

アルファルファ草地の生産生態に関する研究

高 崎 康 夫

(栽培管理学研究室)

Studies on the Performance of Alfalfa Swards

Yasuo TAKASAKI

Laboratory of Crop Production and Management.

目 次

緒論.....	138	材料と方法.....	158
第1章 株立本数の意義.....	140	結果.....	158
材料と方法.....	140	考察.....	162
結果.....	140	摘要.....	163
考察.....	143	第5章 枯死個体の特性.....	164
摘要.....	144	材料と方法.....	164
第2章 密度の推移と品種の関係.....	146	結果と考察.....	164
材料と方法.....	146	摘要.....	167
結果.....	146	第6章 再生と貯蔵炭水化物の関係.....	168
考察.....	151	材料と方法.....	168
摘要.....	152	結果.....	168
第3章 施肥および刈取処理の影響.....	153	考察.....	171
材料と方法.....	153	摘要.....	172
結果.....	153	総合考察.....	173
考察.....	156	結論.....	177
摘要.....	157	引用文献.....	178
第4章 構成個体の特徴からみた群落の構造.....	158	英文摘要.....	183

緒 論

多年生牧草の草地は、高い生産力が望まれると同時に、その高い生産力をできるだけ永い年月にわたって維持することが必要とされる。草地は、ある一時点の状態をそのまま継続するものではなく、あたえられた種々の要因に反応して、つねにその状態を変化させてゆく可能性をもった動態と考えることができる。同じ状態の草地であっても、その後の管理条件の違いによって全く状態の異なる草地へと変化してゆくのである。したがって、草地の管理を適正に行ない、高い生産力を維持してゆくためには、その基礎として、あたえられた要因とその組合せの中で、草地がどのような方向性をもって変化してゆくかを正確に把握しておく必要がある。草地の生産性を草地群落の状態とその動きとしてとらえてゆくとする研究の分野は、牧草の栽培技術に直接的に関係する極めて重要な分野であると考えられるが、我国では他の方面に比べて研究の比較的小ない分野である。とくに草地群落を構成している個体の群落内での行動についての研究は、従来ほとんど採りあげられていない。そこで、本研究では、栽培管理上重要な要因とその組合せの中での草地の状態とその動きを草地の収量と密度の面から考究した。

作物の密度と収量の関係は、それが作物生産における最も基本的な問題の一つであるだけに、古くから多くの作物について検討が加えられ^{14, 22, 26, 27, 28, 37, 104, 105)}、対象を牧草類だけに限ってみても、その数はきわめて多いといえる^{3, 4, 8, 10, 12, 13, 15, 16, 17, 29, 32, 40, 43, 46, 50, 56, 65, 66, 69, 70, 71, 74, 82, 91, 92, 93, 94, 98, 106)}。牧草類の収量と密度に関するこれまでの報告は、

- 1) ある密度以上では収量が密度に関係なく一定となる。
- 2) 密度が高くなるにしたがい収量も高くなる。
- 3) 他の子実作物の収量と同じように最高収量をあげるための最適密度が存在する。

の三つに大別できよう。DONALD¹²⁾は、サブタレニアンクローバを6個体/m²から25,000個体/m²にわたる7段階の密度で栽植した場合、播種後60日、131日目では密度が高くなるにしたがい収量も高いが、播種後181日目の収量は、1,250個体/m²から25,000個体/m²の範囲の密度では有意な差がないことを報告している。同じくDONALD¹²⁾は、ウイメライグラスを13個体/m²から50,000個体/m²の10段階の密度で栽培し、播種後130日目では密度が高くなるほど収量も高いが、播種後250日目では125個体/m²から50,000個体/m²の範囲の密度で収量に差のないことを報告している。このようにある密度以上の密度範囲では、収量が密度に関係なく一定になるという結果をBLACK⁴⁾はレッドクローバとアル

ファルファで、HOLLIDAY²⁵⁾はペレニアルライグラスで、ZALESKI¹⁰⁶⁾、JARVIS³³⁾、AREVALILLO³⁾はアルファルファで報告している。

一方LAZENBY⁴⁶⁾は、ペレニアルライグラスを2.8個体/m²から178個体/m²にわたる4段階の密度で栽植し、年間の刈取部の収量が密度が高くなるほど高くなることを報告している。また、寺井ら⁹²⁾は、オーチャードグラスを16個体/m²から400個体/m²までの6段階の初期密度で栽培したときの5年目総収量は、密度が高いほど高いことを報告している。MORDASHEV⁵¹⁾は、ルーピンの栽植密度を44個体/m²から250個体/m²まで増加させることにより、乾物収量を5.33トン/haから8.52トン/haに増加させたことを報告している。LOWE⁴⁸⁾は、アルファルファの多交雑後代検定において、5年間の生産量と5年目のスタンドの評点との間に高い有意の相関があることを見出し、同時に5年間の生産量と初期のスタンドの評点の間にも高い正の相関があることを見出している。FULKERSON¹⁶⁾は、アルファルファの初期の刈取条件を変えた場合、翌年の個体数と収量の間に高い相関があることを示している。また、WASHKO⁹⁸⁾も、アルファルファの刈取条件を変えた場合の2年目収量は、面積あたり個体数が多いほど高い傾向があることを報告している。ROBINSON⁶⁶⁾、FELTNER¹⁵⁾もアルファルファの刈取時の個体数と草収量の間に高い相関があることを報告している。これらは、いずれも草地の密度が高いほど収量も高いことを示している結果である。

これに対し、KNIGHT⁴⁰⁾は、オーチャードグラスの1クローンを5.7個体/m²から100個体/m²の5段階の密度に栽植し、2, 4, 8週間隔の刈取処理を与えた場合、中間の密度に収量の最大値を示す最適密度があり、年間合計収量でも最適密度が存在することを示している。また、西村ら⁵⁵⁾もオーチャードグラスの生産力を維持するための最適密度が存在することを報告している。

このように異なる結果が導き出されるのは、草種による違いもあるが、栽培的な他の要因に対する考察が不十分である場合や、比較的短期間の結果によって導き出されたものが多く、草地群落の特性ともいえる経時的な密度の変動——この変動も栽培に関与する要因とその組合せにより大幅に変異するのであるが——に注意を払いながら収量と密度の関係に十分な検討が加えられていないことに起因するものと思われる。

草地群落内の個体数の減少のしかたに着目すると、群落を構成する個々の個体の集団内の行動について今まで以上に詳しく観察する必要にせまられる。植物群落を構成する個体の形質の度数分布が正規分布を示さずに偏った分布を示し、それが経時的に変化してゆく

ことはかなり多くの植物について知られている。しかし、これらは一年生植物を対象としたものが多く、生育の途上において刈取という操作がくり返される多年生草地群落についてのものは少ない。牧草群落を構成する個体のもつ形質の度数分布の型がどのようなものであり、それらが経時的にどのように推移してゆくのか、さらには、そのような分布を示す集団内において枯死してゆく個体はどのような個体であるのか、これらの点に関する我々の知識はきわめて乏しいように思われる。

筆者はアルファルファ草地を対象にして、群落を構成する個体の行動に常に注意を払いつつ、草地群落の収量と密度の関係を検討してきた。この報文は札幌と松戸で行なわれた関連する試験の結果をとりまとめたものである。試験にとりあげた要因は、品種、密度、

刈取回数、施肥のレベルといった栽培的に容易に制御できるものである。草地の状態に変化をもたらす要因の中には、光、温度などの重要な環境要因が含まれるが、現在の実際の牧草類の栽培環境では、これらの要因の直接的な制御はまず不可能と云ってよく、栽培的に可変な要因に対する草地の反応のしかたを正確に把握することが最も優先すべき課題と考えたからである。

この研究を行なうにあたり、千葉大学園芸学部大泉久一教授、北海道大学農学部後藤寛治教授、同高橋直秀助教授に指導して頂いた。

北海道大学農学部細川定治教授、同高橋萬右衛門教授には本報文の草稿を校閲して頂いた。千葉大学園芸学部故林四郎前教授、北海道大学農学部田口啓作前教授には終始激励して頂いた。

これらの方々に深謝の意を表します。

第1章 株立本数の意義

一般に植物の栄養体を収量とする作物の収量—密度関係には、収量一定の法則が成立し、ある密度以上では収量が密度に関係なく一定となることが知られている^{14, 22, 28, 37)}。しかし、アルファルファのような多年生牧草群落は、つねに生育の途上において年間数回の刈取という操作がくり返され、しかも、それが多年にわたり継続されるので、収量—密度の関係は一年生作物の場合とは違った意味を持つようにおもわれる。アルファルファにおいても、収量と密度の関係に関する報告は多い。ZALESKI¹⁰⁶⁾は、品種Du Puitsを播種量5, 10, 15ポンド/エーカーのドリル播きにし、3年間の総乾物収量の間に差のないことを報告している。JARVIS³³⁾は、品種Provinceを1, 2, 3, 6, 9, 12, 24, 36インチ間隔(1,600, 400, 180, 45, 20, 11, 3, 1.2個体/m²)の密度に栽植したときの3年間の総乾物収量は、45個体/m²以上の密度では有意な差がないことを報告している。北農試の成績^{註1)}によれば、アルファルファ3品種を4, 16, 400個体/m²の正方形植ならびに400個体/m²の条播の密度に栽植したときの刈取初年目の合計収量は、16個体/m², 400個体/m²の正方形植区と400個体/m²の条播区間に有意な差が認められず、4個体/m²区のみが低いことを示している。またGIOVANARDI¹⁷⁾は、7.5kg/haから37.5kg/haにわたる7段階の播種量で播種されたアルファルファ草地の4年間の合計収量には、有意な差が認められないことを報告している。これらの試験の中には、とりあげられる密度の範囲が比較的せまいために、収量—密度関係を考察するのに必ずしも十分な範囲の密度が含まれていないものもあり、また、草地群落の特性ともいえる経時的な個体数の減少についても調査が不十分であるようにおもわれる。本章では、アルファルファ1品種を幅の広い密度に栽植し、同一の刈取条件を与えた場合の収量と個体数の変動について報告する⁸⁶⁾。

材料と方法

試験は、1965年から1967年の間、札幌市北海道大学農学部附属農場で行なった。試験圃場の土壌は沖積壤土である。供試品種はDu Puits。試験区は、第1表に示すとおりで(本文中では、2,500個体/m², 625個体/m², 169個体/m², 36個体/m²をそれぞれ2,500区, 625区, 169区, 36区と略記する)、乱塊法3反覆とし、1区面積は18m²(1.8m×10m)である。供試圃場は、あらかじめ土壌酸度をpH6.6に矯正し、苧科用草地化成肥料

Table 1. Distance between plants, plant densities and calculated seed rate.

Distance between plants (cm)	Number of plants/m ²	Calculated seed rate (kg/10a)
2.0	2,500	5.68
4.0	625	1.42
7.7	169	0.38
16.7	36	0.08

(N—3, P₂O₅—10, K₂O—10) 50kg/10aを基肥として与え、以後試験終了時まで無肥料で経過させた。播種期は、1965年5月24日から29日で、株当り3～4粒播種し、1.5cmに覆土後板をもちいて鎮圧した。2～3葉期に間引いて1本立にするとともに、欠株は補植し、所定の栽植密度とした。また、この時期に根りゅう菌を水で稀釈して如露で圃地全面に散布して接種をはかった。

播種当年の1965年は、播種後49日目より、ほぼ2週間ごとに各区より1m²内の全個体を地下25cmより掘取り、このうち無作為にえらんだ100個体については、茎数、茎長を調査した後、地上部と地下部に分け、90℃で48時間乾燥させて個体別に乾物重を測定した。この個体別地上部乾物重の総計に、のこりの掘取個体の地上部重を加えて1m²あたりの乾物重とした。ただし、36区については、掘取全個体を個体調査の対象とした。また、各区にそれぞれの密度にビニール釣糸を張った1m²の定置枠をもうけ、個体数の調査と2年目以後の収量の調査に使用した。このうち1反覆は、各刈取時に個体ごとに茎長、茎数を調査し、個体別に乾物収量を測定した。

刈取は、開花始期を大体の目標とし、1965年は7月29日、9月15日の2回、1966年は6月10日、7月20日、8月23日、9月27日の4回、1967年は6月12日、7月24日、8月24日、10月2日の4回で、いずれも地上7cmの高さで刈取った。

結 果

1. 単位面積あたり乾物収量

1965年の各掘取時における単位面積あたり乾物収量を示すと第2表のとおりである。7月29日および9月15日の2回刈取を行なっているため、7月29日以後の数値は7cm以下の刈取残部も含めた乾物重である。9月15日の結果をのぞき、いずれの掘取時においても、2,500区の収量が高く、以下625区, 169区, 36区の順に栽植密度が低下するにしたがい収量も低下している。しかしながら、播種より第1回刈取時まで、また第1回刈取時より第2回刈取時まで、播種後あるいは刈取

註1) 北農試開発部1966. 北農試成績書: 105—129.

Table 2. Dry matter yield per unit area at different densities (g/m^2)

Sampling date	Days after sowing	Treatments				Min. sig. diff. ($p=0.05$)
		2,500/ m^2	625/ m^2	169/ m^2	36/ m^2	
13. July	49	166.4	126.2	69.3	26.7	28.6
29. July (1st cut)	65	398.7	304.3	272.3	140.8	57.2
17. Aug.	84	245.5	227.4	198.4	125.8	23.9
1. Sept.	99	352.4	321.9	311.4	246.9	61.5
15. Sept (2nd cut)	113	360.5	364.8	362.8	319.3	33.3
19. Oct.	147	363.6	326.2	332.2	284.4	62.0

後の生育日数の経過にともない区間差は減少し、第2回刈取時には、2,500区、625区、169区の3区はほぼ等しい収量を示し、36区のみが低い値を示した。

第1図には3年間の年間累積乾物収量を示した。ただし、播種当年の値は、第2表に示した刈取時の地上部全重の値をもちいた。刈取2年目、3年目においては、1番刈収量の比率が高く、刈取回数が進むにしたがって収量は低下した。3年目の収量は、いずれの区も2年目の収量に比べて低いレベルにあった。年間総収量は、播種当年では2,500区>625区>169区>36区の関係を示し、2年目の総収量は、いずれの区もほぼ等しい値を示した。3年目では36区がやや低い値を示すが、5%水準で有意ではない。したがって、年間総収量で栽植密度の違いにより、単位面積あたり乾物収量

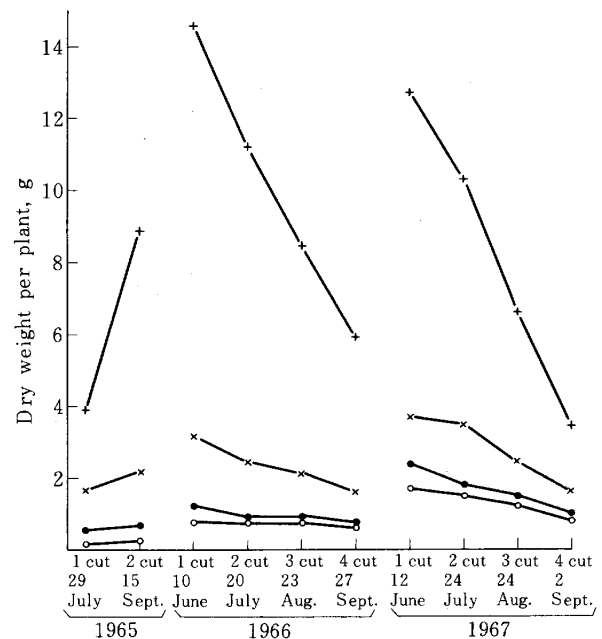


Fig. 2. Mean dry weight per plant at each harvest for three years.

- 2,500 plants/ m^2
- 625 plants/ m^2
- ×—× 169 plants/ m^2
- +—+ 36 plants/ m^2

に差のあらわれるのは播種当年のみと考えてよいであろう。

2. 個体あたり乾物収量

第2図は、各刈取時における面積あたり収量をそのときの生存個体数で除した平均個体重を示したものである。播種当年では、1番刈時の平均個体重は、いずれの区においても2番刈時のそれよりも小さいが、2年目、3年目では各区とも1番刈の平均個体重が大きく、刈取回数が進むにしたがって低下する。区間の差は、年次の経過にともない減少し、播種当年の最終刈取時における2,500区、625区、169区、36区の平均個体重の比が1.0:1.2:2.7:39.8であるのに対し、3年目の最終刈取時には1.0:1.3:2.1:4.3となった。

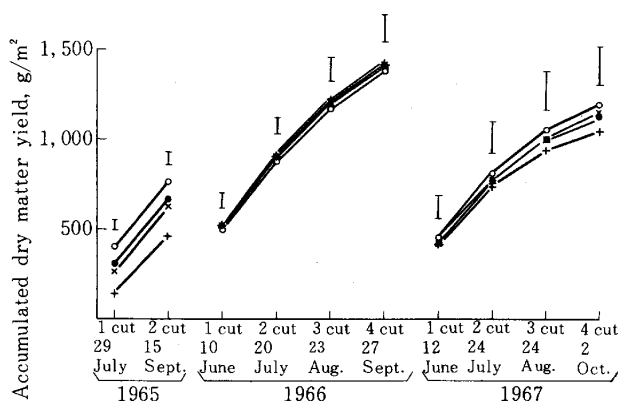


Fig. 1. Accumulated dry matter yield per unit area. Vertical short line indicates min. sig. diff. at 5%.

- 2,500 plants/ m^2
- 625 plants/ m^2
- ×—× 169 plants/ m^2
- +—+ 36 plants/ m^2

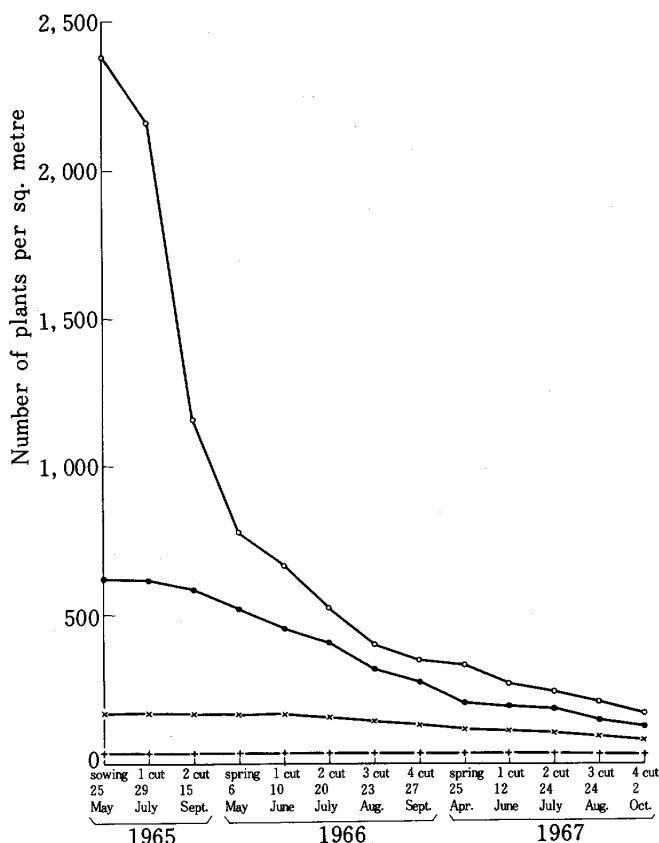


Fig. 3. Decreasing trend in plant numbers over three years.

- 2,500 plants/m²
- 625 plants/m²
- ×—× 169 plants/m²
- +—+ 36 plants/m²

3. 個体数の減少

各刈取時および早春起生時におけるm²あたり生存個体数は、第3図に示すとおりである。播種当年の7月13日における計画密度に対する株立率は、2,500区—95.2%, 625区—99.0%, 169区—99.6%, 36区—100%であった。生存率は、密度により著しく異なり、2,500区ではすでに初年目から、625区と169区では主として2年目から、36区では主として3年目から個体数が減少しはじめた。試験終了時である1967年の4番刈時の生存率は、2,500区—7%, 625区—20%, 169区—48%, 36区—83%となり、密度が高いほど生存率は低かった。しかし、生存個数は、2,500区—175, 625区—125, 169区—81, 36区—30と初期密度が高いものほど多かった。各年の最終刈取時から翌春起生時までの、いわゆる越冬期間中の個体数の減少は、生育期間中の減少に比べてきわめて少なかった。

4. 個体重の度数分布

1965年の各掘取時における地上部個体重の度数分布

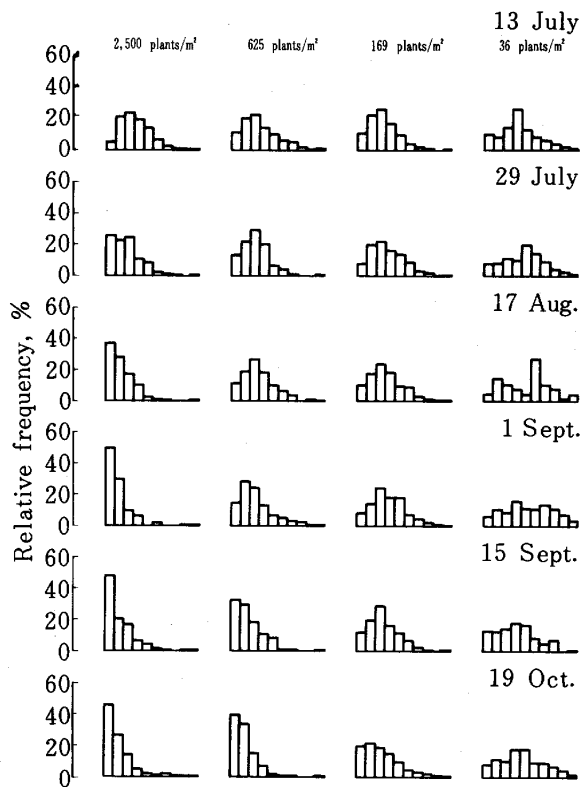


Fig. 4. Frequency distribution of individual top weight at each sampling in the seeding year.

を示すと第4図のとおりである。各密度について、1反復より100個体計300個体のなかの最大値と最小値の間を10の階級に分け、その度数分布を示したものである⁷³⁾。ただし、36区については1反復36個体計108個体を同様の方法により10の階級に分けた。36区をのぞき、一般に分布は軽量の側にかたより、この傾向は密度が高くなるにしたがい、また生育が進むにしたがい顕著となった。2,500区では第2回掘取時(7月29日)に最も軽量の階級の度数が最大となり、以後はいずれの掘取時においても、その度数が約50%を占めた。625区も生育が進むにしたがって分布は偏より、第5回掘取時(9月15日)に最も軽量の度数が最大となった。169区は第6回掘取時(10月19日)にいたって最も軽量の度数が増加した。36区は他の3区にみられたような分布の偏よりはみられない。

第5図は3年間の各刈取時における1反復1m²内の、収量に関与する個体について、地上7cm以上の個体あたり収量を5階級に分け、その度数分布を示したものである。2,500区では1965年の1番刈時にすでに最も軽量の側の度数が最大となり、625区、169区も2番刈時に最も軽量の側の度数が最大となった。36区は個数が少ないために明らかな傾向は認められなかった。1m²

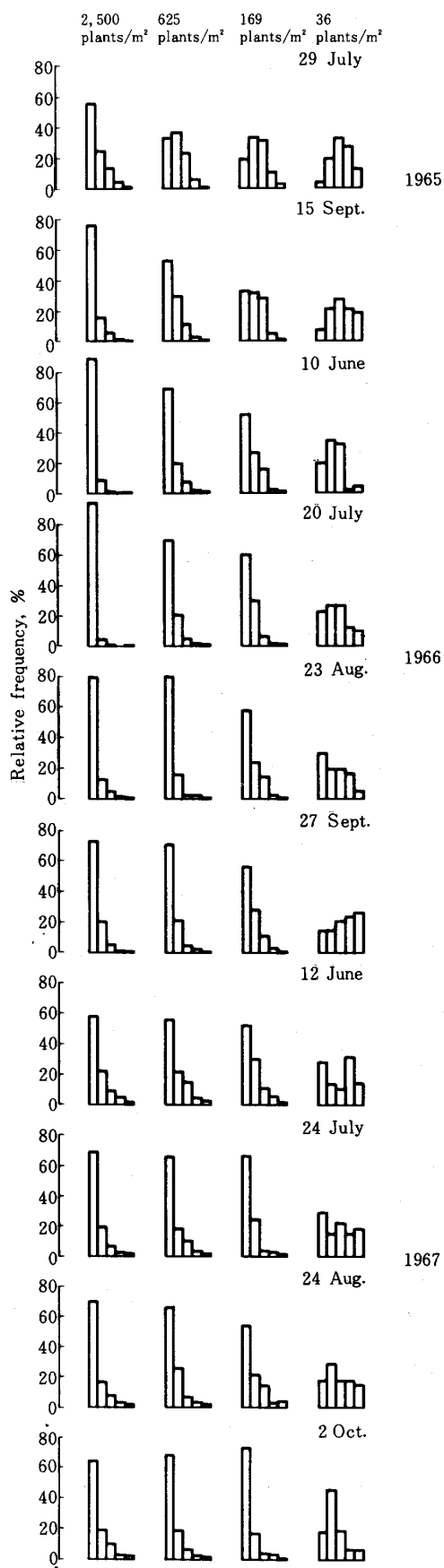


Fig. 5. Frequency distribution of individual top weight cut at 7cm above the ground level at each harvest for three years.

内の全個体の個体重のレンジは、いずれの刈取時においても、疎植となるにしたがい増大し、各密度における最大個体重も疎植となるにしたがい大きくなるが、1967年の2番刈以後、2,500区、625区、169区の3区の個体重度数分布は類似した型を示した。最も標準に近い播種量である625区において、初年目にすでに、いわゆるL字型の分布を示すことにより、アルファルファ群落は、つねに軽量の側に偏した分布をもつ個体群により構成されているといつてよいであろう。

考 察

本試験の密度範囲において、アルファルファは播種当年には開花始期にあたる1番刈時までは、密度が高くなるにしたがい面積あたり収量も高かった。1番刈後もこの関係は継続するが、その差は生育日数が経過するにともない減少し、2番刈時には36区をのぞき、他の3区はほぼ等しい収量を示している。2年目の総収量は、密度に関係なく一定し、3年目においても年間総収量はほぼ等しく、36区がやや低い収量を示すが有意ではない。したがって、2年目以後は、単位面積あたり収量を構成する個体の寄与率が異なるのみで、収量はほぼ一定し、単位面積あたり個体数が多いことは、本試験の密度範囲では播種当年にかぎって有利であるにすぎない。

個体あたり収量は、密度の高い区における個体数の減少により、個体の占有しうる面積が経時的に拡大するにともなう、密度間の差は減少する傾向を示す。各刈取時における平均個体重とその時期に生存する個体数を両対数軸上にとると、その関係は第6図に示すように1965年の2番刈以後は直線関係を示した。そして、篠崎ら⁷²⁾の示すC-D指数、すなわち両対数軸上の回帰直線の傾きをもとめてみると、1965年の2番刈時0.97、1966年の1番刈時1.01、2番刈時1.02、3番刈時0.98、4番刈時1.00、1967年の1番刈時0.96、2番刈時0.97、3番刈時0.92、4番刈時0.85であってほぼ1に近く、単位面積あたり収量が密度に関係なく一定なることを示している。個体数の減少は、密度が高いほど著しいために、計画密度の比が69.4:17.4:4.7:1.0であるのに対し、3年経過後には5.7:4.2:2.7:1.0の比に縮小した。JARVIS³³⁾の品種 Province をもちいた実験では、年間3回の刈取で3年経過後の生存率は1, 2, 3, 6インチ間隔に対して、それぞれ44.2%, 54.8%, 65.4%, 91.1%であって、本実験の結果に比べて個体数の減少がはるかに少ない。品種、刈取条件、肥料条件、気候条件などの差によるものであろう。

各年の最終刈取時から翌春起生時までの、いわゆる

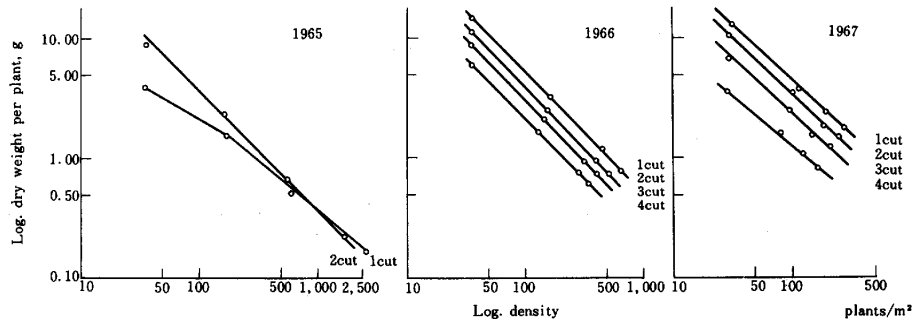


Fig. 6. Relationship between log. density and log. dry weight per plant at each harvest for three years.

越冬期間中の個体数の減少は、生育している期間中のそれに比べて著しく少なかった。鈴木ら⁸³⁾は、本実験にもちいた品種Du Puitsはフラマンデタイプの中では耐寒性はやや弱いとされているが、北海道全域において寒害は認められないとしている。SMITH⁷⁵⁾は、牧草類の冬害と越冬性に影響をおよぼす要因として低温、凍結と融解が交互する変温、アイスシートが形成されたときの窒息死、乾燥、生育ステージ、刈取条件、病害と虫害、土壌の肥沃度などをあげている。SMITH⁷⁵⁾によれば、アルファルファは冬期に圃場から掘りあげられ、 -15°C ～ -9°C の低温に4～5時間さらされると、著しく被害を受けたり、枯死したりする。しかし、ごく寒い地域に適応する品種は冠部が地表面下にあるため、土壌によって低温から保護され、さらに積雪が植物体を効果的に低温から保護するので、アルファルファは非常に寒い地域でも越冬することができる。札幌地方は、第3表⁶⁷⁾に見られるように、11月から3月までの低温期間、地表面は積雪によって保護されていると

いってよい。また積雪のない期間の低温そのものは、第4表に示すようにアルファルファの持つ寒さに対する抵抗性からみて、秋の硬化期間中に刈取を行ったり、生育期間中に極端に頻ばんな刈取を行なって、耐凍性の発達が阻止されないかぎり、多くのアルファルファ品種にとってあまり問題とならない温度であると考えられる。

群落を構成する個体は、前述のように生育にともなって、著しく偏った個体重分布を示すようになり、群落内には相対的に弱小の個体が多く存在するようになる。これらの弱小個体は、とくに光利用の面において不利な条件下におかれ、枯死する率が高いと考えられる^{14, 68, 82)}。

摘 要

1. 個体密度を異にするアルファルファ草地の生育の様相を明らかにするため、品種Du Puitsを2,500個体/ m^2 、625個体/ m^2 、169個体/ m^2 、36個体/ m^2 の4段階の密度に栽植し、3年間にわたり、その生育・収量を比較した。

2. 播種当年の1番刈時までは、密度が高くなるにしたがい単位面積あたり乾物重も多かった。1番刈後もこの関係は継続するが、その差は刈取後の生育日数が経過するにともなって減少し、2番刈時には36個体/ m^2 区をのぞき、他の3区はほぼ等しい収量を示した。2年目、3年目において年間総収量は密度に関係なくほぼ一定し、したがって、単位面積あたり個体数の多い

Table 3. Maximum depth of snow cover in sapporo each month.

	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.
	(cm)							
1964—1965	17	18	61	64	113	122	35	—
1965—1966	—	14	22	109	101	66	4	—
1966—1967	—	30	101	108	65	55	4	—
1967—1968	—	23	38	69	109	89	—	—

Table 4. Monthly normals of mean daily temperature, mean daily maximum temperature and mean minimum temperature in Sapporo.

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	June.	July.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
	(°C)											
Mean daily temperature	-5.1	-4.4	-0.6	6.1	11.8	15.7	20.2	21.7	16.9	10.4	3.7	-2.3
Mean daily maximum temperature	-1.1	-0.2	3.5	11.3	17.6	21.2	25.1	26.5	22.1	16.0	8.2	1.5
Mean daily minimum temperature	-9.5	-9.0	-4.8	1.3	6.6	11.2	16.2	17.8	12.2	5.4	-0.3	-6.1

ことは、本試験の密度範囲では播種当年にかぎって有利であるにすぎない。

3. 個体数の減少は、初期密度に関係し、3年経過後の生存率は2,500個体/m²区—7%, 625個体/m²区—20%, 169個体/m²区—48%, 36個体/m²区—83%で、初期密度が高いほど低かった。しかし、生存個体数はそれぞれ169, 125, 81, 30個体/m²で、初期密度が高いほど多かった。

4. 各刈取時におけるlog.個体数—log.個体重の関係は、播種当年の2番刈以後は直線的関係を示し、回帰直線の傾き（C—D指数）はほぼ1であり、単位面積あたり収量が密度と無関係に一定となることを示した。

5. アルファルファ草地は生育のごく初期をのぞき、つねに軽量の側に偏した個体重度数分布をもつ個体群によって構成されている。

第2章 密度の推移と品種の関係

第1章においてアルファルファ草地の収量は、初期密度36個体/m²から2,500個体/m²の範囲内では、刈取初年目をのぞき、有意の差のないことを記した。アルファルファは、南西アジアに起源を持つ草種とされるが、現在は熱帯をのぞく北緯60°から南緯45°にわたる非常に広い地域にわたって栽培されている草種である⁸³⁾。このため、品種の分化も著しく進んだ草種の一つであり、品種のもつ形態、生理、生態的特性はきわめて変異に富んでいる^{5, 36, 49, 64)}。これらの特性を異にする品種は、密度に対する反応も当然異なってくることが予想される。TYSDALら⁹⁵⁾は、アルファルファ品種の収量の評価がドリル播の状態と個体植の状態とでは変わりのないことを報告している。また、WEIHINGら¹⁰⁰⁾も同様の結果をアルファルファで示している。しかしながら、LAZENBYら⁴⁷⁾は、ペレニアルライグラスの品種の評価が栽植される密度によって異なることを報告している。同様に品種または系統の収量の評価が栽植密度によって異なるという結果を、NISSEN⁵⁹⁾はチモシーで、阿部ら¹⁾はオーチャードグラスで、岡部^{61, 62)}はイタリアンライグラスで、AHLGRENら²⁾、KRAMER⁴²⁾はケンタッキーブルーグラスで報告している。このように品種あるいは系統と栽植密度の間に交互作用が存在することは、個体植などによる品種あるいは系統の収量の評価が、実際栽培での品種の評価と合致しなくなる可能性があることを示唆することになる。本章では、形態、生理、生態的特性を異にする代表的な3品種を3段階の密度に栽植し、同一の刈取条件を与えた場合の収量と個体数の変動について報告する⁸⁸⁾。

材料と方法

試験は、1967年から1970年の間、千葉県松戸市千葉大学園芸部附属農場で行なった。圃場は、火山灰土壌で、排水はきわめて良好である。

供試品種は、Moapa, Rhizoma, Williamsburgの3品種で、LOWEら⁴⁹⁾、BOLTON⁵⁾、村上ら⁵²⁾、鈴木ら⁸³⁾、渡辺ら⁹⁹⁾によれば、Moapaは紫花種に属し、草型は直立、刈取後の再生きわめて早く、耐寒性にとぼしく、短年利用に適するとされる。Rhizomaは雑色種に属し、草型は直立からほふく型の間で変異し、刈取後の再生おそく、耐寒性強く、長年利用に適するとされる。また、Williamsburgは紫花種に属し、草型は直立、刈取後の再生はやく、耐寒性強く、長期利用に適するとされる。

栽植密度は、2,500個体/m²、625個体/m²、25個体/m²（以下2,500区、625区、25区と略記する）の3段階で、625区と25区は所定の位置に5粒から6粒播

種した後、間引いて1本立の正方形植とした。また、2,500区は圃場における出芽率から換算して、m²あたり2,500個体となるような種子数を散播した。播種期は、1967年9月19日から23日で、不出芽の位置には追播した。根りゆう菌は、出芽後噴霧機で接種した。

試験区は分割区配置法3反覆とし、主区に品種を、細区に密度を割りあてた。1細区面積は12.0m²(1.5m×8.0m)である。ただし、2,500区は掘取によって個体数を推定するために19.2m²(2.4m×8.0m)とした。

刈取は年間5回刈とし、Williamsburgの開花始期をおおよその目安とした。ただし、5番刈については開花を刈取の指標とせず、4番刈後42日から45日で刈取った。刈取日は1968年は5月27日、7月3日、8月8日、9月18日、10月30日、1969年は5月29日、7月18日、8月13日、9月15日、10月30日、1970年は5月28日である。刈取の高さは地上7cmである。

肥料は、播種時に土壌酸度をあらかじめpH 6.7に矯正後、基肥としてN—3kg/10a、P₂O₅—15kg/10a、K₂O—14kg/10aを与え、以後は年間N—3kg/10a、P₂O₅—30kg/10a、K₂O—40kg/10aを早春起生時と各刈取後均等に分施した。なお、Nは硫安、P₂O₅は過りん酸石灰と溶成りん肥を1/2量ずつ、K₂Oは硫酸カリを使用した。

収量の調査は、各細区の中央部4.0m²(0.8×5.0m)について行なった。刈取った生草のうちから200g~300gの生草を採り、その茎数を数え、これを1細区内で3回くり返した。また、このサンプルから生草の乾物率をもとめた。

1番刈、3番刈、5番刈の刈取直後、25区は収量を測定した4.0m²内の、また625区は各細区にもうけた釣糸を張った定置枠(80cm×80cm)内の個体数を調査した。2,500区の個体数は、各細区あたり4カ所の枠(20cm×20cm)内の全個体を掘取った値から推定した。

また、刈取初年目(1968)の2番刈後、隣接した同じ処理区をもつ圃場において、1週間ごとに層別刈取を行ない、生産構造を調べた。群落内照度は東芝5号照度計をもちいて測定した。

結 果

1. 面積あたり乾物収量

1968年から1970年の刈取ごと、年間合計、3年間合計(1968年と1969年の合計と1970年の1番刈の合計)の乾物収量とその分散分析の結果を第5表に示した。刈取初年目の1968年は、2,500区、625区ではどの品種も1番刈の収量が最も高く、3番刈の収量は2番刈よりも高くなり、以後は刈取回次が進むにしたがって低下した。25区では1番刈の収量が著しく低く、2番刈

Table 5. Dry matter yield of three cultivars at different densities (kg/a)

Cultivar	Density Plants/m ²	1968					1969					1970		Total	
		1 cut	2 cut	3 cut	4 cut	5 cut	Tot.	1 cut	2 cut	3 cut	4 cut	5 cut	Tot.		1 cut
Moapa	2,500	43.9	21.0	23.3	19.4	9.0	116.6	34.0	32.9	27.5	20.2	13.4	128.0	51.1	295.7
	625	36.8	19.0	23.8	18.3	8.8	106.7	38.7	29.5	27.6	19.5	12.8	128.0	49.4	284.1
	25	17.3	27.0	25.8	17.0	8.5	95.6	40.2	29.3	24.7	17.4	12.9	124.6	38.9	259.1
Rhizoma	2,500	57.6	23.8	26.3	19.6	4.2	131.3	45.6	33.4	23.7	15.2	9.2	127.2	48.7	307.2
	625	41.7	26.9	27.3	18.3	3.8	117.7	50.6	34.2	21.7	16.1	9.6	132.2	52.3	302.3
	25	28.3	31.1	28.2	17.8	3.2	108.5	52.9	35.7	21.4	12.2	7.7	129.9	49.9	288.5
Williamsburg	2,500	66.6	26.9	28.3	19.1	7.6	148.5	50.7	32.9	26.7	17.3	12.8	140.4	53.0	341.9
	625	54.1	25.5	29.8	17.7	6.7	133.9	53.2	34.6	29.4	18.3	12.7	148.2	53.8	335.9
	25	22.4	28.9	28.5	17.6	5.7	103.1	50.9	32.5	25.2	12.7	9.9	131.3	49.1	283.5
Variance ratio															
Cultivars		11.22*	6.34	3.53	0.83	248.40**	21.50**	28.79**	39.3	27.57**	10.88*	25.54**	13.91*	2.46	59.24**
Densities		226.44**	19.00**	1.95	4.68*	4.07*	169.22**	3.68	0.21	4.85*	19.93**	5.98*	2.82	2.60	33.90**
Culti. x Dens.		8.70**	2.45	0.78	0.18	0.47	14.14**	0.71	2.80	1.45	1.20	1.58	1.27	1.03	3.74*

* Significant at the 0.05 level.

** Significant at the 0.01 level.

の収量が最高となり、以後は刈取回次が進むにしたがって低下した。刈取2年目の1969年は、どの品種、どの密度でも刈取回次が進むにしたがって収量は低下した。

Rhizoma は、シーズン後半の収量、とくに5番刈の収量が極端に低下するのに対して、Moapa は秋おそくまで生育を続け、5番刈の収量も比較的多く、品種のもつ休眠性の差異を示した。Williamsburg の秋季の生育は、この両者の中間的性質を示すが、Moapa よりは Rhizoma に類似した。

品種間の差を5%水準でみると、1968年の1番刈では Williamsburg の収量が Moapa よりも高く、5番刈では Moapa > Williamsburg > Rhizoma の順であり、年間合計では Moapa の収量が他の2品種に比べて低かった。1969年の1番刈では、Moapa の収量が他の2品種に比べて低く、3番刈では Rhizoma の収量が低かった。4番刈では Moapa の収量が Rhizoma の収量にまさり、5番刈では Rhizoma の収量が他の2品種に比べて低かった。年間合計では Williamsburg の収量が他の2品種の収量にまさった。3年間合計での品種の収量順位は Williamsburg > Rhizoma > Moapa の順であった。

密度間の差を5%水準でみると、1968年の1番刈では2,500区 > 625区 > 25区の順であり、2番刈では逆に25区の収量が高い。4番刈では2,500区の収量が625区、25区に比べて高く、5番刈では2,500区の収量が25区にまさった。年間合計の収量順位は2,500区 > 625区 > 25区の関係を示した。刈取2年目(1969)の3番刈では625区の収量が25区より高く、4番刈、5番刈では25区の収量が2,500区、625区よりも低い。3年間合計の収量では、25区の収量が2,500区、625区よりも低かった。

1968年の1番刈収量、年間合計収量ならびに3年間合計収量で、品種と密度の間に有意な交互作用がみられるが、いずれも主効果の分散が交互作用の分散よりもはるかに大きく、主効果に関してのみの比較をしてもよいと考えられる⁶³⁾。しかし、25区においては、その差は有意ではないが、Rhizoma と Williamsburg の収量順位が入れかわることは、品種を評価するときに注意すべき点であるとおもわれる。

2. 個体数の減少 (第7図)

計画した密度は、2,500, 625, 25個体/m²であるが、実際の初期密度は Moapa は2,595, 560, 24個体/m², Rhizoma は2,510, 595, 25個体/m², Williamsburg は2,065, 520, 24個体/m²であった。播種当年の1967年の越冬前から1968年の1番刈時までの期間に、非常に多くの個体が枯死しているが、このうちかなりの個体

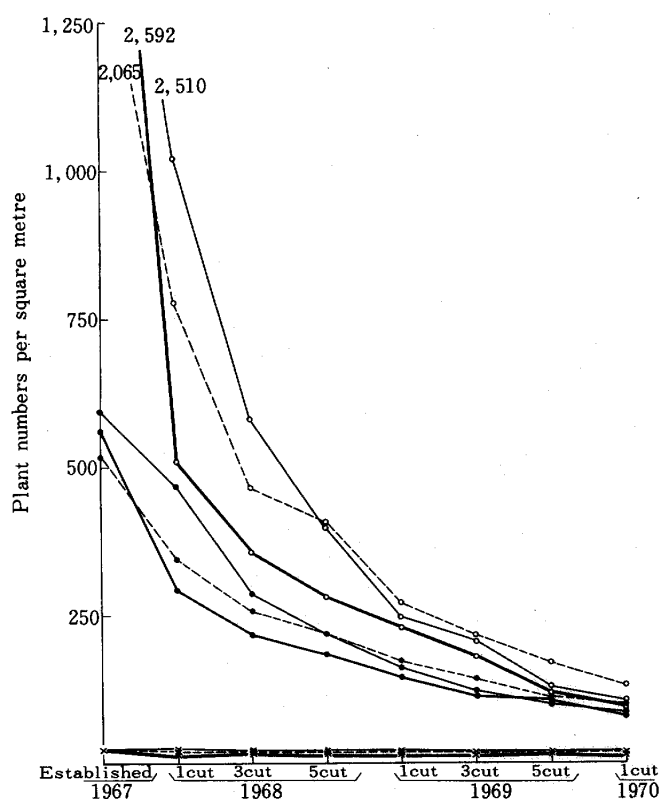


Fig. 7. Decreasing trend of plant numbers of three cultivars at different densities.

○—○	Moapa	2,500 plants/m ²
●—●	Moapa	625 plants/m ²
×—×	Moapa	25 plants/m ²
○—○	Rhizoma	2,500 plants/m ²
●—●	Rhizoma	625 plants/m ²
×—×	Rhizoma	25 plants/m ²
○- - -○	Williamsburg	2,500 plants/m ²
●- - -●	Williamsburg	625 plants/m ²
×- - -×	Williamsburg	25 plants/m ²

が早春萌芽時までに枯死していることが観察された。2,500区, 625区において, 刈取初年日(1968)の3番刈時までは, Williamsburg に比較して Rhizoma の個体数が多いが, 3番以後は逆転して Williamsburg の個体数の方が多くなった。試験終了時の個体数は, 2,500区, 625区, 25区の順に, Moapa では 94, 79, 15個体/m², Rhizoma では 103, 83, 18個体/m², Williamsburg では 130, 99, 18個体/m²となり, おおむねどの密度でも Williamsburg > Rhizoma > Moapa の関係を示すが, 625区では Moapa と Rhizoma の間の差は有意ではない。また, 25区では Williamsburg と Rhizoma の個体数が等しく, Moapa が少ない。3年間の結果では, 個体数減少の品種間差は予期したほど大きくなかった。

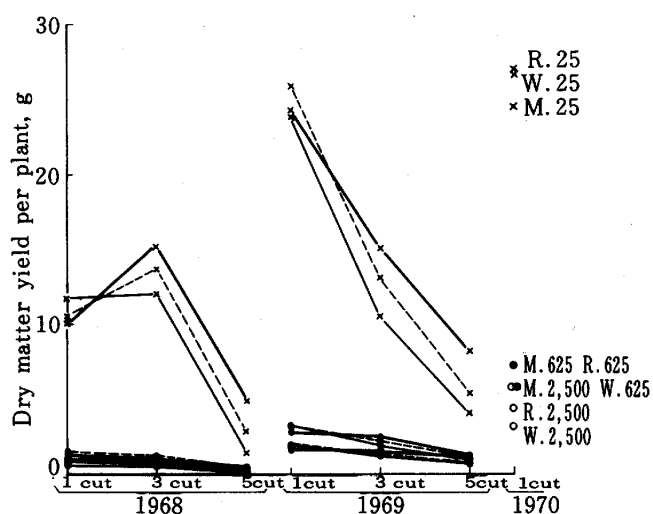


Fig. 8. Dry matter yield per plant at each harvest for three years.

○—○	Moapa	2,500 plants/m ²
●—●	Moapa	625 plants/m ²
×—×	Moapa	25 plants/m ²
○—○	Rhizoma	2,500 plants/m ²
●—●	Rhizoma	625 plants/m ²
×—×	Rhizoma	25 plants/m ²
○- - -○	Williamsburg	2,500 plants/m ²
●- - -●	Williamsburg	625 plants/m ²
×- - -×	Williamsburg	25 plants/m ²

3. 個体あたり収量

各年の1番刈, 3番刈, 5番刈時の面積あたり乾物収量をその時の個体数で除した平均個体あたり収量を第8図に示した。1シーズン内では, 1968年の1番草のすべての25区と Rhizoma の625区のみが刈取回次の進んだ3番刈よりも小さいが, その他は刈取回次が進むにしたがって個体あたり収量は低下する。年次の進行にともなって, 対応する各刈取時の個体あたり収量は, 個体数が減少するため, 25区の3番刈をのぞき増大する。25区では, どの品種も1968年の1番刈の個体あたり収量が, 1969年, 1970年の1番刈に比べて著しく低く, この密度での個体の生育の能力の上限まで達していないことを示している。どの品種も各刈取時の個体あたり収量は25区 > 625区 > 2,500区の関係を示した。Moapa は, シーズン後半になるにしたがって生育量が他の2品種に比して相対的に大きくなった。

4. 面積あたり茎数(第9図)

どの品種も密度が高くなるにしたがって, 面積あたり茎数は増加の傾向を示しているが, 刈取回次が進むにしたがって, 2,500区と625区の茎数の差は縮小し, 25区のみが低い値を示した。どの品種も1968年の1番

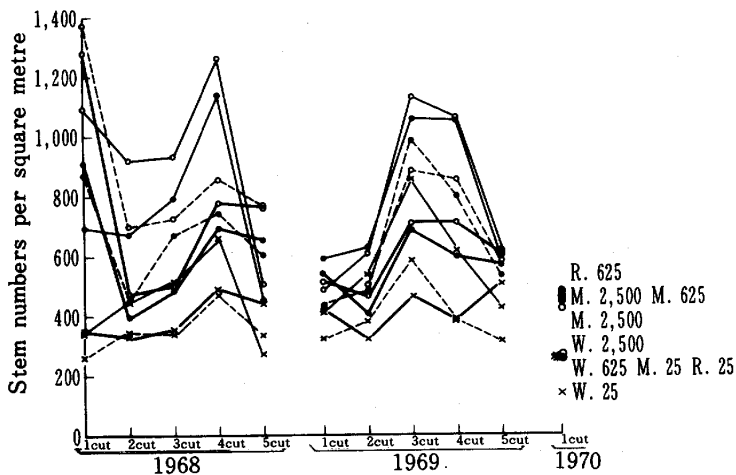


Fig. 9. Stem numbers per square metre removed at each harvest for three years.

- Moapa 2,500 plants/m²
- Moapa 625 plants/m²
- ×—× Moapa 25 plants/m²
- Rhizoma 2,500 plants/m²
- Rhizoma 625 plants/m²
- ×—× Rhizoma 25 plants/m²
- Williamsburg 2,500 plants/m²
- Williamsburg 625 plants/m²
- ×-----× Williamsburg 25 plants/m²

刈をのぞくと、1968年は4番刈時に、1969年は3番刈時に面積あたり茎数のピークがみられる。1968年の1番刈時の茎数は、25区が1969年、1970年とほぼ同じレベルにあるのに対し、2,500区、625区では1969年、1970年に比べて著しく多いことが示されている。

品種の間では、1番刈では1968年は明らかな傾向はみられず、1969年と1970年ではどの密度でも Williamsburg の茎数が少ない。2番刈、3番刈、4番刈では、どの密度でも、茎数はほぼ Rhizoma > Williamsburg > Moapa の関係を示した。5番刈では、1968年、1969年とも Moapa の茎数が他の2品種に比べて多かった。

5. 1 茎 重

各刈取時における面積あたり乾物収量を面積あたり茎数で除した値を、平均1茎重として第10図に示した。1茎重は、密度が高くなるにしたがって小さくなる傾向を示すが、この差は時間の経過とともに減少し、とくに、2,500区と625区は1969年になるとしばしば逆転

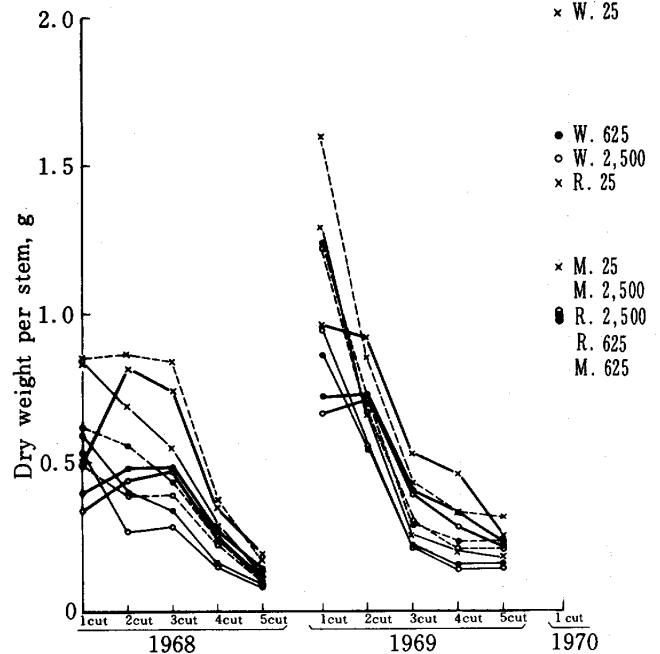


Fig. 10. Dry weight per stem at each harvest for three years.

- Moapa 2,500 plants/m²
- Moapa 625 plants/m²
- ×—× Moapa 25 plants/m²
- Rhizoma 2,500 plants/m²
- Rhizoma 625 plants/m²
- ×—× Rhizoma 25 plants/m²
- Williamsburg 2,500 plants/m²
- Williamsburg 625 plants/m²
- ×-----× Williamsburg 25 plants/m²

して、両者の間に差のないことを示した。しかし、両者と25区の間にはかなり大きな差が認められた。

品種間では、どの密度でも1番刈時にはおおむね Williamsburg の1茎重が大きく、以下 Rhizoma, Moapa の順となった。しかし、刈取回次が進むにしたがって、Rhizoma の1茎重が相対的に小さくなり、Moapa の1茎重が大きくなる傾向が認められた。Moapa は、1968年は1番刈よりも2番刈時の方が1茎重が大きく、1969年も2,500区、625区は2番刈時の1茎重が大きく、他の2品種とは異なる傾向を示した。

6. 収量と面積あたり茎数、1茎重との関係

収量と面積あたり茎数、1茎重の相関関係をみると(第6表)、密度間に収量差があらわれている刈取時に

Table 6. Correlation coefficients, within cultivars and over-all, between dry matter yield per unit area and stem number or stem weight.

	1968					1969					1970	
	1 cut	2 cut	3 cut	4 cut	5 cut	1 cut	2 cut	3 cut	4 cut	5 cut	1 cut	1 cut
Between dry matter yield per unit area and stem numbers												
Moapa	0.965***	-0.051	0.049	0.866**	0.715***	-0.253	0.739*	0.900***	0.932***	0.710*	0.998***	
Rhizoma	0.961***	-0.392	-0.255	0.485	0.953***	-0.252	0.656	0.807**	0.916***	0.965***	0.686*	
Williamsburg	0.934***	-0.140	0.245	0.642	0.914***	0.613	0.665	0.823**	0.940***	0.958***	0.713*	
Over-all	0.845***	0.078	0.273	0.568**	0.801***	-0.183	0.716***	-0.028	0.248	0.531*	0.426*	
Between dry matter yield per unit area and stem weight												
Moapa	-0.581	0.522	0.046	-0.658	-0.155	0.642	-0.339	-0.079	-0.880**	-0.182	-0.832**	
Rhizoma	-0.830**	0.697*	0.437	-0.031	-0.232	0.379	0.251	-0.344	-0.575	-0.399	-0.053	
Williamsburg	-0.696*	0.499	-0.098	-0.021	-0.362	-0.198	-0.209	-0.480	-0.864**	-0.893*	-0.161	
Over-all	-0.297	0.433*	0.058	-0.828***	0.355	0.703***	-0.378	0.324	0.209	0.348	0.152	

* Significant at the 0.05 level.

** Significant at the 0.01 level.

*** Significant at the 0.001 level.

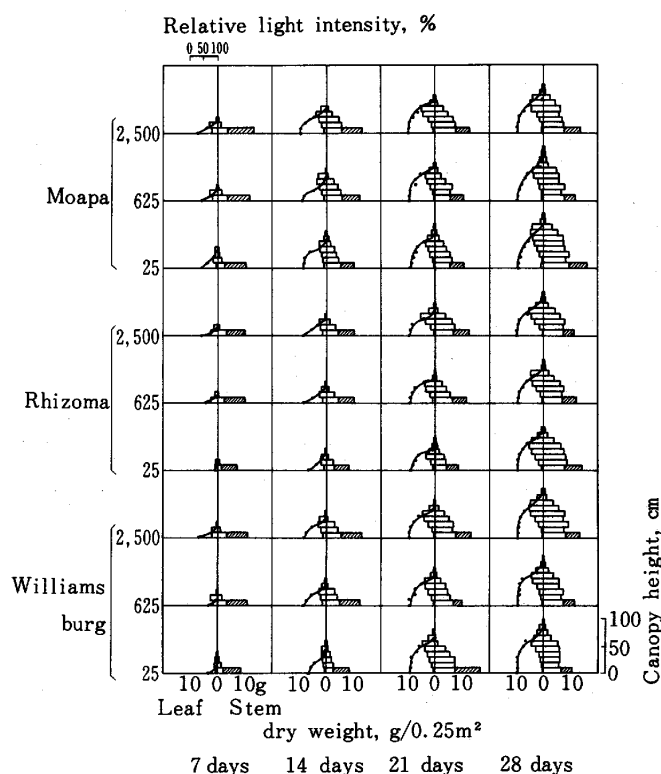


Fig. 11. Changes in production structure and light profile of three alfalfa cultivars at different densities after the second cutting in the first harvesting year. Hatched parts indicate dead portion of plants.

は、収量と面積あたり茎数の間に高い正の相関関係が示されている場合が多く、この場合、収量と1茎重の間の相関係数は負の値を示している。このことは、茎数の増加により、1茎重が逆に低下する傾向があることを示している。同一品種内でみられる収量と茎数の間の相関関係は、3品種をこみにした場合にはあらわれてこないことがあり、各刈取時における1茎の大きさが品種によって著しく異なっていることを示している。

7. 再生過程の生産構造

刈取初年目(1968)における2番刈後の1週間ごとの生産構造を第11図に示した。刈取後の再生は、Moapaが一番早く、以下Williamsburg, Rhizomaの順となる。刈取後4週目には、MoapaとWilliamsburgはほぼ似たような生産構造と照度分布を示すのに対し、Rhizomaはほふく型の習性を示すので、前二者に比べて自然草高が低く、やや横に広がった生産構造を示す。密度間では生産構造および群落内の照度の状態に差異は認められなかった。

考 察

供試した品種の特性の違いから、個体数の減少が品種により著しく異なることが予期されたが、品種間の差は予期したほど大きなものではなかった。年間5回の刈取回数は、再生の早いMoapaに対して有利に働き、再生のもっとも遅いRhizomaに対しては多すぎたと考えられる。このため、短年利用に適するとされるMoapaの個体数の減少が予期したほど多くならず、長年利用に適するとされるRhizomaの減少が刈取初年目の3番刈以後予想以上に多くなったものと考えられ、個体数の減少が刈取回数と密接に関係していることを示唆する。

多年生牧草が夏を経過する能力、すなわち越夏性は、基本的には耐暑性と耐旱性が関与し、これらに病害に対する抵抗性が二次的に関与すると考えられる。JUNG³⁴⁾は、アルファルファの原産地は寒い冬と暑い夏を持つ気候によって特色づけられ、暑い夏は、また、乾燥条件と結びついているとしている。しかし、我国のように夏期に多湿である地域において、耐旱性が越夏のために耐暑性と同じ程度に重要な特性とは考えられない。FELTNER¹⁵⁾は、アリゾナで生育させたMoapaとLahontanの単位面積あたり個体数と草収量は、着蕾期、1/10開花期、満開期のいずれの刈取条件でも経時的に減少することを報告している。減少は、Moapaを最も頻ぱんに刈取った場合に最大で、7月から8月の気温の高い時期に顕著にあらわれた。また、頻ぱんな刈取が両品種の貯蔵炭水化物の低下に及ぼす影響も、高温時に最も明らかであるとした。ROBINSON⁶⁶⁾も、夜温の高い期間は、草収量と生存率を高める炭水化物のレベルを保つために、刈取時期を1/10開花から1/4開花期、または、LAIが4.5になるまで延期すべきことを勧めている。このように、夏期に草収量が低下し、個体数が減少しやすいという事実は、基本的には植物体の光合成量と呼吸量の差引きによって説明される。多くの植物の最大の呼吸温度は、最大の光合成温度よりも高いことが知られている。村田⁵³⁾は、多くの飼料作物の光合成と呼吸を測定した実験の中で、アルファルファは光合成に対する最適値の幅が広く、10°~25℃の範囲ではほとんど差がみられないのに対し、呼吸は温度の上昇にともない増加することを報告している。WEST¹⁰¹⁾は、耐暑性のあるアルファルファと耐暑性のないアルファルファの葉片は、30℃の条件では同程度の呼吸量であるのに、40℃になると、耐暑性のない品種は耐暑性のある品種の36%増の呼吸量を示すことを報告している。そして、フロリダのような暑い地域におけるアルファルファの永続性の低下が植物体の呼

吸量を増加させ、貯蔵炭水化物量を低下させる夏期の高夜温に起因していることを示唆している。本実験にもちいた3品種は、個体数の減少程度に差がみられたが、これは品種のもつ越夏性の差よりは、熟期の差にもとずく貯蔵炭水化物の蓄積過程と刈取時期の関係によって説明しうるものであろう。

3年間の合計収量で、密度間に最も大きな収量差があらわれたのは、刈取初年目の1番刈時であって、この収量差が1968年の年間合計収量ならびに3年間合計収量を大きく左右している。このことは、3年間合計収量から1968年の1番刈収量を差引くと、密度間の差が失われ、品種間の差のみが存在することからもうなづける。シーズン後半の刈取時においても密度間に有意差が認められるが、年間合計収量に占める4番刈、5番刈の比率が著しく低く、その差もきわめて小さいためにあまり大きな影響を与えていない。

供試品種の示す特性の違いから、品種と密度の間に収量に関して交互作用のあることが予想され、この点を明らかにすることがこの試験の目的の一つであった。AHLGREN²⁾は、ケンタッキーブルーグラスの選抜系統をエーカーあたり40ポンド（すべての種子が出芽するものとして換算するとほぼ21,500個体/m²となる）の散播条件と60cm×105cmの個体植の条件で比較し、選抜系統の個体植の収量と散播の収量の間にはほとんど関係がないことを示している。そして、個体植の生育は、同じ系統の散播条件下の収量を予測しないとしている。KRAMER⁴²⁾も、ケンタッキーブルーグラスで同じような結果を報告している。NISSEN⁵⁹⁾は、チモシー品種の個体植と散播を比較し、両者の相関が一般に低いことを示し、個体植の観察の結果から群落条件下の収量を予測することは不可能であるとした。GREEN²⁰⁾は、ペレニアルライグラス5品種を個体植、散播、シロクロバとの混播条件で栽培し、同一の刈取条件を与えた。その結果、草収量に関して個体植の収量順位は、散播されたときには逆転することを示した。そして、この不一致は、すべての品種を同一の標準の播種量で播種したことに起因するとし、個体植は群落状態の比較よりも、相対的な潜在力を比較するのに秀れているとしている。LAZENBY⁴⁷⁾は、個体植したときの特性の差によって選んだペレニアルライグラス4品種を27, 9, 3インチ間隔の正方形植ならびに散播の群落状態（それぞれ2, 20, 180, 1,620個体/m²）の密度で栽植した。その結果、牧草の選抜に普通に用いられる、個体間の競争がほとんど無い条件である27インチ間隔の個体植の品種の評価は、散播区の収量と一致しないのみならず、9インチ、3インチ間隔の密度の収量とも一致しないことを認めた。そして、品種の相対的収量は、

個体が容易に区別できる9インチ間隔の密度でも、3インチ間隔の密度あるいは散播条件の場合と変わらないとした。また、群落条件下の品種の相対的な評価を正確に予測できる最低の密度は、種と品種のタイプによって変わるであろうとしている。TYSDALら⁹⁵⁾は、アルファルファの品種HardistanとLadakを4, 7, 18, 24インチ間隔のドリル播と24×12インチの個体植の状態と比較し、どの栽植方法でも品種の収量順位が変わらないことを報告している。WEIHINGら¹⁰⁰⁾は、アルファルファのMeeker, Baltic, Nebraska common, Grimm, Ladak, Hardistanの6品種を、(a)条間3フィートの1条区、(b)条間20インチの1条区、(c)条間20インチの3条区、(d)条間12インチ、区間20インチの3条区、(e)条間12インチ、区間20インチの5条区で比較し、ほとんどすべての区において収量順位に差のないことを報告している。本実験では、1968年の1番刈、年間合計ならびに3年間合計収量にみられた交互作用は有意であった。しかし、いずれもその分散が主効果の分散に対してはるかに小さく、したがって3年間合計の収量順位は、Williamsburg > Rhizoma > Moapaとみなすことができ、密度の範囲はかなり異なるが、TYSDALら⁹⁵⁾、WEIHINGら¹⁰⁰⁾と同じ傾向を示すものと考えられる。しかし、有意な交互作用が存在したことは、少なくとも品種の収量順位が密度によって異なってくる可能性があることを示している。

栄養体を収量とする作物の収量が、ある密度以上では差のないことが多くの作物について報告され、アルファルファについてもいくつかの報告がある。^{17, 33, 86, 106)}JARVIS³³⁾の報告によれば、初期44個体/m²で3年後41個体/m²の密度以上では、3年間の合計収量で密度間に差が認められない。また、高崎ら⁸⁶⁾は、初期36個体/m²で3年後30個体/m²以上の密度で、収量に差のあらわれてくるのは刈取初年目だけであるとしている。本実験の25区(初期25個体/m²で3年後15~18個体/m²)の3年間の合計収量は、2,500区、625区に比べてわずかに低い。しかしながら、この差には刈取初年目の1番刈の収量差が大きく関与していること、刈取2年目の年間合計収量、刈取3年目の1番刈収量では密度間に差のないことから、アルファルファ草地は、1m²あたり15個体程度の非常に少ない個体数でも、それ以上

の個体数と変わらない収量を維持できることがわかる。シーズン後半の4番刈、5番刈にみられたように、刈取から刈取までの生育量が低下するような場合には、収量を維持するためにより多くの個体数が必要であると考えられる。しかし、前述のように年間合計収量に占める4番刈、5番刈収量の比率は低く、その差も小さいために年間合計収量に及ぼす影響は少ないといえる。

摘 要

1. アルファルファ草地における収量一面積あたり個体数の関係を、より一層明らかにするため、特性を異にするMoapa, Rhizoma, Williamsburgの3品種を2,500個体/m², 625個体/m², 25個体/m²の密度に栽植して、3年間にわたり生育・収量を比較した。
2. 3年間の合計収量で、密度間には2,500個体/m² > 625個体/m² > 25個体/m²の関係を得たが、この収量差は刈取初年目の1番刈の収量差にもとずくところが大きく、2年目の合計収量、3年目の1番刈収量では密度間に収量差は認められない。
3. 3年間合計収量の品種の収量順位はWilliamsburg > Rhizoma > Moapaとみなされる。主効果の分散に比べてはるかに小さいが、密度と品種の間に交互作用が存在したことは、少なくとも品種の収量順位が密度によって異なってくる可能性のあることを示唆する。
4. 個体の減少率は、どの品種でも初期密度が高いほど大きい。試験終了時の生存個体数は2,500個体/m²区、625個体/m²区、25個体/m²区の順に、Moapaは94, 79, 15個体/m², Rhizomaは103, 83, 18個体/m², Williamsburgは130, 99, 18個体/m²と初期密度が高いものほど多かった。生存率が刈取条件に対する品種の反応の違いによって左右されていることが、個体数の減少経過からうかがわれた。
5. 1茎重は、密度が高くなるにしたがって低下する傾向を示し、2,500個体/m²区と625個体/m²区との差は、刈取が進むにしたがって失われるが、この両者と25個体/m²区との間にはかなり大きな差が認められた。
6. アルファルファ草地の収量は、1m²あたり15個体程度の少ない個体数でも、それ以上の個体数と変わらない収量を十分維持できる。

第3章 施肥および刈取処理の影響

第1章と第2章で、密度の違いによってアルファルファ草地の収量に差のあらわれてくるのは、刈取初年目だけであることを報告した。しかし、一方ではアルファルファ草地における低収量が、面積あたり個体数の少ないことと結びついている結果も数多く報告されている。LOWEら⁴⁸⁾は、アルファルファの多交雑後代検定において、5年間の総乾物収量と初期および5年目のスタンドの評点の間に、高い有意な相関があることを報告している。ROBINSONら⁶⁶⁾、FELTNERら¹⁵⁾は、刈取時の個体数と収量の間に相関があることを報告している。AREVALILLO³⁾、FULKERSON¹⁶⁾、WASHKOら⁹⁸⁾も、刈取条件を変えた場合の個体数と収量が密接に関係することを示している。REYNOLDS⁶⁴⁾は、冬期の密度と翌年の収量の間には高い相関があることを示している。

草地は与えられた要因に反応して、その収量と個体数を変動させるが、多くの要因の中でも、栽培的に制御しうる要因に対して草地がどのように反応するかをとらえることが、栽培の面からは特に重要であるとおもわれる。本章では、初期密度を一定にして品種、刈取回数、施肥のレベルを変化させた場合の収量と個体数の関係について検討した結果を報告する⁸⁹⁾。

材料と方法

試験は、1967年から1970年の間、札幌市、北海道大学農学部附属農場で行った。試験圃場の土壌は沖積壤土である。

試験区は、3品種×3刈取回数×3施肥レベルの計27区で、配置は分割区配置法3反覆とし、主区に施肥のレベル、細区に刈取回数、細々区に品種を割当てた。1細々区の面積は11.9m² (1.7m×7m) である。

供試品種は、生理生態的特性を異にする代表的品種である Du Puits, Moapa, Rambler の3品種である。Du Puits は多少雑色性を有し、草型は直立、刈取後の再生はやく、冬枯れ抵抗性つよく、短年利用に適する品種とされる。Moapa は紫花種に属し、草型は直立、刈取後の再生きわめて早く、耐寒性とぼしく、短年利用に適する。Rambler は雑色種に属し、草型はほふく型で、刈取後の再生きわめておそく、耐寒性の強い品種である^{5, 49, 52, 83, 99)}。

刈取は、Du Puits の開花程度を指標として、1番刈を着蕾期に、その後は約28日おきに年間5回刈取る区、1番刈を1/10開花期に、その後は約35日おきに年間4回刈取る区、1番刈を満開期に、その後は約45日おきに年間3回刈取る区の3区とした。ただし、刈取初年目(播種当年)は全区とも同一の日に年間2回刈

取った。また最終年は全区とも同一の日に1番刈を行なって試験をうちきった。

施肥のレベルは、年間100kg/10aの草地化成肥料(N—6, P₂O₅—11, K₂O—11)を3回に分施する区、同じく年間50kg/10aを同様に分施する区、それに無肥料の3区とした。ただし、播種当年は圃場のpHを6.5に矯正した後、全区に60kg/10aの草地化成肥料(N—6, P₂O₅—11, K₂O—11)を基肥として施用した。また、最終年には全区とも早春起生時に30kg/10aの草地化成肥料を与えた。

播種は1967年6月1日。圃場における出芽率から換算して、各品種とも625個体/m²になるような種子数を散播した。

収量は各細々区の中央4.55m² (5.0m×0.91m)を7cmの高さで刈取った生草重に、これから採った500～1,000gのサンプルからもとめた乾物率を乗じて乾物収量としてあらわした。

個体数は各細々区に30cm×30cmの定置枠を設けて不定期に調査した。また、試験終了時には、この他に各細々区の2ヶ所で1m² (1m×1m)内の個体数を調査した。

結 果

1. 乾物収量

年間合計ならびに4年間合計の乾物収量を第12図に、その分散分析の結果を第7表に示した。刈取初年目(播種当年)では刈取回数、施肥量が同じなので、当然これらの間に差はみられず、品種間では Du Puits が他の2品種に比べて収量が高かった。刈取2年目でも施肥量間に差はみられない。Moapa は、5回刈でも、3回刈、4回刈と同じレベルの収量を保つのに対し、Du Puits は5回刈になるとわずかに、Rambler では大幅に収量が低下する。3回刈、4回刈での品種の収量順位は Du Puit > Moapa = Rambler であり、5回刈では Du Puits = Moapa > Rambler であった。刈取3年目の収量は、すべての区で刈取2年目の収量よりも低い。施肥量間にはやはり差は認められない。どの品種も刈取回数が増すにしたがって、収量は減少する傾向をもつが、減少の程度は品種によって異なり、Moapa ではその傾向が比較的ゆるやかである。品種間には、3回刈で Du Puits > Moapa = Rambler, 4回刈で Du Puits = Moapa > Rambler, 5回刈で Moapa > Du Puits > Rambler の関係がある。刈取4年目の1番刈収量でも、施肥量間に差はみられない。どの品種でも3回刈と4回刈は、ほぼ同じレベルの収量を示すが、5回刈になると収量は低下する。品種の間には3回刈、4回刈で Du Puits > Moapa > Rambler, 5回刈では Moapa >

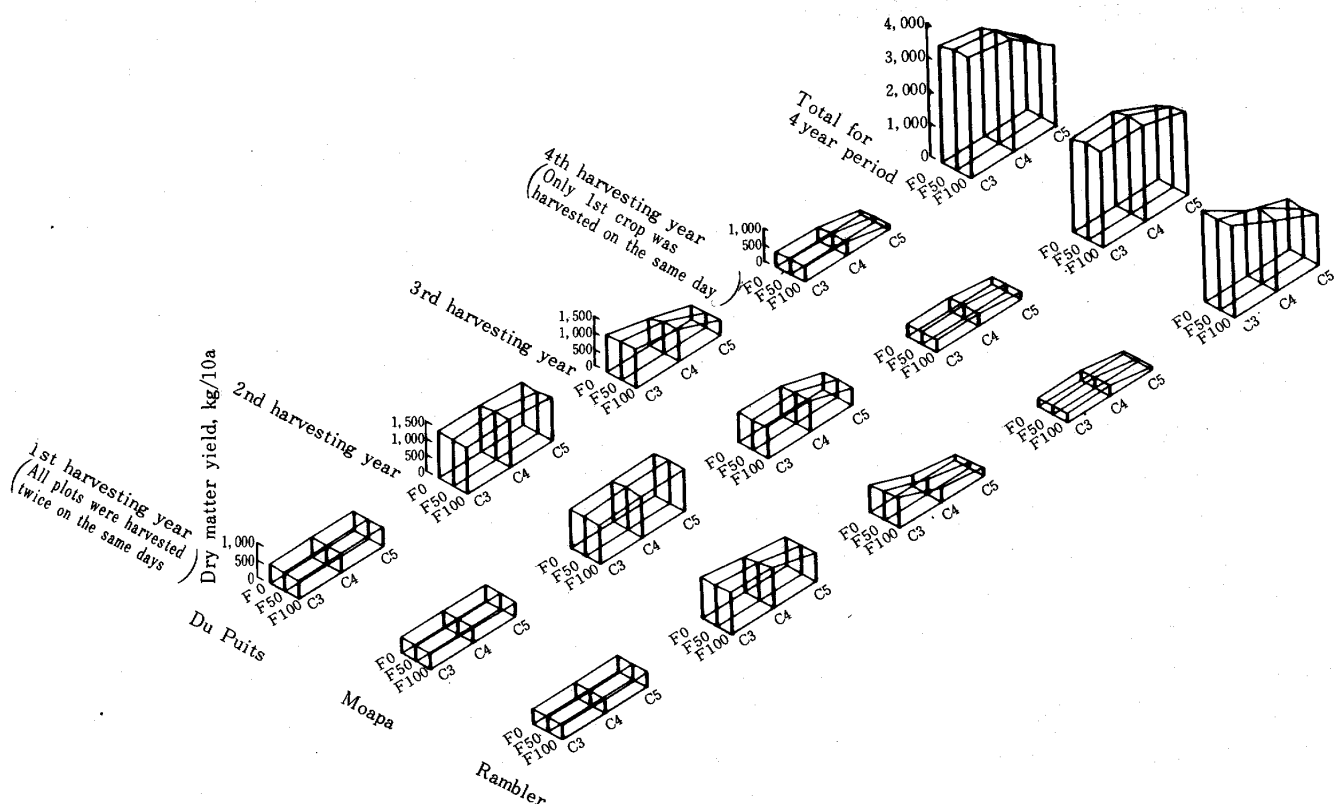


Fig. 12. Dry matter yields of three alfalfa cultivars under different cutting and fertilizer treatments.

- C3 Three cuts per year
 C4 Four cuts per year
 C5 Five cuts per year
 F0 0 kg/10a compound fertilizer application
 F50 50kg/10a compound fertilizer application
 F100 100kg/10a compound fertilizer application

Table 7. Analysis of variance of dry matter yield.

Source of variation	Degree of freedom	Mean square				Total for 4 year period
		1 st harvesting year	2 nd harvesting year	3 rd harvesting year	4 th harvesting year	
Main plots:						
Blocks	2	11,960.35	21,555.15	8,639.60	10,460.80	9,724.90
Fertilization, F	2	1,076.50	19,067.80	63,867.60	21,083.35	233,752.75
Error (a)	4	2,986.68	14,170.58	20,198.73	4,341.80	75,535.70
Sub-plots:						
Cutting frequency, C	2	249.50	123,737.50**	3,159,225.80**	433,372.65**	7,475,759.75**
FC	4	157.08	5,522.03	11,372.90	1,981.55	43,260.28
Error (b)	12	2,967.56	6,007.70	8,362.48	5,437.34	16,596.43
Sub-sub-plots:						
Cultivar, V	2	111,799.50**	617,312.10**	1,067,096.45**	125,121.30**	5,866,442.85**
FC	4	4,330.70	2,677.15	2,116.70	345.95	4,181.10
CV	4	831.70	147,958.60	212,048.60**	29,398.90**	581,124.60**
FCV	8	508.10	5,022.35	2,947.85	2,091.86	13,033.65
Error (c)	36	1,547.78	5,418.87	4,991.58	1,506.14	18,691.69

**Significant at the 0.01 level.

Du Puits > Rambler の関係がある。4 年間の合計収量でも施肥量間に差は認められない。Rambler は刈取回数がふえるにしたがって収量は減少する。Du Puits ならびに Moapa では、3 回刈と 4 回刈の収量はほぼ同じであり、5 回刈になると収量は低下する。収量低下

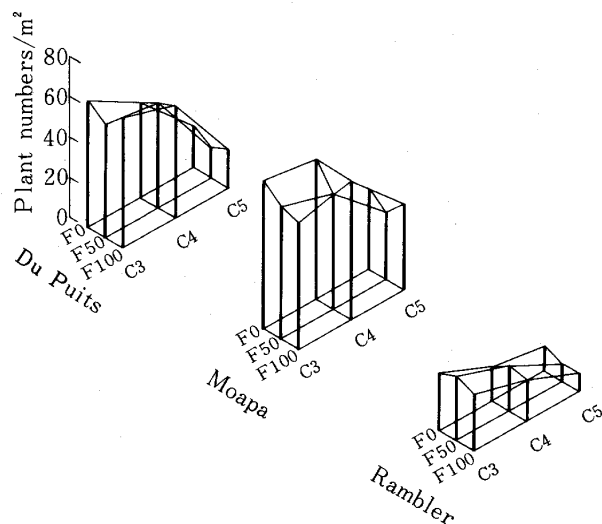


Fig. 13. Plant numbers per square metre for three alfalfa cultivars under different cutting and fertilizer treatments at the first cutting in the fourth year. For abbreviations, see fig. 12.

Table 8. Analysis of variance of plant numbers per square metre at the first harvest in the fourth year.

Source of variation	Degree of freedom	Mean square
Main plots:		
Blocks	2	30.55
Fertilization, F	2	102.55
Error (a)	4	74.90
Sub-plots:		
Cutting frequency, C	2	6,995.20**
FC	4	36.80
Error (b)	12	131.43
Sub-sub-plots:		
Cultivar, V	2	9,599.30**
FV	4	76.03
CV	4	411.05**
FCV	8	44.20
Error (c)	36	45.43

**Significant at the 0.01 level.

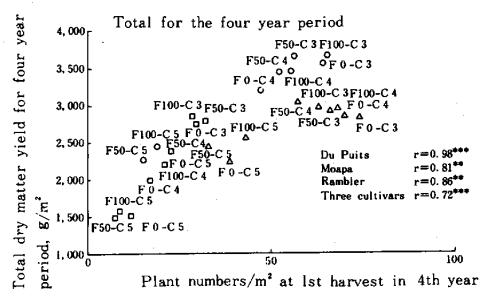
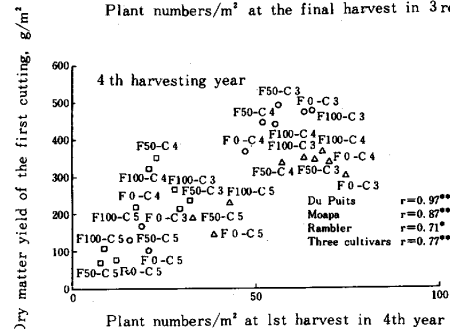
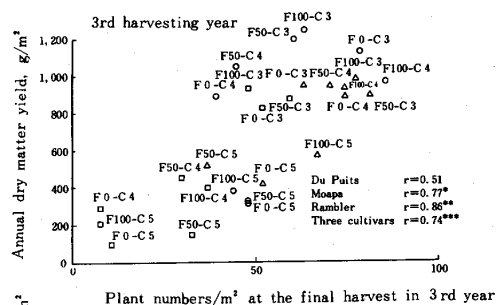
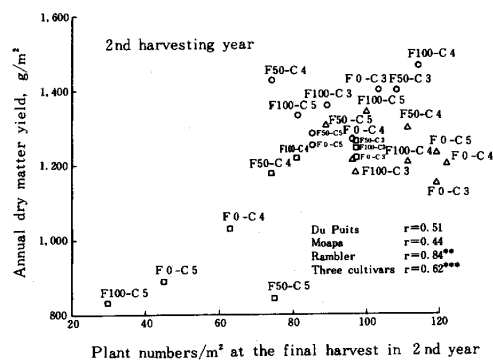
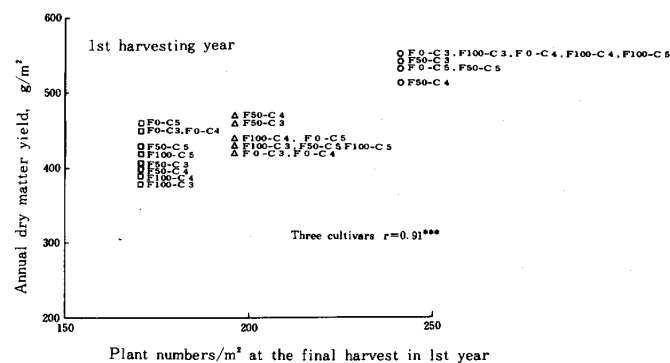


Fig. 14. Relationships between dry matter yield and plant numbers per unit area. For other abbreviations, see fig. 12.

○ Du Puits
△ Moapa
□ Rambler

の割合は、Moapaの方がDu Puitsに比べて小さい。品種の間には3回刈でDu Puits>Moapa=Rambler, 4回刈ではDu Puits>Moapa>Rambler, 5回刈になるとDu Puits=Moapa>Ramblerの関係がある。

2. 面積あたり個体数

試験終了時の各区の面積あたり個体数をみると(第13図, 第8表), 施肥量間に差は認められない。Ramblerは刈取回数が増すにしたがって個体数も減少する。Du PuitsならびにMoapaでは, 3回刈と4回刈の個体数はほぼ同じであり, 5回になると減少する。減少の程度はMoapaの方がDu Puitsに比べてはるかに小さい。品種の間には3回刈, 4回刈ではDu Puits=Moapa>Rambler, 5回刈ではMoapa>Du Puits>Rambler関係がある。

3. 収量と面積あたり個体数との関係

年間の合計乾物収量とその年の最終刈取時の面積あたり個体数との間には, 第14図のような関係が示された。刈取初年目は施肥量, 刈取回数とも同じなので, 品種の収量と個体数との関係になるが, この間には正の相関関係が示された。刈取2年目では, Du PuitsとMoapaには認められないが, Ramblerの収量と個体数の間には正の相関が認められ, また, 全品種をこみにした場合の収量と個体数の間にも相関関係が示された。刈取3年目では, Du Puitsにはみられないが, Moapa, Rambler, それに3品種をこみにした場合に収量と個体数の間に相関関係が示された。刈取4年目の1番刈時の面積あたり個体数とその時の収量ならびに4年間合計収量の間には, それぞれの品種についても, また3品種をこみにした場合でも正の相関関係があった。

考 察

アルファルファ草地の収量と個体数に変動をもたらすのは, 品種と刈取回数ならびにその両者の交互作用であって, 施肥のレベルは本実験の範囲では影響を及ぼしていない。

4年間合計の乾物収量をみると, 3回刈, 4回刈では明らかにDu PuitsがMoapaよりも高い収量を示すのに対し, 5回刈になると両者はほぼ同じレベルの収量を示している。また, 試験終了時の面積あたり個体数は, Du Puitsが5回刈になると3回刈, 4回刈に比べて著しく減少するのに対し, Moapaは減少の程度が小さい。Moapaは, Du Puitsに比べて刈取後の再生も早く, 次の着蕾, 開花までに要する日数も短かいため, 刈取回数が増した場合での収量の低下ならびに個体数の減少が少ないと考えられる^{78, 83)}。

各年の合計乾物収量とその年の最終刈取時の面積あ

たり個体数の間, 4年間の合計乾物収量と試験終了時の面積あたり個体数の間には, それぞれの品種についても, また3品種をこみにした場合でも, 正の相関関係が示されることが多い。ROBINSONら⁶⁶⁾は, アリゾナの実験で品種Moapaに, A) 50%着蕾—2.5cm刈, B) 50%着蕾—10cm刈, C) 25%開花—2.5cm刈, D) 25%開花—10cm刈の4刈取処理を与えたところ, 刈取高さの間に収量の差は認められなかったが, 25%開花期の刈取が収量も高く, 面積あたり生存個体数も多いことを認めている。また, 同じ処理区の刈取時の個体数と乾物収量の間には正の相関関係があることを示している。AREVALILLO³⁾は, スペインで品種Aragonを, A) 草丈20cm, B) 草丈30cm, C) 草丈40cm, D) 開花初期, E) 満開期に刈取った。その結果, 2年後の面積あたり個体数は, A) 53.3個体/m²からE) 111.6個体/m²の範囲にあり, 乾物収量は, A) 5.56, B) 11.52, C) 12.26, D) 12.98, E) 14.85ton/haであったことを報告している。SMITHら⁷⁶⁾は, ウィスコンシンにおいて, 品種Vernalに, A) 6月下旬と8月下旬の2回刈, B) 6月下旬, 8月下旬, 10月上旬の3回刈, C) 6月上旬, 7月中旬, 8月下旬の3回刈, D) 6月上旬, 7月中旬, 8月下旬, 10月上旬の4回刈の4刈取処理を与え, 翌年の収穫2年目の春のスタンドの評点と6月上旬の乾草収量の間には相関関係があることを示している。RAYNOLDS⁶⁴⁾は, 品種Buffaloに2年間にわたり8, 6, 5, 4, 3, 2回/年間の刈取処理をほどこし, 刈取3年目は年間4回の同一の刈取条件を与えた。その結果, 2年目秋の面積あたり個体数と刈取3年目の総収量との間には正の高い相関関係が認められた。GROSS²¹⁾は, アイオワにおいてA—224, Atlantic, Buffalo, Grimm, Ladak, Narragansett, Ranger, Vernalの8品種を無肥料, P—53ポンド/エーカー, K—100ポンド/エーカー, P—53ポンド+K—100ポンド/エーカーの4施肥水準, 乾草と放牧利用に擬した二つの刈取条件で栽培した。そして, 面積あたり個体数は施肥水準, 品種, およびこの二つの要因と刈取処理の組合せにより変異するが, 個体数の差は収量のデータに影響を及ぼさないことを示している。また, 高い頻度で刈取られたアルファルファは, 乾草用としての頻度で刈取られた場合に比べて, 個体数は同じであっても冠部, 根の直径が小さく, 個体あたりの茎数が少なく, 草勢も劣るとしている。WASHKO⁹⁸⁾はBuffalo, Cayuga, Sonora, Vernalを10施肥水準, 4刈取条件下で栽培した。施肥水準が収量と面積あたり個体数に及ぼす影響はわずかであるのに対し, 刈取頻度が収量と個体数に及ぼす影響はきわめて大きいとしている。どの品種でも, 25日間隔, 30日間隔, 35日間隔, 40日間隔の刈

取処理のうちでは、40日刈の乾物収量が高く、刈取間隔が短くなるにしたがって収量は低下した。また面積あたり個体数も、刈取間隔が短くなるにしたがって減少した。FULKERSON¹⁶⁾は、生育期間の異なる三つの場所で、品種 Vernal の秋期の最終刈取を9月3日から10月1日まで1週間づつずらせて、翌年の乾物収量と個体数を調べた。その結果、翌年の6月の面積あたり個体数とその年の総乾物収量は密接に関係し、個体数の多い区ほど乾物収量も高い傾向があることを報告している。しかし、これらの関係は、いずれも刈取条件の違いによって、個体数と収量に差異が生じたときの個体数と収量の間の相関関係を示したものである。したがって、これらの相関関係から直ちに面積あたり個体数の多少が、収量の高低の原因であるかのように考えるのは誤まりであろう。と云うのは、すでに第1章、第2章で述べたように、一つの品種を2,500個体/m²から36個体/m²の初期密度に栽植し、同一の刈取条件を与えた場合、3品種を2,500個体/m²から25個体/m²の初期密度で栽植し、同一の刈取条件を与えた場合には、かなり幅の広い密度にわたって、刈取初年目をのぞき、密度間に収量の差がみられなくなるからである。アルファルファ草地の収量が著しく低下するような刈取処理が、同時に草地の個体数を減少させているのであって、個体数が少ないことが収量低下の直接的な原因ではないと考える。

摘 要

1. 品種 (Du Puits, Moapa, Rambler), 刈取回数 (年間3回, 4回, 5回), 施肥レベル (草地化成肥料〈N—6, P₂O₅—11, K₂O—11〉年間0 kg, 50kg, 100

kg/10a) がアルファルファ草地の収量と個体数におよぼす影響を、1967年から1970年の間、札幌市の沖積壤土の圃場で調査した。

2. 収量と面積あたり個体数に変動をもたらすのは、品種と刈取回数およびその両者の交互作用であって、施肥のレベルは本実験の範囲では影響をおよぼしていない。

3. 4年間の合計収量でみると、Ramblerは刈取回数が増えるにしたがって収量が低下する。Du Puitsならびに Moapa では、3回刈と4回刈の収量がほぼ同じであり、5回刈になると収量は低下するが、低下の割合は Moapa の方が小さい。品種の収量順位は3回刈で Du Puits > Moapa = Rambler, 4回刈で Du Puits > Moapa > Rambler, 5回刈では Du Puits = Moapa > Rambler であった。

4. 試験終了時の個体数は、Rambler では刈取回数が増えるにしたがって減少する。Du Puits ならびに Moapa では、3回刈の個体数と4回刈の個体数がほぼ同じであり、5回刈になると減少するが、減少の割合は Moapa の方がはるかに小さい。品種の間には3回刈, 4回刈で Du Puits = Moapa > Rambler, 5回刈では Moapa > Du Puits > Rambler の関係があった。

5. 各年の合計収量とその年の最終刈取時の面積あたり個体数の間、4年間の合計収量と試験終了時の面積あたり個体数との間には、それぞれの品種の中でも、また3品種をこみにした場合でも相関関係が示されることが多い。しかし、このことから直ちに個体数の少ないことが収量の少ないことの直接的原因のように考えるのは誤まりであろうと考察した。

第4章 構成個体の特徴からみた群落の構造

群落を構成する個体の草丈、個体重などの形質の度数分布の歪みと、その生育にともなう変化は、かなり多くの植物について報告されている^{38, 41, 44, 60, 102}。KOYAMA⁴¹)は、ホウセンカ (*Impatiens balsamina*)、ハツカダイコン (*Raphanus sativus*)、ローズマロー (*Hibiscus moscheutos*)、ダイズ (*Glycine max*)、アズキ (*Phaseolus radiatus*)、カブ (*Brassica rapa*)、トウモロコシ (*Zea mays*)、ブタクサ (*Ambrosia elatior*) の種々個体密度の群落の形質の度数分布を調べた。その結果、個体重の度数分布は、密度が高くなるにしたがい、また生育ステージが進むにしたがって軽量の側に偏り、著しい場合には最も軽量の側の度数が最大となる、いわゆるL字型の分布になることを示している。これに反し、草丈の度数分布は、個体重の分布の場合とは逆に密度が高くなるにしたがい、また生育ステージが進むにしたがって草丈の高い側に歪み、極端な場合には、最も草丈の高い階級の度数が最大となるJ字型の分布になることをブタクサ、ホウセンカ、アカマツの例で示している。また、OBEID⁶⁰)は、アマの個体重の分布について KOYAMA らと同じ結果を報告している。しかし、これらは播種後そのまま放置される植物を対象としたものであって、生育の途上において刈取がくり返され、しかも、それが多年にわたって継続される多年生牧草群落についての報告は比較的少ない^{23, 30, 97}。群落を構成する個体の形質の度数分布とその推移を知ることは、群落内部の状態とその時間的な推移を知る手がかりの一つとなるものであると思われる。本章は、第1章、第2章で述べた二つの実験中に得られた茎長、茎数、個体重の測定値の度数分布から、度数分布の歪みとその推移について考察したものである。

材料と方法

1. 1品種を4段階の密度で栽培した場合の各刈取時の度数分布

第1章で記した品種 Du Puits を2,500個体/m²、625個体/m²、169個体/m²、36個体/m² (文章中では2,500区、625区、169区、36区と略記する) の初期密度で栽培した実験の中で、3年間の各刈取時に各密度とも、1反覆1m²内の全個体の茎長、茎数、刈取部乾物重を個体ごとに追跡的に調査しておいた。各刈取時における、これらの測定値の最大値と最小値の間を10の階級に分け、ヒストグラムを作成した⁷³)。このヒストグラムについて、[平均値に対する3次の積率/標準偏差の3

乗値]により歪みの係数 (Coefficient of skewness) を算出した⁸⁰)。

2. 3品種を3段階の密度で栽培した場合の刈取初年目の1番刈時と刈取3年目の1番刈時の度数分布

調査は第2章で記した3品種 (Moapa, Rhizoma, Williamsburg) を2,500個体/m²、625個体/m²、25個体/m² (文章中では2,500区、625区、25区と略記する) の初期密度で栽培した試験の刈取初年目の1番刈期と刈取3年目の1番刈時に行なった。調査個体は、1処理区あたり180個体を3ブロックから60個体ずつ無作為に抽出した。選ばれたこれらの個体の茎長、茎数、刈取部乾物重の測定値の最大値と最小値の間を10の階級に分けてヒストグラムを作成し、歪みの係数を算出した。

結 果

1. 1品種を4段階の密度で栽培した場合の各刈取時の度数分布

3年間の各刈取時における茎長、茎数、刈取部乾物重の度数分布を第15, 16, 17図に、また、これから算出した歪みの係数の推移を第18, 19, 20図に示した。まず茎長についてみると、歪みの係数はすべて負の値であって、分布が茎長の高い方向に歪んでいることを示しているが、その数値は比較的小さく、極端な偏りではないことがわかる。36区は、個体数が少ないので、はっきりした傾向をとらえにくい、その他の区の歪みの係数は、絶対値では2,500区>625区>169区の関係にある。また、密度間の差は初年日に比較的大きく、年次の経過にともなって失われている。年間の刈取回数が同じである、刈取2年目と刈取3年目の対応する各刈取時の歪みの係数を比較してみると、あまり大きな変化はみられない。

つぎに、茎数の歪みの係数をみると、数値はすべて正の値であって、分布が茎数の少ない側に歪んでいることを示している。刈取初年目の2,500区の1番刈時の値が著しく高いが、これは、この時のこの区の茎数がほとんどの個体で1であるのに、中に数個体2~3の茎数を持つ個体が存在するためである。その後も2,500区は最も高い値を示し、169区、36区も2,500区よりも低い値であるが、ほぼ同じ傾向で推移する。これに対して、625区では刈取2年目の3番刈、刈取3年目の3番刈時に著しく高い値を示している。年間の刈取回数が同じである、刈取2年目と3年目の対応する各刈取時の歪みの係数を比較してみると、625区をのぞき、ほぼ同じレベルの値を示している。

また、個体重についてみると、36区の一部をのぞき、値はすべて正であって、分布が軽量の側に歪んでいる

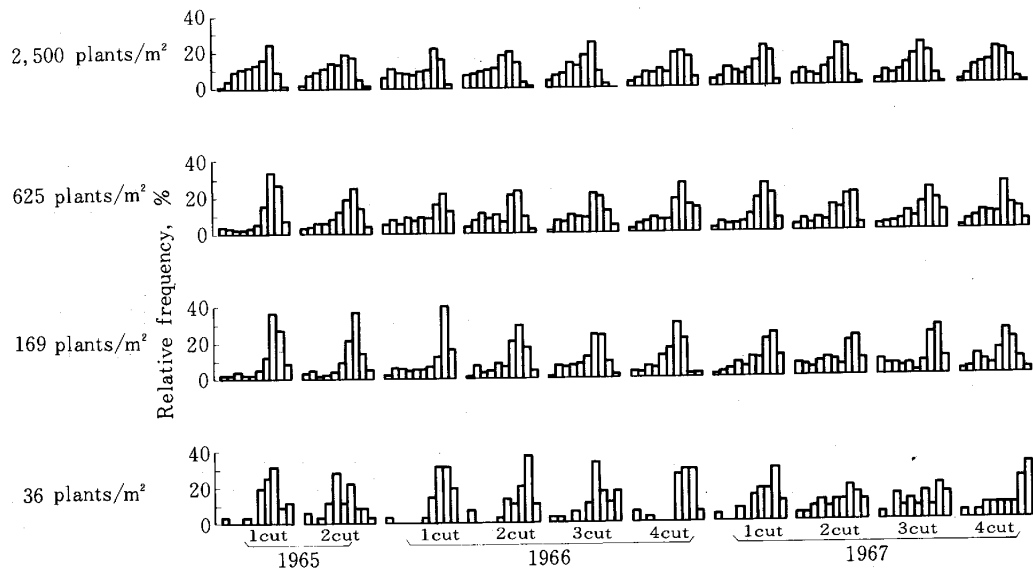


Fig.15. Frequency distribution of stem length at each harvest for three years.

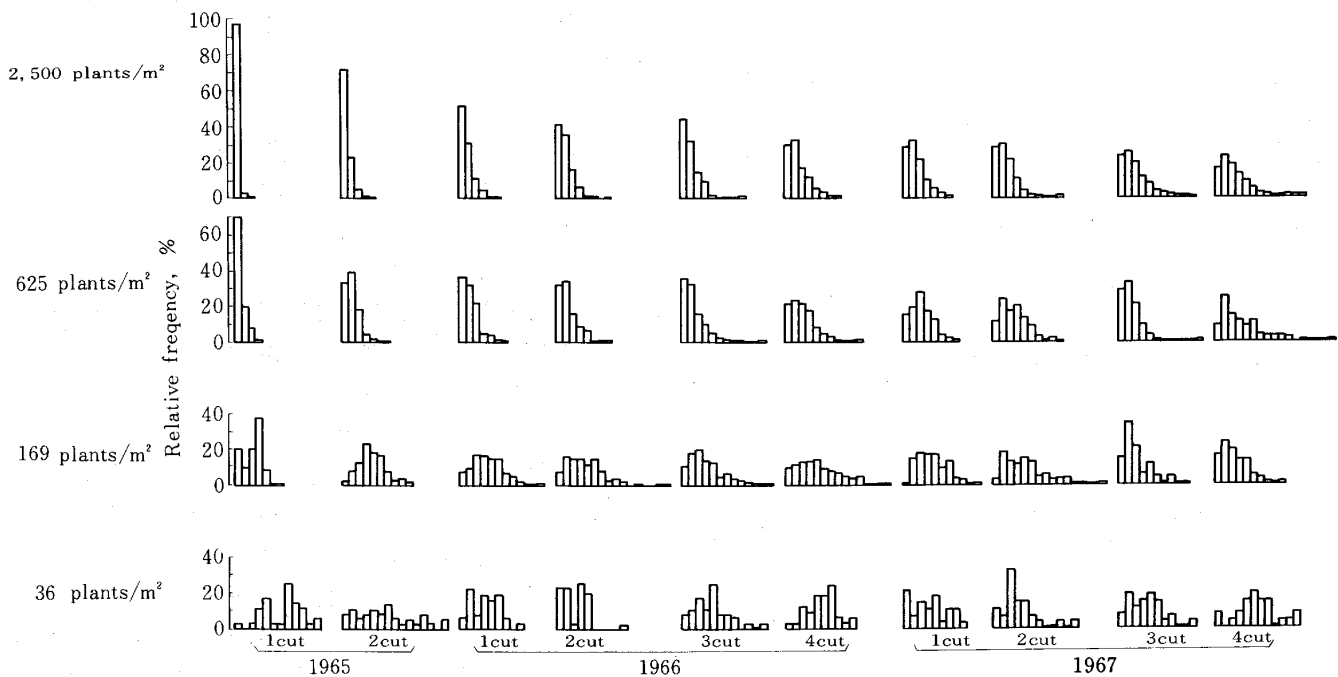


Fig.16. Frequency distribution of stem numbers per plant at each harvest for three years.

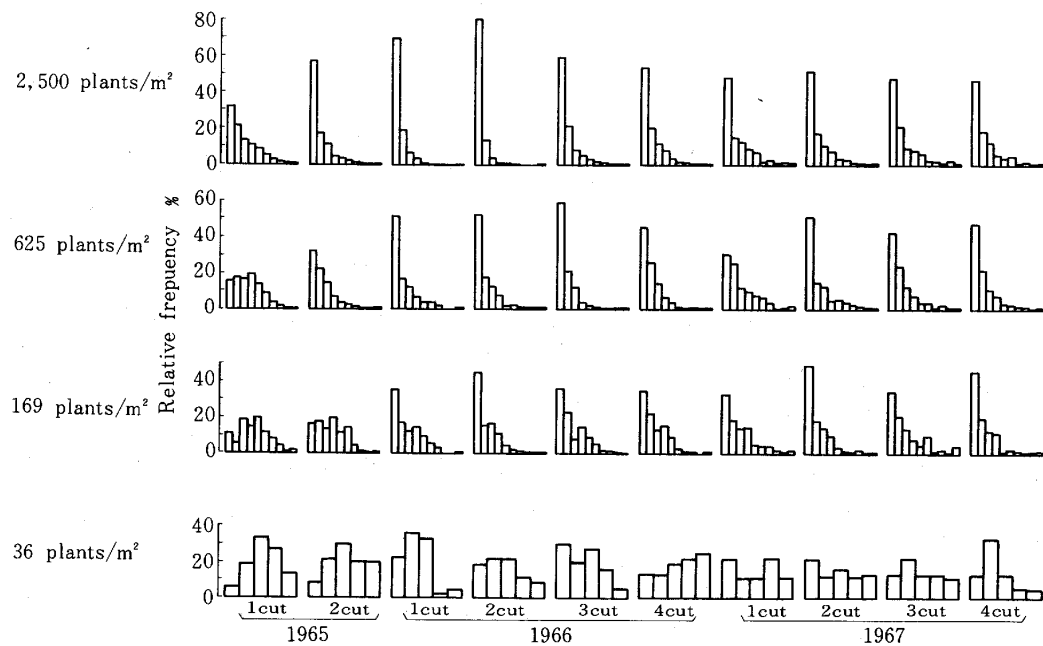


Fig. 17. Frequency distribution of plant yield at each harvest for three years.

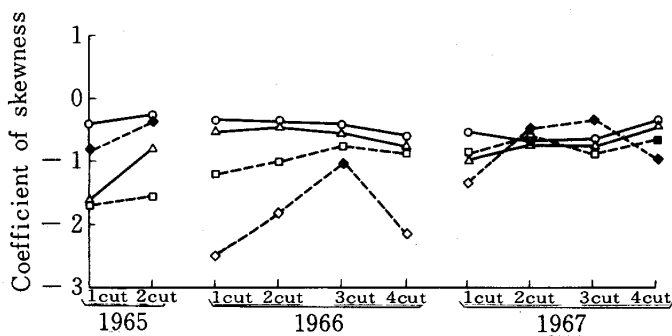


Fig. 18. Coefficients of skewness of frequency distribution of stem length at each harvest for three years. Open symbols signify departure from normality at 0.01, solid symbols signify normal distribution.

- 2,500 plants/m²
- △ 625 plants/m²
- 169 plants/m²
- ◇ 36 plants/m²

ことを示している。2,500区では刈取2年目の2番刈時、625区では刈取2年目の3番刈時に最大値を示した後は歪みは小さくなっている。刈取1年目、2年目では歪みの程度は密度が高い程大きく、また、その密度間差も大きい。刈取3年目になると36区の値が低く離れているが、その他の区はほぼ同じような値を示し、密度間の差は失われる。刈取2年目と刈取3年目の対応する各刈取時には、2,500区、625区では3年目の値が低くなっているのに対し、169区では3年目の方が高い値を示している。

2. 3品種を3段階の密度で栽培した場合の刈取初年目と刈取3年目の1番刈時の度数分布

刈取初年目の1番刈時と3年目の1番刈時の茎長、茎数、個体重の度数分布を第21, 22, 23図に、それから算出した歪みの係数の変化を第24, 25, 26図に示した。茎長の歪みの係数は、初年目のすべての品種の25区と3年目の Williamsburg の25区の値が正であるほかは、すべて負であって、分布が茎長の大きい方向に歪んでいることを示している。しかし、これらの数値は、いずれも比較的小さく、統計的には正規分布からはずれない点も多い。刈取初年目と3年目を比較すると、3年目の値は負の方向へやや大きくなる傾向を示している。品種間、密度間には大きな違いは認められない。

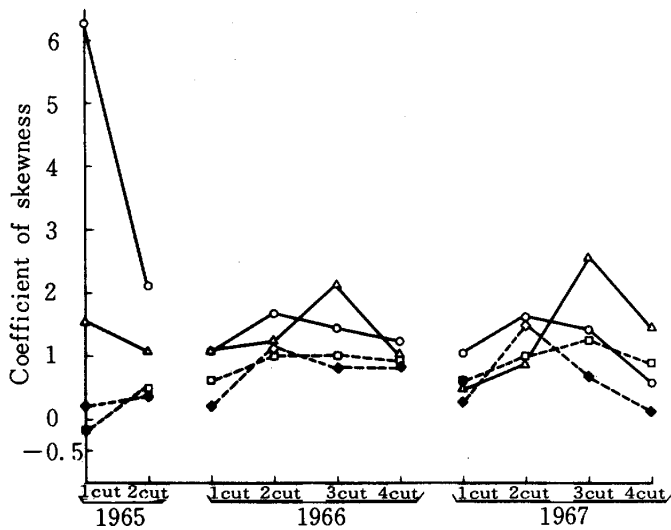


Fig. 19. Coefficients of skewness of frequency distribution of stem numbers per plant at each harvest for three years. For explanation, see fig. 18.

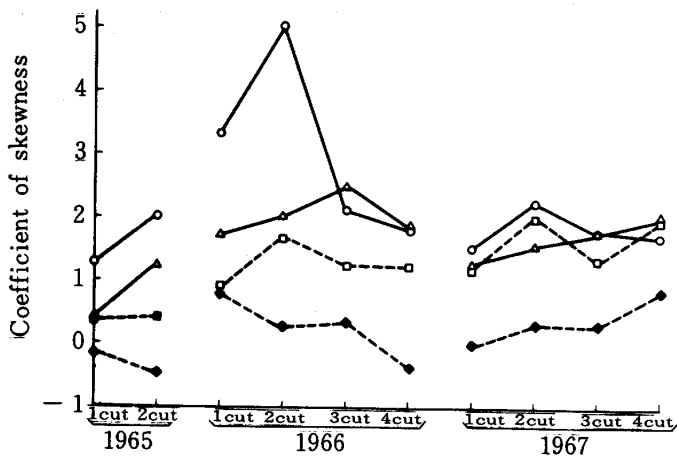


Fig. 20. Coefficients of skewness of frequency distribution of plant yield at each harvest for three years. For explanation, see fig. 18.

茎数の歪みの係数はすべて正の値を示し、分布が茎数の少ない側に歪んでいることを示している。ほとんどすべての場合、3年目の値がやや高く、分布の歪みが年次を経過した後に強くなっていることを示している。品種間には大きな差は認められないが、3年目のRhizomaの2,500区、625区の値が高いことが目立っている。密度間ではWilliamsburgの3年目の値をのぞ

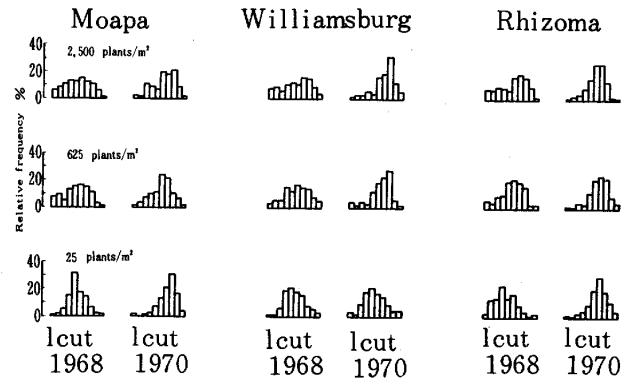


Fig. 21. Frequency distribution of stem length at the first harvest in 1968 and 1970.

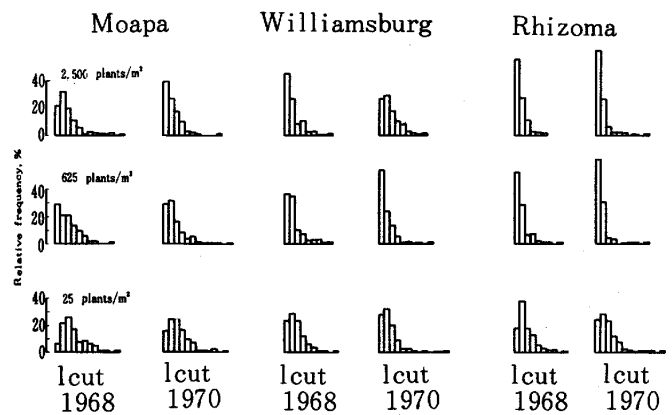


Fig. 22. Frequency distribution of stem numbers per plant at the first harvest in 1968 and 1970.

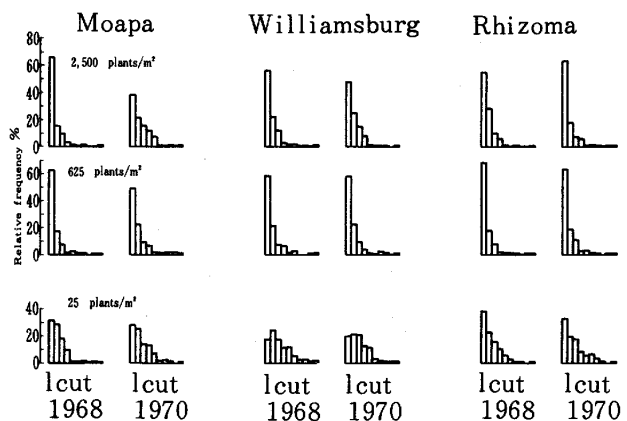


Fig. 23. Frequency distribution of plant yield at the first harvest in 1968 and 1970.

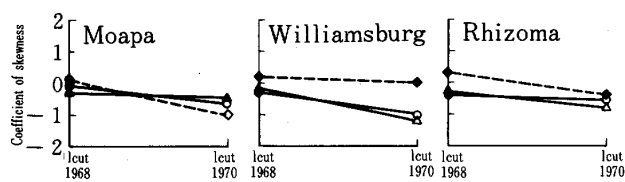


Fig. 24. Coefficients of skewness of the frequency distribution of stem length at the first harvest in 1968 and 1970. Open symbols signify departure from normality at 0.01, solid symbols signify normal distribution.

○ 2,500 plants/m²

△ 625 plants/m²

◇ 25 plants/m²

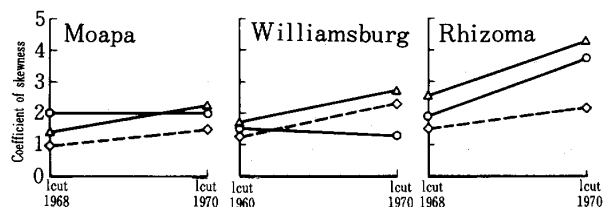


Fig. 25. Coefficients of skewness of the frequency distribution of stem numbers per plant at the first harvest in 1968 and 1970. For explanation, see fig. 24.

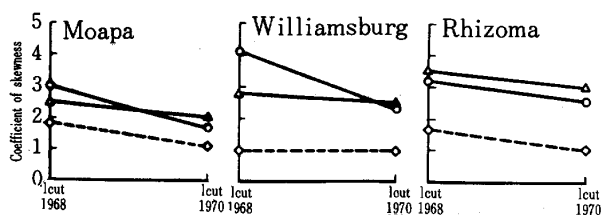


Fig. 26. Coefficients of skewness of the frequency distribution of plant yield at the first harvest in 1968 and 1970. For explanation, see fig. 24.

き、25区は他の2区よりも値が低い傾向がある。

個体重の歪みの係数は、すべて正の値を示し、分布が軽量の側に偏っていることを示している。刈取初年目と3年目を比較すると、どの品種、どの密度でも、刈取3年目の値が小さくなっており、分布の軽量の方向への歪みが軽減されていることを示している。品種間ではとくに目立った差異は認められないが、密度間では2,500区、625区が比較的近い値を示すのに対し、25区はこれらの値とは離れた低い値を示し、分布の歪みかたが少ないことがわかる。

考 察

以上二つの実験の結果から、茎長の度数分布はいつの刈取時でも、また、ほぼ、どの密度でも茎長の大きい方向への歪みをみせる。しかし、その歪みの程度は小さく、密度間の差異も比較的小さい。また、年次の経過にともなう変化も少ないといえる。

茎数の度数分布は、いつの刈取時でも、また、どの密度でも茎数の少ない方向へ歪み、歪みの程度は密植ほど大きくなる傾向がわずかながら認められる。年次の経過にともなう変化については、二つの試験の結果が逆の傾向を示しており、これだけからは推測できない。

個体重の度数分布は、いつの刈取時でも、また、ほぼ、どの密度でも軽量の方向に歪み、その歪みの程度は密度が高いほど大きい。年次の経過にともない、少なくとも標準播種量に近い密度(625個体/m²)、あるいは、それ以上の高い密度(2,500個体/m²)では、ある時期に最大の歪みを示した後は歪みの程度が軽減されると考えられる。

HARRISら²³⁾は、ライグラスを0.25ライグラス個体/ft²、8ライグラス個体+8ホワイトクローバ個体/ft²、16ライグラス個体/ft²の三つの密度に栽植し、各刈取時の茎数と個体重の度数分布の歪みについて報告している。それによると、16ライグラス個体/ft²の密度では、茎数の歪みは刈取2年目の3番刈時までは増加し、以後は低下する。また、個体重の分布の歪みは刈取2年目の1番刈時までは増加し、以後は低下するとしており、少なくとも個体重に関するかぎり、本実験の結果と同じ傾向であることを示している。

脇本ら⁹⁷⁾も、チモシーの種子から出発した集団と同一のクローンで構成される集団の個体重の分布の歪みについて報告している。この中でも、種子から出発した集団では刈取2年目の1番刈時に、クローンで構成される集団では2年目の2番刈後に、最大の歪みを示した後、歪みが軽減する。

石田ら³⁰⁾は、オーチャードグラスの大きさ別の度数分布が年次の経過にともない、小さい側に歪んだ分布から正規型の分布へ、そして、さらには大きい個体の側に偏った分布へと推移してゆくことを推論しているが、本実験のアルファルファでは少なくとも3年の間は大きい個体の側への分布の偏りはみられない。

KUROIWA⁴⁴⁾は、*Abies* 林では林分の発達に対して、樹高の度数分布はL字型からN型化する傾向、幹直径の度数分布、個体重と葉重との幹直径に対する関係式から推定された重さの度数分布は、L字型が維持される傾向があるとしている。しかし、同報告の中に示さ

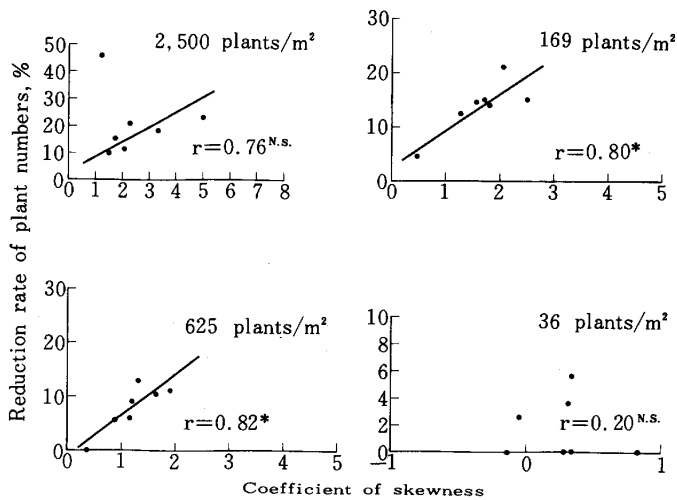


Fig. 27. Relationships between coefficient of skewness for plant yield and reduction rate of plant numbers.

* Significant at the 0.05 level

れた図によると、幹直径の度数分布の歪みの程度も、年次の進行にともなって軽減される傾向がみられ、これから、推定された個体重の分布の歪みも、当然同じ傾向を示すと考えてよいであろう。年間数回刈取られる草本群落の、比較的短い期間内の度数分布の歪みの変化と、林分の非常に長い期間の変化を直接比較することはできないが、個体重の分布が著しい歪みを示した後に軽減することは共通しているようにもおもわれる。

WHITEら¹⁰²⁾は、ダイコンとカブならびにその混植群落の生育にともなう個体重の度数分布の歪みについて報告し、播種後60日までは Relative skewness は増加するが、以後は Relative skewness を高い一定の値に保ちつつ、群落内の個体数を減少させるとしている。アルファルファのような多年生の牧草群落は、毎年生育途上に数回刈取られ、そのうえ、刈取から刈取までの生育量も生育季節により変異するので、刈取時にいつも一定の高い値の歪みを示すことはないと考えられる。アルファルファ草地においても、個体重の分布の歪みの程度が大きいときに枯死個体の発生も大きいであろうと想定し、1品種を4段階の密度で栽培したときの各刈取時における個体重分布の歪みと、その次の刈取時までの個体数の減少率の関係をみると第27図のようになる。36区では調査個体数も少なく、枯死した個体も少ないために、明らかな傾向はみられないが、625区、169区では歪みの係数と個体数の減少率が密接に関係していることがわかる。しかし、最も密度の高い2,500区では、歪みの係数がそれほど高くないのに

減少率が高い点が存在し、両者の関係がはっきりしなくなる。これは播種当年（刈取初年目）の1番刈の場合であって、歪みの係数は1.24とその他の場合と比較して、それほど高い値ではないのに44.5%もの個体を枯死させている。この場合、1番刈後14日を経たときの枯死個体は、1番刈時の生存個体数の26.9%にもおよび、このうち約2/3は再生不能個体であり、残りの1/3が新しい葉が出葉してから枯死であることを観察している。初期密度2,500個体/m²のような非常に密度の高い群落では、他の密度に比べ個体の生育が著しく劣っており、この状態で刈取（初年目1番刈）されることにより、ある限界値を境にして大量の個体が再生不能におちいったものと解され、度数分布の歪みの大きさは直接的な関係を示さなかったものと考えられる。

摘 要

1. アルファルファ草地を構成する個体の茎長、茎数、個体重の度数分布の歪みとその変化を二つの試験—1品種を4段階の密度（2,500個体/m²、625個体/m²、169個体/m²、36個体/m²）で栽培し、生育・収量を比較した試験と3品種を3段階の密度（2,500個体/m²、625個体/m²、25個体/m²）で栽培し、その生育・収量を比較した試験—の結果から考察した。

2. 茎長の度数分布は、いつの刈取でも、また、ほぼどの密度でも茎長の大きい方向に歪む傾向がある。しかし、歪みの程度は小さく、密度間の差異も比較的小さく、年次の経過にともなう変化も少ない。

3. 茎数の分布は、いつの刈取時でも、また、どの密度でも茎数の少ない方向へ歪み、その程度は密植ほど大きくなる傾向がある。年次の経過にともなう変化については、この二つの試験の結果だけからは推測できなかった。

4. 個体重の度数分布は、いつの刈取時でも、また、ほぼ、どの密度でも軽量の方向へ歪み、その程度は密植ほど大きい。年次の経過にともない、少なくとも標準播種量に近い密度（625個体/m²）、あるいは、それ以上の高い密度（2,500個体/m²）では、ある時期に最大値を示した後は歪みの程度は軽減された。

5. ある刈取時の個体重の度数分布の歪みの係数と、その次の刈取時までの個体数の減少率とは密接な関係を示したが、初期密度2,500個体/m²のような密度の高い群落の初期に現れた多数の枯死個体は、歪みの程度と直接的な関係を示さなかった。

第5章 枯死個体の特性

これまでにアルファルファ草地の個体数の減少について述べてきたが、どのような個体が枯死するかについてはふれなかった。オーチャードグラスでは、群落内の枯死株は再生不良株であって、悪循環的に各刈取時における生草収量が顕著に減少し、ついには消滅する^{註2)}とした報告がある⁵⁴⁾。また西村⁵⁴⁾は、アカクロバの同一品種内では晩生タイプ個体の枯死率が高いとしている。広田²⁴⁾は、トールフェスクの越冬後の枯死個体は分けつ数の少ない個体であることを示している。石田ら³¹⁾は、オーチャードグラスのように株を形成するものでは、刈取再生過程における個体間の競争において、光競争の面から草丈が高いということと同時に、再生の面から分けつ力が旺盛ということが個体の生存のために重要な条件であることを示している。多年生牧草地の生産力がどのようなかたちで維持されているかを考える上で、群落内での個体の行動を知ることがきわめて重要である。その意味から本章ではアルファルファ群落内の枯死個体について、それらがどのような個体であり、また、どのような経過を経て枯死するに至ったかについて2, 3の考察を加えた⁸⁷⁾。

材料と方法

第1章で記した実験の中で、各刈取時に各密度1m²内の生存全個体について、個体ごとに茎長、茎数、刈取部乾物重を追跡的に調査しておいた。このうち、標準播種量に最も近い625個体/m²と、より疎植の169個体/m²（本文中では625区と169区と略記する）の1965年（刈取初年目）の1番刈時のデータから、それぞれ100個体を無作為に抽出して、以後の刈取ごとのこれらの個体のうごきを検討した。

結果と考察

枯死する個体が前回の刈取時において、どのような状態であったかを茎長についてみると、両区とも、多くは平均値以下の個体であるが、平均値よりも大きい個体であっても枯死するものもみられる。3年間10回の刈取回数中、枯死個体の茎長の上限は、625区では86cm、169区では76cmである。茎数についても、枯死する個体の大部分は前回の刈取時において平均値以下の個体である。この傾向は茎長の場合よりも明らかであって、前回の刈取時において、茎数が平均値よりも多くて枯死する個体はきわめて少ない。10回の刈取回数中、枯死個体の茎数の上限は625区、169区とも5本

である。また、乾物重についても、第28図に示すように、枯死個体は前回の刈取時において625区の2例をのぞけば、両区ともすべて平均値以下の個体である。しかも、その多くが生存する個体の最小値に近い値を示した個体であって、この傾向は茎長、茎数の場合よりも一層顕著である。10回の刈取回数中、枯死個体の乾物重の上限は625区では1.18g、169区では0.98gで、ほぼ1gであった。前回の刈取時において、茎長が7cm以下で収量に寄与しなかった個体は、625区の1例をのぞき、すべて次の刈取時までには枯死している。以上の結果から、アルファルファ草地内の枯死個体の多くは、少なくとも前回の刈取時において、茎長、茎数、乾物重とも平均値以下の個体であって、とくに乾物重においては、生存する個体の最小値に近い値を示す個体が多いといえることができる。

つぎに、各刈取時における乾物重の測定値を対数変換し、その平均値—標準偏差の値($\bar{x}-s$)とそれぞれの測定値(対数変換値)とを対比させてみると、枯死個体は枯死するまでの生育の経過によって、次の4つのタイプに分けることができる(第29図)。

- I型；ある回の刈取までは $\bar{x}-s$ よりも大であって、 $\bar{x}-s$ よりも小となった刈取の次の刈取までには枯死するもの。
- II型；ある回の刈取までは $\bar{x}-s$ よりも大であって、 $\bar{x}-s$ よりも小となった刈取後も、何回かの刈取を経てから枯死するもの。
- III型；刈取初年目の第1回刈取時から $\bar{x}-s$ よりも小であって、やがてある時点で枯死するもの。
- IV型； $\bar{x}-s$ よりも大であるにもかかわらず、ある時点で枯死するもの。

そして、各刈取時における枯死個体が、いずれのタイプに属するかを示すと第9表のようになる。625区、169区ともI型に属するものが多く、それぞれ37%、42%を占めた。I型からIII型までを加えたもの、すなわち、少なくとも枯死する前回の刈取時において $\bar{x}-s$ より小さい個体は、枯死個体のうち、625区では67%、169区では84%を示している。III型に属するものは、625区では刈取2年目の2番刈時までには消失しているのに対し、169区では刈取3年目の3番刈時までみられ、密植の区では、初期に相対的に軽量の個体と比較的早い時期に枯死することを示している。また、IV型に属するものの中には、枯死する前回までの各刈取時に $\bar{x}-s$ の値よりも著しく大きい個体でありながら、枯死するものもみられ、これらには病虫害による枯死の可能性がある。

渡辺ら⁹⁹⁾は、アルファルファの多数品種の維持年限を比較し、この試験に供試したDu Puitsは炭そ病に

註2) 東北農試栽培第二部 1962. 牧草に関する試験成績書：11—17.

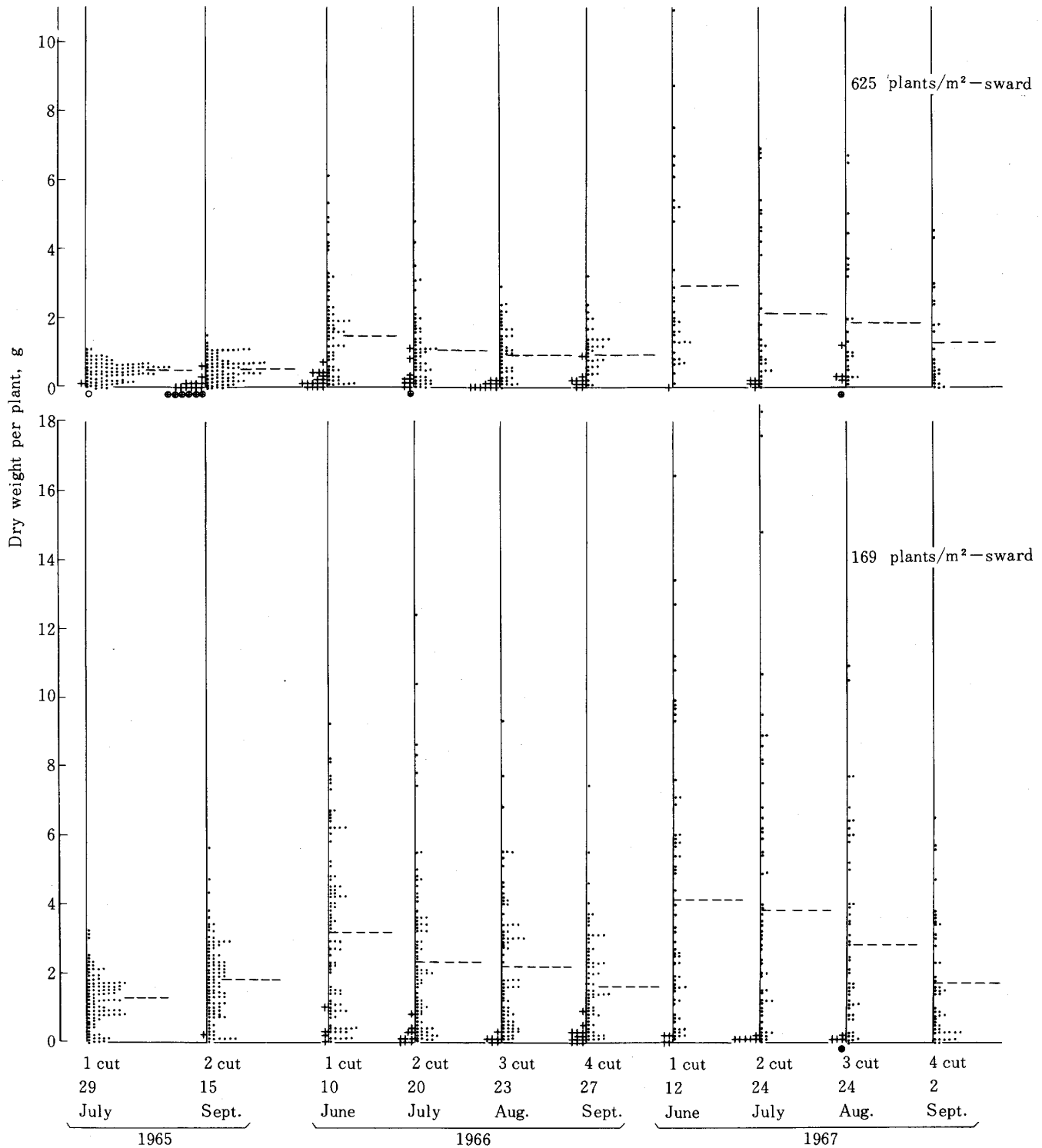


Fig. 28. Frequency distribution of dry weights of initially selected one hundred plants at each harvest. Dry weights were determined by cutting at 7 cm above ground level. Horizontal broken line indicates mean value.

+ Plants that died before the next harvest

o Plants that were lower than 7 cm in height and recorded no yields

⊕ Plants that were lower than 7 cm in height and died before the next harvest

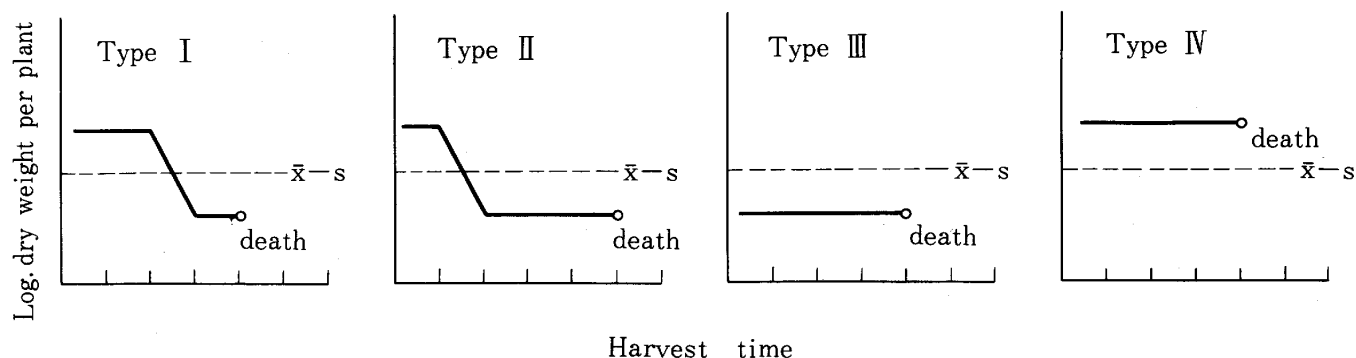


Fig. 29. Schematic account of four types of growing process until the last harvest prior to death.

- Type I Dead plants having greater values than $\bar{x}-s$ (mean value minus standard deviation after logarithm transformation of measured value) one at each harvest until a certain harvest time and also only one smaller value than $\bar{x}-s$ one at the last harvest prior to death.
- Type II Dead plants having greater values than $\bar{x}-s$ one at each harvest until a certain harvest time and smaller values than $\bar{x}-s$ one at several harvest times prior to death.
- Type III Dead plants having smaller values than $\bar{x}-s$ one at each harvest prior to death from the first harvest in the seeding year.
- Type IV Dead plants having greater values than $\bar{x}-s$ one at each harvest prior to death.

Table 9. Classification of dead plants at each harvest into four types of groups according to their growing process until the last harvest prior to death.

		1965		1966				1967				Total	% to total dead plants
		1 cut	2 cut	1 cut	2 cut	3 cut	4 cut	1 cut	2 cut	3 cut	4 cut		
625 plants/m ² —sward													
Numbers of dead plants	Type I			6	6	3	5	3		3	2	28	36.8
	Type II				2	1	4	2	1	1	1	12	15.8
	Type III		1	8	2							11	14.5
	Type IV			4	6	6	2	4		1	2	25	32.9
	Total		1	18	16	10	11	9	1	5	5	76	100.0
169 plants/m ² —sward													
Numbers of dead plants	Type I			1	1	4	3	3	2	2	5	21	41.2
	Type II				1	2	2	4	1	3	1	14	27.5
	Type III				1	2	1	2	1	1		8	15.7
	Type IV				1	2		5				8	15.7
	Total			1	4	10	6	14	4	6	6	51	100.0

For the explanation of the types, see note of fig. 29.

よる欠株の発生がとくに多いことを示唆している。本試験では病虫害の発生は極力防除につとめたため、顕著な発生は認められなかったが、炭そ病については詳細な調査を欠くため、くわしくは論じられない。ただ、この試験において生存率が栽植密度により著しく異なることから、少なくとも、病虫害が枯死の主要な原因とは考えられず、刈取による再生不能と再生過程における個体間競争が枯死の主要な原因であると推測する。

以上、刈取時における個体の茎長、茎数、刈取部乾物重の値から、枯死個体について現象面から考察した。刈取のくり返される多年生牧草地にあつては、個体間競争における劣位と再生不良—その極端な場合の再生不能—とは、循環的に影響しあうと考えられるので、異なる刈取体制下での個体の生育の追跡が必要とおもわれる。

摘 要

1. 第1章で記した栽植密度を異にする二つのアルファルファ草地 (625個体/m², 169個体/m²) の刈取初年目の1番刈時のデータから、それぞれ100個体を選出し、3年間の各刈取時におけるこれらの個体の茎長、茎数、刈取部乾物重の測定値から群落内の枯死個体について

考察した。

2. アルファルファ草地内の枯死個体の多くは、少なくとも、前回の刈取時において茎長、茎数、刈取部乾物重とも平均値以下の個体であり、とくに、乾物重では生存する個体の最小値に近い値を示す個体が多い。

3. 枯死する個体のうち、625個体/m²区では、ほぼ70%、169個体/m²区では、ほぼ80%が前回の刈取時において $\bar{x}-s$ 値 (乾物重の測定値を対数変換した後の平均値—標準偏差) 以下の個体である。そして、枯死する個体は、枯死するまでの生育の経過によって、次の4つのタイプに分けることができる。

I型；ある刈取までは $\bar{x}-s$ よりも大であつて、 $\bar{x}-s$ よりも小となった刈取の次回の刈取までに枯死するもの。

II型；ある回の刈取までは $\bar{x}-s$ よりも大であつて、 $\bar{x}-s$ よりも小となった刈取後も何回かの刈取を経てから枯死するもの。

III型；刈取初年目の第1回刈取時から $\bar{x}-s$ よりも小であつて、やがてある時点で枯死するもの。

IV型； $\bar{x}-s$ よりも大であるにもかかわらず、ある時点で枯死するもの。

第6章 再生と貯蔵炭水化物の関係

これまでの章で述べてきた個体数の減少についての結果は、各刈取時における個体数の調査によるもので、刈取—再生の過程のどの時期に枯死するのかについては、詳しい調査はしなかった。そこで、模型的なアルファルファ群落をつくり、この点について観察した。また、同時に群落を構成する個々の個体の地下部貯蔵養分含有率を推定しようと試みた。

アルファルファの再生におよぼす貯蔵養分含有率の重要性を示した報告は、GRABER¹⁸⁾、GRANFIELD¹⁹⁾の初期の研究から現在にいたるまできわめて多いが^{7, 9, 45, 57, 58, 64, 78)}、群落条件下で、変異をもって生育する個々の個体の地下部貯蔵養分含有率を測定したものはきわめて少ない^{6, 96)}。群落内の個体の持つ貯蔵養分含有率は、刈取後のその個体の再生量と生死を決定づけるのに、きわめて重要な意味を持つであろうと考え、刈取条件を変えた場合の貯蔵養分含有率を個体ごとに測定して、地上部重と対応させて考察した⁹⁰⁾。

材料と方法

実験は千葉県松戸市、千葉大学園芸学部附属農場で行なった。アスファルトペイントを両側に塗った厚さ0.6 mmの鉄板で縦40cm、横4 cm、深さ40cmの本のケース状の枠をつくり⁸¹⁾、これにpH6.3に矯正した土を詰め、施肥した後4 cm間隔に1ヶ所4～5粒ずつの種子を播いた。そして、この枠を30個連続して並べて1刈取処理区とした。もちいた品種はWilliamsburg。播種期は1970年4月29日。施肥量は10 a あたりにしてN—5 kg、P₂O₅—33kg、K₂O—50kgである。4～5葉期に間引いて1本立としたが、このようにすると、4 cm×4 cmの正方形植の群落状態となり、これは625個体/m²で種子1 g 粒数から換算すると、1.42kg/10aの播種量となってアルファルファの標準の播種量に近いことになる。

刈取処理は、播種後78日経った7月17日に1回目の

刈取を行ない、その後は15日おきに年間7回刈取る区、20日おきに年間6回刈取る区、35日おきに年間4回刈取る区、82日おきに年間2回刈取る区、それに年間無刈取の5処理とした（以下それぞれ15日刈区、20日刈区、35日刈区、82日刈区、無刈取区とする）。

調査は、並んだ枠の中央部4枠のそれぞれの枠の中心部4個体計16個体について、5日ごとに行なった。調査したのは茎長と地上7 cmの高さの茎数である。それに、各調査日には群落の中心部の相対照度を10cmごとに群落相対照度計を用いて測定した。また、各刈取日には、前述の調査枠以外の2枠を抜き出し、各枠の中心部4個体計8個体の生育を調査したのち、地上部を切断し、地下部を洗い出し、個体ごとに乾燥・粉碎した。これらの試料の非構造性炭水化物（Total non-structural carbohydrate=TNC）をSMITH⁷⁷⁾の方法にしたがって個体ごとに定量した。

結 果

1. 枯死個体の観察

刈取回数の違いによる個体数の減少は、第10表に示すように無刈取の区に最も多く、約半数の個体が枯死した。ついで、刈取回数の最も多い15日刈区に多く、以下20日刈区、35日刈区、と刈取回数が少なくなるにしたがって少なくなる傾向がみられる。もとより、調査個体数が非常に少ないので、この結果だけから確かな傾向を見い出すことはできないが、刈取回数の少なすぎる側（ここでは無刈取区）と刈取回数の多すぎる側での枯死個体の増加があるように推察された。

つぎに、これらの枯死個体がいつの時期に枯死したかを調べてみると（第10表）、刈取を行なった区では、枯死個体は刈取後再生してこない、いわゆる再生不能個体であって、外部的に茎葉のうごき始めたという意味での再生を始めた後に、枯死する個体は少ないことがわかる。再生を開始した後に他の個体との競争関係において劣位にたたされた個体が、そのまま生育の途中で枯死することは、刈取間隔がある程度短かくなっ

Table 10. Numbers of dead plants under different cutting treatments.

Cutting treatments	Numbers of dead plants out of 16 plants		
	Died in process of growing	Unable to start regrowth	Total
Cutting at interval of 15 days	0	3	3
Cutting at interval of 20 days	1	1	2
Cutting at interval of 35 days	0	1	1
Cutting at interval of 82 days	0	0	0
uncut sward	9	—	9

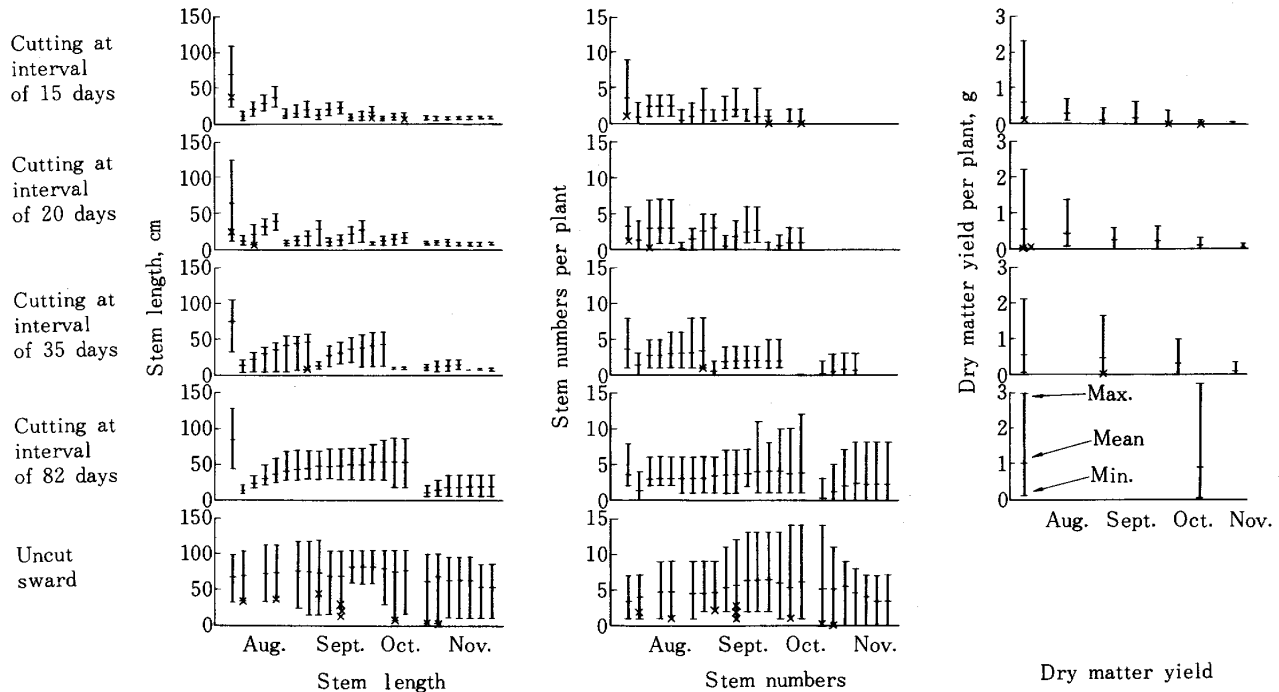


Fig. 30. Stem length, stem numbers per plant, and dry matter yield per plant cut at 7 cm above ground level under different cutting treatments.

× Plants that died before the next observation

た場合には、比較的少ないと考えてよいであろう。

刈取される区の枯死個体は、第30図に示すように、枯死する前の刈取時において、茎長、茎数、乾物収量とも平均値以下の個体であり、とくに乾物収量では最小

Table. 11. Correlation coefficients between top dry weight and stem length or stem numbers per plant in the uncut sward.

Sampling	Top dry weight -stem length	Top dry weight-stem numbers per plant
July. 16	0.503	0.773*
Aug. 5	0.793*	0.683
Aug. 25	0.644	0.872**
Sept. 8	0.412	0.904**
Sept. 17	0.982*	0.999**
Oct. 6	0.923	0.984**
Nov. 22	0.918*	0.755

** Significant at the 0.01 level.

* Significant at the 0.05 level.

値に近い値を示す個体が多かったことは、第5章において述べたと全く同じである。また、無刈取の区でも、枯死個体は枯死する前回の調査において、茎長、茎数とも群落内の最小値に近い値を示した。そして、その時の乾物重も最小値に近い個体であったことが、掘取個体の茎長および茎数と乾物重との相関関係から推測される（第11表）。

2. 群落内の相対照度

実験期間中の各区の10cmごとの群落内相対照度を第31図に示した。15日刈区、20刈区では、地ぎわの照度が5%以下になることはなかった。35日刈区では第2回刈取時に地ぎわの相対照度は5%以下となった。また、第2回刈取後13日目（9月2日）に地ぎわの相対照度が5%以下となり、33日目（9月22日）には0となった。そして、5%の点は20cmの高さにまで達して、この状態が第3回刈取時の39日目まで継続した。82日刈区では、第1回刈取後35日目（8月20日）に地ぎわの相対照度は5%以下となった。また、48日目（9月2日）には地ぎわの相対照度は0となり、5%の点は10cmの高さに達した。62日目（9月16日）以後には5

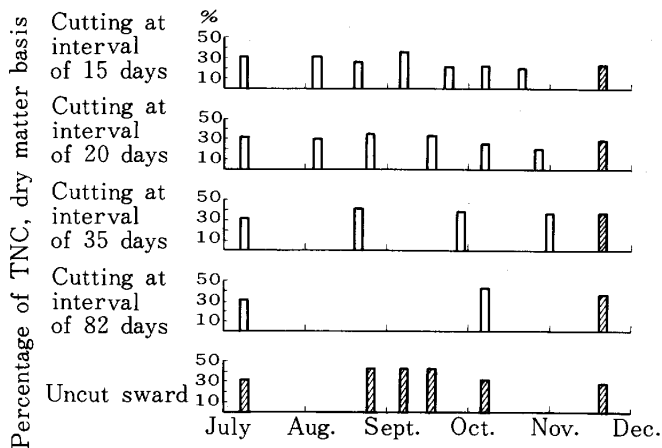


Fig. 32. Percentage of total nonstructural carbohydrates (TNC) in root calculated from eight individual plants. Cuttings were taken on the days with open column.

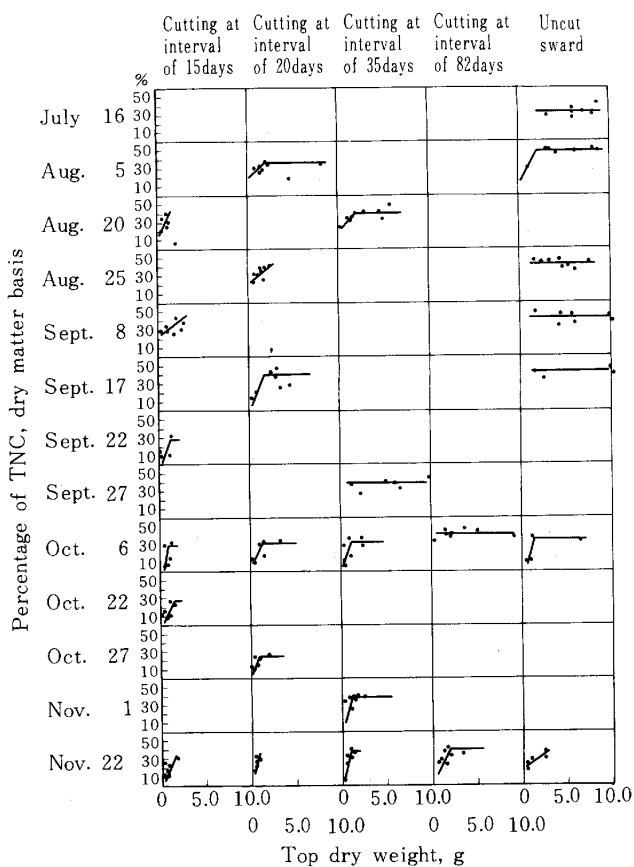


Fig. 33. Relationships between top weight and percentage of total nonstructural carbohydrates (TNC) in root of individual plant under sward conditions.

%点は20cmの高さに達し、82日目の第2回刈取時には5%点は30cmの高さになった。無刈取区では、播種後78日経た7月16日に地ぎわの照度が0となり、5%の点は30cmの高さに達した。その後も0~10cmの高さの相対照度は0、5%点の高さは30cmという状態が継続した。しかし、10月16日以後は落葉、茎の枯死により、光は次第に群落内部まで透入するようになり、地ぎわの相対照度は0とはならず、5%の点も徐々に下がった。

3. 地下部炭水化物含有率

地下部の炭水化物含有率の測定は、個体ごとに行なったのであるが、刈取処理の違いによる炭水化物含有率の推移をみるために、これらをこみにした値に換算しなおすと、第32図のようになる。一般に刈取間隔の短かい15日刈区、20刈区では刈取時の炭水化物含有率は低く、9月中旬以後ではとくにその値が低くなっている。刈取区間のより長い35日刈から無刈取の区では、炭水化物含有率が前二者に比べて高い。無刈取区の10月6日、11月22日の値が低いのは、掘取った枠内に枯死個体があったために測定個体数が少ない上に、その生育が貧弱な個体が多かったためである。

つぎに刈取時の個体の地下部炭水化物含有率を、その個体の地上部乾物重と対応させてグラフに示すと第33図のようになる。1回の刈取時の測定個体数が少ないので、地上部重と地下部炭水化物含有率の間の関係を明らかにするのに、必ずしも十分な範囲が含まれていないきらいがあり、また、8月5日の20日刈区、8月20日の15日刈区、9月17日の20日刈区の例にみられるように、かなりばらついている点もあるが、傾向としてみるならば図中の実線で示されるような関係があると考えられる。個体の炭水化物含有率は、地上部重がある程度の大きさ以上ではほぼ一定の水準を保つことができるが、それ以下では地上部重が低下するにしたがって、炭水化物含有率も急げきに低下する傾向が認められる。

考 察

刈取を行なった区における枯死個体は、刈取後再生してこないいわゆる再生不能個体が多い。これらの個体は、枯死する前回の刈取時における刈取部分の収量が著しく低く、株の部分の重量を考慮に入れても、その地上部はきわめて小さいものであった。無刈取の区においても、枯死する個体は枯死を確認する前回の調査時において茎長、茎数とも、他の個体に比べて著しく劣った個体であって、その時の乾物重もまた著しく劣った個体であることが容易に推測されるのである。個体の地上部重と地下部炭水化物含有率との間には、

地上部がある程度の大きさ以上では、ほぼ一定の炭水化物含有率の水準を保つことができるが、それ以下では地上部重の低下にともなって、炭水化物含有率も急げきに低下するという関係がある。これらのことから考えると、アルファルファ群落内で枯死する個体の貯蔵養分含有率は、刈取時において他の個体に比べて著しく低い水準にあったと推定される。また、無刈取の区でも、枯死を確認する前回の調査時には、枯死個体の地下部貯蔵養分含有率はきわめて低い水準にあったといえよう。

摘 要

1. 枠を連続して並べた模型的なアルファルファ群落をつくり、群落内の枯死する個体を詳しく観察するとともに、個体ごとの地下部炭水化物含有率を測定し、枯死する個体の貯蔵養分の状態を知ろうとした。

2. 枯死個体は、刈取回数の少なすぎる側と多すぎる側で増加する傾向が示された。

3. 刈取の行なわれた区の枯死個体は、刈取後再生してこない再生不能個体であって、外部的に茎葉がうごき始めたという意味での再生を開始した後に枯死する個体は少ない。

4. 個体の地上部重と地下部炭水化物含有率の間には、地上部重がある程度の大きさ以上では、ほぼ一定の炭水化物含有率の水準を保つことができるが、それ以下では、地上部重の低下にともなって炭水化物含有率も急げきに低下するという関係が示された。

5. 群落内で枯死する個体の貯蔵炭水化物含有率は、刈取時において他の個体に比べて著しく低い水準にあったと推定された。また、無刈取の場合でも、枯死する個体の貯蔵炭水化物含有率は、他の個体に比べて、きわめて低い水準にあったといえる。

総 合 考 察

1. 個体数の減少

初期密度を異にして同一の刈取条件を与えた場合の個体数の減少の経過をみると、本実験の年限の範囲では、減少率は密度が高いほど大きい、いつの時点でも生存個体数は初期密度が高いほど多いという結果が示された。植物群落内の個体数の減少は自己間引あるいは自然間引といわれており、篠崎⁷³⁾によれば自己間引による個体数の減少には次のような法則性が存在するという。1) 初期密度 ρ_i が大きいほど密度の減少は大きい。2) ある時刻における実現密度 ρ は ρ_i が大きいほど大きい。3) ある時刻における ρ には上限がある。4) 十分時間がたつと ρ は ρ_i に関係なくある値に収斂する。そして、密度以外の地力などの生長要因が大きくなるほど実現密度 ρ は小となる。いいかえると、それだけ個体はよく生長して大きな空間を占めるようになるとしている。アルファルファ草地の初期密度を異にして同一の刈取条件を与えた場合には、年間何回かの刈取という操作が行なわれていても、個体数減少の傾向は篠崎らの示したところと全く同じである。

初期密度を一定にした場合の個体数の減少程度は品種により、刈取条件により、また、その両者の交互作用により変異する。この実験で設定された施肥量の範囲では、施肥量の違いによって個体数の減少に差異はみられなかった。WASHKO⁹⁸⁾も P_2O_5 、 K_2O の施用量の違いがアルファルファ草地の個体数の減少におよぼす影響はきわめて小さいとしている。したがって、品種が決定されて、標準に近い播種量で播種されたアルファルファ草地の面積あたり個体数の減少の程度を決定するのは、刈取条件ということになる。そして、普通に考えられる満開期以前の刈取の範囲では、刈取回数が多くなるにしたがってアルファルファ草地の個体数は減少の程度が大きくなる方向をたどる。しかし、実際の栽培ではほとんど考えられないような極端に少ない刈取回数の場合には、第6章で述べたように個体数は逆に減少の程度を強めることになろう。

品種の示す個体数減少の程度は刈取回数によって異なる。すなわち、本実験の中で用いられたMoapaのような、ある刈取から次の着蓄、開花までに要する日数の短い品種は、短い刈取間隔で刈取っても、Ramblerのようなこの日数の長い品種に比べて個体数の減少の程度は小さいことになる。

オーチャードグラスではアルファルファの場合とは異なり、個体数減少の程度が刈取回数の増加によって軽減され、窒素施用量の増加により減少の程度が強められることが報告されている^{29, 69, 74)}。石田ら²³⁾は年間刈

取回数3, 4, 5回、年間施肥量各要素とも10, 20, 40kg/10aの処理をした場合、施肥量が多くなるにしたがい、また、刈取回数が少なくなるにしたがって個体数の減少が多くなることを報告している。高橋ら⁸⁴⁾もペレニアルライグラスの個体数の減少について同様の傾向を報告しており、刈取回数、施肥量が草地の密度におよぼす影響の方向性は草種によって異なることを示している。

2. 草地の収量と密度との関係

アルファルファ草地の初期密度を変えて同一の栽培条件を与えた場合、刈取初年目の1番刈ないしは2番刈ぐらいまでの時期の収量は、密度に依存し、密度が高い方が高い収量を示す。また、年間合計収量に占める1番刈収量の比率が高いために、刈取初年目の年間合計収量も同様の傾向を示すことになる。しかし、それから以後の年間合計収量は、かなり幅の広い密度範囲にわたって、初期密度と関係なく一定となる。播種された当初は個体の生育が進んでいないために、個体の生育しうる能力の最大値まで差が大きく、低密度の側では単位面積あたりの収量は低い。一方、高密度の側では、個体の生育は密度の低い場合に比べて劣ってはいても、個体数が多いために群落全体の収量は、そのgenotypeの群落が与えられている環境要因の許す範囲内の上限に早く到達することができる¹⁴⁾。したがって、低密度の側の個体の生育が進んできて、個体のもつ能力の上限に近づいてくるにしたがって、より高い密度の面積あたり収量に近づいてくるのである。この場合、密度間の収量の差は、その単位土地面積に与えられた環境要因によって規制される上限に到達するまでの時間の差に起因している。もちろん、個体の生育の上限に達した場合でも、その単位面積に与えられた環境要因を十分に利用し得ないような低い密度では、当然単位土地面積あたりの収量は、より高い密度の収量に比較して低いことになる。この研究の中での初期密度25個体/m²、あるいは初期密度36個体/m²は、ともに面積あたり収量の上限に達し得る範囲の密度であって、初年目の1番刈ないしは2番刈以後は、それ以上の密度と変わらない収量が得られたのである。ただ、それに到達するのが他の高い密度のものより時間的に遅れたことになる。HOLLIDAY²⁵⁾は5, 40, 160ポンド/エーカー（ポンドあたり種子数から換算してみるとそれぞれ280, 2240, 8970個体/m²となる）の密度のペレニアルライグラスの草地は、3年目に収量と茎数が一定になることを報告している。刈取から次の刈取までの時間が短い場合、刈取から刈取までの生育期間に他の要因によって生育量が抑制されて、相対的に生育期間が短縮されるような場合には密度に依存する収量を示す

ことがある。第2章に示された生育シーズン後半における収量が密度が高いほど高いという結果は、これに相当すると考えられる。すなわち、低温と短日条件によって、アルファルファは休眠期に向かう状態にあり、地上部の生育は抑制される状態となったため、上記のような現象がみられたものと解される¹¹⁾。アルファルファの場合、2500個体/m²のような非常に高い密度でも、多くの子実作物にみられるような収量の低下はみられず、最高収量をあげるための最適密度というものは存在しない。したがって、種子に要する費用の点を度外視すれば播種量はいくら多くてもよいということになる。本実験は、発生してくる雑草はすべて除去するといういわゆる weed-free の条件下で行なわれたものであるが、実際のアルファルファ栽培においては、密度と収量の関係は雑草との競争関係も考慮に入れなくてはならないであろう。アルファルファの初期密度が低いことは、それだけ雑草に定着、生育の機会を与えることになると考えられるからである。WILLARD¹⁰³⁾は、牧草地をつくることに失敗する大きな原因の一つとして、初期生育における雑草との競争をあげている。そして、牧草類の雑草制御の基本は、競争関係を有利にすることであり、雑草が定着し得ないほどに牧草の生育を旺盛にさせることであるとしている⁸⁵⁾。また、さらに牧草類の密なスタンドは、雑草の茎基部の芽や葉が牧草による光の遮蔽により被害を受けるために、粗なスタンドよりも刈取によって雑草を制御しやすいとしている。LOWE⁴⁸⁾は、アルファルファの多交配後代検定において、5年間合計の草収量と5年目のスタンドの評点の間には高い相関があるが、同時に5年間合計の草収量と定着時のスタンドの評点の間にも高い相関関係があることを報告している。このことは、定着時のスタンドが粗であることは当然初期の雑草量を多くし、それから以後のアルファルファの収量をそのアルファルファの品種、系統が持っている遺伝的能力を十分発揮し得ない状態にしてしまう可能性があることを示唆しているように思われる。LAZENBY⁴⁷⁾も、ペレニアルライグラスについて、品種や選抜系統の収量評価の多くが一つの標準密度で散播された場合のものであって、これは必ずしも満足すべきものではないとしている。散播された牧草の定着は、必ずしもいつも良いとは限らず、時には速い均一な生育を示すのに対し、他の場合はかなり多量の雑草を伴った不均一な生育しか示さない。この定着の差の効果はかなり永い期間継続して収量に影響をおよぼし、その結果、データの再現性を失わせ、極端な場合はデータの解析を不可能にするとしている。これらの事実は普通の意味での除草の行なわれないアルファルファの実際の栽培にお

いては、初期の密度がある程度高いことが必要であることを示唆するように思われる。

初期の密度を一定にして、異なる栽培条件を与えた場合にはアルファルファ草地の収量は種々に変異してくる。一般にアルファルファは1/10開花時期の刈取が乾物収量と品質およびスタンドの持続性からみてよいとされている。しかし、最近はやり早い時期に刈取ることによって、品質の高い草を収穫する傾向があり、このための新しい品種や管理方法が検討されている。喜多ら³⁹⁾は、札幌地方では開花始期から1/2開花時期に刈取られた年間3回の刈取が最高収量をあげ、それ以上あるいは以下の刈取回数では乾物収量は低下するとしている。本研究の中でも、札幌で行なわれた年間3、4、5回の刈取回数ではMoapa, Du Puits, Ramblerの3品種とも3回刈の場合に最も収量が高く、刈取回数が増すにしたがって収量は低下した。しかし、品種の示す収量に対する能力は刈取条件によって異なる。Moapaのように刈取後の再生が早く、開花から次の開花までの期間の短い品種では、短い刈取間隔で刈取られた場合でも収量の低下が少ないのに対し、Ramblerのような刈取後の再生の遅い、開花から次の開花までの期間の長い品種は収量の低下が著しい。この事実は異なる品種の収量を同一の刈取条件で比較する場合には注意すべき点であることを示唆している。

施肥のレベルはこの試験の範囲内では、アルファルファ草地の収量に影響をおよぼしていない。これは一つには試験の行なわれた圃場がいずれも比較的肥沃度の高い圃場であったためである。そして、また一つには荳科草種が肥料条件に対して、イネ科草種が窒素肥料に対して示すほどの顕著な反応を示さないことによるものと思われる。

品種、刈取回数、施肥レベルを変えた場合、年間合計収量とその年の最終刈取時の面積あたり個体数、4年間の合計収量と試験終了時の個体数の間には、それぞれの品種でも、また、品種をこみにした場合でも正の相関関係が示されることが多い。面積あたり個体数が多い区は収量も多いということになる。しかし、このことから、個体数が少ないことが収量の低いことの直接的な原因のように考えるのは誤りである。なぜならば、初期密度36個体/m²から2500個体/m²、あるいは25個体/m²から2500個体/m²の範囲で、収量が密度によって変わるのには刈取初年目だけで、以後の年次では収量に差がみられなくなるからである。アルファルファ草地の密度と収量が相関関係を示すのは、刈取初年目の場合と初期密度が同じであっても、管理条件、とくに刈取条件が異なるために密度に差を生じた場合に多い。前者の場合はさきに述べた理由による。後者の場

合、アルファルファ草地では普通に考えられる範囲の刈取回数では、刈取回数が増すにしたがって収量も個体数も同時に減少するために、結果としてそのときどきの収量と個体数の間に相関関係があらわれてくるのである。個体数を著しく減少させるような刈取条件が、同時に収量を低下させているのであって、個体数が少ないために収量が低いという原因と結果の関係を意味するものではない。刈取の頻度が高くなった場合には、個体の生育量が低下するだけでなく、その刈取体制下では個体数を維持することが不可能なのである。

KNIGHT⁴⁰⁾は、オーチャードグラスのクローンを5.7個体/m²から100個体/m²の密度で栽植し、2, 4, 8週間隔の刈取処理を与えた場合、シーズン当初の刈取では密度が高くなるほど収量も高かった。しかし、以後の刈取では中間の密度に収量の最大値を示す最適密度があり、年間合計収量でも最適密度が存在することを示している。これは、おもにオーチャードグラスの収量に大きな影響をおよぼす栄養生長茎と生殖生長茎との割合が、植えられた密度と刈取条件によって、時間的にずれてくることに起因しているようである。荳科のアルファルファの場合には、栄養生長期と生殖生長期で、オーチャードグラスなどのイネ科草種で示されるようなはっきりした植物体の形態的な違いがみられないので、最適密度は存在しない。

石田ら²⁹⁾は、オーチャードグラスの場合、刈取回数が増すにしたがって収量は低下し、個体数の減少程度が小さくなり、窒素施用量の増加によって収量は増加し、個体数の減少程度が大きくなることを報告している。刈取回数が個体数の減少程度におよぼす影響は、アルファルファの場合と全く逆である。高橋ら⁸⁴⁾もペレニアルライグラスについて石田らと同じ傾向を報告している。JUNGら³⁵⁾はケンタッキーブルーグラス、トールフェスク、オーチャードグラスでは、年間の刈取回数が増えるにしたがって、被度で示された密度が高くなって収量が低下し、リードカナリーグラス、スムースブロームグラスでは、刈取回数の増加にともなって密度が低下して収量が低下することを報告している。刈取処理が収量と個体数の関係におよぼす影響の草種間の違いは、さらにくわしく検討すべき問題であるように思われる⁷⁹⁾。

3. 個体重の度数分布と枯死個体

個体重の度数分布は、播種直後から軽量の側に歪み始め、2500個体/m²の初期密度では刈取初年目（播種当年）の1番刈時に、625個体/m²の密度では刈取初年目の2番刈時に、169個体/m²の密度では刈取2年目の1番刈時に、それぞれ最も軽量の側の度数が最大となった。歪みの程度は2500個体/m²、625個体/m²の密

度では刈取2年目に最大値を示した後軽減されるが、初期密度169個体/m²から2500個体/m²の間の密度では、ごく初期をのぞき、アルファルファ草地はつねに最も軽量の側に最大の度数をもついわゆるL字型の個体重度数分布をもつ個体群により構成されている。一方群落内で枯死する個体は、枯死を確認する前の調査時の茎長、茎数とも群落を構成する他の個体に比べ小さいものが多く、とくに個体重では生存する個体の最小値に近いものが多かった。したがって、アルファルファ群落は、つねに枯死しやすい個体を大量に持った個体群であるということができる。このような茎長、茎数、個体重の小さい個体は、再生に必要とされる地下部貯蔵養分含有率も、また、きわめて低いレベルにある個体であることは、群落条件下で変異をもって生育する個々の個体の地下部の非構造的炭水化物の定量的結果明らかである。

各刈取時の個体重の歪みの程度と、その次の刈取時までの個体の減少率は密接に関係し、歪みの程度が大きいつきに個体の減少率もまた大きいということが示された。しかし、2500個体/m²のような非常に高い密度の群落で、刈取初年目の1番刈後にみられた大量の個体の枯死は、歪みの程度があまり高くないときにみられ、アルファルファ個体に対する限界的な刈取時期が大きく関与しているように思われる。

枯死する個体には、刈取後再生を開始できない再生不能個体と、再生を開始してから次の刈取時までの生育期間中に枯死するものがみられる。どちらの枯死も、それまでの生育の過程において群落内の個体間競争において、劣位にたたされた貯蔵炭水化物含有率の低い個体の枯死であることは同じである。しかし、後者は貯蔵炭水化物含有率が低いために再生のおくれた、再生量も小さい個体の生育期間中の枯死であるのに対し、前者は炭水化物含有率レベルの低い個体が刈取によって再生の再開をできなくなった枯死である。アルファルファ草地群落にみられる個体の枯死は、単純な自己間引現象によるものではない。もし篠崎ら⁷³⁾、WHITEら¹⁰²⁾の示すような単純な自己間引現象そのものであるならば、刈取間隔が長くなり、個体間競争が激化することによって枯死個体の数は増加するはずである。そのような刈取間隔が極端に長くなることによる枯死個体の増加も、第6章に示すようにみられることもある。しかし、普通に考えられるアルファルファの刈取間隔の範囲では、刈取間隔が短縮されることにより、枯死する個体の数は増しているのである。アルファルファ草地の頻度の高い刈取は、個体の地下部の炭水化物の貯蔵—放出の周期的なパターンを乱して、群落を構成する全個体の平均的な炭水化物含有率を低下させ

ると同時に、生育に変異を示す集団内においては、限界的な個体の数を相対的に増加させることになると考えられる。自己間引現象と同じ個体間の生育の差により生起されるものではあるが、枯死を決定づけるまでに個体間の生育の差を拡大させ、あるいは枯死を決定づけるのが刈取という操作である点を考えれば、草地群落内の個体の枯死は一般的な自己間引現象そのものではないといえる。

アルファルファ個体の枯死には、病虫害とくに病害によるものもあると考えられるが、本実験の中では、病虫害は極力防除につとめ、札幌で行なわれた実験の一部に菌核病の発生をみたほかは目立った病害は観察されなかった。また、観察されなかった病害が一部にあったとしても、処理の違いによって二次的に誘発されたと考えれば、個体数の変動の傾向は基本的にはかわらないであろう。

結 論

初期密度をかえて同一の刈取、施肥条件を与えた場合、個体の減少率は初期密度が高いほど高いために個体数は最も低い密度の個体数に近づいてゆく。また、収量は刈取初年目をのぞき、かなり幅の広い密度範囲にわたって密度と関係なく一定となる。

初期密度を一定にして品種、刈取条件、施肥条件を変えた場合、収量と個体数は品種により、刈取条件により、また、その両者の交互作用により変異する。普通に考えられる開花盛期以前の刈取では、刈取回数が増すほど収量も個体数も減少するが、減少の程度は品種によって異なり、再生のはやい品種は刈取回数が増した場合でも収量と個体数の減少の程度が小さい。

初期の密度が一定であっても、刈取回数の違いによって個体数に変動を生じたときは、収量と密度の間に正の相関関係が示されることになり、密度が高いほど収量も高いという関係があらわれてくる。しかし、このことは密度の高低が収量の高低の原因であることを意味するものではない。普通に考えられる刈取回数の範囲では、刈取回数の増加にともなって収量も個体

数も減少するためにこのような関係が示されるのであって、個体数が少ないために収量が低いということにはならない。アルファルファ草地の密度を考える場合、初期密度の違いと刈取条件の差異によってもたらされる密度の違いとは、異なった内容を意味していることを理解する必要がある。

アルファルファ草地は、ごく初期をのぞき、L字型の個体重分布をもつ個体群により構成されている。群落内で枯死する個体は、生存する個体の最小値に近い個体重を示すものが多く、これらの個体の貯蔵養分含有率も、また、きわめて低いレベルにあった。したがって、アルファルファ草地は枯死しやすい個体を大量にもっている群落であるといえる。草地群落内の枯死は、自己間引現象と同じ個体間の生育の差により生じられるものであるが、枯死を決定づけるまでに生育の差を拡大させ、あるいは枯死を決定づけるのが刈取という操作である点を考えれば、一般的な自己間引現象そのものではない。頻度の高い刈取は、集団全体の貯蔵養分含有率のレベルを低下させるだけでなく、生育に変異を示す集団内においては、枯死限界的な個体の数を相対的に増加させることになるのである。

引用文献

1. 阿部二郎・鈴木茂 (1975) オーチャードグラス品種の栽植方式に対する反応. 日草誌21—別1: 57—58.
2. AHLGREN, H. L., D. C. SMITH and E. L. NIELSEN (1945) Behaviour of various selections of kentucky bluegrass, *Poa pratensis* L., when grown as spaced plants and in mass seedings. Jour. Amer. Soc. Agron. 37: 268—281.
3. AREVALILLO, A. (1972) Persistence and yield of lucerne under different cutting frequencies. Herbage abstracts 42—4: 376.
4. BLACK, J. N. (1960) An assessment of the role of planting density in competition between red clover (*Trifolium pratense* L.) and lucerne (*Medicago sativa* L.) in the early vegetative stage. Oikos 11: 26—42.
5. BOLTON, J. L. (1962) Alfalfa. Interscience Publishers, INC., 115—114.
6. CHATTERTON, N. J., G. E. CARLSON, R. H. HART and W. E. HUNGERFORD (1974) Tillering, nonstructural carbohydrates and survival relationships in alfalfa. Crop. Sci. 14: 783—787.
7. CLARK, P. U. and J. H. REYNOLDS (1974) Changes in stand density and carbohydrate root reserves of two varieties of red clover with several cutting managements. Herbage abstracts 44—4: 97.
8. COCKS, P. S. (1974) The influence of temperature and density on growth of community of subterranean clover. Herbage abstracts 44—3: 78.
9. COOPER, C. S. and C. A. WATSON (1968) Total available carbohydrates in roots of sainfoin and alfalfa when grown under several management regimes. Crop Sci. 8: 83—85.
10. COWETT, E. R. and M. A. SPRAGUE (1963) Effects of stand density and light intensity on microenvironment and stem production of alfalfa. Agron. J. 55: 432—434.
11. DELANEY, R. H., A. K. DOBRENZ and H. T. POOLE (1974) Seasonal variation in photosynthesis, respiration and growth components of nondormant alfalfa (*Medicago sativa* L.). Crop Sci. 14: 58—61.
12. DONALD, C. M. (1951) Competition among pasture plants. I. Intra-specific competition among annual pasture plants. Aust. J. Agr. Res. 2: 355—376.
13. DONALD, C. M. (1954) Competition among pasture plants. II. The influence of density on flowering and seed production in annual pasture plants. Aust. J. Agr. Res. 5: 587—597.
14. DONALD, C. M. (1963) Competition among crop and pasture plants. Advances in Agronomy 15: 1—114.
15. FELTNER, K. C. and M. A. MASSENGALE (1965) Influence of temperature and harvest management on growth, level of carbohydrates in the roots, and survival of alfalfa. Crop Sci. 5: 585—588.
16. FULKERSON, R. S. (1970) Location and fall harvest effects in Ontario on food reserve storage in alfalfa (*Medicago sativa* L.). Proc. 11th Intern. grassl. Congr. 555—559.
17. GIOVANARDI, R. (1971) Investigations on the optimum seed rates for establishing a weed-free lucerne ley. Herbage abstracts 41—1: 21.
18. GRABER, L. F., N. T. NELSON, W. A. LUEKEL and W. B. ALBERT (1972) Organic food reserves in relation to the growth of alfalfa and other perennial herbaceous plants. Wisconsin Agr. Exp. Sta. Res. Bull. 80.
19. GRANFIELD, C. D. (1935) The trend of organic reserves in alfalfa roots as affected by cutting practices. J. Agr. Res. 50: 697—709.
20. GREEN, J. O. and J. C. EYLES (1960) A study in methods of grass variety testing. J. Brit. Grassl. Soc. 15: 124—132.
21. GROSS, H. D., C. P. WILSIE and J. PESEK (1958) Some responses of alfalfa varieties to fertilizer and cutting treatments. Agron. J. 50: 161—164.
22. HARPER, J. L. (1963) The nature and consequence of interference amongst plants. Proc. XIth Intern. Congr. Genetics: 466—482.
23. HARRIS, W. (1971) The effects of density, cutting height and white clover on the structure of a ryegrass population. J. Agric. Sci. 77: 385—395.
24. 広田秀憲 (1973) 牧草類の初期生育に関する研究. 4. 耕種条件が牧草の個体数および個体変異におよぼす影響. 新潟農林研究 25: 215—225.
25. HOLLIDAY, R. (1953) Agr. Progr. 27: 108—123.
- DONALD, C. M. (1963) Competition among crop

- and pasture plants. *Advances in Agronomy* **15**: 1—114 より引用.
26. HOLLIDAY, R. (1960) Plant population and crop yield. *Nature* **186**: 22—24.
27. HOLLIDAY, R. (1960) Plant population and crop yield Part I. Field crop abstracts **13**—3: 159—167.
28. HOLLIDAY, R. (1960) Plant population and crop yield Part II. Field crop abstracts **13**—4: 247—254.
29. 石田良作・川鍋祐夫・桜井茂作・及川棟雄 (1971) 人工草地の状態診断. 第1報. 施肥量, 刈取回数を異にしたオーチャードグラス単播草地の状態変化について. *日草誌* **17**: 112—116.
30. 石田良作・嶋村匡俊・桜井茂作・及川棟雄 (1972) 人工草地の植生構造. 4. オーチャードグラス草地における個体の配列と大きさ別の度数分布. *日草誌* **18**—別2: 19—20.
31. 石田良作・桜井茂作・及川棟雄 (1972) 人工草地の植生構造. 第1報. 施肥量と刈取回数を異にしたオーチャードグラス単播草地における弱小個体の枯死について. *日草誌* **13**—3: 196—201.
32. 石田良作 (1973) 草地における密度の問題について. 草地学会小集会資料.
33. JARVIS, R. H. (1962) Plant population studies with lucerne. *J. Agric. Sci.* **59**: 281—286.
34. JUNG, G. A. and K. L. LARSON (1972) Cold, drought, and heat tolerance. (Ed) C. H. HANSON, *Alfalfa science and technology*. American Society of Agronomy, INC., Publisher, Wisconsin, 185—209.
35. JUNG, G. A., J. A. BALASKO, F. L. ALT and L. P. STEVENS (1974) Persistence and yield of 10 grasses in response to clipping frequency and applied nitrogen in the Allegheny Highlands. *Agron. J.* **66**: 517—521.
36. 川端習太郎・後藤寛治 (1968) オーチャードグラス, チモシーおよびアルファルファにおける持続性の品種間差異. *北農誌彙報* **93**: 95—99.
37. 吉良竜夫・穂積和夫・小川房人・上野善和 (1956) 栽植密度問題の生態学的考察. *園芸学研究集録* **6**: 69—81.
38. 吉良竜夫・穂積和夫・小川房人・小山博史・依田恭二・篠崎吉郎 (1956) 同種植物個体間の競争現象. *生物科学* **8**: 2—10.
39. 喜多富美治・新関稔 (1968) アルファルファの品種生態に関する研究. 第2報. Du Puits, Rambler, Rhizoma 3品種の2年目草地における貯蔵養分の推移と再生の関係. *北大農場報告* **16**: 1—9.
40. KNIGHT, R. (1970) The effects of plant density and frequency of cutting on the growth of cocksfoot. *Aust. J. Agric. Res.* **21**: 653—660.
41. KOYAMA, H. and T. KIRA (1956) Intraspecific competition among higher plants. VIII. Frequency distribution of individual plant weight as affected by the interaction between plants. *J. Inst. Polytech. Osaka City Univ. (D)* **6**: 73—94.
42. KRAMER, H. H. (1947) Morphologic and agronomic variation in *Poa pratensis* L. in relation to chromosome numbers. *J. Amer. Soc. Agron.* **39**: 181—191.
43. KREUZ, E. (1969) Effect of stand density on mortality and yield in grass and legumes for forage. *Herbage abstracts* **39**—4: 339.
44. KUROIWA, S. (1959) Ecological and physiological studies on the vegetation of Mt. Shimagare. III. Intraspecific competition and structural development of the *Abies* forest. *植物学雑誌* **72**: 414—421.
45. KUST, C. A. and D. SMITH (1961) Influence of harvest management on level of carbohydrate reserves, longevity of stand, and yield of hay and protein from Vernal alfalfa. *Crop Sci.* **1**: 267—269.
46. LAZENBY, A. and H. H. ROGERS (1962) Selection criteria in grass breeding. I. *J. Agric. Sci.* **59**: 51—62.
47. LAZENBY, A. and H. H. ROGERS (1964) Selection criteria in grass breeding. II. Effect, on *Lolium perenne*, of differences in population density, variety and available moisture. *J. Agric. Sci.* **62**: 285—298.
48. LOWE, C. C., R. P. MURPHY, H. R. FORTMAN and W. R. BATTLE (1960) Variation in polycross progeny performance in alfalfa observed under regional testing in the Northeast. *Cornell Univ. Agr. Exp. Sta. Bull.* **953**: 1—32.
49. LOWE, C. C., V. L. MARBLE and M. D. RUMBAUGH (1972) Adaptation, varieties, and usage. (Ed.) C. H. HANSON *Alfalfa science and technology*. American Society of Agronomy, INC., Publisher, Wisconsin, 391—414.
50. 三田村強 (1969) 個体密度の異なるオーチャードグラス草地における生産性. *東北大学農研報告* **20**: 217—251.

51. MORDASHEV, A. I. and L. D. MORDASHEV (1972) Effect of stand density on yield of yellow fodder lupin. *Herbage abstracts* **42**-3: 239.
52. 村上馨・金子幸司 (1963) 飼料作物の種、品種ならびに系統の解説. 第2部. 53—63.
53. MURATA, Y., J. IYAMA and T. HONDA (1965) Studies on the photosynthesis of forage crops. IV. Influence of air temperature upon the photosynthesis and respiration of alfalfa and several southern type forage crops. *日作紀* **34**: 154—158.
54. 西村格 (1970) アカクローバの生育におよぼす密度と競争の影響. *日草誌* **16**: 36—45.
55. 西村格・新田一彦 (1970) 草地の生産力に及ぼす個体密度の影響. 第1報. 生殖生長期のオーチャードグラス草地における個体密度の差が再生に与える影響. *北農誌彙報* **97**: 39—45.
56. NELDER, J. A. (1963) Yield-density relation and JARVIS's lucerne data. *J. Agric. Sci.* **61**: 427—429.
57. NELSON, C. J. and D. SMITH (1968) Growth of birdsfoot trefoil and alfalfa. III. Changes in carbohydrate reserves and growth analysis under field conditions. *Crop Sci.* **8**: 25—28.
58. NELSON, C. J. and D. SMITH (1969) Growth of birdsfoot trefoil and alfalfa. IV. Carbohydrate reserve levels and growth analysis under two treatment regimes. *Crop Sci.* **9**: 589—591.
59. NISSEN, ϕ (1960) Testing hay varieties of grasses as spaced plants, in a pure stand or in a mixture with a legume. *Proc. VIIIth Intern. Grassld. Congr.* 310—317.
60. OBEID, M., D. MACHIN and J. L. HARPER (1967) Influence of density on plant to plant variation in fibre flax, *Linum usitatissimum* L. *Crop Sci.* **7**: 471—473.
61. 岡部俊 (1969) イタリアンライグラスの耐雪・多収性育種における選抜方法に関する研究. 1. 点播と散播による収量および主要形質の比較. *日草誌* **15**: 27—32.
62. 岡部俊 (1972) イタリアンライグラスの耐雪・多収性育種における選抜方法の研究. 4. 栽植密度反応の品種間差異. *日草誌* **18**: 48—53.
63. 奥野忠一・芳賀敏郎 (1969) 実験計画法. 培風館, 115—116.
64. REYNOLDS, J. H. (1971) Carbohydrate trends in alfalfa roots under several forage harvest schedules. *Crop. Sci.* **11**: 103—106.
65. RIDGMAN, W. T., F. HANLEY and M. G. BARKER (1956) Studies on lucerne and lucerne-grass leys. III. The effect of variety of lucerne and strain of grass. *J. Agric. Sci.* **47**: 50—58.
66. ROBINSON, G. D. and M. A. MASSENGALE (1968) Effects of harvest management and temperature on forage yield, root carbohydrates, plant density and leaf area relationship in alfalfa. *Crop Sci.* **8**: 147—151.
67. 札幌気象台編 (1973) 北海道の気候. 日本気象協会北海道本部.
68. 佐藤庚・西村格・伊藤睦泰 (1965) 草地の密度維持に関する生態生理学的研究. 第3報. オーチャードグラス草地における刈取時期及び高さが個体数の減少過程に及ぼす影響. *日草誌* **11**: 160—167.
69. 佐藤庚・西村格・伊藤睦泰 (1967) 草地の密度維持に関する生態生理学的研究. 第5報. 単一クローンで作ったオーチャードグラス草地における栽植密度, 窒素施用量, 刈取回数が分けつの消長および収量に及ぼす影響. *日草誌* **13**: 128—142.
70. 佐藤徳雄・酒井博・藤原勝見・川鍋祐夫 (1972) オーチャードグラス草地の株の状態と収量におよぼす窒素施用量の影響. *日草誌* **18**: 1—7.
71. SCATENI, W. J. (1973) Effect of initial density of Hunter River lucerne on productivity and persistence of Hunter River alone and with Petrie green panic in swards. *Herbage abstracts* **43**-7: 201.
72. SHINOZAKI, K. and T. KIRA (1956) Intraspecific competition among higher plants. VII. Logistic theory of C-D effects. *J. Inst. Polytech. Osaka City Univ. (D)* **7**: 35—72.
73. 篠崎吉郎 (1958) 植物共同体の構造. 沼田真編, 植物生態学 [II]. 古今書院, 178—185.
74. SIMONS, R. G., A. DAVIES and A. TROUGHTON (1973) The effect of spacing on the growth of two genotypes of perennial ryegrass. *Herbage abstracts* **43**-11: 385.
75. SMITH, D. (1964) Winter injury and the survival of forage plants. *Herbage abstracts* **34**-4: 203—209.
76. SMITH, D. (1965) Forage production of red clover and alfalfa under differential cutting. *Agron. J.* **57**: 463—465.
77. スミス, D. (1969) 植物組織からの全非構造性炭水化物 (TNC) の抽出および分析法, 上野昌彦訳, 1971, *日草誌* **17**: 75—79.

78. SMITH, D. (1972) Cutting schedules and maintaining pure stands. (Ed.) C.H. HANSON, Alfalfa science and technology. American Society of Agronomy, INC., Publisher, Wisconsin, 481—496.
79. SMITH, D., A.V.A. JAKES and J.A. BALASKO (1973) Persistence of several temperate grasses grown with alfalfa and harvested two, three, or four times annually at two stubble height. Crop Sci. **13** : 553—556.
80. SNEDECOR, G. W. (1956) Statistical methods. The Iowa State College Press. Iowa, 199—203.
81. STERN, W.R. and C.M. DONALD (1962) The influence of leaf area and radiation on the growth of clover in swards. Aust. J. Agric. Res. **13** : 615—623.
82. STERN, W. R. (1965) The effect of density on the performance of individual plants in subterranean clover swards. Aust. J. Agric. Res. **16** : 541—555.
83. 鈴木信治・稲波進 (1971) アルファルファの品種解説. 農林水産技術会議事務局・愛知県農業総合試験場.
84. 高橋鴻七郎・桂勇・関村栄 (1973) ペレニアルライグラスの茎数と株数の推移におよぼす刈取頻度・刈高および追肥量の影響. 日草誌 **19**—別1 : 22—23.
85. 高橋直秀・高崎康夫・青木宏 (1967) アルファルファ——燕麦作と雑草との関係. 北大農場報告 **15** : 54—58.
86. 高崎康夫・高橋直秀・横山珖 (1970) アルファルファ草地の生産生態に関する研究. 第1報. 栽植密度を異にするアルファルファ草地の収量と個体数の変動. 日作紀 **39** : 144—150.
87. 高崎康夫 (1971) —————. 第2報. 群落内の枯死個体について. 日作紀 **40** : 40—44.
88. 高崎康夫 (1972) —————. 第3報. アルファルファ草地の収量におよぼす密度と品種影響. 日作紀 **41** : 205—212.
89. 高崎康夫・高橋直秀 (1976) —————. 第4報. 品種, 刈取回数, 施肥レベルの違いが収量と個体数の変動に及ぼす影響. 日作紀 **45** : 232—237.
90. 高崎康夫 (1976) —————. 第5報. 群落条件の個体の地上部重と地下部貯蔵炭水化物との関係. 日作紀 **45** : 238—242.
91. 寺井謙次 (1972) 人工草地の生産性診断. (1) 特に密度と刈取回数に関して. 東北大農研報告 **24** : 109—148.
92. 寺井謙次・神田己季男 (1975) オーチャードグラス単播草地における個体密度と乾物収量の年次変化. 日草誌 **21**—別1 : 79—80.
93. THOMAS, N. and H.A. STEPLER (1972) A density—yield relationship in *Phleum pratense* L. and *Dactylis glomerata* L. Herbage abstracts **42**—2 : 165.
94. TOTH, S. (1971) Effect of time of cutting on yield and stand density in lucerne. Herbage abstracts **41**—4 : 366.
95. TYSDAL, H.M. and T.A. KIESSELBACH (1939) Alfalfa nursery technics. J. Amer. Soc. Agron. **31** : 83—98.
96. 上野昌彦・土屋茂 (1968) アルファルファの根の形態生理に関する研究. 第2報. 根の生育に及ぼす刈取の影響. 日草誌 **14** : 266—270.
97. 脇本隆・吉良賢二 (1974) チモシーの異なる遺伝子集団における個体変異の経時的推移. 日草誌 **20**—別1 : 66—67.
98. WASHKO, J.B. and J.W. PRICE (1970) Intensive management of alfalfa for forage production. Proc. 11th Intern. Grassld. Congr. : 628—632.
99. 渡辺亀彦・中島紘一・堀内慎一 (1969) アルファルファ主要品種の維持年限の比較. 日草誌 **15** : 112—120.
100. WEIHING, R. M. and D. W. ROBERTSON (1941) Forage yield of five varieties of alfalfa grown in nursery rows and field plots. J. Amer. Soc. Agron. **33** : 156—163.
101. WEST, S. H. and G. M. PRINE (1960) Alfalfa persistence studies. Soil and Crop. Sci. Soc. Florida Proc. **20** : 93—98.
102. WHITE, J. and J. L. HARPER (1970) Correlated changes in plant size and number in plant population. J. Ecol. **58** : 467—485.
103. WILLARD, C. J. (1966) Establishment of new seeding (Ed.) H.D. HUGHES, M.E. HEATH and D.S. METCALFE, Forage. The Iowa State Univ. Press, Ames, Iowa, U. S. A.
104. WILLEY, R. W. and S. B. HEATH (1969) The quantitative relationships between plant population and crop yield. Advances in Agronomy **21** : 281—321.
105. WIT, C. T. DE (1960) On competition. Versl. Landbouwk. Onderzoek. No. 66.8.
106. ZALESKI, A. (1959) Lucerne investigation. IV. Effect of germination and seed rates on establishment, mortality and yield of dry

matter and protein per acre. J. Agric. Sci.

51 : 260—267.

Studies on the Performance of Alfalfa Swards

Yasuo TAKASAKI

Summary

Herbage sward is expected not only to have high productivity but also to maintain its high productivity for a long time. Herbage community is the entity having the possibility of changing its features dynamically, in response to the cultural factors superimposed. It is, therefore, necessary to understand the performance of herbage swards under various cultural conditions to make adequate management practices. The purpose of this study is to investigate the performance of alfalfa swards, in terms of yield and plant numbers, under the influence of various cultural factors, and to discuss the relation between the yield and stand numbers of alfalfa swards through successive cuttings. In this series of investigations, the behaviour of the individual plants constituting the alfalfa swards was investigated in detail, which was not done in the previous studies.

Results are summarized as follows:

1. Significance of stands for production

- 1) Du Puits alfalfa was grown at densities of 2500 plants/m², 625 plants/m², 169 plants/m², and 36 plants/m², to investigate the significance of initial stand densities for herbage production.
- 2) In the 1st harvesting year (the seeding year), until the early flowering stage (the 1st cutting stage), dry matter yields per unit area were higher in the order 2500 plants/m², 625 plants/m², 169 plants/m², 36 plants/m². This order continued further after the 1st cutting, though the differences between the densities gradually decreased. At the 2nd cutting 36 plants/m² plot yielded the least, however, there were no significant differences in yield between the other three densities. In the 2nd and 3rd harvesting year, there were no significant differences between the densities in annual total dry matter yield per unit area.
- 3) The reduction in plant number was related to density, and percentage of surviving plants at the final harvest of this experiment was 7% for 2500 plants/m², 20% for 625 plants/m², 48% for 169 plants/m², and 83% for 36 plants/m², respectively.
- 4) For each harvest, except the 1st harvest in the seeding year, a linear relationship was found between log. dry matter weight per plant and log. plant numbers per unit area, and its regression coefficient was approximately 1.
- 5) Alfalfa swards, ranging in initial densities from 169 to 2500 plants per square metre, were composed of individual plants showing skew frequency distribution of plant weight, (except in the early stage of growth in the seeding year).

2. Relation between population density and cultivars

- 1) Three cultivars of alfalfa (Moapa, Rhizoma, and Williamsburg—chosen because of differences in their characteristics) were grown at densities of 2500 plants/m², 625 plants/m², and 25 plants/m², to clarify the relation between stand density and yield of alfalfa swards of different cultivars.
- 2) In dry matter yield per unit area for the three year period, the three cultivars were ranked as follows: 2500 plants/m² plot = 625 plants/m² plot > 25 plants/m² plot. The difference in yield between 25

plants/m² plot and the other two plots was attributed to the difference in yield of the 1st harvest in the 1st harvesting year. There were no significant differences between the densities in their annual yield in the 2nd harvesting year and the yield of the 1st harvest in the 3rd harvesting year.

3) The difference between cultivars in the total yield for three years was highly significant and the ranking order was: Williamsburg > Rhizoma > Moapa.

Although the variance was very small compared with that of the main effects, the interaction between cultivar and density was significant and it showed that ranking order might be altered according to changes in density.

4) Plant numbers per square metre at the final harvest of this experiment were 94, 79, 15 plants/m² for Moapa, 103, 83, 18 plants/m² for Rhizoma, and 130, 99, 18 plants/m² for Williamsburg, for 2500, 625, and 25 plants/m² plots respectively.

5) Individual stem weight was inclined to become heavier as the density decreased. Although the differences in stem weight between 2500 plants/m² plot and 625 plants/m² plot gradually disappeared as the cutting schedule proceeded, the differences between 25 plants/m² plot and the other two plots were observed even at the final harvest of this experiment.

6) The yield of alfalfa sward was maintained satisfactorily even at a density of about 15 plants per square metre.

3. Effects of fertilization and cutting management

1) Effects of cultivars (Du Puits, Moapa, Rambler), cutting frequencies (3, 4, 5 cuttings per year), and fertilizer levels (0, 50, 100 kg compound fertilizer <N-6, P₂O₅-11, K₂O-11>/10a/year) on the yield and plant numbers of alfalfa swards were investigated on alluvial soil in Sapporo.

2) The sources of variations that affected the yield and plant numbers per unit area were the cultivars and cutting frequencies, and the interaction between them. Fertilizer levels within the range of this experiment had no effect on the yield and plant numbers per unit area.

3) In totals for the four year period, the yields from Rambler decreased according to increased cutting frequencies. The yields from three-cut and four-cut treatments of Du Puits, and also Moapa, were similar, and higher than those of five-cut treatment. The rate of yield decline from four-cut treatment to five-cut treatment was much smaller in Moapa than in Du Puits.

The total yield for the four year period showed the ranking order: Du Puits > Moapa = Rambler in three-cut treatment, Du Puits > Moapa > Rambler in four-cut treatment, Du Puits = Moapa > Rambler in five-cut treatment.

4) Plant numbers of Rambler per unit area at the 1st harvest in the 4th year decreased according to increased cutting frequencies. The three-cut and four-cut treatments of Du puits, and also Moapa, had similar plant numbers per unit area, and more plants than the five-cut treatment. The decline in plant numbers from four-cut treatment to five-cut treatment was smaller in Moapa than in Du Puits.

Plant numbers per unit area at the final harvest of this experiment showed the ranking order: Du Puits = Moapa > Rambler in three-cut and four-cut treatments, Moapa > Du Puits > Rambler in five-cut treatment.

5) There existed correlations between annual dry matter yields and plant numbers per unit area at the final harvest of each year, dry matter yields for the four year period and plant numbers at the final harvest of this experiment. These relationships, however, did not necessarily lead to the conclusion that the plant numbers were responsible for the sward yield.

4. Structure of canopy, as influenced by characteristics of composing plants

- 1) Frequency distributions of stem length, stem numbers per plant, and plant weight of alfalfa under sward conditions, and their changes with increasing stand age were considered from the data collected in the experiment described in chapter 1 and 2.
- 2) Frequency distributions of stem length were negatively skewed at any harvest time and at any density. However, the coefficients of skewness were relatively low, and they did not change much as stand age progressed. There were no differences in skewness between the densities.
- 3) Frequency distributions of stem numbers per plant were positively skewed at any harvest time and at any density. The higher the density, the larger the degree of skewness tended to be. A conclusive trend of skewness of stem numbers per plant with increasing stand age could not be inferred from the results of these two experiments.
- 4) Frequency distributions of plant weight were positively skewed at any harvest time and at any density. The higher the density, the larger the degree of skewness tended to be. The distributions became progressively more skewed up to the 2nd harvest in the 2nd harvesting year for 2500 plants/m² sward, and up to the 3rd harvest in the 2nd harvesting year for 625 plants/m² sward, then became less skewed.
- 5) Close relationships were found between the coefficients of skewness of plant weight and the reduction rates of plant numbers. However, very high rates of plant reduction that occurred during the early age of high density stand, like 2500 plants/m² sward, were not related to the coefficients of skewness.

5. Characteristics of dead plants in swards

- 1) Dead plants in alfalfa swards were examined according to the data of agronomic characters such as plant height, dry weight per plant and stem numbers per plant at each harvest for three years. One hundred plants were taken at random from the two alfalfa swards of different densities (625 plants/m² and 169 plants/m²), as mentioned in chapter 1.
- 2) Most of the dead plants in the swards showed values less than the mean values of total plants in plant height, stem numbers and dry weight per plant at the previous harvest. Especially in dry weight per plant, many dead plants indicated the values which were close to the minimum value of the existing plants.
- 3) Among the dead plants, about 70% of plants in 625 plants/m²-sward, and 80% of plants in 169 plants/m²-sward, had smaller values than $\bar{x}$ -s value (mean value minus standard deviation after logarithm transformation of measured values) at the last harvest prior to the recognition of death. The dead plants were classified into the following four types.

Type I: Dead plants having greater values than $\bar{x}$ -s one at each harvest until a certain harvest time and also only one smaller value than $\bar{x}$ -s one at the last harvest prior to death.

Type II: Dead plants having greater values than $\bar{x}$ -s one at each harvest until a certain harvest time and smaller values than $\bar{x}$ -s one at several harvest times prior to death.

Type III: Dead plants having smaller values than $\bar{x}$ -s one at each harvest prior to death from the first harvest in the seeding year.

Type IV: Dead plants having greater values than $\bar{x}$ -s one at each harvest prior to death.

6. Regrowth and carbohydrate root reserves

- 1) The behaviour of dead plants in alfalfa swards grown in a series of slot-like soil containers was observed in detail and the level of carbohydrate root reserves in dead plants was inferred.
- 2) The occurrence of dead plants in swards seemed to increase when the swards were cut more than necessity or less.
- 3) Most of the dead plants in swards with cutting treatment were the plants that could never start to regrow after cuttings. There were very few plants that could start to regrow and died in process of growing.
- 4) The percentage of carbohydrate root reserves in individual plants seemed to rise sharply with increasing top weight to a maximum which was constant for all higher top weights.
- 5) The level of carbohydrate root reserves in dead plants in swards which received cutting treatment, as compared with that of the other plants in the swards, was remarkably low at cutting time. Also, in swards which did not receive cutting treatment, the level of carbohydrate root reserves in dead plants seemed remarkably low, as compared with that of the other plants in the swards.

Conclusion

The yields of alfalfa swards were higher with increasing densities until the 1st or 2nd harvest in the 1st harvesting year, when planted at different densities and given the same cutting treatment. There were, however, no significant differences in yield between the densities after that harvest. The yield and plant numbers of alfalfa swards sown at the same initial density varied with cultivars and cutting treatments. In cutting treatments before full bloom, both yield and plant numbers were decreased with increasing cutting frequency. This resulted in the correlation between the yield and plant numbers per unit area. It should be recognized that the differences in densities induced by cutting treatment differed very much from the differences in initial densities.

Alfalfa swards sown even at standard density were composed of individual plants showing L-shaped frequency distribution of plant weight, except at early stand age. A great majority of dead plants within the swards belonged to the lightest class of L-shaped distribution, and these plants were also low in percentage of carbohydrate root reserves. The reduction of plant numbers in alfalfa swards is considered as, not a self-thinning phenomenon, but a modification by cutting practices.