

자외선-B를 이용한 콘테이너묘 경화기술 개발

김종진* · 윤택승**

(*건국대학교 농업자원개발연구소 연구원 · **건국대학교 산림자원학과 대학원생)

Studies on the Hardening of Containerized Tree Seedlings by Using Ultraviolet-B Light

Jong-Jin Kim* · Teok-Seong Yoon**

*The Research Institute of Agricultural Resources Development, Kon-Kuk University

**Dept. of Forest Resources, Kon-Kuk University

적 요

본 연구는 시설에서 자란 콘테이너묘목의 경화과정에 UV-B의 이용 가능성을 탐색하고자 시설에서 4개월간 생육시킨 작나무 묘목을 대상으로 UV-B에 3.2 KJ m⁻² day⁻¹과 5.2 KJ m⁻² day⁻¹ 수준의 UV-B와 함께 수분감소처리를 4주간 실시하여 경화처리전, 후의 생장 및 생리적 특성을 비교 분석하였다. UV-B 또는 수분감소처리는 처리기간동안의 수고생장, 건물량축적을 감소시켰으며 수분감소처리는 근원경생장을 증진시켰다. 경화처리 이전에서의 뚜렷한 견종량 감소는 묘목의 T/R율에 영향을 미쳐 뿌리의 감소는 없었으나 이전에서의 감소가 가장 많았던 수분감소처리구에서 1.71로 가장 낮았다. 엽록소 형성은 UV-B 5.2에서 가장 낮았으며 UV-B 3.2와 수분감소처리에서는 비슷한 수준을 나타내었다. UV-B 또는 수분감소처리는 콘테이너묘목의 함수율, 수분포텐셜을 낮추었으며 삼투압을 높였다. 이상과 같은 결과를 보면, UV-B에 의한 성장반응 및 수분생리 변화는 수분감소처리와 유사한 면이 관찰되었다.

1. 서론

콘테이너양묘는 생육기간이 짧은 북유럽과 캐나다 등 고위도지방에서 시작된 속성양묘방법으로 오늘날에 와서는 세계 각지에서 사용되고 있다⁶⁾. 근래에 우리나라에서도 양묘노동력 투입을 최소화하고 조립시기를 폭넓게 선택하기 위하여 계절에 구애받지 않고 건전한 묘목을 단기간에 생산하고자 시설을 이용한 콘테이너 양묘생산이 시도되고 있다.

시설에서 집약적 관리로 생산된 콘테이너묘목은 조직이 연약하여 바로 조립지에 식재하면 기후, 또는 주변의 환경조건에 따라 여러 가지 피해를 받기 쉬

우므로 조립지 출하전 경화과정이 필요하다¹⁷⁾. 현재 사용되고 있는 콘테이너 묘목의 경화방법을 보면 콘테이너양묘가 시작된 캐나다 등지에서는 조직을 경화시켜 내한성을 높이기 위해 단일처리, 수분감소처리와 온도를 낮추는 방법을 많이 사용하고 있다^{10,19)}.

시설에서 자라는 콘테이너묘목이 적정 수고 기준치의 80~90%에 도달하면 경화처리를 시작하게 되는데¹⁷⁾ 지역과 수종에 따라 경화처리 종류 및 방법이 다른 것은 물론, 조립시기에 따라라도 달리 실시한다. 콘테이너묘목이 생육된 당해연도 또는 월동후 이듬해 식재될 경우의 경화방법을 보면, 우선 당해연도의 경우는 경화처리에 의해 묘목이 휴면에 들어가지 않도록 부분적인 피움과 외부공기에 노출시키는 방법

으로 점진적으로 경화시키고, 월동묘목의 경화는 반드시 휴면 및 동아형성을 시켜야 하기 때문에 일장 단축, 수분감소처리, 시비감소 및 시비성분 조절, 저온처리 등의 방법을 사용한다¹⁵⁾. 한편 뚝 등⁵⁾은 소나무, 낙엽송, 상수리, 자작나무의 시설양묘시 생육 4개월 후 1개월간의 묘목경화기간을 제안하면서, 관수는 주 1-2회, 시비는 칼리질비료를 추천하였다.

경화처리동안 컨테이너묘목은 수고생장이 둔화 또는 정지되고 직경, 뿌리생장이 상대적으로 촉진되는 것으로 알려져 있는데¹⁷⁾, 수분, 빛, 온도처리 등에 의한 과도한 경화처리를 피하기 위하여 수중에 따라 묘목컨테이너의 중량감소 한계치를 설정하여 경화처리에 이용하고 있다. Styroblock 211을 사용한 spruce(*Picea* spp.)와 lodgepole pine(*Pinus contorta*) 양묘의 경우 경화과정동안 묘목컨테이너의 중량감소가 3kg 이상이 되지 않도록 경화과정을 설계하고 있다¹⁹⁾.

위에서와 같이 현재 국내외적으로 컨테이너묘목의 경화처리는 주로 빛, 관수, 비료 등의 조절을 이용한 경우가 대부분으로 본 연구에서와 같이 紫外線-B(UV-B)를 이용한 컨테이너묘목의 조직경화처리의 보고는 아직 찾지 못하였다. 최근에 Bornman과 Teramura¹¹⁾는 식물에 대한 紫外線-B 효과를 광범위하게 고찰하였으며, 양묘시 수분 stress와 관련되어 관찰되는 잎의 형태변화, 광합성저하, 생장감소 등과 같은 형태적, 생리적변화^{18,23,24)}가 자연적 또는 인위적으로 紫外線-B에 노출된 식물에서도 흔히 관찰된다^{21,27,29)}.

따라서 본 연구에서는 4개월간 생육시킨 자작나무묘를 공시재료로 하여 紫外線-B처리와 수분처리를 실시한 후 묘목의 硬化정도를 형태적, 생리적 특성면으로 비교 관찰하여 묘목의 경화과정에 紫外線-B의 이용 가능성을 탐색하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

본 실험에 사용한 자작나무 종자는 임업연구원 중부임업시험장으로부터 제공받은 춘천관리소 채집종자이다. 정선한 상기 종자를 피트모스, 펄라이트 및 질석을 1:1:1(v:v:v) 비율로 혼합한 배양토를 담은

플라스틱 포트(4cm×4m×15cm)에 10粒씩 파종하고 18개의 파종포트를 하나의 플라스틱 상자에 담아 건국대학교 수목생리학 실험실내 growth chamber에 두었다. 발아후 육안으로 건전하고 균일한 幼苗 1본만을 남기고 제거하였다.

Growth chamber내의 광원은 금속할로겐등이며 광도 PAR(photosynthetically active radiation, 400~700nm)는 묘목의 생장에 따라 묘목의 상부에 도달하는 광도는 차이가 있었으나 350~450 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 수준이었다(LI-1800 spectroradiometer, Li-COR, USA). Growth chamber내의 온도는 25°C를 유지하였으며 日長은 16시간으로 하였다.

관수는 주 2~3회 충분한 양을 공급하였으며 유묘 발아 1개월후부터 하이포넥스 4000배액을 주 2회 시비하였으며 2개월 이후부터는 농도를 2000배로 시비하였다.

묘목의 경화처리는 생육 4개월후부터 수분감소처리와 紫外線-B(UV-B)처리를 4주간 실시하였는데 우선, 수분감소처리는 주 2~3회 관수처리의 대조구와 UV-B처리구와 달리 주 1회로 설계하였다.

UV-B처리는 건국대학교 수목생리학 실험실내 UV chamber에서 실시하였다. UV-B lamp는 Philips사의 TL 20/12이며 lamp는 양 옆면과 윗면에 0.5cm 두께의 투명 아크릴로 만들어진 기구에 고정하였다. UV-B는 태양광선중 280~320nm 파장을 지닌 광선을 말하는데 실지로 지구표면에 도달하는 UV-B는 290nm 이상으로 알려져 있다¹³⁾. 반면에 인공적인 UV-B lamp는 생물에 큰 피해를 주는 290nm 이하 270nm 파장대의 광선도 照射하므로 본 실험에서 UV-B처리는 290nm까지만 통과시키는 0.095mm 두께의 cellulose acetate film(CA film, Courtaulds Chemicals, Derby, UK)을 사용하여 lamp가 고정되어 있는 상기 아크릴기구 아랫면에 부착하여 실시하였다. 대조구는 320nm이하의 광선은 흡수하는 0.125mm 두께의 polyester film(PE film, 선경화학)을 사용하였으며, CA, PE film은 1주일 간격으로 교체하여 균일한 파장의 광선이 照射되도록 하였다. CA, PE film을 부착한 50cm 아래의 UV-B lamp의 spectral irradiance는 (Fig. 1)과 같다.

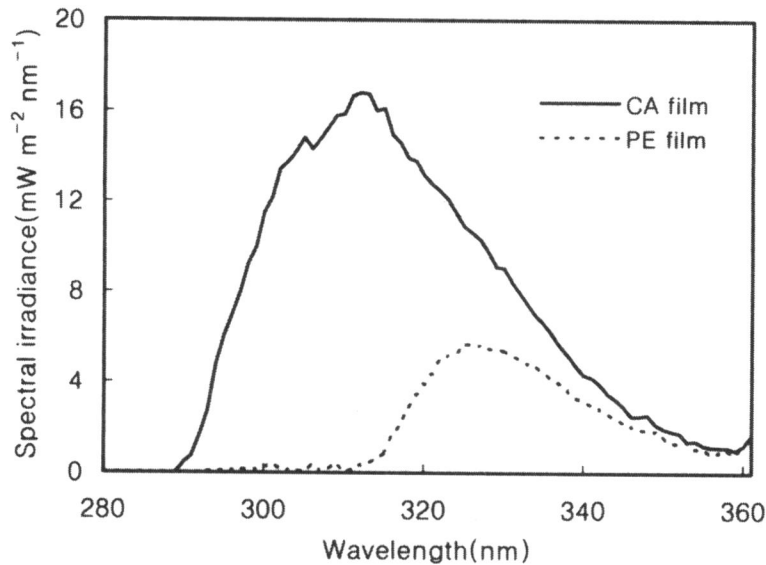


Fig. 1. The Spectral distribution of UV-B radiation at 50cm beneath a filtered TL 20/12 lamp.

UV-B처리는 10시부터 오후 2시까지 4시간 동안 묘목을 growth chamber로부터 이동시켜 실시하였으며 照射量은 대조구와 함께 묘목상부와 lamp와의 거리를 50cm와 70cm로 달리하여 각각 $5.2 \text{ KJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ UV-B_{BE}(biologically effective UV-B)와 $3.2 \text{ KJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 의 2 수준으로 설계하였다. 본 실험의 $5.2 \text{ KJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 은 계절에 따라 차이는 있지만 현재 우리나라에서 하루에 지표면에 도달하는 UV-B의 양과 비슷한 수준이다⁸⁾. Caldwell¹²⁾은 UV-B의 파장에 대한 식물들의 여러 가지 반응을 종합화한 작용스펙트럼을 만들고 UV-B의 강도를 생물학적 영향량(biologically effective UV-B : UV-B_{BE})이라는 공식으로 평가하였다.

$$\text{UV-B}_{\text{BE}} = \int_{280}^{315} I_{\lambda} \cdot E_{\lambda} \cdot d\lambda$$

여기서 I_{λ} 는 파장 λ 에서의 광에너지이며 E_{λ} 는 파장 λ 에서의 상대적 영향계수이다. 이 상대적 영향계수는 Caldwell의 작용스펙트럼에서 300nm에서의 영향을 기준으로 각 파장에서의 상대 영향치를 구한 값이다. UV-B 照射量은 Microvolt Integrator(Type MV2, Delta-T Devices Ltd, UK)에 연결된 UV Sensor(Type UV-B, Delta-T Devices Ltd, UK)와 LI-1800 spectroradiometer(Li-COR, USA)로 측정하였다. UV

chamber내 UV-B lamp 상부에는 형광등(12개 × 20W), 백열등(15개 × 60W), 나트륨등(2개 × 400W)을 설치하여 묘목상부에 도달하는 PAR를 $150 \sim 180 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 수준으로 하였다.

4개월의 생육기간 후 및 4주간의 경화처리후의 수고, 근원경생장을 측정하였으며, 경화처리전, 후의 생중량 및 처리후의 건중량을 조사하여 엽내 함수율을 구하였다. 처리기간동안 묘목의 형태적 변화를 조사하였으며 묘목의 상부 및 하부 잎의 수분포텐셜을 pressure chamber를 이용하여 측정하였고, 삼투압은 vapor pressure osmometer 5500(Wesco, USA)를 이용 측정하였다. 엽록소 측정은 묘목의 정단부로부터 2~3번째 잎을 대상으로 SPAD-502 chlorophyll meter(Minolta, Japan)를 이용하여 잎을 채취하지 않고 측정하였다. 이러한 엽록소 측정기를 이용한 엽록소 측정법은 근래에 와서 우리나라에서도 많이 사용되고 있는데^{1,3)} 기존의 유기용매 추출법과는 달리 잎을 채취하지 않고 측정할 수 있는 방법으로 엽록소 측정기의 엽록소 지수는 유기용매 추출 엽록소값과 차이가 거의 없는 값으로 환산된다^{26,32)}. 건조처리구의 묘목에 대한 모든 측정은 재관수전에 실시하였다. 각

처리구의 묘목본수는 18개의 포트를 담은 4개의 상자로서 처리구당 72본이었다.

III. 결과

1. UV-B와 수분감소처리에 따른 수고, 근원경생장, 건물량 및 T/R율

4주간의 처리기간 동안의 수고생장율은 2수준의 UV-B(3.2와 5.2 KJ m⁻² day⁻¹)와 수분감소처리에 의

해 대조구에 비해 2~2.5배 정도 감소하였다(Table 1). 3종류의 처리사이에 유의성은 없었으나 수분감소처리에 따른 수고생장 감소가 가장 컸다. 한편 근원경생장은 UV-B처리에 의해서는 대조구에 비해 생장이 감소하였으나 수분감소처리에서는 오히려 증가하였다.

UV-B 또는 수분감소처리에 따른 콘테이너묘목의 잎, 줄기, 뿌리건물량은 모든 시험처리구에서 대조구에 비해 감소되었다(Table 2). UV-B 3.2처리에 의한 잎의 건물량은 3처리중 가장 낮은 감소율을 보였으

Table 1. Effects of water stress or supplemental UV-B radiation for 4 weeks on height and root collar diameter growth rate(%) of container-grown *Betula platyphylla* seedlings.

Treatment	Growth rates(%) ¹	
	Height	Root collar diameter
Control	10.0±0.959a	13.9±1.093b ²
Water stress	3.6±0.400b	16.8±2.374a
UV-B _{BE} (KJ m ⁻² day ⁻¹)		
3.2	5.7±1.000b	9.5±1.104bc
5.2	4.6±0.783b	8.9±1.236c

¹Growth rates are the ratios of the seedling growth after treatment to the growth for 4 months before treatment. ²Means±SE are presented. Different letters in each column indicate significant differences according to Duncan's multiple range test(p=0.05).

Table 2. Effects of water stress or supplemental UV-B radiation for 4 weeks on dry mass accumulation in container-grown *Betula platyphylla* seedlings.

Treatment	Dry weight(g)				
	Leaves	Shoots	Roots	Total	T/R
Control	0.515±0.011a	0.246±0.011ns	0.396±0.015ns	1.157±0.037a	1.92±0.039a1
Water stress	0.445±0.009c	0.237±0.006ns	0.409±0.013ns	1.092±0.023ab	1.71±0.040b
UV-B _{BE} (KJ m ⁻² day ⁻¹)					
3.2	0.484±0.008ab	0.231±0.011ns	0.380±0.015ns	1.095±0.009ab	1.89±0.110a
5.2	0.460±0.008bc	0.216±0.008ns	0.372±0.007ns	1.048±0.024b	1.82±0.013ab

¹Means±SE are presented. Different letters in each column indicate significant differences according to Duncan's multiple range test(p=0.05), ns means not significant.

며 UV-B 5.2와 수분감소처리는 서로 비슷한 수준이었다. 줄기의 건물량을 보면 UV-B 3.2의 경우 0.237g으로 수분감소처리의 0.231g과 비슷하였으며 UV-B 5.2에서는 0.216g으로 가장 적은 건물량이었다. 뿌리의 경우는 UV-B처리에 의해 대조구보다 다소 감소하였으며 UV-B 처리수준간의 차이는 없었다. 유의성은 없었으나 수분감소처리에 의해서는 건물량 증가가 관찰되었다. 묘목 전체의 건물량은 대조구, UV-B 3.2 처리, 수분감소처리, UV-B 5.2처리순으로 많았다.

T/R율을 보면 대조구가 1.92로서 가장 높았으며 UV-B 3.2와 5.2는 각각 1.89와 1.82를 기록하여 대조구보다 낮은 값을 나타내었다.

2. UV-B와 수분감소처리에 따른 잎의 엽록소 지수

UV-B 또는 수분감소처리를 받은 묘목 상부 잎의 엽록소 지수 변화는 UV-B 5.2에서 17.7로 가장 낮은

지수를 보였으며 UV-B 3.2와 수분감소처리는 각각 19.3, 19.7로 비슷한 수준을 보였다(Fig. 2).

3. UV-B와 수분감소처리에 따른 컨테이너묘목 내 함수율

UV-B 또는 수분감소처리후의 묘목내 함수율 변화를 보면 부위별로 다른 양상을 나타내었다(Table 3). 우선 묘목전체의 함수량은 3처리구 모두 대조구에 비해 낮은 함수율을 보였다. UV-B처리 수준에 따른 차이는 없었으나 처리시간 경과에 따라 UV-B 3.2처리 4주후에는 2주후에서보다 다소 증가한 함수율을, UV-B 5.2에서는 감소된 함수율을 보였다. 처리별 변화를 보면 UV-B처리에 의한 함수율 감소가 수분감소처리에서보다 더 크게 나타났다.

부위별 변화에서 잎의 경우는 2수준의 UV-B처리에 의한 함수율은 UV-B 5.2처리에서 다소 높게 나타났으며, 2수준의 UV-B처리 모두에서 처리 2주후보다

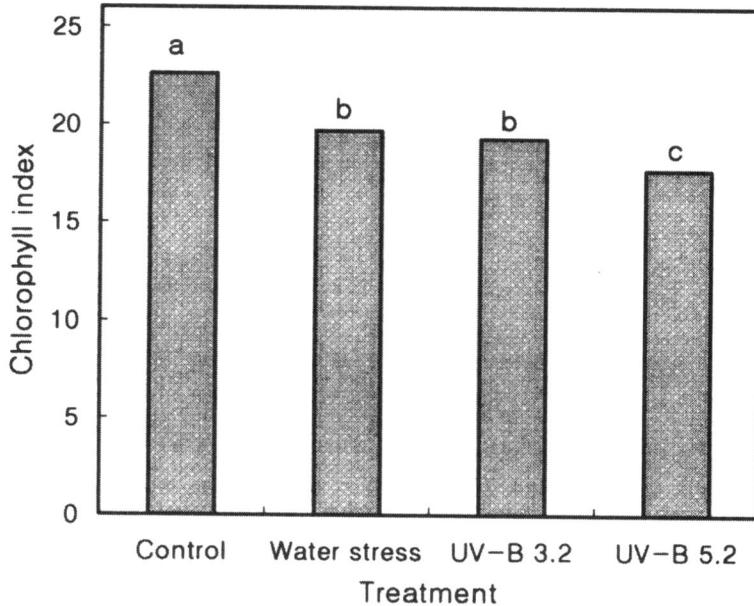


Fig. 2. Effects of water stress or supplemental UV-B radiation for 4 weeks on changes in chlorophyll index of container-grown *Betula platyphylla* seedlings.

Chlorophyll index were measured with a SPAD-502 chlorophyll meter, UV-B 3.2 means UV-B_{BE} 3.2 KJ m⁻² day⁻¹. Different letters above each bar indicate significant differences according to Duncan's multiple range test(p=0.05).

4주후의 함수율이 다소 증가하는 결과를 나타내었다. 수분감소처리에 의해서는 함수율이 처리시간 경과에 따라 지속적으로 감소되었지만 UV-B처리보다는 함수율이 높았다.

줄기의 함수율은 다른 부위에 비해 처리에 따른 감소율이 가장 크게 조사되었다. UV-B처리의 경우,

UV-B 3.2에서는 처리 2주후의 함수율은 UV-B 5.2보다 조금 낮았지만 4주후에는 반대로 나타났다. 수분감소처리에 의해서는 앞에서의 결과와 비슷한 지속적인 감소양상이었는데 처리 2주후의 함수율은 UV-B에서보다 다소 높았으나 4주후의 함수율은 처리중 가장 낮은 48.1%로 나타났다.

Table 3. Effects of water stress or supplemental UV-B radiation for 4 weeks on changes in water content(%) of container-grown *Betula platyphylla* seedlings.

Treatment	Weeks after treatment		
	0	2	4
Plant	67.8		
Control		68.4±1.588a	65.2±0.546a ¹
Water stress		62.7±0.681b	62.6±0.663b
UV-B _{BE} (KJ m ⁻² day ⁻¹)			
3.2		60.2±2.364b	61.1±1.069bc
5.2		60.7±1.344b	59.8±0.862c
Leaves	68.7		
Control		69.3±1.189a	67.8±0.650a
Water stress		67.0±1.716ab	64.3±0.814b
UV-B _{BE} (KJ m ⁻² day ⁻¹)			
3.2		61.8±1.362c	63.0±1.060b
5.2		63.6±0.536bc	64.0±1.530b
Shoots	61.2		
Control		59.3±1.855a	56.7±1.386a
Water stress		53.8±1.196b	48.1±1.386b
UV-B _{BE} (KJ m ⁻² day ⁻¹)			
3.2		48.9±0.448c	51.1±1.953b
5.2		50.6±0.450bc	49.2±0.346b
Roots	68.8		
Control		69.9±2.099a	66.2±1.021a
Water stress		64.3±0.803ab	64.3±0.808a
UV-B _{BE} (KJ m ⁻² day ⁻¹)			
3.2		62.1±3.200b	62.9±1.620ab
5.2		61.1±2.494b	58.8±2.143b

¹Means±SE are presented. Different letters in column of each organ indicate significant differences according to Duncan's multiple range test(p=0.05).

뿌리의 함수율은 잎과 줄기와는 다른 변화양상을 보였는데, UV-B처리를 보면 처리시간 경과에 관계 없이 UV-B 3.2에서 UV-B 5.2보다 높은 함수율을 보였고 수분감소처리에 의한 함수율은 대조구보다는 다소 낮았지만 처리시간 경과에 따른 감소는 나타나지 않았다. 처리 4주후의 처리구간의 함수율은 대조구, 수분감소처리, UV-B 3.2처리, UV-B 5.2처리순으로 높게 나타났다.

4. UV-B와 수분감소처리에 따른 잎의 함수율, 수분포텐셜 및 삼투압

4개월간 생육시킨 자작나무 컨테이너묘의 잎의 함수율은 68.7%로 나타났다(Table 3). 하지만 전체 잎의 함수율과는 달리 묘목의 상부와 하부 잎의 함수율은 각각 64.1%와 71.7%로 하부 잎의 함수율이 상

대적으로 높았다(Table 4). UV-B 또는 수분감소처리에 의해서 상부와 하부 잎의 함수율은 처리별 차이 없이 비슷한 수준으로 낮아졌다.

잎의 수분포텐셜은 처리전 상부 잎은 -0.92MPa, 하부 잎은 -0.71MPa로 상부 잎이 -0.21MPa 정도 낮은 수준을 기록하였다(Table 4). UV-B 또는 수분감소처리후의 잎의 수분포텐셜은 상부와 하부 잎에서 다른 반응을 보였다. 상부 잎을 보면 가장 낮은 수분포텐셜을 나타낸 UV-B 5.2에서 대조구의 -0.88MPa과 비교해 -1.24MPa를 기록한 반면, UV-B 3.2에서는 -0.85MPa로 대조구와 비슷한 수준이, 수분감소처리에 의해서는 -1.09MPa이 측정되었다.

잎의 삼투압변화를 보면 수분포텐셜과 마찬가지로 상부 잎과 하부 잎의 삼투압차이를 보였는데 각각의 처리전 삼투압은 상부 잎에서 409mmol kg⁻¹을, 하부 잎에서 376mmol kg⁻¹로 조사되었다. UV-B 또는 수분

Table 4. Effects of water stress or supplemental UV-B radiation for 4 weeks on leaf water content(WC), water potential(WP) and osmotic pressure(OP) of container-grown *Betula platyphylla* seedlings.

Treatment	Before treatment			After treatment		
	WC (%)	WP (MPa)	OP (mmol kg ⁻¹)	WC (%)	WP (MPa)	OP (mmol kg ⁻¹)
Upper leaves	64.1	-0.92	409			
Control				64.5a	-0.88a	441b ¹
Water stress				58.9b	-1.09b	522a
UV-B _{BE} (KJ m ⁻² day ⁻¹)						
3.2				58.4b	-0.85a	538a
5.2				58.4b	-1.24c	572a
Lower leaves	71.7	-0.71	376			
Control				70.1a	-0.67a	399b
Water stress				64.6b	-0.85b	523a
UV-B _{BE} (KJ m ⁻² day ⁻¹)						
3.2				66.5b	-0.65a	521a
5.2				65.5b	-0.85b	517a

¹Different letters in each column of upper and lower leaves indicate significant differences according to Duncan's multiple range test(p=0.05).

감소처리를 받은 상부 잎의 삼투압변화를 보면 UV-B 5.2에서 572mmol kg⁻¹로 가장 높은 삼투압을, UV-B 3.2에서는 538mmol kg⁻¹, 수분감소처리에서는 처리 중 가장 낮은 522mmol kg⁻¹를 기록하였는데 대조구의 441mmol kg⁻¹보다는 상대적으로 매우 높은 삼투압을 나타내었다. 하부 잎에서는 처리사이에 큰 차이는 없이 517~523mmol kg⁻¹의 값을 보였지만 역시 대조구의 399mmol kg⁻¹보다는 높은 삼투압의 변화가 처리후 나타났었다.

IV. 고찰

임업 시설양묘시 실시하는 묘목의 경화처리 단계에 UV-B의 적용 가능성을 탐색하고자 4개월간 생육시킨 자작나무 콘테이너묘목을 4주동안 3.2 KJ m⁻² day⁻¹(UV-B 3.2)과 5.2 KJ m⁻² day⁻¹(UV-B 5.2) 수준의 UV-B처리와 수분감소처리를 따로 실시하여 경화과정 또는 후에 나타나는 몇가지 성장 및 생리적 특성을 비교하였다. UV-B는 식물의 생리, 생화학적 대사에 영향을 미쳐 대부분의 식물들의 성장(수고, 엽면적, 건물량 등)을 억제시키는데^{21,13,29}, 식물종과 생태종에 따라서는 UV-B의 영향을 받지 않거나 오히려 생장이 증가되는 경우도 있다^{22,25}. 이러한 생장억제에는 식물이 노출되는 UV-B의 량과도 밀접한 관계가 있다^{12,29}. 한편 식물의 성장을 제어하는 중요한 하나의 수분을 들 수 있는데 식물이 수분 stress에 영향받는 여러 parameter 가운데 세포생장이 가장 민감한 것으로 알려져 있으며, 수분 stress에 대한 세포생장반응은 세포벽합성과 연관되어 식물생장의 지연 또는 억제로 나타난다¹⁶. 본 실험에서와 같이 임업 시설양묘시 경화처리과정에 도입되고 있는 수분감소처리는 경화과정동안 생장을 억제시키면서 묘목내 여러 생리대사과정의 변화를 통하여 묘목을 경화시켜 식재될 조림지 환경의 stress에 잘 적응하도록 실시하고 있다.

본 실험에서 UV-B에 의해 수고성장, 근원경성장, 건물량축적이 억제되었는데 반해, 수분처리에 의해서는 수고생장은 가장 낮은 성장율을 보였지만 근원경생장은 증가하였으며 건물량은 감소하였다(Table 1,

2). 수분 stress에 대한 수목의 성장반응은 수종에 따라 다른데 물오리나무와 리기테다소나무는 수고생장의 차이가 컸고 잣나무는 수고생장은 차이가 적었으나 근원경성장 차이가 크게 나타났다⁴. UV-B에 의한 수목의 수고성장, 건물량축적 감소가 피나무³, *Pinus* spp.²⁵에서도 관찰되었으며 Mediterranean pines(*P. pinea*, *P. halepensis*)의 경우에는 수고생장과 각 부위별 건물량 증가가 관찰되었는데 이는 UV-B가 지중해 지방의 여름철 건조조건의 영향을 부분적으로 완화시킨 결과로 설명하고 있다²²).

한편 또다른 경화처리의 하나인 단일처리는 white spruce(*Picea glauca*)나 black spruce(*P. mariana*)의 수고성장, 근원경 성장 및 줄기의 건물량을 감소시켰는데, 뿌리의 건물량은 단일처리에 의해 white spruce는 감소하였으나 black spruce에서는 증가되었다¹⁰. 이와 같이 경화처리에 대한 성장반응은 수종에 따라 다르게 반응하고 있으며 수고, 근원경생장의 증·감이 건물량축적의 증·감과 꼭 일치하지는 않는다는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 UV-B처리에서도 나타나고 있다²⁹.

경화처리후 건전한 콘테이너묘목 T/R율의 최소 기준치는 수종에 따라 다르지만 white spruce의 경우에는 1.5~2.0, lodgepole pine의 경우는 1.0~1.5를 삼고 있다³¹. 본 실험에서 UV-B처리에 의해 낮아진 T/R율(Table 2)은 UV-B처리에 의해 지상부 및 지하부의 생장이 대조구보다 감소하였지만 상대적으로 뿌리의 감소량보다 잎의 감소량이 많았던 이유로 해석된다. 수분감소처리에 의해서는 1.71을 기록하여 처리 중 가장 낮은 T/R율을 보였다. 이러한 현상은 수분감소에 의해 잎의 생장은 처리중 가장 적었지만 상대적으로 뿌리의 생장이 감소되지 않은 결과로 사료된다. 반대로 loblolly pine(*P. taeda*)의 경우는 수분 stress에 의해 줄기의 성장보다 뿌리의 성장감소가 더 커 T/R율이 더 높게 나타났다²³.

UV-B와 잎 엽록소와의 관계에 대한 연구는 일찍부터 많은 연구가들에 의해 탐구되었는데, 식물전체의 건물량 감소와 순광합성량의 감소는 엽내 엽록소 농도의 감소와 관계가 있으며²⁷ 높은 수준의 UV-B는 엽록소 a보다 엽록소 b의 합성을 억제하여 엽록

소 a/b율을 높인다고 한다³⁰⁾. Fig. 2를 보면 상대적 높은 수준인 UV-B 5.2에서 낮은 값의 엽록소 지수를 기록하여 UV-B에 의해 엽록소 형성이 영향받은 것을 알 수 있으며³²⁾ 엽록소형광 분석법으로 관측한 결과 UV-B처리묘의 엽록소 농도는 대조구의 70% 수준인 것으로 나타났다¹⁴⁾. UV-B 3.2와 수분감소처리에서는 비슷한 엽록소 지수가 측정되었는데 수분 stress는 엽록소함량을 감소시키는 것으로 알려져 있다²⁰⁾.

시설에서 자란 컨테이너묘목은 포장에서 자란 묘목에 비하여 수분이 많고 연약한 조직을 가지고 있어 경화과정동안 특히, 잎의 경우 큐티클층과 왁스층이 두꺼워지고 표피조직이 형태적 변화를 하면서 점진적으로 경화되어진 모습을 갖는다¹⁸⁾. 따라서 경화 처리에 따른 묘목내 수분과 관련된 함수율, 잎의 수분포텐셜 및 삼투압 등의 변화는 경화과정의 중요한 요소로 판단된다. Balakumar 등⁹⁾에 의하면 cowpea (*Vigna unguiculata*)식물은 UV-B와 수분 stress에 의해 잎의 함수율이 감소되었으며, 본 실험의 UV-B 또는 수분감소처리는 자작나무의 함수율을 대조구에 비해 감소시켰다(Table 3, 4). 한편, UV-B에 의한 잎과 줄기의 함수율을 보면 경화처리 2주후에는 수분감소처리보다 함수율이 낮았으나 4주후에는 차이가 없었다. 이는 UV-B처리에 의해서는 빠른 함수율 감소가 일어났으나 수분감소처리에 의해서는 보다 서서히 일어났음을 의미한다. 뿌리의 경우는 처리기간의 큰 차이는 없었으나 상대적 높은 수준인 UV-B 5.2에서 가장 낮은 함수율을 기록하였다.

UV-B 또는 수분감소처리에 따른 수분포텐셜과 삼투압의 변화를 보면, UV-B 5.2와 수분감소처리에 의해 자작나무 상부 잎의 수분포텐셜은 낮아져 각각 -1.24Mpa, -1.09Mpa을 기록한 반면 상대적으로 낮은 UV-B 3.2에서는 수분포텐셜의 변화가 없었다(Table 4). 식물이 수분 stress를 받게되면 수분포텐셜이 낮아지게 되는데^{7,18,28)}, Teramura 등²⁸⁾에 의하면 UV-B에 의한 수분포텐셜의 저하는 수분 stress가 클 때 더욱 크다고 보고하였다. 한편, 경화처리 잎의 삼투압은 대조구에 비하여 높아졌는데(삼투포텐셜 저하) 이러한 삼투조절은 세포질내의 설당, proline, 유기물 등의 합

성농도와 관련있는데 stress를 받은 식물에서 볼 수 있는 현상이다^{16,18,24)}.

V. 결론

본 연구는 시설에서 자란 컨테이너묘목의 경화과정에서 UV-B의 이용 가능성을 탐색하고자 시설에서 4개월간 생육시킨 자작나무 묘목을 대상으로 건국대학교 수목생리연구실내 시설양묘를 위한 growth chamber와 UV growth chamber에서 수행되었다. 경화처리는 UV-B_{BE} 3.2 KJ m⁻² day⁻¹과 5.2 KJ m⁻² day⁻¹ 수준의 UV-B와 함께 수분감소처리를 4주간 실시하여 경화처리전, 후의 생장 및 생리적 특성을 비교 분석하였다. UV-B 또는 수분감소처리는 처리기간동안의 수고생장, 건물량축적을 감소시켰으며 수분감소처리는 근원경생장을 증진시켰다. 경화처리 잎에서의 뚜렷한 건중량 감소는 묘목의 T/R율에 영향을 미쳐 뿌리의 감소는 없었으나 잎에서의 감소가 가장 많았던 수분감소처리구에서 1.71로 가장 낮았다. 엽록소형성은 UV-B 5.2에서 가장 낮았으며 UV-B 3.2와 수분감소처리에서는 비슷한 수준을 나타내었다. UV-B 또는 수분감소처리는 컨테이너묘목의 함수율, 수분포텐셜을 낮추었으며 삼투압을 높였다. 이상과 같은 결과를 보면, UV-B에 의한 생장반응 및 수분생리적 변화는 수분감소처리와 유사한 면이 관찰되었다. 이러한 결과는 본 연구의 목적인 시설 컨테이너묘의 경화과정에 UV-B의 이용 가능성 탐구에 일부 부합되지만, 아직은 많은 부분이 미진한 상태로 판단된다. 따라서 앞으로 이 분야를 더욱 탐구하여 부족한 부분을 메울까 한다. 특히 임업 시설양묘 뿐만 아니라 시설원예작물에도 적용 가능성을 탐색하기 위하여는 식물종에 따른 적정 UV-B dosage 판단이 중요하리라 사료된다.

인용문헌

- 1) 金甲泰, 嚴泰元, 1996, 인공산성연무의 처리가 몇 활엽수종의 엽피해와 엽표면의 친수성에 미치는 영향, 한국임학회지 85, pp.577-585.
- 2) 金鍾眞, 洪性珏, 1993, 자외선-B 조사가 피나무

- 유묘의 Hook 열림에 미치는 영향, 한국임산에
너지학회지 13, pp.78-84.
- 3) 金鍾眞, 洪性珏, 1996, 환경적 스트레스 자외
선-B 조사에 의한 피나무 유묘의 초기생장특
성, 한국환경농학회지 15, pp.448-454.
 - 4) 吳正洙, 李明甫, 1987, 주요 조림수종의 유시생
장특성과 수분조건에 관한 생리생태적 연구,
임연연보 35, pp.43-53.
 - 5) 吳正洙, 李明甫, 洪性珏, 1988, 단기건묘생산을
위한 컨테이너 양묘사업법 개발, 임연연보 36,
pp.1-9.
 - 6) 李貞植, 1996, 외국의 임업 양묘현황과 기술체
계, 한국양묘협회지 24, pp.19-35.
 - 7) 洪性珏, 金鍾眞, 1998, 암반질개사면 녹화용 강
건묘목의 속성육묘법에 관한 연구, 한국환경농
학회지 17(인쇄중)
 - 8) Bachelet, D., P. W. Barnes, D. Brown, M.
Brown, 1991, Latitudinal and seasonal variation
in calculated ultraviolet-B irradiance for rice-
growing regions of Asia, Photochem, Photobiol.
54, pp.411-422.
 - 9) Balakumar, T., V. Hani Babu Vincent and K.
Paliwal, 1993, On the interaction of UV-B
radiation(280-315) with water stress in crop
plants, Physiol. Plant, 87, pp.217-222.
 - 10) Bigras, F. J. and A. L. D' Aoust, 1992, Hardening
and dehardening of shoots and roots of contain-
erized black spruce and white spruce seedlings
under short and long days, Can. J. For. Res, 22,
pp.388-396.
 - 11) Bornman, J. F. and A. H. Teramura, 1993,
Effects of ultraviolet-B radiation on terrestrial
plants, In: Environmental UV Photobiology, A.
R. Young et al. (eds.), Plenum Press, New York,
pp.427-471.
 - 12) Caldwell, M. M, 1971, Solar UV irradiation and
the growth and development of higher plants,
In: Photophysiology vol. 6, A. C. Giese (ed.),
Academic Press, NY, pp.131-177.
 - 13) Caldwell, M. M, 1977, The effects of solar UV-
B radiation(280-315nm) on higher plants,
implications of stratospheric ozone reduction, In:
Research in Photobiology, A. Castellani (ed.),
Plenum Press, NY, pp.597-607.
 - 14) Day, T. A. and T. C. Vogelmann, 1995, Altera-
tions in photosynthesis and pigmentdistributions in
pea leaves following UV-Bexposure, Physiologia
Plantarum 94, pp.433-440.
 - 15) Edwards, I. K. and R. F. Huber, 1981,
Contrasting approaches to containerized seedling-
production, 2. The Prairie provinces, In: Pro.
Can. Conta-inerized Tree Seedling Symp., J. B.
Scarratt et al. (eds.), pp.123-127.
 - 16) Hsiao, T. C, 1973, Plant responses to water
stress, Ann. Rev. Plant Physiology 24, pp.519-
570.
 - 17) Landis, T. D., R. W. Tinus, S. E. McDonald,
and J. P. Barnett, 1989, The Container Tree
Nursery Manual, Vol. 3. Atmospheric Environ-
ment, Agric. Handbook 674, USDA For. Serv.,
Washington, D.C., p.119.
 - 18) Levitt, J., 1980, Responses of Plants to
Environmental Stresses, Vol. 2.: Water,
Radiation, Salt, and Other Stress, Academic
Press, NY, pp.25-186.
 - 19) Matthews, R. G., 1981, Contrasting approaches
to containerized seedling production, 1. British
Columbia, In: Pro. Can. Containerized Tree
Seedling Symp., J.B. Scarratt et al. (eds.), pp.
115-122.
 - 20) Murali, N. S. and A. H. Teramura, 1986,
Effectiveness of UV-B radiation on the growth
and physiology of field-grown soybean modified
by water stress, Phytochem, Photobiol, 44,
pp.215-219.
 - 21) Murali, N. S., A. H. Teramura, and S. K.
Randall, 1988, Response differences between two
soybean cultures with contrasting UV-B

- radiation sensitivities, Photochem. Photobiol. 48, pp.653-657.
- 22) Petropoulou, Y., A. Kyparissis, D. Nikolopoulos, and Y. Manetas, 1995, Enhanced UV-B radiation alleviates the adverse effects of summer drought in two Mediterranean pines under field conditions, Physiologia Plantarum 94, pp.37-44.
- 23) Seiler, J. R. and J. D. Johnson, 1988, Physiological and morphological responses of three half-sib families of loblolly pine to water-stress conditioning, Forest Sci. 34, pp.487-495.
- 24) Stoneman, G. L., N. C. Turner, and B. Dell, 1994, Leaf growth, photosynthesis and tissue water relations of greenhouse-grown *Eucalyptus marginata* seedlings in response to water deficits, Tree Physiology 14, pp.633-646.
- 25) Sullivan, J. H. and A. H. Teramura, 1988, Effects of ultraviolet-B irradiation on seedling growth in the Pinaceae, Amer. J. Bot. 75, pp.225-230.
- 26) Tadaki, Y. and M. Kinoshita, 1988, Chlorophyll contents of tree leaves measured with chlorophyll meter SPAD-501, J. Jpn. For. Soc. 70, pp.488-490.
- 27) Teramura, A. H., 1983, Effects of ultraviolet-B radiation on the growth and yield of crop plants, Physiol. Plant. 58, pp.415-427.
- 28) Teramura, A. H., I. N. Forseth and J. Lydon, 1984, Effects of ultraviolet-B radiation on plants during mild water stress, IV. The insensitivity of soybean internal water relations to ultraviolet-B radiation, Physiol. Plant. 62, pp.384-389.
- 29) Tevini, M. and A. H. Teramura, 1988, UV-B effects on terrestrial plants, Photochem. Photobiol. 50, pp.479-487.
- 30) Tevini, M., W. Iwanzik and U. Thoma, 1981, Some effects of enhanced UV-B irradiation on the growth and composition of plants, Planta 153, pp.388-394.
- 31) Van Eerden, E., 1981, The fundamentals of container seedling production, In: Pro. Can. Containerized Tree Seedling Symp., J.B. Scarratt et al. (eds.), pp.83-90.
- 32) Wiebel, J., E. K. Chacko, W. J. S. Downton and P. L. dders, 1994, Influence of irradiance on photosynthesis, morphology and growth of mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) seedlings, Tree Physiology 14, pp.263-274.