

콩[Glycine max(L.) Merrill] 품종간의 UV-B에 대한 감수성의 차이

김 학 윤 · 이 천 호* · 이 인 중 · 신 동 현* · 김 길 웅*
경북대학교 농업과학기술연구소 · 경북대학교 농학과
(1998년 3월 29일 접수)

Intraspecific Differences in Sensitivity to UV-B Irradiation in Soybean [Glycine max(L.) Merrill]

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

Institute of Agricultural Sciences and Technology, Kyungpook National University, Taegu, 702-701, Korea.
*Dept. of Agronomy, Kyungpook National University, Taegu, 702-701, Korea.
(Manuscript received 29 March 1998)

The experiment was conducted to determine the effects of enhanced UV-B on growth and differential responses among cultivars in soybean. The soybean cultivars subjected to enhanced UV-B irradiation at daily dose of 11.32 kJ m⁻²(UV-B_{BE}) revealed that the growth was significantly depressed. Plant height, leaf number, leaf area and dry weight were inhibited by UV-B irradiation showing differential responses among cultivars used. Danyebkong seems to be less sensitive to the enhanced UV-B irradiation, while Keunolkong more sensitive. Reduction of chlorophyll content was also found significantly greater to Keunolkong. Specific leaf weight, an index of leaf thickness, and flavonoid content known as UV-absorbing compounds were significantly increased in Danyebkong by UV-B, but those in the other cultivars were not significantly affected. The results indicated that there are cultivar differences in the growth and physiological responses to the enhanced UV-B irradiation and specific leaf weight and UV-absorbing compounds in the leaves were highly related to the sensitivity of soybean by UV-B irradiation.

Key words : growth, pigments, soybean, ultraviolet-B radiation

1. 서 론

지난 10 여년 동안 남극상공의 극심한 오존감소가 관측되어 온 이래, 최근 북반구 중위권 상공의 오존감소가 심각한 지구환경 문제로 대두되고 있다(Madronich et al., 1995). 성층권 오존의 감소는 유해한 태양자외선(UV-B; 280~320 nm)의 지표면 도달량을 증가시켜 인간을 비롯한 모든 생물에 악 영향을 미친다(Madronich et al., 1995).

특히, 식물에 있어서 UV-B는 핵산, 단백질, 색소, 호르몬 등의 생체분자에 흡수되어, 생리·생화학적 대사기구에 장애를 일으켜, 식물의 생육 저해 및 주요 농작물의 수량 감소로 이어진다(Tevini, 1990).

UV-B에 대한 식물의 감수성은 종간(種間) 뿐만 아니라 종내(種內)에서도 다르게 나타난다. 이러한 감수성의 차이는 식물의 형태적 또는 해부적인 차이뿐만 아니라 생화학적 방어 능력의 차이 등에 의한 것으로 보고되어 있어(Kim et al. 1996a; Kim et al., 1996b), 장래 예상되는 고(高) UV-B 환경 하에서 육상 생태계의 변화를 가져올 수 있는 하나의 요인으로 사료된다.

식물은 UV-B에 의한 피해를 경감시키거나 방어하는 능력을 가지고 있다. 예를 들어, 잎 두께의 증가는 UV-B의 생리학적 표적 기관에 UV-B의 침투량을 줄여 주는 역할을 하며, UV-흡수물질인 flavonoid는 자외선을 흡수하여 UV-B의 표적 기관을 자외선으로부터 보호하는 역할을 하는 것으로 보고되어 있다(Day, 1993; Kim et al., 1996a).

본 연구는 콩 5품종을 이용하여, 종내에서의 UV-B에 대한 감수성 차이와 그 원인 조사를 통하여, 장래 고 UV-B 환경에 대비한 내성(耐性)식물 육종의 유전학적 자료를 얻기 위하여 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 식물 재료

공식 식물로 우리나라에서 널리 재배되고 있는 콩[Glycine max(L.) Merrill] 5품종(큰올콩, 단엽콩, 미원콩, 무한콩, 두유콩)을 이용하였다. 콩 종자를 1일간 25℃의 광 상태에서 발아시킨 후, 500 g의 배양토(N : P₂O₅ : K₂O = 0.21 : 0.41 : 0.38)를 담은 플라스틱 포

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-B _{BE} (kJ m ⁻²)
Control	0.06
UV-B treatment	11.32

a) UV-B_{BE} : biologically effective UV-B radiation.

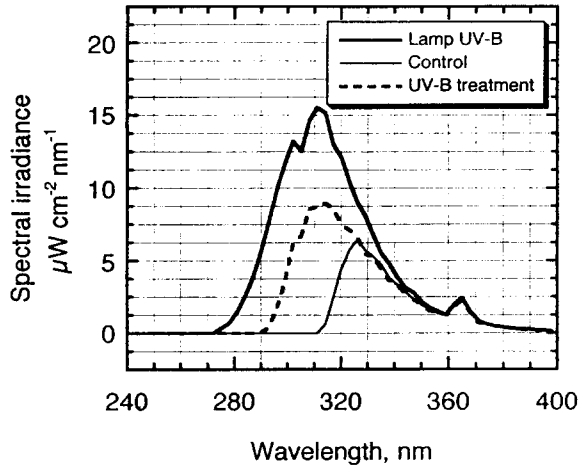


Fig. 1. Spectral irradiance of bare ultraviolet lamp, control (Mylar D film-filtered) and UV-B treatment (cellulose diacetate film-filtered) under UV-B irradiation system. Measurements were taken at a distance of 40 cm from the ultraviolet lamps.

트(면적 100 cm², 깊이 10 cm)에 1개체씩 파종하여 자연광 이용의 온실에서 생육시켰다.

2.2 UV-B 조사(照射)

본 실험에 사용된 UV-B 조사장치는 Kim 등(1996a)에 의해 고안된 자외선 조사장치를 사용하였다. 각 처리구는 8개의 자외선 램프(Toshiba sunlamp : FL 20 SE)로 구성되어 있으며, 이 자외선 램프는 UV-B(280~320 nm) 영역뿐만 아니라 UV-C(200~280 nm) 영역의 광도 포함하고 있기 때문에, 무처리구에는 0.13 mm 두께의 Mylar D 필름을 램프에 감아 313 nm 이하의 자외선을 제거하였으며, UV-B 처리구에는 0.13 mm 두께의 cellulose diacetate 필름을 램프에 감아 290 nm 이하의 자외선을 제거하였다(Fig. 1). 이들 필름은 광에 의해 퇴화되므로 1주일에 1회 교환하였다. UV-B 조사는 파종 10일 후부터, 1일 6시간(10시~16시) 씩 3주간 수행하였으며, 자외선 램프와 식물체와의 간격은 식물 생장에 맞추어 40cm를 유지시켰다. UV-B의 강도는 분광방사계(MSR-7000, OptResearch Co., Tokyo, Japan)로 측정하여, Caldwell(1971)에 의해 제시된 UV-B의 생물학적 영향량(UV-B_{BE} : biologically effective UV-B)으로 환산하여 나타내었다. 각 처리구별 일일 평균 UV-B_{BE} 강도는 UV-B 조사구에서 11.32 kJ m⁻² 이었고, 무처리구에서 0.06 kJ m⁻² 이었

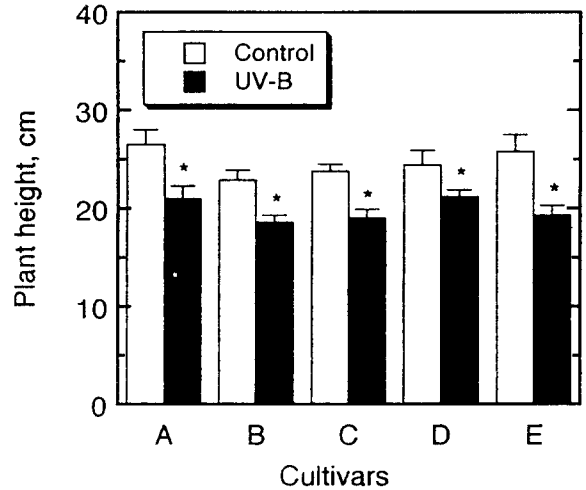


Fig. 2. Effect of UV-B irradiation on plant height of 5 soybean cultivars. A, B, C, D and E indicate Miwonkong, Duwookong, Danyeubkong and Keunolkong, respectively. Each value is the mean of 6 plants and vertical bar represents the standard error for the mean. Statistically significant differences between the means are indicated by "*" (p<0.05).

다(Table 1). UV-B 처리구에서의 강도를 Bjrn과 Murphy(1985)의 모델에 의해 계산하면, 서울 상공 오존층의 약 35% 파괴시에 지상에 도달하는 UV-B량에 상응했다.

2.3 생장 측정

3주간의 UV-B 조사 후 각 품종별 6개체를 수확하여, 엽수, 엽면적 및 건물중(乾物重)을 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.

2.4 색소 측정

UV-B가 색소에 미치는 영향을 조사하기 위하여, 3주간의 UV-B 조사 후 제 3분엽 1 g을 채취하여 99.5% ethanol에 넣고 4℃의 암 상태에서 48시간 추출하였다. 색소의 측정은 spectrophotometer (UV-1200, Shimadzu Co., Kyoto, Japan)를 이용하였으며, 엽록소 함량은 Knudson 등(1977)의 방법에 따라 664 nm 및

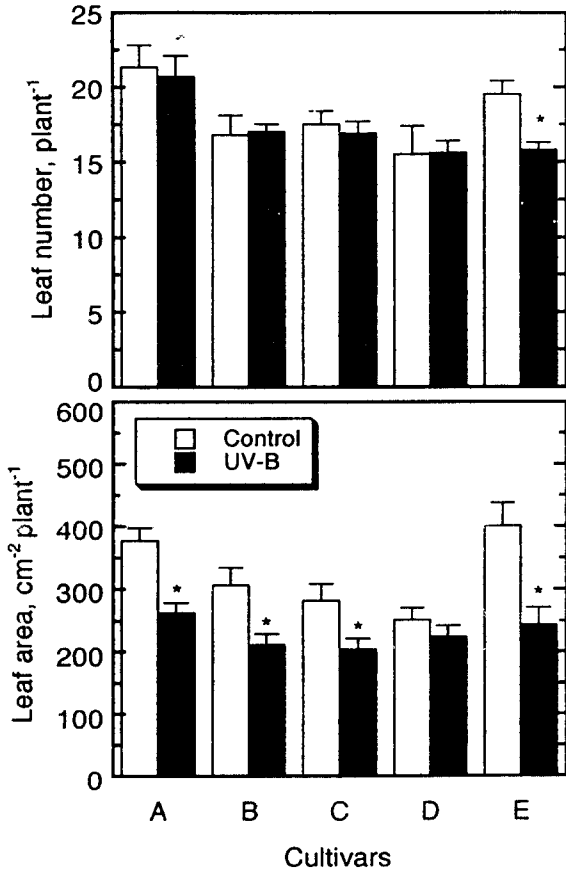


Fig. 3. Effect of UV-B irradiation on leaf number and leaf area of 5 soybean cultivars. A, B, C, D and E indicate Miwonkong, Duwookong, Danyeubkong and Keunolkong, respectively. Each value is the mean of 6 plants and vertical bar represents the standard error for the mean. Statistically significant differences between the means are indicated by "*" ($p < 0.05$).

649 nm에서 흡광도를 측정하여 함량을 조사하였고, flavonoid의 함량은 Caldwell 등(1983)의 방법에 따라 흡광도 334 nm에서 측정하였다.

3. 결 과

3.1 UV-B에 대한 성장반응

UV-B 조사는 콩 식물의 성장 억제 및 황백화 현상(chlorosis)을 일으켰다. 본엽 출현 2~3일 후부터 황색 반점의 피해가 나타났으며, 특히 제 1본엽에서 가장 심하게 나타났고, 상위 엽으로 올라갈수록 피해는 감소되었다.

3주간의 UV-B 조사에 의해 콩 5품종 모두 초장의 감소를 보였으며, 감소 정도는 품종에 따라 다르게 나타났다. 단엽콩의 경우 약 13%의 초장 감소를 보인 반면, 큰

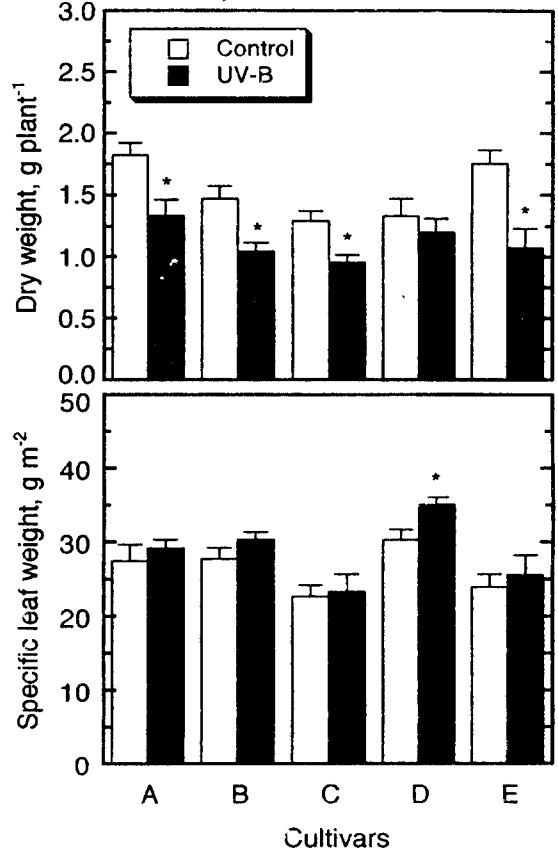


Fig. 4. Effect of UV-B irradiation on plant dry weight and specific leaf weight of 5 soybean cultivars. A, B, C, D and E indicate Miwonkong, Duwookong, Danyeubkong and Keunolkong, respectively. Each value is the mean of 6 plants and vertical bar represents the standard error for the mean. Statistically significant differences between the means are indicated by "*" ($p < 0.05$).

울콩에서는 약 25%의 큰 감소를 나타내었고, 미원콩, 두유콩, 무한콩에서는 약 20%의 감소를 나타내었다 (Fig. 2).

Fig. 3은 UV-B 조사가 콩 5품종의 엽수 및 엽면적에 미치는 영향을 나타내고 있다. 엽수의 경우 큰울콩에서만 통계학적 유의한 감소를 보였으며, 나머지 4품종에서는 UV-B에 의한 엽수의 변화는 나타나지 않았다. 그러나 엽면적의 경우 3주간의 UV-B 처리에 의해 5품종 모두 감소를 나타내었으며, 단엽콩에서 10% 정도 감소하는 경향을 보인 반면, 큰울콩에서는 40% 정도의 큰 감소를 보였으며, 미원콩, 두유콩, 무한콩에서는 약 30% 전후의 감소를 나타내어, 품종간의 UV-B에 대한 감수성 차이가 뚜렷이 나타났다.

3주간의 UV-B 조사에 의한 콩 식물의 건물중은 5품

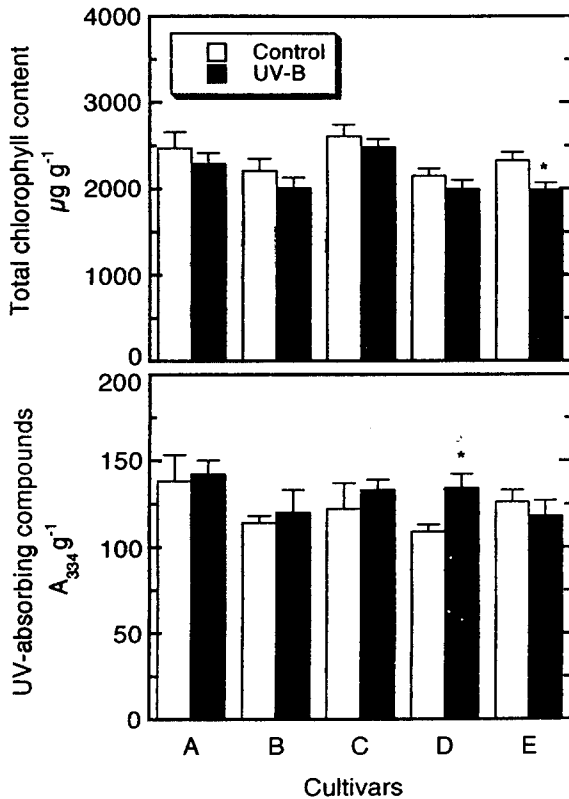


Fig. 5. Effect of UV-B irradiation on content of chlorophyll and UV-absorbing compounds. A, B, C, D and E indicate Miwonkong, Duwookong, Danyebkong and Keunolkong, respectively. Each value is the mean of 6 plants and vertical bar represents the standard error for the mean. Statistically significant differences between the means are indicated by "*" (p < 0.05).

종 모두 상이한 반응을 보였으며, 특히 단엽콩에서는 8% 정도의 가장 적은 감소를 보인 반면, 큰올콩에서 약 39%의 큰 감소를 나타내었고, 미원콩, 두유훑, 무한콩에서는 약 30% 전후의 감소를 보여 엽면적의 변화와 비슷한 경향을 나타내었다(Fig. 4). 또 잎 두께를 나타내는 엽중비(specific leaf area)는 3주간의 UV-B 조사에 의해 5품종 모두 증가하는 경향을 보였으나, 단엽콩에서만 약 15%의 통계학적 유의한 증가를 나타내었다(Fig. 4).

3.2 UV-B에 의한 색소함량 변화

Fig. 5는 UV-B 조사가 콩 잎의 엽록소 및 flavonoid 함량에 미치는 영향을 나타내고 있다. 3주간의 UV-B 조사에 의해 큰올콩에서 약 15%의 엽록소 함량 감소를 보인 반면, 나머지 4품종에서는 UV-B 조사에 의한 변화는 나타나지 않았다. 또한 flavonoid 함량은 단엽콩에

서 약 20%의 증가를 보인 반면, 큰올콩에서는 감소하는 경향을 보였으나 통계학적 유의성은 없었다.

4. 고찰

일반적으로 콩은 벼나 옥수수 등에 비하여 UV-B에 대해 감수성이 높은 식물로 분류된다(Teramura, 1983). 본 실험에서 콩 5품종 모두 3주간의 UV-B 조사에 의해 극심한 생육억제를 나타내었으며, 억제 정도는 품종간에 큰 차이를 보였다. 특히, 초장, 엽면적, 건물중 등의 변화로 볼 때, 단엽콩은 UV-B에 대해 비교적 감수성이 낮은 것으로 나타났고, 큰올콩은 감수성이 높은 것으로 나타났다. 이와 같은 종간에서의 UV-B에 대한 감수성 차이는 오이, 벼, 시금치 등을 이용한 실험에서도 보고되어 있으나, 아직 정확한 원인은 알려져 있지 않다(Dumpert and Boscher, 1982; Murali and Teramura, 1986; Kim et al., 1996a).

본 실험에서 UV-B 조사에 의한 콩의 초장, 엽면적, 건물중의 평균 감수성 정도는 벼를 이용한 3주간의 UV-B 실험($13.0 \text{ kJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)에서 약 10%의 초장 감소와 약 20%의 건물중 및 엽면적 감소를 보인 Dai 등(1994)의 결과보다 높은 것으로 나타났으며, 오이를 이용한 UV-B 조사 실험($11.6 \text{ kJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)에서 약 40%의 초장 감소와 30% 전후의 엽면적 및 건물중 감소를 보인 Murari and Teramura(1986)의 결과와 비슷한 경향을 나타내었다.

UV-B 조사에 의해 콩 5품종 모두 유의한 초장 감소를 나타내었으나(Fig. 2), 그 감소 정도는 엽면적이나 건물중의 감소에 비해 적은 것으로 나타났다. 초장의 경우 전체적으로 13~25%의 감소를 보인 반면, 엽면적과 건물중은 약 10~40%의 감소를 나타내었다. 따라서 초장 보다는 엽면적 또는 건물중이 UV-B 내성 식물 선발을 위한 좋은 지표로 사료된다.

UV-B 조사에 의해 콩 5품종 모두 엽면적 감소를 보였으나(Fig. 3), 잎 두께를 나타내는 엽중비는 단엽콩에서 약 14%의 증가를 보인 반면, 큰올콩에서는 UV-B에 의한 변화는 나타나지 않았다(Fig. 4). 엽중비의 증가는 UV-B의 표적이 될 수 있는 내부 기관에 UV-B의 도달량을 줄여 주는 역할을 하며, 또 엽중비 증가에 따른 UV-흡수물질의 증가를 가능하게 하는 것으로 보고되어 있다(Mirecki and Teramura, 1984). 이러한 엽중비의 증가는 벼를 이용한 Kim 등(1996a)의 실험에서도 보고되어 있으며, UV-B에 대한 식물의 형태적 방어반응으로 사료된다. 따라서 본 실험에 있어서 큰올콩과 단엽콩의 UV-B에 대한 감수성 차이는 엽중비의 변화와 관련이 있는 것으로 사료된다.

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(Teramura et al., 1991). 본 실험에서 엽록소 함량은 3주간의 UV-B 조사에 의해 단엽콩에서 5% 정도의 감소하는 경향을 보인 반면, 큰올콩에서는 약 15%의 큰 감소를 나타내었다(Fig. 5). 엽록소는 빛에너지를 흡수하는 광 수용체이므

로 UV-B 조사에 의한 엽록소 함량의 감소 차이는 이 두 품종의 건물생산의 차이로 이어졌을 가능성이 있다.

UV-흡수물질인 flavonoid는 주로 표피세포의 액포내에 축적되어 있으며, 자외선을 흡수하여 광합성계 등의 UV-B 표적기관을 자외선으로부터 보호하는 필터 역할을 한다(Caldwell et al., 1983). UV-B 조사에 의해 많은 식물 중에서 flavonoid 함량의 증가가 보고되어 있으며, UV-B에 대한 식물의 내성 정도와 flavonoid 함유량은 깊은 관련이 있는 것으로 알려져 있다(Tevini et al., 1991). 본 연구에서 UV-B에 대한 콩 품종간의 감수성 차이는 UV-흡수물질 축적의 유전적인 차이에 의한 것일 가능성이 있다. 예를 들어, 단엽콩의 경우 약 20%의 flavonoid 함량 증가에 대해 약 8%의 건물중 감소를 보였으나, 큰올콩의 경우 flavonoid 함량의 변화는 없었고 39%의 건물중 감소를 나타내었다. 이와 같은 결과는 오이를 이용하여 UV-흡수물질 축적과 종내의 감수성 차이의 관련성을 조사한 Murari와 Teramura(1986)의 실험과 유사한 결과를 나타내고있다. 그러나 시금치를 이용한 실험에서는 UV-흡수물질의 축적과 감수성의 관련성은 나타나지 않았다(Dumpert and Boscher, 1982). 따라서 UV-B에 대한 식물의 감수성 차이는 종간 또는 종내의 특이적인 반응차이에 의한 것으로 사료되며, UV-B에 대한 감수성의 정확한 원인을 파악하기 위해서는 더 많은 종류의 식물을 이용한 실험이 필요할 것으로 사료된다.

이상의 결과로 볼 때, 현재의 콩 유전자원 중에는 UV-B에 대한 감수성의 유전적 다양성이 존재하며, 이러한 감수성의 다양성은 엽중비 증가 및 UV-흡수물질 축적과 관련이 있는 것으로 사료되며, 장래 UV-B 내성 품종 개발에 적절히 이용될 것으로 사료된다.

5. 결 론

콩 5품종(미원콩, 두유콩, 무한콩, 단엽콩, 큰올콩)을 이용하여, UV-B에 대한 품종간의 감수성 차이와 그 원인을 조사하기 위하여 3주간 UV-B(11.32 kJ m⁻²d⁻¹: UV-B_{BB}) 조사 실험을 수행하였다. UV-B에 대하여 초장, 엽수, 엽면적, 건물중 등의 생장반응은 품종간에 상이하게 나타났으며, 그 중 단엽콩은 감수성이 낮았고, 큰올콩은 감수성이 높은 것으로 나타났다. UV-B 조사에 의해 단엽콩에서 엽중비 증가를 보였으나, 큰올콩에서는 변화가 없었다. 엽록소함량은 큰올콩에서만 약 15%의 감소를 나타내었다. 또 flavonoid 함량은 단엽콩에서 약 20%의 증가를 보였으며, 큰올콩에서는 변화가 없었다. 이상의 결과로 볼 때, UV-B에 대해 품종간의 감수성 차이가 있으며 엽중비 증가 및 UV-흡수물질 축적과 관련이 있는 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

Björn, L.O. and T.M. Murphy, 1985, Computer calculation of solar ultraviolet radiation at ground level. *Physiol. Veg.*, 23, 555~561.
Caldwell, M.M., 1971, 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..
Caldwell, M.M., R. Robberecht and S.D. Flint, 1983, Internal filters: prospects for UV-acclimation in higher plants. *Physiol. Plant.*, 58, 445~450.
Dai, Q., S. Peng, A.Q. Chavez and B.S. Vergara, 1994, Intraspecific responses of 188 rice cultivars to enhanced UV-B radiation. *Environ. and Expt. Bot.*, 34, 433~442.
Day, T.A., 1993, Relating UV-B radiation screening effectiveness of foliage to absorbing-compound concentration and anatomical characteristics in a diverse group of plants. *Oecologia*, 95, 542~550.
Dumpert, K. and J. Boscher, 1982, Response of different crop and vegetable cultivars to UV-B irradiance: Preliminary results. In *Biological effects of UV-B radiation* (Bauer et al. eds.), pp. 102~107, Gesellschaft fr Strahlenund Umweltforschung mbH, Mnchen, Germany.
Kim, H.Y., K. Kobayashi, I. Nouchi and T. Yoneyana, 1996a, Effects of UV-B radiation on growth, $\delta^{13}\text{C}$ values and pigments of three rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. *Environ. Sci.*, 9, 45~53.
Kim, H.Y., K. Kobayashi, I. Nouchi and T. Yoneyana, 1996b, Differential influences of UV-B radiation on antioxidants and related enzymes between rice (*Oryza sativa* L.) and cucumber (*Cucumis sativus* L.) leaves. *Environ. Sci.*, 9, 55~63.
Knudson, L.L., T.W. Tibbitts and G.E. Edwards, 1977, Measurement of ozone injury by determination of chlorophyll concentration. *Plant Physiol.*, 60, 606~608.
Madronich, S., R.L. McKenzie, M.M. Caldwell and L.O. Bjrn, 1995, Changes in ultraviolet radiation reaching the earth's surface. *AMBIO*, 24, 143~152.
Mirecki, R.M. and A.H. Teramura, 1984, 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, 475~480.
Murali, N.S. and A.H. Teramura, 1986, Intraspecific differences in *Cucumis sativus* sensitivity to ultraviolet-B radiation. *Plant Physiol.*, 74, 475~480.
Teramura, A.H., 1983, Effect of ultraviolet-B radiation on the growth and yield of crop plant. *Physiol. Plant.*, 58, 415~427.

- Teramura, A.H., L.H. Ziska and A.H. Szein, 1991, Changes in growth and photosynthetic capacity of rice with increased UV-B radiation. *Physiol. Plant.*, 83, 373~380.
- Tevini, M., 1990, 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.
- Tevini, M., J. Braun and G. Fieser, 1991, The protective function of the epidermal layer of rye seedling against ultraviolet-B radiation. *Photochem. Photobiol.*, 53, 329~333.