

琉球大学学術リポジトリ

オクラ葉身における光合成特性

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): キーワード (En): 作成者: 比屋根, 真一, 川満, 芳信, 高江洲, 賢文 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/0002015524

オクラ葉身における光合成特性

比屋根真一・川満芳信¹⁾・高江洲賢文²⁾

(沖縄県農試宮古支場, ¹⁾琉球大学農学部, ²⁾沖縄県農試名護支場)

Shin-ichi Hiyane, Yoshinobu Kawamitsu and Yosifumi Takaesu :
Photosynthetic characteristics in Okra plants

緒言

オクラはアフリカ東北部原産で、栽培適温は25～30℃にみられ、10℃以下では生育が停止する¹⁰⁾。著者ら³⁾は、冬春期に高品質のオクラを生産する場合に必要な温度は23℃以上であり、沖縄県における12～2月の平均気温は20℃以下で、オクラの栽培は困難であることを示した。

物質生産の基礎である光合成が各種環境条件に対するどのように反応するかを調べることは、オクラの最適生育条件を知る上で重要となる。C₃型光合成を行う植物の、“光-光合成反応”は飽和型を示し、光合成最適温度は25℃付近に、葉面飽差の上昇に対して光合成速度は低下し、高CO₂濃度条件下で光合成速度は飽和することが明らかにされている⁹⁾。沖縄県の冬春期におけるオクラの光合成に関する最適環境条件を明らかにすることは、安定生産の上でも極めて重要であるが、現在のところ詳細な報告は見あたらない。

光合成支配要因の解析に関し、Farquharら(1982)は、“Ci-光合成曲線”を用いてC₃光合成を律速する要因解析モデルを提唱し、その中で、強光、低CO₂分圧下では、ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase (RuBisCO)の含量と活性能力および葉内外のCO₂ガスの拡散程度によって律速されること、および弱光下では集光機能を含めた光化学系電子伝達によって律速さ

れると述べている²⁾。その後、強光、高CO₂分圧下で、特にO₂分圧との差が大きい時は、光合成産物であるデンプン、シュクロース合成に伴う無機リン酸の再生速度によって律速されるとSharkey¹¹⁾により修正された。従って、現在の大気CO₂濃度条件における光合成速度は、1)CO₂ガス拡散を含めた炭素固定系活性、2)光化学系電子伝達、および3)デンプン、シュクロース合成に伴う無機リン酸再生能力、に律速される⁷⁾。

本報では、各種環境条件に対するオクラの光合成反応を調べ、オクラの最適光合成環境を明らかにした。さらに、“Ci-光合成曲線”を用いて、大気CO₂条件下における光合成速度の支配要因を検討し、光合成の制御に伴う物質生産の向上について考察した。

材料および方法

国内において育成されたオクラ (*Abelmoschus esculentus* L. Moench) の中から6品種を用いた(表1)。

表1. 供試した品種と特徴.

品 種 名	会 社 名	特 徴
ブルースカイ	協和種苗	5角莢
協和96-432	協和種苗	5角莢
大和グリーン	大和種苗	5角莢
ベニー	タキイ種苗	5角莢 赤オクラ
アーリーファイブ	タキイ種苗	5角莢
グリーンロケット	タキイ種苗	5角莢

栽培は、沖縄県農業試験場宮古支場内にある鉄骨型ハウス内において、畦間1.5m、条間0.5m、株間0.3mの条件下において、1997年11月15日に2条2本仕立てを行った。施肥量は基肥として、緩効性肥料を1アール当たりN、P₂O₅、K₂Oでそれぞれ2.5kg、堆肥を牛糞堆肥として417kg施用した。灌水は、毎日朝9時に5mm行った。

定植後2ヶ月以上経過した1998年1月19日～2月13日に、各種環境条件の変化に対する光合成反応を調べた。測定は、携帯型光合成測定装置（SPB-4A、島津製作所製）を用いて、開花前日に莢付近の展開葉中央部分を同化箱で挟み、設定環境条件が安定した後にを行った。光-光合成反応は、葉温23.5±0.5°C、葉面飽差（VPD）18.0±0.3mb、CO₂濃度350±10ppmの条件に設定し、光強度を高いところから順に低下させて測定した。VPD-光合成反応は、光強度1400 μmol m⁻² s⁻¹、葉温23.5±0.5°C、CO₂濃度350±10ppmの条件下において、導入空気の露点温度を3°Cから5°Cずつ上昇させ測定を行った。葉温-光合成反応は、光強度1400 μmol m⁻² s⁻¹、相対湿度50%、CO₂濃度350±10ppmの条件下において、同化箱内の温度を低温域から上昇させて行った。

CO₂-光合成曲線は、光強度1400 μmol m⁻² s⁻¹、葉温23.5±0.5°C、VPD18±0.3mbの条件下で、CO₂濃度を0ppmから随時上げ測定した。なお、各設定条件に安定するのに約20～30分、全測定が完了するまでに約2.5～3時間を要した。各測定とも2反復行い、その平均値で検討した。

光合成支配要因の解析には、“CO₂-光合成曲線”を用いて、気孔伝導度、炭素固定系活性、および光化学系電子伝達または無機リン酸再生能力による光合成速度の制限程度を、Farquhar and Sharkey¹⁾とMartin and

Ruiz-Torres⁸⁾のモデルを用いて検討した。

結果および考察

1. 各種環境条件の変化に対する光合成反応

光-光合成反応を検討したところ、測定に供試した全ての品種において、光強度1700 μmol m⁻² s⁻¹付近に飽和点を持つ飽和型曲線を示した（図1）。光強度2000 μmol m⁻² s⁻¹条件下において高い光合成速度はアーリーファイブの30.8 μmol m⁻² s⁻¹、一方、低い値はグリーンロケットで得られた。なお、弱光域における光合成速度の品種間の差異は認められなかった。

冬春期にイボ果やまがり果の少ない高品質なものを安定生産するには、加温や保温のためのビニールハウスが必要である。その場合、ビニールによる遮光率が問題となるが、図1から判断すると、オクラの栽培には25%程度の遮光であれば支障ないと判断される。

VPDが光合成速度に及ぼす影響を検討したところ、供試した全ての品種においてVPDの上昇につれて、つまり空気が乾燥するに伴い光合成速度は直線的に低下した（図2）。高VPD下で光合成が低下する要因につい

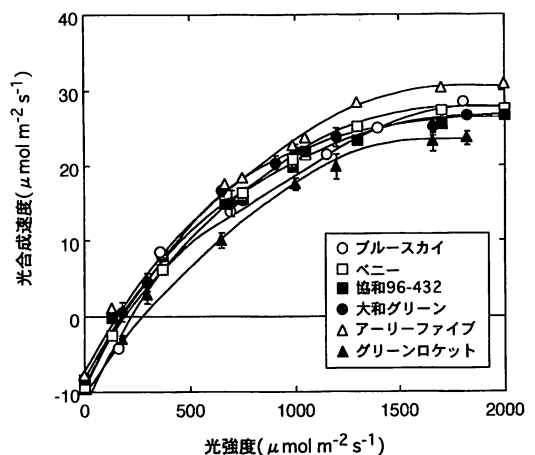


図1. オクラ各品種における光-光合成曲線。

葉温23.5±0.5°C、VPD18±0.3mbar、CO₂濃度350±10ppmの条件で測定。

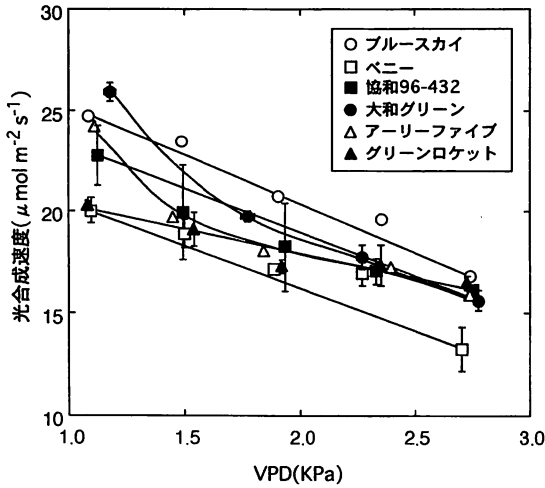


図2 オクラ各品種における VPD-光合成曲線。
葉温 23.5 ± 0.5°C, VPD18 ± 0.5mbar,
CO₂濃度 350 ± 10ppm の条件で測定。

ては多くの報告があるが、理由の一つとして気孔の閉鎖が影響を与えると云われる⁴⁻⁶⁾。

葉温が光合成速度に与える影響を検討したところ、全ての品種において葉温の上昇に伴い光合成速度は直線的に低下した(図3)。しかし、葉温の変化と VPD の変化が同調していたことから、両要因が同時に関連し

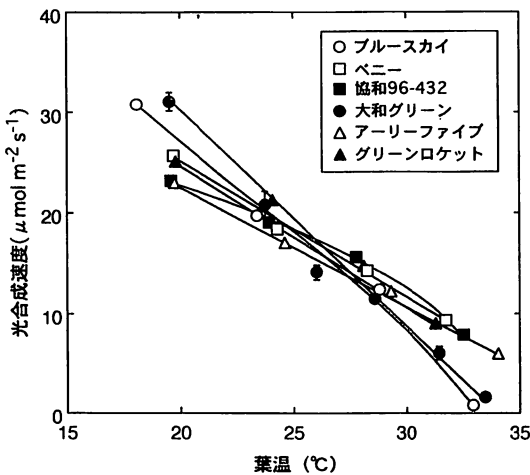


図3. オクラ各品種における葉温-光合成曲線。
葉温 23.5 ± 0.5°C, VPD18 ± 0.5mbar,
CO₂濃度 350 ± 10ppm の条件で測定。

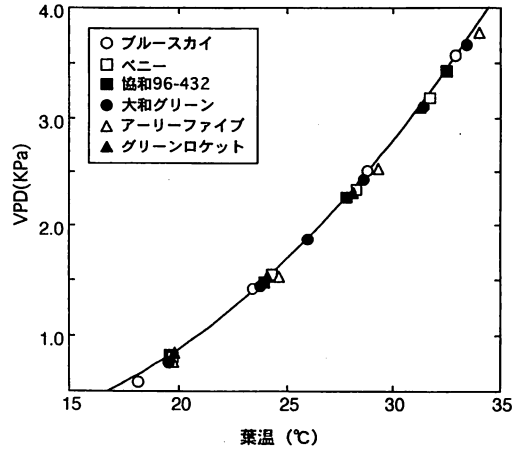


図4. オクラ各品種における葉温の上昇が葉面飽差 (VPD) に及ぼす影響。測定条件は図3と同上

ていたと考えられる(図4)。そこで、品種による光合成の温度反応の違いは無視して、大和グリーンを用いて VPD 制御下で葉温-光合成反応を調べたところ、約 25°C 付近に最適温度が認められた(図5)。これより、オクラの光合成における適温は 25°C 付近にあると推察される。

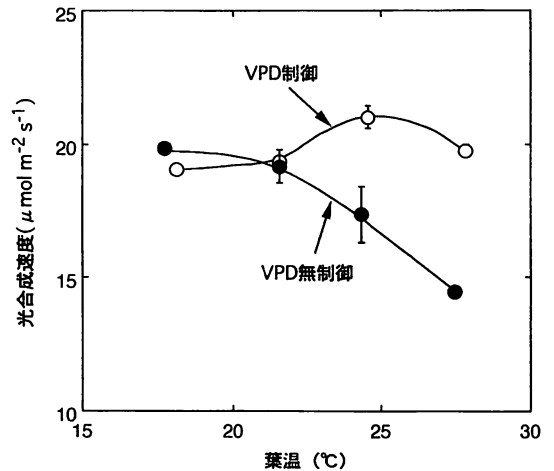


図5. オクラ品種大和グリーンの VPD 制御による温度-光合成曲線。
葉温 23.5 ± 0.5°C, VPD18.0 ± 0.3mbar,
CO₂濃度 350 ± 10ppm の条件で測定。

沖縄県における12~2月の平均温度は20℃以下で推移する³⁾。本報で示された最適光合成環境は25℃である。このことより、12~2月の温度環境は光合成を行うには不十分である。高品質なオクラの安定生産のためにも、保温や加温等の対策を講じ最適な環境を整備する必要がある。さらに、本結果はオクラの1品種である大和グリーンを検討したものである。オクラの冬春期安定生産のためには、低温耐性品種の選抜あるいは育種が不可欠である。

CO₂-光合成反応を検討したところ、全品種とも約1000ppm付近に飽和点を有する飽和型の反応曲線を示した(図6)。オクラを栽培している施設内炭酸ガス濃度の変化に関する報告はないが、本報の結果は、施設内における炭酸ガス環境の制御による物質生産性向上の可能性も示唆される。

2. Ci-光合成曲線を用いた光合成支配要因の解析

大気CO₂条件下におけるオクラの光合成支配要因を明らかにすることは、光合成の制御を通じた物質生産向上の点で重要である。前述のCO₂を変化させて測定した“Ci-光合成曲線”に基づきFarquhar and Sharkey¹⁾とMartin and Ruiz-Torres⁸⁾のモデルに従って支配要因を解析した。気孔および光化学系または無機リン酸再生能力による制限程度は各々13~34%, 0~21%であった

のに対し、炭素固定系による制限程度は36~51%と高かった(表2)。特に、現在の大気CO₂条件において最も高い光合成速度を示した協和96-432は、他の品種と比べて炭素固定系による制限程度が36%と低かった。従って、炭素固定系が他の要因に比べ光合成速度を大きく律速していると考えられる。

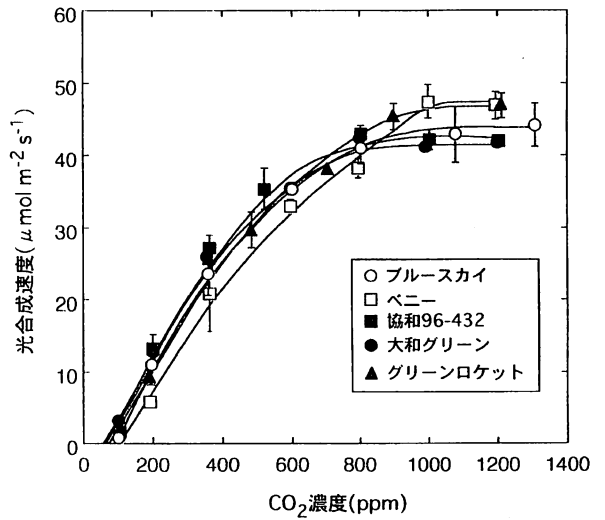


図6. オクラ各品種におけるCO₂濃度-光合成曲線。
葉温 23.5±0.5℃, VPD18.0±0.3mbar, CO₂濃度 350±10ppm
の条件で測定

表2. 光合成速度、炭素固定効率そして現在の大気CO₂条件下における光合成速度の気孔(Lgs)、炭素固定系(Lce)、光化学系または無機リン酸による再生能力(LAmax)の制限程度。¹⁾

品種名	光合成速度 ²⁾	炭素固定効率	Lgs Lce LAmax		
	μmol・m ⁻² ・s ⁻¹		μmol・mol ⁻¹	%	%
ブルースカイ	23.5	0.44	33.6	45.1	21.1
ペニー	20.7	0.20	29.5	50.9	0.0
共和96-432	27.2	0.27	23.1	35.6	21.2
大和グリーン	26.0	0.24	26.9	38.0	0.5
グリーンロケット	25.6	0.32	13.4	43.6	13.2

¹⁾2反復の平均値

²⁾光強度 1400 μmol m⁻²s⁻¹, 葉温 23.5±0.5℃, VPD18.0±0.3mbar, CO₂濃度 350ppm の条件で測定。

炭素固定系は、RuBisCO の含量と活性能力および葉内外の CO_2 ガスの拡散程度に律速される²⁾。特に、この RuBisCO の葉身窒素に対する含有率には、明らかな種間差が認められる。本報では RuBisCO の含量や活性等の調査をしていないため、詳細な考察は難しいが、今後、光合成関連の酵素活性を調べ、光合成環境の制御に伴う冬春期オクラの安定生産の向上を目指したい。

まとめ

オクラにおける最適光合成環境を検討したところ、用いた 6 品種間に大きな差異はなかった。光-光合成反応は、光強度 $1700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 付近に飽和点が認められた。VPD の上昇に対して光合成速度は低下した。VPD 無制御下における温度-光合成反応は、温度の上昇に対し直線的に低下した。VPD 制御下で温度-光合成反応を再度検討したところ、 25°C 付近に適温が認められた。 CO_2 -光合成反応は 1000ppm 付近に飽和点が認められた。

Ci-光合成曲線を用いて、大気 CO_2 条件下における光合成速度の支配要因を検討したところ、品種の違いに関わらず炭素固定系による制限程度が他の要因と比べて高かった。

謝辞

本実験を遂行するにあたり、協和種苗株式会社、タキイ種苗株式会社から快く種子を提供していただいた。本報告をまとめるにあたり、宮古支場園芸研究室長河野伸二氏には有益なコメントをいただいた。さらに、オクラの栽培および調査には、当支場農業技術補佐員の伊志嶺弘勝氏、上地克美氏および手登根正氏に献身的な協力を得た。ここに記して心より感謝申し上げる。

付録：光合成支配要因の計算式

Farquhar and Sharkey¹⁾ と Martin and Ruiz-Torres⁸⁾ のモデル式を用いて、 CO_2 -光合成曲線において求めた Ci-光合成曲線から、気孔伝導度、炭素固定系活性、および光化学系電子伝達または無機リン酸再生能力による現在の大気 CO_2 条件下における光合成速度の制限程度を算出した (図 7)。

ここで L_{gs} は気孔伝導度、 L_{ce} は炭素固定系そして L_{Amax} は光化学系電子伝達または無機リン酸再生能力による光合成制限程度 (%) を表す。さらに a は現在の大気 CO_2 条件下、b は炭素固定系及び光化学系電子伝達または無機リン酸再生の能力は一定で、気孔伝導度による制限が無い状態、c は炭素固定系及び気孔伝導度の能力は一定で、光化学系電子伝達または無機リン酸再

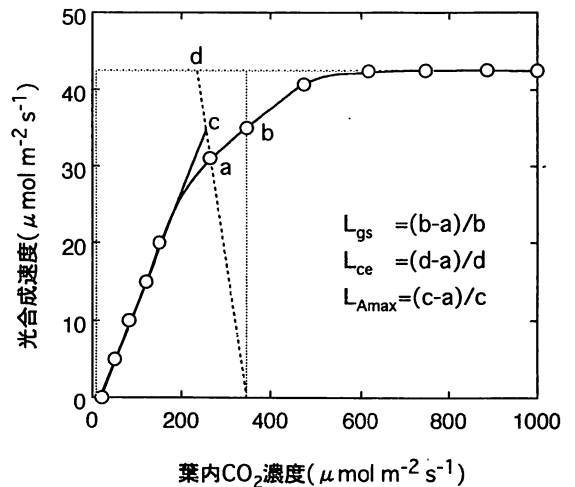


図 7. Ci-光合成曲線と現在の大気 CO_2 条件下における光合成支配要因の解析式。

(Martin and Ruiz-Torres, 1992).

生能力による制限が無い状態、そして d は気孔伝導度及び光化学系電子伝達または無機リン酸再生の能力は一定で、炭素固定系による制限がない状態の光合成速度 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) を表す。

Summary

We measured the responses of photosynthesis to environmental conditions, such as photon flux density, humidity (vapor pressure difference), temperature and CO₂, in Okra plants. Photosynthetic rate was saturated at 1700 μmol photon m⁻² s⁻¹. The photosynthesis was decreased when vapor pressure difference was increased up to 3kPa. Optimum temperature for photosynthesis measured under VPD controlled conditions was found at around 25°C. Photosynthetic rate saturated at 1000ppm of CO₂ under high light conditions.

Photosynthetic rate at various CO₂ levels was measured and limitations to photosynthetic rate at ambient CO₂ caused by finite, limiting carboxylation efficiency, maximum photosynthesis, and stomatal conductance were estimated from an analysis of A/Ci curve model. The results suggested that the carboxylation efficiency was more important limiting factor than maximum photosynthesis and stomatal conductance.

引用文献

1. Farquhar, G. D. and T. D. Sharkey 1982. Stomatal conductance and photosynthesis. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 33:317-45.
2. Farquhar, G. D., S. von Caemmerer and J. A. Berry 1980. A biochemical model of photosynthetic CO₂ assimilation in leaves of C₃ plants. *Planta* 149:78-90.
3. 比屋根真一・河村太・高江洲賢文 2000. 冬春期の湿度がオクラの生育, 収量に及ぼす影響. *沖縄農業* 43(2):2-6.
4. 石原邦・黒田栄喜 1986. 水稻葉身の光合成速度に対する空気湿度の影響. *日作紀*, 55(4): 458-464.
5. Kawamitsu, Y., W. Agata and S. Miura 1987. Effect of vapor pressure difference on CO₂ assimilation rate, leaf conductance and water use efficiency in grass species. *J. Fac. Agri., Kyushu Univ.* 31:1-10.
6. Kawamitsu, Y., S. Yoda. and W. Agata 1993. Humidity pretreatment affects the responses of stomata and CO₂ assimilation to vapor pressure difference in C₃ and C₄ plants. *Plant Cell Physiol.* 34(1): 113-119.
7. 牧野周・前忠彦 1994. C₃型植物葉の最大光合成能力と葉身窒素. *化学と生物* 32(6):409-413.
8. Martin, B. and N. A. Ruiz-torres 1992. Effects of water-deficit stress on photosynthesis, its components and component limitation and on water use efficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Physiol.* 100:733-739.
9. 村田吉男・玖村敦彦・石井龍一 1976. 作物の光合成と生態 —作物生産の理論と応用—. *農文協*. 東京. pp. 276.
10. 住田 敦 1988. オクラ, 農業技術体系 —特産野菜—. *農文協*. 東京. pp. 77-90.
11. Sharkey, T. D. 1985. Photosynthesis in intact leaves of C₃ plants: physics, physiology and rate limitations. *Bot. Rev.* 51:53-105.