

## 葉菜類의 環境制御 모델研究

### II. 人工光 條件에 따른 植物의 生育變化

朴權瑀 · 申榮周 · 李龍範\*

高麗大學校 園藝科學科 · \*서울市立大學校 環境園藝學科

## Studies on the Modelling of Controlled Environment in Leaf Vegetable Crops

### II. Effects of various light sources on the growth

Park, Kuen-Woo · Shin, Young-Ju · Lee, Yong-Beom\*

Korea Univ., Dept. of Hort. Sci., Seoul 136-701

\*Seoul City Univ., Dept. of Env. Hort., Seoul 130-743

### Summary

Effects of various artificial light sources on the growth of Chinese white cabbage, Chinese flat cabbage, lettuce, garland chrysanthemum, and green perilla were investigated. Plants were grown under different treatments for three weeks.

Generally, the growth of artificial light treatment were better than natural daylight(ND). The greatest growth and external quality occurred in high-pressure sodium lamp(HPS). In incandescent lamp(IL), fresh weight was heavy, but marketable quality was poor because of succulent(or spindly) growth.

Overall, vitamin C content were no difference among treatments. But relative chlorophyll content was somewhat high in HPS.

키 워 드 : 들깨, 백경채, 상추, 쪽갓, 인공광, 탐채

Key words : artificial light, Chinese flat cabbage, Chinese white cabbage, garland chrysanthemum, green perilla, lettuce

### 서 언

원예 식물의 생육에 있어서 자연으로부터의 제약조건을 탈피하여 높은 생산성, 고품질의 우수한 작물을 연중 계획생산하여 제공하는 시설원예를 통한 식물 생산에 대한 관심이 증가하고 있다.

시설원예를 통한 식물 생산에서는 근권을 포함하여 환경 조건의 조절이 가능한데, 완전히 조절된 환경 시설내에서 인공적인 광의 調査는 핵심적인 부분이며 인공광을 통한 규격화된 묘의 생산이나 수확량을 증가시키는 재배가 이용되는 등 최근

인공광만으로 재배하는 것이 많은 관심을 끌고 있다.

광원의 하나로 고압나트륨등은 전기적으로 1W 당 높은 에너지를 제공하기 때문에 광원으로서 흔히 이용되는데 고압나트륨등은 청색광(blue radiation)을 적게 지니고 있어서 식물의 생장과 발달에 영향을 미칠 수 있다고 일반적으로 알려져 있다. 반면에 metal halide와 형광등은 재배면적 전부분에 걸쳐 높은 에너지를 제공한다.<sup>3,4,5,12)</sup> 일부 재배자들은 공장의 형태를 갖춘 식물 생산체계에서 고

압나트륨등과 함께 형광등을 이용하여 청색광(blue light)을 보광해 주고 있다. 광질의 영향 측면에서 식물의 생장과 발달에 대한 몇몇 실험이 수행되어 왔다.<sup>7,10,14)</sup> 백열등은 근적외선 파장을 발하여 식물체내에서 GA합성을 촉진시켜 식물체를 도장하게 만든다고 알려져 있다.<sup>9,13)</sup>

이러한 광에 대한 연구의 최종적 목표는 실제적인 작업과 배양액의 조절을 비롯한 기타 다른 환경 조건에 관하여 시설원예적인 식물 생산에 필요한 광 시스템의 설계를 결정하는 것이다.

Ruthner<sup>11)</sup>는 엽채류 중 몇 종류에 대해서 인공광 재배 시스템을 시험해보기도 하였는데, 이런 재배의 목적은 고압나트륨등이나 형광등같은 보다 효과적인 광원을 사용해 작물을 집약적으로 생산하고자 하는 것이다.

인공광 재배 시스템에서 광도, 밤·낮의 주기, 암기중 광의 비율 그리고 스펙트럼 분산과 같은 광의 조사 조건이 폭 넓게 변화될 수 있다. 몇몇 연구자들은 상추를 가지고서 광조건과 생장 사이의 관계에 대해 연구하였다. Craker와 Seibert<sup>2)</sup> 그리고 Tibbitts 등<sup>14)</sup>은 다양한 광도와 광주기(낮의 길이) 하에서 lighting cost와 식물 생장 사이의 관계를 발표하였다.

시설재배에 있어 식물의 재배시 사용하는 인공광의 종류는 매우 중요하다. 지금까지의 연구는 HID(high intensity discharge) 램프가 생육에 좋다고 하였으나 실제로 너무 비싼 가격 때문에 유럽의 농가에서도 이용되지않고 있다. 그러므로 실제농가재배에서 싼값으로 간편하게 이용하여 생산성을 향상시키기 위한 광원에 대한 연구는 의미있는 일이다.

본 실험은 자연광, 형광등, 백열등, 고압나트륨등을 이용한 보광시 백경채, 탐채, 상추, 쑥갓 및 잎들깨의 생육에 미치는 영향을 구명하고자 실시하였다.

## 재료 및 방법

본 실험은 1992년 가을에 고려대학교 자연자원 대학 원예과학과 실험실과 비닐하우스에서 수행되었다.

공시 작물은 백경채(*Brassica chinensis* L. var. *chinensis*, 서울종묘)와 탐채(*Brassica chinensis* L. var. *rosuraris*, 일본 Dakii 종묘), 뚝섬 적측면 상추

(*Lactuca sativa* L., 서울종묘), 중엽쑥갓(*Chrysanthemum coronarium* L., 서울종묘)과 재래종 잎들깨(*Perilla frutescens* Britton var. *japonica* Hara., 원시수집종)의 5작물이었으며, 인공광 조건에 따른 식물의 생육변화를 조사하고자 실시하였다.

파종은 9월 1일에 상추, 쑥갓, 잎들깨를, 10월 6일 백경채와 탐채를 파종하여 상추, 쑥갓, 잎들깨는 육묘후 본엽 4~5매 때인 9월 27일, 백경채와 탐채는 10월 19일 모래, Peatmoss와 발효물 1:1:1로 조제한 상토를 이용하여 직경 11cm 플라스틱 pot에 정식하였다. 처리는 정식후 식물이 활착된 3일 뒤 자연광, 형광등, 백열등, 고압나트륨등으로 3주간 처리하였다.

일장처리 시간은 자연광의 경우 12시간(오전 6시~오후 6시), 다른 광처리구는 16시간(오전 6시~오후 10시)으로 나누어 실시하였다. 주간에는 자연광을 이용하였고, 야간에는 20W 형광등, 100W 백열등, 250W 고압나트륨등을 설치한 재배상자(1×1.5×1.25m)를 흑색 폴리에틸렌 필름으로 덮고, 위에는 반사필름을 덮어 조명하였으며, 광도는 3,300 lux정도로 조절하였다. 실험구는 10반복으로 하여 임의 배치하였고, 정식후 1주일 간격으로 3회 생육조사를 하였으며 3주째 수확하였다. 외형적 생육조사를 위해 엽수, 엽장, 엽폭, 엽병장, 초장, 엽면적을 조사하였다. 엽수는 1.5cm 이상의 크기의 잎을 조사하였고, 엽면적은 엽병과 엽신을 분리하여 엽신만의 면적을 엽면적 측정기(LI-300A, Li-cor)를 이용하여 측정하였으며 이것의 무게를 엽중으로 측정하였다. 엽면적을 엽중으로 나눈 엽중량비(Specific leaf area, SLA)를 구했다. 품질비교를 위해 전체 지상부를 무게와 지상부의 건물중, 상대 엽록소 함량, vitamin C의 함량을 구했다. 건물중은 80°C에서 48시간 건조시켰으며, 엽록소의 상대적 함량은 Minolta SPAD-501을 이용하였고 vitamin C의 함량은 식물 전체를 혼합하여 spectrofluorometer(Kontron SFM)을 이용한 형광 광도법<sup>6)</sup>으로 조사하였다. 통계처리는 Duncan의 다중검정을 이용하였다.

## 결과 및 고찰

백경채의 경우 전반적인 생육을 살펴보면 대조구보다는 인공조명을 이용한 補光처리구의 생육이 양호하였다(Table 1, 6).

외형적인 생육에 있어서 대조구에 비해 고압나트륨등과 백열등처리구의 생육이 양호하였으며 형광등처리구는 더욱 양호하였다. 이는 엽수의 증가에 의한 것 보다는 식물체당 엽면적의 증가와 더불어 엽중의 증가에 기인한 것이라 여겨진다. 특히 고압나트륨등처리구는 엽면적이 넓고 엽중이 무거우며 엽중량비가 낮은 것으로 보아 엽육이 두껍고 조직이 치밀한 것으로 사료된다. 반면 백열등은 외형적 생육으로 보면 고압나트륨등보다 생체중이 무거운 것을 볼 수 있는데 이것은 엽병이 다소 길었기 때문이라 생각된다. 그러므로 백열등이 생체중이 무겁더라도 상품성이 떨어지기 때문에 오히려 고압나트륨등에서 생육이 양호하였다.

상대적 엽록소 함량과 vitamin C의 함량은 백열등보다는 고압나트륨등과 대조구가 높았다.

Table 1. The effects of various light sources on the growth of *Brassica chinensis* var. *chinensis*.

Treatment	Number of leaves	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Petiole length (cm)
Before treatment	2.3	3.6	2.0	2.4
7 Days after treatment				
CON <sup>2)</sup>	2.6ab <sup>y)</sup>	5.3ab	3.3	3.1b
FL	2.8ab	5.1bc	3.3	2.8b
HPS	2.2b	4.5c	3.0	2.5b
IL	3.2b	5.9a	3.4	3.2a
14 Days after treatment				
CON	3.6b	8.5	5.1	4.7
FL	4.4ab	9.1	5.4	4.6
HPS	4.2ab	8.4	5.2	4.2
IL	4.6a	9.2	5.2	5.4
21 Days after treatment				
CON	5.0	10.0	6.4	5.8
FL	5.8	10.4	6.9	6.0
HPS	6.0	10.1	7.1	6.4
IL	6.3	11.0	7.0	6.9

<sup>2)</sup> CON : control  
 FL : fluorescent lamp  
 HPS : high-pressure sodium lamp  
 IL : incandescent lamp

<sup>y)</sup> Means separation within columns by Duncan's multiple range test, 5% level.

담채의 경우도 백경채와 마찬가지로 대조구보다는 보광처리구의 생육이 양호하였는데 고압나트륨등과의 형광등의 생체중이 무거웠고 백열등에서 생체중은 더욱 증가되었다(Table 2, 6). 이는 엽수나 엽중의 차이가 아니라 엽병이 길어졌기 때문이라 생각된다. 백열등에서는 엽병장의 길이를 증가시켜 도장을 다소 유발시킨 것으로 여겨지는데, 백열등은 생장을 억제하는 낮은 파장의 광이 없고 680~700 nm의 근적외선 파장을 발하여 식물체내에서 GA 합성을 촉진시켜 식물체를 도장하게 만든다고 알려져 있다.<sup>9,13)</sup> 특히 담채에서 이러한 효과가 있었다고 여겨진다. 반면 고압나트륨등은 잎이 넓고 무거우며 엽중량비도 낮으며 엽병도 짧아 외형적

Table 2. The effects of various light sources on the growth of *Brassica chinensis* var. *rosuraris*.

Treatment	Number of leaves	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Petiole length (cm)
Before treatment	0	3.0	1.7	1.4
7 Days after treatment				
CON <sup>2)</sup>	3.2b <sup>y)</sup>	3.4ab	2.4ab	2.3b
FL	3.6ab	3.7a	2.9a	3.1a
HPS	3.0b	2.9b	2.2b	1.4c
IL	4.0a	3.4ab	2.7ab	3.2a
14 Days after treatment				
CON	5.2b	4.8b	3.5b	4.5b
FL	5.4b	5.4ab	4.2a	4.8ab
HPS	5.8ab	4.9b	4.1a	4.6b
IL	6.6a	5.8a	4.3a	6.0a
21 Days after treatment				
CON	8.0b	5.0b	4.2	5.8b
FL	8.8a	5.9a	4.8	6.8ab
HPS	9.5a	6.0a	4.5	6.0b
IL	9.5a	6.1a	4.6	7.4a

<sup>2)</sup> CON : control  
 FL : fluorescent lamp  
 HPS : high-pressure sodium lamp  
 IL : incandescent lamp

<sup>y)</sup> Means separation within columns by Duncan's multiple range test, 5% level.

상품성이 훨씬 높은 것을 볼수 있었다. 또한 형광등도 백열등 보다는 엽병이 짧고 고압나트륨등과 크게 차이가 나지는 않았다. 상대적 엽록소 함량은

고압나트륨등과 백열등이 높았으며 vitamin C의 함량은 형광등이 다소 높았으며 대조구보다는 형광등이 오히려 낮았다.

백경채와 탐채 모두 백열등처리구에서 생육은 왕성했으나 엽병이 길어져 상품성을 살피볼 때는 오히려 고압나트륨등이 좋았으며 형광등도 고압나트륨등에 비해 다소 떨어졌으나 크게 차이가 나지는 않았다.

상추의 경우는 형광등처리구가 생체중이 다소 높고 잎이 크고 무거우며 엽중량비가 낮아 생육이 양호하였으며 나머지 처리간에는 별차이가 없었다. 이는 형광등처리구의 엽면적이 넓고 엽중이 무거웠기 때문으로 생각된다. 대조구의 생육도 보광처리구와 비교해 엽면적이 작고 엽중이 가벼우며 엽중량비가 큰 것으로 보아 조적이 얇았으나 생육상 큰차이가 없었다. 상대적 엽록소 함량은 고압나트륨등이 높았으며, vitamin C의 함량은 형광등처리구가 가장 높았으며 나머지 처리간에는 별차이가 없었다(Table 3, 6).

Table 3. The effects of various light sources on the growth of *Lactuca sativa* L.

Treatment	Number of leaves	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)
Before treatment			
0	4.0	5.1	4.0
7 Days after treatment			
CON <sup>2)</sup>	5.8b <sup>3)</sup>	7.7a	6.1ab
FL	6.0	8.1a	6.3a
HPS	5.6	6.3b	5.5b
IL	5.6	7.5a	5.9ab
14 Days after treatment			
CON	7.2a	11.0b	8.1a
FL	6.8a	9.8b	7.9a
HPS	5.6b	7.9c	6.5b
IL	7.0a	10.3ab	8.0a
21 Days after treatment			
CON	7.6	10.4	8.0
FL	7.2	11.0	9.2
HPS	7.6	9.8	8.2
IL	7.2	11.1	9.0

<sup>2)</sup> CON : control  
 FL : fluorescent lamp  
 HPS : high-pressure sodium lamp  
 IL : incandescent lamp

<sup>3)</sup> Means separation within columns by Duncan's multiple range test, 5% level.

썩갓의 경우는 형광등처리구가 다소 양호하였으며 다른 처리구간에 큰 차이는 나타나지 않았다. 그리고 대조구에서의 엽폭이 다른 처리구에 비해 다소 넓어 엽면적도 넓었다. 백열등처리구에서 다른 처리구에 비하여 초장이 현저히 커서 도장한 것을 볼 수 있는데 이것은 절화용 화훼류의 전조재배시 백열등을 이용하여 꽃대를 길게 하는 것과 같은 효과를 나타낸 것이다. 상대적 엽록소 함량은 형광등과 고압나트륨등처리구에서 다소 높았으며, vitamin C의 함량은 형광등처리구가 높았고, 대조구에서 가장 낮았다(Table 4, 6).

Table 4. The effects of various light sources on the growth of *Chrysanthemum coronarium* L.

Treatment	Number of leaves	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Plant length (cm)
Before treatment	5.2	6.0	2.5	1.6
7 Days after treatment				
CON <sup>2)</sup>	13.8 <sup>3)</sup>	8.4a	3.0ab	3.5b
FL	14.6ab	8.2	3.1	3.5
HPS	15.2	7.9	3.1	2.3
IL	13.4	8.1	2.8	2.6
14 Days after treatment				
CON	22.8	9.7	4.3a	4.0
FL	22.8	9.6	3.7ab	6.2
HPS	27.6	9.5	3.5b	4.7
IL	22.8	9.4	3.4b	6.3
21 Days after treatment				
CON	22.4	9.6	4.3a	4.4b
FL	22.4	10.2	3.5b	8.3b
HPS	27.6	9.5	3.7b	5.1b
IL	25.6	8.9	3.7b	12.7a

<sup>2)</sup> CON : control  
 FL : fluorescent lamp  
 HPS : high-pressure sodium lamp  
 IL : incandescent lamp

<sup>3)</sup> Means separation within columns by Duncan's multiple range test, 5% level.

잎들깨에서는 처리구간 차이가 별로 없었으나 고압나트륨등처리구의 생육이 다소 양호하였다.

엽장, 엽폭이 길어 엽면적이 넓고, 엽중이 무거웠으며 엽중량비도 낮아 조직이 치밀하였고 생체중과 건물율도 다소 무거웠다. 반면 백열등처리구에서는 속갓과 마찬가지로 다소 초장이 길었다. 상대적 엽록소 함량은 고압나트륨등과 형광등처리구가 다소 높았으며 vitamin C의 함량은 형광등과 백열등에서 다소 높았다(Table 5, 6).

Table 5. The effects of various light sources on the growth of *Perilla frutescens* Britton var. *japonica* Hara.

Treatment	Number of leaves	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Plant length (cm)
Before treatment	4.0	3.3	2.3	4.1
7 Days after treatment				
CON <sup>2)</sup>	6.4 <sup>3)</sup>	4.8	3.6	4.9
FL	6.4	4.7	3.6	5.1
HPS	6.4	4.6	3.4	4.9
IL	6.0	4.5	3.9	5.3
14 Days after treatment				
CON	13.6a	6.6	5.3	7.7
FL	10.4ab	6.3	5.1	7.8
HPS	14.0a	6.4	5.1	8.3
IL	9.2b	6.2	5.0	9.1
21 Days after treatment				
CON	13.2ab	7.3	5.8	11.2
FL	11.2b	7.1	5.8	11.6
HPS	16.a	7.4	5.9	11.0
IL	12.8ab	7.0	6.0	12.4

<sup>2)</sup> CON : control  
 FL : fluorescent lamp  
 HPS : high-pressure sodium lamp  
 IL : incandescent lamp

<sup>3)</sup> Means separation within columns by Duncan's multiple range test, 5% level.

식물에 따라서 광에 대한 반응은 달리 나타나는데 Krisek 등<sup>7)</sup>의 보고에 따르면 *petunia*와 *marigold*에서는 자연광보다는 백열등으로 보광해 준 경우에 생체중이 더 무거웠으나 *geranium*과 *zinnia*에서는 자연광이 백열등으로 보광한 것보다 생체중이 더 무거웠으며, *marigold*의 경우 백열등처리구의 마디수가 더 많았다고 한다. 엽록소의 상대적 함량은 전반적으로 고압나트륨등에서 높게 나타난 것으로 보아 고압나트륨등의 파장이나 복사열이 엽록소 형성에 영향을 미쳤을 것으로 사료된다. 광도나 광주기에 vitamin C의 함성이 다소 영향을 받았다는 보고<sup>1)</sup>가 있으나 광 종류에 따른 vitamin C의 함량은 작물마다 차이가 있는 것으로 보아 광질이 vitamin C의 함성에 직접적인 영향을 미치지 않았다고 생각된다. 복사열은 본질적으로 단지 엽록소의 형성과 줄기, 잎, 개화의 형태적 발달을 조절하는데 인공광에서 나온 복사열의 지속과 광질은 꽃의 질과 성장기간에 영향을 끼친다고 알려져 있다.<sup>8)</sup>

Langhans<sup>9)</sup>는 tulip, hyacinth와 narcissus의 구근에는 형광등이나 백열등의 복사열이 적당하고, 가장 좋은 꽃은 형광등에서 개화했으며 백열등은 개화를 다소 단축시킨다고 하였다. 또한 꽃색은 복사열의 종류에 영향을 받지 않으나 엽색은 일반적으로 형광등이나 자연광에서는 암녹색이 되며, 수은등에서 생산된 꽃은 형광등 아래서 생산된 꽃보다 엽록소 함량이 적고 매우 약한 줄기와 잎을 가진 꽃을 생산하였다고 보고하였다.

결론적으로 식물 전반적으로 대조구보다는 보광처리구의 생육이 양호하였다. 고압나트륨등이 형광등이나 백열등보다는 외형적인 상품성이 우수하였으며 잎이 식용부위인 엽채류에서는 백열등의 경우 도장하기 때문에 상품성이 저하되었던 것으로 보아 보광시 백열등은 피하는 것이 좋으리라 생각된다. 고압나트륨등에 비해 형광등의 생육이 크게 떨어지지 않았던 결과로 미루어 앞으로 경제성을 고려할 때 고압나트륨등과 형광등을 조합한 실험과 단일성작용인 잎들개에서는 보광시 장일조건이 되어 화아분화를 일으키게 되므로 단일조건하에서의 보광처리실험이 보충 실시되어야 한다고 생각된다.

Table 6. The effects of various light sources on the growth of vegetable plants (21days after treatment).

Treatment	One leaf area (cm <sup>2</sup> )	One leaf weight (g)	SLA <sup>2)</sup> (cm <sup>2</sup> /g)	Top weight (g)		Relative chlorophyll	Vitamin C (mg/100gFW)
				Fresh	Dry		
<i>Brassica chinensis</i> var. <i>chinensis</i>							
CON <sup>3)</sup>	47.9b <sup>2)</sup>	1.6b	30.70a	8.06c	0.59c	36.3ab	29.1a
FL	55.5ab	2.0a	27.73ab	10.62b	0.82b	33.7b	26.3b
HPS	57.7a	2.3a	24.78ab	10.74b	0.74b	37.6a	29.0a
IL	58.5a	2.3a	26.03b	13.82a	0.92a	33.2b	27.0b
<i>Brassica chinensis</i> var. <i>rosuraris</i>							
CON	17.3b	0.61b	28.26	4.64b	0.35b	39.4b	24.6b
FL	24.2a	0.83a	29.25	7.55a	0.52a	40.3b	22.5c
HPS	23.0a	0.89a	26.08	7.32a	0.54a	46.4a	24.5b
IL	24.6a	0.81a	30.20	8.35a	0.66a	42.9ab	27.6a
<i>Lactuca sativa</i> L.							
CON	61.60	1.94b	32.11	12.69	1.01	17.2b	6.3c
FL	74.67	2.52a	29.71	13.68	1.02	16.7b	10.9a
HPS	69.82	2.47a	28.39	11.31	0.87	21.3a	9.0b
IL	69.27	2.40a	29.20	11.16	0.96	18.5ab	4.2d
<i>Chrysanthemum coronarium</i> L.							
CON	17.85	0.76a	23.90	9.36	1.00	28.9b	4.7c
FL	15.08	0.65ab	23.25	10.39	1.11	36.2a	7.2b
HPS	16.08	0.64ab	25.23	8.64	1.18	37.5a	6.4b
IL	13.40	0.52b	25.72	9.78	1.10	31.4b	10.9a
<i>Perilla frutescens</i> Britton var. <i>japonica</i> Hara							
CON	31.17	0.59	52.66	4.78	0.77	35.8	13.2b
FL	30.61	0.55	56.32	4.87	0.66	33.2	16.7a
HPS	30.21	0.59	51.42	5.43	0.86	36.2	14.4b
IL	31.60	0.56	56.82	5.07	0.78	36.7	18.0a

<sup>2)</sup> SLA : specific leaf area (leaf area/leaf weight)

<sup>3)</sup> CON: control, FL : fluorescent lamp, HPS : high-pressure sodium lamp, IL : incandescent lamp

<sup>2)</sup> Means separation within columns by Duncan's multiple range test, 5% level

## 적 요

자연광과 자연광에 인공광을 이용한 보광처리시 형광등, 백열등, 고압나트륨등으로 인공광의 종류를 달리하였을 때 백경채, 탐채, 상추, 쪽갓 및 잎들깨의 생육에 미치는 영향에 대한 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 전반적으로 대조구보다 보광처리구의 생육이 양호하였다.
2. 고압나트륨등처리구에서는 생육이 양호하여 엽증량비가 낮고, 엽면적이 넓으며 엽중이 무거워 외관상 상품가치가 높았으며 백열등처리구에서는 생체중은 무거웠으나 도장하여 상품성이 저하되었다. 형광등처리구에서는 고압나트륨등에

- 비하여 생육이 크게 떨어지지 않았다.
3. 엽록소의 상대적 함량은 전반적으로 큰 차이는 없었으나 고압나트륨등의 처리구에서 다소 높았다.
  4. Vitamin C의 함량은 처리간 큰 차이는 없었으며 광 종류에 따라 작물마다 다른 반응을 나타내었다.

### 인 용 문 헌

1. Aberg, B. 1946. Effects of light and temperature on the ascorbic acid content of green plants. *Kungl. Lantbrukshögsk. Ann. (Uppsala)* 13 : 239-273.
2. Craker, L. E. and M. Seibert. 1982. Light energy requirement for controlled environment growth of lettuce and radish. *Trans. ASAE*. 25 : 214-216.
3. Goto, E. and T. Takakura. 1987. Relationship between light intensity and light energy requirement in the growth of leaf vegetables under artificial light. *J. Agr. Met.* 43 : 229-232.
4. Goto, E. and T. Takakura. 1988. The effect of artificial light on the growth of lettuce. *Acta Horticulturae* 230 : 313-318.
5. Hart, J. W. 1988. Light and plant growth. *Unwin Hyman Ltd, London*. pp. 34-51.
6. 朱鉉圭 외 5人. 1992. 食品分析法. 裕林出版社. pp. 359-360.
7. Krisek, D. T., W. A. Bailey, H. H. Klueter, and H. M. Cathey. 1968. Controlled environments for seeding production. *Proc. Int. Plant Prop. Soc.* 18 : 273-281.
8. Langhans, R. W. 1957. Forcing bulb and azaleas. *N. Y. State Flower Growers Bul.* 143(1) : 6-8
9. Mastalerz, J. W. 1977. The greenhouse environment. *John Wiley & Sons, Inc.* pp. 202-219.
10. Mortensen, L. M. and E. Stromme. 1987. Effects of light quality of some greenhouse crops. *Sci. Hort.* 33 : 27-36.
11. Ruthner, E. 1981. High efficient plant radiation within Ruthner crop production systems. *Acta Horticulturae* 128 : 197-202.
12. Sase, S., H. Ikeda, and T. Takesono. 1988. Plant prouction in the artificial environment. *Acta Horticulturae* 230 : 323-328.
13. Salisbury, F. B. and C. W. Ross. 1992. *Plant physiology*. Wadsworth, Inc. 4th ed. pp. 559-585.
14. Tibbitts, T. W., D. C. Morgan, and I. J. Warrington. 1983. Growth of lettuce, spinach, mustard, and wheat plants under four combinations of high-pressure sodium, metal halide, and tungsten halogen lamps at equal PPFD. *Amer. Soc. Hort. Sci.* 108 : 622-630.