

희귀 및 멸종위기 식물 덩굴용담의 기내생장에 미치는 광질 및 환기효과

문흥규, 박소영
국립산림과학원 생물공학과

Effect of different light sources and ventilation on *in vitro* shoot growth and rooting of a rare and endangered species, Tsuru-rindo (*Tripterospermum japonicum*)

Heung-Kyu Moon and So-Young Park

Division of Biotechnology, Korea Forest Research Institute (KFRI), Suwon, 441-350, Korea

ABSTRACT Effects of light generated by LEDs on shoot growth and rooting of Tsuru-rindo (*Tripterospermum japonicum*) were evaluated. Apical shoots (one or two node with 3-4 leaves) were cultured on MS basal medium with 3% sucrose and maintained for four weeks under five different light qualities: fluorescent lamp (F), 100% red LED (R), 70% red LED+30% blue LED (R7B3), 50% red LED+50% blue (R5B5), or 100% blue LED (B). Rooting was promoted by both red light and fluorescent lamp, and the effect was further promoted under the ventilation. Red light enhanced shoot node elongation, whereas blue light appeared to suppress it. Growth of shoots and leaves were enhanced under the ventilation irrespective of the different light qualities. Under the ventilated condition, total fresh weight of plants was highest in R7B3 LED as 257.7 mg per plant. Dry matters, which are used for index of plant growth, were lowest under red light, whereas it was highest under blue light. The dry matter was inclined to getting higher by ascending the ratio of blue light and red light. Total chlorophyll content was highest in both R7B3 LED and R5B5 LED under ventilation as 29.5 and 31.2, respectively. Above results suggest that light quality optimization could be an important factor to foster *in vitro* growth of the species. Ventilation treatment appeared to be another important factor to induce normal shoot growth and rooting

서 론

덩굴용담 (*Tripterospermum japonicum*)은 우리나라의 울릉도 및 제주도에 자생하는 용담과의 다년생 초본으로 40~60 cm 정도 자라는 덩굴식물이다. 잎은 대생하고 긴 난형 또는 난상 피침형으로 세 개의 맥이 있으며 표면은 짙은 녹색이고 뒷면은 자줏빛이 돈다. 꽃은 9~10월에 피고 홍자

색이며 엽액에 한 송이씩 달리고, 길이 3 cm이며 꽃받침 통에는 5개의 좁은 날개가 있다. 장과는 홍자색이며 긴 구형이고 남아있는 화관 밖으로 나온다. 이 식물은 현재 산림청에서 희귀 및 멸종위기 식물로 분류하여 보존하고 있다 (Lee and Lee 1997).

소멸해가는 유전자원의 보존 및 증식의 방법으로 기내배양은 유용한 수단이 된다 (Sanjaya et al. 2006; Kartsonas and Papafotiou 2007; Faisal et al. 2007). 용담과의 식물에 있어서도 몇 편의 기내배양 연구가 이루어 졌다. 엽육 및 줄기배양에 의한 식물체 유도법 (Seong et al. 1993; Lim and Yu

*Corresponding author Tel 031-290-1163 Fax 031-290-1020
E-mail: hkmoon@forest.go.kr

2000), 기내 변이주 유도 및 유용물질 탐색 (Seong et al. 1996)의 보고가 있으며, Bang 등 (1994)은 잎 절편에서 체세포 배 발생을 통한 식물체 재생 기술을 보고하였다. 이러한 결과들은 조직배양을 통해 용담과의 식물을 증식할 수 있음을 시사하는 내용이다.

기내배양을 통한 식물체 생산 실용화의 가장 어려운 문제 중 하나는 생산비용이 많이 든다는 것이다. 따라서 배양조건 최적화 즉, 온습도의 조절, 조명 및 환기처리를 통해 비용 저렴한 배양조건을 찾는 것이 중요하다 (Nguyen and Kozai, 2005). 현재 대부분의 조직배양실에서 가장 흔히 사용하는 조명은 형광등인데 이것은 배양에 필요한 전기료의 약 65% 이상을 차지하고 있다 (Dooley, 1991). 따라서 형광등 이외의 조명을 통해 전기료를 낮추고 효율적인 기내변식 체계를 확립하는 것이 실용화 측면에서 중요하다고 하겠다.

LEDs (light-emitting diode)는 형광등을 대체할 수 있는 광원으로 최근 조직배양에 응용하여 좋은 결과를 얻고 있다 (Poudel et al. 2008; Shin et al. 2008). 조직배양 광원으로서 LED의 장점은 1) 청색과 적색의 방사 최고점이 엽록소 a, b의 최대 흡수점과 밀접하게 일치하고, 파장이 최대의 광합성 효율을 지니는 점, 2) 내구성이 매우 높아 장기간 사용이 가능하여 비용이 절감 되는 점, 3) 거의 열을 발산하지 않아 배양실 냉방으로 인한 전기료가 절약되고, 4) 대량변식 실용화에 적합하며, 5) 소형이어서 다루기가 쉽다는 것 등이다 (Mcree 1972; Bula et al. 1991; Nhut et al. 2003; 2007). 이는 LED를 사용하여 식물생장에 필요한 광질의 최적화가 가능함을 뜻한다. 우리 실험실에서는 최근의 실험을 통해 LED를 이용한 덩굴용담과 유칼리의 기내생장이 개선되는 결과 (Kim and Moon 2006; Moon et al. 2006)를 얻었으며, 본 연구에서는 LED 및 배양용기의 환기처리를 통해 덩굴용담의 줄기생장 및 발근이 향상될 수 있음을 보고하고자 한다.

재료 및 방법

식물재료

선행연구 (Moon et al. 2006)를 통해 기내에서 유지하고 있는 덩굴용담을 실험재료로 이용하였다. 절편은 정아가 있는 줄기를 사용하여 마디는 1~2개, 잎은 3~4개가 붙도록 2~3 cm 길이로 절단하였다. 배지는 MS (Murashige and Skoog, 1962) 기본배지에 3%의 sucrose, 0.3% gelrite를 첨가한 후 고압멸

균하여 10×4 cm petri-dish (SPL)에 80 mL 씩 분주한 다음 사용하였다. 절편은 사례 당 7개씩 치상 하였고 처리별로 5반 복을 두었다.

LEDs (Light-emitting diodes)와 환기처리

광질은 형광등 (Fluorescent lamp; 오스람사)을 비교구로 사용하였고, LED system은 GF-320 (좋은인상 (주))로 100% 적색광 LED (R), 70% 적색광 LED+30% 청색광 LED (R7B3), 50% 적색광 LED + 50% 청색광 LED (R5B5) 및 100% 청색광 LED (B)으로 사용하였다. 배양용기는 무처리, 혹은 용기 뚜껑 중간에 구멍 (직경 1 cm)을 내고, Millipore filter (0.22 μm, 3M사)를 부착하여 환기구로 사용하였다. 배양실은 온도 24±1 °C로 유지되고, 광도 40 μM m⁻² s⁻¹, 16시간 광주기로 4주간 배양하였다.

건물질 및 엽록소 측정

건물질은 각각의 처리별로 얻어진 식물체를 80 °C 건조기에서 24시간 말린 다음 무게를 측정하여 생중량으로 나눈 다음 그 비율을 구하였고, 총 엽록소 함량은 Wellbum (1994)의 방법으로 측정하였다. 이상의 실험에서 자료의 통계분석은 SAS 프로그램 (SAS Institute, USA)을 사용하였으며 Duncan 다중검정으로 유의적인 차이를 밝혔다.

결 과

광질에 따른 덩굴용담의 생장결과는 Table 1과 같다. 발근은 광질에 따라 뚜렷한 차이를 보여 형광등 (F) 및 100% 적색광 (R)에서 발근이 빠르게 이루어졌고 발근율도 양호하게 나타났다. 100% 청색광 (B)은 발근율을 특히 억제하는 것으로 나타났다. 환기처리는 대체로 발근을 촉진하였는데, 혼합광 R7B3에서는 차이가 없었다. 식물체 당 유도 된 뿌리 수는 혼합광 R7B3과 R5B5에서 약 4.7개로 가장 많았고, 100% 청색광 (R)에서는 환기유무에 관계없이 가장 저조하였다. 뿌리의 생장은 광질에 따른 차이가 크지 않았고 환기하에서 대체로 양호하였으나 (Figure 1, 2) 청색광에서는 유의적인 차이가 없었다.

액아의 생장은 광질에 따라 현저한 차이가 없었고, 환기에 따라 유의적인 차이를 보였다 (Table 1). 모든 광질의 환

Table 1. Growth specific comparison of Tsuru-rindo under various radiation sources

Light	Vent	Rooting (%)	No of roots	Root length (cm)	No of shoots	No of leaves	Node length (mm)	No of nodes	Plant height (cm)
F	Non-Vent	95.2 ab ²	3.8 ab	1.8 bc	5.0 ab	20.0 ab	3.3 cd	5.5 a	3.3 bc
	Vent	100.0 a	3.8 ab	3.3 a	1.7 d	14.0 d	3.3 cd	3.7 bcd	2.7 c
R	Non-Vent	81.0 d	2.8 bc	2.3 bc	5.0 ab	22.8 a	6.8 b	4.3 b	4.6 a
	Vent	100.0 a	3.8 ab	3.6 a	3.0 cd	14.3 cd	10.8 a	3.5 bcd	4.8 a
R7B3	Non-Vent	85.7 dc	4.7 a	1.7 bcd	4.0 bc	19.8 abc	3.0 cd	3.8 bc	3.5 b
	Vent	85.7 dc	4.7 a	2.7 ab	2.8 cd	19.8 abc	2.8 cd	3.7 bcd	3.3 bc
R5B5	Non-Vent	85.7 dc	4.2 ab	1.9 bc	5.7 a	18.8 abcd	4.2 cd	4.2 bc	3.4 bc
	Vent	90.5 bc	5.2 a	3.6 a	4.5 ab	19.3 abcd	4.3 c	3.8 bc	3.8 b
B	Non-Vent	38.1 f	2.3 c	1.7 cd	5.3 ab	19.5 abc	2.2 d	3.3 cd	2.5 c
	Vent	52.4 e	2.2 c	0.8 d	2.5 cd	16.5 bcd	3.0 cd	2.8 d	2.6 c

²The means followed by the same letter are not significantly different as indicated by Duncan's multiple range test ($P=0.05$).

기를 하지 않은 무처리구에서 신초수가 증가 하였으며, 환기 처리구에서는 액아 생장이 억제되고 정아 신장이 우세하였다. 다른 광질에서는 환기유무에 따라 유도된 줄기 수에 유의적인 차이를 보인 반면 혼합광인 R5B5에서는 환기에 따른 차이는 나타나지 않았다.

잎의 수에 있어서는 환기 하에서 형광등, R 및 B에서 유의적인 차이를 보인 반면 혼합광에서는 차이를 나타내지 않았다. 절간길이의 신장은 R에서 가장 양호하게 나타나 환기 무처리 시 6.5 mm, 환기 하에서 10.8 mm를 각각 보였다. 기타 광질에서는 환기에 따른 유의적 차이가 없는 반면 R에서는 환기유무에 따라 통계적 유의성을 나타내었다 (Table 1).

마디 수에 있어서는 환기를 하지 않고 형광등 하에서 배양한 처리구에서 식물체 당 5.5개로 가장 많은 마디 수를 보였고, 환기 처리구에서는 3.7개로 저조하였다. 한편 절간생장은 R에서 가장 크게 신장되었고, 형광등과 혼합광에서는 3 mm 내외, 100% 청색광인 B에서는 약 2.5 mm로 가장 저조하였다. 식물체의 길이 생장은 환기유무에 따른 유의적인 차이가 형광등에서만 관찰되었고, 기타 다른 광질에서는 차이를 보이지 않았다.

혼합광 R7B3에서는 환기 하에서 줄기의 성장, 잎의 신장, 발근율이 현저히 증가하였고 특히 뿌리 수 및 생장에 있어 무처리보다 유의적인 차이가 있었다 (Figure 1). 잎의 성장에 이어서도 환기 하에서 보다 진녹색을 띠고 발근 속도 및 뿌리수가 증가하는 것으로 나타났다. B에서는 혼합광에 비해 생장이 저조하였으나 환기하의 줄기가 생장이 좋고 잎 수가 증가하며 큰잎으로 자랐다. 특히 환기 하에서는 발근율도

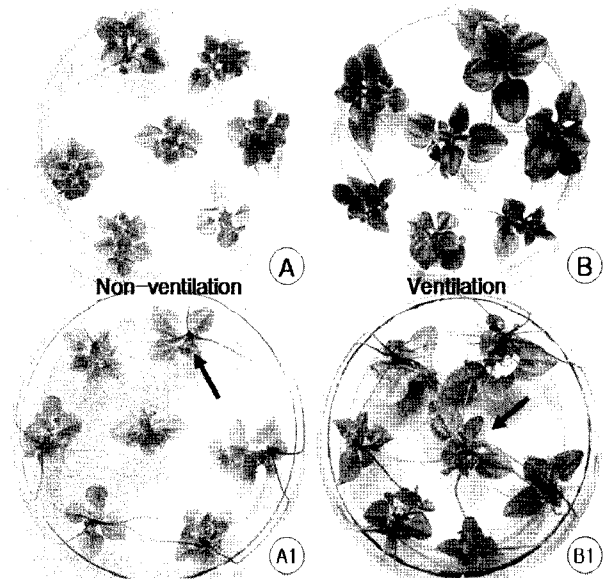


Figure 1. Shoot growth and rooting under 70% red LED + 30% blue LED A, A1- Non ventilation; B, B1- Ventilation.

증대되는 것을 관찰 할 수 있었다 (Figure 2).

생중량 및 건중량으로 관찰한 식물체의 생장은 Table 2와 같다. 생중량 및 건중량 그리고 건물질은 혼합광에서 비교적 높게 나타났고, 특히 환기 하에서 양호한 것으로 나타났다. 이 같은 결과는 광질에 관계없이 환기 하에서 보다 양호한 성장을 나타냈음을 뜻하는데, 식물체의 충실율을 나타내는 건물질에 있어서도 같은 경향을 보였다 (Table 2). 건물질을 기준한 식물체의 충실율은 환기하의 혼합광 R7B3, R5B5 및 100% 청색광에서 양호하게 나타났고 유의적인 차이를 보이지 않았다.

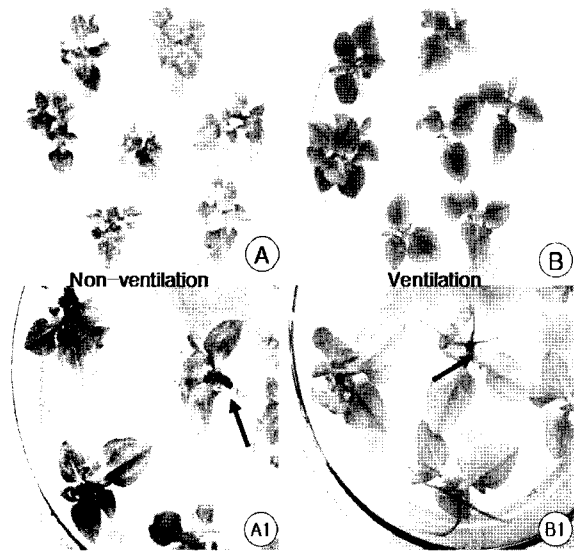


Figure 2. Shoot growth and rooting under 100% blue LED A, A1- Non ventilation; B, B1- Ventilation.

엽록소 a, b 및 총 엽록소 함량과 카르티노이드 함량은 Table 3과 같다. 대체로 환기 하에서 총엽록소 함량이 높게 나타났으며, 특히 혼합광 R7B3 및 R5B5에서 현저하였다. 환기를 하지않고 100% 적색광 하에서 자란 식물체의 총 엽록소 함량이 2.6 µg/g FW로 가장 낮았는데 이는 잎이 작고 줄기가 도장하여 유약하게 자란 것에 그 원인이 있는 것으로 보인다. 어느 광질에서나 총 카르티노이드 함량은 환기 하의 혼합광에서 현저하여 덩굴용담의 기내생장은 혼합광에서 보다 양호한 성장을 하는 것으로 나타났다.

고 찰

광질에 따른 기내 생장은 식물에 따라 매우 다르며 초본 식물을 재료로 많은 연구가 수행되어 왔다. Kim 등 (2004)은

Table 2. Fresh weight, dry weight and dry matter of the plantlets grown under various radiation sources

Light	Vent	Fresh weight (mg)	Dry weight (mg)	Dry matter ^z
F	Non-Vent	154.3 cd ^y	20.7 de	13.4 cde
	Vent	208.3 b	29.1 b	13.9 bcde
R	Non-Vent	157.3 cd	19.1 e	12.0 e
	Vent	176.0 c	24.3 cd	13.7 bcde
R7B3	Non-Vent	181.0 c	25.9 bc	14.2 abcd
	Vent	257.7 a	37.8 a	14.7 abcd
R5B5	Non-Vent	168.7 c	22.5 cde	13.4 de
	Vent	227.7 b	35.2 a	15.5 ab
B	Non-Vent	115.0 e	18.4 e	15.9 a
	Vent	135.7 de	20.7 de	15.6 abc

^z [Dry weight / Fresh weight]×100

^y The means followed by the same letter are not significantly different as indicated by Duncan's multiple range test (P=0.05).

Table 3. Chlorophyll and carotenoid content of the plantlets grown under various radiation sources

Light	Vent	C _a ^z (µg/g FW)	C _b ^y (µg/g FW)	Total chlorophyll (µg/g FW)	C _{a/b} ^x	Total carotenoid (µg/g FW)
F	Non-Vent	13.1 bc ^w	7.2 b	20.3 b	1.8 ns ^u	4.8 bc
	Vent	13.7 bc	7.1 b	20.7 b	2.1 ns	4.9 bc
R	Non-Vent	8.7 d	3.9 c	12.5 c	2.3 ns	2.6 e
	Vent	14.8 bc	6.7 b	21.5 b	2.3 ns	4.0 cd
R7B3	Non-Vent	12.6 c	6.4 b	19.0 b	2.0 ns	4.0 cd
	Vent	19.8 a	9.7 a	29.5 a	2.1 ns	6.3 a
R5B5	Non-Vent	15.2 b	6.5 b	21.7 b	2.4 ns	4.4 bcd
	Vent	20.9 a	10.4 a	31.2 a	2.0 ns	5.4 ab
B	Non-Vent	10.0 d	4.2 c	14.2 c	2.4 ns	3.2 de
	Vent	12.7 bc	6.5 b	19.2 b	2.0 ns	3.3 de

^z Chlorophyll a

^y Chlorophyll b

^x Chlorophyll a / Chlorophyll b

^w The means followed by the same letter are not significantly different as indicated by Duncan's multiple range test (P=0.05)

^u non-significantly difference at Duncan's multiple range test (P=0.05).

국화의 기내 마디 삼목에서 생중량, 건중량 및 잎 면적은 형광등, 적색 및 청색 LED에서 가장 효과적이었고, blue+far-red LED에서는 감소된다고 하였다. 줄기의 신장이 양호하여 도장지의 형태로 자라는 특성은 적색 및 적색+근적색 LED에서 관찰되었다. 반면 절간신장 이외의 신초 생장은 적색+청색 LED와 형광등에서 최대였다. 이러한 결과는 본 실험에서도 관찰되었는데 적색광에서는 환기유무에 관계 없이 줄기의 생장이 가장 양호하여 식물의 묘고 생장에 적색광이 가장 직접적인 영향을 미침을 알 수 있었다 (Table 1).

광질에 따른 발근 및 식물생장도 식물에 따라 다양하게 나타난다. 적색광 하에서 포도나무의 발근율과 줄기생장이 촉진되었으며 (Poudel et al. 2008), 그 효과는 유전자형에 따라 다르게 나타났다. 반면 Sung 등 (1998)은 저광도의 청색광에서 건물질과 절간길이가 유의적으로 증가함을 관찰하였고, 딸기에서는 청색광에서 생장이 억제되지만, 정상적인 식물생육에는 청색광이 필요하다고 하였다. 한편 Nhut 등 (2003)은 딸기를 재료로 적색광에서 잎의 성장을 촉진하지만 엽록소의 농도는 저하됨을 관찰하였고, 심비디움에서는 청색광 하에서 그 반대의 결과를 얻어 식물 종과 유전자형에 따른 차이를 보여주었다. 결론적으로 단일 청색광은 정상식물체 생장에 부정적인 영향을 미치지만 혼합광 형태, 즉 LED 조명과 형광등의 혼용처리로 성장조절 및 건전한 식물체 생육이 가능하다고 하였다. 본 실험에서도 적색광 하에서 발근이 빠르게 이루어지고 특히 환기 하에서 100% 발근이 가능하며 식물의 생장이 가장 양호하게 나타났으나 (Table 1) 건전한 식물체의 형성은 혼합광에서 양호한 것으로 관찰되었다. 한편 적색광은 감자의 조직배양 시 잎의 수를 증가시켰고, 5분 정도 순간 처리를 하면 괴경화 (tuber formation)를 촉진하는 것으로 나타났다. 그리고 청색광은 액아의 수를 증가시켰는데 이는 광도에 따라 차이가 있었으며, 적색광은 정아우세 (apical dominance)를 감소시켰는데 광도와는 무관한 것으로 나타났다 (Scabrook 2005).

LED를 이용한 광질의 효과는 꽃눈의 형성이나 액아의 형성에도 많은 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다. Heo 등 (2002)은 청색광과 적색광 하에서 셀비어의 꽃눈이 형성되지 않았고, 형광등 + 근적색 LED는 메리골드의 꽃눈 형성을 억제하는 것으로 관찰하였다. 식물에 따른 생장 차이도 크게 나타났는데, 메리골드에서는 적색광 혹은 적색광+형광등, 혹은 형광등 하에서 건중량이 증가하였고, 청색광에서는 감소한 반면, 셀비어에서는 형광등+청색광, 그리고 형광등+

근적색 LED에서는 증가하지만 적색광에서는 유의적으로 감소하여 수종에 따른 차이가 있음을 나타냈다. 이와 유사한 결과가 앵두나무과의 수종에서도 관찰되었다. *Prunus cerasifera*를 여러 광질 하에서 생육시켰을 때 광질에 따라 눈 (bud)의 터짐이 다르고, 신초의 생장에 미치는 정아우세 현상이 변하는 것으로 관찰되었다. 대체적으로 청색광은 액아의 형성을 촉진한 반면, 적색광은 액아로부터 줄기의 발달을 촉진한다고 하였다. 또한 청색광에서는 마디의 수가 증가하고 절간의 신장이 억제되었으나, 적색광에서는 절간의 신장이 촉진되고 마디형성이 억제되어 가지 수가 많아지는 결과를 보였다 (Muleo et al. 2001; 2006).

본 실험의 덩굴용담에서는 광질에 따른 액아 줄기의 형성에 차이가 현저하지 않은 반면 어느 광질에서나 환기 무처리 시에 액아 형성이 촉진되어 용기 내에 축적되는 가스와의 관련이 있는 것으로 추정된다. 기내 배양시 환기 하에서 액아 신장이 억제되는 것은 에틸렌 등의 가스 축적과 관련이 있는 것으로 보고 되고 있는데 (Gonzlez et al. 1997), 최근 *Eucalyptus pellita*의 기내배양에서도 유사한 결과가 관찰되었다 (Kim과 Moon 2006).

최근 Shin 등 (2008)은 혼합광 LED 하에서 잎의 발달, 뿌리형성, 생중량, 건중량, 잎의 면적이 커진다고 하였고, 적색광에서 잎의 길이가 최대라고 하였다. 그리고 적색광이나 청색광에 비하여 탄수화물 축적, 엽록소 및 카르티노이드 함량이 증대하는 것으로 관찰하였다. 결론적으로 적색광과 청색광의 혼용처리로 건전한 식물육성이 가능함을 보여주었는데 이 같은 결과는 본 실험에서도 확인된 내용이다. 다만 본 실험에서 적색광 LED의 사용으로 발근이 촉진되는 것과 묘고의 신장을 촉진하는 효과는 배양목적에 따른 광질의 선택이 필요함을 시사해주고 있고, 특히 환기무처리 시에 광질에 관계없이 액아로부터 줄기의 형성이 촉진되는 내용은 앞으로 용기내 가스의 축적과 관련하여 원인 규명이 필요한 내용이다.

본 실험에서 건전한 줄기의 생장은 어느 처리에서나 환기 하에서 이루어져 기내배양 시 배양용기의 환기가 중요성함 보여 주었다. 일반적으로 환기가 불량한 배양용기에서는 상대습도가 높고 이산화탄소의 변동이 크며, 에틸렌이나 다른 유독성 가스가 축적된다. 따라서 광합성 효율이 저하되고 호흡, 수분흡수 및 무기염류 흡수가 저하되고 이산화탄소가 부족해진다. 이러한 상태 하에서는 암호흡이 증가되어 식물의 생장이 저하되고 이와 더불어 기내식물의 생리적, 형태

적 기형이 나타난다 (Zobayed 2005). 따라서 배양목적에 따라 다를 수 있으나 용기의 개선, 특히 환기가 가능한 배양용기의 사용으로 보다 건전한 식물체 육성이 가능함을 시사해 준다.

본 실험결과는 혼합광 LED의 사용과 배양용기의 환기처리를 통해 덩굴용담의 효율적인 기내생장이 가능하다는 결과를 보여주었으며, 이 같은 결과는 유사한 식물종의 기내 번식을 위한 기초자료로 이용할 수 있을 것이다.

적 요

소멸위기 식물인 덩굴용담을 재료로 기내 생장 및 발근에 미치는 광질 및 환기효과를 조사하였다. 무처리 혹은 환기가 가능한 2종의 배양용기에 신초를 배양한 다음 5가지의 서로 다른 광질 1) 형광등, 2) 100% 적색광 (R), 3) 70% 적색광 + 30% 청색광 (R7B3), 4) 50% 적색광 + 50% 청색광 (R5B5), 및 5) 100% 청색광 하에서 4주간 배양하였다. 실험을 통해 얻은 주요 결과는 다음과 같다.

1. 발근율은 형광등과 적색광에서 80~100%로 높았고, 특히 환기 처리시 100%의 발근율을 보였다. 광질별로는 적색광이 절간신장을 촉진시키고 청색광은 억제하는 경향이 있었다. 전반적으로 환기처리 시 진녹색의 큰 잎으로 자랐고, 액아의 발달을 억제하여 1-2개의 우세줄기로 생장하였다.
2. 식물체의 총 생체중은 적색광과 청색광이 7:3의 비율로 혼합된 혼합광 R7B3에서 가장 높았고, 특히 환기처리 시 식물체 당 257.7 mg으로 가장 높았다. 식물체의 충실을 나타내는 건물을 (dry matter)은 적색광에서 가장 낮았고, 청색광에서 15%로 가장 높았으며, 청색광의 비율이 높아짐에 따라 건물이 높아지는 경향을 보였다.
3. 광질별 총 엽록소 함량은 환기처리 하의 혼합광 R7:B3 및 R5:B5에서 29.5 $\mu\text{g/g}$ FW와 31.2 $\mu\text{g/g}$ FW으로 각각 가장 높게 나타났다. 광합성에 관여하는 carotenoid 함량에 있어서도 모든 광질에서 환기 처리 시 높게 나타났다.

이상의 결과는 덩굴용담의 기내배양은 배양목적에 따른 광질의 선택이 중요한 요소이며, 발근을 위해서는 적색광을 처리함이 좋고, 건전한 식물체의 생장은 혼합광 R7:B3에서 양호한 것으로 나타났다. 특히 모든 광질 하에서 환기처리가 건전한 줄기생장 및 발근을 촉진하는 것으로 나타나 이

식물의 효율적인 기내생장을 위해서 반드시 고려해야 할 내용으로 관찰되었다.

인용문헌

- Bang JW, Lee MK, Chung SH (1994) Somatic embryogenesis and plant regeneration in leaf explant cultures of *Gentiana scabra* var. *buergeri*. Korean J Plant Tiss Cult 21: 233-237
- Bula RJ, Morrow TW, Tibbitts TW, Barta DJ, Ignatius RW, Martin TS (1991) Light-emitting diodes as a radiation sources for plants. HortSci 26: 203-205
- Dooley JH (1991) Influence of lighting spectra on plant tissue culture. ASAE (American Society of Agricultural Engineers) Meeting, Chicago, Paper No. 917530
- Faisal M, Ahmad N, Anis M (2007) An efficient micropropagation system for *Tylophora indica*: an endangered, medicinally important plant. Plant Biotechnol Rep 1: 155-161
- Gonzalez A, Arigita L, Majada J, Sanchez Tams R (1997) Ethylene involvement in *in vitro* organogenesis and plant growth of *Populus tremula* L. Planr Growth Regul. 22: 1-6
- Heo JW, Lee CW, Chakrabarty D, Paek KY (2002) Growth responses of marigold and salvia bedding plants as affected by monochromic or mixture radiation provided by a light-emitting diode (LED). Plant Growth Reg. 38: 225-230
- Kartsonas E, Papafotiou M (2007) Mother plant age and seasonal influence on *in vitro* propagation of *Quercus euboica* Pap., an endemic, rare and endangered oak species of Greece. Plant Cell Tiss Org Cult 90: 111-116
- Kim JA, Moon HK (2006) Effect of light-emitting diodes (LEDs) and ventilation on the *in vitro* shoot growth of *Eucalyptus pellita*. J Korean For Soc 95: 716-722
- Kim SJ, Hahn EJ, Heo JW, Paek KY (2004) Effects of LEDs on net photosynthetic rate, growth and leaf stomata of chrysanthemum plantlets *in vitro*. Sci Hort 101: 143-151
- Lee YM, Lee WR (1997) Illustrated rare and endangered species in Korea. Korea Forest Research Institute, Jungbu Forest Experimental Station, pp 255
- Lim JD, Yu CY (2000) Multiple shoot formation of *Gentiana axillariflora* leveille by *in vitro* culture. Korean J Medicinal Crop Sci 8: 41-48
- Mcree KJ (1972) The action spectra, absorptance and quantum yield of photosynthesis in crop plants. J Agric Metro 9: 191-196
- Moon HK, Park SY, Kim YW and Kim CS (2006) Growth of Tsuru-rindo (*Tripterospermum japonicum*) cultured *in vitro* under various sources of light-emitting diode (LED) irradiation. J Plant Biol 49: 174-179

- Muleo R., Morini S, Casano S (2001) Photoregulation of growth and branching of plum shoots: physiological action of two photosystems. *In Vitro Cell Dev Biol-Plant* 37: 609-617
- Muleo R, Morini S (2006) Light quality regulates shoot cluster growth and development of MM 106 apple genotype in in vitro culture. *Sci Hort* 108(4): 364-370
- Murashige T, Skoog F (1962) A revised medium for rapid growth and bioassay with tobacco tissue culture. *Physiol Plant* 15: 473-479
- Nguyen QT, Kozai T (2005) Photoautotrophic micropropagation of woody species. In: T Kozai et al. (eds), Photoautotrophic (sugar-free medium) micropropagation as a new propagation and transplant production system, pp 123-146
- Nhut DT, Takamura T, Watanabe H, Okamoto K, Tanaka M (2003) Response of strawberry plantlets cultured in vitro under superbright red and blue light-emitting diodes (LEDs). *Plant Cell Tiss Org Cult* 73: 43-52
- Nhut DT, Don NT, Tanaka M (2007) Light-emitting diodes as an effective lighting sources for in vitro banana culture. In: S.M. Jain and Haggman (eds), *Protocols for Micropropagation of Woody Trees and Fruits*, Springer press, pp 527-541
- Poudel PR, Kataoka I, Mochioka R (2008) Effect of red and blue-light-emitting diodes on growth and morphogenesis of grapes. *Plant Cell Tiss Org Cult* 92: 147-153
- Sanjaya, Muthan B, Rathore TS, Rai VR (2006) Micropropagation of an endangered Indian sandalwood (*Santalum album* L.). *J For Res* 11: 203-209
- SAS (1989) SAS/STAT User's Guide, Version 6, Ed 4, Vol2. SAS Institute, Cary
- Seabrook JEA (2005) Light effects on the growth and morphogenesis of potato (*Solanum tuberosum*) in vitro: a review. *Amer J Potato Res* 82: 353-367
- Shin KS, Murthy HN, Heo JW, Hahn EJ, Paek KY (2008) The effect of light quality on the growth and development of in vitro cultured *Doritaenopsis* plants. *Acta Physiol Plant* 30: 339-343
- Seong NS, Park CH, Lee ST, Kim SM (1993) Plant regeneration and multiplication of *Gentiana scabra* bunge through leaf and stem culture. *Korean J Medicinal Crop Sci* 1: 129-136
- Seong NS, Park CH, Kim KS, Lee ST, Chang YH (1996) In vitro variant induction and its content of gentiopicoside of *Gentiana scabra* Bunge. *Korean J Medicinal Crop Sci* 3: 40-44
- Sung IK, Kitoya M, 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 Sci* 5: 137-141
- Wellburn AR (1994) The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *J Plant Physiol* 144: 307-313
- Zobayed SMA (2005) Ventilation in micropropagation. T. Kozai et al. (eds). Photoautotrophic (sugar-free medium) micropropagation as a new propagation and transplant production system, Springer, pp 147-186

(접수일자 2008년 7월 25일, 수리일자 2008년 8월 8일)