

## 광조사 방향 및 광도에 따른 배양식물체의 성장특성

함인기<sup>1)</sup>, 김현숙<sup>2)</sup>, 이미애<sup>2)</sup>, 조만현<sup>2)</sup>, 이은모<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>충남농업기술원 부여토마토시험장, <sup>2)</sup>충남농업기술원 원예연구과

## Growth Characteristics of Tissue Cultured Plantlets by Lighting Direction and Light Intensity

In-Ki Ham<sup>1)</sup>, Hyun-Sook Kim<sup>2)</sup>, Mi-Ae Lee<sup>2)</sup>, Man-Hyun Jo<sup>2)</sup> and Eun-Mo Lee<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Puyo Tomato Experiment Station, Chungchongnam-do Agricultural Research  
and Extension Services, Puyo 323-810

<sup>2)</sup>Horticulture Research Division, Chungchongnam-do Agricultural Research  
and Extension Services, Taejon 305-313, Korea

### ABSTRACT

The present study was carried out to determine the effects of lighting directions and light intensities on the growth of *in vitro* plantlets of strawberry, potato and lily. The growth of plantlets was affected by two different lighting systems, downward and sideward lighting system. There were no difference for the plantlets of strawberry regardless of lighting directions. However, leaf area, fresh weight and dry weight have increased as the light intensity increased. Also, plant height and root length on node culture of potato decreased at high intensity of the sideward lighting, while thickness of stem and root was thicker, fresh weight and dry weight were heavier, and leaf area was increased. Also, bulblet formation on scale culture of lily has been abundant, and fresh weight and dry weight were increased. Thus, the sideward lighting system which loaded three stories for culture vessels with raising light intensity into culture vessels instead of conventional downward lighting system promoted growth and raised the efficiency of production of high quality microplant.

**Key words:** lily, potato, sideward lighting systems, strawberry

### 서 언

조직배양에 의한 번식, 즉 미세번식 기술은 종래의 영양번식(삽목, 접목)에 비하여 단기간에 우수한 양질묘를 대량으로 생산할 수 있어, 최근에는 세계

적으로 널리 보급되고 있다. 그러나 미세번식에 의한 배양묘의 생산은 실향묘나 삽목묘보다 생산비가 높아 주요작물의 광범위한 이용에 걸림돌이 되고 있다. 미세번식의 생산비가 높은 이유는 생산비의 약 절반이 인건비로 소요되고, 증식배양과정 중 유식물체의 성장속도가 느리며, 순화과정 중 외부환경에

Corresponding author: 함인기, 충남 부여군 규암면 노화리 325-48, 충남농업기술원 부여토마토시험장, 323-810

적응하지 못하여 생존율이 낮은 것이 주요 원인이다. 이런 이유로 미국, 네덜란드 등 선진국의 조직배양시설은 생산비의 가중, 배양료 가격의 하락 등으로 감소하는 추세이다(Paek 등, 1998). 따라서 미세 번식의 산업화를 촉진하기 위해서는 자동화로 인건비를 절감하고, 기내배양 환경을 개선하여 배양료의 성장을 촉진시키고, 순화조건을 적절히 조절함으로써 생존율은 높이고 생산비는 절감하여야 한다(Kitaya 와 Kozai, 1993).

유식물체의 성장 및 형태에 영향을 주는 환경요인은 온도, 상대습도, 수분포텐셜, 광, CO<sub>2</sub>농도, 배지의 무기영양분 등 여러 요인이거나, 그 중에서 광은 식물의 성장과 분화에 큰 영향을 미친다(Jeong 등, 1995). 즉 광은 생체중, 건물중, 초장, 엽면적 등 양적 성장뿐만 아니라 화아형성, 발근, 신초 형성, 엽전개 등 질적 변화에도 관여한다. 광이 식물체에 미치는 영향은 광도(조도, 빛의 밝기), 광질(광파장), 광주기(명기시간과 암기시간) 등 3가지 요인으로 분리하여 다루고 있지만, 광 효과와 관련된 조직배양 연구는 비교적 적은 편이다(Fujiwara 와 Kozai, 1995). 본 실험은 배양환경 중 광조사 방향 및 광도를 달리 함으로써 배양묘의 성장반응 및 형태형성에 미치는 영향을 구명하고자 실시하였다.

## 재료 및 방법

### 식물재료

딸기(*Fragaria* × *ananasa* Duch. 'Suhong'), 감자(*Solanum tuberosum* L. 'Daejima'), 백합(*Lilium*

*longiflorum* cv. Casa Blanca)의 배양 절편체를 혼합영양 조건(관행)하에서 배양 후 성장반응을 조사하였다. 딸기는 신초길이 약 1cm의 계대배양묘를, 감자는 길이 1cm의 마디 절편을, 백합은 계대배양한 인편을 공시재료로 이용하였으며, 배양용기 당 4개의 절편을 치상하였다.

### 배양조건

배양에 사용한 배지는 MS 배지(Murashige & Skoog, 1962)에 sucrose 3%, agar 0.8%를 첨가하고 pH5.8로 조정하였으며, 딸기 배양에서는 BA 0.02mg/L를 첨가하였고 감자와 백합배양에서는 성장조절물질을 첨가하지 않았다. 배양용기는 350ml 사각 마젠타 용기(Magenta-type polycarbonate vessel)를 이용하였으며, CO<sub>2</sub> 공급은 백합 인편배양만 명기 동안에 1000~1,500μmol · mol<sup>-1</sup> 공급하였고, 감자나 딸기 배양에서는 인위적인 CO<sub>2</sub> 공급은 하지 않았다. 배양온도는 23℃, 일장은 16시간 이었으며, 딸기는 70일, 감자와 백합은 28일 배양 후 생육 조사하였다.

### 광조사 방법

광조사 방향은 배양실내 조명장치를 상방향에 설치하거나(이하 下方光照射), 또는 측방에 설치하여(이하 側方光照射) 광을 조사하였다. 하방광 조사구의 광도 조절은 평면 1단으로 배치한 배양용기와 형광등의 높이로 조절하였으며, 측방광 조사구는 형광등을 세로로 3개씩 설치하고 배양용기는 3단 적재하여 측면에서 수평거리로 조절하였다(Fig. 1).

광도 조절은 딸기의 경우 하방광 조사구 및 측방

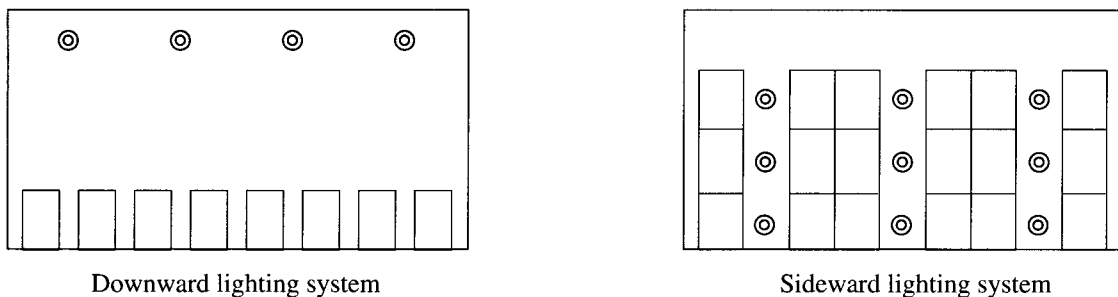


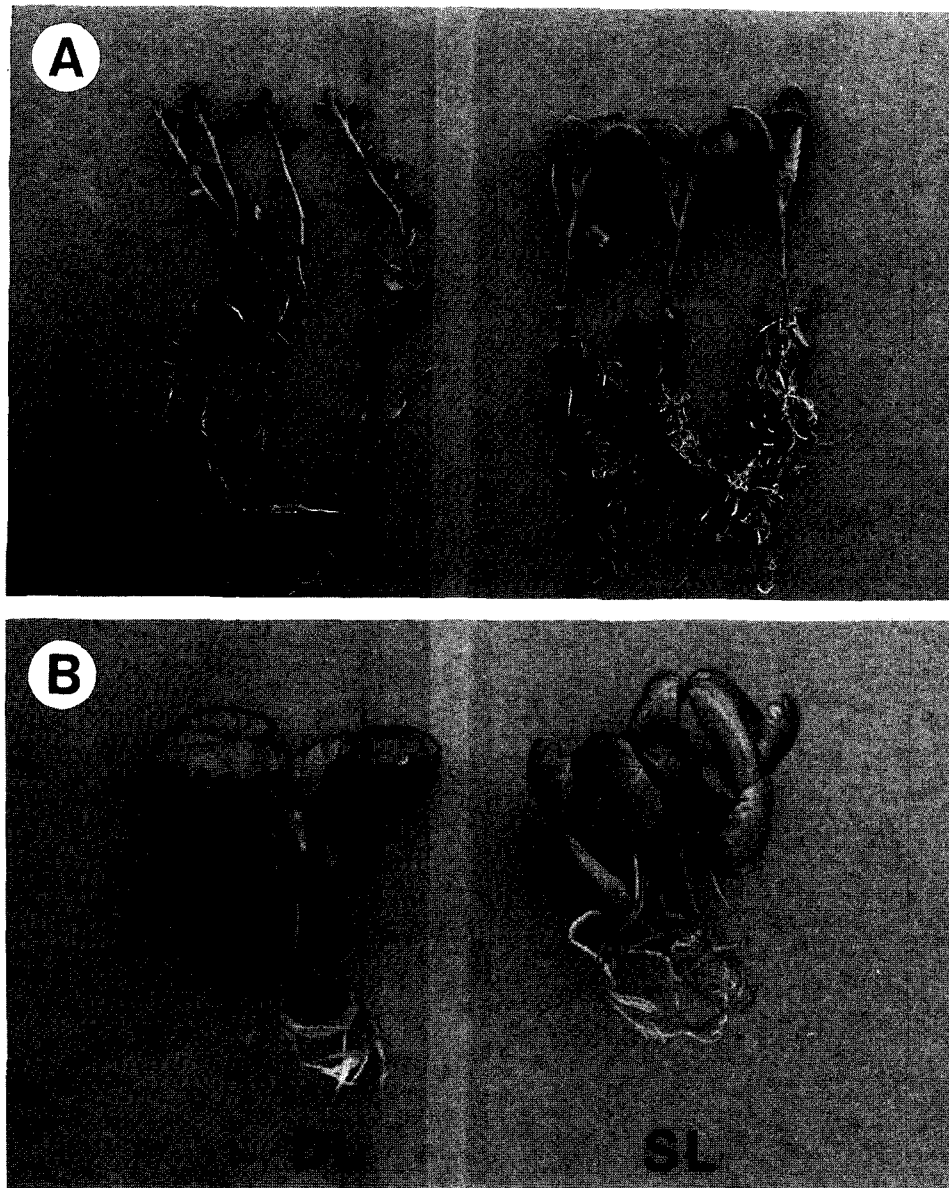
Fig 1. Schematic diagram of the downward and sideward lighting systems.(◎; fluorescent lamp, □; culture vessel.)

광 조사구 모두 60, 120, 180 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ 로 하였으며, 감자와 백합에서는 관행 하방광 조사 60, 120 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$  구와, 측방광 조사 180 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$  구로 하였다.

## 결 과

### 딸기 배양절편체의 성장반응

각기 다른 광조사 방향 및 광도에 따른 딸기 배양묘의 생육상태는 Table 1에서 보는 바와 같다. 배양 70일 후 배양묘의 초장은 하방광 조사구보다 측방광 조사구에서 다소 신장된 경향이었으며, 광조사 방향에 관계없이 광도가 증가할 수록 초장은 짧아지는 경향이나 신초 분화는 1.1 ~ 1.5개로 처리간에 큰 차이가 없었다. 배양식물체의 지상부 및 지하부 생체



**Fig 2.** Potato(A) and strawberry(B) plantlets cultures *in vitro* on MS agar medium with 30g/L sucrose for 28 days in the downward(DL) and the sideward(SL) lighting system.

**Table 1.** Effect of lighting systems on growth of *in vitro* strawberry plantlets 70 days after the culture.

Light direction	PPFD ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ )	Shoot height (cm)	No. shoots	Fresh wt.(mg)			Dry wt.(mg)			No. leaves	Leaf area ( $\text{cm}^2$ )
				Top	Root	Total	Top	Root	Total		
Downward	60	7.7	1.5	780	406	1,186	133	52	185	7.7	10.6
	120	5.7	1.2	746	408	1,154	132	52	189	8.7	11.5
	180	5.8	1.1	796	515	1,311	163	81	244	8.1	13.1
Sideward	60	7.9	1.2	715	459	1,174	149	60	209	4.6	9.4
	120	7.0	1.1	799	478	1,277	157	67	224	8.2	13.6
	180	6.5	1.3	840	545	1,385	176	80	262	9.5	14.9
				< F-value >							
Direction(A)		5.2*	1.9 <sup>ns</sup>	0.0 <sup>ns</sup>	1.0 <sup>ns</sup>	0.5 <sup>ns</sup>	1.8 <sup>ns</sup>	1.1 <sup>ns</sup>	2.0 <sup>ns</sup>	1.7 <sup>ns</sup>	0.8 <sup>ns</sup>
PPFD(B)		9.6***	1.2 <sup>ns</sup>	0.6 <sup>ns</sup>	1.5 <sup>ns</sup>	1.3 <sup>ns</sup>	1.7 <sup>ns</sup>	5.1*	3.5*	8.9**	5.1*
A × B		0.9 <sup>ns</sup>	2.1 <sup>ns</sup>	0.5 <sup>ns</sup>	0.1 <sup>ns</sup>	0.2 <sup>ns</sup>	0.1 <sup>ns</sup>	0.1 <sup>ns</sup>	0.1 <sup>ns</sup>	5.3*	1.1 <sup>ns</sup>

ns, \*, \*\*, \*\*\* Nonsignificant and significant at P=0.05, P=0.01 and P=0.005 respectively.

중은 광조사 방향 및 광도에 따라서 큰 차이가 없었고, 지상부 건물중도 처리간 차이가 없었으며, 지하부 건물중은 하방광과 측방광 모두 고광도에서 증가하였다. 엽수는 하방광 조사구의 경우 광도에 따라서 7.7~8.7개로 차이가 없었으나, 측방광 조사구 경우  $60\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$  저광도에서 4.6개인 반면,  $120, 180\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$  고광도에서는 각각 8.2개, 9.5개로 더 분화되었다. 또한 엽 생장은 광조사 방향에 관계없이 광도가 증가할 수록 촉진되어 엽면적도 훨씬 증가하였다(Fig. 2).

#### 감자 배양절편체의 생장반응

Table 2에서 보는 바와 같이 하방광 조사시 광도에 따른 감자 배양묘의 생육은 초장이  $60\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$  보다  $120\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 에서 큰 경향이였으며, 엽수나 엽면적도 증가하는 경향이였다. 또한 측방광 조사로 광도를 높였을 경우 초장, 근장 및 엽수는 감소 경향

이였으나 엽면적은 현저히 증가하였다. 배양절편체의 생체중 및 건물중은 광조사 방법에 관계없이 광도가 증가할 수록 증가하였으며, 지상부 및 지하부 생체중의 비율을 보면 하방광 조사구에서는 지상부의 생육이 좋은 반면에 측방광 조사구에서는 뿌리의 생육이 왕성함을 알 수 있었다(Fig. 2). 건물물은 하방광 조사구에서 10.0~11.8%이였으나 측방광 조사구도 9.8%로 큰 차이가 없었다. 이상의 결과, 감자 배양묘의 생육은 광도가 높은 측방광에서 지상부보다는 지하부가 성장상태가 양호하였으며, 초장은 오히려 짧았으나 줄기 및 뿌리의 굵기가 굵고 엽면적, 생체중, 건물중도 증가하여 양질 배양묘를 생산할 수 있었다.

#### 백합 인편배양의 생장반응

백합 인편배양시 광조사 방법에 따른 생장반응은 Table 3과 같다. 신초분화 및 초장은 처리간에 차이

**Table 2.** Effect of lighting systems on growth of *in vitro* potato plantlets 28 days after the culture.

Lighting system	PPFD ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ )	Shoot height (cm)	Root length (cm)	No. axillary shoots	No. leaves	Leaf area ( $\text{cm}^2$ )	Fresh wt.(mg)			Shoot /root ratio	Dry wt. (mg)	Dry matter ratio
							Shoot	Root	Total			
Downward	60	7.8b <sup>a</sup>	10.3a	3.0a	9.2b	1.6c	215b	189b	404b	1.1	40.3	10.0
	120	8.7a	10.8a	0.7b	10.0a	5.5b	343a	225b	568b	1.5	67.0	11.8
Sideward	180	7.2b	8.3b	0.6b	8.5c	6.9a	393a	508a	901a	0.8	88.0	9.8

<sup>a</sup>Mean separation by Duncan's multiple range test, P=0.05.

**Table 3.** Effect of lighting systems on growth of *in vitro* lily plantlets 28 days after the culture.

Lighting system	PPFD ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ )	No. shoots	Shoot height(cm)	No. bulblets	Leaf formation	Rooting	Fresh wt.(mg)	Dry wt.(mg)	Dry matter ratio
Downward	60	1.1a <sup>a</sup>	1.1a	2.1ab	++	+	47.8b	9.4b	17.1
	120	0.9a	1.1a	1.2b	+	++	49.3b	10.9b	23.0
Sideward	180	1.3a	1.1a	2.5a	++	+	80.1a	17.8a	22.2

<sup>a</sup>Mean separation by Duncan's multiple range test, P=0.05.

가 없으나 자구는 측방광 조사구가 2.5개로 하방광 조사구 2.1, 1.2개보다 많이 형성되었다. 또한 엽 형성이 양호하면 발근은 저조하고, 발근이 양호하면 잎 형성은 저조하였다. 생체중 및 건물중은 하방광  $60\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ 에 비하여 측방광  $180\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ 에서 각각 67%, 89% 증가하였고, 건물중은 하방광 조사구  $120\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$  및 측방광  $180\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ 에서 각각 23.0, 22.2%로 높았다.

### 고 찰

배양용기내 환경 특징은 기체와 에너지의 유동이 적고, 온도변화가 적은 반면에, 상대습도가 높고, CO<sub>2</sub> 농도 일변화가 비교적 크다는 점이다. 또한 배지에 당, 염류 및 성장조절물질을 인위적으로 첨가해야 하고 무균상태에서 배양하기 때문에 배양용기내의 미생물은 거의 존재하지 않는다. 그밖에 배양묘의 생리적 특징은 증산 및 순광합성 속도가 낮은 반면에 암호흡 속도가 높고, 뿌리로부터 수분이나 무기이온 및 당의 흡수 속도가 낮다는데 있다. 이러한 특징 때문에 미세번식 과정 중 배양묘의 성장속도가 늦고 순화과정에서 생존율이 낮다. 또한 형태적으로도 마디 사이가 길고, 줄기는 가늘며, 엽면적이 작기 때문에 묘로 이용하기에 부적당한 형태가 많다(Kozai 와 Smith, 1995). 따라서 미세번식에 있어서 환경을 조절하는 목적은 배양묘의 성장을 촉진시키고 형태를 조절하는데 있다.

여러 기내배양 환경 요인 중 광은 배양묘의 성장 및 분화에 큰 영향을 미치는데, 광도, 광조사 방향, 광주기, 광질 등이 이에 관여한다. Kitaya 등(1995)에 따르면 감자배양시 동일한 광도에서는 광조사 방향

에 관계없이 건물중 및 엽면적은 차이가 없으나, 광도가 증가하면 건물중 및 엽면적은 증가하고 초장은 짧아진다고 하였다. 또한 Kozai 등(1990)에 의하면 일반적으로 엽록체를 갖는 배양 식물체는 고광도 조건에서 광합성이 촉진된 것으로 알려져 있다. 본 시험의 딸기배양 결과에서도 하방광 조사구보다는 측방광 조사구에서 초장은 다소 신장되는 경향이었으나, 신초수, 생체중, 건물중, 엽수, 엽면적은 광조사 방향에 따라서 차이가 없었다. 그러나 동일한 방향에서 광을 조사하는 경우에는 광도가 증가함에 따라서 초장은 짧아지고, 건물중, 엽수, 엽면적은 증가하였다. Hayashi 등(1992)은 하방광  $45\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$  조사구보다 측방광  $130-170\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$  조사구에서 배양한 감자의 경우 생체중 및 건물중이 1.8배 증가한다고 하였는데 본 실험에서도 관행 하방광 조사구에 비하여 측방광 고광도 조사구에서 딸기, 감자, 백합 3작물 공히 생체중 및 건물중이 증가하였고, 잎의 성장도 양호하였으며, 신초는 도장하지 않고 줄기가 굵은 고품질의 배양묘를 생산할 수 있었다.

관행 미세번식에 있어서 조명기구(형광등)는 배양용기의 40cm 상부에 설치하는데(Fig. 1), 이렇게 설치하는 이유는 가까운 거리에서 광을 조사해 줌으로써 배양용기 수평면에서 일어날 수 있는 광분포의 불균일화를 방지하고 배양용기내 온도상승을 회피하기 위한 것으로 생각된다(Hayashi 등, 1992). 그러나 에너지 측면에서 보면 근접광 조사가 보다 효과적이다. 근접광 조사는 조명장치를 상방향(하방광 조사) 혹은 측방에서(측방광 조사) 배양용기와 밀접하게 설치하면 가능하다. 최근 광조사방법중의 하나로 측면에서 광을 조사하는 방법이 연구되고 있는데

이 측방광 조사 방법은 실용적인 측면에서 다음의 장점을 생각할 수 있다. 먼저 배양용기와 조명기구가 근접해 있기 때문에 광원의 발광량에 대한 유식물체의 수광량 비율이 증대되어 조명용 소비전력을 절감할 수 있다는 점이며, 배양용기의 적재가 가능하므로 입체적 배치에 의해 배양실 공간을 유효하게 이용할 수 있고, 또한 배양묘의 하부까지 광도를 증대시켜 배양묘의 성장을 촉진시키고 질을 높이는데 효과적인 것으로 알려져 있다(Hayashi 등, 1992). 측방근접광 조사시에는 배양용기내 온도가 배양용기 밖보다 약간 높는데, 이 온도 차이는 배양실의 설정 온도를 낮게 함으로써 목표하는 배양 용기내 온도로 조절할 수 있다. 그러나 이러한 측방광조사 배양장치는 배양용기 적재시 작업이 다소 불편한 것이 단점이다.

이상에서 본 바와 같이 광을 측방에서 고휘도로 조사하면 양질 배양묘를 생산할 수 있고, 순화시 활착율을 높일 수 있으며, 온실 혹은 포장에서 식물이 빠른 시일내 자가(독립)영양적으로 성장하기 때문에 생육을 촉진시킬 수 있다. 따라서 측방근접광 조사방법을 이용한 배양 시스템은 금후에 다른 작목에도 유용하게 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

## 적요

광조사 방향 및 광도에 따른 몇 가지 배양식물체의 성장반응을 조사하였다. 광조사 방향은 배양실내 조명장치를 상방향 또는 측방에 설치하여 조사하였다. 딸기 배양식물체의 초장과 근장은 광조사 방향에 관계없이 차이가 없었으나, 엽면적, 생체중 및 건물중은 광도가 높을 수록 증가하였다. 감자 절간 배양에서도 광도가 높은 측방광 조사구에서 초장이나 근장은 감소하였으나, 줄기 및 뿌리는 굵기가 굵고 생체중과 건물중 그리고 엽면적도 증가하였다. 백합 인편배양 역시 측방광 고휘도 조사구에서 자구 형성이 많았고 생체중과 건물중 모두 증가하였다. 따라서 관행 하방광 조사보다 배양용기의 측면에서 광을 조사하여 광도를 높이고, 배양용기를 3단으로 적재

할 수 있는 측방광 조사방법이 배양식물체의 성장을 촉진시켜 양질 배양묘 생산효율을 증대시켰다.

## 인용문헌

- Fujiwara, K. and Kozai, T. 1995. Physical microenvironment and its effects. In. *J Aitken-Christie, T Kozai, ML Smith*(eds.) Automation and environmental control in plant tissue culture, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp 319-369.
- Hayashi, M., Fujita, N., Kitaya, Y., Kozai, T. 1992. Effect of sideward lighting on the growth of potato plantlets *in vitro*. *Acta Hort* 319: 163-166.
- Jeong, B. R., Fujiwara, K., Kozai, T. 1995. Environmental control and photoautotrophic micropropagation. *Horticultural Reviews* 17: 125-172.
- Kitaya, Y., Fukuda, O., Kozai, T. 1995. Effects of light intensity and light direction on the photoautotrophic growth and morphology of potato plantlets *in vitro*. *Scientia Horticulture* 62: 15-24.
- Kitaya, Y. and Kozai, T. 1993. Environmental effects and their control in axillary bud multiplication. *Symposium of environmental effects and their control in plant tissue culture*. Matsudo, pp 14-19.
- Kozai, T. and Smith, M. L. 1995. Environmental control in plant tissue culture -general introduction and overview. In. *J Aitken-Christie, T Kozai, ML Smith*(eds.) Automation and environmental control in plant tissue culture. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp 301-318.
- Murashige, T. and Skoog, F. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiol Plant* 15: 473-497.
- Paek, K.Y., Seon, J.H., Son, S.H., Han, B.H., Yae, B.W. 1998. High quality microplant production and reduction of production cost through plant tissue culture. *Kor J Hort Sci & Tech* 16: 272-278.

(접수일:1999.4.10)

(수리일:1999.6.10)