

ANDRZEJ DOROSZEWSKI, TADEUSZ GÓRSKI, JERZY KOZYRA

Zakład Agrometeorologii i Zastosowań Informatyki
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach

ABSORPCJA ATMOSFERYCZNA PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO
W PAŚMIE ALFA PARY WODNEJ: ZNACZENIE W REAKCJACH
FITOCHROMOWYCH

Atmospheric absorption of solar radiation in the alpha band of water vapour: importance
for the phytochrome reactions

ABSTRAKT: Wykorzystując spektrometr LI-1800 z dodaną tubą pyrhelometryczną przeprowadzono ponad 400 serii pomiarów spektralnych bezpośredniego napromienienia słonecznego przy różnych wysokościach Słońca. Szczególną uwagę zwrócono na transmisję promieniowania w paśmie alfa (700–740 nm) absorpcji pary wodnej w związku z opadem potencjalnym. Przy niskim położeniu Słońca i dużej wilgotności powietrza transmisja w centrum pasma spada poniżej 5%, zaś w suchej atmosferze jest około dziesięciokrotnie wyższa. Maksymalna absorpcja występuje przy 720 nm, co odpowiada dokładnie pozycji maksimum czynnościowego w fitochromowej reakcji wysokoenergetycznej (HIR). Biorąc pod uwagę także niektóre ustalenia w zakresie fotomorfogenezy roślin przedstawiamy hipotezę, że mechanizm fitochromowy powstał w trakcie ewolucji w wyniku oddziaływania absorpcji promieniowania w paśmie alfa. Napromienienie w paśmie 720 nm stanowi dla roślin ważny sygnał informujący o zmianach w aktualnych i przyszłych warunkach wilgotnościowych.

słowa kluczowe – *key words*:

absorpcja atmosferyczna – *atmospheric absorption*, daleka czerwień – *far red*, fitochrom – *phytochrome*, opad potencjalny – *precipitable water*, napromienienie bezpośrednie – *direct irradiance*, pasmo alfa – *alpha band*

WSTĘP

Promieniowanie słoneczne dostarcza roślinom energii koniecznej do asymilacji węgla, a po przekształceniach w atmosferze i w szacie roślinnej także informacji o zmieniającym się środowisku, odbieranej m.in. przez system fitochromowy.

Poznanie reakcji fotoperiodycznych przez Garnera i Allarda (15) rozpoczęło, zaś odkrycie fitochromu przez tzw. „Grupę Beltsville” (5) zintensyfikowało znacznie studia nad informacyjną rolą światła w życiu roślin. W ciągu ostatnich kilkunastu lat znaleziono i opisano także inne fotoreceptory informacyjne (6), jednakże fitochrom – ze względu na powszechność występowania i mnogość oddziaływań

– jest najważniejszym z nich. Za typową cechę fitochromu, występującego w dwóch odwracalnych formach oznaczanych jako P_{FR} i P_R , uważa się położenie maksimów absorpcji światła i reakcji rośliny w świetle czerwonym (R: 650–665 nm) i w dalekiej czerwieni (FR: 720–735 nm). Tak jak formy fitochromu, reakcje te mogą być odwracalne: R znosi efekt FR i na odwrót. Właśnie rewersja reakcji na te dwa zakresy napromienienia stanowi często dowód na obecność fitochromu. Brak rewersji nie wyklucza jednak działania fitochromu, zwłaszcza w tzw. reakcjach wysokoenergetycznych (HIR). Rozwój badań nad fitochromem doprowadził do wyodrębnienia kilku jego odmian, różniących się zarówno budową, jak i funkcjami; obecnie mówi się często o fitochromach w liczbie mnogiej (6). Uczestniczą one w różny sposób w trzech rodzajach fotoreakcji (9) wyodrębnianych na zasadzie czułości na napromienienie (Very Low Fluence Response – VLFR, Low Fluence Response – LFR, High Irradiance Response – HIR).

Ponieważ promieniowanie słoneczne w zakresie czerwonym (R) jest absorbowane przez tkanki roślin w procesie fotosyntezy, zaś daleka czerwień (FR) jest odbijana i przepuszczana, stosunek FR/R w pobliżu zielonych roślin wzrasta. Sytuacje takie są monitorowane przez fitochrom, otwierający drogi metaboliczne odpowiednie do sprostania istniejącej, a także spodziewanej (1) – konkurencji o światło, wodę i substancje pobierane z gleby. Tak więc np. nasiona większości gatunków nie kiełkują pod okapem listowia (17), zaś rośliny w łanie, a nawet na trawniku, wydłużają międzywęzła, ograniczają liczbę pędów i przyspieszają rozwój generatywny (11). Ekologiczna rola fitochromu jako zdalnego receptora konkurencji i aktywatora odpowiednich przystosowań jest przedmiotem wielu badań (14, 20).

Wiele faktów przemawia jednak za tym, że monitorowanie konkurencji nie jest jedyną rolą fitochromu (2, 21). Jest pewne, że fitochrom rozpoznaje także miejsce rośliny w rocznym cyklu klimatycznym, uczestnicząc w fotoperiodycznej regulacji rozwoju (25, 41). Ponadto jest bardzo prawdopodobne, że fitochrom odbiera informację o aktualnej wilgotności atmosfery i odpowiednio ją wykorzystuje (18, 19). Celem niniejszego doniesienia jest przedstawienie nowych faktów potwierdzających hipotezę o związkach fitochromu z pasmem absorpcyjnym pary wodnej w pobliżu 720 nm. Zasadniczą część opracowania stanowiły pomiary spektralne napromienienia słonecznego.

MATERIAŁ I METODY

Pomiary napromienienia słonecznego przeprowadzano zwykle na terenie stacji meteorologicznej w Puławach. Rejestracji spektrum napromienienia dokonywano przy użyciu spektrometrii LI-1800 firmy LI-COR, pracującego w zakresie 350–1100 nm z szerokością połówkową 4 nm. Przy pomiarach napromienienia bezpośredniego na powierzchnię prostopadłą receptor umieszczano w specjalnie przystosowanej tubie pyrliometru Janiszewskiego.

Ilość pary wodnej w atmosferze (tzw. opad potencjalny – P_w) określano na podstawie sondaży aerologicznych przeprowadzanych w Legionowie koło Warszawy przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej dwukrotnie w ciągu doby, a udostępnianych na stronie internetowej Uniwersytetu Wyoming (42). Wartości opadu potencjalnego w momencie pomiaru napromienienia interpolowano między terminami sondaży. Mimo znacznej odległości od Legionowa (ponad 100 km), nie należy oczekiwać dużych błędów określenia P_w wobec silnych korelacji przestrzennych, co łatwo stwierdzić porównując dane z Legionowa, Wrocławia i Lwowa. Oczywiście w sytuacjach frontalnych błędy mogą być większe, ale wówczas zachmurzenie nie pozwala zwykle na pomiar napromienienia bezpośredniego. Wcześniejsze nasze (niepublikowane) opracowania wykazały, że nawet między prężnością pary wodnej w Puławach a opadem potencjalnym mierzonym w Legionowie współczynnik korelacji przekracza 0,92.

Jednostkową masę optyczną m pary wodnej oznaczano według Schnaidta (35). Całkowitą ilość pary wodnej (W) na drodze promieni słonecznych (masę optyczną pary wodnej) obliczano jako iloczyn jednostkowej masy optycznej i opadu potencjalnego:

$$W = m P_w$$

Ilościowe określenie absorpcji w paśmie 720 nm możliwe jest po przyrównaniu napromienienia mierzonego w tym zakresie do napromienienia poza pasmem absorpcji. Aby zminimalizować błąd, który wynika z zależności nieselektywnego (rayleighowskiego i aerozolowego) rozpraszania w atmosferze od długości fali, zastosowano porównanie z dwoma zewnętrznymi zakresami, z obu stron pasma absorpcyjnego (tzw. *three-channel approach*; 40). Biorąc za podstawę wartości zmierzone w zakresach 682 nm (I_{682}) i 752 nm (I_{752}), w których nie stwierdza się absorpcji przez parę wodną lub tlen (28), wartość referencyjną dla 720 nm (R_{720}) ustalono jako:

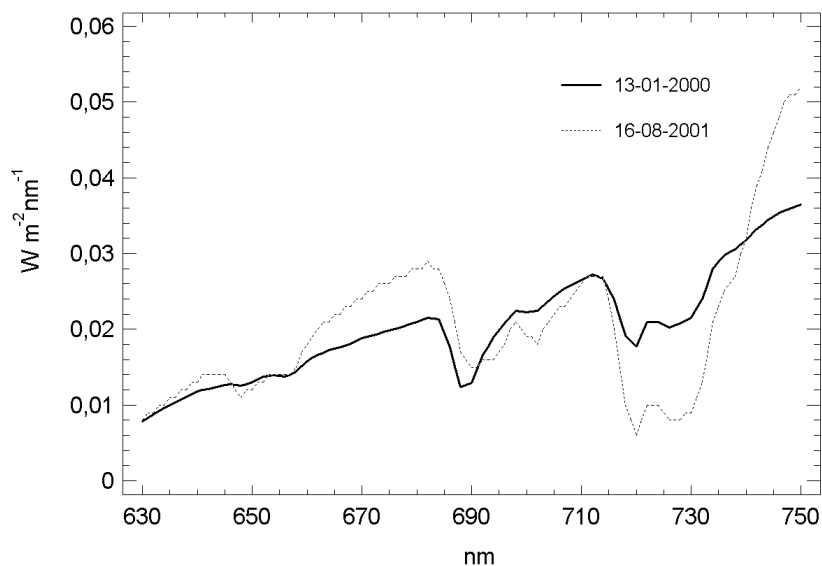
$$R_{720} = 0,46 I_{682} + 0,54 I_{752}$$

co jest równoznaczne z liniową interpolacją. Transmisja w paśmie 720 nm (T_{720}) jest stosunkiem promieniowania zmierzonego (I_{720}) do referencyjnego.

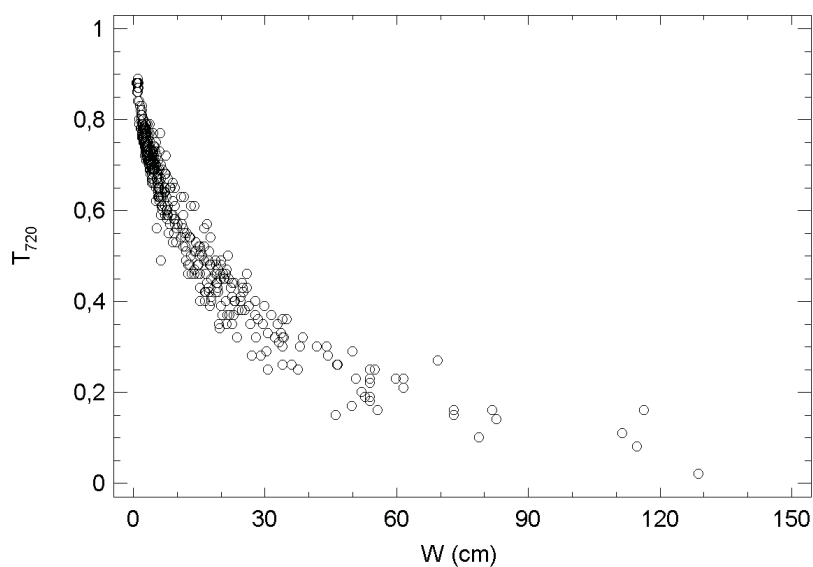
WYNIKI

Pasmo absorpcyjne pary wodnej w zakresie 700–740 nm, zwane pasmem alfa (32), jest dobrze widoczne na wszystkich zapisach widma napromienienia. W atmosferze wilgotnej obniżka napromienienia w tym paśmie jest znacznie większa niż w suchej (rys. 1). Pasmo alfa składa się z wielu linii o zróżnicowanej intensywności, dlatego też jego szczegółowa postać zależy od rozdzielczości pomiaru. Przy szerokości połówkowej właściwej dla użytego instrumentu maksimum absorpcji można określić na 720 nm.

Wyniki ponad 400 serii pomiarowych napromienienia bezpośredniego, wykonanych przy różnej wysokości Słońca i przy różnych stanach atmosfery, pozwoliły na

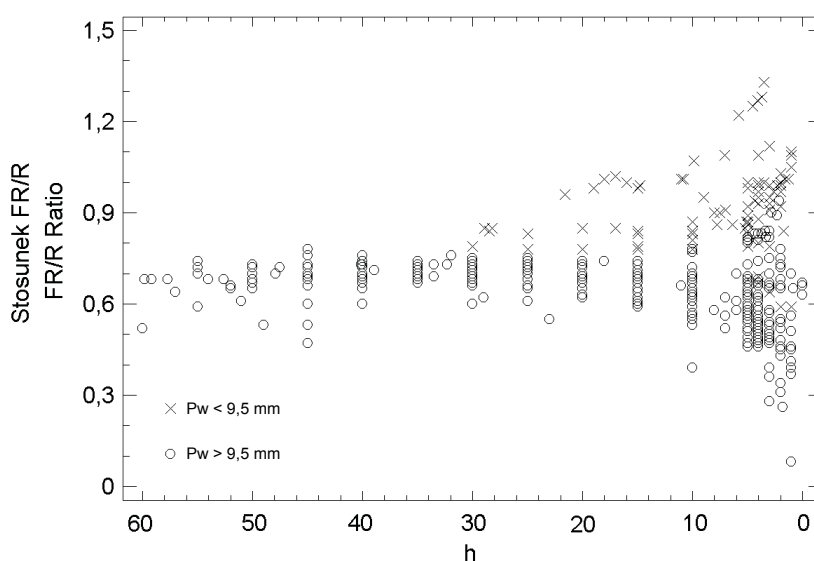


Rys. 1. Spektralne natężenie napromienienia bezpośredniego przy wysokości słońca 2° w dniu z małą (13 stycznia, $P_w \sim 5$ mm) i dużą (16 sierpnia, $P_w \sim 30$ mm) zawartością pary wodnej w atmosferze
Direct spectral irradiance at 2° solar angle on a day with low (13 January, $P_w \sim 5$ mm) and high (16 August, $P_w \sim 30$ mm) quantity of atmospheric moisture



Rys. 2. Transmisja (T_{720}) promieniowania bezpośredniego w paśmie 720 nm w zależności od masy optycznej pary wodnej (W)
Transmission (T_{720}) of direct radiation in 720 nm band in relation to optical mass of water vapour (W)

uzyskanie dość jasnego obrazu zależności transmisji w paśmie 720 nm od ilości pary wodnej na drodze promieni (rys. 2). Przy Słońcu na wysokości 1° i w wilgotnej atmosferze ($P_w \sim 30$ mm) transmisja spada poniżej 5%, natomiast w suchym powietrzu ($P_w \sim 5$ mm) jest w przybliżeniu dziesięciokrotnie wyższa. Stosunki FR/R (I_{720}/I_{660}) w napromienieniu bezpośrednim związane są z wysokością Słońca. W ciągu dnia są one mało zmienne (choć zależą m.in. od W), natomiast przy niskich położeniach słońca wyraźnie się różnicują (rys. 3). W dniach o dużej wilgotności atmosfery przed zachodem słońca stosunek ten maleje, a przy suchym powietrzu wzrasta.



Rys. 3. Stosunek 720/660 nm (FR/R) w napromienieniu bezpośrednim w zależności od wysokości słońca (h) w dwóch klasach opadu potencjalnego (P_w)
Ratio 720/660 nm (FR/R) of direct irradiance in relation to solar angle (h) in two classes of precipitable water (P_w)

DYSKUSJA

Choć standardem pozostają sondáže aerologiczne, szybko rozwijające się techniki zdalnych pomiarów zawartości pary wodnej w atmosferze (spektrometryczne, w tym lidarowe, mikrofalowe, GPS) dostarczają stosunkowo dokładnych informacji i wypierają wcześniej stosowane proste metody oparte na wilgotności przygrunтовой (16). Metody spektrometryczne bazują najczęściej na pomiarach w bliskiej podczerwieni (zwłaszcza 940 nm), choć także – co nas szczególnie interesuje – w paśmie 720 nm (7, 24). Tworzące pasmo alfa linie wibracyjno-rotacyjne wciąż nie są dokładnie opisane (4, 29), tym niemniej zarówno poszczególne linie, jak i pasma

o szerokości kilku lub kilkunastu nanometrów, mogą być wykorzystywane do oceny ilości pary wodnej w atmosferze z pomijalnie małym błędem. Świadczą o tym także dane przedstawione na rysunku 2; zmniejszenie ścisłości związku wynika tu z odległości przestrzennej między pomiarami napromienienia i pary wodnej, a także z przyjęcia wartości masy optycznej w funkcji wysokości słońca, podczas gdy na wartość tę wpływa również zmienna stratyfikacja pary wodnej w atmosferze.

Z wielkiej liczby doświadczeń laboratoryjnych, wykonanych w ciągu ostatnich 50 lat, wynika, że:

1. Ostro zarysowane maksimum czynnościowe w reakcji wysokoenergetycznej (HIR) występuje przy 720 nm (22).
2. W niskoenergetycznych reakcjach (LFR) stosunki P_{FR}/P_R , kształtujące reakcje rośliny, zmieniają się bardzo wyraźnie po dodaniu FR (37).
3. Największe znaczenie w fitochromowej regulacji rozwoju mają stosunki spektralne przed okresem ciemnym (tzw. *end-of-day effect*; 27).

Jest oczywiste, że zmiany R i FR w naturalnym napromienieniu – zwłaszcza przed zachodem słońca – muszą (a nie tylko mogą) być odbierane przez fitochrom. Można spodziewać się również, że reakcje rośliny w warunkach naturalnych będą podobne do obserwowanych w laboratorium, choć nie należy oczekiwać, że zawsze będą one identyczne; reakcje te są często zależne od niebadanych czynników tła i naturalnej ich sekwencji (3, 8, 13), niemożliwej do pełnego odtworzenia w laboratoriach.

Rola mechanizmu fitochromowego jako receptora konkurencji i regulatora działań mających jej sprostać jest powszechnie przyjęta (1, 14) i niepodważalna. W pobliżu innych roślin odpowiednie reakcje wzbudza zwiększony udział FR. Transmisja i refleksja promieniowania przez zielone tkanki roślin rośnie gwałtownie powyżej 700 nm i osiąga maksimum powyżej 750 nm (12, 34). Maksimum czynnościowe w reakcji LFR określane jest zwykle w granicach 720–735 nm, a w reakcjach HIR między 715 a 725 nm (36). W tych zakresach sygnał o konkurencji jest więc wyraźny, ale nie optymalny. To drobne przesunięcie maksimum absorpcji i reakcji można interpretować jako wyraz przystosowania fitochromu do podwójnej (co najmniej) roli ekologicznej. Monitoruje on nie tylko konkurencję, ale i ilość pary wodnej w atmosferze. Trzeba tu zauważyć, że opad potencjalny jest od dawna uważany za podstawowy predyktor w prognozach opadów (16).

Ekologiczne znaczenie reakcji fotoperiodycznych polega przede wszystkim na ochronie przed suszą. Jak to już dawno przekonująco przedstawił Junges (26), rośliny zarówno dnia długiego (np. cztery podstawowe zboża), jak i krótkiego (np. ryż, soja) przechodzą w stan generatywny zanim rozwinie się susza, sygnalizowana w klimacie śródziemnomorskim wydłużaniem dnia, zaś w klimacie monsunowym jego skracaniem. W tym przypadku rolę fitochromu – jako regulatora reakcji fotoperiodycznych – jest więc długoterminowe sygnalizowanie susz występujących w rocznym cyklu klimatycznym. Sprawę znaczenia fotoperiodyzmu w przystosowaniach do suszy podjął również Queiroz (31).

Wiele doświadczeń wskazuje, że nie tylko długość dnia, ale i stosunki FR/R przed zachodem słońca (10, 41), zwłaszcza zaś natężenie FR (25), regulują termin zakwi-

tania roślin. Jeśli więc FR sygnalizuje suszę, zarówno występujące nieregularnie, jak i cyklicznie, można spodziewać się odpowiednich reakcji przystosowawczych. Być może najważniejszą z nich jest właśnie przyśpieszenie rozwoju przed suszą. Choć sprawa relacji fitochromu z opadem potencjalnym nie była – o ile nam wiadomo – poruszana w literaturze botanicznej, opisano już pewne adaptacyjne zmiany w metabolizmie i w morfologii roślin (23, 27, 33), a także w gospodarce wodnej (30, 38, 39) pod wpływem FR, zmierzające do sprostania suszy. Stosunkowo najłatwiej można stwierdzić zmiany w aparacie szparkowym; w naszych doświadczeniach promieniowanie wzbogacane szczególnie w dalekiej czerwieni zmniejszyło liczbę szparek w liściach gorczyca, pszenicy i jęczmienia.

WNIOSKI

1. Natężenie napromienienia słonecznego w środkowej strefie pasma absorpcyjnego alfa (700–740 nm) po przejściu przez atmosferę zmienia się w bardzo szerokich granicach w zależności od ilości pary wodnej. Pomiar napromienienia spektrometrem LI-1800 w tym paśmie może dać ocenę zawartości pary wodnej w atmosferze (opadu potencjalnego).

2. Duże zmiany stosunku dalekiej czerwieni (FR) do czerwieni (R) w naturalnym napromienieniu występują tuż przed zachodem słońca, kiedy zależności te mają szczególne znaczenie dla mechanizmu fitochromowego.

3. Widma absorpcyjne i czynnościowe fitochromu w reakcji wysokoenergetycznej (HIR) odpowiadają dokładnie intensywnej (środkowej) strefie absorpcji w paśmie alfa. W przypadku reakcji niskoenergetycznych (LFR) widma fitochromowe przesunięte są nieco (wciąż w obrębie pasma alfa) ku falom dłuższym, które są silniej odbijane i przepuszczane przez zielone tkanki, gdzie sygnalizacja konkurencji jest wzmocniona.

4. Jest wielce prawdopodobne, że mechanizm fitochromowy został w toku ewolucji ukształtowany w taki sposób, aby odbierać i przetwarzać informacje dwójakiego (co najmniej) rodzaju: o konkurencji i o przyszłej pogodzie, zwłaszcza o wilgotności środowiska.

LITERATURA

1. Ballare C.L., Sánchez R.A., Scopel A.L., Casal J.J., Ghersa C.M.: Early detection of neighbour plants by phytochrome perception of spectral changes in reflected sunlight. *Plant Cell Environ.*, 1987, **10**: 551-557.
2. Bartley M.R., Frankland B.: Analysis of the dual role of phytochrome in the photoinhibition of seed germination. *Nature*, 1982, **300**: 750-752.
3. Beggs C.J., Geile W., Holmes M.G., Jabben M., Jose A.M., Schäfer E.: High irradiance response promotion of a subsequent light induction response in *Sinapis alba* L. *Planta*, 1981, **151**: 135-140.
4. Belmiloud D., Schermaul R., Smith K.M., Zobov N.F., Brault J.W., Learner R.C.M., Newnham D.A., Tennyson J.: New studies of the visible and near-infrared absorption by water vapor and some problems with the HITRAN database. *Geoph. Res. Letters*, 2000, **27**: 3703-3706.

5. Borthwick H.A., Hendricks S.B., Parker M.W., Toole E.H., Toole V.K.: A reversible photoreaction controlling seed germination. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 1952, **38**: 662-666.
6. Briggs W.R., Olney M.A.: Photoreceptors in plant photomorphogenesis to date. Five phytochromes, two cryptochromes, one phototropin, and one superchrome. *Plant Physiol.*, 2001, **125**: 85-88.
7. Bruneau D., Quaglia P., Flamant C., Meissonier M., Pelon J.: Airborne lidar LEANDRE II for water-vapor profiling in the troposphere. I. System description. *Applied Optics*, 2001, **40**: 3450-3461.
8. Casal J.J.: Phytochromes, cryptochromes, phototropin: photoreceptor interactions in plants. *Photochem. Photobiol.*, 2000, **71**: 1-11.
9. Casal J.J., Sánchez R.A., Botto J.F.: Modes of action of phytochromes. *J. Exp. Bot.*, 1998, **49**: 127-138.
10. Cerdán P.D., Chory J.: Regulation of flowering time by light quality. *Nature*, 2003, **423**: 881-885.
11. Doroszewski A.: Effects of different ground surface on rye habit and yield. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 1995, **419**: 15-22.
12. Doroszewski A., Kozyra J.: Skład spektralny promieniowania odbitego od powierzchni gruntu. *Przegląd Nauk. SGGW, Wydz. Inż. Kszt. Środ.*, 2001, **21**: 123-132.
13. Franklin K.A., Whitelam G.C.: Light signals, phytochromes and cross-talk with other environmental cues. *J. Exper. Bot.*, 2004, **55**: 271-276.
14. Franklin K.A., Whitelam G.C.: Phytochromes and shade-avoidance responses in plants. *Ann. Bot.*, 2005, **96**: 169-175.
15. Garner W.W., Allard H.A.: Effect of the relative length of day and night and other factors of the environment on growth and reproduction in plants. *J. Agric. Res.*, 1920, **18**: 553-606.
16. Gates D.M.: Infrared determination of precipitable water vapour in a vertical column of the Earth's atmosphere. *J. Meteorol.*, 1956, **13**: 369-375.
17. Górski T.: Germination of seeds in the shadow of plants. *Physiol. Plant.*, 1975, **34**: 342-346.
18. Górski T.: Red and far red radiation at sunset: annual cycle and dependence on precipitable water. *Naturwissenschaften*, 1976, **63**: 530-531.
19. Górski T.: Non-cyclic changes in the red and far red solar radiation reaching the Earth's surface. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 1989, **369**: 223-230.
20. Górski T., Doroszewski A.: Adaptacyjna rola fotomorfogenezy w łanach roślin. *Acta Agroph.*, 2000, **34**: 59-69.
21. Górski T., Górski K.: Inhibitory effects of full daylight on the germination of *Lactuca sativa* L. *Planta*, 1979, **144**: 121-124.
22. Hartmann K.M.: A general hypothesis to interpret "high energy phenomena" of photomorphogenesis on the basis of phytochrome. *Photochem. Photobiol.*, 1966, **5**: 349-366.
23. Hubac C., Guerrier D., Bousquet U.: Effect of far red light on malate and potassium contents in cotton leaves: relation to drought resistance. *Physiol. Plant.*, 1986, **66**: 37-40.
24. Ingold T., Schmid B., Mätzler C., Demoulin P., Kämpfer N.: Modeled and empirical approaches for retrieving columnar water vapor from solar transmittance measurements in the 0.72, 0.82, and 0.94 nm absorption bands. *J. Geoph. Res.*, 2000, **105**: 24327-24344.
25. Jackson S., Thomas B.: Photoreceptors and signals in the photoperiodic control of development. *Plant Cell Environ.*, 1997, **20**: 790-795.
26. Junges W.: Die jährliche Niederschlagsverteilung als entscheidender Faktor bei der photoperiodischen Anpassung der Pflanzen. *Gartenbauwissenschaft*, 1957, **22**: 527-540.
27. Kasperbauer M.J., Peaslee D.E.: Morphology and photosynthetic efficiency of tobacco leaves that received end-of-day red or far red light during development. *Plant Physiol.*, 1973, **52**: 440-442.
28. King M.D., Byrne D.M., Reagan J.A., Herman B.M.: Spectral variation of optical depth at Tucson, Arizona between August 1975 and December 1977. *J. Appl. Meteorol.*, 1980, **19**: 723-732.

29. Lang R., Maurellis A.N., van der Zaude W.J.: Forward modeling and retrieval of water vapor from the Global Ozone Monitoring Experiment: treatment of narrowband absorption spectra. *J. Geoph. Res.*, 2002, **107**, D16, 11,1-11,21.
30. Maliakai S.K., McDonnell K., Dudley S.A., Schmitt J.: Effects of red to far-red ratio and plant density on biomass allocation and gas exchange in *Impatiens capensis*. *Int. J. Plant Sci.*, 1999, **160**: 723-733.
31. Queiroz O.: An hypothesis on the role of photoperiodism in the metabolic adaptation to drought. *Physiol. Vég.*, 1983, **21**: 577-588.
32. Robinson N.: *Solar Radiation*. Elsevier, 1966.
33. Roth-Bejerano N., Nejidat A., Itai C.: Further support for the involvement of phytochrome in stomatal movement. *Physiol. Plant.*, 1985, **64**: 501-506.
34. Sasamori T., Emori Y.: Laboratory measurement of diffuse spectral reflectance and transmittance of some natural objects in the near-infrared. *Arch. Met. Geoph. Biokl. B.*, 1971, **19**: 133-148.
35. Schnaidt F.: Berechnung der relativen Schichtdicken des Wasserdampfes in der Atmosphäre. *Meteorol. Z.*, 1938, **55**: 296-299.
36. Shropshire W. Jr.: *Action spectroscopy. W: Phytochrome*; red.: Mitrakos K., Shropshire W.Jr, Academic Press, 1972, 161-181.
37. Smith H., Holmes M.G.: The function of phytochrome in the natural environment. III. Measurement and calculation of phytochrome photoequilibria. *Photochem. Photobiol.* 1977, **25**: 547-550.
38. Sokolskaya S.V., Sveshnikova N.V., Kochetova G.V., Solovchenko A.E., Gostimski S.A., Bashtanova O.B.: Involvement of phytochrome in regulation of transpiration: red-/far red-induced responses in the chlorophyll-deficient mutant of pea. *Functional Plant Biol.*, 2003, **30**: 1249-1259.
39. Talbott L.D., Zhu J., Han S.W., Zeiger E.: Phytochrome and blue light-mediated stomatal opening in the orchid, *Paphiopedilum*. *Plant Cell Physiol.*, 2002, **43**: 639-646.
40. Thome K.J., Herman B.M., Reagan J.A.: Determination of precipitable water from solar transmission. *J. Appl. Meteorol.*, 1992, **31**: 157-165.
41. Vince-Prue D.: *Photoperiodism in plants*. McGraw-Hill, London, 1975.
42. www.weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html (06-03-2006)

ATMOSPHERIC ABSORPTION OF SOLAR RADIATION IN THE ALPHA BAND OF WATER VAPOUR: IMPORTANCE FOR THE PHYTOCHROME REACTIONS

Summary

Using a LI-1800 spectroradiometer equipped with a pyrhelimetric tube, more than 400 series of measurements of direct solar irradiance were performed at various solar angles. Special attention was paid to the transmission in the alpha band of water vapour absorption relative to the atmospheric precipitable water. At a low solar angle and high atmospheric moisture, the transmission at 720 nm, drops below 5%, while in dry air, it remains approximately tenfold greater. The position of maximal absorption (720 nm) agrees strictly with the position of action spectrum maximum in the high irradiance response (HIR) of phytochrome. Taking into consideration some known facts from the studies in plant photomorphogenesis, we can hypothesize that the phytochrome mechanism developed in the course of evolution, has an affect on the alpha band absorption of solar radiation. The 720 nm irradiation appears to be for plants, an important external cue that signals changes in actual and future moisture conditions.

Praca wpłynęła do Redakcji I II 2006 r.