

牧草の乾物生産7.

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	18巻4号
掲載ページ	p. 292-298
発行年月	1972年12月

牧草の乾物生産

第7報 乾物生産量の推定式(乾物生産式)の適合性および活用方法の検討

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5報⁴⁾では、牧草群落のCO₂収支から、乾物生産量を推定する乾物生産式の創出とその検討をした。また、第6報¹⁾では、大型同化箱を用いて草地条件下における群落光合成量を高い精度で測定できる方法を明らかにした。

本報では、圃場に生育する牧草を材料として、再生過程における乾物生産式による推定値と実測値とを比較し、刈取再生を繰り返す牧草栽培様式下における乾物生産式の有効性を検討した。また、この乾物生産式を活用すれば、栽培条件が変化した場合、例えば、異なる個体密度条件下、気温条件下などにおける牧草の乾物生産特性の変化を推定できるものと考えられる。そこで、本報では、乾物生産式を構成している各係数を牧草の乾物生産に関連する要因、(葉面積示数、個葉の光合成能力、植物体の呼吸量など)の各栽培条件における変化との関連で決定し、種々の栽培条件下における牧草の乾物生産特性を推定、解析する方法についても検討した。

材料と方法

実験材料として代表的な寒地型牧草であるオーチャードグラス(*Dactylis glomerata* L.)を用いた。草地は1969年9月に造成したものを1971年5月まで均一な状態になるように肥培管理してきた。この草地を1971年5月に高さ約10cmで均一に刈払い、施肥(要素量でN, 20g/m², P₂O₅, 10g/m², K₂O, 20g/m²)をおこない、その後の再生過程を1971年7月下旬まで定期的に追跡調査した。

測定項目は、オーチャードグラスの地上部、地下部の乾物重量、葉面積示数、群落内部の相対照度、日射量、照度、群落の光合成量、呼吸量などである。乾物重量の測定には、50×50cm²のコードラートを用いて約7日間隔で4点ずつ調査した。なお、地下部の掘上げは、地下部の土壌中の分布から考えて地表下約30cmのところまでおこなった。群落光合成量、呼吸量の測定には、第

6報¹⁾で検討した大型同化箱を用いた。また、群落光合成量の測定は、水平照度と光合成量との間に太陽角度の影響が出易い時刻(朝、夕)を避け、1日の中で最も光合成作用が活発に行なわれる時間帯(午前10時~午後1時)におこなった。さらに、群落の光-光合成曲線の測定には、照度の自然的な変化(時間的な変化、気象的な変化)を利用する他、光強度を6段階(相対照度で75%, 50%, 30%, 20%, 10%, 5%)に調節した遮光幕(サラン製)を予め作製しておき、これを用いた。なお、照度の測定は東芝5号型照度計、日射量の測定は管型日射計でおこなった。群落光合成作用、呼吸作用のCO₂濃度の測定には、赤外線CO₂ガス分析計を用いた。

結果と考察

1. 乾物生産式の適合性の検討

ここでは、第5報⁴⁾で検討した数式の内、(4)式と(8)式とを用いて、オーチャードグラスの刈取後の乾物重の変化を計算し、実測値との適合性について検討した。

$$dw = \alpha(1 - e^{-at}) \cdot dt - (nt + m) \cdot W \cdot dt \dots \dots \dots (4)$$

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

α , a は刈取後の群落光合成量の変化によって決定される係数、 n , m は刈取後の植物体の呼吸速度の変化によって決定される係数、 r は植物体の平均呼吸速度、 W は乾物重、 W_0 は刈取時における乾物重を示す。

第5報⁴⁾で検討しように、(4)式は植物体の呼吸速度の変化 $r(t)$ を実態に良く合わせて、 $r(t) = nt + m$ で近似した場合の式、(8)式は $r(t) = r \dots \dots \text{const.}$ とした場合の式である。

[1] 乾物生産式(4)、(8)式の各係数値の決定

1) 群落光合成量の刈取後の変化

群落光合成量の刈取後の変化は、第5報⁴⁾で検討した

ように、刈取後の葉面積示数の変化、葉面積示数と群落の光合成効率との関連から、(2)式で近似できるものと考えられる。

$$P(t) = a(1 - e^{-at}) \dots\dots\dots (2)$$

群落光合成量の刈取後の変化を(2)式で近似する場合、光合成作用の基盤となる日射量(Cal/cm²・day)を知る必要がある。第1表には、実験期間(55日間)の日射量の変化を示した。第1表から、日射量はその日の気象条件によって種々に変化すること、また、実験期間の平均日射量は、約360 Cal/cm²・dayであることがわかる。

次に、第1図には、実験期間中の平均日射量(360 Cal/cm²・day)に近い日射量を示した日(5月31日、353 Cal/cm²・day; 6月25日、372 cal/cm²・day)の1日の日射量の変化を示した。第1図から、平均的な日射条件における日の主たる日射時間は、大体午前8:00~午後4:00の8時間とすることができる。すなわち、平均日射量(360 Cal/cm²・day)は(0.75 Cal/cm²・min.)×8 hrで表わすことができる。

本実験では、群落光合成量の測定は、照度(Lx)を基準としておこなったので、平均日射量の照度変換をおこなわなければならない。第2図には、実験期間中における平均日射量の日(5月31日、うすぐもりの状態の日)の日射量と照度との関係を示した。なお、この図に示した値は、日出から日没まで定期的に管型日射計と東芝5号型照度計を用いて測定した値である。実験期間中の1日の平均日射量は、(0.75 Cal/cm²・min)×8 hrであったから、これを第2図によって照度変換すると45K lux・8 hr/day(日照量)として表わすことができる。

Table 1. Changes of radiation (Cal/cm²・day) during the experimental period.

Date	Cal	Date	Cal	Date	Cal	Date	Cal
5.26	517	6.10	77	6.25	372	7.10	450
27	121	11	258	26	380	11	533
28	376	12	310	27	330	12	445
29	200	13	320	28	205	13	404
30	234	14	331	29	146	14	400
31	353	15	150	30	476	15	380
6.1	465	16	210	7.1	253	16	404
2	602	17	290	2	99	17	420
3	298	18	559	3	476	18	459
4	159	19	411	4	476	19	581
5	496	20	480	5	476	Mean	362
6	451	21	108	6	287		
7	450	22	443	7	269		
8	451	23	420	8	521		
9	488	24	461	9	331		

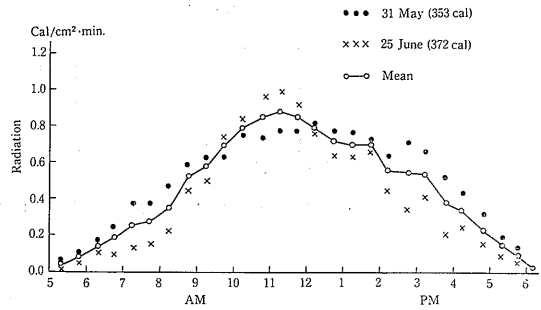


Fig. 1. Diurnal changes of radiation on 31 May and 25 June which showed nearly the average value(360 Cal/cm²・day) of radiation throughout the experimental period.

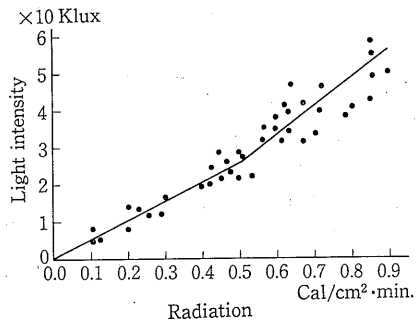


Fig. 2. Relation between radiation and light intensity under the high overcast condition.

次に、第3図には、オーチャードガラスの刈取後の群落の光-光合成曲線の変化を示した。第3図から、群落光合成量は光が強くなる程、また、再生後期段階になる程増加する傾向が見られる。また、第4図には、第3図で示した光-光合成曲線を基礎に平均日照条件(45 K lux・8hr/day)における群落光合成量の刈取後の変化を乾物換算値で示した。なお、CO₂の乾物換算率には0.61を用いた。第4図に示した群落光合成量の変化は、先に示した(2)式で近似される。すなわち、 $P(t) = 27.72(1 - e^{-0.126t})$ で示される。

2) 植物体の呼吸速度 $r(t)$ の変化

第2表には、オーチャードガラスの地上部と地下部の呼吸速度(CO₂ mg/g・hr, 20°C)およびT/R比の刈取後の再生にともなう変化を示した。第2表から、呼吸速度は地上部で高く、地下部で低くなっていることがわかる。また、T/R比は刈取後の再生初期段階では低い値を示すが、刈取後の日数の経過とともに高い値を示す。このことは、呼吸速度が高い地上部の割合が再生後期段階で高くなることを意味し、地上部と地下部とを含めた個

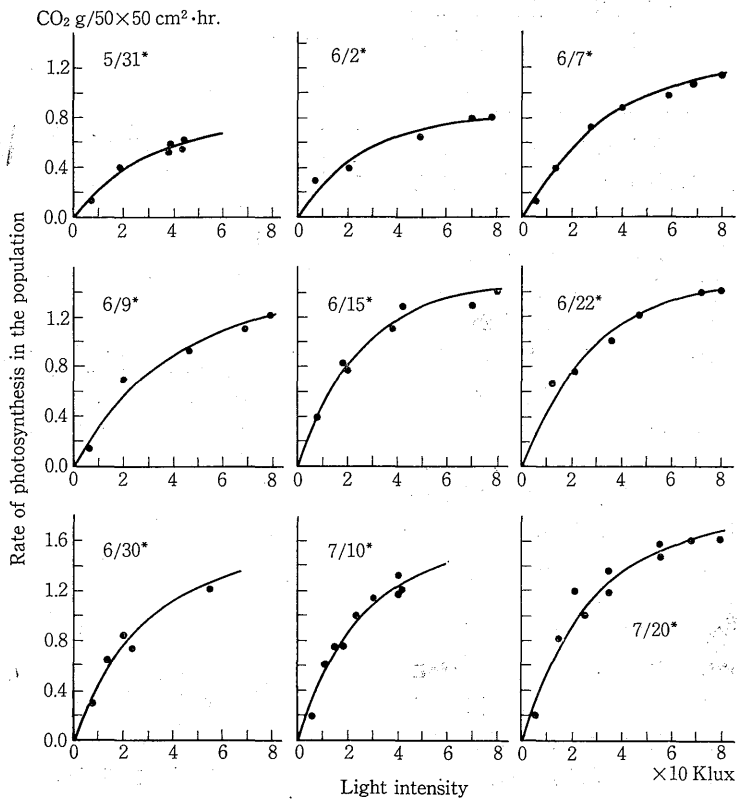


Fig. 3. Changes of light-photosynthesis curves after cutting in orchardgrass population.
(* Numbers indicate measured date)

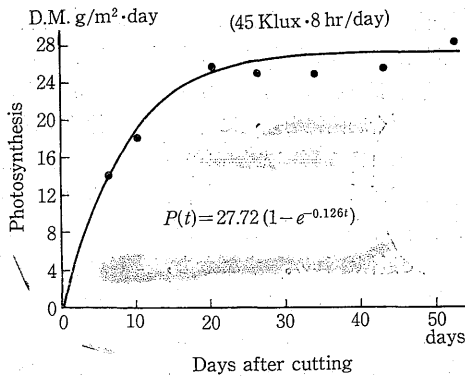


Fig. 4. Changes of the amount of photosynthesis (dry matter weight) after cutting in orchard grass population.

体の呼吸速度は、再生後期段階で高くなることを示すものである。

次に、第5図には第2表に示したオーチャードグラスの地上部と地下部の呼吸速度(乾物換算値)の平均値を基礎に T/R 比の変化と気温条件の変化にともなう植物

Table 2. Changes of respiration rate(CO₂ mg/g·hr; top, root and whole plant) and T/R ratio of orchardgrass during the experimental period.

Date	Top	Root	T/R	Whole plant
5. 27	3.95	1.49	0.34	
6. 4	3.28	0.83	0.55	
11	3.45	0.99	0.78	
18	4.21	0.86	0.82	
25	3.62	0.93	1.21	
7. 2	3.66	0.89	1.60	
12	3.11	0.85	1.63	
19	2.56	0.81	1.31	
Mean	3.48	0.96	1.03	

体の呼吸速度の変化を算出して示した。なお、実験期間中の気温の変化は、開始時には14°C、終了時には18°Cで、後期ほど高くなる傾向にあった。また、気温の変化にともなう呼吸速度の変化は、この実験期間中における温度—呼吸係数の測定値(Q₁₀=2.0)をもって補正した値

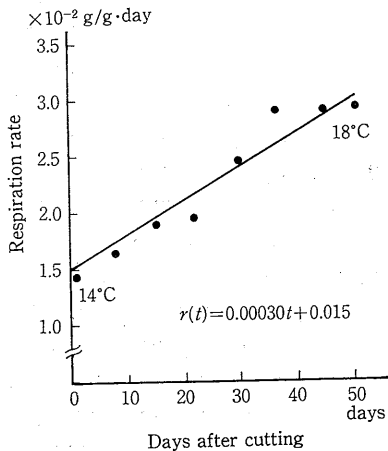


Fig. 5. Changes in respiration rate of orchardgrass after cutting.

である。第5図に示したオーチャードグラスの呼吸速度 $r(t)$ の変化は、 $r(t) = 0.00030t + 0.015$ で示すことができる。

次に、 $r(t) = r \dots \dots \text{const.}$ として扱う場合（(8)式の場合）では、第2表に示した実験期間中の個体の平均呼吸速度 (2.24 mg/g·hr, 20°C) を実験期間中の平均気温 16°C に補正し、乾物換算した値、 $r = 0.023 \text{ g/g}\cdot\text{day}$ を用いれば良い。

[2] 刈取後の乾物重の変化の実測値と計算値との比較

1) (4)式による乾物重の変化の計算

(4)式では、植物体の呼吸速度を時間の経過とともに変動させて扱っている。第3表には、(4)式の各係数値をまとめて示した。第6図-Aには、オーチャードグラスの

Table 3. Constant values in the eq. (4).

α	27.72
α	0.126
n	0.00030
m	0.015
W_0	516.4

刈取後の乾物重の変化の実測値と(4)式からもとめた計算値とを比較して示した。計算値は実測値に比べて若干低い値を示しているが、実測値と計算値の乾物重の変化曲線は、ほとんど同一のパターンを示していることがわかる。このように、計算値と実測値とが傾向的によく一致しているのは、第6報¹⁾で検討したように同化箱法の採用により圃場条件での牧草群落の光合成量、呼吸量が高い精度で測定できること、また、(4)式では群落光合成量、呼吸速度の変化を実態によく適合させて扱っていることなどによるものと考えられる。

次に、計算値と実測値との間に差が生じたのは、群落光合成量、呼吸量、乾物重の測定誤差、あるいは、群落光合成量、呼吸速度の変化を数式化する場合における近似式のズレなどの他に、1日の群落光合成量を実験期間中一定の日照条件（実験期間中の平均値）を基礎として求めていること、あるいは、気温を植物体温度として呼吸速度を算出したことなどが考えられる。これらの内、特に問題となるのは日照量の扱い方であると考えられる。照度と群落光合成量との関係は、直線的なものではないので、1日の総日照量が同一の日においても、その日の気象条件によって、群落の1日の総光合成量は変化するものと考えられる。ここでは、実験期間中の日照条件を

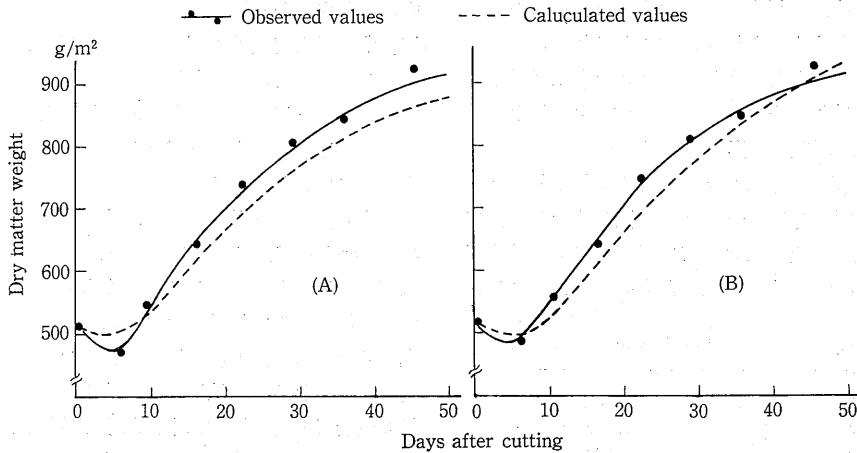


Fig. 6. Comparison of observed values with calculated values(A, calculated by eq.(4);B, calculated by eq.(8))of the dry matter weight of orchardgrass.

同一条件(45 klux・8 hr/day)として群落光合成量を算出してあるので、この値と実際の群落光合成量の値との間にズレを生じる危険がある。このことに関しては、今後の検討が必要であるが、実験期間中、1日の日照量を一定(平均値)として求めた群落光合成量を基礎に計算したオーチャードグラスの乾物重の変化は、実測値によく適合し、この方法による推定は、かなり高い精度でおこない得ることがわかった。

2) (8)式による乾物重の変化の計算

1)で検討したように、(4)式による計算値は実測値によく適合したが、(4)式では、数値計算が容易ではなく、その活用範囲は限定されるものと考えられる。ここでは、数値計算が容易なため活用範囲が広いと考えられる(8)式によって刈取後の乾物重の変化を計算し実測値との適合性を検討する。

第4表には、(8)式の各係数値をまとめて示した。なお、個体の呼吸速度(r)は、実験期間中の平均 T/R 比、平均気温条件下における値である。

次に、第6図-Bには、第4表に示した各係数値を(8)式に代入し、計算して求めた乾物重の変化を実測値と比較して示した。第6図-Bによれば、計算値と実測値とは、ほぼ一致しているが(3)式を用いた場合(第6図-A)に比べて実測値に対する適合度は落ちるようである。これは、(8)式の性質上起きる現象で、この式では呼吸速度の変化を $r(t) = r \cdots \text{const.}$ として扱っているためである。(8)式で用いた平均呼吸速度(r)は、低温条件でしかも T/R 比が低い再生初期段階では、実際の場合に比べて高い値で扱われるため、計算値の乾物増加速度は実測値よりも低くなる。これに対して、気温が高まり、T/R 比も大きくなる再生後期段階では、(8)式で用いる平均呼吸速度(r)は、実際の場合よりも低く扱われるため、計算値は実測値よりも大きな値を示すことになる。

この実験期間は、5月～7月の一年間の中で気温の上昇が最も激しい時期であり、また、実験に用いたオーチャードグラスには若干の出穂が認められたことから、T/R 比の変動も激しくこれら2つの要因が相乗効果として作用し、植物体の呼吸速度の変化が激しくなり、植物体の呼吸速度を一定として扱っている(9)式による計算値と実測値との間の差が大きくなったものと考えられる。

実験期間が、気温の変化が少ない時期、T/R 比の変動が少ない時期、あるいは、地上部と地下部の呼吸速度の差が少ない草種の場合では、植物体の呼吸速度の変動が原因となる計算値と実測値との差は小さくなるものと考えられる。しかしながら、第6図-Bに示したように植物体の呼吸速度の変動が激しい時期にもかかわらず、 $r(t) = r \cdots \text{const.}$ として扱った場合の計算値は実測値にほぼ近い値を示し、ある一定期間の牧草の乾物重のおおよその変化を推定する場合には、(8)式は十分活用できるものと考えられる。このことは、植物体の呼吸速度の変動中は、ある一定期間(一般的な刈取期間、50～60日)における乾物重の変化を計算する場合には、特に大きな支障とならないことを意味するものである。

なお、ここでは、オーチャードグラスの場合について検討をおこなってきたが、他にトールフェスク(*Festuca arundinacea* SHR.)、アカクロバ(*Trifolium pratense* L.)についても乾物生産式(4)、(8)の適合性の検討をおこなった。トールフェスク、アカクロバの場合についても、ここで論じてきたオーチャードグラスの場合と同様の結果が得られ、乾物生産式の有効性が実証された。

2. 乾物生産式(8)の活用方法の検討

乾物生産式(8)は、簡単に係数値を決定することができ、しかも、数値計算が容易であることから、この式の活用範囲は広いものと考えられる。ここでは、(8)式の活用方法、すなわち、ある一つの栽培条件下において決定されている(8)式の各係数値を基礎に種々の栽培条件下における乾物重の変化(乾物生産曲線)を推定する場合の各係数値の決定方法について検討する。

乾物生産式(8)は、第5報¹⁾で検討したように群落光合成量の刈取後の変化を示す式 $P(t) = \alpha(1 - e^{-at}) \cdots (2)$ と植物体の呼吸速度(r)との組合せにより創出されている。したがって、栽培条件に応じて(8)式の各係数値の決定をおこなう場合、栽培条件の変化によって群落光合成量 $P(t)$ と呼吸速度 r とがいかなる変化を示すかを配慮すれば良いことになる。

(2)式の特長から考えて、刈取後の再生後期段階では、 $t \rightarrow \infty, e^{-at} \rightarrow 0$ となるので $P(t) \rightarrow \alpha$ となる。しかるに α は再生後期段階で示される群落光合成量の飽和値(最大値)は、第2報²⁾で検討したように、葉面積示数×個葉の光合成能力×吸光係数(受光態勢)×日照量の4者の関連で決定される。草地は、一般的な栽培条件では、再生後期段階で光合成活動に十分な葉面積指数を保持するから、再生後期段階で示される群落光合成量の飽和値(α)は、主に、個葉の光合成能力、吸光係数、日照量 $\times 3$ 者

Table 4. Constant values in the eq. (8).

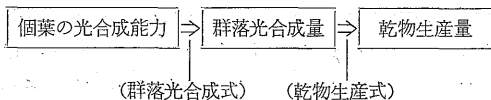
α	27.72
a	0.126
r	0.023
w_0	516.4

の関連で決定されるものと考えられる。しかるに、これら3要因を栽培条件の変化に応じて捕え、第2報⁹⁾で検討した群落光合成式⁵⁾を用いれば、係数 α を各栽培条件毎に決定することができる。

次に、(2)式を t について微分すると $P'(t) = \alpha \cdot a \cdot e^{-at}$ となり、この式から刈取後の任意の日(t)における群落光合成量の増加速度を求めることができる。この式から、刈取時($t=0$)における群落光合成量の増加速度は、 αa であることがわかる。この αa には、先に示した群落光合成量に関連する4要因が影響してくるが、特に重要な要因として個葉の光合成能力と葉面積の増加速度とが考えられる^{3,6,7)}。特に、 α が一定の場合(個葉の光合成能力、吸光係数、日照量に変化しない場合)では、群落光合成量の刈取後の再生初期段階における増加速度は、係数 a と直接関連し、係数 α は刈取時の葉面積示数の増加速度によって決定されることになる。

次に、植物体の呼吸速度 r は、温度条件などによって変化するが、簡単に実測することが出来るので、係数 r の決定には特に問題はないものと考えられる。また、刈取時の残存乾物重を示す係数 W_0 も実測値を用いれば良く、係数値の決定には、特に問題はないといえる。

以上に述べてきたような考え方で、種々の栽培条件下における(8)式の各係数値を定決していけば、各栽培条件下における乾物生産量の推定、あるいは、乾物生産解析が可能になるものと考えられる。また、第2報⁹⁾で検討した群落光合成式を乾物生産式(8)に関連させると、個葉の光合成能力から群落光合成量を推定し、群落光合成量から牧草の乾物生産量の推定が可能となる。



ここに検討してきた方法による種々の栽培条件下における乾物生産量の推定あるいは乾物生産解析の例については、第8報以下で具体的に検討する。

摘 要

1. オーチャードグラスを用いて、刈取後の乾物重の変化を第5報で述べた乾物生産式(4),(8)により計算し、実測値と比較検討した。

$$dw = \alpha(1 - e^{-at}) \cdot dt - (nt + m) \cdot W \cdot dt \dots\dots\dots(4)$$

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

2. その結果、(4),(8)式による計算値は、実測値には近い値を示し、特に(4)式の適合性は優れていた。しかしながら、乾物生産量の推定、あるいは乾物生産解析には、係数値の決定、計算の容易さから考えて、(8)式の方が活用範囲は広いものと考えられた。

3. (8)式を用いて、種々の栽培条件下における乾物生産量の推定、あるいは乾物生産解析をおこなう場合に必要な各係数値の決定方法について検討した。

引用文献

- 1) 梶 和一・窪田文武・鎌田悦男：日草誌投稿中
- 2) 窪田文武・梶 和一，鎌田悦男：日草誌. 17, 229 (1972)
- 3) ————：日草誌. 17, 243(1972)
- 4) ————：日草誌投稿中
- 5) M. Monsi und SAEKI, T.: Jap. J. Bot. 14, 22 (1953)
- 6) T. SAEKI: Bot. Mag. Tokyo. 73, 55(1960)
- 7) 村田吉男：稲の形態と機能(松尾孝嶺編)養賢堂・東京. pp 87~131(1966)

(昭和47年5月28日受理)

Dry Matter Production of Forage Plants

VII. Examination of the adaptation and the methods of application of the equations for calculating the amount of dry matter production

Fumitake KUBOTA, Waichi AGATA and Etuo KAMATA

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

Summary

1. Calculating the variation of dry matter weight in orchardgrass population after cutting by eqs. (4) and (8), we compared the calculated values with observed values.

$$dw = \alpha(1 - e^{-at}) \cdot dt - (nt + m) \cdot W \cdot dt \dots\dots\dots (4)$$

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

α and a are constants which indicate the variation of photosynthesis in plant community after cutting. n and m are constants which indicate the variation of respiration rate of plant after cutting. r is a constant which indicates the mean respiration rate of plant. W_0 is a constant which indicates the dry matter weight at cutting.

2. The values which were calculated by eqs. (4) and (8) approximately agreed with the observed values. The adaptation of eq. (4) was especially good. But it was considered that the area of application of eq. (8) would be broader than that of eq. (4) in the case of estimating the amount of dry matter production and analysing the dry matter production because the decision of constants and calculation were easy in eq. (8).

3. We examined the method of decision of each constant, which was necessary in the case of calculating the amount of dry matter production and analysing the dry matter production by eq. (8) under many cultivating conditions.

(J. Japan. Grassl. Sci., 18, 292~298, 1972)