

## 牧草の乾物生産 第8報

誌名	日本草地学会誌
ISSN	04475933
著者	窪田, 文武 梶, 和一 鎌田, 悦男
巻/号	19巻2号
掲載ページ	p. 194-200
発行年月	1973年7月

## 牧草の乾物生産

### 第8報 個体密度が牧草群落の乾物生産におよぼす影響

窪田文武\*・梶 和一・鎌田悦男

農林省草地試験場山地支場 (長野県北佐久郡御代田町)

第7報<sup>6)</sup>までは、牧草群落の乾物生産解析、あるいは乾物生産量の推定をおこなう場合に必要なる群落光合成量、呼吸量の測定方法、乾物生産式の適合性などの検討を進めてきた。第8報以降では、第7報までに<sup>6)</sup>検討してきた諸手法を応用して、実際栽培条件下における牧草群落の乾物生産量の推定あるいは乾物生産解析をおこなう。

本報では、牧草群落の乾物生産量におよぼす個体密度の影響について検討した。作物の栽培上、個体密度をどの程度に維持したら最も効率的な生産をおこなえるかという問題については、その意味の重要性から多くの研究がなされている。特に、吉良ら(1953)<sup>4)</sup>は理論的な面から、また、DONALD(1963)<sup>3)</sup>、BLACK(1963)<sup>2)</sup>は、実験的な面から種々の環境要因との関連で乾物生産におよぼす個体密度の影響を検討している。また、村田ら(1955)<sup>8)</sup>、PUCKRIDGE(1971)<sup>9)</sup>などは、群落光合成の面から乾物生産と個体密度との関係を解析している。

永年生作物である牧草の場合、一度造成した草地は、少なくとも数年間は連続的に使用されるわけであるから、個体密度が牧草の乾物生産量に与える影響は、一年生作物に比べて非常に大きいと考えられる。ここでは、第7報<sup>6)</sup>で検討した乾物生産式(8)、CGR式(9)を応用して、種々の個体密度段階における乾物生産量、CGRなどの推定、解析をおこない、牧草栽培において群落の個体密度が乾物生産上いかなる意味を持つかを、群落の光合成、呼吸にもとづくCO<sub>2</sub>収支の面から検討した。

#### 材料および方法

実験材料として、アカクロープ(*Trifolium Pratense* L.)を用いた。アカクロープを用いたのは、(1)株化しない草種であるので単位面積あたりの個体数の調査が容

易であること、(2)個体密度が乾物生産におよぼす影響には、地上部における光競合と地下部における養分競合とが関連してくるが、マメ科植物の場合、施肥反応が比較的小さいので、乾物生産におよぼす個体密度の影響を主として光の面から検討することが可能であることの2つの理由によるものである。

実験に用いたアカクロープ草地は、1969年9月に播種、造成し、その後、1970年6月まで慣行法により肥培管理したものである。1970年7月にこの草地を刈払い、個体密度2段階(低密度区88個体/m<sup>2</sup>、高密度区440個体/m<sup>2</sup>)に間引きをおこない、その後1カ月半、8月末まで放置し、個体を各密度段階に順応させた。この草地を8月末に刈払い、その後の再生段階を追って、乾物重量、群落光合成量、葉面積示数など乾物生産に関与する要因の測定を両区についておこなった。なお、乾物重の測定は、地上部と地下部について、定期的(約7日間隔)に50×50cm<sup>2</sup>のコドラートを用いて、各区4点ずつおこなった。また、群落光合成量の測定には、第6報<sup>1)</sup>で検討した圃場用大型同化箱を用いた。また、各密度条件下における乾物生産量、CGRなどの推定には、第7報で検討した乾物生産式(8)、CGR(9)式を用いた。

#### 結果と考察

##### 1) 個体密度が群落の乾物生産におよぼす影響の実態

###### (1) 個体密度が乾物重量におよぼす影響

第1図には、アカクロープの高密度区、低密度区の刈取後の再生過程における面積あたりの乾物重の経時の変化を示した。第1図によれば、刈取時の残存乾物重量には、両密度区でほとんど差が認められない。これは、草地を密度2段階に間引いた後、約1カ月半の間放置して、個体を各密度段階に順応させた効果によるものと考えられる。

\* 現在農林省北海道農業試験場草地開発第2部

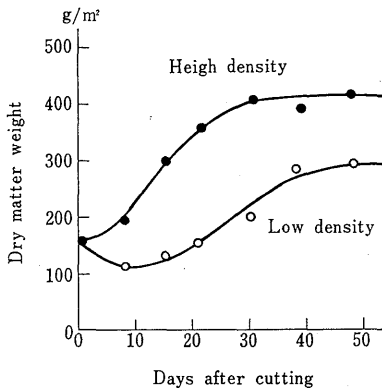


Fig. 1. Changes of dry matter weight after cutting.

次に、第1図における両密度区の刈取後の乾物重の増加には、かなりの差が見られ、高密度区では増加が急激であり、低密度区では緩慢である。このことは、土地面積あたりの乾物生産効率が、高密度条件で高いことを示すものであるが、両密度区の乾物生産効率の差は刈取後の経過時間によっても異なり、再生初期段階で大きく、後期段階で小さいようである。

#### (2) 個体密度が個体の生産機構におよぼす影響

第1表には、高密度区と低密度区における草高、草丈、個体の着葉数など個体の生産機構に関連する諸要因を刈取後の再生段階を追って示した。第1表から、両密度区の草高にはほとんど差がないことがわかる。しかし、草丈の場合、草高と異なり両密度区で差が見られ、低密度区において長く、高密度区において短い。次に、草高を草丈で除した値(草高/草丈)を見ると、低密度区で低く、高密度区で高い値が示されている。このことは、高密度区では、個体は比較的直立した状態で群落を構成し、低密度区では、若干傾いた状態で群落を構成していることを示すものであり、両密度区における受光態勢に差異があることを予測させる。

次に、第1表から、個体の光合成量に直接関連する個

体あたりの葉数と葉数を構成する分けつ数を見ると、個体あたりの葉数、分けつ数は、低密度区において勝り、高密度区の約2倍の値を示していることがわかる。このことから、高密度区に比べて低密度区では、個体あたりの光合成量は大きく、個体の乾物生産量も大きくなるものと推定される。事実、第1表に示した個体あたりの乾物重を見ると、低密度区において大きいことが明らかである。

次に、乾物生産に関連する主要因の一つである個葉の光合成能力を両密度区について、切葉状態、水銀灯下で測定したが、両密度区の個葉の光合成能力は、最大値で  $20 \text{ CO}_2 \text{ mg}/100 \text{ cm}^2 \cdot \text{hr}$  前後で特に大きな差は認められなかった。ただし、この場合、測定葉は群落の上層部で比較的光合成が活発におこなわれていると考えられる部分のものであった。群落を構成している個葉は、低密度区では枯上がり数が少なく、ageが進んだ状態の葉をより多く保持していると考えられるので、群落全体の個葉の平均的な光合成能力は、低密度区で若干低くなるものと考えられる。

#### (3) 個体密度が群落の生産機構におよぼす影響

(2)の結果から、個体レベルで見ると、低密度区における生産機構は、高密度区よりも勝っていることがわかった。しかしながら、草地の生産は、個体が集まった群落のレベルでおこなわれるため、その生産機構は、個体のレベルとは大きく異なって来るものと考えられる。

群落の乾物生産を左右する最大の要因として、群落光合成量が考えられる。群落光合成量に関連する主要因は、第4報<sup>5)</sup>で検討したように、個葉の光合成能力、葉面積示数、吸光係数(受光態勢)の3者である。個葉の光合成能力は、先に検討したように両密度区間で大きな差がなかったため、ここでは、葉面積示数と吸光係数(K)の2要因について検討する。

第2図(A, B)には、高密度区と低密度区における刈取後の葉面積示数の変化と群落光合成量の変化を示した。第2図(A, B)から、高密度区では、再生の初期に

Table 1. The influence of plant density on the constitutional factors of a red clover plant

Factors	High density			Low density		
	Sept. 4	Sept. 16	Oct. 9	Sept. 4	Sept. 16	Oct. 9
(A) Natural plant height (cm)	9.5	18.4	20.2	11.0	15.4	21.7
(B) Plant height (cm)	10.5	19.8	22.9	15.3	19.2	31.5
(A)/(B)	0.90	0.93	0.88	0.72	0.80	0.69
Number of leaves per plant	6.7	13.7	12.5	14.1	24.2	28.7
Number of tillers per plant	—	4.7	4.7	—	7.5	10.11
Dry matter weight per plant (g)	1.66	3.22	3.82	4.87	6.45	12.70

葉面積示数が高まり、効率的な生産活動が開始されるが、低密度区では、刈取後の葉面積示数の増加速度が遅いため、群落の光合成活動が効率的におこなわれるようになるのは、刈取後の比較的後期であることがわかる。このことは、先に(1)で検討したように高密度区と低密度区の乾物生産効率の差が再生初期段階で大きいことの理由の一つと考えられる。

次に、群落光合成量を規定するもう一つの要因である吸光係数 ( $K$ ) について、平均的な値を求めたところ、高密度区では、 $K=0.605$ 、低密度区では  $K=0.920$  で高密度区における群落の光透過率は、低密度区よりも高いことがわかった。こ

のように、低密度区において吸光係数 ( $K$ ) が大きいのは、(2)で検討したように群落を構成する個体の地上部が、低密度区では、高密度区に比較して傾いた状態であったためと考えられる。また、低密度区では、茎などの非同化部分による遮光が高密度区に比べて大きかったことも原因の一つであると考えられる。以上、葉面積示数、吸光係数 ( $K$ ) の両要因から見て、群落の光合成態勢は、高密度条件で有利であることが明らかになった。また、両要因のうち、特に刈取後の再生初期段階で高密度区と低密度区との乾物生産効率、群落光合成量の差が大きい原因としては、両密度区の刈取後の葉面積示数の増加速度の差が考えられる<sup>11)</sup>。

ただ、ここで考えねばならない点は、両密度区間における群落光合成量や葉面積示数の増加速度の差は、両密度区の個体数の差 (高密度区 440 個体/m<sup>2</sup>、低密度区 88 個体/m<sup>2</sup>) に比べて小さく、個体密度の増加がそのまま直線的な関係で、乾物生産量の増大に結びつかないことである。

2) 個体密度が群落の乾物生産におよぼす影響の理論的解析

ここでは、高密度区 (440 個体/m<sup>2</sup>) の群落における光合成量、呼吸量から、第7報<sup>6)</sup>で検討した乾物生産式(8)、CGR 式(9)の各係数値を決定し、これを基礎にして、種々の個体密度状態での乾物生産量、日乾物生産速度 (CGR) などの推定と解析とをおこなった。

$$W = \frac{\alpha}{r} (1 - e^{-rt}) + \frac{\alpha}{r-a} (e^{-rt} - e^{-at}) + W_0 e^{-rt} \dots\dots\dots(8)$$

$$CGR = \alpha e^{-rt} + \frac{\alpha}{r-a} (ae^{-at} - re^{-rt}) - rW_0 e^{-rt} \dots(9)$$

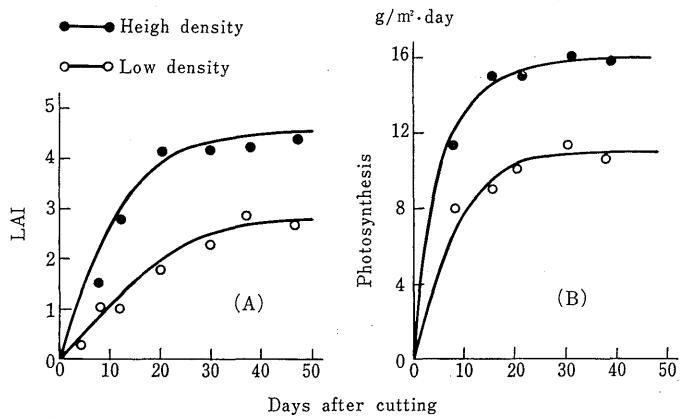


Fig. 2. Changes of leaf area index and photosynthesis in plant population after cutting.

(上式の各係数の内、 $\alpha$ ,  $a$  は群落光合成量の刈取後の変化によって決定される係数、 $W$  は乾物重、 $r$  は植物体呼吸速度、 $W_0$  は刈取時の乾物重を示す。)

先に、第2図 (B) に示した高密度群落の光合成量の変化を第7報<sup>6)</sup>で検討した  $P(t) = \alpha(1 - e^{-at}) \dots(2)$  で近似すると  $P(t) = 16.1(1 - e^{-0.219t})$  となる。また、実験期間中 (平均気温 18°C) における個体の呼吸速度は、 $r = 0.035$  であった。係数  $\alpha = 16.1$ 、 $a = 0.219$  と  $W_0$  には実験開始時の実測値 ( $W_0 = 152 \text{ g/m}^2$ ) を用い、これらの係数値を(8)式に代入すれば、高密度区における乾物重の刈取後の変化を  $\text{CO}_2$  収支から計算することが可能である。

次に、これらの係数値を基準にして、各個体密度段階における係数値を決定する。先に検討したように群落の個体密度が変化した場合、群落光合成量に影響をおよぼす主たる乾物生産要因は、刈取後の再生初期段階における葉面積示数の増加速度であった。ここでは、個体密度が群落光合成量におよぼす影響は、主に個体密度の変化にともなう群落の葉面積示数の変化によって決定されるものと考え、各密度段階における乾物生産式(8)、CGR 式(9)の各係数値を決定した。すなわち、第7報<sup>6)</sup>で検討したように、刈取直後の葉面積示数の増加速度が  $n$  倍に変化した場合、刈取後の群落光合成量の変化を示す式、 $P(t) = \alpha(1 - e^{-at})$  は、 $P_n(t) = \alpha(1 - e^{-an t})$ 、 $a_n = n \cdot a$  に変化するとして、係数  $a$  の値を決定した。

このような考え方にたつて、係数  $a$  を決定する場合、各個体密度段階で刈取後の葉面積示数の増加速度がどのように異なるかを知る必要がある。ここで用いたアカローバの場合、刈取直後の葉面積示数の増加速度は、高密度区と低密度区で約 3:1 の比で、個体数の比が 5:1 であったのに比べて両者の比率は低い段階に止まってい

Table 2. Constant values in eq. (8) and (9) under each density condition

$d$	$\alpha$	$a$	$r$	$W_0$
0.2	16.1	0.044	0.035	152
0.4	16.1	0.088	0.035	152
0.6	16.1	0.131	0.035	152
0.8	16.1	0.175	0.035	152
1.0	16.1	0.219	0.035	152
2.0	16.1	0.438	0.035	152

( $d=1.0$ , 440 plants/m<sup>2</sup>)

る。(第2図-A参照)種々の個体密度状態の草地における葉面積示数の刈取後の増加速度は、単位土地面積あたりの個体の数、大きさ、分けつ数など再生に関連する要因の栽培条件による変化に応じて変動するものと考えられ、一概に個体密度が高い群落の刈取後の葉面積増加速度が優れるとは言い難い。

BLACK (1963)<sup>3)</sup>の報告には、個体密度と葉面積示数とは双曲線的な関係、すなわち、低密度段階では、葉面積示数は個体密度の上昇に伴い比例的に高くなるが、高密度段階になると個体密度の上昇が葉面積示数を高める効果は小さくなることが示されている。

ここでは、草地の個体密度と葉面積示数の刈取直後における増加速度との関係を単純化して考え、個体密度が $n$ 倍になった場合、刈取時の葉面積示数の増加速度も $n$ 倍になるものと仮定して、係数 $a$ の値を決定した。 $a$ 以外の係数の内、 $\alpha$ は、群落の受光態勢、個葉の光合成能力が主因となって変化する性質のものであるが、先にも検討したように高密度区、低密度区における受光態勢の差、個葉の光合成能力の差は比較的小さかったので、ここでは係数 $a$ は各密度段階で一定値とした。さらに、植物体の呼吸率( $r$ )、刈取時の乾物重( $W_0$ )も各密度段階

で一定として扱った。第2表には、このようにしてアカクロアバの高密度区(440個体/m<sup>2</sup>)を基準( $d=1$ )として各係数値を決定して示した。

次に、第3図(A, B)には、第2表の各係数値から、各密度段階における群落光合成量の変化と乾物重量の変化とを計算して示した。第3図(A)によれば、群落光合成量は、刈取後の早い時期では、高密度状態において高いことがわかる。また、第3図(B)において、各密度段階の乾物重の変化を見ると、 $d=0.2$ のように個体密度が低い条件では、刈取後の早い時期における乾物重の低下が目立ち、その後の乾物重の増加速度も緩慢であることがわかる。これに対し、 $d=2.0$ のように個体密度が高い条件では、乾物重量は刈取後ただちに急速な増加を示すことがわかる。しかしながら、第3図(B)によれば、個体密度の変化が乾物生産量におよぼす影響は、各密度段階で異なり、低密度段階では個体密度の変化が乾物生産量に与える影響は大きく、高密度段階では小さくなるようである。また、個体密度が乾物生産量に与える影響は、刈取後の経過日数によっても異なるようである。

これらのことをさらに検討するため、第4図(A, B)には、刈取後の乾物生産量におよぼす密度効果を刈取後の再生各段階ごとに示すとともに、CGR式(9)によって各個体密度段階におけるCGR値を計算して示した。第4図(A)から、刈取後の前期段階(10日目)では、個体密度が高くなるほど乾物生産量も高くなり、両者間には直線的な関係が見られる。これに対し、刈取後の再生後期段階(80日目)では、個体密度が乾物生産量におよぼす影響に、飽和現象が見られ、 $d=0.6$ (264個体/m<sup>2</sup>)以上の個体密度段階になると個体密度の上昇による乾物生産量の増加は、ほとんどみられない。これらのことから、乾物生産上、単に個体密度が高いことが望ましいわ

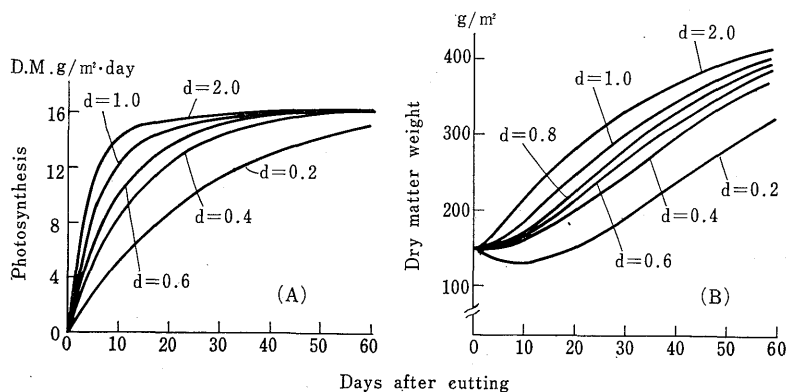


Fig. 3. Changes of amount of photosynthesis (calculated values) and dry matter weight (calculated values) under each density condition after cutting. ( $d=1.0$ , 440 plants/m<sup>2</sup>)

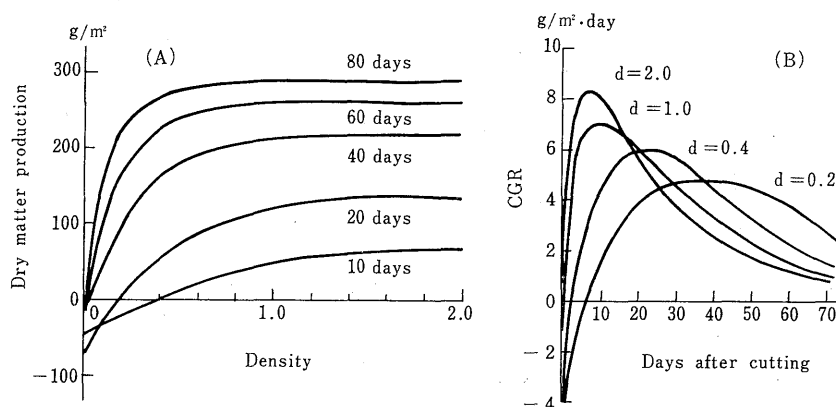


Fig. 4. Changes of amount of dry matter production (calculated values) and crop growth rate (calculated values) after cutting. ( $d=1.0$ , 440 plants/m<sup>2</sup>)

けではなく、栽培条件、刈取間隔などによって、それぞれ効率的な乾物生産をおこない得る個体密度段階が存在することが推定される。

このことについて、第4図(B)のCGRの変化を見ると、各個体密度段階ごとに異なるCGR曲線を示すことがわかる。CGR<sub>max</sub>は、高密度段階では大きくしかも刈取後の早い時期に示される。また、刈取後の再生全段階を通してCGRを見ると、再生前期段階では、CGRは高密度区において高い値を示すが、後期段階になると低密度区において高い値が示される。このような現象は、再生前期段階では高密度状態で、また、再生後期段階では低密度状態で、それぞれ効率的な乾物生産をおこなっていることを示し、1)で検討した実験結果、すなわち、乾物生産量は再生前期段階では、高密度区で非常に高い値を示すが、再生後期段階では、高密度区と低密度区の差が小さくなっていくことを立証するものである。

以上の結果から、牧草の栽培上、刈取あるいは放牧の間隔が短い条件の場合には、個体密度を高めることが乾物生産量を増大させるのに効果的であることが推察される。これに対して、刈取あるいは放牧の間隔が長い栽培条件の場合には、個体密度を高めることが乾物生産量を増大させる効果は少なく、余り高密度状態になると個体間の競合を激化させ、かえって乾物生産効率は低下するものと考えられる。西村(1970)<sup>7)</sup>、高崎ら(1970)<sup>10)</sup>は、それぞれマメ科草種であるアカクロバ、アルファルファを用いて、個体密度と乾物生産との関連について検討をおこなっている。これらの報告では、個体密度が乾物生産におよぼす影響は、造成後の年次、あるいは季節によって異なること、また、個体密度自体も競合過程を通して、時間の経過とともに変動することがのべられ

ている。乾物生産効率を最も高くする個体密度(最適個体密度)も種々の栽培条件により変化するものと考えられる。

第4図(A)からわかるように、この実験の場合、通常栽培(刈取間隔が60日前後)では、アカクロバの個体密度の上限は400~500個体/m<sup>2</sup>で、これ以上高い個体密度状態となっても乾物生産上ほとんど有利にならない。西村の報告によれば、アカクロバの単位土地面積あたりの茎数の上限は、1200本/m<sup>2</sup>となっている。ここでは先に第1表に示した高密度区(440個体/m<sup>2</sup>)の個体の茎数は4.7本であったから、個体密度の上限を400~500個体/m<sup>2</sup>とした場合、茎数は2,000本/m<sup>2</sup>前後となる。400~500個体/m<sup>2</sup>(茎数、2,000本/m<sup>2</sup>)は、最適個体密度を示すものではなく、乾物生産効率上効果が上ると考えられる上限の個体密度を示すもので、種々の要因が関連し個体が競合状態にある実際の草地では、最適個体密度はこの数値よりもかなり低い値となるであろう。

今まで検討してきた各個体密度段階における乾物生産量、CGRなどの推定値は、群落の乾物生産に与える個体密度の効果を刈取後の葉面積の増加速度として捕え、数式の各係数値を決定して計算した値である。このような推定方法は、草種、施肥量、あるいは気象条件などが変わった場合には、各種の要因が相互に関連してくるので必ずしも妥当であるとは言いがたい。より実際に即した密度効果を乾物生産式、CGR式を用いて推定、解析するには、各種の栽培条件下における諸要因(葉面積示数、吸光係数、個葉の光合成能力、再生力など)を個体密度との関連でさらに検討することが必要となるであろう。

## 摘 要

個体密度が草地の乾物生産におよぼす影響を実験的、理論的に明らかにするため、アカクローバ草地を供試して検討した。

1. 高密度区 (440 個体/m<sup>2</sup>) と低密度区 (88 個体/m<sup>2</sup>) において、個体レベルでは後者の方が乾物生産上有利な態勢となるのに対し、群落レベルでは前者において有利な態勢となった。特にこの傾向は、再生前期段階で顕著であり、これは主として、刈取後の葉面積の増加速度の差に基づいていた。

2. 乾物生産式、CGR 式を用いて各密度段階における乾物生産量、CGR を推定し、群落の CO<sub>2</sub> 収支の面から個体密度が乾物生産におよぼす影響について検討した結果、個体密度の影響は再生前期段階で大きく、高密度になるほど乾物生産効率は高まる傾向を示したが、再生後期段階では個体密度による差は小さくなることがわかった。

これらの結果から、高密度条件では刈取間隔を短かくした場合に、また、低密度条件では刈取間隔を長くした場合に乾物生産効率は高くなるものと考えられる。

また、本実験の結果から、通常栽培条件下 (刈取間隔

60 日前後) では、アカクローバの個体密度の最大値は 400~500 個体/m<sup>2</sup> となるものと考えられる。

## 参 考 文 献

- 1) 梶 和一, 窪田文武, 鎌田悦男: 日草誌 18, 283-291 (1972)
- 2) BLACK, J.N.: *Aust. J. Agric. Res.*, 14, 20~37, (1963)
- 3) DONALD, C. M.: *Adv. in Agron.*, 15, 1-117, (1963)
- 4) KIRA, T., H. OGAWA and N. SAKAZAKI: *Jour. Inst. Polytech. Osaka City Univ. D-4*, 1-16, (1953)
- 5) 窪田文武, 梶 和一, 鎌田悦男: 日草誌 17, 243-249 (1972)
- 6) 窪田文武, ——, ——: 日草誌 18, 292-298 (1972)
- 7) 西村 格: 日草誌, 16, 36-45 (1970)
- 8) 村田吉男, 長田明夫, 猪山純一郎: 日作紀, 26, 159-164 (1955)
- 9) PUCKRIDGE, D. W.: *Aust. J. Agric. Res.* 22, 11-20 (1971)
- 10) 高崎康夫, 高橋直季, 横山琥一: 日作紀 39, 144-150 (1970)
- 11) 村田吉男: 稲の形態と機能 (松尾孝嶺編), 養賢堂, 東京, 87-131 (1960)

(昭和47年8月29日受理)

## Dry Matter Production of Forage Plants

VIII. Influence of plant density on the dry matter production  
in forage plant population.

Fumitake KUBOTA\*, Waichi AGATA and Etuo KAMATA

Alpine Farming Branch Station, National Grassland Research Institute (Miyota, Nagano)

\* Hokkaido National Agricultural Experiment Station (Sapporo, Hokkaido)

## Summary

Using red clover (*Trifolium pratense* L.) sward, we examined the influence of plant density on dry matter production in forage plant population experimentally and theoretically.

The results are as follows:

1. Though the efficiency of dry matter production on individual plant was high under low plant density condition, this efficiency on the plant population was high under high plant density condition. This tendency was indicated strongly during the early stage after cutting. The main cause for these facts was that the high density condition was superior to the low density condition in leaf area production after cutting.

2. The amount of dry matter production and CGR were calculated by eq. (8) and (9). The influence of plant density on the dry matter production was examined and analysed from the viewpoint of CO<sub>2</sub> balance in the plant population.

From these calculations, it was clear that the high efficiency of dry matter production was shown during the early stage after cutting in the case of high density and during the late stage in the case of low density condition of the sward. These facts indicate that the efficiency of dry matter production will be higher, if the cutting is made relatively short interval in the case of high density condition and is made relatively long interval in the case of low density condition of the sward. It is supposed from the results calculated by eq. (8) and (9) that the maximum plant density in red clover sward under the normal cultivated condition (about 60 days interval of cutting) is 400~500 plants per m<sup>2</sup>.

(J. Japan. Grassl. Sci., 19, 194~200, 1973)