

무궁화의 낙엽유발휴면에 미치는 제한경요인에 관하여

백이화* · 박천호**

(*고려대학교 원예과학과 · **고려대학교 원예과학과 교수)

Effect of Environmental Factors on the Leaf Abscission and Dormancy of *Hibiscus syriacus* L.

Yi-Hwa Baek* · Chun-Ho Pak**

***Dept. of Hort. Sci., Korea University, Seoul 136-701, Korea

적 요

온도, 차광, 질소비료 시비, 관수 요인이 무궁화의 낙엽지연에 미치는 영향을 알아본 결과 낙엽지연을 나타내는 엽수는 고온처리에서 가장 많았으며, 차광과 고농도의 질소비료 시비구에서도 낙엽이 다소 지연되었다. 관수량이 많거나 부족시에는 낙엽이 촉진되었다. 엽록소 함량도 고온에서 월등히 높았으며 차광과 질소비료 시비구에서도 증가되었다. 엽내의 질소 함량도 온실환경에서 가장 높았고, 비료시비, 차광의 순으로 높게 나타났다.

엽내 peroxidase, polyphenol oxidase, superoxide dismutase의 활성은 노화가 지연된 온실환경처리에서 높게 나타났고 무처리나 관수처리에서는 낮게 나타났다. 온실환경에서는 peroxidase와 polyphenol oxidase활성이 낮았고, superoxide dismutase는 높게 나타났다. 지질과산화물은 온실환경에서 낮게 나타났다.

자연노지 상태에서 기온의 하강에 따른 눈과 가지 내의 수분함량은 9월 중순까지 65% 정도를 유지하다가 9월 하순에는 55%를 나타내었다. 그 후 11월 하순까지 변하지 않았다. 자유수의 양을 나타내는 T₁ value 역시 눈과 가지에서 같은 경향을 보였다. 9월 하순에서 10월 초순 사이에 100ms에서 70ms의 수준으로 하락하였다. 그 후 11월 하순 45-50ms 수준으로 급격히 하락하였다.

25°C이상의 온실 환경에서 '배달'과 '홍화랑'의 개화수를 조사한 결과 두 품종 모두 자연상태보다 3개월 정도 빠른 개화를 보였으며, 그 후 10월말 개화가 끝난 후 2월 초순부터 다시 개화가 시작되어 고온환경에서는 연중개화가 가능하였다.

1. 서론

무궁화는 아욱과(Malvaceae)의 무궁화속(*Hibiscus* spp.)에 속하며, 무궁화속 중 가장 내한성이 강한 식물로서 자생지는 한국, 일본, 대만 및 중국 남서부로 알려져 있는 온대성 관목이다(Yu와 Yeom, 1987).

무궁화는 고온장일성 식물로 한여름에 시작하여 100여일간 개화하는 화목류이다. 그러나 이러한 장점에도 불구하고 생활공간에서의 이용이 그리 많지 않은 것이 현실이다. 이에 Lee와 Kwack(1993)은 무궁화에 생장억제물질을 사용하여 관목류인 무궁화를 실내에서도 이용할 수 있는 방법의 하나로 분식재배를 제시하였다. 일반적으로 실내 분식재배를 위해서

는 상록성이어야 하는데, 자연상태의 무궁화는 온도의 하강과 더불어 낙엽지고 휴면에 들어가는 전형적인 온대산 식물의 습성을 보이므로, 낙엽을 지연시키고 더 나아가 휴면의 도입시기를 지연시키거나 휴면기간을 단축시킬 수 있는 필요한 조건의 규명이 요구된다.

일반적으로 식물의 생장이 일시 정지하는 상태를 휴면이라 하는데, 그 원인은 두 가지로 나눌 수가 있다. 첫째는 저온, 건조, 광, 질소질 비료부족 등과 같은 환경조건이 부적당하기 때문에, 즉 외부 환경요인에 의해 생장을 지속할 수 없는 경우와 둘째는 식물체 내부의 원인에 의해 생장에 적당한 환경조건이라 하더라도 성장하지 못하는 경우가 있다. 특히 식물이 성장하는데 영향을 주는 여러가지 환경요인 가운데 온도가 제한요소로 작용하는 경우가 많은데, 온대식물의 경우 낙엽과 눈(芽)의 휴면은 저온에 의해 유도되며, 온도가 높게 유지된 경우에는 일장에 대한 반응으로 나타나기도 한다. 또한 질소와 수분공급의 억제 역시 낙엽과 휴면을 촉진시킨다.

휴면이 시작된 후 생장에 적절한 온도와 일장이 될 때까지 식물은 휴면상태를 유지하는데, 대부분의 온대와 한대산 식물들은 일정기간의 저온이나 단일상태를 거쳐 휴면이 타파되고 이듬해 생육이 원활하게 된다. 이러한 휴면반응은 식물의 유전적 또는 환경적인 영향에 의해 식물마다 다른 반응을 보인다.

무궁화의 휴면에 관한 연구는 Yu 등(1975)의 연구 이후로 보고된 바 없어 본 연구는 우리나라 기후 조건에서 무궁화의 휴면은 어떠한 특성을 보이며, 휴면에 관여하는 환경요인은 어떠한 것인지 구명하고, 이들 조건을 적절히 조절함으로써 휴면을 지연 또는 단축시킬 수 있는 방안을 강구하여 무궁화의 이용증진 방안을 위한 기초자료를 얻고자 실시했다.

II. 재료 및 방법

1. 온도, 차광과 시비 및 관수 요인이 무궁화의 낙엽지연에 미치는 영향

공시재료는 단심계 '홍화랑', '배달' 과 겹꽃인 '백

란' 세 품종으로 하여, 일년생 가지를 7cm 길이로 잘라, 모래를 넣은 삼목상에서 발근시킨 후, 같은 해 6월초에 직경 16×20cm의 화분에 한 화분 당 5주씩 정식한 것을 1반복으로 하여, 처리 당 10반복으로 시행했다. 배양토는 모래:부엽:퇴비를 1:1:1(V/V/V)로 혼합하여 사용했다. 정식 후 8월초까지 모든 처리는 일반 노지환경에서 완전임의배치법으로 하여 생육시킨 후, 8월 1일 온도, 차광, 시비, 관수처리로 처리하여 완전임의배치하였다. 그 해 11월 1일 생육조사 및 내부물질 분석을 실시했다.

온도에 따른 낙엽지연 효과를 알아보기 위해 온도 처리는 온실내의 온도를 $25 \pm 5^\circ\text{C}$ 가 되도록 하였으며, 차광처리는 차광망을 이용하여 양지구(자연 노지환경), 반양지구, 음지구로 하였다. 광도는 맑은 날 오후 2시를 기준으로 하여 양지구는 $1,500 \sim 2,000 \mu\text{M quantum m}^{-2}\text{S}^{-1}$ (9~12만 lux, 맑은날 오후 2시 기준), 반양지구는 $50 \sim 900 \mu\text{M quantum m}^{-2}\text{S}^{-1}$ (2~5만 lux, 차광망 한겹으로 25% 차광), 음지구는 $30 \sim 90 \mu\text{M quantum m}^{-2}\text{S}^{-1}$ (2~5천 lux, 차광망을 두겹으로 50% 차광)가 되도록 시행했다. 질소시비에 따른 낙엽지연 효과를 알아보기 위하여 질산태(NaNO_3^-)비료를 8mM, 16mM로 하여 매주 2회 100mL씩 토양관주처리했다. 토양내 수분함량 차이에 따른 낙엽지연 효과를 알아보기 위한 실험으로는 관수를 1일 2회, 2일 1회, 5일 1회 (1회 관수량 : 300mL 수돗물)로 하고, 강우에 따른 오차를 줄이기 위해 실험구는 투명비닐로 윗면을 피복했다. 모든 처리에 대하여 노지환경을 대조구로 하였다.

처리에 따른 성장반응과 낙엽지연효과는 같은 해 11월 1일에 최종 측정하였다. 조사항목은 초장, 엽장, 엽폭, 엽수로 초장은 신조 중 가장 긴 가지의 길이, 엽은 신초정부에 달려있는 잎의 길이와 폭을 측정했으며, 엽수는 신초에 달려있는 길이 1cm 이상의 잎을 모두 세었다.

노화정도에 따른 잎의 활력 정도를 알아보기 위한 엽록소 측정은 Inskoop(1985)에 의한 DMF(dimethyl formamide)법, 단백질함량은 Bradford (1976)법으로 하였다. Sugar와 starch함량은 잎을 완전히 건조시켜 마쇄한 후 Anthron방법에 의해, 전질소는 Kjeldahl법

에 의해 분석했다(RDA, 1988).

스트레스에 대한 반응으로 변화한 효소활성을 측정하기 위하여, 무궁화의 잎 1g(생체중)에 0.05M Tris-HCl buffer(pH 7.8) 5mL를 첨가하여 유발에 넣고 4°C에서 미세하게 마쇄한 후, 4°C에서 10,000 g로 30분간 원심분리하여 상등액을 취해 이를 효소추출액으로 사용했다.

Peroxidase(POD) 활성도는 Kar와 Mishra(1976)의 방법을 변형하여 측정하였으며, polyphenol oxidase(PPO)는 Flurkey와 Jen(1978)의 방법을 변형하여 측정했다. Superoxide dismutase(SOD) 활성은 Dhindsa 등(1981)의 방법을 변형하여 측정하였다.

산화적 스트레스에 따른 노화의 정도를 측정하기 위한 지질과산화 검정은 Cakmax와 Horst(1991)의 방법에 따라 thiobarbituric acid(TBA)를 이용하여 malondialdehyde(MDA)의 형성을 정량하여 산화정도를 측정했다.

2. 눈(芽)내의 수분함량변화

눈내의 수분변화와 휴면관계를 알아보기 위하여 실시하였다. 공시재료는 홍단심계 무궁화인 '홍화랑' 1년생 가지를 30~40cm로 잘라 가지 맨 윗쪽 3번째

눈부터 기부까지의 액아를 채취하여 측정했다. 외부 환경에 대한 오차를 줄이기 위해 비가 온 후 3일 이내에는 시료를 채취하지 않았고, 하루 중 채취시간은 오후 2시경으로 하였다. 측정시기는 9월 10일부터 10일 간격으로 11월 30일까지 실시했다.

측정장비는 Low Resolution NMR (model MARAN-23; Resonance Instrument U.K.)을 이용하였다. NMR을 이용한 수분함량 측정과 중량법과의 차이는 정확도가 높아 mg/L의 차이도 측정되어지고, 신속하고 측정이 용이한 장점을 가지고 있다. 시료는 26mm 직경의 glass holder에 넣은 후 수분함량과 T₁(spin-lattice relaxation time)값을 측정하였다. T₁ value는 inversion recovery 방법(Farrar 와 Becker, 1971)에 의해 측정했다. 모든 NMR value는 0.54 Teslar에서 측정하였으며 operating frequency는 23MHz로 하였다. Pulse sequence는 90° pulse를 7.5 μs로 하였다.

3. 고온환경에서의 무궁화 개화습성

고온환경에서의 무궁화 개화습성을 알아보기 위하여 당년 5월부터 이듬해 4월까지 온실에서 수행하였고, 공시재료는 홍단심계 무궁화인 '홍화랑' 과 배달계의 '배달'로 하였으며, 조사항목은 개화수와 엽록

Table 1. Effect of different environments on the growth of *Hibiscus syriacus* 'Paedal'.

Treatments	Shoot length (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Leaf number	Protein content of leaf(mg)	
Control(field environment)	4.8 cd [†]	5.6 ab	3.9 bc	4.4 d	57.1 e	
Greenhouse(25±5°C)	6.1 ab	5.1 bc	3.9 bc	10.5 a	221.3 a	
Shade(%)	25	6.9 ab	4.9 c	3.9 bc	5.4 c	108.2 d
	50	8.5 ab	4.9 c	3.5 cd	6.8 b	132.6 c
NaNO ₃ (mM)	8	5.5 bc	5.6 ab	4.3 ab	7.5 b	130.2 c
	16	9.3 a	6.1 a	4.5 a	7.5 b	172.5 b
Watering	2/1day [‡]	3.9 d	5.0 bc	3.5 cd	2.5 e	28.6 f
	1/2day	6.7 ab	5.1 bc	3.3 d	2.6 d	41.9 e
	1/5day	7.7 ab	5.4 bc	3.7 cd	2.7 d	28.6 f

[‡]2/1day:watering twice a day; 1/2day:watering once every 2 days; 1/5day:watering once every 5 days.

[†]Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at the 5% level.

수 변화를 측정했다. 개화수는 매일 오전 10시경에 각 품종당 피어있는 꽃수를 조사하였고, 엽록소는 홍화랑을 대상으로 노지와 온실(25±5°C)로 구분하여 매달 측정했다.

III. 결과 및 고찰

1. 온도, 차광과 시비 및 관수 요인이 무궁화의 낙엽지연에 미치는 영향

온도, 차광, 단백질 비료시비 및 관수정도가 무궁화의 휴면을 상징하는 낙엽에 미치는 영향을 알아본 결과(Table 1, 2, 3), 초장은 처리간에 큰 차이를 보이지 않았고, 품종간에는 고성종인 '백란'이 '배달'이

Table 2. Effect of different environments on the growth of *Hibiscus syriacus* 'Honghwarang'.

Treatments		Shoot length (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Leaf number	Protein content of leaf(mg)
Control(field environment)		4.8 d ^y	5.3 bc	4.0 ab	4.6 c	71.5 e
Greenhouse(25±5°C)		6.8 c	5.0 c	4.4 a	15.1 a	295.0 a
Shade(%)	25	7.0 bc	5.5 bc	4.0 ab	8.0 b	99.5 d
	50	8.0 bc	5.2 c	3.9 ab	8.2 b	289.9 a
NaNO ₃ (mM)	8	8.0 bc	6.0 a	4.4 a	8.0 b	197.6b
	16	9.2 a	5.8 ab	4.5 a	8.5 b	134.7 c
Watering	2/1day ^z	5.8 cd	5.0 c	3.7 b	3.4 cd	43.0 f
	1/2day	7.0 bc	4.4 d	3.0 c	2.4 d	41.8 f
	1/5day	9.8 a	5.1 c	3.7 b	3.7 cd	35.4 g

^zSee Table 1.

^yMean separation within columns by Duncan's multiple range test at the 5% level.

Table 3. Effect of different environments on the growth of *Hibiscus syriacus* 'Paekran'.

Treatments		Shoot length (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Leaf number	Protein content of leaf(mg)
Control(field environment)		22.4 a ^y	6.7 a	4.3 a	6.4 c	36.8 f
Greenhouse(25±5°C)		23.0 a	5.9 b	4.5 a	18.4 a	218.0 a
Shade(%)	25	23.0 a	5.9 b	3.7 cd	6.4 c	54.4 d
	50	20.0 bc	5.3 cd	3.4 d	13.5 b	105.2 c
NaNO ₃ (mM)	8	21.0 ab	5.8 bc	3.5 cd	13.4 b	134.5 c
	16	21.5 ab	4.6 e	3.5 cd	15.9 b	179.4 b
Watering	2/1day ^z	22.0 ab	5.2 d	3.4 d	3.3 d	144.6 e
	1/2day	18.0 c	6.8 a	4.3 ab	5.4 d	36.6 f
	1/5day	21.0 ab	6.0 b	3.9 bc	5.3 d	64.1 d

^zSee Table 1.

^yMean separation within columns by Duncan's multiple range test at the 5% level.

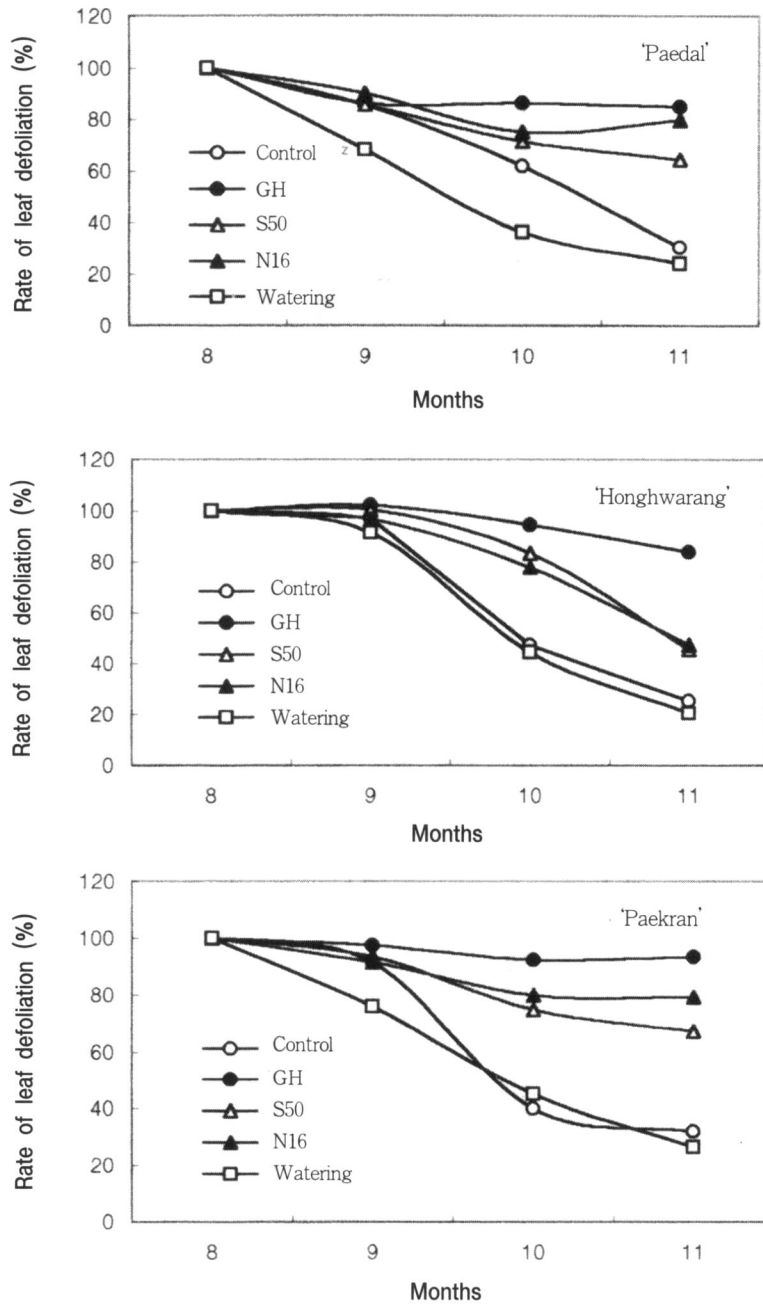


Fig. 1. Effect of different environments on the changes of leaf number in *Hibiscus syriacus* 'Paedal', 'Honghwarang' and 'Paekran'.

Control: Field environment; GH: Greenhouse(25±5°C); S 50:50% shade; N16:16 mM NaNO₃; Watering:Once every five days.

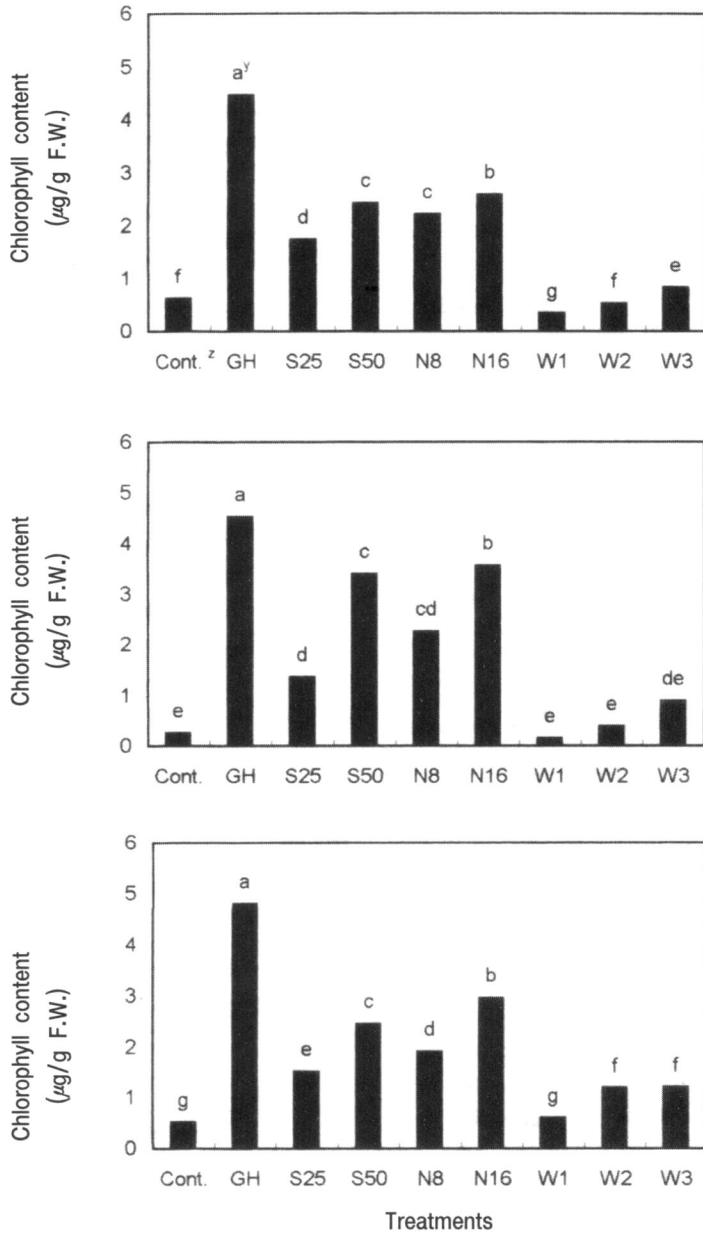


Fig. 2. Effect of different treatments on chlorophyll contents(Chl.) of *Hibiscus syriacus* 'Paedal', 'Honghwarang' and 'Paekran'.

^zControl:Field environment; GH: Greenhouse(25±5°C);

N8:8mM NaNO₃;N16:16mM NaNO₃;W1:Watering twice per day;

W2:Watering once per 2 days; W3:Watering once per 5 days.

^yMean separation within treatments by Duncan's multiple range test at the 5% level.

나 '홍화랑' 보다 다소 길었다. 엽장, 엽폭은 처리간, 품종간 차이없이 엽장 6~7cm, 엽폭 3~5cm로 비슷하였다. 엽수는 큰 차이를 보여 온실환경에서 '배달'은 10개, '홍화랑'은 15개, '백란'은 18개 이상으로 많은 수를 나타내어 거의 낙엽지지 않았으나, 무처리

인 자연노지환경에서 생육시킨 것은 엽수 4~5개로 낙엽이 많이 진행된 상태였다. 차광처리도 25%로 차광은 노지환경과 별 차이가 없었으나, 50% 차광시에는 낙엽이 다소 지연됨을 보였다. 처리기간 동안의 엽수의 변화율을 조사한 결과(Fig. 1), 세 품종 모두

Table 4. Effect of different environments on the sugar, starch and nitrogen contents in leaves of *Hibiscus syriacus* 'Paedal'.

Treatments	% Dry weight			
	Sugar	Starch	Total-N	
Control (field environment)	1.14 ab ^y	4.30 c	1.96 c	
Greenhouse (25±5°C)	1.35 ab	5.49 b	5.26 a	
Shade (%)	25	4.93 c	1.82 c	
	50	3.54 d	2.02 c	
NaNO ₃ (mM)	8	5.85 b	2.44 b	
	16	6.58 a	2.45 b	
Watering	2/1day ^z	1.14 ab	3.84 d	1.82 c
	1/2day	1.34 ab	4.40 c	1.64 c
	1/5day	0.93 b	3.04 d	1.43 c

^ySee Table 1.

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at the 5% level.

Table 5. Effect of different environments on the sugar, starch and nitrogen contents in leaves of *Hibiscus syriacus* 'Honghwarang'.

Treatments	% Dry weight			
	Sugar	Starch	Total-N	
Control (field environment)	1.32 b ^y	4.43 c	1.77 bc	
Greenhouse (25±5°C)	1.87 b	5.26 b	3.33 a	
Shade (%)	25	4.30 c	2.11 b	
	50	3.70 d	2.14 b	
NaNO ₃ (mM)	8	6.81 a	2.37 b	
	16	6.94 a	2.82 b	
Watering	2/1day ^z	2.03 a	6.81 a	2.37 b
	1/2day	1.22 bc	3.64 d	1.34 c
	1/5day	1.15 bc	4.13 c	1.31 c

^ySee Table 1.

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at the 5% level.

온실환경에서 낙엽이 지연됨을 나타내어 8월초 처리 시작시기의 엽수를 100으로 했을 때 최종 생육조사 시기인 11월초에 85% 이상을 유지하고 있었다. '배달'과 '백란'에서 50% 차광과 16mM 질소질 비료시비도 낙엽지연에 효과를 나타내 70% 이상을 유지하고 있었다. '홍화랑'에서는 차광과 질소시비에서 낙엽지연 효과가 적었다. 자연환경상태의 무처리와 관수처리에서는 낙엽이 70% 이상 진행되었다. 질소질 비료를 시비한 경우 역시 자연노지환경 처리구에 비해 낙엽이 지연됨을 보였다. '백란'은 다른 품종에 비해 8, 16mM 질소시비 모두에서 낙엽지연 효과를 나타내었다. 관수처리는 1일 2회, 2일 1회, 그리고 5일 1회 처리 모두에서 엽수가 적었는데, 이는 실험이 노지환경에서 수행되었기 때문에 저온과 수분스트레스가 복합적으로 작용했기 때문으로 생각되었다.

엽내의 단백질은 세 품종 모두 온실환경에서 월등히 높아 자연노지환경처리구에 비해 3배 이상 함량이 높았다(Table 1, 2, 3). 25, 50% 차광이나 8, 16mM 질소질 비료시비도 마찬가지로 무처리인 자연노지환경에 비해 2배 이상의 많은 양을 나타내었으나 관수처리는 처리 모두 적은 양을 보였다. 질소는 아미노

산을 합성하여 단백질을 만드는데 중요한 영양소이지만 토양 중의 질소는 그 양이 적어 식물 생장에 제한요소가 되는 경우가 많았다. 그러므로 목본식물은 저온이 되면 낙엽 전에 엽내의 질소를 가지로 회수하여 저장하는데, 이러한 기작이 시작되기 전 토양내 질소질 비료 시비는 잎의 脫離를 지연시키고 질소질 비료의 흡수에 의한 엽내의 단백질 함량도 증가된다(Killingbeck 등, 1990)는 보고와 일치하였다. 본 실험에서도 질소질 비료의 시비나 50% 차광막 처리를 한 결과에서 엽내의 단백질 함량이 무처리인 자연노지환경에 비해 높았고, Samet와 Sinclair(1980) 역시 대두를 이용한 실험에서 생육 후기에 잎이 황화되기 시작하면서 단백질과 엽록소 함량이 감소했다고 한 것으로 보아 적당한 온도나 차광, 질소시비는 식물체내의 단백질 수준을 유지시키는데 효과적임을 알 수 있었다.

노화 즉 휴면의 정도를 알아보기 위해 잎의 엽록소 함량을 측정된 결과, 처리간 확연한 차이를 나타내었다(Fig. 2). 온실환경에서는 세 품종 모두 거의 황화되지 않았고 녹색의 잎을 그대로 유지하여 엽록소 함량이 월등히 높았다. 식물은 낮은 광도하에서

Table 6. Effect of different environments on the sugar, starch and nitrogen contents in leaves of *Hibiscus syriacus* 'Paekran'.

Treatments	% Dry weight		
	Sugar	Starch	Total-N
Control (field environment)	1.31 a ²	4.30 b	1.81 c
Greenhouse (25±5°C)	1.34 a	5.13 a	3.42 a
Shade (%)	25	0.88 b	3.60 c
	50	1.04 b	2.28 c
NaNO ₃ (mM)	8	1.57 a	4.53 b
	16	1.37 a	5.13 a
Watering	2/1day ²	0.83 a	2.88 c
	1/2day	1.28 ab	4.03 b
	1/5day	1.39 a	4.43 b

²See Table 1.

³Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at the 5% level.

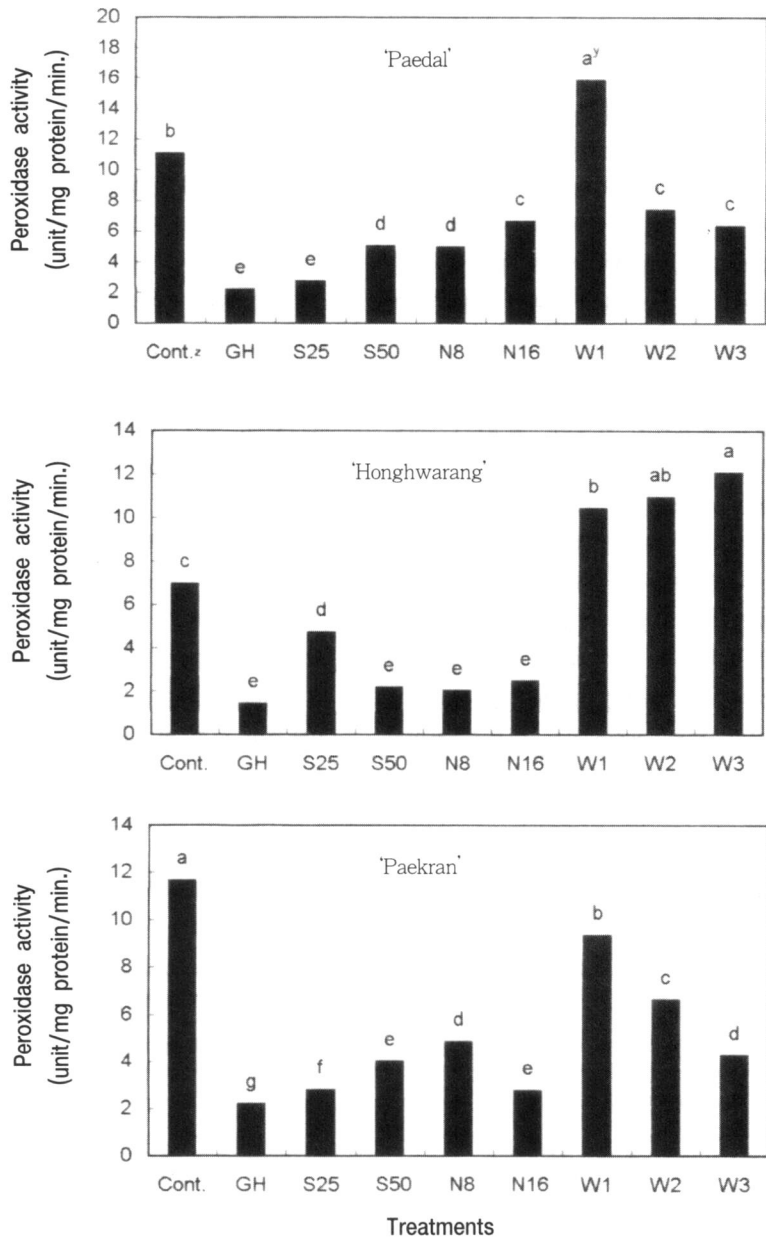


Fig. 3. Effect of various treatments on peroxidase activity of *Hibiscus syriacus* 'Paedal', 'Honghwarang' and 'Paekran'.

^zControl:Field environment; GH:Greenhouse(25±5°C); N8:8mM NaNO₃;N16:16mM NaNO₃; W1:Watering twice per day;

W2:Watering once per 2 days; W3:Watering once per 5 days.

^yMean separation within treatments by Duncan's multiple range test at the 5% level.

광합성을 하기 위해 엽록소를 증가시켜 노화를 어느 정도 지연시키는 역할을 하는데, 본 실험에서도 50% 차광과 16mM 질소비료시비는 무처리의 자연환경보다 엽록소 함량이 높았다. 차광망을 두겹으로 이용한 50% 차광은 차광에 의한 엽록소의 증가로 식물체내의 질소화합물이 증가하여 낙엽이 지연된 것으로 생각된다. 이러한 차광에 의한 엽록소의 축적에 관한 많은 보고가 있다(Brand, 1997). Yoo와 Kim(1997)은 55%, 95% 차광시 엽록소 함량이 차광정도가 증가할수록 '배달', '홍화랑' 품종에서 증가한다고 하여 본 실험과 같은 결과를 보였으나, 엽수는 광도가 낮아짐에 따라 감소함을 보였다고 하여 본 실험과는 다른 결과를 보였는데, 이것은 처리시기로 인한 차이로 본 실험은 영양생장이 어느 정도 끝난 생장후기의 노화 정도를 평가한 것이기 때문인 것으로 생각된다. 본 실험에서 50% 차광처리는 광도의 감소로 엽록소의 축적에 의한 직접적인 영향도 있을 수 있으나, 가을철 기온 하강시 차광망에 의한 피복으로 자연노지환경보다는 저온에 의한 피해를 덜 받았을 가능성도 배제할 수 없었다. 또한 관수처리는 엽록소 함량이 가장 낮게 나타나 수분스트레스를 받은 동시에 노지

의 저온의 영향을 동시에 받아 가장 낙엽이 촉진되었다고 보여진다.

엽내의 당과 전분 그리고 질소함량의 분석 결과, 세 품종 모두에서 당함량은 처리간 차이를 보이지 않았다(Table 4, 5, 6). 전분함량은 온실환경과 16mM 질소비료시비에서 많은 양을 나타내었고, 25, 50% 차광처리와 관수처리는 무처리인 노지환경과 차이가 없었다. 질소함량 역시 온실환경에서 가장 높게 나타나 낙엽지연의 효과를 알 수 있었고 노지환경이나 관수처리에서는 극히 적은 양을 보였다.

일반적으로 온도의 하강과 함께 식물은 양분을 축적시킨다. 특히 식물체내의 당함량이 증가되는 것을 흔히 볼 수 있는데, 이것은 전분의 가수분해에 의해 혹은 광합성에 의해 축적되기도 하고, 생장과 호흡이 감소함에 따라 당의 이용이 적어짐으로써 축적되기도 한다. 그러나 본 실험에서는 처리간 차이를 보이지 않았는데, 고온처리에서는 여전히 생장이 계속 이루어지고 있는 상태에서 당의 축적은 이루어지지 않았기 때문으로 생각되었다. 저온에 의해 노화가 진행중인 다른 처리는 당이 눈이나 가지로 이동되어 축적되었을 것으로 생각되었다. 질소의 경우도 낙엽

Table 7. Effect of different environments on superoxide dismutase(SOD) activity of in leaves of *Hibiscus syriacus* 'Paedal', 'Honghwarang' and 'Paekran'.

Treatments	Enzyme activity(units/mg protein/min.)			
	Paedal	Honghwarang	Paekran	
Control (field environment)	3.23 i [†]	1.57 f	3.00 i	
Greenhouse (25±5°C)	7.42 a	7.50 a	6.52 a	
Shade (%)	25	6.40 c	4.12 d	4.64 e
	50	6.82 b	6.79 b	4.64 e
NaNO ₃ (mM)	8	5.78 e	6.31 c	5.23 c
	16	6.05 d	6.19 c	4.89 d
Watering	2/1day [‡]	5.26 f	2.75 e	3.84 g
	1/2day	4.16 h	3.41 e	3.84 g
	1/5day	5.12 g	4.20 d	4.24 f

[†]See Table 1.

[‡]Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at the 5% level.

전에 가지로 회수되어 저장되는데, 온도가 어느 정도 높게 유지된 경우는 그 필요성이 없었기 때문에 엽내 그대로 남아 있는 것으로 추측되었다. 노지자연환경이나 관수처리의 경우는 이미 가지로 회수되어 엽내에는 거의 남아있지 않는 것이다. 결과적으로 온실 환경에서는 낙엽환상이 거의 일어나지 않아 낙엽시 회수되는 질소나 혹은 저온에 대한 대처기작으로 알려진 전분에서 당으로의 전환이 거의 이루어지지 않은 것으로 미루어 노화와 낙엽지연에 효과적이라는 사실을 알 수 있었다.

불량한 환경조건은 효소의 활동을 둔화시켜 여러가지 생화학적 반응속도를 감소시키지만 peroxidase (POD)는 스트레스를 받은 식물체에서 증가하는 경향을 보이는데, 그 원인은 POD가 phenylpropane alcohols로부터 lignin의 합성, ethylene의 생성 및 phenol 물질의 산화 등과 같은 일종의 노화와 관련있는 물질의 생합성에 관여하기 때문으로 알려져 있다. 식물체는 대사과정 중에 free radical을 발생시키는데, 이것이 식물체에 유해한 작용을 하므로 식물은 free radical을 H_2O_2 로 전환시킴으로써 식물체를 보호한다. POD는 이 H_2O_2 를 proton donor로 이용하기 때문에 H_2O_2 의 양이

증가하면 POD 활성도 증가한다. POD 활성은 세 품종 모두 생육이 불량한 저온처리구와 관수처리에서 POD의 활성이 높았다(Fig. 3). 차광처리와 질소시비에서는 노지자연환경에 비해서 다소 낮은 경향을 보였고, 고온에서는 잎의 노화가 거의 일어나지 않아 POD의 활성이 가장 낮았다. 이러한 환경에 따른 POD활성의 차이는 Chen 등(1994)의 상치 (*Lactuca sativa*) 차광실험에서도 노화가 지연된 차광처리구가 무차광 처리구보다 POD 활성이 낮은 것으로 보고되었고, Mehrotra (1990)는 옥수수에서, Motonaka 등(1990)은 보리에서 잎이 노화되는 동안 엽록소의 감소와 함께 POD 활성이 증가한다고 하였으며, Kar와 Mishra(1976)도 벼에서 노화동안에는 POD의 활성이 증가한다고 하여 본 실험의 결과와 일치하였다.

Superoxide dismutase(SOD)활성은 온실환경에서 높았고, 질소시비와 차광 역시 다소 높았으며, 관수처리구는 고온이나 질소, 차광처리에 비해 낮았고, 노지환경처리는 현저히 낮은 활성을 보였으며, 이러한 경향은 세 품종 모두 같았다(Table 7). SOD는 식물체의 광합성 과정중 필연적으로 생성되는 free radical을 수산화 결합시켜 H_2O_2 와 O_2 로 전환시켜줌으로써 정상

Table 8. Effect of different environments on polyphenol oxidase(PPO) activities in leaves of *Hibiscus syriacus* 'Paedal', 'Honghwarang' and 'Paekran'.

Treatments	Enzyme activity(units/mg protein/min.)			
	Paedal	Honghwarang	Paekran	
Control (field environment)	2.76 b ^y	0.83 d	2.88 a	
Greenhouse (25±5°C)	0.39 f	0.26 g	0.44 h	
Shade (%)	25	0.76 d	0.48 e	1.84 d
	50	0.60 e	0.23 g	0.76 f
NaNO ₃ (mM)	8	0.62 e	0.28 g	0.71 f
	16	0.64 e	0.34 f	0.59 g
Watering	2/1day ^z	2.88 a	1.11 c	2.10 c
	1/2day	2.26 c	1.45 b	2.53 b
	1/5day	2.87 a	1.55 a	1.25 e

^aSee Table 1.

^yMean separation within columns by Duncan's multiple range test at the 5% level.

적인 생리대사과정이 진행되도록 촉매하는 효소로서 광합성을 진행중인 엽록체에 가장 많이 존재하며 세포질에도 있는 것으로 알려져 있다. 따라서 정상적인 생장을 하고 있는 식물에서는 활성이 비교적 높고 노화나 물리적, 환경적 요인에 의해 피해를 입은 식물에서는 활성이 낮게 나타나는데, 본 실험에서 활성이 높았던 온실환경처리구에서는 비교적 정상적인 생육이 진행되고 있으며, 상대적으로 활성이 가장 낮았던 노지자연환경처리구에서는 노화 및 휴면이 상당히 진전된 것으로 보였다.

Polyphenol oxidase(PPO)는 세포가 손상을 입으면 페놀계 화합물이 quinone으로 산화되고 이것이 중합되어 갈변의 기작에 영향을 미치는 효소로서 잎의 노화에도 관여하여 노화가 진행되어감에 따라 활성이 높아지는 것으로 알려져 있는데(Kar와 Mishra, 1976), 본 실험에서도 PPO의 경우 세 품종 모두 고온처리구에서 활성이 낮았고, 노화가 진행된 노지자연환경과 관수처리에서 활성이 높았으며, 차광과 질소시비에서는 다소 낮은 활성을 나타내어 유사한 결과를 나타내었다(Table 8).

산화적 스트레스를 검정하는 또 하나의 방법으로

는 독성 산소에 의해 지질이 산화되어 생기는 ethane의 발생량과 thiobarbituric acid를 이용하여 생기는 malondialdehyde(MDA)를 정량하는 방법이 있다(Feys 등, 1980). 지질과산화물을 검정해 본 결과(Table 9), '배달', '백란'의 경우 노지자연환경에 비해 고온처리에서 함량이 다소 낮은 경향을 보였으나 차광처리나 질소처리, 관수처리구 사이에 큰 차이를 보이지 않았다.

수분 스트레스는 세포가 팽압을 잃어버리고 기공이 닫히며 광합성이 중단됨으로 탄수화물대사와 질소대사가 비정상적으로 되어 생장이 둔화되며, 이때 전분은 당류로 가수분해되고 단백질 합성이 감소하며 대신 아미노산의 일종인 proline이 축적되는 경향을 보인다고 한다(Levitt, 1980). 수분 스트레스가 가장 예민하게 반응을 보이는 것은 세포신장, 세포벽의 합성, 그리고 단백질의 합성 억제 등인데, 뿌리가 생육에 불리한 환경에 놓이면 목부의 사이토키닌 함량이 감소하며, 이로 인해 줄기의 생장이 영향을 받는다. 특히 건조상태가 계속되거나 뿌리가 침수상태로 장기간 방치되면 뿌리로부터 사이토키닌의 공급이 감소하여 낙엽현상을 보인다고 하였다(Mooney 등,

Table 9. Effect of different environments on the lipid peroxidation in leaves of *Hibiscus syriacus* 'Paedal', 'Honghwarang' and 'Paekran'.

Treatments	Lipid peroxidation(MDA nmoles/g FW)		
	Paedal	Honghwarang	Paekran
Control (field environment)	62.5 by	44.2 b	79.0 a
Greenhouse (25±5°C)	31.0 f	31.3 d	27.9 f
Shade (%)	25	54.0 d	35.7 c
	50	54.2 d	31.3 d
NaNO ₃ (mM)	8	59.5 c	33.4 d
	16	68.3 b	44.3 b
Watering	2/1day [*]	58.6 cd	33.1 d
	1/2day	57.4 cd	44.3 b
	1/5day	48.3 e	57.2 a

*See Table 1.

[†]Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at the 5% level.

1991). 또한 불량한 환경에 대한 방어기작으로 효소활성이 변화하는데 특히 노화 및 조직휴면시 POD와 PPO활성의 증가 및 SOD활성의 감소를 나타낸다고 하였다(Flurkey와 Jen, 1978; Feys 등, 1980). 본 실험에서도 환경에 의한 스트레스에 의해 이들 효소의 활성에 차이를 나타내었다. 관수처리 역시 온실환경에 비해서 단백질 함량과 SOD활성이 낮았으며, POD, PPO활성은 높게 나타났다. 그러나 노지자연환경과 큰 차이를 보이지 않았는데, 배양토의 보수력이 양호하여 수분스트레스에 의한 피해가 그다지 크지 않았기 때문으로 추측된다.

처리구 노화 즉 휴면의 정도를 가장 잘 나타내주는 엽록소 함량과 단백질, POD, PPO, SOD 및 MDA 간의 상관관계를 조사한 결과(Table 10), 엽록소 함량과 단백질, SOD는 정의 상관관계를 나타내었고, POD와 PPO는 부의 상관관계를 보였다. MDA를 제외하고 통계적인 유의성이 인정되어 노화의 정도와 이들간의 연관관계가 밀접함을 알 수 있었다.

이상의 결과를 종합해 보면 무궁화의 노화에 따른 낙엽의 지연은 고온유지, 광조절, 적당한 관수와 비료수준을 유지시켜 조절할 수 있는데, 차광이나 질소비료시비도 낙엽현상을 다소 지연시킬 수 있었지만 특히 온도의 조절이 주요인자로 작용함을 알 수 있었다. 이와같은 현상은 아까시나무(*Robinia pseudoacacia*)와 자작나무(*Betula platyphylla*)에서도 볼 수 있어 기온이 내려가면서 단일조건이 되면 낙엽이 지는데, 이 시기에 온도를 높여주면 단일조건에서도 잎이 불

어 있다고 하였다(Waring, 1956). 무궁화의 경우도 늦여름 저온에 들어가기 전에 25°C 정도를 유지시켜 주면 낙엽현상을 지연시키는데 효과적임을 알 수 있었다.

2. 눈(芽)내의 수분함량 변화

식물체의 눈은 살아 있는 구조로서 늦가을, 겨울의 저온을 통해 생화학, 구조적으로 발달한다. 눈의 발달은 저온에 대해 유전적으로 고정되어 있는 명령에 따라 조절된다. 그러므로 휴면에 따르는 눈 내부의 생리적 변화로 휴면발달단계를 추론할 수도 있다. Fuchigami와 Wisniewski(1997)는 호르몬 균형, 수분의 상태 즉, free water와 bound water 상태의 양에 따라 내부의 친수성 compound 등의 이동이나 세포의 생리적 활성변화를 유도하는데 있어서 free water의 중요성을 보고하였다. 휴면시 수분의 형태를 structural 상태로 변화시킴으로서 세포의 결빙을 방지하는 것이다.

본 실험에서도 우리나라 자연환경에서 기온의 하강에 따른 눈내의 수분함량과 수분상태 변화를 측정 한 결과, 수분함량은 9월 중순까지 65% 정도를 유지하다가 9월 하순 경에는 55%를 나타내었다. 그 후 11월 중순까지 수준이 변하지 않았다(Fig. 4).

Free water의 양을 나타내는 T₁ value 역시 9월 하순경에서 10월 초순 사이에 100millisecond에서 70 millisecond의 수준으로 하락하였다. 그 후 11월 하순 45millisecond로 급격히 감소하였다(Fig. 5). Fennell 등

Table 10. Correlation between chlorophyll and protein contents, malon dialdehyde(MDA), peroxidase(POD), polyphenol oxidase(PPO), and superoxid dismutase(SOD) activities in *Hibiscus syriacus*.

Cultivars	Total protein	POD	PPO	SOD	MDA
Paedal	0.96**	-0.58*	-0.58*	0.83**	-0.49
Honghwarang	0.88**	-0.81**	-0.74**	0.91**	-0.37
Paekran	0.93**	-0.77*	-0.80**	0.87**	-0.38

*** Significant at 0.05 and 0.01 probability level, respectively.

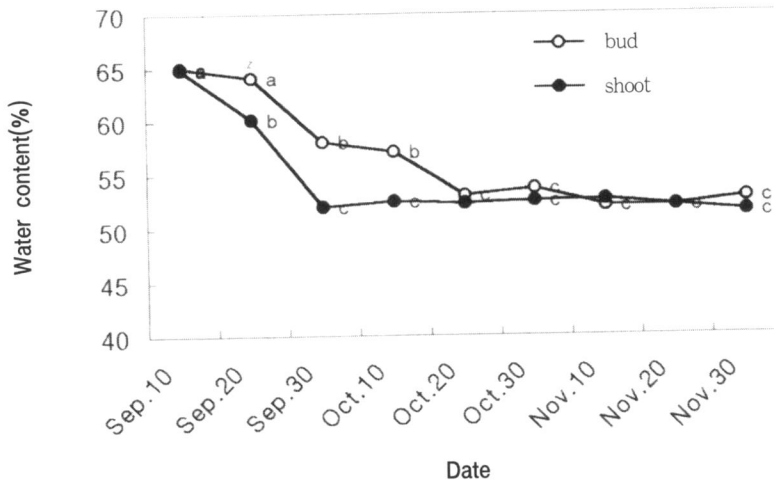


Fig. 4. Change in content as becoming temperature lowered for the growth of *Hibiscus syriacus* 'Honghwarang' in the natural condition.
 *Mean separation by Duncan's multiple range test at the 5% level.

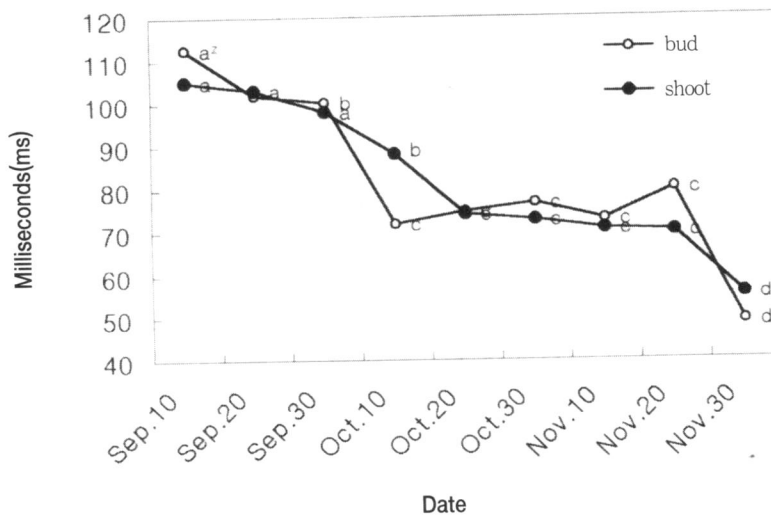


Fig. 5. Spin-lattice relaxation time(T_1) as becoming temperature lowered for the growth of *Hibiscus syriacus* 'Honghwarang' in the natural condition.
 *Mean separation by Duncan's multiple range test at the 5% level.

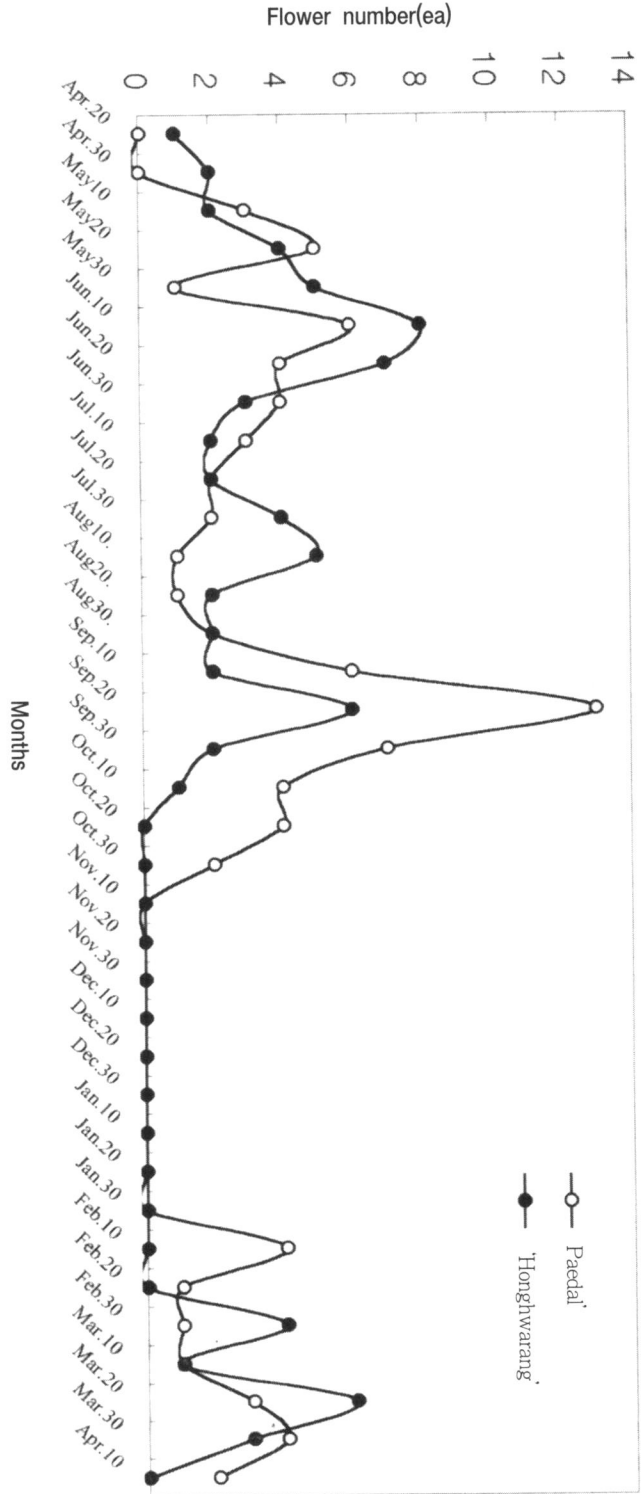


Fig. 6. Change in flowering habit during the one-year growth period of *Hibiscus syriacus* 'Paedal' and 'Honghwarang' in greenhouse environment ($25 \pm 5^\circ\text{C}$).

(1996)은 포도나무 눈에서 수분상태의 변화로 휴면의 시작과 종결을 감지할 수 있다고 하였는데, 장일과 단일 하에서 2, 4, 6주를 겪는 동안 수분 함량을 NMR로 측정된 결과 2주에는 장일이나 단일간에 수분함량 차이가 없었으나 4주 후에는 그 차이가 뚜렷함을 보여 휴면에 들어갈수록 수분 함량이 감소함을 알 수 있었다고 하였다. 즉, 포도나무의 경우 단일처리 2주 후에 휴면이 시작되고 4주 후에는 깊은 휴면상태인 endodormancy상태로 있음을 알 수 있다고 하였다.

본 실험 결과, 기온은 계속 하강함에도 불구하고 수분의 절대량은 9월 하순 다소 감소한 후 변화가 없었으나, free water의 양은 11월 말에 급격히 감소함을 보여 이 시기에 내부의 생리적 변화가 있음을 알 수 있었다. Faust와 Liu(1991)에 의하면 생리적 휴면, 즉 endodormancy 상태의 사과나무 잎눈의 수분상태는 bound상태로 거대분자와 강하게 결합되어 있어 free water는 거의 존재하지 않는다고 하였다. 그 후 저온처리가 완료되면 free water의 양이 증가한다고 보고하였다.

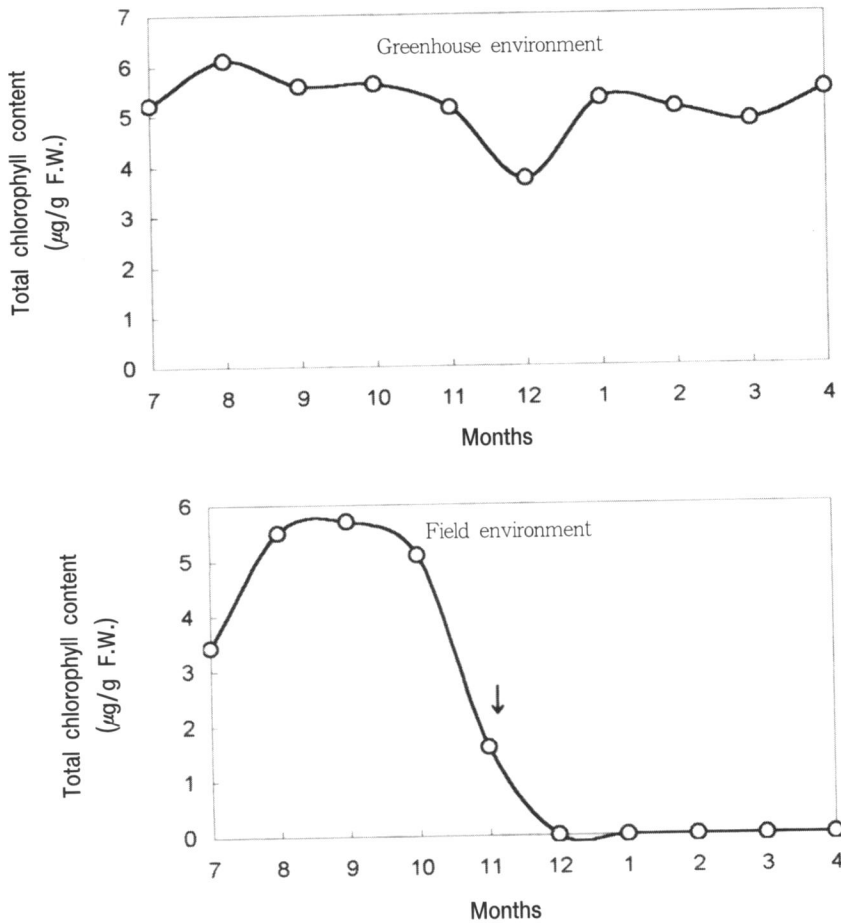


Fig. 7. Variation in total chlorophyll content of *Hibiscus syriacus* 'Honghwarang' grown in the greenhouse and field environment.

↓ Arrow indicates the time of leaf abscission.

다른 종들과 무궁화에서 나타나는 수분의 물리적 상태변화를 비교해보면, 포도나무에서는 단일처리 2주만에 free water양이 줄지만 외부환경에 대한 무궁화의 수분변화는 매우 완만하다는 것을 알 수 있었다. 이는 무궁화의 약한 내한성과도 관련을 지어볼 수 있는데 Choi와 Lee(1989)는 선단부의 눈이 내한성이 약하다고 하였으며, 저온 처리별로 보면 -15와 -20°C에서는 조직의 파괴를 보인다고 하였다. Lee 등(1997) 역시 -10°C에서 50%이상 저온의 해를 입는다고 보고하여 다른 온대산 낙엽관목들에 비해 내한성이 약하다는 것을 알 수 있다.

이런 결과를 종합하여 추론해 보면 무궁화는 저온 환경이 닥치더라도 수분의 양을 줄인다든지, free water 양을 최대한 줄이고 bound water의 양을 늘려 저온에 대처하는 기작이 빠르지 않다는 것을 알 수 있었다.

3. 고온환경에서의 무궁화 개화습성

전년도부터 온실에서 생육시켜 온 무궁화와 노지 상태의 무궁화 개화습성 차이를 알아보기 위하여 4월부터 그 이듬해 3월까지의 개화수를 측정하였다(Fig. 6). 고온환경의 경우 노지에서보다 3~5개월 정도의 빠른 개화를 보였으며 개화가 끝나는 시기는 노지와 유사하였고, 다음해인 2월초에 다시 개화를 시작하였다(Fig. 6). 이것은 Yu와 Yeam (1987)이 보고한 자연상태에서 '홍화랑'의 개화는 7월 10일경에 꽃이 피기 시작하여 7월 25일경에 가장 많은 꽃을 피우다가 9월 하순경 약간 꽃수가 증가한 후 서서히 줄어 10월 중순에는 꽃피우기를 중단하고, '배달'의 경우는 7월말부터 개화가 시작되어 8월 중순에는 매일 80여송이씩 꽃을 피우다가 9월 하순경 약간 완만하게 감소하다가 10월 중순 개화가 종료된다고 보고한 결과와 비교해 보면, 본 실험의 온실환경에서는 약 3-5개월 가량이 앞당겨진 결과이고, 개화가 끝나는 시기는 거의 비슷한 결과를 보인 것이다. 또한 2월 초에 다시 개화한 것은 무궁화가 장일처리를 받아야 개화하는 장일성 식물로 알려져 있지만, 본 실험에서 자연광의 온실상태 즉, 단일기간임을 감안하면 광주기

보다 온도에 반응하여 개화를 하였음을 알 수 있었다. 결과적으로 적정 온도만 갖추어지면 언제든지 꽃눈이 분화하여 개화를 할 수 있는 것이다. 이러한 온도와 광에 대한 식물의 반응은 식물에 따라 다른 반응을 보여 튼립나무는 광주기에 민감하여 단일이 되면 생육을 정지하고, 아까시나무와 자작나무는 온도가 내려가지 않으면 단일조건에서도 잎이 붙어 있다고 하였다. 무궁화의 경우도 온도에 민감한 반응을 나타내는 것으로 보인다.

따라서 온실과 자연상태에서 자라는 잎의 상태로 생육상태를 비교해 보기 위하여 7월부터 이듬해 4월까지의 엽록소 함량을 측정했다. 온실 무궁화의 경우 년중 거의 비슷한 엽록소 함량을 나타내어 잎이 떨어지지 않고 생육이 계속 진행중임을 알 수 있었다. 대조적으로 노지의 자연상태에서는 10월에 급격한 감소를 보이다가 11월에 잎이 탈거되어 그 이후에는 잎을 볼 수 없었다(Fig. 7).

대부분 온대산 목본 식물들이 가을철 일장과 온도가 감소함으로써 잎의 탈리작용이 일어나고 일정시간 이상의 저온처리를 받아야만 휴면이 타파되어 생장을 시작하는 반면 열대산 식물의 경우 휴면기간없이 적당한 온도만 주어진다면 낙엽현상없이 계속 영양생장과 생식생장과정을 반복하게 된다고 한다(Stino, 1987). 이런 관점에서 보면 25°C이상의 온실에서 생육하고 있는 무궁화의 경우 겨울동안에도 꽃을 피웠으며, 그 이듬해에도 다시 자연상태의 개화시기와 마찬가지로 꽃을 피우고 있었다. 이것은 년중 2회 이상의 개화를 보이는 것으로 온실조건만 갖추어지면 일장의 장단과는 관계없이 꽃눈이 형성되어 꽃을 피울 수 있다는 것을 알려준다.

IV. 결론

본 실험의 결과를 종합해 보면 무궁화는 우리나라 자연환경하에서 가을철 기온이 하강하면 낙엽이 지며 휴면에 들어가는 전형적인 온대산 낙엽관목의 휴면양상을 그대로 보이는데, 이러한 휴면 유발 요인인 저온의 환경을 바꿔 고온환경을 유지시키면 낙엽이 지지 않음을 알 수 있었다.

또한 고온환경에서 개화양상을 살펴 본 결과 저온 처리를 받지 않아도 꽃눈이 분화하여 꽃을 피울 수 있어 우리나라의 경우 25°C를 유지시키는 온실이나 실내 환경에서 언제든지 개화할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다. 이는 무궁화의 경우 온대산보다는 열대산 식물의 생리양상을 따른다는 것을 알 수 있었다.

이러한 결과는 식물학적 관점에서 나라꽃 무궁화는 열대원산에 가깝다는 사실을 알 수 있었고, 원예 식물의 관점에서는 연중개화가 가능한 실내식물로서의 이용가능성을 시사해 주었다.

인용문헌

- 1) Bradford, M. M., 1976, A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding, *Anal. Biochem.* 72: pp.248-254.
- 2) Brand, M. H., 1997, Shade influences plant growth, leaf color, and chlorophyll content of *Kalmia latifolia* L. cultivars, *HortScience* 32: pp.206-208.
- 3) Cakmax, I. and W. J. Horst., 1991, Effect of aluminium on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase, and peroxidase activities in root tips of soybean (*Glycine max*). *Physiol. Plant.* 83: pp.463-468.
- 4) Chen, S. W., 1987, Endogenous growth substance in relation to shoot growth and flower bud development of mango, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 112: pp.360-363.
- 5) Choi, J. G. and J. S. Lee., 1989, Studies on some principal factors involved in cold hardiness of *Hibiscus syriacus* L. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 30: pp.51-59.
- 6) Dhindsa, R. S., P. Plumb-Dhindsa, and T. A. Thorpe, 1981, Leaf senescence correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase, *J. Exp. Bot.* 32: pp.93-101.
- 7) Farrar, T. C. and E. D. Becker, 1971, *Pulse and fourier transform NMR*. Academic, New York.
- 8) Faust, M. and D. Liu, 1991, Bound versus free water in dormant apple buds, A theory for endodormancy. *HortScience* 25: pp.887-890.
- 9) Fennell A., C. Wake, and P. Molitor, 1996, Use of ¹H-NMR to determine grape bud water state during the photoperiodic induction of dormancy, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 121: pp.1112-1116.
- 10) Feys, M., W. Nasens, P. Tobback, and E. Maes, 1980, Lipoxygenase activity in apples in relation to storage and physiological disorders. *Phytochem.* 19: pp.1007-1011.
- 11) Flurkey, W. H. and J. J. Jen, 1978, Peroxidase and polyphenol oxidase activities in developing peaches, *Food Sci.* 43: pp.1826-1829.
- 12) Fuchigami, L. H. and M. Wisniewski, 1997, Quantifying bud dormancy: Physiological approaches, *HortScience* 32: pp.618-623.
- 13) Inskeep, W. P. and P. R. Bloom, 1985, Extinction coefficients of chlorophyll a and b in N, N-dimethyl-formamide and 80% acetone, *Plant Physiol.* 77: pp.483-485.
- 14) Kar, M. and D. Mishra, 1976, Catalase, peroxidase, and polyphenol oxidase activities during rice leaf senescence, *Plant Physiol.* 57: pp.315-319.
- 15) Killingbeck, K. T., J. D. May, and S. Nyman, 1990, Foliar senescence in an aspen (*Populus tremuloides*) clone, the response of element resorption to intermediate variation and timing of abscission, *Can. J. For. Res.* 20: pp.1156-1164.
- 16) Lee, H. S. and B. H. Kwack, 1993, Effects of uniconazole, GA, and light intensity on growth of *Hibiscus syriacus* for pot culture, *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 34: pp.81-89.
- 17) Lee, H. S., J. S. Lee, and B. H. Kwack, 1997, Cold hardness of *Hibiscus syriacus* cultivars and

- evaluation of assay methods in determination of cold hardness, J. Kor. Soc. Hort. Sci. 38: pp.541-545.
- 18) Levitt, J., 1980, Responses of plants to environmental stresses, Academic Press, New York, pp.3-18.
 - 19) Mehrotra H., 1990, Ethylene-promoted ascorbate peroxidase activity protects plants against hydrogen peroxide, ozone and paraquat, Plant Cell Environment 13: pp.93-976.
 - 20) Mooney, H. A., W. E. Winner, and E. J. Pell, 1991, Response of plants to multiple stresses, Academic press, San Diago, California, p.422
 - 21) Motonaka, K., T. Ozawa, and H. Imagawa, 1990, Changes in chloroplast peroxidase activities in relation to chlorophyll loss in barley leaf segments, Physiol. Plant, 80: pp.555-560.
 - 22) RDA, 1988, Soil chemical analysis method, Seoul, pp.219-217.
 - 23) Samet, J. S. and T. R. Sinclair, 1980, Leaf senescence and abscisic acid in leaves of field-grown soybean, Plant Physiol. 66: pp.1164-1168.
 - 24) Stino, G.R., 1987, Is growing temperate-zone fruits profitable in the tropics and subtropics, Hortscience 22: pp.1243-1244.
 - 25) Wareing, P. F., 1956, Photoperiodism in woody plants, Annu. Rev. Plant Physiol. 7: pp.191-214.
 - 26) Yu, T. Y. and D. Y. Yeam, 1987, National flower *Hibiscus syriacus* L. Hakweonsa, Seoul, pp.91-329.
 - 27) Yu, T. Y., D. Y. Yeam, and Y.J. Kim, 1975, A study on the characteristic of flowering in *Hibiscus syriacus* L. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 16: pp.106-113.