

牧草の乾物生産 第11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3号 |
| 掲載ページ | p. 292-301 |
| 発行年月 | 1973年10月 |

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

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)

牧草の乾物生産に影響する気象要因としては、気温、日射量、日長時間、降水量などが考えられる。本報では、これらの要因のうち、群落のCO₂収支に最も密接に関連する要因として、気温と日射量とを考え、2要因が牧草の乾物生産におよぼす影響を代表的イネ科草種であるオーチャードグラスを供試して検討した。

作物の乾物生産におよぼす気温と日射量の影響については、多くの研究報告がなされているが、一般にポット水準でおこなわれた実験^{3,11,19,21,22})が多く、群落水準のものは少ないようである。この原因として、この種の実験を群落水準でおこなうことは、実験設備、労力などの面からみて限界があるためであると考えられる。しかし、一般作物、とりわけ牧草の場合は、群落水準で栽培されるので、この水準での乾物生産解析が必要である。

そこで、本報では各乾物生産要因におよぼす気温と日射量の影響をはじめにポット水準の実験によって明らかにし、次に、この結果を基礎資料として第7報⁷⁾で検討した乾物生産式(8)、CGR式(9)などを用いて群落の水準で乾物生産におよぼす気温と日射量の影響を検討した。

材料と方法

群落の乾物重、CGRの変化を推定するために、第7報⁷⁾で検討した乾物生産式(8)、CGR式(9)を用いた。さらに、CGR_{max}が刈取後何日目に示されるかを知るために(12)式を用いた。(12)式は、(9)式を t について微分し、CGR'=0と置いて求めた式である。

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

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

$$T_{(c,max)} = \frac{1}{a-r} \ln \frac{\alpha a^2}{\alpha ar + r^2 W_0 (r-a)} \dots\dots(12)$$

(W は乾物重、 W_0 は刈取時における乾物重、 α 、 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、 r は植物体の呼吸速度、 $T_{(c,max)}$ は刈取後CGR_{max}に達するまでの日数)

上式は、第5報⁶⁾、第7報⁷⁾で検討したように群落光合成量の変化と植物体の呼吸速度との関係から導かれている。気温と日射量の変化を基礎に(8)、(9)式の各係数値を決定する場合、これらの2要因が群落光合成量、植物体の呼吸速度に与える影響を第7報⁷⁾で述べた方法に従って決定すれば、種々の気温条件、日射量条件下における乾物重、CGRの変化をもとめることができる。

ここでは、第7報⁷⁾で検討したオーチャードグラス(*Dactylis glomerata* L.)草地における(8)、(9)式の各係数値(実験期間5月~7月、この期間中の平均日射量360 cal/cm²·day、平均気温16°C)を基準にして、気温、日射量の変化に応じて各係数値を決定した。以下では、各係数値を各条件下で決定するためにおこなった実験方法についてのべる。

1) 実験 I

気温がオーチャードグラスの葉面積生産と個葉の光合成能力におよぼす影響

1970年8月18日~9月10日、11月19日~12月18日の2回に分けて自然光利用の人工気象室を用いて実験した。2回に分けたのは、人工気象室の温度制御能力から見て、1回目の夏季高温時では低温状態を実現することが困難であったため、初冬に低温領域に関する2回目の実験をおこなった。

両実験とも、同一栄養系の材料をポット(1/5000 a)に予め生育させておき、これを実験開始時に高さ3 cmに刈払い、第1回目の実験では、気温(昼夜一定条件)を

* 現在、農林省北海道農業試験場草地開発第二部(札幌市豊平区羊ヶ丘)

15°C, 20°C, 25°C, 30°Cの4段階に、また、第2回目の実験では、5°C, 10°C, 15°C, 20°Cの4段階に調節した人工気象室の中で再生長さ、葉面積の増加速度を測定した。なお、実験は各区3連でおこない、肥料は、ポットあたり要素量で、N, 2.5 g, P₂O₅, 5.0 g, K₂O, 2.5 g施用した。

また、個葉の光合成能力は、気温条件の変化に応じて、時期別に測定した値を用いた。すなわち、1970年2月～1971年1月にかけて、同一栄養系を材料とし、光合成作用が最も盛んにおこなわれていると考えられる個葉(第2～第3葉)を用いて、各時期ごとに一定光条件(70 k lux)において気温0°Cから5°Cごとに45°Cまで段階的にP₀を測定し、温度—光合成曲線を作成して、各生育気温段階における個葉の光合成能力をもとめる資料とした⁷⁾。同化箱内への通気量は、1 l/cm²・hrを基準¹⁴⁾とした。

2) 実験 II

気温がオーチャードグラスの呼吸速度におよぼす影響

植物体の呼吸速度の温度係数(Q₁₀)は、生育条件が高温時期と低温時期とでは、異なる可能性が考えられる¹⁵⁾。ここでは、高温期と低温期(1969年7月と10月)の2回にわたって、刈取後の再生中期段階(刈取後3週間前後)の地上部を用いて気温5°C～30°Cの範囲で呼吸量を測定しQ₁₀の算出をおこなった。

3) 実験 III

日射量がオーチャードグラスの葉面積生産におよぼす影響

光条件を4段階(相対照度で100%, 50%, 20%, 10%)に変えた条件下で、発芽後約2週間目の個体をポット(1/5000 a)あたり30個体に間引いて生育させ実験をおこなった。なお、光条件の調節には遮光幕(サラン製化学繊維)を張った枠を用いた。実験期間は、1968年9月25日～10月23日の約1カ月間で、この間に葉面積の測定を3回おこなった。なお、実験は施肥量をポットあたり要素量でN, P₂O₅, K₂Oとも各1gずつとし、3連でおこなった。

実験結果

1) 気温がオーチャードグラスの乾物生産におよぼす影響

ここでは、第7報⁷⁾で検討したオーチャードグラスの乾物生産式(8)、CGR式(9)の係数値を基礎に、異なる気温条件下における群落の乾物生産量、CGRを推定した。以下では、各気温条件下における乾物生産要因の変化とこれにともなう(8)、(9)式の各係数値について順次検

討を進める。

i) 葉面積生産におよぼす気温の影響

葉面積生産速度は、刈取後の牧草群落の光合成量を左右する重要な要因である。第1図Aには、気温の変化にともなうオーチャードグラスの葉面積の変化を示した。ここでは、16°Cにおけるオーチャードグラスの(8)、(9)式の各係数値を基準にして、異なる気温条件下における係数値を決定する場合に便利なように16°Cにおける測定値を1.0とし、他はこれに対する比率で示した。なお、ここでは、気温と葉面積生産との関係を得るため、2回の実験(夏期に高温域、冬期に低温域)をおこなったが、第1図Aには、2回の実験で得た数値を16°Cを1.0として結びつけ、5°Cから30°Cまでの葉面積生産速度(比率)を示した。第7報⁷⁾で検討したように、葉面積生産速度は、主に、刈取後、再生初期段階の群落光合成量の増加速度を支配する要因であるので、刈取後の早い時期の測定値を用いるのが良い。第1図Aに示した測定値

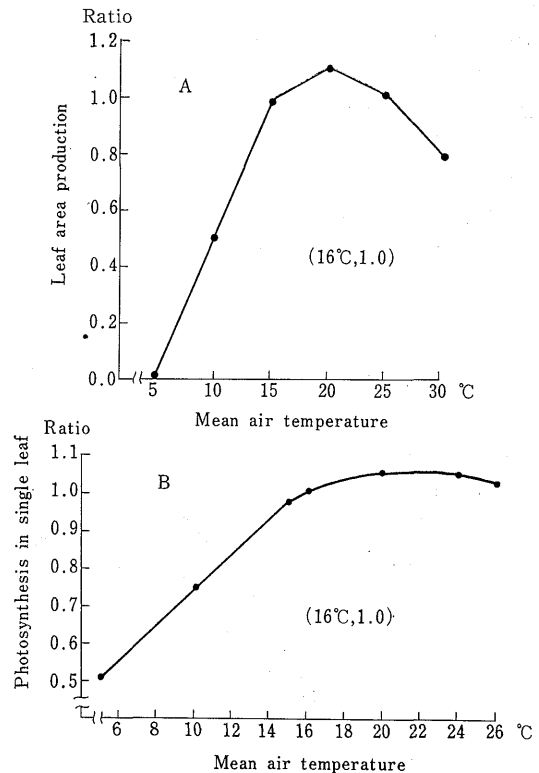


Fig. 1. The effect of mean air temperature during the growth period on leaf area production and photosynthesis of orchardgrass.

Fig. B, Photosynthesis was measured under the day time air temperature which was 2.5°C above the mean values of day and nighttime.

は、実験開始後1ヵ月目の値であるので、再生初期段階の葉面積の動きを把握する資料としては、測定日が遅過ぎるようであるが、これは、各気温条件に植物体を十分順応させるための処置であった。

第1図Aから、気温とオーチャードグラスの葉面積の増加速度との間には、最大値を持つ凸型曲線となる関係が見られ、葉面積の増加速度は、20°Cで最大値を示し、20°C>25°C=15°C>30°C>10°Cの順に低下する傾向が見られた。気温が寒地型牧草の葉面積生産におよぼす影響については、武田ら(1964)¹⁹⁾、COOPERら(1968)⁵⁾、TAYLERら(1968)²¹⁾、佐藤ら(1969)¹⁷⁾などの報告があるが、これによれば、寒地型牧草の葉面積の増加速度は、一般に気温20°C前後で最大値を示すようでありここで得られた測定値とほぼ同様の傾向にあることがわかった。

ii) 個葉の光合成能力におよぼす気温の影響

群落光合成量を変動させる要因として、気温による個葉の光合成能力の変化がある。気温による牧草の個葉の光合成能力の変化については、村田ら(1963)¹⁴⁾、梶ら(1971)¹⁾の報告がある。これらの報告によれば、個葉の光合成能力は、気温の変化にともない変動するが、葉面積生産速度の変化に比べて小さいようであり、牧草以外の作物においても同様の傾向にあるものが多いようである¹⁸⁾。第1図Bには、オーチャードグラスの各生育気温条件下における個葉の光合成能力を16°Cにおける値を1.0として、他はこれに対する比率で示した。なお、生

育期間の平均気温に比べて、日中(光合成時間帯)の気温は、平均2.5°C高かったので、第1図Bには生育気温の平均値よりも2.5°C高い条件で測定した光合成量を示した。第1図Bから、オーチャードグラスの個葉の光合成能力は生育気温、15°C~25°Cの範囲ではほとんど一定であり、15°C以下、(日中光合成時間帯の気温では17.5°C以下)の低温条件では低下することがわかる。

以上のべてきたように、気温にともなう群落光合成量の変化には、葉面積生産速度と個葉の光合成能力とが強く関連しているといえる。ここでは、群落光合成量の変化に関連する係数 α 、 α (8)式(9)式の各気温条件下における値を葉面積生産速度と個葉の光合成能力の変化に応じて、前報までに検討してきた方法で決定した^{7,8)}。すなわち、ここでは、日射量360 cal/cm²·day、気温16°Cの時の係数($\alpha=0.126$, $\alpha=27.72$)を基準にして、各気温段階の α の値は、 $\alpha=0.126$ に第1図Aに示した各気温段階における葉面積生産速度の比率(16°Cが1.0)を

Table 1. Constant values of eq. (8) and (9) at various air temperatures.

| Temp. (°C) | α | a | γ | W_0 |
|------------|----------|-------|----------|-------|
| 8 | 18.02 | 0.034 | 0.016 | 516.4 |
| 12 | 23.56 | 0.082 | 0.020 | 516.4 |
| 16 | 27.72 | 0.126 | 0.023 | 516.4 |
| 20 | 29.11 | 0.142 | 0.028 | 516.4 |
| 24 | 29.11 | 0.130 | 0.035 | 516.4 |

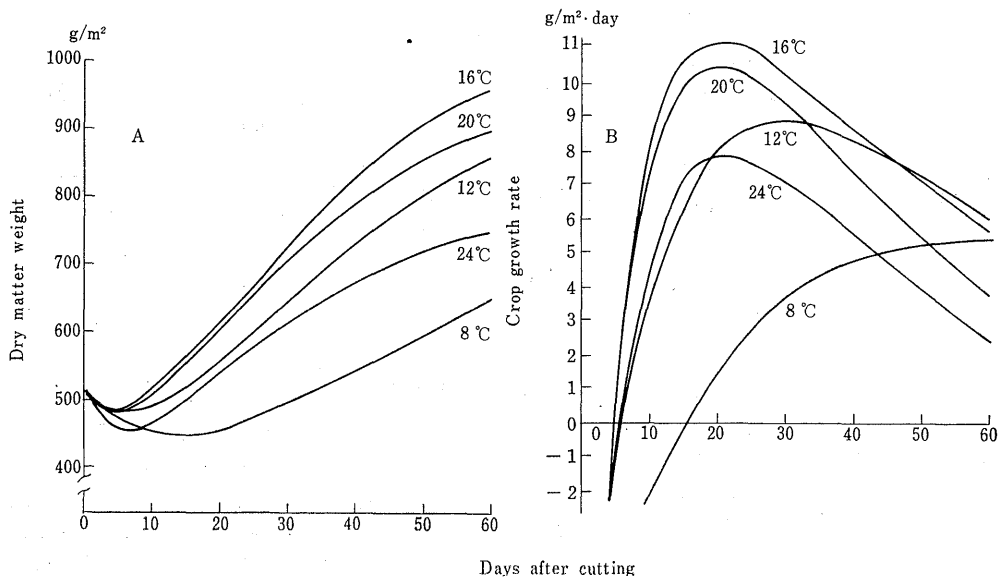


Fig. 2 The changes of dry matter weight and crop growth rate in orchardgrass sward at various air temperatures. (Dry matter weight and crop growth rate were calculated from eq. (8) and (9), respectively.)

乗じて、また、 α の値は、 $\alpha=27.72$ に各気温段階における個葉の光合成能力(第1図B)を乗じてもとめた。

iii) 植物体の呼吸速度におよぼす気温の影響

植物体の呼吸速度は、気温によって異なり、気温が高くなるほど高まるのが一般である^{15,18)}。ここでは、高温期(8月)と低温期(10月)にオーチャードグラスの呼吸速度を測定したが、両者の温度係数(Q_{10})の平均値は、 $Q_{10}=1.65$ で寒地型牧草の呼吸速度の温度係数としては妥当な値であった¹⁵⁾。ここでは、 $Q_{10}=1.65$ により各気温条件下における植物体の呼吸速度(r)の決定をおこなった。

iv) オーチャードグラス草地の乾物生産量とCGRにおよぼす気温の影響

i)~iii)の結果をもとに、第1表には乾物生産式(8)、CGR式(9)の各係数値を各気温条件ごとに決定して示した。第1表の各係数値を(8)、(9)式に代入し、第2図A、Bには、各気温条件下における乾物重とCGRの刈取後の変化を計算して示した。

第2図から、最も乾物生産量が大きくなったのは、16°C区であり、次いで20°C、12°C、24°Cの順になっている。この傾向は、第2図Bに示したCGR曲線からも見ることができ、刈取後のCGRの増加速度が最も速く、しかも、 CGR_{max} が最も高かったのは16°C区であった。これらのことから、オーチャードグラスの生産効率が最も高い気温条件は、昼夜平均気温16°C前後であるといえる。この場合、注目されることは、葉面積生産速度が最も速く、群落光合成量の増加速度が最も速くなる気温条件は、20°Cであるのに対し、乾物生産効率が

最も高まるのは、16°Cにおいてであることである。

2) 日射量がオーチャードグラスの乾物生産におよぼす影響

気温が一定の状態では日射量のみが変化した場合、(8)、(9)式を構成する要因(群落光合成量、植物体の呼吸速度)の内、強く影響を受けるのは群落光合成量であると考えられる。ここでは、日射量によって直接影響され難い植物体の呼吸速度(r)を一定として扱い、群落光合成量に関係する係数(α , a)を支配する要因(個葉の光合成能力、葉面積生産速度など)について日射量の影響を検討するとともに、これを基礎に各日射量条件下における乾物生産量とCGRの計算をおこなった。

i) オーチャードグラスの個葉の光合成能力、葉面積生産速度、群落光合成量におよぼす日射量の影響

第3図A、Bには、生育期間中の日射(相対照度)条件と個葉の光-光合成曲線(A)、および葉面積の生産速度(B)との関係を示した。第3図Aによれば、個葉の光-光合成曲線の飽和点は、弱光下で生育したほど低くなっている。また、個葉の最大光合成能力(P_{max})は、強光下で生育した場合に高い値を示している。このことは、強光下で生育した個葉は強光下で、また、弱光下で生育した個葉は弱光下で、各々より高い光合成能力を示すという適応現象があることを意味^{16,22)}している。

普通の栽培条件下における光強度の変化(1刈取期間の平均値)の巾は、軽井沢地方では最高値が、5月~6月に350 cal/cm²·day前後に対し、最低値は、9月~10月に250 cal/cm²·day前後で、最高値に対する最低値の割合は約70%である。第3図では相対照度を用いて

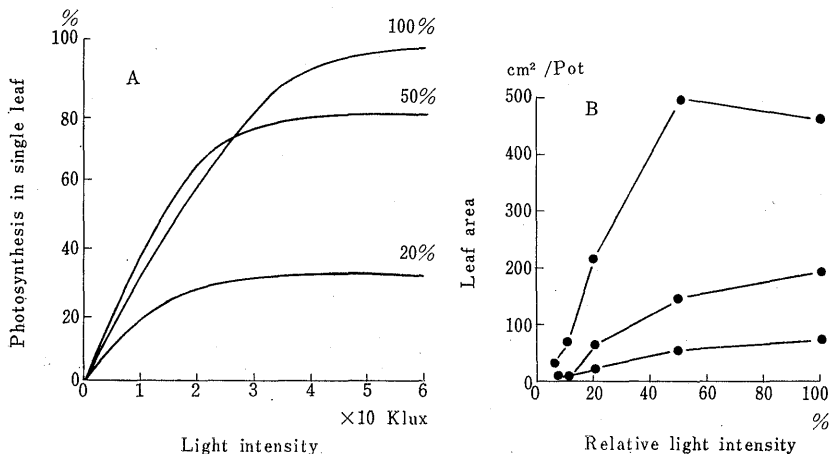


Fig. 3. The effect of light intensity on the light-photosynthesis curves in single leaf and leaf area production of orchardgrass. (Numbers in Fig. A indicate relative light intensity conditions during the growth period. In Fig. B the growth periods under each light condition were 2, 3 and 4 weeks.)

検討しているので日射量の場合とは若干異なるが、第3図Aに示した相対照度100%と50%（普通の栽培条件下における光強度の範囲）とで生育させた個葉の光合成能力は、強光下では100%区が、弱光下では50%区が勝っていた。実際栽培上では、光環境条件は、最高値に対する最低値の比が70%であったことから判断すると個葉の光合成能力は、第3図Aに示した相対照度100%区と50%区との差よりも小さくなる可能性があると考えられる。また、群落の受光特性より考えて、100%区と50%区における個葉が群落を形成した場合、両者の群落光合成量の差は、個葉の光合成量の差よりもさらに小さくなるはずである。このことについては、後で詳しく検討する。以上のべてきたことから、ここでは、普通の栽培状態の光条件下では、季節的条件の変化が個葉の光合成能力に差異をもたらす、これが原因で群落光合成能力に差異が生じることはないものとした。

次に、第3図Bに示した相対照度と葉面積生産との関係を見ると、各生育段階を通して葉面積は相対照度50~100%の範囲では、大きな差はないが20%以下の低照度条件になると急激に低下することがわかる。葉面積においても、個葉の光合成能力の場合と同様、一般的な栽培条件（相対照度で100%から50%の範囲）では、光強度による葉面積生産の差はほとんどないものと考えられる。

次に、群落光合成量に影響をおよぼす要因として、日射エネルギーそのものが考えられる。群落光合成量は、日射が増加するに従って増加するわけであるが、群落光合成量には日射の量的なもののみでなく、質的なものも影響してくる。しかるに、同一状態の群落に同一量の日射エネルギーが供給されたとしても群落光合成量は、必ずしも同一ではない。日射と群落光合成量とは、相当複雑な関係にあると言えるが^{9,10,11)}、ここでは、(8)式、(9)式の各係数値を第7報⁷⁾で検討した測定値を基礎に、以下のべる方法で決定した。

第4図には、乾物生産式の群落光合成量に関連する係数(群落光合成量の最大値(P_{max})を示す係数 α)を決定する規準として日射量と群落光合成量との関係を示した。第4図の群落の日射—光合成曲線は、LAI=6.0の状態では、供給日射エネルギーのほとんどを利用し尽していると考えられる群落において得られた値である。なお、第4図の値は、乾物生産式(8)、CGR式(9)の係数決定の便宜上、基準とした日射量(360 cal/cm²·day)における光合成量を1.0とし、他はこれに対する比としてもとめたものである。図に示したように群落光合成量(P_0)と日射量(R_a)との関係は、双曲線式 $P_0 = 0.00658 R_a / (1 + 0.00380 R_a)$ で示され、各日射量段階における係数 α は、

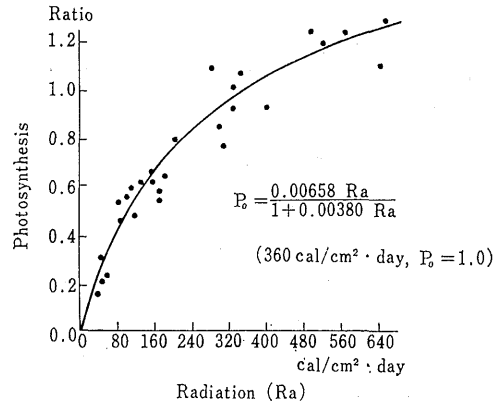


Fig. 4. Relation between solar radiation and photosynthesis in orchardgrass sward. (LAI=6)

基準にした日射量(360 cal/cm²·day)における α の値($\alpha=27.72$)に双曲線式より得られる各日射量段階における値(比)を乗じてもとめた。

ii) 乾物生産量とCGRにおよぼす日射量の影響

第2表には、日射量の変化にともなう乾物生産式(8)、CGR式(9)の各係数値をまとめて示した。第5図A、Bには、(8)式、(9)式に第2表の各係数値を代入して、各日射量条件下における刈取後の乾物重、CGRの変化を計算して示した。なお、第2表、第5図に示した日射量は、基準とした日射量(360 cal/cm²·day)を100とし、432 cal(120)、288 cal(80)、216 cal(60)、144 cal(40)である。

第5図Aから、乾物生産量は、日射量が高い条件ほど高くなる傾向が見られる。また、第5図Bに示したCGR曲線からも同様なことを知ることができ、高い日射量条件ほど刈取後のCGRの増加率は高く、また、CGR_{max}も大きくなっている。

3) 気温と日射量がオーチャードグラスの乾物生産におよぼす影響

1)、2)では、気温と日射量とが個々に変化した場合の乾物生産の変化についてのべてきたが、3)では、両要因

Table 2. Constant values of eq. (8) and (9) under various radiations.

| Radiation (Ratio) | α | a | γ | W_0 |
|-------------------|----------|-------|----------|-------|
| 144 (40) | 16.97 | 0.126 | 0.023 | 516.4 |
| 216 (60) | 21.65 | 0.126 | 0.023 | 516.4 |
| 288 (80) | 25.09 | 0.126 | 0.023 | 516.4 |
| 360 (100) | 27.72 | 0.126 | 0.023 | 516.4 |
| 432 (120) | 29.83 | 0.126 | 0.023 | 516.4 |

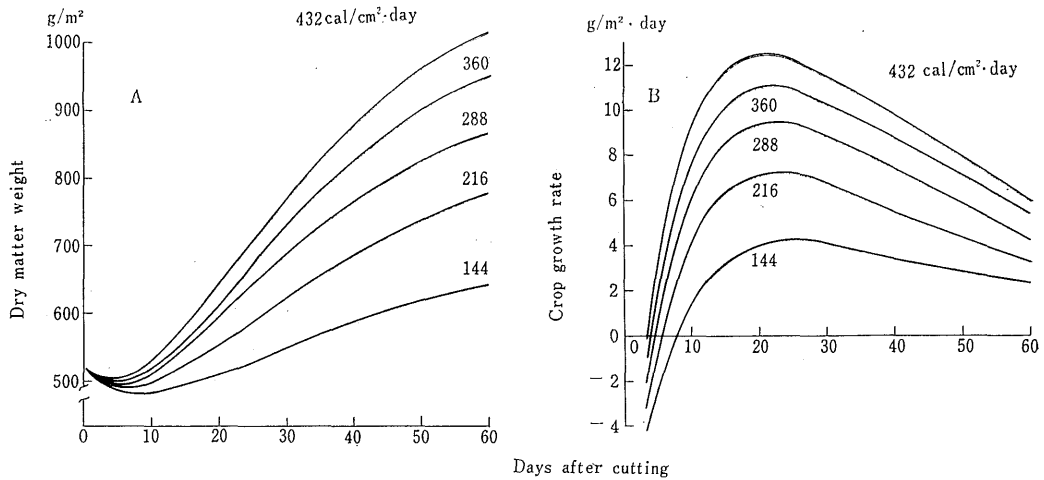


Fig. 5. The changes of dry matter weight and crop growth rate in orchardgrass sward under various radiations. (Dry matter weight and crop growth rate were calculated from eq. (8) and (9), respectively.)

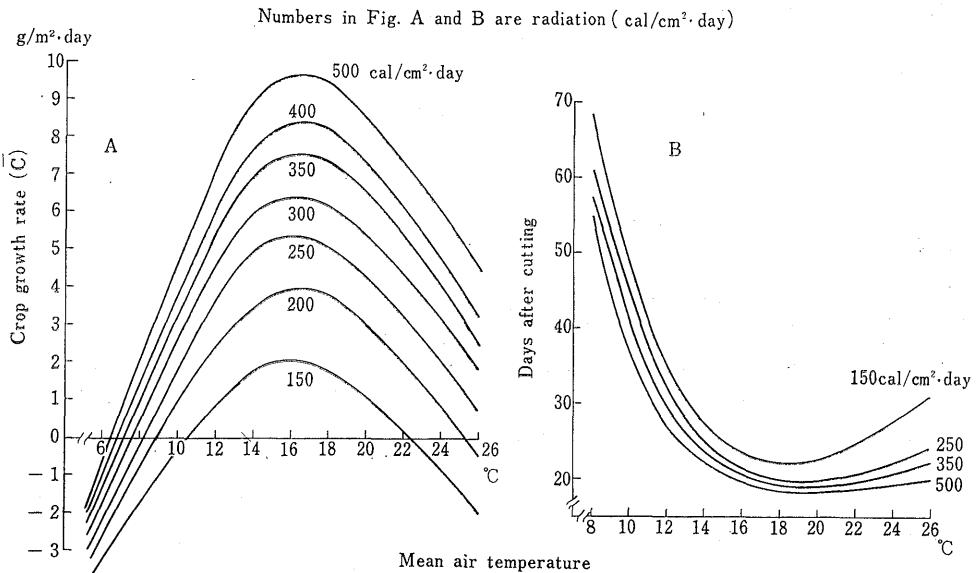


Fig. 6. Mean crop growth rate (\bar{C}) in orchardgrass sward during the regrowth period (45 days) under various conditions of air temperature and radiation. (A) Periods from the day of cutting till the day when the maximum crop growth rate (CGR_{max}) was showed. (B) (The values of Fig. B were calculated from eq. (12))

が同時に変化した場合の乾物生産の変化についてのべる。1)で検討したように気温は、乾物生産式(8), CGR式(9)の各係数の内、 α , a , r に、また、2)で検討したように日射量は、 α に影響をおよぼす。3)では、 α , a , r の各係数値を1), 2)で検討してきた方法に従って、種々の気温、日射量条件下において決定し、乾物生産量、CGRなどの推定をおこなった。

第6図Aには、日射量が150 cal/cm²·dayから500 cal/cm²·dayに段階的に変化し、気温が6°Cから26°Cに変化した場合の種々の日射量、気温条件下における平均CGR(\bar{C})の値を示した。 \bar{C} は、刈取後45日間の平均値である。すなわち、 \bar{C} は、刈取後45日目の乾物重量(W_1)を(8)式からもとめ、 W_1 から、刈取時(再生開始時)の乾物重量(W_0)を差し引き、刈取後の経過日数

(T , $T=45$ 日)で除した値である。

$$\bar{C} = \frac{W_1 - W_0}{T}$$

第6図Aから、 \bar{C} は、どの気温条件下においても日射量の増加にともない増加することがわかる。また、 \bar{C} の最大値が示される気温(最適気温 $^{\circ}\text{C}$)は、 16°C 前後に見られ、この値は、日射量の変化によって変動せず、ほとんど一定であった。

次に、乾物生産解析において重要な意味を持つ CGR_{max} が刈取後何日目に示されるかを(12)式からもとめて第6図Bに示した。この図から、日射量が高いほど刈取後 CGR_{max} が示される日数が短いこと、また、各日射条件下で CGR_{max} が示されるまでの日数が最も短くなる気温条件は、 $18^{\circ}\text{C}\sim 20^{\circ}\text{C}$ であり、最も生産速度が高まる気温条件(16°C)よりも若干高いことが注目される。ここに示した日射量と気温の範囲(一般的な栽培条件における日射量と気温の範囲)では、刈取後、 CGR_{max} が示されるまでの日数は、気温によって影響されるところが大きく、特に低温条件下では、この日数は非常に長くなることがわかった。

考 察

第2図A, Bに示したように、オーチャードグラスの生産の適温は、気温 16°C 前後であることが明らかになった。寒地型牧草の生育適温については、MITCHELL(1956)¹²⁾、武田ら(1964)¹⁹⁾、BAKERら(1968)⁹⁾、COOPERら(1968)⁵⁾、TAYLARら(1968)²¹⁾、佐藤ら(1969)¹⁷⁾などが報告しているが、いずれも 20°C 前後を生育適温としている。特に、佐藤らは、オーチャードグラスについて、気温と日長とを組合せた面から乾物生産について検討し、長日条件では、 $20^{\circ}\text{C}\sim 15^{\circ}\text{C}$ (昼、夜温)、短日条件では、 $25^{\circ}\text{C}\sim 20^{\circ}\text{C}$ を生育適温であるとしている。また、梶(1971)²⁾は、寒地型牧草生育適温は、 $18^{\circ}\text{C}\sim 25^{\circ}\text{C}$ の間に収まるであろうとしている。

本実験の場合、オーチャードグラスの生産に最も適した気温は、 16°C であり、上にのべた種々の報告よりも低い気温条件となっている。本実験の場合でも、葉面積生産速度は 20°C で示されたが、乾物生産効率はこれよりも低い気温条件で示された。このことは、いかなる原因に基づくものであろうか。

一般に、温度実験はポット水準でおこなわれる場合が多いようである。群落状態に比べて、ポット状態では葉の相互しゃへい率が少なく、単位葉面積あたりの光合成量がかなり高くなるため、葉面積生産が最も良い条件(20°C 前後)で CO_2 収支が有利になる可能性が考えられ

る。これに対して、群落状態では単位葉面積あたりの光合成量がポット状態よりも低くなるため、群落の CO_2 収支には呼吸作用の影響が強くなり、特に高温条件下では、この傾向は助長されることになるものと考えられる。このため、群落状態では、葉面積生産速度が速い区よりも気温が若干低い状態(16°C)の方が、葉面積生産速度の低下も認められるが、呼吸消費量も少なくなるので、 CO_2 収支が有利になる可能性が考えられる。ただし、葉の相互のしゃへい率の低い再生初期段階では、群落の CO_2 収支は葉面積生産速度に影響されるところが大きいと考えられ、第2図A, Bにおいても 16°C 区と 20°C 区の乾物生産量、 CGR にはほとんど差が認められなかった。

次に、このことに関連して、第2図に示した CGR を見ると、 CGR 曲線のパターンは各気温条件で種々に異っており、 CGR_{max} は高温区では刈取後の早い時期に、また、低温区では刈取後の遅い時期に示されている。高温区では比較的葉面積生産速度が速く、刈取後の早い時期に効率的な生産活動に入れること、また、刈取後の後期段階では、乾物重の増加と高温にともなって呼吸量が増大することにより CGR_{max} は早い時期に示されるものと考えられる。これに対して、低温条件では、個葉の光合成能力が低く、さらに葉面積生産速度が遅いため光合活動が効率的におこなわれる時期が遅くなること、また、低温のため呼吸量は少ないことから、 CGR_{max} は刈取後の遅い時期に示されるものと考えられる。

次に、乾物生産におよぼす日射量の影響についてであるが、第5図A, Bに示したように乾物生産量、 CGR は日射量が強くなるほど高くなる傾向があることが明らかになった。BLACK(1962)⁴⁾は、 CGR と日射量との関係は双曲線的な関係、すなわち、低日射量条件では、日射量の増加にともなう CGR の増加率は大きい、高日射量条件ではこの増加率は小さくなることを報告している。

本実験の場合も、第5図A, Bから同様な傾向がうかがわれる。この図に示した日射量は $360 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{day}$ を基準(100)として、 $432 \text{ cal}(120)$ 、 $288 \text{ cal}(80)$ 、 $216 \text{ cal}(60)$ 、 $144 \text{ cal}(40)$ と等間隔にとっているが、日射量の増加にともなう乾物生産量、 CGR の増加率は、低日射量条件で大きく、高日射量条件では小さくなっている。これは、群落光合成量が第4図に示したように、低日射量条件では日射量の増加にともない比例的に増加するが、高日射量条件になると日射量の増加の割合ほど増加せず頭打ちの状態となることに起因するものである。

ところで、第3図Aに示した相対照度100%と50%とで生育させたオーチャードグラスの個葉が群落を形成

した場合の群落光合成量がどの程度異なるかは、異なる光条件下における乾物生産量を推定する上で重要と考えられるので、このことについて群落構造と光の面から検討する。一般に群落内の照度の変化は、下式(a)によって示される¹³⁾。

$$I = I_0 e^{-KF} \dots \dots \dots (a)$$

(I は群落内照度, I_0 は群落上照度, K は吸光係数, F は葉面積示数)

(a)式を F について微分すると(b)式が得られる。

$$i = -I_0 K e^{-KF} \dots \dots \dots (b)$$

i は F 葉層における吸光量を示す。

いま、仮りに吸光係数 (K) が、 $K=0.7$ 、照度が 100 k lux の場合を考えると群落上から群落内、葉面積示数 $F=1.0$ における照度を(a)式からもとめると約 50 k lux、また、(b)式から $F=1.0$ の点が吸収する光の量をもとめると約 35 k lux となり、相当な減光状態となる。このため、相対照度 100% (しゃ光 0%) の条件下で生育した個葉の光合成曲線のパターン (強光下で高い光合成能力を示す) は、群落上層では、光合成量が高まるが群落の下層も含めた群落全体で見た場合、余り有利にはならず、光強度が低下する群落下層では、相対照度 50% 条件下で生育させた場合の個葉の光合成曲線のパターン (弱光下で高い光合成能力を示す) のが有利になると考えられる。

一般的な栽培における光条件の場合、相対照度 100% 条件と 50% 条件下で生育した植物体の個葉により群落が構成された場合、群落光合成量の差は、個葉の光合成量の差に比べて小さいものであると推察される。武田 (1969)¹⁰⁾ は、高照度下で高い光合成量を示す個葉をもつ暖地型作物の乾物生産量が、一般栽培条件(群落状態)において必ずしも高くない理由として、群落の相互しゃへいによる光の低下を上げているが、ここでも同様なことが言える。また、群落において上層部と下層部の個葉の光—光合成曲線が同一であるとは言い難く、相互しゃへい、Aging の影響などが考えられるが^{16,21,22)}、これらのことについては別の機会に検討したい。一方、日射量と群落光合成量との間の関係は、単に日射の量的なものだけでなく質的な要素も関連してくるので、量的な面からのみ群落光合成量を論じることには問題がある^{9,10,11)}。この点は今後の研究課題となるであろう。

これまで、気温と日射量が乾物生産におよぼす影響を個々に検討してきたが、次は、種々の気温条件と日射量条件とを組合せた条件下におけるオーチャードガラスの乾物生産について検討を進める。

第 6 図 A から、気温と日射量の両要因が乾物生産速度におよぼす影響を見ることができる。この図に示した

CGR の値は、刈取後 45 日間の平均 CGR (\bar{C}) であるが、これは、刈取後この程度の日数を経過すれば各気温条件、日射量条件下での乾物生産の特長をとらえることができるものと判断したためである。 \bar{C} は、日射量が高まるにつれて増加する傾向にあるが、その増加率は低日射量条件下で高く、高日射量条件下では低い。これは、先にふれたように、群落光合成量の光利用効率に起因する現象である。

次に、生産最適気温 (\bar{C} が最も高くなる気温) は、各日射量条件下とも 16°C 前後に示されている。しかしながら、第 6 図 A に示したように広い範囲の日射量条件下では、同一気温条件であっても日射量の変化にともなう植物体温度の変化が考えられ、これが光合成作用、呼吸作用に影響をおよぼすものと考えられる。植物体温度におよぼす気温、日射量の影響は、風速、湿度などの他の気象要因も関与し複雑な現象を呈するものと考えられるので、ここでは、植物体温度と気温とは同一であるとする条件での考察にとどめた。

次に、乾物生産上重要な意味を持つ CGR_{max} が刈取後のどの時期に示されるかを気温と日射量との関連で検討する。

第 6 図 B から、 CGR_{max} は、日射量が高くなるほど刈取後の早い時期に示されることがわかる。日射量が高くなるほど光合成量が増加し、乾物生産速度も速くなり CGR も刈取後の早い時期に最大値を示すものと考えられる。また、 CGR_{max} が示される時期におよぼす気温の影響を見ると、 CGR_{max} は、各日射量条件下において、18°C~20°C の場合に刈取後の最も早い時期に示される。乾物生産速度が最も高い気温条件は、16°C 前後 (第 2 図 B、第 6 図 A) であったが、この気温条件では、 CGR_{max} は 18°C~20°C に比べて刈取後の遅い時期に示されていることがわかる。先にも検討したように 18°C~20°C は、16°C に比べて、葉面積生産速度が速く刈取後の早い時期に生産態勢が整うので、 CGR_{max} は、刈取後の早い時期に示されることになるが、呼吸量も大きくなるため、乾物生産速度、乾物生産量は低い段階にとどまる。最後に CGR_{max} が示される時期におよぼす気温と日射量の影響を比較すると、第 6 図 B に示したようなオーチャードガラスの一般的な栽培条件 (6°C~26°C, 150 cal/cm²·day~500 cal/cm²·day) では、日射量よりも気温の影響が大きいことが結論される。

摘 要

異なる気温条件下、日射量条件下におけるオーチャードガラスの乾物生産特性を検討した。種々の気温条件

下, 日射量条件下における乾物生産量, CGR は, 第7報で検討した乾物生産式 (8) と CGR 式 (9) を用いて, 群落の光合成量と呼吸量の CO_2 収支の面から計算した。異なる気温条件下, 日射量条件下における (8) 式, (9) 式の係数値は, ポット実験により得られた測定値を基礎にして決定した。

1) ポット実験の結果から, 葉面積生産速度, 個葉の光合成能力および植物体の呼吸速度は, 気温に影響されるところが大きいことがわかった。葉面積生産速度は, 気温 20°C で最大値が示された。また, 個葉の光合成能力は, 平均気温が 15°C 以下になると低下する傾向を示した。呼吸速度は, 高温になると高くなり, 温度係数, $Q=1.65$ であった。

2) 気温が群落の乾物生産におよぼす影響は, 刈取後の経過時間と関連し複雑であった。本実験の場合, オーチャードガラスの群落の乾物生産効率率は, 16°C 前後で最も高い値を示した。また, この生産適温 (16°C) は, 日射量条件が変化してもほとんど影響されず, 各日射量条件下でほぼ一定であった。

3) 日射量は, 供給エネルギー量との関連で群落光合成量に強く影響した。また, 乾物生産量, 乾物生産効率は, 日射量の増加にともない増加する傾向を示したが, これらの増加率は, 低日射量条件下ほど高く, 高日射量条件下では低くなり頭打ちの状態を示した。

4) 刈取後, CGR_{max} が示されるまでの日数は, 気温 18°C ~ 20°C において最も短く, また, この日数は, 日射量が増加するほど短くなる傾向を示した。

引用文献

- 1) 梶 和一・窪田文武・鎌田悦男: 日作紀, (第151回講演要旨, 資料集) 40, 101~102(1971)
- 2) 梶 和一: 飼料作物, 草地の研究: (江原薫監修) 養賢堂, 東京, 146~153(1971)
- 3) BAKER, B. S. and G. A. JUNG: *Argon. J.*, 60, 155~158(1968)
- 4) BLACK, J. N.: *Aust. J. Agric. Res.*, 14, 20~37(1963)
- 5) COOPER, J. P. and N. M. TAITON: *Herb. Abst.* 38, 167~175(1968)
- 6) 窪田文武・梶 和一・鎌田悦男: 日草誌 18, 277~282(1972)
- 7) ———: 日草誌, 18, 292~298(1972)
- 8) ———: 日草誌投稿中
- 9) 黒岩澄男・門司正三: 農業気象, 18, 143~151(1963)
- 10) ———: 農業気象, 19, 15~21(1963)
- 11) 黒岩澄男: 農業気象 24, 23~38(1963)
- 12) MITCHELL, K. J.: *N. Z. J. Sci. Tech.*, 203~216(1956).
- 13) MONSI, M. und T. SAEKI: *Jap. J. Bot.*, 14, 22~52(1953)
- 14) 村田吉男: 農技研報, D9, 1~169
- 15) MURATA, Y. and J. IYAMA: *Proc. Crop. Sci. Soc. Japan.* 31, 311~314(1963)
- 16) 佐伯敏郎: 生態学大系, 第II巻上, 植物生態学(2), (吉良竜夫編) 古今書院, 東京, 201~218(1960)
- 17) 佐藤 庚・伊東睦泰: 日作紀, 38, 43~52(1969)
- 18) 酒井慎介: 作物の光合成と物質生産 (戸荻義次監修) 養賢堂, 東京, 62~66 (1972)
- 19) 武田友四郎・梶 和一: 日作紀, 33, 1~6(1964).
- 20) 武田友四郎: 農業気象, 25, 127~131(1969).
- 21) TAYLOR, T. H., J. P. COOPER and K. J. TREHARNE: *Crop. Sci.* 8, 437~440(1968)
- 22) TREHARNE, K. J., J. P. COOPER and T. H. TAYLOR: *Crop. Sci.* 8, 441~445(1968)

1) 梶 和一・窪田文武・鎌田悦男: 日作紀, (第151

(昭和47年12月22日受理)

Dry Matter Production of Forage Plants

XI. Influence of air temperature and radiation on the dry matter production of orchardgrass sward.

Fumitake KUBOTA, Waichi AGATA and Etuo KAMATA

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

Summary

The dry matter production of orchardgrass (*Dactylis glomerata* L.) sward under various conditions of air temperature and radiation were estimated and analysed in this paper. Based on CO₂ balance of the amount of photosynthesis and respiration in community, the dry matter production and crop growth rate under various conditions of air temperature and radiation were calculated from eq. (8) and (9) which were examined in the previous paper 7. The constant values of eq. (8) and (9) were estimated from the experimental results of pot cultivations which were carried out under various conditions of air temperature and radiation.

The results are as follows;

1. The rates of leaf area production, photosynthesis in single leaf and respiration were influenced heavily by the variation of air temperature. The rate of leaf area production showed the greatest value at 20°C. The rate of photosynthesis in single leaf decreased at low air temperature below 15°C. The respiration rate of plant increased with increasing of air temperature ($Q_{10}=1.65$).

2. The influence of air temperature on the dry matter production varied complexly in connection with the regrowth stage after cutting. In this experiment, the dry matter production in community showed the greatest value at 16°C and this temperature scarcely varied under various conditions of radiation.

3. Among the many factors which were related with dry matter production, the amount of photosynthesis in community was influenced heavily by the variation of radiation. The dry matter production in community increased with increasing of radiation. But the productive efficiency per a unit radiation showed high value under the low radiation and decreased with increasing of radiation.

4. The periods from the day of cutting till the day when the maximum crop growth rate (CGR max) was showed were calculated from eq. (12). These periods affected by air temperature and radiation. The shortest value of these periods showed at 18°C~20°C and under the highest radiation. (J. Japan. Grassl. Sci., 19, 292~301, 1973)