紫外光照射によるコスモスセル成型苗の徒長抑制

稲本勝彦・裴 恩廷・土井元章・今西英雄

大阪府立大学農学部 593 堺市学園町

Retardation of Excessive Elongation of Cosmos Plugs by Ultraviolet Irradiation

Katsuhiko Inamoto, Eunjung Bae, Motoaki Doi and Hideo Imanishi

College of Agriculture, University of Osaka Prefecture, Gakuen-cho, Sakai, Osaka 593

Summary

Seedlings of cosmos (*Cosmos bipinnatus* Cav. 'Radiance') were irradiated at 25 °C for 72 hr by a blacklight blue lamp (main radiation peak at 352 nm ; UV-A), a fluorescent sun lamp (310 nm ; UV-B) or a germicidal lamp (254 nm ; UV-C), which were placed 60 cm above plug flats. Irradiation by a fluorescent sun lamp and a germicidal lamp inhibited hypocotyl elongation compared to the control irradiated by a three-band fluorescent lamp. Seedlings irradiated by a germicidal lamp died after irradiation. Decreasing the distance between the fluorescent sun lamp and the plug flats inhibited hypocotyl elongation. Seedlings irradiated by a fluorescent sun lamp gained less dry matter, compared to seedlings irradiated by a three-band fluorescent lamp, but this suppression was reversed by the supplemental irradiation of a three-band fluorescent lamp with a fluorescent sun lamp. Exposure of seedlings to UV-B provides a useful means of preventing excessive hypocotyl elongation and improves the quality of plug seedlings.

緒 言

セル成型苗生産において、弱光、高温および多湿条件下で起こる実生胚軸の徒長が苗の商品価値を低下させるため、問題となっている。その解決法の一つとしてわい化剤の処理が有効とされているが (Barrett, 1992)、処理量によってはその強い残効のため、花壇等への植え付け後のシュートの伸長や株張りに悪影響を及ぼすことが指摘されている。また、野菜苗に対しては食品としての安全性の確保が必要であり、わい化剤の利用が制限される。

これまで、成層圏でのオゾン層破壊にともなう地上への到達紫外放射の増加を想定して、紫外光が植物の生育に及ぼす影響について、多くの報告がなされている。その中の一例として、Krizek (1975) はトマト他計 9 種の植物実生への発芽直後の紫外光照射が胚軸の伸長を抑えることを観察している。しかし、このよう

な紫外光の作用を積極的に植物生育の抑制に用いようとした例は少ない。本実験では、紫外光による茎の伸長抑制効果に着目して、セル成型苗生産において問題となる胚軸の徒長が実生への紫外光の照射により抑制できないか検討した。

材料および方法

実験 1. 各種紫外光源による照射がコスモス実生胚軸の伸長とその後の生育に及ぼす影響

材料としてコスモス (*Cosmos bipinnatus* L.) 'ラディアンズ' を供試した。ペトリ皿に水で湿らせたろ紙を敷いて種子を置き、25 °C 暗黒条件下で催芽した。24 時間後に 2~3 mm の長さで発根した催芽種子を、Metromix 350 培地 (Grace Sierra 社製) を入れたセルトレイ (512 穴、角型) に 1 セルあたり 1 粒ずつ置床し、ごく浅く覆土した。同時に各種光源による照射を開始した。紫外光源としては、いずれも 20 W の蛍光管を用い、ブラックライトブルー蛍光灯 (松下電器産業, FL 20 S BL-B ; 放射ピーク波長 352 nm の UV-A

1995 年 3 月 17 日 受理。

本報告の一部は平成 6 年度園芸学会春季大会において発表した。

領域を放射;図表中ではBLBと略),健康線用蛍光灯(松下電器産業製,FL 20 S・E;同310 nmのUV-B領域を放射;図表中ではS),殺菌灯(松下電器産業製,GL-20;同254 nmのUV-C領域を放射;図表中ではG)の3区,比較のため20 Wの3波長域型蛍光灯管(東芝ライテック製,FL 20 SS・EXN/18-H;図表中ではFL)を用いる区と無照射(暗黒;図表中ではD)の区,合計5区を設けた.セルトレイ上面60 cmに各光源を1本配置し,温度 $25 \pm 1^\circ\text{C}$,湿度90%の発芽室内で72時間の連続照射を行った.照射終了後,苗を最低気温 20°C のガラス温室に搬出して,栽培を続けた.照射終了時および照射終了7,14日後に10個体をサンプリングし,苗の生育について調査した.

実験2. 健康線用蛍光灯の照射距離がコスモス実生胚軸の伸長とその後の生育に及ぼす影響

実験1と同様に催芽したコスモス'ラディアンス'種子をセルトレイに播種し,ただちに健康線用蛍光灯を用いてセルトレイ上面からの距離を30, 42, 60, 84 cmと変えて紫外光を照射した.このときのセルトレイ上面における280 nm~315 nmでの紫外放射線強度をB領域紫外線計(英弘精機製,MS-210 W)により測定したところ,それぞれ1.09, 0.71, 0.41, $0.22 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ であった.また,比較のため無照射(暗黒)の区を設けた.72時間の照射終了後,苗を最低気温 20°C のガラス温室に搬出して,栽培を続けた.その他の条件,測定については実験1に準じた.

実験3. 健康線用蛍光灯と3波長域型蛍光灯による同時照射がコスモス実生胚軸の伸長とその後の生育に及ぼす影響

実験1と同様に催芽したコスモス'ラディアンス'種子をセルトレイに置床し,ただちに,健康線用蛍光灯単独照射,3波長域型蛍光灯単独照射,健康線用蛍光灯および3波長域型蛍光灯の同時照射を72時間行った.このときの健康線用蛍光灯によるセルトレイ上面における紫外放射線強度は $0.41 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$,3波長域型蛍光灯による放射強度は $2.7 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ であった.照射終了後,苗を最低気温 20°C のガラス温室に搬出して,栽培を続けた.また,比較のため,無照射(暗黒)区を設けた.その他の条件,測定については実験1に準じた.

結 果

実験1. 各種紫外光源による照射がコスモス実生胚軸の伸長とその後の生育に及ぼす影響

いずれの実験区においても照射期間中に子葉が展開し,胚軸が地上部に現れた.

72時間の照射終了時の実生胚軸は,放射ピーク波長の異なる紫外光源については,波長が短い紫外光源により照射したものほど短くなった(第1図,第2図).ブラックライトブルー蛍光灯区の実生胚軸は,無照射の暗黒区より短かったが,3波長域型蛍光灯区より長かった.一方,健康線用蛍光灯区および殺菌灯区の胚軸長は,それぞれ36 mm, 8 mmとなり,3波長域型蛍光灯区の50 mmより短かった.しかし,この時点で殺菌灯区の子葉において著しい萎縮と褐変が観察された.

照射終了7日後までに殺菌灯区の全個体が枯死したが,他の区では全個体が生存し,生育を続けた.胚軸の伸長は3波長域型蛍光灯区の実生では照射終了以降も続いたが,健康線用蛍光灯区では抑制された(第3図).しかし,子葉より上位の節間の伸長はほとんど抑制されなかった(第3図).

Fig. 1. Effects of 72-hr irradiation by various fluorescent tubes on the hypocotyl elongation of *Cosmos bipinnatus* seedlings kept at 25°C and 90%RH. Irradiation was started just after sowing germinated seeds on plug flats. Each fluorescent tube was placed 60 cm above plug flats. D, Dark; FL, three-band fluorescent lamp; BLB, blacklight blue lamp; S, fluorescent sun lamp; G, germicidal lamp. Means with the same letter are not significant by Duncan's multiple range test ($p=0.05$).

D FL BLB S G

Fig. 2. Seedlings of *Cosmos bipinnatus* irradiated by various fluorescent lamps for 72 hr. Photographs were taken just after irradiation. D, Dark; FL, three-band fluorescent lamp; BLB, blacklight blue lamp; S, fluorescent sun lamp; G, germicidal lamp.

Fig. 3. Stem elongation of *Cosmos bipinnatus* seedlings following 72-hr irradiation by a three-band fluorescent lamp or a fluorescent sun lamp. Seedlings were transferred to a greenhouse above 20 °C after irradiation. D, dark; FL, three-band fluorescent lamp; S, fluorescent sun lamp.

実験2. 健康線用蛍光灯の照射距離がコスモス実生胚軸の伸長とその後の生育に及ぼす影響

無照射の実生胚軸は、72時間の照射終了時において75 mmと著しく徒長していた。それに対し、健康線用蛍光灯により照射を行った実生の胚軸では伸長が抑制されており、照射距離が短くなるほど、胚軸は短くなった(第4図)。また、このときの照射距離およびセルトレイ上面における紫外放射強度と胚軸長との

Fig. 4. Hypocotyl length of *Cosmos bipinnatus* seedlings irradiated by a fluorescent sun lamp set at different heights above the plug flats. Germinated seeds were kept at 25 °C and 90% RH, and exposed to the irradiation by a fluorescent sun lamp for 72 hr. Vertical bars are SE (n=10).

$Y_1 = 19.019 \ln(X) - 45.155 (r^2 = 0.990)$; Y_1 , hypocotyl length; X , distance of light source above the plug flats.

$Y_2 = -0.845 \ln(X) + 3.915 (r^2 = 0.979)$; Y_2 , irradiance; X , distance of light source above the plug flats.

Fig. 5. Dry weight change of *Cosmos bipinnatus* seedlings irradiated by a fluorescent sun lamp placed at different heights above the plug flats. D, Dark. Vertical bars are SE (n=10).

関係は、対数曲線により近似された。照射終了14日後の地上部乾物重は、84~42 cmの距離から照射した区で30 mg前後であったが、30 cmから照射した区のそれは18 mgと著しく小さかった(第5図)。

実験3. 健康線用蛍光灯と3波長域型蛍光灯による同時照射がコスモス実生胚軸の伸長とその後の生育に及ぼす影響

健康線用蛍光灯と3波長域型蛍光灯を同時照射した区の照射終了時の胚軸長は、両蛍光灯単独照射区よりも抑制されていた(第6図)。しかし、照射終了7日後においては健康線用蛍光灯単独照射区と同等になった。照射終了7日後の両蛍光灯同時照射区の地上部乾物重は健康線用蛍光灯単独照射区ならびに無照射区と

比較して大きく、3波長域型蛍光灯単独照射区と比較して有意な差がみられなかった(第7図)。

考 察

実験1に用いた3種類の紫外光源、すなわちブラックライトブルー蛍光灯、健康線用蛍光灯、殺菌灯は、それぞれUV-A、UV-B、UV-Cの波長域の紫外光を主に放射する(洞口, 1992)。実験1において、照射した紫外光の波長域が短いほど、コスモス胚軸の伸長抑制効果が大きいことが示された。すなわち、最も波長域の長い、いわゆるUV-A領域の紫外光を放射するブラックライトブルー蛍光灯を用いた場合、可視光域を放射する3波長域型蛍光灯により照射したものより胚軸が長くなったことから、UV-A領域の紫外光には胚軸伸長抑制効果がないことが示された。一方、最も波長域の短い、いわゆるUV-C領域の紫外光を放射する殺菌灯を用いた場合、照射終了時に障害の発生が観察され、温室への搬出から1週間以内に全個体が枯死した。DNAを構成するピリミジン塩基が265 nm付近の放射を吸収してピリミジンダイマーを生成し、遺伝子や異常が発生する結果として、細胞分裂の遅延や突然変異が起これ、細胞が死に至ることが報告されており(Beukers・Berends, 1960; Howland, 1975; Setlow, 1961; Takahashi ら, 1991)、この領域の紫外光を放射する殺菌灯による照射は、かなりの短時間であっても、植物に致命的な影響を与えられとされる。殺菌灯に次いで短い波長域、いわゆるUV-B領域の紫外線を放射する健康線用蛍光灯により照射を行ったコスモス実生は、3波長域型蛍光灯による照射を行ったものと比較して照射終了時点において約30%胚軸長が短く、しかも照射終了後も全個体が生存し、生育を続けた。Krizek (1975) は、トマト、ダイコン、キュウリ、レタス、インゲンマメ、ダイズ、コムギ、ワタ、パールミレットの発芽直後の実生に対して、今回の実験と同レベルの放射強度のUV-B照射を行った。このとき、UV-B照射による発芽率の低下はみられず、また照射期間が6日間と今回の実験よりさらに長期間にわたっている場合でも、いずれの植物も枯死にまでは至らなかった。以上の点からUV-B領域の紫外光の植物への影響はUV-Cと比較してかなり緩やかであると考えられる。したがって、胚軸の徒長抑制を目的とする紫外光線としては、UV-B領域の紫外光を放射する健康線用蛍光灯を用いるのが適当であると結論された。

実験2において、胚軸伸長の抑制効果はUV-Bの放射強度に依存することが示された。胚軸伸長が著しく

Fig. 6. Hypocotyl and internode length of *Cosmos bipinnatus* seedlings irradiated by a three-band fluorescent lamp and/or a fluorescent sun lamp for 72 hr and transferred to a greenhouse kept above 20 °C. D, dark; FL, three-band fluorescent lamp; S, fluorescent sun lamp.

Fig. 7. Shoot growth of *Cosmos bipinnatus* seedlings irradiated by a three-band fluorescent lamp and/or a fluorescent sun lamp for 72 hr and transferred to a greenhouse kept above 20 °C. D, dark; FL, three-band fluorescent lamp; S, fluorescent sun lamp. Means were separated by Duncan's multiple range test ($p=0.05$) within each day.

抑制された照射距離 30 cm の区では、温室へ搬出 14 日後の実生の乾物重も照射距離が 42 cm 以上の区と比較して抑制されることが観察され、強度の UV-B の照射が照射後の生育に悪影響を及ぼすことが明らかとなった。Krizck (1975) は、前述のような発芽直後の実生に対する UV-B 照射による根の伸長抑制、子葉のアントシアニンによる着色、シュートのねじれ等実生の形態への影響を報告している。また、UV-B による植物の生育抑制の機作として、葉面積の減少 (Takeuchi ら, 1989)、光合成速度の低下 (Nedunchezian・Kulandaivelu, 1991; Takeuchi ら, 1989) が指摘されている。一方で、照射距離を 42~84 cm とした場合には、温室への搬出後のコスモス実生の生育に対する悪影響がみられず、胚軸の伸長のみ抑制されたことから、照射強度に注意を払うことにより、胚軸伸長の抑制を目的として健康線用蛍光灯を実際に使用可能であると考えられる。

さらに実験 3 においては、照射終了 7 日後の乾物重は健康線用蛍光灯単独区と無照射 (暗黒) 区とがほぼ同じ値を、また健康線用蛍光灯と 3 波長域型蛍光灯の同時照射区と 3 波長域型蛍光灯単独区とが同等の値を示した。これは、照射距離が 60 cm という条件下で、3 波長域型蛍光灯単独照射区と比較した健康線用蛍光灯単独照射区における照射後の乾物重増加の抑制が、主として光合成有効放射がほとんど供与されなかったことに起因し、健康線用蛍光灯から放射される UV-B の直接的な害作用のためではないことを示している。このことは苗の徒長抑制のため UV-B 領域の紫外光照射の有効性をむしろ示しているといえよう。さらに、ダイズにおいては UV-B による光合成能力低下が光合成有効放射の同時照射により緩和されるとされており (Teramura, 1980; Teramura ら, 1980)、太陽光中の UV-B 放射によるクロロフィル含量の増加や光合成および窒素代謝系に関わる酵素活性の上昇 (手塚ら, 1991; 手塚ら, 1992) なども報じられていることから、UV-B と光合成有効放射の相互作用についてはさらに検討の余地がある。

今回の実験において、発芽直後のコスモス実生に対する健康線用蛍光灯を用いた短期間の UV-B 領域紫外光の照射により胚軸の徒長を防止できることが示された。この現象はかなり広範な植物種において発現させることができると考えられ (Krizek, 1975)、自然光利用施設におけるセル成型苗生産のみならず、完全環境制御型の植物工場における育苗に対する応用も可能で

あろう。実験 2 で示されたように、比較的小さな放射強度の紫外光により胚軸伸長が抑制されることから、光源による発熱対策も含めて建設費および運転費が低廉で済むことが期待できよう。また、食品としての安全性の確保が必要なため、わい化剤の利用が制限されている野菜類の徒長抑制の有効な手段となる可能性が大きい。

摘 要

紫外光による茎の伸長抑制効果に着目して、セル成型苗生産において問題となる胚軸の徒長が実生への紫外光の照射により抑制できないか検討した。コスモスの発芽直後の実生を 25℃ 下で 72 時間、セルトレイ上 60 cm に配置したブラックライトブルー蛍光灯、健康線用蛍光灯、殺菌灯の 3 種の紫外光源による照射を行った。健康線用蛍光灯 (放射ピーク波長 310 nm の UV-B 領域を放射) および殺菌灯 (放射ピーク波長 254 nm の UV-C 領域を放射) により照射を行った実生は、対照とした 3 波長域型蛍光灯により照射したものと比較して胚軸伸長が抑制された。殺菌灯により照射を行った苗は照射終了後 1 週間以内に全個体が枯死したが、健康線用蛍光灯により照射した苗は全個体が生育を続けた。健康線用蛍光灯の照射距離が小さくなるほど、胚軸の伸長抑制効果は大きくなった。健康線用蛍光灯を単独で照射した実生の照射終了後の地上部乾物重の増加は 3 波長域型蛍光灯単独照射区と比較して小さくなったが、この乾物重増加の抑制は照射光源として健康線用蛍光灯に 3 波長域型蛍光灯を加えることにより回避された。UV-B 領域の紫外線の照射により、セル成型苗の実生胚軸の徒長を抑制し、品質を向上させることが可能であると考えられる。

謝 辞 紫外放射強度の測定についてご教示、ご協力くださった大阪府立大学農学部平野高司博士、内田晶夫氏に深く感謝いたします。

引用文献

- Barrett, J. E. and T. A. Nell. 1992. Efficacy of paclobutrazol and uniconazol on four bedding plant species. HortScience 27 : 896-897.
- Beukers, R. and W. Berends. 1960. Isolation and identification of the irradiation product of thymine. Biochim. Biophys. Acta. 41 : 550-551.
- 洞口公俊. 1992. 光放射源の区分と種類・特性. p. 101-133. 社団法人照明学会編. 光バイオインダストリー—光応用による生物反応の制御—. オーム社. 東京.
- Howland, G. P. 1975. Dark-repair of ultraviolet-induced pyrimidine dimers in the DNA of wild carrot pro-

- toplasts. *Nature* 254 : 160-161.
- Krizek, D. T. 1975. Influence of ultraviolet radiation on germination and early seedling growth. *Physiol. Plant.* 34 : 182-186.
- Nedunchezian, N. and G. Kulandaivelu. 1991. Evidence for the ultraviolet-B (280-320 nm) radiation induced structural reorganization and damage of photosystem II polypeptides in isolated chloroplasts. *Physiol. Plant.* 81 : 558-562.
- Setlow, R. 1961. The action spectrum for the reversal of dimerization of thymine induced by ultraviolet light. *Biochim. Biophys. Acta.* 49 : 237-238.
- Takahashi, A., K. Takeda and T. Ohnishi. 1991. Light-induced anthocyanin reduces the extent of damage to DNA in UV-irradiated *Centaurea cyanus* cells in culture. *Plant Cell Physiol.* 32 : 541-547.
- Takeuchi, Y., M. Akizuki, H. Shimizu, N. Kondo and K. Sugahara. 1989. Effects of UV-B (290 nm-320 nm) irradiation on growth and metabolism of cucumber cotyledons. *Physiol. Plant.* 76 : 425-430.
- Teramura, A. H. 1980. Effects of ultraviolet-B irradiances on soybean. I. Importance of photosynthetically active radiation in evaluation ultraviolet-B irradiance effects on soybean and wheat growth. *Physiol. Plant.* 48 : 333-339.
- Teramura, A. H., R. H. Biggs, S. Kossuth. 1980. Effects of ultraviolet-B irradiances on soybean. II. Interaction between ultraviolet-B and photosynthetically active radiation on net photosynthesis, dark respiration, and transpiration. *Plant Physiol.* 65 : 483-488.
- 手塚修文・三谷真喜子・永田美智恵. 1991. 植物の生育に及ぼす近紫外光 (near UV) の影響. *園学雑.* 60 (別 2) : 318-319.
- 手塚修文・三谷真喜子・安藤由香・山口文子・堀田寿浩. 1992. 近紫外光 (near UV) によるハツカダイコンの生育促進作用について. *園学雑.* 61 (別 2) : 384-385.