

シコクビエの生育ならびに体内成分に及ぼす午前と午後
の日射の影響

木暮 秩, 谷口 弘季*

EFFECTS OF SOLAR RADIATION IN THE FORE- AND AFTER-NOON ON
THE GROWTH AND THE CHEMICAL COMPONENTS OF FINGER
MILLET (*ELEUSINE CORACANA*, GAERTN.)

Kiyoshi KOGURE and Hiroki TANIGUCHI

The present experiment was carried out to obtain some informations about the agricultural and physiological meanings of solar radiation in the fore- and after-noon on the growth, chemical components, and regrowth vigor of finger millet, using the cultivar "IE-849" as material. The experiment was conducted with control (natural sun light intensity in all daytime) and nine treatments of three light intensities (50, 25, and 13 per cent of natural sun light intensity) in the fore-noon, after-noon, and all daytime.

The growth was slightly postponed by the limitation of solar radiation and severely disturbed under 25 per cent of it. The leaf area expansion and dry matter growth were clearly inhibited by treatments and the latter was slightly inhibited by treatment in the fore-noon. The dry matter partitioning ratio, however, was stable by meeting with natural sun light for half the day.

The nitrogen contents in the organs of control crop decreased and carbohydrate contents increased accompanying with the growth. On the contrary, these phenomena were clearly inhibited by treatments, especially the carbohydrate contents of crops treated in the fore-noon. Moreover, the regrowth vigor of stubble after the cutting was severely damaged by treatments in the fore-noon.

Judging from the results, it may be pointed out that the physiological status of crop in the fore-noon differs very much from that in the after-noon because of receiving sun light of different properties and the limitation of solar radiation in the fore-noon is undesirable for growth and reproduction of dry matter of the finger millet.

シコクビエの生育ならびに体内成分に対する午前と午後の日射の意義を解明するため、「IE-849」を供試して、寒冷紗を用いて光の強さを自然光の50、25、13%とした3条件で午前と午後および終日の日射制限処理を6週間実施し、併せて4週間処理したものについて再生力試験を行なった。

作物の生育状況をみると、日射制限により少々遅延したが、積算日射量が25%以下では異常であった。また日射制限は葉鞘の伸長を抑えて葉身のそれを促したが、葉幅を狭くするなど葉面生長を妨げ、さらに乾物生長を顕著に阻害した。しかして乾物生長は草丈や葉面生長と異なり午前における処理によって少々抑制された。なお、半日間自然光下で育成すると各器官への乾物の分配は安定していた。

作物体内成分のうち窒素含有率は自然光下で育成した場合と異なり日射の制限によって生育に伴う低下が抑えられたが、午前と午後の処理間の差はみられなかった。これに対して炭水化物含有率では処理によって生育に伴う上昇が顕著に、とくに午前の処理により妨げられた。また刈株からの再生力は半日間自然光下で育成した場合にかなり確保できたが、午前に日射を制限した株の再生力は午後処理した株のそれに比してかなり劣っていた。

以上の諸点から、シコクビエは光合成が夏型の日変化をする季節において、午前と午後の日射に対する関わり方が、とくに作物体の生理面から異なっていて、午前における日射の制限がその生育ならびに物質再生産に対して好ましくないことが明らかとなった。

* 愛媛県八幡浜農業改良普及所

緒 言

作物における生産活動，とくに光合成の日変化は環境要因の時刻による変動を反映している点が多い。中でも光要因が大きい役割を果しているが1日における光の強さは南中時を中心に午前と午後とで対称的な変化を示しているにもかかわらず，光合成速度は非対称的に変化すること，しかも午前と午後の経過は夏作物・冬作物がそれぞれに異なるとともにこれには前夜の温度前歴が関与していることなどが報告されている^(10,11,12,13,19,22,23)。例えば夏作物について前夜に10°C以上で経過した盛夏において光合成速度は午前が高く午後低下するいわゆる夏型の日変化を示している^(11,19,23)。

一方，四国地方の中山間地帯では全国的にみても斜角の大きい傾斜畑が多いため⁽²⁰⁾，作物を栽培する際，可能日照時間や日射量⁽²⁶⁾が傾斜の方向によって異なるのみならず，午前か午後片寄っている。したがって土壌条件は勿論，作物が遭遇する日射や温度などの気象条件は明らかに午前と午後で異なっていて，これが作物の生育ならびに収量に差をもたらす原因になると考えられる。

よって本実験では最近暖地において飼料作物として多く栽培されるようになって来ているシコクビエを用いて，午前と午後における日射の意義を生育，体内成分ならびに刈取後の再生力の面から検討した。

実験材料および方法

供試品種としては四国農試より分譲されたIE-849(極早生種)を用いた。5月18日播種し，約2週間育成した展開葉2枚の苗を6月1日に1/5000aワグナーポットに各9本仕立てて移植し，日中は網室，夜間はガラス室で7月20日までの約7週間育成した。肥料は全量基肥としポット(土壌4.5kg)あたり硫酸2.0g, 過石2.3g, 硫加0.8gを施した。育成中の管理としては土壌水分を容水量の75%に保ったほか，4回にわたって殺虫剤を散布した。

日射の制限処理は移植後7日目の6月8日より開始した。すなわち処理条件としては120×70×90cmの木枠に黒色寒冷紗を1枚，2枚，3枚張ってそれぞれI(光の強さは自然光の50%)，II(同25%)，III(同13%)とした。これら寒冷紗枠を作物体に午前と午後および終日覆ってそれぞれT₁，T₂，T₃として育成したので処理は9種類となり，自然光下で育成した対照Cと併せて計10区で実験区を構成した。なお日射量は本学部気象観測露場の農試電試型日射計の記録を積算した。これによると2週間ごとおよび全期間の日射量は午前と午後のいずれにおいても殆んど変らなかった。したがって対照C区の作物が受けた全日射量を基準にすると寒冷紗1枚による遮光条件(I)ではT₁とT₂が75%，T₃が50%，2枚の(II)ではそれぞれ63%と25%，3枚(III)では56%と13%であった(第1図参照)。

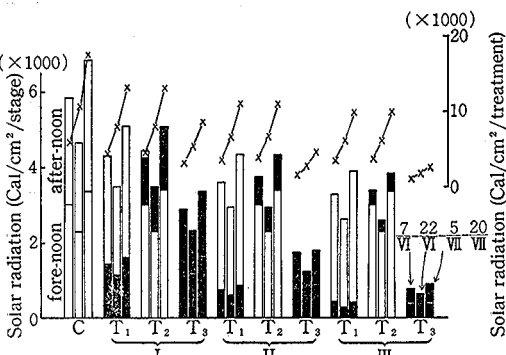


Fig. 1. Changes in solar radiation.

生育調査ならびに試料の採取は2週間ごとに実施した。まず作物体をポットより洗い出し，生育調査を行なった後，各器官ごとの生体重および乾物重を測定した。また，7月5日には再生力検定の試験も実施した。すなわち地上部を6cmの位置で刈取り，その後自然光下で再生させて2週間後に上述したと同様に採取し調査・測定した。

一方，乾物試料は粉碎して保存したが，これを元素分析法(柳本高速CHNコーダー2型)により窒素および炭素含有率を測定した。また試料を硫酸加水分解した後Shaffer-Somogyi, Heinz & Murneek法によって全有効態炭水化物を定量した。

結果および考察

始めに生育状態を概観すると，生育は作物が受けた積算日射量が少なくなるに伴って劣ったが，25%以下の条件は明らかに生育に障害を与えていた。すなわち，各区の出穂状態についてみると，対照のC区では7月13日に始まっ

たのに対して, IT₁, IT₂ 両区が3日遅れの7月16日, ついで2日遅く IIT₁, IIT₂ が7月18日, さらに2日後7月20日に IT₃ 区が出穂した。しかし光の強さが極く弱い場合(13%)でも半日間自然光下で育成すると (IIIT₁, IIIT₂ 区) 7月25日に出穂したが, 生育の様相はいずれも対照と大差はなかった。これに対して IIT₃ 区は8月5日に至って繊弱な穂がみられたが, IIIT₃ 区では実験期間中出穂がみられないなど, いずれも生育は異常であった。

上述した経過と関連して草丈の推移をみると, 光の強さが対照の50%程度, 積算日射量として50~60%程度の条件下ではわずかに徒長がみられたが, それ以下の条件では劣っていた。しかしこれらの影響を葉身と葉鞘の伸長に分けてみると, 遮光によって前者では促進されたが, 後者が顕著に抑制されていた(第2図参照)。ついで葉面生長をみると, 明らかに日射の制限は悪影響を及ぼして半日間の遮光でも, また遮光程度が大なる程妨げられていた。すなわち, 展開葉数は寒紗紗1枚の遮光でも明らかにその増加が阻害されていた。他方, 前述したように個々の葉は伸長促進がみられた反面, 葉幅は狭くなって結果的に各葉の面積増加にはならず, 加えてこれらの葉は下垂が著しくて受光態勢として好ましくない状態になった。なお以上の諸形質はいずれも午前と午後の処理間での差違は明瞭でなかった(第3図参照)。一方, 日射の制限は乾物生長を顕著に妨げていたが各器官, とくに地下部と葉鞘に対する影響は大であった。この点は積算日射量と全乾物重との相関が $r=0.9608^{**}$ と著しく高いことおよび相対生長率と純同化率の推移をみても明らかである。しかし午前と午後の日射制度と乾物生長との関係をみると, 午前に処理した場合に少々劣っていた(第4~6図参照)。

遮光に伴う牧草の反応についてはすでに多くの研究があり, 星野ら⁽⁶⁾は寒地型牧草で, Burton⁽²⁾, 玉置ら⁽²⁴⁾は暖地型牧草で地下部の発達をとくに抑制することを認めていたが, その程度は異なっていた。いま本実験のショクビエ

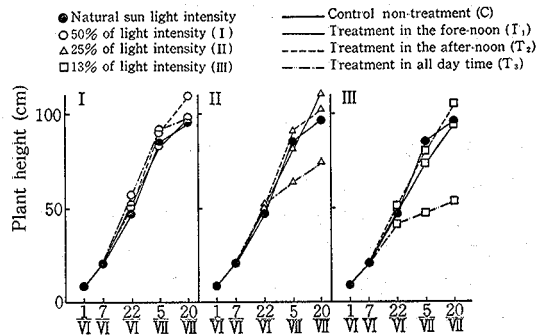


Fig. 2. Changes in plant height.

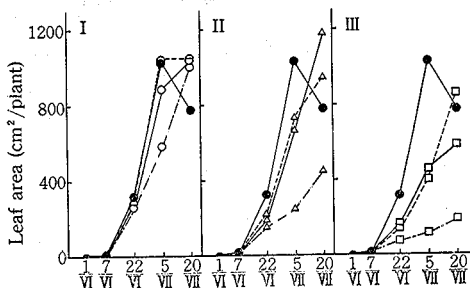


Fig. 3. Changes in leaf area (Symbols are the same as in Fig. 2.).

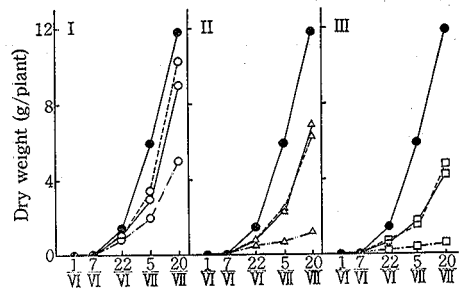


Fig. 4. Changes in dry weight (Symboloes are the same as in Fig. 2.).

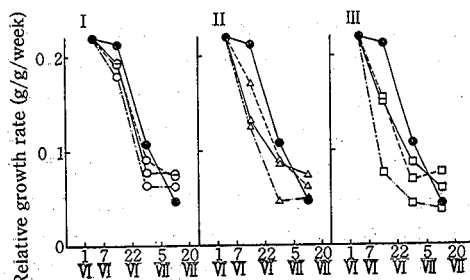


Fig. 5. Changes in relative growth rate (Symbols are the same as in Fig. 2.).

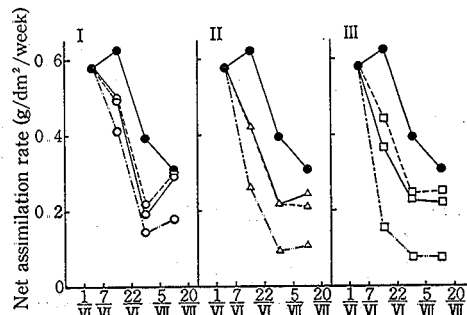


Fig. 6. Changes in net assimilation rate (Symbols are the same as in Fig. 2.).

についてみると、既往の成績と同様、地下部に認められたが田村ら⁽²⁶⁾も既に認めているとおり葉鞘にも強く現われていた。このため日射を制限しても光合成産物の各器官への分配状況は比較的安定していたものと思われる。そこで7月5日の試料につき T/R 率をみると、光の強さが25%以下の条件で終日処理した場合を除くと日射の制限によって対照より高くなったが、処理時における光の強さに関係なく、半日間自然光に遭遇すると乾物生産がかなり確保できるのみでなく地下部の発達が顕著に促進されて T/R 率の上昇はかなり抑制されるなど光合成産物の分配が一層安定することが確められた。

一方、作物体内成分のうち、まず窒素含有率の推移をみると、各器官はいずれの条件下にあっても生育に伴って低下していた。これを対照の自然光下で生育したものと対比すると、日射を制限することより、またその程度が大なるほど低下が抑制されて高い値が維持されていた。この傾向はとくに直接光合成を行なう葉身において明瞭であった。なお、午前と午後の処理間の差違については一定の傾向はみられなかった(第7図参照)。つぎに炭水化物含有率の推移をみると、対照の作物では生育に伴って上昇していた。これに対して日射を制限すると顕著に低い値で推移したが、この傾向はとくに葉鞘において著しかった。なお、光の強さが自然光の25%以下の条件で終日処理した場合には作物体内に殆んど炭水化物が蓄積されなかった。しかして午前と午後の処理による差をみると、午前の処理によって明らかに炭水化物含有率は低い値を示していた(第8図参照)。

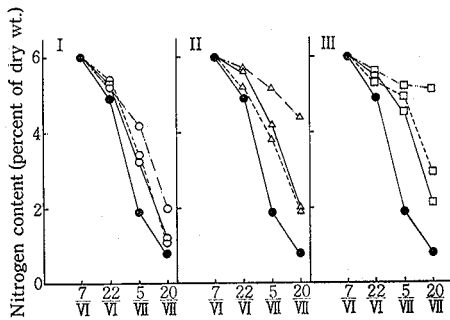


Fig. 7. Variations of nitrogen content in the top (Symbols are the same as in Fig. 2.).

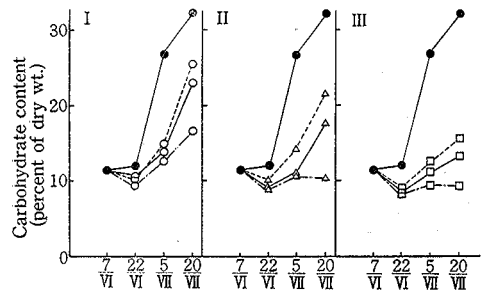


Fig. 8. Variations of carbohydrate content in the top (Symbols are the same as in Fig. 2.).

最後にこの様にして約4週間育成してきた株の再生力を検討したところ第9図のとおりであった。すなわち、どの光の強さの下で処理しても、半日間自然光に遭遇すると再生力はかなり確保できた。いま再生乾物重と刈取前日まで(6月8日~7月4日)の積算日射量との相関をみると $r=0.9340^{**}$ 、刈取前個体乾物重との間には $r=0.8137^{**}$ といずれも高かった。さらに再生力と7月5日における上述した体内両成分含有率との関係を見ると、窒素および炭水化物との間にはそれぞれ $r=0.7626^{**}$ および $r=0.6519^*$ といずれも高い相関が認められたが、両成分の間では若干の差違のあることも分かった。しかして午前と午後の処理間の差をみると明らかに午前処理の場合に再生力は劣っていた。しかも再生株の根の発達状況を見ると、7月5日の場合と同様、午前日に日射を制限した場合(T₁)が著しく劣っていた。

事実、IIIT₁ および IIIT₁ の両区では3番草への再生は望めなかった。

以上のとおり日射制限下で育成した暖地型飼料作物(パヒヤグラス、バミューダグラス、ローズグラス、シコクビエなど)の体内成分が窒素含有率では大で、炭水化物含有率では小となる本実験の結果は多くの報告^(3, 24, 26, 29)とよく一致している。また遮光によってこれら草種の体内における窒素および炭水化物代謝の特異な点に関しては、江原ら⁽⁸⁾は硝酸態窒素が異常に蓄積すること、渡辺ら⁽²⁹⁾は純蛋白質が激減すること、さらに玉置ら⁽²⁴⁾は含有量が減少しても炭水化物のうち粗デンプンの占める割合は変わらないことなどを報告している。一方、本実験において各器官内

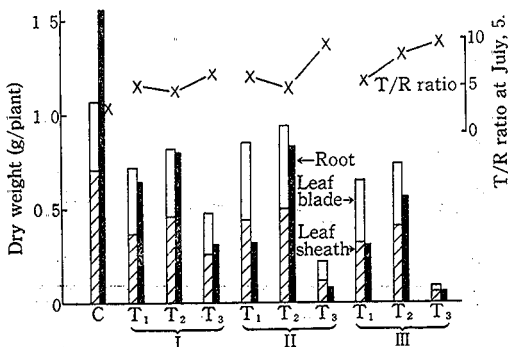


Fig. 9. T/R ratio at July, 5, and the status of regrowth.

炭素含有率が日射制限によって葉身では対照と近似したのに反して、葉鞘では対照より低い値で推移していたことからみると、構成成分に差違が生じたとも解される。したがってシコクビエに対する日射制限は両成分代謝とくに炭水化物の合成に顕著に影響を及ぼすとともに、これが窒素成分における蛋白態窒素と非蛋白態窒素間の転形異常を招く原因になるものと思われ。

飼料作物の再生力を体内成分のあり方と関連させて追究した従来結果を検討すると、前田ら⁽¹⁶⁾、前野ら⁽¹⁷⁾、田村ら⁽²⁰⁾は刈株および地下部における貯蔵養分が重要であること、あるいは牧草の再生力を生理的に解析する際、作物の生育に伴って変動する体内の窒素と炭水化物の相対的な関係によって再生力は異なって発現することの認識が、とくに初期生育時に必要であることを示している。この点本実験においても再生力が明らかに刈取前の体内両成分含有率と関連が深く、これが積算日射量を反映していることが分かったが、今後は前述したとおり炭水化物の構成成分のあり方、さらには窒素成分のあり方も含めて追究したく考えている。

午前と午後の日射のあり方に対する本実験の結果をまとめると、午前における日射の制限は乾物生長を少々阻害する程度であったが、体内成分に及ぼす影響は大きく、さらにはこれが刈取後の再生力の発現を顕著に低下させていた。この点に関連して本実験と別に行なったシコクビエにおける光一光合成関係の日変化を検討すると、第10図に示すとおり、地温を15°Cおよび30°Cのいずれの条件下で測定しても光合成速度は明らかに午前が高く午後に低下していた。この様に光合成が夏型の日変化をとることは夏作物についてC₃型、C₄型を問わず見出される^(11,19,23)とともに、盛夏において日射が強く、気温が高く、土壌水分の補給が不十分な場合にこの現象がとくに著しいことも知られて

いる。このため午後における光合成低下の原因として直接的には作物体内における水分収支の失調に伴う気孔活動・ガス交換作用の低下が考えられる。しかし本実験の示すとおり体内成分、さらには再生力に及ぼす影響が明らかに午前と午後の日射制限によって異なっていたことからみると、光合成産物の移動・転形のあり方、したがってこれに密に関与する温度、とくに作物体温の日変化が間接的に関与しているものと推察される。この点、宮坂ら⁽¹⁹⁾は水稻の光合成速度が夏型の日変化をする原因を午前と午後光質・波長別エネルギーの差と関連するとした考えは示唆に富むものと思われる。

そこで、これに関連した従来報告を検討すると、相互遮へいによる遮光あるいは低照度に対する作物の適応現象については、その低照度条件には併行して光質の変化があること、すなわち、低照度緑色光と光合成のあり方^(4,5,14)、さらには関連して変動する葉緑素量あるいはクロロフィル a/b 比⁽⁴⁾を考慮に入れるべきことが示されている。一方、光質の相違による作物の生育反応については従来光形態形成^(1,6,7,21,27)と光合成^(8,9,14,18)を中心に多くの研究がなされている。さらに照射光の波長分布特性が異なれば作物体内で合成される合成産物にも違いがあること、その光の強さが変わると一層複雑に変動することなどが指摘されている^(9,15,25)。そこで本実験期間において自然光の波長別エネルギー(400~700 nm)の分布を調べたところ、南中時を界にして朝夕に500 nm以下の短波長域の光の落ち方が大きく長波長域における割合が大きかった。このため日の出以降における日射が光合成に対して直接働くのは勿論のこと、作物体の速かな体温上昇を通して光合成産物の移動や転形に有利に働いて光合成を一層促進する。これに対して、南中時から夕刻にかけての高い受熱効果は作物体温の異常上昇を招いて作物体の水分収支や合成産物の移動・転形の失調を導くのみならず呼吸消費を促進して体内成分を変動させると思われる。したがって日射は波長の日変化に伴う作物体温の変動を介して光合成速度を午前に高いが午後に低下させる要因として果たす役割が考えられ、午前における受光制限による光合成阻害の程度は午後におけるそれより大きくなるものと解される。

以上の諸点から、本実験においてはシコクビエに対する日射制限の悪影響は著しく大きい、さらに光合成が夏型の日変化をする季節に、午前と午後における作物体内の生理状態が異なっていて午前の日射制限は生育、物質生産ならびに再生力の確保のうえで好ましくないことを明らかにした。したがって、これらの結果はシコクビエに対する刈取時刻に対しては勿論、今後四国地域で進展が予想される中山間地域における栽培立地の選定をはじめ管理技術の普及実施に際して考慮する必要がある。

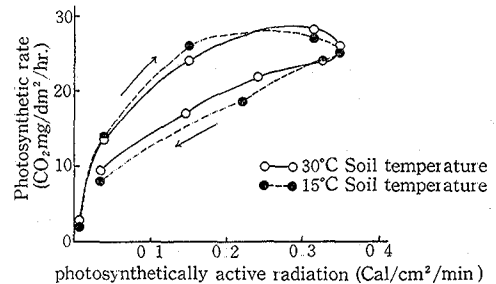


Fig. 10. Diurnal changes in photosynthetic rate of finger millet.

引用文献

- (1) 卜蔵建治: 単色光によるイネの生育, 生物環境調節, **8**, 19-20 (1970).
- (2) BURTON, G. W., JACKSON, J. E. KNOX, F. E.: The influence of light reduction upon the production, persistence and chemical composition of coastal bermuda-grass, *Cynodon dactylon*, *Agron. J.*, **51**, 537-542 (1959).
- (3) 江原 薫, 山田芳雄, 梅津頼三郎: 飼料作物における硝酸態窒素含量に関する研究 (第2報) パヒアグラス (*Paspalum notatum* Flüggé) およびパーミュダグラス (*Cynodon dactylon* PERS) の収量と硝酸態窒素含有率に及ぼす光の強さと窒素施用量との影響, 日作紀, **37**, 59-63 (1968).
- (4) FEDIKE, C.: Physiological responses of soybean (*Glycine max*) plants to metribuzin, *Weed Sci.*, **27**, 192-195 (1979).
- (5) FEDIKE, C.: Plant physiological adaptations induced by low rates of photosynthesis, *Z. Naturforsch.*, **34**, 932-935 (1979).
- (6) 原城 隆, 西川 広栄: 水稻苗生育の光質反応に関する研究 第1報 着色フィルム下の稚苗生育と育苗条件による可変性, 日作紀, **45**, 409-415 (1976).
- (7) 堀口郁夫: 光質の相違による大豆の生育, 生物環境調節, **8**, 21-24 (1970).
- (8) 星野正生, 守屋直助, 池田十五, 松本ファミエ: 草種の種子発芽および初期生育に及ぼす環境要因の影響に関する研究, I 草種の初期生育に及ぼす光の影響, 農技研報, G (畜産), (17), 171-181 (1959).
- (9) INADA, K.: Effects of leaf color and the light quality applied to leaf-developing period on the photosynthetic response spectra in crop plants, *Japan. Jour. Crop Sci.*, **46**, 37-44 (1977).
- (10) 稲永 忍, 玖村敦彦, 村田吉男: 冬季のナタネの光合成におよぼす低温の後作用, 日作紀, **44** (別2), 97-98 (1975).
- (11) 伊藤浩司, 猪ノ坂正之, 沼口寛次: 暖地型牧草の越冬性に関する研究 第7報 秋播きした *Dallis grass*, *Bahiagrass* の光合成速度の日変化, 日草誌, **19** (別1), 40-41 (1973).
- (12) IZHAR, S. WALLACE, D. H.: Effect of night temperature on photosynthesis of *Phaseolus vulgaris*, L., *Crop Sci.*, **7**, 546-547 (1967).
- (13) 高 清吉, 玖村敦彦: コムギの光合成と物質生産に関する研究 第1報 生育各期における個体群の CO₂ 交換の日変化の特徴, 日作紀, **42**, 227-235 (1973).
- (14) 玖村敦彦: 大豆の物質生産に関する研究 第6報 個体群葉層内における光の質的变化と個葉の光質-光合成関係, 日作紀, **38**, 408-418 (1961).
- (15) Кутюрин, В. М., 佐藤満彦訳: 光と緑の葉の秘密, 66-68, 東京, 東京図書, (1972).
- (16) 前田 敏, 前野休明: 飼料作物・草地の研究 (江原 薫監), 39-53, 東京, 養賢堂, (1971).
- (17) 前野休明, 江原 薫: 牧草の再生に関する生理・生態学的研究 第12報刈株の諸形質と再生との関係についての考察, 日草誌, **16**, 149-155 (1970).
- (18) MCCREE, K. J.: The action spectrum, absorbance and quantum yield of photosynthesis in crop plants, *Agric. Meteorol.*, **9**, 191-216 (1972).
- (19) 宮坂 昭, 棟方 研, 秋田重誠, 村田吉男: 連続測定による水稻個体群の光合成・呼吸に関する研究, (第3報) 水稻個体群の光合成の日変化に関する研究, 日作紀, **38** (別2), 41-42 (1969).
- (20) 四国農業試験場: 四国農業のあらまし, 4-5, 23-24 (1979).
- (21) 高橋成人: 稲における光形成反応, 生長初期における葉の生長について, 東北大農研彙報, **15**, 185-197 (1964).
- (22) 武田元吉: 麦類の光合成に関する生態学的研究 第1報 冬期における2条オオムギの光合成の日変化, 日作紀, **45**, 17-24 (1976).
- (23) 武田友四郎, 矢島正晴, 青木正敏, 箱山 晋, 斉藤 尚, 小野 博: 水稻個体群における一次生産力推定のための大型同化箱法について, 日作紀, **45**, 139-150 (1976).
- (24) 玉置 秩, 中潤三郎, 浅沼興一郎, 志賀信之: ローゼグラスの初期生育に及ぼす温度と光の影響について, 日作四国支紀, (7), 15-18 (1969).
- (25) 田村良文: イタリアンライグラスの生育, 体内成分に及ぼす人工照明の影響 第1報 放射波長域の異なる数種光源と生育, 体内成分, 日草誌, **20** (別2), 12-13 (1974).
- (26) 田村良文, 星野正生, 佃 和民: シコクビエの生育, 再生におよぼす遮光の影響, 日草誌, **22**, 180-185 (1976).
- (27) 植田 幸輔: 単色光線が水稻の生育に及ぼす影響 第1報 苗代期に於ける観察, 日作紀, **6**, 411-427 (1934).
- (28) 上原勝樹, 小沢行雄: 農業気象の実用技術 (日本農業気象学会編), 367-384, 東京, 養賢堂 (1972).
- (29) 渡辺成美, 浅川正彦: 遮光がローゼグラス (*Chloris gayana* KUNTH) の再生長におよぼす影響, 日本草地学会 第11回講演会要旨, 19-20 (1964).

(1980年10月31日 受理)