

紫外線-B 增加照射에 대한 陽樹와 中性樹 幼苗의 生長과 生理的 反應에 관한 研究^{1*}

金鍾眞² · 洪性珏³

Growth and Physiological Responses of Shade Intolerant and Intermediate Tree Seedlings to Enhanced UV-B Radiation^{1*}

Jong Jin Kim² and Sung Gak Hong³

要 約

본 연구는 증가되는 UV-B 환경에 대한 陽樹와 中性樹의 生長 및 生理적 反應을 탐구하고자 자작나무(*Betula platyphylla* var. *japonica* Hara)와 물푸레나무(*Fraxinus rhynchophylla* Hance)의 幼苗를 대상으로 14주 동안 3 수준의 UV-B(ambient UV-B_{BE}, ambient+3.2, +5.2 KJ m⁻² s⁻¹) lamp가 설치된 야외포장에서 실시되었다. 자작나무와 물푸레나무 유묘의 樹高生長, 根元徑生長, 葉面積 및 乾物生産은 UV-B 증가에 의하여 감소되었다. UV-B 증가에 의해 물푸레나무 유묘 잎의 氣孔抵抗은 커졌으며, 葉綠素, carotenoid 함량의 감소는 자작나무에서 보다 물푸레나무에서 더 뚜렷하였다. UV-B 吸收物質의 현저한 증가는 나타나지 않았지만 자작나무에 비해 물푸레나무의 경우 다소 증가하는 경향이 있었다. 이러한 결과들은 UV-B 증가 환경에 대한 공시 두 수종의 生理的, 生化學的 反應이 다르다는 것을 의미한다.

ABSTRACT

This study was carried out to investigate the growth and physiological response of shade intolerant and intermediate tree seedlings to enhanced UV-B_{BE}(biologically effective UV-B) radiation. The seedlings of *Betula platyphylla* var. *japonica* Hara(shade intolerant species) and *Fraxinus rhynchophylla* Hance(shade intermediate species) were treated with one of the three levels of UV-B_{BE} dosages - ambient UV-B_{BE}, ambient+3.2, and ambient+5.2 KJ m⁻² day⁻¹) for 14 weeks in the field condition. Height and root collar diameter growth, leaf area, and biomass production of the seedlings of two species were reduced by enhanced UV-B radiation. Leaf stomatal resistance to water vapor of the *F. rhynchophylla* seedling was increased by the UV-B increment. The reductions in total chlorophyll and carotenoid were more apparent in the *F. rhynchophylla* than *B. platyphylla* seedling. There was no statistically significant changes in the concentration of UV-B absorbing compound(A₃₀₀) in the leaves of the two species among the UV-B treatment. However the A₃₀₀ tended to be increased in *F. rhynchophylla* by enhanced UV-B radiation. These results indicate that the growth and the physiological and biochemical responses between *B. platyphylla* and *F. rhynchophylla* were different to enhanced UV-B environment.

Key words : enhanced UV-B_{BE} radiation, shade intolerant and intermediate, UV-B absorbing compound, leaf stomatal resistance

¹ 接受 1999年 7月 9日 Received on July 9, 1999.

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 한국학술진흥재단 박사후 연수과정 연구비지원으로 수행되었음.

緒 論

지구 성층권의 오존층 감소로 지구표면에 도달하는 紫外線-B(UV-B)의 양은 날로 증가하고 있으며(Blumthaler and Ambach, 1990), 식물이 이러한 UV-B에 노출될 때는 많은 피해가 예상된다(Tevini and Teramura, 1989). UV-B는 식물의 光合成, 蒸散, 呼吸 등 여러 대사과정에 영향을 미치며(Caldwell, 1977) 식물세포내의 DNA는 UV-B 피해의 주요 標的으로 알려져 있다(Britt, 1995). 한편 식물들도 있을 두껍게 한다든지 잎의 반사력 증가 또는 紫外線 吸收物質 증가 등과 같은 UV-B에 대한 여러 가지 保護機作을 가진 것으로 알려져 있다(Barnes 등, 1990; Caldwell 등, 1983). 그 중에서도 UV-B 吸收物質 증가에 의한 UV-B에 대한 生理的 適應 및 保護反應에 대한 연구가 근래에 많이 보고되고 있다(Bornman and Teramura, 1993; Day, 1995). 이 흡수물질들은 주로 phenylpropanoid 계통의 물질들로 대부분 表皮細胞層에 축적하는 것으로 알려져 있으며(Middleton and Teramura, 1993; Tevini 등, 1991) 최근에 몇몇 물질들의 성분이 확인되고 있다(Lavola, 1998).

최근에 세계적으로 두드러지게 나타나고 있는 삼림의 退化現象은 자연적인 老化作用 이외에도 大氣汚染, 오존층의 파괴, UV-B의 증가 등 총체적인 地球環境의 악화와 관련이 있는 것으로 추측되고 있다. 오존층의 파괴에 따른 UV-B 증가에 의한 수목의 반응에 대한 국제적인 연구는 최근 들어 활발히 전개되고 있으나(Hunt and McNeil, 1996; Sullivan and Teramura, 1992; Sullivan 등, 1996), 아직 국내에서의 UV-B 관련 식물연구는 미미한 실정이다(金鍾眞과 洪性珩, 1993, 1996, 1998).

한편 UV-B에 대한 식물의 感受性은 種에 따라 크게 다른 것으로 알려져 있다(Tevini and Teramura, 1989). 따라서 본 연구에서는 수목 특히, 陽樹와 中性樹에 따라 UV-B에 대한 여러 반응이 다를 것이 예상되어 양수인 자작나무와 幼苗시 耐陰性이 강하며 中性樹로 알려진 물푸레나무(산림청, 1987; 李景俊, 1993)를 공시수종으로 하여, UV-B에 대한 이들 유묘의 生長反應, 水分生理變化, 光合成 色素 含量變化, UV-B 吸收物質 生成變化 등의 탐구를 통하여 앞으로 O₃ 층 파괴 등에 의한 UV-B 증가환경에 대처할 기

초자료를 제공하고자 한다.

材料 및 方法

본 실험에 사용한 자작나무(*Betula platyphylla* var. *japonica* Hara)와 물푸레나무(*Fraxinus rhynchophylla* Hance) 종자는 임업연구원 중부 임업시험장으로부터 제공받은 동부지방산림관리청 정선관리소 1997년 채집종자이다. 精選한 상기 종자를 피트모스, 필라이트 및 질석을 1:1:1(v:v:v) 비율로 혼합한 培養土를 담은 밀이 없는 투명 플라스틱 포트(4cm×4cm×15cm)에 파종하였다. 자작나무 종자는 1998년 5월 9일에 포트당 20粒씩, 물푸레나무는 5월 13일에 포트당 3粒씩 파종하였다. 파종된 포트를 건국대학교내에 설치되어 있는 야외 紫外線-B(UV-B) 실험포지에 각 수종당 60포트씩(처리구 당 20포트) 물었다. 발아 후 肉眼으로 건전하고 균일한 幼苗 1본만을 남기고 제거하였다. 실험기간 동안 충분한 관수처리를 실시하였는데 子葉이 완전히 팽창한 후부터 하이포텍스 4,000배로 주 2회 시비를 시작하였으며 그 후 1개월 뒤부터는 그 농도를 2,000배로 하였다.

UV-B 처리는 子葉이 완전히 팽창한 후(자작나무 5월 25일, 물푸레나무 6월 2일)부터 오전 10시부터 오후 2시까지 4시간 동안 실시되었다. UV-B 처리에 사용된 lamp는 Philips사의 TL 20/12이며 lamp는 양 옆면과 윗면이 0.5cm 두께의 투명 아크릴로 만들어진 기구에 고정하여 사용하였다. UV-B 처리구는 照射量에 따라 대조구(ambient UV-B_{BE})와 함께 유묘상부와 lamp와의 거리를 50cm과 70cm로 달리하여 각각 ambient +5.2 KJ m⁻² day⁻¹ UV-B_{BE}(biologically effective UV-B)와 Ambient+3.2 KJ m⁻² day⁻¹의 水準 등 3종류로 하였다. 현재 우리 나라에서 하루에 지표면에 도달하는 UV-B의 양은 계절에 따라 차이는 있지만 약 5.2 KJ m⁻² day⁻¹ 수준으로 알려져 있다(Bachelet 등, 1991). 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. 유묘가 자람에 따라 램프와 유묘 상부와의 거리를 조절하여 늘 일정한 거리가 유지되도록 하였다.

Caldwell(1971)은 UV-B의 파장에 대한 식물

들의 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.

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

여기서 I_{λ} 는 파장 λ 에서의 光에너지이며 E_{λ} 는 파장 λ 에서의 상대적 영향계수이다. 이 상대적 영향계수는 Caldwell의 作用스펙트럼에서 300nm에서의 영향을 기준으로 각 파장별로 상대 영향을 구한 값이다.

UV-B는 태양광선 중 280~320nm 파장을 지닌 광선을 말하는데 실제로 지구표면에 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 50cm 아래의 UV-B lamp의 spectral irradiance는 Fig. 1과 같다.

UV-B 增加 照射處理를 받은 幼苗 잎의 蒸散과 氣孔抵抗은 LI-1600 Porometer(Li-Cor, Inc, USA)를 이용하여 충분히 팽창한 잎을 대상으로

UV-B 처리 14주 후(자작나무는 8월 29일 2차엽을 대상으로, 물푸레나무는 9월 5일 1차 複葉의 끝 잎을 대상으로) 실시하였다. 측정은 UV-B 처리시간 동안인 12시에 실시하였으며 8월 29일 측정시 상대습도는 40.4%, PAR는 $370\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$, 평균 잎 표면온도는 35.7°C 이었으며 9월 5일 상대습도는 41.6%, PAR는 $360\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$, 평균 잎 표면온도는 35.5°C 이었다.

光合成 色素, 葉綠素와 total carotenoids 함량 측정과 UV-B 吸收物質 함량의 측정 역시 UV-B 처리 14주 후 상기 잎과 같은 잎들을 대상으로 실시하였다. 광합성 색소의 경우 0.1g의 잎을 채취하여 시약병에 넣고 DMSO(dimethylsulfoxide) 용액 7ml를 넣어 65°C 항온기에서 6시간 동안 추출하였다(Hiscox and Israelstam, 1979). 항온기에서 꺼낸 즉시 전체 추출액이 10ml가 되도록 약 3ml를 추가하고 UV/visible spectrophotometer (UV-1601, Simadzu, Japan)를 이용하여 optical density를 측정하였다. 엽록소량과 전체 carotenoids량은 Arnon(1949)식과 Lichtenthaler과 Wellburn(1983)식을 이용하여 구하였다. UV-B 흡수물질 측정도 시료 0.1g을 채취하여 15ml의 methanol, HCl, 증류수 혼합용액(90 : 1 : 1 by volume)에 넣어 위 항온기에서 약 10분간 가열한 뒤에 꺼내어 잘 흔들고, 상온에서 약 15분간 식힌 후 상기 spectrophotometer를 이용하여 300nm에서 추출액의 吸光度를 측정하였다(Day 등, 1994).

UV-B 처리 14주 후 幼苗를 굴취하여 樹高, 根元徑生長을 측정하였으며 잎, 줄기, 뿌리의 乾重量을 측정하였다. 또한 SLA(specific leaf area)를 구하기 위하여 잎을 건조하기 전에 X-Plan 360d Planimeter(Ushikata, Japan)를 이용하여 葉面積을 구하였다.

結 果

1. UV-B 처리에 따른 樹高 및 根元徑生長

14주간의 UV-B 처리기간 동안에 자작나무 幼苗의 樹高生長과 根元徑生長은 대조구(ambient)에 비하여 UV-B(ambient+3.2와 +5.2 $\text{KJ m}^{-2} \text{day}^{-1}$) 처리에 의해 감소하였으며 대조구와 ambient+5.2 $\text{KJ m}^{-2} \text{day}^{-1}$ 처리 사이에서는 유의성이 관찰되었다(Table 1). 한편 UV-B 처리를 받은 물푸레나무 幼苗의 樹高生長을 보면 대조구의 10.15cm과 비교하여 9.14cm(ambient+3.2)와 8.39cm

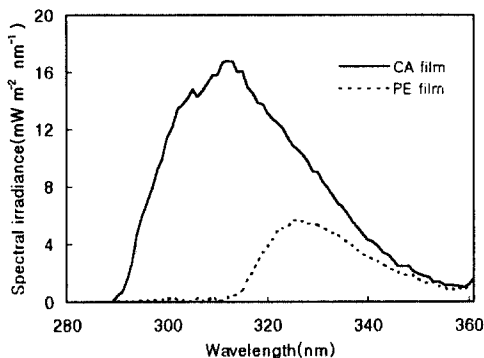


Fig. 1. The Spectral distribution of UV-B radiation at 50cm beneath a filtered TL 20/12 lamp.

Table 1. Effects of UV-B radiation for 14 weeks on height and root collar diameter growth of field-grown *Betula platyphylla* and *Fraxinus rhynchophylla* seedlings.

Species	UV - B treatment (KJ m ⁻² day ⁻¹)	Height(cm) (% to ambient)	Root collar diameter(mm) (% to ambient)
<i>Betula platyphylla</i>	Ambient	11.24±0.95 ¹ a	2.38±0.11 a
	Ambient + 3.2	9.83±0.92 ab (87.5)	2.07±0.11 ab (87.0)
	Ambient + 5.2	8.02±0.91 b (71.4)	1.78±0.10 b (74.8)
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	Ambient	10.15±0.84 ns	2.94±0.10 a
	Ambient + 3.2	9.14±0.65 ns (90.0)	2.57±0.07 b (87.4)
	Ambient + 5.2	8.39±0.36 ns (82.7)	2.49±0.08 b (84.7)

¹ Means±SE of 12 to 16 plants are presented. Different letters in each column indicate significant differences according to Duncan's multiple range test($p=0.05$). ns means non-significant.

Table 2. Effects of UV-B radiation for 14 weeks on dry mass accumulation, RSR(root to shoot ratio), leaf area and SLA(specific leaf area) of field-grown *Betula platyphylla* and *Fraxinus rhynchophylla* seedlings.

Species	UV - B treatment (KJm ⁻² day ⁻¹)	Dry mass(g)				RSR	Leaf area (cm ²) (% to ambient)	SLA
		Leaves (% to ambient)	Stem (% to ambient)	Root (% to ambient)	Total (% to ambient)			
<i>Betula platyphylla</i>	Ambient	0.22±0.02a ¹	0.08±0.01a	0.13±0.01a	0.40±0.04a	0.40±0.02b	59.6±6.0a	275±20ns
	Ambient + 3.2	0.18±0.02a (81.8)	0.05±0.01ab (62.5)	0.11±0.01a (84.6)	0.32±0.05ab (80.0)	0.50±0.04a	51.1±6.9a (85.7)	287±17ns
	Ambient + 5.2	0.12±0.01b (54.5)	0.05±0.01b (62.5)	0.07±0.01b (53.8)	0.23±0.03b (57.5)	0.45±0.03ab	32.9±4.7b (55.2)	273±26ns
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	Ambient	0.17±0.02a	0.22±0.03a	0.22±0.02a	0.61±0.07a	0.56±0.02ns	40.9±3.9a	246±18ns
	Ambient + 3.2	0.14±0.01a (82.3)	0.17±0.03ab (77.3)	0.18±0.02ab (81.8)	0.49±0.05ab (80.3)	0.60±0.03ns	34.6±2.5a (84.6)	250±11ns
	Ambient + 5.2	0.09±0.01b (52.9)	0.14±0.01b (63.6)	0.14±0.01b (63.6)	0.36±0.02b (59.0)	0.60±0.02ns	21.0±1.2b (51.3)	240±8ns

¹ Means±SE of 12 to 16 plants are presented. Different letters in each column indicate significant differences according to Duncan's multiple range test($p=0.05$). ns means non-significant.

(ambient+5.2)를 기록하여 UV-B 증가에 따라 樹高生長은 감소하였으나 유의성은 없었다. 根元徑生長에서는 2 수준의 UV-B 增加照射에 따른 生長차이가 관찰되었으며 ambient+3.2와 +5.2에서의 根元徑生長은 대조구에 비해 각각 87.4%, 84.7%로 UV-B 처리수준 사이에서는 차이가 나지 않았다.

2. UV-B 처리에 따른 乾物量, RSR, 葉面的 및 SLA

UV-B 처리에 따른 공시 두 수종의 幼苗의 잎, 줄기, 뿌리 乾物量은 대조구에 비해 UV-B 증가

시험 처리구에서 감소되었다(Table 2). 잎의 경우 UV-B 처리 수준에 따른 수종간의 차이는 크지 않았으며, 줄기의 乾物量을 보면 물푸레나무는 ambient+UV-B 3.2에서 대조구의 77.3%로서 자작나무의 62.5%보다 감소율이 적었다. 뿌리의 乾物量은 ambient+UV-B 3.2에서는 자작나무의 감소가 적었으며 ambient+UV-B 5.2의 경우에는 반대로 나타났다. 두 수종의 전체 乾物量은 UV-B 증가에 따라 비슷하게 감소하였다. RSR(root to shoot ratio)은 자작나무의 경우에는 UV-B 증가 照射에 따라 높아졌고 물푸레나무에서는 큰 변화가 관찰되지 않았으며, 葉面積은

UV-B 증가 照射에 따라 2수종 모두 비슷한 수준으로 감소되었다. SLA(specific leaf area)은 2 수종 모두 변화가 크지 않았다.

3. UV-B 처리에 따른 잎의 氣孔抵抗 및 蒸散

14주간의 UV-B 처리를 받은 자작나무 幼苗 잎의 氣孔抵抗은 대조구에 11.33 s cm⁻¹에 비해 큰 차이는 관찰되지 않았지만 처리에 따라 낮아지는 경향이였다(Table 3). 하지만 물푸레나무 幼苗 잎의 氣孔抵抗은 대조구의 10.45 s cm⁻¹에 비하여 ambient+3.2에서는 15.43, ambient+5.2에서는 14.17로 UV-B 증가에 따라 氣孔抵抗이 커졌으며 蒸散이 감소되었다.

4. UV-B 처리에 따른 잎의 光合成 色素 含量

Ambient+UV-B 3.2 처리를 받은 자작나무 幼苗 잎의 葉綠素 a, 葉綠素 b, 전체 葉綠素 및 전체 carotenoids량은 대조구에 비해 각각 102.8,

100, 102.1 및 100.8%로 처리에 영향을 받지 않았다(Table 4). Ambient+UV-B 5.2에서는 葉綠素 및 carotenoid의 농도가 88.1%~91.7%로 감소하였다. 물푸레나무 유묘 잎의 葉綠素 및 전체 carotenoids량을 살펴보면, ambient+UV-B 3.2 처리에서 葉綠素 a, 葉綠素 b, 전체 葉綠素 및 전체 carotenoids량은 대조구에 비해 각각 93.6, 86.7, 97.5 및 98.5%로 자작나무에 비해 감소율이 컸다. Ambient+UV-B 5.2 처리에서는 葉綠素 및 carotenoid의 감소율 차이가 자작나무에 비해 더욱 컸다. 공시 2 수종 모두 葉綠素 a 보다 葉綠素 b의 감소가 더 커 葉綠素 a/b 비율이 UV-B 증가 처리에 의해 높아졌다. 자작나무의 경우에는 a/b 비율이 UV-B 照射量 증가에 따라 증가하였으나 물푸레나무에서는 ambient+3.2에서 증가하였다가 ambient+5.2에서 다시 감소하는 경향을 보였다.

Table 3. Effects of UV-B radiation for 14 weeks on leaf stomatal resistance to water vapor and transpiration of field-grown *Betula platyphylla* and *Fraxinus rhynchophylla* seedlings.

Species	UV - B treatment (KJ m ⁻² day ⁻¹)	Stomatal resistance(s cm ⁻¹)	Transpiration (μg cm ⁻² s ⁻¹)
<i>Betula platyphylla</i>	Ambient	11.33±1.54 ¹	2.34±0.22
	Ambient + 3.2	10.82±0.56	2.51±0.10
	Ambient + 5.2	10.97±1.19	2.41±0.22
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	Ambient	10.45±1.02	2.54±0.29
	Ambient + 3.2	15.43±0.62	1.77±0.08
	Ambient + 5.2	14.17±0.99	2.03±0.17

¹ Means±SE of 4 to 5 plants are presented.

Table 4. Effects of UV-B radiation for 14 weeks on chlorophyll and total carotenoids concentration in the leaves of field-grown *Betula platyphylla* and *Fraxinus rhynchophylla* seedlings.

Species	UV - B treatment (KJm ⁻² day ⁻¹)	Chlorophyll(mg g ⁻¹ fresh weight)				Total carotenoids (mg g ⁻¹ fw) (% to ambient)
		a(% to ambient)	b(% to ambient)	total(% to ambient)	a/b	
<i>Betula platyphylla</i>	Ambient	1.45±0.07 ¹	0.42±0.02	1.87±0.09	3.44±0.08	3.95±0.13
	Ambient+3.2	1.49±0.06 (102.8)	0.42±0.03 (100)	1.91±0.09 (102.1)	3.59±0.13	3.98±0.10 (100.8)
	Ambient+5.2	1.33±0.10 (91.7)	0.37±0.03 (88.1)	1.71±0.12 (91.4)	3.64±0.06	3.49±0.29 (88.4)
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	Ambient	1.57±0.07	0.45±0.03	2.03±0.08	3.53±0.16	4.07±0.31
	Ambient+3.2	1.47±0.09 (93.6)	0.39±0.02 (86.7)	1.98±0.14 (97.5)	3.76±0.25	4.01±0.31 (98.5)
	Ambient+5.2	1.09±0.07 (69.4)	0.31±0.03 (68.9)	1.41±0.13 (69.5)	3.60±0.15	2.79±0.18 (68.6)

¹ Means±SE of 6 to 8 plants are presented.

5. UV-B 처리에 따른 UV-B 흡수물질 함량변화

Ambient+UV-B 3.2 또는 +UV-B 5.2 처리를 받은 자작나무 잎의 UV-B 吸收物質(A_{300})은 각각 0.91과 0.83으로 대조구의 1.05에 비해 다소 감소하였다(Table 5). 물푸레나무의 경우에는 대조구 A_{300} 1.2에 비해 ambient+UV-B 3.2에서는 1.3으로, +UV-B 5.2에서는 1.27로 UV-B 증가 처리에 의하여 다소 증가하였다.

考 察

자작나무(陽樹)와 물푸레나무(中性樹)의 幼苗를 대상으로 14주 동안 ambient UV-B_{BE}(control), ambient+3.2 및 ambient+5.2 KJ m² day⁻¹ 등 3 수준의 UV-B 처리를 실시한 결과 UV-B 증가에 의하여 樹高生長, 根元徑生長, 乾物生産, 葉面積 등의 생장 감소가 관찰되었다(Table 1, 2). UV-B는 특히 UV-B에 感受性이 큰 식물의 생장(수고, 엽면적, 건물량 등)을 억제시키지만(Bornman과 Teramura, 1993; Sullivan 등, 1996) 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 生長抑制 또는 促進에는 식물이 노출되는 UV-B의 照射量과 밀접한 관계가 있다(金鍾眞과 洪性珏, 1996; Sullivan 등, 1996; Tevini와 Teramura; 1989). 본 실험에서 樹高生長 감소는 자작나무에서 더 뚜렷이 나타났으며, 乾物生産에 있어서는 두 수종 모두 ambient+3.2 처리구에서 줄기부위의 감소율이 다른 부위 보다

높았는데 자작나무의 감소율이 더 높았다. 이러한 줄기부위의 乾物生産 감소는 자작나무의 RSR (root to shoot ratio)을 높였다. Sullivan과 Teramura(1989)는 UV-B 증가에 대한 *Pinus taeda*의 RSR은 UV-B 照射量에 따라 증가 또는 감소한다고 하였으며 RSR 감소의 경우에는 地下部 生長의 변화없이 UV-B 처리에 따라 地上部 生長의 증가로 인한 결과이었다고 보고하였다. 일반적으로 낮은 光度(陰地)에서 생육하는 잎들은 대체로 엷어지면서 넓어지기 때문에 葉面積에 비하여 乾重量이 적어 SLA는 커진다(李景俊, 1993; 趙宰亨 등, 1998). 본 실험에서는 두 수종의 SLA가 UV-B 처리에 의하여 큰 변화가 나타나지 않았는데 이는 葉面積 감소와 乾重量 감소가 함께 일어났기 때문으로 해석된다. 이와는 달리, *Brassica napus*와 *pea*에서는 UV-B 증가에 따라 葉面積은 감소되지만 잎은 두꺼워지면서 UV-B로부터 어느 정도 자신을 保護한다고 한다(Cen과 Bornman, 1993; Day와 Vogelmann, 1995).

물푸레나무 幼苗 잎의 氣孔抵抗은 UV-B 증가 처리에 의해 높아졌으며 자작나무의 경우에는 큰 차이가 없었으나 다소 낮아지는 경향이였다(Table 3). Mirecki와 Teramura(1984)는 높은 光度에서 적응된 soybean 잎들은 UV-B처리에 대하여 氣孔抵抗의 변화가 적었고 반대로 낮은 光度에서 적응된 잎은 UV-B 처리에 의해 氣孔抵抗이 커져서 光合成率이 낮아진다고 보고하였다. *P. taeda*의 경우에는 UV-B 照射量 차이에 따른 氣孔抵抗의 변화가 큰 차이가 없었지만 상대적으로 낮은 UV-B 처리구에서 다소 증가하는 경향이였다(Sullivan과 Teramura, 1989).

UV-B 증가와 잎 葉綠素와의 관계에 대한 연구는 일찍부터 많은 연구가들에 의해 탐구되었는데 UV-B에 대한 식물의 感受性에 따라 葉綠素의 量이 증가 또는 감소된다고 한다(Tevini와 Teramura, 1989). 식물전체의 乾物量 감소와 純光合成量의 감소는 葉內 葉綠素 농도의 감소와 관계가 있으며(Teramura, 1983), 높은 수준의 UV-B는 葉綠素 a보다 葉綠素 b의 合成을 억제하여 葉綠素 a/b율을 높인다고 한다(Tevini 등, 1981). Day와 Vogelmann(1995)은 UV-B의 잎 組織內 浸透範圍와 이에 따른 葉綠素 농도에 대해 고찰하였는데, UV-B 증가에 따른 *pea* 잎 組織 細胞內의 葉綠素 농도는 율타리조직의 上部, 下部, 해면조직의 上部, 下部細胞 순으로 많이

Table 5. Effects of UV-B radiation for 14 weeks on concentration of methanol-extracted UV-B absorbing compounds in the leaves of field-grown *Betula platyphylla* and *Fraxinus rhynchophylla* seedlings.

Species	UV - B treatment (KJ m ² day ⁻¹)	A_{300} g ⁻¹ fresh weight ¹
<i>Betula platyphylla</i>	Ambient	1.05±0.06 ²
	Ambient + 3.2	0.91±0.04
	Ambient + 5.2	0.83±0.04
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	Ambient	1.20±0.05
	Ambient + 3.2	1.30±0.14
	Ambient + 5.2	1.27±0.10

¹ A_{300} are expressed as mean absorbance at a wavelength of 300nm on a per unit fresh weight basis.

² Means±SE of 5 to 8 plants are presented.

감소되었다고 하였다. Table 4를 보면 UV-B 증가에 따른 葉綠素와 carotenoid 농도의 감소는 자작나무보다 물푸레나무에서 뚜렷이 관찰되었다. 물푸레나무 잎의 葉綠素 감소는 상대적으로 낮은 UV-B 처리인 ambient+3.2에서 현저하였는데 葉綠素 a보다 葉綠素 b의 감소가 컸다.

본 실험에서 UV-B 처리에 따른 자작나무와 물푸레나무 幼苗 잎의 UV-B 吸收物質 함량의 변화는 대조구에 비하여 현저한 차이는 나타나지 않았으나 자작나무에서는 다소 감소하는 경향이었고 물푸레나무는 증가하는 양상이었다(Table 5). 자연적으로 높은 UV-B 환경에서 자라는 식물은 상대적으로 낮은 UV-B 환경에서 자라는 식물보다 UV-B에 대한 피해가 적다. 따라서 耐陰性 樹種이 陽樹에 비하여 덜연한 UV-B 增加環境에 대해 보다 더 예민하다(Hunt와 McNeil, 1996). 이와 같이 UV-B에 노출되는 식물의 生理的 適應 및 保護反應의 한 機作으로 식물체내 UV-B 吸收物質의 증가에 대하여 많이 고찰하고 있다(Day와 Vogelmann, 1995 ; Lavola, 1998). 식물체내에 생성되는 UV-B 吸收物質의 양은 植物種에 따라서 또는 그들의 生育環境 조건에 따라서 크게 다르다. 일반적으로 生育期間동안 햇빛을 받은 시간이 많은 樹種이 UV-B 吸收物質 함량이 많은 것으로 알려져 있으며(Hunt와 McNeil, 1996), UV-B 증가 環境에 대하여 낮은 UV-B 조건에서 生育한 樹種은 UV-B 증가에 따른 適應의 수단으로 UV-B 吸收物質의 生成量이 증가한다고 한다(Ziska 등, 1992).

본 실험을 통하여 UV-B 증가 環境에 노출되면서 보인 자작나무와 물푸레나무의 반응은 전체적으로는 유사한 양상으로 관찰되었지만 氣孔抵抗, 蒸散, 葉綠素와 carotenoid의 감소 경향 등 여러 곳에서 서로 다른 모습을 찾아 볼 수 있었다. 이러한 결과들은 앞으로 수 많은 종류들의 幼苗들이 자연적으로 발생하는 山林攪亂, 伐採로 인한 林冠露出, 氣候變化, O₃ 파괴 등으로 造成되는 덜연한 UV-B 증가 環境에 어떻게 反應하는가 또는 適應의 수단으로 어떻게 대처하는가에 대한 基礎資料로 축적, 이용되기를 바란다.

引用文獻

1. 金鍾眞 · 洪性珏. 1993. 紫外線-B 照射가 피나무 幼苗의 Hook 열림에 미치는 영향. 한

국 임산에너지학회지 13(2) : 78-84.
 2. 金鍾眞 · 洪性珏. 1996. 環境의 스트레스 자외선-B 照射에 의한 피나무 幼苗의 초기생장 특성. 한국환경농학회지 15(4) : 448-454.
 3. 金鍾眞 · 洪性珏. 1998. 자작나무 콘테이너묘의 硬化段階 생장에 미치는 UV-B와 水分스트레스의 효과. 한국임학회지 87(4) : 601-610.
 4. 山林廳. 1987. 韓國樹木圖鑑. 산림청 임업시험장. 496pp.
 5. 李景俊. 1993. 수목생리학. 서울대학교출판부. 504pp.
 6. 趙宰亨 · 洪性珏 · 金鍾眞. 1998. 층층나무 子葉段階 幼苗의 생장과 限界光度에 관한 연구. 한국임학회지 87(3) : 493-500.
 7. Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplast. Polyphenoloxidases in *Beta Vulgaris*. Plant Physiology 24 : 1-15.
 8. Bachelet, D., P.W. Barnes, D. Brown, and M. Brown. 1991. Latitudinal and seasonal variation in calculated ultraviolet-B irradiance for rice-growing regions of Asia. Photochem. Photobiol. 54 : 411-422.
 9. Barnes, P.W., S.D. Flint and M.M. Caldwell. 1990. Morphological responses of crop and weed species of different growth forms to ultraviolet-B radiation. Amer. J. Bot. 77 : 1354-1360.
 10. Blumthaler, M. and W. Ambach. 1990. Indications of increasing solar ultraviolet-B radiation flux in alpine region. Science 248 : 206-208.
 11. Bormman, 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. Britt, A.B. 1995. Repair of DNA damage induced by ultraviolet radiation. Plant Physiology 108 : 891-896.
 13. Caldwell, M.M., R. Robberecht and S.D. Flint. 1983. Internal filters : Prospects for UV-acclimation in higher plants. Physiol. Plant. 58 : 445-450.
 14. 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.
15. 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.
 16. Cen, Y.P. and J.F. Bornman. 1993. The effect of exposure to enhanced UV-B radiation on the penetration of monochromatic and polychromatic UV-B radiation in leaves of *Brassica napus*. *Physiol. Plant.* 87 : 249-255.
 17. 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.
 18. Hiscox, J.D. and G.F. Israelstam. 1979. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Can. J. Bot.* 57 : 1332-1334.
 19. Hunt, J.E. and D.L. McNeil. 1996. Response in chlorophyll a fluorescence of six New Zealand tree species to a step-wise increase in ultraviolet-B irradiation. *New Zealand J. Bot.* 34 : 401-410.
 20. Lavola, A. 1998. Accumulation of flavonoids and related compounds in birch induced by UV-B irradiance. *Tree Physiology* 18 : 53-58.
 21. Lichtenthaler, H.K. and A.R. Wellburn. 1983. Determinations of total carotenoids and chlorophyll a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochem. Soc. Transactions* 11 : 591-592.
 22. Middleton, E.M. and A.H. Teramura. 1993. The role of flavonol glycosides and carotenoids in protecting soybean from ultraviolet-B damage. *Plant Physiology* 103 : 741-752.
 23. Mirecki, R.M. and A.H. Teramura. 1984. Effects of ultraviolet-B irradiance on soybean. *Plant Physiology* 74 : 475-480.
 24. Petropoulou, Y., A. Kyprisiss, 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.
 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. Sullivan, J.H. and A.H. Teramura. 1989. The effects of ultraviolet-B radiation on loblolly pine. I. Growth, photosynthesis and pigment production in greenhouse-grown seedlings. *Physiol. Plant.* 77 : 202-207.
 27. Sullivan, J.H. and A.H. Teramura. 1992. The effects of ultraviolet-B radiation on loblolly pine. *Trees* 6 : 115-120.
 28. Sullivan, J.H., B.W. Howells, C.T. Ruhland and T.A. Days. 1996. Changes in leaf expansion and epidermal screening effectiveness in *Liquidambar styraciflua* and *Pinus taeda* in response to enhanced UV-B radiation. *Physiol. Plant.* 98 : 349-357.
 29. Teramura, A.H. 1983. Effects of ultraviolet-B radiation on the growth and yield of crop plants. *Physiol. Plant.* 58 : 415-427.
 30. Tevini, M. and A.H. Teramura. 1989. UV-B effects on terrestrial plants. *Photochem. Photobiol.* 50 : 479-487.
 31. Tevini, M., J. Braun and G. Fieser. 1991. The protective function of the epidermal layer of rye seedlings against ultraviolet-B radiation. *Photochem. Photobiol.* 53 : 329-333.
 32. 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.
 33. Ziska, L.H., A.H. Teramura and J.H. Sullivan. 1992. Physiological sensitivity of plants along an elevational gradient to UV-B radiation. *Amer. J. Bot.* 79 : 863-871.