

ネピアグラスの乾物生産に関する研究

第7報 生育に伴う地上部の夜間呼吸速度の変化

伊藤 浩司・稲 永 忍*・森 棟 尚・石 井 康 之

(宮崎大学農学部・*東京大学農学部附属農場)

1992年1月8日受理

要 旨 : ネピアグラス (*Pennisetum purpureum* Schumach, 品種 Merkeron) は栄養生長期にも茎の節間伸長を行う。この節間伸長と呼吸速度との関連性を検討する目的で本研究を行った。自然状態で育てた材料における生育に伴う地上部の夜間呼吸速度の変化を調査するとともに、矮化剤処理により茎の節間伸長を抑制した材料と無処理の材料とを比較した。矮化剤処理区には「パクロブトラゾール」の 0.538% (LL^{-1}) 溶液を草高が約 1 m の時期に 1 回のみ地上部全面に噴霧した。葉身及び稈 (茎と葉鞘) の呼吸の温度係数 (Q_{10}) は 1.94 と推定された。葉身及び稈の呼吸活性 (25°C における単位乾物重, 時間当りの呼吸速度) はいずれも生育に伴って低下し, その低下は稈の方が著しかった。矮化剤処理によって稈の節間伸長が抑制されるとともに稈の呼吸活性の低下が抑制されたため, 地上部全体の呼吸活性は処理区の方が大きかった。これらの調査結果と既報の乾物重の値などを用いた一連の回帰分析により, 圃場条件下における夜間及び全日の地上部全呼吸速度に関する維持呼吸率を推定した。無処理の材料の維持呼吸率は他の作物についての既往の値のなかの比較的小さい値に相当した。一方, 処理区の維持呼吸率は無処理区に比べて大きかった。以上により, ネピアグラスの茎の節間伸長とその後の老化は地上部の維持呼吸率を低下させて光合成産物の呼吸による損失を軽減する意義があると推察された。

キーワード : 維持呼吸率, 呼吸速度の温度係数, 節間伸長, 地上部の夜間呼吸速度, ネピアグラス, 矮化剤。

Studies on Dry Matter Production of Napiergrass VII. Night respiratory rate in shoot as affected by the growth of plant : Koji ITO, Shinobu INANAGA*, Takashi MORIMUNE and Yasuyuki ISHII, (*Faculty of Agriculture, Miyazaki University, Miyazaki 889-21, Japan ; *Experimental Farm, Faculty of Agriculture, Tokyo University*)

Abstract : The relation of internode elongation of stem to night respiration in shoot of napiergrass (*Pennisetum purpureum* Schumach, cv. Merkeron) was investigated. The changes of the night respiratory rates with the normal growth of plant accompanying the internode elongation were measured (Expt. 1) and were also compared with the changes in the dwarfed plants, of which internode elongation was severely suppressed by spraying a 0.538% (L L^{-1}) solution of paclobutrazole (Expt. 2, 3). The temperature coefficient, Q_{10} of respiratory rate was estimated to be 1.94 for both of control and dwarfed plants. The respiratory activities of leaf blade and stem with leaf sheath decreased with the growth of plant and the latter decreased more significantly than the former (Expt. 1, 3). This reduction in stem was slower in dwarfed plants than in normal, while the respiratory activity of leaf blade was not affected by the growth retardant (Expt. 3). The maintenance respiratory activities (M) were estimated by statistical analyses using the data on respiration, assimilation and dry weight of shoot (Expt. 1, 2). Values of M for the normal plants appeared to be comparatively low among those hitherto obtained for other crops, and the values for dwarfed plants were higher than those for control plants. It was inferred that the elongation and subsequent senescence of internodes in the normally growing napiergrass contributed to lessen the loss of photosynthate through respiration.

Key words : Growth retardant, Internode elongation, Maintenance respiratory activity, Napiergrass, Night respiratory rate in shoot, Temperature coefficient of respiratory rate.

我が国におけるネピアグラスの出穂期は 11 月中, 下旬であり, 生産期の殆ど全期間にわたって茎の生長が続く。生産終期の草高は 3.5 m 前後に達し, この頃の稈 (茎と葉鞘) の乾物収量は地上部全収量の約 70% を占める⁹⁾ ので, その呼吸活性は全体の乾物生産性に強く影響すると推察される。しかし, ネ

ピアグラスの呼吸については, 葉身における温度係数⁹⁾ および加齢に伴う活性の変化¹⁰⁾ が調査されているに過ぎず, 茎の呼吸に関する知見は得られていない。

ネピアグラスの茎は栄養生長期にも節間伸長を行い, 伸長を終了した節間は老化して次第に硬くなる。従って, 節間の伸長とその後の老化に伴って稈の維持呼吸率が小さくなることにより, 光合成産物の呼吸による損失が軽減され, そのことが高い乾物生産

* 現在, 鳥取大学乾燥地研究センター。
Present address: Arid Land Research Center,
Tottori University, Tottori 680, Japan.

力⁶⁾を支える一つの要因ではないかと予想される。

以上により、地上部の夜間呼吸について、株の生育に伴う変化、及び、矮化剤による節間伸長抑制の影響を調査することにより、茎の節間伸長と地上部の呼吸との関連を検討した。

材料と方法

1985年に東京大学農学部附属多摩農場にて生育に伴う呼吸速度の変化を調査し、1988年と1989年に宮崎大学農学部にて、主として、矮化剤処理が呼吸速度に及ぼす影響を検討した。これらの3カ年の実験を実験年の順に実験1, 2, 3と称する。

1. 材料

材料の大部分は既報^{5,8)}の実験材料の一部であるから、ここには既要を記述する。

各実験とも、ネピアグラス (*Pennisetum purpureum* Schumacher, 品種 Merkeron) の植付け当年の植物体を供試した。5月上、中旬に7~9葉期の分けつを植え付けて圃場栽培した。実験2では、7月4日に刈り株の高さ約5 cmで刈り取り、その後の再生草を供試したが、実験1, 3では刈り取りを行っていない材料を供試した。施肥は、実験1では10 a当り成分量換算で、N: 60 kg, P₂O₅: 20 kg, K₂O: 20 kgを実験期間中に、基肥を含めてNは4回、他は2回に分施した。実験2, 3では、N: 50 kg, P₂O₅: 20 kg, K₂O: 20 kgを実験期間中に3回に分施した。

2. 矮化剤処理

実験1: 矮化剤処理を行わなかった。

実験2: 7月4日の刈り取り後に再生草の草高が約1 mに達して、節間伸長が急速となり始める頃の8月10日に処理を行った。処理区には、パクロブトラゾールの21.5% (容量) フロアブルを蒸留水で40倍に希釈して植物体地上部の全面に噴霧した。無処理区には蒸留水を噴霧した。

実験3: 植付け後、刈り取りを行わずに育て、7月16日に実験2と同様の処理を行なった。

3. 呼吸速度の測定

各実験とも、地上部の生存部について1株全体の呼吸速度を株単位の2~3反復として、通常大気を用いての通気同化箱法により測定した。測定終了後、各材料の乾物重を調査した。

実験1: 植付け当日の5月20日から11月6日までの期間にわたり、約20日間隔で、株から切取った葉身及び稈 (茎及び葉鞘) のそれぞれの呼吸速度を

測定した。材料の採取及び測定は日没の約1時間後に開始し、約1時間にわたり測定した。

実験2: 矮化剤処理前の8月5日から9月29日までの期間に、5~10日間隔で測定した。各測定日も、日没前の17時頃から翌朝8時頃まで、立毛状態で地上部全体のCO₂交換速度を10分間隔で連続測定した。この間の土壌からのCO₂排出速度については、測定終了後に地上部を地際から除去した状態での測定値から推定した。しかしこの値は立毛状態での呼吸速度の1%以下であったので、土壌からのCO₂排出速度は無視することとした。

8月5日の測定を除き、同一の株について5~10日間隔で3夜測定し、第3夜目の測定終了後、乾物重の調査のために、地上部を葉身、稈及び枯死部に分けて採取した。この第3夜目に相当する調査は8月19日、9月6日及び実験終了時の9月29日の3回行なった。これらの3回における呼吸速度が特異な値ではないことは、それぞれの前2夜の測定結果から確認された。8月5日の測定は当日の1夜のみであった。

実験3: 切取った葉身と稈を用いて、処理前日の7月15日から10月25日までの期間に7回の測定を行なった。切取った材料を用いての測定を夜間には行ない得なかったため、日中の暗呼吸速度を測定した。材料の採取は10時から16時の間に行ない、採取後直ちに測定を開始した。開始直後から値は安定しており、遅くとも50分後には測定を終了した。

なお、この実験を行なった際に、葉身や稈を切り離すことはそれぞれの呼吸に直接的な影響を及ぼさないことを確認した。

結果と考察

1. 材料の生長

実験期間中の気象条件の変化は各年ともほぼ平年並みで、材料の生長は順調であった。矮化剤処理により節間伸長は強く抑制され、無処理区に比べ、処理区は稈の下部が緑色を維持する期間が長く、最終調査時まで軟らかい感触を維持した⁸⁾。

2. 夜間における地上部全体の呼吸速度の経時変化及び呼吸速度の温度係数

実験2の結果の中から、8月5日と8月30日の例を第1図に示した。また、測定期間中の同化箱内気温及び日射量の変化を併示した。

実験期間中の日没時刻と翌朝の日の出の時刻は、おおむね、19時15分頃と5時30分頃であった。こ

の間の夜間の気温は日没時刻から日の出の時刻にかけて低下する傾向があった。その低下の程度は測定日によって相違し、 0.9°C から 5.4°C の範囲であった。8月5日は夜温の低下が小さい日の例で、夜間呼吸速度にも特定傾向の変化はみられなかった。これに対し、8月30日は夜温の低下が比較的大きい日の例で、気温の低下に伴って呼吸速度は次第に低下した。この両日の例のように、夜間呼吸速度は気温の変化に対応して変化し、夜温の変動巾が 1°C に近い時は呼吸速度もほぼ一定の値で経過した。モロコシ、白クローバ¹⁴⁾ 及びダイズ²¹⁾ などの暗呼吸速度は定温下でも体内要因によって変動すると報告されているが、本実験では、このような変化を示唆する例はなかった。そこで、夜温の低下巾が 3°C 以上の夜間における気温と呼吸速度との関係から、呼吸速度の温度係数 (Q_{10}) を算出した。但し、日没直後は気温の低下が比較的急であり、植物体温と気温との差が大きくなるおそれがあったので、21時から5時までの値を用いた。本実験では、10夜にわたり合計40点の測定を行なったが、夜温の低下巾が 3°C 以上であったのは4夜の16点で、そのうち、気温と呼吸速度との間に1%水準の有意な相関関係が得られたのは12点であった。この12点における Q_{10} の頻度分布を第1表に示した。

Q_{10} の最小値は1.688、最大値は2.214であったが、処理区及び無処理区ともに、大部分は1.8から2.2の範囲に分布し、その分布に明瞭な区間差はなかった。また、日中の気温や日射量と Q_{10} との間にも有意な特定の関係がなかった。両区の値を一括した平均値は、両端の値を除いた場合は1966、除かない場合は1.944であったが、両端の値を除く根拠が得られなかったので、全平均値を採用した。この値は他の多くの植物の値²⁰⁾ とほぼ一致した。本実験では、葉身と稈のそれぞれの Q_{10} は調査しなかったが、ネピアグラス葉身の Q_{10} は²⁹⁾ とされており、本実験における地上部全体の値とほぼ等しいので、稈の Q_{10} も葉身と同程度と推定した。

この Q_{10} の値は、気温と呼吸速度との8時間にわたる変化から推定した値であり、その間に呼吸基質の減少などにより呼吸活性が次第に低下することが推察される。しかし気温の変動巾が小さい時は呼吸速度はほぼ一定であったことから、 Q_{10} の値に対する体内要因の変動の影響は小さいと判断された。以上により Q_{10} をすべて1.94とみなした。

3. 葉身及び稈のそれぞれの呼吸活性

実験1及び2における呼吸速度、乾物重、測定時の温度及び Q_{10} の値を用いて、 25°C 条件下の単位乾物重当りの呼吸速度を推定した。以下、この値を呼吸活性 (R_0 , $\text{mg g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) と称する。

第2図に実験1における葉身と稈の呼吸活性の生育に伴う変化を示した。6月上旬までの R_0 は葉身、稈ともに約 $3 \text{ mg g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ であり、他の C_3 -, C_4 -植物の値²⁰⁾ と大差はない。Ludlow and Wilson¹⁰⁾ がネピアグラスの葉身の呼吸速度を測定した結果を本

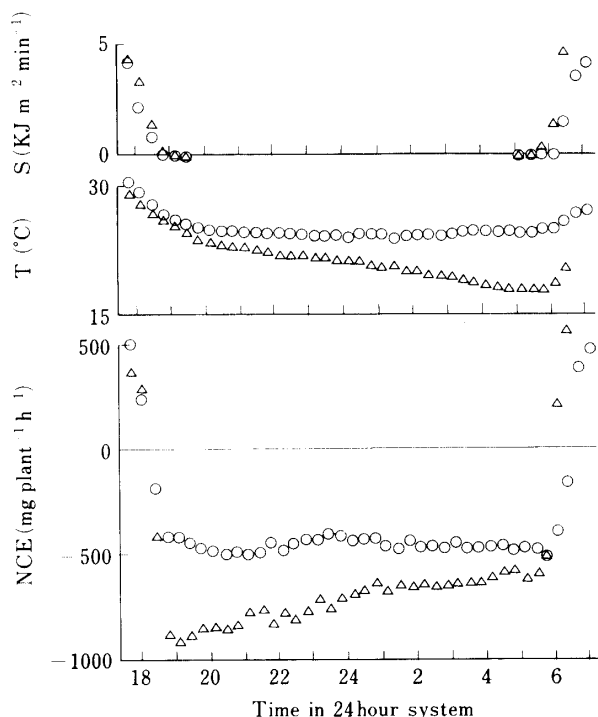


Fig. 1. Time course changes of net CO_2 exchange rate in whole shoot (NCE), air temperature inside the assimilation chamber (T) and solar radiation (S) from the evening to the next morning in Expt. 2.

Data for the control plants on Aug. 5 (circle) and Aug. 30 (triangle) were illustrated.

Table 1. Variation in values of temperature coefficient (Q_{10}) for night respiratory rate of shoot in Expt. 2.

Range of observed value of Q_{10}	Numbers of observations		
	Dwarfed plant	Control plant	Total
1.61-1.80	1	1	2
1.81-2.00	2	3	5
2.01-2.20	2	2	4
2.21-2.40	1	0	1
Total	6	6	12

Mean value of Q_{10} for 12 observations was 1.944.

実験の条件下に換算すると、展開直後の葉では約7 mg, 展開後38日目の葉で約2 mgと推定される。これに比べると本実験の値は低い傾向があった。しかし、トウモロコシ³⁾ やバーミューダグラス及びバヒアグラス¹⁶⁾ の2 mg以下に比べると高い値であった。本実験の葉身と稈の R_0 を比較すると6月下旬以後は葉身の方が大きく、他の多くの植物²⁰⁾ の場合と同様であった。

図中の直線は植付け期日からの日数に対する R_0 の単回帰直線で、 R_0 は日数の経過に伴って低下した。その勾配は葉身に比べて稈の方が大きく、両者の回帰係数の差は1%水準で有意であった。しかし、葉身の R_0 は6月下旬までは明瞭な低下傾向を示さず、その変動は生育日数以外の要因の影響も受けていると推察されたので、葉身と稈のそれぞれについて、日数(D), 乾物重(W_0 , g plant⁻¹), 当日の日射量(S, MJ m⁻² day⁻¹)を独立変数とし、 R_0 を従属変数とする回帰分析を行なった(第2表)。

第2表によると、葉身の R_0 では、独立変数を W_0 とする単回帰の寄与率は83.4%に達し、独立変数としてさらにD及びSを加えることに伴う寄与率の増加は僅かであった。また重回帰の標準偏回帰係数の絶対値は W_0 の係数が最も大きかった。従って、葉身の R_0 の変動は主として W_0 の変動によるものであった。同様に、稈の R_0 の変動の大部分はDの変動によるものであった。このように、葉身及び稈の R_0 の変動に対してSは殆ど関与していなかつ

た。従来、水稻などいくつかの C_3 -植物では、日中或いは明期の光の強さや光合成速度とその後の暗中の呼吸速度の間には正の相関関係がある^{12,14,15,21)}とされている。本実験の結果はこれと相違した。そ

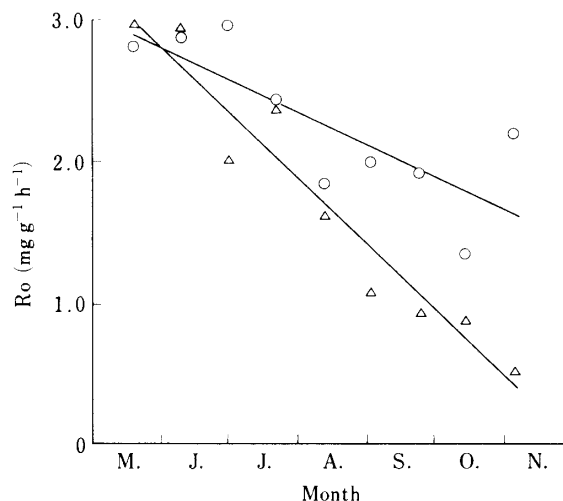


Fig. 2. Changes of respiratory activities under 25°C (R_0) in leaf blade and in stem with leaf sheath in Expt. 1.

Circle: Leaf blade, Triangle: Stem.

The regression equations of values of R_0 on numbers of days (D) after the planting on May 20, are as follows.

$R_0 = 2.898 - 0.007^a D$, $r = -0.790$, ($P < 0.05$) for leaf blade,

$R_0 = 2.998 - 0.015^b D$, $r = -0.967$, ($P < 0.01$) for stem.

Coefficients with different superscript differ significantly at $P < 0.01$.

Table 2. Multiple regression analysis for respiratory activities (R_0) of leaf blade and stem with leaf sheath in Expt. 1.

Independent variables ¹⁾ (Standard partial regression coefficient)			Multiple correlation coefficient	Ratio of contribution (%)
For R_0 of leaf blade				
Dry weight			0.913 ^{••2)}	83.4
Days	Dry weight	Solar radiation		
(0.142)	(-1.007)	(-0.147)	0.934 ^{••}	87.3
For R_0 of stem with leaf sheath				
Days			0.967 ^{••2)}	93.6
Days	Dry weight	Solar radiation		
(-0.839)	(-0.137)	(0.075)	0.972 ^{••}	94.6

1) Dry weight: Dry weight (g m⁻²) of leaf blade or stem with leaf sheath on the day of measurement of respiration.

Days: Numbers of days from the planting on May 20 to the day of measurement.

Solar radiation: Horizontal intensity of incident solar radiation (MJ m⁻² day⁻¹) during daytime on the day of measurement.

2) Simple correlation coefficient.

••: $P < 0.01$.

の理由は明らかでないが、一つには、本実験の精度では、その相関関係があるとしてもそれを検出できなかったことが考えられる。また、Black¹⁾の取りまとめによると、C₄-植物はC₃-植物に比べて光合成産物の葉身からの流出が速やかである。従って、ネピアグラスでは日没までに当日の光合成産物の大部分が葉身から貯蔵容量の大きい稈その他の部位に流出するのであれば、これらの部位は葉身に比べて呼吸活性が低いのであるから、夜間の呼吸速度には昼間の日射量や光合成速度の影響があらわれ難いことが推察される。逆に、夜間も稈から一定量の呼吸基質が葉身や稈の呼吸器官に供給され続けて、夜間の呼吸速度が日中に比べて必ずしも小さくはならないのかもしれない。しかしこの点については今後の検討を要する。

生育が進んで葉数が増加すると葉齢の進んだ葉が多くなるので、日数の経過は葉身全体のR₀を低下させる要因となり得る。しかし、葉身のR₀とDとの相関関係は弱く、重回帰式のDの係数は正の値であったのは、葉は常に更新されることによるのであろう。これに対して、葉身のR₀とW₀との間に強い相関関係があったことは、W₀の増大に付随する何らかの要因がR₀に影響していることを示す。例えば、葉の量が多くなって相互遮蔽が強まることによる呼吸の光適応¹⁷⁾に伴ってR₀が低下することなどが推察される。第2図の葉身のR₀が7月下旬以後から急に低下したことが、及び、この頃から葉身乾物重の増加が著しい⁷⁾ことは、呼吸の光適応を示唆する。しかし、生育の終期を除き日数の経過に伴って乾物重は増加するという関係がある。そのため、葉身のR₀とDとの間にも有意な負の相関関係がみられた(第2図)。

他方、稈のR₀とDとの間には強い負の相関関係があるとともに、日数の経過に伴うR₀の低下は葉身に比べて稈の方が著しかった。これは、葉身は更新されるのに対して稈では葉鞘を除き更新される部分はないので、老化により呼吸能力が著しく低下した部分も保持されることによると推察される。

第3図に実験3における葉身と稈のそれぞれの呼吸活性の変化を示した。但しこの呼吸活性は、方法の項に記述したように、日中の暗呼吸活性である。

両区の葉身及び稈のR₀ともに、変化の傾向は第2図の場合と同様であった。日数に対するR₀の単回帰は処理区の葉身を除き、葉身及び稈ともに1%或いは5%水準で有意であり、稈における回帰式の係

数の区間差は1%水準で有意であった。従って、処理の影響は稈にのみあらわれ、処理によって稈の呼吸活性の低下が抑制されたことが示された。この一因として、処理によって呼吸活性が高まることが推察される。しかし、葉身には影響がなかったこと、及び、処理によって光合成活性が高まる²⁾が呼吸活性が高まるという報告は見当らないことから、前記の処理の影響は稈の節間伸長の抑制に付随するものと推察された。第3図は日中の暗呼吸を測定した結果であり、日中の暗呼吸活性と夜間の呼吸活性は必ずしも一致しないであろうが、呼吸活性の部位間差及び処理区間差の傾向は日中と夜間とで大きく異なることはないと推察される。

4. 地上部全体の呼吸活性

実験1及び2における地上部全体の呼吸活性(TR₀)の変化を第4, 5図に示した。但し、実験1(第

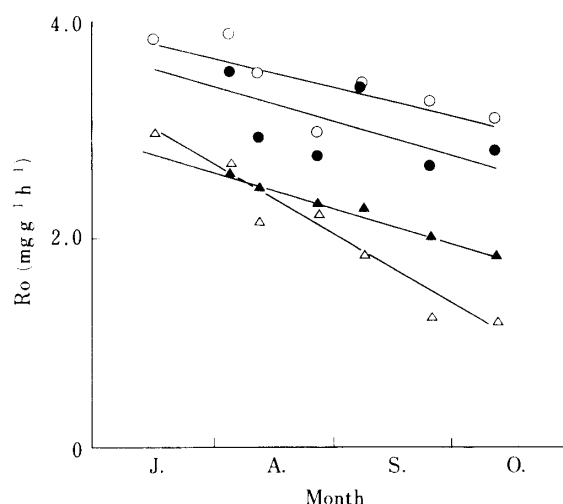


Fig. 3. Changes of respiratory activities under 25°C (R₀) in leaf blade and in stem with leaf sheath in Expt. 3.

Open: Control plant, Closed: Dwarfed plant. Circle: Leaf blade, Triangle: Stem.

The regression equations of values of R₀ on numbers of days (D) after the cutting on July 4, are as follows.

For leaf blade

R₀ = 3.797 - 0.009^aD, r = -0.778, (P < 0.05) in control plant,

R₀ = 3.582 - 0.011^aD, r = -0.720, (P > 0.05) in dwarfed plant.

For stem

R₀ = 3.022 - 0.022^bD, r = -0.983, (P < 0.01) in control plant,

R₀ = 2.784 - 0.011^aD, r = -0.912, (P < 0.01) in dwarfed plant.

Coefficients with different superscript differ significantly at P < 0.01.

4 図)の値は、前述の葉身と稈のそれぞれの呼吸活性と既報⁷⁾の株当りの乾物重を用いて算出した。実験2 (第5 図) の値は立毛状態での呼吸速度を 25°C 条件下の単位乾物重当りに換算した値である。

第4 図の TR_0 は生育に伴い低下したが、7 月下旬以前は低下が緩慢であった。既報⁷⁾によれば、7 月下旬以前は葉身と稈の乾物重は同程度であるがその後は稈の乾物重及び乾物重の稈/葉身の比は急速に大きくなる。このことから、7 月下旬以前の TR_0 に対しては葉身と稈の両者の R_0 が反映し、その後の TR_0 には主として稈の R_0 が反映したものと考えられた。他方、次の2 式も 1% 水準で有意であった。

(1) 式は生育日数 (D) の3 次式であり、(2) 式は D 及び単位土地面積当りの葉身と稈の合計乾物重、即ち、生存部乾物重 ($TW, g\ m^{-2}$) を独立変数とする重回帰式である。

$$TR_0 = 2.920 + (1.537 D - 0.260 D^2 + 0.001 D^3) 10^{-3} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$R = 0.996 \ (P < 0.01)$$

$$TR_0 = 2.87631 - 0.00488 \cdot D - 0.00036 \cdot TW \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$R = 0.993 \ (P < 0.01)$$

これらによれば、 TR_0 の変化が全生育期間にわたり1 個の回帰式であらわされる。しかし (1) 式では、 D

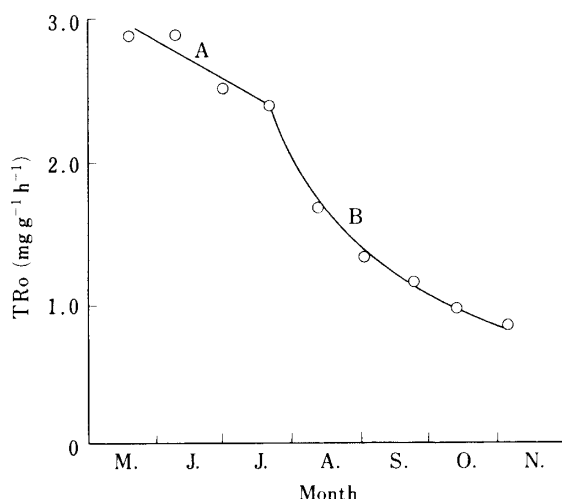


Fig. 4. Change of respiratory activity under 25°C in shoot (TR_0) in Expt. 1.

The regression equations of values of TR_0 on numbers of days (D) after the planting on May 20, are as follows.

$$TR_0 = 2.956 - 0.009 D, \ r = -0.936, \ (P > 0.05) \text{ for line A,}$$

$$TR_0 = -0.094 + 156.986/D, \ r = -0.997, \ (P < 0.01) \text{ for line B.}$$

が 170 日を越えると TR_0 は増大に転じて、予想される TR_0 の変化とは乖離する。 TR_0 の変化を D のみで説明するとすれば、第4 図の注に記載した2 個の回帰式の方が実態に近いと考えられる。

第5 図(実験2)では両区とも、日数に対する TR_0 の回帰は双曲線回帰であらわされ、第4 図(実験1)の7 月下旬以後の変化と同様であった。第4 図では植付け時からの変化が調査されているのに対して、第5 図の材料は再生草であったために第4 図におけるような TR_0 の低下が緩慢な時期があらわれなかったものと推察された。従って、第5 図の場合は全調査期間にわたり D と TR_0 との関係が1 個の回帰式、即ち

$$TR_0 = A - B/D \quad \dots\dots\dots (3)$$

であらわされた。但し、 D は刈り取りを行った7 月4 日以後の日数で、 A と B の値は図の注に記載した通りである。生育に伴う TR_0 の低下は処理区の方が緩慢で、回帰式の係数の区間差は 1% 水準で有意であった。

以上の第3, 5 図から、処理により、稈組織の老化が抑制されて稈の呼吸活性の低下が緩慢となり、それに伴って、 TR_0 の低下も緩慢であったと推察され

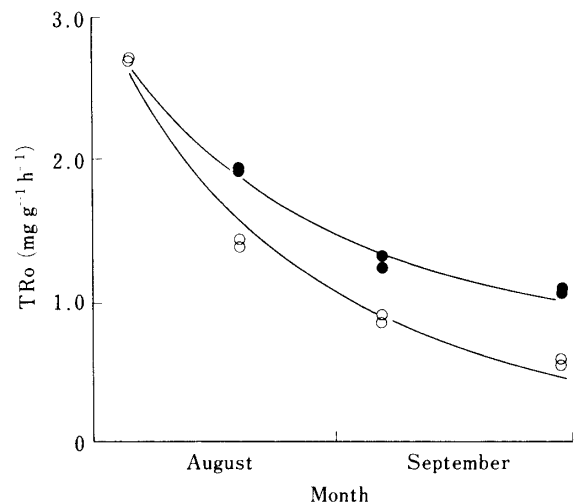


Fig. 5. Changes of night respiratory activities under 25°C in shoot (TR_0) in Expt. 2.

Open : Control plant, Closed : Dwarfed plant. The regression equations of values of TR_0 on numbers of days (D) after the cutting on July 4, are as follows.

$$TR_0 = -0.806 + 108.672^a/D, \ r = -0.990, \ (P < 0.01) \text{ for control plant.}$$

$$TR_0 = 0.027 + 85.026^b/D, \ r = -0.994, \ (P < 0.01) \text{ for dwarfed plant.}$$

Coefficients with different superscript differ significantly at $P < 0.01$.

た。

5. 25°C の条件下における地上部の単位土地面積当りの呼吸速度

地上部の単位土地面積当りの呼吸速度 (TR, $\text{g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, 25°C 条件下) は前記の TR_0 に関する各式の右辺に TW を乗じた式により推定できる。しかし実験 1 の場合、実測値と推定値との間の相関係数は (2) 式を利用した推定値が最も高かった。その関係式は次の (4) 式である。

$$\text{TR} = 2.87631 \text{ TW} - 0.00488 \text{ D} \cdot \text{TW} - 0.00036 \text{ TW}^2 \dots \dots \dots (4)$$

実験 1 における葉身 (LR), 稈 (SR) 及びその合計 (LSR), 並びに, (4) 式による TR の変化を第 6 図に示した。

LSR と TR との値はよく一致し ($r=0.995$, $P<0.01$), (4) 式により任意の時期の地上部全体の呼吸速度 (25°C 条件下) を推定できた。LR と SR とを比較すると, 7 月下旬までは LR の方が大きい。その後は逆となった。8 月下旬以後は, 乾物重では稈の方が葉身より 3~4 倍程度大きかったが, 呼吸活性は稈の方がかなり低かったため, 両者の呼吸速度の差は乾物重の差に比べて小さかった。最終調査時期に近い頃の両者の変動は不規則であったが, LSR は 9

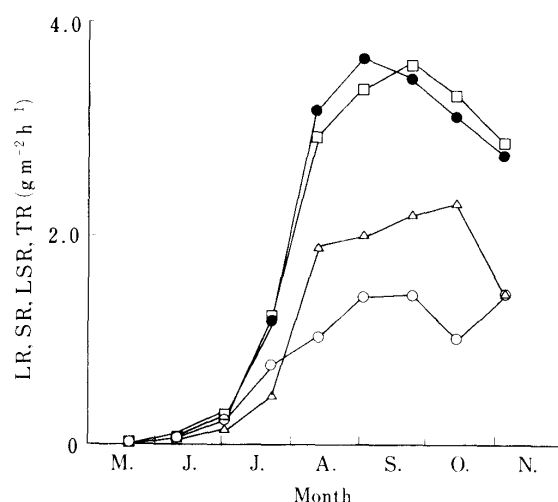


Fig. 6. Changes of respiratory rates under 25°C in leaf blade (LR), stem with leaf sheath (SR) and shoot (LSR, TR) in Expt. 1. Circle: LR, Triangle: SR, Quadrate: LSR, Sum of LR and SR, Closed circle: TR, derived from the following equation; $\text{TR} = 2.87631 \text{ TW} - 0.00488 \text{ D} \cdot \text{TW} - 0.00036 \text{ TW}^2$, where, TW is dry weight of shoot in g m^{-2} , and D is numbers of days after the planting on May 20.

月下旬以後低下した。

6. 圃場の気温条件下における地上部全体の呼吸速度及び日中の純同化速度

以上の呼吸速度, 乾物重及び夜温の値を用いて, 圃場の気温条件下における単位土地面積当りの地上部全体の夜間呼吸速度 (NR, $\text{g m}^{-2} \text{ night}^{-1}$) を推定した。その手続きは以下のとおりである。

実験 1 の場合は, 既報⁷⁾の乾物重と気温の値を用いて, 相連続する 2 回の調査期日の中間の日数, その間の平均夜温及び平均乾物重の値を利用した。この乾物重と日数の値を (4) 式に代入して得られる TR を平均夜温で温度補正し, 夜間時数を乗じて NR を求めた。

実験 2 の場合は, (3) 式に生存部乾物重 (TW) を乗じた式, 即ち

$$\text{TR} = A \cdot \text{TW} + B/D \cdot \text{TW} \dots \dots \dots (5)$$

により TR を推定できる。しかし, 乾物重の調査結果によると呼吸速度を測定した株は必ずしも各時期の個体群を代表する株ではなかった。そこで, 個体群の生存部の平均乾物重の推移から任意の時期の TW を推定した。

この推定のためには日数 (D) と乾物重 (TW) との間の関係式が必要であるが, これまでに調査した範囲では, ネピアグラスの比較的長期にわたる乾物重の変化は殆どの場合に次の一般式であらわすことができた (伊藤, 未発表)。

$\text{TW} = \text{Wm} / (1 - e^{-(A-B \cdot D)})$, 但し, Wm は TW の最大値, A と B は各材料に固有の係数である。

この式を変形すると, $\ln ((\text{TW} - \text{Wm}) / \text{TW}) = A - B \cdot D$ が得られる。Wm の値を僅かずつ変えてその都度, 両辺の値の間の相関係数を計算し, その絶対値を最も大きくする Wm の値を検索して, その時の Wm, A, B の値を採用した。

この操作で得られた実験 2 の両区の関係式は次の通りであった。

$$\text{無処理区: TW} = 1324.4 / (1 + e^{(3.994 - 0.072D)})$$

$$r = 0.998 \quad (P < 0.01)$$

$$\text{処理区: TW} = 1124.2 / (1 + e^{(3.999 - 0.079D)})$$

$$r = 0.999 \quad (P < 0.01)$$

但し, D は 7 月 4 日の刈り取り後の日数である。

これらを用いて, 8 月 5 日から 10 日目毎の TW の値を推定し, その値と日数を用いて (5) 式により TR の値を推定した。さらに, 10 日間毎の TR の平均値を平均夜温で補正し, 夜間時数を乗じて NR を計算した。

実験1, 2ともに, NR を求めた期日における地上部乾物重の増加速度 (CGR, $\text{g m}^{-2} \text{day}^{-1}$) を NR に加えれば日中の純同化速度 (Pn, $\text{g m}^{-2} \text{daytime}^{-1}$) が得られる. CGR の計算には枯死部を含めた地上部の全乾物重が必要であるが, 実験1の場合は既報⁵⁾ の CGR の値を利用し, 実験2の場合は次式を利用して生存部の乾物重 (Wf) から地上部の全乾物重 (Wt) を推定した.

無処理区:

$$Wt = -4.887 + 1.038 Wf, r = 0.999 (P < 0.01)$$

処理区:

$$Wt = -6.545 + 1.050 Wf, r = 1.000 (P < 0.01)$$

また, 両実験とも, CO_2 量 / 乾物重の換算係数を $1.43^{14)}$ として, 各乾物重の値をすべて CO_2 量に換算した. なお, 実験2の場合は7月4日の値をゼロに近い値とみなし, この期日と8月5日との間の期間についても上記と同様の計算を行なった.

以上の計算結果をもとに, NR, Pn 及び両者の比 (NR/Pn) の変化を第7, 8図に示した.

第7図 (実験1) によると, Pn および NR ともに, 生育の進み及び環境条件の変化に対応して増減し, 両者の変化はほぼ平行した. しかし, NR/Pn 比は次第に増大し, とくに Pn が低下する時期の NR/Pn 比の増大は急速であり, 9月以降は生産効率が顕著に低下することを示した. 第8図 (実験2) の両区とも, 各要素の変化は第7図の場合とほぼ同様であった. 第7図に比べて第8図の両区の Pn, NR 及び NR/Pn の値が小さかったのは栽植密度が $1/4$ と低かったこと及び植物体が比較的若い時期の調査であったことによると推察される.

第8図の両区を比較すると, Pn はほぼ一致し, NR 及び NR/Pn 比は処理区の方が大きかった. 即ち, 処理によって稈の節間伸長と老化が抑制されると生産効率が低下する. 処理区の方が NR は大きいにも拘らず乾物重⁵⁾ 及び Pn (第8図) は両区の間で大差がなかったことは, 処理区の方が個体群の光合成速度が大きかったことを示す. これは処理によって, 個葉の光合成能力²⁾ 及び株当りの葉身重⁸⁾ がともに増加することによると推察される.

7. 維持呼吸率の推定

前掲の (4), (5) 式及び第7, 8図から, NR の変化は TW 及び Pn の変化との相関が強いことがうかがわれたので, Pn 及び TW を独立変数とし NR を従属変数として重回帰分析を行なった. また, 呼吸活性が夜間と昼間とで等しいと仮定すれば, NR

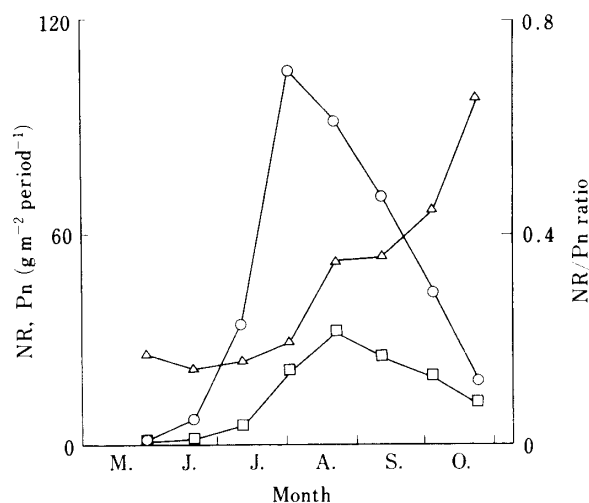


Fig. 7. Changes of respiratory rate during night (NR), net assimilation rate during daytime (Pn) and ratio of NR to Pn (NR/Pn ratio) in Expt. 1.
Quadrat: NR ($\text{g m}^{-2} \text{night}^{-1}$), Circle: Pn ($\text{g m}^{-2} \text{daytime}^{-1}$), Triangle: NR/Pn ratio.

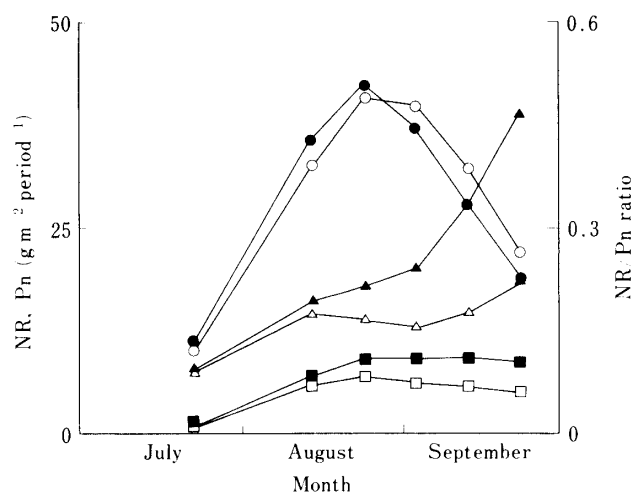


Fig. 8. Changes of respiratory rate during night (NR), net assimilation rate during daytime (Pn) and ratio of NR to Pn (NR/Pn ratio) in Expt. 2.
Open: Control plant, Closed: Dwarfed plant.
Quadrat: NR ($\text{g m}^{-2} \text{night}^{-1}$), Circle: Pn ($\text{g m}^{-2} \text{daytime}^{-1}$), Triangle: NR/Pn ratio.

を求めたのと同じ方法で昼間の呼吸速度 (DR, $\text{g m}^{-2} \text{daytime}^{-1}$) を推定できる. この DR を Pn 及び NR のそれぞれに加えれば全日の粗同化速度 (Pg, $\text{g m}^{-2} \text{day}^{-1}$) 及び呼吸速度 (DNR, $\text{g m}^{-2} \text{day}^{-1}$) が得られるので, Pg 及び TW を独立変数とし DNR を従属変数とする重回帰分析も併せて行なった. さらに, 得られた回帰式の Pn 或いは Pg の係数 (K) と TW の係数 (C) とを用いて, 維持呼吸

率 (M) を $M=C/(1-K)^{4)}$ により計算し、一括して第3表に記載した。

各回帰式の定数はゼロではなかったが、回帰式の決定係数の値及び有意水準はいずれも高かった。また、調査期間中の全呼吸量を計算した結果によると、各回帰式の定数によって表される呼吸量は NR 及び DNR の 5.0～10.8% の範囲であった。従って回帰分析により、呼吸速度は同化速度に比例する部分と乾物重に比例する部分とにほぼ分けられたとみなされた。ただし、この K, C 及び M の値は調査期間中の平均値に相当する値である。これらはいずれも、生育段階⁴⁾、温度^{14,19)}、及び光の強さ¹⁹⁾ によって変動するが、本研究の解析法ではこの変動の詳細を明らかにし得なかった。

これまでに、いくつかの作物の K, C 及び M の値に関する調査が行なわれている。NR に関しては、McCree¹⁴⁾ によると、30°C の条件下における白クローバーでは $K=0.14$, $C=0.0143$ であり、モロコシでは $K=0.14$, $C=0.0054$ であった。また、これらの値を用いて計算すると、白クローバー、モロコシの M ($\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{CO}_2 \text{ night}^{-1}$) は、それぞれ、0.0166, 0.0063 である。DNR に関しては、Robson¹⁸⁾ の取り纏めによると、トウモロコシ及び C_3 -型牧草数種における既往の M の値 ($\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1}$, d.w day^{-1}) は 0.006～0.090 であり、乾物重当りを CO_2 量当りに換算すると 0.0042～0.063 ($\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1}$, $\text{CO}_2 \text{ day}^{-1}$) である。また、広田・武田⁴⁾ による水稻

及び大豆の K 及び C の値の生育期間内平均値を用いて M の値を計算すると、それぞれ、0.0121, 0.0589 (g, d.w g^{-1} , d.w day^{-1}) である。

ここに引用した既往の研究と本研究とは解析法が異なるので、厳密に比較することはできないが、上記の M の値を参照すると、第3表の実験1及び実験2の無処理区の M の値は、NR と DNR のいずれに関しても、他の作物についての既往の値のなかの小さい部類に入る。実験1に比べて実験2の無処理区の値が小さいのは、後者が、再生開始後の生長が比較的盛んな時期であったためと思われる。実験2の無処理区と処理区とを比較すると、NR と DNR のいずれに関しても、K の値は大差なく C の値は処理区の方が大きかった。その結果、M の値は処理区の方が明らかに大きかった。また、処理区の値は既往の他の作物の値の中の大きい部類に入る。

さらに本研究における全日の呼吸速度について、M と TW との積及び DNR のそれぞれについての全調査期間にわたる積算値を用いて、調査期間中の全呼吸量に対する維持呼吸量の比率を計算すると、実験1: 40.8%, 実験2の無処理区: 22.0%, 処理区: 65.1% であった。無処理の植物の比率は水稻⁴⁾ の比率 (54.5%) に比べて低く、また、この比率は処理によって高くなった。実験1に比べて実験2の無処理区の値がかなり低いのは M の値の相違によるものであり、この相違については前述のとおりである。

Table 3. Multiple regression analysis and maintenance respiratory activities for the respiratory rate per a night (NR) and per a whole day (DNR) in Expt. 1 and 2.

Experiment ¹⁾	Partial regression coefficient of independent variable (K) (C)		Regression constant	Multiple correlation coefficient	Ratio of contribution (%)	Maintenance respiratory activity (M ⁷⁾)
for NR ²⁾	Pn ³⁾	TW ⁴⁾				
1	0.2630	0.0022	-1.4985	0.961***	92.4	0.0030
2, Control	0.1533	0.0009	-0.2360	0.985***	97.0	0.0010
2, Dwarfed	0.1462	0.0041	-0.5294	0.991***	98.2	0.0049
for DNR ⁵⁾	Pg ⁶⁾	TW ⁴⁾				
1	0.5064	0.0040	-3.3829	0.982***	96.5	0.0081
2, Control	0.3313	0.0018	-0.5549	0.990***	98.1	0.0028
2, Dwarfed	0.3197	0.0089	-1.2069	0.994***	98.9	0.0131

***: $P < 0.001$.

- 1) No treatment was done in experiment 1. In experiment 2, respiratory rates of dwarfed plant and control plant were compared. 2) NR: Respiratory rate per a night ($\text{g m}^{-2} \text{ night}^{-1}$). 3) Pn: Net assimilation rate per a daytime ($\text{g m}^{-2} \text{ daytime}^{-1}$). 4) TW: Dry matter weight of green parts of shoot (g m^{-2}). 5) DNR: Respiratory rate per a whole day ($\text{g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$). 6) Pg: Gross assimilation rate per a whole day ($\text{g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$). 7) $M=C/(1-K)$, $\text{g g}^{-1} \text{ night}^{-1}$ for NR and $\text{g g}^{-1} \text{ day}^{-1}$ for DNR.

これらの比率 (Ra) 及び M の値を用いて $M \cdot (1-Ra)/Ra$ により全日の構成呼吸率 ($g\ g^{-1}\ day^{-1}$) を計算すると, 実験 1: 0.0118, 実験 2 の無処理区: 0.0099, 処理区: 0.0070 であった。これらの値の材料間差異は M の値の場合に比べて小さく, 実験 1 の値は水稻⁴⁾ の値 (0.0101) と大差なかった。

以上のように, ネピアグラスの生育期間中の M の平均値は前述の他の作物の M の値のすべてに比べて小さいとはいえないが, 比較的小さい値である。とくに, 水稻に比べて小さいことは稈の呼吸活性の変化の相違からも推察される。即ち, 生育に伴う葉身及び稈の呼吸活性の低下は, 水稻(広田・武田⁴⁾ の第 1 図より推定) に比べてネピアグラス(本研究の第 2 図) の方が急激であり, 稈における両作物の相違は大きい。これは, ネピアグラスにおける栄養生長期からの節間の伸長とその後の老化によるところが大きいと考えられる。このことは, 矮化剤処理によって稈の節間伸長が抑制されると M の値が大きくなり, その値は水稻の値と大差ないことから裏付けられる。

これらの結果及び乾物生産に関する知見から, ネピアグラスの乾物生産に関する茎の節間伸長の意義について次のように推察される。即ち, 節間伸長により, 先ず, 葉面積密度の増大が抑制され¹¹⁾, 次に, 光合成産物の受容体容量が経時的に大きくなる。これらのことはいずれも個体群の光合成を促進する要因である。一方, 節間伸長により茎の老化が進んで茎の維持呼吸による乾物の損失が軽減される。従って, 茎の節間伸長は, 個体群の光合成を促進するとともに光合成産物を乾物として効率よく蓄積することに貢献するといえる。しかし, 茎の老化に伴ってその飼料品質は低下する。節間伸長と飼料品質, 日中の呼吸速度及び構成呼吸率などとの関係については今後検討を進めたい。

引用文献

- Black, C.C. Jr. 1973. Photosynthetic carbon fixation in relation to net CO_2 uptake. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 24: 253-286.
- Dalziel, J. and D.K. Lawrence 1984. Biochemical and biological effects of kaurene oxidase inhibitors, such as paclobutrazol. *Br. Plant Regul. Group Monograph* 11: 43-57.
- El-Sharkawy, M.A. and J.D. Hesketh 1965. Photosynthesis among species in relation to characteristics of leaf anatomy and CO_2 diffusion resistances. *Crop Sci.* 5: 517-521.
- 広田 修・武田友四郎 1978. 数種作物の太陽光利用率に関する研究 第 3 報 水稻及び大豆個体群における光合成有効放射転換率と構成呼吸及び維持呼吸の関係. *日作紀* 47: 336-343.
- 伊藤浩司・稲永 忍 1988. ネピアグラスの乾物生産に関する研究 第 1 報 東京と宮崎とにおける乾物生産力及び生長パラメーターの比較. *日作紀* 57: 90-96.
- ・他 1988. ——— 第 2 報 東京以南の 6 地域における乾物生産力. *日作紀* 57: 424-430.
- ・他 1990. ——— 第 5 報 収穫部各部の乾物収量の地域差. *日作紀* 59: 100-200.
- ・石井康之・三角 守・岩切弘明 1990. ——— 第 6 報 植物生長抑制剤パクロブトラゾール処理が地上部の生長と乾物収量に及ぼす影響. *日作紀* 59: 469-474.
- Ludlow, M.M. and G.L. Wilson 1971. Photosynthesis of tropical pasture plants I. Illuminance, carbon dioxide concentration, leaf temperature, and leaf air vapour pressure difference. *Aust. J. Biol. Sci.* 24: 449-470.
- and ——— 1971. ——— III. Leaf age. *Aust. J. Biol. Sci.* 24: 1077-1087.
- , T.H. Stobbs, R. Davis and D.A. Charles-Edwards 1982. Effect of sward structures of two tropical grasses with contrasting canopies on light distribution, net photosynthesis and size of bite harvested by grazing cattle. *Aust. J. Agric. Res.* 33: 187-201.
- Ludwig, L.J., T. Saeki and L.T. Evans 1965. Photosynthesis in artificial communities of cotton plants in relation to leaf area I. Experiments with progressive defoliation of mature plants. *Aust. J. Biol. Sci.* 18: 1103-1118.
- McCree, K. and J.H. Troughton 1966. Non-existence of an optimum leaf area index for the production rate of white clover grown under constant conditions. *Plant Physiol.* 41: 1615-1622.
- . 1974. Equations for the rate of dark respiration of white clover and grain sorghum, as function of dry weight, photosynthetic rate, and temperature. *Crop Sci.* 14: 509-514.
- Miyasaka, A., S. Akita, K. Munakata and Y. Murata 1978. Estimation of dry matter increase of rice stands by continuous measurement of CO_2 exchange using a chamber method and analysis of causal factors for the diurnal changes in the CO_2 exchange. In Monsi, M and T. Saeki eds., *Ecophysiology and Photosynthetic Productivity*. Univ. Tokyo Press, Tokyo. 123-139.
- Murata, Y. and J. Iyama 1963. Studies on the photosynthesis of forage crops II. Influence of air-temperature upon the photosynthesis of some forage and grain crops. *Proc. Crop Sci. Soc. Japan* 31: 315-322.
- 及川武久 1970. 光合成産物の分配と生長. 岩城秀夫

- 編, 植物生態学講座 3. 群落の機能と生産. 朝倉書店, 東京. 150—162.
18. Robson, M.J., G.J.A. Ryle and J. Woledge 1988. Respiration. In Jones, M.B. and A. Lazenby eds., *The Grass Crop—The Physiological Basis of Production*. Chapman and Hall, New York. 55—61.
19. Ryle, G.J.A., J.M. Cobby and C.E. Powell 1976. Synthetic and maintenance respiratory losses of $^{14}\text{CO}_2$ in unculm barley and maize. *Ann. Bot.* 40: 571—586.
20. 戸塚 績・木村 充 1973. 呼吸機能. 生態学講座 9 植物の生産過程. 共立出版, 東京, 47—52.
21. Yamagishi, J., R. Ishii and A. Kumura 1989. Respiration of soybean plants in relation to their physiological conditions II. Effect of preceding light conditions on the time course change of respiration in the following dark period. *Jpn. J. Crop Sci.* 58: 114—118.
-