎮圧度は49.0×10<sup>4</sup>~98.0×10<sup>4</sup> dyne/cm<sup>2</sup>程度のところに見出され、それ以上の鎮圧でも生育量の低下は5%程度の僅少なものである。これらの鎮圧による生育差が土壌の如何なる特性に基くものであろうか。まず第1に考えられることは水分の過不足であり、第2に酸素の問題である。養分については土壌15cmの層に均一に施用しているのでその差異が牧草の初期生育に影響するとは考えられないところである。

以下にこれらの問題を検討することとする。

2) 鎮圧が発芽並びに初期生育を支配する要因の解明

著者はさきの研究においてpFが如何なる状態にあるこ



第28図 土壌の緊密度の相違に伴う発芽個体指数の変化

第59表 土壤の緊密度の相違に伴う発芽個体数の変化

鎮 圧 度 g/cm <sup>2</sup>	重粘性土壤		火山性土壤	
	* 発 芽 個体数	比 較 値	発芽個体数	比 較 値
0 0	0	0	0	0
1 100	52	92	6	15
2 200	56	100	42	100
3 500	90	163	28	66
4 1,000	12	22	10	24
5 2,000	14	25	10	24

\* 播種後15日目

第60表 緊密度の相違に伴う生草重の変化

鎮 圧 度 kg/cm <sup>2</sup>	重粘性土壤		火山性土壤	
	生草重 g/pot	比 率	生草重 g/pot	比 率
0 0	72.0	51	52.0	31
1 100	76.0	54	76.0	45
2 200	92.5	66	130.0	77
3 500	140.0	100	170.0	100
4 1,000	125.0	89	174.0	102
5 2,000	111.0	79	161.0	95

第61表 土壤の鎮圧による水分含量の変化  
(発芽後2週間後の表土5cm位置)

鎮 圧 度 g/cm <sup>2</sup>	重粘性土壤	火山性土壤
0 0	56.5*	73.5*
1 100	56.5	73.0
2 200	56.0	72.5
3 500	55.0	72.0
4 1,000	55.0	72.0
5 2,000	55.0	72.0

\* 水分/乾土×100

とが最も牧草の初期生育を良好にするかを明らかにし、重粘性土壤においては pF 1.0 で火山性土壤では pF 2.0 が最良点であることを見出した。そしてさらにこの時の三相分布と水分含量についても言及した。しかしながら一定水分状態にある土壤を鎮圧あるいは破碎することにより異なる三相割合を出現せしめ、その事が牧草の発芽及び初期生育量に影響するところを明白にすることは重要な土壤条件吟味の一つであると考えられる。

a) 水分の過不足

さきに記した生育量の差異をもたらすと考えられる点のうち、第1の水分の過不足であるが、この値

第62表 鎮圧による土壤三相の変化

土壤名	No.	鎮 圧 度 g/cm <sup>2</sup>	固 相 率	気 相 率	液 相 率	水 分 含 量 水分/乾土×100
重 粘 性 土 壤	0	0	22.5	37.8	39.7	56.5
	2	200	27.8	27.9	44.3	56.5
	3	500	29.3	28.9	41.8	56.0
	4	1,000	34.2	16.2	49.6	55.0
	5	2,000	34.0	15.6	50.4	55.0
火 山 性 土 壤	0	0	21.2	38.8	40.0	73.5
	2	200	27.5	26.5	46.0	73.0
	3	500	23.4	27.3	49.3	72.5
	4	1,000	27.0	23.3	49.7	72.0
	5	2,000	29.0	14.5	56.5	72.0

は第61表の如き数値である。すなわち水分含量(水分/乾土×100)では鎮圧により大きな差異を示さず、これが直接その生育量に影響しているとは考え難い。

#### b) 土壤の三相分布

この測定値は第62表の如くである。すなわち鎮圧度の増大に伴い固相と液相は両土壤とも次第に増大し、気相割合は逆に減少している。とくに生育量に差異を示す低鎮圧区では気相割合が38%も存在するが、最大鎮圧区では僅かに15%前後に過ぎない。これらの三相分布割合が、植物の生育を大きく支配することは既に多くの研究者によって明らかにせられているところであるが、この初期生育や発芽の変化は三相分布の相違に基くものと考えられる。

以上の事実から牧草の発芽並びに初期生育を良好ならしめるための土壤の鎮圧度は $19.6 \times 10^4 \sim 49.0 \times 10^4$  dyne/cm<sup>2</sup> (200~500 g/cm<sup>2</sup>) が適当であると結論することができる。

### 3 摘 要

牧草の発芽並びに初期生育が、土壤の鎮圧及び破碎によってどのように影響されるかを検討するために重粘性土壤と火山性土壤を供試し、これらの土壤を深さ50 cm、巾20 cm、厚さ7 cmのガラス箱に充填し、 $0 \sim 196 \times 10^4$  dyne/cm<sup>2</sup>の圧力がかかるように、5段階として、alfalfaとorchardgrassを混播し、その生育状態と土壤条件を検討した。その結果、両土壤の $19.6 \times 10^4$  dyne/cm<sup>2</sup>基準にすると鎮圧度が $49.0 \times 10^4$  dyne/cm<sup>2</sup>までやや発芽個体数を増大する。しかしそれ以下でも以上でもその個体数は減少してくる。さらに播種後30日の生育では $49.0 \times 10^4$  dyne/cm<sup>2</sup>を基準にすると、それ以上でも以下の鎮圧でも生育量は低下する。とくに重粘性土壤では高い鎮圧によって20%の低下であり、低い鎮圧では50%の低下である。火山性土壤では前者が5%の低下、後者は70%の低下となっている。

次にこれらの低下の要因を検討する目的で水分分析を行なった。しかしこの数値には有意差は見出されなかった。しかしながら土壤の三相分布を検討した結果、高鎮圧により気相率の大巾な減少が見出され、これが生育量の差異をもたらしたものと考えられた。

以上の事実から牧草の発芽並びに初期生育を良好ならしめるための土壤の圧密度は $19.6 \times 10^4 \sim 49.0 \times 10^4$  dyne/cm<sup>2</sup> (200~500 g/cm<sup>2</sup>) が適当であると結論することができた。



### 第5章 牧草の刈取処理と再生長との関係

牧草はその栽培目的から、刈取若しくは grazing を行うことは当然であるが、この刈取処理、若しくは grazing が、牧草自身に与える影響、とくに再生長に際しての生理的状況について理解することは牧草栽培に当り極めて重要であるにもかかわらず、その点の理解がなお十分でない現状である。現実の圃場においては、30~35 cm の若刈が多く、研究者により推奨せられ76) このことはまた高蛋白質と低繊維の故に合理的牧草利用の一方法とされている。しかし一方北海道に於てすら、耕地面積が、日本各地に比較して49) 些か広大であるとは言え、その面積に限度があり、加えてその生育期間にも限度がある57)。従って一定面積から一定期間に良好な牧草をより多量に生産するためには、刈取処理後の再生長が迅速且つ正常であることが必要条件となる。

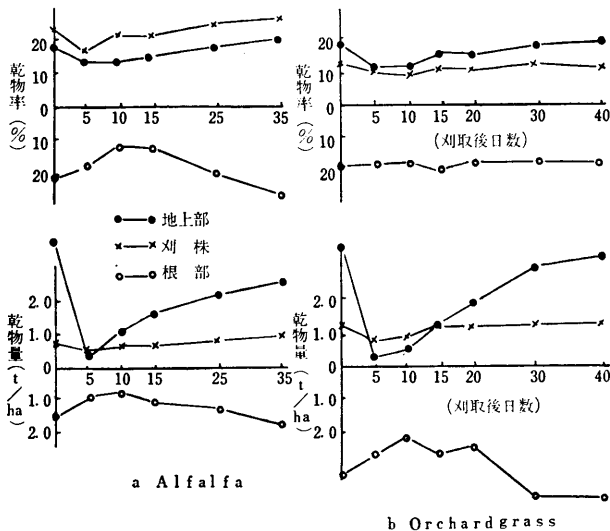
1950年 CRIDER 29) は orchardgrass などの各種のイネ科牧草を供試し、刈取処理が、例外なしにこれらの牧草の根部の活性を減少せしめたと報告している。また DALE SMITH ら 104)、は1962年刈取処理が、available-carbohydrate 含量の推移に及ぼす影響を研究し、刈取処理が、これらの含量を一時的に低下せしめることを報告している。この SMITH らの報告に前後して、原田 40) は刈取処理が根部の乾物重、乾物率、total-carbohydrate 含有率を低下せしめる事実の確認から研究を開始し、その無機成分並びに有機成分の変化を検討した。その結果、刈取処理が明らかに乾物含量を一時低下せしめることに附随して無機成分並びに有機成分も極度に低下する事実を認めたのである。

しかしながら、これらの刈取処理の如何が、その後の再生長に及ぼす影響については必ずしも適切な研究はされていない。

よって著者は、この刈取処理と再生長の関連を詳細に検討すべく研究を行った。

#### 1 圃場栽培による牧草類の刈取による地上部生育の変化と再生長

Alfalfa 及び orchardgrass を5月1日30 cm の条播で栽培し、alfalfa においては開花期、orchardgrass では葉身屈折始期に刈株の高さ7 cm で刈取り、その後の再生長の pattern を検討した。そ



第29図 再生長過程における乾物率と乾物量の推移

第 63 表

全炭水化物の含有率とその絶対量

a Alfalfa

生育時期	刈取期	従生 属長 再期	転換期	独立 再生 再期	開花始期	開花中期	
含有率 (%)	T	11.6	4.6	10.2	10.2	9.0	9.6
	C	14.0	9.4	10.2	5.8	13.2	14.6
	R	37.2	19.8	12.8	17.8	34.0	37.5
絶対量 (kg/ha)	T	458.2	12.0	111.2	169.3	201.6	246.7
	C	119.0	54.5	71.4	40.6	110.9	129.9
	R	565.4	188.1	98.6	199.4	469.2	667.5

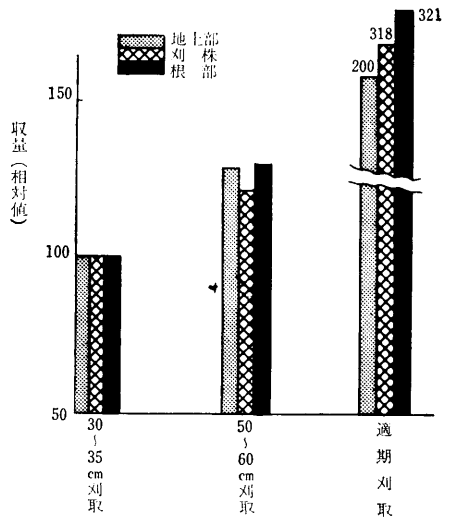
b Orchardgrass

生育時期	刈取期	従生 属長 再期	転換期	独立再生 長移行期	伸長期	充実期	葉身屈折 始期	
含有率 (%)	T	17.0	12.6	11.2	14.0	13.8	15.8	
	C	25.9	17.8	15.6	16.6	18.2	22.2	
	R	20.5	18.4	16.4	15.8	21.0	19.8	
絶対量 (kg/ha)	T	606.9	21.4	56.0	176.4	269.1	459.0	513.5
	C	328.9	151.3	140.4	199.2	218.4	236.2	266.4
	R	707.3	520.7	380.5	451.9	522.9	784.0	819.7

の乾物量の変化は第 29 図の如くである。第 28 図によれば地上部（地上 7 cm で刈取られたそれ以上の部分）の乾物重は刈取後次第に増大し alfalfa では開花期に、orchardgrass では葉身屈折始期に再び刈取前と同量にまで快復する。しかし alfalfa の刈株では刈取処理後次第に乾物重を低下し、5 日目において最低となり、その後次第に回復して刈取期以上の量となる。この傾向は orchardgrass についても低下の度合は僅少であるが類似している。根部については刈取後次第に低下し、10~15 日目において最低となる。Orchardgrass ではこの時期は 10~15 日目である。その後の回復は両牧草共急激であり 30 日目頃には刈取時の量となる。そしてその後の生育日数の増加により、更に増大の過程を示す。これらの牧草類の乾物率もほぼ同様の傾向を示す。

全炭水化物では第 63 表及び第 30 図のごとく、alfalfa の含有率においては地上部で 5 日後の従属再生長に 4.6%と最低となるが、刈株では刈取後次第に低下し、15 日目の独立再生長期には 5.8%と低下する。一方、根部は 10 日後に最低となり 12.8%となる。(第 29 図参照のこと)

Orchardgrass ではこの最低含有率を示す時期は地上部、刈株では 10 日後の転換期、根部では 15 日目でそれぞれ 11.2、15.6 及び 15.8%を示す。



第 30 図 8 月 2 日刈取時までの取量比較値  
地下部刈株は 8 月 16 日における数値

2 刈取処理による根系の変化

前述のごとき乾物重並びに全炭水化物の変化を示す牧草類は明白に根系の変化が考えられるので、これを確認すべく水耕法により検討した。写真12~15は刈取後経時的に写した根部の写真である。

これらの写真に示すごとく、alfalfa では刈取処理によって明らかに根部の老化衰退が認められる。これに対して無刈取の根部はこの傾向が認められず根部の活性（この場合毛細根の白色及び数で判定）が大である。これらの傾向は orchardgrass についても類似している。写真14, 15によれば、明らかに刈取処理によって、根重、根長の低下がうかがわれ衰退が認められる。このことは無刈取のそれと比較する時一層明白である。



写真12 刈取後16日目の alfalfa 根部



写真13 無刈取 alfalfa の 根部



写真14 無刈取の orchardgrass

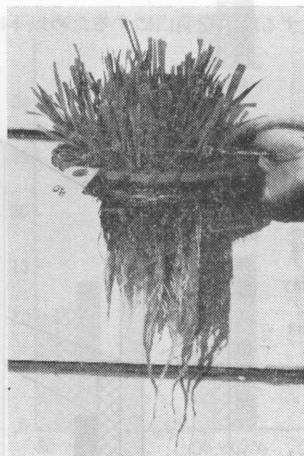


写真15 刈取後7日目の orchardgrass

### 3 刈取時期を異にした場合の乾物生産速度の推移

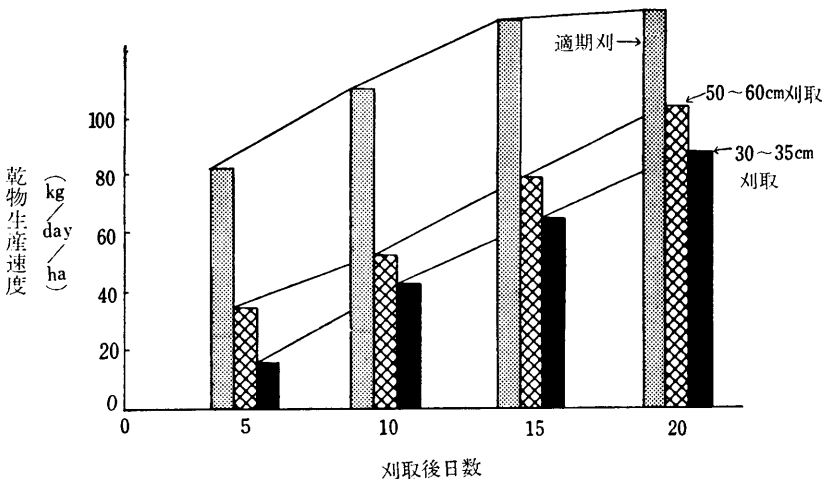
刈取処理が根部あるいは株部の乾物量を低下せしめる事実が明確にされたが、これらの刈取処理が、生育の stage を異にして行われた場合、その再生産にどのような変化が現れるであろうか。最近牧草地の利用方法として、30~35 cm の若刈あるいは早期における放牧が推奨せられていることは既に記述したところであるが、このことは牧草の生理的特性からすれば前述の如く、最も根部の衰退している時期であり、この衰退している時期の連続的な grazing は牧草の質の点では良いであろうが、現実一定面積の牧草を連続的に刈取収穫するかあるいは rotation grazing を行うときは、その牧草地の牧養力において、また具体的にはその乾物生産速度の低下において多くの問題点を残すこととなろう。そこで著者は、この辺の事情を明白にする目的をもちかねて、まず alfalfa を供試し、刈取の stage を 30~35 cm の伸長期、50~60 cm の独立再生長期及び 70~80 cm の開花始期（この時期は先の記述で刈取適期とした）この 3 stages について、それぞれ、その stage まで伸長せしめて刈取を繰返した場合のその乾物生産速度、根長及び total-carbohydrate の変化を検討することとした。なお本実験は 50 cm<sup>2</sup> の木框で行ったもので、その実験値をそのまま 10 a あるいは ha 当りに普遍的に適用することは光合成度合などが異なるので得られた数値を相対的に表現することとした。

#### (A) 生草取量比較

以上のような実験方法によって得られた結果の内、まず生草取量比較から論ずることとする（第 31 図）。第 30 図によれば 30~35 cm の刈取の際の生草量を基準にとり、これを 100 とすると 50~60 cm の刈取では 125 内外の数値となるが、通常刈取適期と言われている時期、すなわち 70~80 cm の刈取の際は 200 で 2 倍の数値を示す。この数値は 8 月 2 日までの全生草取量である。刈株は同日より 2 週間後に堀り出したものであり根部も同様のものである。刈株根部の差異は地上部以上であり、刈取 stage の相違は大きくその植物体の各部位の重量に影響していることが窺える。

#### (B) 乾物生産速度比較

また乾物生産速度（一応 kg/day/ha とした）では 30~35 cm 及び 50~60 cm まで伸長せしめて連続的に刈取処理を行ったものと適期刈取処理との比較では、前二者ではその差異は僅少である。しかも刈取後の初期、すなわち、5、5~10 日目における发育速度はとくに遅いものである。これらの乾物生産速度の差異の生ずる理由を明白にするため以下にこれらの刈取処理牧草を堀り出し根長、及びその total-



第 31 図

刈取時期の相違による乾物生産速度の変化

carbohydrate を測定した。

(C) 刈取処理による根長及び根の total-carbohydrate 含量の変化

以上のような生草重及び根重の変化は明らかであるが、これらの alfalfa を 30~35 cm 刈取処理は 4 回刈取後、50~60 cm 刈取処理は 3 回刈取後、適期刈取は 2 回刈取後、18 日に、これまでの刈取処理の影響を検討すべく alfalfa を根部まで畑出して検討したのが、写真 16 である。写真 16 によれば刈取 stage の 30~35 cm で連続的に刈取ることによって、その草丈は極めて伸長おそく、しかも根部の生長は僅少である。これに対して適期刈取の根部は、根長は長く、太く、その量も増大しており、更に地上部の伸長速度も迅速である。この事実は結局、地上部の刈取処理によって地上部及び地下部の生長が大きく影響されるものと考えられる。



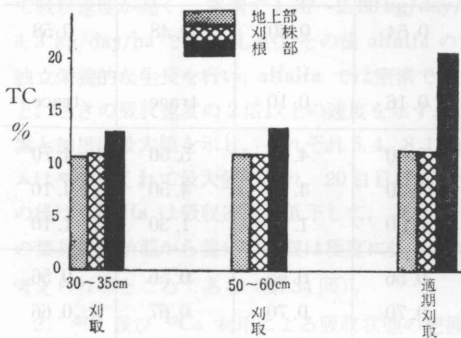
左側	第 1 回刈取	5 月 22 日
30 ~ 35 cm	” 2 ” ”	6 月 21 日
刈取処理	” 3 ” ”	7 月 16 日
	” 4 ” ”	8 月 2 日
中央	第 1 回刈取	6 月 8 日
50 ~ 60 cm	” 2 ” ”	7 月 2 日
刈取処理	” 3 ” ”	8 月 2 日
右側	第 1 回刈取	7 月 5 日
適期刈取	” 2 ” ”	8 月 2 日

写真 16 刈取 stage の相違による再生長の変化

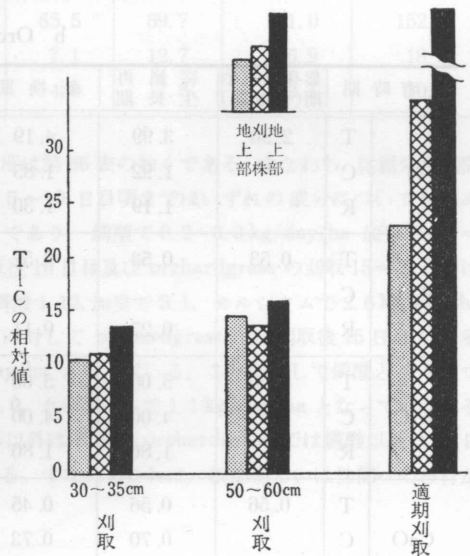
(D) 地上部、刈株及び根部の total-carbohydrate の変化

刈取処理の相違による生草収量、乾物生産の変化及び根部の発達には上述の如くであるが、これらの各部位における主要な構成有機物である total-carbohydrate の消長を測定したこれらの各部位における total-carbohydrate の含量及びその相対値は第 32 図の如くである。Total-carbohydrate 含量では、地上部及び株部に明白な差異は認め難いが、根部含量では、適期刈において、極めて多量の total-carbohydrate を含有するその含有率は 17.9%にも及んでいる。

Total-carbohydrate の絶対量については第 33 図の如く、適期刈取の地上部、刈株部においてはもとより根部においても、極めて多量の炭水化物



第 32 図 Alfalfa の各部位の total-carbohydrate 含量



第 33 図 Total-carbohydrate 量の相対値

が、集積していることが窺える。このことは先の報告においても認めたとおりであり、これらの total-carbohydrate の主体を なすものは澱粉であることは明らかである。

第 64 表 再生長過程における無機成分の含有率（乾物当り%）  
a Alfalfa

生育時期		開花中期 (刈取期)	従属再生 長期	転換期 (伸長期)	独立再生長期 (蕾期)	開花始期	開花中期
N	T	2.88	4.43	4.26	3.92	3.65	3.08
	C	1.71	1.40	1.35	1.44	1.28	1.70
	R	1.59	2.10	1.98	1.88	1.70	1.93
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	T	0.44	0.96	0.75	0.70	0.70	0.57
	C	0.48	0.62	0.05	0.11	0.11	0.14
	R	0.62	0.67	0.20	0.21	0.21	0.27
K <sub>2</sub> O	T	2.40	3.10	3.10	3.20	3.20	2.30
	C	1.80	2.20	1.70	1.70	1.80	1.50
	R	1.50	1.70	1.80	1.80	1.80	1.00
CaO	T	2.08	1.60	1.60	1.85	1.51	1.50
	C	1.04	1.15	0.89	0.67	0.62	0.50
	R	0.28	0.36	0.51	0.45	0.28	0.27
MgO	T	0.32	0.36	0.32	0.30	0.40	0.26
	C	0.12	0.20	0.32	0.20	0.20	0.22
	R	0.30	0.34	0.32	0.48	0.24	0.22

T = 地上部 C = 刈株 R = 根部

b Orchardgrass

生育時期		葉身屈折始期 (刈取期)	従属再生 長期	転換期	独立再生 長期	伸長期	充実期	葉身屈折 始期
N	T	2.90	3.99	4.19	3.82	3.40	3.18	2.89
	C		1.92	1.85	2.45	1.96	1.82	1.76
	R		1.19	1.30	1.04	1.26	1.38	1.34
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	T	0.53	0.53	0.52	0.54	0.60	0.48	0.58
	C							
	R		0.27	0.11	0.16	0.10	trace	trace
K <sub>2</sub> O	T	4.50	5.00	5.00	5.20	4.60	5.00	4.70
	C		4.00	4.00	5.30	4.20	4.50	4.16
	R		1.80	1.80	1.60	1.00	1.30	1.10
CaO	T	0.56	0.56	0.45	0.56	0.65	0.56	0.56
	C		0.70	0.73	0.70	0.70	0.67	0.66
	R		0.56	0.90	0.56	0.53	0.62	0.58

4 刈取処理による無機成分の吸収

1) 圃場栽培牧草の無機成分の吸収

Alfalfa の窒素及びリン酸含有率は地上部においては刈取後従属再生長期で最大値となり、その後は開花中期まで次第に低下する。加里は生育期による差異は認められない。Orchardgrass の窒素含有率は刈取後転換期で最も高く、生育の経過に伴い次第に低下する。リン酸と加里は再生長過程の全生育期で大差を示さない。

Alfalfa の地上部における無機養分の絶対量は刈取後開花始期まで生育期が進むにつれて次第に増大するが、この傾向は窒素リン酸及び加里に共通している。Orchardgrass は窒素及び加里は刈取後次第に増加して充実期まで、リン酸は葉身屈折始期まで次第に増大し、その後は横ばいとなる(第65表)。

第65表 再生長過程における無機成分の絶対量  
a Alfalfa

生育時期	開花中期	従属再生期	転換期	独立再生期	開花始期	開花中期
N	113.8	11.5	46.4	65.1	82.1	79.2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	17.4	2.5	8.2	11.6	12.8	10.3
K <sub>2</sub> O	94.8	8.1	33.8	53.1	72.0	59.1
CaO	82.2	4.2	17.4	30.7	34.0	38.6
MgO	12.6	0.9	3.5	5.0	9.0	6.7

b Orchardgrass

生育時期	葉身屈折始期	従属再生期	転換期	独立再生期	伸長期	充実期	葉身屈折始期
N	103.5	6.8	21.0	48.1	66.3	96.0	93.9
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	18.9	0.9	2.6	6.8	11.7	14.5	18.9
K <sub>2</sub> O	160.7	8.5	25.0	65.5	89.7	151.0	152.8
CaO	19.9	1.0	2.3	7.1	12.7	16.9	18.2
MgO	11.4	0.5	1.3	4.0	7.8	12.1	10.4

このような吸収量を示す牧草の各生育期の吸収速度は第66表の如くである。すなわち、従属栄養期間と考えられる alfalfa の5日目と orchardgrass の5~10日目頃まではいずれの成分についても極めて吸収速度が遅く、窒素で1.37~2.80 kg/day/ha であり、リン酸で0.2~0.3 kg/day/ha 加里で1.7~3.3 kg/day/ha である。しかしその後 alfalfa の刈取後10日目及び orchardgrass の刈取15~20日では独立栄養的な生長を行い、alfalfa では窒素で7.0、リン酸1.12、加里で5.1、カルシウムで2.6 kg/day/ha と、さきの吸収速度の2倍以上の速度を示す。これに対して orchardgrass では刈取後15日目で、窒素と加里は最大値を示し、それぞれ5.4、8.1 kg/day/ha となっている。これに対してリン酸とカルシウムはややおくれて最大値が現れ、20日目にリン酸で1.0、カルシウムで1.1 kg/day/ha となっている。その後は alfalfa は吸収速度が低下して、カルシウム以外は35日、orchardgrass ではリン酸以外は40日の葉身屈折始期から養分の吸収は極度に低下している。すなわちこれは、根部あるいは株部への移行が考えられるところである(第34図)。

2) <sup>32</sup>P 及び <sup>45</sup>Ca 利用による吸収状態の把握

無機養分の吸収状態を把握するため第68表の如くバットに殺菌土壌を充填し月日を異にして alfalfa

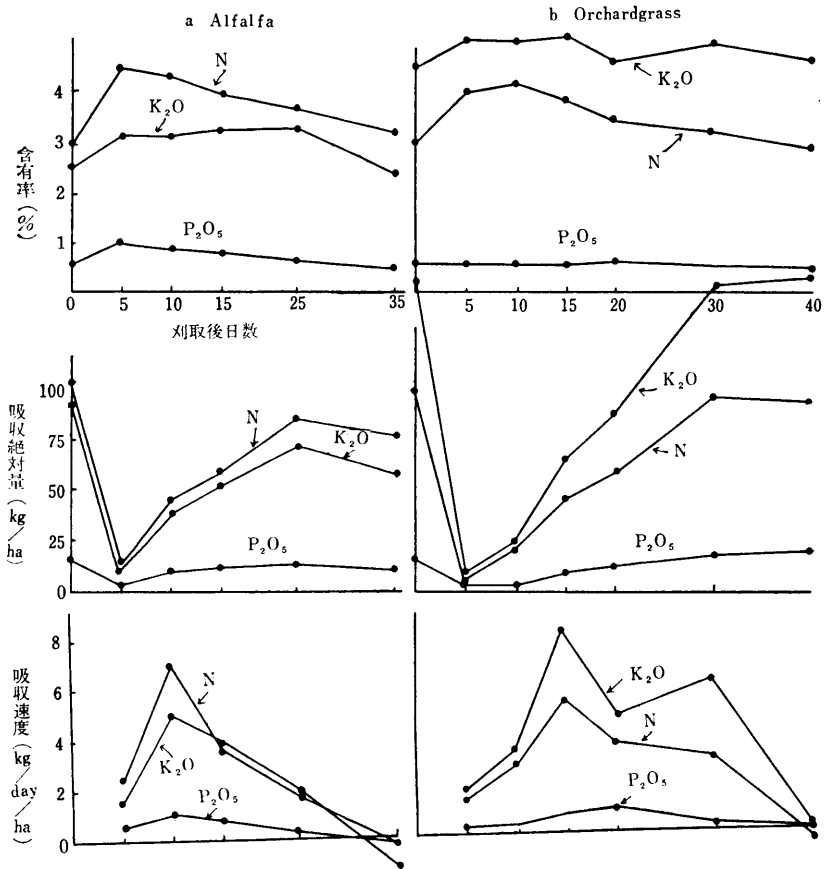
第66表

各生育期における四要素の吸収速度 (kg/day/ha 地上部のみ)  
a Alfalfa

生育時期	開花中期 (刈取期)	従生 属長 再期	転換期	独生 立長 再期	開花始期	開花中期
N	-	2.3	7.0	3.7	1.7	-- 0.3
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	0.5	1.1	0.7	0.1	-- 0.3
K <sub>2</sub> O	-	1.6	5.1	3.9	1.9	-- 1.3
CaO	-	0.8	2.6	2.7	0.3	0.5

b Orchardgrass

生育時期	刈取期	従生 属長 再期	転換期	独生 立長 再期	伸長期	充実期	葉身 折 始期
N	-	1.4	2.8	5.4	3.6	3.0	--0.2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	0.2	0.3	0.8	1.0	0.3	0.4
K <sub>2</sub> O	-	1.7	3.3	8.1	4.8	6.1	0.2
CaO	-	0.2	0.2	1.4	1.1	0.4	0.1



第34図 再生長過程の三要素含有率、吸収絶対量並びにその速度



第67表 供試作物の前処理

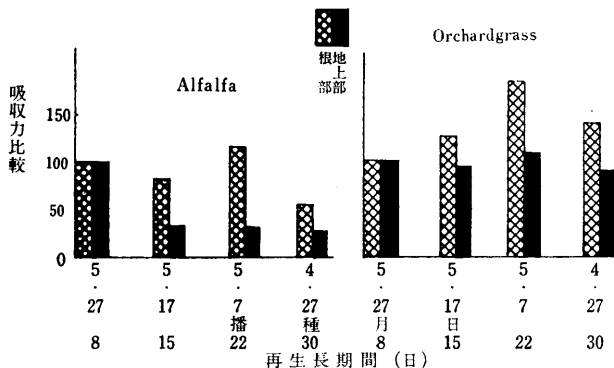
試料 No.	1	2	3	4
播種月日	4月27日	5月7日	5月17日	5月27日
第1回刈取月日	6月20日	6月29日	7月6日	7月13日
刈取後日数	30日	22日	15日	8日

第68表 生育期の相違によるPの吸収力

播種月日	部位	作物名 調査項目	Alfalfa			Orchardgrass		
			cpm/30mg	Stage の ratio	部位の ratio	cpm/30mg	Stage の ratio	部位の ratio
5.27	T		1,224	100	100	360	100	100
	S		366	-	30	409	-	114
	R		1,347	100	110	776	100	215
5.17	T		444	36	100	353	98	100
	S		344	-	78	395	-	114
	R		1,085	80	244	969	124	275
5.7	T		365	30	100	368	102	100
	S		365	-	93	368	-	100
	R		1,602	119	138	1,424	183	-
4.27	T		341	28	100	322	90	100
	S		332	-	97	304	-	94
	R		790	59	232	1,099	141	340

と Orchardgrass を播種し、第1回の刈取に当りその成育の stage を揃えて、それぞれ先に播種したものより刈取った。

その後試料 No. 1 は 30 日、No. 2 は 22 日、No. 3 は 15 日、No. 4 は 8 日まで再生長せしめた。これは出来る限り同一 stage に刈取、その後の再生長の期間を変化せしめようと留意したものである。



第35図 根部の<sup>32</sup>Pの吸収力比較

**<sup>32</sup>P の吸収実験**

上記の牧草を <sup>32</sup>P 3 mc を含む水耕液 2 l に入れ栽培し、その吸収力の差異を検討した結果は第 68 表の如くである。第 68 表によれば、alfalfa については刈取後（根部において）15日（5.17）で一度吸収力（cpm/乾物の比較）が低下し、その後再び増大して、生長が進行すると低下する。地上部は刈取後、初期には磷酸の吸収力高く、後期に急激に低下している。また株部については大差を示さない。地上部刈株、根部の吸収力比較では刈株最も低くつづいて地上部、根部の順となっている。

Orchardgrass の <sup>32</sup>P の吸収力では刈取後次第に増大し、刈取後 22 日を極限として後若干低下する。（第 35 図）地上部及び株部では大差を示さない。

地上部、刈株、根部の吸収力比較では、地上部、刈株は大差なく、根部が、これらに対して 2~3 倍の吸収となっている。

**<sup>45</sup>Ca の吸収実験**

水耕用 2 l pot に培養液を 3 mc の <sup>45</sup>Ca を含む如く調製し、生育期を異にする前記 alfalfa 及び orchardgrass を移植し <sup>45</sup>Ca の吸収力（cpm/乾物）を測定した値は第 69 表の如くである。すなわち、alfalfa の根部においては、刈取後 15 日を最低にして後再び増大し、30 日で低下する傾向は <sup>32</sup>P のそれに類似する。地上部、刈株は 15 日目にその吸収力が、やや増大する外は、stage による差異は認め難い。また地上部、刈株根部の比率は地上部、刈株に対して根部は 7~10 倍の <sup>45</sup>Ca の吸収力を示す。

Orchardgrass については、刈取後、根部の <sup>45</sup>Ca の radio activity は再生長の stage の進むにつれて次第に低下する（第 36 図）。地上部は刈取後 18 日で 1 度低下し後次第に恢復する。また刈株は地下部と類似する。

地上部、刈株、根部の radio activity の比較では地上部と株部とは 18 日目の株部の増大を除けば大差を示さないが、根部の活性は常に大であり、とくに 18 日目は大である。これらの大差は根部における <sup>45</sup>Ca の吸収力の増大という 1 義的原因によるものと考えられるが、<sup>45</sup>Ca が根部に物理的に沈着している可能性、あるいは化学的に不溶性物質として存在する可能性が、全くないわけではない。また刈株及び根部において 18 日目に相対的に高い値を示すのは地上部の吸収力の低下によるものと考えられる。

第 69 表 生育期の相違による <sup>45</sup>Ca の吸収

播種月日	作物名 部位	調査項目	Alfalfa			Orchardgrass		
			cpm/30mg	Stage による ratio	部位による ratio	cpm/30mg	Stage による ratio	部位による ratio
5.27	T		79	100	100	110	100	100
	S		108	-	137	118	-	108
	R		709	100	897	537	100	538
5.17	T		105	133	100	47	43	100
	S		119	-	113	104	-	220
	R		533	75	510	516	96	1,100
5.7	T		77	97	100	66	60	100
	S		75	-	97	78	-	118
	R		848	120	110	414	77	627
4.27	T		81	103	100	80	73	100
	S		106	-	131	82	-	103
	R		596	84	74	314	59	393

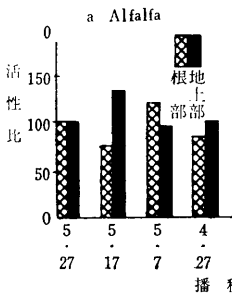
$^{14}\text{C}$  の同化移動  $^{14}\text{C}$  を ( $\text{Ba}^{14}\text{CO}_3$  約 0.5 mc) 用いて (1) 刈取前同化せしめた  $^{14}\text{C}$  の cutting 後の各部への移動, (2) 並びに  $^{32}\text{P}$  及び  $^{45}\text{Ca}$  と同様刈取後の生育期を異にする alfalfa 及び orchardgrass の  $^{14}\text{C}$  同化力の比較を行った。同化は 7 月 26 日, 47 l のビニール容器の中で晴天  $25^\circ\text{C}$  において 3 時間行った。

(1) 刈取前同化せしめた  $^{14}\text{C}$  の cutting 後の各部への移動

上記の処理後刈取処理を行い, 8 月 6 日まで 11 日間再生長せしめ, 地上部, 株部, 根部の 3 部分に分け乾物当りの  $^{14}\text{C}$  の cpm を測定した値は第 69 表の如くである。第 69 表によれば刈取後明らかに両牧草とも再生長部分に  $^{14}\text{C}$  の移動が認められる。Alfalfa の地上部, 株部及び根部の比較では大差を示さないが, orchardgrass では根部の 10 倍の order で地上部に  $^{14}\text{C}$  が集積し, 株部でも根部の 3 倍の数値となっている。このことは外観上は alfalfa と同様に生長する orchardgrass でも, その内容物すなわち同化産物は大きいその給源に変化があることを示すものである。そしてまた, このことは, orchardgrass の刈込に対する強力な個体保存力とも関係しているようにも考えられるところである。

以上の事実は第 37 図の如く, 刈取後一方を暗所に, 他方を 光照明下において再生長せしめた orchardgrass の実験からも伺い知られるところである (第 37 図)。

これらのことから, 極めて当然のことではあるが, 地上部の再生長は刈取前に根部あるいは株部に集積した  $^{14}\text{C}$  化合物に大きく影響を受けているということが明白である。とくに興味ある事実はその依存の度合が alfalfa より, orchardgrass において大であるという事実である。一般にこれらの牧草の刈取によって再生長する速度 ( $\text{kg}/\text{day}/\text{ha}$ ) は alfalfa と orchardgrass で大差を示さない(40)。しかし一方 alfalfa の storage carbohydrate の形態は根部においては starch であり, 他方 orchardgrass の株部では fructosan であるとされている(76)。これらの storage carbohydrate は, 前者の starch と後者の fructosan ではその特性は大いに異なることが予測される。すなわち前者は常温において加水分解をうけることなく, 酵素反応的に水溶性の炭水化物に変化するのに対して, fructosan は容易に加水分解して fructose に変化するものである。このような差異は前者において, 刈取後は速かに同化体制が出来ても, これが, 低温その他の悪条件が生ずるときはかなりの影響を受けることが考えられる。こ



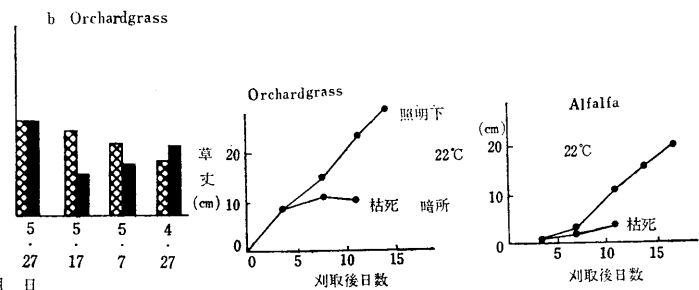
第 36 図 根部吸収力比較

第 70 表

再生長部分の cpm

	Alfalfa (cpm)	Orchardgrass (cpm)
7 月 26 日 $^{14}\text{C}$ 3 時間	T* 73	372
同化, 刈取, 8 月 6 日	S 71	105
まで 再生長	R 55	33

\*Tは地上部, Sは株部, Rは根部



第 37 図 明, 暗, 両条件による再生育の様相

れに反して orchardgrass は、このような不良な環境に対しても速かに適応出来て、同化、集積を開始する如く考えられる。

(2) Stage を異にした両牧草の同化力の比較

Cutting 後の日数の相違により stage を異にした牧草の <sup>14</sup>C の同化力を比較検討するため、<sup>14</sup>C を 3 時間同化せしめ 5 日後に sampling 測定した値は第 71 表の如くである。すなわち、alfalfa の地上部については刈取後の日数の経過により、次第に低下してくる。株部は最初に高く、後一定となる。根部については 18 日目にやや高い <sup>14</sup>C の活性を示す以外はいずれの stages (従属再生長期、転換期及び開花始期) についても大差がない。

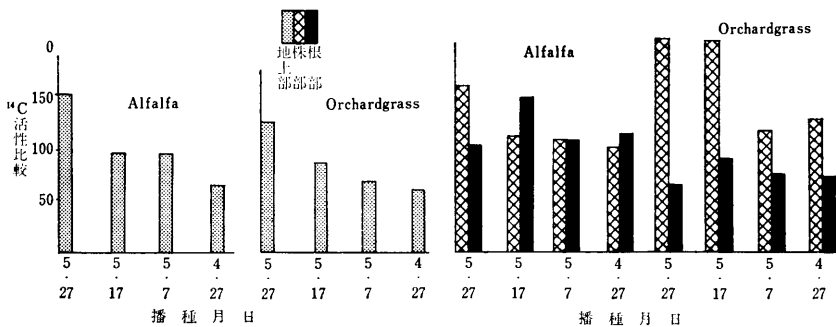
Orchardgrass についても、その傾向は alfalfa に酷似している。

以上の事実は両牧草において、刈取後の日数の経過すなわち stage の相違は明白に <sup>14</sup>C の同化移動力に差異を来すものであることが考えられる。(第 38 図)

第 71 表 Stage を異にした牧草の同化力 (<sup>14</sup>C) 比較

播種月日	作物名 部 位	調査項目	Alfalfa			Orchardgrass		
			cpm/30mg	Stage による ratio	部位による ratio	cpm/30mg	Stage による ratio	部位による ratio
5. 27	T	T	*310	100	100	254	100	100
		S	164		53	209		82
		R	98		32	64		25
5. 17	T	T	206	66	100	174	68	100
		S	110		53	209		120
		R	144		70	94		54
5. 7	T	T	196	63	100	134	53	100
		S	112		57	123		92
		R	139		71	75		56
4. 27	T	T	132	43	100	114	45	100
		S	100		76	126		110
		R	127		96	72		63

\* 7 月 26 日 <sup>14</sup>C を同化 (3 hrs) 後、5 日放置の試料の分析結果 (cpm/30mg 乾物)



第 38 図

Stage を異にした牧草の <sup>14</sup>C 同化力比較

#### 4 論 議

牧草類の栽培管理上の特性は栄養生長期の途中に刈取られ、これを再生長せしめることである。この再生長については牧草の無機養分の吸収移動と有機構成々分の集積移動の状態を化学的に追跡する事なしには容易に判断は下し難い。

さきに F.J. CRIDER 29) は smooth brome grass, tall fescue 及び orchard grass などのイネ科牧草を供試し根箱を用い根部の白色根の生長を指標に刈取処理の根部に及ぼす影響を明らかにしている。CRIDER によればイネ科牧草の多くは刈取処理によって根の活性を低下するが(この場合 peatmoss 上に新しく生じた白色根の数)それは刈込みの度合で異なり、地上部の全容積の凡そ 50% 以上の刈込みは例外なしにこの活性を低下せしめたと報告している。また P.L. OSWALT, A.R. BARTRAND 及び M.L. TEEL 101) は  $^{32}\text{P}$  を用い、一定の深さに施用した  $^{32}\text{P}$  の利用が、刈取処理により(orchard grass 及び brome grass) おくれることを見出し、このことから間接的にはあるが、刈取処理が根部の活性を低下せしめると報告している。一方 SULLIVAN J.I. 86) は perennial ryegrass を用いて、total-carbohydrate の定量を再生長の時期的経過に従って行っているが、それによると刈取後の再生長は一時甚しく低下し後再び正常な状態になると報告している。

著者が、さきに行った実験結果においてもこの傾向は類似しており、alfalfa においても orchard-grass においても刈取後 2 週間前後においてはいずれの牧草もその根部の乾物重はもとより、その活性度を低下せしめている。(この場合白色根の伸長)29) しかしこの根部の乾物重が低下すること、あるいは活性度の低下が相対的に無機養分の吸収並びに有機構成々分の同化に関係するであろうことは容易に想像され、相対的な意味での数値はすでに示されたが、直接これを証明した研究はこれまで見当たらない。

本研究では、この辺の関係を明瞭に解明しようとして計画したものであり、ほぼその目的が、達せられたものと思される。

すなわち  $^{32}\text{P}$  及び  $^{45}\text{Ca}$  の再生長過程における吸収では、両牧草共、明白にある種の pattern を示し  $^{32}\text{P}$  及び  $^{45}\text{Ca}$  の alfalfa の根部では刈取後一定時間(15日)は一度吸収力は低下し後再び増大しその後次第に低下する。この傾向は orchard grass においては多少趣を異にする。すなわち  $^{32}\text{P}$  の吸収については刈取後次第に増大し、刈取後 22 日までは増大しつづける。しかしその後はやや吸収力を低下せしめる。これに対して  $^{45}\text{Ca}$  の吸収は次第に再生長の時期的経過に伴い低下する。

このような根部における吸収力の差異は両牧草の再生長の特性を大きく支配している一原因と考えられる。

一方  $^{14}\text{C}$  の地上部における同化は相異し、両牧草共刈取後の日時の経過に伴い次第に同化力は低下する。しかしながらこれらの事実は、これらの牧草の葉部の同化力の差異というよりはむしろ既に存在していた葉部によって相対的に稀釈されたと考えるべきである。しかしその直接的証明は本実験からは明白にし得ない。また刈取前に同化せしめた  $^{14}\text{C}$  は株部から根部に達することは明白であり、またこれらの物質が刈取によって地上部に至ることも本実験から明らかに証明することが出来た。

以上の如く、牧草類の再生長は現象的には多くの解明せざる事実を提示するが、これが解決は今後の研究に待たねばならない。しかしながら、牧草類の多くは刈取によって、このことが間接的には病害や早冷害の抵抗性を減少せしめ、夏枯れ、夏まけ及び冬枯れの原因を作っていると考えられる。

#### 5 摘 要

牧草類はその栽培目的から、刈取処理若しくは grazing が、行われることは当然である。この刈取処理、若しくは grazing が牧草自身の生理に与える影響、とくに再生長の生理的特性については理解されるところなお十分ではない。

よって著者は圃場栽培，水耕法及びこれに，isotope-P, Ca, C, の利用を加味し，刈取処理による養分吸収と同化の様相を把握し，以下の如き結果が得られた。

1) Alfalfa 及び orchardgrass を圃場に栽培し，その再生過程を前者は5生育期，後者は6生育期に分け，各生育期における地上部，株部，根部の生草重及び乾物重を検討した。これらの数値は刈取処理により特異的に変化するが，とくに根部においては刈取後 alfalfa では転換期 orchardgrass では転換期～伸長期において最低となる。その時期は刈取後凡そ10～15日である。

2) これらの牧草の total-carbohydrate は alfalfa の地上部において25日後の従属再生長期に4.6%と最低となるが刈株では刈取後次第に低下し，25日の独立再生長期には5.8%と低下する。一方根部は15日後に最低となり12%となる。

Orchardgrass ではこの最低含有率を示す時期は地下部，刈株では10日後の転換期，根部では15日でそれぞれ11.2, 15.6及び15.8%を示す。

3) また水耕法をにより，これらの牧草が刈取処理により一時根部から老化衰退することを確認した。

4) 生育期を異にした刈取処理は地上部の生長に甚しく影響するばかりか，刈株及び根部の量にも大きく影響する。

5) すなわち圃試験の生草収量比は30～35cm刈取（伸長期）を標準（100）にすると50～60cm刈取（独立再生長期）及び適期刈取（開花始期）では地上部で100:125:200となる。

6) またこれらの根部の total-carbohydrate は13.5, 12.7及び17.9%と増大し，その絶対量も含有率に相応して増大している。

7) 再生過程の三要素含有率，吸収量及びその吸収速度は再生の各生育期で異なる。とくに地上部の吸収速度は従属栄養期間の alfalfa 5日目と orchardgrass の5～10日目頃まではいずれの成分についても極めて吸収速度が遅く，窒素で1.37～2.80 kg/day/ha であり，リン酸で0.2～0.3 kg/day/ha である。しかしその後の alfalfa の転換期，orchardgrass の独立再生長期では2倍以上の速度を示す。しかしその後の生育期は殆んど吸収しない。

8) 再生の生育期の相違による  $^{32}\text{P}$  の吸収は地上部の alfalfa は初期に大で，後期に急激に低下している。根部では刈取後15日目で一度吸収力が低下し，その後再び増大して生長が進行すると低下する。Orchardgrass の地上部では，stage で大差なく，根部では刈取次第に上昇し22日で最大となり後僅かに低下する。

9)  $^{45}\text{Ca}$  では，alfalfa の根部及び orchardgrass の地上部では刈取後15日目で一度低下している他は一定の傾向を認め難い。

10)  $^{14}\text{C}$  を用いて，刈取処理後の再生部分の体構成 C の由来を検討すると，さきに貯蔵された  $^{14}\text{C}$  にも由来して再生することが，明白であり，その度合は alfalfa より orchardgrass において大である。

また再生の生育期の相違では，地上部刈株は再生の初期に大であり，後期には低下する。根部は刈取後15日目で最大となる。その他の生育期では差異がない。

以上の事実から再生と牧草の生理について論究した。

## 第6章 施肥量の相違に伴う牧草類の量的反応とそこに現われた問題点

### 第1節 窒 素

著者はこれまで alfalfa と orchardgrass を用いて，その正常に栽培された場合の生育相を全生育期間と刈取後の再生の両面から検討し，その無機養分ならびに有機構成々分の変化を明らかにしてき

た。またこれらの牧草の発芽並びに初期生育に及ぼす外的条件をも吟味した。そして牧草の造成段階においてその生育を大きく支配する要因をとらえ、草地造成のための基礎的知見を得た。

そこでこれらの牧草の生育相が主としてその維持管理の段階でどのように変転して行くものであるかを検討するため、まずその主要な養分であり体構成成分である窒素についての影響を主としてその量的側面から明らかにしようとして以下の研究に着手した。

従来牧草に対する施肥試験は、その施肥量が、牧草による収奪量に対して圧倒的に少なく、またたとえ一要素の施肥量は多くとも、他の要素が極めて少なく、そのため結局それらの要素が限界要素となつて試験の初期の目的が達せられなかった例が多い。

また、単一牧草の肥料要素に対する反応を明確にとらえぬさきに、混播牧草に対する施肥の問題を検討するような例も多く、そのために単一牧草の特性の把握がおろそかになり、ひいては牧草類の施肥技術が前進せず停滞ぎみとなる遠因を作っているとも考えられる。そしてさらに、豆科牧草は根粒菌が固定した窒素を利用するという事実を余りにも過大評価して牧草に対する窒素質肥料はもとより、その他の肥料も比較的少なく用いる傾向にあることは見逃せない現実である。

しかしこれらの事実は一方、牧草栽培を農業発達史の立場から考察するとき一層明瞭になる。すなわち牧草の栽培を歴史的に見るとまず放牧ついで大面積に少数家畜の畜産業の形態となり最後に集約的な牧草栽培という過程を通じて今日に至っている。従つて牧草地に対して初期には肥料はほとんど施用されず所謂天然地力と放牧による糞尿の循環という形態で一応安定した経営が成立していたと考えられる。土地利用の面から集約的な牧草栽培が行なわれねばならない必然性が生じて、以前からの常識が未整理のまま牧草地への施肥法も確立されず、現在に至っている。これらの事実も施肥技術体系の確立されない重要な原因と考えねばなるまい。

これまでの牧草に対する窒素肥料の研究は多いが、(47,70,95,98,99)が、北岸の研究結果によれば、イネ科牧草に対する窒素肥料の影響は極めて顕著なものがあり、磷酸や加里が十分あつても窒素が少なければ収量は上らず、磷酸や加里の効果がまったく現われないことを報告している。しかし初年目1番草では例外で無窒素でも磷酸の効果があり、また ladino clover では窒素の肥効がまったく認められないと報告している。

しかしこれらの多くの報告に見られる窒素肥料の研究は、その量的側面の検討において、また土壌の特性との関連の把握において必ずしも適切であつたとはいへない。

よつて著者はこれまでの研究計画の例から、一無機養分の影響を検討する際、他の養分が限界要因とならないように注意し、さらに牧草は単播として、肥料の三要素はその収奪量を念頭にその影響を検討しようと企図した。

## 1 圃場と栽培法

供試した圃場は酪農学園大学農場で(江別市西野幌)その土壌の特性は第2表のようである。すなわち、この地帯は佐々(森谷 106)によれば第4紀古層に属し、山田(119)によれば重粘性土壌地帯である。前作は馬鈴薯であるが、牛肥を耕起前 50t/ha 全面散布した。1962年4月21日耕鋤後、これらの土壌の特性から alfalfa の圃場については炭酸カルシウム 2t/ha を、orchardgrass の圃場については 0.5t/ha を全面散布してローターベーターで表層およそ 10 cm に混合した。この圃場に対して5月1日第72表の如き設計区分により、肥料を全面散布し、10 cm の深さに混合した。alfalfa は1962年5月1日に50 cm の畦巾で 10kg/ha を播種した。また orchardgrass は5月15日に 10kg/ha を用い同じく条播した。また、alfalfa については、5月5日斜面寒天培養を行なつた試験管 20 本分の根粒菌を、温水およそ 20 ℓ に稀釈しこれを 1 ha の畦上に噴霧し、レーキを用いて軽く覆土した。また、これらの牧草の収穫期及び追肥の時期は第73表に示す如くである。すなわち基肥には窒素質肥料を無施用から

第72表

区の設定並びに肥料施用量(基肥)

Alfalfa  
Orchardgrass 共通

区 名	施肥量並びにその肥料形態	
無肥料区	厩肥(牛肥) 50t/ha 及び炭酸石灰	Alfalfa 圃場 2t/ha Orchardgrass " 0.5t/ha 以外は施用せず
無 N 区	窒素質肥料は施用せず, 磷酸は $P_2O_5$ として 200kg/ha, 加里は $K_2O$ として 200kg/ha 施用した。但し磷酸肥料は過石と熔磷の等成分量, 加里は硫加を用いた。	
N 100 区	硫安と尿素を要素(N)量でそれぞれ 50kg/ha 施用した。磷酸は $P_2O_5$ として 200kg/ha 加里は $K_2O$ として 200kg/ha 施用した。	
N 200 区	"	100kg/ha 以下 N 100 区に同じ
N 300 区	"	150kg/ha "
N 400 区	"	200kg/ha "
N 500 区	"	250kg/ha "
N 600 区	"	300kg/ha "
N 700 区	"	350kg/ha "

F.T.E. は各区に 20kg/ha を施用した。

第73表

肥料の施用量(追肥 kg/ha Alfalfa)

区 名	追肥 月日	'62				'63			'64				基肥+追肥計	
		7.8	8.10	9.15	4.8	6.11	7.14	8.22	4.8	6.20	8.6	9.21	2カ年 合 計	3カ年 合 計
無肥料区	N : 0 $P_2O_5$ : 0 以下同じ $K_2O$ : 0													
無 N 区	N : 0 以下同じ $P_2O_5$ :40 $K_2O$ :40) N 200 区に同じ													
N 100 区	N :20 20 20 20 $P_2O_5$ :40 $K_2O$ :40) N 200 区に同じ					35	35	35	35	35	35	35	285	425
N 200 区	N :40 40 40 40 $P_2O_5$ :40 40 40 40 $K_2O$ :40 40 40 40					70	70	70	70	70	70	70	570	850
N 300 区	N :60 60 60 60 $P_2O_5$ : $K_2O$ :) N 200 区に同じ					105	105	105	105	105	105	105	855	1275
N 400 区	N :80 80 80 80 $P_2O_5$ : $K_2O$ :) N 200 区に同じ					140	140	140	140	140	140	140	1140	1700
N 500 区	N :100 100 100 100 $P_2O_5$ : $K_2O$ :) N 200 区に同じ					175	175	175	175	175	175	175	1425	2125
N 600 区	N :120 120 120 120 $P_2O_5$ : $K_2O$ :) N 200 区に同じ					210	210	210	210	210	210	210	1710	2550
N 700 区	N :140 140 140 140 $P_2O_5$ : $K_2O$ :) N 200 区に同じ					245	245	245	245	245	245	245	1995	2975

100 kg ぎざみで 700kg/ha まで 8 段階の区を設定し, 磷酸質肥料と加里質肥料はいずれの区にも共通にそれぞれ 200kg/ha の割合で施用した。また窒素質肥料の追肥量は 1962 年は刈取毎, 並びに 1963 年早春にそれぞれ基肥の  $\frac{1}{2}$  量を施用した。磷酸と加里は共通に 40kg/ha ずつ追肥した。1963 年 1 番刈以後



第74表 肥料の施用量 (追肥 kg/ha Orchardgrass)

区名	追肥 月日		'62				'63				'64				基肥追肥合計	
	8.15	10.11	4.16	6.1	7.9	8.20	10.15	4	6.11	7.25	9.5	2カ年合計	3カ年合計			
無肥料区	N : 0 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : 以下同じ K <sub>2</sub> O : 0															
無N区	N : 0以下同じ P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : N200区 K <sub>2</sub> O: /)に同じ															
N 100 区	N : 20 20 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : N200区 K <sub>2</sub> O: /)に同じ		20	20	35	35	35		35	35	35	35		300	440	
N 200 区	N : 40 40 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : 40 40 K <sub>2</sub> O: /)40 40		40	40	70	70	70		70	70	70	70		600	880	
N 300 区	N : 60 60 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : N200区 K <sub>2</sub> O: /)に同じ		60	60	105	105	105		105	105	105	105		900	1320	
N 400 区	N : 80 80 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : N200区 K <sub>2</sub> O: /)に同じ		80	140	140	140	140		140	140	140	140		1200	1760	
N 500 区	N : 100 100 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : N200区 K <sub>2</sub> O: /)に同じ		100	175	175	175	175		175	175	175	175		1500	2200	
N 600 区	N : 120 120 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : N200区 K <sub>2</sub> O: /)に同じ		120	210	210	210	210		210	210	210	210		1800	2640	
N 700 区	N : 140 140 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : N200区 K <sub>2</sub> O: /)に同じ		140	245	245	245	245		245	245	245	245		2100	3080	

の追肥量は窒素質肥料は基肥の 1/3, 磷酸質肥料は 1/2 量としたが, 加里質肥料は 1/2 量をそれぞれ刈取毎に施用した。

## 2 試験結果と考察

### 1) 牧草の収量 (乾物重)

以上のような方法により栽培した牧草の乾物重を検討するため, 各区並びに各刈取期の乾物生産速度 (kg/day/ha) を算出したのが第75表 a 及び b である。またこれらの比較検討が容易であるように窒素施用量の相違による乾物生産速度指数(窒素 200 区を基準にした 相対値)を算出した。すなわち alfalfa の乾物重では 1962 年~1964 年を通じて 1~2 番草において (第75表 a 及び b 並びに第39図) はおよそ窒素 200 区までは 施肥量の増加に伴い 増大する傾向がある。しかしその増加の程度は無窒素区の 3 カ年平均乾物生産速度指数 84 に対して 窒素 300 区のそれは 100 となっている (第 40, 41 図)。これが orchardgrass では 48, 115 で窒素 400 区以上の施用は速度指数を大ならしめない。

#### (1) 初期生育における施用窒素量の影響

しかし初年目 1 番草における施用窒素量の影響は無窒素区から窒素 300 区まで, 施肥量の増加に伴い 増大するが, それ以上の施用は次第に 抑制的に働き 窒素 700 区ではその指数が alfalfa で 36, orchardgrass で 66 にとどまっている。窒素 400 区以上の窒素施用による収量の低下は NH<sub>4</sub>-N の抑制作用にあることはすでに明らかにして発表したが (36), いま窒素質肥料の施用に伴う土壌中の NH<sub>4</sub>-N 濃度を pF 1 の水分張力で一昼夜放置後 glass filter で pF 3.0 の energy で抽出した土壌溶液について測定してみると 窒素 300 区では 150 ppm の濃度であるが, 400~700 区では 200~450 ppm と 増大しており, この NH<sub>4</sub>-N の高濃度が 牧草の初期生育を 抑制すると考えられる。そしてこの事実はさきに水耕法によって orchardgrass 2 週間苗を用いて 明らかにしたところである。しかしながら またこの窒素質

第75表

乾物生産速度  
a Alfalfa, (kg/day/ha)

日 数	54	30	34	52	33	39	61	47	46	396
刈 取 数	1番草	2 "	3 "	1 "	2 "	3 "	1 "	2 "	3 "	合 計
無肥料区	15.9	75.9	42.1	62.1	112.3	41.6	54.0	61.3	36.8	53.1
無 N 区	18.6	85.2	49.1	65.0	119.8	41.5	76.7	55.1	47.0	59.6
N 100区	18.4	90.7	51.5	77.3	119.8	46.2	72.3	56.7	39.1	60.8
" 200 "	21.5	89.1	53.5	72.4	119.5	50.6	73.8	70.5	37.9	62.9
" 300 "	23.2	99.6	52.3	65.4	137.1	49.8	69.0	62.8	43.0	63.2
" 400 "	14.8	96.0	61.8	63.8	111.3	48.4	59.0	59.7	48.5	58.5
" 500 "	13.3	96.5	48.5	65.4	98.0	47.1	56.7	65.9	42.3	56.1
" 600 "	13.9	78.2	56.5	55.6	109.6	46.2	62.0	61.3	39.1	55.0
" 700 "	7.8	52.8	49.8	47.3	106.7	48.7	59.0	61.3	50.1	51.4

## b Orchardgrass

	一番草	2 "	1 "	2 "	3 "	4 "	1 "	2 "	3 "	合 計
日 数	82	46	42	39	42	56	52	45	42	446
無肥料区	16.6	37.4	53.8	30.2	52.5	20.4	45.7	40.8	47.1	36.0
無 N 区	27.0	32.1	69.8	30.0	41.4	17.0	44.3	36.0	49.7	37.0
N 100 区	30.3	47.4	103.7	72.8	73.1	20.2	116.3	57.2	78.4	62.7
" 200 区	34.7	63.4	119.0	82.9	87.8	38.3	134.7	64.0	95.1	75.6
" 300 "	47.0	80.0	127.3	92.3	105.4	50.2	137.1	76.8	106.7	87.0
" 400 "	43.0	64.6	128.1	89.8	97.1	55.6	144.7	74.0	112.2	85.5
" 500 "	41.1	61.0	135.0	98.5	95.0	56.2	154.3	86.8	109.7	88.3
" 600 "	25.6	61.6	122.7	91.1	93.4	49.6	181.4	80.0	115.7	85.7
" 700 "	22.9	54.6	123.8	89.5	90.5	49.4	169.6	93.6	111.0	83.7

肥料の(硫酸)施用に伴う土壌 pH 並びに  $y_1$  の低下も無視できない、いまこれらの pH の低下を測定して見ると KCl 抽出で pH 4.5 程度  $H_2O$  では 5.3 までの低下である。WILLARD (15) らは土壌の pH を 4.7, 5.0, 5.9, 6.8 及び 7.4 として alfalfa を栽培した結果、その収量は 4, 12, 41, 100 として 94% であったと報告している。また DALE, SMITH (17) は pH の差異による収量の変化は pH 5.7 附近から始まり 5.3 で 1.18 ton/acre, 5.7 で 1.98, 6.0 で 2.63, 6.5 で 2.89, 7.0 で 2.86 として 7.5 で 2.92 ton/acre であるとしている。しかしこれは pH に関連する磷酸の土壌中における有効量に影響されることも大いに考えねばならぬところである。著者が別に計画した試験においては十分量の磷酸が施用された土壌の、pH の変化に伴う牧草の収量は WILLARD の結果ほど大きいものではなく、また DALE, SMITH の数値よりも小さなもので、pH 6.5 と 4.5 の差異は 100:70 程度にとどまってい

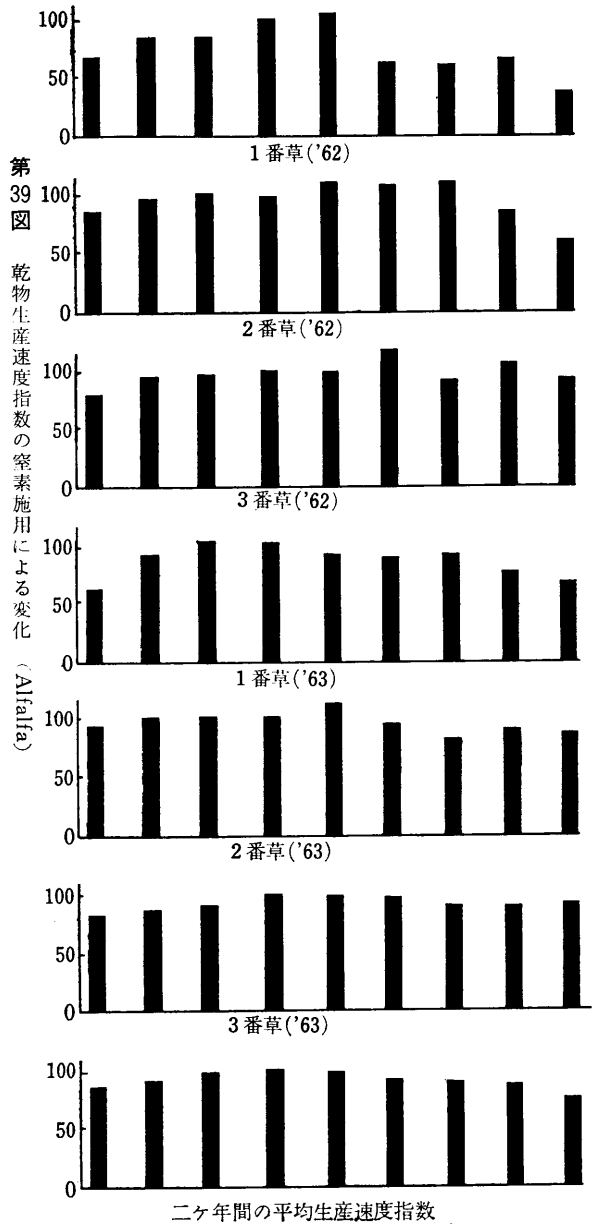
た。これは既に記述したところである。

(2) 牧草の維持段階における窒素質肥料の影響

Alfalfa と orchardgrass の 2 番草以後における、すなわち維持段階における窒素質肥料の影響を検討すると、alfalfa では窒素施用量の増加に伴う乾物生産速度指数は次第に低下し、また初期生育（1 番草刈取期まで）段階までに顕著に現われた抑制作用は次第に低下して全体として平均的傾向を示すようになる。Orchardgrass では窒素施用量の増加に伴い 2 年目 4 番草以外は窒素 300 区まで増大し、それ以上の窒素施用は横ばいとなり、そして初期に出現した抑制作用はほとんど消失している（第 42 図）。

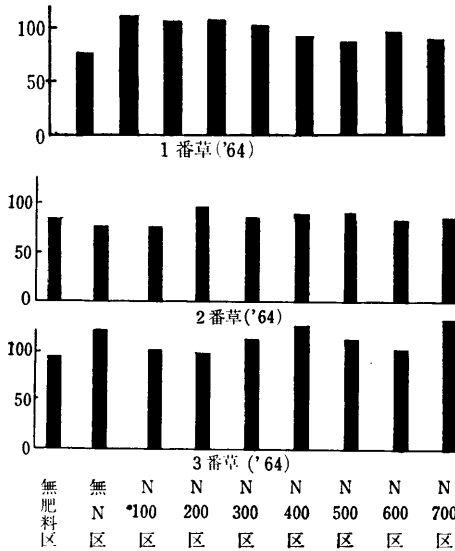
つぎにこれを刈取毎の収量で比較して見るため、乾物生産速度指数の時間的推移を見ると第 43 図の如くである。

Alfalfa では 1962 年 1 番草はいずれの区も 30 内外で極めて生産速度が遅く、2 番草は 150 内外のかなり早い速度となっている。また 3 番草は各年共 70~80 のやや遅い速度である。とくに '63 年の 3 番草は 2 番草の 1/2 以下である。これらの 3 番草が極めて好天候の 8 月であることから、この乾物生産速度の低下は以下の各項のいずれか若しくはそれらの組合さった原因によるものと考えられる。その原因の第 1 は over cutting による根部貯蔵物質の消費であり、第 2 は刈取による肥料成分の損失の補給不十分、第 3 に刈取時期の温度、日照などの変化による同化と呼吸の不均衡、そして第 4 に病虫害などの原因が考えられる。しかし第 1 の原因すなわち刈取の頻度の増大に伴う根部蓄積物の消費に基づく地上部の生長不振も大きな理由であろうが、これらの牧草はほぼ適正期に収穫されている事実から、これらの原因は必ずし

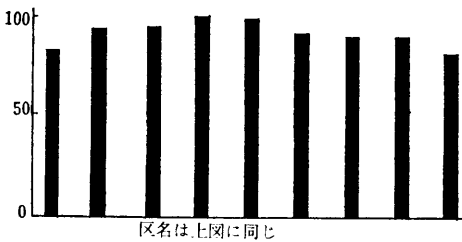


も over cutting だけの単純な理由には帰結せしめることはできない。また第 2 の原因、肥料成分については、いずれの要素施用区、またいずれの施用量によっても同じような傾向にある事実から、また各肥料成分の収奪量と吸収量から考えても、これらの原因とは考えられない、また第 4 の理

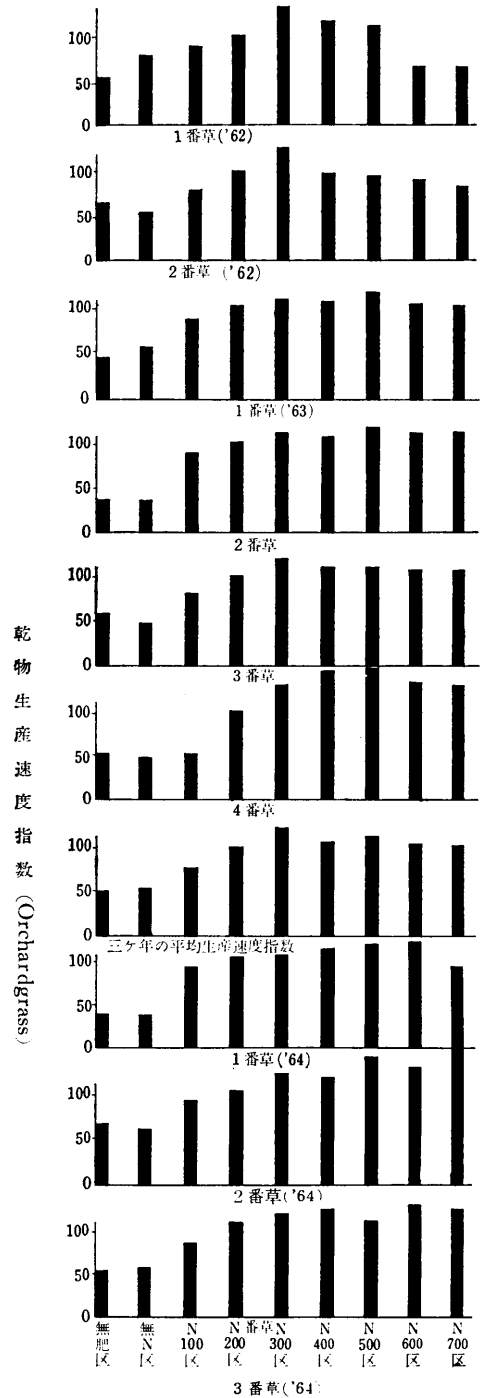
由は肉眼的観察からはこの原因が、この第3番草に限って大きく作用しているとは考えられない。以上の考察からこれらの原因として考えられる最も大きなものは第3の理由、すなわち光合成によるCO<sub>2</sub>の同化と呼吸による異化の温度による変化であると考えられる。村田ら90)によれば北方型牧草の大部分は10~15°Cにおいて最大値の光合成を示し、また一方呼吸は温度の上昇に伴ってほぼ一様に指数函数的に増大するとされている。またE.R. COWETT及びM.R. SPRAGUERによればgrowth chamberで昼→夜75~60及び90~75°F(28.9~15.5°Cと32.2~23.9°C)に処理し、4週毎に2回刈取ったalfalfa(atlantic)は



第40図 3カ年間の刈取毎の乾物生産速度指数



第41図 3カ年間の乾物生産速度指数の変化



第42図 窒素施用量の増大に伴う乾物生産速度指数の変化

第76表 乾物生産速度の推移(指数)  
a Alfalfa

	1番草	2 "	3 "	1 "	2 "	3 "	1 "	2 "	3 "	3カ年平均
無肥料区	74	85	79	86	94	82	73	87	97	84
無N区	86	96	92	90	100	82	104	78	124	95
N 100区	86	102	96	107	100	91	98	81	103	97
N 200区	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
N 300区	108	112	98	90	115	98	94	89	114	100
N 400区	64	108	116	88	93	96	80	84	128	93
N 500区	62	108	91	90	82	93	77	93	112	89
N 600区	65	88	106	77	92	91	84	87	103	87
N 700区	36	59	93	65	89	96	80	87	132	82

b Orchardgrass

	1番草	2 "	1 "	2 "	3 "	4 "	1 "	2 "	3 "	3カ年平均
無肥料区	48	59	45	36	60	53	34	64	50	48
無N区	78	51	59	36	47	44	33	56	52	49
N 100区	87	73	87	88	83	53	86	89	82	83
N 200区	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
N 300区	135	126	107	111	120	131	102	120	112	115
N 400区	124	102	108	108	111	145	107	115	118	113
N 500区	118	96	113	119	108	147	115	135	103	117
N 600区	74	97	103	110	106	130	135	125	121	113
N 700区	76	66	104	108	103	129	125	146	116	111

茅葉あるいは草丈には有意差が無かったが、しかし低温区は2回とも乾物収量が多く、さらにその後の再生長では、低温区では良好であったが、高温区では再生長しなかったと報告している。この温度の関係を現地の気温で検討してみると第78表の如く光合成の最大値を示す温度より平均気温において、かなり高温となっており、'62の3番草はそれほどでもないが、'63年の3番草において特に高くなっている。このことは一方において光合成の低下が惹起される反面呼吸の増大によって、同化産物の損失が起り、結局 alfalfa の生育不振となって現われるものと考えられる。

次に orchardgrass の乾物生産速度指数を時期的に検討すると、次の如くである。すなわち、刈取毎の乾物速度指数を見ると'62年一番草はいずれもその速度がおそいが、2番草、'63、2、3番草は1番草に比して、かなり早い速度となっている。また'63年1番草は幼穂形成のためその速度は2カ年間平均の2倍近くである。また4番草は低温のためおよそ1/2の速度指数となっている。しかし2、3番草における速度指数は大差を示さず、これらの数字から alfalfa において見られたような“夏まけ”(夏枯れは

第77表

乾物生産速度指数の時期的推移 各区の2カ年間  
の平均乾物生産速度指数を基準にする Alfalfa

	'62			'63			2カ年の 平均
	1 番 草	2 番 草	3 番 草	1 番 草	2 番 草	3 番 草	100
無 肥 料 区	30	141	78	115	208	77	100
無 N 区	32	162	84	111	204	71	100
N 100 区	29	144	82	123	190	73	100
N 200 区	34	141	84	114	189	80	100
N 300 区	35	152	81	138	209	76	100
N 500 区	24	188	86	115	175	83	100
N 700 区	16	110	104	98	232	102	100

第78表

酪農学園大学圃場の所在する地区の気象状況

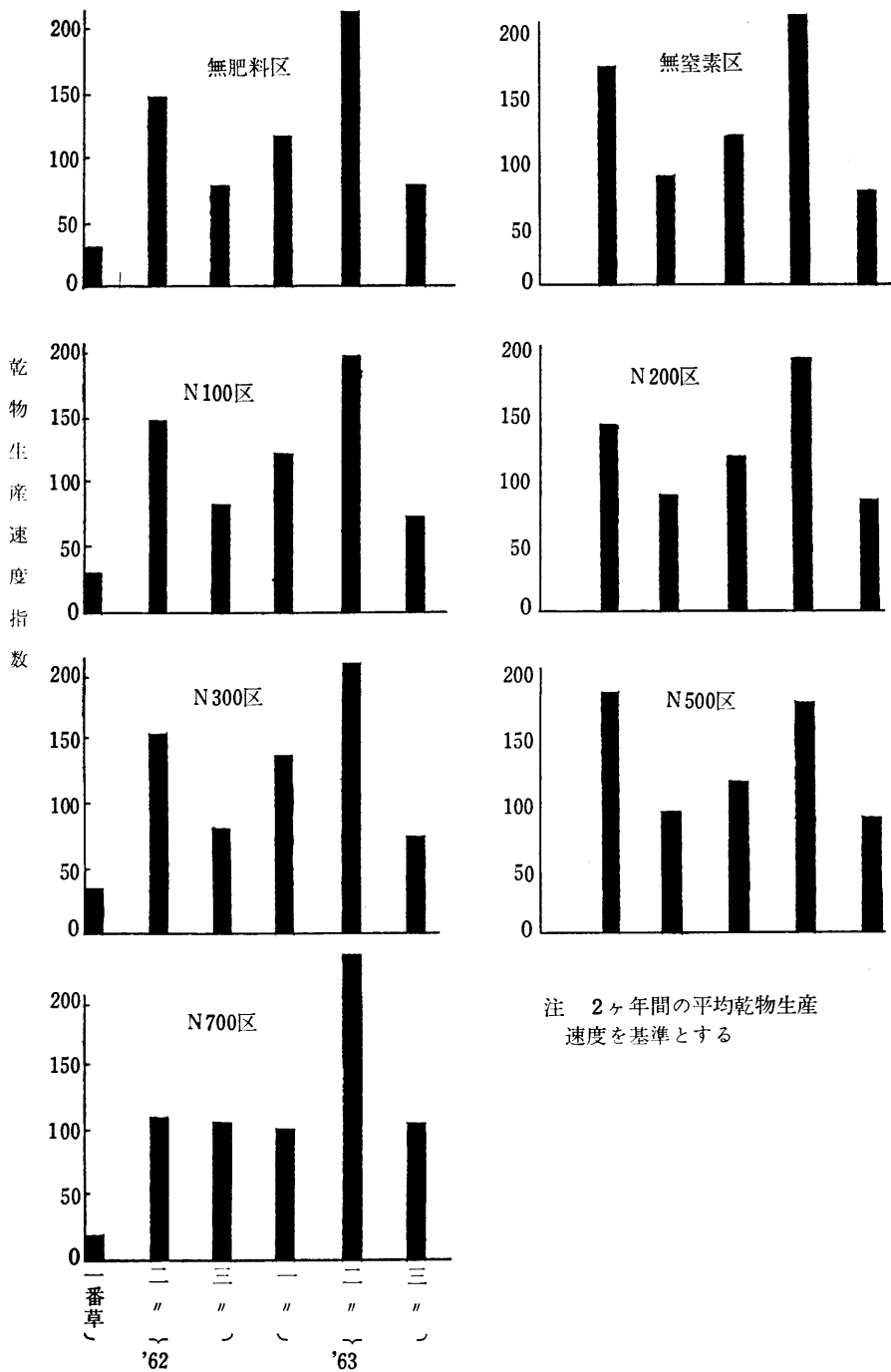
	気 温			降 水 量			蒸 発 量		
	'62	'63	'21~'50 までの 平均	'62	'63	'21~'50 (mm) 平均	'62	'63	'54~'55 の平均
1 月	-5.9	-7.5	-	119.2	51.5	-	-	-	-
2 月	-5.9	-4.3	-	59.0	65.2	-	-	-	-
3 月	-1.8	0.2	-	51.7	66.9	-	-	-	-
4 月	9.2	6.8	5.4	103.2	88.5	59.0	-	-	-
5 月	13.7	14.2	10.8	36.7	66.2	59.0	106.1	-	82.1
6 月	16.5	15.5	15.4	71.6	117.2	58.0	113.4	-	96.5
7 月	20.4	20.4	20.1	186.9	110.8	95.0	98.1	-	133.8
8 月	20.4	22.8	21.7	317.4	154.8	112.0	75.3	-	96.5
9 月	18.3	-	16.9	89.7	-	130.0	63.8	-	75.8
10 月	10.2	-	10.3	23.1	-	119.0	49.0	-	46.5
11 月	3.2	-	3.6	66.9	-	125.0	-	-	-
12 月	-2.6	-	-	82.7	-	-	-	-	-

どはげしいものではない) 的傾向は orchardgrass には見当たらない(第44図)。

## 2) 窒素の含有率とその収奪量

以上のような収量指数を示す牧草の窒素含有率並びにその収奪量は、第80表及び第81表の如くである。すなわち alfalfa の1年目1番草における窒素含有率は 施用量の増加に伴い増大する傾向にある。しかしこの傾向は2番草以後においては認め難い。従って3年目以後の記入は省略した。Orchardgrass においては窒素質肥料の増肥に伴い2年目4番草を除いて N500区までは窒素含量が増大する傾向にある。しかしそれ以上の窒素施用は必ずしも窒素含量を増大せしめない。

刈取毎の窒素含量の変化は alfalfa については一定の傾向がない。Orchardgrass の無肥料区では刈取回数の増加に従って窒素含量が低下し、無窒素区の'62年2番草で早くも窒素欠乏症が出現する。窒素



第43図

乾物生産速度指数の時的推移 (Alfalfa)

第79表

乾物生産速度の時期的推移

b Orchardgrass

	'62		'63				2カ年平均
	1番草	2番草	1番草	2番草	3番草	4番草	100
無肥料区	52	117	168	94	83	54	100
無N区	79	94	204	88	121	50	100
N 100区	62	96	211	148	149	41	100
N 200区	54	98	184	128	136	59	100
N 300区	74	104	165	119	136	65	100
N 500区	55	82	181	132	128	75	100
N 700区	36	85	193	140	141	77	100

第80表

乾物中の窒素含有率 (Alfalfa)

	'62			'63			'64		
	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
無肥料区	3.15	3.24	3.75	2.16	2.87	2.95	2.80	3.00	3.00
無N区	3.20	2.82	3.00	2.34	3.10	2.98	2.82	3.10	3.00
N 100区	3.35	2.90	3.58	3.00	3.22	3.00	3.00	3.22	2.95
N 200区	3.45	3.10	3.50	2.70	3.25	3.05	3.00	3.00	3.10
N 300区	3.70	3.16	3.30	2.70	3.30	3.08	2.90	3.40	3.10
N 400区	3.80	3.30	3.30	2.66	3.28	3.10	2.95	3.40	3.15
N 500区	4.00	3.50	3.37	2.95	3.30	3.08	3.10	3.30	3.20
N 600区	4.80	3.70	3.22	2.90	3.40	3.12	3.10	3.20	3.00
N 700区	4.40	3.26	3.06	3.22	3.44	3.12	3.00	3.10	3.15

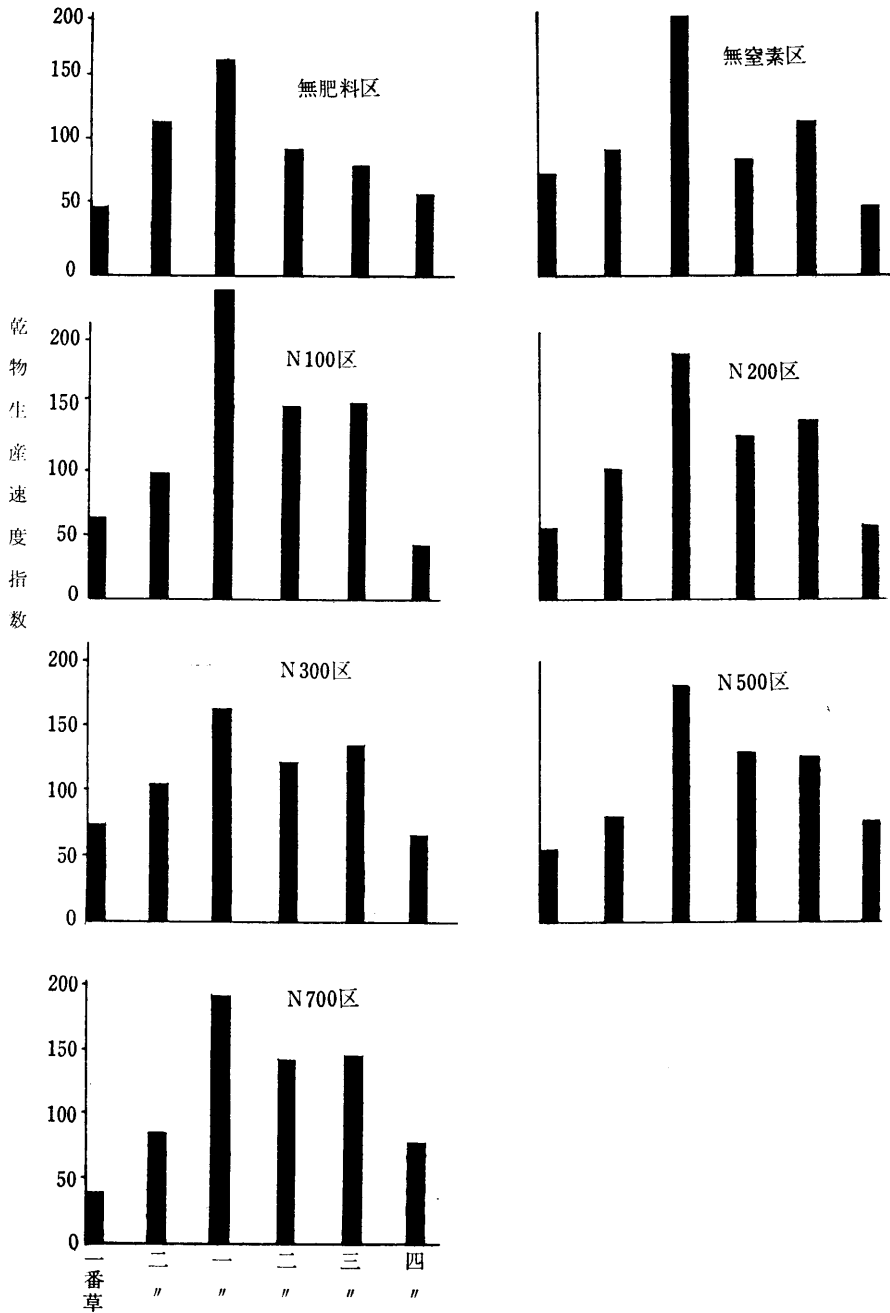
100区においても'63年1番草から窒素欠乏症が出現する。また無窒素、窒素100区でも2年目2番草を除けばこの傾向があるが、2年目4番草はやや高まっている。しかし窒素200区以上ではこれらの傾向は見出せない。

次に窒素の収奪量を検討すると alfalfa では窒素肥料の増肥に伴い300~400区までは増加する傾向にあるが、それ以上の増肥は収奪量を増大せしめないばかりか減少せしめる傾向がある。刈取毎では、1~2年までは2番草が多く、3番草が少ないが、3年目では逆に1番草と2番草が類似している。

Orchardgrass では窒素施用量の増加に伴い400~500区まではその収奪量を増大する。しかしそれ以上の増肥は生育初年目ではやや減少の傾向となり、2年目では増加とならない。3年目では400~500区まで増大する。

3カ年合計収奪量では500区最大で1227.9 kg/ha/3 years となっている。それ以上の増肥は横ばいとなる。





第44図 乾物生産速度指数の時的推移 (Orchardgrass)

第81表 乾物中の窒素含有率 (Orchardgrass)

	'62		'63				'64		
	1 番 草	2 番 草	1 番 草	2 番 草	3 番 草	4 番 草	1 番 草	2 番 草	3 番 草
無肥料区	2.06	*2.17	*1.89	*1.87	*1.76	*2.22	*2.00	*2.05	*2.10
無 N 区	2.06	*2.00	*1.66	*2.02	*1.72	*2.27	*1.98	*2.16	*2.18
N 100 区	2.30	2.06	*1.82	*2.00	*1.60	*2.02	*1.98	*1.82	*2.07
N 200 区	2.40	2.48	2.54	2.62	2.12	2.52	2.34	2.40	2.41
N 300 区	2.45	2.52	2.62	3.32	2.18	3.52	2.34	2.41	2.55
N 400 区	2.74	3.22	2.70	3.30	2.50	3.00	3.00	3.20	2.60
N 500 区	2.76	3.20	2.91	3.20	2.76	3.15	3.30	3.60	2.98
N 600 区	2.72	3.13	2.75	3.25	2.76	3.28	3.20	3.60	3.10
N 700 区	3.02	2.85	2.68	3.28	2.87	3.53	3.22	3.43	3.02

\* は窒素欠乏症の出現を示す。

第82表 窒素の収奪量 (Alfalfa)

	1 番 草	2 番 草	3 番 草	1 年 合 計	1 番 草	2 番 草	3 番 草	2 年 小 計	2 年 合 計	1 番 草	2 番 草	3 番 草	3 年 小 計	3 年 合 計
無肥料区	27.0	73.8	53.9	154.8	69.7	106.3	47.9	223.9	378.7	92.9	80.7	50.8	223.7	602.4
無 N 区	32.1	72.1	50.1	154.3	79.1	122.5	48.8	249.9	404.2	131.4	80.3	69.0	280.7	684.9
N 100 区	33.3	78.9	61.7	173.9	120.6	127.3	54.0	301.9	475.8	132.3	85.8	59.2	277.3	753.1
N 200 区	40.1	82.9	63.7	186.7	101.7	128.1	60.2	290.0	476.7	135.0	99.4	52.3	286.7	763.4
N 300 区	46.3	94.4	58.7	199.4	91.8	149.3	59.9	301.0	500.4	122.1	100.4	67.3	289.8	790.2
N 400 区	30.4	95.0	65.3	190.7	88.2	110.4	58.5	257.1	447.8	106.2	95.4	75.9	277.5	725.3
N 500 区	28.7	101.0	55.6	185.6	100.3	106.7	56.6	263.6	449.2	107.2	102.2	62.3	271.7	720.9
N 600 区	36.0	86.8	61.9	184.7	83.8	122.9	56.3	263.0	447.7	117.2	92.2	69.1	278.5	726.2
N 700 区	36.0	51.6	51.7	139.3	79.2	121.1	59.3	259.6	398.9	108.0	89.3	72.6	269.9	668.8

刈取毎では2, 3年目1番草を除いて大差なく最大収奪量を示す窒素400~500区ではおよそ1刈取の収奪量は窒素100kg内外である。

3) 窒素質肥料の施用量と牧草による窒素の収奪量との関係

(1) 窒素の収支

供試した牧草に対して窒素肥料の効果を検討する一方法として、施肥した窒素と牧草により吸収された窒素の収支を検討したのが第84表及び第45, 46図である。

Alfalfaの窒素収支 3カ年間にわたる施用窒素量は無施肥区無窒素区を除いて直線的に増大しているが、収奪窒素量は窒素100区まではマイナスである。若し苜科の根粒菌による窒素固定がないとすれば明らかに土壌の窒素は失われていることとなる。しかし窒素施用量の増加に伴う収奪窒素量の増大は極めて僅少であるから、理論的には施用窒素量の増大に伴い、土壌中の窒素が増大することとなる。し

第83表 窒素の収奪量 (Orchardgrass) (kg/ha)

	1番草	2番草	1年目小計	1番草	2番草	3番草	4番草	2年目小計	2カ年合計	1番草	2番草	3番草	3年目小計	3カ年合計
無肥料区	28.0	37.3	65.3	42.7	22.0	38.8	25.3	128.8	194.1	47.5	37.6	41.5	126.6	320.7
無N区	45.6	29.6	75.2	48.7	23.5	29.9	22.2	124.3	199.5	45.6	35.0	48.5	126.1	325.6
N100区	57.2	44.9	102.1	79.3	56.8	49.2	22.8	208.1	310.2	119.7	46.8	65.0	231.5	541.7
N200区	68.3	72.3	140.6	126.9	84.7	78.1	54.1	343.8	484.4	163.9	69.1	96.3	329.3	813.7
N300区	94.5	92.7	187.2	140.0	119.5	96.5	84.4	440.4	627.6	166.8	83.3	74.3	364.4	992.0
N400区	96.5	95.1	191.6	145.3	115.6	102.0	98.2	461.1	652.7	225.7	106.6	122.5	454.8	1107.5
N500区	94.2	89.8	184.0	165.0	122.9	110.1	103.2	501.2	685.2	264.3	140.6	137.3	542.7	1227.9
N600区	57.0	88.7	145.7	141.8	115.4	108.2	94.4	459.8	605.5	301.8	129.6	150.6	582.0	1187.5
N700区	56.7	71.6	128.3	139.3	114.5	109.0	97.7	460.5	588.8	283.9	144.5	140.8	569.2	1158.0

第84表 収奪窒素と施用窒素の収支

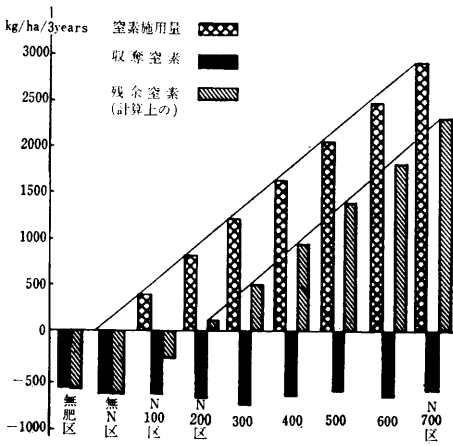
	Alfalfa			Orchardgrass		
	施用N量	収奪N量	残余N量	施用N量	収奪N量	残余N量
無肥料区	-	602.4	-602.4	-	320.7	-320.7
無N区	-	684.9	-684.9	-	325.6	-325.6
N100区	425*	753.1	-328.1	440	541.7	-101.7
N200区	850	763.4	86.6	880	813.7	66.3
N300区	1275	790.2	484.8	1320	992.0	328.0
N400区	1700	725.3	974.7	1760	1107.5	652.5
N500区	2125	720.9	1404.1	2200	1227.9	972.1
N600区	2550	726.2	1823.8	2640	1187.5	1452.5
N700区	2975	668.8	2306.2	3080	1158.0	1922.0

\* 3カ年間の施用量, 収奪量, 残余量 kg/ha/3years

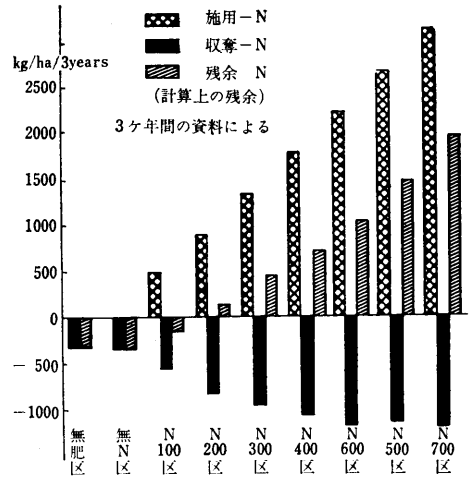
かしくここで無肥料区, 無窒素区における窒素収奪の結果, 土壌中の窒素 level がどのように変化しているかが, あるいは alfalfa の固定窒素がどうなっているかが問題であるが, これらについては後述することとする。

Orchardgrass についての施用窒素量は alfalfa とほとんど変わらないが収奪窒素量は N100区までは施用窒素量の増加に伴い急激に増大し, それ以上の窒素施用は窒素500区まではゆるやかに増大するが, それ以上はかえって減少する。これらの施用窒素量と収奪窒素量とから, 無肥料区, 無窒素区, 窒素100区は明らかに土壌窒素が失われマイナスであることが理論上考えられる。窒素200区においては僅少のプラスが現われるが, これが土壌の窒素 level において果してどのようになっているかということとはこれらの数値からだけでは不明である。

牧草地の長年月の維持を考えると, 施用した肥料が, 土壌への分散と植物による吸収とによってど



第 45 図 窒素の収支 (Alfalfa)  
3 年間の資料による。



第 46 図 窒素の収支 (Orchardgrass)  
3 年間の資料による。

のようになっているかを把握することが重要である。この土壌中の窒素-level を把握するためには、本来土壌のもっている有機態、無機態の窒素、またその土壌の緑藻、azotobactor などによる窒素固定能力、硝化作用、アンモニア化作用の強弱、脱窒素作用力の強弱などを検討した上で総合的に判断することが必要であろう。しかしこれらのそれぞれの作用についての解析はなお多くの問題を残している現状に鑑み(2,46) いま土壌の全窒素及び 10% NaCl 液抽出により置換性の  $\text{NH}_4\text{-N}$  及び硫酸アルミニウム液による抽出の  $\text{NO}_3\text{-N}$  並びに 25°C の畑状態で 2 週間 incubation 後の  $\text{NO}_3\text{-N}$  及び  $\text{NH}_4\text{-N}$  を測定しその数字から一応の土壌状態を把握することとする。

第 85 表 牧草栽培並びに窒素施用による土壌中の窒素 level の変化

( ) 内は 3 年耕作後の土壌

	Total-N%		2 年耕作直後の土壌				2 週間 incubation 後			
			$\text{NO}_3\text{-N}$ **		$\text{NH}_4\text{-N}$ **		$\text{NO}_3\text{-N}$ **		$\text{NH}_4\text{-N}$ **	
	A*	O**	A.	O.	A.	O.	A.	O.	A.	O.
無肥料区	0.386	0.365	5.0	1.0	2.0	0.6	24.6	20.4	1.1	1.4
無 N 区	0.376 (0.41)	0.338 -	5.2	2.0	0.6	1.3	18.6	13.2	0.1	1.1
N 100 区	- (0.37)	0.355 (0.39)	5.0	2.0	1.3	1.3	18.2	18.6	0.9	1.4
N 200 区	0.370 (0.42)	- (0.42)	4.5	1.3	0.5	0.6	30.6	13.0	-	0.6
N 300 区	0.412 (0.39)	0.338 (0.39)	12.3	2.2	0.6	0.6	36.8	18.2	0.1	0.1
N 400 区	- (0.42)	- (0.37)	7.8	0.7	0.5	0.5	36.0	7.4	-	0.6
N 500 区	0.400 (0.41)	0.354 (0.38)	30.9	2.2	1.3	0.3	48.4	12.0	1.6	0.8
N 600 区	- (0.40)	- (0.36)	48.2	6.6	1.1	0.6	67.0	11.4	0.6	0.4
N 700 区	0.374 (0.40)	0.362 -	58.7	9.1	1.1	0.5	87.4	16.0	0.6	0.4

\* A は Alfalfa, \*\* O は Orchardgrass, \* 乾土 100 g 中 mg, \*\* 乾土 100 g 中 mg

これらの数値は第85表の如く、2、3カ年間耕作後の全窒素では alfalfa 及び orchardgrass の土壌についても一定の傾向を掴み難い。NH<sub>4</sub>-N の刈取直後の値は全窒素と同様大差なく、また量的にも僅少である。これに対して NO<sub>3</sub>-N は alfalfa 土壌においては窒素施用量の増大に伴い増大する傾向にあり、orchardgrass の土壌ではその傾向がない。しかしこれを2週間 incubation すると、両土壌とも NO<sub>3</sub>-N の量は増大するが、その施肥による傾向は変わらない。(Alfalfa では増大し、orchardgrass では増大しない。)

これらの事実から alfalfa では窒素の施用は、窒素100区まででそれ以上の施用は土壌の窒素 level は増大するが、取量に直接関係がないようである。Orchardgrass の土壌については、土壌の窒素 level が明確につかめず、過剰に施用した窒素は脱窒素したかあるいは流亡したか判断にくるしむ。しかし、1、2、3番草刈取後の土壌では NO<sub>3</sub>-N は窒素500区から増大している。このような土壌は以上のような化学的方法によっては適切な土壌の養分状態はつかみ得ないが、少なくとも窒素400区までは土壌の窒素 level に大差を認め難い。

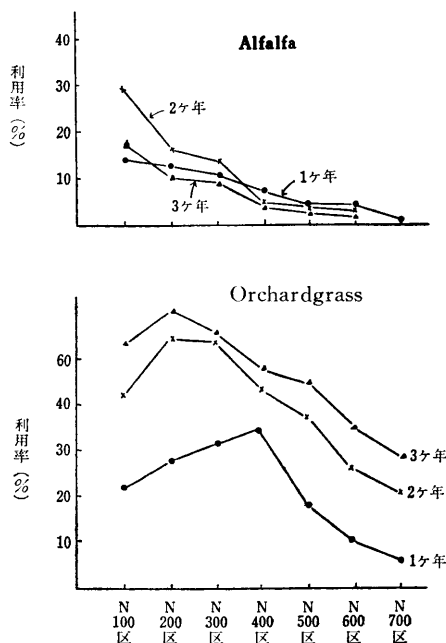
(2) 窒素の利用率

Alfalfa の窒素肥料の利用率を見ると第86表及び第47図のようである。すなわち1～3カ年間にわたる施用窒素とその利用率との関係は窒素100区でおよそ14、29、17%の利用率となっている。が、施用窒素量を増大せしむるに従い漸次利用率が低下し、窒素700区では1年目1%、2年目、3年目ではまったく利用されないばかりかマイナスの利用すなわち抑制作用も出ている。

3カ年にわたる年毎の利用率の傾向を見ると alfalfa では大差なく、窒素100区で14～30%以下でいずれも施肥量の増大で低下してまったく利用されていない。Orchardgrass では1年目から3年目に向って窒素の利用率は増大している。そしてその利用率は窒素100区で22～53%であり、200区では27～60%である。そして300区では31～55%であり、400区では34～48%である。その後次第に低下するが、しかし窒素700区でも6～29%の利用率を示す。これを刈取毎に検討すると、'62年1番草では0.6～4.7%の範囲にあり、全区を通じて5%以下の利用率である。

これは施用窒素量が吸収窒素量に対して圧倒的に多いことと、broadcasting のため根圏への未到着からくる利用率の低下であると考えられる。

2番草のその追肥量に対する利用率は窒素300区すなわち基肥300kg、追肥60kgで最高となり、37%となっている。この利用率は施用窒素の増加に伴い低下し、窒素700区、基肥700kg、追肥140kgではマイナスの利用率となっている。3番草では窒素100区で最高の利用率となって60%となっている。その後は次第に利用率が低下し、窒素700区で1%となっている。2年目1番草では窒素100区で11%、窒素200区で29%と増大し、その後は施用窒素量の増大に伴い低下する。2年目2番草のそれは極めて低く、もっとも高い窒素300区のみが25%の利用率である。3番草のそれは窒素100区で17%であるが、施用量を増大するに従い次第にその利用率は低下して窒素700区までおよそ4%内外の利用率となっている。



第47図 窒素の利用率

第 86 表

## 窒 素 の 利 用 率

1 カ年間の合計資料による。

	Alfalfa			Orchardgrass		
	施用N量	吸収N量	利 用 率	施用N量	吸収N量	利 用 率
無 N 区	0	154.3	-	0	75.2	-
N 100 区	140	173.9	14	120	102.1	22
N 200 区	280	186.7	12	240	140.6	27
N 300 区	420	199.4	11	360	187.2	31
N 400 区	560	190.7	7	480	191.6	34
N 500 区	700	185.6	4	600	184.0	18
N 600 区	840	184.7	4	720	145.7	10
N 700 区	980	139.3	1	840	128.3	6

2 カ年間の資料による。

無 N 区	0	404.2	-	0	199.5	-
N 100 区	250	475.8	29	265	310.2	42
N 200 区	500	476.7	16	530	484.4	54
N 300 区	750	500.4	13	795	627.6	54
N 400 区	1000	447.8	4	1060	652.7	43
N 500 区	1250	449.2	4	1325	685.2	37
N 600 区	1500	447.7	3	1590	605.5	26
N 700 区	1750	398.9	-	1855	888.8	21

3 カ年間の資料による。

無 N 区	0	684.9	-	0	325.6	-
N 100 区	390	753.1	17	405	541.7	53
N 200 区	780	763.4	10	810	813.7	60
N 300 区	1170	790.2	9	1215	992.0	55
N 400 区	1560	725.3	3	1620	1107.5	48
N 500 区	1950	720.9	2	2025	1227.9	45
N 600 区	2340	726.2	2	2430	1187.5	35
N 700 区	2730	668.8	-	2835	1158.0	29

Orchardgrass の窒素の利用率は第 86 表のようである。すなわち 1～3 カ年間にわたる施用窒素とその利用率の関係は第 47 図の如く窒素 100 区では 22, 42, 60% の利用率となっているが、施用窒素量を

第87表 窒素の利用率

	Alfalfa						Orchardgrass					
	'62			'63			'62		'63			
	1番草	2番草	3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	4番草
無 N 区	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N 100 区	1.0	35.0	60.0	105.0	4.3	17.1	11.0	75.0	77.0	94.3	54.3	1.7
N 200 区	3.0	27.5	30.0	28.8	0.7	17.1	11.0	105.0	97.8	87.1	68.6	45.6
N 300 区	4.7	36.7	15.0	10.8	24.8	11.4	16.3	105.0	75.8	91.3	64.4	68.8
N 400 区	-	28.8	18.6	5.0	-	7.9	12.6	81.3	56.5	65.7	51.4	72.4
N 500 区	-	29.0	6.0	10.5	-	4.9	9.6	60.0	58.0	56.1	45.7	46.3
N 600 区	0.7	12.5	10.0	2.1	-	3.8	1.8	49.1	38.8	42.9	62.9	34.4
N 700 区	0.6	-	1.4	-	-	4.5	1.6	30.0	32.1	37.1	32.2	30.8

増大すると1年目は窒素400, 2年目は300, 3年目は200区まで増大し, その後施用窒素量の増大に伴い利用率は次第に低下し, 窒素700区では, 6, 21, 29% (それぞれ1, 2, 3年目)の利用率となっている。これを刈取毎に検討すると'62年1番草では, 全区を通じて20%以下である。最高利用率の窒素300区でも16%であり, その施用窒素を窒素300区より増大しても減少しても利用率は低下する。とくに窒素600区以上の利用率は2%以下である。1年目2番草以後の窒素の利用率は極めて高く2年目4番草窒素100区を除いて, いずれも25%以上最高105%となっている。利用率の最大は1年目1~2番草で窒素200区, 2年目1番草で窒素200区2番草で窒素100区, 3番草で窒素200区, 4番草で窒素400区となっている。この範囲以下あるいは以上の施用窒素ではいずれも施用窒素の増減に伴い低下している。

以上の事実から施用窒素の利用率を大きくしようとするときは alfalfa では施用窒素量を刈取毎に20~25 kg/ha (本試験における窒素100区)以下におさえることが, 重要な要因と考えられる。そして orchardgrass においては窒素200~300区施用窒素70~105 kg/ha を刈取毎に施用するとき最大の利用率が得られる。

4) 窒素施用量の相違による牧草の品質

窒素施用量の増加に伴う牧草体内無機成分並びに有機構成々分について検討して見ると第88表の如く無機成分では窒素含量と orchardgrass の加里を除いては, 窒素施用量の増大に伴う変化は見出せない。窒素は 施用量の増加に伴い alfalfa では 窒素600 kg 区まで, orchardgrass では窒素400区まで増加する。また orchardgrass の加里は窒素施用量の増大に伴い増大する傾向がある。この傾向はとくに低温時に生育した orchardgrass において大である。松坂, 白井, 今泉は, 窒素の施用量を増し, あるいは加里の施用量を減らすことにより蛋白化成率は明らかに低下すると報告しているが, 79) 低温時においてとくにこのような差異を生ずるのは orchardgrass への加里の土壌からの供給力にも差異があると考えられるが, 牧草の体内代謝と密接に結びついていることが考えられる(45)。すなわち, 別に分析した窒素系列の全炭水化物の定量の結果によれば, 窒素施用量の増大に伴い, その含有率は低下している。このことは一方において窒素含有率の増大に関係しているとも考えられるところであるが, これらのことについては加里系列について記述するとき一緒に論ずることとする(第48図)。

つぎに有機構成々分では若干の変化が見出される。すなわち alfalfa の粗繊維は, 窒素施用量の増加に伴い若干低下する。また orchardgrass については明らかな傾向は見出せない。

第 88 表 窒素施用量の相違に伴う無機成分並びに有機成分の変化 ('62 2 番草)

	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	粗蛋白	粗脂肪	粗繊維
無肥料区	A 3.24	0.68	3.10	1.79	0.32	20.3	3.60	30.3
	O 2.17	0.62	3.10	0.45	0.31	13.6	3.93	23.2
無 N 区	A 2.82	0.68	3.30	1.96	0.37	17.7	3.94	31.7
	O 2.00	0.66	3.70	0.45	0.34	12.5	4.16	22.2
N 100 区	A 2.90	0.60	3.30	1.57	0.37	18.1	-	-
	O 2.06	0.59	3.62	0.48	0.26	12.9	3.15	22.8
N 200 区	A 3.10	0.60	3.30	1.57	-	19.4	4.24	25.9
	O 2.48	0.56	3.51	0.56	0.37	15.5	3.95	23.5
N 300 区	A 3.16	0.64	3.30	1.57	0.58	19.8	4.49	25.0
	O 2.52	0.57	3.89	0.45	0.37	15.8	3.84	24.1
N 400 区	A 3.30	0.68	3.50	1.62	0.49	20.6	3.67	24.8
	O 3.22	0.56	4.59	0.53	0.36	20.1	4.74	22.6
N 500 区	A 3.50	0.64	3.70	1.68	0.43	21.9	3.98	26.6
	O 3.20	0.60	4.10	0.67	0.58	20.0	3.37	21.3
N 600 区	A 3.70	0.64	3.30	1.46	0.65	23.1	3.54	25.2
	O 3.13	0.56	4.30	0.62	0.46	19.6	3.49	22.5
N 700 区	A 3.26	0.64	3.20	1.68	0.52	20.4	3.82	23.6
	O 3.85	0.56	4.29	0.67	0.30	17.8	3.83	23.8

A = Alfalfa, O = Orchardgrass

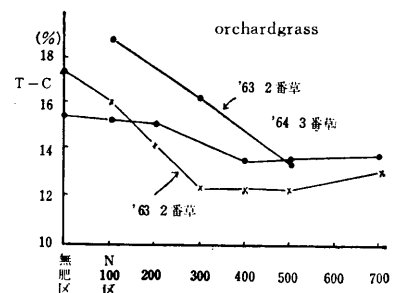
## 5) 乾物生産に対する窒素肥料の経済性

以上のような牧草に対する施肥窒素の影響を数種の角度から検討して来たが、最後にその経済性を論ずることとする。

## (1) 牧草による収入と窒素肥料価格との格差

この場合の肥料の単価は野幌農協単価（酪農学園大学の所在地）の硫酸と尿素 1 kg の単価の平均、牧草は江別市の 39 年度の実数を用いて、理論的に算定した。この計算によると 1 kg の乾燥牧草（乾物）は 7.4 円であり、その結果は第 49 図第 89 表の如くに、alfalfa の粗収入の最大は窒素 200 区～窒素 300 区にあり、窒素肥料代は直線的に増大する。従ってこの粗収入と窒素肥料代の格差の最大は、無窒素区にあり、その額は 174.6 千円/ha/3 years となっている。磷酸肥料と加里肥料代は各区共通に用いているので、窒素肥料代直線の平行移動と考えられるので、窒素肥料の相対的な経済性を判定する上には考慮から除外しても差しつかえないと考えて記述を省略した。窒素肥料代 1000 円当りの粗収入では、無窒素区を除外すれば窒素 100 区が最大で 5076 円/ha/3 years となり、窒素施用量の増加に伴い低下し、窒素 700 区では 613 円/ha/3 years と赤字を示す。

つぎに orchardgrass について見ると、窒素施用量の増大に伴い窒素 300 区までは次第に粗収入が増大するが、それ以上の施用はかえって、粗収入を減少せしめる。粗収入と窒素肥料代の格差の最大は窒



第 48 図 窒素施用量の増加に伴う全炭水化物の減少

\* 乳牛による粗収入から粗飼料以外の第 2 次生産費を差引いた残金をその粗収入を得るに必要な粗飼料の F.U. で除して、その値から割出した単価

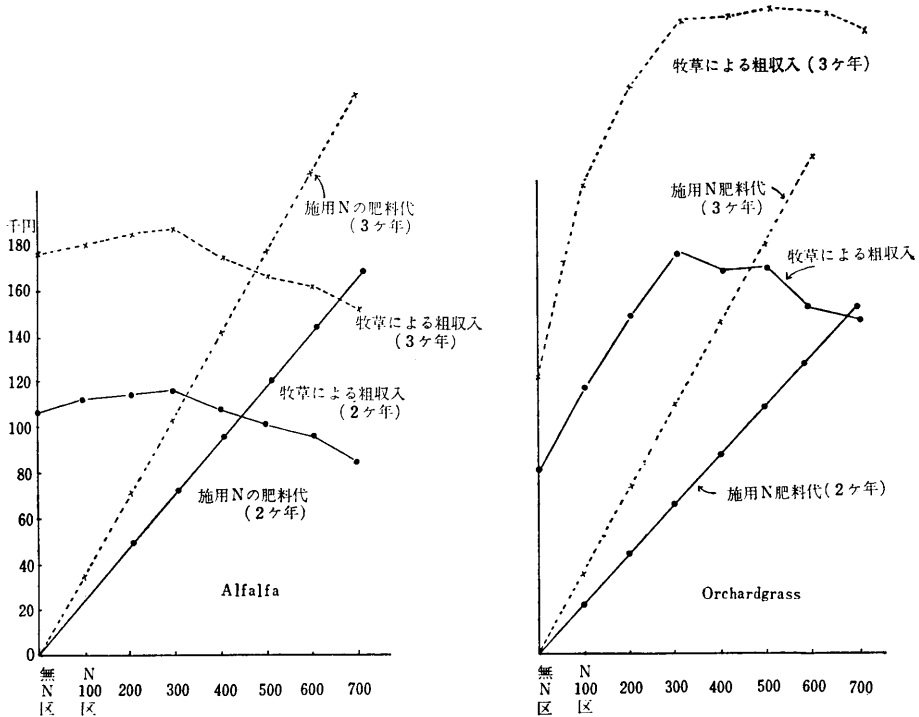


第 89 表

牧草による収入と肥料代との格差

(3カ年の資料による)

	Alfalfa			Orchardgrass		
	窒素肥料費 (A)	牧草による 粗収入 (B)	B-A	窒素肥料費 (A)	牧草による 粗収入 (B)	B-A
	(千円)	(千円)	(千円)	(千円)	(千円)	(千円)
無肥料区	0	155.6	155.6	0	118.8	118.1
無N区	0	174.6	174.6	0	122.1	122.1
N 100 区	35.1	178.2	143.1	36.3	206.9	170.6
N 200 区	70.2	184.3	114.1	72.6	249.5	176.9
N 300 区	105.3	185.2	79.9	108.9	287.1	178.2
N 400 区	140.4	171.4	31.0	145.2	282.2	137.2
N 500 区	175.5	164.4	-11.1	181.5	291.4	109.9
N 600 区	210.6	161.2	-49.4	217.8	282.8	65.0
N 700 区	245.7	150.6	-95.1	254.1	276.2	22.1



第 49 図

牧草による粗収入と窒素肥料代の格差

素 300 区であり 178.2 千円/ha/3 years となっている。窒素肥料代 1000 円に相当する粗収入では、無窒素区を除外して考えれば、窒素 100 区が最大で 5699 円となっており、窒素施用量の増大により次第に低下し、窒素 700 区では肥料代 1000 円に対して 1087 円とわずかに黒字になっている。

## (2) 肥料(窒素)の効率

窒素質肥料の効率を検討する目的で、施用した窒素肥料代と牧草による収入との関係を次式により算出して見た。

$$100 \times \frac{Y_i - Y_{i-1}}{F_i - F_{i-1}} = \text{窒素肥料の効率}$$

ここで  $Y_i$  は各区の牧草による収入(円/ha)  $Y_{i-1}$  は  $Y_i$  の1段階前の区の収量、 $F_i$  は各区の肥料代  $F_{i-1}$  は  $F_i$  区の1段階前の肥料代である。

この式により算出された窒素肥料の効率を見ると、alfalfa はいずれの区も施用窒素の単位値に対して牧草による収入は100以下であり、結局窒素肥料の経済的効果は江別市の現酪農事情を前提とするときは効果が期待できない。しかし施用窒素が増加するに伴い、その効率は一層低下することは明瞭である。

Orchardgrass では窒素100区はもっとも高く2カ年の資料では165、3カ年では234の値を示し、窒素700区に向ってほとんど直線的にその効率は低下する。しかし施用窒素単位当り牧草の単位収入が得られる点はおおよそ窒素300区である。

このことは若し限界生産費曲線と平均生産費曲線が一般的なカーブを書くとするれば、この窒素300区の位置が orchardgrass に対する窒素肥料の限界施用量であるということができよう。すなわち基肥に300 kg/ha 刈取毎及び春期にその1/3量を追肥するという方法が orchardgrass 単播に対する施肥法としては最も経済的であるということが出来よう。

第90表 窒素質肥料の効率

	Alfalfa		Orchardgrass	
	2カ年間の資料による	3カ年間の資料による	2カ年間の資料による	3カ年間の資料による
無肥料区	-	-	-	-
無N区	-	-	-	-
N 100区	33	10	165	234
N 200区	3	17	112	117
N 300区	17	3	116	104
N 400区	-42.5	-39	-34	-13
N 500区	-26	-20	9	25
N 600区	-12	-9	-8	-24
N 700区	-55	-30	-20	-10

## 4 要 約

Alfalfa と orchardgrass をそれぞれ圃場に栽培し、窒素肥料に対する影響を主として、その量的側面と土壌の窒素 level とから検討し、その合理的施肥体系を把握しようとした。無肥料、無窒素、窒素100区から100 kg/ha ずつ増加せしめて窒素700区までの区の設定によって、次の結果が得られた。

\* 昭和39年度の乳牛数、飼料生産面積、乳牛による粗収入、牛乳による粗収入、牛乳生産量、第二次生産費

1) Alfalfa と orchardgrass の乾物生産速度指数 (kg/day/ha の相対値) は施用窒素量の増大に伴い alfalfa では窒素 200 区, orchardgrass では窒素 300 区までは増大する (3 カ年平均で) がそれ以上の施肥は、施用量の増大に伴い初期は生育量が低下する。この窒素 400 区以上の低下は主として  $\text{NH}_4\text{-N}$  の生長抑制作用である。

また刈取毎の速度指数の比較では alfalfa の 3 番草が極めて遅く、2 カ年間の平均生産速度指数のおよそ  $\frac{1}{2}$  となっている。これが理由は刈取頻度の増大による貯蔵物質の消費並びに気温の変化に伴う同化と呼吸の不均衡であると考えられた。Orchardgrass は 2~3 年目 1 番草において幼穂形成のためと考えられる速度の増大と 4 番草の低温のための低下があるが、それ以外は目立った変化はない。

2) 各窒素施肥処理区の牧草体中の窒素含量は両牧草とも、初年目 1 番草は窒素施用量の増加に伴い増加が認められる。Alfalfa は、その後大差を示さないが、orchardgrass では窒素 500 区までは増大する傾向にある。無窒素区のそれは 1 年目 2 番草より窒素欠乏症が出現する。刈取回数が進むにつれて窒素 100 区にも及ぶ。窒素の収奪量は alfalfa で窒素 300 区, orchardgrass で窒素 500 区まで増大し、その収奪量はそれぞれ、500.4, 685.2 kg/ha/2 years 及び 790.2, 1227.9 kg/ha/3 years であった。

3) 施用窒素と牧草による吸収窒素との収支から求めた、最も窒素残高の僅少な点は両牧草とも窒素 200 区である。しかし土壌の窒素 level について一定の土壌状態を永續するための施肥量は alfalfa では無窒素区, orchardgrass では窒素 400~500 区の間である。

4) 1~3 カ年間にわたる alfalfa の窒素利用率は窒素 100 区で、14~29~17% で最大、施用量を増大せしめると漸次低下し、1~2% となる。orchardgrass では窒素 200 区, 窒素 300 区が最大で 31~43~48, 34~54~60% となり施用量を増大せしめると漸次低下し、6, 21, 29% となる。

5) 窒素肥料の経済性では alfalfa は無窒素区に、また orchardgrass は窒素 300 区に粗収入と窒素肥料代との最大格差が得られた。また肥料の牧草生産に対する最大効率は両牧草とも無窒素区を除けば窒素 100 区にあり、施用窒素量の増加に伴い直線的にその効率は低下する。施肥窒素の単位当り、牧草の単位収入が得られる点は alfalfa では見出せず、orchardgrass ではおよそ窒素 300 区である。このことは若し限界生産費曲線と平均生産費曲線が、最も一般的なカーブを書くとすれば、alfalfa では無窒素区, orchardgrass は窒素 300 区的施肥法が、窒素肥料の限界施用量であるということが出来る。

## 第 2 節 磷 酸

牧草類の生育に対する土壌磷酸並びに施肥磷酸の問題は、その生育初期においては極めて有効に施肥磷酸が作用することを明らかにして来たが、しかし一方土壌中の磷酸は長年月にわたって牧草栽培が行われるときは相当量有効化し得るものであると早川、北岸らが報告している。

著者は、これらの牧草類が施肥磷酸に対して果して如何なる量的反応を示しつつ初期生育段階の高効率から後期の低効率へと移行するものであるかを明確にすべく、以下の研究計画に基づいて行なった研究の概要を記述することとする。

### 1 研究方法

#### 供試圃場並びに栽培法

これらは前節と全く同一である。施肥量は第 91 表の如く、100 kg ( $\text{P}_2\text{O}_5$ )/ha づつ増加して、基肥はいずれも全面散布とし 10cm の表層に均一に混合した。追肥量は第 92 表の如くに刈取毎に '62 年 1 番草刈取後~'63 年 3 番草まで基肥の  $\frac{1}{2}$  量を施用した。但し '63 年 4 月 8 日には同じく基肥の  $\frac{1}{2}$  量を春肥として施用した。

第 91 表

肥料の施用量（基肥）と区の設定

Alfalfa  
Orchardgrass 共通

区 名	施肥料並びに肥料の形態
無肥料区	既肥（牛肥）50t/ha 及び炭酸石灰 Alfalfa 圃場 2 t/ha 以外は施用せず Orchardgrass " 0.5/ha
無 P 区	{ 磷酸質肥料は用いない。窒素は N として 200kg/ha、加里は K <sub>2</sub> O として 200kg を施用した。窒素は硫酸と尿素を要素量でそれぞれ 100kg/ha、K <sub>2</sub> O は硫酸を用いた。 { 過石と熔燐を要素量でそれぞれ 50kg/ha 用いた。窒素と加里は それぞれ 200kg/ha を施用した
P 100 区	
P 200 区	
P 300 区	
P 400 区	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : 200kg/ha を施用 N : 200kg/ha K <sub>2</sub> O : 200kg/ha
P 500 区	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : 300kg/ha " "
P 600 区	" 400 " " "
P 700 区	" 500 " " "
	" 600 " " "
	" 700 " " "

第 92 表

肥料の施用量（追肥 kg/ha Alfalfa）

追肥 月日 区 名	'62年			'63年				'64年				3カ年 合 計
	7. 8	8. 10	9. 15	4. 8	6. 11	7. 14	8. 22	4. 8	6. 20	8. 6	9. 21	
無 P 区	N 40 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 0 K <sub>2</sub> O 40	40 0 40	40 0 40	40 0 40	70 0 100	70 0 100	70 0 100	70 0 100	70 0 100	70 0 100	70 0 100	0
P 100 区	N 40 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 20 K <sub>2</sub> O 40	40 20 40	40 20 40	40 20 40	70 20 100	70 20 100	70 20 100	70 20 100	70 20 100	70 20 100	70 20 100	220
P 200 区	N 以下 N の施用量は P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 40 K <sub>2</sub> O 以下 K <sub>2</sub> O の施用量は	40 40 40	40 40 40	P 100 区に同じ 40 40 40 40				40	40	40	40	440
P 300 区	N P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> K <sub>2</sub> O	60 60 60	60 60 60	60	60	60	60	60	60	60	60	660
P 400 区	N P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> K <sub>2</sub> O	80 80 80	80 80 80	80	80	80	80	80	80	80	80	880
P 500 区	N P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> K <sub>2</sub> O	100 100 100	100 100 100	100	100	100	100	100	100	100	100	1,100
P 600 区	N P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> K <sub>2</sub> O	120 120 120	120 120 120	120	120	120	120	120	120	120	120	1,320
P 700 区	N P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> K <sub>2</sub> O	140 140 140	140 140 140	140	140	140	140	140	140	140	140	1,540

2 実験結果並びに考察

1) 生草重並びに乾物重

磷酸肥料の増肥に伴う alfalfa の生草重並びに乾物重の変化は第 94 表の如くである。すなわち生育初期とくに第 1 回収穫における乾物重は磷酸肥料の増加に伴い増大する傾向にある。しかしこの傾向は刈取回数で異なる。二番草では磷酸 700 区でも無磷酸区の 2 割増程度であるが、わざわざ増加の傾向

第93表 肥料の施用量 (追肥 kg/ha Orchardgrass)

追肥 月日 区名	'62年			'63年					'64年				3カ年 合計
	8.15	10.11		4.16	6.1	7.9	8.20	10.15	4.	6.11	7.25	9.5	
無 P 区	N	40	40	40	70	70	70	70	70	70	70	70	0
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	K <sub>2</sub> O	40	40	40	100	100	100	100	100	100	100	100	
P 100 区	N	40	40	40	70	70	70	70	70	70	70	70	220
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
	K <sub>2</sub> O	40	40	40	100	100	100	100	100	100	100	100	
P 200 区	N	以下N施用量はP 100 区のN量に同じ							40	40	40	40	440
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40		
	K <sub>2</sub> O	以下施用量はP 100 区の K <sub>2</sub> O に同じ											
P 300 区	N			60	60	60	60	60	60	60	60	60	660
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	60	60										
	K <sub>2</sub> O												
P 400 区	N			80	80	80	80	80	80	80	80	80	880
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	80	80										
	K <sub>2</sub> O												
P 500 区	N			100	100	100	100	100	100	100	100	100	1,100
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	100	100										
	K <sub>2</sub> O												
P 600 区	N			120	120	120	120	120	120	120	120	120	1,320
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	120	120										
	K <sub>2</sub> O												
P 700 区	N			140	140	140	140	140	140	140	140	140	1,540
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	140	140										
	K <sub>2</sub> O												

にある。3 番草では燐酸 400 区においてすでに頭打ちとなり、それ以上の施用は増収には結びつかない。この傾向は 2 年目になれば一層はげしく、2 年目 1 番草では最高収量は燐酸 300 区に現われ、この傾向は 2 番草でも変わらない。これに対して 3 番草ではこの傾向が一層はげしく肥料に対する反応は少なく、燐酸 100 区以上は増肥しても必ずしも収量増加とはならない。3 年目では 2, 3 番草のみ燐酸 200~300 区までは燐酸の肥効が見られる。3 カ年の合計では燐酸 200 区までは燐酸の肥効が窺われるが、それ以上の施用は収量増加とはならない。

Orchardgrass については、alfalfa と同様生育の初期においては施用燐酸の増加に伴い生草重も乾物重も増大する。しかしそれ以上の施用は必ずしも増大しないばかりか、燐酸 700 区ではやや減収している。この燐酸肥料への反応は 2 番草においてはやや低下し、燐酸 100 区までは著しい収量増加となっている。しかしその後は僅少な増加にとどまる。この傾向は '63 年 1 番草においてはやや趣きを異にして、燐酸 400 区まではかなり積極的に収量が増大する。3 番草では燐酸 500 区までは収量は次第に増大する傾向にあるが、その増加率は極めて僅少である。4 番草では燐酸施用量の増加に伴い燐酸 300 区までは増大し、その後は横ばいとなる。3 年目では 1 番草は 100 区まで、2 番草では 100 区まで、3 番草で燐酸 400 区まで収量を増大した。3 カ年間合計では燐酸 200 区までは収量の増加となるが、それ以上は収量増大とはならない。

2) 燐酸質肥料の施用量の相違に伴う乾物生産速度の推移

燐酸質肥料は豆科牧草の再生長力を増大せしめるため、あるいはこれらの牧草の維持年限を長くするため必要であるとは一般に認められているところである。しかしこれらの問題が果して、イネ科の牧草に優先して現われる特性であろうか。この問題を比較検討するためには施肥燐酸肥料以外の要因を消去する方法をとらなければ、これらの比較は困難である。このため、特に乾物生産速度を求めこれを比較的の数値とした指数、(無燐酸区の乾物生産速度指数 (kg/day/ha) を 100 とした相対値) を算定し比較して見ると、第 50 図第 96 表の如くである。まず 50 区では燐酸肥料の施用増加に伴う alfalfa の 1 年

第 94 表 磷酸施用量の相違に伴う生草重・乾物重並びに水分含量

Alfalfa		1番草	2番草	3番草	1カ年	1番草	2番草	3番草	2カ年	1番草	2番草	3番草	3ヶ年
		7.8	8.8	9.11	合 計	6.11	7.14	8.22	合 計	6.20	8.6	9.21	合 計
無 P 区	生草重*	4.7	16.0	9.4		14.4	20.0	10.4		21.1	14.0	10.4	
	乾物重**	940	2,688	1,316	4,944	3,082	3,600	1,872	13,498	4,009	2,548	1,872	21,927
	水分含量***	80.0	83.2	84.0		78.6	82.0	82.0		81.0	81.8	82.0	
P 100 区	生草重	5.2	16.3	9.5		14.5	21.0	12.0		22.1	15.8	8.4	
	乾物重	1,029	2,575	1,539	5,143	2,654	3,780	2,100	13,677	4,089	2,844	1,520	22,310
	水分含量	80.2	84.2	83.8		81.7	82.0	82.5		81.5	82.0	81.9	
P 200 区	生草重	5.7	16.6	10.4		18.1	21.9	10.9		25.0	18.4	9.7	
	乾物重	1,163	2,673	1,820	5,616	3,765	3,942	1,973	15,336	4,501	3,313	1,743	24,893
	水分含量	79.6	83.9	82.5		79.2	82.0	81.9		79.0	81.9	81.9	
P 300 区	生草重	6.2	18.2	11.3		21.1	24.0	11.4		25.9	16.6	12.8	
	乾物重	1,246	2,712	1,921	5,879	4,009	4,272	2,018	16,178	4,921	3,005	2,266	26,370
	水分含量	79.9	85.1	83.0		81.0	82.2	82.3					
P 400 区	生草重	6.2	20.6	11.9		19.4	22.4	22.4		25.4	15.0	13.2	
	乾物重	1,289	2,987	2,023	6,299	3,686	3,808	1,960	15,753	4,826	2,550	2,310	25,439
	水分含量	79.2	85.5	83.0		81.0	83.0	82.5					
P 500 区	生草重	6.3	21.9	11.6		20.3	24.0	11.3		25.2	15.8	9.6	
	乾物重	1,292	3,197	1,833	6,322	3,553	3,840	2,034	15,749	4,410	2,702	1,728	24,589
	水分含量	79.5	85.4	84.2		82.5	84.0	82.0					
P 600 区	生草重	7.5	21.9	11.7		19.5	22.4	10.0		25.1	14.0	9.5	
	乾物重	1,500	3,263	1,755	6,518	3,569	3,808	1,800	15,695	4,543	2,380	1,710	24,328
	水分含量	80.0	85.1	85.0		81.7	83.0	82.0					
P 700 区	生草重	7.9	21.9	12.0		20.8	24.0	10.0		23.4	13.0	11.2	
	乾物重	1,643	3,285	1,944	6,872	3,806	3,888	1,310	16,376	4,235	2,236	2,027	24,874
	水分含量	79.2	85.0	83.8		81.7	83.2	81.9					
無肥料区	生草重	4.3	14.6	8.9		14.6	19.4	8.5		18.3	16.0	9.6	
	乾物重	860	2,278	1,442	4,580	3,227	3,589	1,530	12,926	3,678	2,896	1,728	21,228
	水分含量	80.0	84.4	83.8		77.9	81.5	82.0					

\* t/ha \*\* kg/ha \*\*\* %

目1番草は指数を増大する。しかし2番草では20%程度となり、3番草では最大50%で、その区は磷酸400区であり、それ以上の磷酸施肥は低下の傾向をとる。2年目についての磷酸の肥効はほとんど認められない程度で、とくに3番草に至っては全く $P_2O_5$ の施用の影響が出ない。3年目についてもこの傾向は類似するが刈取時期により若干の差異を示す。

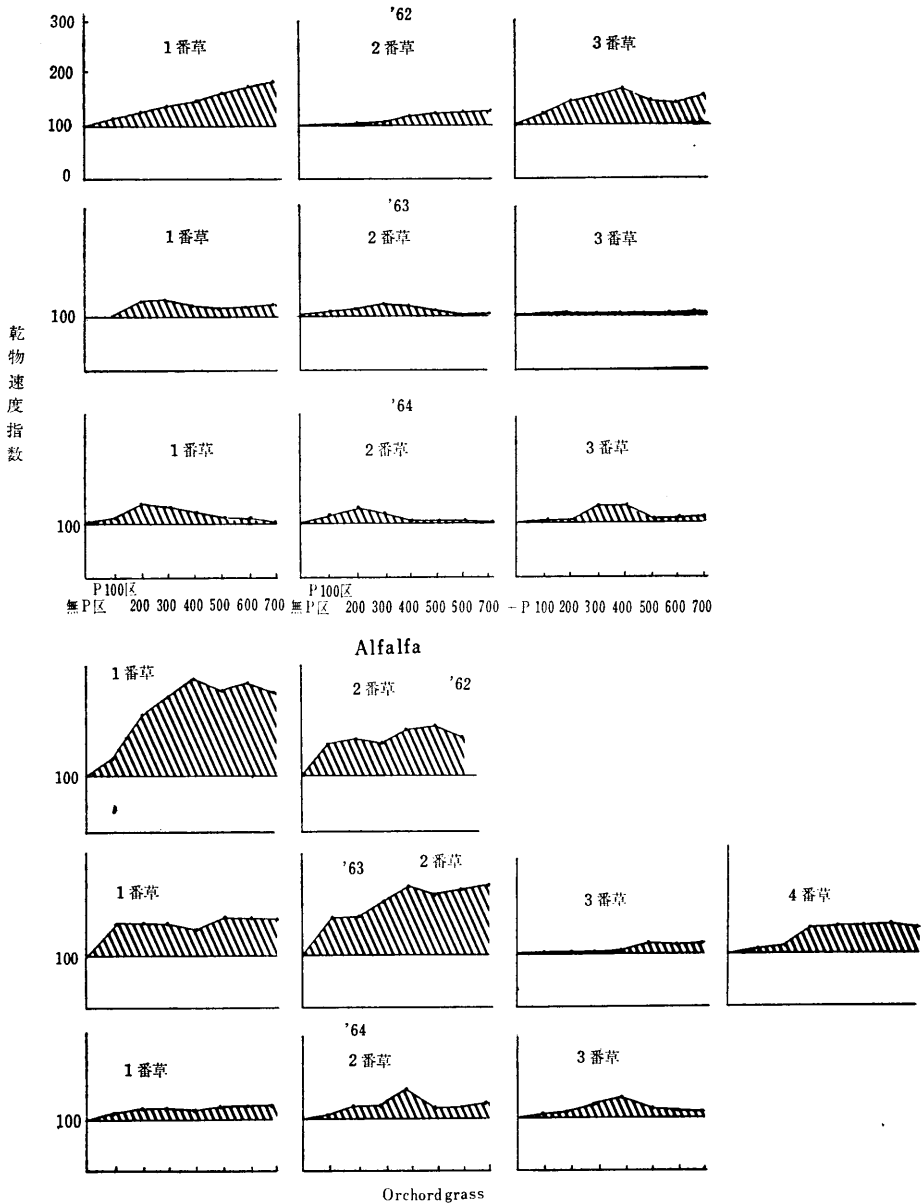
Orchardgrass でのこの傾向は1年目1番草で増肥に伴い、磷酸400区までは280%程度の増大、そ

第95表 磷酸肥料施用量の相違に伴う生草重乾物重, 水分含量の変化

Orchardgrass		1番草	2番草	1カ年	1番草	2番草	3番草	4番草	2カ年	1番草	2番草	3番草	3カ年
		8.15	10.10	合計	6.1	7.9	8.20	10.15	間合計	6.11	7.25	9.5	合計
無P区	生草重*	7.0	9.8		18.9	13.1	22.3	10.4		33.6	15.5	20.6	
	乾物重**	1,330	1,754	3,084	3,326	1,965	3,234	1,955	13,564	5,913	2,325	3,090	24,892
	水分含量***	81.0	82.1		82.4	85.0	85.5	81.2		82.4	85.0	85.0	
P 100区	生草重	10.8	14.8		27.2	21.0	22.3	10.5		37.8	15.8	21.6	
	乾物重	1,825	2,782	4,607	5,168	3,255	3,234	2,006	18,270	6,993	2,528	3,218	31,009
	水分含量	83.1	81.2		81.0	84.5	85.5	80.9		81.5	84.0	85.1	
P 200区	生草重	15.8	16.2		28.4	20.2	23.8	10.9		38.9	16.0	22.2	
	乾物重	2,844	2,916	5,760	4,998	3,232	3,689	2,147	19,826	7,004	2,800	3,994	33,704
	水分含量	82.0	82.0		82.4	84.0	84.5	80.3		82.0	83.5	84.2	
P 300区	生草重	18.9	16.5		29.2	23.9	24.9	15.2		40.5	16.5	23.9	
	乾物重	3,289	2,673	5,962	5,198	3,824	3,612	2,890	21,486	7,209	2,640	3,848	35,183
	水分含量	82.6	83.8		82.2	84.0	85.5	81.0		82.2	84.0	83.9	
P 400区	生草重	20.7	16.8		29.3	26.0	27.0	15.1		38.6	19.3	25.9	
	乾物重	3,747	2,705	6,452	5,421	4,368	4,050	2,889	23,175	6,987	3,281	4,144	37,587
	水分含量	81.9	83.9		81.5	83.2	84.0	80.9		81.9	83.0	84.0	
P 500区	生草重	20.7	18.0		29.5	24.0	27.0	14.0		40.0	16.0	23.2	
	乾物重	3,560	3,150	6,710	5,576	4,080	4,185	2,870	23,421	7,400	2,640	3,642	37,103
	水分含量	82.8	82.5		81.1	83.0	84.5	79.5		81.5	83.5	84.3	
P 600区	生草重	20.8	18.5		28.8	24.4	26.0	14.1		39.0	16.0	23.6	
	乾物重	3,682	3,164	6,846	5,472	4,148	3,900	2,975	23,341	7,410	2,720	3,446	36,917
	水分含量	82.3	82.9		81.0	83.0	85.0	78.9		81.0	83.0	85.4	
P 700区	生草重	18.7	15.1		29.2	26.4	26.0	15.0		39.8	16.8	23.6	
	乾物重	3,366	2,824	7,190	5,402	4,488	3,900	2,850	22,830	7,363	2,873	3,328	36,394
	水分含量	82.0	81.3		81.5	83.0	85.0	81.0		81.5	82.9	83.9	
無肥料区	生草重	7.8	9.5		12.7	5.6	14.7	6.0		13.2	10.2	11.0	
	乾物重	1,357	1,719	3,076	2,261	1,176	2,205	1,140	9,858	2,349	2,152	1,650	16,009
	水分含量	82.6	81.9		82.2	79.0	85.0	81.0		82.2	78.9	85.0	

\* t/ha    \*\* kg/ha    \*\*\* %

の後横ばいとなる。2番草では150~180%の増大の範囲となる。2年目1番草でもこの傾向は類似するが2番草では磷酸の影響が顕著で160~220%の増大となっている。しかし3番草では、磷酸に対してほとんど反応しない。4番草では施用量の増大に伴い、次第に増大し150%程度となる。3年目には1番草における増大も少く、2,3番草も1番草と類似の傾向を示す。また3カ年間の全体については1年毎に累積して行った数値は第51図の如く、alfalfa 1年目ではおよそ0~20%に向って磷酸肥料の増加に伴



第50図 磷酸質肥料の増施に伴う乾物生産速度指数の推移

って増大する。しかし orchardgrass では700区まで次第に増大し、およそ233%程度となる。従って 磷酸肥料への反応は alfalfa よりも orchardgrass において極めて大である。2, 3年目もその量的反応は次第に低下して、alfalfa で10~15%, orchardgrass で50~70%となるが、その傾向は変化しない。この事実はこれまでの報告と矛盾するところであろうが、これらの事実はおそらく、施肥窒素量の相違に基くものであり、Holland の如きはイネ科の単播牧草を、New Zealand の如きは混播牧草をという根本に通ずる問題点であろうと考えられる。



第96表 磷酸肥料の施用量の増加に伴う乾物生産速度指数の推移

a Alfalfa

	1 番草	2 番草	3 番草	1 カ年計	1 番草	2 番草	3 番草	2 カ年計	1 番草	2 番草	3 番草	3 カ年計
無 P 区	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
P 100 区	110	97	117	104	86	105	112	101	101	112	81	102
P 200 区	124	99	138	114	122	109	105	114	131	131	94	117
P 300 区	133	101	146	119	130	119	108	120	123	118	123	117
P 400 区	137	111	154	127	120	115	105	117	120	100	92	120
P 500 区	137	119	139	128	115	107	109	117	110	106	91	116
P 600 区	160	121	133	132	116	109	96	116	113	93	108	111
P 700 区	175	122	148	133	123	109	97	121	106	88	-	113

b Orchardgrass

	1 番草	2 番草	1 カ年計	1 番草	2 番草	3 番草	4 番草	2 カ年計	1 番草	2 番草	3 番草	3 カ年計
無 P 区	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
P 100 区	135	150	140	155	166	100	103	115	118	109	104	125
P 200 区	214	166	187	150	165	105	110	146	118	123	109	135
P 300 区	247	152	193	156	195	103	148	152	122	123	125	141
P 400 区	289	152	209	129	222	106	148	170	118	152	134	151
P 500 区	268	180	218	168	208	119	147	173	125	114	118	149
P 600 区	279	184	222	165	211	113	152	172	125	117	112	148
P 700 区	253	161	233	162	230	111	146	168	125	123	108	146

第97表 乾物生産速度の時期的推移

	Alfalfa							Orchardgrass						
	1 番草	2 番草	3 番草	1 番草	2 番草	3 番草	2 カ年計	1 番草	2 番草	1 番草	2 番草	3 番草	4 番草	2 カ年計
無 P 区	40	207	89	137	251	111	100	37	86	179	114	189	79	100
P 100 区	34	152	80	90	203	95	100	44	119	241	164	164	70	100
P 200 区	34	141	84	114	189	80	100	54	98	184	128	136	59	100
P 300 区	35	136	85	115	194	77	100	60	87	185	146	128	77	100
P 400 区	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P 500 区	37	163	83	105	179	80	100	57	90	174	137	130	67	100
P 600 区	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P 700 区	45	162	85	108	174	69	100	55	81	173	155	125	68	100

これらの図表から、磷酸の肥効が初期に高く経時的に減少する理由は見出し難い。これを検討する一方法として刈取毎の乾物生産速度指数を2カ年間の平均乾物生産速度指数を基準として比較して見たの

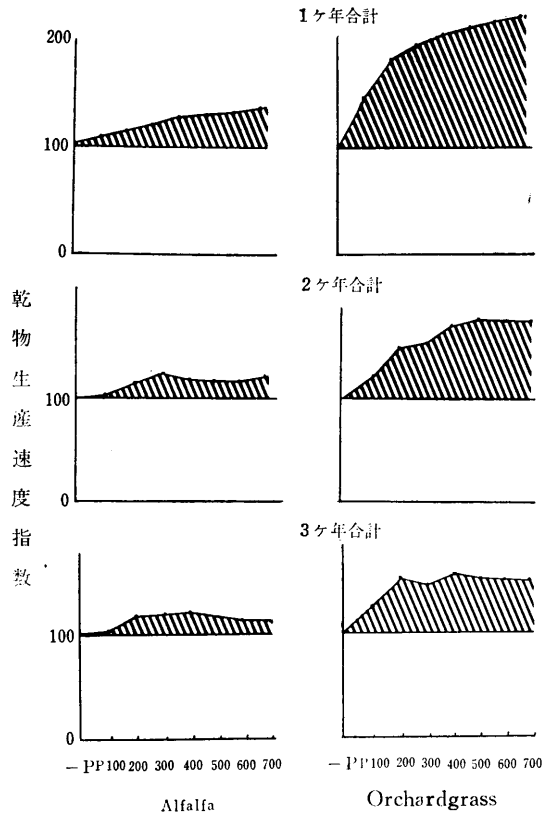
\* 乾物平均生産速度とは、2カ年間の乾物量/ha を2カ年間の生育日数で除して得られた数値

が第52図及び第97表である。これらの図表によれば、生産速度は時期的に遅速があり、そのため磷酸に対する影響の多少の検討ができると考える。この図表を検討すると alfalfa では各年の3番草が非常に収量(速度指数)が低下していることがわかり、1番草の比較は初年目と2年目であるから無理としても2番草がいずれの年もピークになっていることが目立つ。この図から先に報告した窒素肥料の場合と同様、肥料以外の要因が大きく alfalfa の生育速度指数を支配していることが暗示される。そして結局生産速度の遅速に対する磷酸肥料の影響は僅少であるということが判明する。

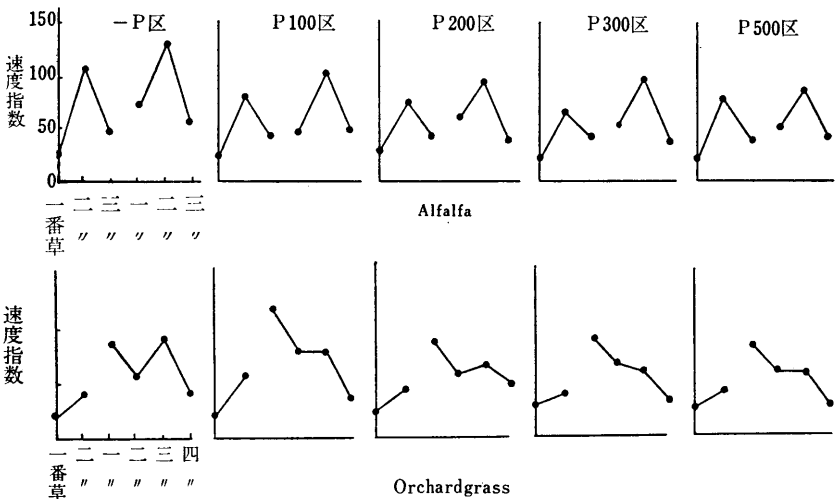
Orchardgrass についてのこの傾向は、alfalfa と全く相違している。すなわち3番草ではげしく速度指数が低下するというではなく、2年目1番草では、幼穂形成に基くピークは存在するが、それでも alfalfa の2番草、3番草の差異程ではない。また2年目4番草では温度の低下による速度指数の低下が目立つ。

3) 磷酸含有率とその収量

供試した牧草類の磷酸含量は生育期で異なることは既に報告したところである。いまこれらの供試牧草の刈取毎の磷酸含有率



第51図 磷酸質肥料の増加に伴う乾物生産速度指数の変化(1, 2, 3年)



第52図 乾物生産速度の時期的推移

を表示すれば第 98 表の如くである。すなわち磷酸の施用量を増大せしめれば、その含有率は次第に増大する傾向にある。

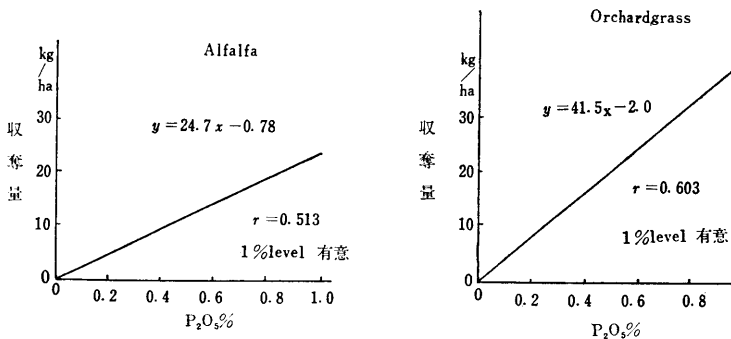
つぎにその収奪量を見ると第 99 表の如く、磷酸の施用量の増大に伴い増大する。これらの磷酸含有率と収奪量の関係を図表上に plot してみると第 53 図の如く alfalfa においても orchardgrass においても  $r=0.513$  及び  $r=0.603$  とやや関連ある相関係数が得られる。そしてこれは、いずれも 1% level

第 98 表

a Alfalfa		磷酸含有率					
		1 番草	2 番草	3 番草	1 番草	2 番草	3 番草
無 P 区		0.45	0.56	0.54	0.44	0.52	0.54
P 100 区		0.44	0.56	0.61	0.46	0.59	0.60
P 200 区		0.46	0.60	0.58	0.46	0.60	0.60
P 300 区		0.48	0.68	0.65	0.52	0.58	0.58
P 400 区		0.46	0.68	0.70	0.35	0.58	0.65
P 500 区		0.44	0.62	0.75	0.40	0.55	0.66
P 600 区		0.43	0.72	0.76	0.47	0.60	0.70
P 700 区		0.46	0.72	0.86	0.64	0.70	0.66

b Orchardgrass

		1 番草	2 番草	1 番草	2 番草	3 番草	4 番草
無 P 区		0.50	0.46	0.36	0.56	0.64	0.46
P 100 区		0.61	0.49	0.42	0.67	0.66	0.56
P 200 区		0.61	0.58	0.54	0.80	0.80	0.63
P 300 区		0.59	0.62	0.51	0.81	0.78	0.65
P 400 区		0.56	0.60	0.48	0.78	0.80	0.65
P 500 区		0.70	0.62	0.54	0.58	0.85	0.67
P 600 区		0.69	0.68	0.61	0.75	0.85	0.70
P 700 区		0.61	0.65	0.69	0.85	0.90	0.74



第 53 図

磷酸含有率とその収奪量との関係

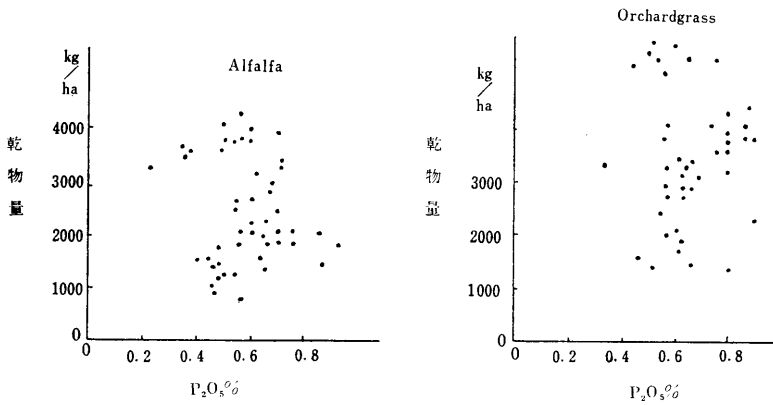
第 99 表

a Alfalfa 牧草による磷酸の収奪量 (kg/ha)

	1 番草	2 番草	3 番草	1 番草	2 番草	3 番草	合 計
無肥料区	4.9	15.5	9.2	8.4	12.9	6.1	57.0
無 P 区	4.2	15.0	7.1	13.6	18.7	11.2	69.8
P 100 区	4.5	14.4	9.4	12.2	22.3	12.6	75.4
P 200 区	5.3	16.0	10.6	17.3	23.7	11.8	84.7
P 300 区	6.0	18.4	12.5	20.8	24.8	11.7	94.2
P 400 区	6.0	20.3	14.2	12.9	19.0	12.7	85.1
P 500 区	5.7	19.8	13.7	14.2	21.1	13.4	87.9
P 600 区	6.5	23.5	13.3	16.8	22.8	12.6	95.5
P 700 区	7.6	23.7	16.7	24.4	27.2	11.9	111.5

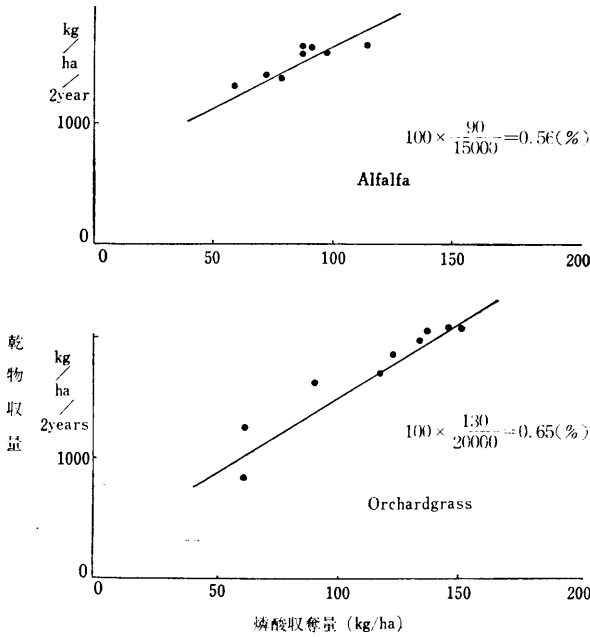
b Orchardgrass

	1 番草	2 番草	1 番草	2 番草	3 番草	4 番草	合 計
無肥料区	8.5	10.7	12.2	9.3	19.8	8.3	68.8
無 P 区	6.1	8.1	12.0	11.0	24.8	9.0	71.6
P 100 区	8.7	13.6	21.7	21.8	21.3	11.2	100.7
P 200 区	16.5	16.9	27.0	25.9	29.5	13.5	130.1
P 300 区	20.4	16.6	26.5	30.6	28.1	18.2	139.4
P 400 区	22.5	16.2	26.0	34.1	32.4	18.8	148.5
P 500 区	22.1	19.5	30.1	23.7	35.6	19.2	153.0
P 600 区	25.0	21.4	33.4	31.1	33.1	20.8	165.2
P 700 区	21.9	18.3	37.3	38.1	35.1	21.1	170.4



第 54 図

磷酸含有率と乾物収量との関係



第55図 乾物収量(2 years)と磷酸収奪量との関係

で有意である。

さて一方これらの磷酸含有率と乾物収量との関係を検討すると第54図の如く、この間には明瞭な相関は見出されない。これが理由として考えられることは、第1に磷酸の含量に関するもの、第2に磷酸以外の要因が収量を決定している可能性が考えられる。そこで2カ年にわたる磷酸収奪量と乾物量との関係を見ると第53図の如く alfalfa では磷酸の収奪量が90 kg/ha/2 years のところまでは、その乾物収量にかなり高い相関を示している。この値は orchardgrass では130 kg/ha/2 years である。さきの含有率と乾物量との間には相関が見出されず、収奪量と乾物量との間には高い相関が見出されるのは、磷酸含量には明らかに限度の存在することのため、一定以上の磷酸含量になれば、収量は増大するが、含量が上昇しないためと考えられる。以上のことから alfalfa では0.56, orchardgrass では0.65%が正常に生育している牧草の一応の上限磷酸含量といえる(第55図)。

4) 各種の施用磷酸形態の相違による牧草類の収量差

Alfalfa 及び orchardgrass を圃場に栽培する場合、若し上記の如く、磷酸肥料が初期に極めて有効に牧草の生育をささえ、2, 3年と年次が進むにつれて、その磷酸の影響が少なくなる事実が明らかにされているならば、初期に施用した磷酸肥料は、2, 3年と年月が過ぎてもその効力を大に発揮することが期待されるわけである。

そこで、この辺の関係を明白にする目的をもって、牧草類の造成時におよそ3カ年分と考えられる磷酸肥料(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>として500 kg/ha)を散肥し、そこに前述の如く牧草類を播種して、その乾物収量を検したのが次の第100表a及びbである。

この表によれば、alfalfa は orchardgrass に比較して施肥磷酸の肥効は僅少であり、乾物収量において無磷酸区の10%増程度の効果であるが、orchardgrass ではおよそ50%増となっている。肥料の形態では alfalfa においては過石、熔磷が大差なく10%程度の増大となるが、磷鉍石区やSTMP, KMPでは5%以下の肥効である。一方 orchardgrass で過石、磷鉍石、熔磷、STMP区がいずれも

第100表 各種の施用磷酸形態の相違による牧草類の収量差  
a Alfalfa (t/ha)

刈取月日	'62			'63			'64			合計	ratio
	7.8	8.8	9.11	6.11	7.14	8.22	6.19	8.6	9.21		
無磷酸区	0.94	2.69	1.32	3.08	3.60	1.87	4.01	2.55	1.87	21.95	100
過石区	1.19	2.50	1.76	3.63	4.71	2.14	3.78	3.13	1.80	24.64	112
磷鉍区	1.17	2.70	1.74	2.91	3.66	3.66	6.19	3.20	1.58	23.15	105
熔磷区	1.18	2.87	1.79	3.61	3.88	2.04	4.15	3.42	1.87	24.76	113
STMP区*	1.35	2.76	1.67	3.07	3.65	1.98	3.85	3.13	1.36	22.82	104
KMP区**	0.80	2.56	1.68	2.90	3.62	1.87	4.00	3.60	1.66	22.69	103

b. Orchardgrass (t/ha)

刈取月日	'62年		'63年				'64年			合計	ratio
	8.15	10.10	6.1	7.9	8.20	10.15	6.7	7.25	9.5		
無磷酸区	1.33	1.75	3.33	1.97	3.23	2.00	5.91	2.33	3.09	24.94	100
過石区	2.78	3.24	5.05	4.29	3.56	1.84	8.41	2.66	3.58	35.41	142
磷鉍区	3.05	3.33	4.47	4.23	3.92	2.43	8.16	3.09	3.60	36.28	145
熔磷区	3.28	3.33	4.74	4.05	4.21	2.25	7.78	2.66	3.53	35.83	144
STMP区*	2.93	3.38	5.53	4.11	4.07	2.34	8.17	2.59	3.64	36.76	147
KMP区**	2.50	2.68	4.61	3.90	3.96	1.78	7.42	2.95	3.79	33.18	133

\* \*\* いずれも高分子の磷酸肥料

50%近い肥効を示し、KMPでも30%の肥効となっている。

これらの磷酸の基肥としての施用が、先の刈取毎追肥区に比較して明らかに牧草収量をほぼ同率で増大していることは事実であるが、この基肥磷酸の形態は過石熔磷であればイネ科でも豆科でも、またイネ科であればこれに磷鉍石や高分子結合の磷酸をも加えることができることが明らかにされたこととなる。何故この様な基肥磷酸が、その後において追肥した磷酸とほぼ同様な肥効を現わすかについては、早川は土壤の還元に基づく鉄の形態の変化によるものであるとしているが、この説明は、本実績のorchardgrassにおいて高く、マメ科のalfalfaにおいて低い事実からも十分推測される所である。

##### 5) 磷酸肥料の利用率

磷酸の含有率と乾物収量との関係を取穫毎に図上にplotすると、その間には相関が見出されず、これを2カ年間集計した磷酸の収奪量とその乾物収量との間には明らかな相関が見られた。これらのことは牧草体内における磷酸含量だけでは、磷酸の役割を判定することが不十分であることを示すものである。一方その収奪磷酸総量が乾物生産の動行をとらえるため重要であることを示すものである。このことは当然施用した磷酸が、どれだけ植物の体内にとり込まれるかという問題に発展して考えねばならない。すなわちその利用率が問題である。著者は先に磷酸の初期生育に及ぼす影響について記述したが、施用した磷酸量に応じて、どこまでも一定率で吸収利用して行くものか、あるいはその利用率が施用量により異なるものか、また生育の時期により異なるものか、これらの問題を検討するため、基肥として各区記載量及び追肥としてその1/5量を施用した磷酸の利用率を求めてみると第101表第56図のようである。すなわちalfalfaにおける2カ年間の平均ではいずれも2%内外で、最高3.7%、最低1.7%であり、

第101表

磷酸肥料の利用率(2カ年間の資料による)

	Alfalfa					Orchardgrass				
	施用 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 量	吸収量 (A)	無磷酸 区の吸 収P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 量(B)	A-B	利用率	施用 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 量	吸収量 (A)	無磷酸 区の吸 収P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 量(B)	A-B	利用率
無肥料区	0	57.0	-	-	-	0	68.8	-	-	-
無P区	0	69.8	69.8	0	-	0	71.6	71.6	0	-
P 100区	220	75.4	69.8	5.6	2.55	220	100.7	71.6	29.1	13.2
P 200区	440	84.7	69.8	14.9	3.38	440	130.1	71.6	58.5	13.3
P 300区	660	94.2	69.8	24.4	3.70	660	139.4	71.6	67.8	10.3
P 400区	880	85.1	69.8	15.3	1.74	880	148.5	71.6	76.9	8.6
P 500区	1,100	87.9	69.8	18.1	1.65	1,100	153.0	71.6	81.4	7.4
P 600区	1,320	95.5	69.8	25.7	1.95	1,320	165.2	71.6	93.6	7.1
P 700区	1,540	111.5	69.8	41.7	2.67	1,540	170.4	71.6	98.8	6.4

第102表

a Alfalfa 刈取毎の磷酸の利用率

	1 番 草	2 番 草	3 番 草	1 番 草	2 番 草	3 番 草
無P区	-	-	-	-	-	-
P 100区	0.3	3.0	11.5	-	18.0	7.0
P 200区	0.6	2.5	8.8	4.6	12.5	1.5
P 300区	0.6	5.8	9.0	6.0	10.2	4.2
P 400区	0.5	6.6	8.9	-	0.4	1.9
P 500区	0.3	4.8	6.6	0.3	2.4	2.2
P 600区	0.4	7.1	5.2	1.3	3.4	1.2

b Orchardgrass

	1 番 草	2 番 草	1 番 草	2 番 草	3 番 草	4 番 草
P 100区	4.4	27.5	24.3	54.0	-	11.0
P 200区	5.3	22.0	18.8	37.3	11.7	11.0
P 300区	4.2	14.2	12.1	32.7	6.7	15.3
P 400区	3.6	10.1	8.8	28.9	9.5	12.2
P 500区	3.6	11.4	9.1	12.7	10.8	10.2
P 600区	2.8	11.1	8.9	15.9	6.9	9.8
P 700区	2.0	7.3	9.0	19.4	7.4	8.6

磷酸の施用量により一定の傾向がない。

これに対し orchardgrass の2カ年間のそれでは磷酸100区から700区と施用量を増大するに従ってその利用率は減少している。すなわち磷酸100区では13.2%であるが次第に低下し、700区では6.4%

となっている。これを刈取毎に検討すると alfalfa では1年目2番草の施用追肥磷酸の少ない時は5%内外(1.3~7.1%)の利用率である。これは基肥に施用した磷酸が大に關係しているものと考えられる。3番草では施用磷酸の量が多くなるに従って次第に低下しているが、しかし全体としては11.5~5.2%位の僅少な利用率である。これが2年目1番草についてはいずれも6%以下で春期であるからといって利用率がとくに高い傾向は見出せない2番草では、この傾向はやや異なり磷酸100~300区の20~60kg施用では10%以上のやや高い利用率となるが、それ以上の施用は5%以下の低い利用率である3番草では施用量が磷酸100区の20kg/haでも7%内外となり、その後磷酸施用量の増大により次第に利用率が低下する。

これを orchardgrass について見ると初年目1番刈では磷酸200区の施用磷酸200kgが最大の利用率5.3%となっているが、それよりも少なくとも多くとも利用率は低下し、とくに200kg以上の施用は次第に利用率を低下せしめて700kgでは2.0%となる。しかし2番草では磷酸100区では28%の利用率でそれより多い磷酸施用は次第に利用率を低下せしめている。この傾向は2年目2番草においても類似している。2年目の1番草では磷酸100区から磷酸700区まで施用磷酸量の増大に伴い利用率は低下する。3番草では施用量の多少にかかわらず9%内外の利用率である。4番草では磷酸300区が最大で、15.3%、この区を上下することにより低下して10%内外となる。

以上の事実、磷酸の利用率が一般に施用量を増加すると低下する傾向があり、また alfalfa の2年目2番草、orchardgrass の2番草から見て、この刈取期の利用率は他の刈取期のそれに比較して利用率が大きい傾向がある。これが理由としては、

(1) 第1に無磷酸区の吸収磷酸量が減少したか。(2) 吸収磷酸量が他の刈取期より以上に増大したかの2点にしぼられる。さきに記述した無磷酸区の収奪量でみると、この刈取期の磷酸量は低下するどころか、かえって増大している。従ってこの期の利用率の増大は吸収磷酸量の増大による増加とみるのが妥当であろう。しかしながら施用磷酸の利用率が高いあるいは増大したということと磷酸の肥効が高い(施用磷酸単位量に対する乾物の増加量が大であること)ことは別問題である。よって以下にこの肥効の点に焦点を合せて考察を進めこととしたが、その前に何故にこのような利用率の変化が現われるか、また何故に磷酸の利用率が低いのかについて考察を進めて見たい。

磷酸の利用率が低いのは、施肥磷酸が土壤中の鉄、アルミナ加水酸化物と結合して不可給化すること

第103表

Incubation による有効態磷酸の変化  $P_2O_5$   
\*mg/100g 乾土

	14日 incubation 後		
	20°C	30°C	45°C
無肥料区	3.5*	-	-
無P区	3.6	4.0	2.5
P 100区	7.3	6.8	6.0
P 200区	8.3	8.3	5.9
P 300区	11.0	10.0	7.5
P 400区	14.0	14.0	-
P 500区	17.1	15.1	12.5
P 600区	26.7	26.7	-
P 700区	37.0	35.1	20.5



第104表 磷酸肥料の利用率  
a Alfalfa (初期に基肥として施用した場合)

	施用量 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg/ha	吸収量 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (A)	無磷酸区 の吸収 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 量(B)	A-B	利用率
無磷酸区	0	111.95	-	-	-
過石区	500	124.43	111.95	4.93	1.0
燐鉍区	500	123.85	111.95	11.90	2.4
焙燐区	500	123.80	111.95	4.30	0.8
STMP区	500	117.52	111.95	5.57	1.1
KMP区	500	115.72	111.95	3.77	0.8

b Orchardgrass

	施用量 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	吸収量 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (A)	無磷酸区 の吸収 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (B)	A-B	利用率
無磷酸区	0	111.48	-	-	-
過石区	500	194.76	111.48	83.28	16.6
燐鉍区	500	185.03	111.48	73.05	14.6
焙燐区	500	193.12	111.48	81.64	16.3
STMP区	500	202.55	111.48	91.07	18.2
KMP区	500	182.16	111.48	70.63	14.1

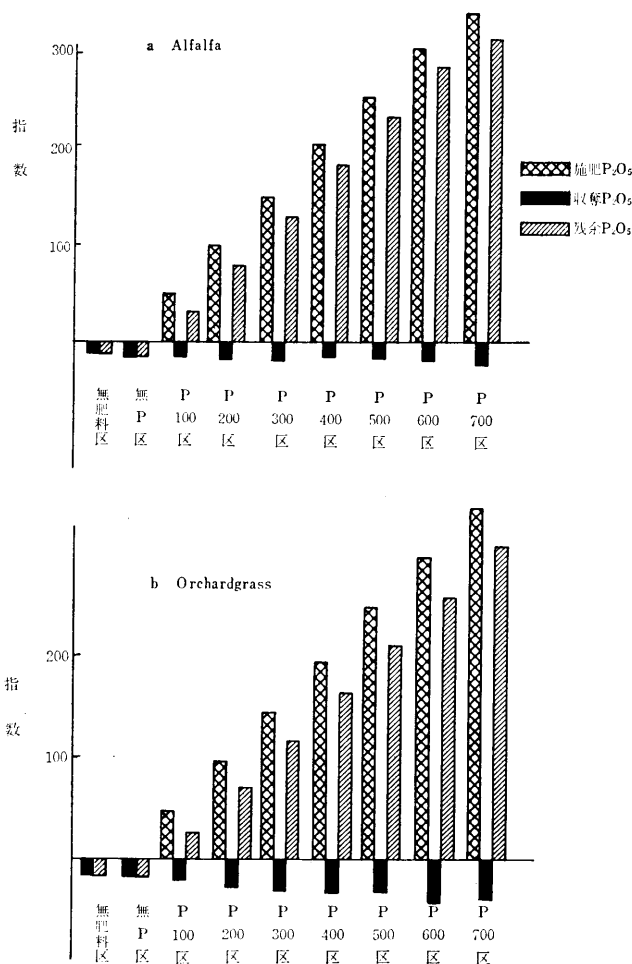
及び固定磷酸が移動し難いため、根との接触の機会が少ないことによるものであることは一般に認められているところである。しかし一方北岸、早川によれば、地温上昇もしくは牧草の根部の繁茂による土壤還元の発達によって一たん固定化された磷酸が有効化されてくることを報告している。著者はこれらの事実を実験室内において確認するため、alfalfaの1年目3番草刈取後の施用磷酸を異にした土壤を試し、JACKSON, CHANG によって行なわれている fractionation を行なった結果は第11図の如くである。すなわち磷酸の施用量の増大に伴い大部分の磷酸はアルミニウムと結合した型を示し、Fe-磷酸は施用量で大差を示さず石灰-磷酸は僅少である。このような状態の土壤を常温、30°C及び45°CにしてpF1の状態が2週間 incubate し、その土壤を、BRAY'S No.1の方法により測定した結果は、第103表の如く、温度の上昇によって土壤中に存在する磷酸が有効化して来ることは認められない。従って牧草に対して有効化して来る磷酸は温度の直接的影響であるとは簡単に結論することはできない。

また基肥として500 kg/haの各種形態磷酸肥料を施用し、その後無追肥の場合の利用率は作物別では alfalfa が利用率低く orchardgrass が大である。これは刈取毎に追肥したものと大差を示さない。これらの結果は第104表に示される。すなわち3カ年間にわたる資料から算出された結果は alfalfa で0.8~2.4%の範囲にあり、orchardgrass では14.1~16.6%間にある。

6) 施用磷酸と牧草による吸収磷酸の収支

施用した磷酸が極めてわずしか利用されないという事実から、今施用した磷酸と牧草により収奪された磷酸の関係がどうなっているかを計算して見ると第105表第56図の如くである。すなわち施用磷酸は次第に増大していても、収奪磷酸はその割合には増大せず、とくに alfalfa では無肥区の13%から磷酸700区の25%の範囲にとどまる。これに対して orchardgrass では無磷酸区16%から700区39%まで増大するが、施用した磷酸の大部分は土壤中に残ることとなる。

これらの磷酸の行動については供試土壤について作物の生長と最も相関の高いといわれている0.02N



第 56 図 施用磷酸と収奪磷酸の収支

NH<sub>4</sub>F 抽出による分析結果は第 106 表の如く、alfalfa では磷酸 300 区からやや急激に磷酸量が増大しているが orchardgrass では、その増加がなめらかで、これらの抽出方法では測定されない磷酸が相当量存在することを暗示している。

#### 7) 磷酸質肥料の効率

施用した磷酸質肥料単位当り生産可能な牧草を検討するため、窒素肥料の場合と同様の算出方法により計算した数値は第 107 表のようである。この数値によれば alfalfa では磷酸 300 区が 20.6 で最高であってもいずれの区も効率は 100 以下である。これは磷酸肥料の収量カーブから検討して第 57 図の如く磷酸肥料の効果の限界（これ以上施肥しても経済的に無意味な点）は alfalfa 磷酸 300 区、orchardgrass 磷酸 200 区以下のところにあることがほぼ見当づけられる。この点において 100 以下の数値を示すことは少なくとも磷酸肥料代 100 円投入して 100 円の牧草収入が得られぬことを示すもので、少なくとも 3 カ年間にわたる牧草に対する磷酸肥料の効率は次の如くである。

$$\frac{Y_i - Y_{i-1}}{F_i - F_{i-1}} \times 100 = \text{磷酸肥料の効率}$$

第105表 収奪磷酸と施用磷酸の収支

	Alfalfa			Orchrdgrass		
	施用 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 量 (指数)	収奪 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 量 (指数)	残 余 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 量 (指数)	施用 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 量 (指数)	収奪 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 量 (指数)	残 余 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 量 (指数)
無肥料区		13			16	
無 P 区		16			16	
P 100 区	50	17	33	50	16	27
P 200 区	*100	19	81	100	23	69
P 300 区	150	21	128	150	30	118
P 400 区	200	19	180	200	32	166
P 500 区	250	20	230	250	34	215
P 600 区	300	22	278	300	37	263
P 700 区	350	25	325	350	39	311

\*施用 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> P 200 区の P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 量を基準とする。

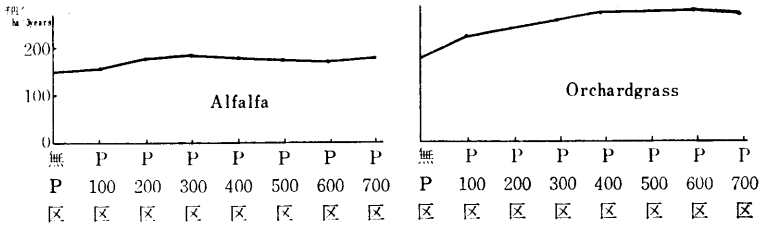
第106表 牧草収穫後の土壌磷酸の含量

	Alfalfa	Orchardgrass
	mg/100g	mg/100g
無 P 区	3.25	3.15 (18.0)
P 100 区	5.75	3.50 (23.0)
P 200 区	5.80	3.50 (18.0)
P 300 区	36.50	6.80 (20.0)
P 400 区	31.00	5.00 (46.0)
P 500 区	-	6.30 (38.0)
P 600 区	17.30	12.00 (42.0)
P 700 区	38.60	13.30 (64.0)

'63年3~4 番草刈取後の土壌の磷酸量 ( )内は64年(NH<sub>4</sub>F 可熔磷酸)

第107表 磷 酸 質 肥 料 の 効 率

	Alfalfa			Orchardgrass		
	施用 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 肥料代	牧草による 収 入	効 率	施用 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 肥料代	牧草による 収 入	効 率
無 P 区	千円/ha/years 0.	千円/ha/years 162.3	0.	千円/ha/years 0.	千円/ha/years 184.2	0.
P 100 区	25.2	165.1	11.1	25.2	229.5	179.8
P 200 区	50.4	189.9	9.8	50.4	249.4	79.2
P 300 区	75.6	195.1	20.6	75.6	260.4	-43.6
P 400 区	100.8	188.5	-26.1	100.8	278.1	70.0
P 500 区	126.0	181.9	-26.1	126.0	274.6	13.8
P 600 区	151.2	180.0	-7.5	151.2	273.2	-5.6
P 700 区	179.2	184.1	16.3	176.4	269.3	-15.5



第 57 図 磷酸の効果による収量 (千円/ha/3 years) カーブ

- $Y_i$  = 各区の牧草収入
- $F_i$  = 各区の磷酸肥料代
- $Y_{i-1}$  = 各区の牧草収入 ( $Y_i$ ) の一段前の収入
- $F_{i-1}$  = 各区の磷酸肥料代 ( $F_i$ ) の一段前の肥料代
- 1 kg の乾草 7.4 円
- $P_2O_5$  1 kg は 84 円として計算

この研究土壤の如き磷酸条件\*の alfalfa については磷酸肥料の経済効果は少なくとも 3 カ年間については無いと見るべきである。Orchardgrass で磷酸 100 区で 179.8 で肥料代のおよそ 2 倍の収益が得られることとなる。それ以上の磷酸施用は本条件下では経済効果がない。

これらの数字から alfalfa では無磷酸区、orchardgrass では磷酸 100~200 区附近において磷酸の効率の高い点が存在するとい得る。しかし限界生産性の考えからすれば alfalfa は無磷酸区と磷酸 100 区の間、また orchardgrass は磷酸 100 区と 200 区との間に最有利集約度の点があるとい得る。

### 3 結 語

Alfalfa 並びに orchardgrass を単播することによって磷酸肥料の量的反応が、初期生育の高効率から後期の低高率へと何如うに移行するかを 3 年に亘って検討し次の如き結果が得られた。

1) 生草重並びに乾物重の収量は施肥磷酸量で異なった。初年目 1 番草の alfalfa については磷酸 700 区、orchardgrass については磷酸 400 区まで施肥量の増大により増大した。2 番草以降は、alfalfa では最大 20% の効果であり、orchardgrass では効果が継続し、最大 50% に達した。

2) 刈取毎の乾物収量を乾物生産速度指数から検討すると alfalfa では両年とも 2 番草以後は増大しているが、3 番草の収量がふるわない。これは施肥技術以前の呼吸と同化の不均衡によることが暗示された。このような傾向は orchardgrass には見出されない。

3) 磷酸含量は磷酸の施用量の増加で増大した。またこれらの磷酸含量と磷酸収奪量との間には alfalfa で  $y=24.7x-0.78$ ,  $\gamma=0.513$ , orchardgrass で  $y=41.5x-2.0$ ,  $\gamma=0.603$  とわずかに相関があり、これはそれぞれ 1% level で有意である。また乾物収量と磷酸収奪量との関係から、alfalfa はおよそ 0.56%, orchardgrass では 0.65% の磷酸含量が上限磷酸含量であろうと結論し得た。

4) 磷酸肥料の利用率は 2 カ年間の alfalfa では磷酸の施用量により一定の傾向がなく、2% 内外の低い利用率である。orchardgrass では 13.5%~6.2% と施用量により異なるが、alfalfa よりはかなり高い利用率である。また基肥として施用した磷酸肥料は基肥及び追肥として分施したほぼ同量の磷酸肥料と効果を同一にする。この基肥磷酸としての磷酸の形態は過石、熔磷であればイネ科でも荳科でも、またイネ科であればこれに磷鉍物や高分子結合の磷酸をも加えることができることを明らかとした。

5) 3 年間にわたる磷酸肥料代と牧草による粗収入の最大格差は alfalfa では無磷酸区に、orch-

\* 土壤中  $P_2O_5$  が多く、牧草により利用され易い。

ardgrass では磷酸 100 区にあり、前者で 162.3 千円/ha/3 years、後者で 204.3 千円/ha/3 years であった。また磷酸肥料の効率では alfalfa は無磷酸区に、orchardgrass では磷酸 100 区にその最有利集約度の点がある。

6) 磷酸施用量の相違により磷酸以外の吸収無機成分並びに有機成分については、本実験条件下では明らかな差異を見出すことができなかった。

### 第3節 加里

牧草類に対する加里肥料の影響に関する報告は数多く存在する。しかし大量の加里肥料は所謂 unbalanced plant uptake を結果する<sup>9)</sup>とか、luxury consumption になる<sup>10)</sup>とか leaching により K<sup>+</sup> は excessive loss<sup>14)</sup> があるなどの報告につづいて、critical potassium level が、提案され検討されてきているが、これはまた時期的な形があるものの如く、これを検討することが必要であるとの意見の報告も多いようである<sup>30,32)</sup>。しかし一方加里は窒素との関連において吸収され、加里の十分な供給がない場合は malate や asparagine の集積が見られ、蛋白質の生成が少ないことを報告した MERL R. TEEL の報告は従来の加里に対する思想を変えるものとして意味深いものがある<sup>85)</sup>。

わが国においても早川、北岸らにより加里の問題は種々論ぜられている。早川は過剰吸収の立場から北岸は加里の牧草による収奪量の立場から考察を進め、その重要性を述べている。また最近では大原、吉田らによっても加里の問題が論ぜられている<sup>100)</sup>。

これらの背景から考えて、著者は牧草に対する加里肥料の影響を検討する際、まず第1に、luxury absorption があるかどうかを確認すること。若し存在するとすれば、その上限は何処の辺であるか、また無いとすれば、加里吸収量の差異は牧草生理上如何なる意味があるか、そして第2に土壤加里-level と植物加里含量との関係はどうなっているか、ついでこれら1、2の関係から最も合理的な加里肥料の施用量は牧草の二大草種である荳科とイネ科の alfalfa と orchardgrass においてどの辺にあるべきかを見出すため、本研究を企図したものである。

## 1 研究方法

本研究に供試した圃場並びに栽培法はすでに報告した窒素質肥料に対する場合と全く同様である。その施肥設計は第108表の如くに無加里区、加里100区、200区、300区、400区、500区、600区及び700区であり2連である。

第108表

a Alfalfa 施肥設計

	基肥 kg/ha	'62			春肥	'63			合計 (2カ年)	春肥	'64			合計 (3カ年)
		第1回追肥	第2回追肥	第3回追肥		第1回追肥	第2回追肥	第3回追肥			第1回追肥	第2回追肥	第3回追肥	
無 K 区	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K 100 区	100	20	20	20	20	50	50	50	330	50	50	50	50	530
K 200 区	200	40	40	40	40	100	100	100	660	100	100	100	100	1060
K 300 区	300	60	60	60	60	150	150	150	990	150	150	150	150	1590
K 400 区	400	80	80	80	80	200	200	200	1320	200	200	200	200	2120
K 500 区	500	100	100	100	100	250	250	250	1650	250	250	250	250	2650
K 600 区	600	120	120	120	120	300	300	300	1980	300	300	300	300	3180
K 700 区	700	140	140	140	140	350	350	350	2310	350	350	350	350	3710

b Orchardgrass

	基 肥	'62		春 肥	'63				合 計 (2 年 カ 間)	春 肥	'64			合 計 (3 カ年)
		第 1 回 刈取 追 肥	第 2 回 後 肥 追 肥		第 1 回 追 肥	第 2 回 追 肥	第 3 回 追 肥	第 4 回 追 肥			第 1 回 追 肥	第 2 回 追 肥	第 3 回 追 肥	
無 K 区	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K 100 区	100	20	20	20	50	50	50	50	360	50	50	50	50	560
K 200 区	200	40	40	40	100	100	100	100	720	100	100	100	100	1120
K 300 区	300	60	60	60	150	150	150	150	1080	150	150	150	150	1680
K 400 区	400	80	80	80	200	200	200	200	1440	200	200	200	200	2240
K 500 区	500	100	100	100	250	250	250	250	1800	250	250	250	250	2800
K 600 区	600	120	120	120	300	300	300	300	2160	300	300	300	300	3360
K 700 区	700	140	140	140	350	350	350	350	2520	350	350	350	350	3920

窒素と磷酸肥料は基肥に 200 kg/ha、追肥は刈取毎と春期に窒素は基肥の 1/3、磷酸は 1/2 を施用した。

2 実験結果並びに考察

1) Alfalfa 及び orchardgrass の加里肥料の施用量に対する乾物生産速度の変化は第 109 表の如くである。すなわち 3 カ年間の合計ではいずれの牧草も加里施用量の増加に伴い増大する。Alfalfa と orchardgrass で、その増加率は大差を示さない。Alfalfa の加里 200 区を基準に (100 として) 見ると無加里区 90.5 で加里 700 区は 110.8 となっている。一方 orchardgrass では、無加里区 65.1 で加里 700 区は 103.4 である。(第 109 表)

これを刈取毎について検討すると第 111 表の如く、alfalfa では 2 番草が兩年共 2 カ年間の平均生産速度指数を上まわり、最低 14 から最高 228 となっている。これに対して 3 番草は兩年共、いずれも平均以下であり、最低 65 から最大 88 となっている。これが、理由については既に報告したところである。(窒素の項)

第 109 表

a Alfalfa Alfalfa 及び orchardgrass の乾物生産速度 (kg/day/ha)

日 数	'62			'63			合 計 (2 カ年)	'64			合 計 (3 カ年)
	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	
無肥料区	15.9	75.9	42.1	62.1	112.3	41.6	54.0	54.0	61.3	36.8	53.1
無 K 区	20.1	90.7	51.4	61.7	103.2	48.9	58.2	62.2	67.4	32.9	56.9
K 100 区	21.6	91.8	55.2	66.0	109.6	47.7	64.5	65.5	68.9	36.0	61.9
K 200 区	21.5	89.1	53.5	72.4	119.5	50.6	63.4	73.8	70.5	37.9	62.9
K 300 区	22.2	101.4	55.3	69.2	135.8	58.0	68.0	70.8	67.4	32.9	64.7
K 400 区	22.2	106.8	56.0	69.0	139.3	50.5	68.0	71.4	65.1	37.6	64.7
K 500 区	22.3	107.8	60.2	78.8	141.8	56.9	71.8	75.8	65.9	41.3	68.2
K 600 区	22.2	105.9	58.5	69.7	159.1	55.1	71.4	74.4	65.1	39.1	67.4
K 700 区	21.8	105.4	58.6	70.4	165.5	53.6	72.5	76.4	67.4	48.5	69.7

b Orchardgrass

(kg/day/ha)

	'62		'63				合 計 (2カ年)	'64			合 計 (3カ年)
	1 番草	2 番草	1 番草	2 番草	3 番草	4 番草		1 番草	2 番草	3 番草	
日 数	62	46	42	39	42	56	307	52	45	42	446
無肥料区	16.6	37.4	53.8	30.2	52.5	20.4	32.1	45.7	40.8	47.1	36.0
無 K 区	30.9	51.1	111.8	79.7	65.3	23.5	54.6	122.1	48.4	71.1	49.2
K 100 区	33.1	57.7	114.4	88.8	72.5	28.5	59.6	132.9	60.8	92.6	67.8
K 200 区	34.7	63.4	119.0	82.9	87.8	38.3	64.6	134.7	64.0	95.1	75.6
K 300 区	39.2	61.7	134.8	75.0	93.4	35.4	69.2	131.5	60.0	104.1	72.1
K 400 区	38.6	66.8	142.3	96.4	90.7	30.7	70.0	133.3	64.4	116.6	74.6
K 500 区	38.1	69.8	135.7	97.3	95.9	31.4	70.4	131.5	62.4	116.5	77.1
K 600 区	44.3	63.9	132.2	98.5	112.9	33.4	73.5	137.1	61.2	105.4	78.7
K 700 区	40.1	64.3	137.0	94.4	110.7	33.4	72.3	135.0	66.4	108.0	78.2

第 110 表

加里施用量の相違による乾物生産速度指数の推移

a Alfalfa

	'62			'63			2カ年間 平 均	3カ年間 平 均
	1 番草	2 番草	3 番草	1 番草	2 番草	3 番草		
無肥料区	74	65	79	85	94	82	85	84
無 K 区	93	10	96	85	86	97	92	91
K 100 区	100	103	103	92	92	94	102	98
K 200 区	100	100	100	100	100	100	100	100
K 300 区	103	114	103	96	114	115	107	103
K 400 区	103	120	105	95	117	100	107	103
K 500 区	104	121	113	109	119	112	113	108
K 600 区	103	119	110	96	133	109	113	107
K 700 区	101	118	110	97	138	106	114	111

b Orchardgrass

	'62		'63				2カ年間 平 均	3カ年間 平 均
	1 番草	2 番草	1 番草	2 番草	3 番草	4 番草		
無肥料区	48	59	45	36	60	53	50	48
無 K 区	89	81	94	96	74	61	85	65
K 100 区	95	91	96	107	82	74	92	90
K 200 区	100	100	100	100	100	100	100	100
K 300 区	111	97	113	106	99	92	107	95
K 400 区	113	105	120	116	103	80	103	99
K 500 区	110	110	114	117	109	82	109	102
K 600 区	128	101	111	119	129	87	114	104
K 700 区	116	101	115	114	126	87	112	103

第 111 表 乾物生産速度指数の時期的推移  
(各区の 2 カ年間の平均乾物生産速度指数を基準とする)

## a Alfalfa

	'62			'63			2 カ年 間平均
	1 番草	2 番草	3 番草	1 番草	2 番草	3 番草	
無 肥 区	30	141	78	115	208	77	100
無 K 区	34	155	88	106	177	84	100
K 100 区	33	142	86	102	168	73	100
K 200 区	34	141	84	114	189	80	100
K 300 区	33	149	81	102	199	85	100
K 400 区	31	-	-	-	-	-	-
K 500 区	31	150	84	110	197	65	100
K 600 区	-	-	-	-	-	-	-
K 700 区	30	145	81	97	228	74	100

## b Orchardgrass

	'62		'63				2 カ年 間平均
	1 番草	2 番草	1 番草	2 番草	3 番草	4 番草	
無 肥料区	52	117	168	94	83	64	100
無 K 区	57	94	205	146	146	43	100
K 100 区	56	97	192	149	121	48	100
K 200 区	54	98	182	128	136	59	100
K 300 区	57	89	195	119	135	51	100
K 500 区	51	99	192	138	136	45	100
K 700 区	55	89	189	130	153	46	100

Orchardgrass については初年目 1 番草においてその速度が遅く、2 年目の 1 番草は、殆んど 2 倍の速度で最低加里 700 区の 130 から最大加里 100 区の 149 となっている。これは幼穂形成から出穂という形態的变化が生産速度の増大に大きく関係している。しかし 2 年目の 2, 3 番草では幼穂形成もなく、leafblade の生長のみで初年目 1, 2 番草と形態的には同一のものと考えられる。これらの生産速度指数は無加里区を除けば 2 年目 2 番草の加里 300 区の 119 を最低に 2 年目 3 番草の加里 700 区の 153 まで増大している。これに対して 4 番草は 2 カ年間の平均乾物生産速度指数の凡そ  $\frac{1}{2}$  である。この指数の低下は温度低下が主因であると考えられるが、刈取頻度による影響も無視出来ない。

## 2) 牧草の加里含有率と加里収奪量並びに乾物量との関係

これらの牧草の加里含有率は第 112~113 表の如くである。すなわち加里肥料の増加に伴って一般に牧草の加里含有率が增大する傾向にある。その変動巾は alfalfa で 2.20~3.60% であり、orchardgrass では 1.60~5.00% である。

各刈取時の乾物収量と加量含有率とからその収奪量を算出し、乾物収量との関係を検討したのが、第 57 図である。(第 114, 115 表) Alfalfa についても orchardgrass についても加里肥料の増大に伴い、



第112表 Alfalfa の加里含有率 (乾物%)

	'62			'63			'64		
	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
無 K 区	2.50	3.20	3.00	2.50	2.80	2.40	2.50	2.75	2.20
K 100 区	2.70	3.22	3.50	2.50	3.00	2.50	2.50	2.95	2.42
K 200 区	2.90	3.30	3.55	2.50	3.30	3.20	2.50	3.15	3.00
K 300 区	3.05	3.30	3.60	2.75	3.30	3.30	2.69	3.20	3.15
K 400 区	3.00	3.35	3.60	3.00	3.40	3.30	2.95	3.40	3.30
K 500 区	2.90	3.50	3.60	3.00	3.45	3.40	3.00	3.40	3.40
K 600 区	2.90	3.60	3.50	3.10	3.60	3.40	3.10	3.50	3.40
K 700 区	3.05	3.60	3.55	3.10	3.60	3.42	3.10	3.51	3.42

第113表 Orchardgrass の加里含有率 (乾物中%)

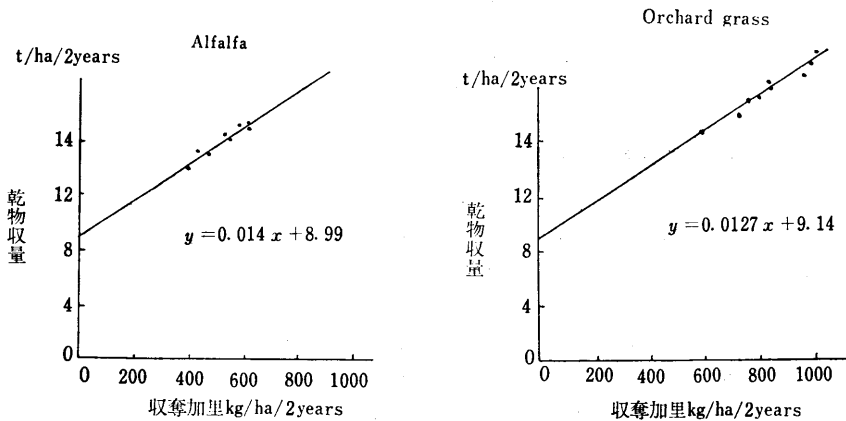
	'62		'63				'64		
	1 番草	2 番草	1 番草	2 番草	3 番草	4 番草	1 番草	2 番草	3 番草
無 K 区	4.51	2.80	3.50	3.50	3.20	3.50	3.50	3.00	1.60
K 100 区	4.50	3.51	3.60	4.70	4.10	3.60	3.90	3.60	3.50
K 200 区	4.58	3.69	3.70	4.80	4.50	3.70	4.20	4.00	3.80
K 300 区	5.00	4.42	4.40	4.80	4.80	4.10	4.50	4.50	4.00
K 400 区	4.90	3.95	4.40	4.89	4.80	4.00	4.50	4.15	4.15
K 500 区	4.80	3.95	4.50	5.00	4.90	4.00	4.50	4.15	4.20
K 600 区	4.80	3.99	4.40	4.98	4.95	3.90	4.00	4.05	4.15
K 700 区	5.00	4.19	4.40	5.00	5.00	3.80	4.82	4.80	4.20

第114表 加里の収奪量 (kg/ha) Alfalfa

	'62			1 力年 合 計	'63			2 力年 合 計	'64			3 力年 合 計
	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	
無 K 区	26.2	87.0	52.5	165.7	80.2	95.2	45.8	387.0	95.0	87.1	33.3	602.4
K 100 区	31.5	88.7	61.9	182.1	85.9	108.6	46.6	423.2	99.9	99.6	40.1	662.8
K 200 区	33.7	86.2	64.5	186.4	94.1	130.1	63.1	473.7	112.5	104.3	52.3	742.8
K 300 区	36.6	100.4	67.6	204.6	99.0	147.8	74.6	526.0	116.2	101.4	52.2	795.8
K 400 区	36.0	107.3	66.7	210.0	107.7	159.4	65.0	539.1	128.5	104.0	57.0	828.6
K 500 区	35.1	113.2	69.4	217.7	122.9	161.5	75.5	577.6	138.8	105.3	64.6	886.3
K 600 区	35.0	114.4	65.5	214.9	125.0	189.1	73.0	602.0	140.6	107.1	61.2	910.9
K 700 区	35.9	113.8	70.9	220.6	113.6	196.6	70.5	601.3	144.5	111.2	76.3	933.3

第115表 加里の収奪量 (kg/ha) Orchardgrass

	'62		1カ年 合 計	'63				2カ年 合 計	'64			3カ年 合 計
	1番草	2番草		1番草	2番草	3番草	4番草		1番草	2番草	3番草	
無 K 区	114.3	65.8	180.1	164.4	108.9	87.8	46.1	587.3	195.3	65.3	47.8	895.7
K 100 区	122.2	93.3	215.5	173.0	162.8	124.8	57.5	733.6	269.6	98.5	136.1	1,237.8
K 200 区	130.3	107.6	237.9	184.9	155.1	166.0	62.1	806.0	294.1	115.2	151.8	1,367.1
K 300 区	161.0	129.9	290.9	249.0	188.4	175.0	81.3	984.6	307.8	121.5	166.2	1,580.1
K 400 区	155.2	121.5	276.7	262.9	183.9	182.8	68.7	975.0	311.9	120.3	151.6	1,558.8
K 500 区	150.3	126.9	277.2	256.5	189.7	197.3	70.4	991.1	307.8	116.5	205.6	1,621.0
K 600 区	174.4	117.3	291.7	244.2	191.2	284.6	73.0	1034.7	285.1	111.5	183.8	1,615.1
K 700 区	164.5	124.0	288.5	253.3	184.0	232.5	71.1	1029.4	338.4	143.4	190.5	1,701.7

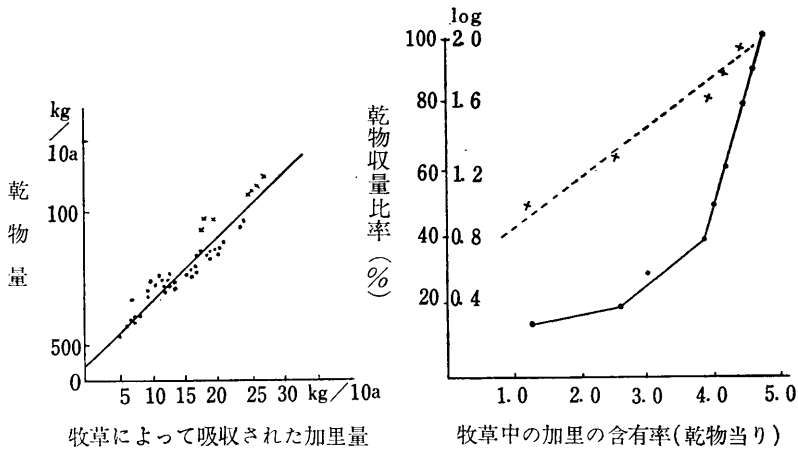


第58図 加里施用量の増大に伴う乾物量と収奪加里との関係

その収奪量は増大する傾向がある。第58図を検討すると、2カ年間の積算乾物収量 Y (t/ha/2 years) と K<sub>2</sub>O 収奪量 X (kg/ha/2 years) との間には alfalfa で  $Y=0.014 X+8.99$ , orchardgrass で  $Y=0.0127 X+9.14$  という簡単な一次関数で現わされる関係が得られる。

また orchardgrass の2カ年間の刈取毎の加里収奪量並びにその含有率と乾物量の関係は第59図の様である。すなわち刈取毎乾物量とその牧草によって吸収された加里量との間には  $Y=19.20 X+55.61$  という関係が得られ、 $r=0.967$  のかなり高い相関係数が得られる。またこれは0.1% level で有意である。さらにその収量の相対値(但し対数値)と加里含有率との間には殆んど直線的関係が得られる。

本研究のこれらのグラフから、加里の luxury consumption の現象は見当らず、いずれも加里の収奪量の増大に伴い、牧草の乾物量は増大している。従ってさきの第58図においては alfalfa でこの収奪量と収量から計算すると凡そ3.47%, orchardgrass で4.58%以上の含有率は理論上見当らないこととなる。しかし先の刈取毎の加里含有率は alfalfa で3.60, orchardgrass では5.00%が、最大含有率となっている。よって alfalfa 及び orchardgrass 加里含量の上限はこの附近であるということが出来よう。一方無加里区の牧草において2年目後半から加里欠乏症が出現し始めている事実から、充分量の窒素が供給されている条件下では alfalfa では2.50%, orchardgrass では3.50%附近が加里不足による肉眼的判定が出来得る含有率といえよう。しかしこれは本実験条件下における如く、加里以外



第59図 Orchardgrassの乾物重と加里収奪量並びに含量との関係

の要素が、十分量考慮されている場合に限る現象であるということが出来る。またこれらの牧草の加里含有率の最小限界の含量は第58図の回帰直線から考えて、1%前後であり、これ以上 alfalfa では2.50%、orchardgrass で3.50%までの間を加里欠帯といひ得る。

3) 牧草の品質に及ぼす加里施用量の影響

次に加里施用量を増大することによる牧草の品質について検討してみると第116, 117表の如く、窒素、リン酸、カルシウム及びマグネシウムには差異は見出せない。また粗蛋白、粗脂肪、粗繊維についても有意差は認められない。しかし全炭水化物については第118表のように無加里のorchardgrassでは2%前後その含有率が低下している。このことは水稲などにも認められているところで、加里が、炭水化物の代謝に頭しく関係するとされているが、イネ科牧草のorchardgrassについても同様な傾向がある(68)。

4) 加里及び窒素の施用量の相違に伴う粗蛋白並びに純蛋白の変化

1962年 M.R. TEEL は植物体中に加里が不足すると phospho-enol pyruvic acid から pyruvic acid への pass way が阻害され、別の pass way が働くと報告している。その結果加里不足は malate と asparagine が、異常に集積してくると報告している。これらの事実は DAMON BOYNTON, LAWRENCE YATSU 及び S.S. KWONG によっても認められている(18)。しかし、一方わが国において

第116表 加里肥料の施用による牧草の無機成分含有量の変化(乾物中%) a Alfalfa

	N			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			CaO			MgO		
	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	1 番草	2 番草	3 番草
無 K 区	3.43	3.00	3.00	0.47	0.64	0.60	3.10	0.60	-	0.76	0.40	0.50
K 100 区	3.51	3.22	3.40	0.48	0.72	0.67	2.72	1.50	1.90	0.60	0.53	0.48
K 200 区	3.62	3.00	3.52	0.47	0.60	0.60	2.51	1.42	1.90	0.67	0.50	0.57
K 300 区	3.61	3.00	3.13	0.47	0.62	0.59	2.75	1.51	1.82	0.69	0.50	0.40
K 400 区	3.30	2.91	3.21	0.48	0.64	0.70	2.25	1.82	1.75	0.57	0.27	0.40
K 500 区	3.60	3.62	3.55	0.44	0.68	0.65	3.00	1.45	2.35	0.62	0.48	0.45
K 600 区	3.25	3.25	3.16	0.45	0.56	0.60	2.60	1.10	1.70	0.75	0.28	0.77
K 700 区	3.52	3.28	3.20	0.51	0.60	0.63	2.81	0.90	1.72	0.69	0.40	0.57

第117表 b Orchardgrass

	N		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		CaO		MgO	
	1 番草	2 番草	1 番草	2 番草	1 番草	2 番草	1 番草	2 番草
無 K 区	2.40*	2.82	0.56	0.61	0.45	0.63	0.33	0.60
K 100 区	2.42	2.08	0.64	0.62	0.45	0.53	0.30	0.27
K 200 区	2.41	2.80	0.60	0.68	0.36	0.48	0.38	0.52
K 300 区	2.44	2.66	0.62	0.60	0.39	0.36	0.38	0.22
K 400 区	2.40	2.46	0.54	0.60	0.62	0.42	0.33	0.75
K 500 区	2.46	2.52	0.68	0.57	0.59	0.39	0.25	0.73
K 600 区	2.36	2.53	0.54	0.55	0.42	0.50	0.37	0.50
K 700 区	2.51	2.92	0.70	0.61	0.45	0.73	0.38	0.32

\* 乾物中%

第118表

加里施用による牧草の有機成分含量の変化

\* 乾物中%

	Alfalfa						Orchardgrass			
	粗 脂 肪			粗 織 維			粗 脂 肪		粗 織 維	
	1 番草	2 番草	3 番草	1 番草	2 番草	3 番草	1 番草	2 番草	1 番草	2 番草
無 K 区	3.82*	4.68	3.41	19.7	24.9	-	4.92	4.10	28.1	23.8
K 100 区	3.76	4.26	-	20.7	30.1	-	3.78	4.52	31.2	20.9
K 200 区	3.25	4.16	3.28	20.7	25.3	-	4.59	4.20	30.9	23.1
K 300 区	3.19	4.10	-	20.0	31.0	-	4.39	3.50	29.8	25.4
K 400 区	3.44	4.33	3.44	21.2	28.7	-	4.06	4.24	30.5	24.7
K 500 区	3.39	3.53	3.74	20.6	31.0	-	4.40	3.84	29.4	25.1
K 600 区	3.73	3.64	3.48	20.5	44.6	-	4.52	4.10	30.7	21.6
K 700 区	3.39	4.57	2.69	20.0	28.7	-	4.63	4.34	33.6	21.4

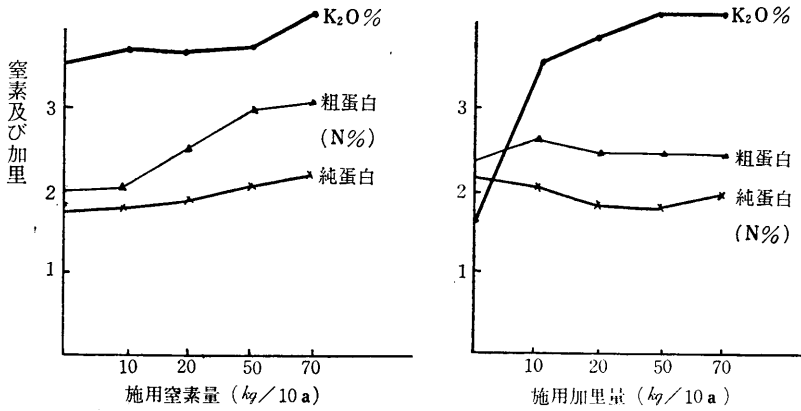
第119表

加里含有率と total-carbohydrate  
含量との関係 (3年目3番草) Orchardgrass

	乾物中加里 %	乾物中窒素 %	Total-carbohydrate %
無 K 区	1.6	2.36	14.0
K 100 区	3.5	2.66	15.3
K 200 区	3.8	2.41	15.8
K 500 区	4.2	2.40	16.0
K 700 区	4.2	2.32	15.7

も尾崎らによって水稻の稲肥の時期の判定にこの遊離の asparagine を指標にしていることは明白なところである 102)。

以上の報告は加里単独の作用によって植物とくに牧草の体構成成分が、変化するというよりは、むしろ、窒素と加里の平衡関係が牧草体内でどのようになっているかということが極めて重要であるという



第60図 窒素と加里の施用量の相違に伴う粗蛋白と純蛋白の変化

ことを暗示するものである。

すでに記述する如く、加里が、十分量供給されている場合の窒素過剰症は粗蛋白と純蛋白の含量に大きな差異が生じない。しかし一定の加里に対して窒素量を増大すると粗蛋白の増大が見られ、純蛋白との差異は施用窒素量を増大することによってますます大きく開いて行く如くである(第60図)。

これらの事実は純蛋白の生成のため、加里の存在が重要であり、若し窒素に対して十分量の加里が供給されない場合は粗蛋白という形の蛋白は形成されても、遊離の amino acid あるいは硝酸、amide などが集積して、純蛋白が十分量形成されない如くである。

5) 加里肥料の経済効果

施用加里肥料の量の変化で牧草の品質に大きな変化が見出されず、3年目の純蛋白、全炭水化物に若

第120表 加里肥料代とその経済効果 Alfalfa

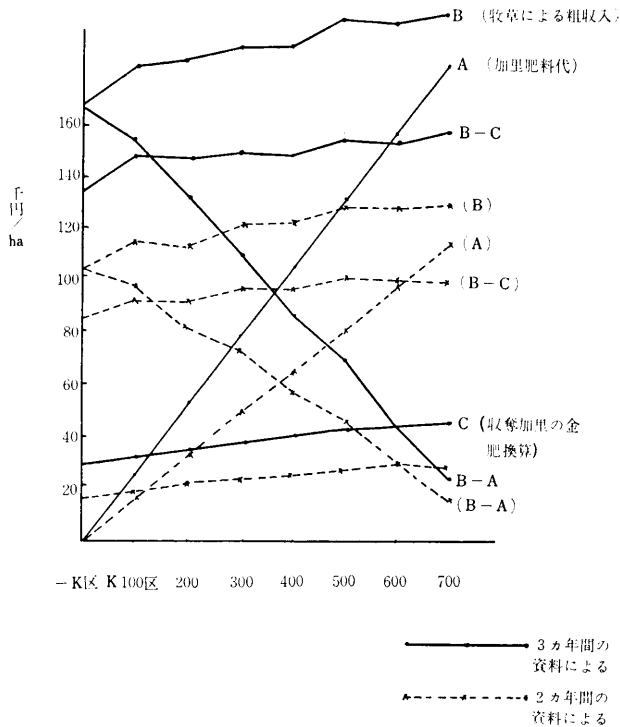
	加里施用額 A	粗 収 入 B	B-A	収奪 K <sub>2</sub> O の 金肥換算 C	B-C
無 K 区	0 (0)	104.2 (166.9)	104.2 (166.9)	19.0 (29.5)	85.2 (137.4)
K 100 区	16.2* (25.9)	115.4 (181.3)	99.2 (155.3)	20.7 (32.5)	94.7 (148.8)
K 200 区	32.3 (51.9)	113.5 (184.2)	81.2 (132.3)	23.2 (36.4)	90.3 (147.8)
K 300 区	48.5 (77.9)	121.8 (189.5)	73.3 (111.6)	25.8 (39.0)	96.0 (150.5)
K 400 区	64.7 (103.9)	121.9 (189.5)	57.2 (85.6)	26.4 (40.6)	95.5 (148.9)
K 500 区	80.9 (129.9)	128.5 (199.7)	47.6 (69.8)	28.9 (43.4)	100.2 (156.3)
K 600 区	97.0 (155.8)	127.9 (197.5)	30.9 (41.7)	29.5 (44.6)	98.4 (152.9)
K 700 区	113.2 (181.8)	129.9 (204.3)	16.7 (22.5)	29.5 (45.7)	100.4 (158.6)

2カ年間の資料による。( )内数字は3カ年間の資料による。 \* 単位千円

干の低下が認められるのみであった。従って乾物量そのものを指標として一応その経済効果を検討することが可能であろう。いまさきに記述した窒素磷酸の場合と同様の計算的基礎をもって、その粗収入を算定してみると第 120 表の如くである。すなわち alfalfa においては無加里区の 2 カ年間の合計粗収入は 104 千円/ha であり、3 カ年では 166.9 千円/ha である。これが、加里施用量の増大に伴い増大し加里 700 区では 129.9 千円/ha、3 カ年では 204.3 千円/ha となっている。これに対して施用加里肥料の代価は無加里の 0 から加里 700 区の 113.2 千円/ha、3 カ年では 181.8 千円/ha まで直線的に増大している。この粗収入と肥料代の較差の最大は無加里区にあり、104.2 千円/ha で、3 カ年では 166.9 千円/ha である。また orchardgrass では粗収入が、124 から 164.3 千円/ha と増大し、3 カ年では 162.2 ~ 258.1 千円/ha となる。その加里肥料代との格差の最大は無加里区であり 124 千円/ha で、3 カ年では加里 100 区で 196.3 千円/ha である。

しかしこの加里 100 区若しくは無加里区における粗収入と肥料代との格差が、最大であるということは、土壌から収奪した加里を考慮せず、ただ見かけの格差の最大だけを求めたこととなる。そこで具体的にこれらの粗収入をあげるにはどれ程の加里収奪量があったか、つまり収奪した加里を肥料と同じ単価で金額に直してその粗収入との格差を求めて見ると、その最大は alfalfa で加里 100~700 区まで大差なく、僅かに加里 500~600、700 区が増大している。orchardgrass では加里 600~700 区まで施用量の増大によって増大する傾向にあるが、それ程大きな差異は示さず、30%前後の増大である。また収奪加里量との格差は施用加里量の増大で大となる傾向がある。(第 61 図及び第 62 図)

さてこれらの図表から果してどれだけ加里を施用するのが牧草の収量、この場合牧草による収入を最

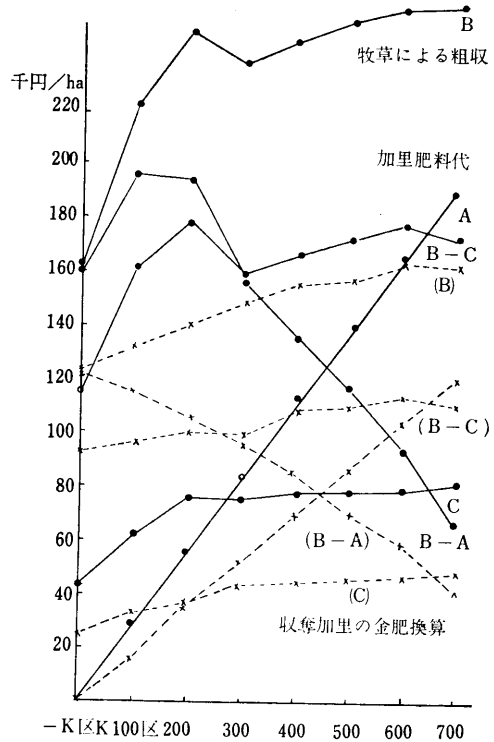


第 61 図 牧草に対する加里肥料の経済効果  
Alfalfa

大にすることになるかを決定することが出来ないであろうか。

これらの問題を検討するため orchardgrass の資料を基礎に考察を進めることとする。この無加里区の粗収入 124 千円/ha/2 years という価値はさきにも記述した如く見かけの粗収入であって実際には土壤中の加里が失われることによってもたらされた粗収入である。従ってこの粗収入の価値の配置換えを行ったともいえるのである。すなわち今まで土壤中にあった加里を植物の側に移行せしむることによって生ぜしめた価値である。ここでは明らかに土地の加里の損耗が考えられるところである。

これに対して加里 100 区では施用加里が 17.6 千円/ha であり、収穫した加里が、35.9 千円/ha であるから、その差は 18.3 千円/ha であり、これだけの加里が、土壤中から供給されたことになる。しかしここでは、これらの加里が果して土壤から供給されたか、あるいは全く肥料として施用した加里が利用されて不足の加里が、僅かに土壤中から供給利用されたかは、この図表からだけでは結論を導き得ない。次に施用加里と収穫加里の cross している加里 300



第 62 図 牧草に対する加里肥料の経済効果 Orchardgrass ( ) 内は 2 カ年の資料による。

第 121 表 加里肥料代とその経済効果 Orchardgrass

	加里施用額 A	粗 収 入 B	B-A	収奪加里の金肥換算 C	B-C
無 K 区	0 (0)	124.0 (162.2)	124.0 (162.2)	28.8 (43.9)	95.2 (43.9)
K 1 0 0 区	*17.6 (27.4)	135.3 (223.7)	117.7 (196.3)	35.9 (60.7)	99.4 (67.0)
K 2 0 0 区	35.3 (54.0)	143.5 (249.5)	108.2 (194.6)	39.5 (67.0)	104.0 (67.0)
K 3 0 0 区	52.9 (82.3)	150.0 (238.0)	97.1 (155.7)	48.2 (77.4)	101.8 (77.4)
K 4 0 0 区	70.6 (109.8)	159.2 (246.2)	88.8 (136.4)	47.8 (76.4)	111.4 (76.4)
K 5 0 0 区	88.2 (137.2)	160.0 (254.6)	71.8 (117.4)	48.6 (79.4)	111.4 (79.4)
K 6 0 0 区	105.8 (164.6)	167.1 (259.8)	61.3 (95.2)	50.7 (79.1)	116.4 (79.1)
K 7 0 0 区	123.5 (192.1)	164.3 (258.1)	40.8 (66.0)	50.4 (83.4)	113.9 (83.4)

2 カ年間の資料による。( ) 内数字は 3 カ年間の資料による。\* 単位千円

区について検討する。ここでは、施用加里が、orchardgrass によって吸収された量と見合う点である。施用した加里肥料が 100%植物により利用されたとすれば、このような結果となることが予測される。

次に加里 500,あるいは 700 区の間点を考えて見るとこの点では最早施用加里が、収奪加里をはるかに上まわっている点である。

従ってこれらの加里が果して土壌に固定されているかまたは流亡したかは加里利用に大きく影響するところであろう。

さて以上の論議から若し土壌の加里 level を一定に保持しながら、最も効果的に加里を利用せしめるためには 施用加里と 収奪加里量の cross した附近すなわち加里 300 区前後に理論的な施用加里適量があると思われる。これ以上の加里施用は土壌中への加里の蓄積、若しくは流亡を引き起すこととなるであろう。この点以下の加里施用は土壌中の加里が収奪されることが予測され、結局土壌から牧草への飢餓提供ということになるであろう。

これが、alfalfa では加里 200 区前後であるということが出来る。

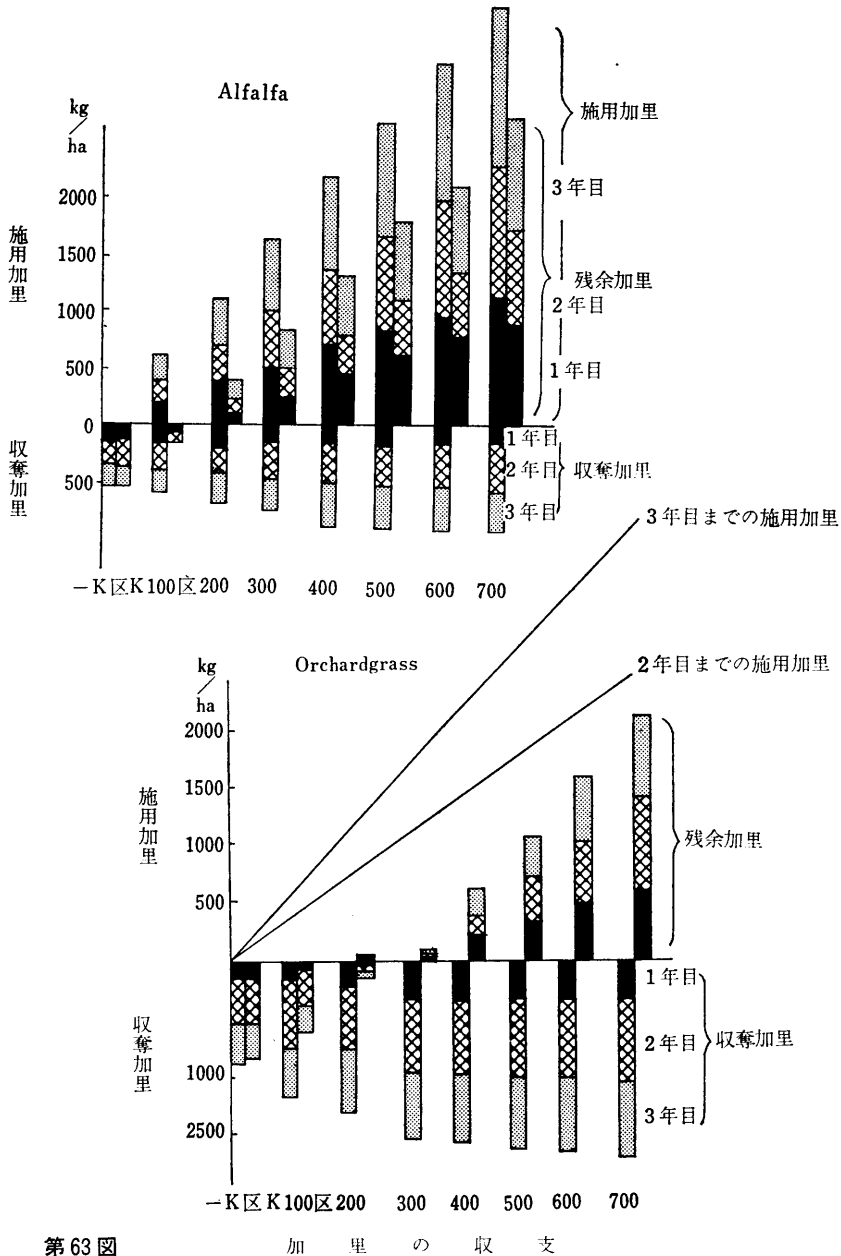
6) 牧草地の加里回収の試算

以上のような論議は土壌の加里 level がどうなっているかという点を無視して展開してきたものである。しかし理論上残留しているはずの加里も流亡、固定などによって牧草に利用されなければ、さきの論議は全く空論となる。いまこれらの点を明らかにするため、牧草の生育と最も相関が高いと考えられている置換性加里を測定したのが、第 122 表及び第 63 図である。この表によれば置換性加里含量は無加里区、加里 100 区、加里 200 区では牧草耕作開始時の 19.9 mg/100 g 乾土の加里より下まわって土壌から明らかに収奪或は脱落し、土壌から加里が失なわれていることを示す。しかし加里 300 区では最初の加里 level よりやや上まわっている。いま加里 200 区の施用加里を基準にその牧草による収奪と残余加里を総括的に検討したのが、第 63 図である。この図から加里 300 区が最初に収奪加里が施用加里を下まわり土壌中に加里が残留するところであるが、土壌中の加里 level も第 122 表第 64 図から丁度この加里 300 区において耕作開始時の土壌加里-level を上まわっている。従って土壌の加里-level について最初の状態を維持しようとするなら、これらの事実から本実験条件では少なくとも加里 200~加里 300 区の如き施肥量でなければ土壌の加里-level を一定に維持することが出来ず、これはまた牧草の乾物生産速度の遅速の観点からも望ましい加里施用量である。これはまた牧草地の長年月の維持の立場からも期待される量である。

第 122 表 牧草耕作による土壌中の置換性加里の変化 K<sub>2</sub>Omg/100g乾土

	Alfalfa			Orchardgrass		
	'62 3 番 草刈取後 土 壤	'63 3 番 草刈取後 土 壤	'64 3 番 草刈取後 土 壤	'62 3 番 草刈取後 土 壤	'63 3 番 草刈取後 土 壤	'64 3 番 草刈取後 土 壤
無 肥 料 区	10.8	8.5	-	10.5	4.5	5.0
無 K 区	9.5	4.9	19.0	12.5	4.5	5.0
K 100 区	26.0	11.0	37.5	26.0	9.0	18.0
K 200 区	34.0	30.0	64.0	26.0	16.0	32.5
K 300 区	45.0	37.5	78.0	46.5	27.5	100.0
K 400 区	75.0	36.5	86.0	57.0	38.0	78.0
K 500 区	90.0	45.0	144.0	66.0	50.0	86.0
K 600 区	99.0	41.0	128.0	72.0	45.5	164.0
K 700 区	85.0	49.5	152.0	75.0	67.0	144.0





第 63 図

同じような考察から alfalfa では凡そ加里 100~加里 200 区が望ましいこととなる。(第 62 図)

7) 加里肥料の効率

加里肥料の効率を求めるため、窒素、磷酸質肥料に用いた計算式を用いて算定した加里肥料の効率は第 123 表の如くである。この表によれば alfalfa も orchardgrass も加里 100 区に最大効率の点が見出され、alfalfa でも orchardgrass でも、それ以上の施用量はその増加量に伴い、その効率が低下す

Alfalfa		1年目			2年目			3年目		
	施肥量 kg/ha(A)	収奪加里量 kg/ha(B)	A—B	A	B	A—B	A	B	A—B	
無 K 区	0	165.7	-	0	387.0	-	0	602.4	-	
K 100 区	160	182.1	-	330	423.2	-	530	662.8	-	
K 200 区	320	186.4	133.6	660	473.7	186.3	1060	742.8	317.2	
K 300 区	480	204.6	275.4	990	526.0	450.9	1590	795.8	794.2	
K 400 区	640	210.0	430.0	1320	539.1	780.9	2120	828.6	1,291.4	
K 500 区	800	217.7	582.3	1650	577.6	1072.4	2650	886.3	1,763.7	
K 600 区	960	214.9	745.1	1980	602.0	137.8	3180	910.9	2,171.0	
K 700 区	1120	220.6	839.4	2310	601.3	1708.7	3710	933.3	2,776.7	

## Orchardgrass

無 K 区	0	180.1	-180.1	0	587.3	-587.3	0	895.7	-895.7
K 100 区	140	215.5	-75.5	360	773.6	-413.6	560	1237.8	-677.8
K 200 区	280	237.9	42.1	720	806.0	-86.0	1120	1367.1	-265.1
K 300 区	420	290.9	120.1	1080	984.6	95.4	1680	1580.1	100.0
K 400 区	560	276.7	283.3	1440	975.0	465.0	2240	1558.8	681.2
K 500 区	700	277.2	422.8	1800	991.1	808.9	2800	1621.0	1,179.0
K 600 区	840	291.7	548.8	2160	1034.7	1125.3	3360	1615.1	1,744.9
K 700 区	980	288.5	691.5	2520	1029.4	1490.6	3920	1701.7	2,218.3

第 123 表

加里質肥料の効率

(別表)

	Alfalfa	Orchardgrass
無 K 区	-	-
K 100 区	55 (69)	22 (64)
K 200 区	11 (-)	9 (47)
K 300 区	20	- (37)
K 400 区	-	- (52)
K 500 区	-	- (1)
K 600 区	-	- (4)
K 700 区	-	- (-)

3カ年の資料による。( )内の数字は2カ年の資料による。

る。しかしいずれの牧草においても加里の効果は100以下であり、このことは施用加里肥料代が、牧草代金を下まわること示すもので、3カ年間の本条件下では加里無施用で牧草を栽培することが最も効果が高いということとなる。しかしこれは土壤中加里の収奪損耗が前提になっているということをお忘れはなるまい。

## 7) 加里肥料の利用率

2カ年間にわたる加里質肥料の利用率は alfalfa では施用量で大差を示さず、最低加里700区の

9.3%から最高加里300区の13.9%である。これが、orchardgrassでは施肥量の増加に伴い次第に低下し、加里100区の40.6%から加里700区の17.1%となっている。

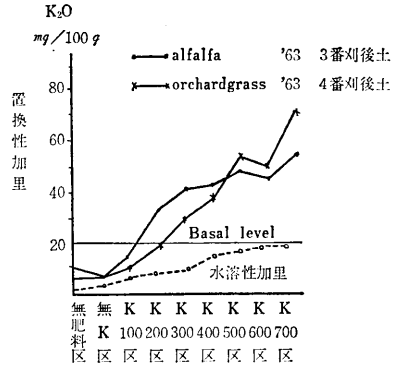
3 摘 要

Alfalfa及びorchardgrassが、加里として0~700kg/haを施用され、3カ年間圃場に単播耕作し、加里に対する影響を検討した結果、つぎの如き結果が得られた。

1) 両牧草の乾物生産速度は施用加里の増加に伴い増大した。これを加里200区を基準に示せば alfalfa では無加里区84~加里700区110, orchardgrassでは、47~103である。

2) 加里施用量の増加に伴う牧草体内吸収加里量の増大は見られたが、しかしその変動巾は alfalfa では2.20~3.60%であり、orchardgrassでは1.60~5.00%であった。しかしこれらの増大が収量増加に結びつかないものではなく、2カ年間にわたる収量(Y)と収奪加里量(X)の間には alfalfa では  $Y=0.014X+8.99$ , orchardgrassでは  $Y=0.013X+9.14$  の式で表される関係が得られた。また本実験条件下では luxury absorption の現象は見当らず、そして加里の最大収奪量と乾物収量から算出した2カ年間の平均加里含量は alfalfa では3.47, orchardgrassでは4.58%であり、この附近がこれらの牧草における最大限界含有率であろうと推論した。また orchardgrass の2カ年間にわたる刈取毎の乾物量 Y (kg/10a) とその牧草によって吸収された加里量(X)の間には  $Y=19.20X+55.61$  という関係が得られ、 $r=0.967$  のかなり高い相関係数が得られる。さらにこの収量の相対値(但し対数)と加里含有率との間には殆んど直線関係が得られる。以上の事実からこれらの牧草の最小加里含有率は1%前後であり、これ以上 alfalfa では2.50%, orchardgrassで3.50%までの間を加里欠乏帯といい得る。

3) 牧草類の加里肥料の増大に伴う体内無機成分では、窒素、磷酸、カルシウム、マグネシウム含量には差異は見出せない。しかし orchardgrass の全炭水化物含量は無加里区、加里100区で若干低下した。



第64図 牧草耕作による土壤中加里の変化

第124表 加里の利用率

	Alfalfa		Orchardgrass	
	2カ年間の資料による	3カ年間の資料による	2カ年間の資料による	3カ年間の資料による
無肥料区	-	-	-	-
無K区	-	-	-	-
K100区	11.0	11.4	40.6	61.0
K200区	13.1	13.2	30.6	42.1
K300区	13.9	12.2	32.3	40.7
K400区	11.5	10.6	26.9	29.6
K500区	11.6	10.7	22.4	25.9
K600区	10.9	9.7	20.7	21.4
K700区	9.3	8.9	17.1	20.6

4) 窒素供給量が十分である orchardgrass に対して加里供給が不十分であると粗蛋白質は増大するが、純蛋白質の増加率は低下する傾向にあり、この傾向は十分量の加里供給によって消失した。これらの事実から加里の牧草体構成の重要性を論じた。

5) 牧草による粗収入と施用加里の価格の較差の最大は両牧草とも2カ年では無加里区にあり、また3カ年では、alfalfa で無加里区、orchardgrass で加里200区にある。そしてその価は104千円/ha (alfalfa), 124千円/ha (orchardgrass) である。

6) 土壌中の加里-level を一定以上(耕作開始時の19.9 mg/100 g, これは最低必要量)保ちつつ、施用加里の効率を最大にするための加里施用量は alfalfa で加里100~200区、すなわち660 kg/ha/2 years, orchardgrass では加里200~300区で720~1080 K<sub>2</sub>O kg/ha/2 years の施用量であった。これが、3カ年では前者が530~1060 kg/ha/3 years, 後者が1120~1680/ha/3 years であった。

## 第7章 総 合 論 議

耕地面積の狭少を嘆くわが国においても、なお拡大な原野が存在している。この原野または牧野と呼ばれる草地は全国で130~170万 ha の範囲にあると推定されている<sup>68)</sup>。また牧野とは限らず山林をも含めて将来牧草地として利用し得る可能性のある面積は資源調査会が集計した数字によれば<sup>69)</sup> 550万 ha と推定されている。さらに既耕地における牧草地は北海道だけでも9万 ha に及び府県を合せると69.2万 ha にも達する。

これらの拡大な面積に栽培される牧草は、一方において農業の構造改善や近代化という所得の二重構造の解決の点から、また他方国民所得の増大に伴う食生活の向上が必然的に要求する良質蛋白質の給源の立場から、積極的改善増収が期待されている。

しかしながら、わが国の牧草栽培は主として北欧に発達した栽培技術、若しくは拡大な面積を持つ米国、ニュージーランドのその直輸入、あるいは米麦中心に究明された、技術の応用に終っている感がある。

とくに、北海道においては、牧草栽培の歴史も古く、また本邦の中では最も多く牧草化される可能性を持ち、さらに多くの指導者によってその草地化が提起され実行されて来たが、これは必ずしも十分な成果が上っているとは言いがたい。最近においても牧草とくに alfalfa を道庁あるいは町村、または農協が中心になってやや拡大な面積に造成しようとする計画も行われたようであるが、いずれも期待し得る成績を納めることなく今日に至っている。

以上の如き事実はわが国における牧草栽培技術が未確立であり、幾多の問題点を内包していることを暗示するものである。

よって著者は以下に本論文の主題である「牧草における養分吸収過程並びにそれに基づく合理的施肥法に関する研究」の総合論議として、次の諸点に重点をおきつつ考察論議することとする。

- 1) 牧草の発芽並びに初期生育段階における養分吸収と維持段階における養分吸収
- 2) 牧草の発芽並びに初期生育段階における問題
- 3) 牧草類の刈取と牧草類の生理
- 4) 牧草類の合理的施肥法

- 1) 牧草の発芽並びに初期生育段階における養分吸収と維持段階における養分吸収

著者は正常に栽培された牧草類の養分吸収並びに有機構成々分の変遷を、そのあるがままの姿として捕えることによって、牧草類の生育が二つの大きな時期に大別されることを見出した。すなわちそれは

造成段階あるいは発芽並びに初期生育段階と維持管理段階あるいは維持段階の2つの時期である。これらの二つの時期においては平均乾物生産速度、平均窒素、加里の吸収速度、平均 T.D.N. 生産速度、及び平均純蛋白の生産速度のいずれをやっても前者は後者の凡そ  $\frac{1}{2}$  に過ぎないことを明らかにした。

とくに前者における養分吸収は緩やかであり、時の経過と共に次第にその速度を増大する。また窒素の如きは、初期に極めて高い含有率（alfalfa で 5.02%，orchardgrass で 4.40%）を示しているが、後次第に低下し、刈取期には alfalfa で 3.49%，orchardgrass では 2.37% となる。これらの窒素含有率の低下はほとんど直線的である。これらのことはまた刈取後の再生長過程においても同様である。

この傾向は他の無機要素に見出し難く、牧草類は先づ窒素吸収によって積極的に同化の体制を作り、ついで炭水化合物や脂肪、その他の体構成々分を作り出して行く如く見うけられる。

またこの段階で特に注目しなければならないのは alfalfa における窒素吸収速度の問題である。Alfalfa は前半には極めてゆるやかな吸収を行うが、後半の開花中期では 9.6 kg/day/ha の窒素を吸収する。この吸収量は 1 日に 10 a から 1 kg の窒素を吸収するということであり、初期生育の後半の事ではあっても甚大な吸収速度でもって窒素を要求することとなる。土壤中の窒素固定が極めて円滑に行われているということが前提とならない限り、不可能に近い程の窒素要求量であると考えられる。また一方この時期の加里の要求量は 6.6 kg/day/ha であり、これも無視できない速度である。さらに重要なことは alfalfa における窒素の吸収速度は初期生育段階におけるピークが、高いこともさることながら、その速度が初期生育段階全体を平均すれば、前述の如く極めて緩やかなものであるが、これを各生育期毎に検討すると 0.2, 1.9, 1.7, 1.8, 9.6 と初期は極めてゆるやかに、そして急激にという状態である。これに対して維持段階では 2.3, 7.0, 3.7, 1.7, -0.3 というように全体として 2 倍の速度を持ちながら、しかもその速度が全体に分散し平均化しているという事実である。これは orchardgrass には見出せない。Alfalfa の窒素と加里についてだけ言える現象であるが、このような現象が alfalfa の造成の困難性を作り出していると言はねばなるまい。しばしば初期生育が良好であった alfalfa が刈取後黄化したり、あるいは再生長過程で加里欠乏症が発現したりするのは刈取時期の問題もあるが、この牧草の特性に対して適切な手段が構ぜられないところに原因するものと考えられる。

同じ豆科の大豆などにおいてはしばしば施用窒素と固定窒素との役割の相違が問題化され、研究されているが、 $\text{NH}_4\text{-N}$  の高濃度が初期生育を抑制するという一面もあることから、早急に解決のせまられている問題点であるともい得よう。また、北岸、早川らの指摘する如く、牧草地の荒廃は加里不足、加里欠乏から始まり、特に混播草地では加里不足によって、豆科の牧草が脱落し、ついで窒素不足によって、イネ科が荒廃して行く。これらの事実は一つの大きな牧草地の維持年限に関する、養分要求の面から見た重要なポイントであると考えられる。しかし一般に豆科牧草とくに red clover は耕作年次が進むことと刈取頻度が、orchardgrass などに合せられることによって再生長生理の不都合が生じ、結局脱落し、ついで窒素不足、イネ科劣勢、そして次第に加里不足、荒廃という経過を取る例も多い。従って第 1 に多年性豆科牧草の撰択利用という問題と、刈取処理の適正化が重要であり、加里を主体とした合理的施肥体系樹立が、重要になって来る。

## 2) 牧草の発芽並びに初期生育段階における問題

以上の如き牧草類の養分要求からも示される如く、牧草類の初期造成段階では極めて緩やかな生長を示すが、しかしこの間の牧草の生長は、窒素、加里に対するより、むしろリン酸に対する反応が鋭敏である。このことは火山性土壌において顕著である。しかし一方牧草の維持管理段階においてはリン酸施肥の影響は僅少であることが一般であるから、造成段階において、このことを予め予測した初期牧草の栽培法が考えられねばならないところである。しかしながら、これらの土壌における牧草の種子床条件中、とくに pF 並びに鎖丹破碎の問題はその発芽と初期生育を大きく支配する。従って牧草地の造成は先づこれらの土壌の物理化学的欠陥を打開した上で開始されねばなるまい。

### 3) 刈取処理とその生理

牧草は一般に多年性であるから、その栽培上の特徴はその植物体が専ら栄養体の生長の繰返しを行われせられているという事である。子実を生産目標とする米麦とはこの点において、先づ大きく相違するものである。このような特性から第1に刈取と再生長あるいは grazing という問題が牧草の特性を大きく決定していると言わざるを得ない。そして他方多年性であるが、長年耕鋤されることなく栽培が続けられることである。

さて刈取処理そのものが、牧草に及ぼす影響を考察すると根部、刈株及び地上部の乾物重はもとよりその有機無機成分においても刈取処理によって大きく変動するものである。刈取が、これらの栄養生理的変動を与えるとする報告は多いが、24,71,17,86,20,29) イネ科牧草は例外なしに刈取によって根部の活性が低下するとした CRIDER の研究や刈取によって stubble の全炭水化物が、一端低下することを認めた SULLIVAN 及び SPRAGUR の研究は、刈取処理の主要な問題点を示すものとして注目される。著者の実験によれば、刈取処理は明らかに alfalfa 並びに orchardgrass の根重を低下せしめる。そして一方良好な生育条件が与えられるならば新芽が生長して来るが、この時の生長はあたかも根部あるいは冠部に貯蔵されている炭水化物が異化移行して新しい植物体の形成が行われるものの如くであり、根重、株重はこれに見合う如く低下する。しかしこの低下も alfalfa と orchardgrass では自ら相違する。すなわち前者では主として根部に澱粉として形成されていたものが、刈取処理によって次第にその細胞中より溶解転移して行くが、後者では刈株部の fructosan として貯蔵されていたものが、溶解転移する如くである。このことは  $^{14}\text{C}$  の実験からも明白である。これらの事実から新芽の炭水化物含量は低く、とくに alfalfa において低含量である。

この alfalfa における低含量と再生長の問題は刈取頻度との関係において一層複雑化する。すなわち刈取による根部及び冠部中の炭水化物の低下は顕しく、若しこの刈取が alfalfa の未熟な生育期に行われるときは、再生長も甚しく低下する。さらにこの刈取処理がやや高温の時期に行われるならば、その生育相を害すること甚しいものがある。これが理由は北方型の荳科の牧草はとくに(イネ科も)高温によって同化量が、増大せず、一方呼吸量は以外に増大し、結局それらの差し引きである乾物の増加は高温によっては少なくなる事となるからである。また他方では刈取後の再生長の初期の過程や播種当年の初期の段階では明らかに total-carbohydrate の含量は少ないものである。

北海道においては一般に燕麦などを保護作物とした草地の造成法が構ぜられる場合も多いが、しかしこれは red clover を主体としたイネ科混播牧草については良好な結果が期待されるとしても、これが直ちに alfalfa について適用され同様の好結果が得られるものではない。これらの理由は同化の様相が必ずしも red clover と同一ではないからである。すなわち前述せるように高温によって同化が極度に乱されるからである。

また一方光量に対する影響も無視することはできないであろう。red clover は弱光によっても良好な同化力を示すが、alfalfa は他の作物若しくは雑草などによる遮蔽下の同化は不良であり、保護作物撰択はこの辺の事情を十分に検討する必要性があることはまた DALE SMITH によって記述されている(17)。

窒素のやや多い、肥沃な土壤に alfalfa を遅く、良く繁茂する燕麦などと混播し、total-carbohydrate が、まだ分量に達しない生育期の高温時に刈取するというが如きは最も alfalfa の造成法としては、不合理であるといわねばなるまい。これに反して早春、低温時に単播され、刈取適期に収穫された alfalfa は刈取後の生育も順調で良好な stand ができることが期待されるものであろう。

牧草の低温による冬枯れの問題も重要な一面として存在するが、この冬枯れと刈取処理の問題も栄養生理の面から解決へと向わねばなるまい。すなわち一般に winter killing の問題は適切でない時期の刈取によって生ずることが極めて多いのである。田口ら(11)によれば alfalfa は9月上旬から10月上

旬までの間に刈取ることが冬枯れを誘引し、その前後では冬枯れになることは極めて少ないと報告している。同様のことは DALE SMITH らによっても認められている。すなわち同氏は9月上旬以後の刈取は次年の生育を不良にすると報告している。著者は刈取回数を重ねた実験結果から、夏期間（7月上旬から、9月上旬）の高温時のしばしばの刈込みは甚しく alfalfa の生育を不良にするが、夏期高温時以外の刈取処理はそれ程 alfalfa の生育に影響しないことを認めた。そしてこれは結局、牧草の生育が高温時不良となるような牧草に対してはその時期の刈取若しくは grazing は適度に行われねばならぬことを示唆するものである。そしてまた平均気温が10°C以下になってからの刈込は牧草の越年の準備ができず、これは alfalfa の形態の面からもイネ科牧草や放牧最適牧草と異なるところであると考えられる。

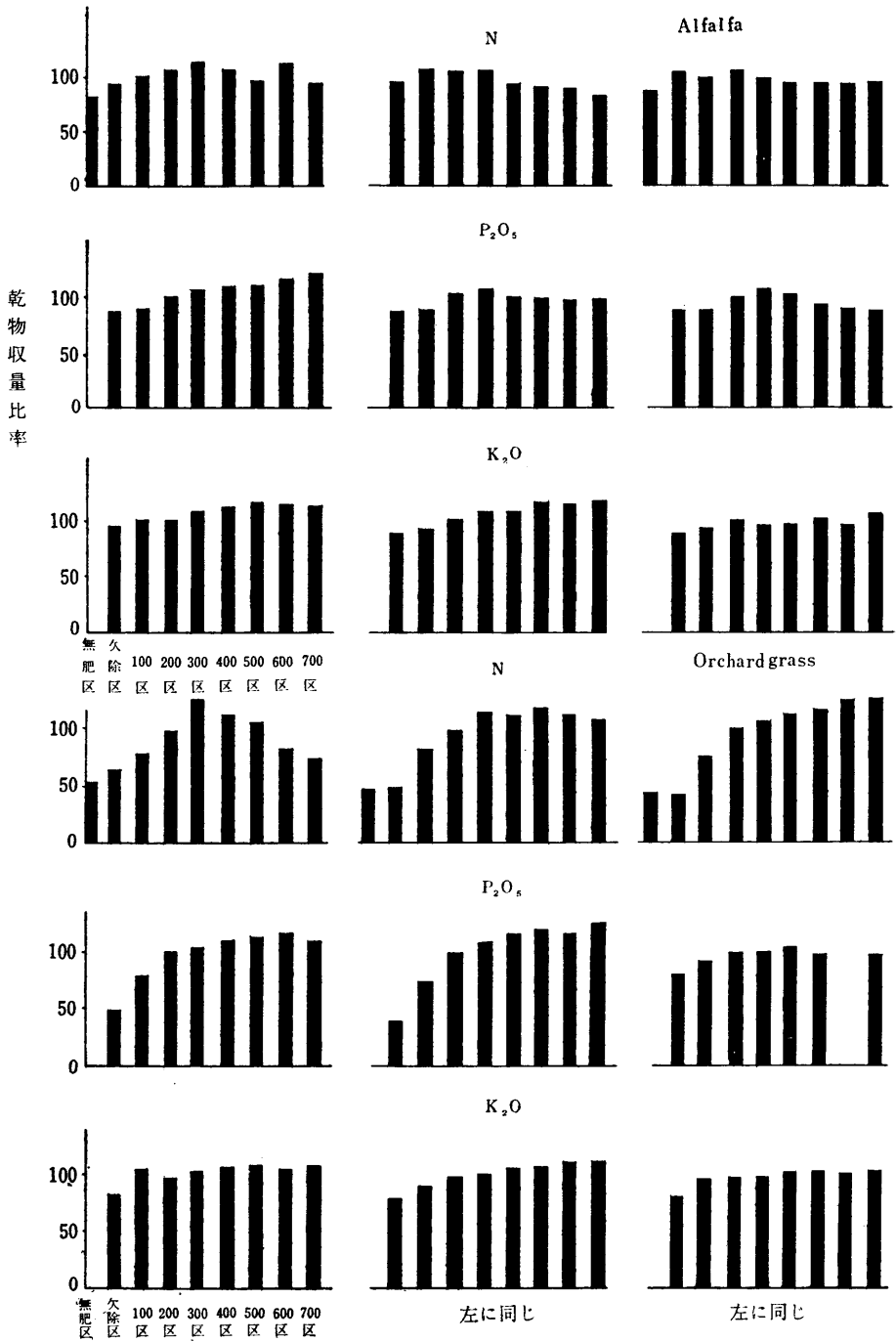
以上要するに牧草類の刈取処理は、そのことが、牧草に及ぼすことを十分配慮して行うならば極めて良好な結果が期待されるが、その栄養生理的理解に立つことなしに行なわれるならば、刈取処理は思わぬ損傷を牧草に与えることとなる。

#### 4) 牧草類の合理的施肥法

牧草類の施肥法を考える場合、これを2つの時期に大別して考えることが、その牧草の生理的特性から考えて妥当である。すなわちそれは初期生育段階と維持管理段階である。前者においては牧草の無機養分要求は量的に少なく、そしてその速度も遅いが、後者ではその速度が前者の凡そ2倍である。またこの初期生育段階の無機養分の吸収は、牧草の根系が十分確立されていない時期のそれであることから、主として土壤溶液からの無機養分が供給源となっているものと考えられる。これらのことから推論して牧草に対する初期生育段階の養分 level は第36表の如く窒素で145 ppm、磷酸で27 ppm、加里で100 ppm 程度が、alfalfa でも orchardgrass でも最も良好な生育が期待されることである。しかしこれらの初期生育段階における養分 level はその経済性から考えると必ずしもこのような結論にはならず、これよりも僅少な施肥によっても一応の初期生育段階が全うされる事実から理論的に考えて窒素50 ppm、磷酸10 ppm、加里50 ppm 程度の土壤溶液の濃度で良好な生育が期待されよう。これらの事実はまた水耕法によっても明白な現象である。しかしこの場合、初期生育段階の他の栽培管理がすべて適切であることが条件となる。すなわち、若し播種が遅延するか、不適当な早期の刈取がなされるなど、あるいは採光が不良であるなどは予想以上に牧草類の初期生育に影響すると考えられる。また一方牧草地の秋期における造成は次第に低下して行く温度の影響が顕著に生育面に表われるので、少なくとも苜蓿の牧草については合理的施肥がなされたとしても必ずしも容易な造成法とはいえない。

つぎに維持管理段階で、供試した alfalfa と orchardgrass が、どのように生育して行くか、これらを検討する資料として乾物生産速度指数の施肥量による変化を、初年目、2年目、3年目の順に示すと第65図の如くである。これらの図から明白な如く、alfalfa においても、orchardgrass においても施肥量による乾物生産速度指数の変化は初期に極めて大きく、維持年限が長期にわたるに従って次第に低下する傾向にあるものが多い。これらの事実は、牧草類の造成段階の施肥法の合理性というものが、極めて重要であるが、その後の施肥はその焦点をはずさぬようにするならば、それ程技術的に困難性を示すものではないもの如くである。しかし一方 DALE SMITH によれば、alfalfa の stand は pH の良好な状態においてのみ肥料に対する良好な反応が現われると報告している。しかしながら著者が行なった実験条件下では、必ずしも、肥料の影響が現われない程の pH の低下は考えられず、現実的に初期においては肥料に明白な反応を提示しているのである。後期においてこのような肥料に対して反応を示さない理由は他の理由によるものと考えられる。

すなわち刈取の項でも記述せる如く第1は低温下における同化と呼吸の問題であり、第2に高温下における同化と呼吸の問題である。とくに高温下では、同化量の低下に対して呼吸量の増大という相矛盾した関係が生ずるためと考えられる。武田ら(113)はこの辺の関係を ladino clover を用いて研究し、温



第65図 乾物取量比率比較

度の上昇によって同化量が低下し、呼吸量は増大することから、夏枯れの現象を説明している。このことは北海道においても「夏まけ」という形態となって alfalfa や timothy などには見受けられ、これ



が牧草において、無反応な現象を肥料に示す一因と考えられる。

以上のような理由もあって、alfalfa ではとくに施肥量に対する反応が不明瞭であると著者は理解するものである。これらのことを解決する方法としては alfalfa の適品種を撰択するか、若しくは育種することが期待されるものである。一方栽培管理の面でも、高温時の強度の刈取処理あるいは over grazing は避け、また施肥についてもとくに再生長に影響力の大きい加里、カルシウム、マグネシウム56)の如き無機要素の不足なきよう配慮することが緊要であろう。そしてさらにその無機養分吸収速度が、orchardgrass などよりその極において早い速度を示すことにも視点を向けねばなるまい。この極の生育時期に先に示した加里、カルシウム、マグネシウムなどの養分が不足することのないよう努力すべきであろう。

Alfalfa のこのような特性に対して、一方、orchardgrass は施肥に対しての反応が極めて大である。この事実は orchardgrass が石狩地方には良く適合した牧草であると言うことであろうが、これを牧草生理の立場から考察すれば、orchardgrass の同化温度が、石狩地方の気温に最も適合していることを示すものであり、これはまた、呼吸の温度による変化についても言えることである90)。しばしば北海道の天北、根釧地方において timothy が、良好な草種として取りあげられているが89)、このことはこれらの牧草の生理的特性に基く必然性と考えられる。著者が北大圃場で実験したイネ科牧草の夏期間における草種間の生育差は、orchardgrass が最も良好な生育を示すのに対して、timothy は最低の生育を示した。そして bromegrass はその中間に位置していた。しかしこれが早春においては、差異はほとんど見出されない。この傾向は秋期においても類似している。

これらの事実から維持管理段階の施肥法は必ずしも画一的に行かず十分配慮されていることが必要であると考えられる。

しかしこれらの牧草類に対する合理的施肥法は次の如く要約されよう。すなわち維持段階では第125表及び126表の如く施肥することが期待される。

第125表 Alfalfa 及び orchardgrass の合理的施肥量表

耕作目的	牧草名 施肥法 要素名	Alfalfa	Orchardgrass
		Broadcast system	Broadcast system
最大生産速度（乾物）を得るため	N	100*	300
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	400	400
	K <sub>2</sub> O	100	300
平均生産費と限界生産費曲線の考察から（江別市の場合）	N	0	300
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	300
	K <sub>2</sub> O	0	0
土壌の養分 level を一定に維持するため	N	?	?
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	100	200
	K <sub>2</sub> O	100	200
計算上の収支から	N	**100~200 (N固定があるから0とする)	100~200
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0~100	0~100
	K <sub>2</sub> O	100~200	200~300

\* 100 は 100 区 の意    \*\* 実際には 0 でよい。    (2ヶ年間の資料による)

第 126 表 Alfalfa 及び orchardgrass の合理的施肥量表

耕作目的	牧草名 要素名 施肥法	Alfalfa	Orchardgrass
		Broadcast system	Broadcast system
最大生産速度（乾物）を得るため	N	0	300*
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	200	200
	K <sub>2</sub> O	100	200
平均生産費と限界生産費曲線の考察から（江別市の例）	N	0	300
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	200
	K <sub>2</sub> O	0	0
土壌の養分 level を一定に維持するため	N	?	?
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	200	(100~200以上) 200
	K <sub>2</sub> O	100	200
計算上の収支から	N	100~200	100~200
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0~100	0~100
	K <sub>2</sub> O	100~200	200~300

\* 300 は 300 区の意 （3ヶ年間の資料による）

以上総合論議の結びとして、牧草類の養分要求とそれに基づく合理的施肥法の問題は窒素加里においては米麦とは甚しく異なる老大な量を収奪する。磷酸は大差を示さない。そしてその速度は alfalfa においては極めて迅速な生育期が存在する。牧草類はその養分吸収の形態から、これを造成段階と維持管理段階に二大別することが妥当である。従ってこれらの牧草に対する合理的施肥法は、造成段階の施肥法と維持管理段階の施肥法は当然異なって来るべきである。すなわち前者では専ら stand を完成せしめる方向に考えられる施肥法が望ましく（第 36 表）、後者ではその目的によってそれぞれ適切な施肥法を第 125, 126 表の 4 段階の要点を中心に撰択利用することが緊要であろう。

第 8 章 結 語

牧草類（alfalfa 及び orchardgrass）の養分吸収とそれに基づく施肥法樹立の見地から研究を行い従来土壌を肥沃化し、安定した酪農経営の基礎と考えられてきた牧草栽培の問題点を、

- 1 養分吸収と有機構成成分の変遷
- 2 発芽並びに初期生育に及ぼす種子床条件並びに施肥量の影響
- 3 刈取処理と再生長との関係
- 4 施肥量の相違に伴う牧草類の量的反応とそこに現われた問題点

の 4 点にしぼり究明してきた。その結果、これらの牧草の乾物生産速度のピークは alfalfa では開花中期、orchardgrass では葉身屈折始期である。この時期に収穫した場合の養分収奪量は alfalfa では窒素（Nとして）170.7、磷酸（P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>として）28.9、加里（K<sub>2</sub>Oとして）127. kg/ha であり、orchardgrass ではそれぞれ 82.0、22.1 及び 162. kg/ha である。四要素吸収速度(kg/day/ha)の最大は alfalfa では開花中期、orchardgrass では充実期～葉身屈折始期である。また alfalfa の開花始期、orchard-

grass の葉身屈折始期は乾物生産速度から考えられる刈取適期である。これらの牧草の有機構成々分中、蛋白の含有率は初期に高く、後期に低下するが、粗繊維はその反対の傾向を示す。しかしこれらの牧草の蛋白の絶対量の最大は alfalfa では開花中期、粗繊維では開花終期であり、orchardgrass では可溶性無窒素物以外は下葉枯期に最高となる。各有機成分の絶対量、平均粗蛋白生産速度、平均全可消化養分生産速度から考察して有機構成々分の最大平均生産速度を示す時期は alfalfa では開花中期、orchardgrass では葉身屈折始期であり、この時期の粗蛋白、純蛋白及び全可消化養分の生産量は前者で1.07、0.84及び2.50 t/ha であり、後者では0.51、0.39及び0.62 t/ha である。

また平均乾物生産速度の極大の時期に刈取られたこれらの牧草の再生長によって再び平均乾物生産速度の極大値を示す時期までの各生育期における平均乾物生産速度の最大は alfalfa では独立再生長期(蓄期)、orchardgrass では充実期である。この時期の養分収奪量は alfalfa では窒素(Nとして)65.1、燐酸11.6、加里53.1 kg/ha であり、orchardgrass ではそれぞれ、96.0、14.5、151.0 kg/ha であった。四要素吸収速度の最大は alfalfa では転換期、orchardgrass では独立再生長期から伸長期である。この牧草の有機構成々分中、粗蛋白、粗繊維の含有率は無刈取牧草の経過に類似する。しかしこれら牧草の粗蛋白の絶対量の最大は、alfalfa では開花始期、粗繊維では開花中期であり、orchardgrass では葉身屈折始期に粗繊維が最高となる以外は、いずれも充実期に最高となる。各有機成分の絶対量、平均粗蛋白生産速度、平均可消化養分生産速度から考察して、有機構成々分の最大平均生産速度を示す時期は alfalfa では独立再生長期、orchardgrass では充実期である。この時期の粗蛋白、純蛋白、及び全可消化養分の生産量は前者で0.41、0.30、0.86 t/ha であり、後者で0.61、0.51、0.94 t/ha である。

以上の如く、普通に栽培された牧草類の無機養分吸収並びに有機構成々分の変遷をそのあるがままの姿として捕える事によって第25表a及びbの如く初期生育段階と維持管理段階に分けられることを見出した。従って牧草栽培の合理的方法を検討しようとする場合は、この両段階を別々に論じ研究することが望ましいと考えられる。よって著者は第2の問題提起として牧草類の発芽並びに初期生育に及ぼす種子床条件並びに施肥量の影響に関して研究を進めた。この第1～2節として牧草の発芽並びに初期生育に及ぼす肥料濃度の影響について、alfalfa 及び orchardgrass を供試して行った結果、第35表の如く示された。すなわち窒素の多施は発芽並びに初期生育障害をもたらしたが、これに対して燐酸の多施はこれらの生育を極めて良好にした。また加里はこれらの中間に位置し、多施用による障害作用も有効作用も極端には現れなかった。そしてこれらの過剰窒素障害が主として  $\text{NH}_4\text{-N}$  の生育抑制作用であり、適量燐酸の効果は土壤溶液中の燐酸濃度の増大による吸収燐酸量の増大によることが明白となった。

そこで第3節に、この燐酸を主軸とする初期生育に及ぼす施肥位置の検討を行うため、同一母材で total-燐酸及び有効燐酸量を異にする土壤を用いて実験を行なった結果、牧草の初期生育を良好にするための施肥位置は、有効燐酸含量10 mg/100 g dry soil 以下の土壤では300 kg  $\text{P}_2\text{O}_5$ /ha 以上の燐酸を薄層施肥に、また10 mg/100 g / dry soil 以上の土壤では300 kg  $\text{P}_2\text{O}_5$ /ha 以下の燐酸を厚層施肥とすることが望ましいことが判明した。

しかし以上の外、牧草の初期生育に及ぼす主要な要因は水分、pH、鎮圧及び破砕が考えられ、これらの諸点についても合せ検討した。すなわち土壤水分では pF 1～2の間において良好な初期生育点が見出された。また豆科牧草を供試して行なった pH の差異による初期生育量の差異は pH 4.5 (KCl) と 5.5 で30%内外であり、燐酸の供給が十分であれば、かなりのところまで生育量の低下を防止することができた。またこの収量低下の主因は根粒の不着生による窒素供給不足によるものと推論した。そしてさらに土壤の鎮圧及び破砕の影響も合せ研究した結果、その発芽個体数、生育量(播種後30日測定)ともに  $49.0 \times 10^4$  dyne/cm<sup>2</sup> の鎮圧が最も良好であり、それを上下することで低下した事実から、牧草の発芽並びに初期生育を良好ならしめるための土壤の圧密度は  $19.6 \times 10^4$  dyne/cm<sup>2</sup> ~  $49.0 \times 10^4$  dyne/cm<sup>2</sup> (200~500 g/cm<sup>2</sup>) が適当であると考究された。

牧草類はその栽培目的から、刈取処理若しくは grazing が行われる。しかしこの刈取処理、若しくは grazing の牧草それ自体に与える影響とくに再生長の生理的特性は未だ良く理解されていない。そこで著者は第3の問題として、刈取処理と再生長との関係について研究を進めた。結果、牧草類の刈取処理は1時根部の乾物含有率並びに乾物量を低下せしめることが判明した。またこれらの低下は total-carbohydrate の含量、alfalfa では starch の低下となって現われた。また水耕法により刈取処理が1時的に根部を老化衰退せしめる事実をも確認した。さらに生育期を異にした刈取処理はその生育期により大きく生草重、根重に影響し 30~35 cm (伸長期) 草丈の alfalfa 刈取処理を標準(100)とすると 50~60 cm (独立再生長期) 及び適期刈取(開花始期)では地上部で 100, 125, 200 となり、根部でも類似の傾向があった。これらの再生長における無機養分吸収は初期に遅く次第に速度を増大し、その後再び低下する。 $^{32}\text{P}$ 、 $^{45}\text{Ca}$  をも用いてこの辺の事実を明らかにした。そしてさらに、 $^{14}\text{C}$  を用いることにより、刈取処理後の再生長部分の体構成炭素の由来は根部  $^{14}\text{C}$  にも由来して再生長することが明白化された。

牧草類の造成段階の問題点に続いて刈取処理による再生長の問題が問題とされたが、維持管理段階の中心課題、第4の問題である施肥量の相違に伴う牧草類の量的反応とそこに現われた問題点の解決へと迫った。alfalfa と orchardgrass を施肥 -level 0~700 kg/ha までの8段階で栽培し、合理的施肥体系を樹立しつつ問題点の解明へと研究を進めた。その結果、窒素については乾物生産速度指数 (kg/day/ha の相対値) は施用窒素量の増大に伴い alfalfa では無施用、orchardgrass では窒素 300 区までは、増大(3ヶ年平均)する。また刈取毎の速度指数の比較から、alfalfa の3番草が2ヶ年間の平均で  $\frac{1}{2}$  となっていることから、これが理由は刈取頻度の増大による貯蔵物質の消費並びに気温の変化に伴う同化と呼吸の不均衡であると考察された。各窒素施肥処理区の牧草体中の窒素含量は両牧草とも初年目は1番草のみ窒素施用量の増加に伴い増加が認められた。alfalfa はその後大差を示さないが、orchardgrass では 0~500 kg 窒素区まで増大の傾向にある。しかし無窒素区の1年目2番草より窒素欠乏症が出現する。施用窒素肥料単位当り、牧草の単位収入が得られる点は alfalfa では見出せず、orchardgrass では凡そ窒素 300 区である。このことは若し限界生産費曲線と平均生産費曲線が最も一般的なカーブを画くとすれば、alfalfa では無窒素区、orchardgrass では窒素 300 区の施肥法すなわち、基肥に 300 kg/ha、刈取毎に 100 kg/ha の追肥が、窒素肥料の限界施用量であるといえることができる。磷酸の乾物生産に対する効果は alfalfa は最大 20% であるが、orchardgrass は最大 50% に達した。磷酸含量は施用量の増加で増大した。またこれらの磷酸含量と磷酸収奪量との間には alfalfa で  $y=24.71x-0.78$ ,  $r=0.513$ , orchardgrass で  $y=41.5x-2.0$ ,  $r=0.513$  と相関は少ない。磷酸用量の相違により磷酸以外の吸収無機成分並びに有機成分については、本実験条件下では明らかな差異を見出すことができなかった。基肥として施肥した磷酸は基肥及び追肥として分施したほぼ同量の磷酸肥料と効果を同一にする。この基肥磷酸としての形態は過石、熔磷であればイネ科でも豆科でも、またイネ科であればこれに磷酸が磷酸鈣の形態や高分子結合のそれでも加えることができことが明らかにされた。また磷酸肥料の効率では alfalfa は無磷酸、orchardgrass では磷酸 200 区に、その最有利集約度の点があった。加里肥料施用量の増大にともなう乾物生産速度の増大は加里 200 区を標準とすると alfalfa では、無加里区の 84 から加里 700 区の 110 まで、orchardgrass では 47~103 である。牧草の加里含量の変動巾は alfalfa では 2.20~3.60% であり、orchardgrass では 1.60~5.00% であった。2ヶ年間にわたる収量(y)と収奪加里量(x)の間には alfalfa で  $y=0.014x+8.99$ , orchardgrass では  $y=0.013x+9.14$  の一次式で表わされる関係が得られた。また本実験条件下では luxury absorption の現象は見出されなかった。また orchardgrass の乾物収量 y(kg/10) とその牧草により吸収された加里量(x)との間には  $y=19.20x+55.61$  という関係が得られた。また加里肥料の増大にともなう窒素、磷酸、カルシウム、マグネシウムには差異は見出せない。また有機構成成分にも有意差は見出せない。しかし orch-

ardgrass の total-carbohydrate 含量は無加里区から加里 100 区で若干低下した。土壌加里-level を一定以上に保ちつつ施用加里の効率を最大にするための加里施用量は alfalfa で加里 100 区すなわち 330 kg/ha/2 years, 530 kg/ha/3 years, orchardgrass で加里 200 区すなわち, 1080 kg/ha/2 years, 3 ケ年では 1120 kg K<sub>2</sub>O/ha/3 years の施用が必要であった。

以上のことから牧草類の合理的施肥体形は第 127 表のごとく要約することができた。

第 127 表 Alfalfa 及び orchardgrass の合理的施肥量表

生育段階	耕作目的	牧草名		Alfalfa		Orchardgrass	
		要素	施肥法	Band system	Broadcast system	Band system	Broadcast system
造成段階	Stand の完成	N	1 年次	100*以下 (145)		100*以下 (145)	
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		233 (27)		133 (20)	
		K <sub>2</sub> O		100 (100)		100 (100)	
維持段階	最大生産速度 (乾物)を得る ため	N	2 年次		100** 0		300** 300
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3 "		400*** 200		400 200
		K <sub>2</sub> O	2 "		100**** 100		300 200
維持段階	最大効率を得る ため	N	2 "		0		300
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3 "		0		300
		K <sub>2</sub> O	2 "		0		0
維持段階	土壌の養分 level を一定に維持するため	N	2 "		?		?
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3 "		?(0)		?(100~200)
		K <sub>2</sub> O	2 "		100		200
維持段階	計算上の balance sheet を合わせるため	N	2 "		100~200		100~200
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3 "		100~200		100~200
		K <sub>2</sub> O	2 "		0~100		0~100
維持段階	計算上の balance sheet を合わせるため	N	3 "		0~100		0~100
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2 "		100~200		200~300
		K <sub>2</sub> O	3 "		100~200		200~300

\* 畦巾 30 cm 播巾 10 cm kg/ha ( ) 内は soil solution 中の ppm

\*\* 窒素は春期及び刈取毎 100 kg/3 /ha づつ施用, 以下同じ

\*\*\* 磷酸は " " 400 kg/5 /ha " "

\*\*\*\* 加里は " " 100 kg/2 /ha " "

## 引 用 文 献

1. Adams, F., and Wear, J. I., *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 21. 305 (1951)
2. 赤塚恵, 坂柳迪夫, *北農試彙報*, 83 (1964)
3. Albrecht, W. A. and Smith, G. E., *Trans. Intern. Congr. Soil Sci.* 5 th congr. Leopoldville, I. 119 (1952)
4. Arnon, D. I. and Jonson, E. M., *plant Physiol.* 17. 525 (1942)
5. Barbier, S., *Z. pflanzenernähr. Düng. Bodenkunde*, 107. 32 (1964)
6. Bear, F. E. and Wallace, A., *Better crops with plant food*, 35. 5 (1950)
7. Blue, W. G. and Gammon, N., *Soil Crop Sci. Fla. Proc.* 23. 152 (1963)
8. Bolton, J. L., *Alfalfa*, 203 (1962)
9. Bray, R. H. and Kurtz, L. T., *Soil Sci.* 59. 39 (1945)
10. Brown, B. A., Munsell, R. I. and King, A. V., *Soil Sci. Soc. Am. Pro.* 10. 134 (1945)
11. Brünner, F., *Z. Acker und pflanzenbau*, 96. 30 (1953)
12. Burgess, P. S. and Pember, F. R., *Rhode Island Agr. Exp. Sta. Bull.* 194. (1923)
13. Chamblee, D. S., *Agrom. J.* 50. 589 (1958)
14. Chandler, R. F., Peach, M. and Broadfield, R., *Soil Sci, Soc. Am. Proc.* 10. 141 (1945)
15. Chang, S. C. and Jackson, M. L., *Soil Sci.* 84. 2 (1959)
16. Chang, S. C. and Juo, *Soil Sci.* 93. 2 (1963)
17. Dale Smith, *The establishment and managemet of alfalfa Wis. Agr, Exp. Sta. Bull.*, 542 (1960),
18. Damon Boynton, Lawrence Yatsu, and Kwong S. S., *Cornell University, Ithaca, N. Y.* 19 (1964)
19. Dessureaux, L., *Plant and Soil*, 13. 114 (1960)
20. Drak, M. and Colby, W. G., *Estern states cooperation*, 31. 14 (1955)
21. Duell, R. W., *Agron. J.* 52. 277 (1960)
22. 江川友治, 関谷宏三, 飯村康二, *農技研報告 B 7.* 31 (1957)
23. 江川友治, *農業技術*, 15. 11 (1960)
24. Ererett, R. C. and Milton, A. S., *Agroncmly J.* 54. 294 (1962)
25. Fiske, C .H. and Subbarow, Y. J., *Biol. Chem.* 66. 375 (1925)
26. Floyd, M. A., *Plant Physiology*, 31. 266 (1956)
27. Fog, C. D. and Brown, J. C., *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 27. 403 (1963)
28. Frank, B. Morriscn, *Feeds and feeding* (1956)
29. Frankline, J. Crider. *Root-growth stoppage U. S. D. A. 報告* (1955)
30. 藤原彰夫, *難溶性磷酸塩の肥料学的研究* (1950)
31. Gervais, P., Dicnne, J. L. and Richardson W. S., *Canad. J. Plant Sci.* 42. 1 (1962)
32. Gerwig, J. L. and Ahlghren, G. H., *Agron. J.* 50, 291 (1958)
33. Goetze, N. R., *Heavy nitrogen fertilization of coal season turfgrass, Purdur Univ.* (1960)
34. Goss, R. L., *The effect of cutting height and nitrogen level on shoot and root production in turf grass, Washington St. Univ.* (1960)
35. Green, D. E., Stampf, P. K., *J. Biol. Chem.* 142. 355 (1942)
36. 原田勇, *土肥学会, 北海道支部大会* (1963)

37. 原田勇, 北海道土壤肥料通信, 48号 (1964)
38. 原田勇, 土肥誌, 35. 6 (1964)
39. 原田勇, 土肥誌, 35. 165 (1964)
40. 原田勇, 土肥誌, 35. 290 (1964)
41. 原田勇, 土肥誌, 35. 387 (1964)
42. 原田勇, 土肥誌, 36. 386 (1965)
43. 原田勇, 未発表資料による
44. 原田勇, 未発表資料による
45. 原田勇, 未発表資料による
46. Harmsen, G. W. and Von Schreven, D. A., Adv. in Agron. 7. 299 (1955)
47. 早川康夫, 北海道立農試集報, 5. 17 (1961)
48. Heinrich, D. H. and Clark, K. W., Canada J. Plant Sci. 41. 97 (1961)
49. 北海道農林統計協会刊, 北海道農林水産統計 (1963)
50. 池田実, 原田勇, 田村香居, 土肥誌, 26. 502 (1956)
51. 池田実, 原田勇, 田村香居, 土肥誌, 27. 27 (1956)
52. 池田実, 原田勇, 田村香居, 土肥誌, 28. 387 (1957)
53. 池田実, 原田勇, 土肥誌, 29. 84 (1958)
54. 池田実, 原田勇, 土肥誌, 32. 27 (1961)
55. 石塚喜明, 深井強, 土肥誌, 21. 17 (1950)
56. 石塚喜明, 原田勇, 土肥誌講演要旨集, 第10集 (1964)
57. 石塚喜明, 原田勇, 土肥誌講演要旨集, 第12集 (1966)
58. 石塚喜明, 原田勇, 林満, 土肥誌講演要旨集, 第10集 (1964)
59. 石塚喜明, 林満, 土肥誌, 34. 44 (1963)
60. 石塚喜明, 林満ら, 土肥誌, 35. 159 (1964)
61. 石塚喜明, 林満ら, 土肥誌, 36. 289 (1965)
62. 石塚喜明, 田中明, 土肥誌, 23 (1952)
63. 石塚喜明, 田中明, 林満, 土肥誌, 33. 563 (1962)
64. 林満, 北海道土壤肥料研究通信, 50号 (1964)
65. 石塚喜明, 田中明, 林満, 土肥誌, 34. 44 (1963)
66. Jackson, J. E., Burton, G. W., Agron. J. 54. 47 (1962)
67. Jung, G. A. and Smith, D., Wis. Agric. Exp. Sta. Madison (1959)
68. 科学技術庁, 資料調査報告, 第14号, 日本の土地資源 (122-142) (1959)
69. 科学技術庁資源調査会, 自給飼料の生産と土地利用に関する報告 (第8章草地の現状) (1962)
70. 北岸確三, 東北農試研究報告, 23 (1962)
71. 久保田正光ら, 四国農試報告, 10 (1964)
72. 小梁川忠志, 北海道土肥通信, 53号 (1965)
73. Lambert, D. A., J. Brit. Grassl. Sci. 19. 396 (1964)
74. Larsen, S., Plant and Soil 4. 1 (1957)
75. Larsen, S., and Cooke, I. J., Plant and Soil, 14. 1 (1963)
76. Mack, Drake, カリシンポジウム (1965)
77. Magistad, O. C., Soil Sci. 20. 181 (1925)
78. 松尾孝嶺編, 稲の形態と機能 (1961)

79. 松坂泰明, 白井昭登, 今泉吉郎, 土肥誌, 33. 129 (1962)
80. 松岡忠一, 川上行藏, 阿部広雄, 畜産の研究, 4. 321 (1950)
81. McColl, J. Agric. Research 58. 603 (1939)
82. McCullough, M. E., J. Dairy Sci., 46. 861 (1963)
83. McDermott, J. J., Am. J. Botany 32. 570 (1945)
84. McNaught, K. J. and Dorofaeff, N. Z., J. Agric. 100. 230 (1960)
85. Merl, R. Teel, Soil Sci. 93. 1 (1962)
86. Sullivan, J. I. and Spregure, V. G., Plant Physiol. 18. 656 (1943)
87. 三須 Ladino clover と K との相関 (1900)
88. Michael, G. and Djurabi, M., Z. pflanzenernähr. Düng., Bodenkunde, 107. 40 (1964)
89. 村上馨, 牧草と草地, (1958)
90. 村田吉男, 猪山純一郎, 日作紀, 31. 311 (1962)
91. 村田, 長田, 猪山, 日作紀, 26. 159 (1957)
92. 森本広, 守屋直助, 牧草の栽培, 畜産の研究, 4. 694 (1950)
93. 野口弥吉訳, 植物と水, 161~199 (1956)
94. 農村漁業基本問題調査会監修, 農業の基本問題と基本対策 (1961)
95. 小原道郎, 牧草地の肥培技術 (1965)
96. Official method of analysis of the A. O. A. C., 8th ed. 114 (1955)
97. Official method of analysis of the A. O. A. C. (1958)
98. 尾形昭逸, 土肥誌, 34. 313 (1963)
99. 尾形保, 日本土肥学会要旨第10集 (1964)
100. 大原久友, 吉田則人, カリシンポジウム (1963)
101. Oswalt, P.L., Bertrand, A. R. and Teel, M. L., Soil Sci, Soc. Am. Proc., 23. 228 (1959)
102. 尾崎清, 土肥誌, 25. 20 (1954)
103. Parsons, J. L., Agron. J. 50. 593 (1958)
104. Reynolds, J. H. and Dale, Smith, Crop Sci., 2. 333 (1962)
105. 佐々木清一, 北海道土壌地理論 (1960)
106. 佐々保雄, 森谷虎彦, 石油技報, 16. 5 (1951)
107. Schmehl, W. R., Peeth, M. and Bradfield, R., Soil Sci. 70. 393 (1950)
108. Singh, R. N., Seatz, L. F., Soil Sci. Soc. Am Proc. 25. 301 (1961)
109. Stafford, B. and Victor, A. L., Agriculture and feed chemistry, 6. 306 (1958)
110. Stanberry, C. O., Fuller, W. H. and Crawford, N. R., Soil Sci, Soc. Am. Proc. 24. 364 (1960)
111. 田口啓作, 高橋直秀, 喜多富美治, 吉田実, 北大農場報告, 第12号 (1965)
112. 田中明, 土肥誌, 33. 339 (1962)
113. 武田友四郎, 梶和一, 日作紀, 33. 1(1964)
114. 東京天文台編, 理科年表 (1964)
115. Willard, C. J., Thatcher, L. E. and Cutler J.S., Ohio Agric. Exp. Sta., 540. 146 (1934)
116. Wright, K. E., Plant Physiol., 18. 768 (1948)
117. Wright, K. E. and Donahue, B. A., Plant Physiol. 28. 674 (1953)
118. 山田忍, 北海道農業試験場報告 44. (1951)
119. 山田忍, 北農 3. 1~2 (1936)



120. 米田茂男, 農及園 31 (1956)

Studies on the Nutrio-physiology of Pasture Crops, Especially  
on the Effective Fertilization of Pasture Crops

Isamu Harada

(The College of Dairy Agriculture)

Nopporo, Hokkaido, Japan

Conclusion and Summary

The national income in Japan has increased about seven per cent every year for the past five years. Therefore, the demand for milk and meat increased and it is an urgent problem of agriculture in Japan to increase the production of milk and meat. The success of the live-stock production program, however, depends largely upon the rapid development of a parallel program for fodder production, particularly pasture crop production.

This paper is the report of studies of effective fertilizer application to pasture crops (alfalfa and orchardgrass) produced on the basis of nutrio-physiology of pasture crops.

The problem was divided into four parts and was studied:

1. The absorption and translocation of inorganic elements, and the variation of organic constituents in pasture crops depend on the stage of normal growth and regrowth after cutting.
2. The seed bed condition for germination and growth in the earlier stage of pasture crops, especially, the effectiveness of the amount and concentration of fertilizer.
3. The relationship between regrowth after cutting and cutting treatment for pasture crops.
4. The response of pasture crops to fertilization for three years, on climatic condition in Hokkaido.

1. The Absorption and Translocation of Inorganic Elements, and Variation of Organic Constituents in Pasture Crops depend on the Stage of Normal Growth and Regrowth after Cutting.

On the normal growth and regrowth of pasture crops after cutting, the rate of production of dry matter, the rate and amount of absorption of mineral nutrients and organic constituents are investigated in all stages. As a result of the investigation, the growth pattern was divided into two parts: the stage of pasture establishment and the stage of pasture maintenance.

This is summarized as follows:

As shown in this table, the rate of production of dry matter, total digestible nutrient and absorption of mineral nutrient were much slower at the stage of pasture establishment than at the stage of pasture maintenance.

2. The Seed Bed Condition for the Germination and Growth in earlier Stage of Pasture Crops, Especially Effectiveness of Amount and Concentration of Fertilizer.

The effectiveness of fertilizer concentration on germination and the establishment of pasture

## Comparison of Every Rate at the Stage of Pasture Establishment and Maintenance

## A. Alfalfa

	At the stage of pasture establishment (Peak of every rate)			At the stage of pasture maintenance (Peak of every rate)		
	days after germination	stage in growth	rate	days after cutting	stage in regrowth	rate
The rate of dry matter production (kg/day/ha)	88	late bloom stage	74.2	15	autonomic regeneration stage	111.0
The rate of nitrogen uptake by plant	73	middle bloom stage	2.3	15	"	4.3
The rate of potassium uptake by plant	73	middle bloom stage	1.7	15	"	4.2
The rate of T.D.N. Production	88	late bloom stage	36.4	15	"	57.0
The rate of true protein production	73	middle bloom stage	11.5	15	"	20.0

## B. Orchardgrass

The rate of dry matter production (kg/day/ha)	81	leafblade early refracting stage	42.7	30	replated stage	101.0
The rate of nitrogen uptake by plant	81	"	1.1	30	"	3.2
The rate of potassium uptake by plant	81	"	2.0	30	"	5.0
The rate of T.D.N. Production	137	leaf-yellowish stage	22.5	30	"	49.6
The rate of true protein production	8	leafblade early refracting stage	4.8	30	"	17.1

crops were studied in field conditions using alfalfa and orchardgrass.

The use of nitrogen fertilizer (ammonium sulfate and urea) over 300 kg per hectare as N retarded growth on establishment of pasture crops, but phosphorous was very effective to 700kg per hectare as  $P_2O_5$  for alfalfa and 400 kg per hectare for orchardgrass, and potassium sulfate 300 kg per hectare as  $K_2O$  for both plants.

From this practice, it was evident that overuse of nitrogen fertilizer retarded growth of pasture crops, namely the higher concentration of ammonium ion in the soil solution.

The effectiveness of the phosphorous for pasture was apparent by Chang and Jackson's

fractionation method for phosphorous in soils.

Upon investigation the author found that a great portion of phosphorous used in fields was of the Al-P type, however, active aluminum in the soil decreased owing to the increase of the amount of phosphorous used. Therefore, the effectiveness of the phosphorous was due to the increase in absorption of phosphorous by plants.

Accordingly effective fertilization of the phosphorous at the stage of establishment of pasture crops should be applied in a thin layer to the soil below 10 mg ( $P_2O_5$ ) per 100 g dry soil as available phosphorous, and in depth layer for the soil above 10 mg ( $P_2O_5$ ) per 100 g dry soil. Also, factors effected for pasture establishment were soil moisture, pH-value and compactedness of soil. For soil moisture, pF value 1-2 were best condition. When enough phosphorous was used in the seed bed, the yield from the 4.5 pH value seed bed was 70 % of the yield from the 6.5 pH value seed bed. And then, the compactedness of the soil was good condition from  $19.6 \times 10^4/cm^2$  dyne to  $49.0 \times 10^4/cm^2$  dyne ( $200-500 g/cm^2$ ).

### 3. The Relationship between Regrowth after Cutting and Cutting Treatment for Pasture Crops.

Pasture crops were cutting or grazing for utilization, but the cutting treatment or grazing for a time decreased the content of dry matter in pasture plants, especially in root parts, this decreasing was according to decrease of total carbohydrate for both plants.

On the other hand, repeated cutting at different stages (elongation, autonomic-regeneration (bud) and early bloom stages) decreased the rate of assimilation in dry matter production. That is, for three stages of top, the ratio of dry matter production were 10, 0.125 and 200 at the three stages, respectively, also, this result was similar to the root.

The rate of absorption of nutrient (N,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$  and CaO) in regrowth after cutting was moderate in the earlier stages and reached their highest absorption peak at the changing stage for alfalfa and from the autonomic-regeneration stage to the elongate stage for orchardgrass.

In the later regeneration stage, the rate of absorption becomes moderate again. Also, this fact, detected by  $^{32}P$ ,  $^{45}Ca$ .

And then the carbon that constituted pasture plants was investigated by  $^{14}C$ .

### 4. The Response of Pasture Crops to Fertilization for Three Years, on Climatic Conditions in Hokkaido.

Effectiveness of fertilizer at stage of maintenance of pasture crops was studied in field conditions using alfalfa and orchardgrass. Amounts of fertilizer applied as base fertilizer were divided in eight grades from non-fertilizer to 700 kg as N,  $P_2O_5$  and  $K_2O$  per hectare, respectively, and additional fertilizer was applied in early spring and at every cutting time,  $\frac{1}{3}$  amount of base fertilizer for nitrogen,  $\frac{1}{5}$  for phosphorous and for  $\frac{1}{2}$  potassium.

The result of the experiment, the rate of assimilation of dry matter production was maximum in non-nitrogen application for alfalfa and 300 kg/ha base fertilizer for orchardgrass.

Income for yield of dry matter correspond to cost of nitrogen fertilizer applied found not

for alfalfa, were obtained with 300 kg/ha base fertilizer for orchardgrass.

The response of fertilization to pasture crop is summarized as follows:

Fertilization Methods for Alfalfa and Orchardgrass

Stage of Growth	Purpose of cultivation	Element of Nutrients	Kind of Pasture Crops		Alfalfa		Orchardgrass	
			Fertilization Methods	Cultivated year	Band system	Broad-cast system	Band system	Broad-cast system
At the stage of pasture establishment	establishment of stand	N P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> K <sub>2</sub> O	1st year		100*1 (145)*2		100 (145)	
					233 (27)		133 (20)	
					100 (100)		100 (100)	
At the stage of pasture maintenance	for maximum rate of dry matter production	N	2nd year		(100*3)		(300)	
			3rd year		0	(300)		
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2 "		(400*4)		(400)	
			3 "		200	(200)		
		K <sub>2</sub> O	2 "		(100*5)		(300)	
			3 "		100	(200)		
	for maximum efficiency in dry matter production	N	2nd year		(0)		(300)	
			3rd year		0	(300)		
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2 "		(0)		(400)	
			3 "		0	(200)		
		K <sub>2</sub> O	2 "		(0)		(300)	
			3 "		0	(200)		
for maintenance of soil fertility	N	2nd year		?		?		
		3rd year		?(0)	?(100-200)			
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2 "		(100)		(200)		
		3 "		200	(200)			
K <sub>2</sub> O	2 "		(100)		(200)			
	3 "		100	(200)				
for maintenance of balance sheet of fertilizer applied and uptake nutrient by plant	N	2nd year		(100-200)		(100-200)		
		3rd year		(100-200)		(100-200)		
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2 "		(0-100)		(0-100)		
		3 "		(0-100)		(0-100)		
	K <sub>2</sub> O	2 "		(100-200)		(200-300)		
		3 "		(100-200)		(200-300)		

\* 1 kg/ha base fertilizer

\* 2 Concentration of soil solution (ppm)

\* 3 Nitrogen fertilizer was applied amount of 1/3 of base fertilizer at every cutting time and early spring.

\* 4 Phosphorous fertilizer was applied amount of 1/5 of base fertilizer at every cutting time and early spring.

\* 5 Potassium fertilizer was applied amount of 1/2 of base fertilizer at every cutting time and early spring.