ネピアグラスの乾物生産に関する研究

第3報 東京及び宮崎における葉位別の個葉の面積 及び光-光合成関係*

伊 藤 浩 司・稲 永 忍*

(宮崎大学農学部・*東京大学農学部附属農場)

昭和62年10月31日受理

要 旨：ネピアグラス (*Napiergrass*, *Pennisetum purpureum* Schumach, 品種メルケロン) を東京及び宮崎にて比較的多肥の条件下で栽培し、主として夏期における茎の生長に伴う生葉数の変化、葉位による個葉の面積及び光-光合成関係の変化を調べた。

5月の植え付け期から11月に至るまで、両地域とも展開葉数及び枯死葉数は増加を続け、展開葉数は31～32、枯死葉数は約20枚に達する。7月上旬から9月上旬にかけての両葉数の増加は東京の方が急であるが、その後の枯死葉数の増加は宮崎の方が急である。7月上旬以前に展開する葉の面積は東京の方がかなり小さいが、その後の葉位の進みに伴う面積の増大は東京の方が大きい。両地域とも、8月下旬に第23葉位前後に達し、その葉位の葉が最大葉となるが、その面積は東京で約370 cm²、宮崎で約300 cm²である。その後の葉位の進みに伴う面積の減少は東京の方が大きい。その結果、7月上旬から8月下旬にかけての葉面積指数及び葉面積密度の増大は東京の方が急激であるが、両地域の葉面積密度は他のC₄-型牧草の値に比べて低い。このような葉数及び葉面積に関する地域差は、気温の季節的変化の地域差にほぼ対応し、また、既報の乾物生産の季節的変化に関する地域差の主要な要因と推察される。他方、光合成特性は両地域に大差なく、光-光合成曲線はC₄-型牧草に一般の型であり、能力は最上位展開葉前後の葉が最も高く、約90 mgCO₂/dm²/hrを示す。下位の葉ほど能力は低く、光-光合成曲線は光飽和型の傾向を強めるが、生葉の最下位3葉を除くと能力の低下は比較的緩やかである。

キーワード：枯死葉数、光合成速度、個葉の面積、展開葉数、ネピアグラス、葉面積指数、葉面積密度。

Studies on the Dry Matter Production of Napiergrass III. Areas and light-photosynthesis relations in single leaves from different positions on a stem at Tokyo and Miyazaki: Koji ITO and Shinobu INANAGA* (*Faculty of Agriculture, Miyazaki University, Kumano, Miyazaki 889-21, Japan; *Experimental Farm, Faculty of Agriculture, Tokyo University, Tanashi, Tokyo 188, Japan*)

Abstract: Napiergrass (*Pennisetum purpureum* Schumach, cv. Merkeron), grown in Tokyo and Miyazaki under relatively heavy fertilization, produced 31～32 unfolded leaves on a stem, 20 leaves of which were lost by senescence, during the growing season from May to November. At both sites, the area of a leaf was the largest for the 23rd leaf on a stem, numbered consecutively from the lowest leaf above ground level. The area of this leaf, unfolded in late August, was ca. 370 cm² in Tokyo and ca. 300 cm² in Miyazaki, although the areas of 11～13th leaves, unfolded in early July, were considerably smaller at the former site. Owing mainly to such circumstances as above, the increase in leaf area index and leaf area density until early September were more rapid in Tokyo than in Miyazaki. At both sites, the photosynthetic rate of single leaf under high light intensity was the highest for the leaves around the uppermost unfolded leaf with a value of ca. 90 mg CO₂/dm²/hr and light-photosynthesis relations of these leaves were the ordinary type for C₄-grasses. The older the leaf, the lower was the photosynthetic capacity and the more the light-photosynthesis curve tended towards the light-saturation type.

Key words: Areas of single leaves, Leaf area density, Leaf area index, Napiergrass, Photosynthesis, Unfolded leaf.

ネピアグラスは熱帯における乾物生産力の高い牧草である^{1,2)}が、我が国の沖縄から東京にかけての地域でも、他の多くの作物に比べてかなり高い生産力を発揮する^{3-5,8,11,12,17,19)}。しかし、ネピアグラスの生育についての知見は少なく、また、生産性の解析に関する研究も、我が国の内外ともに少ない。宮城¹³⁾及び著者⁴⁾の研究結果から、ネピアグラスは

他の多くの作物に比べて、個体群の葉面積指数が大きくなるとともに主要な生産期間中の吸光係数が比較的小さいこと、葉面積指数、吸光係数及び個体群生長速度の季節的変化が東京と宮崎とで異なる⁴⁾ことなどが指摘されるが、詳細は明らかでない。

このようなことから、ネピアグラスの葉の動態に関する知見の一部として、生長に伴う生葉数の変化並びに個葉の面積及び光-光合成関係の葉位による

* 本研究費の一部は文部省科学研究費による。

変化を、東京及び宮崎の両地域で検討することとした。

材料と方法

品種メルケロンを供試し、東京では1985年度、宮崎では1986年度に実験を行なった。

材料の栽培：約7～8葉期の苗を、畦間、株間ともに50 cm 間隔にて、5月上旬に植え付け、圃場栽培した。基肥として、乾燥鶏糞を10 a 当たり130 kg 及び化成肥料にて10 a 当たり成分量換算 N:13 kg, P_2O_5 :15 kg, K_2O :15 kg を施用し、追肥として、N は6月中旬、8月上旬、9月中旬、他の2要素は8月上旬にそれぞれ、基肥の場合と同量の化成肥料を施用した。その他の管理は、植え付け時及びその後の強い乾燥時の灌水以外は行なわなかった。

調査：7月から11月にわたり、葉の生長に関する調査を行なうとともに、7月から8月にかけて個葉の光合成を測定した。

(1) 葉の生長に関する調査：個体群周縁部4辺の各2列以上を除く4～5株について、茎数及び立毛状態での葉の最高位置の高さ（草高）、地際から生葉の最下位の節位までの高さを調査した。その株の6～10茎につき、緑色が認められない葉を枯死葉とみなして、展開生葉数及び枯死葉数を調査し、展開生葉の面積を葉位別に測定した。未展開葉については、最上位展開葉の葉耳の位置で切り離し、その部分の面積を切り離したときの状態のままで測定した。

(2) 光合成の測定：前記と同様な方式で茎を抽出し、葉位別に、着生葉の状態で、通常大気を用いての通気同化箱法により光合成・呼吸速度の日変化を測定した。同化箱内環境条件の調節は行なわなかったが、通気量を多くすることにより、同化箱内気温は外気温よりやや高い値で外気温の変化に追随し、気温差は5℃以下であった。測定に際し、測定対象の葉が庇蔭されないように周辺の他の茎及び株を刈り払ったうえ、対象の茎を傾斜させて、同化箱及びその中の葉を水平に維持した。ネオ日射計（英弘精機製）により水平日射強度を測定し、同化箱表面の日射透過率を用いて箱内の葉の表側日射強度を推定した。同化箱の裏面が受ける光の強さは規制しなかった。

結果と考察

1. 実験期間中の気象条件及び材料の生育

気温、日射量及び降水量ともにほぼ平年並に経過した。旬平均気温の変化を第1図に示し、日射量及び降水量の図は省略した。

東京及び宮崎とも、気温は7月上旬から8月下旬にかけて最も高くなり、東京の方がやや高いが、その他の時期は東京の方が低く、とくに6月の差は大きい。東京では9月下旬、宮崎では10月中旬以後、気温は20℃以下となった。日射量は梅雨期には特異的に低いが、その他の時期は気温とほぼ同様の变化を示した。降水量は、夏期に一時的に少ないこともあったが、適宜灌水することにより過乾の状態には至らなかった。

材料はいずれもほぼ順調に生育し、10月末の草高は約3.5 m に達した。両地域とも調査期間中は出穂するに至らなかったが、宮崎では12月上旬には一部の茎が出穂した。

2. 展開葉数及び枯死葉数

1茎当たりの展開葉数及び枯死葉数の変化を第2図に示した。

展開葉数及び枯死葉数ともに最終調査時まで増加を続け、展開葉数は31～32枚、枯死葉数は約20枚に達する。この頃には未だ止め葉の展開期に至っていない。

両葉数の増加速度を東京と宮崎とで比較するため、7月上旬以後の日数に対する葉数の回帰式として妥当と考えられる式を、統計処理を用いて試行錯誤により探索した。その結果、9月上旬を境界とす

Fig. 1. Changes in the daily mean temperatures at Tokyo and Miyazaki.

Note: Temperatures are average values for ten days.

Closed: Tokyo, open: Miyazaki.

る2ケの一次回帰式を得た。9月上旬が境界となるのは、この頃から両地域とも気温が低下することと関連すると考えられる。7月3日以後の日数(X)に対する葉数(Y)の回帰式は下記のとおりである。なお、肩記号の異なる回帰係数の地域間差は1%水準で有意である。また、 R^2 の**は1%水準で回帰の有意性を示す。

展開葉数の回帰式

7月3日～9月6日

$$\text{東京: } Y = 0.290^a \cdot X + 7.6 \quad R^2 = 0.986^{**}$$

$$\text{宮崎: } Y = 0.206^b \cdot X + 10.9 \quad R^2 = 0.871^{**}$$

9月6日～11月12日

$$\text{東京: } Y = 0.071^a \cdot X + 22.2 \quad R^2 = 0.665^{**}$$

$$\text{宮崎: } Y = 0.109^b \cdot X + 17.4 \quad R^2 = 0.640^{**}$$

枯死葉数の回帰式

7月3日～9月6日

$$\text{東京: } Y = 0.151^a \cdot X + 2.2 \quad R^2 = 0.976^{**}$$

$$\text{宮崎: } Y = 0.081^b \cdot X + 3.1 \quad R^2 = 0.808^{**}$$

9月6日～11月12日

$$\text{東京: } Y = 0.121^a \cdot X + 4.8 \quad R^2 = 0.896^{**}$$

$$\text{宮崎: } Y = 0.175^b \cdot X - 3.0 \quad R^2 = 0.954^{**}$$

上記の各式に示されるように、展開葉数及び枯死葉数の増加はともに、9月上旬までは東京の方が急で、その後は、展開葉数では両地域に大差なく、枯死葉数では宮崎の方が急となる。枯死葉数の変化の地域差は、7月上旬までの気温の上昇及び9月上旬

以後の気温の低下がともに東京の方が急であることと対応する。展開葉数の変化にも同様な対応がうかがわれるが、枯死葉数に比べて対応は弱い。

このような展開葉数と枯死葉数との関係から、展開生葉数は両地域とも、株の生育の進みに伴い次第に増加した後、減少する。最も多い時期は、両地域とも9月上旬であり、そのときの値は、東京の14枚に対し、宮崎では16枚であり、東京に比べてやや多い。しかしその後の生葉数の減少は東京の方が遅く、最終調査時の値は東京で11枚、宮崎で12枚となり、生育後期の生葉数の維持は東京の方が勝る。また、第2図の展開葉数及び枯死葉数の値はそれぞれの最上位の葉位をも示すので、縦軸上の同じ高さにある展開葉数の点と枯死葉数の点の間隔は、葉が展開してから緑色を失う迄のおおよその日数（以下、寿命と略称する）を示す。これを第2図から判定できる範囲は8月中旬迄に展開した葉に限られるが、その範囲では、株の生育に伴い寿命は長くなる。7月中旬に展開した葉の寿命は、東京では約45日、宮崎では約75日と推定され、宮崎の方が長い。しかし8月上旬に展開した葉の寿命は、両地域ともほぼ一致して、約80日となる。このような葉の展開時期及び地域による寿命の相違から、葉の生長過程の気温と寿命との関連が推察されるが詳細は明らかでない。

3. 個葉の面積

各時期の調査結果を総合して、展開葉の面積を葉位別に第3図に示した。

葉位と面積との関係は、イネ科植物に通常の型である。両地域とも、第23葉位前後の葉が最も大きく、その葉位に達する時期は、第2図からみると、いずれも8月下旬である。最大値は東京で約370 cm²、宮崎で約300 cm²であり、東京の方が大きい。これらの値は、トウモロコシ⁶⁾の最大値約850 cm²には及ばないが他の多くのC₄-型牧草⁷⁾に比べて大きい。また、葉位別にみると、東京の方が葉位による変化が大きく、第13葉位前後迄は宮崎に比べてかなり小さいが、それ以上の葉位では東京の方が大きい。この地域差は前述の葉数及び葉の寿命の場合と同様に、気温の季節的変化の地域差にほぼ対応しているように見受けられる。これらの点についてはさらに調査を重ねたい。

4. 単位土地面積当たりの葉面積

前記の展開生葉の葉位、個葉の面積、未展開葉の面積及び単位土地面積当たり茎数の値とから、個体

Fig. 2. Changes in numbers of unfolded leaves and dead leaves on a stem at Tokyo and Miyazaki.

Note: Closed: Tokyo, open: Miyazaki.

Circle: Nos. of unfolded leaves.

Triangle: Nos. of dead leaves.

群の葉面積指数 (LAI) を算出した。茎数は、6月中旬まで増加し、この頃から、母茎の地上節位から出現した茎が枯死するため、宮崎では7月中旬、東京では8月上旬にかけて減少する。その後は、母茎の地下節位から出現した茎のみとなって生茎数は安

定する。両地域とも、茎数が最も多いときの値は約39本/m²、安定したときの値は約29本/m²である。

また、生葉の最下位節の位置を生葉の分布範囲の下限とみなして、草高とこの位置の高さとの差でLAIを除いて葉面積密度 (以下、FDと略称) を算出し、LAIとともに第4図に示した。

LAIは、9月上、中旬に最大となる。その後も出葉は続くが、新しい葉の面積は次第に小さくなるので、面積の大きい下葉の枯死によるLAIの減少を補い得ない。

葉数の場合と同様の統計処理により、LAI及びFDの増加速度を検討した。その結果は以下のとおりである。なお、肩記号の異なる回帰係数の地域間差は5%水準で有意である。また、R²の*、**はそれぞれ、5%、1%水準で回帰の有意性を示す。

LAIの回帰式 (X:7月3日以後の日数, Y:LAI)

7月3日～9月6日

$$\text{東京: } Y = 0.189^a \cdot X + 2.6 \quad R^2 = 0.948^{**}$$

$$\text{宮崎: } Y = 0.123^b \cdot X + 5.4 \quad R^2 = 0.780^{**}$$

9月6日～11月12日

$$\text{東京: } Y = -0.030^a \cdot X + 16.2 \quad R^2 = 0.472^*$$

$$\text{宮崎: } Y = -0.062^b \cdot X + 18.0 \quad R^2 = 0.654^{**}$$

FDの回帰式 (X:7月3日以後の日数, Y:FD)

7月3日～9月6日

$$\text{東京: } Y = 0.099^a \cdot X + 3.1 \quad R^2 = 0.948^{**}$$

$$\text{宮崎: } Y = 0.025^b \cdot X + 3.8 \quad R^2 = 0.426^*$$

9月6日～11月12日

$$\text{東京: } Y = -0.035^a \cdot X + 11.8 \quad R^2 = 0.773^{**}$$

$$\text{宮崎: } Y = -0.022^a \cdot X + 7.2 \quad R^2 = 0.544^*$$

前記の葉数の場合に比べて、R²の値が低い傾向があるが、回帰係数の地域差は、9月上旬以後のFDを除き、いずれも有意である。

前述のように、東京の方が、9月上旬までの展開葉数の増加及び葉位の進みに伴う個葉面積の増大がともに急なため、この期間のLAIの増大は急である。他方、その後のLAIの減少は、東京の方が下葉の枯死の進みが遅いため、緩慢である。

FDの変化は両地域とも、LAIの増減にほぼ平行するが、変化の幅及び最大値ともに東京の方が大きい。最大値は東京では9.3、宮崎では5.4であり、そのときのLAIはそれぞれ順に13.8、13.5である。他の草種については、トウモロコシ⁷⁾、セタリア及びパンゴラグラス¹⁰⁾では、それぞれ順に、LAIが10.6、2.3、2.6のときFDは6.64、12.2、16.1となっており、これらのLAIとFDとの関係

Fig. 3. Areas of unfolded leaves from different positions on a stem.

Note: Leaves are numbered consecutively from the lowest above the ground level.

Closed: Tokyo, open: Miyazaki.

Fig. 4. Changes in leaf area index (LAI) and leaf area density (FD) at Tokyo and Miyazaki.

Note: Closed: Tokyo, open: Miyazaki.

Circle: LAI, triangle: FD.

からみると、ネピアグラスの FD は他の C_4 -型牧草に比べればかなり小さいといえる。トウモロコシに比べると、東京の値は大きい、宮崎の値はやや小さい。ネピアグラスの FD が比較的小さいのは、葉の展開に伴いその葉の着生節位の節間が順次伸長することによる。宮崎では、9月上旬以前に展開した葉の着生節位の節間長は節位による差が比較的小さく、平均約 11 cm である。その後に展開する葉の節間長は次第に短くなるが、同時に個葉面積が小さくなるので、FD が増大するには至らない。東京では、宮崎に比べて節間長が短い傾向があるため、LAI の増大に伴う FD の増加が宮崎に比べて強い。FD が大きいと、個体群内の CO_2 拡散速度が小さい^{7,18)} ほか、散光の透過率が低いと考えられ、生産上不利である。従って、FD の地域差は、既報⁴⁾ のように、東京では LAI が約 8 の時に最適 LAI となるのに対し、宮崎では少なくとも LAI が 10 以下では最適 LAI は生じないという相違の一因と考えられる。

Fig. 5. Photosynthetic capacity (P_0) of leaves from different positions on a stem at Tokyo and Miyazaki.

Note: Unfolded leaves are numbered consecutively from the youngest to the oldest leaf. The youngest unfolded leaf is numbered as 0, and the folded leaf next to the youngest unfolded leaf as -1.

P_0 is net photosynthetic rate under the solar radiation intensity of 1.1 cal/cm²/min. and the air temperature of 30~35°C.

Data were obtained under field conditions during the periods from August 7 to 8 at Tokyo and from July 26 to 29 at Miyazaki.

Closed: Tokyo, open: Miyazaki.

5. 個葉の光合成能力及び光-光合成関係

光合成速度の日変化に関する 7 月末前後の測定結果をもとに、個葉の光合成能力 (P_0) として日射量が 1.1 cal/cm²/min のもとでの見掛けの光合成速度を第 5 図に、また、個葉の日射量-見掛けの光合成速度関係を第 6 図に、それぞれ葉位別に示した。以下の記述では、“日射”に対する用語として“光”を使用する。

P_0 (第 5 図) についての両地域の結果はほぼ一致し、最上位展開葉前後の葉で最も高く、約 90 mgCO₂/dm²/hr を示す。この値は、 C_4 -型牧草について従来得られている P_0 の値¹⁶⁾ の中では高い部類

Fig. 6. Relationship between intensity of solar radiation (S) and net photosynthetic rate (P) of leaves from different positions on a stem at Tokyo and Miyazaki.

Note: Leaves 2 (—×—) and 8 (---×---) at Tokyo and leaves -1 (---○---), 1 (—●—), 3 (---△---), 8 (—▲—), 12 (---□---) and 14 (—■—) at Miyazaki are numbered consecutively from the youngest to the oldest leaf. The youngest unfolded leaf is numbered as 0, and the folded leaf next to the youngest unfolded leaf as -1. Data were derived from the results of the measurements on diurnal changes in net photosynthetic rate under field conditions during the periods from August 7 to 8 at Tokyo and from July 26 to 29 at Miyazaki.

The diurnal changes in the air temperature in the assimilation chamber during these periods were in the range from 31~36°C at the highest radiation intensity to 25~30°C at the sunset.

に入るようである。葉位が下がるに伴い P_0 は低下し、その低下は、生葉の最下位から4枚上位の葉までは比較的緩やかであるが、その葉から下位の葉では急となり、緑色を殆ど失った葉の P_0 は0である。このように、葉が緑色を失う時期に近い頃まで、葉齢の進みに伴う P_0 の低下が比較的緩慢な例は、水稻¹⁵⁾ 及びトウモロコシ¹⁴⁾ にもみられるが、これらに比べてコロンブスグラス⁹⁾ の場合は P_0 の低下が急である。

光-光合成関係 (第6図) については、東京での測定例が少ないが、上位葉に関する測定結果は宮崎の結果とほぼ一致し、最上位展開葉前後の葉位の葉の曲線は C_4 -植物にみられる一般的な型である。しかし、葉位が下がるに伴い光飽和型の傾向が強まる。

従来、ネピアグラスの個葉の光合成速度を測定した例は少ないが、Ludlow & Wilson⁹⁾ は、環境条件を規制した人工気象室内でポット栽培した材料を用い、植え付け後30日目の最上位展開葉について、葉齢の進みに伴う P_0 及び光-光合成関係の変化を調べている。その結果と本実験の結果とは、 P_0 の最高値及び葉齢の進み、即ち葉位の低下にともなう P_0 の変化の傾向の点ではよく一致する。しかし、Ludlow らの場合は葉齢が38日で P_0 が0となるのに対し、本実験では、 P_0 が0となる葉齢を算出すると約60日となり、本実験の方が葉の寿命は長い。また、光-光合成曲線の勾配は、本実験の方が大きい傾向がある。このような相違は材料の栽培条件の相違によると思われるが、その点についての比較検討は困難である。

以上のように、東京及び宮崎におけるネピアグラスの夏期の光-光合成関係は、他の多くの C_4 -植物と大差ないが、 P_0 がやや高いこと及び葉齢の進みに伴う P_0 の低下が一部の草種に比べて小さいことは、生産上有利な点である。しかし、LAI が大きくなり得るとともに、吸光係数⁴⁾ 及びFDが小さいことに表わされるように、葉の配列が生産上有利な態勢になっていることが、他の多くの草種に比べて、ネピアグラスの生産性が高いことの主な理由であろう。東京と宮崎との間にみられる乾物生産速度の季節的変化の地域差も、前述のような気温の季節的変化の相違に関連する葉の生産過程の地域差によるところが大きいと考えられる。

謝辞 本実験は文部省科学研究費エネルギー特別

研究の一環として行なわれた。この特別研究を実施する過程で、村田吉男 東京農業大学教授、武田友四郎 九州大学名誉教授及び玖村敦彦 東京大学名誉教授から、終始、懇切な助言を載いた。ここに記して、深謝の意を表します。

引用文献

1. Bogdan, A.V. 1965. Tropical Pasture and Fodder Plants (Grasses and Legumes). Longman, London. 233—241.
2. Cooper, J.P. 1970. Potential production and energy conversion in temperate and tropical grasses. Herb. Abst. 40: 1—15.
3. 井出迫金一 1961. 有望な南方型牧草栽培について. 日草誌 7: 146—150.
4. 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.
5. ———・村田吉男・稲永 忍・大久保忠旦・武田友四郎・沼口寛次・宮城悦生・星野正生 1988. ネピアグラスの乾物生産に関する研究 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.
6. Jones, C.A. 1985. C_4 Grasses and Cereals. John Wiley & Sons, Inc., New York. 75—76, 172—173.
7. Kira, T. 1975. Primary production of forests. In Photosynthesis and Productivity in Different environments (Ed.) J.P. Cooper, Cambridge Univ. Press, London. 5—41.
8. 北村征生・阿部二郎・堀端俊造 1982. 南西諸島におけるイネ科飼料作物の栽培と利用. 1. ローズグラス, ギニアグラスおよびネピアグラスの乾物収量におよぼす刈取間隔および生育季節の影響. 日草誌 28: 33—40.
9. Ludlow, M.M. and G.L. Wilson 1971. Photosynthesis of tropical pasture plants. III. Leaf age. Aust. J. Biol. Sci. 24: 1077—1087.
10. ———, 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.
11. 松岡匡一・野田 博 1966. Napiergrass (*Pennisetum purpureum* Schumach) の特性について. 熱帯農業 9: 211—215.
12. 宮城悦生 1980. ネピアグラス (*Pennisetum purpureum* Schumach) の生産におよぼす栽植密度の影響. 琉大農学報 27: 293—301.
13. ——— 1983. ネピアグラス (*Pennisetum purpureum* Schumach) の生産構造におよぼす刈取間隔の影響. 琉大農学報 30: 529—532.
14. Moss, D.N. and D.E. Peaslee 1965. Photosynthesis of maize leaves as affected by age and nutrient status. Crop Sci. 5: 280—281.

-
15. 村田吉男 1960. 同化作用と物質生産. 松尾孝嶺編, 稲の形態と機能. 農業技術協会, 東京. 87—178.
 16. ——— 1980. 光合成の種間差 (進化・環境). 宮地重遠・村田吉男編, 光合成と物質生産. 理工学社, 東京. 437—474.
 17. 讀井芳胤 1961. ネピアグラスの栽培利用法. 農及園 36 : 663—666.
 18. 館野宏司 1986. 暖地型牧草の物質生産と群落の環境 (6) 草高が CO_2 拡散や群落光合成に及ぼす影響. 日草誌 32 (別号) : 30—31.
 19. 安江多輔・沢野定憲・加藤善二・堀内孝次 1976. ネピアグラス (*Pennisetum purpureum* Schumach) の1年生作物としての栽培利用について. 日草誌 22 : 78—85.
-