

CAM型植物であるファレノプシスのCO₂吸収の様相

市橋正一・樋口妙美・柴山浩子・手嶋祐子・西脇芳果・太田弘一
愛知教育大学 〒448-8542 愛知県刈谷市井ヶ谷町広沢1

Aspects of CO₂ Uptake in the Crassulacean Acid Metabolism Orchid *Phalaenopsis*

S. Ichihashi, T. Higuchi, H. Shibayama, Y. Tesima, Y. Nishiwaki and K. Ota
Aichi University of Education, Igaya, Kariya, Aichi 448-8542, Japan

Abstract

Phalaenopsis and its hybrids are the most important orchid pot plant commercially in the world now. Research on photosynthesis gives us practical and useful information for improving cultivation. Although conventional gas-exchange technique has some limitations in the research of a crassulacean acid metabolism plant (CAM), we investigated CO₂ uptake in *Phalaenopsis*. CO₂ uptake at night (Phase 1) changed with temperature. Maximum CO₂ uptake was observed around 20°C. CO₂ absorption at night increased in proportion to CO₂ concentration. Rate of CO₂ absorption was higher at 20°C than at 25°C. CO₂ uptake in the late afternoon (Phase 4) showed a maximum around 20°C. CO₂ absorption in Phase 4 increased in proportion to CO₂ concentration but stomata conductance decreased under high CO₂ levels. CO₂ absorption response curve to light intensity in Phase 4 was not saturated till 500 μmol·m⁻²·s⁻¹ PPF when CO₂ level was 2000 ppm, and then the stomata conductance showed very low values. Under various water and humidity condition when *Phalaenopsis* was irrigated weekly, CO₂ uptake in Phase 1 was the largest at one day before watering, but that of Phase 4 was the largest at one day after watering. Total CO₂ uptake in all Phases was stimulated the most at 70% relative humidity and suppressed drastically at 30% relative humidity. These results indicated that higher relative humidity is likely the most important factor for high CO₂ absorption in *Phalaenopsis*.

Keywords: photosynthesis, CAM, relative humidity, temperature, light, irrigation

緒言

花の美しさ、開花調節の簡単さ、その他の特徴がファレノプシス生産を有利なものとしている。これらの特徴のゆえにファレノプシスは、日本でのラン鉢物生産の中で最大の生産量となっている。しかし、解決しなければならない問題点も多い。

光合成能力は、全ての緑色植物にとって生育の基礎となる重要な要因である。緑色植物の好適な生育条件を明らかにするには、光合成特性について調べるのが、常套的手段法である。光合成能力は、植物のCO₂吸収を調べることによって、非破壊的に知ることが出来る。C3植物では、CO₂吸収の好適な光条件、温度条件は生育にとっての好適条件とみなすことが出来るため、C3光合成を行うラン科植物の光合成特性が、栽培条件を明らかにするため調べられてきた(Johnson, 1992; Kako et al., 1979a, b; Miura, 1981)。

CAM植物であるファレノプシスでも、CO₂吸収の好適条件を明らかにするため、多くの研究が行われた(Guo and Lee, 2006; Ichihashi, 1997)。しかし、光強度-光合成曲線、温度-光合成曲線について調べたものはない。C3植物とは違って、CAM植物のCO₂吸収は主に夜間行われ(フェイズ1)、一部は午後後半にも行われる(フェイズ4)。CAM植物では前夜に吸収されたCO₂はリンゴ酸

の形で固定され蓄積され、翌日再びCO₂に変換され、光合成で糖に代謝される(フェイズ3)。

フェイズ1のCO₂吸収の最適温度は20°Cであった(Kano and Naitoh, 2001; Ota et al., 1991)が、酸素電極で測定したフェイズ3の最適温度は30°Cであった(Ota et al., 2001)。一定温度下での植物体の生育は20°Cよりは30°Cで良好であった(Kubota and Yoneda, 1990)。昼温/夜温の組み合わせ条件は、25/20°Cよりも30/25°C条件下での生育が良好であった(Kaziwara et al., 1992; 1993)。これらのデータは、夜間のCO₂吸収の最適温度と生育の最適温度、昼間の酸素放出温度と生育の最適温度には違いがあることを示している。

光条件はファレノプシスの光合成と生育に取っての主要な環境要因である。ファレノプシスの昼間の好適光条件は、夜間のフェイズ1のCO₂吸収を測定して調べられてきた。昼間の光条件は夜間のCO₂吸収に影響する。小さな若い植物体では夜間のCO₂吸収は、昼間の光条件が130 μmol·m⁻²·s⁻¹ PPF (Ota et al., 1991)、15 klx(Kawamitsu et al., 1995)あるいは180 μmol·m⁻²·s⁻¹ PPF (Lootens and Heursel, 1998)の時に飽和した。しかしより大型の植物ではさらに高い光強度で促進された。大型の植物では、下位葉

は弱い散乱光を受ける。従って、大型の植物では、夜間(フェイズ1)とフェイズ4のCO₂吸収は、昼間により強い光 (677 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)を受けた時に多くなるが、これは下位葉の葉のCO₂吸収がより光強度の強いときに促進されるためである(Suto, 1993)。このことは、葉が少ない植物と多い植物では、光飽和点は自らの葉での遮光効果により、異なることを示している (Lin and Hsu, 2004)。

葉の切片からの酸素放出で測定したフェイズ3の光飽和点は、上記の値よりもずっと高く1050 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 程度であった(Ota et al., 2001)。この違いの理由については良く分かっていない。

葉のCO₂吸収に影響する他の要因は葉を取り巻く空気中のCO₂濃度である。CO₂の吸収速度は、フェイズ1でもフェイズ4でもおよそ700ppmで飽和した(Kawamitsu et al., 1995)。ファレノプシス幼苗の初期生育はCO₂濃度が高くなるほど促進された(Endo and Ikusima, 1997a)。切花本数、花の品質もCO₂濃度が700 ppm で改善された(Endo and Ikusima, 1997b)。これらのデータはファレノプシスの生育改善にもCO₂付加が有効なことを示している。

CAM植物は水欠乏に対して高い耐性を持つ。ファレノプシス生産では、週一回程度の灌水が一般的である。しかし、灌水後10日ではCO₂吸収は低下した(Ota et al., 1991)。干害以外に培養液のミネラルの高濃度も光合成を抑制する(Cui et al., 2004)。水ポテンシャルもファレノプシスのCO₂吸収にとっての重要な要因である。

低湿度は植物体からの脱水を引き起こすが、ファレノプシスの光合成システムに対しては大きな障害を与えなかった(Su et al., 2001)。培養幼植物の相対的水分含量と光合成能率(Fv/Fm)は、順化時の相対湿度によって大きく影響を受けた(Jeon et al., 2006)。

当研究では、CO₂吸収を制限する要因を明らかにし、ファレノプシスの生育にとっての好適栽培条件を明らかにするため、温度、光強度、CO₂濃度、相対湿度がCO₂吸収に及ぼす影響について調べた。

材料と方法

14cmの素焼き鉢植えの最大葉長25cmで6枚の葉を持つ *Phalaenopsis* White Dream MM74、10.5cmのプラスチック鉢植えの最大葉長20 cmで6枚の葉を持つ *Phalaenopsis* Miki、9cmのプラスチック鉢植えの最大葉長17.3 cmで4~5枚の葉を持つ *Doritaenopsis* Cinderella Beautyのいずれもニュージーランド産ミズゴケ植えの株を購入し、CO₂吸収の測定に供した。市販の肥料(6 N:10P₂O₅:5K₂O, Hyponex Japan)を2000倍に薄

め、ミズゴケが乾燥したら毎回灌水を兼ねて鉢底から流れ出るように施用した。

植物体は測定の前1週間以上に、温度25℃、相対湿度70%、明期(17:00-10:00)は蛍光灯(FPR96EX-N/A, Matsushita)で200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PPFDに調整した培養槽(KG-50HLA, Koito)に移した。測定の便宜のため、昼夜は逆転した。

光合成特性は、携帯式光合成測定装置(CIRAS, PP System)で測定した。測定は、最上位の展開葉をキュベットで挟んで、培養槽(BIOTRON LPH-200-RDSCCT, Nippon Ika Co.)の中で行った。培養槽の光強度は明期は蛍光灯(FL 20SS N/18, Toshiba)で170 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PPFとした。明期(17:00-10:00)の温度は25℃とし、暗期(10:00-17:00)は22℃とした。相対湿度は70%に保った。キュベットの条件は測定条件に従って変化させた。

結果と考察

CO₂吸収の日変化の概要

ファレノプシスの葉の24時間のCO₂吸収の様相はCAM型を示した(図1)。CO₂は夜間(フェイズ1)、明期開始直後(フェイズ2)、午後後半(フェイズ4)に吸収された。CO₂吸収と気孔伝導度は、同位置の測定では同じような変化を示したが、CO₂吸収の様相は測定ごとに異なった(図1A、1B)。CO₂吸収と気孔伝導度の相関係数(r)は図1Aでは0.944、図1Bでは0.752であった。

図1Aと図1Bでは測定条件は同じであったが、午後後半のCO₂吸収は1Bでは急激に増加したが、1Aでは低いままであった。夜間のCO₂吸収率は1Aより1Bで高かった。明期初期(フェイズ2)のCO₂吸収率は急激に低下し1.5時間以内にほとんどゼロになった(フェイズ3)。以上のようにファレノプシスはCAM型光合成を示したが、未知の要因がCO₂吸収に影響を及ぼした。フェイズ4とフェイズ1のCO₂吸収には水分条件が影響していることが考えられたが、はっきり確認することは出来なかった。

夜間のCO₂吸収の様相

暗期(フェイズ1)のCO₂吸収は温度によって著しく影響された(図2)。CO₂吸収率は20℃で最も高く、続いて15℃であった。CO₂吸収率は20℃よりも高い温度で低下し35℃ではほぼゼロとなった。気孔伝導度も同様の傾向を示した。

他の研究報告でも、夜間のCO₂吸収はおおよそ20℃で促進され、25℃よりも高い温度あるいは15℃よりも低い温度で抑制された(Kano and Naitoh, 2001; Ota et al., 1991)。夜間の高温におけるCO₂吸収の阻害は気孔が閉じることによるもので、CAM植物に特徴的な現象である

(Osmond, 1978)。ファレノプシスにおいても、蒸散を抑制するために高温で気孔を閉じることが、CO₂吸収低下の主要な理由と考えられた。

CO₂施肥は、ファレノプシス生産者にとっては、生育促進のための大きな関心事であり、その有効性は良く知られている。CO₂濃度はフェイズ1の吸収に影響した。周囲のCO₂濃度が1500ppmまで増加したとき、CO₂吸収は有意に増加した。CO₂濃度が500 ppmのとき、CO₂吸収量は13時間増加し続け飽和した。しかし、1000あるいは1500 ppmのとき、CO₂吸収量は13時間以上増加し続けた (図3)。

本実験ではCO₂吸収は、13時間で飽和あるいは低下した。この結果はKawamitsu ら(1995)の結果と一致する。夜間のCO₂施肥は13時間が効果的で実際のと思われる。CO₂濃度は吸収に影響する。初期生長速度はCO₂濃度が438、700、1000 ppmと増えるに従って増加した (Endo and Ikusima, 1997a)。切花本数、花の品質はCO₂施肥によって改善された(Endo and Ikusima, 1997b)。本実験でもCO₂吸収はその濃度に比例して増加したが上限は明らかでない。Kawamitsu ら(1995)は、CO₂施肥の目安を20 で700ppm、13時間としている。CO₂濃度が700ppmよりも高ければ、暗期間は13時間よりも短くてもよいであろう。

CO₂濃度の他に、フェイズ1のCO₂吸収は温度によっても影響された。CO₂吸収率は25 よりも20 で高い。CO₂吸収率とCO₂濃度との相関係数(r^2)は20°Cで0.889、25°Cで0.827であった(図4)。気孔伝導度とCO₂濃度との間には明らかな関係は認められないが、常に20 の気孔伝導度の値が25°Cの値よりも高かった(データ省略)。

フェイズ3の昼間のCO₂吸収の様相

フェイズ3では明確なCO₂吸収は見られなかったが、異なった温度ではCO₂吸収あるいは放出の違いが見られた(図5)。15°CではわずかにCO₂吸収が見られたが、20と25°Cでは吸収は見られなかった。30と35°CではCO₂の放出が見られた。気孔伝導度は低く、有意な差は見られなかったが20 での値が高かった。気孔伝導度と温度の関係を示す折れ線のカーブはフェイズ1に似ていた。気孔の開閉は、部分的には温度によって制御されているようである。

フェイズ3はCAM植物に特有である。フェイズ3ではCO₂の吸収は見られないが、光合成によるCO₂の固定は活発に行われている。酸素電極での測定では、ファレノプシスはフェイズ3で酸素を放出し35 で最高になった。酸素放出には、20 よりも高温と、600 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ よりも高い光強度が適するようである(Ota et al., 2001)。フェイズ3では気孔が閉じているため、蒸散は光合成の

制限要因にはならない。CO₂は前夜に蓄積されたリンゴ酸の脱炭酸によって供給されるため、CO₂吸収も光合成の制限要因にはならない。フェイズ3の光合成は、CO₂不足、水分不足からの影響を受けない。このことが、フェイズ3の適温が高温であり、好適な光強度も高い理由であろう。

フェイズ4の昼間のCO₂吸収の様相

フェイズ4のCO₂吸収は、変動が大きく温度によって大きく影響された。CO₂吸収速度は20 で最高になった。CO₂吸収速度は25、30 では急激に低下し、35 ではゼロになった。気孔伝導度もCO₂吸収速度と同様な傾向であったが(図6)、値はフェイズ1の場合よりも小さかった。

フェイズ4は移行期で長くは続かない。しかし、フェイズ4は長日条件では長引く(Suto, 1993)。この実験では、フェイズ4での測定を確実にするため、17時間日長で行った。CO₂吸収速度と温度の関係はフェイズ1に似ていた(図2)。このことは、ファレノプシスの気孔の開閉は、主に温度によって制御されていることを示唆している。

CO₂濃度とCO₂吸収速度の関係は図7に示して有る。CO₂吸収速度はCO₂濃度上昇に比例して増加した。しかし、気孔伝導度は177ppmまでは増加したが、さらにCO₂濃度が上昇すると気孔伝導度は低下した。CO₂濃度が1819 ppmでCO₂吸収速度は最も高かったが、気孔は開いていなかった。CO₂濃度が高いとCO₂吸収速度も高かったが、CO₂濃度と気孔の開閉には相関関係は見られなかった($r=-0.07$)。CO₂濃度が高い場合には、気孔が閉じていてもCO₂吸収速度は抑制されなかった。

CO₂濃度2000ppmで測定した光強度とCO₂吸収速度の関係は図8に示した。CO₂吸収速度は光強度が800 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PPFD までは高まったが、500 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上では有意な増加はなかった。気孔伝導度はほとんどゼロで低かったが、これは光強度に対する反応ではなく、高CO₂濃度に対する反応のようである。

フェイズ4のCO₂吸収と気孔伝導度には、相関関係は見られなかった。気孔伝導度は低くても、CO₂吸収速度は速かった。CO₂高濃度では、気孔は開かなくてもCO₂は良く吸収され、高光強度でのCO₂同化が行われた。このことは、気孔が開かなくてもCO₂施肥が有効であることを示している。従って、湿度が低い場合、光強度の強い場合、高温の場合にはCO₂濃度を高くすることは有効であろう。

光合成を、CO₂吸収あるいは酸素放出で測定すると、光飽和点、好適温度が大きく異なることは、それぞれの測定条件でのCO₂供給の限界の違いを反映しているものと考えられる。CO₂供給が限定

要因にならないような条件では、光強度は強くても、温度は高くても良いように思われる。CO₂吸収で測定した場合、CO₂吸収が限定要因になって好適温度が20°Cに、また好適光強度が130μmol·m⁻²·s⁻¹ (Ota et al., 1991)あるいは180μmol·m⁻²·s⁻¹ PPF(Lootens and Heursel, 1998)に限定されているのであろう。

鉢内の水分条件と相対湿度(RH)

水分条件の影響を明らかにするため、鉢内水分条件と湿度条件を変えてCO₂吸収を測定した。週一回灌水条件で、灌水前日、灌水直後、灌水1日後、そして相対湿度条件を30%、50%、70%としてCO₂吸収測定した。

CO₂吸収率は相対湿度によって最も影響を受けた。相対湿度70%のとき、全ての鉢内水分条件で、フェイズ1、2、4のCO₂吸収は最も促進された。しかし、各フェイズのCO₂吸収割合はフェイズによって相違した。フェイズ1のCO₂吸収割合は最も高く、続いてフェイズ2あるいはフェイズ4であった(図9)。

各フェイズのCO₂吸収量は同じ傾向を示し、相対湿度に最も影響された。相対湿度70%では、全ての鉢内水分条件において、CO₂吸収は最も促進された。フェイズ1のCO₂吸収量が最大で、次いでフェイズ4であった。鉢内水分条件は、フェイズ4のCO₂吸収に有意に影響した。フェイズ4のCO₂吸収は灌水一日後に最大になったが、一日のCO₂吸収量の総計は、灌水一日前に最大となった(図10)。

ファレノプシスは、CO₂をフェイズ1で最も多く吸う。フェイズ1のCO₂吸収は、湿度と鉢内水分条件の両方の影響を受けた。CO₂吸収にとっての最適条件は、毎週一回の灌水では、灌水前日の夜間の高湿度条件の時であった。フェイズ4のCO₂吸収は、湿度と鉢内水分条件の両方の影響を受けたが、フェイズ4のCO₂吸収量はフェイズ1ほど多くはなかった。

これらの実験の結果は、実際の栽培環境でCO₂吸収を促進するには、幾つかの方法があることを示している。フェイズ1では、相対湿度を高めることが、CO₂吸収量を増すための実際の簡単な方法である。湿度が低い場合には、CO₂施肥がCO₂吸収量を増すために使えるであろう。しかし、フェイズ1でのCO₂施肥には限界がある。CO₂を貯蔵するための細胞の容量に限界があるため、過剰のCO₂施肥は意味がないであろう。フェイズ4では、CO₂は吸収されて直ちに固定される。したがって、細胞容量の問題は少ないであろう。フェイズ4でも、相対湿度を高めることは、CO₂吸収量を増すために推奨できる方法である。またフェイズ4で湿度が低い場合は、CO₂施肥が効果的であら

う。

摘要

ファレノプシスとその交配種は、現在世界で最も重要な商業的生産されるラン鉢物である。光合成に関する研究は、栽培改善に資する実用的な役に立つ情報をもたらしてくれる。従来から用いられているガス交換測定方は、ベンケイソウ酸代謝(CAM)型植物の研究では幾つかの制約もあるが、我々はこの方法でファレノプシスのCO₂吸収を調べた。夜間のCO₂吸収(フェイズ1)は温度によって変化した。CO₂吸収は20程度で最大となった。夜間のCO₂吸収はその濃度に比例して増加した。CO₂吸収率は25よりも20で高かった。午後後半のCO₂吸収(フェイズ4)は20程度で最大となった。フェイズ4のCO₂吸収はその濃度に比例して増加したが、気孔伝導(開)度は、CO₂高濃度下では低下した。フェイズ4の光強度とCO₂吸収の関係は、CO₂濃度が2000ppmの場合、500μmol·m⁻²·s⁻¹ PPFDまで飽和することはなく、気孔伝導(開)度は非常に低い値であった。水分条件、湿度条件が異なる場合、週一回の灌水では、灌水前日にフェイズ1の吸収が最大になったが、フェイズ4の吸収は灌水翌日に最大になった。全フェイズの総CO₂吸収量は、湿度70%で高く、湿度30%で著しく減少した。このことは、湿度が高いことがファレノプシスの二酸化炭素吸収にとっては最も重要な要因であることを示唆している。

引用文献

- Cui, Y.-Y., D.M. Pandey, E.-J. Hahn and K.-Y. Paek. 2004. Effects of drought on physiological aspects of crassulacean acid metabolism in *Doritaenopsis*. *Plant Science* 167:1219-1226.
- Endo, M. and I. Ikusima. 1997a. Effects of CO₂ enrichment by combustion of liquid petroleum gas on growth of *Doritaenopsis*. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 66(1):163-168.
- Endo, M. and I. Ikusima. 1997b. Effects of CO₂ enrichment on yield and preservability of cut flowers in *Phalaenopsis*. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 66(1):169-174.
- Guo, W.-J and N. Lee. 2006. Effect of leaf and plant age, and day/night temperature on net CO₂ uptake in *Phalaenopsis amabilis* var. *formosa*. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 131:320-326.
- Ichihashi, S. 1997. Orchid production and research in Japan. P. 171-212. In J. Arditti and M. Pridgeon (eds), *Orchid Biology: Reviews and Perspectives*, VII. Kluwer Academic Publishers.
- Jeon, M.-W., M. B. Ali, E.-J. Hahn, K.-Y. Paek. 2006. Photosynthetic pigments, morphology and leaf gas exchange during ex vitro acclimatization of micropropagated CAM

- Doritaenopsis* plantlets under relative humidity and air temperature. Environ. and Expt. Bot. 55:183-194.
- Johnson, S.R. 1992. Photosynthetic characteristics of *Paphiopedilum malipoense* and *P. micranthum*. Lindleyana 7:181-184.
- Kako, S., N. Mizuno, A. Sugiyama, and K. Sakakibara. 1979a. Studies on growth and flowering of *Cymbidium*. (14). Relations between temperature, light intensity and photosynthesis. Abstr. Japan. Soc. Hort. Sci. Autumn Meet.: 394 - 395. (In Japanese).
- Kako, S., A. Sugiyama, N. Mizuno, and K. Sakakibara. 1979b. Studies on growth and flowering of *Cymbidium*. (15). Drops of photosynthetic ability under high temperature and high light intensity. Abstr. Japan. Soc. Hort. Sci. Autumn Meet.: 396 - 397. (In Japanese).
- Kano, A. and M. Naitoh. 2001. Effects of temperature during light and dark periods on CO₂ absorption of *Phalaenopsis* plants. J. Soc. High Tech. Agr. 13:137-142. (In Japanese with English summary).
- Kawamitsu, Y., M. Naka, H. Nakayama and F. Sekizuka. 1992. Effects of elevated CO₂ on Crassulacian Acid Metabolism in *Phalaenopsis*. Bull. Dept. Agric. Ryukyu Univ. 42:23-32. (In Japanese with English summary).
- Kaziwara, S., M. Aoyama and T. Yoshida. 1992. Effects of temperature and day length on the growth of *Phalaenopsis* plants. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 61(Suppl. 2):833. (In Japanese).
- Kaziwara, S., M. Aoyama and T. Yoshida. 1993. Effects of temperature and day length on the growth of *Phalaenopsis* nursery plants. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 62(Suppl. 2):56-57. (In Japanese).
- Kubota, S. and K. Yoneda. 1990. Effects of temperature and fertilizer on growth and nutrient absorption of *Phalaenopsis*. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 59(Suppl. 2):554-555. (In Japanese).
- Lin, M.-J. and B.-D. Hsu. 2004. Photosynthetic plasticity of *Phalaenopsis* in response to different light environments. J. Plant Physiology 161:1259-1268.
- Lootens, P. and J. Heursel. 1998. Irradiance, temperature, and carbone dioxide enrichment affect photoaynthesis in *Phalaenopsis* hybrid. HortScience 33: 1183-1185.
- Miura, Y. 1981. Studies on establishment of orchid cultivation on the basis of photosynthetic properties of orchids. I. Influence of temperature, light intensity and air humidity on photosynthetic rate of the orchids. Rep. Kanagawa Hort. Exp. Stn. 28:64-72. (In Japanese with English summary).
- Osmond, C.B. 1978. Crassulacean acid metabolism: A curiosity in context. Ann. Rev. Plant. Physiol. 29:379-414.
- Ota., K. Morioka and Y. Yamamoto. 1991. Effects of leaf age, inflorescence, temperature, light intensity, and moisture conditions on CAM photosynthesis in *Phalaenopsis*. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 60(1): 125-132. (In Japanese with English summary).
- Ota, K., T. Ono and S. Ichihashi. 2001. Characteristics of CAM photosynthesis in light Phase measured by O₂-electrode method in *Doritaenopsis*. P. 206-207. In H. Nagata and S. Ichihashi (eds). Proc. 7th APOC. Nagoya, Japan.
- Su, V., B.-D. Hsu and W.-H. Chen. 2001. The photosynthetic activities of bare rooted *Phalaenopsis* during storage. Scientia Hort. 87:311-318
- Suto, K. 1993. Effects of light on the CO₂ metabolism in *Phalaenopsis*. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 62(Suppl. 1):380-381. (In Japanese).

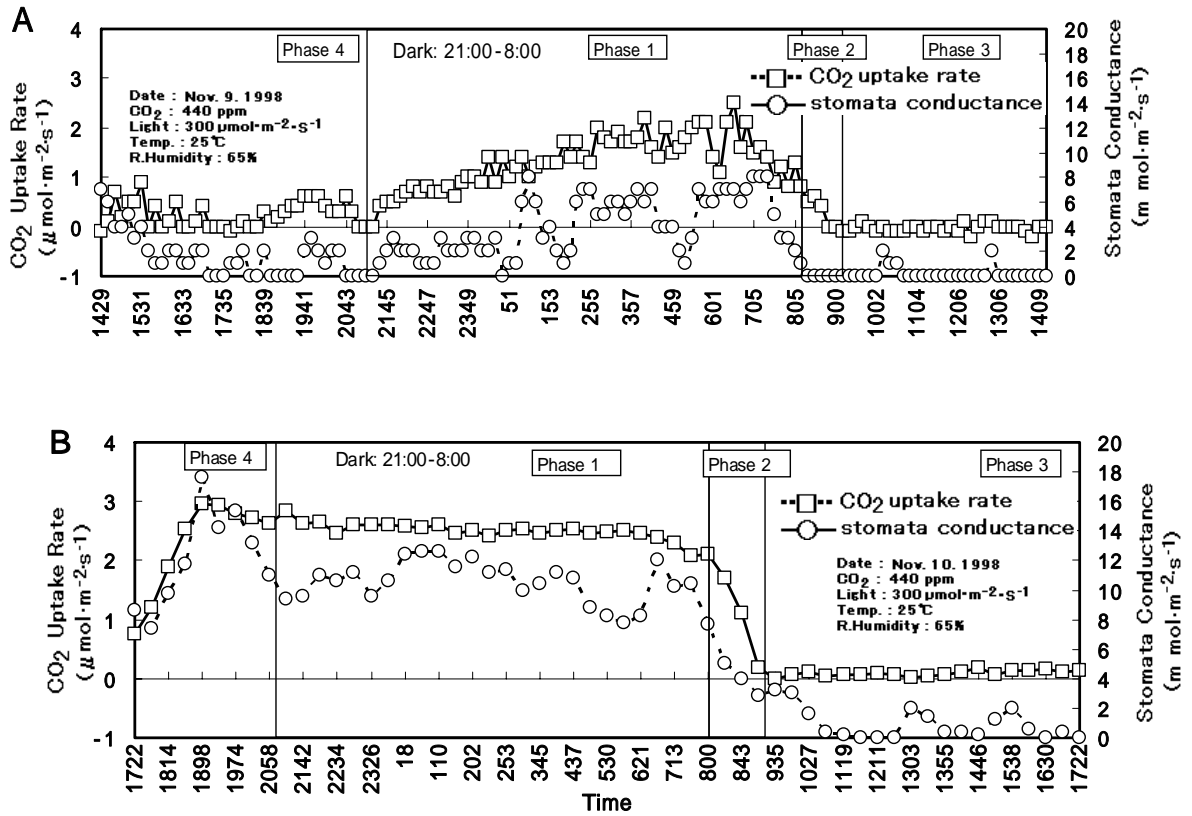


図 1. CO₂ 吸収と気孔伝導度の24時間の変化の様相。
 測定は *Phal.* White Dream 'MM-74' の同一株で順に行った。

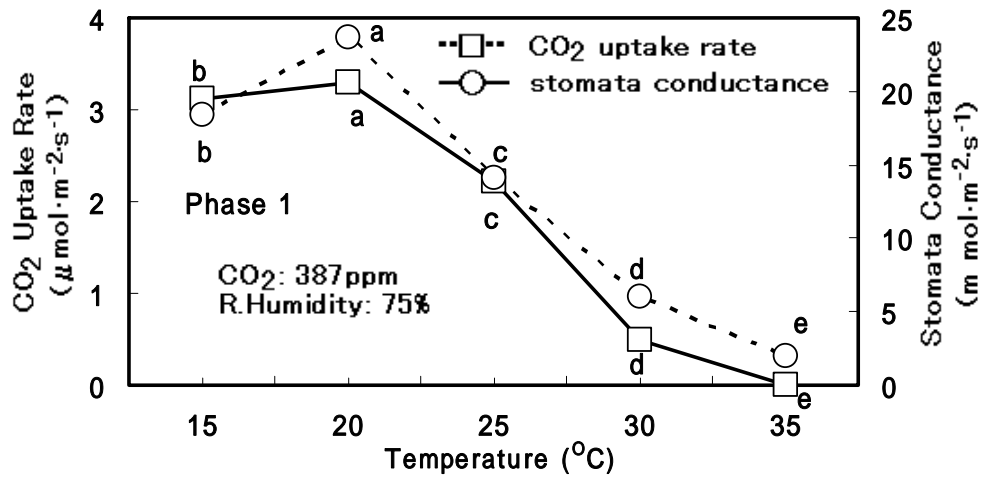


図 2. 種々の温度におけるフェイズ1のCO₂ 吸収速度と気孔伝導度。測定は *Phal.* White Dream 'MM-74' で5回行った。図中のアルファベットの異なった文字間では、ダンカンの多重検定で1%の危険率で有意差が見られた。

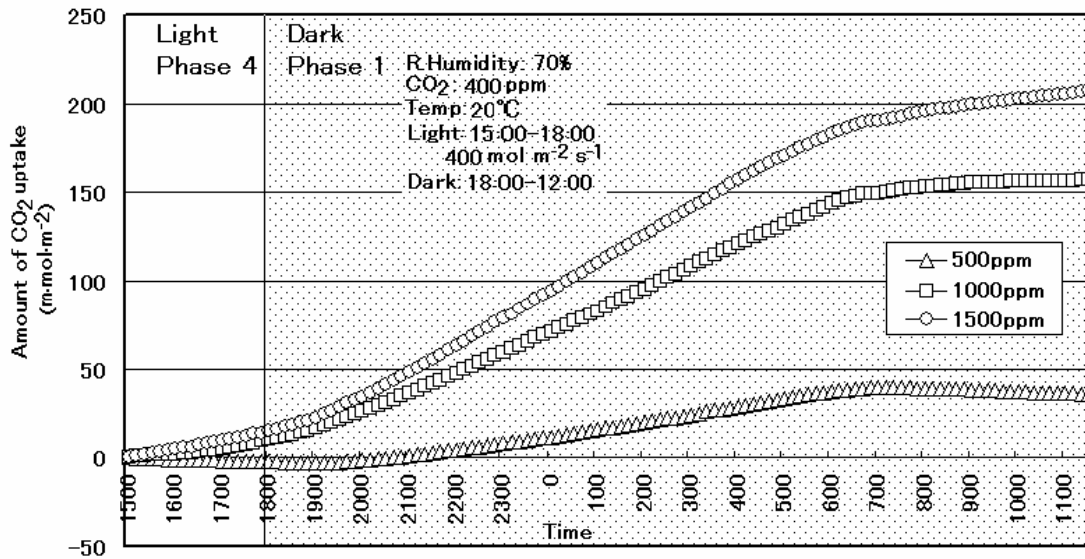


図 3. 異なった CO₂濃度条件におけるフェイズ1の CO₂吸収速度。

測定値は *Doritaenopsis Cinderella Beauty* の、それぞれ CO₂濃度 500、1000、1500ppm での3回の測定の平均値。16:00 時以降の全てのデータはダンカンの多重検定で5%の危険率で有意差が見られた。

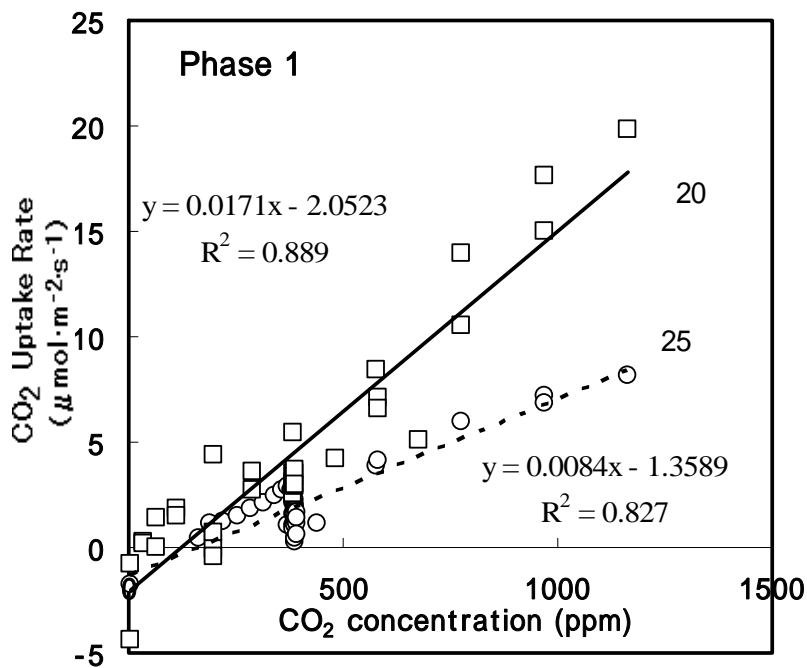


図 4. 20 ()と25 ()での異なった CO₂濃度条件におけるフェイズ1の CO₂吸収速度。測定は *Phal. White Dream 'MM-74'* で行った。

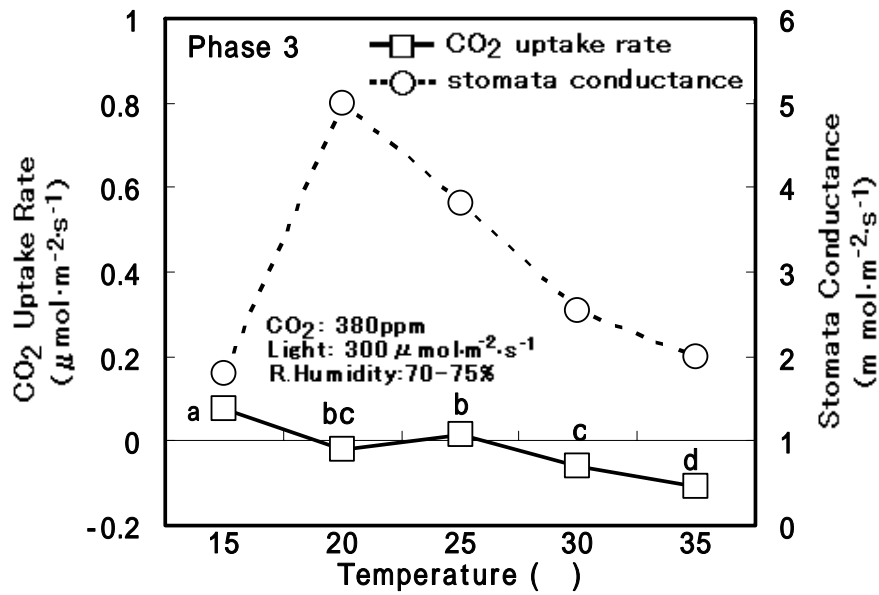


図 5. フェイズ 3 の異なる温度下における CO₂ 吸収率と気孔伝導度。各測定値は *Phal. White Dream* 'MM-74' での 4 回の測定の平均値である。異なるアルファベット間にはタンカンの多重検定で 5% の危険率で有意差が認められた。気孔伝導度は有意差を示さなかった。

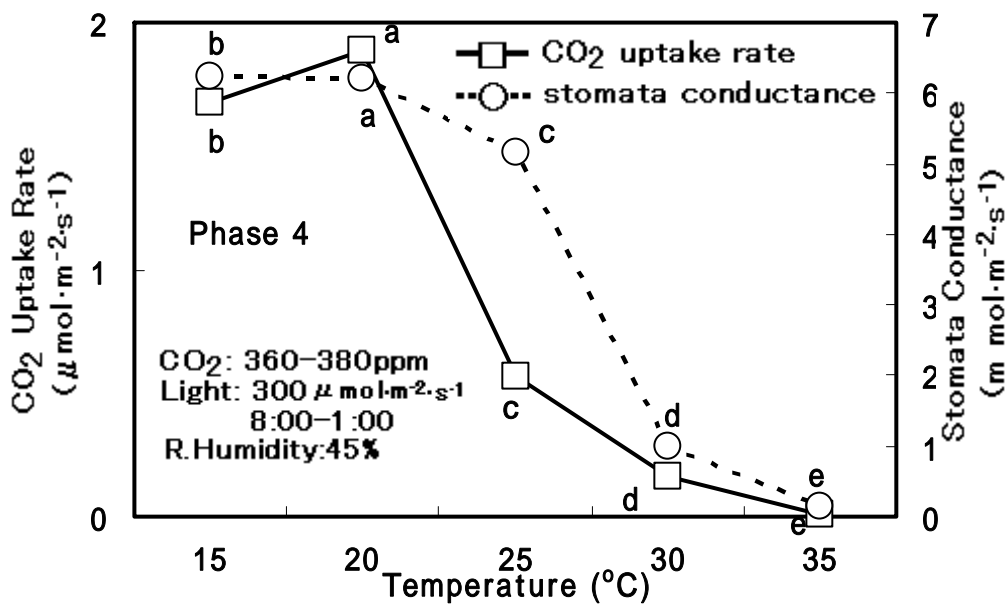


図 6. 異なる温度条件でのフェイズ 4 における CO₂ 吸収速度と気孔伝導度。測定は *Phal. White Dream* 'MM-74' で少なくとも 14 回行った。異なるアルファベット間にはタンカンの多重検定で 1% の危険率で有意差が認められた。

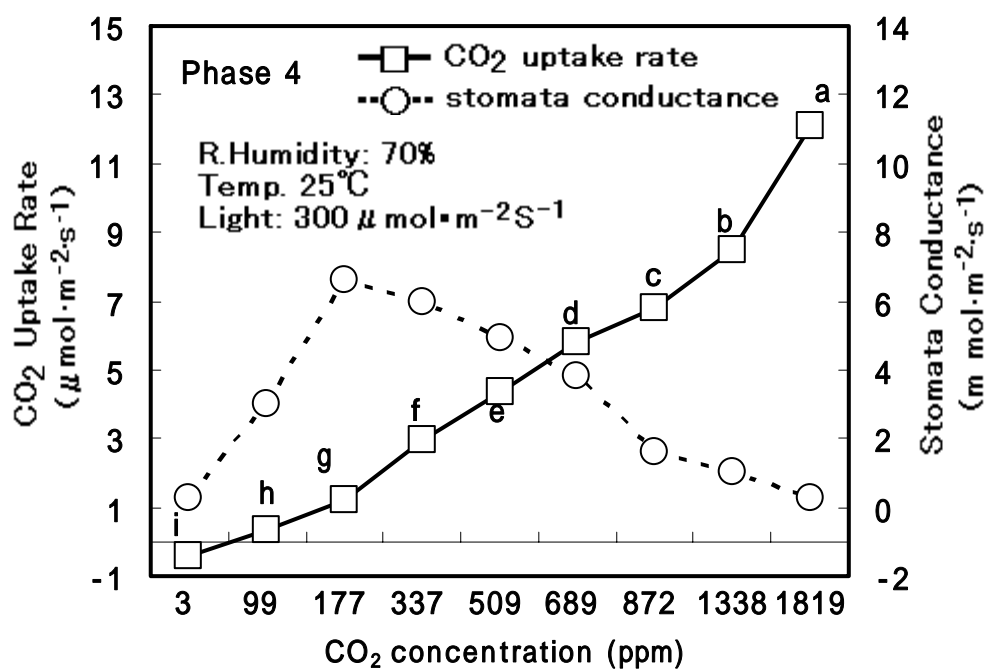


図 7. 異なる CO₂ 濃度下でのフェイズ 4 における CO₂ 吸収速度と気孔伝導度。値は *Phal. White Dream 'MM-74'* で 4 回測定した平均値である。異なるアルファベット間にはタンカンの多重検定で 1%の危険率で有意差が認められた。気孔伝導度は有意さが認められなかった。

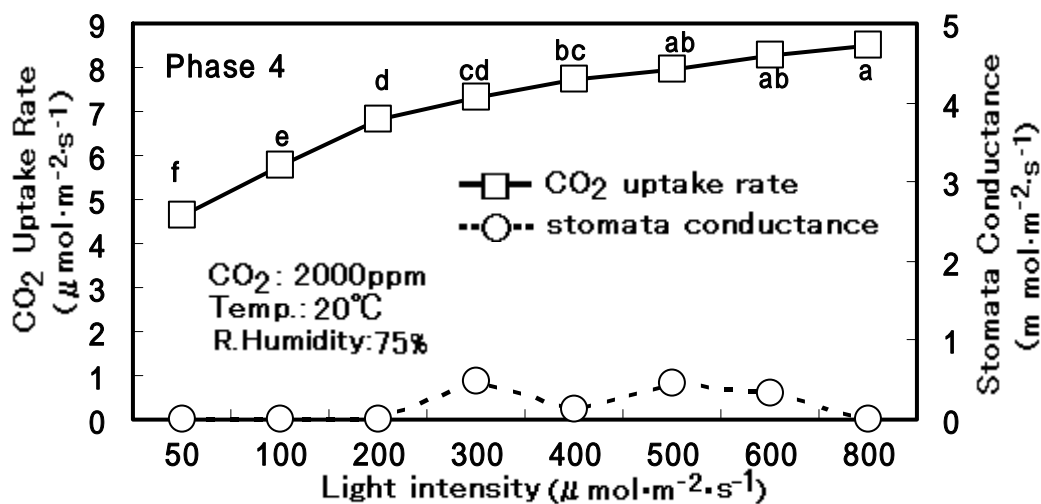


図 8. 異なる光強度化でのフェイズ 4 の CO₂ 吸収と気孔伝導度。値は *Phal. White Dream 'MM-74'* で 10 回測定した平均値である。異なるアルファベット間にはタンカンの多重検定で 1%の危険率で有意差が認められた。気孔伝導度は有意さが認められなかった。

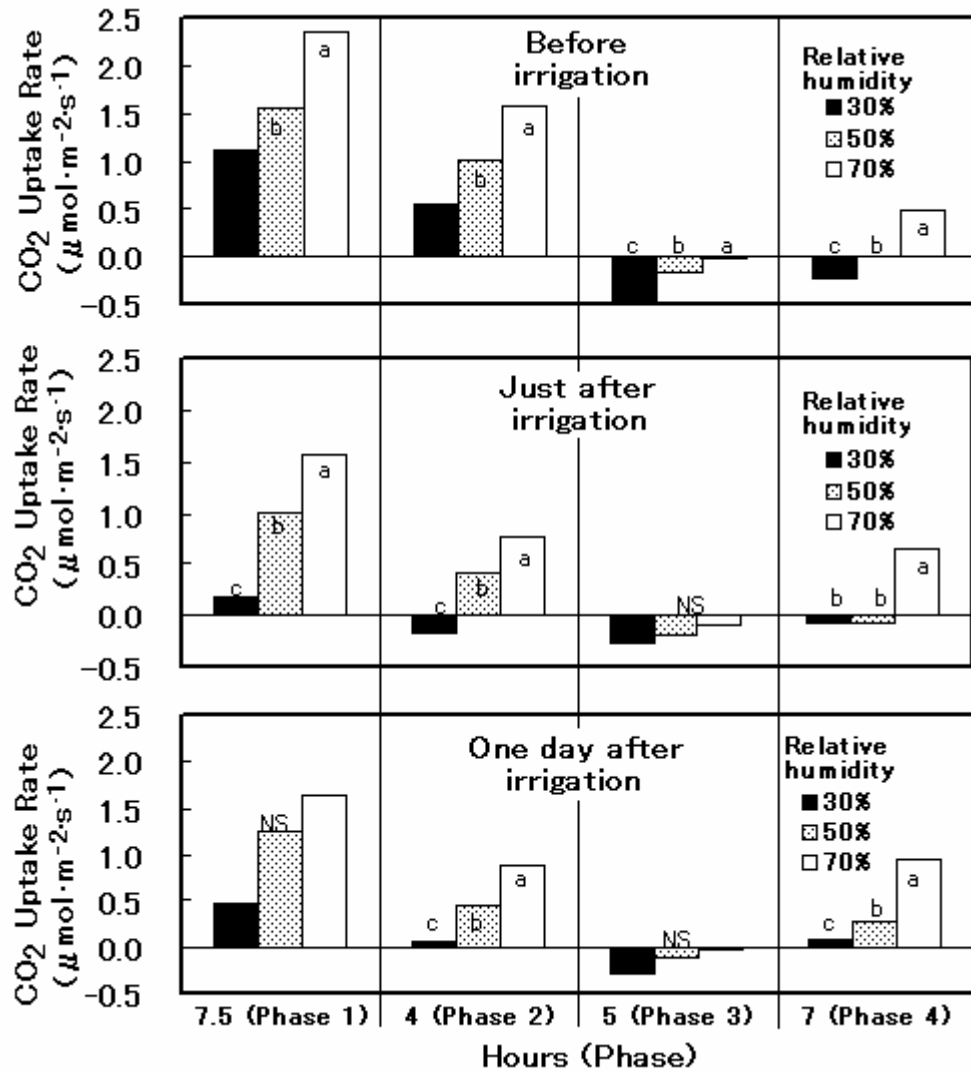


図 9. 各フェイズの CO₂ 吸収率に及ぼす鉢内水分条件と相対湿度の影響。値は *Phal. Miki* での 5 回の測定の平均値。異なったアルファベット間にはタンカンの多重検定で 5% の危険率で有意差が認められた。

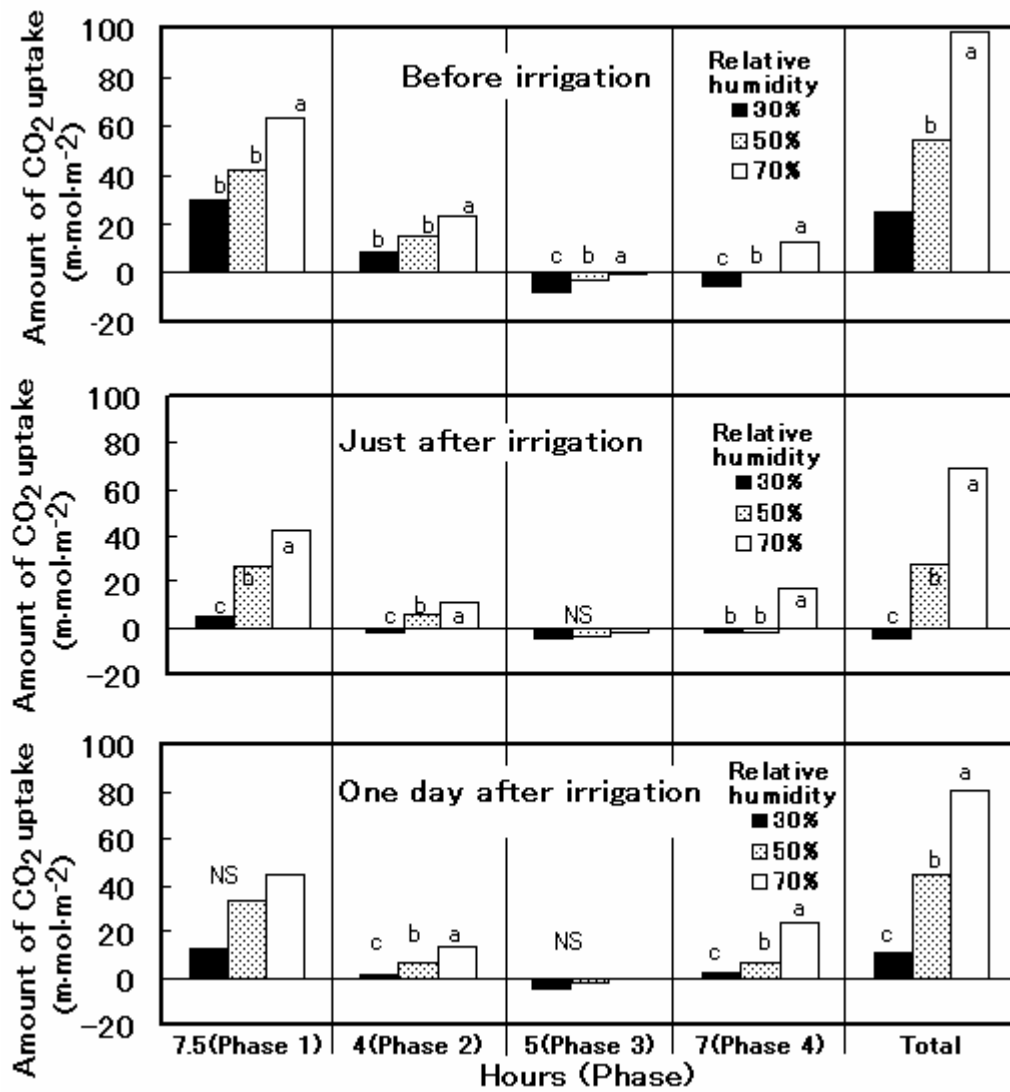


図 10. 各フェイズの CO₂ 吸収量に及ぼす鉢内水分条件と相対湿度の影響。値は *Phal. Miki* での 5 回の測定の平均値。異なったアルファベット間にはタンカンの多重検定で 5%の危険率で有意差が認められた。