

混播放牧草地の生産力 (1)

誌名	草地試験場研究報告
ISSN	03850196
著者	高橋, 繁男 秋山, 侃 塩見, 正衛 大久保, 忠旦
巻/号	28号
掲載ページ	p. 1-15
発行年月	1984年3月

混播放牧草地 の 生産力

I. 放牧草地における植物生産量の季節的、年次的推移

高橋繁男¹・秋山 侃²・塩見正衛・大久保忠旦³

生態部 生態システム研究室,¹現 九州農業試験場 畜産部,
²現 農業環境技術研究所 環境管理部,³現 名古屋大学 農学部
 (昭和58年9月13日受理)

要 約

高橋繁男・秋山 侃・塩見正衛・大久保忠旦 (1984): 混播放牧草地 の 生産力.
 I. 放牧草地における植物生産量の季節的、年次的推移. 草地試研報 28: 1—15.

草地試験場内の藤荷田山放牧草地において、植物生産量と植生の変化を8年間にわたり測定した。この草地にはオーチャードグラスを主体とする6草種が混播されたが、強放牧区においてはレッドトップとトールフェスクが、弱放牧区においてはオーチャードグラスとトールフェスクが優占していた。8年間の測定の結果は、1) 全植物体の純生産量は弱放牧区で1,445 g/m²/年、強放牧区で1,193 g/m²/年であった。その生産量は放牧強度の増加に伴い低下する傾向があった。2) 地下部の純生産量は放牧強度と有意な負の相関が認められたが、地上部においては放牧強度との間に有意な関係はなかった。3) 地上部の純生産量の20%から80%が牛により被食されたが、その違いは放牧強度に依存した。

はじめに

放牧草地においては、エネルギーは太陽から植物へ、植物から家畜へと流れ、物質は土壤、植物、家畜の間を循環している。このような草地を長期間にわたり安定的に利用し、家畜の生産量を最大にするためには、エネルギーと物質の時々刻々の流れを測定し、その流れを規定している諸要因を把握し、かつ草地生態系を統一体として理解し制御することが必要である。

植物生産については圃場試験から、また家畜生産については舎飼いの給与試験から既に多くの知見が得られているが、これらの部分的な知見の単純な結合だけでは、草地生態系を再現することは不可能である。放牧草地においては、家畜と植物さらには土壤生物が相互に複合的に影響し合う系を形成しており、また気象条件や土壤条件などの非生物要因も植物と家畜の生産に作用しているからである。

このような生態系を理解するための手法として、VAN DYNE²⁰⁾はコンピュータを利用したシステムダイナミクスによる方法を提唱した。著者らは、植生や草地の造成方法が異なる幾つかの放牧草地を対象にして植物生産量と家畜生産量のデータを蓄積し^{1-3,11,17,18)}、それをもとにして放牧草地のシステムモデルの開発を行っている^{14,15)}。

本報告は、1973年に草地試験場内の藤荷田山に造成し

た放牧草地において、1974年から1981年の8年間にわたり実測したデータによって、植物地上部および地下部の存在量、一次生産量の季節的、年次的変動の実態と、その変動要因を明らかにしたものである。

調査の方法

1. 放牧草地

1973年秋に、草地試験場内の藤荷田山の南々西斜面に約3haの耕起草地を造成した。草種別播種量は、ha当りオーチャードグラス15kg、ペレニアルライグラス5kg、トールフェスク5kg、レッドトップ2kg、ケンタッキーブルーグラス5kg、およびシロクロバ2kgであったが、イタリアンライグラスの混入があり、利用初年目にはそれが地上部草種割合に占める量が大きかった。

施肥は、造成時にha当り苦土石灰を2,000kgと、窒素、リン酸、カリをそれぞれ100, 180, 100kg施した。その後はTable 1に示す施肥管理を行った。

2. 放牧方法

面積当りの合計体重を1対2とする2種類の放牧強度の試験区を設定し、1974年4月下旬に放牧を開始した。Table 2に示すように、年次により多少の相違があるが、一方には弱い放牧を、他方には強い放牧を8年間継続した。これらの2種類の放牧区を、以下ではそれぞれ弱放牧区、強放牧区と呼ぶ。

それぞれの放牧区に、継続的に調査を行う牧区を定め、

Table 1. Fertilizer application at test sites during the experimental period.

Fertilizer(kg/ha)	Years and Months															
	1974		1975		1976		1977		1978		1979		1980		1981	
	May	Jul.	Nov.	Sept.	Mar.	Aug.	Mar.	Jul.	Mar.	Jul.	Mar.	Sept.	Jun.	Sept.	Jun.	Aug.
N	50	70	29	80	56	50	56	50	56	56	58	28	28	28	28	28
P ₂ O ₅	50	40	29	40	56	50	56	25	56	56	56	28	28	28	28	28
K ₂ O	50	70	29	80	56	50	56	50	56	56	56	28	28	28	28	28
HDL												400			400	

HDL, Hydrated dolomitic lime.

Chemical compound fertilizer consists of N, P₂O₅, K₂O and HDL, with the constituent ratio of 100, 180, 100 and 2000kg/ha respectively, was applied at the pasture establishment in the fall of 1973.

Table 2. Grazing conditions of sampling site during 8 years.

Years	Pasture ¹⁾	Area of sampling paddock ²⁾ (ha)	Grazing frequency	Total grazing days on the sampling site	Number of cattle	Annual stocking rate (AUD/ha) ³⁾
1974	L	1.0	5	58	8	298
	H	0.5	5	58	8	558
1975	L	0.5	7	55	5	185
	H	0.5	7	55	8	331
1976	L	0.5	6	49	4	204
	H	0.5	6	49	8	413
1977	L	1.0	8	63	8	234
	H	0.5	8	63	8	443
1978	L	1.0	8	63	8	275
	H	0.5	8	63	8	520
1979	L	1.0	7	49	4	122
	H	0.5	7	49	6	291
1980	L	1.0	7	45	7	184
	H	0.5	7	45	8	366
1981	L	1.0	7	49	8	166
	H	0.5	7	49	8	307

1) L, light grazing pasture; H, heavy grazing pasture

2) Sampling site at light grazing pasture (L) was divided into 2 paddocks in 1975, then they were combined in 1977.

3) AUD, animal unit day at the conversion rate of 500 kg/head.

これを中心にして3-4牧区を一定のスケジュールに従って、毎年4月下旬から10月下旬まで輪換放牧を行った。

調査地区は、1974年には弱放牧区を1ha、強放牧区を0.5haとして放牧家畜の合計体重を同じにしたが、1975年にはこの弱放牧区を2分して強放牧区と同じ面積とし、放牧家畜の合計体重を1対2にして1976年まで同様の放牧を行った。1977年には弱放牧区の柵を取り払い再度1haにし、この年以降は弱放牧区と強放牧区的面積を1対2として放牧家畜の合計体重を同じとする放牧を行ってきた。

放牧牛は、1974年から1978年まではホルスタイン種雌牛であったが、1979年からはホルスタイン種雄去勢牛、黒毛和種雌牛、同雄去勢牛などの混牧であった。こ

れらの牛の4月下旬における月齢は6から18カ月であった。

3. 植物量の測定方法

調査初年度の1974年春に、弱および強放牧の両調査区内を、その草量により3つの段階に分けて各1点ずつの移動ケージを設置した。1976年には草量の分布むらが増大したので、さらに3個のケージを追加して、合計6個ずつのケージを設置した。これらの両調査区から牛群が他の牧区へ転牧された直後にケージ内およびケージ外の植物体地上部を50×50cm²枠を用いて採取した。1974年と1975年にはケージ内およびケージ外から3点ずつ、1976年以降は6点ずつの採取を行い、採取後には調査区全体に照して植生および採食が平均的な地点にケージを移動した。

Table 3. Sampling date at each grazing pasture during eight years from 1974 to 1981.

Years	Month and date										
	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
1974			3, 25(7)	20(9)	21(10)	29	30(11)		24(21)	19	
1975			14, 30(6)	21(7)	11(7)	2(7), 23(7)		18(14)	22(7)	18	
1976		24	12(7)	11	1(7), 22(7)	14(7)	3(7), 24	14	12(14)	17	
1977		23	6, 27(7)	18(7)	8(7), 29(7)	20(7)	10(7)	28(14)		9(7)	1
1978		20	26(7)	17(7)	8(7), 28(7)	19(7)	9(7)	5, 20(14)	11	1(7), 15	
1979		19	25(7)	23(7)	20(7)	31(7)	28(7)	25(7)	24(7)	20	
1980	20	24		1(3), 27(7)	24(7)	22(7)	26(7)	24(7)	21(7)	18	22
1981	16	23	28(7)	26(7)	30(7)	28(7)	25(7)	22(7)	20(7)	24	17

Grazing cattle had stayed on the sampling paddock for number of days which are shown in parentheses. The same rotation program was applied for the light grazing and heavy grazing pastures.

植物体地上部の採取に際しては、まず地表面に蓄積している表層リターを採取し、地上部植物体を地際から刈り取った。そして地上部を生存部と立枯部に分離し、生存部の植物を草種別に分類した。利用初年目の1974年の草種にはイタリアンライグラスが含まれていたが、これはベレニアルライグラスと合併して扱った。草種別に分類した試料の一部を茎部と葉部とに切断分離した。ここにいう葉部とは、家畜による採食の主要な対象となる展開している葉身のみとし、葉鞘および未展開葉は茎部に含めた。シロクロバにおいては、葉柄および地上部のほ伏茎は茎部として扱った。

上述した地上部の調査とは別に、植物体地下部重を推定するために、 $25 \times 25 \text{ cm}^2$ 枠を用いて、その地上部を刈り取り、深さ15 cmまでの地下部を掘取り水洗した。地下部の草種別の分類は行わなかった。

このようにして得た試料は約70°Cで48時間通風乾燥して秤量し、この重量に0.95を乗じて絶乾物重とした。各年次の調査日はTable 3に示した。

実験条件

1. 放牧強度

放牧方法において述べたように、弱および強の両放牧区では面積当りの放牧家畜の合計体重を1対2とする処理を継続してきたが、その放牧状況は年次により多少異なっていた。調査牧区への放牧日数は44—63日、放牧回数5—8回、また放牧強度は弱放牧区で166—298 AUD/ha、強放牧区では291—558 AUD/haであった。ここに、AUD (animal unit day) は各放牧時ごとの平均体重から体重500 kgに換算した放牧頭数と放牧日数の積を、年間の放牧回数ごとに積算したものである。このAUD/haは1 ha当りのCD (cow day) の値と一致する。

2. 気象条件

1974年から1981年までの8年間の旬別の平均気温、平均日射量および月別の積算降水量をFig. 1に示した。

8年間の平均気温は、早春から梅雨期に入る6月上旬までほぼ直線的に上昇するが、梅雨期には上昇が停滞し、梅雨明けの7月中旬から急激に上り7月下旬には最高の約24°Cに達した。日射量は、5月には約390 cal/cm²/日に達し年間の最高となり、梅雨期に入ると激減して7月

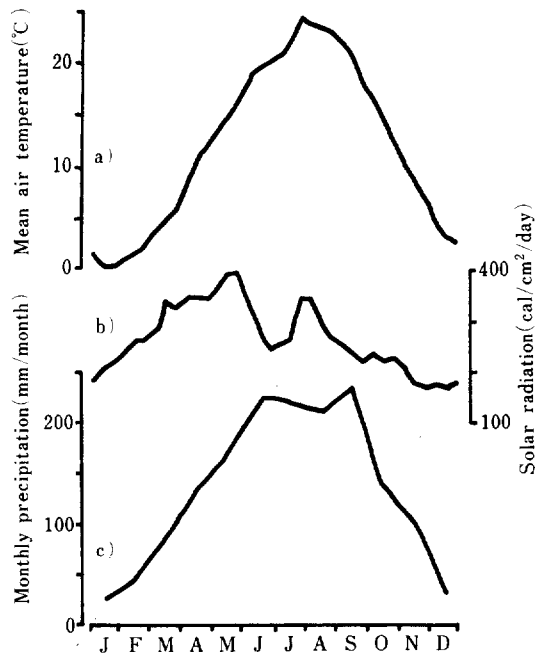


Fig. 1. Meteorological data averaged from 1974 to 1981.

- a) Ten-day mean air temperature averages.
- b) Ten-day global solar radiation averages.
- c) Monthly precipitation total averages.

には2月の水準にまで低下した。梅雨明けの7月下旬から8月上旬には約 $350 \text{ cal/cm}^2/\text{日}$ となるがその後減少を続けた。降水量は、4、5月には約 150 mm/月 であったが、6-9月の間は $200-240 \text{ mm/月}$ であり、10月には 140 mm/月 に低下した。

8年間の平均値からの偏差で年次ごとの特徴をみると次の通りである。1974年は日射量が6-7月に低くこの期間に降水量が多く、気温は7月に低く8月に高かった。1975年は7月を除き4月から8月まで降水量が少なく、7月から9月までは気温、日射量ともに高かった。1976年は5月と7月を除き、春から秋まで降水量が多く、気温は夏から秋まで低かった。そして日射量は6月に一時多かったが全般に低かった。1977年は7月に降水量が少なく、8、9月に多かった。気温と日射量は、6、8月に低いが全般に高く経過した。1978年は6月に降水量が多く、それ以降には少なかった。気温は6-8月に約 3°C 高く、この間日射量も多かった。1979年は7月に気温と日射量が低いが他の月は高く、降水量は5月に多かったが、その後は少なかった。1980年は夏に気温が低くまた

降水量は多かった。1981年は春に低温であり、また6月に日射量が少なかった。

結 果

1. 草種構成割合の季節的、年次の推移

方法の項で述べた草種別の播種量で造成された草地は、放牧により年々その重量構成に変化が生じてきた。この構成は、以降に述べる牧草の現存量や日生産量を考える上で重要な要素を形成しているのので、まず草種構成について記述する。

草種構成割合の季節的变化と年次の変化を Fig. 2 に示した。これは各放牧回次ごとに、被食から保護されているケージ内の値について、測定時ごとの草種別の乾物重による構成割合を、月別と年次別に集計して算出したものである。

年次変化をみると、利用初年次にはペレニアルライグラスの占める割合が高いが、これは既に述べたようにイタリアンライグラスが混入しており、これをペレニアルライグラスと合併して取扱ったことによる。2年目には

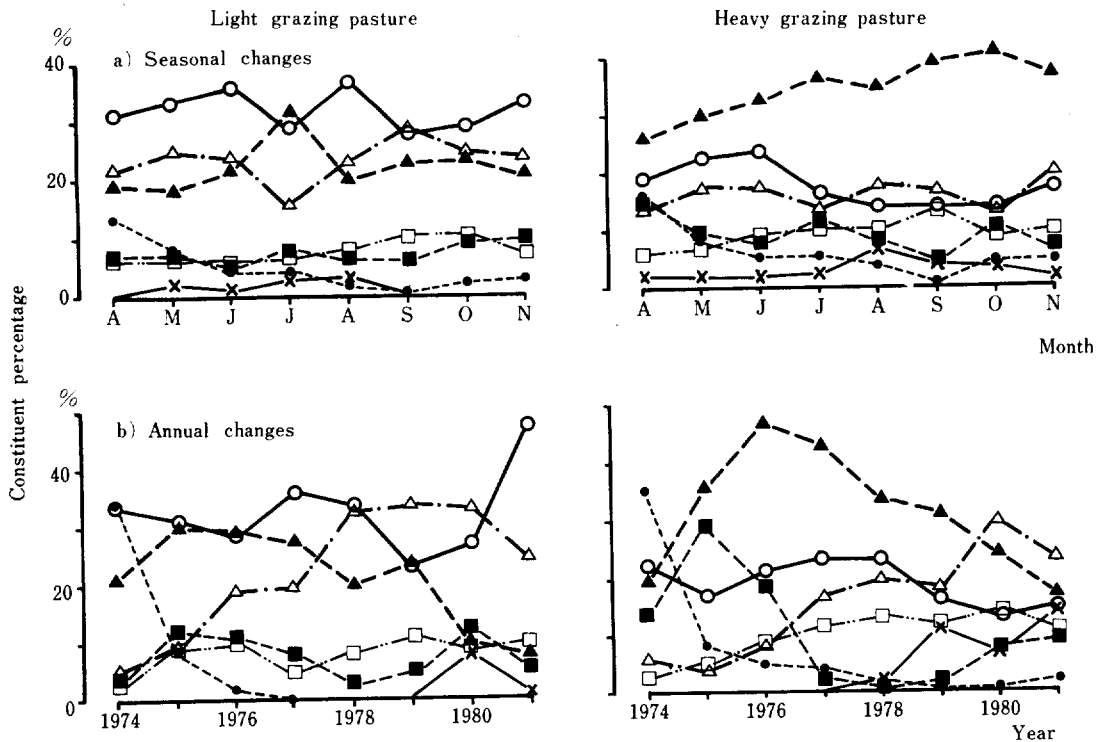


Fig. 2. Seasonal and annual changes for each species in the constituent percentage of aboveground live part (in dry weight basis).

○: orchardgrass; △: tall fescue; □: Kentucky bluegrass; ×: *Zoysia japonica*;
●: perennial ryegrass; ▲: red top; ■: white clover

イタリアンライグラスはほとんど消滅した。弱放牧区においてはオーチャードグラスが優占しており、年次を通じて約30%前後を保っていたが、1981年には約50%にまで増加した。レッドトップは1979年まで20—30%の値であったが、1980年から減少傾向にある。トールフェスクは造成当初には低い割合であったが、除々に増加してきて1978年以降には30%前後を占めた。強放牧区では、レッドトップが優占しており1976年には約50%を占めたが、その後減少を続けた。オーチャードグラスは約20%を維持していたが減少傾向にあり1981年には約10%となった。トールフェスクは弱放牧区におけると同様の経緯を示した。

両放牧区ともにオーチャードグラス、トールフェスクおよびレッドトップが優占した草地といえる。その他の草種はそれぞれ10%前後の割合で推移している。シロクロバは、強放牧区において造成利用後の数年間は高い値を示したが、その後減少してきた。

弱放牧区ではオーチャードグラスやトールフェスクなどの長草型草種が優占してきており、株化現象が目についてきた。強放牧区ではケンタッキーブルーグラスやレッドトップが長草型草種の株の周りを埋めていて、植生の密度が高くなってきている。

このような草種構成割合は地上部の乾物重と関係があり、オーチャードグラスやトールフェスクの割合が高い場合には、季節を通じて地上部の生存部重と枯死部重(立枯部+表層リター)が大きくなる傾向が認められた。

2. 地上部乾物重の季節的、年次的推移

光合成産物であり、家畜の採食対象である地上部の植物量の経時的変化について概観する。Fig. 3と4に1974年から8年間の測定時ごとの地上部乾物重の推移を示した。植物体生存部に立枯部と表層リターを含めた地上部全体の乾物重(各放牧時に被食から保護したケージ内から採取したデータ)をみると、早春には弱放牧区で280—480 g/m²、強放牧区で230—360 g/m²であった。5—6月の最大時には、それぞれ670—1,040 g/m²、460—740 g/m²を示し、両放牧区ともに1977年に大きな値であった。そして、放牧を終えた晩秋には弱放牧区で450—600 g/m²、強放牧区で220—530 g/m²の範囲にあった。

地上部の生存部乾物重は、弱放牧区では春に60—160 g/m²、強放牧区では30—90 g/m²であった。しかし、1974年(放牧利用の開始年)には強放牧区で例外的に220 g/m²と高い値を示した。5—6月には弱放牧区で330—670 g/m²の範囲であり、季節を通じて最大となった。一方、強放牧区では弱放牧区ほどピークが明瞭ではないが、この時期に250—470 g/m²となった。生存部においても

地上部全乾物重と同様に、1977年に最大の値を示した。

1) 植物体地上部の枯死部割合

光合成産物は自然に、または家畜による蹄圧により枯死する。そして枯死部は落葉して表層リターとなり、長時間かかって分解していく。生存部に付着している、あるいは地表に蓄積している枯死部の、植物体全地上部の乾物重に占める割合は、弱放牧区では早春に約80%であるが地上部の生育に伴い低下して、6月に約40%となった。生育速度が低下する夏以降に再び増加して60%前後の値となった。被食を受けるケージ外では、ケージ内に比べて約5%高い値であった。強放牧区においても弱放牧区と同様の季節的変化を示したが、夏以降も40—45%の範囲にあり枯死部の割合の変動は小さかった。ケージ外ではケージ内よりも約8%高い割合であった(Fig. 5)。

2) 地上部の生存部に占める葉部割合

主要な光合成器官であり、かつ家畜の採食対象である葉部の生存部に占める割合は、早春には40—45%であり、4月には約65%となった。節間伸長期には葉部割合は最低となり、弱放牧区では30%、強放牧区では40%となった。8—9月には最高となり60%を越えた。ケージ内と外の相違は夏以降に大きくなり、弱放牧区では約17%、強放牧区では約12%、採食を受けたケージ外で低かった(Fig. 6)。

3. 地下部重の季節変化

植物の地下部は根系、ほ伏茎、茎の一部から成っていて、地上部生産の維持に寄与している。ここで、25×25 cm² 枠で深さ15 cmまで掘取った地下部重から、各測定時ごとの50×50 cm² 枠で得た地上部に対応する地下部重を推定し、それを1 m² 当りに換算してFig. 7に示した。

高橋ら¹⁷⁾や秋山ら¹⁾は、輪換放牧草地においては1週間から10日間程度の放牧では採食されたケージ外と保護したケージ内との間で、地下部乾物重にほとんど差がなかったことを認めていることから、ケージ内外の値を平均して示した。

地下部乾物重の季節変化としては、地上部重が最大となる5月下旬から6月上旬に最大となり、その後減少を続け9—10月に最小となった。そして冬に再び増加した。最大時の8年間の平均値は、弱放牧区では770 g/m²、強放牧区では630 g/m²であり、秋の最小時にはそれぞれ435 g/m²、370 g/m²であった。

Fig. 7から放牧強度や季節的な植物生産量が地下部重に大きな変化をもたらしていることは強く推察できる。地下部重には、大きな年次変化があり、1977年は両放牧

区を通して地下部重が大きく、1975年は逆に小さい値をとっている。1977年は Fig. 3 と 4 から明らかなように、春の地上部量の多い年次であり、1975年は比較的低

い年次であるから、このような年次変動は地上部量の変動と密接に関連していると考えられる。

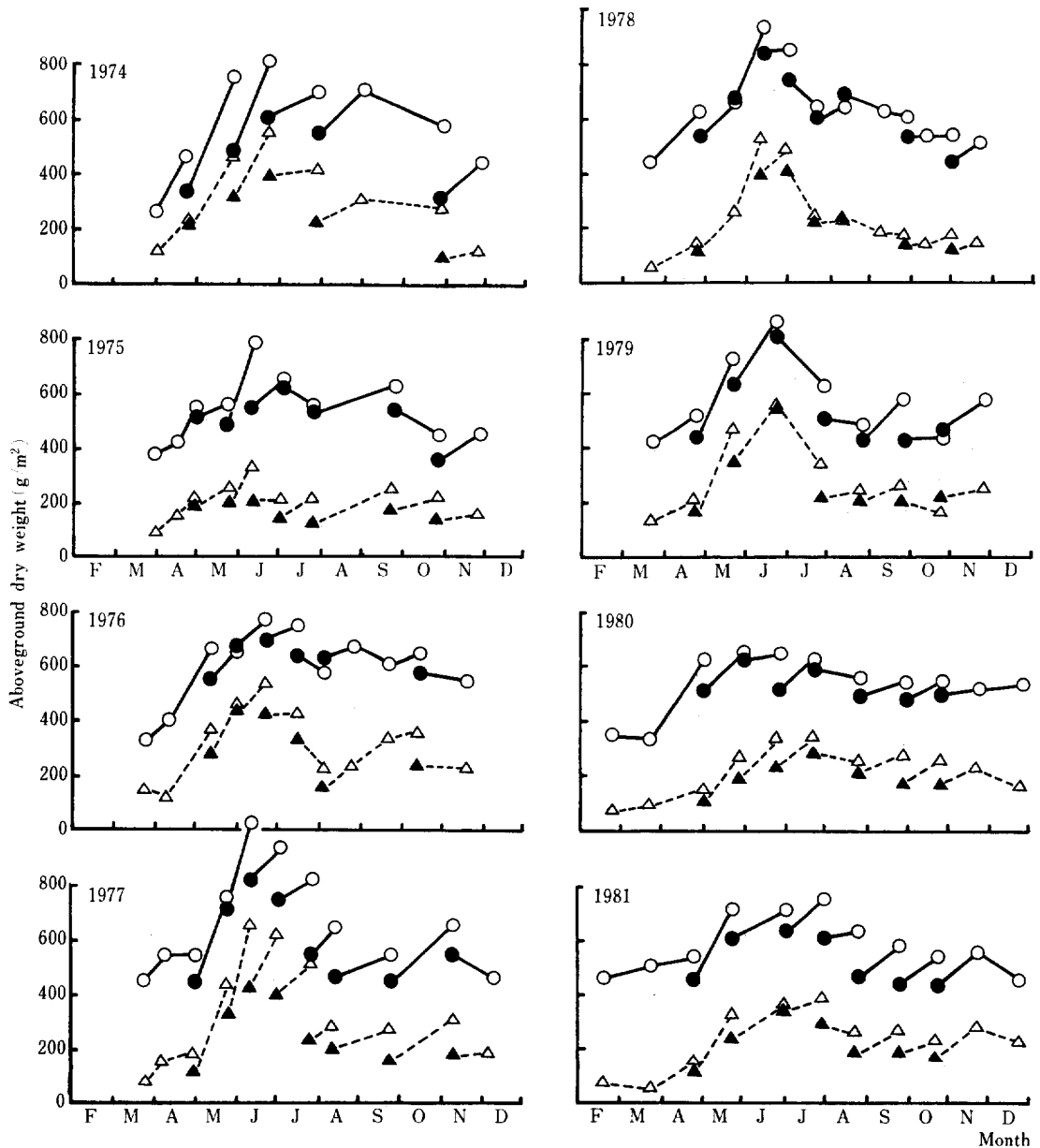


Fig. 3. Annual and seasonal changes in aboveground dry weight in light grazing pasture (g/m^2).

- : total aboveground dry weight inside the movable protection cages.
- : total aboveground dry weight outside the cages (grazed areas).
- △: live part inside the cages.
- ▲: live part outside the cages (grazed areas).

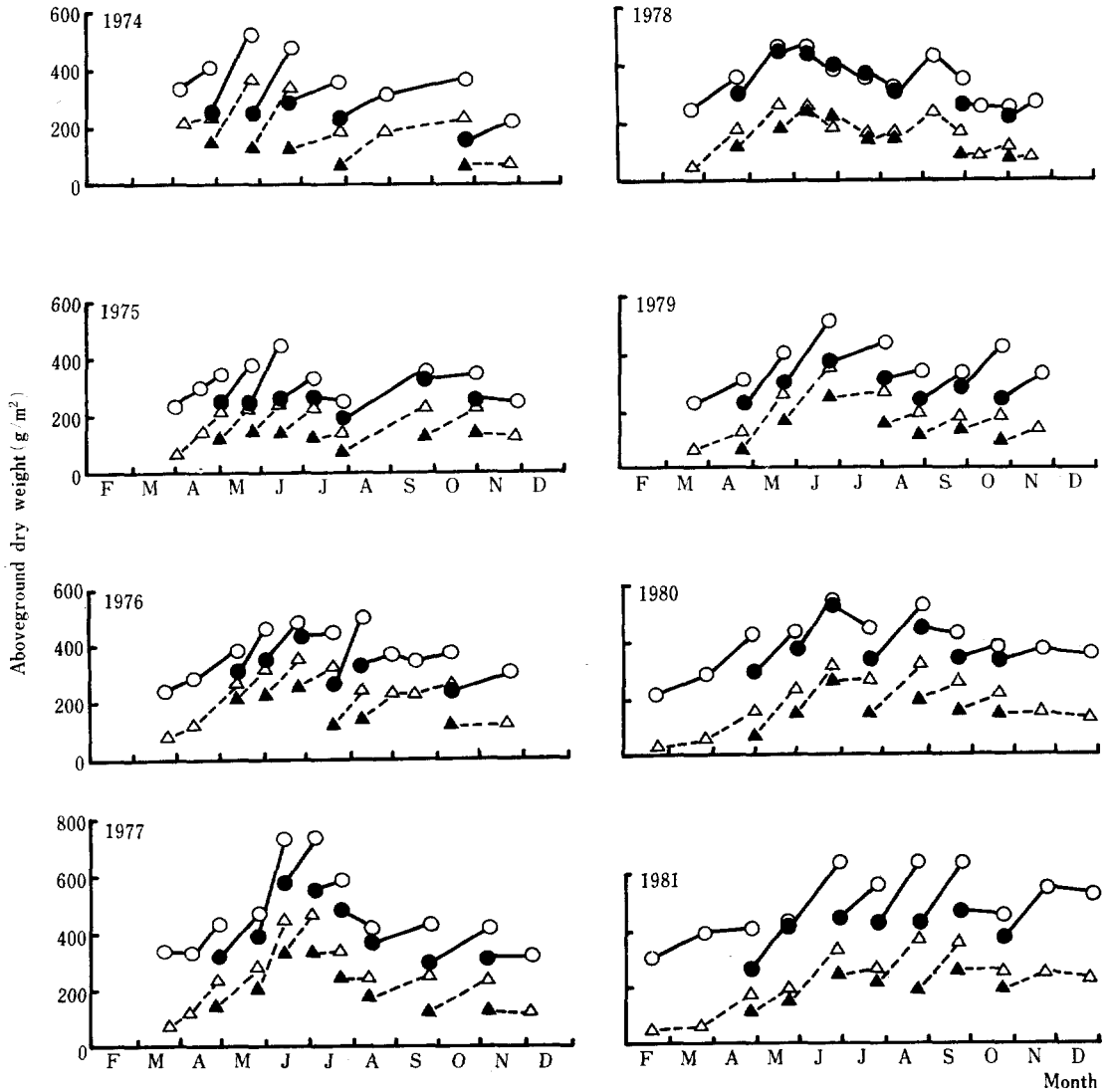


Fig. 4. Annual and seasonal changes in aboveground dry weight in heavy grazing pasture (g/m^2). Symbols are same as in Fig. 3.

4. 地上部重の日変化量*

ある測定時に存在する地上部乾物重は、放牧による被食後の残草量やその時の草種構成割合、再生期間の気象要因などが影響して生じた日生産量の蓄積量である。本試験においては、放牧後の植物の再生期間が年次、季節により必ずしも一定ではなく、14—57日の範囲で変動があり、その平均値は約27日であった。生産量の年次変動や季節変動、あるいは弱、強の両放牧区間での相違を比

較するために、ある測定時から次の測定時までの地上部重の変化量を、その再生に要した日数で除して日変化量を算出した。

植物は刻々と生育を続けており、その一部は枯死し消失して行く。したがって、純生産量はみかけの生産量に消失量を加えることにより求めることができる。以下では、そのような補正を行わずみかけの地上部の変化量について述べる。

Fig. 8に、弱、強の放牧区別の8年間の日変化量を示した。両放牧区ともに5月に日変化量が最大となり、最大値は約 $17 \text{ g}/\text{m}^2/\text{日}$ となった。7月以降には最大でも5

* 消失量を補正しない地上部の変化量はCGR (crop growth rate)と同じ量を示すが、ここでは地上部を生存部と枯死部に分けて論じるので日変化量とした。

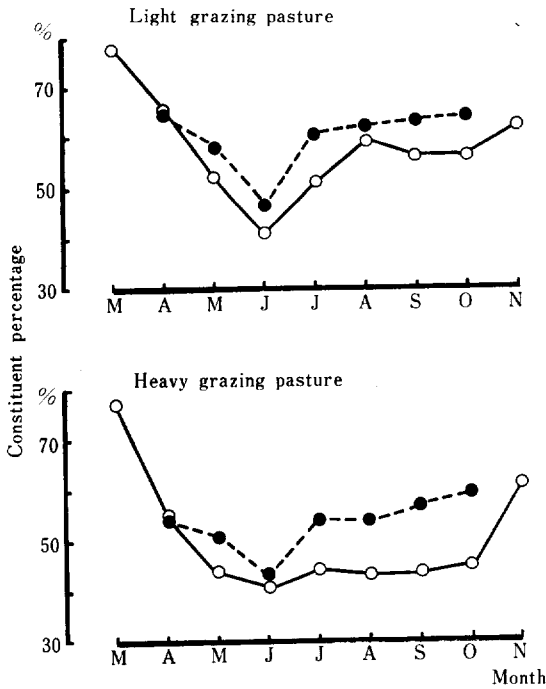


Fig. 5. Seasonal trends in constituent percentages of dead material to total aboveground dry weight for the protected (○) and the grazed (●) areas. Each point means 8 year average.

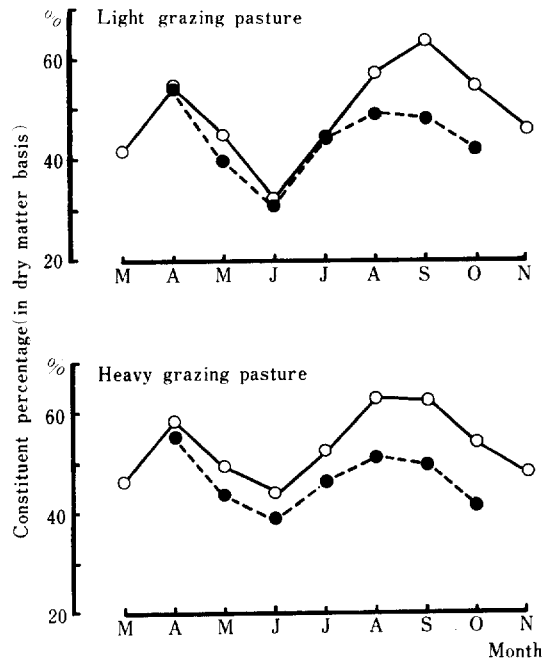


Fig. 6. Seasonal trends in leaf/aboveground live parts ratio for the protected (○) and the grazed (●) areas.

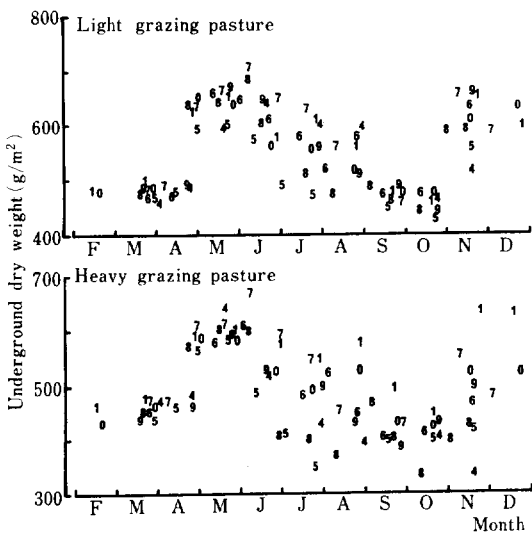


Fig. 7. Seasonal changes in underground dry weight of plant material (g/m^2). Numbers indicate the year of findings from 1974 to 1981, 4: 1974 5: 1975 6: 1976 7: 1977 8: 1978 9: 1979 0: 1980 1: 1981

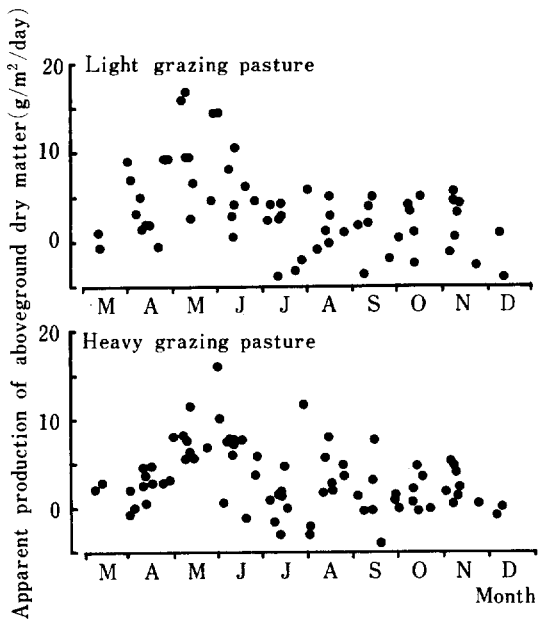


Fig. 8. Seasonal changes in apparent production of aboveground dry matter during 8 years.

g/m²/日程度であった。しかし、同じ季節内でも年次により大きな変動が認められた。このような変動の要因を明らかにするために、日変化量を生存部と枯死部（表層リターを含む）とに分けて検討する。

1) 部位別の日変化量の季節変化

季節を早春（3-4月）、春（5-6月）、夏（7-8月）、秋（9-10月）および冬（11-12月）に5区分して、弱放牧区と強放牧区の8年間の日変化量を Table 4 に示した。

生存部の日変化量は、8年間の平均値でみると、早春には2.8 g/m²/日であり両放牧区で違いはないが、春には弱放牧区で7.5 g、強放牧区で5.9 g、夏にはそれぞれ0.5 gと2.0 g、秋には1.5 gと1.7 gであった。春には弱放牧区が、夏以降には強放牧区が高い値を示した。しかし、両放牧区の8年間の平均値の間に、いずれの季節においても有意な差は認められなかった。

枯死部の日変化量は、早春には弱放牧区で1.5 g/m²/日、強放牧区で-0.1 g/m²/日、春にはそれぞれ0.3 gと1.1 g、夏には0.5 gと0.2 g、秋には-0.7 gと-0.4 g、そして冬には1.4 gと1.7 gであった。春の枯死部の変化量は、両放牧区ともに利用初年目の1974年に大きな値となったが、これは春に生育が著しいイタリアンライグラスの混在が影響しているためとみられた。生存部の季節変化に比べて枯死部のそれは小さく、年間の平均値は弱放牧区で0.6 g/m²/日、強放牧区では0.5 g/m²/日であった。秋には負の変化を示しているが、これは枯死

部の消失量はその追加量を越えていることに起因したものと考えられた。

全地上部重の日変化量は、早春には弱放牧区で4.2 g/m²/日、強放牧区で2.6 g/m²/日であり、春には7.8 gと6.9 g、夏には1.0 gと2.1 g、秋には0.8 gと1.3 g、そして冬には両放牧区で1.9 gとなった。生存部重の変化と同様に、春は弱放牧区が、夏以降には強放牧区が高い傾向にあったが、有意な差ではなかった。

2) 日変化量の年次変動に及ぼす要因

5区分した季節内でも、弱、強の放牧区間や年次により日変化量に相違がみられた。このような違いは、放牧後の残草量や葉部量などの植物側の要因と、再生期間の気象要因が関与していると考えられる。

Table 5と6に、日変化量と植物側の要因および気象要因との相関係数を示した。生存部の日変化量は、早春と冬には気温と正の相関を持ち、春には気温と負の、そして日射量と正の相関を示した。一方、残草量との関係では、春には残葉部量と正の、夏には残草量と残葉部量と負の相関がみられた。冬には残草量と負の相関がみられるが、これは残草量と気温の間に負の相関があったことによる。

草種構成割合の影響はあまり明瞭ではなかったが、夏には長草型草種（オーチャードグラスとトールフェスク）の構成割合との間に負（ $r = -0.359$, $P < 0.05$ ）の、その他の草種割合の合計との間に正（ $r = 0.340$, $P < 0.05$ ）の相関が認められた。

Table 4. Seasonal changes in aboveground dry weight during regrowth period (g/m²/day).

Year		Early spring	Spring	Summer	Fall	Winter	Early spring	Spring	Summer	Fall	Winter
		Light grazing pasture					Heavy grazing pasture				
1974	Live	4.52	9.54	1.52	-0.35	1.11	0.69	7.92	3.00	0.50	-0.05
	Dead	4.49	4.12	2.26	-1.73	4.53	2.10	1.52	-0.74	0.84	2.43
1975	Live	4.05	3.22	2.51	0.80	1.08	4.25	4.68	1.19	3.12	-0.34
	Dead	1.69	3.87	-3.69	-3.29	3.29	-0.53	2.48	0.47	-2.52	0.40
1976	Live	3.16	5.84	-0.62	3.00	-0.30	3.59	6.52	3.65	0.93	0.14
	Dead	3.09	-1.60	1.65	-4.66	-0.76	-1.01	0.58	1.21	-0.88	1.48
1977	Live	3.51	13.85	4.50	2.71	0.10	4.53	8.49	0.27	1.77	-0.70
	Dead	-0.32	-1.53	-0.09	0.74	-2.99	-2.56	2.12	-1.05	0.44	0.89
1978	Live	2.40	6.92	-3.12	0.44	0.91	4.15	2.53	0.54	-0.21	1.35
	Dead	2.10	-0.67	1.14	-1.16	3.42	-1.11	-0.34	-0.47	-1.41	2.46
1979	Live	2.21	9.29	-2.24	0.67	0.89	1.12	6.80	1.12	2.52	1.36
	Dead	-0.03	-0.41	-0.02	2.43	3.62	1.21	-0.13	0.49	1.43	2.46
1980	Live	1.13	5.48	1.20	3.08	0.10	1.83	6.14	1.98	2.17	-0.59
	Dead	0.78	-1.95	0.39	-0.23	0.62	0.98	-0.32	-0.91	-1.49	1.10
1981	Live	1.04	5.70	0.08	1.95	0.11	1.76	3.96	3.91	3.07	0.12
	Dead	0.07	0.51	2.59	2.04	-0.61	-0.20	2.47	2.27	0.23	1.66
Average	Live	2.75	7.48	0.48	1.54	0.50	2.74	5.88	1.96	1.73	0.16
	Dead	1.48	0.29	0.53	-0.73	1.39	-0.14	1.05	0.16	-0.42	1.71

Early-spring, Mar.-Apr.; Spring, May-Jun.; Summer, Jul.-Aug.; Fall, Sept.-Oct.; Winter, Nov.-Dec.
Live, live part; Dead, stading dead and surface litter

Table 5. Correlation coefficients between herbage mass (dry weight g/m²) after grazing and daily production (dry weight g/m²/day) in each part of aboveground during regrowth period.

Season ¹⁾	n	Herbage mass		Correlation coefficient					
		Mean ± SD		Daily changes of live part		Daily changes of dead part		Daily changes of aboveground	
		LFO ²⁾	LVO ³⁾	LFO	LVO	LFO	LVO	LFO	LVO
Early-spring	26	47.6±29.1	97.0±43.3	0.045	-0.050	0.059	0.089	0.090	0.048
Spring	38	82.7±31.3	203.6±93.1	0.349*	0.070	-0.223	-0.277	0.148	-0.108
Summer	36	95.2±43.7	234.7±108.0	-0.523**	-0.561***	0.196	0.382*	-0.288	-0.197
Fall	30	99.6±40.7	188.8±50.6	-0.238	-0.239	-0.094	-0.218	-0.221	-0.321
Winter	20	70.5±36.7	159.0±62.9	-0.326	-0.448*	-0.283	-0.525*	-0.357	-0.584*

1) See Table 4.

2) LFO, leaf mass after grazing

3) LVO, live mass after grazing

n, number of data used in calculations; Significant level, ***=P<0.01, **=P<0.05 and *=P<0.10

Table 6. Correlation coefficients between climatic condition and daily production (dry weight g/m²/day) in each part of aboveground during regrowth period.

Season	n	Climatic condition ¹⁾			Correlation coefficient								
		Mean ± SD			Live part changes			Dead part changes			Aboveground changes		
		Temp.	Rad.	Precip.	Temp.	Rad.	Precip.	Temp.	Rad.	Precip.	Temp.	Rad.	Precip.
Early-spring	26	8.5±3.5	339.3±29.0	4.3±2.1	0.618***	0.071	0.489*	-0.144	-0.147	-0.186	0.326	-0.088	0.189
Spring	38	16.9±2.4	344.0±66.7	6.4±3.2	-0.371	0.390*	-0.132	-0.156	-0.130	0.026	-0.399*	0.399*	-0.093
Summer	36	23.4±2.6	304.6±44.0	6.5±2.0	-0.023	-0.090	-0.249	-0.129	-0.163	0.202	-0.109	-0.177	-0.066
Fall	30	17.8±2.6	225.8±21.1	6.6±4.4	0.195	0.292	0.137	-0.109	-0.001	-0.235	-0.033	0.179	-0.104
Winter	20	8.5±2.9	198.0±25.4	3.2±2.0	0.570***	0.349	0.255	0.374	0.125	0.051	0.542*	0.260	0.162

1) Temp., daily average air temperature(°C); Rad., solar radiation (cal/cm²/day); Precip., precipitation (mm/day)

枯死部重の日変化量に関しては、気象要因との間に有意な関係はみられなかったが、残草量との間には、夏に正の相関がみられた。草種構成割合の間にはいずれの季節においても有意な相関は認められなかった。

5. 植物の純生産量

上述したような条件下にある放牧草地における、単位時間当りの生産量について述べる。

放牧が行われている草地で、移動ケージを用いてケージ内と外の植物量が測定されている場合には、次式で純生産量を算出することができる。

$$P_n = U_1 + \sum_{i=2}^n (U_i - G_{i-1}) + \sum_{i=1}^{n-1} X_i$$

ここに、 U_i と G_i はそれぞれ*i*回目の測定時点でのケージ内と外の植物量(生存部と枯死部の合計量)であり、 X_i は、測定時点*i*回から*i+1*回までの枯死部の消失量である。

一方、枯死体の消失量は、WEIGERT and EVANS²¹⁾が示

した式、 $X_i = (D_i + D_{i+1}) / 2 \cdot r_i \cdot \text{day } i$ により求めた。 D_i は、*i*回目の測定時点における枯死部量(立枯部と表層リターの合計量)であり、 r_i は*i*回目から*i+1*回目までの測定間隔(*i* day)における平均消失速度(乾物g/乾物g/日)である。

すなわち、みかけの日生産量に枯死部の推定消失量を加えることにより純生産量を算出した。枯死部の消失速度は、本試験と同様の環境条件下で、桐田⁸⁾がリターバッグ法により測定した値を用いた。

地下部については、その生死の判別が困難であり、また枯死部の消失速度のデータも得られていないので、上述した方法は適用できない。地下部の測定値の季節変化として、春と晩秋に極値を持つので、それぞれの時期における極小値と極大値の差の合計を年間の純生産量とみなした。この方法では、枯死部の消失量を考慮しないので、純生産量の推定値としては過小評価することになる。

このようにして求めた、地上部、地下部およびその合

Table 7. Yearly changes in dry matter production on the grazing pastures (dry weight g/m²).

Year	Period (Month/day)	Days	Pasture	Aboveground ¹⁾			Underground ²⁾	Whole plant
				Apparent	Decomp.	Net	Net	Net
1974	04/03-11/19	230	L	1244	207	1451	290	1741
			H	875	113	988	179	1167
1975	03/31-11/18	232	L	646	334	980	274	1254
			H	778	129	907	217	1124
1976	03/24-11/17	238	L	475	280	755	356	1111
			H	788	135	923	229	1152
1977	03/23-11/09	231	L	1348	297	1645	423	2068
			H	918	129	1110	330	1440
1978	03/20-11/15	240	L	459	370	829	357	1168
			H	271	166	437	253	690
1979	03/19-11/20	246	L	696	263	959	420	1379
			H	898	135	1033	258	1291
1980	03/24-11/18	239	L	618	291	909	335	1244
			H	617	193	810	194	1004
1981	03/23-11/24	246	L	906	298	1204	369	1573
			H	1127	221	1348	327	1675
Average			L	799	293	1092	353	1445
			H	784	161	945	258	1193

- 1) Apparent, Decomp. and Net indicate apparent production, decomposition and net production, respectively.

Aboveground net production = $U_1 + \sum_{i=2}^n (U_i - G_{i-1}) + \sum_{i=1}^{n-1} X_i$, where U_i and G_i indicate aboveground dry matter including surface litter inside the movable cages and that outside the cages at i th sampling time, respectively. X_i indicates decomposition of dry matter from i th to $i+1$ th sampling time and is estimated by WEIGERT and EVANS' method.²⁾

- 2) Underground net production = (Max - Min) in spring + (Max - Min) in winter.

計としての全植物体の純生産量を Table 7 に示した。ここに示した数値は、3 月下旬から 11 月中旬までの植物の生育期間について算出したものである。みかけの生産量は、弱放牧区においては 459 g/m²/年 (1978 年) から 1,348 g/m²/年 (1977 年) の変動があり、強放牧区においては 271 g (1978 年) から 1,127 g (1981 年) の範囲にあった。両放牧区ともに、1978 年が最低の値となった。8 年間の平均値は、弱放牧区で 799 g/m²/年、強放牧区で 784 g/m²/年でありほとんど差はなかった。

枯死部の推定消失量は、弱放牧区で 207-334 g/m²/年、強放牧区では 113-221 g/m²/年であり、その変動は小さかった。

純生産量は、弱放牧区で 755-1,645 g/m²/年、強放牧区では 437-1,348 g/m²/年で、その年次変動はみかけの生産量の変動に一致した。そして 8 年間の平均値は、弱放牧区、強放牧区において、それぞれ 1,092 g/m²/年、945 g/m²/年であり、強放牧区では弱放牧区の約 87% であった。

地下部の純生産量は、弱放牧区で 274-423 g/m²/年、

強放牧区で 179-330 g/m²/年であり、両放牧区において 1977 年に最大の値となった。地上部の純生産量が極めて低かった 1978 年の強放牧区における地下部の生産量は、他の年次に比べて低い値ではなかった。

植物全体の純生産量は、弱放牧区で 1,111 g/m²/年 (1976 年) から 2,068 g/m²/年 (1977 年)、強放牧区で 690 g/m²/年 (1978 年) から 1,675 g/m²/年 (1981 年) の変動がみられた。8 年間の平均値は、弱放牧区、強放牧区においてそれぞれ、1,445 g/m²/年および 1,193 g/m²/年であり、5%水準で有意な差が認められた。

考 察

1. 草地の純生産量

上述のように、藤荷田山放牧草地の純生産量は、8 年間の平均で弱放牧区では 1,445 g/m²/年、強放牧区では 1,193 g/m²/年であった。わが国で放牧草地の純生産量を測定した例はほとんどなく、福山ら⁹⁾の報告があるに過ぎない。彼らは、オーチャードグラス草地での 2 年間の測定から、1,417 g/m²/年としている。一方、刈取り草

Table 8. Mean biomass and net primary production of temperate grassland in the world.

Treatment	Present study		Kawatabi ^{18,19)}	Aso-Kuju ¹⁹⁾	Paunee(USA) ¹⁶⁾		Osage(USA) ¹⁶⁾		Matador(Canada) ¹⁶⁾
	L	H	ungrazed	ungrazed	ungrazed	grazed	ungrazed	grazed	ungrazed
Yearly mean temperature(°C)	11.5		9.8	11.5	7.7		15.1		2.8
Yearly precipitation(mm)	1632		2335	—	311		930		338
Grassland type	six species sown		<i>Miscanthus sinensis</i>	<i>Miscanthus + Pleiobolus</i>	Short-grass prairie		True prairie		Mixed prairie
Years of study	1974-81		1967-71	1971	1970-72		1970-72		1968-72
Mean biomass(g/m ²)									
green shoots	269*	208*	674**	1306**	70	63	152	166	79
dead shoots	239*	151*	49**	—	65	—	446	—	411
litter	97*	38*	1301**	—	251	—	365	—	238
underground	600*	550*	1312**	2195**	1349	1539	1211	1100	2119
Net production(g/m ² /year)									
aboveground	1092	945	}1778	}2122	172	103	346	442	143
underground	353	258			568	541	542	635	555

** , Maximum ; * , Mean of dry weight inside the movable protection cages; L and H, Light and heavy grazing intensities

地では、酒井ら¹²⁾がオーチャードグラス草地で1,690 g/m²/年、川鍋ら⁷⁾はラジノクローバ草地で1,800 g/m²/年と推定している。これらの試験での施肥水準は、本試験の放牧草地でのそれに比べて高く、とくに酒井ら¹²⁾のオーチャードグラス草地での施肥量は限界に近いとしている。

自然草地に関しては、IBPにより世界規模の調査が実施されている。Table 8に、その結果から世界の草原の幾つかの例をあげて藤野田山放牧草地の生産量と比較してみる。植生が何であるかにかかわらず、植物現存量の大きさや、純生産量は雨量に大きく依存していることがうかがえる。アメリカ大陸の雨量の少ない地帯(PauneeやMatador)に発達している自然草地においては、年平均の地上生存部重が100 g/m²にも達せず、また年間の純生産量も200 g/m²を越えない。しかし、これらの草地の地下部は非常に大きく1,000—2,000 g/m²にも達し、その純生産量も500 g/m²を下廻らない。同じIBPにおいて、わが国のススキ草原で得られた結果においても、地下部現存量は上に述べた半乾燥地におけると同様に極めて大きい。このように地下部現存量が大きいことは、自然草地の特徴といえよう。

自然草地での純生産量は、大久保ら¹¹⁾がシバで約500 g/m²/年、翠川ら¹⁰⁾はススキで583 g/m²/年の値を報告しているが、Table 8に示したススキ草地は牧草の純生産量をしのぐ値であり、わが国の自然草地の生産力の大きいことが認められる。このような高い生産力は豊富な雨量に支えられているのであろう。

2. 植物の純生産量に及ぼす放牧強度の影響

牧草は通常は刈り取り回数がある程度多い方が、年間の純生産量が大きいといわれる⁴⁾。刈取り試験での結果と必ずしも対比できないであろうが、本試験での結果は放牧強度が高まるに伴い純生産量が低下する傾向がみられた。しかし、放牧強度(AUD/ha)と純生産量との間に有意な相関は認められなかった(Fig. 9)。

純生産量を地上部と地下部とに分けてみると、地上部においては、全植物体の生産量とはほぼ同様の傾向がみられ、夏の期間に高温(平均気温よりほぼ3-4°C/日高い)で、かつ放牧強度が高かった1978年の強放牧区を除くと、放牧強度はその純生産量にほとんど影響しなかった。一方、地下部においては、放牧強度と有意な負の相関が認められた($r = -0.670$, $P < 0.01$)。すなわち、植物にとって非常に厳しい放牧条件の場合を除くと、一般に放牧強度が高まると地下部への物質の蓄積が抑えられ、植物全体の純生産量に占める地上部の純生産量の割合が高くなることが認められた(Fig. 10)。

ほ伏茎を持つ植物では、ほ伏茎の貯蔵器官としての重要性が知られているが、茎の一部を含むイネ科牧草の地下部も貯蔵器官として機能しており、被食の強さに対して緩衝作用を持つものと推察される。

本試験での弱放牧区では、被食量をやや上廻る草量があり、強放牧区における放牧強度が適当と考えられる。さらに強い放牧の場合の地下部の動態に興味もたれる。

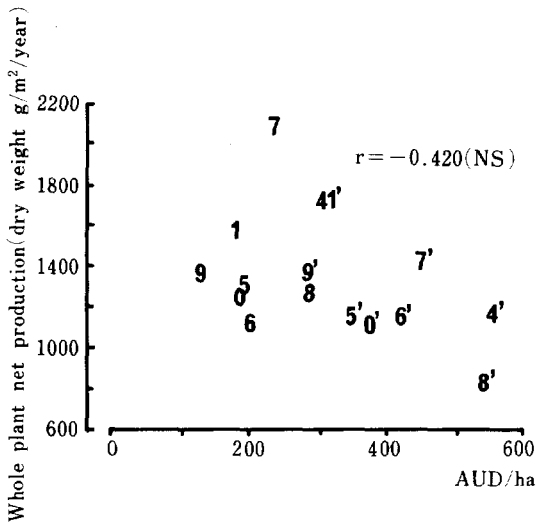


Fig. 9. Relationship between whole plant net production for a year and annual stocking rate for light grazing and heavy grazing (with prime) pastures. Numbers in figure indicate the year of findings; See Fig. 7.

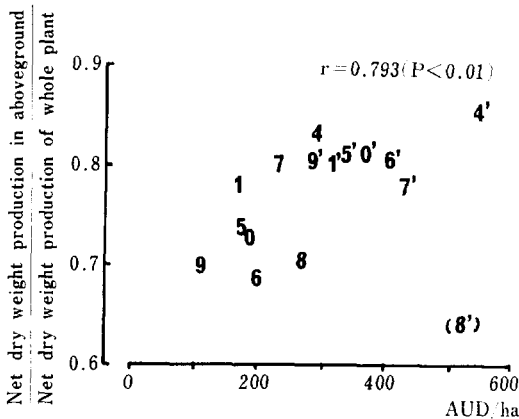


Fig. 10. Relationship between annual stocking rate and aboveground net production/whole plant net production ratio. Symbols are same as in Fig. 9.

3. 地上部生産量の変動をひき起す要因

寒地型牧草の生産量の大きさには季節変動があり、夏に高温で多湿なわが国では、春に大きく夏に低下する。また同じ季節内でも種々の要因により変動が生じる。

窪田ら⁹⁾は、オーチャードグラスの乾物収量を日射量と気温から推定する式を導き出ししている。また、福山ら⁶⁾は数種の短草型草種の刈り取り試験で、収量の季節

変動の50—65%は日射量と施肥量で説明できるとしている。本試験では、地上部生存部のみかけの日変化量と日射量との間に、季節を込みにすると $r=0.454$ ($P<0.001$) の関係がみられた。季節内の生産量の年次変動と気象要因との関係では、春(5—6月)には日射量と正の相関がみられたものの、他の季節においては明らかな関係は見い出せなかった。

本試験での草地は数種の牧草が混播されており、その構成割合は年次や季節により一定ではなかったし、放牧強度も年次により異なっていた。放牧強度に起因する残草量や草種構成割合と生産量との関係を見ると、残草量が多い場合、生育の著しい春には再生量が高いが、夏には逆に低下する傾向がみられた。本試験におけるような混播草地では、残草量が多くなるとオーチャードグラスやトールフェスクなどの長草型草種が株化し、植生密度が低下して生産量が低下すると考えられる。放牧圧が高まると植生密度の高い短草型草種の割合が多くなるが、ケンタッキーブルーグラスやレッドトップはオーチャードグラスに比べて生産量は必ずしも低くはないという報告もある⁶⁾。本試験での弱放牧区と強放牧区を比べると、春には弱放牧区で、夏には強放牧区で生産量が高い傾向がみられたが、このようなことに起因していると思われる。

4. 放牧強度と被食量

地上部の純生産量に占める被食量の割合は、当然のことながら、放牧強度の増加に伴い増加した (Fig. 11)。ここに、被食量は表層リターを除いたケージ内外差である。高橋ら¹⁸⁾が述べているように、この推定法は過大評価する傾向があり、とくに弱放牧区において大きかった。したがって、弱放牧区では図に示した値よりも低い値と

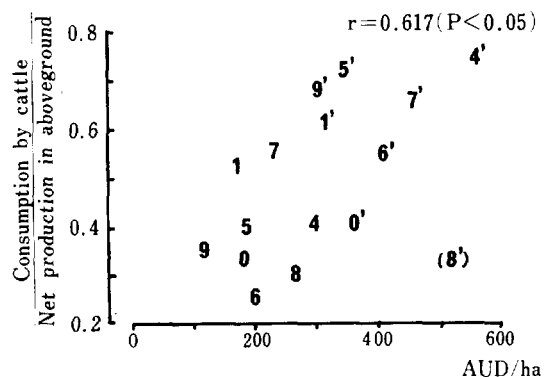


Fig. 11. Relationship between annual stocking rate and consumption by cattle/ net production in aboveground ratio. Symbols are same as in Fig. 9.

なろう。1981年の強放牧区では放牧強度が高く、かつ地上部生産量が低かったため、被食割合が高くなることが予想されたが、逆に低い値となった。これは、牛の採食様式から、草丈が短かくなった草を地際まで採食することができず、一方では必然的に生じる枯死と消失が被食割合を低くしているためと考えられる。

本報告では放牧草地の植物生産を中心に述べたが、植物生産の季節変動と家畜生産の関係については別途報告したい。

謝辞

この研究を遂行するにあたって、嶋田饒元生態部長、丸岡詮前部長、鎌田悦男現部長に御指導いただいた。また、生態部をはじめ多くの研究者の援助のうえに行われた研究である。とくに桐田博充博士には本稿を草するに当り貴重な御意見をいただいた。ここに記して謝意を表します。なお、この研究の一部は、農水省のグリーンエネルギー計画により行われた(GEP 83-3-2-11)。

引用文献

1. 秋山 侃・高橋繁男・塩見正衛・大久保忠旦(1981):放牧草地のエネルギー効率。V. 混播放牧草地における乾物生産の季節的、年次の推移。草地試研報 20:20-41.
2. Akiyama, T., Shiyomi, M., Takahashi, S. & Okubo, T. (1983): Ecological efficiencies of energy conversion in pasture. VI. Changes in calorific value of pasture plants and energy storage in grassland. J. Japan. Grassl. Sci. 29: 28-37.
3. Akiyama, T., Takahashi, S., Shiyomi, M. & Okubo, T. (1984): The energy dynamics of grazing grassland I. Energy flow at the producer level. OIKOS 42: 129-137.
4. 泉 和一・窪田文武・鎌田悦男(1972): 牧草の乾物生産。第3報。牧草の乾物生産と最適刈取回数におよぼす吸光係数の影響。日草誌 17: 235-242.
5. 福山正隆・嶋村匡俊・牛山正昭・及川棟雄(1980): 放牧草地における物質生産とエネルギー効率。I. 経年オーチャードグラス草地の一次生産。日草誌 26: 26-35.
6. 福山正隆・嶋村匡俊・牛山正昭・及川棟雄(1983): 短草型草地の特性の解明。I. 単播草地における利用管理と生産力との関係。草地試研報 25: 96-110.
7. 川鍋祐夫・酒井 博・藤原勝見(1969): ラジノクローバ草地の乾物生産量。日作紀 38: 327-332.
8. 桐田博充(1979): 放牧草地における植物枯死体の消失速度。日本生態学会第26回大会講演要旨集。p. 306
9. 窪田文武・泉和一・鎌田悦男(1973): 牧草の乾物生産。第11報。オーチャードグラスの乾物生産におよぼす気温と日射量の影響。日草誌 19: 292-301.
10. 翠川文次郎・宝目欣二・岩城英夫・門司正二(1963): 霧ヶ峰牧野荒廃防止並びに改良に関する調査報告書。長野県農政部。1-62p.
11. 大久保忠旦・高橋繁男・秋山 侃・井上陽一郎・岩元守男(1977): 放牧草地のエネルギー効率。第2報。シバ型草地の物質生産と光利用効率の季節的推移—禁牧した場合—。日草誌 23: 30-42.
12. 酒井 博・川鍋祐夫・佐藤徳雄・藤原勝見・五十嵐昇(1972): オーチャードグラス草地の乾物生産と生産過程。4. 多窒素の影響。日草誌 18: 34-40.
13. Shimada, Y., Iwaki, H., Midorikawa, B. & Ohga, N. (1975): Primary productivity of the *Miscanthus sinensis* community at the KAWATABI IBP area—Standing crop of aboveground parts. p. 110-115. In Numata, M. ed. Ecological studies in Japanese grasslands. JIBP synthesis, vol. 13, Tokyo Univ. Press.
14. Shiyomi, M., Takahashi, S., Akiyama, T., Hirosaki, S. & Okubo, T. (1982): A preliminary simulation model of grazing pasture ecosystem. Bull. Natl Grassl. Res. Inst. 22: 27-43.
15. Shiyomi, M., Takahashi, S., Akiyama, T. & Hakamata, T. (1983): A system model for short and long term prediction of grazing pasture productivity. Bull. Natl Grassl. Res. Inst. 26: 17-29.
16. Smis, L. P. & Coupland, R. T. (1979): Part II. Natural temperate grassland. 5. Producers. p. 49-72. In Coupland, R. T. ed. Grassland Ecosystems of the World: Analysis of grasslands and their uses. Cambridge Univ. Press.
17. 高橋繁男・大久保忠旦・秋山 侃(1980): 放牧草地の地下部現存量の季節的推移。草地試研報 16: 24-30.
18. 高橋繁男・大久保忠旦・秋山 侃・塩見正衛(1981): 放牧草地のシステム分析。I. 草量および被食量の決定に関する要因。草地試研報 19: 13-26.
19. Yano, N., Kayama, R. & Suganuma, T. (1975): Productivity rating of vegetation units. p. 130-140. In Numata, M. ed. Ecological studies in Japanese grasslands. JIBP synthesis, vol. 13, Tokyo Univ. Press.
20. van Dyne, G. M. (1969): Grassland management, research, and training viewed in a system context. Range Science Dept. Science Series No. 3, Colorado State Univ. Fort Collins, 50p.
21. Weigert, R. G. & Evans, F. C. (1964): Primary production and the disappearance of dead vegetation on an old field in south eastern Michigan. Ecology 45: 49-62.

SUMMARY

Productivity of Grazing Pasture

I. Seasonal and annual changes of dry matter production in the grazing pasture

Shigeo TAKAHASHI¹, Tsuyoshi AKIYAMA²,
Masae SHIYOMI and Tadakatsu OKUBO³

*Ecology Division, National Grassland Research Institute,
Nishinasuno, Tochigi 329-27, Japan*

Present address 1) Kyushu National Agricultural Experiment Station, Nishigoshi, Kumamoto 861-11; 2) National Institute of Agro-Environmental Sciences, Yatabe, Ibaraki 305; 3) Faculty of Agriculture, Nagoya University, Chikusa, Nagoya 464

Received September 13, 1983

The purpose of the present paper is to determine the seasonal and annual changes of pasture production and to clarify the factors determining the variations between and within seasons and years.

A long-term rotation grazing experiment of cattle was set up in 1974 in a pasture sown with six pasture plants, which were orchardgrass, perennial ryegrass, tall fescue, red top, Kentucky bluegrass and white clover. The experimental area has been subjected to the two different grazing intensities from spring to fall for eight years, and followings were measured at the end of each grazing period in the rotation: the biomass and its consumed amount of each species, the amount of total standing dead, the amount of total surface litter and the total underground dry matter weight.

The results obtained were as follows;

1. Annual dry matter production in whole plant was 1,445 g/m²/year in light grazing and 1,193 g/m²/year in heavy grazing pastures. It was affected by annual stocking rate but not significantly.

2. Aboveground production was 1,092 g/m²/year in light grazing and 945 g/m²/year in heavy grazing pastures, and was not affected by grazing intensity. Underground dry matter production was 353 g/m²/year in light grazing and 258 g/m²/year in heavy grazing pastures and was decreased as grazing intensity increased ($r=0.739$, $P<0.01$).

3. Twenty to eighty percent of the net production in aboveground were consumed by cattle according to grazing intensity.

Bull. Natl Grassl. Res. Inst. 28: 1-15 (1984)