

琉球大学学術リポジトリ

高 CO₂ 濃度がファレノプシス(コチョウラン)の Crassulacean Acid Metabolism に及ぼす影響(生物生産学科)

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学農学部 公開日: 2008-02-14 キーワード (Ja): CAM型光合成, ファレノプシス(コチョウラン), 炭酸ガス施肥, PEPカルボキシラーゼ, Phalaenopsis Casablanca Moon×P. Buera Flora キーワード (En): Crassulacean Acid Metabolism, CO ₂ enrichment, PEP carboxylase 作成者: 川満, 芳信, 名嘉, みつき, 中山, 博之, 関塚, 史朗 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/3742

高CO₂濃度がファレノプシス（コチョウラン）の Crassulacean Acid Metabolism に及ぼす影響

川満芳信*・名嘉みつき*・中山博之*・関塚史朗**

Yoshinobu KAWAMITSU, Mitsuki NAKA, Hiroyuki NAKAYAMA and Fumiaki SEKIZUKA : Effects of elevated CO₂ on Crassulacean Acid Metabolism in *Phalaenopsis*.

キーワード : CAM 型光合成, ファレノプシス (コチョウラン), 炭酸ガス施肥, PEP カルボキシラーゼ

Key words : Crassulacean Acid Metabolism, *Phalaenopsis Casablanca* Moon × *P. Buera* Flora, CO₂ enrichment, PEP carboxylase

Summary

Effects of elevated CO₂ on CO₂ gas exchange and phosphoenolpyruvate carboxylase activity in *Phalaenopsis* (*Phalaenopsis Casablanca* Moo × *P. Buera* Flora) were measured to get basic information on the CO₂ enrichment under green house conditions. Results obtained are summarized as follow ;

Phalaenopsis exhibited a super-CAM type CO₂ exchange pattern. The CO₂ exchange rate was saturated at 15klx under 30/20°C, 30/25°C, and 25/20°C of light/dark leaf temperature conditions. The maximum CO₂ balance was obtained at 25/20°C of light/dark leaf temperature. CO₂ exchange rate was saturated around 700ppm of CO₂ concentration. Total CO₂ balance was depend mainly on the balance in phase 1. Malate content and PEPCase activity in phase 1 were increased under elevated CO₂ concentration. In light period, however, PEPCase activity was depressed.

緒 言

近年、沖縄県において生産の伸びが見られるファレノプシス（コチョウラン）は生長が緩慢な Crassulacean Acid Metabolism (CAM) 型植物に属する。CAM 植物は暗期に吸収した CO₂ を有機酸として葉肉細胞の液胞中に蓄積し、明期は光エネルギーを利用して有機酸から CO₂ を脱炭酸してカルビン回路で固定し最終的にデンプンを合成するという特異的な光合成的ガス代謝を行う²⁾。この暗期と明期を通した CO₂ 吸収からデンプンの合成に至るまでの過程を CAM 型光合成と称する。Osmond⁶⁾に従う

* 琉球大学農学部生物生産学科

** 沖縄県農業試験場

と、典型的な CAM 型光合成の CO₂ 吸収の日周変動パターンは暗期に高い吸収の見られる Phase 1, それに続く明期開始直後の高い吸収ピークの Phase 2と, その後の急激な減少及び CO₂ 吸収がほとんど見られない Phase 3, そして明期後半の再び高い吸収が見られる Phase 4に分けられる。CAM 植物は暗期に気孔を開き蒸散要水量の高い明期には気孔を閉じているため水利用効率が極めて高い。

このように暗期に CO₂ を吸収する CAM 植物において暗期の CO₂ 濃度はガス交換に直接影響を与えることが予想される。CAM 型光合成を営むファレノプシスの成長及び生産を高める上で暗期の高 CO₂ 濃度の影響の解明は非常に興味深いものがある。現在, ファレノプシスの栽培環境を改善して生産性を更に高めようと様々な方向から検討されているが, 植物生理に関する情報に乏しく, 特に, 光合成特性に関してはほとんど解明されてなく, その効果は上がっていないのが実情である。

そこで, 本研究では生長に直接関係の深い葉の CO₂ 交換速度と諸環境条件との関係について詳細に調べその最適環境条件を決定した。更に, 高 CO₂ 濃度の影響も調べ, ハウス栽培における CO₂ 施肥についても検討した。

材料及び方法

供試材料はファレノプシス (コチョウラン) (*Phalaenopsis Casablanca Moon* × *P. Buera Flora*) を用いた。1992年4月24日に水苔培地をつめた4.5号素焼鉢に苗を植え付け, 農学部内ガラス室で育成した。ガラス室内の遮光率は約60~70%であった。施肥は化成肥料 (大塚ハウス1号及び2号) の1000倍希釈液を週1~2回の割合で行った。灌水は水苔の乾き具合を見ながら適宜行った。ガス交換の測定には健全な植物体を選び供試した。

1) CO₂ 交換速度の測定: 測定は赤外線分析計 (ライカー社, LI-6251) を用いた通気式同化箱法^{1,9)}で行った。上位第三完全展開葉を同化箱 (アクリル製; 幅×奥行き×高さ=14.5×17.5×12cm) にセットし, 箱内の環境を均一にするためファンを作動させた。日長は明期11時間, 暗期13時間とした。明/暗期温度の組合せの影響を調べた実験では, それぞれ30/20, 30/25, 25/20, 及び20/15℃に設定した。また, 明期の光強度は5, 15, 30, 45klx に設定した。

CO₂ 濃度の影響を調べた実験では, 同化箱導入空気へ50% CO₂ ボンベから少量添加し同化箱内濃度を350, 700, 1400, 2800ppm に調節, 安定させた。各々の条件下で2日間順化させガス交換が安定したのを確認した後データをとった。蒸散速度は同化箱の出入り口の湿度を相対湿度計 (バイサラ社, HMP-113Y) で測定し, 求めた。さらに, CO₂ 濃度350ppm, 1400ppm 下での葉の有機酸含量と PEP カルボキシラーゼ (PEPCase) 活性を測定した。

葉の有機酸含量と PEPCase 活性は, 温度, 湿度及び CO₂ 濃度を同時に制御できるグローブチャンバー内に材料を入れ, CO₂ 濃度を350ppm と1400ppm に調節して2~3日順化した植物体からサンプリングを行い測定した。

2) 有機酸含量の測定: 1.8×1.8cm の葉片を採取し, 生重 (FW) を測定した後, 蒸留水を入れ10分間煮沸した後磨砕し, 3500rpm で10分間遠心分離した。その上澄み液をフィルター (孔径0.45μm) で濾過し, 濾液をオートサンプラー付きの高速液体クロマトグラフィー (島津製作所, 検出部 CDD-6A, ポンプ LC-10AD, カラム SCR-102H) を用いて有機酸を定量した。サンプルの採集は18:00, 21:00, 24:00, 3:00, 7:00, 10:00, 13:00, 17:00の計8回行った。

3) PEPCase 活性測定: グローブチャンバー内で順化させた材料から1.8×1.8cm の葉片を採取した。採取は各 Phase 毎に, Phase 1は21:00, Phase 2は7:00, Phase 3は11:00, Phase 4は17:00に行った。

試料は採取後素早く液体窒素で凍結固定した。

試料に5ml 抽出緩衝液と0.2mg 海砂を加えて、冷水下乳鉢で磨砕抽出した。この過程は約20秒で終了した。抽出緩衝液の組成¹¹⁾は、200mM Bicine (pH8.2), 0.2mM EDTA, 0.5mM DTT, 2mM ヨード酢酸, H₂O (ポリエチレングリコール20,000) であった。その抽出液を1層のミラクロス (CALBIO CHEM 社) で濾過した。この濾液の内、1ml を12,000rpm で15~20秒間遠心分離し、その上澄み液の100 μ l を2,900 μ l の反応液に加え25 $^{\circ}$ C下で NADH の変化を340nm の吸光度で測定し (島津製作所, UV-2000), PEPCase 活性を求めた。反応液の組成は25mM Bicin-KOH (pH8.5), 25mM MES-KOH (pH 8.5), 25mM MOPS-KOH (pH8.5), 5ml MgCl₂, 2mM NaHCO₃, 0.1mM NADH, 10units MDH, 2mM PEP であった。測定までの過程は約2分以内で完了した。抽出液より0.5ml をクロロフィル含量の測定に使用した。さらにリンゴ酸による PEPCase 活性阻害の程度をみるために反応液にリンゴ酸を2mM 添加した区と無添加の区を設け同様に PEPCase の活性を測定した。

クロロフィル含量の測定は80%アセトン抽出法に従い、0.5ml の濾液を2ml の99%アセトンに加えた後、3,000rpm で10分間遠心分離し、上澄み液を波長663nm 及び645nm 吸光度を測定した。PEPCase 活性 (μ mol \cdot mg⁻¹ Chl \cdot min⁻¹) は次式により求めた。

$$\text{PEPCase} = \frac{\Delta\text{OD}_{340} \times V \times vt}{\xi \times d \times B \times v}$$

ここで、 ΔOD_{340} は単位時間の NADH の変化、V はキュベット内の反応液量 (ml)、 ξ は NADH の分子吸光係数 ($6.22\text{cm}^2 \cdot \mu\text{mol}^{-1}$)、d はキュベットの光路長 (セル幅)、クロロフィル含量 (g)、v は反応に使用した抽出液量、vt は抽出全量を示す。算出された値は $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ で表した。また、リンゴ酸による阻害の程度、または PEPCase のリンゴ酸感受性は無添加区の PEPCase 活性に対する2mM リンゴ酸添加区の活性の割合で表し、次式により求めた。

$$\text{リンゴ酸感受性} = \left(1 - \frac{2\text{mM リンゴ酸区の活性}}{\text{無添加区の活性}}\right) * 100$$

結 果

光強度及び明/暗期温度がファレノプシスの CO₂ 交換速度に及ぼす影響

ファレノプシスの CO₂ 交換は、明期に CO₂ を吸収して暗期は放出する C₃, C₄ 植物とは異なり、暗期 (Phase 1) に CO₂ を吸収し明期は CO₂ 吸収を停止させ、Phase 4を示さない super-CAM 型のガス代謝を示すことが明らかとなった (図1, 2)。このようなファレノプシスの CO₂ 交換に対し明期の光強度がどのように影響を及ぼすのか調べた。その結果、CO₂ 交換速度の最大値は30/25 $^{\circ}$ C区では4 μ mol \cdot m⁻² \cdot s⁻¹, 30/20 $^{\circ}$ C区においては45klx で7 μ mol \cdot m⁻² \cdot s⁻¹, 15klx では6 μ mol \cdot m⁻² \cdot s⁻¹ とほとんど差はな

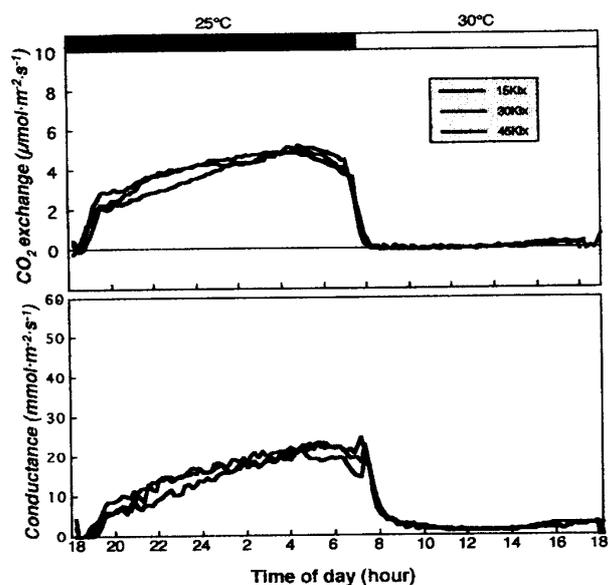


Fig. 1. Effects of light intensity on CO₂ exchange and leaf conductance in Phalaenopsis. Measurements were made at 30/25 $^{\circ}$ C of leaf temperature.

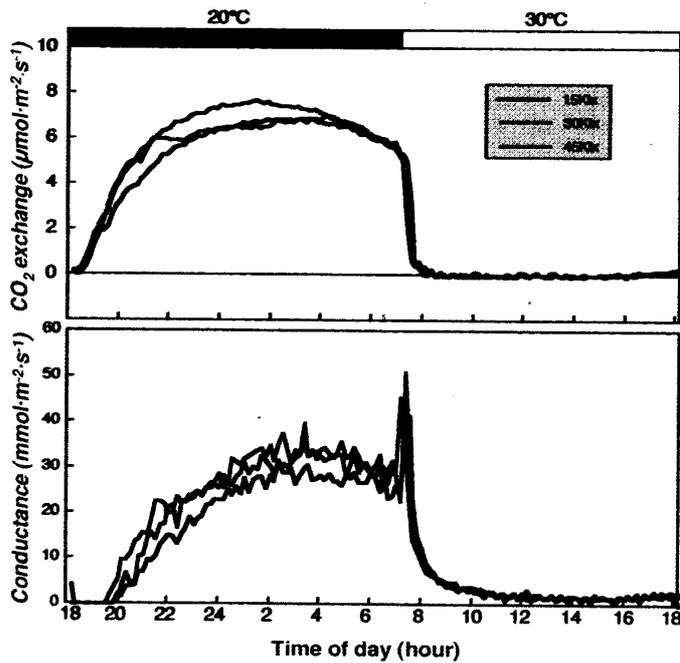


Fig. 2. Effects of light intensity on CO₂ exchange and leaf conductance in *Phalaenopsis*. Measurements were made at 30/20°C of leaf temperature.

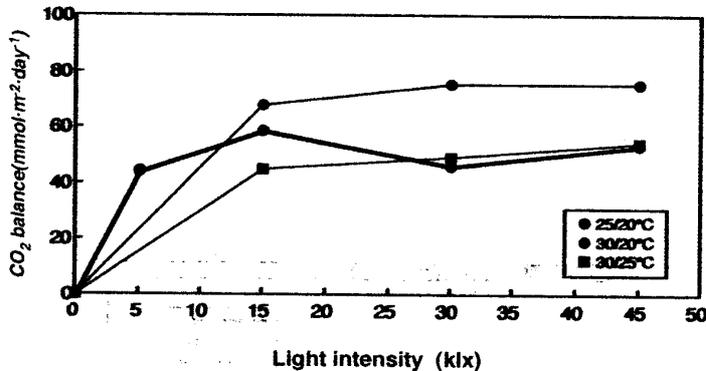


Fig. 3. Effects of light intensity during light period on total CO₂ balance at different light/dark temperatures. CO₂ concentration was set at 350ppm.

67.48, 44.77mmol·m⁻²·day⁻¹であった(図4)。また、明期温度を30°Cに固定して暗期温度の影響を見ると、日較差の大きい方が収支量も高くなる傾向を示した。また、日較差が5°Cとなる組合せで収支量を比べると、25/20°C区で総CO₂収支量は最大値を示した。このように明/暗期温度の組合せによって収支量がかなり変動した。

く30/25, 30/20°Cの両温度区で同様な日変化を示した。また、1日の収支量も15~45klxでは定常値を示し、CO₂交換速度は15klxという弱い光強度で飽和に達することが明らかになった(図3)。

次に、ファレノプシスの気孔伝導度の日変化について検討する。ここで、気孔伝導度とは気孔開閉程度を示し、この値が低いと気孔は閉じ高い場合は開いていることを表している。図1, 2から明らかのように、ファレノプシスの気孔は暗期に開き、明期には完全に閉じるCAM型特有の日変化パターンを示した。また、気孔はCO₂交換速度と密接に関連しており、CO₂交換速度の上昇が見られる場合には気孔伝導度も高く、気孔が開いていることを示している。さらに、CAM植物は、昼夜温度によってCAM型光合成が大きく変化することが知られているが、ファレノプシスに関しては、基本的にCAM型は変化せず昼夜のCO₂固定の絶対量が変動した。

そこで光強度を15klxに固定し温度の影響を調べたところ、CO₂収支量は温度が20/15, 25/20, 30/20, 30/25°Cの4組合せでそれぞれ47.21, 76.11,

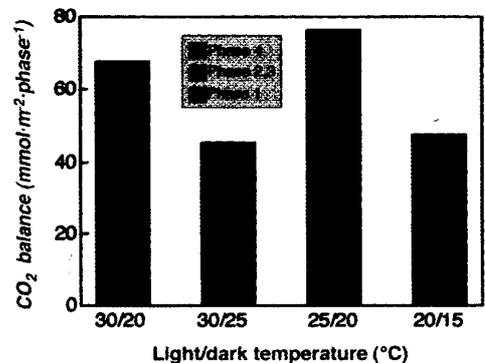


Fig. 4. Effects of light/dark temperature on the CO₂ balance. Measurements were made at 15klx of light intensity and 350ppm of CO₂ concentration.

CO₂濃度及び光強度が1日のCO₂収支量に及ぼす影響

明/暗期温度を25/20℃、光強度を15klxに設定してCO₂濃度の影響をみると、CO₂交換速度は350ppmの $8\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ から700ppmの $11\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ に上昇した。しかし、さらに濃度を1400ppm及び2800ppmと上昇させても大きな変化はなく、700~1400ppmの間で飽和していると考えられる。上述したように、ファレノプシスにおいては環境条件によってCAM型CO₂交換はほとんど変化しないことが知られている。しかし、CO₂濃度が収支量にどの程度影響を及ぼすのかを詳細に調べた例は少なく、その実体は不明である。図5、6から明らかなように、CO₂収支量は700ppmまでは上昇したが、それ以上の濃度では大きな変化は見られなかった。そこで、光強度が光合成の限定要因になっていると予想されたので、光強度を段階的に変えてCO₂濃度の影響を検討した(図5、6)。

その結果、1日の収支量は光強度に関係なくPhase 1に依存していることが分かった。更に、5klx以下ではCO₂濃度を上げて収支量は上昇せず、弱光域では光強度がガス交換の限定要因となっていることが示された。また、15klx以上では光強度を上げて収支量の上昇は見られず、それ以上の光強度ではCO₂濃度の上昇に伴って総CO₂収支量は逆に減少する傾向さえ見られた。特に、45klxの高濃度で著しく収支量の減少が見られた。収支量をPhaseごとにみても明期においてその増加の割合が大きかった(表1)。

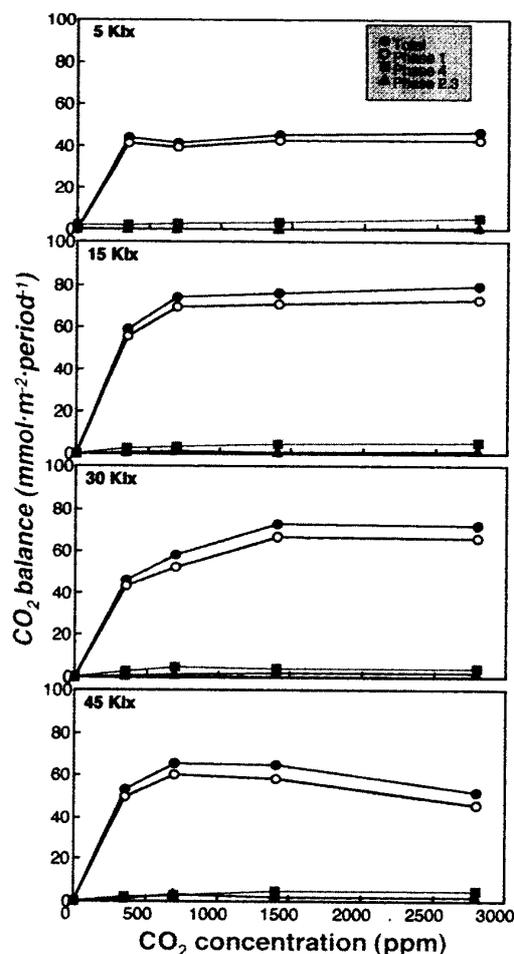


Fig. 5. Effects of CO₂ concentration on CO₂ balance at different light intensities.

Table 1. Effects of light intensity and CO₂ concentration on the CO₂ balance at different phases.

Light (klx)	CO ₂ (ppm)	Absolute values ^{a)}				Relative values ^{b)}			
		Phase 1	Phase 2, 3	Phase 4	total	Phase 1	Phase 2, 3	Phase 4	total
5	350	41.21	1.97	0.29	43.47	74.5	55.8	31.1	74.5
	700	39.20	1.97	0.28	41.45	70.9	75.8	30.1	70.5
	1400	42.36	2.64	0.28	45.28	76.6	101.5	30.1	77.0
	2800	42.25	3.56	0.51	46.32	76.4	136.9	54.8	78.7
15	350	55.30	2.60	0.93	58.83	100.0	100.0	100.0	100.0
	700	69.29	3.19	1.05	73.53	112.9	122.7	112.9	125.0
	1400	70.38	4.74	0.47	75.59	127.3	182.3	50.5	128.5
	2800	72.82	5.02	1.50	79.34	131.7	193.1	161.3	134.9
30	350	43.03	2.29	0.58	45.90	77.8	88.1	62.4	78.0
	700	52.37	4.43	1.23	58.03	94.7	170.4	132.3	98.6
	1400	66.43	3.78	2.17	72.38	120.1	145.4	233.3	123.0
	2800	65.98	3.76	2.19	71.93	119.3	144.6	235.5	122.3
45	350	49.87	1.91	1.21	52.99	90.2	73.5	130.1	90.1
	700	59.84	2.65	2.99	65.48	108.2	101.9	321.5	111.3
	1400	58.28	4.71	1.92	64.91	105.4	181.2	206.5	110.3
	2800	45.56	4.59	1.75	51.90	82.4	176.5	188.2	88.2

Note : ^{a)} ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{phase}^{-1}$).

^{b)} relative to the data obtained at 15klx and 350ppm.

CO₂ 濃度がリンゴ酸含量と PEPCase 活性に及ぼす影響

CAM 植物は暗期に PEPCase の働きによって CO₂ を固定し炭素数4のリンゴ酸の形で細胞の液胞中に蓄積する²⁾。そして、明期は気孔を閉じ暗期に蓄積したリンゴ酸から脱炭酸し生じた CO₂ を通常のカルビン回路で再び固定して最終光合成産物の糖や澱粉を合成するため暗期にリンゴ酸含量は増加する。また、明期は気孔を閉じた状態で脱炭酸を行うため、葉内のリンゴ酸含量は減少し CAM 型特有な日変化を示すことが知られている。大気中の CO₂ 濃度である350ppm からその倍の1,400ppm に上昇させると、CO₂ 総収支量は58.83から75.59mmol・m⁻²・s⁻¹へ約28%も増加した。葉内のリンゴ酸含量も CAM 型特有の日変化を示し、明期の初めで最大値の5.58から8.37mg・g⁻¹FW となり、約1.5倍の増加がみられた。暗期の初めの最小値も1.22から2.26mg・g⁻¹FW と高濃度下で増加傾向を示した。また、暗期において CO₂ を固定する PEPCase 活性を Phase 毎に測定したところ、高濃度下では Phase 1において4.15から11.19μmol・mg⁻¹CHL・min⁻¹に上昇した。明期においては逆に低下する傾向を示した(図7, 表2)。

以上、ファレノプシスにおいて暗期では高 CO₂ 濃度下で CO₂ 交換速度、リンゴ酸含量、及び PEPCase 活性が高くなる傾向を示した。

考 察

本研究では、各種環境条件によってファレノプシスの CAM 型 CO₂ 交換がどのように反応するのかを調べ最適環境条件を明らかにした。

まず、ファレノプシスの光環境に対する反応について考察する。ファレノプシスの CO₂ 交換速度の光飽和点は15

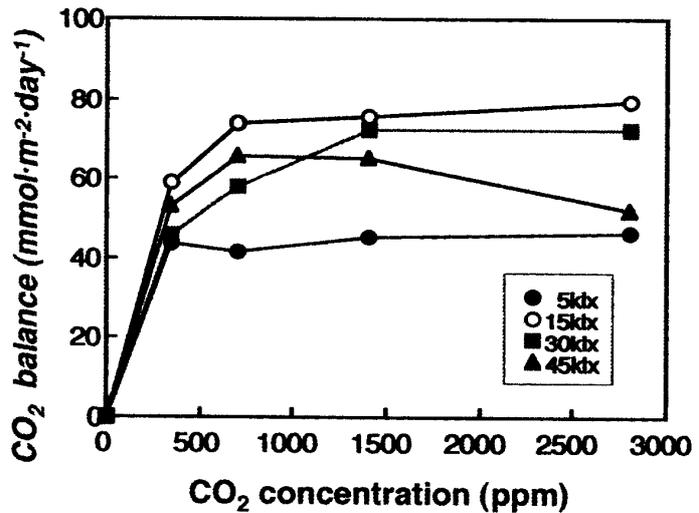


Fig. 6. Effects of CO₂ concentration on total CO₂ balance at different light intensities. Measurements were made at 25/20°C of light/dark temperature.

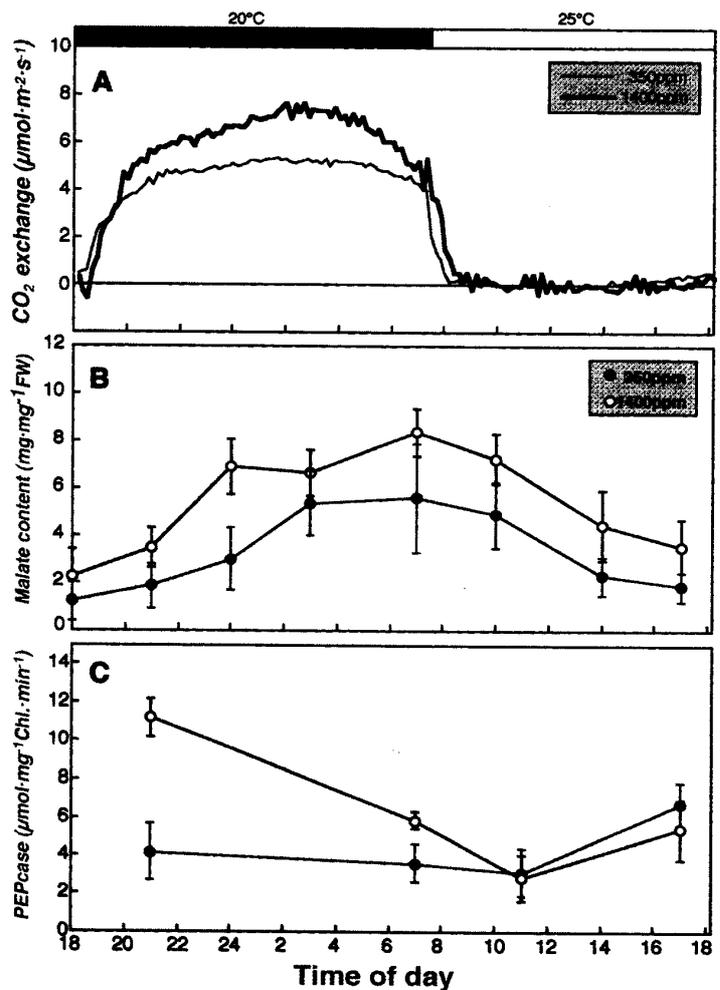


Fig. 7. The diurnal changes in CO₂ exchange rate (A), malate content (B) and PEP carboxylase activity (C) at different CO₂ concentration. Light intensity during light period was 15klx.

klx 付近にあった (第 2 ~ 4 図)。これは、既報^{3,4)}の 13klx や、太田らの 15 klx で飽和するという報告⁷⁾とよく一致する。この光飽和点は、ファレノプシスが湿潤熱帯の弱光条件に適応して分化した植物であることに起因していると考えられる。また、普通栽培において生育が良好と言われる条件は、ハウス内を寒冷遮で遮光した場合であるという経験と一致する。

本研究は個葉のガス交換速度を測定した結果であり、植物全体についても同様のことが成り立つか否か明かではない。しかし、同化箱にセットした葉は株全体の葉面積の約 40% 占め、株の中でも活性の高い葉であったことから、個体全体に関しても同様であると考えられる。須藤ら⁸⁾は、個体の光合成に着目し葉の重なり具合が CO₂ 吸収量に及ぼす影響を下位葉の有無で比較検討し、次のような結果を得ている。すなわち、成熟株において強光条件 (44klx, 下位葉は約 11.3klx) 及び弱光条件 (27klx) で CO₂ 吸収を測定したところ強光が弱光に比べ両期とも CO₂ 吸収は高く、また、下葉を遮光して上葉だけを測定した場合、明期 (Phase 4) において強光より弱光条件下で高い吸収量を示した。これは、上位葉に対しては光強度は過剰であり、下位葉に対しては最適光強度域にありこの下位葉への光の量が株の CO₂ 吸収量に大きく影響することを報告している。本研究では 1 個体の葉数が 3 ~ 4 枚程度であり葉の重なり具合が光合成に及ぼす影響については問題はなかったといえる。しかし、ファレノプシスの生育と直接関わる CO₂ 吸収量については、各葉位の CO₂ ガス交換の光反応を詳細に調べ株全体としてどのような光環境にすべきか検討する必要もある。植物体を数回変えて光強度の影響を検討したところ、個体差はあるものの CO₂ 収量は 5klx までに 75% 飽和していることが分かり、ファレノプシスは 15klx 付近でほとんど飽和していると結論づけられる (図 3)。

次に、温度の影響について考察する。ファレノプシスの CAM 型 CO₂ 交換は温度によって大きく変化せず、昼夜の CO₂ 固定のバランスや量 (1 日の総収量) だけが変動した。光強度を 15klx に固定して温度の影響をみると、明期温度が 30℃ の場合、温度の日較差の大きい方が収量は高くなる傾向にあった。一般に、CAM 型光合成においては明期はやや高温で暗期は低温条件にすると暗期の CO₂ の固定量は増加するといわれている。30/20℃ 区では暗期の低温条件に刺激されてリンゴ酸合成が促進され、収量が増加したと考えられる。また、日較差が 5℃ となる組み合わせで比較すると、25/20℃ が CO₂ 収量にとって最適であった (図 4)。しかし、太田ら⁷⁾は、25/20℃ 区より 25/15℃ 区において CO₂ 固定量は増加したと報告している。本研究では 25/15℃ という設定は無く、また沖縄の冬期温度が 25/15℃ まで低下することや、日較差が 10℃ となる組み合わせは 1 区しか設定していないことなどから、ファレノプシスの CO₂ 収量に及ぼす温度の影響の結論を引き出すにはさらなる検討が必要であろう。

一方、太田ら⁷⁾は、昼夜一定温度では 20℃ 付近に適温があり、さらにその後には昼高温、夜低温の変温条件下でより高い CO₂ 吸収が見られると述べており、本研究結果とも一致する。また、須藤ら⁸⁾もほぼ同様な結果を報告し、ファレノプシスの生育の最適温度とほぼ一致することが示された。

最後に、CO₂ 濃度及び光強度がファレノプシスの 1 日の収量に及ぼす影響について考察する。現在、成長が極めて緩慢なファレノプシスの生産を高めるため様々な方向から検討されている。しかし、その大部分が光強度、温度、水分、肥料など栽培の基本的な環境に関してなされたものである。葉の光合成の基質である空気中の CO₂ 濃度が光合成及び生長に及ぼす影響についてのデータは少なく、その詳細は明らかではない。

Table 2. Effects of elevated CO₂ on PEPCase and malate content in Phalaenopsis.

Sampling time	PEPCase ^{a)}		Malate content ^{b)}	
	350ppm	1400ppm	350ppm	1400ppm
Phase 1	4.15 ± 1.48	11.19 ± 1.01	1.84 ± 0.96	3.50 ± 0.85
Phase 2	3.57 ± 0.99	5.84 ± 0.43	5.58 ± 2.28	8.37 ± 1.00
Phase 3	3.10 ± 1.27	2.81 ± 1.24	4.89 ± 1.39	7.26 ± 1.07
Phase 4	6.68 ± 1.17	5.40 ± 1.57	1.86 ± 0.61	3.57 ± 1.11

Note : ^{a)} μg · mg⁻¹Chl · min⁻¹ ; ^{b)} mg · ml⁻¹

パインアップルと同様ファレノプシスは暗期に CO_2 を吸収する CAM 型光合成を行う。 CO_2 濃度を変えて CO_2 交換速度を測定すると、高濃度下では Phase 1 の CO_2 交換速度が上昇した (図 5~7)。このことは、Phase 1 で CO_2 を吸収し固定する CAM 植物において、 CO_2 濃度を高く維持すれば CO_2 吸収が促進され上昇すると考えられる。しかし、1,400ppm 以上ではほとんど変化せず、約 700~1,400ppm 付近で飽和した。暗期の収支量に影響を及ぼす明期の光強度を変化させ CO_2 濃度の影響を検討したところ、弱光条件では収支量の増加は観察されなかった。従って、5klx においては光強度が光合成の制限要因になっていると考えられた。また、15klx 以上の光強度では、光強度の増加にともなって収支量の減少がみられた。特に、45klx では顕著に表れ、その原因として明期における葉温の上昇が考えられる。葉温の上昇で葉面飽差も変化する事から、何等かの要因で CO_2 拡散過程が障害を受け高 CO_2 条件にも関わらず暗期のリンゴ酸蓄積が十分に行われず総 CO_2 収支量が低下したものと考えられる。また、明期における収支量の増加の割合が大きく、 CO_2 を直接カルビン回路に取り込んで光合成を行っていると考えられる。以上より、高 CO_2 濃度によって収支量を増大させるためには、光強度は 15klx 付近が最適であると考えられる。また、気孔伝導度は CO_2 濃度の上昇にともなって減少する傾向がみられた。これは、葉内の CO_2 濃度の上昇に反応して気孔が閉じたためと考えられる。しかし、結果的には高 CO_2 濃度条件下で水利用効率が高まった事を示唆している。

次に、葉内の変化について考察すると、CAM 植物は暗期に PEPCase によって CO_2 をリンゴ酸に変換し細胞の液飽中に蓄積する。ファレノプシスの葉内のリンゴ酸含量は CAM 特有な日変化を示し、高 CO_2 濃度下ではリンゴ酸含量の増加がみられた。同様な結果は川満ら¹⁾がパインアップルにおいて報告している。また、暗期において活発に CO_2 を固定する酵素、PEPCase 活性の上昇も観察された。このことから、高 CO_2 濃度は積極的に PEPCase 活性を刺激してリンゴ酸含量を高め、結果的に総 CO_2 収支量は増大したものと結論付けられる。しかし、明期においては

PEPCase 活性は逆に低下した。これは、本酵素が明期においてリンゴ酸に対する感受性が高くなり、リンゴ酸の濃度によって活性が抑えられたのではないかと考えられる (図 8)。そこで、リンゴ酸による阻害の程度を調べた結果、1,400ppm ではリンゴ酸に対する PEPCase の感受性は全体的に高まっていた。しかし、暗期においては酵素の活性も上昇していたことより、明期と暗期では酵素の性質が変化したと考えられる。この結果は、PEPCase が昼夜で性質が変化することでリンゴ酸に対して敏感に反応し、その活性が阻害されるとの報告^{9,10,11)}と対応する。

以上より、収支量を増加させるためには暗期と明期の CO_2 吸収の増加が考えられる。しかし、暗期では 700ppm 以上の高 CO_2 濃度域では CO_2 交換速度の増大は見られず、またリンゴ酸の貯蔵という点からみても、液飽の貯蔵能力には限界が予想され、パインアップルの場合ほど効果は期待できない。液飽の容量の限界点については、リンゴ酸を貯蔵する暗期の長さを変えて検討する必要があると思われる。今後の研究にゆだねたい。また、明期での CO_2 吸収に関しては C_3 回路の酵素活性等も解析しながら検討が必要だと思われる。

以上、ファレノプシスに対し効果的な CO_2 施肥を行うためには、施肥時間や濃度について、本研究

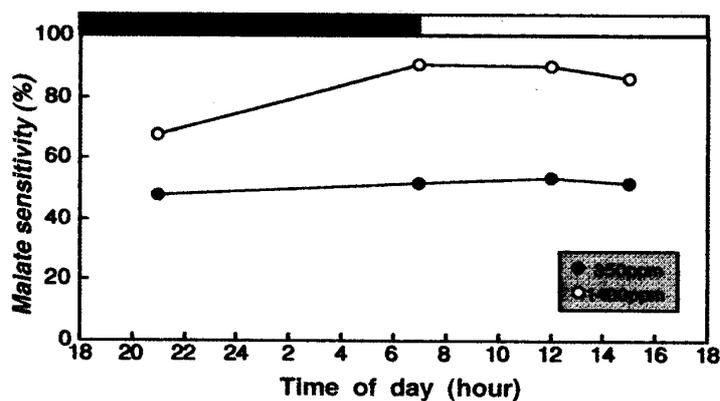


Fig. 8. Sensitivity of PEP carboxylase to malate. CO_2 concentration was adjusted 350ppm and 1400ppm. Light/dark temperature and light intensity were set at 25/20°C and 15klx, respectively.

の結果を踏まえ十分検討する必要がある。

摘 要

本研究では、ファレノプシスの生育、生産を高めるために成長に直接関係のある CO₂ ガス交換に着目してその最適条件を決定し、さらに、高炭酸ガスの影響についても解析し、CO₂ 施肥の問題点について検討した。得られた結果の概要は以下の通りである。

1. ファレノプシスはその CO₂ 吸収パターンから CAM 植物であることがわかった。また、明期において CO₂ 吸収のほとんど見られない Super-CAM 型に属していた (図1, 2)。気孔伝導度においても明らかに CAM 型特有の日変化を示し、CO₂ 交換速度は気孔伝導度と密接に関係していた。
2. ファレノプシスの CO₂ 交換速度は明/暗期温度が30/20℃, 30/25℃, 25/20℃の時、光強度が15 klx 付近で飽和に達した (図3)。
3. 明/暗期温度の組み合わせによって1日の収支量にかなりの違いが認められ、25/20℃において収支量は最大値を示した (図4)。
4. CO₂ 濃度を上昇させると、CO₂ 交換速度は700ppm までは増加傾向にあり、それ以上の濃度では変化はみられなかった。1日の収支量は主として Phase1 に依存していることがわかった (図5, 6)。
5. 350ppm から1,400ppm に変化させると葉内リンゴ酸含量も増加した (図7)。高 CO₂ 濃度下では、暗期では PEPCase 活性の増加が見られたが明期では逆に低下した (図8)。

引用文献

1. 川満芳信・中山博之・野瀬昭博 1994 高 CO₂ がパイナップルの個葉のガス交換速度及び CO₂ 収支量に及ぼす影響, 日作紀, 63 (別2): 111-112
2. Kluge, M. and I. P. Ting 1978 Crassulacean acid metabolism. Ecological Studies Vo1.30. Springer-Verlag.
3. 窪田 聡・米田和夫 1993 ファレノプシスの発育と栄養状態に及ぼす光強度の影響, 園学雑, 62: 173-179
4. 三浦泰昌 1981 光合成特性を基礎にしたラン栽培方法の確率に関する研究, 神奈川県園試研報, 28: 64-72
5. 森岡公一・米村浩次・山本幸男・太田広一 1988 観葉植物12種の光合成特性, 園学誌, 57 (別1): 490-491
6. Osmond, C. B. 1978 Crassulacean acid metabolism: A curiosity in context. Ann. Rev. Plant Physiol., 7: 363-373
7. 太田弘一・森岡公一・山本幸男 1991 ファレノプシスにおける CAM 型光合成への葉齢・花序・水分・温度・光条件の影響, 園学雑, 60: 125-132
8. 須藤憲一 1993 ファレノプシスの CAM 型炭酸固定に及ぼす光環境の影響, 野菜・茶業試験場花き部研究年報, 6: 225-237
9. 関塚史朗・野瀬昭博・川満芳信・村山盛一 1995 日長がデンドロビウム (*Dendrobium Ekapol* cv. Panda) の Crassulacean Acid Metabolism 型光合成に及ぼす影響, 日作紀, 64: 201-208
10. Winter, K. 1980 Day/night change in the sensitivity of phosphoenolpyruvate carboxylase to malate during crassulacean acid metabolism. Plant Physiol., 65: 792-796
11. Winter, K. 1981 Change in properties of phosphoenolpyruvate carboxylase from the crassulacean acid metabolism plant *Masembryanthemum crystallinum* after isolation. Aust. J. Plant Physiol., 8: 115-119
12. Winter, K. 1982 Properties of phosphoenolpyruvate carboxylase in rapidly prepared, desalted leaf extracts of

- the Crassulacean acid metabolism plant *Mesembryanthemum crystallinum* L. *Planta*, 154 : 298-308
13. 米田和夫・百瀬博文 1989 ファレノプシスの株齢と温度並びに日長が開花に及ぼす影響, *園学雑*, 58 : 546-547