

EFECTE ALE RADIAȚIILOR UV-B LA PLANTELE SUPERIOARE

CSILLA IULIANA BĂRA, VLAD ARTENIE, ION I. BĂRA

INTRODUCERE

În 1974 Molina & Rowland au sugerat că în urma creșterii emisiei cloroflorcarbonului (CFC) în atmosferă, este posibilă degradarea unei porțiuni din pătura de ozon (O₃).

Cantitatea de ozon pierdută din stratosferă în regiunile temperate, mai mici de 10%, nu a alarmat omeneirea, cu toate că poate avea consecințe serioase pentru viața pe Pământ (în cazul plantelor terestre poate scădea recolta ca urmare a reducerii biomasei și a productivității).

Porțiunea din spectrul electromagnetic cu lungimi de undă mai scurte și cu energie mai înaltă decât lumina vizibilă este subîmpărțită în radiații ionizante și radiații neionizante.

Radiațiile neionizante sunt reprezentate de radiațiile ultraviolete (UV). Cel mai puternic emițător de radiații UV este Soarele, ultravioletele făcând parte din spectrul solar invizibil. Cantitatea de radiații UV ce ajunge la suprafața Pământului depinde atât de emisiile solare cât și de proprietățile de transmisie ale atmosferei terestre.

Spectrul UV este subdivizat în 3 benzi în funcție de λ : UV-C ($\lambda < 280$ nm), UV-B ($\lambda 280-320$ nm) și UV-A ($\lambda 320-400$ nm).

UV-A și UV-B reprezintă 6,3% și respectiv 1,5% din energia totală emisă de Soare, iar emisiile cu $\lambda < 280$ nm (UV-C) reprezintă 0,5% din iradierea totală.

Oxigenul molecular și ozonul absorb în radiațiile UV-C (adică exact radiația UV cu efecte mutagene) în totalitate înainte de a atinge suprafața Pământului. (Gavrila, 1986; Frederick *et al.*, 1989).

Modificarea conținutului de ozon al atmosferei are cel mai mare impact asupra transmisiei radiațiilor UV-B, care este doar parțial absorbită de ozon. Radiația UV-A este absorbită în mică măsură, dar neavând efecte nocive nu prezintă interes. (Tosserams, 1998; Frederick *et al.*, 1989; Caldwell, Teramura și Tevini, 1989, citați de Jordan *et al.*, 1992).

EFECTE ALE RADIAȚIILOR NEIONIZANTE ASUPRA PLANTELOR SUPERIOARE

Datele privind efectul radiațiilor UV asupra plantelor superioare terestre au fost sistematizate în principal pentru câteva specii majore, cu importanță în agricultură (specii care sunt sensibile la UV: soia, grâul, fasolea, orezul, cartoful, mazărea etc. - în special plante din familia *Fabaceae*, *Cucurbitaceae*, *Brassicaceae*). Există și plante agricole rezistente la UV (porumbul, varza etc.). În acest sens au fost studiate aproximativ 300 de specii și varietăți de plante (Teramura & Sullivan, 1991).

Este dificil de estimat gradul de sensibilitate la expunerea la radiații UV, chiar și în urma analizei recoltei. Rezultatele citate par a demonstra variații ale productivității atât cantitative cât și calitative în urma schimbărilor expunerii la UV (Cochill, 1991).

Efectele radiațiilor UV (în particular UV-B) asupra plantelor variază atât în funcție de specie cât și între diferitele soiuri ale aceleiași specii (Webb, 1991).

Sensibilitatea intra- și interspecifică a diferitelor specii de plante la radiațiile UV-B, poate varia în funcție de diferiți factori:

- graminele au tendința de a fi mult mai rezistente la acțiunea radiațiilor UV-B decât plantele erbacee. Efectele fotomorfo genetice sunt mult mai frecvent raportate la gramine;

- plantele ce cresc în zone cu nivele relativ ridicate de UV-B (latitudine joasă, altitudine înaltă), par a fi mai puțin sensibile la expunerea la cantități crescute de UV-B decât plantele ce cresc în zone în care nivelele radiațiilor UV-B din mediu sunt relativ scăzute (latitudine înaltă, altitudine joasă);

- stadiul ontogenetic de dezvoltare este de asemenea important. În general plantulele sunt mult mai sensibile decât plantele mature.;

- au fost evidențiate la unele specii și procese inhibitoare ale germinării polenului și ale creșterii tubului polinic în urma creșterii nivelului radiațiilor UV-B;

- condițiile mediului ambiant ca de exemplu: nutrienții, disponibilitatea sursei de apă și concentrația CO₂ pot diminua sau amplifica efectele negative ale radiațiilor UV-B (de exemplu stresul hidric se pare că acoperă ca importanță stresul indus de iradierea UV, plantele bine hidratate fiind mai sensibile). În plus, la plantele supuse stresului hidric, s-a observat creșterea concentrației de flavonoizi în frunze, ceea ce acționează ca un mecanism de protecție împotriva iradierii UV-B.

Bazele moleculare ale acestor modificări survenite în urma iradierii nu sunt încă pe deplin cunoscute. Răspunsurile pot fi cauzate de efecte directe ale radiațiilor UV-B asupra componentelor celulare esențiale (leziuni la nivelul ADN) și a membranelor sub acțiunea radicalilor liberi, reducerea transcripției ARNm și a sintezei proteinelor și efecte asupra activității enzimatică. Aceste modificări pot fi grupate în:

Modificări morfo-anatomice - Efectele radiațiilor UV asupra plantelor sensibile includ reducerea dimensiunilor (a suprafeței foliare, a taliei). De exemplu, înălțimea tulpinii de floarea soarelui la plantele crescute în lumină solară naturală este mai mică cu 11% decât la plantele crescute în aceleași condiții, dar în absența radiațiilor UV-B (Tevini *et al.*, 1989, citat de Visser *et al.*, 1997). La fasole, plantele iradiate au suferit reducerea numărului de frunze și a suprafeței foliare, cât și creșterea numărului de ramuri. Radiațiile UV-B produc și modificări ale structurii anatomice a frunzei și ale proprietăților optice ale acestora (s-a observat descreșterea densității stomatelor în ambele epideme, cât și schimbarea capacității de refracție). Deși odată cu creșterea intensității radiațiilor UV-B este afectată de regulă în mod negativ creșterea și dezvoltarea plantelor superioare, amploarea efectului depinde de poziția taxonomică a plantei, de condițiile de cultură și de stadiul ontogenetic al dezvoltării acesteia. (de pildă, vârsta frunzei cele tinere pot fi afectate profund, dar reversibil, cele bătrâne pot suferi modificări cantitative, dar ireversibile) (Giller, 1991).

Dintre speciile de plante studiate între 30 și 50% sunt afectate în mod negativ de creșterea cantității de radiații UV-B. Restul speciilor testate fie nu au fost afectate, fie par a profita de pe urma nivelurilor crescute de radiații UV-B (Tosserams, 1998).

Efecte fiziologice - Efectele fiziologice generale includ reducerea asimilării carbonului în fotosinteză, alterarea funcției stomatelor, a activității fitohormonilor și a chimiei foliare (Teramura, 1991).

Modificări ale procesului fotosintezei, au fost evidențiate de Bornman, 1989; Tevini, Teramura, 1989; Teramura, Sullivan, 1994, citați de Visser *et al.*, 1997). Radiația UV-B produce scăderi nete ale fotosintezei, chiar dacă există diferențe între diferitele specii și soiuri.

La plantele superioare verzi, fotosinteza se realizează în cloroplaste. În afara potențialelor leziuni ale cloroplastelor (inclusiv la nivelul membranelor tilacoidale) și a fotodistrugerii pigmentilor fotosintetizanți, radiațiile UV pot exercita efecte negative asupra centrului de reacție al fotosistemului II (PS II), ce pare a fi principala "țintă".

Rata fotosintezei poate fi afectată și indirect prin alterări ale compoziției pigmentilor cât și prin modificări anatomice ce pot afecta caracteristicile optice ale frunzelor.

Sub acțiunea radiațiilor UV-B, pot fi afectate și alte procese biochimice, ca de exemplu ca și C₄ de fixare a CO₂, mai precis cea de a doua reacție de carboxilare. Această reacție este catalizată de ribuloso 1,5 difosfat carboxilaza (RUBISCO). Sub acțiunea radiațiilor UV-B, poate scădea activitatea RUBISCO, acest declin fiind corelat cu scăderea cantitativă a proteinelor solubile (Vu, Allen și Garrard 1982, citați de Jordan *et al.*, 1991)

Efecte moleculare - De reținut este acțiunea radiațiilor neionizante asupra aminoacizilor și proteinelor pe de o parte și asupra nucleotidelor și acizilor nucleici pe de altă parte, iar în final asupra unor pigmenti cu o importanță biologică fundamentală (rodopsina, clorofila și retinolul).

Una dintre acțiunile esențiale ale radiațiilor UV asupra proteinelor, este denaturarea acestora. Absorbția maximă a proteinelor se situează în domeniul de 280 nm.

Asupra materialului genetic acționează radiațiile UV cu λ 200-300 nm. Acizii nucleici absorb puternic radiațiile cu λ 240-290 nm, cel mai puternic efect mutagen avându-l radiațiile UV cu λ 258-260 nm. Aât ADN cât și ARN absorb UV cel mai intens la 260 nm. (Klug, Cummings, 1986).

La o greutate egală, acizii nucleici absorb de 10-20 de ori mai multă energie decât proteinele (Isac, 1987).

Bazele azotate având un spectru de absorbție în UV de 260-280 nm, sunt cele ce absorb radiațiile UV cu efectul mutagen cel mai puternic.

Bazele pirimidinice (timina și citozina) sunt mai sensibile la iradierea cu UV decât cele purinice (adenina și guanina) (Fig.1).

În timp ce o cantitate de energie UV din 100 absorbită de bazele pirimidinice este suficientă pentru a altera macromolecula de ADN, pentru un efect similar, bazele purinice absorb 1 din 1000 cuante de energie UV.

Un prim efect observat în urma iradierii cu UV, este hidratarea pirimidinelor (Fig. 2, sus). Sub influența UV, bazele pirimidinice pot fi să adăuneze o moleculă de apă și să se transforme într-un fotoproduct (*hidrat pirimidinic*), care prin încălzire sau sub influența unui acid revine la structura inițială, fie pot forma un *dimer* (se pot lega între ele prin intermediul atomilor de carbon din pozițiile 4 și 5, formându-se astfel un dimer între moleculele de timină-timină (T=T), citozină-citozină (C=C), sau uracil-uracil (U=U) (Fig.2 jos).

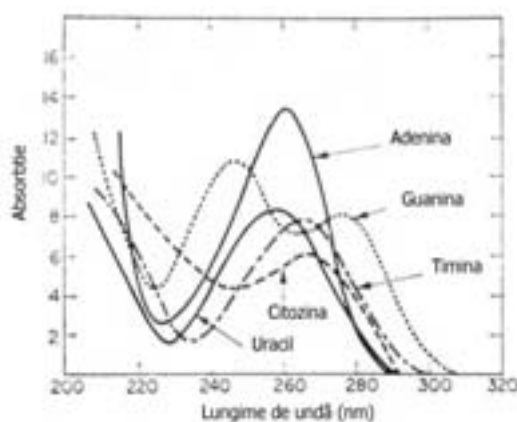


Figura 1. Spectrele de absorbție ale bazelor purinice și pirimidinice (Grémy *et al*, 1976)

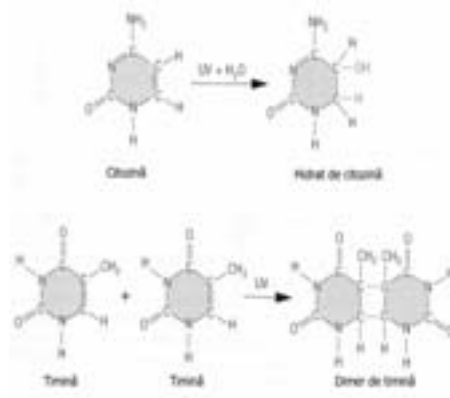


Figura 2. Fotoprodușii pirimidinici ai iradierii UV: sus, hidratul de citozină poate cauza împerecherea greșită a bazelor, în cursul replicării; jos, dimerii de timină care blochează replicarea ADN (Snustad *et al*, 1997)

Dimerii se pot forma între două molecule vecine ale aceleiași catene, sau între cele două catene ale moleculei de ADN, caz în care se formează legături încrucișate între pirimidine denumite "crosslinkeri" (Tudose, 1993) (Fig. 3).

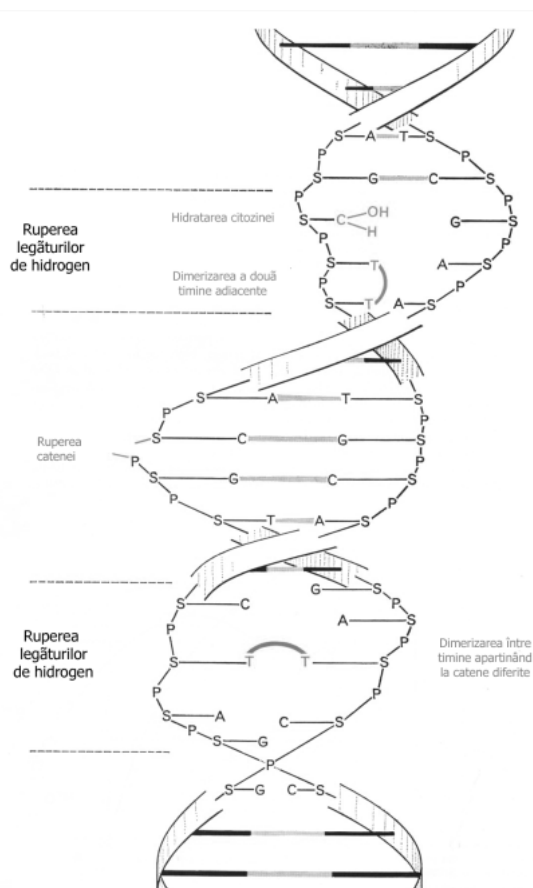


Figura 3. Alterările ADN, cauzate de iradiere UV (Deering, 1962)

Un alt efect al iradierii ADN-ului cu UV, care a fost clar demonstrat, este ruperea unui dintre lanțurile polinucleotidice între un zahăr și o grupare fosfat, dar acesta apare doar în cazul aplicării unor doze foarte puternice (care nu prezintă interes practic).

FACTORI DE PROTECȚIE ÎMPOTRIVA RADIAȚIILOR UV

Animalele și oamenii având capacitatea de a se deplasa, pot evita lumina solară dacă vor, în timp ce plantele terestre fiind fixate prin rădăcină, trebuie să se adapteze permanent condițiilor mediului înconjurător.

Unele plante au evoluat în lumină solară puternică și este de așteptat să fi dezvoltat mecanisme de apărare, corespunzătoare nivelului crescut de radiații UV (Cochill, 1991).

Mecanismele de apărare ale plantelor împotriva nivelurilor crescute ale radiațiilor UV, pot fi împărțite în mod convențional în trei clase principale (Beggs *et al.*, 1986):

I. Mecanisme ce reduc cantitatea de radiații UV ce ajung la moleculele "țintă"

Radiațiile UV ce ajung la suprafața frunzelor, pot fi *reflectede*, *absorbite* de epidermă, sau *transmise* către mezofil.

Mecanismele de apărare ce reduc cantitatea de radiații UV, acționează pe mai multe căi (Beggs *et al.*, 1986):

- a. prin modificarea structurii morfo-anatomice a plantei;
- b. prin acumularea de pigmenți ecran

a. *Cuticula și pereții celulari* nu absorb radiațiile UV. În unele cazuri, secrețiile externe ale plantelor pot conține mari cantități de flavonoizi, ce absorb radiațiile UV eficient. Aceste secreții pot fi reprezentate de ceara groasă ce acoperă plantele din deșert, sau uleiurile și ceara ce acoperă mugurii unor arbori. (Beggs *et al.*, 1986)

Orientarea suprafețelor foliare are tot un rol minor în protecția plantelor împotriva radiațiilor UV-B, (alcătuite din radiație directă și radiație difuză), deoarece componenta difuză, care este izotropică, reprezintă o mare parte a radiațiilor UV-B totale.

Pentru majoritatea speciilor, *reflectarea* radiațiilor UV-B este mai mică de 5%. Atenuarea radiațiilor UV-B se datorează în cea mai mare parte *absorbției și dispersiei* realizate la nivelul epidermei plantelor. Există și unele specii la care reflectarea în banda UV la suprafața frunzei, e de 20-70%, (ca de exemplu *Dudleya brittonii* după Mulroy, 1979, - citat de Beggs *et al.*, 1986; *Picea pungens* după Clark, Lister, 1975, citați de Beggs *et al.*, 1986). Acesta este cazul pentru speciile ce au suprafața pubescentă.

Prin diversele mecanisme ce intervin, cel puțin 90% din cantitatea de radiații UV-B ce ajung la suprafața frunzei este atenuată înainte de a ajunge la nivelul mezofilului frunzei, un procent foarte mic penetrând complet prin țesutul mezofilic.

Lipidele și celuloza ce intră în alcătuirea acestor structuri, au o absorbantă redusă, excepție făcând cazul în care în aceste structuri sunt încorporați produșii absorbiți UV-ului, (flavonoizii sau derivații fenolici). În vreme ce are loc scăderea cantității de radiații UV ce străbate epiderma în urma dispersiei acestor radiații la nivelul compușilor celulari aparținând celulelor epidermice, nu există o corelație evidentă între grosimea epidermei și transmitanța acesteia. (Caldwell *et al.*, 1983).

După Flint și Caldwell, (date nepublicate), citați de Caldwell *et al.*, 1983, radiația UV este atenuată de către pereții anerei unei flori deschise, în proporție de cel puțin 98%, înainte de a ajunge la nivelul granulelor de polen. Chiar și perețele granulei de polen atenuază radiațiile UV-B în proporție de cel puțin 80%. Majoritatea structurilor florale conțin flavonoizi ce pot răspunși în parte de atenuarea radiațiilor UV (Wiemann 1968, Martin 1970, citați de Caldwell *et al.*, 1983)

b. Flavonoizii se acumulează de regulă în straturile celulare externe (ca de exemplu epiderma superioară), sinteza acestora fiind foarte des stimulat de radiații (inclusiv UV).

Cantitatea de flavonoizi din plante, variază în funcție de specie, stadiul de dezvoltare ontogenetică și deseori între epiderma și mezofilul aceleiași frunze. (Caldwell *et al.*, 1983).

Conținutul frunzelor în flavonoizi și compoziția acestora sunt în mod frecvent alterate de condițiile mediului ambiant. Un rol aparte îl are lumina, dar și stresul hidric sau nutrițional, (deficitul de N, P, Mn și B) poate duce la creșterea conținutului în flavonoizi.

Deși ar fi de așteptat că toate plantele terestre crescute în lumină solară, (chiar și în absența radiațiilor UV), să aibă o anumită cantitate de flavonoizi, Wellmann, citat de Caldwell *et al.*, 1983 a demonstrat că plantulele foarte tinere ale unor specii pot să nu conțină flavonoizi, fiind ușor lezate prin iradiere cu UV-B. La aceste plante, sinteza de flavonoizi sub acțiunea radiațiilor UV e de o importanță majoră.

Majoritatea flavonoizilor sunt conținuți în vacuolele celulelor țesutului epidermal.

Capacitatea radiațiilor UV de a penetra spre mezofil, scade în mod neuniform în urma creșterii cantității de flavonoizi în vacuolele celulelor epidermale, țesutul epidermal nefiind un filtru omogen. Ca urmare, unele cloroplaste din țesutul mezofilic pot suferi leziuni în urma iradierii

Bazele genetice ale acumulării flavonoizilor ca răspuns la UV-B, sunt puțin cunoscute. Unele plante nu au capacitatea să sintetizeze flavonoizi ca răspuns la iradierea UV-B. (Teramura & Sulivan, 1991).

În afara protecției aparatului fotosintetic împotriva radiațiilor UV-B, pot fi asociate și alte beneficii cu prezența flavonoidelor în frunze. De exemplu, se consideră că distrug eficient radicalii hidroxid și peroxid. Pe de altă parte, izoflavonoidii au rol în protecția împotriva agenților fitopatogeni (Pinto *et al.*, date nepublicate).

2. Mecanisme de reparare a leziunilor ce au apărut la nivelul ADN

Datorită rolului ADN-ului de a stoca informația genetică, organismele au dezvoltat numeroase mecanisme de reparare a leziunilor ADN, provocate de radiațiile UV (Beggs *et al.*, 1986).

a. Fotoreactivarea este un proces de reparare dependent de lumină. În acest caz, dimerii pirimidinici sunt monomerizați *in situ* printr-un proces enzimatic ce necesită energie.

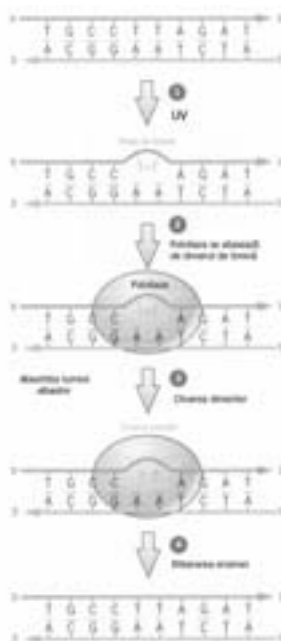


Figura 4. Clivarea dimerului de timină, de către fotoliză (Snustad *et al.*, 1997)

Enzima implicată în acest proces este denumită enzimă de fotoreactivare și este capabilă de a desface dimerii pirimidinici induși de radiațiile UV, (fără eliminarea de nucleotide) (Fig. 4).

Enzima se atașează pe ADN în jurul dimerului pirimidinic, în lipsa luminii. Pentru ca enzima să poată cliva ambele legături ale dimerului utilizează energia ce provine din radiația albastră din spectrul vizibil al luminii.

Enzima fotoreactivă este activă în cazul dimerilor de timină (T=T), de citozină (C=C), sau dimerilor timină-citozină (T=C).

b. repararea prin excizie - este un proces enzimatic ce se desfășoară în mai multe etape, prin care la nivelul ADN, dimerii pirimidinici sunt extirpați și înlocuiți cu un segment nou sintetizat.

Procesul de reparare se desfășoară atât la întuneric cât și la lumină. Este deci un proces de reparare ce nu necesită energie luminoasă. Informația privind resinteza este obținută de la catena de ADN complementară (care nu a suferit leziuni.). Acest mecanism de reparare este foarte răspândit, dar se știu puține despre rolul și importanța acestuia la plante (Beggs *et al.*, 1986).

Există două tipuri majore de mecanisme de reparare prin excizie, și anume: prin *excizia bazelor* sau prin *excizia nucleotidelor* (Snustad *et al.*, 1997).

Importanță în repararea leziunilor induse de radiațiile UV, prezintă mecanismul de reparare prin excizia nucleotidelor.

c.repararea postreplicațională - al doilea proces reparator al leziunilor induse de ADN ce are loc în întreg, este repararea postreplicațională (sau postreplicativă). Acest proces implică atât repararea cât și recombinarea catenelor de ADN.

Detaliile acestui proces nu sunt încă bine cunoscute.

d.repararea ADN prin inducerea sistemului SOS - sistemul SOS intră în acțiune atunci când în molecula de ADN s-a format un număr mare de leziuni, pe care mecanismele menționate anterior nu au capacitatea de a le repara.

Reacția SOS provoacă sinteza unei ADN-polimeraze speciale, care tolerează leziunile și permite replicarea ADN-ului modificat.

3. Mecanisme prin care planta reduce efectul negativ al leziunii apărute la nivelul la nivelul ADN-ului

În cazul plantelor, un important mecanism din această categorie îl reprezintă *inhibarea creșterii*. S-a dovedit că inhibarea creșterii ca răspuns la iradierea cu UV, reprezintă o reacție activă de protecție prin care diviziunea celulară nu se produce, sau rata acesteia este redusă (când ADN-ul este expus la radiații ce pot induce leziuni). Discuțiile referitoare la rolul procesului de inhibare a creșterii drept mecanism de protecție, sunt complicate de doi factori: inhibarea creșterii datorită iradierii cu UV, poate fi un efect negativ direct al radiațiilor asupra plantei, sau poate acționa drept mecanism de protecție, fiind dificil de distins efectul negativ al inhibării creșterii, de cel pozitiv, de protecție. În al doilea rând, radiațiile având lungimi de undă ce aparțin la multe alte domenii ale spectrului, afectează creșterea plantelor cu efecte variate asupra diferitelor organe, ca de exemplu stimularea sau inhibarea creșterii (Beggs *et al.*, 1986). În plus, la majoritatea plantelor, procesul creșterii are loc atât ca urmare a diviziunii celulare cât și ca urmare creșterii volumului celular. Inhibarea creșterii rădăcinii în urma iradierii UV, a fost studiată de Duell-Paff (1980 citat de Beggs *et al.* 1986). Rezultatele arată că, inhibarea creșterii este corelată cu scăderea sintezei de ADN după tratamentul cu UV. Aceste rezultate sugerează că, cel puțin în cazul rădăcinilor, scăderea ratei diviziunii celulare are un rol protector. În prezența radiațiilor UV cu efecte potențial negative, procesele UV-senzitive, implicând acizi nucleici și proteine, sunt reduse, astfel încât, mecanismele de reparare și de protecție vor avea timp să acționeze. Simultan, se sintetizează pigmenți ecran cu rol de protecție împotriva radiațiilor UV, permițând rădăcinii să crească în continuare (Wellmann, 1974- citat de Beggs *et al.*, 1986).

Un interes considerabil s-a acordat efectului radiațiilor UV-B asupra creșterii și dezvoltării plantelor și în mod particular interacțiunii acestora cu fitocromul. Rolul fitocromului în protecția plantelor, constă în modularea sintezei de pigmenți ecran (flavonoi, antociani), fitocromul putând acționa doar după inițierea unui fotorăspuns de către radiațiile UV-B. Fitocromul este ineficient în lipsa iradierii cu UV-B (Sharma, 1984).

CONCLUZII

- Subțierea stratului de ozon (O_3), are drept consecință majoră, creșterea cantității de radiații UV cu λ 295-315 nm ce ajung la suprafața Pământului.
- La organismele pluricelulare, radiațiile UV penetrează doar stratul celular extern, și nu ajung să afecteze celulele liniei germinale.
- Fotoreactivarea, se realizează cu energie provenind din spectrul vizibil, deci pentru a maximiza frecvența mutațiilor induse de UV, tratamentele trebuie efectuate în întreg.
- Există similitudine între lungimile de undă ale radiațiilor absorbite cel mai eficient de către ADN și lungimile de undă ale radiațiilor ce induc mutații cu frecvență maximă și anume λ 245-260 nm.
- Hidrații pirimidinici și dimerii de timină determină blocarea replicației și a transcripției la nivelul ADN-ului celular, ducând în final la apariția de mutații genice sau chiar la moartea celulei.
- Plantele terestre, fiind supuse acțiunii directe a radiațiilor solare, s-au adaptat prin dezvoltarea unor mecanisme de protecție.
- UV-B-ul afectează în mod negativ practic toate funcțiile fiziologice și biochimice ale organismelor vegetale, duce la diminuarea productivității atât calitativ cât și cantitativ.
- Sensibilitatea sau rezistența plantelor la iradierea cu UV, depind de: intensitatea luminii vizibile, stress-ul nutrițional, stadiul ontogenetic de dezvoltare al plantei, condițiile de mediu în care a crescut planta, etc.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

1. **Beggs, C.J., Stolzer-Jehle, A., Wellmann, E.,** 1985. *Isoflavonoid Formation as an Indicator of UV Stress in Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Leaves. The significance of photorepair in assessing potential damage by increased solar UV-B radiation.* Plant Physiol. 79, 630-634.
2. **Beggs, C. J., Schneider-Ziebert, U., Wellmann, E.,** 1986. *UV-B Radiation and Adaptive Mechanisms in Plants.* Stratospheric Ozone Reduction, Solar Ultraviolet Radiation and Plant Life, Edited by R.C. Worrest and M.M. Caldwell, NATO ASI Series, Vol. G8, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 235-251
3. **Bornman, F. Janet, Dubé, S.,** 1991. *The response of plants to UV-B radiation and metal stress.* Impact of global climatic changes on Photosynthesis and Plant Productivity. Editors: Abrol, J.P., Watal, P.N., Gnanam, A., Govindjee, Ort, D.R., Teramura A.H., Oxford & IBH Publishing CO.PVT.LTD, 125-130.
4. **Caldwell, M. M., Robberecht, R., Flint, S. D.,** 1983. *Internal filters: Prospects for UV-acclimation in higher plants.* Physiol. Plant. 58, Copenhagen, 445-450.
5. **Coochill, T. P.,** 1991. *Stratospheric ozone depletion as it affects life on earth – the role of UV action spectroscopy.* In: Impact of global climatic changes on Photosynthesis and Plant Productivity, Editors: Abrol, J.P., Watal, P.N., Gnanam, A., Govindjee, Ort, D.R., Teramura A.H., Oxford & IBH Publishing CO.PVT.LTD, 3-15.
6. **Deering, R. A.,** 1962. *Ultraviolet radiation and nucleic acid,* in Organic chemistry of life. Editors: Calvin, M., Pryor, A. W., Freeman and Company, San Francisco, 377-382.
7. **Flint, S. D., Jordan, P. W., Caldwell, M. M.,** 1985. *Plant protective response to enhanced UV-B radiation under field conditions: leaf optical properties and photosynthesis.* Photochem. Photobiol. 41, 95-99.
8. **Frederick, J.E., Snell, H.E., Haywood, E.K.,** 1989. *Solar Ultraviolet Radiation at the earth's surface.* Photochemistry and Photobiology vol. 50, Pergamon Press plc., Printed in Great Britain, 443-450.
9. **Gavriță, L.,** 1986. *Genetica-Principii de ereditate, vol.I.* Tipografia Universității, București, 392-403.
10. **Giller, Yu. E.,** 1991. *UV-B effects on the development of photosynthetic apparatus, growth and productivity of higher Plants* Impact of global climatic changes on Photosynthesis and Plant Productivity. Editors: Abrol, J.P., Watal, P.N., Gnanam, A., Govindjee, Ort, D.R., Teramura A.H., Oxford & IBH Publishing CO.PVT.LTD, 77-90.
11. **Isac, M.,** 1987. *Biofizica.* Ed. Univ. "A.II. Cuza" Iași, 211-215.
12. **Jordan, B. R., He, J., Chow, W. S., Anderson, J. M.,** 1992. *Changes in mRNA levels and polypeptide subunits of ribulose 1,5-biphosphate carboxylase in response to supplementary ultraviolet-B radiation.* Plant, Cell and Environment 15, 91-98.
13. **Klug, W. S., Cummings, M. R.,** 1986. *Concepts of genetics,* Second edition. Merrill Publishing Company, 177, 197-2000, 306-312.
14. **Robberrecht, R., Cadwell, M. M.,** 1978. *Leaf epidermal transmittance of ultraviolet radiation and its implications for plant sensitivity to UV induced injury.* Oecologia 32, 277-287.
15. **Sharma, Aruna, Abrol, Y. P., Sengupta, U.K.,** 1991. *Effect of Solar UV-B Radiation on growth of mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczek) Plants,* (1991). Impact of global climatic changes on Photosynthesis and Plant Productivity, Editors: Abrol, J.P., Watal, P.N., Gnanam, A., Govindjee, Ort, D.R., Teramura A.H., Oxford & IBH Publishing CO.PVT.LTD.
16. **Snustad, D. P., Simmons, M. J., Jenkins, J. B.,** 1997. *Principles of genetics.* John Wiley & Sons, Inc. New York, 311-344.
17. **Strid, Å., Porra, J. R.,** 1992. *Alterations in Pigment Content in Leaves of Pisum sativum After Exposure to Supplementary UV-B.* Plant Cell Physiol. 33,7, 1015-1023.
18. **Teramura, A. H., Sullivan, J. H.,** 1991. *Field studies of UV-B Radiation Effects on Plants: Case Histories of Soybean and Loblolly Pine.* Impact of global climatic changes on Photosynthesis and Plant Productivity, Editors: Abrol, J.P., Watal, P.N., Gnanam, A., Govindjee, Ort, D.R., Teramura A.H., Oxford & IBH Publishing CO.PVT.LTD, 147-159.
19. **Tevini, M., Teramura, A. H.,** 1989. *UV-B effects on terrestrial plants.* Photochem. Photobiol. 50, 479-487.
20. **Tosserams, M.,** 1998. *Stratospheric ozone depletion – responses of dune grassland plants and faba bean to ultraviolet-B radiation.* Drukkerwerk: Ponsen & Looijen BV, Wageningen, 3-11.
21. **Tudose, I. Gh.,** 1992-1993. *Genetica vol I +II.* Ed. Univ. "A.II.Cuza", Iași, 377-386, 405-412.

22. **Visser, A., Tosserams, M., Groen, M., Magendans, E., Rozema, J.**, 1997. *The combined effects of CO₂ and Solar UV-B Radiation on faba bean grown in open top chambers*. Plant, Cell and Environment 20, 189-199.
23. **Wellmann, E., Beggs, C.J., Möhle, B., Schneider-Ziebert, U., Steinmeitz, V.**, 1984. *Plant responses to solar UV-B radiation*. Proc. 2nd European Symposium on Life Sciences Research in Space, Germany, 61-65

SUMMARY THE UVEFFECTS ON PLANTS

Spectrul UV este subdivizat în funcție de λ (lungimea de undă a radiațiilor) în trei benzi : UV-C ($\lambda < 280\text{nm}$); UV-B ($\lambda 280-320\text{ nm}$) și UV-A ($\lambda 320-400\text{nm}$).

Ozonul absoarbe radiațiile UV cu $\lambda < 290\text{ nm}$, (cu efecte mutagene). Degradarea pături de ozon are drept consecință creșterea în principal a cantității de radiații UV-B, la suprafața solului.

Efectele radiațiilor UV-B asupra plantelor variază, atât în funcție de specie cât și la diferite soiuri ale aceleiași specii putând fi grupate în: modificări morfo-anatomice (reducerea dimensiunilor, reducerea suprafeței foliare și a numărului de frunze, reducerea tăiei, creșterea numărului de ramuri, scăderea densității stomatelor etc); modificări fiziologice (scăderea ratei fotosintezei, alterarea căii C₄ de fixare a CO₂, alterarea activității fitohormonilor etc.); modificări moleculare (denaturarea proteinelor, hidratarea pirimidinelor, formarea dimerilor de timină).

Mecanismele de apărare ale plantelor, în privința nivelului crescut de radiații UV, pot fi: mecanisme de reducere a cantității de radiații UV ce ajung la molecule "țintă" (modificări morfo-anatomice, sinteza de pigmenți écran); mecanisme de reparare a leziunilor la nivelul ADN (fotoreactivarea, repararea prin excizie, repararea post-replicațională); mecanisme de reducere a efectelor negative ale leziunilor apărute la nivelul ADN (inhibarea creșterii).