생명과학회지
Korean J. Life Science, 8(3), 272-278, 1998

UV-B 강도 변화가 오이(*Cucumis sativus* L.)의 생장, 광합성 및 색소에 미치는 영향

김학윤† · 이인중 · 신동현* · 김길웅*

경북대학교 농업과학기술연구소
*경북대학교 농과대학 농학과

Effects of different UV-B levels on the growth, photosynthesis and pigments in cucumber(*Cucumis sativus* L.)

Hak-Yoon Kim†, In-Jung Lee, Dong-Hyun Shin* and Kil-Ung Kim*

Institute of Agricultural Sciences and Technology, Kyungpooku National University, Taegu, 702-701, Korea.
**Department of Agronomy, College of Agriculture, Kyungpook National University, Taegu, 702-701, Korea.*

Abstract

To investigate the effects of different UV-B levels on plant growth, cucumber plants were subjected to three levels of biologically effective ultraviolet-B($UV\text{-}B_{BE}$) radiation [daily dose : 0.03(No UV-B), 6.40(Low UV-B) and 11.30 (High UV-B) kJ m^{-2}, $UV\text{-}B_{BE}$] in the growth chambers for 3 weeks during the early growth period. High and low levels of UV-B irradiation drastically decreased both dry weight and leaf area, but increased specific leaf weight of cucumber. Plants subjected to UV-B resulted in 30% and 20% reduction of photosynthesis rate by high and low UV-B, respectively. However, respiration rate was not affected by the UV-B. With increasing UV-B intensity, total chlorophyll contents were decreased linearly, while the contents of flavonoid were increased linearly. These results suggest that the present levels of UV-B may affect the growth of cucumber plant compared with a UV-B-free condition. It is likely that the growth of cucumber will be affected by enhanced UV-B due to ozone depletion in the near future.

Key words : *cucumber, growth, photosynthesis, pigments, ultraviolet-B radiation*

서 론

인간활동 증대에 따른 프레온가스 등의 대기 중 방출에 의해 성층권 오존층이 파괴되고 그로 인해 유해한 태양 자외선(UV-B ; ultraviolet-B radiation ; 280~320 nm)의 지표면 도달량이 증가되고 있다[1].

UV-B는 식물의 생리·생화학적 대사에 영향을 미쳐, 광합성 억제, 호르몬 분해, DNA의 직접적인 손상, 지질과산화 등을 일으켜 식물의 생장 저해 및 주요 농작물의 수량 감소로 이어진다[2]. UV-B에 대한 감수성은 식물 종간(種間)

† Corresponding author

뿐만 아니라 품종간에도 다양하게 나타난다. 오이를 이용한 Murali와 Teramura의 실험과 콩을 이용한 김 등의 실험에서도 UV-B에 대한 품종간 감수성 차이가 있는 것으로 보고되어 있다[3,4].

식물은 UV-B에 의한 피해를 경감시키거나 방어하는 능력을 가지고 있다. 예를 들어, 잎 두께의 증가는 UV-B의 생리학적 표적 기관에 UV-B의 침투량을 줄여주며, UV-흡수물질인 flavonoid는 자외선을 흡수하여 UV-B의 표적 기관을 자외선으로부터 보호하는 역할을 한다[5,6].

현재까지 UV-B 증가가 식물에 미치는 영향에 대해서 많은 연구가 보고되어 있다. 그러나, 이들 연구의 대부분은 비현실적으로 높은 UV-B(UV-B_{BE} : 11 kJ m^{-2} day^{-1} 이상) 조건하에서 수행되었으며, 이러한 결과를 지구환경문제로서 자외선 증가가 식물에 미치는 영향 평가에 이용하는 것은 적합하지 않은 것으로 사료된다.

따라서 본 연구는 장래 고(高) UV-B 환경 하에서의 실제적인 식물의 생장 반응을 이해하기 위하여, UV-B 강도 변화와 식물의 생장 반응과의 관계를 오이 식물을 이용하여 조사하였다.

재료 및 방법

식물 재료

본 실험의 공시 식물로 오이(*Cucumis sativus* L. cv. Shimoshirazu jibaikyuuri)를 이용하였다. 오이 종자를 1일간 25℃의 광 상태에서 발아시킨 후, 500 g의 배양토(N : P_2O_5 : K_2O=0.21 : 0.41 : 0.38)를 담은 플라스틱 포트(면적 100 cm^2, 깊이 6 cm)에 1개체씩 파종하여 자연광 이용의 인공기상실(2m deep × 2m wide × 1.8m high)에서 생육 시켰다. 인공기상실 내의 온도는 낮(7시~18시)이 25℃, 밤(18시~7시)이 20℃ 였으며, 습도는 주야간 공히 70±5%를 유지하였다.

UV-B 照射

본 실험에 사용된 UV-B 조사 장치는 Kim 등에 의해 고안된 자외선 조사 장치를 사용하여 3단계의 UV-B[무처리, 저(低)UV-B, 고(高)UV-B] 조사 실험을 수행하였다[6]. UV-B의 광원으로서 자외선 램프(Toshiba sunlamp : FL 20 SE)를 사용하였다. 각 처리구별 UV-B 조사 장치는 8개의 자외선 램프로 구성되어 있으며 이 자외선 램프는 UV-B (280~320 nm) 영역뿐만 아니라 UV-C(200~280 nm) 영역의 광을 포함하고 있기 때문에, 무처리구에는 두께 0.13 mm의 Mylar D 필름을 램프에 감아 313 nm 이하의 자외선을 제거하였으며, 고UV-B 처리구에는 두께 0.13 mm의 cellulose diacetate 필름을 램프에 감아 290 nm 이하의 자외선을 제거하였다. 또 저UV-B 처리구에는 램프와 cellulose diacetate 필름 사이에 차광용 흰색 천을 넣어 UV-B의 량을 줄였다(그림 1). 이들 필름은 광에 의해 퇴화되므로 1주일에 1회 교환하였다. UV-B 조사는 파종 3일 후부터 1일 6시간(10 : 00~16 : 00) 씩 3주간 수행하였으며, 자외선램프와 식물체와의 간격은 식물생장에 따라 40 cm를 유지시켰다. UV-B의 강도는 분광방사계(MSR-7000, OptResearch Co., Tokyo, Japan)로 측정하여, Calldwell에 의해 제시된 UV-B의 생물학적 영향량(UV-B_{BE} : biologically effective UV-B)으로 환산하여 나타내었다[7].

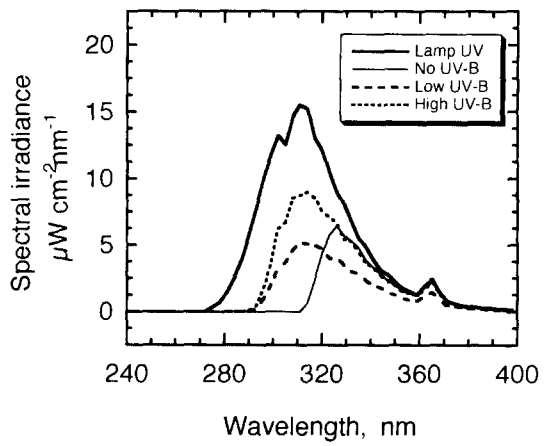

Fig. 1. Spectral irradiance of bare ultraviolet lamp, No UV-B(Mylar D film-filtered), Low UV-B(cellulose diacetate film plus white shading cloth-filtered) and High UV-B(cellulose diacetate film-filtered)treatments under the UV-B irradiation system. Measurements were taken at a distance of 40 cm from the ultraviolet lamps.

생장 측정

UV-B 조사에 의한 오이 식물의 생장 반응을 조사하기 위하여, 일주일 간격으로 각 처리별 6개체를 수확하여 건물중 및 엽면적을 조사하였다. 엽면적은 엽면적 측정기(AAC-400, Hayashi Denko Co. Ltd., Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였으며, 각 식물체를 분해하여 70℃에서 72시간 건조시킨 후 건물중을 측정하였다.

광합성 및 증산 측정

3주간의 UV-B 조사 후, 각 처리별 12개체를 대상으로 광합성속도 및 증산속도를 광합성측정기(LCA3, Analytical Development Co. Herts., England)를 이용하여 각 개체의 동일한 잎의 동일한 위치를 대상으로 오전 10에서 11시 사이에 측정하였다.

색소의 측정

UV-B가 색소에 미치는 영향을 조사하기 위하여, 3주간의 UV-B 조사 후 약 10 cm^2의 제 3본엽을 채취하여 99.5% ethanol에 넣고 4℃의 암 상태에서 48시간 추출하였다. 색소의 측정은 spectrophotometer(UV-1200, Shimadzue Co., Kyoto, Japan)를 이용하였으며, 엽록소 a와 b의 함량은 Knudson 등의 방법에 따라 649 nm 및 664 nm에서 흡광도를 측정하여 함량을 조사하였고[8], carotenoid 함량은 Lichtenthalar의 방법에 따라 470 nm, 649 nm, 664 nm의 흡광도를 측정하여 함량을 조사하였다[9]. UV-흡수물질인 flavonoid는 Caldwell 등의 방법에 따라 흡광도 334 nm에서 측정하였다[10].

결과 및 고찰

각 처리구별 일일 평균 UV-B_{BE} 량은 무처리구에서 0.03 kJ m^{-2}, 저UV-B 조사구에서 6.40 kJ m^{-2}, 고UV-B 조사구에서 11.32 kJ m^{-2}이였다(표 1). 본 실험에서의 UV-B_{BE} 강도를 Björn과 Murphy의 모델에 의해 계산하면, 고UV-B 조사구에서의 강도는 서울 상공 오존층의 약 35% 감소시에 지상에 도달하는 UV-B 량에 상응하며, 저UV-B 조사구에서의 UV-B 강도는 하지 경에 서울에 도달하는 UV-B 량에 상응했다[11].

Table 1. Average daily integral of UV-B_{BE}[a] during the irradiation period. The UV-B irradiation was conducted for 6 hours daily(from 10 : 00 to 16 : 00 h).

Treatments	Mean daily integral UV-BBE(kJ m^{-2})
Control	0.03
Low UV-B	6.42
High UV-B	11.30

[a] UV-B^{BE} : biologically effective UV-B radiation

UV-B 조사는 오이 식물의 생장 억제 및 극심한 황백화 현상(chlorosis)을 일으켰다. 본엽 출연 2~3일 후부터 황색 반점의 가시피해가 나타났으며, 잎이 확대됨에 따라 황색 반점도 확대되었다. 이러한 황백화현상은 자엽에서는 전혀 나타나지 않았으며, 제 1본엽에서 가장 심하게 나타났고, 또 상위엽으로 올라갈수록 피해는 감소되었다. UV-B에 의한 황백화현상은 콩 등의 일부 식물에서 보고되어 있으나, 아직 정확한 메커니즘에 대해서는 알려져 있지 않다[4].

UV-B 조사 개시 후 1주일 간격으로 각 처리별 6개체를 채취하여 건물중을 조사한 결과, UV-B 조사시간의 경과에 따라 큰 감소를 나타내었으며, 3주간의 UV-B 처리에 의해 고UV-B 처리에서 약 63%, 저UV-B 처리에서 약 40%의 감소를 보였다(그림 2). 엽면적도 UV-B 조사에 의해 큰 감소를 보였는데, 3주간의 UV-B 처리에 의해 고UV-B 처리에서 약 60%, 저UV-B 처리에서 약 39%의 감소를 보여 건물중 감소와 비슷한 경향을 나타내었다(그림 2). 이와 같은 생장 감소는 벼를 이용한 3주간의 UV-B(13.0 kJ m^{-2} d^{-1}) 실험에서 약 20%의 건물중 및 엽면적 감소를 보인 Dai 등의 결과와 콩을 이용한 UV-B(11.6 kJ m^{-2} d^{-1}) 실험에서 약 30% 전후의 엽면적 및 건물중 감소를 보인 김 등의 결과보다 큰 감소를 나타내었다[4,12]. 따라서 식물 종간에 UV-B에 대한 감수성이 다양한 것으로 나타났으며, 오이는 벼나 콩보다 UV-B에 대한 감수성이 높은 것으로 나타났다. 또한 본 실험에서의 건물중 및 엽면적은 UV-B 강도의 증가에 따라 큰 감소를 나타내었는데, 특히 저UV-B 처리에서도 통계학적 유의한 감소를 나타낸 것으로 보아, 현재 자연상태에서의 태양 UV-B에 의해서도 오이 식물은 생육 억제의 영향을 받고 있는 것으로 사료된다.

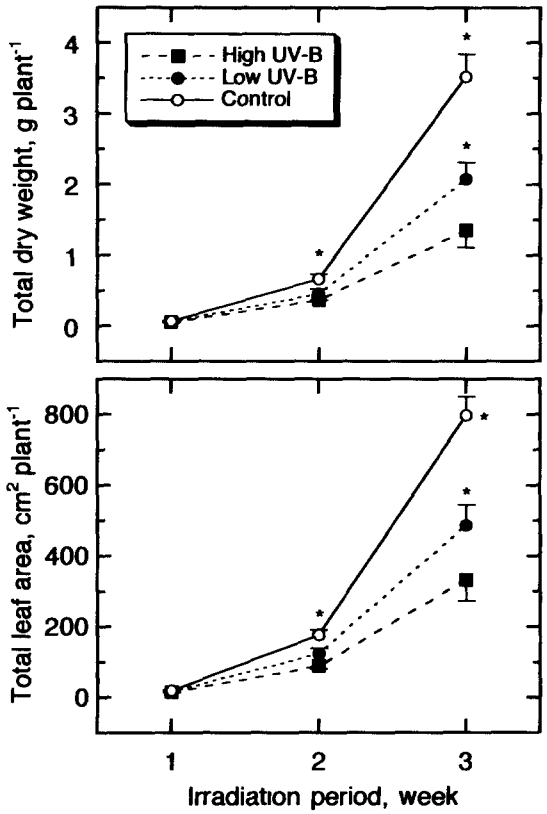

Fig. 2. Effects of UV-B irradiation on dry weight of whole plant and leaf area of cucumber. Each value is the mean of 6 plants and vertical bar represents the standard error for the mean. Statistically significant differences between the means are indicated by "*"($p<0.05$).

일부 식물 종은 UV-B에 대한 적응 또는 방어기능을 가지고 있다. 예를 들어 잎 두께 증가에 의한 UV-B 투과성의 억제 및 잎 구조변화에 의한 노출의 최소화 등과 같은 형태적 반응을 들 수 있다[3,13]. 본 실험에서 UV-B 조사에 의해 엽면적의 감소를 보였으나(그림 2), 잎 두께를 나타내는 엽중비(葉重比)는 고UV-B 처리와 저UV-B 처리에서 각각 11%와 6%의 증가를 보여, UV-B 증가에 따른 엽중비의 증가를 나타내었다(그림 3). 엽중비의 증가는 UV-B의 표적이 될 수 있는 식물 내부기관에 UV-B의 도달량을 줄여주는 역할을 하며, 또 엽중비 증가에 따른 UV-흡수물질 증가를 가능하게 하는 것으로 보고되어 있다[5,6]. 이러한 엽중비의 증가는 콩을 이용한 Mirecki와 Teramura의 실험과 벼를 이용한 Kim 등의 실험에서도 보고되어 있으며, UV-B에 대한 식물의 형태적 방어반응으로 사료된다[6,13]. 그러나 본 실험에서 지상부 및 지하부의 변화를 나타내는 shoot/root 비율은 UV-B 조사에 의해 감소하는 경향을 보였으나 통계학적 유의성은 없었다(그림 3).

일부 식물에 있어서 UV-B에 의한 광합성 저하가 보고되어 있다. 본 실험에서 3주간의 UV-B 조사에 의해 고UV-B 처리에서 약 45%, 저UV-B처리에서 약 37%의 광합성 억

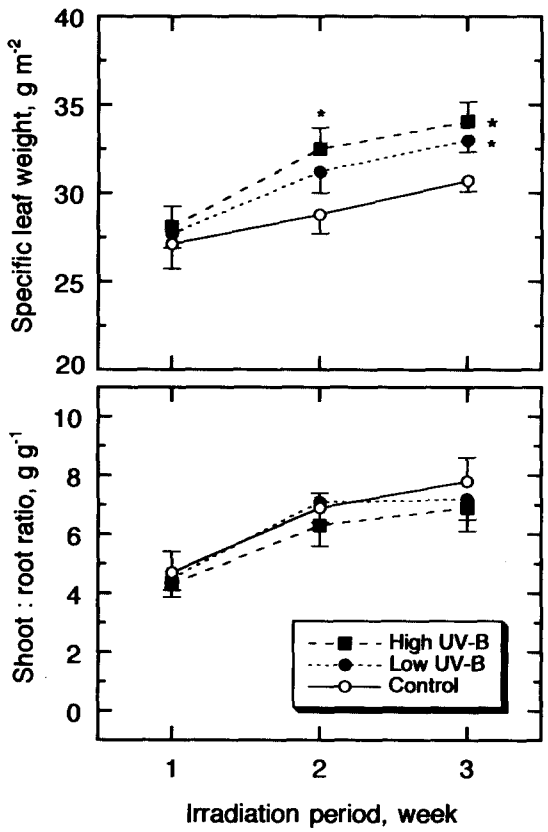

Fig. 3. Effects of UV-B irradiation on specific leaf weight and shoot : root ratio of cucumber. Each value is the mean of 6 plants and vertical bar represents the standard error for the mean. Statistically significant differences between the means are indicated by "*"($p<0.05$).

제를 나타내었다(그림 4). 이와 같은 광합성 억제는 콩을 이용한 실험에서 약 20~30%의 광합성 억제가 보고되어 있으며, 해바라기와 옥수수를 이용한 실험에서도 약 15%의 광합성억제가 보고되어 있다[14,15]. 한편, UV-B에 의한 광합성 저하는 엽록체에 직접적인 장해뿐만 아니라 기공(stomata) 폐쇄에 의한 가능성이 있다. 콩을 이용한 Bennett의 실험과 무를 이용한 Teramura 등의 실험에서 UV-B에 의해 광합성 속도가 잎의 증산 속도와 일치해서 저하한 것이 보고되어 있다[16,17]. 그러나 본 실험에서 3주간의 UV-B 조사에 의한 증산의 변화는 나타나지 않았다(그림 4).

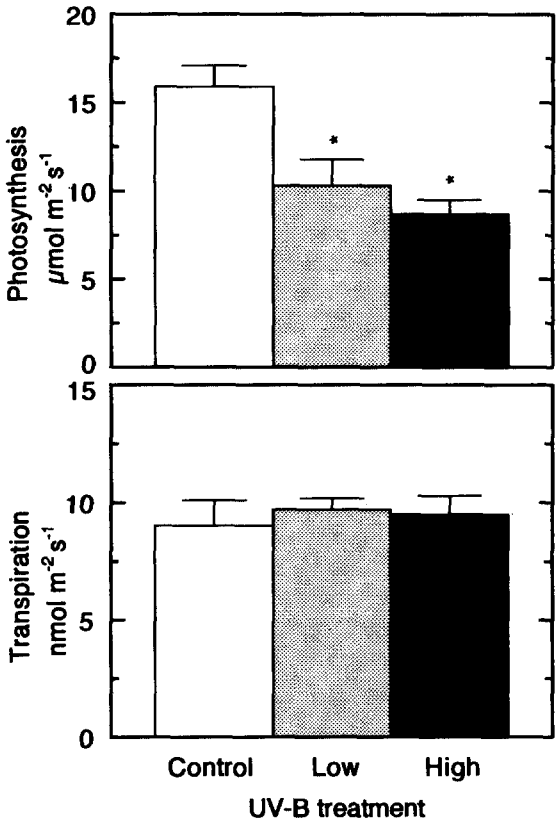

Fig. 4. Effects of UV-B irradiation on photosynthesis rate and transpiration rate of cucumber leaves. Each value is the mean of 12 plants and vertical bar represents the standard error for the mean. Statistically significant differences between the means are indicated by "*"($p<0.05$).

완두콩을 이용한 Brandle 등의 실험과 해바라기를 이용한 Tevini 등의 실험에서도 UV-B에 의한 광합성 저하와 기공 폐쇄와 관련이 없는 것으로 보고되어 있다[15,18]. 따라서 UV-B에 의한 기공 개폐의 영향은 확실시되어 있지 않다.

엽록소의 파괴 및 생합성 억제는 UV-B의 전형적인 피해 현상으로 나타난다. 벼를 이용한 실험에서 UV-B 조사에 의한 엽록소 함량의 감소와 각 엽록소 단위당 광합성 활력의 저하가 보고되어 있다[19]. 본 실험에서 UV-B 조사에 의해 엽록소 a와 b의 비율에는 변화가 없었으나, 총 엽록소 함량은 고UV-B 처리에서 약 20%, 저UV-B 처리에서 약 14%의 감소를 보여, UV-B 증가에 따른 감소의 증가를 나타내었다(표 2). 엽록소는 빛에너지를 흡수하는 광 수용체이므로, UV-B 조사에 의한 엽록소 함량의 감소는 광합성 저하 및 건물생산의 저하로 이어졌을 가능성이 있다. 그러나 또 다른 광 수용색소인 carotenoid 함량에는 UV-B에 의한 변화는 나타나지 않았다(표 2).

UV-흡수물질인 flavonoid는 자외선을 흡수하여 광합성계 등의 UV-B 표적기관을 자외선으로부터 보호하는 역할을 한다[5]. UV-B 조사에 의해 많은 식물 종에서 flavonoid 함량 증가가 보고되어 있으며, UV-B에 대한 식물의 내성 정도와 flavonoid 함유량과는 밀접한 관련이 있는 것으로 알려져 있다[3,6]. 본 실험에서 UV-B 조사에 의해 고UV-B 처리에서 약 19% 저UV-B 처리에서 약 14%의 UV-흡수물질의 증가를 보였다(표 2). 이러한 UV-흡수물질의 증가는 UV-B에 대한 식물의 생화학적 방어반응으로 사료되며, 콩을 이용한 3주간의 UV-B(11.3 kJ m^{-2} day-1) 조사 실험에서 약 20%의 UV-흡수물질 증가를 보인 것과 유사한 결과를 보여주고 있다[4]. 그러나 본 실험에서의 UV-흡수물질 증가는 UV-B에 의한 flavonoid의 생합성 촉진에 의한 것보다 엽중비 증가에 의한 상대적인 증가일 가능성이 있다. 예를 들어 고UV-B 처리의 경우 약 11%의 엽중비 증가에 대해 19%의 UV-흡수물질 증가를 보였으며, 저UV-B 처리의 경우 약 6%의 엽중비 증가에 대해 14%의 UV-흡수물질 증가를 보였다. 이와 같은 엽중비 증가에 따른 UV-흡수물질 증가는 벼를 이용한 Kim 등의 실험에서도 보고되어 있다[6].

이상의 결과로 볼 때 UV-B 조사는 오이 식물에 극심한 생육 억제 및 황백화현상을 일어 켰으며, 그 피해 정도는 UV-B 강도에 따라 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 현재

Table 2. Effects of UV-B irradiation on pigments of cucumber leaves. Each value is the mean of 6 plants. * represents significant difference at $p<0.05$.

	Treatment		
	No UV-B	Low UV-B	High UV-B
Total chlorophyll, $\mu g\ cm^{-2}$	46.4±1.8	40.4±1.3*	37.0±2.4*
Total carotenoid, $\mu g\ cm^{-2}$	6.0±0.2	6.2±0.3*	6.3±0.2*
UV-absorbing compounds, $A_{334}\ cm^{-2}$	2.0±0.1	2.3±0.1	2.4±0.1

지구에 도달하는 태양 UV-B에 의해서도 오이 식물은 생육억제의 영향을 받고 있는 것으로 사료되며, 장래 북반구 중위도 지방에서 예상되는 약 10%의 오존층 감소[1)]에 의해서도 다소 생육장해를 나타낼 것으로 사료된다.

요 약

UV-B 강도 변화가 식물의 생장에 미치는 영향을 조사하기 위하여, 오이를 이용하여 3주간 3단계의 UV-B[일일 평균 $UV\text{-}B^{BE}$; 무처리(0.03), 저UV-B(6.40), 고UV-B(11.32) $kJ\ m^{-2}$] 조사 실험을 수행하였다. 3주간의 UV-B 조사에 의해 건물중 및 엽면적은 고UV-B 처리와 저UV-B 처리에서 각각 60%와 40% 정도의 감소를 보였으나, 엽중비는 증가하였다. UV-B에 의해 고UV-B 처리에서 약 45%, 저UV-B 처리에서 약 37%의 광합성속도의 감소를 나타내었으나 증산속도의 변화는 나타나지 않았다. 총 엽록소 함량은 UV-B 강도의 증가에 따라 감소하였으며, UV-흡수물질인 flavonoid의 함량은 고UV-B 처리에서 약 19% 저UV-B 처리에서 약 14%의 증가를 보였다. 이상의 결과로 볼 때 UV-B 조사는 오이 식물에 극심한 생육 저해를 나타내었으며, 그 피해는 UV-B 강도에 따라 증가하였다. 따라서 현재 지구에 도달하는 태양 UV-B에 의해서도 오이 식물은 영향을 받고 있는 것으로 사료되며, 장래 예상되는 오존층 감소에 의해서도 생육장해를 나타낼 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. Madronich, S., NcKenzie, R. L., Caldwell, M. M. and Björn, L. O. : Changes in ultraviolet radiation reaching the earth's surface. *AMBIO*, **24**, 143(1995).
2. Tevini, M. : *Molecular biological effects of ultraviolet radiation.* In UV-B radiation and ozone depletion (Tevini, M. ed.), pp. 125-154, Lewis Publisher, ISBN 0-87371-911-5(1990).
3. Murali, N. S. and Teramura, A. H. : Intraspecific differences in *Cucumis sativus* sensitivity to ultraviolet-B radiation. *Plant Physiol.*, **74**, 475(1986).
4. 김학윤, 이천호, 이인중, 신동현, 김길웅 : 콩(*Glycine max* L.) 품종간의 UV-B에 대한 감수성의 차이. 한국환경과학회지, (투고중)(1998).
5. Day, T. A. : Relating UV-B radiation screening effectiveness of foliage to absorbing-compound concentration and anatomical characteristics in a diverse group of plants. *Oecologia*, **95**, 542(1993).
6. Kim, H. Y., Kobayashi, K., Nouchi, I. and Yoneyana, T. : Effects of UV-B radiation on growth, $\delta^{13}C$ values and pigments of three rice(*Oryza sativa* L.) cultivars. *Environ. Sci.*, **9**, 45(1996).
7. Caldwell, M. M. : *Solar UV radiation and the growth and development of higher plants.* In Photophysiology (Giese, A. C. ed.), Vol. 6, pp. 131-177, Academic Press, N.Y.(1971).
8. Knudson, L. L., Tibbitts, T. W. and Edwards, G. E. : Measurement of ozone injury by determination of chlorophyll concentration. *Plant Physiol.*, **60**, 606(1977).
9. Lichtenthaler, H. K. : Chlorophylls and carotenoids : pigments of photosynthesis. *Methods Enzymol.*, **148**, 350(1987).
10. Caldwell, M. M., Robberecht, R. and Flint, S. D. : Internal filters : prospects for UV-acclimation in higher plants. *Physiol. Plant.*, **58**, 445(1983).
11. Björn, L. O. and Murphy, T. M. : Computer calculation of solar ultraviolet radiation at ground level. *Physiol. Veg.*, **23**, 555(1985).
12. Dai, Q., Coronel, V. P., Vergara, B. S., Barnes, P. W. and Quintos, A. T. : Ultraviolet-B radiation effects on growth and physiology of four rice cultivars. *Crop Sci.*, **32**, 1269(1992).
13. Mirecki, R. M. and Teramura, A. H. : Effects of ultraviolet-B irradiance on soybean. V. The dependence

of plant sensitivity on the photosynthetic photon flux density during and after leaf expansion. *Plant Physiol.,* 74, 475(1984).
14. Teramura, A. M., Perry, M. C., Lydon, J., McIntosh, M. S. and Summer, E. G. : Effects of ultraviolet-B radiation on plants during mild water stress. III. Effects on photosynthetic recovery and growth in soybean. *Physiol. Plant.,* 60, 484(1984).
15. Tevini, M., Mark, G., Fisser. G. and Saile, M. : *Effects of enhanced solar UV-B radiation on growth and function of crop plant seedling.* In current topics in plant biochemistry and physiology, vol. 10, pp. 13-31, Columbia, MO : University of Missouri(1991).
16. Bennett, J. H. : Photosynthesis and gas diffusion in leaves of selected crop plants exposed to ultraviolet-B radiation. *J. Environ. Qual.,* 10, 271(1981).
17. Teramura, A. H., Tevini, M. and Iwanzik, W. : Effects of ultraviolet-B irradiation on plants during mild water stress. I. Effects on diurnal stomatal resistance. *Physiol. Plant.,* 57, 175(1983).
18. Brandle, J. R., Campbell, W. E., Sisson, W. B. and Caldwell, M. M. : Net photosynthesis, electron transport capacity, and ultrastructure of *Pisum sativum* L. exposed to ultraviolet-B radiation. *Plant Physiol.,* 60, 165(1977).
19. Teramura A. H., Ziska, L. H. and Sztein, A. E. : Changes in growth and photosynthetic capacity of rice of rice with increased UV-B radiation *Physiol. Plant.,* 83, 373(1991).