

자외선-B 증가에 따른 소나무 유묘의 성장 단계별 성장 반응^{1*}

김 종 진²

Growth Responses at Different Growth Stage of *Pinus densiflora* Seedlings to Enhanced UV-B Radiation^{1*}

Jong Jin Kim²

요 약

본 연구는 소나무(*Pinus densiflora* S. et Z.) 유묘의 발아전 단계, 자엽 단계 및 1차엽 발생후 단계 등 각각의 생육단계에서 UV-B 증가환경에 노출될 때의 성장반응을 탐구하고자 16주 동안 3 수준의 UV-B(ambient UV-BBE, ambient + 3.2, ambient + 5.2 KJ m⁻²s⁻¹) 조사량이 설치된 야외 포장에서 실시되었다. UV-B 조사에 의하여 소나무 유묘의 수고성장, 근원경성장 및 건물생산량은 감소되었으며 T/R율은 증가하였다. 유묘에 대한 UV-B 처리시작 단계 차이에 따른 성장차이도 관찰되었는데, ambient + 3.2 처리구내에서 보면 발아전 단계부터 UV-B 처리를 받은 유묘의 수고성장 및 근원경생장이 상대적으로 높았다. 두 수준의 UV-B 증가 처리구에서 모두 자엽단계부터 처리를 받은 유묘의 건물생산량이 각 처리구내에서 가장 낮았다. 한편 UV-B 증가에 의해 소나무 유묘 침엽의 엽록소 함량은 감소하였으며 엽록소 a/b율은 증가하였다.

ABSTRACT

This study was carried out to investigate the growth responses of *Pinus densiflora* seedlings to enhanced UV-B environment for 16 weeks in the field condition. The seedlings were treated with one of the three levels of UV-B dosages - ambient UV-B, ambient + 3.2, and ambient + 5.2 KJ m⁻²day⁻¹, and the irradiation was performed at the stage before the germination, the fully expanded cotyledon, and the primary needles grown more than 0.8cm in length of the seedlings, respectively. Enhanced UV-B irradiation reduced the height and the root collar diameter growth, and dry mass production of the seedling, and T/R ratio was increased by the UV-B treatment. Difference in seedling growth was observed by difference in time of the UV-B treatment. Among the seedlings which were treated with ambient + 3.2 KJ m⁻²day⁻¹, height and root collar diameter growth was relatively high in the seedling received the UV-B treatment at the stage before the germination. The lowest dry mass production was observed in the seedlings received the UV-B at stage of cotyledon both in two levels of enhanced UV-B treatment. Chlorophyll concentration was reduced by enhanced UV-B irradiation, and chlorophyll a/b ratio was increased by the UV-B treatment.

¹ 접수 2000년 2월 7일 Received on February 7, 2000.

² 건국대학교 농업자원개발연구소 The Research Institute of Agricultural Resources Development, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea

* 이 논문은 1997년도 한국학술진흥재단 박사후 연수과정 연구비지원으로 수행되었음.

Key words : enhanced UV-B environment, growth stage, height and root collar diameter growth, dry mass production, chlorophyll concentration

서 론

오존층 감소와 오존홀의 지속적인 확장으로 지구표면에 도달하는 자외선-B(UV-B)의 양은 날로 증가하고 있으며⁵⁾, 온대지역에서 성층권의 오존농도가 1% 감소하면 지표면에 도달하는 UV-B의 양은 2% 증가한다고 한다⁷⁾. UV-B는 거의 모든 생명체에 많은 영향을 끼치는 것으로 알려져 있으며, 근래에 와서 생물체에 미치는 영향에 대하여 여러 분야에서 많은 연구가 진행되고 있다⁸⁾.

최근에 세계적으로 두드러지게 나타나고 있는 삼림의 퇴화현상은 자연적인 노화작용 이외에도 대기오염, 오존층의 파괴, UV-B의 증가 등 총체적인 지구환경의 악화와 관련이 있는 것으로 추측되고 있다. 오존층의 파괴에 따른 UV-B 증가에 의한 수목의 반응에 대한 국제적인 연구는 최근 들어 활발히 전개되고 있으며^{10,13,14)}, 국내에서도 UV-B에 관련된 연구가 최근에 보고되고 있다^{1,2,3)}.

UV-B에 대한 식물의 감수성은 종에 따라 크게 다른 것으로 알려져 있으며¹⁶⁾, 같은 종에 있어서도 성장단계에 따라 UV-B에 대한 감수성은 다를 것으로 예상된다. 따라서 본 연구에서는 소나무 유묘를 대상으로 발아전 단계부터 시작하여, 자엽단계에서 또는 1차엽 발생 후 단계에서 UV-B 특히, 현재 지표면에 도달하는 UV-B의 양보다 증가된 UV-B에 노출되는 소나무 유묘의 성장반응 탐구를 통하여 앞으로 O₃층 파괴 등에 의한 UV-B 증가환경에 대처할 기초자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

2.1 식물 및 양묘재료

본 실험에 사용한 소나무(*Pinus densiflora* S. et Z.) 종자는 임업연구원 증부임업시험장으로부터 제공받은 동부지방산림관리청 정선관리소 1997년 채집종자이다. 정선한 상기 종자를 1998년 5월 9일 피트모스, 펄라이트 및 질석을

1:1:1(v:v:v) 비율로 혼합한 배양토를 담은 밀 없는 투명 플라스틱 포트(2.5cm×2.5cm×12cm)에 포트당 3립씩 파종하였다. 파종된 포트는 건국대학교내에 설치되어 있는 야외 자외선-B(UV-B) 실험포지 가까이에 두었다.

2.2 UV-B 처리

소나무 유묘의 초기 성장단계에서 UV-B 처리시작 시기를 3 단계로 달리하여 실시하였는데 첫째는, 소나무 유묘의 발아전 단계부터 시작하였으며, 둘째는 발아하여 자엽이 완전히 펼쳐진 단계부터, 셋째는 1차엽이 0.8cm 정도 자란 단계부터 등 3단계이다. 소나무 종자는 파종 10일 후부터 발아하기 시작하였는데 발아한 포트 중 각각의 성장 단계에 해당하는 포트를 선별하여 UV-B 실험포지에 포트채 식재하였다.

UV-B 처리는 오전 10시부터 오후 2시까지 4시간 동안 실시되었는데 발아전 단계는 발아를 시작하기 전인 5월 16일부터, 자엽단계는 5월 24일, 1차엽 단계는 6월 1일부터 16주 동안 매일 4시간 동안 실시하였다. UV-B 처리는 김과 홍(1999)³⁾의 방법을 사용하였는데 照射量에 따라 대조구(ambient UV-BBE)와 함께 유묘 상부와 lamp와의 거리를 50cm와 70cm로 달리하여 각각 ambient+5.2 KJ m⁻² day⁻¹ UV-BBE (biologically effective UV-B)와 Ambient+3.2 KJ m⁻² day⁻¹의 수준 등 3 종류로 하였다. 유묘가 자람에 따라 램프와 유묘 상부와의 거리를 조절하여 늘 일정한 거리가 유지되도록 하였다.

UV-B는 태양광선 중 280~320nm 파장을 지닌 광선을 말하는데 실제로 지구표면에 도달하는 UV-B는 290nm 이상으로 알려져 있다⁷⁾. 반면에 인공적인 UV-B lamp는 생물에 큰 피해를 주는 290nm 이하 270nm 파장대의 광선도 照射하므로 본 실험에서 UV-B 처리는 290nm까지만 통과시키는 0.095mm 두께의 cellulose acetate film(CA film, Courtaulds Chemicals, Derby, UK)을 사용하여 lamp 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.

발아 후 육안으로 건전하고 균일한 유묘 1본만을 포트에 남기고 제거하였으며 처리 유묘본수는 3 수준의 조사량 및 3 단계의 처리 시기 등 각각의 처리구별로 24~32본이었다. 실험기간 동안 충분한 관수처리를 실시하였고 자엽이 완전히 팽창한 후부터 하이포넥스 4,000배로 주 2회 시비를 시작하였으며 그 후 1개월 뒤부터는 그 농도를 2,000배로 하였다.

2.3 생장 반응조사

UV-B처리를 약 16주 동안 받은 소나무 묘목을 1998년 9월 20일 수확하여 수고 및 근원경 생장을 측정하였으며 잎, 줄기, 뿌리의 건중량을 측정하였다. 한편 엽록소 함량 측정은 8월 23일 실시하였는데, 3 수준의 UV-B 처리에서 발아전부터 UV-B 처리를 받은 유묘의 잎을 대상으로 0.1g의 잎을 채취하여 DMSO(dimethylsulfoxide) 용액으로 추출하였으며⁹⁾, 엽록소함량은 Arnon(1949)⁴⁾식을 이용하여 구하였다.

결과 및 고찰

3.1 수고 및 근원경생장

16주간의 UV-B처리(ambient+3.2와 ambient+5.2 KJ m⁻²day⁻¹)에 의하여 소나무 유묘의 수고생장과 근원경생장은 대조구(ambient)에 비하여 감소하였으며, UV-B 조사량이 증가할수록 생장감소가 더 크게 나타났다(Table 1). 한편 UV-B 처리시작 단계 차이에 따른 수고생장을 보면, ambient+3.2 처리구에서는 발아전부터 UV-B 처리를 받은 유묘의 생장이 10.32cm로, 자엽단계부터 UV-B 처리를 받은 유묘와 1차엽 발생후부터 UV-B 처리를 받은 유묘의 수고생장은 9.86cm와 9.89cm로서 서로 큰 차이가 나타나지 않았다. UV-B량이 상대적으로 많은 ambient+5.2 처리구에서는 UV-B 처리시작 단계 차이에 관계없이 다른 두 처리구에 비하여 수고생장 억제현상이 관찰되었다

소나무 유묘의 근원경생장은 두 수준의 UV-B 조사에 따른 생장감소가 차이가 관찰되었고, 처리시작 단계 차이에 따른 생장차이도 나타났는데 자엽단계부터 처리를 받은 유묘의 생장이 두 수준의 UV-B 조사구 모두에서 가장 낮았다. Ambient+3.2에서는 발아전부터 UV-B 처리를 받은 유묘의 생장이, ambient+5.2에서는 1차엽 발생후부터 처리를 받은 유묘의 근원경생장이 가장 높게 나타났다. 상대적으로 낮은 UV-B 처리구인 ambient+3.2에서 발아전 단계부터 UV-B 처리를 받은 묘목의 근원경생장이 자엽단계 또는 1차엽 단계부터 UV-B 처리를 받은 묘목보다 높게 나타난 것은 종자가 발아하여 하배축이 토양을 뚫고 나오면서부터 UV-B 증가환경에 노출되어 나타난 반응의 결과로 사료된다. 이러한 반응은 상대적으로 높은 ambient+5.2에서는 관찰되지 않았다.

본 실험에서와 같이 UV-B는 특히 UV-B에 감수성이 큰 식물의 생장(수고, 엽면적, 건물량 등)을 억제시키는 것으로 알려져 있으며^{6,14)}, 한편으로는 식물종과 생태종에 따라서 UV-B의 영향을 받지 않거나 오히려 생장이 증가되는 경우도 있다¹¹⁾. 이러한 생장억제 또는 촉진에는 식물이 노출되는 UV-B의 조사량과 밀접한 관계가 있는 것으로 보고되고 있다^{2,14,16)}.

Table 1. Effects of UV-B irradiation for 16weeks on height and root collar diameter growth of *Pinus densiflora* seedlings.

UV-B treatment (KJ m ⁻² d ⁻¹)	Time of UV-B treatment	Height (cm)	Root collar diameter (mm)
Ambient	Before germination	11.42±0.27 ¹⁾	1.45±0.04
	Cotyledon	11.17±0.28	1.43±0.05
	Primary needle	11.48±0.25	1.47±0.05
Ambient +3.2	Before germination	10.32±0.31	1.41±0.07
	Cotyledon	9.86±0.27	1.21±0.05
	Primary needle	9.89±0.33	1.26±0.06
Ambient +5.2	Before germination	8.02±0.23	0.95±0.04
	Cotyledon	7.95±0.24	0.91±0.03
	Primary needle	8.27±0.23	1.12±0.05

¹⁾ Means ±SE

3.2 건물생산량과 T/R율

UV-B 처리에 따른 소나무 유묘의 잎, 줄기, 뿌리 건물생산량은 대조구에 비해 감소되었다 (Table 2). 각 부위별 건물생산량 감소는 ambient+5.2 처리구에서 현저하게 나타났으며 UV-B 처리시작 단계 차이에 따른 건물생산량 차이도 ambient+5.2에서 크게 나타났다. 두 수준의 증가 시험구에서 모두 자엽단계부터 UV-B 처리시에 건물생산량이 가장 낮았는데 그 중 ambient+3.2에서는 지상부보다 지하부의 생산량이 상대적으로 더 높은 비율로 감소하였으며, ambient + 5.2에서는 지상부의 건물생산량 감소비율이 더 높게 나타났다. 한편, ambient+3.2에서는 발아전부터 UV-B 처리구와 1차엽 발생후부터 처리구 사이의 건물생산량이 각 부위별로 서로 비슷하였으나, ambient +5.2에서는 1차엽 발생후부터의 처리구에서 모든 부위의 건물생산이 높게 조사되었다.

본 실험을 통하여 보면, UV-B 조사는 유묘의 T/R율을 높였는데 이는 UV-B 처리에 의한 지상부 성장 감소가 지하부 성장 감소보다 상대적으로 적었던 결과로 해석된다. 한편 Sullivan과 Teramura(1989)¹²⁾는 UV-B 증가에 대한 *Pinus taeda*의 RSR(Root to shoot ratio)은 UV-B 조사량에 따라 증가 또는 감소한다고 하였으며 RSR 감소의 경우에는 지하부 생장의 변화없이 UV-B 처리에 따라 지상부 생장의 증가로 인한 결과이었다고 보고하였다.

3.3 엽록소 함량

Ambient+UV-B 3.2 처리를 받은 소나무 유묘 잎의 엽록소 a와 총엽록소량은 대조구에 비해 각각 97.5 및 96.2%로 그 처리에 크게 영향을 받지 않았으나(Table 3), 엽록소 b의 경우에는 대조구의 91.4%로 다소 낮은 값을 보였다. Ambient+UV-B 5.2에서는 대조구에 비

Table 2. Effects of UV-B irradiation for 16weeks on dry mass production of *Pinus densiflora* seedlings.

UV-B treatment (KJ m ⁻² day ⁻¹)	Time of UV-B treatment	Dry mass production(g)					T/R
		Leaves	Shoot	Leaves +shoot	Root	Total	
Ambient	Before germination	0.154±0.009 ¹	0.053±0.004	0.208±0.013	0.068±0.013	0.275±0.015	3.09±0.12
	Cotyledon	0.149±0.008	0.052±0.004	0.202±0.012	0.063±0.004	0.265±0.015	3.19±0.07
	Primary needle	0.161±0.010	0.056±0.005	0.217±0.014	0.069±0.004	0.286±0.016	3.22±0.14
Ambient + 3.2	Before germination	0.151±0.015	0.046±0.006	0.197±0.020	0.057±0.004	0.254±0.024	3.45±0.17
	Cotyledon	0.137±0.014	0.042±0.005	0.179±0.018	0.046±0.005	0.225±0.023	3.85±0.11
	Primary needle	0.148±0.015	0.051±0.006	0.199±0.021	0.054±0.005	0.253±0.026	3.64±0.10
Ambient + 5.2	Before germination	0.103±0.008	0.029±0.003	0.131±0.010	0.036±0.002	0.167±0.012	3.77±0.27
	Cotyledon	0.082±0.007	0.025±0.002	0.106±0.009	0.032±0.003	0.139±0.011	3.33±0.15
	Primary needle	0.118±0.010	0.034±0.002	0.152±0.012	0.039±0.003	0.190±0.015	3.91±0.10

¹ Means±SE

Table 3. Effects of UV-B irradiation for 16weeks on chlorophyll concentration in the needles of *Pinus densiflora* seedlings.

UV-B treatment (KJ m ⁻² day ⁻¹)	Chlorophyll(mg g ⁻¹ fresh weight)			a/b
	a (% to ambient)	b (% to ambient)	total (% to ambient)	
Ambient	1.21±0.06 ¹	0.35±0.03	1.56±0.07	3.47±0.07
Ambient + 3.2	1.18±0.05(97.5)	0.32±0.02(91.4)	1.50±0.10(96.2)	3.69±0.08
Ambient + 5.2	0.99±0.08(81.8)	0.27±0.03(77.1)	1.27±0.09(81.4)	3.67±0.07

¹ Means±SE

하여 엽록소 함량이 더욱 낮았는데 엽록소 a의 경우 대조구의 81.8, b는 77.1, 총엽록소의 경우에는 81.4%를 보였다.

UV-B 증가와 잎 엽록소와의 관계에 대한 연구는 일찍부터 많은 연구가들에 의해 탐구되었는데 UV-B에 대한 식물의 감수성에 따라 엽록소의 양이 증가 또는 감소된다고 한다¹⁶⁾ 식물전체의 건물량 감소와 순광합성량의 감소는 엽내 엽록소 농도의 감소와 관계가 있으며¹⁵⁾, 높은 수준의 UV-B는 엽록소 a보다 엽록소 b의 합성을 억제하여 엽록소 a/b율을 높인다고 한다¹⁷⁾. 본 실험에서는 ambient+3.2에서와 ambient+5.2에서 각각 3.69 및 3.67로 서로 비슷하였으며 대조구의 3.47보다는 높게 나타났다. 이는 엽록소 a의 감소보다 b의 감소가 더 크게 나타났기 때문으로 해석된다.

결론

환경적 스트레스 UV-B 처리에 의하여 소나무 유묘의 수고생장, 근원경생장, 건물생산량 및 엽록소 함량은 감소하였다. 소나무 유묘의 초기 성장단계에서 UV-B 증가 환경에 노출되는 시기에 따라서도 그들의 성장반응이 다르게 나타났는데, 본 실험에서 실시한 두 수준의 UV-B 증가 시험구 중에서 상대적으로 낮은 ambient+3.2 KJ m⁻²day⁻¹ 처리구내에서, 말아진 단계에서부터 UV-B 처리를 받은 유묘의 근원경생장이 자엽 단계 또는 1차엽 단계에서부터 처리를 받은 유묘의 성장보다 높게 나타난 것은 유묘가 토양을 뚫고 나오면서부터 상대적으로 높은 UV-B 환경에 노출되었기 때문에 형성된 UV-B에 대한 반응의 결과로 사료된다. 이러한 본 실험의 결과는 앞으로 수 많은 종류의 유묘들이 자연적 또는 인위적 발생에 의하여 예상되는 들연한 UV-B 증가 환경에 대하여 어떻게 반응하는가에 대한 기초자료로 축적, 이용되기를 기대한다.

인용문헌

1. 김종진, 홍성각. 1993. 자외선-B 조사가 피나무 유묘의 Hook 열립에 미치는 영향. 임

산에너지 13(2):78-84.
 2. 김종진, 홍성각. 1996. 환경적 스트레스 자외선-B 조사에 의한 피나무 유묘의 초기생장 특성. 한국환경농학회지 15(4):448-454.
 3. 김종진, 홍성각. 1999. 자외선-B 증가조사에 대한 양수와 증성수 유묘의 생장과 생리적 반응에 관한 연구. 한국임학회지 88(4):469-476.
 4. Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplast. Polyphenoloxidases in *Beta Vulgaris*. Plant Physiology 24:1-15.
 5. Blumthaler, M. and W. Ambach. 1990. Indications of increasing solar ultraviolet-B radiation flux in alpine region. Science 248:206-208.
 6. 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.
 7. 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.
 8. Frederick, U. 1989. The biological effects of increased ultraviolet radiation: An update. Photochem. Photobiol. 50:439-441.
 9. 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.
 10. 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.
 11. Petropoulou, Y., A. Kyprisissis, 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.
12. 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.
 13. Sullivan, J.H. and A.H. Teramura. 1992. The effects of ultraviolet-B radiation on loblolly pine. *Trees* 6:115-120.
 14. 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.
 15. Teramura, A.H. 1983. Effects of ultraviolet-B radiation on the growth and yield of crop plants. *Physiol. Plant.* 58:415-427.
 16. Tevini, M. and A.H. Teramura. 1989. UV-B effects on terrestrial plants. *Photochem. Photobiol.* 50:479-487.
 17. 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.