

琉球大学学術リポジトリ

光合成速度の長時間連続測定からみたサトウキビ葉身の光合成支配要因の解析

メタデータ	言語: 出版者: 沖縄農業研究会 公開日: 2009-01-29 キーワード (Ja): サトウキビ, 光合成速度, 日変化, 連続測定, 昼寝現象, 農林8号, 農林4号, 読谷山, バディラ, 台南 キーワード (En): 作成者: 比屋根, 真一, 川満, 芳信, 村山, 盛一 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/0002015491

光合成速度の長時間連続測定からみたサトウキビ葉身の光合成支配要因の解析

比屋根真一*・川満芳信・村山盛一

(琉球大学農学部)

Shinichi HIYANE, Yoshinobu KAWAMITSU and Seiichi MURAYAMA: Nonstomatal inhibition of photosynthesis in sugarcane with special reference to long-termed gas exchange measurements.

はじめに

従来、光合成能力の種間差異は厳密に制御された環境条件下で安定時間も含めて約30分前後の短時間に測定し評価してきた(比屋根・川満, 1995; 比屋根ら, 1998; 川満・縣, 1987; Noseら, 1994)。しかし、自然状態の植物は、夜間に炭酸ガスを固定するCAM植物を除けば、日の出とともに光合成を開始し日没に終了する。従って、個葉における光合成能力の種間差異の評価には、瞬時の測定だけでは不十分であり日変化レベルで評価する必要がある。光合成速度の日変化については、これまでサトウキビ(Grantzら, 1987; Irvine, 1967)、水稻(石原ら, 1981; 石原・斉藤, 1987)等、多くの作物において報告がある。しかしこれらは、多様に環境条件が変化する圃場において測定されたものである。著者らは、光合成能力の最大能力を厳密に評価するには厳密に制御された条件下で長時間連続測定を行うことが極めて重要であると考えた。そこで本報では、光強度およびCO₂濃度を段階的に設定してガス交換を長時間連続測定し、サトウキビ葉身における光合成速度の種間差異を調べ、光合成速度が気孔部分と非気孔部分のどの要因により律速されているのか検討した。

材料および方法

これまでの報告(比屋根・川満, 1995; 比屋根ら, 1995; 比屋根ら, 1998a)において光合成速度に差の認められている *Saccharum officinarum* のBadila, *S. sinense* のYomitanzan, *S. spontaneum* のTainan, *S. spp.*

hybridのNiF4の4品種・系統を用いて、厳密に制御された環境条件下で光合成速度の長時間連続測定を行い種間差異を調べた。測定は、1993年9月4日～10月13日に、定植後3ヶ月間育成した植物体の最上位展開葉中央部分を同化箱に2枚挟んで行った。栽培条件、方法および測定装置についての詳細は前報(比屋根ら, 1998a, 1998b; 川満ら, 1994)に記載した通りである。

測定方法として、前日から測定葉を同化箱にセットしておき、朝6時にライトのスイッチを入れ、7時までの1時間に設定光強度まで徐々にあげた。光強度は1日目2000, 2日目は1000 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ に設定し、11時間連続照射した。葉温、相対湿度および外気のCO₂濃度は、昼/夜を35/28 $\pm 2^\circ\text{C}$, 35/50 $\pm 5\%$, 350 $\pm 10\text{ppm}$ に設定した。異なるCO₂濃度条件下における光合成速度の日変化は、Badilaを用いて行った。測定は、1995年9月25日～10月7日の間に3反復行った。測定条件は、光強度2000 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、葉温35 $\pm 2^\circ\text{C}$ 、相対湿度55 $\pm 10\%$ に、CO₂濃度に関しては、1日目は350 ppm, 2日目は900ppmに設定した。

異なる光条件下における光合成速度の日変化は、BadilaとhybridのNiF4を用いて行った。測定は、光強度を1日目2000, 2日目1000, 3日目400 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ に各々設定し、葉温35 $\pm 2^\circ\text{C}$ 、相対湿度50 $\pm 10\%$ 、CO₂濃度330 $\pm 10\text{ppm}$ の条件下で行った。全測定は3日間で終了し、何れも3反復で行った。測定した結果は、光照射連続11時間の総CO₂収支量として求め、異なる光条件下における光合成能力の評価に用いた。瞬時の“光-光合成曲線”の測定はBadilaとhybridのNiF4を供試し、葉温35 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 、相対湿度60 $\pm 5\%$ 、CO₂濃度350 $\pm 5\text{ppm}$ の条件下で、光強度を2000 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$

*現在、沖縄県農業試験場宮古支場。

から順次低下させて行った。なお、測定は約2時間で完了した。

結果および考察

葉身の光合成速度の日変化を種間で比較したところ、測定に供試した全種とも、光強度 $2000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ の強光条件下において測定後半に光合成速度の低下が認められた(図1)。特に、高い光合成速度を有する*S. spontaneum*のTainanおよびの*S. spp. hybrid*のNiF4においては、Badila, Yomitanzanと比較して測定後半に光合成速度が急激に低下した。ところが、光強度 $1000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ の光合成速度は、BadilaおよびYomita

nzanは測定後半において緩やかに低下したのに対し、Tainanは直線的に推移し、NiF4においては時間の経過と共に緩やかに上昇した(図1)。従って、瞬時に測定された光合成速度に差異が認められたように、長時間連続測定による光合成速度の日変化パターンにも差異があった。このことは、1日の間に葉身が固定できる炭素量には種毎に限度があることを意味している。なお、気孔伝導度の日変化においては光合成速度と同様のパターンをとり(図2)、両者の間には密接な関係が認められた(図3)。

次に、長時間連続測定による光合成速度の変化が、気孔部分と非気孔部分のどの要因により律速されてい

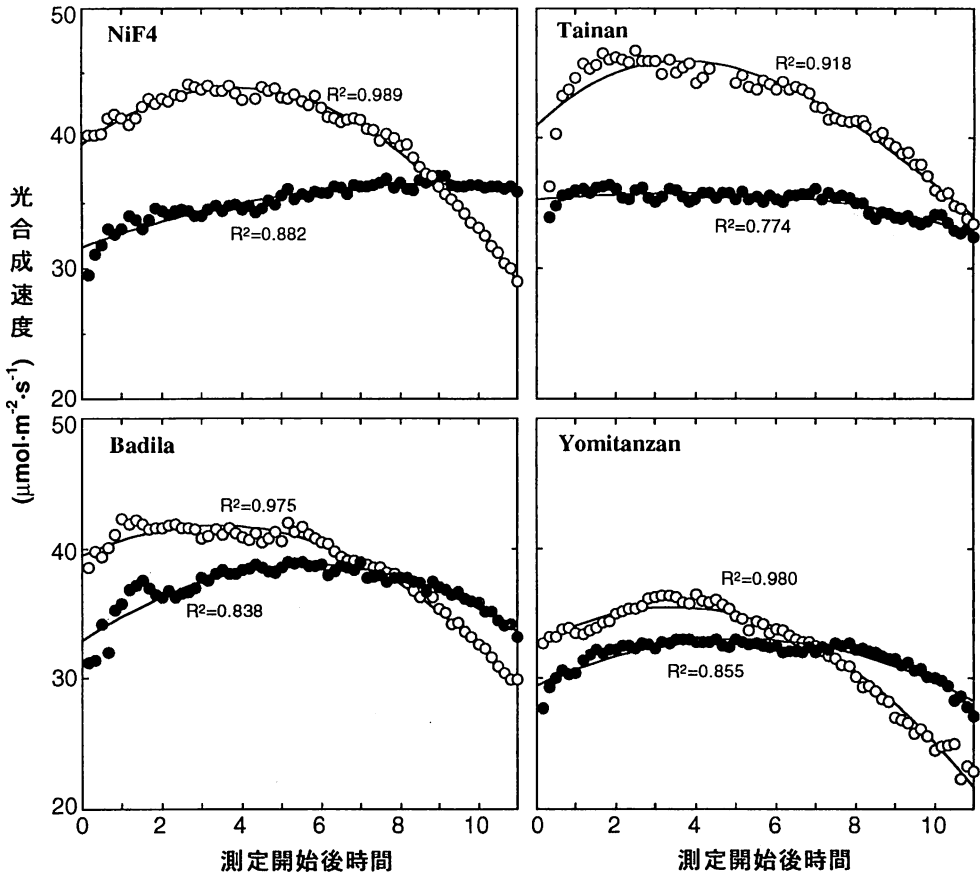


図1. サトウキビ4種における異なる光強度下の光合成速度の日変化。測定は葉温 35°C 、葉面飽差 28mb 、 CO_2 濃度 $350 \pm 5 \text{ppm}$ で行った。光強度は 1000 (●) および 2000 (○) $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ で測定した。図中の曲線は最小自乗法を用いて近似した。

るのか検討する。光強度 $2000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ の条件下における測定後半でみられた光合成速度の低下の理由として、気孔伝導度の低下、すなわち、気孔の閉鎖による葉内への炭酸ガス供給量の低下が考えられる。そこで、葉内 CO_2 濃度の変化から光合成速度の低下の理由を考えてみる。まず、葉内 CO_2 濃度の日変化は、光強度 $2000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ の強光条件下では、測定開始後8~10時間経過後から葉内 CO_2 濃度の上昇が認められた(図4)。従って、測定後半における光合成速度の低下は、気孔閉鎖に伴う葉内への炭酸ガス供給量の低下に起因したものではなく、葉の内部要因の活性低下が主な理由と考えられる。

しかし、光合成装置の導入空気に外気を直接利用したため、葉外 CO_2 濃度の変動が著しく結果として葉内 CO_2 濃度が不安定となり、詳細な検討は困難である。そこで、高炭酸ガス条件下で光合成速度を長時間連続測定することにより、気孔部分または非気孔部分のどの要因により支配されているか調べた。なお、 C_3 光合成を有するサトウキビは、現在の大气 CO_2 濃度では飽和に達していることから(比屋根・川満, 1995; 比屋根ら, 1998a), 900ppm濃度における光合成速度は気孔の影響を除いた形で葉内部の制限程度を評価できると判断し、この方法で行った。もし、光合成速度が350ppmに比べ高く変化すれば気孔部分、350ppm区と同じであ

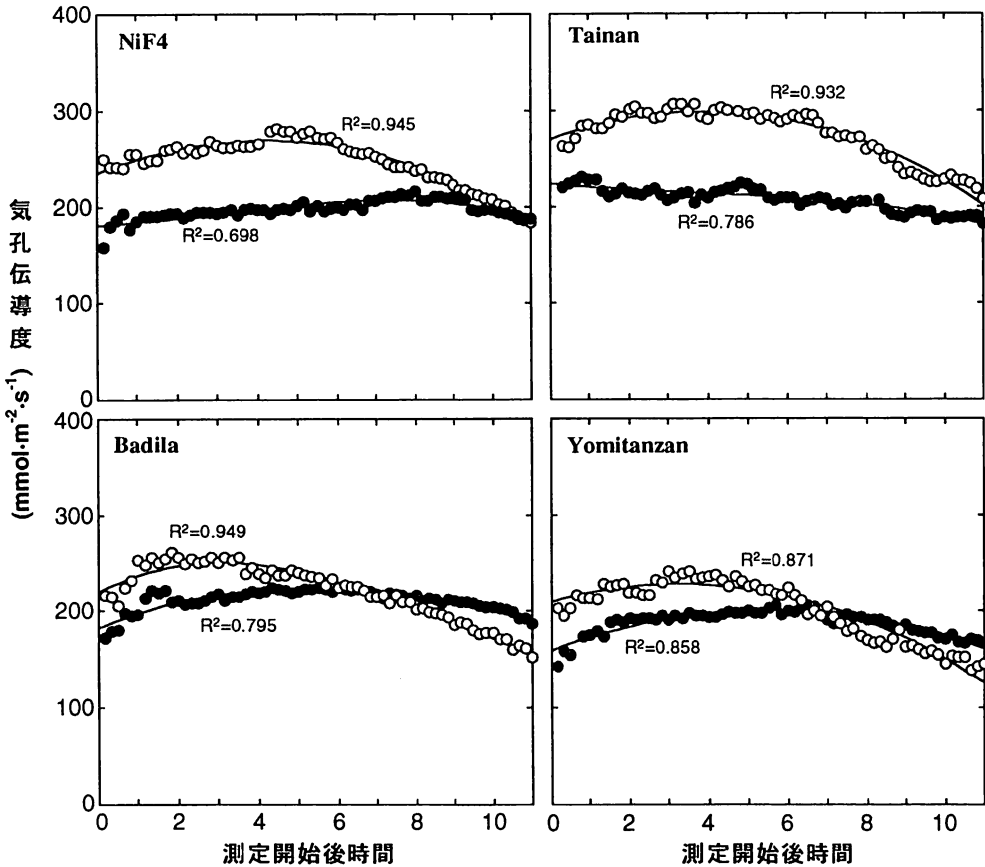


図2. サトウキビ4種における異なる光強度下の気孔伝導度の日変化。図中の曲線は最小自乗法を用いて近似した。測定条件は図1を参照。

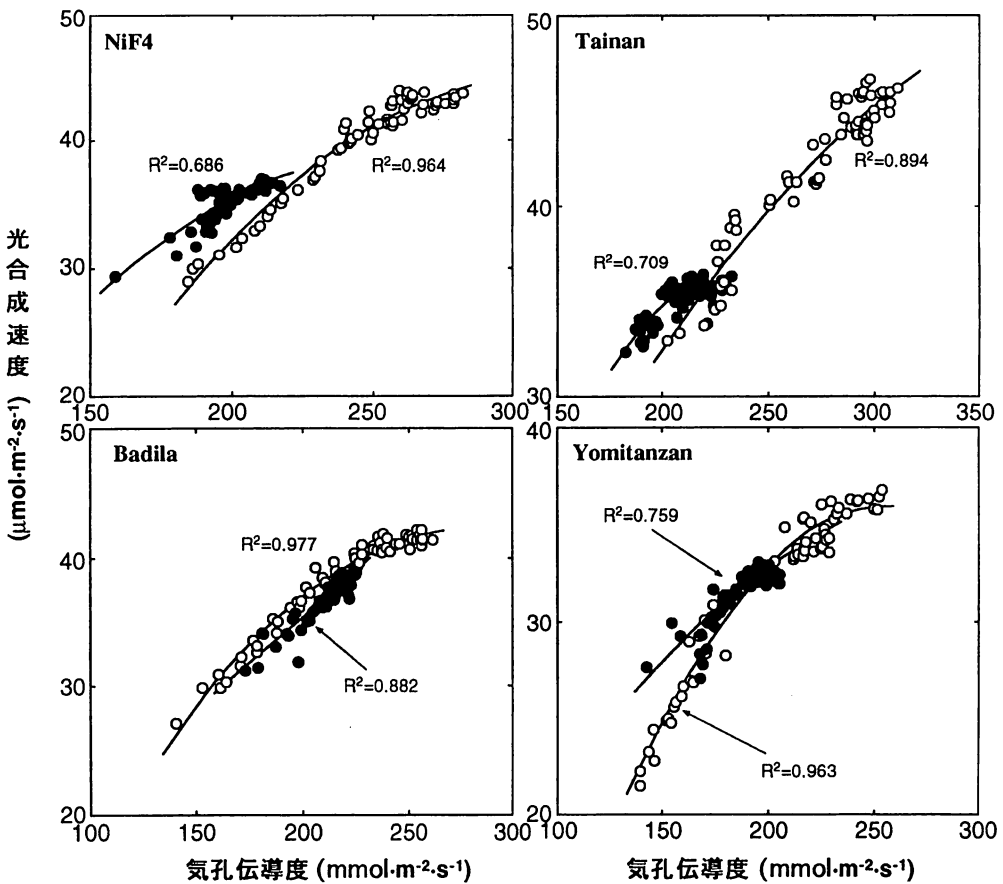


図3. サトウキビ4種における光合成速度と気孔伝導度との関係。データは図1, 2の日変化から作成。

れば非気孔部分により律速されることになる。その結果を図5に示した。900ppm区の写真合成速度は若干高めで推移したものの、両区とも測定開始後約5時間以降に光合成速度の低下が認められた。従って、光合成速度に対する気孔の制限程度は低いと考えられ、瞬時に測定して行った光合成支配要因の解析結果（比屋根・川満, 1995; 比屋根ら, 1998a）と一致する。

以上、長時間連続測定の後半における光合成速度の低下は、内部要因の活性能力の関与が示唆された。内部要因としては、光化学系および炭素固定系に分けて考えることができる。そこで、光合成速度に差が認められたBadilaとNiF4を用いて（比屋根・川満, 1995;

比屋根ら, 1995, 1998a), 暗黒を含む4段階の光強度を設定し、長時間連続測定による光合成速度を CO_2 収支量として求め、“光-光合成曲線”を作成した。その結果、 $1000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 付近に飽和点を持つ飽和型曲線を示し、瞬時に測定された“光-光合成曲線”の不飽和型とは著しく異なった（図6）。“光-光合成曲線”の弱光域は主として光化学系の能力に支配され、強光域は気孔からのガス拡散または炭素固定系の能力に支配される。これを収支量レベルでみた“光-光合成曲線”に適用すると、飽和点および弱光域において両種に差はなく、飽和点以上の強光域で差が認められる C_3 型の飽和型曲線を示した。この事は、葉内部へのガス

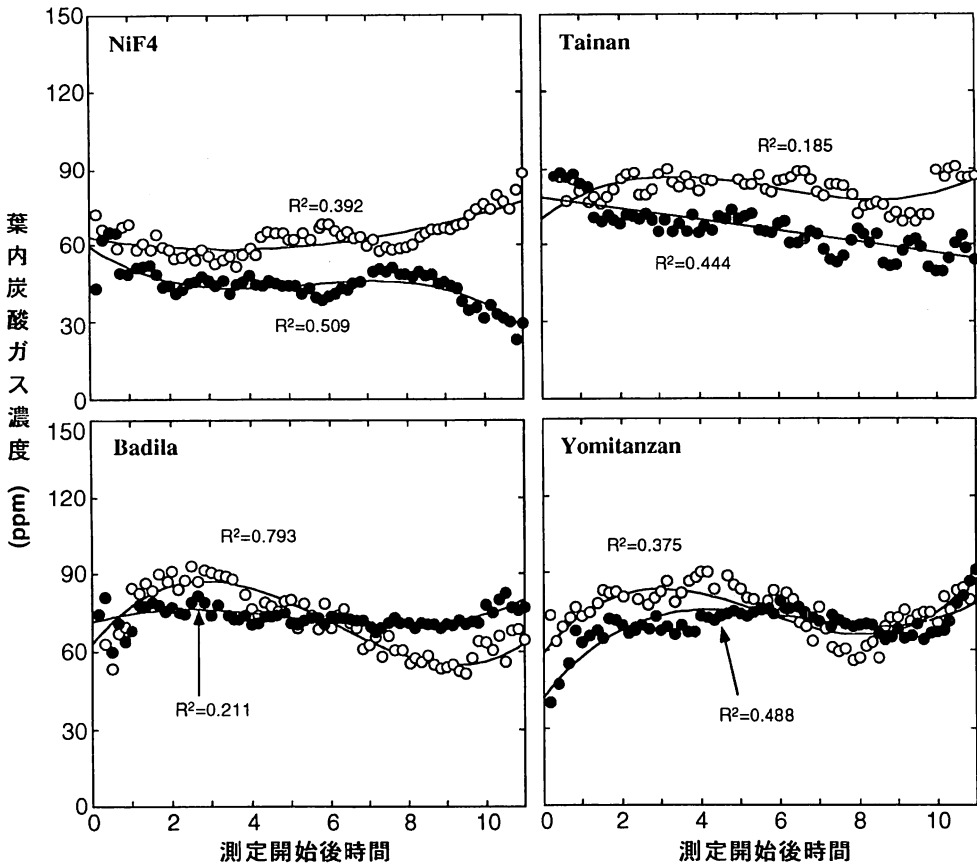


図4. サトウキビ4種における異なる光強度下の葉内炭酸ガス濃度の日変化。測定条件は図1を参照。

の拡散過程および炭素固定系の活性能力の低下が、強光条件下における後半の光合成速度の低下の主要因であり、種間差異の生じる原因でもあったと考えられる。しかし、サトウキビの光合成速度は気孔による制限程度は約5%程度と試算されることから(比屋根・川満, 1995; 比屋根ら, 1998a), 光合成速度は主に炭素固定系の活性能力の差異に支配されていると考えられる。

葉身の光合成能力の種間差異は、炭素固定系の活性能力が主な光合成速度の支配要因であることが推察された。炭素固定系の評価としては、各光合成酵素の活性を調べる必要がある。しかし、Du (1998) は、サトウキビ葉身における光合成速度、光合成酵素の活性お

よび中間代謝物含量の日変化を調査したところ、PEP Case, NADP-ME, PPK, Rubisco, クロロプラストFBPaseの活性と中間代謝物であるリンゴ酸, PEP, ピルビン酸の含量は明確な日変化を示し、真昼の強光下ではPPDKの活性がサトウキビ葉身の光合成速度を制御していると述べている。更に、糖代謝について検討したところ、昼間に葉が固定した炭素の約82%は昼間中に葉身外に転流し、17%は澱粉として一時的に蓄積されるが、その澱粉も夜になると葉身外へ転流され、加えて、SPS, 細胞質FBPase, UDPG-PPase, ADPG-PPaseの活性とトリオースリン酸およびFBPの含量は明らかな日変化を示したと述べている。また、葉身の

トリオースリン酸含量が葉の光合成速度およびスクロース含量と密接な関係にあり、さらに、葉身のスクロース含量がSPS, 細胞質FBPase, UDPG-PPaseの活性と高い相関関係にあることも明らかにしている。このことから、トリオースリン酸がSPSと細胞質FBPaseさらにはUDPG-PPaseの活性化を調節する事によってサトウキビ葉身のスクロース代謝を制御していると予想している。以上、サトウキビ葉身の光合成速度の支配要因は、関連酵素、中間代謝産物および光合成産物の転流に関わる全ての要因が複雑に絡んで決定されている

ように考えられる。

摘要

サトウキビ4種を用いて、光合成速度の長時間連続測定から光合成支配要因を調べた。2000 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ の強光条件下では、測定後半に光合成速度の低下が認められた。特に、高い光合成速度を示したTainanおよびNiF4は、低いBadila, Yomitanzanと比較して急激な低下であった。しかし、1000 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ の条件下では、BadilaおよびYomitanzanは緩やかな山なりの

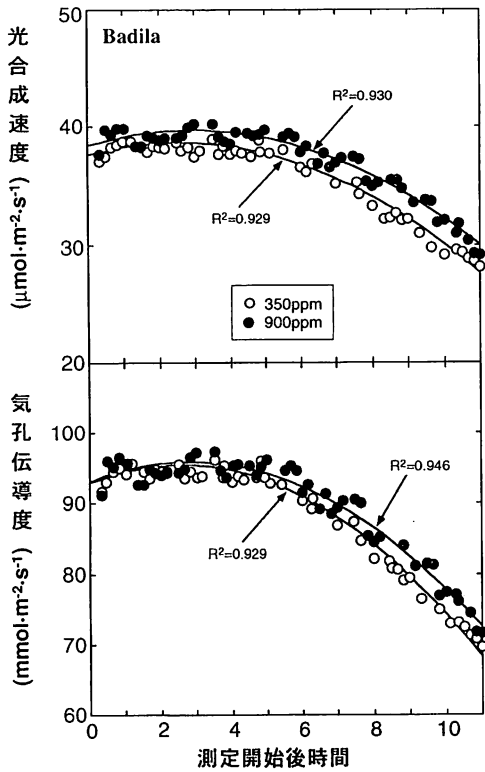


図5. サトウキビ品種Badilaにおける異なる炭酸ガス濃度下の光合成速度および気孔伝導度の日変化。測定は葉温35°C, 葉面飽差28mb, 光強度2000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ で行った。図中の曲線は最小自乗法を用いて近似した。

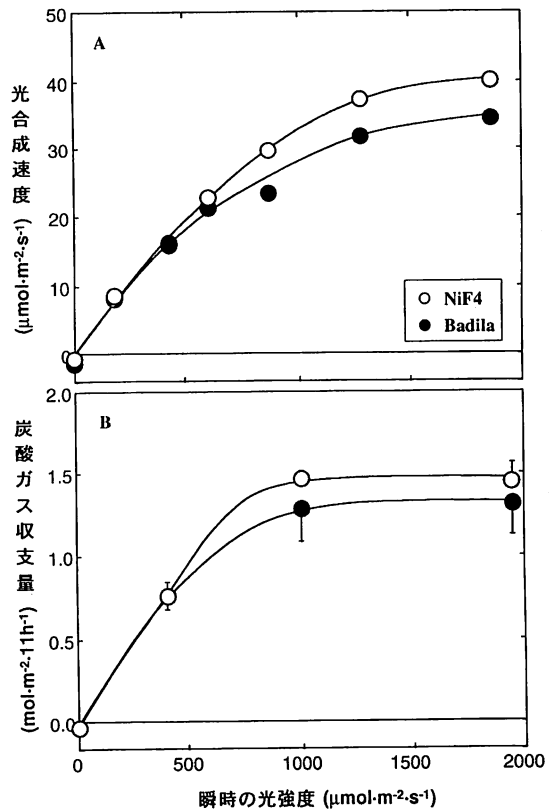


図6. サトウキビ品種NiF4およびBadilaにおける“光-光合成曲線”(A)および炭酸ガス収支量に対する光強度の影響(B)炭酸ガス収支量は図1より算出した。

曲線を描いたのに対し、Tainanは直線的に、NiF4においては時間の経過と共に緩やかに上昇した。気孔伝導度の日変化は光合成速度と同様のパターンを示した。光強度 $2000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ の条件における葉内 CO_2 濃度は、測定開始から8~10時間経過後上昇した。 CO_2 濃度900ppm条件下において光合成速度を長時間連続測定し、気孔の影響を省き光合成速度の制限を明らかにした。その結果、900ppm区の光合成速度は350ppm区に比べ若干高めで推移したものの、両区とも測定開始後約5時間目以降に低下した。従って、光合成速度に対する気孔の制限程度は低いと考えられた。日変化を基礎に CO_2 収支量の“光-光合成曲線”を作成したところ、 $1000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ に飽和点を持つ飽和型曲線を示し、瞬時の測定の“光-光合成曲線”とは著しく異なる結果となった。以上から、光強度 $2000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ の条件における光合成速度の低下は、気孔閉鎖に伴う葉内への炭酸ガス供給量の低下に起因したものではなく、葉の内部要因の活性低下が主な原因と推察された。

引用文献

1. Du, Y. C. 1998. Studies of photosynthesis and carbohydrate metabolism in sugarcane leaves under water and chilling stress. 学位論文. 鹿児島大学大学院連合農学研究科.
2. Grantz, D. A., P. H. Moore and E. Zeiger 1987. Stomatal responses to light and humidity in sugarcane: prediction of daily time courses and identification of potential selection criteria. *Plant Cell Environ.* 10: 197-204.
3. 比屋根真一・川満芳信 1995. サトウキビ属内における光合成能力の変異 -気孔部分からの解析-. 熱帯農業 39(別2): 29-30.
4. 比屋根真一・川満芳信・杜玉春・村山盛一・野瀬昭博 1995. サトウキビ属内における光合成能力の変異 -非気孔部分からの解析-. 熱帯農業 39(別2): 31-32.
5. 比屋根真一・川満芳信・村山盛一 1998a. Ci-光合成曲線を用いたサトウキビ葉身に対する支配要因の解析. 琉大農学報 45: (印刷中)
6. 比屋根真一・川満芳信・野瀬昭博・村山盛一 1998 b. 葉面飽差の違いがサトウキビの光合成特性に及ぼす影響. 琉大農学報 45: (印刷中)
7. Irvine, J. E. 1967. Photosynthesis in sugar cane varieties under field conditions. *Crop Sci.* 7: 297-300.
8. 石原邦・平沢正・飯田修・木村 昌久 1981. 水稻葉身の蒸散速度・気孔開度・気孔伝導度・木部の水ポテンシャルの日変化. *日作紀* 50: 25-37.
9. 石原邦・斉藤邦行 1987. 灌水状態の水田に生育する水稻の個葉光合成速度の日変化に影響する要因について. *日作紀* 56: 8-17.
10. 川満芳信・梶和一 1987. 水稻個葉の光合成速度、蒸散速度および気孔伝導度における品種間差異. *日作紀* 56: 563-570.
11. 川満芳信・比屋根真一・野瀬昭博 1994. サトウキビ葉身の光合成速度および気孔伝導度に及ぼす各種環境要因の影響. 琉大農学報 41: 127-137.
12. Nose, A., M. Uehara., Y. Kawamitsu., N. Kobamoto and M. Nakama 1994. Variations in leaf gas exchange traits of *Saccharum* including feral sugarcane, *Saccharum spontaneum* L. *Jpn. J. Crop Sci.* 63: 489-495.