

第I章 緒 言

第1節 背景および目的

わが国において、乳牛の飼料を牧草に依存する草地酪農が本格的に営まれるようになったのは、ごく新しく、わが国初の機械開墾が行われ、1956年から入植が開始された北海道根釧地方のパイロットファーム地区をその端緒とすることができる。技術的な面でも、根釧パイロットファームの発足を契機に、牧草の施肥管理に関する研究が開始され¹⁰⁾、牧草の養分吸収にみあう施肥の必要性が強調された。さらに、牧草サイレージを主体とする乳牛の飼養法が確立し⁹⁵⁾、これらの技術が今日の草地酪農発展の基礎を形成した。

もともと根釧地方がわが国の草地酪農の端緒となったのは、この地方の劣悪な気象条件に起因している。すなわち第1表に示したように、道内の他の地域に比較し春の気温上昇が遅いため、農作物の初期生育が遅延し、夏期には日照が少なく冷涼で降水量が多い。秋の気温低下が早く、10月上旬には初霜がある。冬期は寡雪で気温の低下が著

しく、土壌が凍結する。したがって、水稻はもちろんのこと一般畑作物、果樹、そ菜などの栽培がこの地方でも試みられたが、いずれも栽培困難との結論が出された²²⁾。そして、このような寒冷・寡照という気象条件で比較的安定した生産を期待できる牧草が、主幹作物として認識され、これを利用して草地酪農へと転換していったのである。

草地酪農においては、良質の自給飼料を乳牛に十分給与して個体乳量を上げるほうが、経営外から購入する濃厚飼料の多給に依存するよりも収益性の高い経営ができる^{2, 61)}。しかし、根釧地方の過去10数年間における草地の牧草収量は、停滞したままである。これまで恵まれた土地資源を利用し、草地面積の拡大によって乳牛飼養頭数の増加に必要な自給飼料が生産されてきたが、最近はそれも容易でなくなってきた。したがって草地の牧草生産力を高めることが、良質自給飼料の必要量確保のために不可欠となってきている。しかも牧草生産費を可能なかぎり低く維持したほうが、経営的に有利であることから、草地の肥培管理の

第1表 根釧地方の気象

		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
平均気温 (°C)	根釧地方 (中標津)	-8.5	-8.3	-3.6	3.6	9.3	12.4	16.4	18.4	15.1	10.3	2.3	-3.8
	道央地方 (札幌)	-4.9	-4.2	-0.4	6.2	12.0	15.9	20.2	21.3	16.9	10.6	4.0	-1.6
	十勝地方 (帯広)	-8.5	-7.4	-2.2	5.1	10.9	14.5	18.4	19.6	15.5	9.1	2.2	-4.4
降水量 (mm)	根釧地方 (中標津)	58	54	75	84	126	122	104	137	172	140	83	53
	道央地方 (札幌)	114	92	78	65	59	76	80	131	142	115	104	101
	十勝地方 (帯広)	48	45	58	58	81	102	97	128	126	99	67	44
日照時間 (時間)	根釧地方 (中標津)	158	174	200	189	177	148	122	127	141	155	150	151
	道央地方 (札幌)	106	124	168	198	221	205	194	184	184	167	115	96
	十勝地方 (帯広)	177	186	222	214	214	167	141	137	159	182	170	163
		晩 霜	初 霜	無霜期間	根 雪 始	融 雪 期	最深積雪	土壌凍結深度					
根釧地方 (中標津)		5月26日	10月4日	130日	12月20日	4月9日	71cm	33cm					
道央地方 (札幌)		5月3日	10月10日	159日	11月29日	3月30日	102cm	-					
十勝地方 (帯広)		5月16日	10月4日	140日	12月9日	3月19日	69cm	-					

(1951年～1980年の30カ年平均)

面では施肥量の増加によるよりも、牧草に対する施肥効率を高めて、牧草収量を向上させる技術の確立が要請されている。そのためには、わが国の水稲で行われた例でも明らかなように、対象とする牧草の栄養生理的特性を明らかにすることが重要である。

主要な北方型イネ科牧草のうちオーチャードグラスは、根釧地方のような寡雪で土壤が凍結する地帯では、冬期における凍害⁷⁰⁾や雪腐大粒菌核病^{1, 72, 87)}などの被害を受けて冬枯れ⁷¹⁾が多発する。そのため、当地方においてオーチャードグラスを永続的に安定栽培することは困難である。これに対し、チモシーは耐凍性に優れ、冬枯れの被害を受けることが稀である⁷⁰⁾。このようなことから、根釧地方の草地ではチモシーが基幹イネ科牧草の地位を占めている³⁹⁾。

チモシーは、オーチャードグラスに比較して低収で、しかも再生力が劣るため多回利用されると衰退する特性をもっている⁹⁹⁾。そのためチモシーが基幹牧草となる地域は、わが国では北海道東部の根釧地方が中心で、海外でもアメリカ合衆国の北部地方および東部カナダさらにソビエト連邦北部といった、寒冷・寡照地域が多く、オーチャードグラスに比較すると限定されている。栽培される地域が広汎でないことから、チモシーが研究対象となることはオーチャードグラスより少なく、チモシーの栄養生理的特性を検討した研究も多くはない。

それゆえ、これまであまり検討されていないチモシーの栄養生理、とりわけ施肥やチモシーの養分吸収が、収量構成要素である分けつ茎数や1茎重などに及ぼす影響を明確にすることが、チモシー草地に対する施肥の効率を高めるために重要である。

また、一般に草地は、イネ科牧草とマメ科牧草が混播され、両者が混在して生育する。この両草種は温度¹⁹⁾、光¹⁹⁾、土壤水分¹⁵⁾などとともに施肥成分^{8, 34)}に対する反応が大きく異なる。とくに混播草地における窒素の多肥は、イネ科牧草の生育を助長し、相対的にマメ科牧草の生育を抑制する^{12, 19)}。したがって、チモシーの収量構成要

素を効率よく増大させて増収をもたらすための窒素施肥法を、そのまま混播草地に適用しがたい。さらに施肥成分は、土壤を通じて牧草に供給されるため、施肥成分が効率よく牧草に吸収されるためには、土壤の理化学的性質を無視できない。土壤の理化学的性質の差異が、草地の窒素施肥法にいかなる影響を及ぼすかも検討する必要がある。

以上のことから、本研究では、まず第一に根釧地方の基幹牧草であるチモシーの栄養生理的特性を、この牧草の生育に強く影響を及ぼす、窒素の施肥時期および施肥量との関連から検討した。ついで、理化学的性質の異なる火山性土で造成された混播草地において、効率よく収量を高める窒素施肥時期、施肥量を明らかにし、チモシー単播草地で得られた結果との差異を論じた。そしてそれらの結果に基づき、チモシーを基幹とする草地の窒素施肥法を確立しようとした。

第2節 既往の研究

牧草の栄養生理的特性および草地土壌の特徴と施肥法を関連づけた研究として北岸³⁴⁾、早川¹³⁾さらに原田⁸⁾らの先駆的な報告がある。原田⁸⁾は、イネ科牧草からオーチャードグラス、マメ科牧草からアルファルファを選び、これらの生育と養分吸収の両過程を詳細に検討し、それに基づく合理的施肥法を明らかにした。根釧地方の基幹牧草であるチモシーについて同様の調査が、林¹⁴⁾および脇本ら⁹⁸⁾によって報告されている。

草地は、通常イネ科牧草とマメ科牧草が混播されるが、牧草生産の面で主体となるのはイネ科牧草である¹⁰⁰⁾。また牧草生産は、茎葉の刈取りあるいは家畜の採食と、その後の再生のくりかえしによって成立する。牧草、とりわけ草地で主体となるイネ科牧草の再生は、刈取り利用時に存在した分けつの再生長や、刈取り後に新しく発生する分けつの生長に依存している。それゆえ、牧草生産と分けつ発生の季節的消長とは密接な関係がある^{29, 42)}。チモシーを対象にした分けつ発生の消長については、LANGERによる一連の研究⁴⁴⁻⁵¹⁾およびLAMBERT⁴³⁾の報告がある。またSHEARD⁹¹⁾は、

チモシー特有の球茎および分げつの発生過程を詳細に調査している。わが国での同様の調査は、チモシーについて脇本ら⁹⁸⁾によって実施されており、オーチャードグラスを対象にした報告も多い^{23, 28, 56, 96)}。これらの研究では、試験地の気象条件などによって影響されるものの、両草種とも春と秋に、分げつ発生の著しいことが認められている。春は1茎重の増大を伴う出穂茎の伸長が、収量を構成する主要因であり、夏は栄養茎の茎数増加が、さらに秋には、分げつの伸長と茎数の増加が、それぞれ収量に寄与するとされている³¹⁾。熊井⁴²⁾は、分げつ発生の消長と発生した分げつ別に収量への貢献度を、オーチャードグラスを用いて検討した。チモシーを用いた同様の検討は、脇本⁹⁷⁾、吉沢ら^{101, 102)}によって行われている。

イネ科牧草の分げつ発生は、日長および生長ホルモン^{40, 42)}、刈取時期⁷⁵⁾、刈取りの高さ^{40, 75)}、刈取回数²⁶⁾、光量^{5, 66)}、温度^{52, 66)}、刈取り時の養分貯蔵器官である刈株および根の炭水化物³⁶⁾や窒素^{41, 85)}の含有量、さらに刈取り後の養分供給条件⁷⁾、追肥の有無⁵³⁾、刈取り後に再生可能な分げつ数^{54, 68)}、および刈取り時に生長点が切除される分げつ茎の割合⁸⁹⁾などによって影響され、これらの要因の相互作用によって、分げつ発生の季節的消長が規制される。このうち、分げつ発生に関与する施肥成分として、とくに窒素が重要であると指摘されている⁵¹⁾。そのため、施肥と分げ

つ発生の消長は窒素を中心に検討されており、窒素多肥条件で分げつ発生が助長される^{43, 48, 49, 55, 88)}が、著しい多肥では抑制されることもある²⁶⁾。

坂本⁸⁶⁾は、窒素施肥と分げつ発生の消長および収量との関係を、主として秋から翌春の1番草にかけて検討し、平島¹⁹⁾や近藤³⁸⁾も前年秋の窒素施肥が翌春の再生茎数に及ぼす影響を、オーチャードグラスを用いて解析した。また吉沢ら¹⁰³⁾は、チモシー草地で秋施肥と分げつ発生の関連を報告している。秋の窒素施肥が、分げつ発生や翌春の収量に及ぼす影響は、草種によって異なり^{18, 38, 83, 85, 103)}、さらに秋の施肥時期によっても、施肥後における分げつ発生の様相および収量が変化する^{18, 38, 83)}。また秋施肥と春施肥とでは、分げつ茎数と1茎重に及ぼす効果に差異のあることが指摘されている^{84, 103)}。春の施肥時期と1番草の分げつ発生や収量との関連は、オーチャードグラスを用いた坂本ら⁸⁵⁾の報告があるが、チモシーについて検討した例は見当たらない。さらにこれらの研究では、分げつ発生と牧草の養分吸収との関係が、十分に解析されていない。2番草以降における再生草の全生育期間について、分げつ発生と施肥との関連を論じた報告は少なく⁷⁾、刈取り前後の施肥時期が、再生草の生育や飼料価値^{24, 93)}および養分吸収²⁵⁾に及ぼす影響が検討されている程度で、しかもチモシーを対象にした研究はほとんどない。

第二章 供試草地および試験方法

第1節 供試草地と収穫時の刈取り高さ

本研究の大部分は、北海道標津郡中標津町の北海道立根釧農業試験場で実施した。試験は、造成後3～5年目のチモシー単播またはチモシー、アカクローバ、ラジノクローバ混播草地で行った。播種は散播を原則としたが、単播の場合は試験目的により条播（畦幅50cm、播幅10cm）とするこゝもあった。播種量はチモシー単播では20kg/ha、混播の場合はha当たり、チモシー15kg、アカクローバ5kg、ラジノクローバ2kgである。供試品種はチモシーがセンボク、アカクローバがサッポロ、ラジノクローバはカリフォルニアで、これらはいずれも根釧地方の奨励品種である。

目的に応じて試験を農家の圃場で実施した。この試験で供試した草地は、造成後3～5年目の混播草地でイネ科牧草ではチモシーが大部分を占め、その他にメドウフェスク、オーチャードグラスがわずかに存在し、マメ科牧草ではラジノクローバとシロクローバが主であった。

収穫時の刈取り高さは約5cmである。チモシーの養分貯蔵器官は、根ぎわより数cmの部位であり、チモシー特有の球茎（または鱗茎ともいう）^{91, 97)}と分げつの茎基部で構成される。本研究では、この根ぎわから約5cmまでの茎基部を刈株と呼ぶ。収穫後の牧草は70℃で48時間以上通風乾燥した後、乾物重を測定、粉碎し分析に供した。

第2節 分げつの種類

イネ科牧草の分げつは、研究目的により生殖生長の有無^{42, 84, 85)}、発生時期^{28, 42, 75, 86)}、着生部位^{91, 97, 101)}などによって分類されている。

本研究ではチモシーの分げつを、その生長段階によって2種類に区分した。すなわち、分げつ茎

数の調査時点で穂ばらみもしくは出穂している分げつ茎を有穂茎とし、それ以外は伸長茎とした。また特に1番草刈取り後の分げつについては、その発生時期から2種類に分類し、刈取り前に発生して刈取り時点においても生長点が切除されずに、次の刈取り時まで生長する分げつを既存分げつと呼び、刈取り後に新しく発生した分げつを新分げつと呼ぶこととした。

第3節 試験方法

(1) 水耕栽培法

早春の草地よりチモシーを採取し、根部を十分に洗浄して枯葉および小分げつ芽を除去して1個体1茎とし、生育のそろった草丈約8cm、葉数4枚程度のものを用いた。これらを3ℓ容ポットに12個体移植し、水道水だけで数日間生育させた後、間引いてポット当たり10個体とした。

培養液は、第2表に示した基本培養液組成で、水道水を用いて調製した。培養液には通気を行い、

第2表 基本培養液組成

要素	濃度(ppm)	供試化合物
N	40	NH ₄ NO ₃
P	20	NaH ₂ PO ₄ · 2H ₂ O
K	40	KCl
Ca	20	CaCl ₂ · 2H ₂ O
Mg	20	MgSO ₄ · 7H ₂ O
Na	5	NaCl
Cu	1	CuSO ₄ · 5H ₂ O
Zn	1	ZnSO ₄ · 7H ₂ O
B	1	H ₃ BO ₃
Mo	1	Na ₂ MoO ₄ · 2H ₂ O
Mn	1	MnSO ₄ · 4H ₂ O
Fe	5	EDTA-Fe

pHは6.5になるように、1 N塩酸または1 N水酸化ナトリウム溶液を用いて調節した。培養液の交換は2～3日に1回とした。栽培は原則として昼間は網室内で、夜間はガラス室内で行った。

収穫時には茎数を調査し、その後根、刈株、茎および葉の各部位にわけて採取した。処理はすべて3反復で行った。

(2) 圃場試験

3反復の乱塊法で行った。1区面積は、9 m² (3 m × 3 m) を標準とした。施肥処理に用いた肥料は、とくに記述しないかぎり、硫酸アンモニウム、過リン酸石灰および塩化カリウムである。施肥量の詳細は、実験方法の項で述べる。

第4節 牧草および土壌の分析方法

(1) 牧草分析法

牧草体の全窒素は、ケルダール法または水野・南法⁶⁷⁾ によって分解した後、水蒸気蒸留によって定量した。窒素以外の成分は湿式分解後、リンはバナドモリブデン酸法、カリは炎光法によった。刈株および根の全有効態炭水化物 (Total available carbohydrate, 以下、TACと略) は、SMITHら⁹²⁾ の方法に準じ0.2N硫酸で加水分解し、ソモジ・ネルソン法で定量した。

(2) 土壌分析法

pH(H₂O) はガラス電極法、全炭素および腐植はチュウリン法、全窒素はサリチル硫酸法、リン酸吸収係数は2.5%リン酸アンモニウム液 (pH7.0) を用いる常法、塩基交換容量はショウレンベルガー法により、いずれも風乾細土を用いて分析した。

無機態窒素は、原土または風乾細土を供試し10%塩化カリウム溶液で抽出後、コンウェイの微量拡散法で定量したが、場合によっては、アンモニア態窒素をフェノール法⁶⁹⁾ で、硝酸態窒素を安藤ら⁴⁾ の方法により定量した。熱水抽出法は、赤塚ら³⁾ の方法によった。また、無機化窒素量は原土または風乾細土を用い、供試土壌の最大含水量の60%の水分条件、30℃、4週間保温静置した後、上記の方法で無機態窒素を定量し、保温静置前のそれを差し引いて求めた。有効態リンはブレイNo.2法により、交換性塩基は1 N酢酸アンモニウム溶液 (pH7.0) で抽出後、カリとナトリウムは炎光法で、カルシウムとマグネシウムは原子吸光法によった。

土壌の粒径組成はピペット法で、定水位の飽和透水係数は100ml容の採土管によって採取した乱さない土壌試料を供試し、常法により測定した。pF-水分曲線は同様の試料で、pF 0から1.8までは土柱法で、pF1.8から4.2までは遠心法によった。

第Ⅲ章 チモシーの栄養生理的特性とそれに基づく窒素施肥法

第1節 チモシーの生育過程

牧草の生育経過を検討した研究は、オーチャードグラスを中心に多い(8, 14, 42, 76, 82, 98)。根釧地方でも数種のイネ科牧草を対象に脇本ら⁹⁸⁾が実施している。しかしそこで取扱われた牧草は、圃場に埋設された無底ポットで栽培されたイネ科牧草であり、圃場条件での検討は、これまで行われていない。

そこで、チモシーの生育に伴う乾物重の推移、分けつ茎数の消長さらに窒素(N)、リン(P)、カリ(K)の吸収経過の概要について実際の草場で調査した結果を述べ、チモシーの生育特性を明らかにする。

実験方法および結果

実験方法

1979年に造成したチモシー条播草地を供試し、1980年に実験を実施した。本圃場の土壌は、北海道農牧地土壌分類第2次案²¹⁾によると、黑色火山性土に分類され、実験開始時における土壌のおもな化学的性質は第3表のとおりである。

チモシーの生育および養分吸収過程を調査するため、土壌の凍結が融解し、チモシーの萌芽が始まった5月2日よりほぼ10~14日間隔で、立毛状態のまま全茎数を計測してから刈取り、刈取ったチモシーの乾物重を測定(これを茎葉重とよぶ)、粉碎して分析に供した。茎葉重を全茎数で除して

第3表 供試草地土壌(0~10cm)のおもな化学的性質

pH (H ₂ O)	T-C (%)	T-N (%)	CEC (me/100g)	リン酸吸収係数
6.3	6.0	0.46	27.5	1710

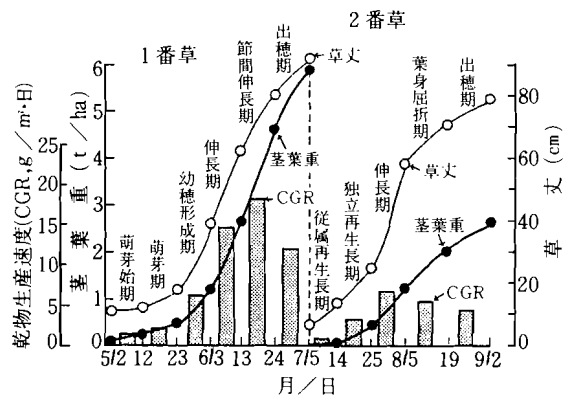
平均1茎重を求めた。以下で単に1茎重とよぶ場合は、この平均1茎重のことである。1、2番草の収穫は、穂揃期となった7月5日および9月2日に実施した。この収穫時にのみ、全茎数の計測を有穂茎と伸長茎に分けて調査し、刈取り後も各分けつごとに茎葉重を測定した。これを各分けつ茎数で除して有穂茎および伸長茎の1茎重を求めた。調査した畦の長さは30cmで6反復とした。なお、調査開始から5月下旬まで随時、チモシーの茎をカッターナイフで縦断し、幼穂が形成される時期を観察した。

早春の施肥は、当地方の慣行にしたがい5月12日の上記調査終了後、N、P₂O₅、K₂Oとしてそれぞれha当たり80kg、40kg、120kg施用した。1番草刈取り後は、従来から推奨されている刈取り直後にN、P₂O₅、K₂Oとしてそれぞれha当たり60kg、40kg、80kgを施用した。

実験結果

(1) 生育経過

チモシーの生育過程を、茎葉重とその1日当たりの増加量(乾物生産速度、CGRと略す)および草丈の推移で示したものが第1図である。越冬



第1図 チモシーの生育経過

後のチモシーの萌芽再生は4月下旬より始まる。この時期は、凍結した土壌が完全には融解していない。そのためチモシーの生育は極めて緩慢である。この傾向は、凍結した土壌が完全に融解し、気温が上昇する5月上旬まで続く。その後5月中旬になって、萌芽再生が旺盛となる。しかし、草丈の伸長および茎葉重の増加は、比較的少ない。5月下旬になると、幼穂が形成される。この時期から草丈および茎葉重の増加が、明らかとなってくる。さらに6月上旬には、草丈の伸長が著しい。6月中旬からチモシーは節間伸長し、草丈とともに茎葉重の増加が最も大きい時期となる。この時期のCGRは $18.1 \text{ g} / \text{m}^2 \cdot \text{日}$ で、この値はオーチャードグラスで得られたもの^{8), 84)}より大きい。この後6月下旬にチモシーは出穂し、草丈や茎葉重の増加は節間伸長する時期よりやや衰える。この時点で1番草が収穫される。

1番草刈取り後の10日間程度は、刈取残部の刈株と根の貯蔵養分に依存して再生する時期で⁸⁾、茎葉重の増加は極めてわずかである。この時期のチモシーのCGRは、オーチャードグラスのCGR⁸⁾の1/5程度にすぎない。刈取り後のチモシーの初期再生が、著しく劣っていることが理解できる。この期間を過ぎると、草丈および茎葉重の増加が明らかとなってくる。7月下旬から8月上旬にかけての時期には、草丈の伸長が著しく、2番草での最大CGR ($7.0 \text{ g} / \text{m}^2 \cdot \text{日}$)を示す。さらに8月中旬になると、ほとんどの葉身が屈折するとともに、一部の分けつは節間伸長し、8月下旬になって出穂する。この8月下旬における草丈や茎葉重の増加は、それまでよりやや鈍化する。この時点で2番草が収穫される。2番草チモシーのCGRは1番草時のCGRに比較すると概して低く、刈取り後の生育日数が同等ならオーチャードグラスの2番草時のCGR⁸⁾を上回することは少ない。

以上のチモシーの生育経過から、本研究では1番草チモシーの生育期を萌芽始期、萌芽期、幼穂形成期、伸長期、節間伸長期、出穂期の6生育期に区分した(第1図)。また2番草では、従属再生期、独立再生期、伸長期、葉身屈折期、出

穂期の5生育期とした。

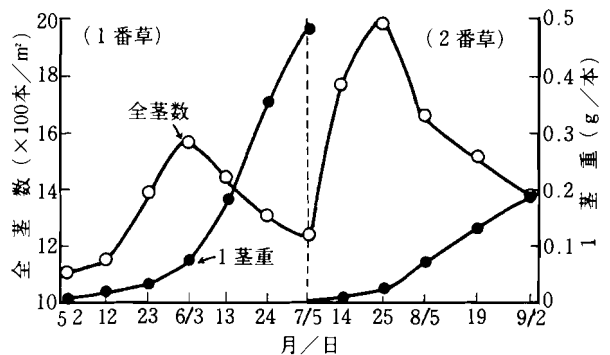
(2) 茎数および1茎重の推移

1、2番草における茎数は、第2図のような推移を示した。まず1番草では、萌芽後分けつ発生が旺盛となり、幼穂形成期まで茎数の増加が続いた。その後、草丈の伸長が著しく茎葉が繁茂するに伴い、茎数は減少した。2番草では、独立再生長期まで茎数が急激に増加した。しかし伸長期以降になると、草丈の伸長と茎葉の繁茂に伴い、茎数の減少も大きい。このような茎数の推移は、これまで報告されている多くの例^{23, 28, 31, 42, 43, 44, 56, 74, 96, 97)}とよく一致している。

1茎重の推移(第2図)は、茎葉重の推移(第1図)と類似している。茎数と異なり、1茎重は1、2番草を通じて減少することがない。1番草では節間伸長期における1茎重の増加が最も大きく、2番草では伸長期以降ほぼ一定の割合で1茎重が増加している。

(3) 1番草および2番草収穫時の茎葉重と分けつ構成

1番草収穫時における分けつ構成をみると(第4表)、有穂茎数は全茎数の41%であった。しかし有穂茎の茎葉重は、1番草収穫時の茎葉重(これをとくに、1番草収量とよぶ)の83%を占めた。有穂茎の1茎重は、伸長茎の1茎重の7倍にも達していた。これに対し、2番草の有穂茎数は全茎数のわずかに6%にすぎない。2番草の有穂茎の



第2図 茎数および1茎重の推移

第4表 1番草および2番草収穫時の分けつ構成と分けつ別乾物茎葉重

番草	分けつ構成(本/mi)			有穂茎率* (%)	茎葉重(t/ha)			1茎重(g/本)	
	有穂茎	伸長茎	合計		有穂茎	伸長茎	合計	有穂茎	伸長茎
1	500	740	1240	41	4.91(83)**	1.04	5.95	0.98	0.14
2	90	1300	1390	6	0.62(24)	2.00	2.62	0.69	0.15

* 全茎数に対する有穂茎数の割合 ** 各番草収量に対する有穂茎の茎葉重の割合(%)

1茎重は、伸長茎の1茎重の4.6倍と大きい。しかし2番草では有穂茎数が少ないため、有穂茎の茎葉重は2番草収穫時の茎葉重(これを2番草収量とよぶ)の24%であった。また1番草収量は、1番草と2番草の収量を合計した年間収量の69%であった。

したがって、チモシー草地の年間収量は1番草収量に大きく影響を受け、1番草収量は有穂茎の茎葉重に、2番草収量は伸長茎の茎葉重に、それぞれ依存していると指摘できる。

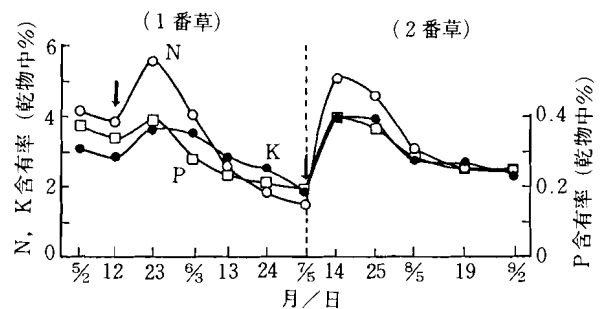
(4) チモシーの養分吸収経過

茎葉部のN、P、K含有率は施肥されると高まり、生育の経過とともに低下した(第3図)。この生育に伴う要素含有率の変化は、Nにおいて最も大きい。チモシーのN、P、K吸収量は、1番草および2番草のいずれも、生育の経過とともに増加した(第4図)。P吸収量はN、Kに比較すると著しく少ない。1番草と2番草の収穫によって、この圃場から持ち出される年間のN、P、Kの量は、ha当たりそれぞれ147kg、18kg、172kgであった。このうち、Nは61%が、PとKは64%が1番草の収穫によって持ち出される。

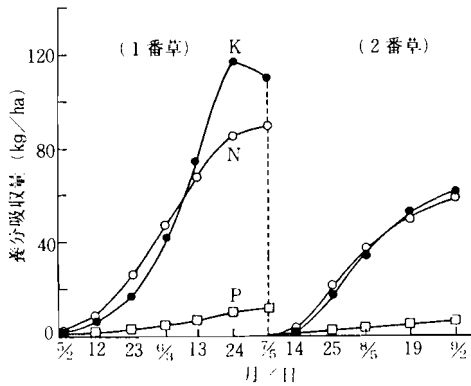
この養分吸収の経過を各生育期における1日当たりの増加量(これを吸収速度とよぶ)で検討すると(第5図)、1番草におけるチモシーのN吸収速度は萌芽始期に低いものの、萌芽期から伸長期まで上昇し、節間伸長期から再び低下した。P吸収速度は、全般にN、Kより低く推移したが、萌芽始期から節間伸長期まで高まり、出穂期に低下する傾向にあった。またKの吸収速度は1番草期間内で大きく変化し、萌芽始期から節間伸長期

まで著しい上昇を示し、出穂期において急激に低下した。分けつ発生との関連でみると、茎数が増加する1番草の生育初期は、分けつ発生に大きな影響を及ぼすN^{48, 49, 51}の吸収速度が他の要素吸収速度を上回っていた。また茎数が減少する時期には、N吸収速度も低下している。

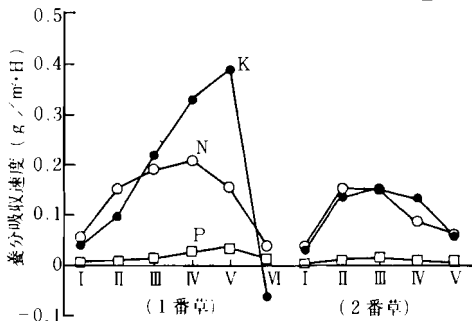
2番草チモシーの従属再生長期におけるN、P、K吸収速度は、施肥直後にもかかわらず最も低く、オーチャードグラスのこの時期のN、P、K吸収速度⁸⁾の1/3から1/5にすぎない。この期間のチモシーの養分吸収が劣っていることが示唆される。その後、N吸収速度は独立再生長期に高まり、それ以降に低下した。このN吸収速度の推移は、1番草と同様、2番草における分けつ茎数の消長と対応している。P吸収速度は2番草を通じて低く推移し、Kの吸収速度はNと類似したものであった。



第3図 茎葉部のN、P、K含有率
(↓:施肥を示す)



第4図 チモシーの養分吸収経過



第5図 各生育期*におけるチモシーの養分吸収速度**

- * 1番草, I: 萌芽始期, II: 萌芽期, III: 幼穂形成期, IV: 伸長期, V: 節間伸長期, VI: 出穂期
- 2番草, I: 従属再生長期, II: 独立再生長期, III: 伸長期, IV: 葉身屈折期, V: 出穂期

** 各生育期の養分吸収増加量を期間日数で除して求めた。

考 察

チモシーは、春から夏にかけての1番草生育期間に、旺盛な乾物生産と養分吸収を示す。これは、1番草を構成する分けつのうち有穂茎となる分けつが、低温・長日条件下におかれ出穂を伴う節間伸長を行い、高いCGRを示すことに起因すると考えられる。

一方、1番草刈取り後の従属再生長期におけるチモシーのCGRは著しく低く、十分な養分吸収が行われない。主要なイネ科牧草のうちでもチモシーは、1番草刈取りによって生長点が切除される分けつの割合が、著しく高い⁸⁹⁾。生長点が切除されると、その分けつからの再生は、新分けつの発生と伸長を待たねばならず⁸⁹⁾、それだけ再生が遅れる。このようなことが、従属再生長期におけるチモシーの再生や養分吸収を、他のイネ科牧草

より劣ったものにした要因と考えられる。また同時に、1番草刈取りによって生長点の切除される分けつの割合が高いということは、2番草において既存分けつの割合を低下させ、新分けつが中心となることを意味する。この新分けつは、ほとんど有穂茎とならない¹⁰²⁾。そのため、2番草におけるチモシーは、1番草時のような高いCGRと旺盛な養分吸収を示さないであろう。

ところで、イネ科牧草の地上部は分けつによって構成されているので、分けつ茎数と分けつ1茎当たりの重量(1茎重)が収量構成要素と考えられる。本実験結果によると、チモシー草地の1番草収量は、それ自身の1茎重が極めて大きい有穂茎に依存している。そのため、有穂茎となる分けつの茎数を多数確保することが、増収のための要点となる。一方、2番草収量は伸長茎に規制されている。伸長茎の1茎重は、有穂茎に比較して小さいため、茎数のみならず1茎重をも増大させることが、2番草収量を高めるために重要となる。茎数は分けつの発生量と、1茎重は発生した分けつの伸長期間と、それぞれ密接な関係にある。それゆえ、分けつ発生の時期と量が、収量構成要素に大きな影響を及ぼす。

イネ科牧草の分けつ発生に関与する施肥成分は、N^{43, 48, 49, 51, 55, 88)}とP^{30, 58, 59)}が重要で、Kは分けつ発生にほとんど関与しない^{58, 59)}。本実験でも分けつ発生の消長とチモシーのN吸収速度とは、よく対応していた。分けつ発生に影響する気象要因(日長⁴²⁾、温度^{52, 66)}、光量^{5, 66)}などを人為的に制御することは、困難な場合が多い。しかし、Nの施肥時期や施肥量によってチモシーのN吸収を変化させ、分けつ発生の時期および量を調節できれば、上述した各番草の増収に結びつく収量構成要素を効率よく増大させて、増収をもたらしことも可能となろう。

したがって、チモシーが生育する過程で特定の時期に吸収された養分、とくにNを中心に、それがチモシーの分けつ発生や収量構成要素に対して、いかなる影響を及ぼすかを明確にすることが、チモシー草地に対する効率的な施肥法を確立するために重要と思われる。

第2節 窒素供給時期がチモシーの収量構成要素に及ぼす影響

本節では、水耕栽培条件で特定の時期にNを供給してチモシーのN吸収を制御し、チモシーが生育する過程で吸収したNが、分けつ発生や収量構成要素に及ぼす影響を、各番草ごとに明確にしようとした。とくに2番草については、刈取り前のN供給時期が異なると、刈取り後の再生に影響を及ぼす刈株や根の炭水化物量⁶⁾やN含有量^{41, 85)}、分けつ構成^{54, 68, 89)}などに差異が生じ、それに対応して、2番草の収量構成要素に及ぼす刈取り後のN供給時期の影響が、変化することも考えられる。したがって、2番草時のN供給時期が収量構成要素に及ぼす影響については、1番草のN供給条件が均一の場合と、それが異なる場合に分けて検討した。

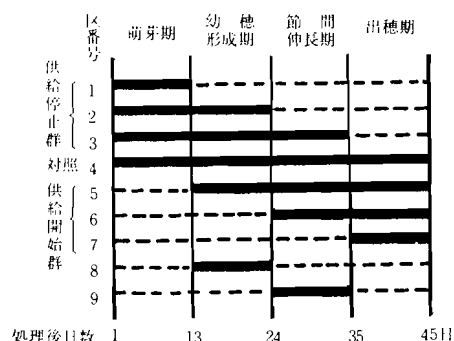
この種の研究は、これまでほとんど行われておらず、暖地型牧草のバヒアグラスを用いた江原ら⁷⁾の報告があるのみである。

実験方法および結果

実験1. 1番草時のN供給時期と収量構成要素の関係

実験方法

水耕栽培したチモシーの生育や生育相の展開は、前節の圃場条件下で認めたものより早い。そのため本実験では、チモシーの1番草生育期を主



第6図 実験設計* (1番草)

*実線はNの供給、破線は欠除を意味する。

N以外の要素は基本培養液組成に従い供給している。

茎の生育相に基づき、次の4期に分けた(第6図)。処理開始(1977年5月16日)より13日間を萌芽期とし、その後、幼穂が形成され節間伸長が明らかとなる時期までの11日間を幼穂形成期とした。さらに止葉が展開するまでの11日間を節間伸長期とし、その後出穂し穂揃期に達したところで刈取りを行った。この期間は10日間を出穂期とした。

それぞれの時期にNを供給あるいは欠除する9処理を、第6図のように設けた。1、2、3区は萌芽期から供給を開始し途中で供給を停止する処理で、これらを供給停止群とよぶ。5、6、7区は生育の途中から供給を開始する処理で、これらを供給開始群とする。1、8、9、7の各区は、この順に萌芽期、幼穂形成期、節間伸長期、出穂期にだけNが供給される区である。全期間Nが供給された4区(以下では、これを対照区とよぶ)については、各処理期終了時点で試料を採取した。

実験結果

(1) 生育および養分吸収の概要(対照区)

対照区では、処理後5日目ころから新根の発生が旺盛となり、地上部の伸長が始まった。萌芽期における乾物重や茎数の増加はわずかで(第7図)、N吸収速度も遅い(第8図)。幼穂形成期に入るとN吸収速度は増加し、刈取部(葉+茎)のN含有率は上昇して(第9図)、茎数の増加が著しく分けつ盛期となった。しかし乾物重の増加は、わずかであった。節間伸長期もひきつづきN吸収速度は増加したが、刈取部のN含有率は乾物重の増加が著しいため、むしろ低下した。また、この時期にも分けつが発生し、茎数の増加が認められたが、幼穂形成期の場合ほど多くはなかった。出穂期においてもさらに高いN吸収速度が認められた。しかし刈取部のN含有率は節間伸長期と同様に低下した。茎数の増加量は、節間伸長期の場合と同程度であった。

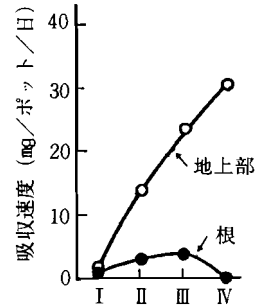
(2) 収穫時の乾物重、茎数および1茎重

第10図に収穫時の部位別の乾物重、全茎数および地上部(葉+茎+刈株)を全茎数で除して求めた平均1茎重(以下では単に1茎重とよぶ)を示

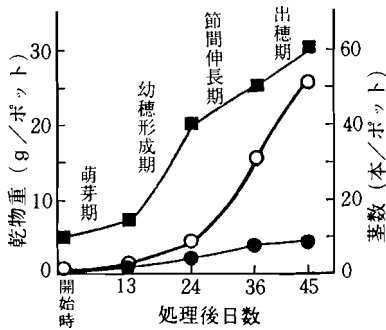
した。

牧草の収穫部位である刈取部（葉+茎）の乾物重についてみると、萌芽期から節間伸長期まで供給した3区が最高であった。この区の茎数は対照区より減少したが、1茎重が対照区をやや上回っており、これが刈取部乾物重を高めた要因である。幼穂形成期以降の3あるいは2期を欠除した1、2区および供給開始群の5、6、7区の刈取部乾物重はいずれも、対照区より有意に低下しており、とくに節間伸長期以降に供給を開始した6、7区の低下が著しい。1、2、5区では茎数の減少が、また6、7区は茎数に加えて1茎重の減少が、いずれも刈取部乾物重を対照区より低下させた要因である。

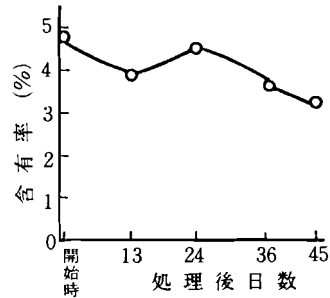
刈取残部（刈株+根）の乾物重については、萌芽期と幼穂形成期の両期に共通して供給されている2、3区と対照区とに大差はなく、幼穂形成期だけ供給の8区も前3者との間に有意差が認めら



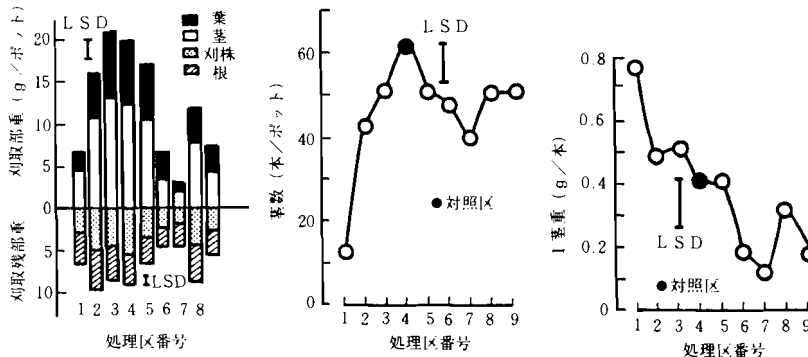
第8図 対照区における子モシ草のN吸収速度
I：萌芽期，II：幼穂形成期，III：節間伸長期
IV：出穂期



第7図 対照区における乾物重および茎数の推移
○—○：地上部重、●—●：根重、■—■：茎数



第9図 対照区における子モシ草の
刈取部N含有率の推移



第10図 各処理区の部位別乾物重, 茎数および1茎重(1番草収穫時)

れない。この他の各区は、対照区より明らかに減少していた。

各処理期間のうち萌芽期、幼穂形成期、節間伸長期および出穂期の各時期にのみNが供給された、それぞれ1、8、9、7区を比較すると、刈取部および刈取残部乾物重とも、幼穂形成期にだけ供給された8区が最高となり、ついで1区と9区はほぼ同程度で、出穂期だけ供給の7区が最低であった。1、9、7の各区の刈取部乾物重が8区より低下したのは、1区では茎数の減少、9区では1茎重の低下、さらに7区では茎数と1茎重の低下に起因している。

これらの結果から、1番草チモシーにおいて茎数の確保には、N供給期間が長く、その期間内に幼穂形成期と節間伸長期を含むことが重要であると考えられる。また、1茎重の確保には萌芽期から幼穂形成期までのN供給が重要な意味を持っている。

したがって1番草チモシーを、全生育期間Nが供給されたのと同等の刈取部乾物重に保つためには、収量構成要素からみて、萌芽期から節間伸長期までNを供給することによって、この期間のチモシーのN吸収を保証する必要があると指摘できる。

(3) 部位別N含有量

供給停止群の刈取部および刈取残部N含有量は、N供給期間が長いほど増加した(第5表)。供給開始群もこれと同じ傾向が認められた。供給

第5表 部位別N含有量 (mg/ポット)

区番号	刈取部	刈取残部
供給停止群 { 1	82	58
2	238	97
3	552	134
対照 4	651	204
供給開始群 { 5	565	156
6	251	124
7	119	93
8	168	84
9	209	97

停止群と開始群で供給期間のほぼ等しい処理区すなわち1区と7区、2区と6区、3区と5区を比較すると、各部位のN含有量はいずれも、供給開始群のほうが供給停止群を上回っていた。このことは、生育後期ほどチモシーのN吸収速度が速いことを示唆している。また1期だけ供給された各区を比較すると、節間伸長期に供給された9区のN含有量が最も多く、ついで幼穂形成期に供給された8区、出穂期に供給された7区と減少し、萌芽期に供給された1区のN含有量が最少であった。

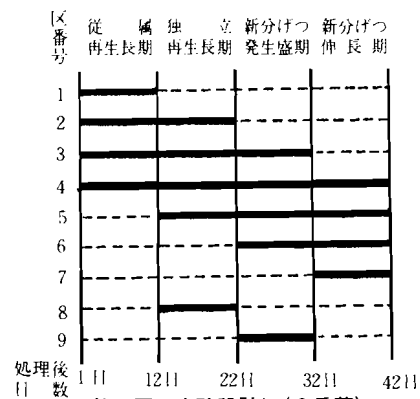
したがって生育後期のうちでも、節間伸長期のチモシーのN吸収が最も旺盛であることが理解できる。

実験2. 2番草時のN供給時期と収量構成要素の関係

実験方法

実験1と同時期に、1番草の全期間にわたりNが供給された条件で生育したチモシーを1977年6月27日に刈取った。そして刈取残部である刈株と根だけになったチモシーを本実験に供試した。

2番草チモシーの生育期を次の4生育期に分けた(第11図)。すなわち、刈取り後の11日間とその次の10日間は、圃場条件の場合と同じく、それぞれ従属再生長期、独立再生長期とした。独立再生長期の後の10日間は、刈取り直後から再生していた既存分げつが出穂し、さらに新分げつの発生がきわめて旺盛となる時期で、この期間を新分け



第11図 実験設計* (2番草)

*図の表示法は、第6図と同じ。

つ発生盛期(以下、分けつ盛期と略)とした。分けつ盛期までに発生した新分けつは、分けつ盛期以降伸長し、また出穂していた既存分けつは開花し始めたので、この時点で2番草の刈取りを行った。この期間は11日間で、新分けつ伸長期とした。

それぞれの時期に、Nを供給あるいは欠除する9処理を実験1に準じ、第11図のように設けた。このうち1、8、9、7の各区は、この順に従属再生長期、独立再生長期、分けつ盛期、新分けつ伸長期にのみNが供給された区である。2番草の全期間Nが供給された4区(対照区)については、実験1と同様に、各処理期の終了時点で収穫し、試料を採取した。

実験結果

(1) 生育および養分吸収の概要(対照区)

本実験では、1番草の全期にわたりNが供給されているため、実験1で指摘したように、分けつ発生が1番草の刈取り時点まで続いた。その結果、生長点が刈取り高さより下にある分けつが多数に確保されて、これが既存分けつとして2番草に持ちこされる。既存分けつは、1番草刈取り後、ただちに再生可能な状態にあるため⁹⁰⁾、1番草刈取り後のチモシーの再生は、圃場で観察したものに比較してはるかに良好であった。この現象は、対照区だけでなくすべての処理区において認められた。

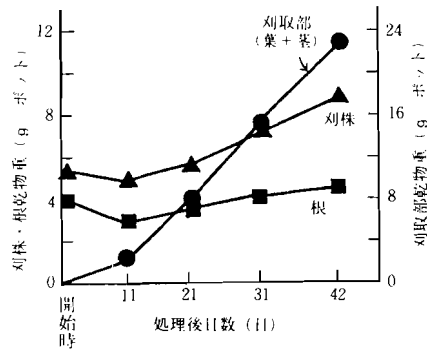
1番草刈取り時にあった根は、従属再生長期からしだいに褐変し、その根の間から新しい根の発生が肉眼的に外部より認められるようになったのは、独立再生長期の後半で刈取り後18日目ころであった。この新根が肉眼的に認められるようになった時期も、各処理間に共通していた。

刈株および根の乾物重は、すでに指摘されているとおり^{6, 8)} 従属再生長期に1番草刈取り時より減少し、独立再生長期に刈取り時点の乾物重に戻り、その後わずかずつ増加した(第12図)。2番草に入って再生した刈取部の乾物重は、独立再生長期以降において直線的に増加した(第12図)。

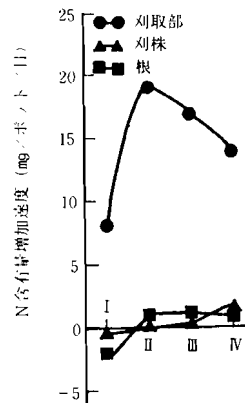
刈取部におけるN含有量の1日当たりの増加量(N含有量増加速度とよぶ)は、従属再生長期に

最低で、独立再生長期に最高となった(第13図)。この傾向は、根についてもほぼ同様であった。刈株のN含有量増加速度は、生育の経過とともに大きくなった。刈株、根の従属再生長期におけるN含有量増加速度は、いずれも負の値をとった。この期間にチモシーが吸収して刈取残部に含有されるN量より、刈取残部から刈取部へ転流するN量のほうが多いことを示唆するものである。

1番草刈取り後に再生した分けつ茎数(既存分けつと新分けつの合計で再生茎数と略)の増加は、独立再生長期まではわずかであり、そのつぎの分けつ盛期に著しかった(第14図)。2番草収穫時においても再生することのなかった分けつ茎数(非再生茎数)は、ポット当たり16本であった。これらの分けつは、1番草刈取り時点で生長点が刈取り高さより上にあった分けつ⁹⁰⁾である。

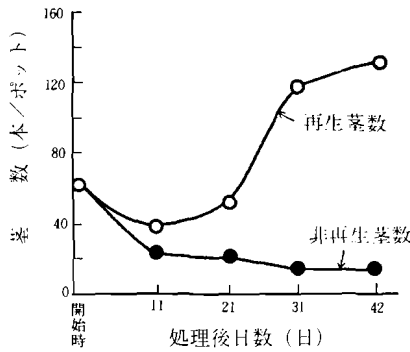


第12図 対照区の部位別乾物重の推移



第13図 対照区における各部位のN含有量増加速度

I：従属再生長期、II：独立再生長期、III：新分けつ発生盛期、IV：新分けつ伸長期



第14図 対照区の茎数の推移

(2) 2番草収穫時の乾物重、再生茎数および1茎重

対照区とはほぼ同程度の刈取部乾物重が得られた処理区は、従属再生長期から分けつ盛期までNが供給された3区であった(第15図)。対照区と比較し、再生茎数の低下を1茎重の増加で補ったものと思われる。独立再生長期にだけNが供給された8区の刈取部乾物重も、対照区よりやや低下した程度である。この区の収量構成要素を対照区と比べると、茎数は明らかに少ないが、1茎重が著しく高まっていた。これに対して、独立再生長期にNが欠除された1、6、7、9区の刈取部乾物重は、対照区の刈取部乾物重より明らかに減少しており、独立再生長期のN供給の重要性が示唆される。1区では1茎重が対照区より上回ったもの

の、茎数の減少が著しい。逆に6、7、9区では、茎数が対照区と同等であったが、1茎重の低下が大きい。これらが1、6、7、9区の刈取部乾物重を対照区より低下させた要因である。

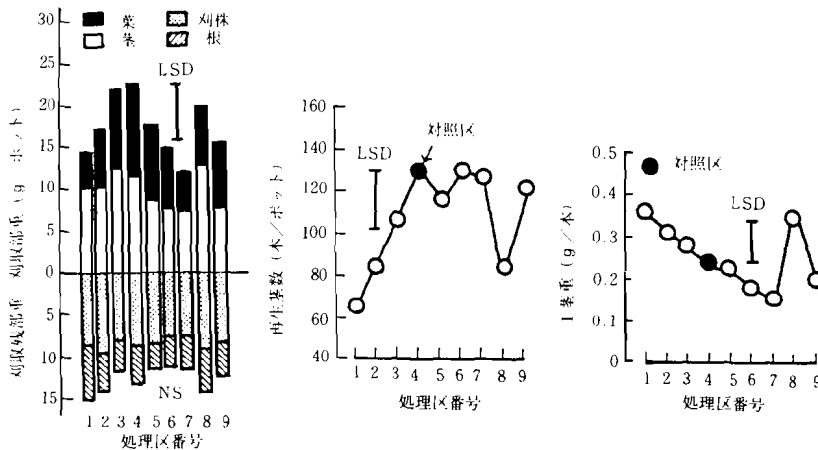
刈取残部(刈株+根)の乾物重は、処理間に有意差が認められなかった。これは、1番草収穫時の刈取残部をも含んでいるため、2番草時のN供給時期の影響が十分反映しなかったためと思われる。

収量構成要素と刈取部乾物重との相関関係をみると(第6表)、有穂茎数のみが刈取部乾物重と有意な相関を示した。2番草において有穂茎となる分けつは、少なくとも、1番草刈取り時における生長点(幼穂)の位置が刈取り高さより下にあるものでなければならない⁹⁰⁾。本試験では、1番草刈取り時の分けつ構成に差異がないと思われる状態から処理が開始されているので、2番草で出穂可能な分けつ数は各処理区で同程度であるはずである。しかし有穂茎数は、従属再生長期に

第6表 刈取部乾物重と収量構成要素との相関係数

収量構成要素	刈取部乾物重
再生茎数	0.072
有穂茎数	0.701*
1茎重	0.303

*危険率5%水準で有意



第15図 各処理区の部位別乾物重、茎数および1茎重(2番草収穫時)

LSD: 最小有意差(5%水準)、NS: 有意差なし

第7表 有穂茎数および部位別N含有量

区番号	有穂茎数 (本/ポット)	N含有量(mg/ポット)	
		刈取部	刈取残部
1	17	152	139
2	17	242	144
3	20	462	143
4(対照区)	19	602	243
5	12	505	211
6	14	417	208
7	13	290	191
8	20	261	137
9	11	343	167

注) 本試験の処理開始時における刈取残部のN含有量は、204mg/ポットである。

Nが供給された処理区(1、2、3、4区)のほうが、同時期にNが欠除された処理区(5、6、7、8、9区)より多くなる傾向にあった(第7表)。この結果は従属再生長期におけるチモシーのN吸収がわずかであっても、この時期のN供給が既存分けつのうち、有穂茎となるものの割合を高める効果のあることを示している。

以上の結果から、2番草チモシーにおいて再生茎数の確保には、分けつ盛期あるいは新分けつ伸長期のいずれかのN供給が重要であることが理解できる。1茎重の確保には、従属再生長期と独立再生長期のいずれかの時期のN供給が必要で、有穂茎数の増加には、従属再生長期のN供給が不可欠であると思われる。

したがって、本実験のように2番草を構成する分けつの中心が既存分けつである場合、2番草チモシーを全期間Nが供給されたと同等の刈取部乾物重に保つためには、収量構成要素からみて、従属再生長期から分けつ盛期までのN供給で十分で、新分けつ伸長期のN供給は不要である。

(3) 部位別N含有量

2番草の収穫時における刈取部および刈取残部のN含有量は、N供給期間が長いほど増加した(第7表)。N供給期間がほぼ等しい1区と7、8、9区、2区と6区、3区と5区を比較すると、2番草の生育後半である分けつ盛期や新分けつ伸

第8表 収量構成要素と部位別N含有量との相関係数

部位	再生茎数	有穂茎数	1茎重
刈取部	0.748*	0.058	-0.469
刈株部	0.896**	-0.433	-0.793*
刈取残部	0.809**	-0.301	-0.682*

*危険率5%水準で有意、**同1%水準で有意。

期に供給されるほど、各部位のN含有量が増加する傾向がうかがえ、とくに刈取部において明らかであった。この結果は、2番草生育後半においてチモシーのN吸収が、旺盛となることを示している。1、2、3区のN供給期間には、チモシーのN吸収が他の時期より劣っている従属再生長期を含んでいるため、この期間のチモシーのN吸収がわずかな分だけ、他の時期よりN含有量が少なくなったと理解できる。

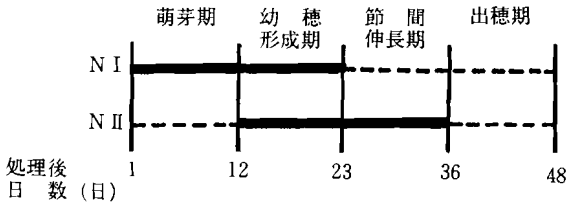
各部位のN含有量と再生茎数との間には、有意な正の相関が認められた(第8表)。しかし、有穂茎数と各刈取部位のN含有量との間には、有意な相関が認められなかった。

実験3. 刈取り前後のN供給時期が2番草の収量構成要素に及ぼす影響

実験方法

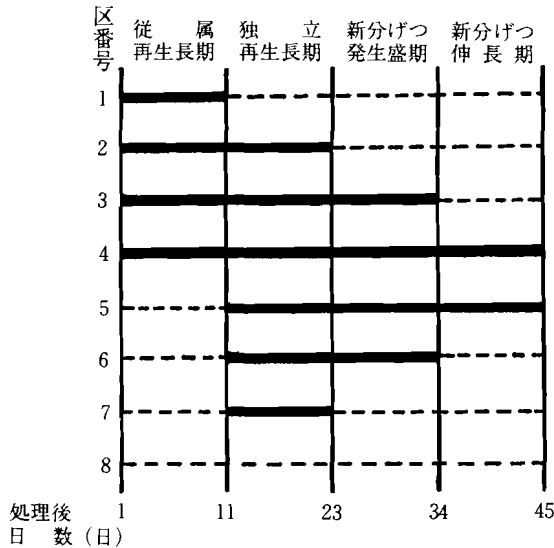
実験2では、1番草時のN供給条件が同じであったが、本実験では、1番草時のN供給条件を異にしたチモシーを用いて、その2番草生育に及ぼすN供給時期の影響を検討した。すなわち、実験1および実験2と同様に1番草期と2番草期をそれぞれ第16図および第17図に示すごとく4生育期に分割した。1番草は1978年5月18日から7月4日までの48日間、2番草は7月5日から8月18日までの45日間で、いずれも実験1および実験2より生育期間がやや長くなった。

1番草の処理は、萌芽期から幼穂形成期までNが供給されたN I区と、萌芽期にはNを欠除し、幼穂形成期から節間伸長期までNが供給されたN



第16図 1番草期の実験設計*

*図の表示は、第6図と同じ。



第17図 2番草期の実験設計*

*図の表示は、第6図と同じ。

Ⅱ区の2処理である(第16図)。この両区のN供給日数はほぼ同じである。2番草については、1番草を収穫したのちN I、N IIの両区に第17図に示したN供給時期の異なる8処理を設けた。すなわち、1、2、3区は従属再生長期からNが供給され生育途中で欠除される区である。4区は全期間Nが供給されている(対照区)。これに対し、5、6、7、8区は従属再生長期にいずれもNが欠除されている。1区と8区、2区と7区、3区と6区、4区と5区は従属再生長期にNが供給されるか欠除されるかにおいてだけ処理が異なり、その後のN供給条件は同一である。区の名前は、1番草のN I、N II区をそれぞれN I系列、N II系列とし、1区から8区までをN I-1区およびN I-8区などと略すことにした。

第9表 1番草収穫時の分けつ構成(本/ポット)

区	有穂茎	伸長茎	小分けつ*	全茎数
N I	11	24	2	37
N II	12	38	0	50

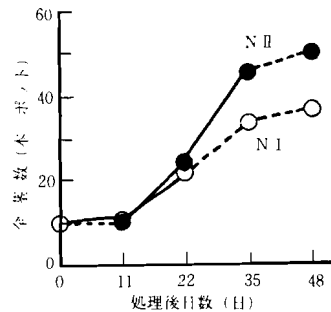
*草丈7cm未満の分けつ

実験結果

(1) 1番草収穫時における分けつ構成と乾物重および1茎重

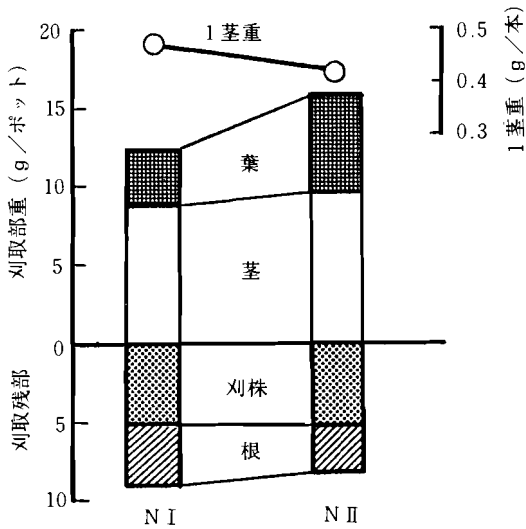
萌芽期から幼穂形成期までNが供給されたN I区と、幼穂形成期から節間伸長期までNが供給されたN II区の有穂茎数と小分けつ(草丈7cm未満の分けつ)茎数には大差がなかった(第9表)。しかし伸長茎数は両区に明らかな違いが認められ、これが全茎数の処理間差となっていた。両区的全茎数は、幼穂形成期終了時(処理後22日目)までほとんど差異が認められず、それ以降において違いが生じている(第18図)。この差は前述したとおり1番草収穫時に伸長茎の差として現われている。

牧草の収穫部位である刈取部乾物重は、N II区のほうが増加していた(第19図)。これは、葉部の増大によるものであった。節間伸長をしていない伸長茎の増加が、主として葉部乾物重に結びついたためであろう。刈取残部のうち、刈株の乾物重は、おもに有穂茎の茎基部の乾物重に依存している。N IとN II両区に有穂茎数の差異がなく、これを反映してN I区とN II区の刈株重に差異が



第18図 1番草期における茎数の推移

—: N供給,: N欠除



第19図 1番草収穫時の部位別乾物重および1茎重

認められない。根部重では、N I 区がN II 区よりやまさっていた。

1茎重は、N I 区のほうがわずかにN II 区を上回っていた。伸長茎の増加が、必ずしも1茎重を増大させるものでないことが理解できる。

(2) 1番草収穫時の各部位別N含有量および刈株中の全有効態炭水化物量

N I 区とN II 区は、N供給日数がほぼ同程度であるにもかかわらず、各部位のN含有量は、いずれもN II 区のほうがN I 区より多かった(第10表)。これは、実験1で指摘したように萌芽期に比較し、節間伸長期におけるチモシーのN吸収が

第10表 1番草収穫時の部位別N含有量および刈株部のTAC含有量 (mg/ポット)

区	N 含有量				刈株のTAC
	葉	茎	刈株	根	
N I	83 (2.45)	113 (1.27)	33 (0.66)	57 (1.40)	730 (14.6)
N II	200 (3.23)	160 (1.67)	57 (1.11)	60 (1.93)	515 (10.1)

()内は各成分の含有率(%)を示す。

旺盛であることを示している。再生に関与する全有効態炭水化物(TACと略す)の含有率は、一般にN含有率と負の相関が認められており^{41, 85)}、本実験でも同様であった(第10表)。

以上のように、1番草収穫時点でN I 区とN II 区には、分けつ構成や刈株部のNおよびTAC含有量に差異が生じ、この状態で両区の刈取部は収穫され、刈取残部だけになったチモシーが、2番草生育を開始することになる。

(3) 2番草収穫時における分けつ構成および1茎重

前述したとおりN I 系列とN II 系列には、1番草の収穫時点で伸長茎数に差異が認められていた。ところがこの差にほぼ匹敵するかのごとく、2番草収穫時において、非再生茎数はN II 系列のほうが多くなっていた(第11表)。非再生茎は、生長点が1番草収穫時に刈取り高さ(7cm)より上

第11表 2番草収穫時の分けつ構成(本/ポット)および1茎重(g/本)

区番号	N I 系 列						N II 系 列					
	非再生茎	再 生 茎				1 茎重	非再生茎	再 生 茎				1 茎重
		有穂茎	伸長茎	小分けつ	全茎数			有穂茎	伸長茎	小分けつ	全茎数	
1	16	2	54	5	61	0.18	36	1	52	4	57	0.20
2	17	3	63	0	69	0.24	24	3	58	4	65	0.26
3	18	3	95	4	102	0.20	27	2	56	2	60	0.24
4	18	2	99	2	103	0.20	22	2	98	3	103	0.20
5	18	4	107	4	115	0.20	26	3	82	3	88	0.25
6	12	2	95	3	100	0.19	25	3	74	4	81	0.25
7	18	3	64	3	70	0.19	27	3	70	4	77	0.25
8	18	0	44	6	50	0.20	26	0	52	3	55	0.17
平均	17	2	78	3	84	0.20	27	2	68	3	73	0.23

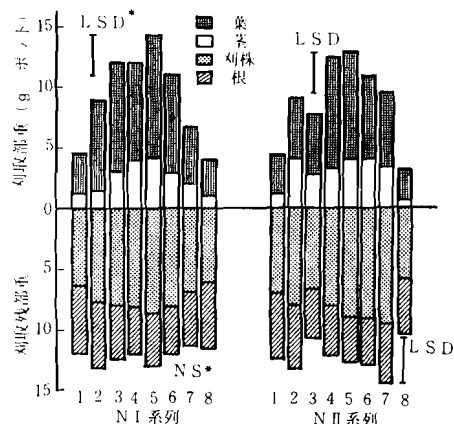
にあった分けつである。したがって1番草収穫時のNⅡ系列の各区に存在していた伸長茎の多くは、1番草の収穫とともに生長点が切除され再生不能となったことがうかがえる。このことは、実験2と異なり、2番草に既存分けつとして持ち込まれる分けつが少ないことを示唆する。さらに既存分けつに由来する有穂茎数も、実験2ではポット当たり11から20本の範囲にあったが、本実験ではこれに比較して著しく少なく、処理間差が判然としな。したがって、本実験の2番草を構成する分けつの主体は、2番草に入って新たに発生する新分けつであると理解できる。

新分けつに由来すると思われる伸長茎数は、NⅡ系列よりNⅠ系列のほうがやや多くなる傾向にあるが、2番草のN供給時期の影響をより強く受けた。すなわち、N供給期間が長いほど伸長茎数が増加した。また従属再生長期だけN供給条件の異なる1区と8区、2区と7区、3区と6区、4区と5区の伸長茎数を比較すると、従属再生長期にNが欠除されてもその影響はほとんど伸長茎数に現われなかった。むしろ、NⅡ系列の4区と5区でやや異なったが、従属再生長期にNが欠除されてそれ以降にNが供給された5、6、7区の伸長茎数のほうが、それぞれ4、3、2区より上回っていた。

1茎重は、2番草の全期にNが欠除された8区や従属再生長期だけNが供給された1区で、他の処理区よりやや低下していた。しかし1茎重に明らかな処理間差は、両系列とも認められなかった(第11表)。NⅠ系列とNⅡ系列の1茎重を比較すると各区ともNⅡ系列のほうが、わずかずつ増加していた。これは、NⅡ系列の伸長茎数がNⅠ系列のそれより少なく、全茎数が減少していたためであろう。

(4) 2番草収穫時の各部位別乾物重

NⅠ系列とNⅡ系列の各区の刈取部乾物重を比較すると(第20図)、3、5、7区にわずかな差異を認めたものの、全体としては両系列の各区間に明らかな処理間差が認められなかった。1番草のN供給時期の影響は、2番草にまで及ばなかつ



第20図 2番草収穫時の各処理区の部位別乾物重

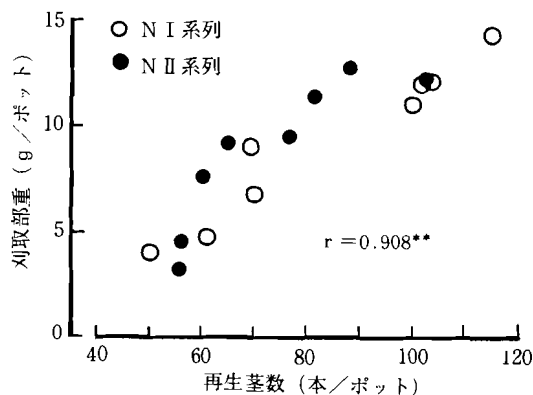
* LSD: 最小有意差 (5%水準), NS: 有意差なし

たと思われる。

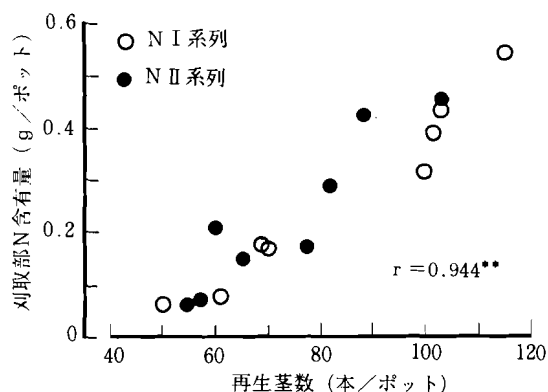
しかし、2番草におけるN供給時期の刈取部乾物重に及ぼす影響は明らかであった。2番草の全期にわたりNが供給された4区と同程度かそれ以上の乾物重を示したのは、NⅠ系列で3、5区、NⅡ系列では5区であった。従属再生長期のN供給処理だけが異なる1区と8区、2区と7区、3区と6区、および4区と5区を比べると、両者の刈取部乾物重の差は両系列とも有意なものではなかった。さらにN供給日数がほぼ同程度である1区と7区、2区と6区、および3区と5区の刈取部乾物重を比較すると、両系列とも従属再生長期にNが欠除された5、6、7区のほうが、この時期に供給された3、2、1区よりそれぞれ高まっていた。したがって、本実験においては実験2の結果と異なり、従属再生長期のN供給が2番草チモシーの生育にとって必ずしも重要な意味を持たないことがわかる。

1茎重に処理間差が明らかでなかったため、刈取部乾物重は再生茎数が多いほど増加し、この両者には正の有意な相関関係が認められた(第21図)。

刈取残部乾物重に対する2番草のN供給処理間差は、NⅠ系列では有意なものではなかった。NⅡ系列では、2番草の全期間Nが欠除された8区が他の各区の刈取残部乾物重より減少した。しかし、2番草のいずれかの時期にNが供給された各



第21図 再生茎数と刈取部乾物重との関係



第22図 再生茎数と刈取部N含有量との関係

区の間には、有意差がなかった。

(5) 2番草収穫時における部位別N含有量

各系列とも刈取部のN含有量は乾物重の場合と同様、N供給期間が長いほど増加した(第12表)。供給日数がほぼ同程度の場合(1区と7区、2区と6区、3区と5区)、N含有量は従属再生長期にNが欠除され、それ以降に供給された5、6、7区のほうが高まった。従属再生長期にだけNが供給された1区の刈取部N含有量は、全期間Nが欠除された8区のそれよりわずかに多くなった程度である。これは、従属再生長期におけるチモシーのN吸収がきわめて不十分なものであることを示唆している。刈取残部のN含有量についても上述した結果とほぼ同様であった。

再生茎数と刈取部のN含有量との間には、第22図のように有意な正の相関関係が認められた。再

第12表 2番草収穫時の部位別N含有量 (mg/ポット)

区	刈 取 部		刈 取 残 部	
	N I 系列	N II 系列	N I 系列	N II 系列
1	83	72	128	121
2	184	152	171	147
3	385	211	202	137
4	427	451	205	229
5	544	425	245	238
6	312	292	200	185
7	173	172	126	175
8	66	61	105	120

生茎数が多いほど刈取部乾物重が多かった(第21図)ので、図示は省略したが刈取部のN含有量と乾物重との間にも正の有意な相関関係があった(相関係数 $r=0.937$)。

以上のように、本実験では2番草を構成する分けつの主体が新分けつと考えられたため、2番草チモシーの生育や収量構成要素に、1番草時のN供給時期はほとんど影響しなかった。また、牧草の収穫部位である刈取部乾物重を全期間Nが供給された区と同程度かそれ以上に保つためには、収量構成要素からみて従属再生長期のN供給は必ずしも重要でなく、むしろこの時期のNは不要であり、独立再生長期以降2番草収穫時までのN供給で十分であると思われた。独立再生長期以降のチモシーのN吸収が旺盛で、分けつ発生が促進されて茎数が増加し、これが増収に結びついたのである。実験2では従属再生長期のN供給が不可欠で、新分けつ発生盛期までの供給が重要であったことからみると、本実験の結果は、実験2の結果と大きく異なるものであった。

考 察

本水耕実験では1、2番草のいずれにおいても、培地にNが供給されチモシーがそのNを吸収すると、分けつ発生が促進され、茎数が増加するのを認めた。発生まもない分けつは伸長期間が短く、それ自身の1茎重が小さいため、収穫部位である刈取部の乾物重と無関係で、いわゆる無効茎⁴²⁾

である。またこの分けつは、遮光に弱い^{5, 51)}。群落状態にある圃場条件では、分けつ間の相互遮へいの影響を受けて、これらの弱小分けつは枯死する^{88, 98)}。しかし水耕条件では、光が分けつの発生部位である茎基部まで常に十分透過しているため、発生した分けつが生育の途中で枯死することがない。このため、培地にNが供給される限り、分けつ発生が持続して茎数が増加する。とくに1、2番草のいずれにおいても生育の後半には、チモシーのN吸収が旺盛となるため、この時期に分けつ発生が多くなる。したがって、生育後半のN供給が茎数増加に重要な意味を持つことになる。

また、発生した分けつの伸長期間が長くなるほど、それ自身の1茎重が大きくなり、いわゆる有効茎となって⁴²⁾刈取部の乾物重に寄与する。それゆえ、生育初期のN供給によって分けつ発生を早めることは、伸長期間の長い分けつを確保することにつながり、1茎重を増加させる。

実験1の結果によると、チモシーの1番草における収量構成要素からみた重要なN供給時期は、萌芽期から節間伸長期までで、出穂期のNは欠除可能なことを認めた。これは、出穂期のN供給によって茎数を増加させても、発生した分けつは1番草刈取りまでの伸長期間が短く、1茎重を増大させることが困難で、無効茎となるためと考えられる。

しかし、この刈取りまでの伸長期間の短い分けつは、生長点が刈取り高さより上になりがたいため、既存分けつとして2番草に持ちこされて行く⁹⁰⁾。事実、実験2のように1番草の全期間にわたりNが供給されると、1番草刈取りまでの伸長期間の短い分けつが多く発生し、これが2番草において既存分けつとなり、2番草構成分けつの主体となっていた。この既存分けつは、刈取直後から再生するため、2番草収穫時までの伸長期間が長いばかりでなく、従属再生長期のN供給によって有穂茎となる割合も高まる。その結果、既存分けつの1茎重は、2番草において新たに発生する新分けつの1茎重より大きくなる。このように考えると、新分けつ伸長期にNを供給して、2番草収穫時までの伸長期間の短い分けつを確保せずと

も、既存分けつの大きな1茎重に依存することによって刈取部乾物重を高められる。したがって、2番草を構成する分けつの主体が既存分けつである場合、収量構成要素からみた重要なN供給時期は、従属再生長期から分けつ盛期までであり、新分けつ伸長期のNは欠除できる。

一方、1番草の途中でNの供給が停止されると実験3で認めたように、それ以降の分けつ発生が衰える。その結果、1番草刈取りまでの伸長期間の短い分けつの発生が少なくなり、2番草の既存分けつが著しく減少する。この場合、刈取り直後の従属再生長期は新分けつとなる分けつの発生を待つ時期であるため、チモシーのN吸収が劣り、この時期にNを供給しても分けつ発生は多くならない。しかもその後に発生する新分けつの多くは、刈取りまでの期間が長くはなく、1茎重を増加させることが困難である。このようなことから、2番草を構成する分けつの主体が新分けつの場合、刈取部乾物重は茎数に規制されることになる。茎数を多数確保するには、チモシーのN吸収の旺盛な時期にNが供給される必要がある。このためチモシーのN吸収が劣る従属再生長期のN供給は不要となり、独立再生長期から2番草刈取り時までのN供給が重要な意味を持つことになったと思われる。

実験2と実験3で、2番草チモシーの収量構成要素からみた重要なN供給時期が大きく異なったのは、上述したように、2番草を構成する分けつが既存分けつであるか新分けつであるかという、分けつの質的な差異に起因するものと考えられる。さらに、この分けつの質的差異は、1番草後半におけるN供給条件の違いが、その期間に発生する伸長期間の短い分けつの発生量に差をもたらしたために生じたと理解できる。

以上のように、特定の時期のN供給とそれによるチモシーのN吸収の変化は、収量構成要素に大きな影響を及ぼしている。そして1、2番草のいずれにおいても、生育初期のチモシーのN吸収は、1茎重を増大させる効果を有し、生育後半のチモシーのN吸収は、分けつ発生を促進して茎数の増加に有効であることが本実験結果から明らかとなった。

第3節 チモシー草地に対する効率的な窒素施肥時期

前節の水耕実験の結果は、収量構成要素である茎数や1茎重を効率よく増加させて増収をもたらすために、1番草および2番草における特定の時期のチモシーのN吸収が、重要な意味をもつことを示唆し、施肥技術の基礎となる知見を提供している。しかし水耕実験では、独立したチモシーを対象とし、また任意の時期にNの供給や欠除処理を行っているため、その結果を群落状態にある実際の草地に直接適用しづらい。したがって、圃場条件で生育するチモシーのN吸収と、収量構成要素の関係を改めて検討しておく必要がある。

本節では早春、1番草刈取り後のN施肥時期を異にすることによって、チモシーの各番草におけるN吸収を変化させ、各生育期のN吸収と収量構成要素の関係を圃場条件で検討し、その結果から効率的な施肥時期を明らかにしようとした。

実験方法および結果

実験1. 早春のN施肥時期がチモシーの1番草生育に及ぼす影響

実験方法

1979年に造成したチモシー条播草地を供試し、1980年から3年間にわたって実験を実施した。早春の施肥時期は次の3処理とした。すなわち、実験実施年次でわずかに異なるが、1区は萌芽期の5月12日前後で、2区と3区はそれぞれ幼穂形成期の5月23日および伸長期の6月3日前後である。N施用量は、ha当たり80kgである。さらにNを施肥しない区(-N区)も併置した。以下では、1、2、3区および-N区と略す。P₂O₅とK₂Oはチモシーの生育に制限因子とならぬよう、1区にNを施肥するとき同時に他の区へも共通にha当たりそれぞれ40kg、120kg施肥した。チモシーの生育過程、茎数および1茎重の調査方法、さらに1番草における生育期の名称などは、第1節に準じた。

実験を実施した年次の1番草生育期間である5

月から7月上旬にかけての気象概要は、次のとおりであった。1980年は、越冬後の萌芽再生が良好であった。しかし5月上旬から中旬までは平年より低温、寡照であった。5月下旬から6月下旬の前半までは比較的好天に恵まれ1番草収穫期を迎えた。1981年は、5月中旬から7月上旬まで低温、多雨、寡照に推移し、1番草生育は平年よりやや劣った。1982年は、5、6月ともほぼ平年なみの気象であった。

実験結果

(1) 茎葉重の推移と1番草乾物収量

茎葉重の推移は、3年間ともほぼ同様であったので、気象条件が平年なみであった1982年の結果を第23図に示した。

従来からの指摘^{77, 85)}と同様に、施肥時期が早いほど生育初期からの茎葉重の増加が明らかで、1番草収穫時点でも施肥時期の早い区ほど高収であった。年次間の1番草収穫時における茎葉重(これを以下ではとくに1番草収量とよぶ)を比較すると、気象条件の悪かった1981年において各区とも他の年次より収量が劣った(第13表)。しかし各処理区間差は、3年間とも同様の傾向で、施肥時期が遅れるに伴い減収した。

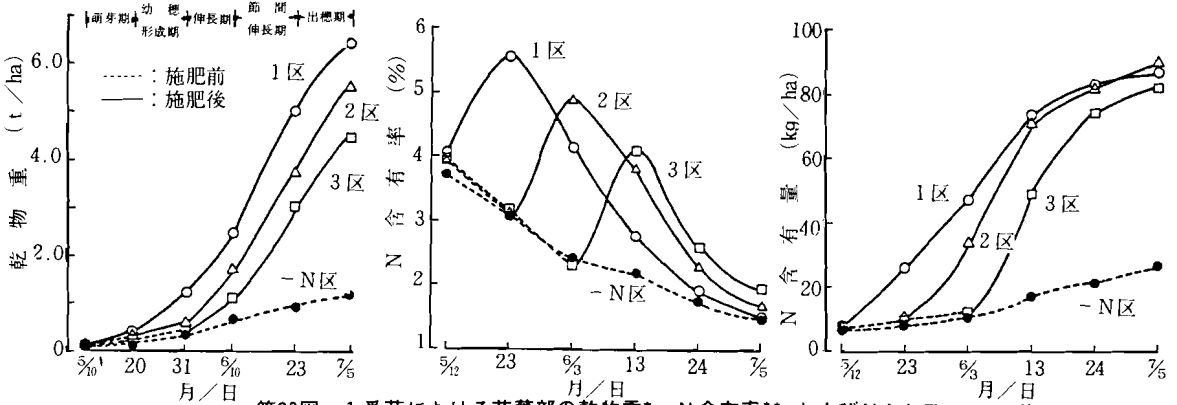
(2) 茎葉部のN含有率およびN含有量と乾物生産効率

Nが施肥されると、施肥時期にかかわらず茎葉部のN含有率が高まり、その後生育の経過とともに

第13表 1番草乾物収量 (t/ha)

区	施肥時期*	1980年	1981年	1982年	平均
1	萌芽期	6.21	5.16	6.42	5.93
2	幼穂形成期	6.14	4.65	5.52	5.44
3	伸長期	4.57	3.52	4.48	4.19
-N	-	2.78	1.28	1.17	1.74

*3年間の平均施肥月日：1区=5月12日、2区=5月23日、3区=6月3日



第23図 1番草における茎葉部の乾物重*、N含有率** およびN含有量**の推移
*1982年のデータ、**1980~1982年の平均値

に低下した(第23図)。1番草収穫時点では、1区のN含有率は-N区と同程度となり、施肥時期の遅い区ほどN含有率が高かった。

N含有量の推移をみると(第23図)、1区では萌芽期(5月12日から22日まで)から、また2区では幼穂形成期(5月23日から6月2日まで)から、それぞれの伸長期(6月3日から12日)まで、チモシーのN吸収は旺盛で節間伸長期(6月13日から23日)以降衰える傾向がうかがえる。3区では施肥直後の伸長期と節間伸長期にチモシーのN吸収が著しく、出穂期(6月24日から7月5日)にやや鈍化した。1番草の生育後期に施肥されるほど、施肥直後から吸収されるN量が多くなったので、1番草収穫時点でのN含有量の処理間差は、茎葉重の場合ほど明らかでなかった。

施肥Nによる1番草収量の増加分(各施肥区の1番草収量から-N区のを減じたもの)をN含有量の増加分(各施肥区の茎葉部N含有量から-N区のを減じたもの)で除して施肥Nの乾物生産効率を求めた。その結果、3か年平均で1区は70、2区は59、3区は45と施肥時期が遅いほど乾物生産効率が低下した。

(3) 全茎数、1茎重の推移および1番草収穫時の分けつ構成

全茎数は1、2、3区とも、施肥後20日間程度増加し、それ以降減少する傾向にあった(第24図)。とくに1区は幼穂形成期において最高分けつとなり、その後の茎数の減少が著しい。-N区では、

第14表 1番草刈取り時の分けつ構成*および有穂茎率*

処理区	分けつ構成(本/m ²)			有穂茎率(%)
	有穂茎数	伸長茎数	全茎数	
1	490	770	1260	39
2	420	810	1230	34
3	280	1010	1290	22
-N	210	680	890	24

*1980年から1982年の平均値

分けつへのN供給不足から経時的に茎数の減少が認められた。

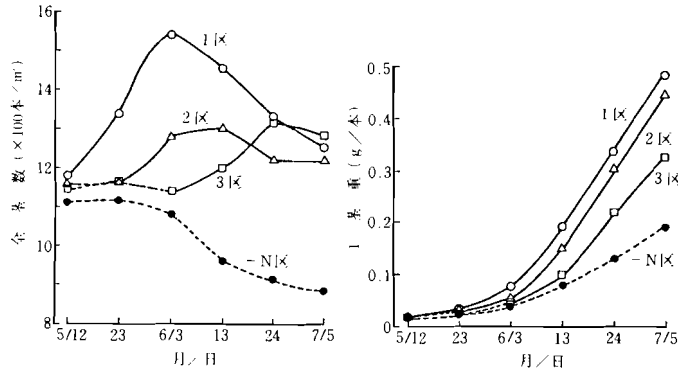
1番草収穫時における全茎数は、Nが施肥された1、2、3区に大差がない(第14表)。しかし、有穂茎数は施肥時期が早いほど多く、有穂茎率も高まった。伸長茎数は逆に施肥時期が遅いほど多くなった。これは、オーチャードグラスで坂本らが認めた結果⁸⁵⁾とよく一致する。

1茎重は、いずれの区も生育が進むに伴い増加し、とくに伸長期以降の増加が著しい(第24図)。また、施肥時期が早いほど生育初期から1茎重の増加が大きかった。

(4) 1番草収量と1番草収穫時の収量構成要素の関係

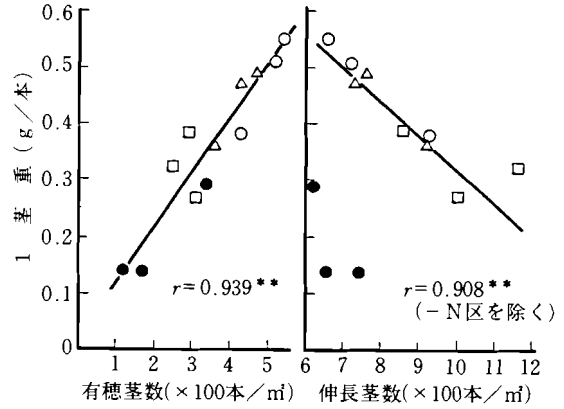
1980年から1982年までのデータから、1番草収量と収量構成要素である全茎数、1茎重および有穂茎数との関係を第25図に示した。

全茎数は、-N区を含めると1番草収量との間に有意な相関を示すが、-N区のを除くと

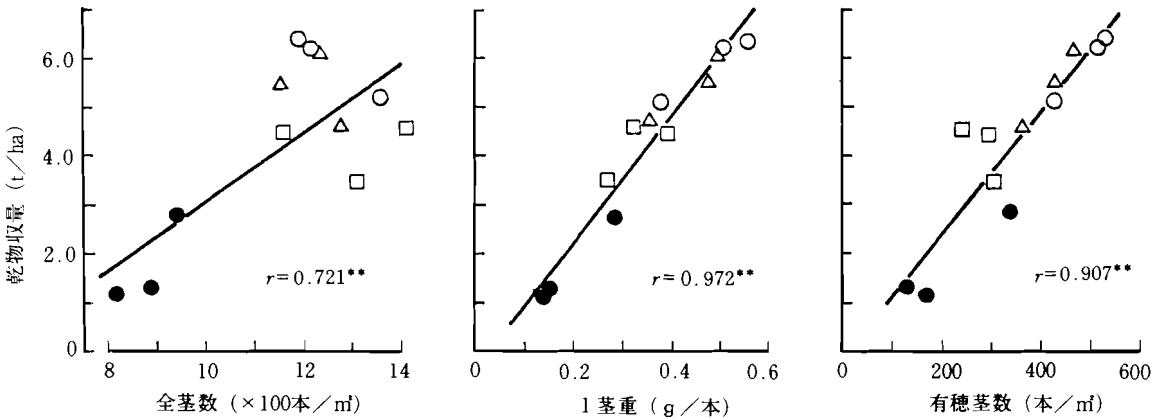


第24図 全茎数および1茎重の推移

この両者に有意な相関が認められなかった (相関係数 $r = -0.435$)。これに対して、1茎重および有穂茎数と1番草収量との間には、きわめて高い正の有意な相関が認められた。また1茎重は有穂茎数との間にも、第26図のごとく高い正の相関を示した。1茎重と伸長茎数との関係を見ると (第26図)、-N区のデータを含めた場合には、有意な相関が認められない ($r = -0.124$)。しかし、Nが施肥された1、2、3区のデータだけで検討すると、有意な負の相関が認められ、伸長茎数の増加は1茎重の低下をもたらす。したがって、1番草収穫時における1茎重は主として、有穂茎数に依存していると理解できる。これは、有穂茎それぞれ自身の1茎重が伸長茎の1茎重よりはるかに大きいためである。



第26図 1番草収穫時の有穂茎数および伸長茎数と1茎重の関係 (記号は、第25図と同じ)



第25図 1番草収量と収穫時の収量構成要素との関係
○：1区，△：2区，□：3区，●：-N区