

## 하절기 근권 온도가 팔레놉시스의 화경 발생에 미치는 영향

이동수 · 이영란\* · 예병우

국립원예특작과학원 화훼과

### Effect of Root Zone Temperature on the Induction of Inflorescence of *Phalaenopsis* in Summer

Dong Soo Lee, Young Ran Lee\*, and Byeong Woo Yae

Floriculture Research Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Suwon 441-440, Korea

**Abstract.** The influence of root zone temperature to the induction of inflorescence and growth of *Phalaenopsis* was investigated. Root zone temperatures were 15, 20, 25, and 30°C, while the air temperature was kept over 28°C during three months. CO<sub>2</sub> uptake, fresh weight, dry weight and branched root number of *Phalaenopsis* were highest at 25°C and lowest at 15°C. But, the anthocyanin content was highest at 15°C and lowest at 25°C. Inflorescence was not induced by root zone cooling temperature below 25°C for three months. The concentrations of K, Ca and Mg in leaves were changed according to the root zone temperature, but those of N and P were not changed. K content was high at 20°C, whereas Ca and Mg contents were high at 25°C root zone temperature. This study indicates that *Phalaenopsis* perceives temperature by shoot and the optimum root-zone temperature for the vegetative growth is 25°C.

**Additional key words:** anthocyanin, CO<sub>2</sub> uptake, fresh weight, nutrient content, root number

## 서 언

팔레놉시스의 화경 발생은 광도, 온도, 공급 배양액의 양 분 조성 및 농도 등과 같은 재배 환경에 영향을 받으며, 그 중에서 팔레놉시스의 화경 발생을 조절하는 주요 환경 요인은 온도라고 알려져 있다(Horio et al., 2003; Newton and Runkle, 2009; Tamotsu et al., 2001). 팔레놉시스는 기온이 28°C 이상일 때 화경 발생이 억제되고 25°C 이하일 때 발생되는데, 야간 온도보다는 주간 온도 조건에 의해 화경 발생이 결정되며 온도처리 기간은 5-7주간 하루 12시간 이상 필요하다고 알려져 있다(Blanchard and Runkle, 2006; Sakanishi et al., 1980). 팔레놉시스 재배 농가는 분화의 판매시기를 조절하기 위해 여름철과 같은 고온기에 25°C 이하로 냉방을 실시하여 화경을 유도하거나, 반대로 겨울의 저온기에는 화경 발생을 억제시키기 위해 28°C 이상으로 난방을 하게 된다. 이러한 냉·난방 관리에 소비되는 비용은 팔레놉

시스 재배농가의 생산 비용에 큰 부분을 차지하고 있으며 최근 유가상승 등으로 인하여 더욱 가중되고 있어 저비용으로 화경의 발생을 조절할 수 있는 온도 조절 방법 개발이 시급한 실정이다.

착생란인 팔레놉시스는 주로 650mL 이하의 투명 플라스틱 포트에 식재되어 재배되며 주로 포트 안쪽 표면 부위에 뿌리를 형성하기 때문에 팔레놉시스의 뿌리는 지상부와 동일한 수준의 온도 조건에 노출된다. 식물은 주위 온도를 줄기와 뿌리의 성장점 부위에서 인식할 수 있으며(Fortin and Poff, 1990; Peacock, 1975) 화아 분화를 위한 온도 감응은 주로 지상부의 성장점에서 이루어진다고 조사된 바 있다(Metzger, 1988). 그러나 아직까지 착생란인 팔레놉시스의 화경 발생에 필요한 저온을 감응하는 부위가 지상부인지 아니면 뿌리를 포함한 모든 부위인지 알려진 바는 없다.

이에 본 연구는 팔레놉시스의 화경 발생에 관여하는 온도 감응부위를 밝히고, 냉·난방 비용을 절감할 수 있는 국부

\*Corresponding author: leeyr628@korea.kr

※ Received 7 September 2010; Accepted 10 December 2010. 본 논문은 2009년도 농촌진흥청 국립원예특작과학원 원예작물부 화훼과 ‘팔레놉시스 연중절화재배 시스템 개발’ 과제중 박사후 연구원 계약과제 지원으로 수행된 것입니다.

냉·난방기술 개발에 필요한 기초 자료를 확보하고자 실험을 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 근권 온도 처리

기외로 꺼내어 순화한 지 14개월된 옐로우 타입의 팔레놉시스 '92649' 품종을 구입하여 실험 재료로 사용하였으며, 2009년 7월 1일부터 10월 1일까지 3개월 간 국립원예특작과학원 화훼과 플라스틱하우스에서 실험을 수행하였다. 근권 온도의 조절을 위해 펠티어(peltier) 소자를 이용한 냉·난방 온도조절 장치를 제작하여 이용하였는데, 이 장치는 열전 반도체 소자에 전류를 흘려주면 열전소자 양단에서 발생하는 흡열과 발열 작용을 이용하여 온도를 조절하게 된다(Fig. 1). 온도 처리는 뿌리가 가장 많이 분포하고 있는 플라스틱 포트의 내부 표면 부위에 온도센서를 설치하여 주·야간 15, 20, 25, 30°C 항온( $\pm 0.5^\circ\text{C}$ )이 되도록 조절하여 3개월간 처리하였다. 실험기간 중 기온은 28°C 이상, 광도는 최대  $320 \pm 20 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  수준이 되도록 유지 관리하였다. 실험기간 중 양·수분은 1주일간 2회(1회 배양액, 1회 수돗물) 포트당 500mL씩 배지가 충분히 젖도록 배지 표면위로 공급하였다. 배양액은 영양생장기의 정상적인 생육을 나타낸 팔레놉시스 잎을 분석하여 서울시립대에서 개발한 비율(N 9, P 3, K 4, Ca 4, Mg 2me·L<sup>-1</sup>)로 조제하고, EC 1.2dS·m<sup>-1</sup>, pH 5.8-6.0로 조정하여 공급하였다.

### 광합성 측정 및 생육조사

근권 온도처리에 따른 팔레놉시스의 광합성 변화를 알아보기 위해 정식 후 30일과 90일에 야간 CO<sub>2</sub> 흡수량을 조사하였다. CO<sub>2</sub> 흡수량은 오후 9시부터 오후 12시 사이에 광합성 측정장치(Li-6400, Li-Cor, USA)를 이용하여 상위 2-3엽의 위치에서 측정 하였다. 측정 당시 CO<sub>2</sub> 농도는 400 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ ,

공기의 유속은 500 $\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 맞추었으며 IRGA(infra red gas analyzer) leaf chamber 내의 광원은 사용하지 않고 암 상태에서 20°C로 설정하여 측정하였다. 2009년 10월 1일 처리당 7주씩 3반복으로 식물체를 채취하여 잎, 줄기, 뿌리를 나누어 각각의 생체중을 측정한다. 시료를 70°C 건조기에서 7일간 건조시킨 후 건물중을 측정하였다. 상위 1-3엽 중 가장 큰 잎을 취하여 엽장과 엽폭을 측정하였으며, 길이가 0.5cm 이상 발생한 뿌리의 수를 세어 분지근수로 하였다.

### 엽내 무기물 함량 분석

상위 1-3위 잎을 채취하여 70°C 건조기에서 7일간 건조시킨 후 사용하였으며 건조시료 0.5g을 100mL 삼각플라스크에 칭량하여 conc. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1mL와 50% HClO<sub>4</sub> 용액 10mL를 가한 다음 310-410°C의 분해조에서 2시간 동안 분해하였다. 분해액에 증류수를 첨가한 후 No. 6 여과지를 이용하여 mass flask에 100mL이 되도록 칭량하였다. N 함량은 indophenol blue법을 사용하여 665nm에서 분광광도계(UV 1601, SHIMADZU)로 정량하였다. P 함량은 vanadate법으로 470nm에서 분광광도계(UV 1601, SHIMADZU)로 정량하였으며, K, Ca 그리고 Mg 함량은 원자흡광광도계(SPECTR AA-8800, VARIAN)를 사용하여 측정하였다.

### 안토시아닌 분석

잎의 안토시아닌 정량을 위해 상위 1-3엽의 중간부위를 채취하여 한 잎당 0.5g을 100mL 삼각 플라스크에 넣고 1% HCl-methylalcohol 5mL에 침적시킨 후 4°C 암소에서 36시간 추출한 다음 530nm에서 흡광도를 측정하였다.

## 결과 및 고찰

근권 온도에 따른 팔레놉시스의 야간 CO<sub>2</sub> 흡수량을 정식 후 30일과 90일에 각각 조사한 결과 25°C 처리에서 가장 높



Fig. 1. Root zone temperature control system of Peltier device used in this experiment.

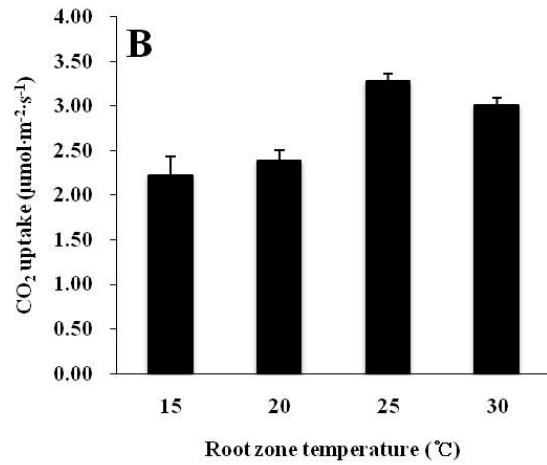
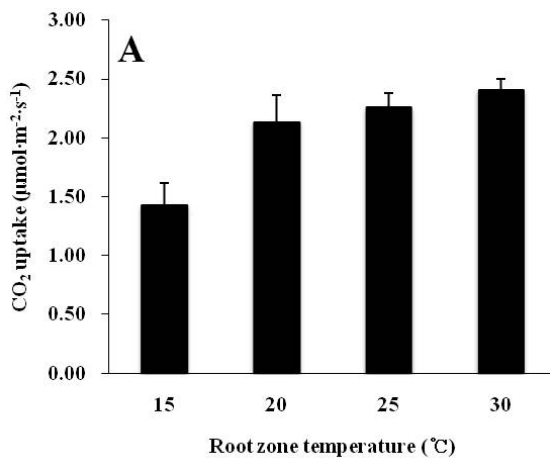


Fig. 2. Effect of root zone temperature on the CO<sub>2</sub> uptake of *Phalaenopsis* '92649' at 30 (A) and 90 (B) days after treatment. Vertical bars represent standard error of the mean (n = 9).

왔고 15°C 처리에서 가장 낮았다. 특히 15°C는 25°C보다 CO<sub>2</sub> 흡수량이 23% 이상 낮았다. 정식 후 30일째에는 15°C를 제외한 20, 25, 30°C 처리간에는 차이가 없었으나 처리 기간이 90일로 길어짐에 따라 20°C와 30°C 처리에서도 CO<sub>2</sub> 흡수량이 감소하여 25°C보다 낮은 흡수량을 나타냈다(Fig. 2). 근권 온도가 광합성에 미치는 영향에 대하여 Ziska(1998)는 콩의 광합성이 15°C와 35°C일 때보다 20°C와 30°C일 때 증가하며, George et al.(2002)은 carambola의 광합성이 5, 10, 20, 25, 38°C의 근권 온도 처리 중 25°C에서 가장 높다고 보고한 바 있다. 팔레놉시스는 동남아시아를 중심으로 인도, 인도네시아 필리핀 등과 같은 열대와 아열대 지역이 원산지로 알려져 있다(Freed, 1976; Lopez and Runkle, 2005). 이와 같은 열대 및 아열대 식물의 광합성은 근권부의 저온에 민감하게 반응하는데(George et al., 2002), soursop, pond apple, atemoya의 경우 5-10°C에서 1-2주 경과시 광합성이 일어나지 않는다고 하였다(Ojeda et al., 2004). 그러나 본 실험에서 3개월간 15°C 처리를 했음에도 일정 수준 이상 CO<sub>2</sub> 흡수가 유지되는 것으로 보아 팔레놉시스의 경우 근권부의 저온 피해로 인해 광합성 작용이 크게 억제되는 온도 범위는 15°C 이하인 것으로 보인다.

식물의 수분흡수 역시 근권 온도의 영향을 받으며 수분흡수의 정도에 따라 광합성과 증산량이 동일한 패턴으로 변화하는데(Yoshida and Eguchi, 1989), 근권 온도에 따른 팔레놉시스의 증산량 역시 CO<sub>2</sub> 흡수와 동일하게 25°C에서 가장 높았다(Fig. 3).

근권 온도에 따른 팔레놉시스의 생체중과 건물중은 20°C와 25°C에서 15°C와 30°C보다 높았고 특히, CO<sub>2</sub> 흡수의 결과와 같이 25°C에서 지상부와 지하부 생육이 모두 가장 높고 15°C에서는 가장 낮은 경향을 나타냈다(Table 1). 그리고

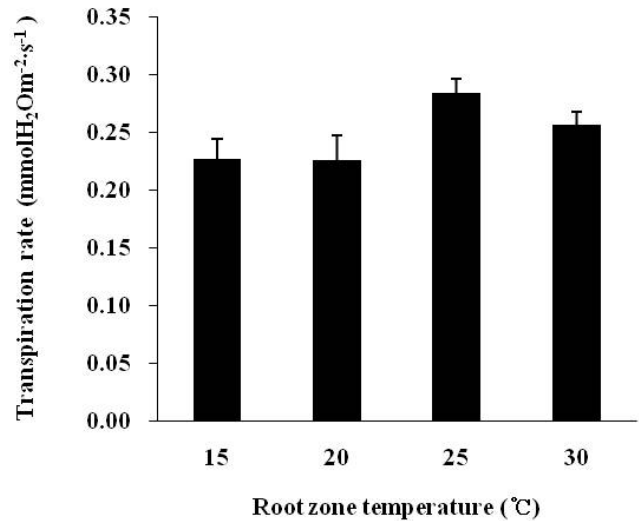


Fig. 3. Effect of root zone temperature on the transpiration rate of *Phalaenopsis* '92649' at 90 days after treatment. Vertical bars represent standard error of the mean (n = 9).

근권 온도 차이에 따른 생육은 지상부보다는 지하부에서, 생체중보다는 건물중에서 더 큰 차이를 보였다. 근권 온도는 뿌리의 길이, 건물중과 동화산물의 분배 및 뿌리의 형태와 발생에 영향을 미치는데(McMichael and Burke, 1998; McMichael and Quisenberry, 1993; Monje et al., 2007) 본 실험 결과 뿌리의 건물중은 20°C와 25°C에서 15°C와 30°C보다 높을 뿐만 아니라 뿌리의 분지수 역시 증가하였다(Table 2). 특히, 15°C 처리의 뿌리 생체중과 건물중 그리고 분지수는 가장 생육이 높았던 25°C에 비해 20% 이상 낮은 결과를 나타냈다. 뿌리의 호흡은 온도의 영향을 받으며 온도가 높을수록 증가할 뿐만 아니라 호흡에 필요한 에너지원으로서 동화산물을 이용하여 뿌리의 건물중이 감소하게 된다(Spiers, 1995; Tachibana, 1989; Yoshida et al., 1989). Dycus et

**Table 1.** Effect of root zone temperature on the fresh and dry weights of *Phalaenopsis* '92649' at 90 days after treatment.

Root zone temp. (°C)	Fresh weight (g/plant)			Dry weight (g/plant)		
	Shoot	Root	Total	Shoot	Root	Total
15	87.0 b <sup>z</sup>	53.7 b	140.7 b	4.64 a	4.00 b	8.64 b
20	98.2 a	71.9 a	170.1 a	4.85 a	4.74 a	9.59 ab
25	98.1 a	76.3 a	174.4 a	5.07 a	4.81 a	9.88 a
30	92.8 ab	69.0 a	161.8 a	5.04 a	4.32 ab	9.36 ab

<sup>z</sup>Mean separation within columns by DMRT at *P* = 0.05.

**Table 2.** Effect of root zone temperature on the leaf length, leaf width, branched root number, induction rate of inflorescence and anthocyanin content of *Phalaenopsis* '92649' at 90 days after treatment.

Root zone temp. (°C)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Branched root (n/plant)	Induction rate of inflorescence (%)	Anthocyanin (Abs. 530)
15	18.1 b <sup>z</sup>	6.74 b	29.5 c	0	0.166 a
20	18.4 b	7.02 a	35.5 b	0	0.145 bc
25	20.0 ab	7.10 a	40.2 a	0	0.130 c
30	20.6 a	7.17 a	31.1 c	0	0.151 ab

<sup>z</sup>Mean separation within columns by DMRT at *P* = 0.05.

al.(1957)은 4종류 난 뿌리의 광합성과 호흡에 대한 연구에서 팔레놉시스 뿌리의 높은 호흡량을 제시한 바 있는데, 30°C 처리구의 CO<sub>2</sub> 흡수가 20°C 처리구보다 높았으나 뿌리의 건물중이 낮았던 것은 높은 온도로 뿌리 호흡이 증가하여 동화산물이 소비된 결과로 판단된다. 앞의 결과들 중 25°C에서 CO<sub>2</sub> 흡수와 뿌리의 건물중 및 뿌리의 분지수가 높았던 결과를 고려해볼 때 팔레놉시스는 25°C에서 광합성이 촉진될 뿐만 아니라 sink인 뿌리의 활성이 증가하여(Eguchi et al., 1994) 동화산물의 전류가 빠르게 일어나 뿌리의 생육이 촉진된 것으로 판단된다.

팔레놉시스의 저온 감응 부위를 밝히기 위하여 실험기간 동안 주간 온실 내 기온을 28°C 이상으로 유지하고 근권 온도만을 각각 30, 25, 20, 15°C로 3개월간 처리한 결과 30°C를 포함한 25°C 이하의 모든 처리구에서 화경이 발생되지 않았다(Table 2). 이는 근권 온도가 팔레놉시스의 광합성과 양분흡수에는 영향을 미치나 화경 유도를 위한 저온감응에는 관여하지 않음을 나타내주는 결과이다. Metzger(1988)는 pennycress에 대한 연구에서 지상부 온도가 고온인 조건일 때 근권의 저온 처리는 pennycress의 생식 생장을 유도할 수 없었으나 지상부 온도가 저온일 때에는 근권 온도에 상관없이 생식생장이 유도된다고 하여 본 실험과 유사한 결과를 보고한 바 있다.

팔레놉시스 잎의 색깔은 15°C 처리구에서 처리 30일 후부터 하위엽이 적색으로 변하기 시작하였으며 90일 후에는 상위 2엽까지 적색을 나타냈다(Fig. 4). 처리 90일 후 엽내 안토시아닌 함량은 온도가 가장 낮았던 15°C에서 가장 높았



**Fig. 4.** Effect of root zone temperature on the growth of *Phalaenopsis* '92649' at 90 days after treatment.

고 25°C에서 가장 낮았다(Table 2). 잎의 색깔은 안토시아닌 함량이 증가할 때 적색을 띠게 되며 안토시아닌 함량은 광조건이나 N과 P의 양분부족 그리고 저온 환경에 의해 증가하게 된다(Scott, 1999). Kim et al.(2002)도 토마토 잎의 안토시아닌 함량이 근권 온도가 낮을수록 높고 적정 근권 온도 범위인 25°C에서 가장 낮았다고 하여 본 실험과 동일한 결과를 보고한 바 있다.

근권 온도에 따른 양분 흡수량과 엽내 양분함량은 식물의 종류, 품종, 양분의 종류 및 온도에 따라 다르다(Choi et al., 1995; Park et al., 1995; Tindall et al., 1990). 팔레놉시스의 엽내 무기물 함량 변화를 조사한 결과, 근권 온도에 따른 N과 P의 함량은 처리간에 차이가 없었으나 K, Ca, Mg의 함량은 온도 조건에 따라 그 차이가 분명하게 나타났다(Table 3). K 함량은 20°C에서 가장 높았고, Ca과 Mg의 함량은 25°C에

**Table 3.** Effect of root zone temperature on the nutrient contents of leaves of *Phalaenopsis* '92649' at 90 days after treatment.

Root zone temp. (°C)	Nutrient content (%)				
	N	P	K	Ca	Mg
15	2.07 a <sup>z</sup>	0.22 a	6.15 b	1.94 bc	0.53 b
20	2.07 a	0.22 a	6.80 a	2.28 b	0.67 ab
25	2.03 a	0.21 a	6.34 ab	2.74 a	0.85 a
30	2.14 a	0.20 a	5.23 c	1.79 c	0.70 ab

<sup>z</sup>Mean separation within columns by DMRT at  $P = 0.05$ .

서 가장 높았다. 본 실험의 엽내 무기물 함량 결과를 고려해 볼 때 팔레놉시스는 근권의 온도 환경에 의해 N과 P보다는 K, Ca, Mg의 흡수에 영향을 크게 받으며, 팔레놉시스의 생육에 필요한 적정 양분흡수는 20°C-25°C의 근권온도 범위에서 이루어지는 것으로 판단된다.

본 실험의 결과에서 지상부 온도가 화경의 발생을 억제하는 온도 범위일 때 근권부의 저온 처리가 팔레놉시스의 화경을 유도할 수 없었던 결과를 고려해 보면 팔레놉시스의 화경 유도에 필요한 저온 감응은 지상부의 성장점 부위에서 일어나는 것으로 판단된다. 그러므로, 앞으로는 지상부만을 국부적으로 온도 조절을 하여 팔레놉시스의 화경을 유도하거나 억제할 수 있는 냉·난방 기술의 개발이 필요하다.

## 초 록

본 연구는 근권 온도가 팔레놉시스의 화경 발생과 생육에 미치는 영향을 알아보기 위하여 시험을 수행하였다. 근권 온도는 15, 20, 25 그리고 30°C로 처리하였으며, 기온은 실험기간 동안 28°C 이상으로 유지하였다. 팔레놉시스의 CO<sub>2</sub> 흡수, 생체중, 건물중 그리고 분지근수는 25°C에서 가장 높고, 15°C에서 가장 낮았다. 하지만 안토시아닌 함량은 15°C에서 가장 높고 25°C에서 가장 낮았다. 3개월간 근권을 25°C 이하로 저온처리해도 화경은 발생하지 않았다. K, Ca, Mg의 함량은 근권온도에 따라 변했으나, N과 P의 함량은 차이가 없었다. Ca과 Mg은 25°C에서 가장 높았던 반면, K은 20°C에서 가장 높았다. 본 실험결과 팔레놉시스의 온도 감응 부위는 지상부이며, 영양생장에 적합한 근권 온도는 25°C이다.

**추가 주요어 :** 안토시아닌, CO<sub>2</sub> 흡수, 생체중, 양분함량, 뿌리수

## 인용문헌

Blanchard, M.G. and E.S. Runkle. 2006. Temperature during the day, but not during the night controls flowering of *Phalaenopsis*

- orchids. *J. Expt. Bot.* 57:4043-4049.
- Choi, K.J., G.C. Chung, and S.J. Ahn. 1995. Effect of root zone temperature on the mineral composition of xylem sap and plasma membrane K<sup>+</sup>-Mg<sup>++</sup>-ATPase activity of grafted-cucumber and figleaf gourd root system. *Plant Cell Physiol.* 36:639-643.
- Dycus, A.M. and L. Knudson. 1957. The role of the velamen of the aerial roots of orchids. *Bot. Gaz.* 119:78-87.
- Eguchi, T., M. Kitano, and H. Eguchi. 1994. Effect of root temperature on sink strength of tuberous root in sweet potato plants. *Biotronics* 23:75-80.
- Fortin, M.C.A. and K.L. Poff. 1990. Temperature sensing by primary roots of maize. *Plant Physiol.* 94:367-369.
- Freed, H. 1976. *Phalaenopsis* are easy to grow. *Amer. Orchid Soc. Bul.* 45:405-408.
- George, H.L., F.S. Davies, J.H. Crane, and B. Schaffer. 2002. Root temperature effects on 'Arkin' carambola (*Averrhoa carambola* L.) trees. I. Leaf gas exchange and water relations. *Scientia Hort.* 96:53-65.
- Horio, S. and S. Ichihashi. 2003. Control of spiking in *Phalaenopsis* by nitrogen fertilization under lower temperature. *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.* 72:223.
- Kim, Y.S., M.R. Huh, and J.C. Park. 2002. Effect of root zone temperatures on the early growth of 'Seokun' and 'Kakemusa' tomato in hydroponics. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 20:10-14.
- Lopez, R.G. and E.S. Runkle. 2005. Environmental physiology of growth and flowering of orchids. *HortScience* 40:1969-1973.
- Metzger, J.D. 1988. Localization of the site of perception of thermoinductive temperatures in *Thlaspi arvense* L. *Plant Physiol.* 88:424-428.
- McMichael, B.L. and J.E. Quisenberry. 1993. The impact of the soil environment on the growth of root systems. *Environ. Expt. Bot.* 33:53-61.
- McMichael, B.L. and J.J. Burke. 1998. Soil temperature and root growth. *HortScience* 33:947-951.
- Monje, O., S. Anderson, and G.W. Stutte. 2007. The effects of elevated root zone temperature on the development and carbon partitioning of spring wheat. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 132: 178-184.
- Newton, L.A. and E.S. Runkle. 2009. High-temperature inhibition of flowering of *Phalaenopsis* and *Doritaenopsis* orchids. *HortScience* 44:1271-1276.
- Ojeda, M., B. Schaffer, and F.S. Davies. 2004. Soil temperature, physiology, and growth of containerized *Annona* species. *Scientia Hort.* 102:243-255.
- Park, K.W., M.H. Chiang, J.H. Won, and K.H. Jang. 1995. The effect of nutrient solution temperature on the absorption of

- water and minerals in Chinese leafy vegetables. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 36:309-316.
- Peacock, J.M. 1975. Temperature and leaf growth in *Lolium perenne*. II. The site of temperature perception. *J. Appl. Ecol.* 12:115-123.
- Sakanishi, Y., H. Imanishi, and G. Ishida. 1980. Effect of temperature on growth and flowering of *Phalaenopsis amabilis*. *Bull. Univ. Osaka Pref., Ser.* 32:1-9.
- Scott, L.C. 1999. Environmental significance of anthocyanins in plant stress responses. *Photochem. Photobiol.* 70:1-9.
- Spiers, J.M. 1995. Substrate temperature influence root and shoot growth of southern highbush and rabbiteye blueberries. *Hort-science* 30:1029-1030.
- Tamotsu, H., S. Yoshtake, K. Satoshi, and M. Koshioka. 2001. Delaying anthesis by dark treatment in *Phalaenopsis*. *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.* 70:264-266.
- Tachibana, S. 1989. Respiratory response of detached roots to lower temperature in cucumber and figleaf gourd grown at 20°C root temperature. *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.* 58:333-337.
- Tindall, J.A., H.A. Mills, and D.E. Radcliffe. 1990. The effect of root zone temperature on nutrient uptake of tomato. *J. Plant Nutr.* 13:939-956.
- Yoshida, S. and H. Eguchi. 1989. Effect of root temperature on gas exchange and water uptake in intact roots of cucumber plants in hydroponics. *Biotronics* 18:15-21.
- Ziska, L.H. 1998. The influence of root zone temperature on photosynthetic acclimation to elevated carbon dioxide concentrations. *Ann. Bot.* 81:717-721.