

자작나무 콘테이너묘의 硬化段階 生長에 미치는 UV-B와 水分스트레스의 效果^{1*}

金鍾眞² · 洪性珏³

Effects of UV-B Radiation and Water Stress on Hardening Phase Growth of Container-Grown *Betula platyphylla* Seedlings^{1*}

Jong Jin Kim² and Sung Gak Hong³

要 約

본 연구는 시설에서 자란 콘테이너 묘木の 硬化過程에 UV-B의 이용 가능성을 탐색하고자 生長箱에서 4개월간 生育시킨 자작나무 묘木을 대상으로 UV-B(3.2KJ m⁻² day⁻¹과 5.2KJ m⁻² day⁻¹ 수준의 UV-B 처리와 水分스트레스 處理를 4주간 실시하여 경화처리 前, 後의 生長 및 生理的 特性을 비교 분석하였다. UV-B 또는 水分스트레스 처리는 樹高生長, 잎의 乾物量蓄積을 감소시켰다. UV-B 처리는 根元徑生長을 감소시켰으나 水分스트레스 처리는 근원경생장을 증진시켰다. UV-B 처리 또는 水分스트레스 처리에 의한 잎의 건물량감소는 묘木의 T/R율을 감소시켰다. T/R율의 감소효과는 水分스트레스 처리에서 가장 크게 나타났다. 葉綠素 指數는 UV-B 5.2에서 가장 낮았으며 UV-B 3.2와 水分스트레스 처리에서는 비슷한 수준이었다. UV-B 또는 水分스트레스 처리는 콘테이너 묘木의 含水率과 水分포텐셜을 낮추었으며 滲透壓을 높였다. 경화처리에 의한 잎과 줄기의 含水율 감소는 UV-B 처리에 의해서는 빠르게 일어났으나 水分스트레스 처리에 의해서는 보다 서서히 일어났다. 이상의 결과를 보면, 자작나무 콘테이너 묘木의 경화단계에 처리된 UV-B에 의한 生長反應 및 水分生理 변화는 水分스트레스 처리에서의 효과와 유사한 면이 관찰되었다.

ABSTRACT

This study was carried out to investigate the possibility of supplemental UV-B application to the hardening phase of container-grown *Betula platyphylla* seedlings. The containerized seedlings were grown in a growth chamber for four months and then treated with UV-B(3.2KJ m⁻² day⁻¹ and 5.2KJ m⁻² day⁻¹) radiation and water stress regime(irrigation in one week interval) for four weeks. The differences in growth and physiological responses of the seedlings before and after the treatments were analyzed. UV-B radiation and water stress reduced height growth and leaf dry mass accumulation of the seedlings. The root collar diameter growth was reduced by UV-B radiation but increased by water stress. The reduction in leaf dry weight by UV-B radiation and water stress reduced T/R ratio of the seedling. The reduction in T/R ratio was the most apparent by water stress. Chlorophyll index observed by a chlorophyll meter was the lowest in the 5.2KJ m⁻² day⁻¹ of UV-B radiation, and those in the 3.2KJ m⁻² day⁻¹ and water stress were similar. UV-B radiation and

¹ 接受 1998年 8月 31日 Received on August 31, 1998.

² 建國大學校 農業資源開發研究所 The Research Institute of Agricultural Resources Development, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea.

³ 建國大學校 山林資源學科 Department of Forest Resources, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea.

* 이 논문은 1997년도 대산농촌문화재단의 연구비지원으로 수행되었음.

water stress reduced both water content in the seedlings and leaf water potential, and increased leaf osmotic pressure. The water content of leaves and shoots was reduced more rapidly by UV-B radiation than by water stress treatment. In conclusion, growth responses and physiological changes in water relation by supplemental UV-B radiation which was applied to the hardening phase of container-grown *Betula platyphylla* seedlings were similar results to the water stress treatment.

Key words : UV-B dosage, growth and physiological responses, chlorophyll index, water content, leaf water potential, leaf osmotic pressure

緒 論

콘테이너 養苗은 생육기간이 짧은 복유립과 캐나다 등 고위도 지방에서 시작된 速成養苗方法으로 최근에는 세계 각지에서 사용되고 있다(李貞植, 1996). 우리나라에서도 養苗노동력 투입을 최소화하고 조립시기를 폭넓게 선택하기 위하여 계절에 구애받지 않고 건전한 묘목을 단기간에 생산하고자 시설을 이용한 콘테이너 養苗가 시도되고 있다.

시설에서 集約的 관리로 생산된 콘테이너 묘목은 조직이 연약하여 바로 조립지에 식재하면 기후, 또는 주변의 환경조건에 따라 여러 가지 피해를 받기 쉬우므로 조립지 출하전 硬化과정의 필요하다(Landis 등, 1989). 현재 사용되고 있는 콘테이너 묘목의 경화방법을 보면 콘테이너 양묘가 시작된 캐나다 등지에서는 조직을 경화시켜 내한성을 높이기 위해 短日처리, 수분스트레스 처리와 온도를 낮추는 방법을 많이 사용하고 있다(Bigras와 D'Acoust, 1992; Matthews, 1981).

施設에서 자라는 콘테이너 묘목이 적정 수고 기준치의 80~90%에 도달하면 경화처리를 시작하게 되는데(Landis 등, 1989) 지역과 수종에 따라 경화처리 종류 및 방법이 다른 것은 물론, 조립시기에 따라라도 달리 실시한다. 콘테이너 묘목이 생육된 당해연도 또는 월동 후 이듬해 식재될 경우의 경화방법을 보면, 우선 당해연도의 경우는 경화처리에 의해 묘목이 休眠에 들어가지 않도록 부분적인 피옴과 외부공기에 노출시키는 방법으로 점진적으로 경화시키고, 월동묘목의 경화는 반드시 휴면 및 동아형성을 시켜야 하기 때문에 일장단축, 수분스트레스처리, 시비감소 및 시비성분 조절, 저온처리 등의 방법을 사용한다(Edwards와 Huber, 1981). 한편 吳正洙 등(1988)은 소나무, 낙엽송, 상수리, 자작나무의

시설양묘시 생육 4개월 후 1개월간의 묘목 경화기간을 제한하면서, 관수는 주 1-2회, 시비는 칼리질비료를 추천하였다.

경화처리동안 콘테이너 묘목은 수고생장이 둔화 또는 정지되고 직경, 뿌리생장이 상대적으로 촉진되는 것으로 알려져 있는데(Landis 등, 1989), 수분, 빛, 온도처리 등에 의한 과도한 경화처리를 피하기 위하여 수중에 따라 묘목 콘테이너의 중량감소 한계치를 설정하여 경화처리에 이용하고 있다. Styroblock 211을 사용한 spruce(*Picea* spp.)와 lodgepole pine(*Pinus contorta*) 양묘의 경우 경화과정동안 묘목 콘테이너의 중량감소가 3kg이상이 되지 않도록 경화과정을 설계하고 있다(Matthews, 1981).

위와 같이 현재 국내외적으로 콘테이너묘의 경화처리는 주로 빛, 관수, 비료 등의 조절을 이용한 경우가 대부분으로 본 연구에서와 같이 紫外線-B(UV-B)를 이용한 콘테이너묘의 조직 경화처리의 보고는 아직 찾지 못하였다. 최근에 Bornman과 Teramura(1993)는 식물에 대한 UV-B 효과를 광범위하게 고찰하였으며, 양묘시 수분 stress와 관련되어 관찰되는 일의 형태변화, 광합성저하, 성장감소 등과 같은 형태적, 생리적 변화(Levitt, 1980; Seiler와 Johnson, 1988; Stoneman 등, 1994)가 자연적 또는 인위적으로 UV-B에 노출된 식물에서도 흔히 관찰된다(Murali 등, 1988; Teramura, 1983; Tevini와 Teramura, 1988).

본 연구에서는 4개월간 생육시킨 자작나무묘를 공시재료로 하여 UV-B 처리와 수분스트레스 처리를 실시한 후 묘목의 硬化정도를 생장 및 생리적 특성면으로 비교 관찰하여 묘목의 경화과정에 UV-B의 이용 가능성을 탐색하고자 하였다.

材料 및 方法

본 실험에 사용한 자작나무(*Betula platyphylla*)

var. japonica Hara) 종자는 입업연구원 중부임업시험장으로부터 제공받은 춘천관리소 채집종자이다. 정선한 상기 종자를 피트모스, 펄라이트 및 질석을 1:1:1(v:v:v) 비율로 혼합한 배양토를 담은 플라스틱 포트(4cm×4cm×15cm)에 10粒씩 파종하고 18개의 파종포트를 하나의 플라스틱 상자에 담아 건국대학교 수목생리학 실험실내 growth chamber에 두었다. 발아 후 육안으로 건전하고 균일한 幼苗 1본만을 남기고 제거하였다.

Growth chamber내의 광원은 금속할로겐 등이며 광도 PAR(photosynthetically active radiation, 400~700nm)는 묘목의 생장에 따라 묘목의 상부에 도달하는 광도는 차이가 있었으나 350~450μmol m⁻² s⁻¹ 수준이었다(LI-1800 spectroradiometer, Li-COR, USA). Growth chamber내의 온도는 25℃를 유지하였으며 日長은 16시간으로 하였다. 관수는 주 2~3회 충분한 양을 공급하였으며 유묘 발아 1개월 후부터 하이포넥스 4000배액을 주 2회 시비하였으며 2개월 이후부터는 농도를 2000배로 시비하였다.

묘목의 경화처리는 생육 4개월 후부터 수분스트레스 처리와 紫外線-B(UV-B) 처리를 4주간 실시하였는데 우선, 수분스트레스 처리는 주 2~3회 관수처리의 대조구와 UV-B 처리구와 달리 주 1회로 설계하였다.

UV-B 처리는 건국대학교 수목생리학 실험실내 UV chamber에서 실시하였다. UV-B lamp는 Philips사의 TL 20/12이며 lamp는 양 옆면과 윗면이 0.5cm 두께의 투명 아크릴로 만들어진 기구에 고정하였다. UV-B는 태양광선중 280~320nm 파장을 지닌 광선을 말하는데 실지로 지구 표면에 도달하는 UV-B는 290nm 이상으로 알려져 있다(Caldwell, 1977). 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 320nm 이하의 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

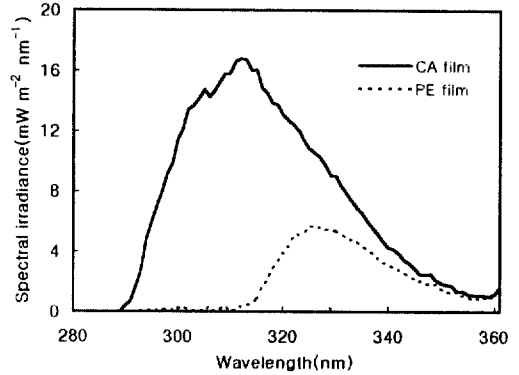


Fig. 1. The spectral distribution of UV-B radiation at 50cm beneath a filtered TL 20/12 lamp.

50cm 아래의 UV-B lamp의 spectral irradiance는 Fig. 1과 같다.

UV-B 처리는 10시부터 오후 2시까지 4시간 동안 묘목을 growth chamber로부터 이동시켜 실시하였으며 照射量은 대조구와 함께 묘목상부와 lamp와의 거리를 50cm와 70cm로 달리하여 각각 5.2KJ m⁻² day⁻¹ UV-B_{BE}(biologically effective UV-B)와 3.2KJ m⁻² day⁻¹의 2수준으로 설계하였다. 이 5.2KJ m⁻² day⁻¹ UV-B량의 설정은, 계절에 따라 차이는 있지만 현재 우리나라에서 하루에 지표면에 도달하는 UV-B의 양과 비슷한 수준으로(Bachelet 등, 1991) 야외포장에서 자라는 묘목들이 태양으로부터 받는 UV-B량과 비슷하기 때문이다. Caldwell(1971)은 UV-B의 파장에 대한 식물들의 여러 가지 반응을 종합화한 作用스펙트럼을 만들고 UV-B의 강도를 生物學的 影響量(biologically effective UV-B; UV-B_{BE})이라는 공식으로 평가하였다.

$$UV-B_{BE} = \int_{280}^{315} I_{\lambda} \cdot E_{\lambda} \cdot d\lambda.$$

여기서 I_λ는 파장 λ에서의 광에너지이며 E_λ는 파장 λ에서의 상대적 영향계수이다. 이 상대적 영향계수는 Caldwell의 작용스펙트럼에서 300nm에서의 영향을 기준으로 각 파장별로 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 150~180 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 수준으로 하였다.

4개월의 생육기간 후 및 4주간의 경화처리 후에 수고, 근원경생장을 측정하였으며, 경화처리 전, 후의 生重量 및 乾重量을 조사하여 엽내 습水率을 구하였다. 처리기간동안 묘목의 상부 및 하부 잎의 수분포텐셜을 pressure chamber를 이용하여 오전 11시부터 오후 1시 사이에 측정하였고, 滲透壓은 vapor pressure osmometer 5500(Wesco, USA)로 측정하였다. 葉綠素 지수는 묘목의 정단부로부터 2~3번째 잎을 대상으로 SPAD-502 chlorophyll meter(Minolta, Japan)를 이용하여 잎을 채취하지 않고 측정하였다. 이

러한 엽록소 측정기를 이용한 엽록소 측정법은 근래에 와서 우리나라에서도 많이 사용되고 있는데(金甲泰와 嚴泰元, 1996; 金鍾眞과 洪性珏, 1996) 기존의 유기용매 추출법과는 달리 잎을 채취하지 않고 측정할 수 있는 방법으로 엽록소 측정기의 엽록소 지수는 유기용매 추출 엽록소 값과 차이가 거의 없는 값으로 환산된다(Tadaki와 Kinoshita, 1988; Wiebel 등, 1994). 수분스트레스 처리구의 묘목에 대한 모든 측정은 재관수 전에 실시하였다. 각 처리구의 묘목본수는 18개의 포트를 담은 4개의 상자로서 처리구당 72본이었다.

結 果

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

4주간의 처리기간 동안에 수고생장율은 2수준의 UV-B(3.2와 5.2KJ $\text{m}^{-2} \text{day}^{-1}$)와 수분스트레스 처리에 의해 대조구에 비해 2~2.5배 정도 감소하였다(Table 1). 3종류의 처리사이에 유의성은 없었으나 수분스트레스 처리에 따른 수고생장 감소가 가장 컸다. 한편 근원경생장은 UV-B 처리에 의해서는 대조구에 비해 생장이 감소하였으나 수분스트레스 처리에서는 오히려 증가하였다.

UV-B 또는 수분스트레스 처리에 따른 콘테이너 묘목의 잎, 줄기, 뿌리 건물량은 모든 시험처리구에서 대조구에 비해 감소되었다(Table 2). UV-B 3.2 처리에 의한 잎의 건물량은 3처리중 가장 적은 감소율을 보였으며 UV-B 5.2와 수분스트레스 처리는 서로 비슷한 수준이었다. 줄기의 건물량을 보면 UV-B 3.2의 경우 0.237g으로 수분스트레스 처리의 0.231g과 비슷하였으며

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

Treatment	Growth rates(%) ¹	
	Height	Root collar diameter
Control	10.0±0.9a	13.9±1.0b ²
Water stress	3.6±0.4b	16.8±2.3a
UV-B _{BE} (KJ $\text{m}^{-2} \text{day}^{-1}$)		
3.2	5.7±1.0b	9.5±1.1bc
5.2	4.6±0.7b	8.9±1.2c

¹Growth rates are the ratios of the seedling growth after the treatment to the growth for four months before the 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 UV-B radiation or water stress for 4 weeks on dry mass accumulation in container-grown *Betula platyphylla* seedlings.

Treatment	Dry weight(g) ¹					
	Leaves	Shoots	Leaves+Shoots	Roots	Total	T/R
Control	0.515±0.011a	0.246±0.011ns	0.758±0.020a	0.396±0.015ns	1.157±0.037a	1.92±0.039a ²
Water stress	0.445±0.009c	0.237±0.006ns	0.680±0.012b	0.409±0.013ns	1.092±0.023ab	1.71±0.040b
UV-B _{BE} (KJ $\text{m}^{-2} \text{day}^{-1}$)						
3.2	0.484±0.008ab	0.231±0.011ns	0.719±0.012ab	0.380±0.015ns	1.095±0.009ab	1.89±0.110a
5.2	0.460±0.008bc	0.216±0.008ns	0.672±0.020b	0.372±0.007ns	1.048±0.024b	1.82±0.013ab

¹All treatments were performed with 4-months-old seedlings and the dry mass was measured after the treatments.

²Means±SE are presented. Different letters in each column indicate significant differences according to Duncan's multiple range test($p=0.05$). The ns means non-significant.

UV-B 5.2에서는 0.216g으로 가장 낮은 건물량이었다. 뿌리의 경우는 UV-B 처리에 의해 대조구보다 다소 감소하였으며 UV-B 처리 수준간의 차이는 없었다. 유의성은 없었으나 수분스트레스 처리에 의해서는 건물량 증가가 관찰되었다. 묘목 전체의 건물량은 대조구, UV-B 3.2 처리, 수분스트레스 처리, UV-B 5.2 처리 순으로 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 수분스트레스 처리에 따른 잎의 엽록소 지수

UV-B 또는 수분스트레스 처리를 받은 묘목 상부 잎의 엽록소 지수 변화는 UV-B 5.2에서 17.7로 가장 낮은 지수를 보였으며 UV-B 3.2와 수분스트레스 처리는 각각 19.3, 19.7로 비슷한 수준을 보였다(Fig. 2).

3. UV-B와 수분스트레스 처리에 따른 컨테이너 묘목내 함수율

UV-B 또는 수분스트레스 처리 후의 묘목내 함수율 변화를 보면 부위별로 다른 양상을 나타내었다(Table 3). 우선 묘목 전체의 함수량은 3 처리구 모두 대조구에 비해 낮은 함수율을 보였

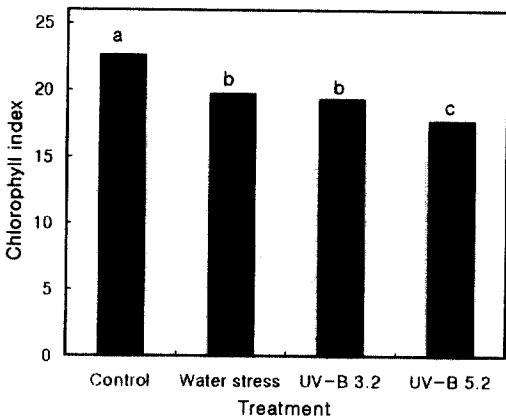


Fig. 2. Effects of UV-B radiation or water stress for 4 weeks on chlorophyll index of container-grown *Betula platyphylla* seedlings. UV-B 3.2 means UV-B_{BBE} 3.2KJ m⁻² day⁻¹. Different letters above each bar indicate significant differences according to Duncan's multiple range test(p=0.05).

다. UV-B 처리 수준에 따른 차이는 없었으나 처리시간 경과에 따라 UV-B 3.2 처리 4주 후에는 2주 후에서보다 다소 증가한 함수율을, UV-B 5.2에서는 감소된 함수율을 보였다. 처리별 변화를 보면 UV-B 처리에 의한 함수율 감소가 수분스트레스 처리에서보다 더 크게 나타났다.

부위별 변화에서 잎의 경우, UV-B 처리에 의한 함수율은 UV-B 3.2보다 UV-B 5.2에서 다소 높게 나타났으며, 2수준의 UV-B 처리 모두에서 처리 2주 후보다 4주 후의 함수율이 다소 증가하는 결과를 나타내었다.

줄기의 함수율은 다른 부위에 비해 처리에 따른 감소율이 가장 크게 조사되었다. UV-B 처리의 경우, UV-B 3.2에서는 처리 2주 후의 함수율은 UV-B 5.2보다 조금 낮았지만 4주 후에는 반대로 나타났다. 수분스트레스 처리에 의해서는 잎에서의 결과와 비슷한 지속적 감소양상이었는데 처리 2주 후의 함수율은 UV-B에서보다 다소 높았으나 4주 후의 함수율은 처리중 가장 낮은 48.1%로 나타났다.

뿌리의 함수율은 잎과 줄기와는 다른 변화양상을 보였는데, UV-B 처리를 보면 처리시간 경과에 관계없이 UV-B 3.2에서 UV-B 5.2보다 높은 함수율을 보였고 수분스트레스 처리에 의한 함수율은 대조구보다는 다소 낮았지만 처리시간 경과에 따른 감소는 나타나지 않았다. 처리 4주 후의 처리구간의 함수율은 대조구, 수분스트레스 처리, UV-B 3.2 처리, UV-B 5.2 처리 순으로 높게 나타났다.

4. UV-B와 수분스트레스 처리에 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 상대적으로 높았다(Table 4). UV-B 또는 수분스트레스 처리에 의해서 상부와 하부 잎의 함수율은 처리별 차이없이 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 수분스트레스 처리 후의 잎의 수분포텐셜은 상부와 하부 잎에서 다른 반응을 보였다. 상부 잎

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

Treatment	Weeks after treatment		
	0	2	4
Plant	67.8		
Control		68.4±1.5a	65.2±0.5a ¹
Water stress		62.7±0.6b	62.6±0.6b
UV-B _{BE} (KJ m ⁻² day ⁻¹)			
3.2		60.2±2.3b	61.1±1.0bc
5.2		60.7±1.3b	59.8±0.8c
Leaves	68.7		
Control		69.3±1.1a	67.8±0.6a
Water stress		67.0±1.7ab	64.3±0.8b
UV-B _{BE} (KJ m ⁻² day ⁻¹)			
3.2		61.8±1.3c	63.0±1.0b
5.2		63.6±0.5bc	64.0±1.5b
Shoots	61.2		
Control		59.3±1.8a	56.7±1.3a
Water stress		53.8±1.1b	48.1±1.3b
UV-B _{BE} (KJ m ⁻² day ⁻¹)			
3.2		48.9±0.4c	51.1±1.9b
5.2		50.6±0.4bc	49.2±0.3b
Roots	68.8		
Control		69.9±2.0a	66.2±1.0a
Water stress		64.3±0.8ab	64.3±0.8a
UV-B _{BE} (KJ m ⁻² day ⁻¹)			
3.2		62.1±3.2b	62.9±1.6ab
5.2		61.1±2.4b	58.8±2.1b

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

Table 4. Effects of UV-B radiation or water stress 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

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

을 보면 가장 낮은 수분포텐셜을 나타낸 UV-B 5.2에서 대조구의 -0.88MPa 과 비교해 -1.24MPa 를 기록한 반면, UV-B 3.2에서는 -0.85MPa 로 대조구와 비슷한 수준이, 수분스트레스 처리에 의해서는 -1.09MPa 이 측정되었다. 하부 잎은 대조구와 UV-B 3.2에서는 상부 잎과 마찬가지로 -0.67 과 -0.65MPa 로 비슷하였으며 UV-B 5.2와 수분스트레스 처리에서는 -0.85MPa 로 서로 같은 수준을 나타내었다.

잎의 삼투압 변화를 보면 수분포텐셜과 마찬가지로 상부 잎과 하부 잎의 삼투압 차이를 보였는데 각각의 처리 전 삼투압은 상부 잎에서 409mmol kg^{-1} 을, 하부 잎에서 376mmol kg^{-1} 로 조사되었다. UV-B 또는 수분스트레스 처리를 받은 상부 잎의 삼투압 변화를 보면 UV-B 5.2에서 572mmol kg^{-1} 로 가장 높은 삼투압을, UV-B 3.2에서는 538mmol kg^{-1} , 수분스트레스 처리에서는 처리 중 가장 낮은 522mmol kg^{-1} 를 기록하였는데 대조구의 441mmol kg^{-1} 보다는 상대적으로 매우 높은 삼투압을 나타내었다. 하부 잎에서는 처리사이에 큰 차이는 없이 $517\sim 523\text{mmol kg}^{-1}$ 의 값을 보였지만 역시 대조구의 399mmol kg^{-1} 보다는 높은 삼투압의 변화가 처리후 나타났다.

考 察

施設養苗時 실시하는 묘목의 경화처리 단계에 UV-B의 적용 가능성을 탐색하고자 4개월간 생육시킨 자작나무 콘테이너 묘목을 4주동안 $3.2\text{KJ m}^{-2}\text{ day}^{-1}$ (UV-B 3.2)과 $5.2\text{KJ m}^{-2}\text{ day}^{-1}$ (UV-B 5.2) 수준의 UV-B 처리와 수분스트레스 처리를 따로 실시하여 경화과정 또는 후에 나타나는 몇 가지 生長 및 生理의 특성을 비교하였다. UV-B는 식물의 생리, 생화학적 대사에 영향을 미쳐 대부분의 식물들의 성장(수고, 엽면적, 건물량 등)을 抑制시키는데(金鍾眞과 洪性珏, 1993; Bornman과 Teramura, 1993; Caldwell, 1977; Tevini와 Teramura, 1988), 植物種과 生態種에 따라서는 UV-B의 영향을 받지 않거나 오히려 생장이 증가되는 경우도 있다(Petropoulou 등, 1995; Sullivan과 Teramura, 1988). 이러한 성장억제에는 식물이 노출되는 UV-B의 량과도 밀접한 관계가 있다(金鍾眞과 洪性珏, 1996; Caldwell, 1971; Tevini와 Teramura, 1988). 한편 식물의 성장을 制御하는 중요 因子의 하나로 수

분을 들 수 있는데 식물의 수분스트레스에 대한 영향은 細胞生長이 가장 민감한 것으로 알려져 있으며, 수분스트레스에 대한 세포성장 반응은 세포벽 합성과 연관되어 식물생장의 遲延 또는 抑制로 나타난다(Hsiao, 1973). 본 실험에서와 같이 시설양묘시 경화처리 과정에 도입되고 있는 수분스트레스 처리는 경화과정동안 성장을 억제시키면서 묘목내 여러 생리대사 과정의 변화를 통하여 묘목을 경화시켜 식재될 造林地 環境의 스트레스에 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). 수분스트레스에 대한 수목의 성장반응은 수종에 따라 다른데 물오리나무와 리기테다소나무는 수고생장의 차이가 컸고 잣나무는 수고생장은 차이가 적었으나 근원경성장 차이가 크게 나타났다(吳正洙와 李明甫, 1987). UV-B에 의한 수목의 수고성장, 건물량축적 감소가 피나무(金鍾眞과 洪性珏, 1996), *Pinus* spp. (Sullivan과 Teramura, 1988)에서도 관찰되었으며 Mediterranean pines(*P. pinea*, *P. halepensis*)의 경우에는 수고생장과 각 부위별 건물량 증가가 관찰되었는데 이는 UV-B가 지중해 지방의 여름철 건조조건의 영향을 부분적으로 緩和시킨 결과로 설명하고 있다(Petropoulou, 1995).

한편 또다른 경화처리의 하나인 短日처리는 white spruce(*Picea glauca*)나 black spruce(*P. mariana*)의 수고성장, 근원경성장 및 줄기의 건물량을 감소시켰는데, 뿌리의 건물량은 단일처리에 의해 white spruce는 감소하였으나 black spruce에서는 증가되었다(Bigras와 D'Aoust, 1992). 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-B 처리에서도 나타나고 있다(Tevini와 Teramura, 1988).

경화처리 후 건전한 콘테이너 묘목 T/R율의 최소 기준치는 수종에 따라 다르지만 white spruce의 경우에는 1.5~2.0, lodgepole pine의 경우는 1.0~1.5로 삼고 있다(Van Eerden, 1981). 본 실험에서 UV-B 처리에 의해 낮아진 T/R율(Table 2)은 UV-B 처리에 의해 地上部 및 地下

部的 생장이 대조구보다 감소하였지만 상대적으로 뿌리의 감소량보다 잎의 감소량이 많았던 이유로 해석된다. 수분스트레스 처리에 의해서는 1.71을 기록하여 처리 중 가장 낮은 T/R율을 보였다. 이러한 현상은 수분스트레스에 의해 잎의 생장은 처리 중 가장 적었지만 상대적으로 뿌리의 생장이 감소되지 않은 결과로 사료된다. 반대로 loblolly pine(*P. taeda*)의 경우는 수분스트레스에 의해 줄기의 성장보다 뿌리의 성장감소가 더 커 T/R율이 더 높게 나타났다(Seiler와 Johnson, 1988).

UV-B와 잎 엽록소와의 관계에 대한 연구는 일찍부터 많은 연구가들에 의해 탐구되었는데, 식물전체의 乾物量 감소와 純光合成量의 감소는 엽내 엽록소 농도의 감소와 관계가 있으며(Teramura, 1983) 높은 수준의 UV-B는 엽록소 a보다 엽록소 b의 합성을 억제하여 엽록소 a/b율을 높인다고 한다(Tevini 등, 1981). Fig. 2를 보면 상대적으로 높은 수준인 UV-B 5.2에서 낮은 값의 엽록소 지수를 기록하여 UV-B에 의해 엽록소 형성이 영향받은 것을 알 수 있으며(金鍾眞과 洪性珏, 1996; Petropoulou 등, 1995) 엽록소 형광분석법으로 관측한 결과 UV-B 처리잎의 엽록소 농도는 대조구의 70% 수준인 것으로 나타났다(Day와 Vogelmann, 1995). UV-B 3.2와 수분스트레스 처리에서는 비슷한 엽록소 지수가 측정되었는데 수분스트레스는 엽록소 함량을 감소시키는 것으로 알려져 있다(Murali와 Teramura, 1986).

시설에서 자란 콘테이너 묘목은 포장에서 자란 묘목에 비하여 수분이 많고 연약한 조직을 가지고 있어 경화과정동안 특히, 잎의 경우 큐티클층과 왁스층이 두꺼워지고 표피조직이 형태적 변화를 하면서 점진적으로 경화되어진 모습을 갖는다(Levitt, 1980). 따라서 경화처리에 따른 묘목내 수분과 관련된 含水率, 잎의 수분포텐셜 및 滲透壓 등의 변화는 경화과정의 중요한 요소로 판단된다. Balakumar 등(1993)에 의하면 cowpea (*Vigna unguiculata*)식물은 UV-B와 수분스트레스에 의해 잎의 함수율이 감소되었으며, 본 실험의 UV-B 또는 수분스트레스 처리는 자작나무의 함수율을 대조구에 비해 감소시켰다(Table 3, 4). 한편, UV-B에 의한 잎과 줄기의 함수율을 보면 경화처리 2주 후에는 수분스트레스 처리보다 함수율이 낮았으나 4주 후에는 차이가 없었

다. 이는 UV-B 처리에 의해서는 빠른 함수율 감소가 일어났으나 수분스트레스 처리에 의해서는 보다 서서히 일어났음을 의미한다. 뿌리의 경우는 처리간의 큰 차이는 없었으나 상대적 높은 수준인 UV-B 5.2에서 가장 낮은 함수율을 기록하였다.

UV-B 또는 수분스트레스 처리에 따른 수분포텐셜과 삼투압의 변화를 보면, UV-B 5.2와 수분스트레스 처리에 의해 자작나무 상부 잎의 수분포텐셜은 낮아져 각각 -1.24Mpa, -1.09Mpa를 기록한 반면 상대적으로 낮은 UV-B 3.2에서는 수분포텐셜의 변화가 없었다(Table 4). 식물이 수분스트레스를 받게되면 수분포텐셜이 낮아지게 되는데(洪性珏과 金鍾眞, 1998; Hsiao, 1973; Levitt, 1980), Teramura 등(1984)에 의하면 UV-B에 의한 수분포텐셜의 저하는 수분스트레스가 클 때 더욱 크다고 보고하였다. 한편, 경화처리 잎의 삼투압은 대조구에 비하여 높아졌는데(삼투포텐셜 저하)(Table 4) 이러한 滲透調節은 세포질내의 설탕, proline, 유기물 등의 합성농도와 관련있는데 스트레스를 받은 식물에서 볼 수 있는 현상이다(Hsiao, 1973; Levitt, 1980; Stoneman 등, 1994).

본 실험을 통하여 UV-B 처리에 의한 성장 및 수분생리적 변화는 수분스트레스 처리에서의 효과와 유사한 면이 관찰되었다. 이러한 결과는 본 연구의 목적인 시설 콘테이너묘의 硬化過程에 UV-B의 이용 가능성 탐구에 일부 부합되지만, 아직은 많은 부분이 미진한 상태로 판단된다. 따라서 앞으로 이 분야를 더욱 탐구하여 부족한 부분을 메울까 한다. 특히 林業 시설묘량 뿐만 아니라 시설원예작물에도 적용 가능성을 탐색하기 위하여는 植物種에 따른 적정 UV-B dosage 판단이 중요하리라 사료된다.

引用 文 獻

1. 金甲泰·嚴泰元. 1996. 인공산성연무의 처리가 몇 활엽수종의 엽피해와 엽표면의 친수성에 미치는 영향. 한국임학회지 85: 577-585.
2. 金鍾眞·洪性珏. 1993. 자외선-B 조사가 피나무 유묘의 Hook 열림에 미치는 영향. 한국임산에너지학회지 13: 78-84.
3. 金鍾眞·洪性珏. 1996. 환경적 스트레스 자외선-B 조사에 의한 피나무 유묘의 초기생장

- 특성. 한국환경농학회지 15 : 448-454.
4. 吳正洙·李明甫. 1987. 주요 조립수종의 유시생장특성과 수분조건에 관한 생리생태적 연구. 임연연보 35 : 43-53.
 5. 吳正洙·李明甫, 洪性珏. 1988. 단기건묘생산을 위한 컨테이너 양묘사업법 개발. 임연연보 36 : 1-9.
 6. 李貞植. 1996. 외국의 임업 양묘현황과 기술 체계. 한국양묘협회지 24 : 19-35.
 7. 洪性珏·金鍾眞. 1998. 암반절개사면 녹화용 강건묘목의 속성육묘법에 관한 연구. 한국환경농학회지 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 : 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 : 217-222.
 10. Bigras, F.J. and A.L. D'Aoust. 1992. Hardening and dehardening of shoots and roots of containerized black spruce and white spruce seedlings under short and long days. Can. J. For. Res. 22 : 388-396.
 11. Bornman, J.F. and A.H. Teramura. 1993. Effects of ultraviolet-B radiation on terrestrial plants. Pages 427-471 in A.R. Young *et al.* eds. Environmental UV Photobiology. Plenum Press, NY.
 12. Caldwell, M.M. 1971. Solar UV irradiation and the growth and development of higher plants. Pages 131-177 in A.C. Giese ed. Photophysiology. Vol. 6. Academic Press, NY.
 13. Caldwell, M.M. 1977. The effects of solar UV-B radiation(280-315nm) on higher plants : implications of stratospheric ozone reduction. Pages 597-607 in A. Castellani ed. Research in Photobiology. Plenum Press, NY.
 14. Day, T.A. and T.C. Vogelmann. 1995. Alterations in photosynthesis and pigment distributions in pea leaves following UV-B exposure. Physiol. Plant. 94 : 433-440.
 15. Edwards, I.K. and R.F. Huber. 1981. Contrasting approaches to containerized seedling production. 2. The Prairie provinces. Pages 123-127 in J.B. Scarratt *et al.* eds. Proc. Can. Containerized Tree Seedling Symp. Toronto.
 16. Hsiao, T.C. 1973. Plant responses to water stress. Ann. Rev. Plant Physiology 24 : 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 Environment. Agric. Handbook 674, USDA For. Serv., Washington, D.C., 145pp.
 18. Levitt, J. 1980. Responses of Plants to Environmental Stresses. Vol. 2. : Water, Radiation, Salt, and Other Stress. Academic Press, NY, 606pp.
 19. Matthews, R.G. 1981. Contrasting approaches to containerized seedling production. 1. British Columbia. Pages 115-122 in J.B. Scarratt *et al.* eds. Proc. Can. Containerized Tree Seedling Symp. Toronto.
 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 : 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 : 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. Physiol. Plant. 94 : 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 : 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 : 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 : 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 : 488-490.
27. Teramura, A.H. 1983. Effects of ultraviolet-B radiation on the growth and yield of crop plants. *Physiol. Plant.* 58 : 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 : 384-389.
29. Tevini, M. and A.H. Teramura. 1988. UV-B effects on terrestrial plants. *Photochem. Photobiol.* 50 : 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 : 388-394.
31. Van Eerden, E. 1981. The fundamentals of container seedling production. Pages 83-90 in J.B. Scarratt *et al.* eds. *Proc. Can. Containerized Tree Seedling Symp.* Toronto.
32. Wiebel, J., E.K. Chacko, W.J.S. Downton, and P. Lüdders. 1994. Influence of irradiance on photosynthesis, morphology and growth of mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) seedlings. *Tree Physiology* 14 : 263-274.