スポットエアコンを利用した局所冷房栽培に関する研究

——二、三洋ランの促成栽培への利用——

平井 宏 昭・森 源 治 郎

大阪府立大学農学部

Studies on Spot Cooling System Using Spot Air-Conditioner

——Application to Forcing Culture of a Few Orchid Species——

Hiroaki HIRAI and Genjiro MORI

College of Agriculture, Osaka Prefecture University, Sakai 593, Japan

Recently, some genera of orchids are cultured on highlands about 600 to 800 m in altitude or in cooled greenhouse during summer to promote flowering in Christmas season. However, these methods require laborious work or large utility expenses. In this study a spot cooling system using a spot air-conditioner, which is economical and easy to handle, was provided for cultivation of *Zygopetalum*, *Dendrobium* and *Phalaenopsis*. The bench (1.2 m×9.6 m×1.1 m) for spot cooling was covered with heat insulating material and then tunnel-shaped covering material, 1 m in height, was placed over the bench, and cool air was channeled into the tunnel. The plants in pots were placed on the bench in the tunnel from 11 August to 28 October. The air temperature of the cooling spot was maintained 4 to 7°C cooler than that on the control bench without spot cooling. All the orchid plants grown under the spot cooling system flowered approximately a month earlier than the control plants. Thus, spot cooling was proved to be effective in promoting flowering of the orchids.

(Received March 31, 1996)

1996年3月31日受付

緒 言

洋ランのうち、ファレノプシスでは花茎の出現に、またデンドロビウムおよびシンビジウムでは、花芽分化に温度低下を必要とすることが明らかにされている (Goi, 1993)。このため、実際栽培において需要の多い秋から年末に開花させるためには、夏期の高温時の温度を低下させる必要があり、その方法として山上げ栽培 (Higuchi and Sakai, 1978; Yoneda, 1985) やヒートポンプ (Imai, 1988) を利用した施設栽培が行われている。しかし、山上げ栽培は鉢の運搬労力、用地、栽培管理、気象条件など問題の多いことが指摘されている。一方、ヒートポンプを利用した冷房方法は設備投

資が大きい割に利用期間が限られるうえに、温室全体を冷房するために能力の大きい冷凍機が必要となり、ランニングコストも高くなるなどの欠点がある。そこで、先に筆者ら (Hirai and Mori, 1995) がフリージアの促成栽培で、その有効性を確認しているスポットエアコンによる局所冷房をジゴペタラム、デンドロビウムおよびファレノプシスの3種の洋ランの栽培に適用し、開花促進効果について検討した。

材料および方法

1. 局所冷房装置の構成と計測方法

実験は大阪府立大学農学部附属農場のガラス室 (間口 6.3 m, 奥行き 25.3 m) 内に設けたアルミベンチ (幅 1.2 m, 長さ 9.6 m, 高さ 1.1 m) 2 連を用い、一方をス

スポット区と対照区のベッド中央、ベンチからの高さ 50 cm における日平均気温の推移を Fig. 2 に示した。対照区の気温は、9 月 5 日までは 25°C 以上で推移し、その後徐々に低下し、局所冷房終了時の 10 月 28 日には 17.4°C になった。これに対し、スポット区の気温は、全期間を通して、4~7°C 低く推移した。スポット区は 10 月 8 日まではスポットエアコンを連続運転したが、その後、17°C で ON-OFF 制御するように切り替えたことから、10 月 8 日以降スポット区と対照区の温度差は若干小さくなった。なお、スポット区の最高気温は 8 月 26 日に 24.4°C を記録した。この温度は対照区より 4.4°C 低かった。この間、トンネル内の相対湿度は

Fig. 2 Comparison of daily mean temperatures between the spot cooling and control at 4 m point from outlet of spot air-conditioner.

Fig. 3 Comparison of temperatures between the spot cooling and control at 4 m point from outlet of spot air-conditioner on 1 September.

Fig. 4 Temperatures at different distances from outlet of spot air-conditioner.

40~95% で推移し、平均値はガラス室内より約 4% 高い 83% であった。

次に、9 月 1 日 (晴) におけるスポット区と対照区の気温の日変化を Fig. 3 に示した。なお、この日のガラス室外の積算日射量は 16.5 MJ m⁻² で、室外に対するトンネル内の遮光率は約 90% であった。スポット区のベッド中央、高さ 50 cm 地点の気温は対照区の日変化より 4~5°C 前後低く変化した。スポット区では昼の 12 時前後に 28°C を越えたものの、それ以外は 20°C から 28°C の範囲で推移していたのに対し、対照区の日中の気温は、最高 35.7°C まで上昇し、夜間も 23.9°C を下回ることがなかった。一方、同時に計測した両区の高さ 20 cm と 80 cm の測定点における気温差は日中で約 1°C であり、高さ 80 cm の方が高くなっていた。

スポット区における吹き出し口からの距離と平均気温の関係を Fig. 4 に示した。晴天の日の平均気温は吹き出し口から 2 m 地点が最も低く、これより遠ざかるにつれて次第に上昇した。9 月 5 日の場合、この吹き出し口からの距離の違いによる気温差は 3.6°C であった。一方、9 月 7 日にみられるように、雨が終日降り続いた日には距離による気温差は 1.1°C と小さかった。

2. スポットエアコンの利用が洋ランの開花に及ぼす影響

2.1 ジゴベタラム

1993 年の実験では、花茎の出現はスポット区が対照区に比べて 12 日、開花日が 6 日早くなるにとどまった (Table 1)。しかし、1994 年の実験では、花茎出現日、開花日ともに、スポット区が対照区より 1 か月以上も早くなった。総花茎長および小花数はスポット区と対照区との間に有意な差異がみられなかった。なお、局所冷房処理期間中の平均気温は対照区では 1993 年が 25.3°C、1994 年が 27.1°C、スポット区では 1993 年が 20.4°C、1994 年が 21.6°C であった。

2.2 デンドロビウム

スポット区は対照区と比べ、出らいが 1 か月、開花が 23 日早くなった (Table 2)。しかし、株当たりの開花パルプ数および小花数は両区の間には有意な差が認められなかった。

2.3 ファレノプシス

花茎出現は対照区が 11 月 5 日であったのに対し、スポット区ではこれより 19 日早い、10 月 17 日であった (Table 3)。また、開花はスポット区が、対照区と比べて約 1 か月早くなったが、スポット区の株は対照区と比べて花茎当たりの小花数が少なく、総花茎長も短

Table 1 Effects of spot cooling on flowering in *Zygopetalum mackayi*.

Year	Treatment	No. of plants examined	% of flowered plants	Date of flower-stalk emergence	Date of flowering ^z	Days from flower-stalk emergence to flowering	Length of flower stalk (cm)	No. of florets per flower stalk
1993	Spot cooling	20	100	10 Sept. a ^y	18 Oct. a	68 a	56.3 a	5.2 a
	Control	20	100	22 Sept. b	24 Oct. b	74 b	57.9 a	5.3 a
1994	Spot cooling	7	100	17 Sept. a	23 Oct. a	66 a	59.6 a	4.9 a
	Control	7	100	24 Oct. b	2 Dec. b	106 b	60.0 a	4.0 b

Treatment of spot cooling was carried out from 11 August to 30 September in 1993 and from 18 August to 30 September in 1994.

^z Date of flowering was recorded when the first floret opened.

^y Mean separation within columns of the same year by Duncan's multiple range test, 5% level.

Table 2 Effects of spot cooling on flowering in *Dendrobium* Cassiope 'Miss Biwako.'

Treatment	No. of plants examined	% of flowered plants	Date of flower bud emergence	Date of flowering ^z	Days from flower bud emergence to flowering	No. of pseudobulbs with flower per plant	No. of florets per plant
Spot cooling	13	100	29 Sept. a ^y	8 Dec. a	118 a	3.0 a	23.7 a
Control	10	100	28 Oct. b	31 Dec. b	142 b	3.3 a	23.8 a

Treatment of spot cooling was carried out from 11 August to 28 October.

^z Date of flowering was recorded when the first floret opened.

^y Mean separation within columns by Duncan's multiple range test, 5% level.

Table 3 Effects of spot cooling on flowering in *Phalaenopsis* spp.

Treatment	No. of plants examined	% of flowered plants	Date of flower-stalk emergence	Date of flowering ^z	Days from flower-stalk emergence to flowering	Length of flower stalk ^y (cm)	No. of florets per flower stalk
Spot cooling	23	100	17 Oct. a ^x	19 Jan. a	161 a	67.9 a	7.9 a
Control	18	100	5 Nov. b	17 Feb. b	190 b	75.2 b	10.4 b

Treatment of spot cooling was carried out from 11 August to 28 October.

^z Date of flowering was recorded when the first floret opened.

^y Length was recorded when the fifth floret opened.

^x Mean separation within columns by Duncan's multiple range test, 5% level.

かった。

考 察

1. 局所冷房装置の特性

現在、花卉園芸における栽培施設は大型化してきており、連棟ハウスも多くなっている。こうした背景には作業性の向上や内容積が大きくなるほど内部環境が安定し、均一になりやすいなどの有利性が指摘されている(Yonemura, 1991)。しかし、冷房や暖房などの温度制御を考えた場合には内部空間が大きくなればなるほど多くの余分なエネルギーが必要になる。特に、夏季の昼間の温室冷房は日射負荷が非常に大きく膨大なエネルギーを必要とすることから、経済的に不向き

であるとされていた(Mihara, 1980)。このため、冷房に関する研究は主として夜間の室温の制御を対象に行われてきている(Hayashi *et al.*, 1983; Kozai *et al.*, 1985, 1986)。一方、付加価値の高い洋ラン類の中でも花芽分化に20°C程度の温度低下を必要とするファレノプシスなどでは大型の冷凍機を利用した昼間の冷房も行われている。この場合、冷房負荷をできるだけ小さくするため、2層カーテンを用いるなどの工夫をして遮光率を70~85%としているものの、温室内の空間が大きく、必ずしも効率的であるとはいえない。そこで、筆者らが先にフリージアの促成栽培に利用したスポットエアコンによる局所冷房(Hirai and Mori, 1995)を改良することによって、ファレノプシス

を含む洋ラン類の開花促進をはかることができるのではないかと考えた。

本実験では、冷房効率をより高めるために、発泡ポリエチレンシートとポリエチレンフィルムに気泡を縦横に配列したエアークラップを接合した厚さ約3 mmのハイマツ AC を被覆剤として用いたが、この光透過率は前報 (Hirai and Mori, 1995) で用いた厚さ 1.6 mm の発泡ポリエチレンシートに比べ、やや劣るものの、この差がトンネル内部の光環境に及ぼす影響はわずかで、むしろ内部温度を維持するためには資材内に含まれる気泡による断熱効果が極めて有効であるものと推察された。なお、この資材は水稻の育苗用として開発されたものであるが、二重構造による適度な保温・光透過性の特性を活かし、他の方面でも利用が進められている。

ところで、前報 (Hirai and Mori, 1995) のフリージアにおける局所冷房は土耕ベッドで行われたため、トンネル内の平均気温は、冷却期間中を通して平均地温より低かった。このため熱容量の大きな地温から気温へと熱の移動が生じ(地表熱流量)、これが冷房負荷として無視できないものになっていたと思われる。これに対し、本システムではベンチ栽培を行うとともに、ベンチ上に断熱資材を設けることにより、下部からトンネル内へ侵入する熱流量を減らすように努めた。これらの改善を行った結果、スポット区の気温は対照区より 4~7°C 低く維持することができた (Fig. 2)。この温度差はフリージアの場合とほぼ同じであったが、その対象となる内容積は 3.7 倍以上に拡大していることから、本システムの冷房効率が極めて高くなったものと判断できる。ただ、これらの改良点の各々が冷房効率の向上に対して、どの程度寄与したかについて詳細に検討することは今後、本システムをさらに改善するためにも重要であろう。なお、断熱資材として用いた発泡スチロールの厚みを増すことは容易であり、これにともない下部からの熱流量はさらに減少させることが可能である。Kozai *et al.* (1986) は夏期夜間にヒートポンプを利用した温室の冷房負荷について検討し、地表熱流量と隙間換気伝熱量を抑制することが効果的であり、設計時からエアタイト式で、床面断熱の工夫をする必要があると指摘している。そして、具体的な対応策として、隙間換気伝熱量に対しては塩化ビニルフィルムで、ガラス外面全体を被覆し、地表熱流量遮断策には床面上全面への発泡スチロール板の敷設を推奨している。これに対して、ベンチ栽培への本システ

ムの利用は土壌から冷房空間を隔離できるうえ、栽培対象となるベンチ上部のみに発泡スチロール板を敷設すれば、下部からの熱流量をほぼ完全に抑えることになり、極めて合理的な冷房方法であると考えられる。一方、隙間換気伝熱量の抑制策は被覆資材の裾をハウスパンドで固定したに過ぎないため、積極的に隙間を無くし機密性を高めるための工夫が必要と思われる。

ところで、スポットエアコンは工場や店舗などの広い空間で働く人を冷房するために開発が行われたことから周辺空気を導入して冷気を人に吹き出す方式が取られている。本システムはこのことを前提にして吹き抜け方式にしているが、循環方式に変更することも検討に値すると思われる。すなわち、スポットエアコンへの空気の導入をガラス室内からでなく、トンネル内からにすれば、トンネル内部の冷気を循環利用することになり、さらに気温の低下が期待できると考えられる。また、この方式によれば、冷房効率が高まるだけでなく、湿度、炭酸ガスなどの他の環境要因を制御する場合にも非常に有利になるものと推察される。

トンネル内は太陽放射の強い晴天日には吹き出し側から排気側に向けた温度勾配が生じた (Fig. 4)。しかし、曇天、雨天あるいは夜間には、このような問題はほとんどなく内部温度もかなり均一であった。こうしたことから、太陽放射が比較的弱いか無視できる場合には、設定風量が弱 ($5.5 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$) でも内部温度を均一に保持可能であるが、強い太陽放射を受けた場合には風量を高めるなどの対応の必要性が示唆された。これに関連して本システムに遮光の自動化 (Suto *et al.*, 1992) を組み合わせれば、トンネル内の光量を確保しながら温度低下をはかることが可能となり、極めて効率のよい局所冷房が実現できるものと考ええる。

2. スポットエアコンの利用が洋ランの開花に及ぼす影響

本実験に供試したジゴベタラム、デンドロビウムおよびファレノプシスの 3 種ともにスポットエアコンを利用した局所冷房により、開花を早めることができた。

ジゴベタラムの場合、1993 年の実験では、スポット区の開花は対照区と比べて 1 週間程度早まったにすぎなかったが、1994 年の実験では対照区と比べて 1 か月以上早めることができた (Table 1)。1993 年の実験においてスポット区の開花促進効果が少なかったのは、冷夏のために対照区の開花が早く、10 月下旬になったためである。ジゴベタラムの促成栽培に関する研究報告はほとんど見当たらないものの、本実験ではスポッ

ト区、対照区ともに平均気温が20°C程度に低下した頃に花茎の出現が始まっていることから、そのために必要とする温度の上限は比較的高いことが推察される。いずれにしても局所冷房を行うことで10月中下旬には確実に開花させることができることが分かった。なお、本実験では花茎長が3 cm程度に伸長したときに冷房を停止したが、その時期については今後の検討が必要である。

デンドロビウムの場合はスポット区の株は対照区より23日早く12月8日に開花したうえ、小花数に差異がみられず、品質的に優れていた (Table 2)。スポット区の9月1日の最低気温は19.5°C (Fig. 3)で、その後、9月24日まで15°C以上で推移した。それにもかかわらず9月29日には出払いが確認できたのは、供試したデンドロビウムは花芽分化に対する低温要求が少ないものと推察される。カシオーブの交配種であるノドカでは20°C以上の温度条件下でも開花することが認められている (Miwa and Ozaki, 1980)。本種の交配親に利用しているセッコクが20°C以上の高温下でも花芽分化することから (Sawa and Nakagawa, 1978)、この遺伝的形質を受け継いでいるためであろう。また、高温期 (7~8月) の山上げや夜冷のみの低温処理では、開花数の減少や高芽の発生が多くみられるが (Sinoda *et al.*, 1988)、本実験ではこのような現象は認められなかった。本実験のスポット区の最高気温は対照区が35°Cを越えているときでも、30°C以下に抑えることができたことから、このことが開花数の減少や高芽の発生をもたらさなかったものと考えられる。なお、Higuchi *et al.* (1975) が低温処理期間中の必須的要因であるとしている光条件は、本システムでは日中に自然光を晴天の日で10 klx以上、雨天の日でも1.5 klx以上確保することができたため、暗黒下あるいは1 klx以下でみられるような花芽分化の抑制や小花数の著しい減少は認められなかった。

以上のように、本システムにおいてデンドロビウムの開花促進効果が明らかになったが、ノビル系の品種は花芽分化の適温は13°C前後であることが報告されている (Rotor, 1952; Higuchi *et al.*, 1975; Nomura and Sato, 1975; Sinoda *et al.*, 1988) ことから、これらの栽培に利用するためには、さらに処理温度を下げるためのシステムの改善が必要であろう。

ファレノプシスは本研究で供試した3種の洋ランのうち冷房による開花促進が最も普及している。この理由の一つにはシンビジウムや先に述べたデンドロビウ

ムほど開花促進に低温を必要としないことがあげられる。ファレノプシスの開花に関して、Rotor (1959) は15~18°Cで開花促進を認め、Sakanishi *et al.* (1980) は1日のうちの12~18時間を25°C以下とし、残りの時間を28°Cとすると花茎出現は早く確実であるが、25°C以下が12時間より少なければ、花茎出現と花芽形成が抑制されることを明らかにしている。また、山上げ栽培において、Higuchi and Sakai (1978)、Yoneda (1985) は最高気温が30°Cを越えるような状況においても開花促進効果が得られたと報告している。これらのことから、ファレノプシスの花茎発生や開花は15~25°Cの比較的広い範囲にあり、スポットエアコンによる局所冷房の有効性が予測された。

事実、本実験において局所冷房期間中を通して、最高気温が30°Cを越えることはほとんどなく、最低気温は20°C以下であり、25°C以下の遭遇時間も15時間以上確保できた。その結果、スポット区の花茎出現は対照区より19日、開花は約1か月早めることができた。

ところで、低温処理から花茎出現までに要する期間は1か月が標準とされているが、本研究では約2か月必要であった。花成反応は低温に遭えばいつでも起こすのではなく、新葉の展開過程のある時期に限って花成反応を起こすのではないかと考えられている (Momiyama, 1979) ことから、局所冷房を開始する時点で、まだ花熟状態に達していなかったことが考えられる。また、このことが小花数の減少や総花茎長が短くなる原因になっているように思われる。

以上の結果、スポットエアコンを利用した局所冷房により、かならずしも適切な低温処理が行えたとはいえないものの、3種の洋ランで開花促進効果が認められた。今後、局所冷房システムに改善を加え、光条件と冷房効率を高めることで、さらに好適な内部環境を作出できれば、各種に応じたより適切な栽培が可能となり、開花はさらに早まるものと考えられた。もちろん、このシステムを有効に機能させるためには、低温処理前の花熟を早めるための栽培管理や低温処理株の選択方法なども含めた検討が必要であろう。

本研究を進めるに当たり、栽培管理などの協力を得た大阪府立大学農学部附属農場技師 西田哲治氏に深く感謝の意を表します。

文 献

- Goi, M. 1993. Orchid. (Japanese text) In "Regulation of Flowering in Ornamentals" (ed. by Konishi, K., Imanishi, H., Goi, M.), Yokendo, Tokyo, p 232-268.
- Hayashi, M., Kozai, T., Watanabe, I. 1983. Applications of a heat pump to greenhouse environmental control (2). Greenhouse cooling in summer nighttime. (Japanese text with English abstract) J. Agric. Meteorol. Jpn. **39** : 181-189.
- Higuchi, H., Katano, Y., Hara, M. 1975. Temperature and light in relation to flowering of *Dendrobium nodoka*. (Japanese text with English abstract) Res. Bull. Aichi Agric. Res. Cent. **B7** : 45-50.
- Higuchi, H., Sakai, K. 1978. Forcing of phalaenopsis by means of transfer to a certain altitude during summer. (Japanese text with English abstract) Res. Bull. Aichi Agric. Res. Cent. **B10** : 42-45.
- Hirai, H., Mori, G. 1995. Studies on spot cooling system using spot air-conditioner—Application to forcing culture of Freesia. (Japanese text with English abstract) Environ. Control in Biol. **33** : 191-196.
- Imai, T. 1988. Forcing of phalaenopsis by air cooling room. (Japanese text) In "New Technique of Orchid Culture: The Last Volume" (ed. by Noko-to Engei), Seibundo Shinkosha Publishing Co., Tokyo, p 103-110.
- Kozai, T., Quan, Z., Hayashi, M., Watanabe, I. 1985. Cooling load of a greenhouse (1). Characteristics of cooling load in summer nighttime. (Japanese text with English abstract) J. Agric. Meteorol. Jpn. **41** : 121-130.
- Kozai, T., Quan, Z., Hayashi, M., Watanabe, I., Shinko, T., Higuchi, H. 1986. Cooling load of a greenhouse (2). Reduction of the cooling load in nighttime. (Japanese text with English abstract) J. Agric. Meteorol. Jpn. **41** : 351-357.
- Mihara, Y. 1980. Cooling of greenhouse. (Japanese text) In "Basis and Practice for Design of Greenhouse" (ed. by Mihara, Y.), Yokendo, Tokyo, p 160-169.
- Miwa, S., Ozaki, H. 1980. Temperature and day length affecting growth and flowering of noble type *Dendrobium*. (Japanese text with English abstract) Bull. Shizuoka Agric. Exp. Stn. **25** : 63-70.
- Momiyama, A. 1979. Cut flower production of phalaenopsis—On means of transfer to a certain altitude during summer. (Japanese text) Sinkaki **103** : 70-74.
- Nomura, T., Sato, N. 1975. Studies on the growth and development and regulation of flowering on *Dendrobium*. (Japanese text with English abstract) Yamaguchi Agric. Exp. Stn. Spec. Bull. **26** : 1-103.
- Rotor, G. B., Jr. 1952. Daylength and temperature in relation to growth and flowering of orchids. Cornell Univ. Agric. Exp. Stn. Bull. **885** : 1-47.
- Rotor, G. B., Jr. 1959. The photoperiodic and temperature response of orchid. In "The Orchids" (ed. by Withner, C. L.), The Ronald Press Company, New York, p 397-419.
- Sakanishi, Y., Imanishi, H., Ishida, G. 1980. Effect of temperature on growth and flowering of *Phalaenopsis amabilis*. Bull. Univ. Osaka Pref. Ser. **B32** : 1-9.
- Sawa, Y., Nakagawa, T. 1978. Studies on flowering of Japanese wild orchid (2). Effect of temperature on flowering of *D. moniliforme* (L.) Sw. (Japanese text) Japan. Soc. Hortic. Sci. Meet., Sept., Sendai, Abstr. Jpn. Soc. Hortic. Sci. Autumn Meet. p 306-307.
- Sinoda, K., Suto, K., Hara, M., Aoki, M. 1988. Effect of day and night temperature on the flowering of *Dendrobium nobile*-type cultivars. (Japanese text with English abstract) Bull. Natl. Res. Inst. Veg., Orn. Plants Tea Jpn. **A2** : 279-290.
- Suto, K., Nakamura, H., Sinoda, K. 1992. Improvement of shading for pot plants production. (Japanese text) Cumul. Rec. Floric. Natl. Res. Inst. Veg., Orn. Plants Tea Jpn. **5** : 72-75.
- Yoneda, K. 1985. Effects of plant age and time of transfer to highland during summer on phalaenopsis flowering. (Japanese text with English abstract) J. Jpn. Soc. Hortic. Sci. **54** : 101-108.
- Yonemura, K. 1991. Production technique of cut flower ornamental for internationalization (12). The present status and prospect of structure or equipment. (Japanese text) Agric. Hortic. **66** : 857-864.