

Eucalyptus pellita 의 器內 줄기생장에 미치는 LEDs (Light-emitting diodes) 및 換氣處理 효과

金志娥 · 文興奎*

국립산림과학원 생물공학과

Effect of Light-emitting Diodes (LEDs) and Ventilation on the *In Vitro* Shoot Growth of *Eucalyptus pellita*

Ji-Ah Kim and Heung Kyu Moon*

Biotechnology Div., Korea Forest Research Institute, Suwon 441-350, Korea

요 약: *Eucalyptus pellita* 기내줄기를 재료로 광질에 따른 생육 특성을 조사하였다. 전반적으로 줄기의 생장은 광질 보다는 환기처리가 더 주요한 요인으로 나타났다. 특히 환기처리 한 청색광(blue LED) 하에서 묘고, 잎수, 절간수 및 액아수가 양호하였고, 잎에 캘러스가 형성되지 않았다. 식물체의 총질정도를 나타내는 건물을 역시 환기처리 하에서 높게 나타났으며, 청색광 하에서 가장 높은 건물율을 나타냈다. 광질별 총엽록소 함량은 형광등과 혼합광 R5B5(50% red LED + 50% blue LED)에서 24.5 µg/g 및 20.1 µg/g으로 가장 높게 나타났다. 광합성에 관여하는 카로티노이드 함량 역시 적색광(red LED)을 제외한 모든 광질에서 환기 처리 시 양호하게 나타났다. 결론적으로 *E. pellita*의 기내 줄기생장은 환기처리가 중요하고, 총 카로티노이드 함량을 기준으로 볼 때 혼합광 R5B5에서 건전한 줄기생장이 가능한 것으로 나타났다.

Abstract: Various light sources including LEDs (Light emitting diodes) affecting on shoot growth was examined using *in vitro* shoots of *E. pellita*. Generally, it appeared that ventilation treatment was the most important factor affecting on normal shoot growth, irrespective of irradiation sources. Ventilation resulted in better performance of the cultures under 100% blue LED radiation. These include better shoot growth, more number of leaves, more number of internodes, more number of axillary buds, and heavier dry matters. The highest total chlorophyll content was obtained under both cool-white fluorescent lamps and R5B5 (50% red LED + 50% blue LED). The value was 24.5 µg/g and 20.1 µg/g, respectively. In addition, ventilation resulted in higher carotenoid content in all irradiation sources except 100% red LED radiation. In conclusion, shoot growth of *E. pellita* could be reached maximum by ventilation under R5B5 (50% red LED + 50% blue LED).

Key words : *Eucalyptus pellita*, Shoot growth, Light-emitting diodes, Ventilation

서 론

기내 번식의 효율증진을 위해서는 온도, 습도, 빛, 환기 등 기내 환경요인의 적정화가 중요하다. 이 가운데 빛(light)은 식물생장의 가장 중요한 부분을 차지하고 있다(Kraepiel and Miginiac, 1997). 기내번식에 있어 식물체의 광합성과 생육에 미치는 광량자속밀도(PPF; photosynthetic photon flux)의 중요성은 이미 여러 수종에서 보고 된 바 있고(Cui *et al.*, 2000; Kozai *et al.*, 1997), 광질(spectral quality) 또한 식물기관의 형태형성과 광합성에 중요한 역할을 수

행한다(Hoenecke *et al.*, 1992). 대부분 식물의 기내배양에서는 90% 이상 냉백색 형광등(cool-white fluorescent lamps)을 사용하고 있으나, 이 광원은 생장에 불필요한 파장을 포함하고 있고 수명이 짧은 단점이 있다. 이로 인해 조식배양묘 생산 비용의 약 65% 이상이 형광등의 교환 및 전기료에 소모되어 실용적인 측면에서 비효율적이다(Dooley, 1991). 따라서 상업적인 면에서 식물체의 품질을 향상 시키고 생산 단가를 낮출 수 있는 광원으로 최근 LEDs(light emitting diodes)의 사용이 증가되고 있다.

LEDs는 램프의 부피와 무게가 작고, 수명이 길며, 에너지 효율이 높고, 열이 적게 발생하여 안전하며, 작은 공간에서도 식물생장에 이상적인 빛을 공급함으로써 집약적

*Corresponding author
E-mail: hkmoon@foa.go.kr

인 배양 체계를 갖출 수 있는 장점이 있다(Bula *et al.*, 1991). 또한 청색광(blue LED)과 적색광(red LED)의 최고 발산점(peak emission)이 엽록소 a와 b의 흡수 최고점(absorption peaks)과 일치하여 광합성 효율의 극대화를 가져올 수 있는 장점도 지닌다(Mcree, 1972).

LED 하의 적색광과 far-red 광의 조명은 식물의 길이 생장, 개화 및 기공의 형성을 촉진하며, 해부적인 특성에 관여하는 피토크롬형성을 촉진시킬 수 있다. 또한 적색광은 식물의 광합성 기구의 발달에 중요한 역할을 하며, 잎에서 생성된 광합성 산물의 이동을 억제하여 전분 축적을 증가시키는 역할을 하는 것으로 추측되고 있다(Saebo *et al.*, 1995). 반면, 청색광은 엽록소 형성, 효소의 합성과 형태 형성(Senger, 1982), 엽록체 발달(Akoyunoglou and Anni, 1984), 기공의 열림(Zeiger, 1984) 등에 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다.

LEDs를 이용한 일반식물의 기내생장 반응은 많은 연구가 진행되어 왔으나(Appelgren, 1991, Hoenecke *et al.*, 1992, Fujiwara *et al.*, 1995, Goins *et al.* 1997, Hahn *et al.*, 2000), 목본류의 기내 생장 실험은 매우 부족한 상태에 있다. Smith 등(1990)과 Warrington 등(1989)은 초본식물 및 소나무류에서 줄기신장과 유도, 정아우세 억제에 의한 측지 유도의 광질 효과를 비교한 바 있고, Hoad와 Leakey(1996)는 적색광과 far-red 광을 여러 비율로 처리하여 유카리속 수종의 줄기증식과 발근 시험을 수행한 바 있다.

본 실험은 인도네시아 동부 깔리만탄 지역에서 조림수종으로 유망시되는 *E. pellita* 기내묘를 재료로 LEDs 하의 광질과 배양용기의 환기 유무에 따른 줄기 생장 및 기공의 형태를 관찰하였다.

재료 및 방법

1. 식물재료

이전의 실험결과(문홍규 등, 2003)에서 얻어진 *E. pellita* 기내묘를 재료로 하였다. 1/2DKW(Driver and Kuniyki, 1984) 기본배지에서 2년 이상 계대배양 중에 있는 기내 식물체의 정아부를 사용하였다. 2~3 cm 정아 신초지를 잎은 4~5장, 절간은 1~2 마디가 되도록 절단하여 사용하였다. 배지는 DKW 기본배지(sucrose 3%, gelrite 0.3%)를 플라스틱 용기 [100×40 mm, Gaooze(주)]에 80 ml씩 넣어 사용하였다. 절편은 용기 당 7개씩 치상하여 5 반복으로 실시하였다.

2. LEDs (Light-emitting diodes)와 환기처리

광 처리는 4가지 LED 광원을 사용하였으며, 형광등을 대조구로 사용하였다. (1) 형광등(F), (2) 100% 적색광(R),

(3) 100% 청색광(B), (4) 50% red+50% blue(R5B5) (5) 70% red + 30% blue(R7B3)를 사용하였고, 청색광은 440 nm에서 적색광은 650 nm에서 최고 발산점(peak emission)을 가지도록 하였다. 모든 광량자속밀도(photosynthetic photon flux)는 $40 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로 동일하게 사용하였다. LEDs 시스템은 'GF 320 LED 램프' [좋은 인상(주)]를 배양상에 장착하여 사용하였다. 각각의 배양상은 온도 $24 \pm 1^\circ\text{C}$, $70 \pm 5\%$ 의 상대습도가 유지되도록 고정하였다. 배양용기의 환기 처리는 cork borer로 지름 14.5 mm의 환기구멍을 만든 후 0.5 μm milipore membrane filter(Mill-Seal; Millipore, Japan)로 밀봉한 것과, 무처리의 두 가지를 사용하였다.

3. 엽록소 측정 및 기공관찰

잎의 총엽록소 함량은 Wellburn (1994)의 방법으로 측정하였다. 기공 관찰을 위한 잎은 정아부에서 아래로 두 번째 위치한 잎을 $0.5 \times 0.5 \text{ cm}$ 의 크기로 잘라 stub 위에 잎의 뒷면이 위로 향하도록 고정하였다. 임계점 건조기(critical-point dryer: ABT CP-5A, Japan)에서 건조시키고 ion coater(Eiko IB03, Japan)에 넣어 금 코팅한 후, SEM(ABT-55, Japan)을 이용하여 약 500배로 기공을 관찰하였다.

4. 생육조사

배양 4주 후 식물체 길이, 잎 수, 절간 수, 액아 수 및 정단부 잎의 캘러스 형성을 조사하였다. 다음 광질에 따른 생중량, 건중량 및 건물질을 조사하였다. 건중량은 생중량을 측정한 후 식물체를 80°C dry oven에서 24시간 동안 건조시켜 측정하였다. 처리 간 차이는 SAS program (SAS Institute Inc. USA)을 이용한 Duncan's 다중검정으로 분석하였다.

결 과

기내배양 4주 후 광질에 따른 *E. pellita*의 생육결과는 Table 1에 나타내었다. 줄기생장은 용기의 환기유무에 따라 뚜렷한 차이를 보이지 않았고, 광질에 따른 차이를 보였다. 환기 하에서는 청색광(B)에서 줄기생장이 가장 좋았으며, 혼합광 R7B3에서 가장 저조하여 2배 정도의 차이를 나타냈다. 그 다음으로는 형광등에서, 기타 혼합광 및 적색광에서는 21~23 mm 정도의 줄기생장으로 광질간 차이를 보이지 않았다. 환기 무처리 시에는 청색광 및 적색광 하에서 줄기생장이 양호하였고, 형광등 및 두 가지 혼합광하에서는 저조한 것으로 나타났다(Table 1). 한편 청색광 하의 줄기는 도장지의 형태로 성장하여 기타 광질 하의 것보다 유약하게 성장하는 것으로 관찰되었다.

Table 1. Growth specific comparison of *E. pellita* microshoot under various radiation sources.

Ventilation	Light*	Height (mm)	No. of leaf	No. of node	No. of axillary bud	% of callus on apical bud
Yes	F	28.5 bc ^y	8.1 ab	3.2 d	5.8 cd	36.0
	B	39.6 a	8.9 a	4.69 a	7.6 ab	0
	R	23.3 c	7.9 b	3.7 bcd	4.0 e	86.0
	R5B5	22.4 c	8.5 ab	3.8 bcd	6.1 cd	64.0
	R7B3	21.1 c	7.0 c	3.4 bcd	6.3 bcd	79.0
No	F	24.1 c	3.8 e	3.9 b	8.0 a	0
	B	33.8 b	4.0 e	3.3 cd	6.2 cd	0
	R	32.0 bc	4.0 e	3.2 cd	5.5 d	0
	R5B5	23.2 c	5.1 d	3.7 bcd	7.0 abc	0
	R7B3	21.3 c	4.7 de	3.8 bc	7.5 ab	0

*F-fluorescent lamp; B-blue LED; R-red LED; R5B5-50% red LED+50% blue LED; R7B3-70% red LED+30% blue LED

^yValues followed by the same letter within a column are significantly different, as indicated by Duncan multiple range test($p=0.05$).

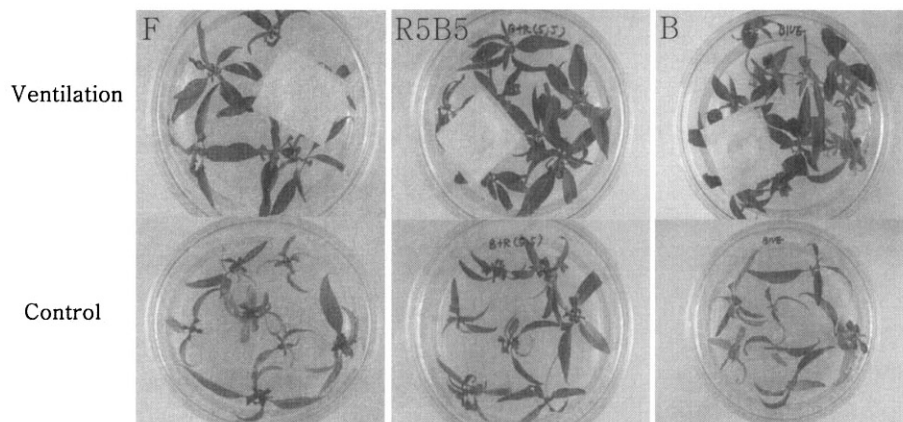


Figure 1. Shoots growth and morphology of *E. pellita* under various light qualities and air exchange. F-fluorescent lamp; R5B5-50% red LED+50% blue LED; B-100% blue LED.

잎 수는 광질 보다는 환기 유무에 따라 차이를 크게 나타내었다. 전반적으로 환기 하에서 무처리 시 보다 2배 정도의 잎 수를 가지는 것으로 나타났으며, 청색광, 혼합광 R5B5 및 형광등에서 양호하였고, 적색광 및 혼합광 R7B3에서는 다소 적은 잎을 가져 유의적인 차이를 보였다. 반면 환기 무처리 시에는 혼합광에서 다소 많은 잎을 가져 기타 광질과 유의적인 차이를 보였으나 환기처리 시 보다는 대체로 잎 수가 적은 것으로 관찰되었다. 한편 환기 하의 줄기 정단부 앞에서는 대부분 캘러스가 형성되었는데, 청색광에서는 예외적으로 캘러스가 형성되지 않았다. 이러한 정단부의 캘러스는 줄기의 성장에는 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 그리고 잎의 색과 크기는 광질보다는 환기유무에 따라 영향을 받는 것으로 나타나 환기 하의 식물체는 잎이 진녹색을 띠었고, 무처리 시에는 연녹색을 띠었다(Figure 1). 잎의 크기도 환기유무의 영향을 크게 받아 환기하에서는 대체적으로 크고 단단한 형태의 잎자루가 형성되었고, 무처리 시에는 잎이 연녹색을 띠며, 폭이 좁고 짧으며, 줄기 하부에서 흔히 황화가 나타나고 엽병이 고사하여 잎이 탈락하는 것으로 관찰되었다

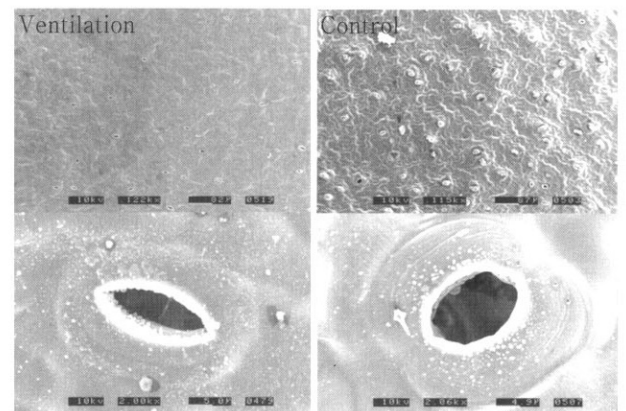


Figure 2. Stomata structure of ventilated leaf and non-ventilated leaf under 50% red LED + 50% blue LED.

(Figure 1).

한편 환기유무는 잎의 기공 밀도 및 형태에도 영향을 주는 것으로 관찰되었다. 환기하의 잎에서는 기공의 크기가 크고 낮은 밀도를 나타낸 반면, 환기 무처리 시에는 기공 크기가 작고 높은 밀도의 기공을 가지는 것으로 관찰되었다(Figure 2). 이러한 차이는 환기에 따른 기공의 가스교

환 효율과 밀접한 관계가 있는 것으로 생각되었다.

절간 수는 환기유무와 광질에 따른 큰 차이를 보이지 않았다. 환기 하의 청색광에서는 평균 4개 이상의 절간을 나타내어 다른 처리보다 유의적인 차이를 보였으나, 기타 광질에서는 평균 3개 정도의 절간을 가지는 것으로 나타났다.

액아의 형성은 환기유무 및 광질에 따라 뚜렷한 차이를 보였다. 액아는 환기 무처리 시에 오히려 다소 증가하는 것으로 나타났으며, 형광등과 혼합광에서 양호하여 청색광 및 적색광 단독처리 시보다 유의적인 차이를 나타내었다. 단독광인 청색광 및 적색광에서는 액아 형성이 저조한 반면, 환기 하에서는 청색광에서 오히려 액아 형성이 증가하여 광질에 따른 차이를 보여주었다(Table 1).

생중량과 건중량 그리고 건물질은 환기 하에서 다소 양호하게 나타났으나 광질에 따라서도 차이를 나타냈다(Table 2). 환기 하에서는 청색광, 형광등 및 혼합광 R5B5에서 생중량이 높은 반면, 무처리 시에는 청색광, 적색광 및 혼합광 R7B3에서 높은 생중량을 나타냈다. 이러한 경향은 건중량에서도 유사하게 관찰되었다. 한편 식물체의 충실 정도를 나타내는 건물질(dry matter)은 모든 광질에서 환기처리 시 무처리보다 양호하게 나타나 이 수종의 기내배양 시 고려해야 될 내용으로 생각되었다. 환기 무처리 시에는 적색광, 형광등 및 혼합광 R5B5에서 다소 양호한 건물질을 보였고, 청색광 및 혼합광 R7B3에서는 저조하게 나타났다.

엽록소의 함량에 있어서도 환기 하에서 무처리 보다 대체적으로 높게 나타났으며 형광등 및 혼합광 R5B5에서 가장 높은 엽록소 함량을 보였다. 특히 환기 무처리 시에도 혼합광 R5B5에서 가장 높은 엽록소 함량 및 총 카로티노이드 함량을 나타내 이 수종의 적합한 광질 조건으로 생각되었다. 배양과정에서 형광등 및 혼합광 R5B5 하에서 잎이 진녹색을 띠는 반면, 다른 광질에서는 연녹색 혹은

Table 2. Fresh weight (F.W) and dry weight (D.W) of the shoots grown under various radiation sources.

Ventilation	Light	F.W. (mg)	D.W. (mg)	Dry matter percentage ^y
Yes	F	190.4 ab ^x	40.6 ab	21.3
	B	215.8 a	46.8 a	21.7
	R	128.5 b	27.8 b	21.6
	R5B5	144.8 ab	29.3 b	20.2
	R7B3	107.7 b	23.2 b	21.5
No	F	118.6 b	23.1 b	19.5
	B	158.6 ab	24.5 b	15.4
	R	163.7 ab	33.6 ab	20.5
	R5B5	127.7 b	23.9 b	18.7
	R7B3	153.5 ab	24.6 b	16.0

^x Values followed by the same letter within a column are significantly different, as indicated by Duncan multiple range test (p=0.05).

^yDry matter percentage = (Dry weight / Fresh weight) × 100

Table 3. Chlorophyll and carotenoid contents of the shoots grown under various radiation sources.

Ventilation	Light ^x	Total chlorophyll (µg/g FW)	Total carotenoid (µg/g FW)
Yes	F	24.5 ± 0.7 ^y	3.5 ± 0.8 ^y
	B	14.7 ± 1.9	2.6 ± 0.3
	R	17.1 ± 1.2	3.6 ± 0.4
	R5B5	20.1 ± 5.5	4.3 ± 1.1
	R7B3	17.8 ± 4.6	3.7 ± 0.7
No	F	11.3 ± 0.8	2.5 ± 0.3
	B	11.8 ± 2.2	2.2 ± 0.3
	R	12.4 ± 2.3	3.8 ± 0.8
	R5B5	14.6 ± 4.6	3.7 ± 1.5
	R7B3	13.0 ± 2.9	2.7 ± 1.1

^xF-fluorescent lamp; B-blue LED; R-red LED; R5B5-50% red LED+50% blue LED; R7B3-70% red LED+30% blue LED.

^yMean ± standard deviation

노란색이 섞인 녹색의 잎으로 성장하였는데 이 같은 상태는 엽록소 및 카로티노이드의 함량이 가장 낮았기 때문으로 설명될 수 있다.

고 찰

기내생장에 미치는 광질(light quality)의 효과는 여러 초본식물에서 주로 관찰되었고, 목본류의 연구는 미진한 상태에 있다. 초본류의 경우 국화와 토마토(Mortensen and Stromme, 1987), 창질경이(Arjen and Peter, 1997), 지황(Hahn *et al.*, 2000), 밀(Goins *et al.*, 1997), *Azorina vidalii* (Moreira and Debergh, 1997), 상추(Hoenecke, 1992) 등에서 줄기 신장 및 형태 형성에 미치는 광질의 효과가 비교되었고, 목본류에서는 포도의 액아 형성(Chee and Pool, 1989), 자작나무 잎의 크기와 해부적 관찰(Saebø *et al.*, 1995), 배나무의 근계형성(Bertazza *et al.*, 1995)에 미치는 광질의 효과가 시험되었다. *Eucalyptus grandis*의 광질 시험에서는 red + far-red LED 하에서 줄기 길이, 건중량 및 잎 면적이 증가함을 관찰하였다(Hoad and Leakey, 1996).

줄기의 생장에 미치는 광질의 효과는 수종에 따라 매우 다르게 나타난다. 초본류인 *Pelargonium*과 딸기에서는 청색광하에서 줄기신장이 현저히 억제된 반면(Appelgren, 1991), 오이에서는 저광도(30 µmol m⁻² s⁻¹)의 청색광에서 줄기생장 및 건중량이 증가한다고 하여 식물 종에 따른 차이를 보였다(Sung 등, 1988). 이와 유사한 연구로 Tanaka(1999)는 *Eucalyptus*와 딸기에 적색광을 대조구로 적색광과 청색광의 비율을 다르게 처리한 결과, 적색광은 식물체의 초장을 도장시키는 결과를 가져왔으며, 따라서 초장의 조절을 위해서는 두 가지의 광을 혼합할 필요가 있다고 하였다. 한편 Hahn 등(2000)은 지황을 재료로 적색광 혹은 청색광의 단독 처리가 혼합광의 처리보다 더

양호한 줄기생장을 가져왔다고 하였으나 단독 처리 시에는 형광등 혹은 혼합광의 처리보다 도장지가 나타날 확률이 높아 식물체가 연약하게 성장하는 단점이 있다고 하였다. 본 실험에서도 이와 유사한 결과가 관찰되었는데 청색광의 단독 처리 시에는 줄기가 도장지의 형태로 성장하였고, 이로 인해 다른 처리에 비해 성장요소가 좋았음에도 불구하고 식물체가 유약한 상태로 자라는 단점이 있었다. 따라서 *E. pellita* 기내생장의 적정화를 위해서는 청색광의 단독 처리보다는 혼합광의 사용이 좋을 것으로 생각된다.

일반적으로 적색광은 식물의 광합성기관 발달에 중요한 역할을 하며, 잎에서 형성된 광합성 산물의 전좌(translocation)를 억제하여 탄수화물의 축적을 증가시키는 역할을 한다(Saebø *et al.*, 1995). 그리고 청색광은 엽록체 형성 및 엽록소 발달(Saebø *et al.*, 1995; Akoyunoglou and Anni, 1984), 기공의 열림(Zeiger, 1984), 효소 합성, 광합성 주기의 활성화 및 광형태 형성(Senger, 1982) 등에 중요한 역할을 한다. 따라서 각각의 광원을 적당히 배합하여 사용하는 것이 기내배양된 식물의 성장효율 증대에 기여할 수 있음을 시사해준다. 한편 이상의 여러 결과에서 확인된 엽록체의 형성과 발달에 기여하는 청색광의 효과에도 불구하고, 본 실험에서는 환기유무에 관계없이 청색광에서 엽록소 함량과 카로티노이드 함량이 가장 낮게 나타나고, 오히려 혼합광과 형광등 하에서 높게 나타나 수종에 따른 차이를 나타내었다. Goins 등(1997)은 밀의 재배에서 청색광과 적색광의 혼합처리로 식물체 지상부 건물중과 광합성 효율이 증가함을 보여 본 실험과 유사한 결과를 보여주었다.

환기처리(ventilation)는 배양용기의 가스 구성에 영향을 미치는 중요한 요인이다. 따라서 가스교환이 용이하도록 배양용기에 microporous membranes filter를 부착하여 CO₂의 확산을 증가시켜 기내 식물 성장을 촉진시킬 수 있다(Cournac *et al.*, 1991). Smith 등(1990)은 식물체의 기내 생육은 배양용기의 상대 습도 조절을 통해 개선될 수 있을 것이라 하였는데, 환기를 통해 가스교환을 증가시키고 배양용기 상단의 상대 습도를 감소시켜 식물체의 호흡을 증진시킬 수 있다는 것이다. 더욱이 환기가 잘되는 용기에서는 배지의 무기양료의 운반능력이 현저하게 증가된다고 한다(Zobayed *et al.*, 2002). 본 실험에서 기내배양된 *E. pellita*의 줄기생장, 잎 및 액아형성은 광질 및 환기유무에 따라 크게 영향을 받았으며, 줄기의 생장은 도장지의 형태로 성장한 청색광에서 가장 좋았고, 다음은 형광등, 적색광 및 혼합광의 순서로 성장을 나타냈다. 또한 환기처리 하의 잎은 무처리 보다 더 진녹색을 띠고, 잎의 생장이 커지는 것으로 나타났다. 이것은 아마도 환기 처리시에는 CO₂의 함량이 높은 반면, 무처리 시에는 CO₂ 농

도가 낮고 에틸렌 농도가 높아 광합성의 효율이 떨어졌기 때문으로 추정된다(Zobayed *et al.*, 2002). 비슷한 연구로 딸기, 꽃양배추, 고구마 등의 기내 배양 시 환기 무처리 시에는 용기에 에틸렌이 축적되어 광합성 효율을 약화시키는 것으로 확인되었다(Prasad and Cline, 1985; Zobayed *et al.*, 1999). 한편 액아수에 있어서도 환기 처리시 무처리보다 적게 나타나 같은 현상으로 생각된다. Gonzalez 등(1997)은 *Populus temula* L.를 이용한 실험에서 배양 용기내 에틸렌의 축적은 잠아의 길이를 신장시키고, 새로운 눈을 발달시키는 것 같다고 하여 본 실험결과와 유사하였다. Fujiwara 등(1995)도 배양 용기의 환기를 통해 딸기와 유채의 기내 식물체의 생육을 증가시킬 수 있었다. 또한 Cui 등(2000)은 *Rehmannia glutinosa*에서 환기 처리시 무처리보다 2배 정도 엽록소 함량이 높다고 하였다.

흥미로운 사실은 환기처리 시 청색광을 제외한 모든 광원 하에서 정단부의 잎에 캘러스가 형성된 점이다. 캘러스는 적색광에서 86%로 가장 많이 형성되었다(Table 1). 이것은 환기처리 시 용기내의 상대습도가 낮아지고, 가스교환을 통해 호흡이 증가하여 배지로부터 양료 및 성장조절물질의 흡수가 증가하고, 이것이 정아부와 잎에 과다 축적되어 캘러스를 형성하는 것으로 추정되어진다. 그러나 환기하의 청색광에서 캘러스가 형성되지 않은 점과, 환기 무처리 하의 모든 광질에서 캘러스가 형성되지 않은 점은 배양용기내의 가스축적 및 광질과 관련하여 원인규명을 위한 차후의 실험이 요구된다.

결론적으로 *Eucalyptus pellita*의 기내 줄기생장은 환기처리가 중요한 요인으로 작용하며, 광질로는 청색광의 단독처리보다는 혼합광의 처리로 건전한 줄기생장이 가능하다고 생각된다. 환기유무에 관계없이 혼합광인 R5B5 하에서 엽록소의 함량과 카로티노이드의 함량이 높게 나타나 이 수종의 기내 성장을 위한 광질로 적당한 것으로 생각된다. 따라서 *E. pellita*의 기내배양은 형광등 하에서 배양하는 것보다 배양용기에 환기처리를 하고, 50% 적색광 LED + 50% 청색광의 LED 사용으로 건전한 줄기생장이 가능할 것으로 보인다.

인용문헌

1. 문흥규, 김지아, 이현진, 강호덕. 2003. 액아유도에 의한 *Eucalyptus pellita*의 기내번식. 식물생명공학회지 30: 269-273.
2. Akoyunoglou, G. and Anni, H. 1984. Blue light effect on chloroplast development in higher plants, In: Senger H (Ed), Blue light effects in biological systems, Springer-Verlag, Berlin, pp. 397-406.
3. Appelgren, M. 1991. Effects of light quality in stem elongation of *Pelargonium in vitro*. Hortscience 45: 345-351.

4. Arjen, V.H. and Peter, V.T. 1997. Variation in growth form in relation to spectral light quality (red/far-red ratio) in *Plantago lanceolata* L. in sun and shade populations. *Oecologia* 111: 452-459.
5. Bertazza, G., Baradil, R. and Predieri, S. 1995. Light effects on *in vitro* rooting of pear cultivars of different rhizogenic ability. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 41: 139-143.
6. Bula, R.J., Morrow, T.W., Tibbitts, T.W., Barta, D.J., Ignatius, R.W. and Martin, T.S. 1991. Light-emitting diodes as a radiation source for plants. *Hortscience* 120: 808-813.
7. Chee, R. and Pool, R.M. 1989. Morphogenetic responses to propagule trimming, spectral irradiance, and photoperiod of grapevine shoots re-cultured *in vitro*. *HortScience* 114: 350-354.
8. Cournac, L., Dimon, B., Carrier, P., Lohou, A. and Chagvardieff, P. 1991. Growth and photosynthetic characteristic of *Solanum tuberosum* plantlets cultivated *in vitro* under different conditions of aeration, sucrose supply, and CO₂ enrichment. *Plant Physiology* 97: 112-117.
9. Cui, Y.I., Hahn, E.J., Kozai, T. and Paek, K.Y. 2000. Number of air exchanges, sucrose concentration, photosynthetic photon flux, and differences in photoperiod and dark period temperatures affect growth of *Rehmannia glutinosa* plantlets *in vitro*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 62: 219-226.
10. Dooley, J.H. 1991. Influence of lighting spectra on plant tissue culture, Presented at an ASAE (American Society of Agricultural Engineers) Meeting, Chicago, Illinois.
11. Driver, J.A. and Kuniyuki, A.H. 1984. *In vitro* propagation of paradox walnut rootstock. *Hortscience* 19(4): 507-509.
12. Fujiwara, K., Kira, S. and Kozai, T. 1995. Contribution of photosynthesis to dry weight increase of *in vitro* potato cultures under different CO₂ concentrations. *Acta Horticulturae* 393: 119-125.
13. Goins, G.D., Yorio, N.C., Sanwon, M.M. and Brown, C.S. 1997. Photomorphogenesis, photosynthesis and seed yield of wheat plants grown under red light-emitting diodes (LEDs) with and without supplemental blue lighting. *Journal of Experimental Botany* 48: 1407-1413.
14. Gonzalez, A., Arigita, L., Majada, J. and Sanchez Tams, R. 1997. Ethylene involvement in *in vitro* organogenesis and plant growth of *Populus tremula* L. *Plant Growth Regulation* 22(1): 1-6.
15. Hahn, E.J., Kozai, T. and Paek, K.Y. 2000. Blue and red light-emitting diodes with or without sucrose and ventilation affects *in vitro* growth of *Rehmannia glutinosa* plantlets. *Journal of Plant Biology* 43: 247-250.
16. Hoad, S.P. and Leakey, R.R.B. 1996. Effect of pre-severance light quality on the vegetative propagation of *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. Stock plant gas exchange and dry matter partitioning between shoots and their leaves and stems. *Forest and Ecology Management* 70: 265-273.
17. Hoenecke, M., Bula, R.J. and Tibbitts, T.W. 1992. Importance of 'blue' photon levels for lettuce seedlings grown under red light-emitting diodes. *HortScience* 27: 427-430.
18. Kozai, T., Kubota, C. and Jeong, B.R. 1997. Environmental control for large-scale production of plants through *in vitro* techniques. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 51: 49-56.
19. Kraepiel, Y. and Miginiac, E. 1997. Photomorphogenesis and phytohormones. *Plant Cell and Environment* 20: 807-812.
20. Mcree, K.J. 1972. The action spectra, absorptance and quantum yield of photosynthesis in crop plants. *Journal of Agricultural Meteorology* 9: 191-196.
21. Mortensen, L.M. and Stromme, E. 1987. Effects of light quality on some greenhouse crops. *Hortscience* 33: 27-36.
22. Moreira da Sikva M.H. and Debergh, P.C. 1997. The effect of light quality on the morphogenesis of *in vitro* cultures of *Azorina vidalii* Feer. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 51: 187-193.
23. Prasad, T.K. and Cline, M.G. 1985. Mechanical perturbation-induced ethylene releases apical dominance in *Pharbitis nil* by restricting shoot growth. *Plant Science* 41: 217-222.
24. Saebo, A., Krekling, T. and Appelgren, M. 1995. Light quality affects photosynthesis and leaf anatomy of birch plantlets *in vitro*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 41: 177-185.
25. Senger, H. 1982. The effect of blue light on plants and microorganisms. *Photochemistry and Photobiology* 35: 911-920.
26. Smith, E.F., Roberts, A.V. and Mottley, J. 1990. The preparation *in vitro* of *Chrysanthemum* for transplantation to soil. 3. Improved resistance to desiccation conferred by reduced humidity. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 21: 141-145.
27. Sung, I.K., Kitoya, M. and Hirano, T. 1998. The effects of time and intensity of supplemental blue lighting during morning twilight on growth and physiological performance of cucumber seedlings. *Life Support and Biosphere Science* 5: 137-142.
28. Tanaka, M. 1999. The use of light-emitting diodes (LED) as a novel light source for micropropagation. Proc. Kor-Jap. Joint Symposium on Transplant Production in Horticultural Plants. Nov. 1999. Chungbuk Nat'l Univ. pp. 43-52.
29. Warrington, I.J., Rook, D.A., Morgan, D.C. and Turnbull, H.L. 1989. The influence of stimulated shade light and daylight on growth, development and photosynthesis of *Pinus radiata*, *Agathis australis* and *Dicorydium cupressinum*. *Plant Cell Environment* 12: 343-356.
30. Wellburn, A.R. 1994. The spectral determination chloro-

- phyll a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of Plant Physiology* 144: 307-313.
31. Zeiger, E. 1984. Blue light and stomatal function. In: Senger H (Ed) *Blue light effects in biological systems*, Springer-Verlag, Berlin pp. 484-494.
32. Zobayed, S.M.A., Armstrong, J. and Armstrong, W. 1999. Evaluation of a closed system, diffusive and humidity-induced convective through flow ventilation on the growth and physiology of cauliflower *in vitro*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 59: 113-123.
33. Zobayed, S.M.A., Armstrong, J. and Armstrong, W. 2002. Multiple shoot induction and leaf and flower bud abscission of *Annona* cultures as affected by types of ventilation. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 69: 155-165.
-
- (2006년 8월 30일 접수; 2006년 10월 9일 채택)