

園学雑誌, (J. Japan. Soc. Hort. Sci.) 67(6): 945-950, 1998.

紫外光照射による花きならびに野菜苗の胚軸徒長抑制

裴 恩廷・稲本勝彦・土井元章・今西英雄

大阪府立大学農学部 599-8531 堺市学園町

Retardation of Hypocotyl Elongation of Ornamental and Vegetable Seedlings by Ultraviolet Irradiation

Eunjung Bae, Katsuhiko Inamoto, Motoaki Doi and Hideo Imanishi

College of Agriculture, Osaka Prefecture University, Gakuen-cho, Sakai, Osaka 599-8531

Summary

Seedlings of cosmos (*Cosmos bipinnatus* Cav.), lettuce (*Lactuca sativa* L.), sunflower (*Helianthus annuus* L.), ornamental kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephara*), tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.), bell pepper (*Capsicum annuum* L.), and cucumber (*Cucumis sativus* L.) were irradiated by a UV-B lamp (fluorescent sun lamp) or a three-band fluorescent lamp (control) for 72 hr just after sowing. Hypocotyl elongation was repressed by all species during the irradiation with UV-B. The retarding effects of UV-B persisted when these seedlings were placed in dark or a greenhouse with 30% shade after irradiation.

The most effective timing of UV-B irradiation for cosmos and ornamental kale seedlings was from 48 hr to 72 hr after sowing, when the seedlings were rapidly increasing their surface area to UV-B.

Key Words: hypocotyl elongation, germination environment, plug seedlings, ultraviolet-B radiation.

緒 言

園芸作物の苗生産における苗の品質低下要素の一つとして、弱光、高温あるいは空気や土壌の多湿条件下で起こる胚軸の徒長があげられる。徒長のみられない高品質の苗生産のためには、播種時より光強度、温度、湿度などの育苗環境条件を適切に管理する必要がある。しかし光条件について、播種したトレイを積み重ねたりする場合や、温室で催芽・育苗する場合でも天候に左右されて、弱光下で経過させざるをえない場合がしばしばあるとの指摘が生産者よりなされている。また、輸送や貯蔵あるいは小売り店頭において、苗が暗黒条件や極端な弱光下に置かれる局面も多く、育苗時のみならず、キュウリなど植物の種類によっては、発芽からかなりの時間が経過したこれらの段階においても胚軸の徒長が起こる。著者らは前報でB領域（波長域 280 nm～320 nm）の紫外光（UV-B）を主に放射する健康線用蛍光灯による照射が、コスモス実生の胚軸の伸長抑制に有効であることを示した（稲本ら, 1995）。以上を踏まえ、本報では紫外光照射による徒長抑制技術を開発するに当たっての基礎的知見を得ることを目的として、まず紫外光照射が広範囲園

芸作物の実生苗における胚軸の徒長防止に有効かどうかを明らかにした。さらにコスモスならびにハボタンを用いて、UV-B の照射時期と胚軸伸長抑制効果との関係を調べ、照射時期の設定をどのように行えばよいかを考察した。

材料および方法

実験 1. 各種園芸作物苗に対する UV-B 照射がその後の暗黒下における胚軸伸長に及ぼす影響

コスモス (*Cosmos bipinnatus* Cav.) ‘ラディアンス’, レタス (*Lactuca sativa* L.) ‘グレイトレイクス’, ヒマワリ (*Helianthus annuus* L.) ‘太陽’, ハボタン (*Brassica oleracea* L. var. *acephara*) ‘白波’, トマト (*Lycopersicon esculentum* Mill.) ‘桃太郎’, トウガラシ (*Capsicum annuum* L.) ‘栄光’, キュウリ (*Cucumis sativus* L.) ‘四葉’の7種を供試した。ペトリ皿中に濾紙を敷いて水で湿らせ、その上に種子を置き、25℃明条件（レタス）あるいは暗黒条件（レタス以外）下で催芽した。発根が観察された段階で、Metromix 350（Grace Sierra 社製）を培地とした各 1/4 枚のセルトレイ（日新トレーディング社製；キュウリ、ヒマワリは 288 穴角型；その他は 512 穴角型を用いた）に 1 セル当たり 1 粒ず

1997年5月26日 受付. 1997年11月12日 受理.

本報告の一部は平成7年度園芸学会春季大会において発表した。

つ置床した。種子の置床直後よりセルトレイをグロースチャンパー（幅 520 mm×奥行 490 mm×高さ 1135 mm）に移動し、以下に述べる照射処理を 72 時間行った後、暗黒条件下に移動した。照射処理は光源をセルトレイ上面より 60 cm の高さに 1 本配置して行った。照射光源に UV-B を発生する 20 W 健康線用蛍光灯（松下電器産業製，FL20S・E；放射ピーク波長 310 nm；セルトレイ上面における紫外放射強度 $0.41 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ）を用いた UV+区と、対照として 20 W 三波長域型蛍光灯（東芝ライテック製，FL20SS・EXN/18H；セルトレイ上面における全放射強度 $2.7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ）を用いた UV-区の 2 処理区を設定した。これら実験区の設定は、両区の投下エネルギーを同一とすることと、前報（稲本ら，1995）において、健康線用蛍光灯と三波長域型蛍光灯の同時照射では、照射期間中の胚軸伸長は強く抑制されたものの、照射終了後の胚軸伸長の抑制効果は健康線用蛍光灯単独により照射した場合より小さかったことを踏まえたものである。両区とも照射終了と同時に暗黒条件下に移動した。実験期間中を通して温度を $25 \pm 1^\circ \text{C}$ に保った。照射終了時ならびに暗黒条件への移動 48 時間後に各区 10 個体について胚軸長を測定した。

実験 2. 各種園芸作物苗に対する UV-B 照射がその後の弱光下における胚軸伸長に及ぼす影響

供試材料、実験区の設定ならびに照射終了までの方法は実験 1 と同様とした。照射終了後、寒冷紗により 30% 遮光した温室に移動し、栽培を続けた。栽培中は最低気温 20°C に加温した。なお、キュウリについては温室へ移動 7 日後に Metromix 350 を培地として直径 7.5 cm のポリポットに移植した。照射終了時ならびに温室への移動 14 日後に各区 10 個体をサンプリングして胚軸長を測定した。なお、この実験は 1997 年 2 月末に行った。

実験 3. コスモスならびにハボタンにおける UV-B の照射時期と胚軸伸長抑制効果との関係

材料としてコスモス‘ラディアンス’およびハボタン‘白波’を供試した。実験 1 と同様に催芽した種子をセルトレイに置床し、ごく浅く覆土した後暗黒条件下に置いた。置床 0, 12, 24, 36, 48 時間後より、実験 1 と同様に設定した UV-B 照射下に 24 時間置き、再び暗黒条件に移した。すべての区の照射が完了した置床 72 時間後に、セルトレイ上面 60 cm に 1 本配置した 20 W 三波長域型蛍光灯下（セルトレイ上面で $2.7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ）へ全処理区を移動し、栽培を続けた。対照として置床直後より 72 時間連続して暗黒条件下に置いた区（無照射区）を設けた。実験は全期間を通して温度を $25 \pm 1^\circ \text{C}$ としたグロースチャンパー内で行った。置床 72 時間後ならび

に置床 240 時間後に各区 10 個体をサンプリングし、胚軸長を測定した。

結 果

実験 1. 各種園芸作物苗に対する UV-B 照射がその後の暗黒下における胚軸伸長に及ぼす影響

いずれの植物種においても UV-B 照射による胚軸伸長抑制効果が認められた（第 1 図）。供試した植物種のうちハボタン、トマト、トウガラシ、キュウリでは、暗黒へ移動 48 時間後の UV+区の胚軸長が、UV-区の胚軸長の半分以上となった。コスモス、ヒマワリ、レタス、キュウリの UV-区では、暗黒への移動 48 時間後に測定された胚軸長のうち、移動前 72 時間の蛍光灯照射期間中に伸長した部分の割合が半分以上を占めていた。UV+区における胚軸伸長を、対照である UV-区と比較した場合、ヒマワリは照射中における、コスモス、レタス、キュウリでは照射中と照射後の暗黒下両方における胚軸伸長が大きく抑制されていた。これらに対し、ハボタン、トマト、トウガラシの UV-区では、暗黒への移動前 72 時間の胚軸伸長は小さく、その後の暗黒下における胚軸伸長が顕著であった。これらの植物種では、暗黒下における UV+区の胚軸伸長が UV-区と比較して著しく抑制されていた。

実験 2. 各種園芸作物苗に対する UV-B 照射がその後の弱光下における胚軸伸長に及ぼす影響

実験 1 と比較して、若干の様相の違いはあったものの、いずれの植物種においても、照射終了時、温室移動 14 日後ともに、UV+区の胚軸は UV-区と比較して有意に短かった（第 2 図、第 3 図）。特に、レタス、ハボタン、トマト、キュウリの UV+区では、温室への移動後の胚軸伸長が UV-区の半分以上に抑制されていた。

実験 3. コスモスならびにハボタンにおける UV-B の照射時期と胚軸伸長抑制効果との関係

暗黒条件下から UV-B 照射下への移動時に発芽過程の観察を行ったところ、コスモスでは置床 24 時間後から胚軸の伸長がみられ、その後次第に胚軸長が増加した（第 4 図 A）。また、置床 36 時間後までは種皮が子葉の大部分を覆っていたが、置床 48 時間後ではほとんどの個体で種皮が脱落していた。ハボタンでは、置床 48 時間後まで胚軸の伸長はみられなかった（第 4 図 D）。その一方で、種皮の離脱開始が置床 24 時間後から観察され、置床 48 時間後にかけて徐々に子葉の露出部分が拡大した。

コスモスでは、すべての処理区の照射が終了した置床 72 時間後、ならびに 240 時間後の測定の両方において、

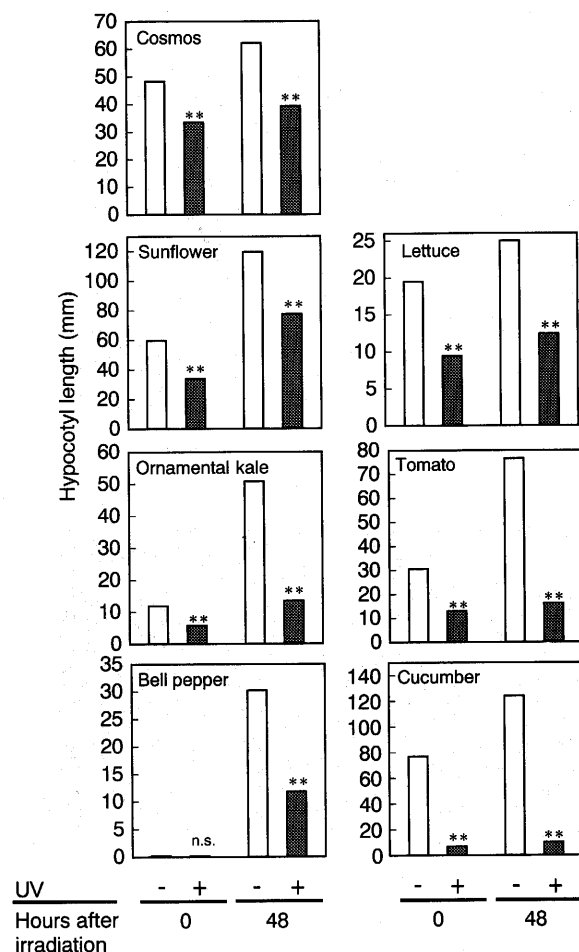


Fig. 1. Effects of UV-B irradiation on hypocotyl length of some ornamental and vegetable seedlings in Experiment 1. Seedlings were irradiated by a three-band fluorescent lamp (UV-) or a fluorescent sun lamp (UV+) for 72 hr after sowing and then transferred to dark. The seedlings were kept at 25 °C during the irradiation and dark periods.
**, $p < 0.01$; n.s. $p \geq 0.05$ by t-test between treatments.

UV-B の照射開始が遅いほど胚軸伸長抑制効果が大きくなる傾向が認められた (第4図B, C). ハボタンの置床72時間後における観察では、置床12時間後以降に照射を開始した区の胚軸伸長が顕著に抑制されており、それらの区間の差異はほとんどなかった (第4図E). 一方、置床240時間後における観察では、置床後時間が経過してから照射を開始したものほど胚軸伸長が大きく抑制されていた (第4図F).

考 察

今回の実験は一部を除き人工光のもとで行ったが、これは環境条件を単純化することに加え、確実に胚軸の徒長が起こる条件を設定して、結果の再現性を確保するためである。

実験1では、供試したいずれの植物種においても、48時間の暗黒期間を経過した後の胚軸長がUV-B照射に

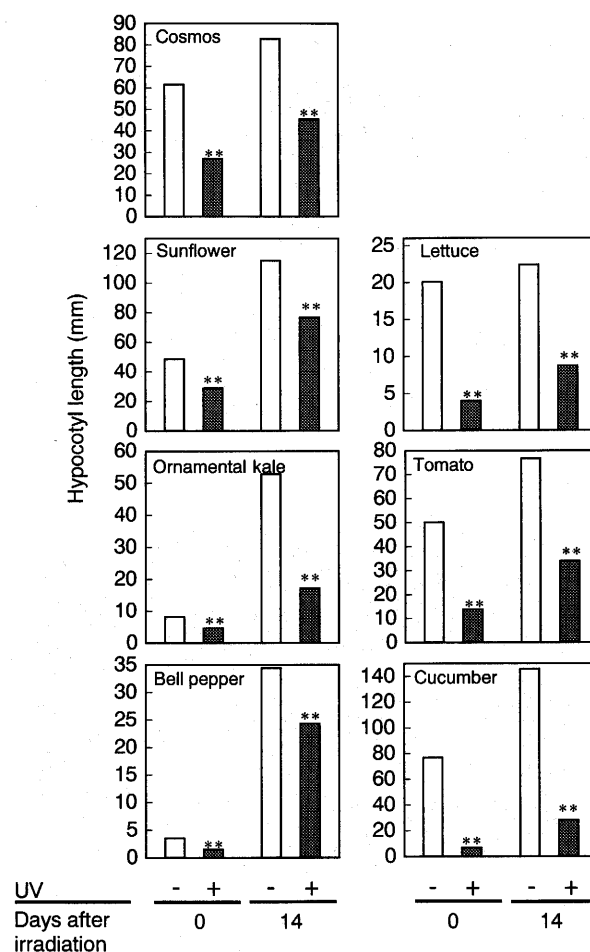


Fig. 2. Effects of UV-B irradiation on hypocotyl length of some ornamental and vegetable seedlings in Experiment 2. Seedlings were irradiated at 25 °C by a three-band fluorescent lamp (UV-) or a fluorescent sun lamp (UV+) for 72 hr after sowing, transferred to a greenhouse and kept under 30% shade and at min. of 20 °C.
**, $p < 0.01$ by t-test between treatments.

より小さくなったが、その程度ならびに胚軸伸長の抑制が観察される時期は、植物種によって異なった。ハボタン、トマト、トウガラシ、キュウリにおいて、UV-B照射終了後の胚軸の伸長がきわめて強く抑制されたことは興味深い。なかでもトウガラシでは、照射終了時点においてまだ種皮が子葉の大部分を覆っている状態であったにもかかわらず、顕著なUV-Bによる胚軸伸長抑制効果が観察された。これは、トウガラシの種皮がきわめて薄い上、トウガラシのUV-B感受性そのものが高いためと推察される。実験1で得られた結果の背景には紫外光に対する感受性が植物種によって異なる (Krizek, 1975; Teramura, 1980; Tevini ら, 1981) ことが存在するのであろう。

Ballaré ら (1991) は、キュウリを用いた実験で、UV-Bによる胚軸伸長抑制について、光合成同化産物の減少を介してではない、ジベレリンとのかかわりはな

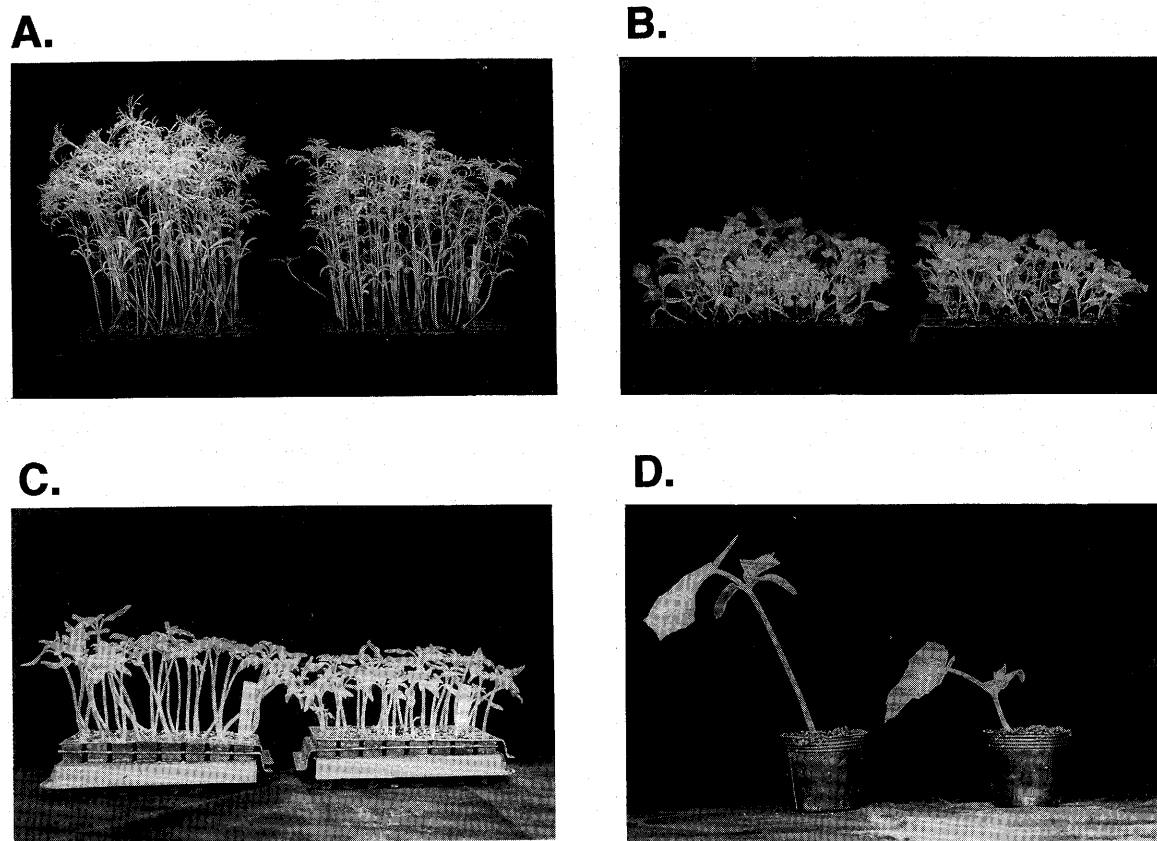


Fig. 3. Cosmos (A), ornamental kale (B), tomato (C) and cucumber (D) seedlings irradiated by a three-band fluorescent lamp (left) or a fluorescent sun lamp (right) in Experiment 2. Photographs were taken 14 days after irradiation.

い、リセプターはフィトクロームではない、などの点を指摘している。Ros・Tevini (1995) は、ヒマワリ実生に UV-B を照射すると胚軸の伸長が抑制されるのは、内生 IAA の分解と、その結果生じる分解産物によるものと考えた。オーキシンは、細胞壁のヘミセルロース中の多糖類を分解する酵素の活性を高め、その可塑性を大きくすることにより、細胞内の膨圧に起因する細胞伸長を促進する (Masuda・Yamamoto, 1972; Tanimoto・Masuda, 1971; Wada ら, 1968)。実験 1 のすべての供試種において、胚軸伸長を強く誘導する暗黒下に置かれても、UV-B を照射した実生の胚軸伸長が抑制されていたことは、胚軸の伸長生長の初期段階で、UV-B 照射により細胞壁に不可逆的な変化が引き起こされた可能性を示しており、おそらくこれは UV-B 照射が前述したように植物体内のオーキシンを分解することで生じる細胞壁伸長への影響を介したものであろう。

実験 2 では、実験 1 と同様に照射を行った後、弱い自然光下で栽培を続け、胚軸伸長をみた。照射終了後 14 日間を経過した段階で、いずれの植物種においても UV+ 区における胚軸長が UV- 区と比較して有意に小さかったことは、発芽直後の UV-B 照射により、その後の胚軸の徒長抑制効果が自然光下でも十分に得られること

を示している。

実験 1, 2 で用いた植物のうち、コスモス、レタスでは UV-B の胚軸伸長抑制効果が照射期間中に強く現れ、ハボタン、トウガラシでは照射期間後に現れた。ヒマワリ、トマト、キュウリでは両期間にわたって抑制効果が認められた。これはそれぞれの種の胚軸伸長時期と密接に関係している。実験 3 ではこのうちコスモスとハボタンを用いて 72 時間の発芽過程における異なる段階で 24 時間の UV-B 照射を与え、その効果が強く現れる照射時期を明らかにしようとした。なお、コスモスでは最終胚軸長の約 75% が 72 時間内に伸長したのに対して、ハボタンでは約 25% が伸長するのみであった。しかし、その結果はともに、発芽 (幼根の出現) 直後から UV-B 照射を開始するより、発芽後 48 時間を経過してから開始した区で、胚軸伸長抑制効果が大きいことが示された。その理由としては、実生の生育に伴って UV-B への感受性が増加することも考えられるが、時間の経過にともなう胚軸の伸長や種皮の脱落により、UV-B に曝露される部分の表面積が拡大し、その結果実生が感受する UV-B の総量が増加することが最大の原因であろう。すなわち、暗黒下における置床 48 時間後までの期間は、コスモスでは、胚軸長が次第に増加す

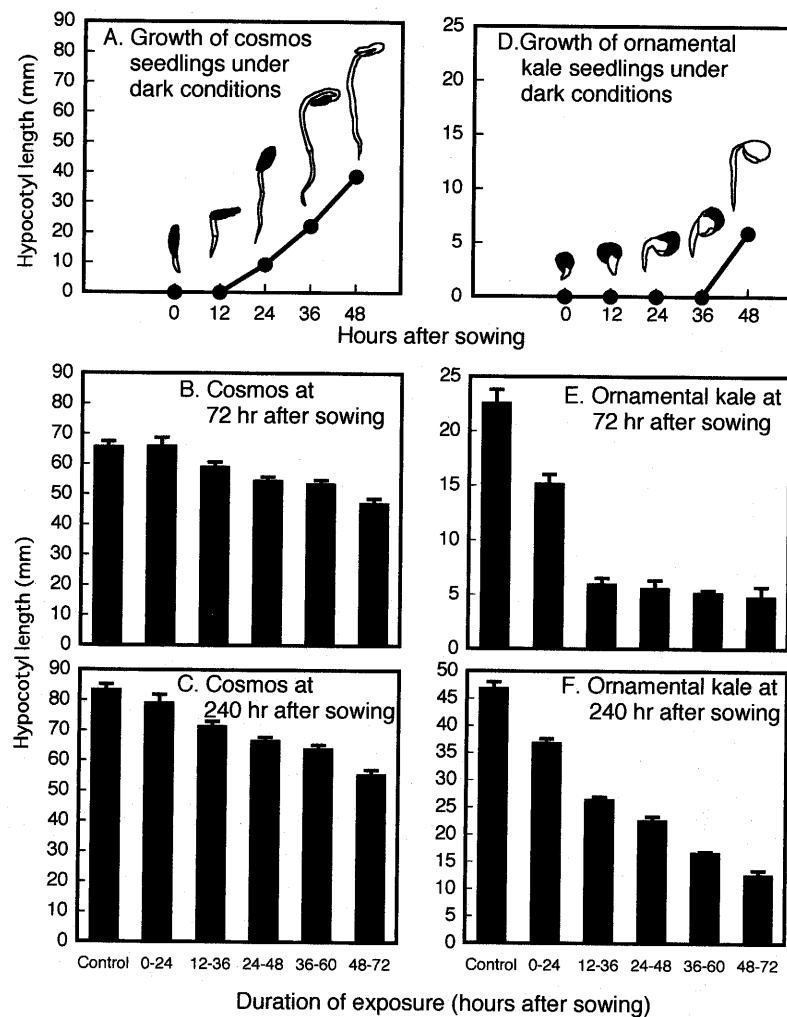


Fig. 4. Hypocotyl length of cosmos (B and C) and ornamental kale (E and F) seedlings exposed to UV-B irradiation for 24 hr at different times during 72 hr after sowing (A and D). Seedlings were placed under dark condition before and after UV-B irradiation and control seedlings were continuously in the dark for 72 hr. From 72 hr after sowing, all seedlings were irradiated with a three-band fluorescent lamp. The hypocotyl length was measured at 72 hr and 240 hr after sowing. Seedlings were kept at 25 °C during the irradiation and dark periods. Vertical bars represent SE (n=10).

る時期であった。またハボタンでは、胚軸伸長が置床48時間後からと、かなり遅い時期から始まっているが、その一方で、子葉からの種皮の離脱が早い時期から徐々に進行するという特徴が観察され、やはりUV-Bに曝露される部分の面積が時間の経過とともに拡大していることになる。種皮の離脱、胚軸の伸長が徐々に進行している中で照射時期を変えて紫外光を照射した本実験では、結果的にコスモスでは胚軸が、ハボタンでは子葉がUV-Bの主たる感受部位となっていると考えられる。紫外光による胚軸伸長抑制において、その感受部位についてこれまでにいくつか論じられている。例えば、Ballaréら(1991)は、キュウリを用いた実験で、紫外光を透過しないフィルムで子葉を被覆すると、紫外光の胚軸

伸長抑制効果が減少することを見出し、子葉が感受部位であると結論している。一方、Ros・Tevini(1995)はヒマワリを用いた実験で、胚軸を被覆すると紫外光の伸長抑制効果がみられなくなり、茎頂や子葉の被覆では伸長抑制効果がみられることから、胚軸が紫外光の感受部位であるとしている。これらの結果の違いが、果たして種の違いに起因するものなのかどうかは、さらに追究すべき問題である。しかしいずれにせよ、紫外光の処理時期として効果的なのは、ある程度受光体制が整ってからであるといえ、発芽直後から胚軸が伸長するような種において胚軸伸長の抑制を図るためには、より長期にわたって処理する必要があるといえよう。

今回種々の植物において、発芽直後の比較的短期間の

紫外光照射により、その後の胚軸伸長が抑制されたことは、紫外光照射がかなり広範囲の植物種における苗の胚軸徒長の抑制の手段となりうる可能性を示している。伸長中の植物が異なる光質、すなわち赤色域に対する遠赤色域（村上ら、1991；1993）あるいは青色域の割合（Britz・Sager, 1990；Rajapakse・Kelley, 1992）の下に置かれると、子葉より上部の茎の伸長程度が制御される。これらと比較して、本実験で用いた発芽直後の紫外光照射は、効果的に伸長が抑制される部位が胚軸であることと、照射後徒長を誘導する条件下に置かれても、あらかじめ与えられた照射による胚軸の伸長抑制効果が持続するという特徴がある。紫外光照射は、照射終了後に起こる上胚軸の伸長までは抑制しないこと（稲本ら、1995）、長期にわたる継続が植物の生育に好ましくない影響を与えられと考えることから（Krizek, 1975；Kulandaivelu ら、1989；Nedunchezian・Kulandaivelu, 1991；Takeuchi ら、1989）、その適用の時期と期間についてはなお検討を要すると思われるが、苗生産上最も大きな問題の一つである胚軸の徒長を抑制する有効な手段としての可能性は大きく、今後はより実用的な面からの研究が期待される。

摘 要

セルトレイに置床したコスモス、レタス、ヒマワリ、ハボタン、トマト、トウガラシ、キュウリの実生に対して、健康線用蛍光灯（UV-B）あるいは三波長域型蛍光灯（対照）による照射を72時間行い、その後暗黒下に48時間置いて胚軸伸長をみた。UV-Bによる胚軸伸長抑制効果は、照射期間中のみならず照射後の暗黒条件下においても観察された。同じ植物種に対して同様にUV-Bを照射した後、30%遮光を行った温室で栽培したところ、いずれの植物種においても、照射後14日目に観察された胚軸長は、UV-Bの照射を行った植物で対照と比較して有意に小さかった。

コスモス、ハボタンの催芽種子を置床後暗黒下に置き、0、12、24、36、48時間後から24時間のUV-B照射を行ったところ、胚軸伸長抑制効果が最も大きいUV-B照射開始時期は、UV-Bを感受する表面積が最大となる置床48時間後からであった。

引用文献

- Ballaré, C. L., P. W. Barbes and R. E. Kendrick. 1991. Photomorphogenic effects of UV-B radiation on hypocotyl elongation in wild type and stable-phytochrome-deficient mutant seedlings of cucumber. *Physiol. Plant.* 83 : 652-658.
- Britz, S. J. and J. C. Sager. 1990. Photomorphogenesis and photoassimilation in soybean and sorghum grown under broad spectrum or blue-deficient light source. *Plant Physiol.* 94 : 448-454.
- 稲本勝彦・裴恩廷・土井元章・今西英雄. 1995. 紫外光照射によるコスモスセル成型苗の徒長抑制. *園学雑.* 64 : 599-604.
- Krizek, D. T. 1975. Influence of ultraviolet radiation on germination and early seedling growth. *Physiol. Plant.* 34 : 182-186.
- Kulandaivelu, G., S. Maragatham and N. Nedunchezian. 1989. On the possible control of ultraviolet-B induced response in growth and photosynthetic activities in higher plants. *Physiol. Plant.* 76 : 398-404.
- Masuda, Y. and R. Yamamoto. 1972. Control of auxin-induced stem elongation by epidermis. *Physiol. Plant.* 27 : 109-115.
- 村上克介・洞口公俊・森田政明・相賀一郎. 1991. 遠赤色光付加照射によるヒマワリ幼植物の伸長生長制御. *生物環境調節.* 29 : 73-79.
- 村上克介・清田 信・相賀一郎. 1993. 自然光の分光調節による植物の伸長制御—遠赤色光以上の長波長の放射を遮断する特殊ガラスの効果—. *生物環境調節.* 31 : 101-104.
- 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.
- Rajapakse, N.C. and J.W.Kelly. 1992. Regulation of chrysanthemum growth by spectral filters. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117 : 481-485.
- Ros, J. and M. Tevini. 1995. Interaction of UV-radiation and IAA during growth of seedlings and hypocotyl segments of sunflower. *J. Plant Physiol.* 146 : 295-302.
- 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.
- Tanimoto, E. and Y. Masuda. 1971. Role of the epidermis in auxin-induced elongation of light-grown pea stem segments. *Plant Cell Physiol.* 12 : 663-673.
- Teramura, A. H. 1980. Effects of ultraviolet-B irradiances on soybean. I. Importance of photosynthetically active radiation in evaluating ultraviolet-B irradiance effects on soybean and wheat growth. *Physiol. Plant.* 48 : 333-339.
- Tevini, M., W. Iwanzik and U. Thoma. 1981. Some effects of enhanced UV-B irradiation on the growth and composition of plants. *Planta* 153 : 388-394.
- Wada, S., E. Tanimoto and Y. Masuda. 1968. Cell elongation and metabolic turnover of the cell wall as affected by auxin and cell wall degrading enzymes. *Plant Cell Physiol.* 9 : 369-376.