

## 夏期における超微粒ミスト噴霧を伴う間欠冷房が ファレノプシスの開花品質、電力使用量に及ぼす影響

服部裕美<sup>1)</sup>・熊崎 忠<sup>2)</sup>・大月裕介<sup>3)</sup>・南 明希<sup>4)</sup>・  
吉田龍博<sup>1)</sup>・新井和俊<sup>5)</sup>・二村幹雄<sup>1)</sup>

**摘要**：ファレノプシスの夏期冷房費低減対策として冷房日と無冷房日を交互に行う間欠冷房に着目し、「5日間冷房・2日間無冷房」の間欠冷房に飽差6 g/m<sup>3</sup>以下となるよう超微粒ミスト(以降ミストとする)噴霧を併用する栽培方法を開発した。本法は、慣行の連続冷房と比較して花蕾数が1~2個増加し、花の大きさ等品質は同等以上であった。間欠冷房の無冷房2日間及びミスト噴霧の気化冷却効果により、電力使用量は連続冷房に対して推定で56~75%まで削減できた。本法は間欠冷房自動化ソフトを付加した統合環境制御装置により必要な施設制御の自動化が可能である。間欠冷房を模した温度変化を人工気象器内で行いCO<sub>2</sub>交換速度と部位別乾燥重を測定した。CO<sub>2</sub>交換速度は無冷房日設定時に低下し冷房日設定時に元の値に戻った。間欠冷房の全乾燥重は連続冷房より小さいが、花茎の乾燥重は同等であることから、温度変化が花茎への転流を促進したと考えられた。

**キーワード**：ファレノプシス、間欠冷房、超微粒ミスト、統合環境制御装置、CO<sub>2</sub>交換速度

## Effects of Intermittent Cooling and Super-micro-fog Spraying in the Summer Season on the Flowering Quality and Power Consumption of *Phalaenopsis*

HATTORI Hiromi, KUMAZAKI Tadashi, OHTSUKI Yuusuke, MINAMI Aki,  
YOSHIDA Tatsuhiko, ARAI Kazutoshi and NIMURA Mikio

**Abstract** : As cooling is essential for summer *Phalaenopsis* cultivation, we developed a new cultivation method that combines intermittent cooling, that is, 5 days of cooling followed by 2 days of non-cooling (5C2H), and super-micro-fog spraying when humidity deficit is 6 g/m<sup>3</sup> or higher in the daytime. The intermittent cooling method increased the number of flowers by 1–2, improved the quality of flower size to equal or better, and reduced the power consumption to 56–75%, compared to the continuous cooling method. The intermittent cooling method can automate the required facility control through an integrated environment control device equipped with the intermittent cooling automation software. The CO<sub>2</sub> exchange rate and dry weight of the plant were measured in an artificial weather apparatus according to the intermittent cooling (5C2H) experiment. The CO<sub>2</sub> exchange rate on the non-cooling day was lower than that on the cooling days. The total dry weight of the plant exposed to intermittent cooling was less than that of the plant exposed to continuous cooling, but the weights of the flower stems of the intermittently and continuously cooled plants were comparable. Intermittent cooling was thought to have enhanced translocation to the flower stem.

**Key Words** : Key Words: *Phalaenopsis*, Intermittent cooling, Super-micro-fog spraying, Integrative environmental control device, The CO<sub>2</sub> exchange rate.

---

本研究の一部は園芸学会春季大会（平成29年度、30年度、令和2年度）、平成29年度園芸学会秋季大会、令和元年度園芸学会東海支部で発表した。本研究は、農林水産省戦略プロジェクト研究「収益力向上のための研究開発」のうち「国産花きの国際競争力強化のための技術開発」により実施した。

<sup>1)</sup>園芸研究部 <sup>2)</sup>豊橋技術科学大学 <sup>3)</sup>トヨタネ株式会社 <sup>4)</sup>園芸研究部(現尾張農林水産事務所) <sup>5)</sup>園芸研究部(現山間農業研究所) (2020. 9. 9受理)

## 緒 言

愛知県は鉢物洋ランの生産が全国1位であり平成30年度の出荷量は340万鉢である<sup>1)</sup>。鉢物洋ランの内、50%以上がファレノプシスで主な産地は豊橋市、西尾市である<sup>2,3)</sup>。ファレノプシスは、開店祝い、株主総会等業務用贈答品として白色大輪系の需要が高い。生産者は、葉数8枚程の花茎未発生株を台湾から輸入し開花させ、開花株は雇用も活用して美しく寄せ植えし出荷している。ファレノプシスは25℃を境に低温条件では生殖成長を、高温条件では栄養成長を行うため、株が25℃以下の低温条件(17~25℃)に一定期間遭遇することで花茎が発生する<sup>4)</sup>。生産者の多くはファレノプシスを周年出荷しており、花茎発生や高品質化のために真夏でもヒートポンプにより昼温24~26℃/夜温17~19℃で管理するため、多大な冷房費が必要となっている。

イチゴの「間欠冷蔵処理<sup>5)</sup>」は、3~4日間毎に冷蔵処理と自然条件(無冷蔵)の苗を入れ替えるサイクルを3回繰り返すことで花芽分化を促し、この処理により通常の倍量の苗が冷蔵処理可能である。当场ではこの間欠冷蔵と同様の概念で、ファレノプシスの冷房に係る電力使用量を削減するため「間欠冷房」の研究を推進してきた。小川ら<sup>6,7)</sup>は1週間で「連続3日間冷房・4日間無冷房」のサイクルを繰り返す間欠冷房によりファレノプシスが開花に至ること、2週間サイクルの間欠冷房では「連続10日間冷房・4日間無冷房」のサイクルが慣行の冷房(以降、間欠冷房と区別するため「連続冷房」と表記)と同等の花茎発生率、花蕾数であったと報告している。間欠冷房は無冷房日分の冷房費が削減でき開花が早くなるが、連続冷房より花茎長が短く花が小さくなる等品質がやや劣ること、冷房日と無冷房日を繰り返すため窓や内張りカーテンの開閉等施設制御の手間が多く、人為的なミスが心配されるためその処理の自動化が課題である。本研究では、連続冷房と同等の品質を確保し電力使用量を削減できる間欠冷房の確立を目的とした。飽差管理にも着目し、当场がトマト・バラ等の夏期高温対策として開発した<sup>8)9)</sup>超微粒ミストがファレノプシスの開花・品質に及ぼす影響について検討した。

間欠冷房にかかわる施設制御の自動化、省エネに関する研究・開発は共同研究機関が担当した。当场では当初2週間サイクルでの間欠冷房の研究を進めてきたが、

自動化ソフトは1週間サイクルが容易なため1週間単位の間欠冷房方式を検討した。統合環境制御装置に間欠冷房自動化ソフト「隔日冷房設定ソフト」を付加し超微粒ミストを併用した間欠冷房を自動化し、ファレノプシスの品質及び電力使用量削減について検証した。

間欠冷房は連続冷房と比較して開花所要日数が短く花蕾数は同等となる。その原因を探索するため、人工気象器内で間欠冷房を模した温度で管理し、温度変化がCO<sub>2</sub>交換速度に及ぼす影響及び部位別乾物重も調査した。間欠冷房が開花及び品質に及ぼす影響を考察した。

## 材料及び方法

品種はファレノプシス白色大輪系種Sogo Yukidian「V3」を用い、台湾から船便(試験1、2、4、5、6)又は航空便(試験3)で輸入し各試験に供試した。試験1、3は葉数8~10枚、試験2、4、5、6は葉数6~8枚の株を用いた。花茎発生日、発蕾日、開花日(第1花、第5花)、第5花開花時に花茎長(花茎基部から第1花までの長さ)、花序長(第1花から花序の先端までの長さ)、花蕾数および第1花の大きさ(横径、縦径)を調査した(図1)。かん水は当场の慣行に従い鉢底のミズゴケの乾燥を確認後、水とN濃度100 ppm(OK-F-1(N:P:K=15:8:17)を希釈)の液肥を交互に与えた。

超微粒ミストは噴霧水量50 mL/min・個の「ドライミスト®」ノズル(なごミスト設計(有), 名古屋)を2mの高さに100 m<sup>2</sup>あたり24個設置し、水道水を6 MP(1 MP=10.197 kgf/cm)で圧送した(ミストの粒径14~17 μm)。

### 試験1 間欠冷房の方式が開花・品質に及ぼす影響

試験区は、間欠冷房1週間単位(6C1H(6日間冷房・1日間無冷房)、5C2H(5日間冷房・2日間無冷房)、4C3H(4日間冷房・3日間無冷房))と2週間単位(10C4H(10日間冷房・4日間無冷房))の4区とした。間欠冷房処理は供試株を冷房室と無冷房室(両室とも南北棟:間口7.2 m×奥行13.9 m、軒高4.5 m、面積100 m<sup>2</sup>、単棟のガラス温室)を所定の日数で17時に移動した。冷房室は内張りカーテン・側窓を全閉し、ヒートポンプエアコンにより6~18時は25℃、18~6時は18℃で管理した。無冷房室は換気温度23℃に設定し、超微粒ミスト(以降、ミストと記載する)を室温30℃以上の設定で噴霧した。両室は常に内部



図1 ファレノプシス開花までのステージと調査項目(花の大きさ)

遮光(ダイオミラー50HB-6、遮光率50~55%、(株)イノベックス、東京)を、日射量800 W/m<sup>2</sup>以上の場合には外部遮光(遮光資材は内部遮光と同じ)を展開した。試験は供試株を入手した翌日2016年6月9日から開始し各区15~16株を用いた。ヒートポンプエアコン及びミスト噴霧の電力使用量は、8時30分に電力計の数値を記録し日別電力使用量を算出した。各区の電力使用量は冷房日の日別電力使用量を試験開始から第5花開花日まで積算した。

## 試験2 相対湿度がCO<sub>2</sub>交換速度、開花・品質に及ぼす影響

試験は人工気象器(LPH-241S、日本医化器械製作所、大阪)を2台使用し、試験区は50%RH区、80%RH区とした。明期6~18時/暗期18~6時とし、明期の光量子束密度は約100 μmol・m<sup>-2</sup>・s<sup>-1</sup>とした。明期25℃/暗期20℃で管理し相対湿度を50%(飽差:明期11.5 g/m<sup>3</sup>,暗期8.7 g/m<sup>3</sup>)及び80%(飽差:明期4.6 g/m<sup>3</sup>,暗期3.5 g/m<sup>3</sup>)に設定した。供試株は2016年11月に入手し昼間30℃、夜間25℃設定のガラス温室内で管理後、2017年1月4日から各区8株用いた。4月26日に花蕾数、葉数、最上位展開葉の長さ、幅及び面積を調査した。CO<sub>2</sub>交換速度は4月5~6日及び6~7日に光合成測定装置(LI-6400、LI-COR社、アメリカ)を用い、各区2株の上から2枚目の完全展開葉を測定した。

## 試験3 昼間の超微粒ミスト噴霧を伴う間欠冷房が開花・品質に及ぼす影響

間欠冷房は後述する試験1の結果から「5日間冷房・2日間無冷房」とした。試験区は間欠+ミスト区、間欠区、連続冷房区の3区とした。間欠+ミスト区は試験1のガラス温室を用い、温度・飽差の管理、冷房の有無等に伴う窓およびカーテンの開閉、冷房時の天窓開閉等の施設制御は統合環境制御装置「プロファーム®」(株)デンソー、刈谷)にトヨタネ(株)が開発した間欠冷房用「隔日冷房設定ソフト」を付加し自動化した。5日間の冷房日は内張りカーテン・側窓を全閉し、ヒートポンプエアコンにより昼間25℃、夜間18℃で管理した。温度切り替えは日の出時刻から2時間後に昼間の設定温度へ、日没2時間前から日没時に夜間の設定温度へスージング機能により直線的に移行するよう設定した。冷房と無冷房の切り替えは16時に行い、無冷房日は18℃以上で天窓、側窓を自動開放した。ミストは、飽差6 g/m<sup>3</sup>以上かつ22℃以上、屋外日射量200 W/m<sup>2</sup>以上の条件で噴霧した。内部遮光及び外部遮光は、試験1と同様の資材を用い、内部遮光は屋外日射量200 W/m<sup>2</sup>以上で外部遮光は800 W/m<sup>2</sup>以上で展開した。

間欠区はミストを使用せず、冷房室(5日間)と無冷房室(2日間)の間で供試株を16時に移動させた。冷房室(間口4.1 m×奥行5.9 m、面積24 m<sup>2</sup>、ガラス温室)は換気窓を全閉し、ヒートポンプエアコンにより6~18時を25℃、18~6時を18℃で管理した。無冷房室(冷房室と同型)は18℃以上で天窓、側窓を自動開放した。内部遮光(ダイオミラー810MS、遮光率50~55%、(株)イノベッ

ス、東京)を常時展張し、外部遮光(ダイオミラー50HB-6)は屋外日射量800W/m<sup>2</sup>以上で展張した。加湿のため冷房室、無冷房室ともに床面に不織布を敷き散水した。連続冷房区は冷房室で管理した。試験は供試株を入手した翌日2017年6月9日に開始し各区16株用いた。間欠冷房+ミスト区のヒートポンプエアコンの電力使用量は、「プロファーム」に接続した記憶媒体内に毎時記録された電力量を試験開始から第5花開花日まで積算した。ミスト噴霧の電力使用量はミスト用に設置した電力計の数値を9時に記録し日別電力量を算出し、試験開始から第5花開花日まで積算した。

## 試験4 昼間のミスト噴霧を伴う間欠冷房・連続冷房が開花・品質に及ぼす影響

試験区は試験3の間欠+ミスト区と連続冷房区に加え、連続冷房にミスト噴霧を併用した連続冷房+ミスト区の3区とした。間欠+ミスト区は試験3と同様の方法とした。連続冷房区も試験3と同様の方法としたが、床への散水は行わなかった。連続冷房+ミスト区は連続冷房区と同型のガラス温室で温度、遮光は連続冷房区と同様に管理した。ミスト噴霧は、湿度調整用制御盤(しつど当盤、トヨタネ(株)、豊橋)により7時~17時に温度25℃以上かつ相対湿度65%以下の条件で、噴霧1分間及び休止1分間の間欠噴霧とした。試験は供試株を入手した2018年6月8日から開始し、各区16株用いた。間欠+ミスト区の電力使用量は試験3と同様に算出した。連続冷房区と連続冷房+ミスト区の電力使用量は9時に両区に設置した電力計の数値を記録し日別電力量を算出し、試験開始から第5花開花日まで積算した。

## 試験5 間欠冷房を模した温度条件がCO<sub>2</sub>交換速度に及ぼす影響(1)

試験区は、連続冷房区、間欠冷房区とした。2018年11月22日に入手した供試株を試験3の間欠+ミスト区に用いたガラス温室で管理(昼間25℃/夜間18℃)後、豊橋技術科学大学内の赤青LEDを光源とした閉鎖型栽培室(2.6 m×2.6 m)内で11月29日から試験を行った。明期7~21時/暗期21~7時、明期の光量子束密度は約80 μmol・m<sup>-2</sup>・s<sup>-1</sup>とした。連続冷房区は明期25℃/暗期18℃、間欠冷房区は5日間を明期25℃/暗期18℃、2日間を明期28℃/暗期25℃のサイクルの繰り返し、湿度は成り行きで管理した。CO<sub>2</sub>交換速度の測定は試験2の光合成測定装置を用い、各区3株の上から3枚目の完全展開葉で2019年3月22日から5日間測定した。花茎発生から40日後の4月25日に花茎、葉、根の部位別に各区3株乾物重を測定した。

## 試験6 間欠冷房を模した温度条件がCO<sub>2</sub>交換速度に及ぼす影響(2)

試験2で使用した人工気象器2台を用いた。供試株は2019年6月25日に入手し、試験3の間欠+ミスト区で用いたガラス温室で管理(昼間25℃/夜間18℃)後、6月28日に2台の人工気象器へ各4株入室し用いた。試験区は5C2H(5日間冷房2日間無冷房)の無冷房日の明期・暗期の設定温

度が異なる、30-25℃区(明期30℃/暗期25℃)、30-18℃区(明期30℃/暗期18℃)、25-25℃区(明期25℃/暗期25℃)に連続冷房区(明期25℃/暗期18℃)を加えた4区とした(表1)。明期6~18時/暗期18~6時、相対湿度は70%、明期の光量子束密度は約100  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ で管理した。各区の無冷房日設定温度への切り替えは17時とした。まず2台の人工気象器を2区の試験区の設定で管理しCO<sub>2</sub>交換速度を測定した。測定後は供試株を入れ替えず、残りの試験区2区の設定へ変更し2週間後にCO<sub>2</sub>交換速度を測定した。伸長した花茎は測定機器の妨げとなるため除去した。8月中旬から試験2で使用した光合成測定装置を用い7日間のCO<sub>2</sub>交換速度を測定した。測定葉は、各区3株(連続冷房区のみ2株)の上から2枚目の完全展開葉で行った。

## 試験結果

### 試験1 間欠冷房の方式が開花・品質に及ぼす影響

開花までの各ステージ及び開始から第5花開花までの所要日数は無冷房日が多い区ほど短縮された。第5花開花までの所要日数は10C4Hと比較して4C3Hでは5日早く6C1Hでは6日遅れた。花蕾数は有意差がなく、第1花の横径は10C4Hと比較して6C1H、5C2Hで増大した(表2)。

小川ら<sup>6)</sup>、二村ら<sup>10)</sup>は間欠冷房の所要日数は、連続冷房と比較して数日短縮されるか有意差がないとしている。本試験では連続冷房区の第5花開花までの所要日数は、最も無冷房日の少ない6C1Hと同等とし、連続冷房区の電力使用量は冷房室の電力使用量として6C1Hの所要日数118日分を積算して求めた。結果、連続冷房区の電力使用量は7345 kWh/100 m<sup>2</sup>であった。同様に、各区の電力使用量は各区の冷房日の電力使用量の積算より6C1H-6040 kWh、5C2H-5317 kWh、4C3H-4093 kWh、10C4H-5267 kWhであり、連続冷房区に対して6C1H-87.4%、5C2H-72.4%、4C3H-55.7%、10C4H-71.7%であった(図2)。

### 試験2 相対湿度が暗期CO<sub>2</sub>交換速度、開花・品質に及ぼす影響

80%RH区(飽差：明期4.6 g/m<sup>3</sup>、暗期3.5 g/m<sup>3</sup>)は、50%RH区(飽差：明期11.5 g/m<sup>3</sup>、暗期8.7 g/m<sup>3</sup>)と比較して花茎発生及び発蕾までの所要日数が短縮された。80%RH区は最上位展開葉の面積が大きく花蕾数が増加した(表3)。CO<sub>2</sub>交換速度の最大値は80%RH区が4.2  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ であり、50%RH区(2.5  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )の1.7倍となった(図3)。

### 試験3 昼間のミスト噴霧を伴う間欠冷房が開花・品質に及ぼす影響

2017年8月8~14日の温度及び飽差を図4に示した。間欠区の無冷房日の9~15時は35~38℃、飽差25~28 g/m<sup>3</sup>であった。同日同時刻の間欠+ミスト区は30℃、飽差10~14 g/m<sup>3</sup>であり、間欠区と比較して気温は5℃低下、飽

表1 試験6における各区の温度条件

試験区	1~5日目	6~7日目
30-25℃	明期 25℃/暗期 18℃ (6.9 g/m <sup>3</sup> -4.6 g/m <sup>3</sup> )	明期 30℃/暗期 25℃ (9.1 g/m <sup>3</sup> -6.9 g/m <sup>3</sup> )
30-18℃	明期 25℃/暗期 18℃ (6.9 g/m <sup>3</sup> -4.6 g/m <sup>3</sup> )	明期 30℃/暗期 18℃ (9.1 g/m <sup>3</sup> -4.6 g/m <sup>3</sup> )
25-25℃	明期 25℃/暗期 18℃ (6.9 g/m <sup>3</sup> -4.6 g/m <sup>3</sup> )	明期 25℃/暗期 25℃ (6.9 g/m <sup>3</sup> -6.9 g/m <sup>3</sup> )

連続冷房 明期 25℃/暗期 18℃ (6.9 g/m<sup>3</sup>-4.6 g/m<sup>3</sup>)

( )内数値は飽差

差は10~15 g/m<sup>3</sup>減少した。冷房日の間欠+ミスト区の飽差はミストの噴霧により細かく増減したが、温度及び飽差は3区はほぼ同様に推移した。間欠+ミスト区は開花までの各ステージにおいて所要日数が少なく、冷房開始から第5花開花までが連続冷房区より10日間短縮した(表4)。花茎長は間欠区が短くなり間欠+ミスト区は連続冷房区と同等であった。花蕾数は間欠+ミスト区が他の2区より約2.3個増加し、間欠区と連続冷房区は同等であった。第1花の横径は間欠+ミスト区が連続冷房区より増大した(表4)。

施設100 m<sup>2</sup>あたりの間欠+ミスト区における電力使用量はミスト噴霧も含め4120 kWhであった。これは同じ施設で2016年に行った連続冷房区(試験1)の電力使用量(7345 kWh)の56.1%であった(図5)。

### 試験4 昼間のミスト噴霧を伴う間欠冷房・連続冷房が開花・品質に及ぼす影響

2018年8月1日~7日の温度及び飽差を図6に示した。間欠+ミスト区は無冷房日の10~16時に30~35℃、飽差15~20 g/m<sup>3</sup>であった。冷房日の気温は3区とも設定どおりおおよそ25℃/18℃で推移した。冷房日の昼間の飽差は間欠+ミスト区で6~7 g/m<sup>3</sup>、連続冷房+ミスト区が8~10 g/m<sup>3</sup>で一定であったが、連続冷房区は正午頃がピークとなり10~18 g/m<sup>3</sup>で推移した。冷房日の夜間の飽差は連続冷房区と連続冷房+ミスト区で7 g/m<sup>3</sup>、間欠+ミスト区で4 g/m<sup>3</sup>であった。第5花開花までの所要日数は、間欠+ミスト区が連続冷房区より21日短縮された。花茎長は連続冷房区と比べて間欠+ミスト区が6 cm短く、連続冷房+ミスト区は4 cm長かった。花蕾数はミストを併用した2区で増加した(表5)。第1花の大きさは連続冷房+ミスト区が縦径、横径とも他の2区より増大した。施設100 m<sup>2</sup>あたりの間欠+ミスト区の電力使用量は、5537 kWhであり、試験1の2016年連続冷房の電力使用量(7345 kWh)の75%であった。同規格の施設で行った連続冷房+ミスト区及び連続冷房区の電力使用量は、連続冷房区が4935 kWh、連続冷房+ミスト区が3362 kWh(連続冷房区の約70%)であった。



表 2 間欠冷房の方式が開花・品質に及ぼす影響(試験 1)

試験区 間欠冷房 の方式	所要日数(日)			第 1 花の大きさ				
	花茎発生 ～ 発蕾	発蕾 ～ 第 1 花開花	冷房開始 ～ 第 5 花開花	花茎長 (cm)	花序長 (cm)	花蕾数 (個)	横径 (cm)	縦径 (cm)
6C1H	50.7 a	32.8 a	118.0 a	62.1 a	41.0 a	11.6 a	13.2 a	11.6 a
5C2H	48.8 b	30.8 b	114.0 b	61.0 ab	40.3 ab	11.4 a	13.2 ab	11.3 ab
4C3H	46.3 c	29.0 c	107.0 d	59.0 b	38.3 ab	11.2 a	12.9 bc	11.2 b
10C4H	48.2 b	29.3 c	112.0 c	59.8 ab	37.2 b	10.8 a	12.8 c	11.0 b

※同列の異符号間には Tukey の多重検定で有意差あり (P<0.01)

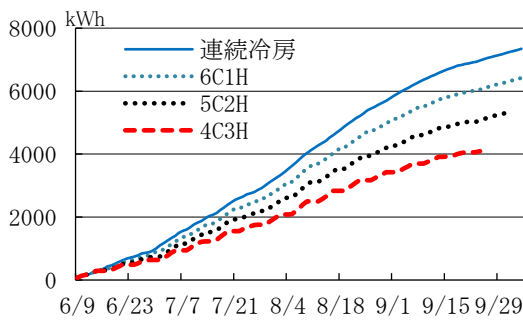


図 2 電力使用量の推移(試験 1)

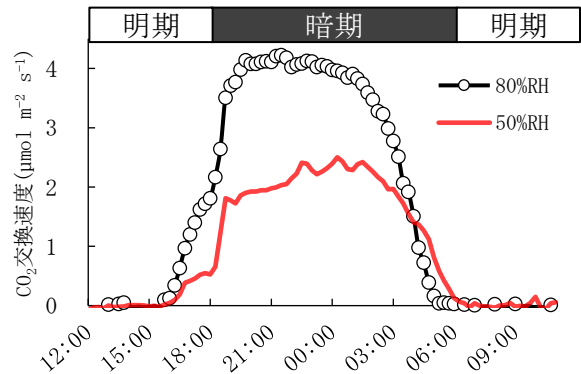


図 3 相対湿度が CO<sub>2</sub> 交換速度に及ぼす影響(試験 2)

表 3 相対湿度が開花・生育に及ぼす影響(試験 2)

試験区	所要日数(日)		花蕾 数 (個)	最上位展開葉			
	開始 ～ 花茎発生	花茎発生 ～ 発蕾		葉数 (枚)	長さ (cm)	幅 (cm)	面積 (cm <sup>2</sup> )
50%RH	26.0	52.1	4.4	5.8	12.6	7.1	72.3
80%RH	23.3	44.4	5.6	6.3	14.0	7.6	83.2
有意差 <sup>1)</sup>	*	**	**	n.s.	n.s.	*	*

1) t 検定により、\*は 5%水準で、\*\*は 1%水準で有意差あり  
n.s.は有意差なし

試験5 間欠冷房を模した温度条件がCO<sub>2</sub>交換速度に及ぼす影響(1)

連続冷房区(明期25℃/暗期18℃)のCO<sub>2</sub>交換速度は17時から上昇し始め、6時に最大3.0 μmol/m<sup>2</sup>・s<sup>-1</sup>であった。間欠冷房区の明期28℃/暗期25℃の2日間は、CO<sub>2</sub>交換速度の最大値が連続冷房区の60～80%に低下した。しかし温度を元の明期25℃/暗期18℃に戻すとCO<sub>2</sub>交換速度も温度変化前の値となった(図7)。花茎発生後40日後の部位別乾物重は間欠冷房区が株全体、葉、根において連続冷房区より減少したが、花茎の乾物重は両区で差がなかった(表6)。

試験6 間欠冷房を模した温度条件がCO<sub>2</sub>交換速度に及ぼす影響(2)

間欠冷房を模した2日間のCO<sub>2</sub>交換速度の最大値は30-18℃区が連続冷房区と同等、30-25℃区は連続冷房区の50～60%、25-25℃区は連続冷房区の20～25%であった。2日間の温度変化後、元の冷房温度(25℃/18℃)に戻

すとCO<sub>2</sub>交換速度の最大値が温度変化前と同程度に増加した(図8)。

考察

夏期のファレノプシス栽培は多大な冷房費がかかるため生産者の経営的負担となっており、冷房費削減技術が求められている。本研究では、連続した冷房日と無冷房日を繰り返して栽培する間欠冷房において、連続冷房と同等の品質が得られ、さらにはコスト削減もできる処理の自動化技術を開発した。

1 統合環境制御装置による自動化に適した間欠冷房方式の検討

間欠冷房処理は、当初電力使用量を減らすため冷房のオンオフが少ない2週間サイクル(10C4H)で試験を進めてきたが、統合環境制御装置による間欠冷房の自動化は1週間サイクルが容易なため、1週間サイクルの間欠冷房方式を検討した。3区の中で開花までの所要日数が最短で最も電力使用量が少ないのは4C3Hであった。各区の品質は10C4Hと同等以上であったが、本試験では有意差はないものの無冷房日が増加すると花蕾数が減少し、花茎長、第1花の縦横径が小さくなる傾向が見られた。花蕾数、花の大きさ等の品質は贈答品として扱われる白色大輪系ファレノプシスにおいて重要であり、予約販売も多く実需者からは年間を通じて同じ品質の出荷物を求めら

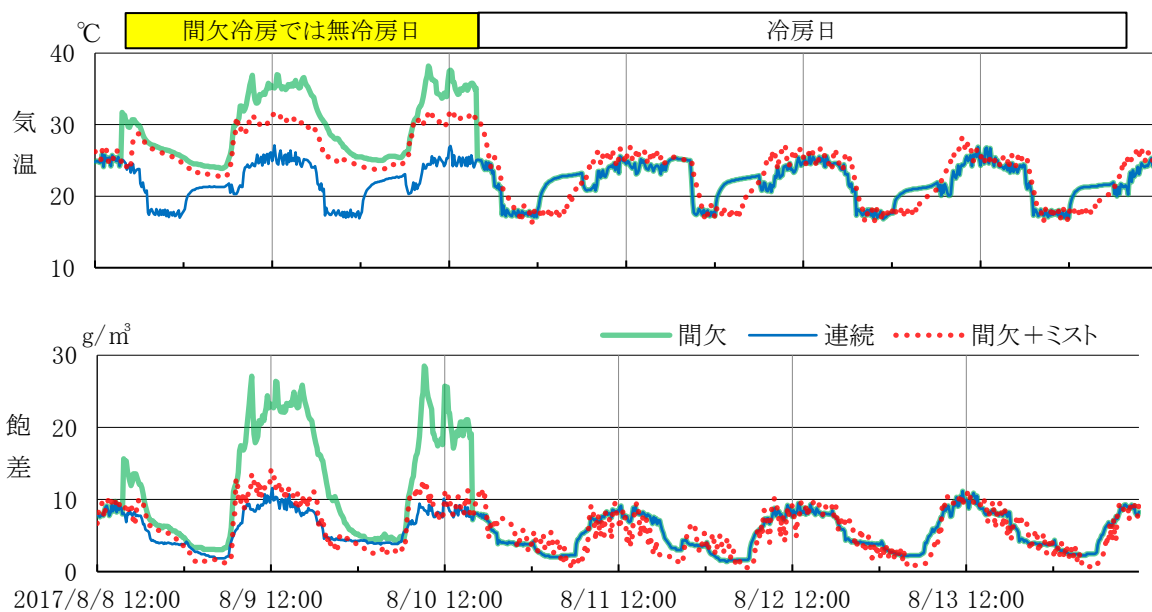


図4 試験区の温度飽差の推移(試験3)

表4 昼間の高圧細霧噴霧を伴う間欠冷房が開花・品質に及ぼす影響(試験3)

試験区	所要日数(日)							第1花の大きさ	
	開始 ~	花茎発生 ~	発蕾 ~	開始 ~	花茎長 (cm)	花序長 (cm)	花蕾数 (個)	横径 (cm)	縦径 (cm)
	花茎発生	発蕾	第1花開花	第5花開花					
間欠+ミスト	22.2 b	45.8 C	29.8 C	111.0 c	64.0 A	48.8 A	13.3 A	13.6 A	11.5 a
間欠	23.8 a	48.2 B	31.0 B	117.7 b	58.0 B	37.1 B	10.8 B	12.9 B	11.1 b
連続冷房	22.4 ab	50.5 A	32.3 A	120.5 a	62.7 A	38.9 B	11.0 B	13.0 B	11.2 ab

※同列の異符号間には Tukey の多重検定で有意差あり。大文字  $P < 0.01$ 、小文字  $P < 0.05$

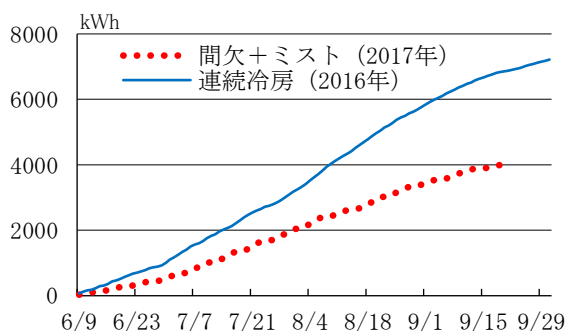


図5 電力使用量の推移(試験3)

れている。一方で、温室内で寄せ植え作業を行うパート雇用の休日は、被雇者の要望や出荷日から土日休とする場合が多い。温室が非常に高温となる無冷房日は夏期の被雇者の労働衛生や作業効率等を鑑みて、土日の2日間とするのが適切と考えられた。出荷物の品質、電力使用量及び雇用の作業性を考え、間欠冷房の自動化に

おける1週間のサイクルは5日間冷房・2日間無冷房とした。

## 2 相対湿度がCO<sub>2</sub>交換速度と生育に及ぼす影響

ファレノプシス栽培における湿度の影響について50%RH(明期: 11.5 g/m<sup>3</sup>, 暗期: 8.7 g/m<sup>3</sup>)と80%RH(飽差: 明期4.6 g/m<sup>3</sup>, 暗期3.5 g/m<sup>3</sup>)で検討した。市橋ら<sup>11)</sup>は *Doritaenopsis* の栽培において80%RH以上に保つことは栄養成長の促進に効果的であるとしている。本試験において、80%RHは50%RH区より所要日数が短く花蕾数は増加し、暗期CO<sub>2</sub>交換速度の最大値が1.7倍となった。湿度を高く保つことにより、夕方から気孔が開きやすくCO<sub>2</sub>交換速度が上昇し花蕾数増加等品質が向上したと考えられた。試験1では、間欠冷房の無冷房日昼間にミスト噴霧による気温低下を図ったが、試験2より冷房日昼間にもミストを噴霧し相対湿度を高めることは生育促進及び品質向上効果があると考えられた。

## 3 間欠冷房の自動化とミストを併用した間欠冷房が開

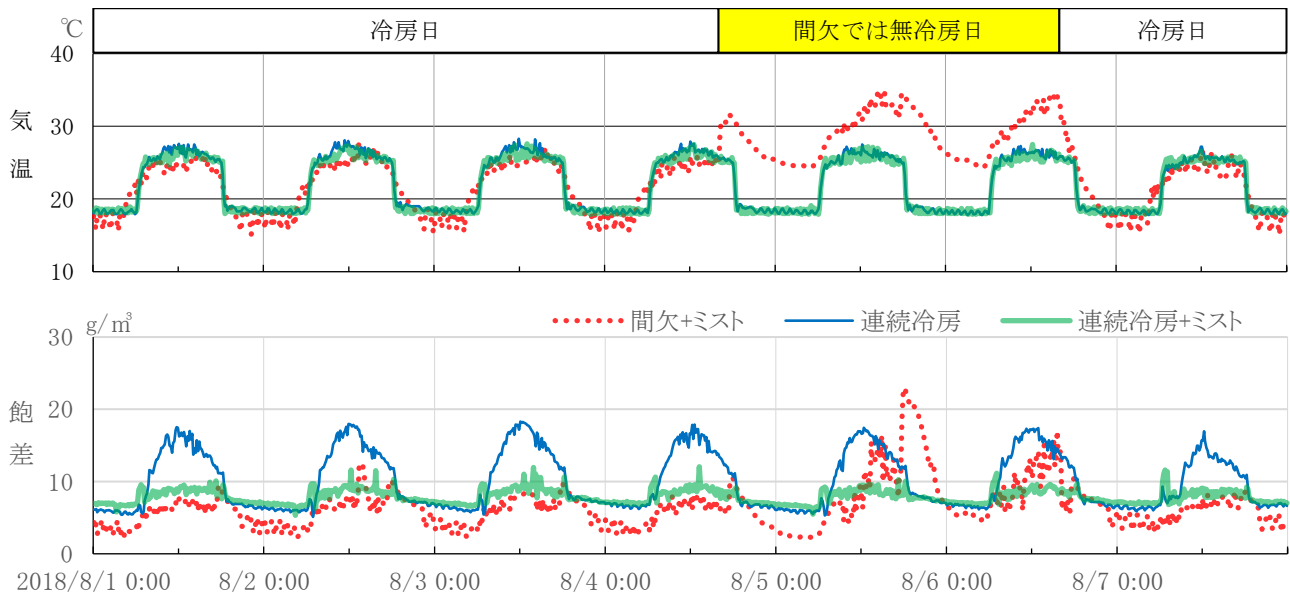


図 6 試験区の温度飽差の推移(試験 4)

表 5 高圧細霧噴霧を伴う間欠冷房および連続冷房が開花・品質に及ぼす影響(試験 4)

試験区	所要日数(日)				第 1 花の大きさ				
	開始	花茎発生	発蕾	開始	花茎長 (cm)	花序長 (cm)	花蕾数 (個)	横径 (cm)	縦径 (cm)
	~ 花茎発生	~ 発蕾	~ 第 1 花開花	~ 第 5 花開花					
間欠+ミスト	21.2 B	44.8 B	28.3 B	108.7 B	54.8 C	36.0 a	10.2 A	12.7 ab	11.5 b
連続冷房	27.3 A	51.1 A	32.7 A	129.8 A	61.1 B	32.4 b	8.9 B	12.7 b	11.4 b
連続冷房+ ミスト	26.3 A	51.8 A	34.9 A	129.8 A	64.7 A	36.5 a	9.7 A	13.0 a	11.7 a

※同列の異符号間には Tukey の多重検定で有意差あり。大文字  $P < 0.01$ 、小文字  $P < 0.05$

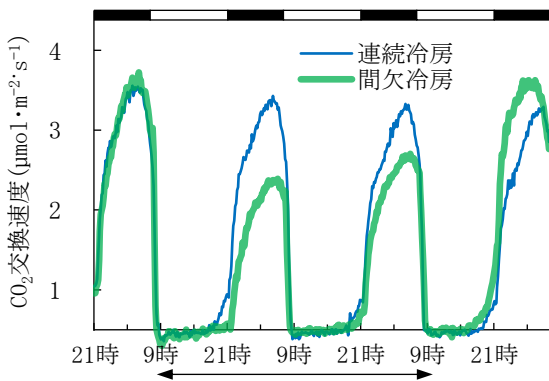


図 7 異なる冷房方式で栽培した場合の  $CO_2$  交換速度の経時変化(試験 5)  
矢印間が 2 日間温度変更期間(明期 28°C/暗期 25°C)。  
バーの黒色は暗期、白は明期を示す。

花・品質に及ぼす影響

試験 3、4 は間欠冷房に伴う施設制御を統合環境制御装置により自動化し、ファレノプシスの開花・品質に及ぼす影響について 2 年検討した。ミストの飽差は、奥村ら<sup>12)</sup>がバラ切り花栽培において統合環境制御装置を用いて実施した試験を参考に  $6 \text{ g/m}^3$  以上で噴霧するよう設定し

表 6 花茎発生 40 日後の部位別乾物重(試験 5)

試験区	乾物重(g)			
	花茎	葉	根	合計
間欠冷房	2.2	8.6	18.4	29.2
連続冷房	2.4	9.3	21.6	33.2
有意差 <sup>1)</sup>	n. s.	*	*	*

1) マン・ホイットニーの U 検定により \* は 5% の水準の有意差あり、n. s. 有意差なし。

た。5 日間冷房・2 日間無冷房の間欠冷房に昼間のミスト噴霧を併用することにより 2017 年は間欠冷房のみ及び連続冷房より花蕾数は 2 個以上増加し花の横径も大きく、花茎長は連続冷房と同等となる高品質化を実現した。試験 3 の間欠区、連続冷房区の飽差は床への散水により間欠冷房+ミスト区と同程度に管理しており、気孔の開きやすさによる夕方以降の  $CO_2$  吸収量は同程度と推定される。Ota<sup>13)</sup>らはファレノプシスの葉を用いた明期の光合成測定 ( $O_2$  放出を検出) により 30°C 付近が光合成のピークであると報告している。間欠冷房+ミストの花蕾数増加等品質向上の要因はミスト噴霧による葉温低下及び無冷房日の高温による光合成促進であると考えられた。

間欠冷房+ミスト区の電力使用量はミスト噴霧の気化冷却により冷房効率がよく、連続冷房(2016年)の56%まで減少し、高品質化と冷房費削減を両立できた。本研究では、同じ温室の栽培期間の電力使用量を年度で比較しているが、連続冷房の電力使用量を測定した2016年と試験3を行った2017年の6, 7, 8, 9月の外気温の月別積算温度(°C・日)は、2016年が計2931(629, 778, 824, 700)、2017年は計2917(648, 811, 810, 648)であり差はほぼなかった。試験4を行った2018年は前述の6, 7, 8, 9月の外気温の月別積算温度(°C・日)が、計3030(649, 845, 855, 681)であり2017年より113高かった。2018年の間欠+ミスト区の電力使用量は連続冷房(2016年)の75%であり2016年と比較すると削減率が小さかった。これは7月半ばから8月末の外気温が高く冷房日の電力使用量が增大したためである。間欠冷房+ミスト区は連続冷房区と比較して第5花開花までの所要日数が21日短縮され花茎長は短く花蕾数は1.3個増加したが、その要因は8月9日の無冷房日の高温乾燥のためと考えられた。8月の温室の日平均温湿度は2017年26.7°C/81.5%に対し2018年29.2°C/67.5%であった。屋外から入る乾いた熱風の入り込みを減少しミスト噴霧が効率的に気化熱を奪う側窓開度の調整を行う必要がある。以上、試験3、4の結果からミスト噴霧を併用した間欠冷房は、最高気温35°Cが続く夏でも連続冷房以上の花蕾数を確保でき電力使用量の削減が可能と言える。しかし無冷房日の高温乾燥により花茎長が短く出荷鉢の高さ不足や鉢とのバランスが取れない可能性がある。品質重視のため高温が予想される週は間欠冷房を一時的に中止し連続冷房とする対応も必要である。

本試験では、冷房から無冷房、無冷房から冷房への切り替え時刻を16時とした。16時は外気温30°C以上の日もあり、無冷房から冷房開始時に冷房機器の負荷が大きく電力量の増加につながる。統合環境制御装置による自動化により間欠冷房を行う場合、切り替えは最低気温が記録される深夜にするとよい。間欠冷房を自動化する隔日冷房設定ソフトは、無冷房を行う曜日と時間をモニター上で設定でき、無冷房日が荒天時や異常高温の場合は

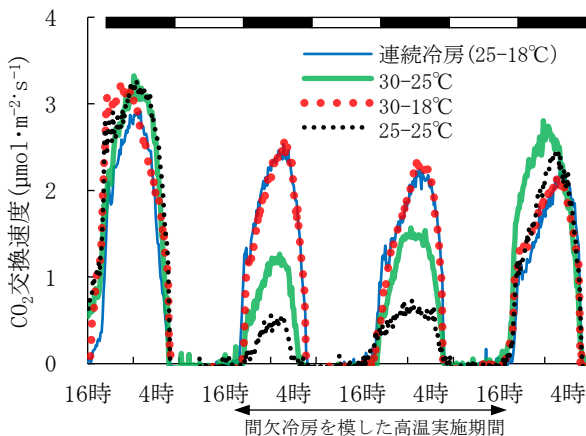


図8 間欠冷房を模した温度変化がCO<sub>2</sub>交換速度に及ぼす影響(試験6)  
※バーの黒色は暗期、白色は明期を示す。

2日間の無冷房日をずらすことも容易である(図9)。

#### 4 ミストを併用した連続冷房が開花・品質に及ぼす影響

生産現場では暖房時の加湿に遠心式加湿器が使用されているがミスト装置の導入事例はない。試験4では生産現場でのミスト噴霧を想定し、連続冷房におけるミスト噴霧の影響についても調査した。両区の温度は冷房設定どおり推移し、ミスト噴霧の有無により所要日数に差はなかった。ミスト噴霧により花茎長は伸長し花の大きさは増大し花蕾数は0.8個増加した。これはミスト噴霧により上位葉の温度及び葉周辺の飽差の低下が起り、暗期CO<sub>2</sub>吸収から明反応まで1日を通した光合成効率が高まったためと考えられた。連続冷房+ミスト区の電力使用量は連続冷房区の70%となった。

本研究では、供試株入手時に病気予防にTPN水和剤、オキシリック酸水和剤等の殺菌剤散布を行ったが、全試験においてミスト噴霧による花卉の灰色かび病等の発生は見られなかった。以上のことから、ミスト噴霧はファレノプシス栽培に適していると考えられた。

#### 5 間欠冷房の温度変化がCO<sub>2</sub>交換速度に及ぼす影響

試験6の5日間冷房(明期25°C/暗期18°C)後の2日間無冷房を模した高温条件(明期-暗期: 30-25°C区、30-18°C区、25-25°C区)のCO<sub>2</sub>交換速度は30-18°C区が25-18°Cの連続冷房と同等であり、30-25°C区が50%、25-25°C区は25%と低下した。間欠冷房の無冷房日のCO<sub>2</sub>交換速度は直前の明期温度に影響を受けず暗期の温度に影響されて低下し、これは暗期に気孔を開放しCO<sub>2</sub>を吸収する際の呼吸量の増加によるものと考えられた。狩野<sup>13)</sup>らは、暗期を25°C一定で明期の気温を15, 20, 25°Cと変化させても暗期のCO<sub>2</sub>吸収に差がなく、明期を25°C一定で暗期の気温を15, 20, 25°Cと変化させると暗期のCO<sub>2</sub>吸収速度は気温が低いほど大きくなると報告しており本試験の結果と一致している。

試験5では、光合成の影響を受けるとされる乾物重を測定し、間欠冷房区と連続冷房区の株を比較した。花茎発生40日後の株全体の乾物重は間欠冷房が小さく、花茎の乾物量には差がなかった。以上より間欠冷房と連続



図9 間欠冷房用隔日冷房設定ソフトの画面



冷房の花蕾数が同等となるのは、無冷房日のCO<sub>2</sub>交換速度は連続冷房より低下するが、明反応は30°C付近で促進されるため光合成産物が多くそれが花茎へ優先的に分配されたと推測された。

#### 6 間欠冷房及び超微粒ミスト導入にあたって

豊川市のA氏の6月10日～10月10日までの電力使用量は10aあたり61000 kWh(聞き取り)であり、超微粒ミストを併用した間欠冷房により電力使用量が4割削減すると約37万円の削減となる(700 kWh以上使用の場合1 kWhあたり15円の契約)。本試験で使用したミスト装置は10aあたり約500万円であり、導入コストを冷房費削減分で支払うと14年かかるが、花蕾数増加等による鉢単価の上昇も想定されさらに短縮が見込める。当场で切りバラ栽培<sup>12)</sup>にて使用している粒径20～30 μmのミスト装置(グローミスト, トヨタネ㈱, 豊橋)でも同様の効果が得られ、トマト、バラを中心に普及しはじめており安価に導入することが期待できる。自動化に用いた統合環境制御装置は1台約700万円と高額であり、初期投資を電力使用量の削減のみで回収することは難しい。統合環境制御装置は各社販売を推進し価格も下がってきており今後に期待したい。

#### 引用文献

- 平成30年度花き生産出荷統計(農林水産省)
- よくわかる愛知の農業2018. p11(2019)
- 東京都中央卸売市場市場統計情報(月報・年報) <https://www.shijou.metro.tokyo.lg.jp/torihiki/geppo/>
- 実践花き園芸技術 フェレノプシス栽培と生産. 誠文堂新光社. 市橋正一, 三位正洋著. P144-212(2006)
- 吉田裕一, 尾崎英治, 村上賢治, 後藤丹十郎. 間欠冷蔵処理による促成栽培イチゴの花芽分化促進. J. Japanese Society for Horticultural Science. 81. 343-349(2012)
- 小川理恵, 稲吉由佳, 平野哲司. 間欠冷房処理によるコショウランの花茎発生及び開花(第2報)園学研. 11別1, 180(2012)
- 小川理恵, 平野哲司. 間欠冷房処理によるコショウランの花茎発生及び開花(第3報)花茎発生以降の間欠冷房の効果. 園学研. 12別1, 191(2013)
- 二村幹雄, 池内都, 和田朋幸, 平野哲司. 超微粒ミスト稼働下での夏期の遮光がバラ切り花の収量・品質に及ぼす影響. 愛知農総試研報45: 37-43(2013).
- 愛知県農業総合試験場. ミストを使った高温対策技術を開発 農業の新技術. NO.100 (2012)
- 二村幹雄, 南明希, 山口徳之. 夏季における間欠冷房および短日条件がコショウランの開花に及ぼす影響. 園学研. 15別1, 406(2016)
- 市橋正一, 堀尾志織. *Doritaenopsis* の生育に及ぼす湿度、植え込み材料の固さ、施肥処方の影響. 愛知教育大学研究報告. 53, 73-77(2004)
- 奥村義秀, 吉田龍博, 新井和俊. バラ切り花栽培の夏季高温期におけるCO<sub>2</sub>施用と培養液管理が収量・品質に及ぼす影響. 愛知農総試研報 51: 111-114(2019).
- Ota, K, T. Ono and S. Ichihashi. Characteristics of CAM photosynthesis in light Phase measured by O<sub>2</sub>-electrode method in *Doritaenopsis*. p206-207. In H. Nagata and S. Ichihashi (eds). Proc. 7th APOC. Nagoya, Japan. (2001).
- 狩野敦, 内藤雅拓. 明暗期の気温がコショウランの吸収に及ぼす影響. 植物工場学会誌13(2), 137-142(2001)