

MARIAN CZOPEK

WPLYW ŚWIATŁA CHROMATYCZNEGO NA KIELKOWANIE NASION

Wstęp

Cykl rozwojowy roślin rozpoczyna się procesem kielkowania czyli przejściem ze stanu spoczynkowego do rozwoju wegetatywnego. W kielkowaniu nasion można wyróżnić 3 stadia: a) pęcznienie, b) wydłużanie komórek, c) przyrost liczby komórek. W fizjologicznym znaczeniu proces kielkowania, w optymalnych warunkach, rozpoczyna się w chwili uruchomienia metabolizmu komórek nasienia, co związane jest ze wzrostem aktywności enzymów, intensywniejszym oddychaniem i wzmocnionym wzrostem.

Najnowsze badania nad fizjologią kielkowania nasion koncentrują się głównie na wpływie światła i czynników chemicznych. Światło może wywierać podwójny wpływ na zdolność kielkowania wielu nasion. W jednych wypadkach działa ono pobudzająco, w innych hamująco, chociaż u większości nasion nie posiada ono prawie żadnego wpływu. Muenscher (1936, cyt. wg Curtis i Clark 1958) stwierdził, że nasiona *Lobelia inflata* nie kielkują w zupełnej ciemności, natomiast na świetle słonecznym kielkują w 94%. Black i Wareing (1957, 1960) badając kielkowanie nasion *Nemophila* stwierdzają, że stałe oświetlenie znacznie obniża procent kielkowania, podczas gdy w ciemności nasiona tego gatunku kielkują w 90%. Natomiast Sircar i Biswas (1960) wykazują, że światło białe tylko nieznacznie podwyższa procent wykiełkowanych nasion ryżu, gdyż mogą one również doskonale kielkować w ciemności.

Nasiona wielu gatunków roślin posiadają zdolność do kielkowania w ciemności w nieznacznym procencie. Wystarczy jednak kilka minut naświetlania, aby nasiona wrażliwe na działanie światła mogły kielkować jak przy stałym oświetleniu. Światło odgrywa więc rolę czynnika wybitnie oligodynamicznego.

Wrażliwość nasion na światło

Nasiona różnych gatunków różnią się bardzo między sobą wrażliwością na światło. Światło wyraźnie stymuluje kielkowanie, chociaż nie jest ono czynnikiem nieodzownym u tych nasion. Do najbardziej wrażliwych na światło należą nasiona tonioniu. Już okres 0,01 sek. światła słonecznego podobnie jak 15 minutowe wysta-

wienie na pełne światło księżycy znacznie stymuluje kiełkowanie (Kincaid 1935, cyt. wg Evenari 1956). Do uzyskania maksymalnego kiełkowania nasion tytoniu wystarczy pojedyncze krótkie naświetlanie przez 1 minutę światłem o intensywności 1000 luksów (Isikawa i Shimogawara 1954, cyt. wg Borthwick i Hendricks 1961). Również bardzo wrażliwe na światło są nasiona sałaty, gdyż już 0,2 sek. światła o intensywności około 2700 luksów znacznie stymuluje kiełkowania (Evenari 1956). Nasiona wysuszone nie są wrażliwe na działanie światła. Wrażliwość ta wzrasta wraz z pęcznieniem nasion, osiąga maksimum i potem słabnie (Evenari 1956).

Isikawa i Shimogawara (1954, cyt. wg Borthwick i Hendricks 1961) podzielili rośliny, nad którymi pracowali, na 4 grupy, zależnie od ilości światła potrzebnego do osiągnięcia maksymalnego kiełkowania:

1. Typ *Nicotiana*. Do tej grupy należą gatunki posiadające najbardziej wrażliwe nasiona — potrzebują tylko pojedynczego krótkiego naświetlania przez 1 minutę światłem o intensywności 1000 luksów.

2. Typ *Plantago*. Nasiona tej grupy kiełkują przy naświetlaniu nieco dłuższym niż 1 godzina 1000 luksów.

3. Typ *Epilobium*. Wymagają naświetlania do 24 godzin 1000 luksów.

4. Typ *Hypericum*. Gatunki tej grupy potrzebują codziennego naświetlania przez kilka godzin dziennie.

Mimo znacznych różnic morfologicznych, anatomicznych i fizjologicznych między nasionami a turionami roślin wodnych oraz zarodnikami paproci, dopuszczalne jest porównanie pewnych procesów fizjologicznych a zwłaszcza wpływu światła na kiełkowanie. Czopek (1959, 1962) stwierdził, że turiony *Spirodela polyrrhiza* posiadają zdolność do kiełkowania w pewnym procencie w ciemności, ale wystarczy 10 minut naświetlania dziennie do osiągnięcia maksymalnego procentu kiełkowania. Oligodynamiczny charakter światła wskazuje, że nie jest ono czynnikiem troficznym, lecz wywiera wpływ bodźca natury fotochemicznej w procesie kiełkowania.

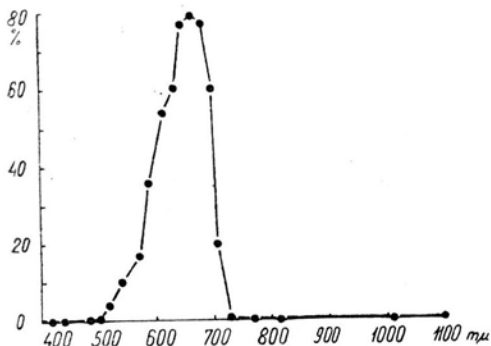
Wrażliwość nasion na światło jest uzależniona od stosowanej temperatury np. u nasion *Lactuca* wrażliwość zmniejsza się ze wzrostem temperatury. Przy 26°C do stymulacji tych nasion potrzeba 0,2 sek. \times 250 świec stopowych (tj. około 2700 luksów) światła, natomiast przy 30°C do wywołania tego samego efektu potrzeba już około 300 sek. \times 250 świec stopowych światła (Evenari 1956).

Wrażliwość nasion na światło waha się zatem w szerokich granicach. Zależy ona od szeregu czynników jak stopień napęcznienia nasion, intensywność i czas naświetlania, temperatura i inne.

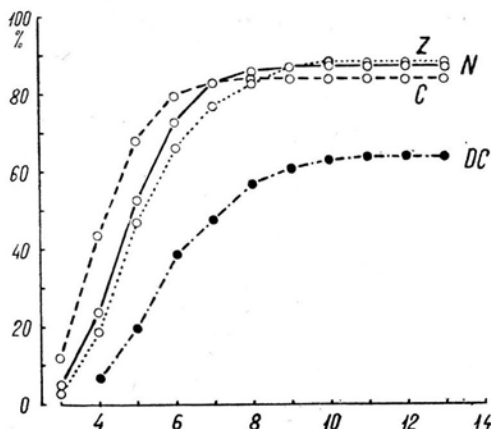
Kiełkowanie przy różnych zakresach spektralnych światła

Po raz pierwszy Cieslar (1883, cyt. wg Evenari 1956) zwrócił uwagę, że na *Poa pratensis* oddziałuje żółte światło podobnie jak białe, zaś niebieskie podobnie jak ciemność. Flint i McAlister (1935, 1937, cyt. wg Evenari 1956) zajmując się wrażliwością na światło nasionami sałaty, stwierdzili, że światło niebieskie, zie-

lone i daleka czerwień hamują kielkowanie, natomiast światło pomarańczowe i czerwone oddziałuje stymulująco. Przy badaniu kielkowania zarodników paproci (*Dryopteris filix-mas*), gdzie używano niskich intensywności światła (200 ergów/cm²/sek.) stwierdzono hamujące działanie promieni niebieskich (Mohr 1956).



Ryc. 1. Zależność kielkowania zarodników paproci od długości fali światła (intensywność 200 ergów/cm²/sek, naświetlenie 24 godzin). Odcięte — długość fali w mμ, rzędne — procent kielkowania (Mohr 1956).



Ryc. 2. Kielkowanie turionów *Spirodela polyrrhiza* przy ciągłym oświetleniu światłem chromatycznym. Odcięte — dni, rzędne — procent kielkowania. N — światło niebieskie, Z — zielone, C — czerwone, DC — daleka czerwień (Czopek 1962).

Tabela I

Powstrzymujący wpływ różnych zakresów spektralnych na kielkowanie nasion *Nemophila insignis* (Black i Wareing 1960).

Długość fali mμ	Procent kielkowania
452	16,7
483	59,5
496	49,1
542	74,7
577	74,8
596	88,0
651	60,8
710	12,2
kontrola w ciemności	89,6

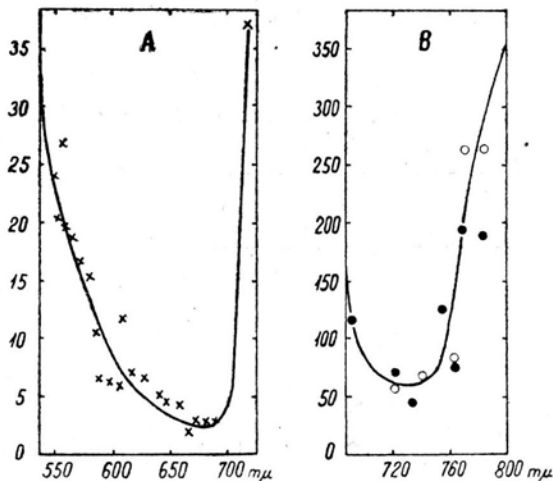
1956). Jednak ze wszystkich zakresów spektralnych najsilniej hamująco oddziałuje daleka czerwień w zakresie od 730—750 mμ. Natomiast promienie czerwone (650—670 mμ) dają maksymalny procent wykiełkowanych zarodników w świetle monochromatycznym (Mohr 1956). Czopek (1962) badając wpływ światła chromatycznego na kielkowanie turionów *Spirodela polyrrhiza* stwierdził, że ciągłe oświetlenie światłem niebieskim (maksimum przy 450 mμ), zielonym (525 mμ) czy czerwonym (650 mμ) o intensywności 223 ergów/cm²/sek. daje podobny wynik jak

przy świetle białym. Daleka czerwień (725 m μ) przyspiesza kiełkowanie turionów, ale znacznie słabiej w porównaniu z innym światłem chromatycznym o tej samej energii. Jones i Bailey (1956) stosując 6 minutowe naświetlanie nasion *Lamium*

Tabela II

Wpływ światła chromatycznego na kiełkowanie nasion ryżu. Czas naświetlania nasion — 24 godziny (Sircar i Biswas 1960).

Światło	Procent kiełkowania
białe	98,10
niebieskie	92,30
zielone	94,95
żółte	88,85
czerwone	85,30
ciemność	87,95
daleka czerwień	78,30
12 godz. okres białego światła + ciemność	98,40
8 godz. okres białego światła + czerwień + ciemność	60,80
12 godz. okres czerwień + daleka czerwień	45,34
12 godz. okres daleka czerwień + czerwień	45,06



Ryc. 3 A i B. Wpływ spektrum czynnego na inicjację i zahamowanie kiełkowania nasion sałaty po 16 godzinach pęcznienia. Odcięte — długość fali w m μ , rzędne: A — zapotrzebowanie energii w ergach $\times 10^4/\text{cm}^2$ dla uzyskania kiełkowania w 50%, B — zapotrzebowanie energii w ergach $\times 10^4/\text{cm}^2$ dla zahamowania kiełkowania w 50%. (Borthwick *et al.* 1954, cyt. wg Borthwick i Hendricks 1961).

amplexicaule uzyskali przy świetle niebieskim, zielonym i czerwonym tylko nieznaczne obniżenie kiełkowania. Black i Wareing (1957, 1960) badając kiełkowanie nasion *Nemophila*, stwierdzili znaczne zahamowanie kiełkowania przy świetle niebieskim (452 m μ) i dalej czerwieni (710 m μ), mniejsze w świetle niebieskozielonym (483–496 m μ). Natomiast w świetle zielonym (542 m μ) i czerwonym (651 m μ) zahamowanie kiełkowania jest bardzo słabe. Sircar i Biswas (1960)

wskazują, że czerwień osłabia nieznacznie, a daleka czerwień najsilniej procent kiełkowania nasion ryżu w porównaniu z ciemnością. Evenari *et al.* (1957) zauważyli, że kiełkowanie nasion sałaty po 5 minutowym naświetlaniu światłem niebieskim o maksimum przy 430 m μ , zostaje powstrzymane o ile nasiona naświetlano w ciągu pierwszych 6 godzin po rozpoczęciu pęcznienia, natomiast po 10 godzinach wywiera ono stymulujący wpływ. Kadman-Zahavi (1960) stwierdził, że światło niebieskie nie oddziałuje inicjująco na kiełkowanie nasion *Amaranthus retroflexus*.

Jak widać z powyższego przeglądu literatury w większości wypadków światło niebieskie nie wpływa stymulująco na kiełkowanie w przeciwieństwie do turionów (Czopek 1962), gdzie wpływ ten jest znaczny. Natomiast oprócz turionów nie stwierdzono w tym stopniu stymulującego wpływu światła zielonego na kiełkowanie (Czopek 1962). Najbardziej aktywne są promienie czerwone, które działają inicjująco, natomiast daleka czerwień znacznie obniża, albo też zupełnie powstrzymuje proces kiełkowania.

Odwracalność fotoreakcji czerwień — daleka czerwień w procesie kiełkowania

Badania wielu autorów wykazały, że światło czerwone wyraźnie stymuluje kiełkowanie, natomiast daleka czerwień oddziałuje hamująco. Efekt światła czerwonego można było zniwelować bezpośrednim zadziałaniem dalekiej czerwieni.

Istnienie odwracalnego układu absorpcyjnego czerwień — daleka czerwień stwierdzono u wielu kiełkujących nasion wrażliwych na działanie światła. Flint i McAlister

Tabela III

Kiełkowanie nasion *Lamium amplexicaule* naświetlanych kolejno przez 1 minutę światłem czerwonym (C) o zakresie 580—700 m μ i energii około $2,09 \times 10^{-3}$ dżuli/cm²/sek. oraz 4 minuty daleką czerwiecią (DC) o zakresie 730—870 m μ i energii $8,1 \times 10^{-3}$ dżuli/cm²/sek., po 16 godzinach pęcznienia w ciemności (Jones i Bailey 1956).

Światło	Procent kiełkowania
C	36,9
DC	7,2
C—DC	3,2
C—DC—C	43,6
C—DC—C—DC	5,5
C—DC—C—DC—C	48,8
C—DC—C—DC—C—DC	3,9
C—DC—C—DC—C—DC—C	45,2
bez światła	42,6

ster (1935, cyt. wg Wassink i Stolwijk 1956) opisali stymulujący wpływ światła czerwonego na kiełkowanie nasion sałaty. Kiełkowanie nasion można było powstrzymać przez działanie dalekiej czerwieni o maksymalnej aktywności około 730 m μ . Borthwick *et al.* (1952) badając kiełkowanie nasion sałaty w zakresie od 520—800 m μ stwierdzili, że maksimum stymulacji kiełkowania jest bliskie 660 m μ , nato-

miast maksimum zahamowania około 740 m μ . Podobne wyniki uzyskano dla nasion innych gatunków wrażliwych na działanie światła.

Antagonistyczny wpływ światła czerwonego i dalekiej czerwieni na kiełkowanie nasion *Lactuca* był przedmiotem badań wielu autorów: Borthwick *et al.* (1952), Liverman i Bonner (1953), Miller (1956), Toole *et al.* (1956), Wareing (1956), Elliot i French (1959), Haber (1959), Skinner i Shive (1959), Kahn (1960 a, b), Ikuma i Thimann (1960, 1961), Surrey (1961). Odwracalność fotoreakcji czerwieni — daleka czerwień podczas kiełkowania badano również u nasion *Amaranthus retroflexus* (Kadman-Zahavi 1960); *Elsholtzia* (Isikawa i Ishikawa 1960); *Lamium amplexicaule* (Jones i Bailey 1956); *Lepidium densiflorum* i *Lepidium virginicum* (Toole *et al.* 1955, 1956); *Nemophila insignis* (Black i Wareing 1957, 1960); *Pinus virginiana* (Toole *et al.* 1961); *Oryza sativa* (Sircar i Biswas 1960). Antagonistyczne działanie czerwieni i dalekiej czerwieni stwierdzono także w procesie kiełkowania zarodników paproci (Mohr 1956) oraz turionów *Spirodela polyrrhiza* (Czopek 1962).

Badania wielu autorów wykazały, że ten odwracalny układ absorpcyjny odgrywa również rolę w innych procesach fotobiologicznych jak fotoperiodyczna kontrola kwitnienia, deetiolacja, tworzenie barwika w kutikuli owoców pomidora i inne. Bogaty przegląd literatury na ten temat podają: Borthwick *et al.* (1952), Piringer i Heinze (1954), Downs (1955, 1956), Liverman (1955), Evenari (1956), Toole *et al.* (1956), Wareing (1956), Wassink i Stolwijk (1956), Hillman i Galston (1957), Doorenbos i Wallensiek (1959), Hillman (1959a, b), Czopek (1960), Borthwick i Hendricks (1961).

Tabela IV

Wpływ naświetlania światłem czerwonym i daleką czerwienią na kiełkowanie nasion *Pinus virginiana* w temperaturze 25°C. Nasiona poddawano pęcznieniu przez 96 godzin w ciemności w temperaturze 5°C. Czas naświetlania czerwienią (C) o intensywności 6000 ergów/cm²/sek. — 8 minut. Czas naświetlania daleką czerwienią (DC) o intensywności 7500 ergów/cm²/sek. — 16 minut. Procent wykiełkowanych nasion w dwu doświadczeniach obliczono 7 dni po naświetlaniu (Toole *et al.* 1961).

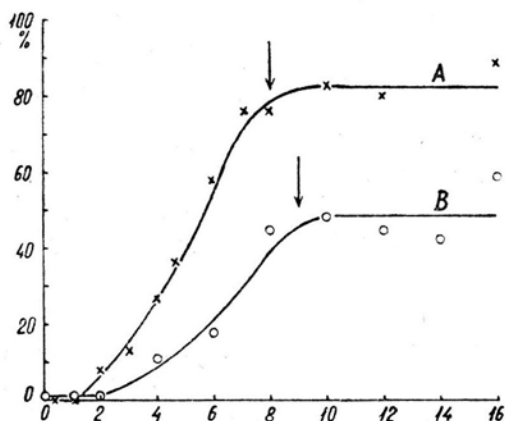
Światło	Procent kiełkowania nasion	
	L. P. — 62	L. P. — 63
O (kontrola w ciemności)	4	14
C	92	89
C+DC	4	2
C+DC+C	94	93
C+DC+C+DC	3	1
C+DC+C+DC+C	93	92

Jeżeli zadziałyśmy daleką czerwienią nie bezpośrednio, lecz dopiero po upływie pewnego czasu, efekt kiełkowania nasion będzie taki sam jak dla światła czerwonego. Borthwick *et al.* (1954, cyt. wg Ikuma i Thimann 1960) wskazują, że daleka czerwień nie wywiera hamującego wpływu na kiełkowanie nasion sałaty, jeżeli będzie stosowana po dostatecznie długim czasie od chwili zadziaływania czerwienią.

Ikuma i Thimann (1960) stwierdzili, że hamujący wpływ dalekiej czerwieni stopniowo zmniejsza się ze wzrostem czasu upływającego pomiędzy traktowaniem czerwienią a daleką czerwienią i po 8–9 godzinach między poszczególnymi naświetleniami daleka czerwień nie wywiera powstrzymującego wpływu na kiełkowanie nasion sałaty. Natomiast Kadman-Zahavi (1960) zauważył, że u nasion *Amaranthus retroflexus* zahamowanie kiełkowania przy działaniu dalekiej czerwieni jest najsilniejsze nie bezpośrednio po czerwieni lecz w odstępie czasu od 2–16 minut.

Kolejność działania światło czerwone — daleka czerwień — światło czerwone daje końcowy efekt taki sam jak dla czerwieni. Stąd można wyciągnąć wniosek,

Ryc. 4. Wpływ dalekiej czerwieni dawcowanej w różnym czasie od chwili naświetlania czerwienią na kiełkowanie nasion sałaty. Odcięte — godziny pomiędzy naświetlaniem czerwienią a daleką czerwienią, rzędne — procent kiełkowania. Czerwone światło dawковано po 1,5 godziny (A) lub 8 godzinach (B) od rozpoczęcia pęcznienia. Czas naświetlania czerwienią i daleką czerwienią wynosił w każdym wypadku 2 minuty (Ikuma i Thimann 1960).



że efekt końcowy kiełkowania zależy będzie od ostatniego rodzaju działającego światła, pod warunkiem, że światło będzie dawkowane bezpośrednio jedno po drugim. Podobne wyniki z efektem działania światła końcowego uzyskano dla zarodników paproci (Mohr 1956), nasion sałaty (Borthwick *et al.* 1952, Borthwick *et al.* 1954, cyt. wg Borthwick i Hendricks 1961, Haber 1959), *Lamium amplexicaule* (Jones i Bailey 1956), *Pinus virginiana* (Toole *et al.* 1961).

Jak wynika z powyższego przeglądu literatury w procesie kiełkowania podobnie jak w innych procesach fotobiologicznych istnieje antagonizm promieniowania czerwieni — daleka czerwień. Stymulujące działanie światła czerwonego można zniewelować bezpośrednim działaniem dalekiej czerwieni, która oddziałuje hamująco na kiełkowanie.

Zastąpienie wpływu światła czerwonego działaniem kinetyny i gibereliny

Potrzeba światła u nasion wrażliwych na jego działanie może być zastąpiona przez wpływ różnych czynników chemicznych. Miller (1956) donosi, że kinetyna znacznie stymuluje kiełkowanie nasion sałaty w ciemności i wpływ światła czerwonego może być zastąpiony jej działaniem. Jednakże stymulujący wpływ kinetyny nie może być odwrócony działaniem dalekiej czerwieni. Skinner i Shive (1959) badając działanie 6-benzylaminopuryny oraz działanie mieszaniny pochodnej pu-

Tabela V

Wpływ kinetyny i światła na kiełkowanie nasion sałaty podczas 72 godzinowego okresu (dwa doświadczenia).
 Naświetlanie stosowano po 16 godzinach od chwili działania kinetyny (Miller 1956).

Stężenie kinetyny	Światło dawkowane	Kiełkowanie	
		doświad. 1	doświad. 2
M		%	%
0	—	8	7
1×10^{-5}	—	55	48
$2,5 \times 10^{-5}$	—	89	72
5×10^{-5}	—	84	86
1×10^{-4}	—	76	76
0	8 minut czerwieni	96	96
0	8 minut czerwieni, potem		
	8 minut dalekiej czerwieni	5	7
5×10^{-5}	8 minut dalekiej czerwieni	86	83

ryny z gibereliną na kiełkowanie nasion sałaty stwierdzili, że już 1 minutowe oddziaływanie tych substancji wybitnie podwyższa procent wykiełkowanych nasion w ciemności przy 30°C. Aktywne działanie tych czynników chemicznych można porównać ze stymulującym wpływem światła czerwonego na kiełkowanie nasion

Tabela VI

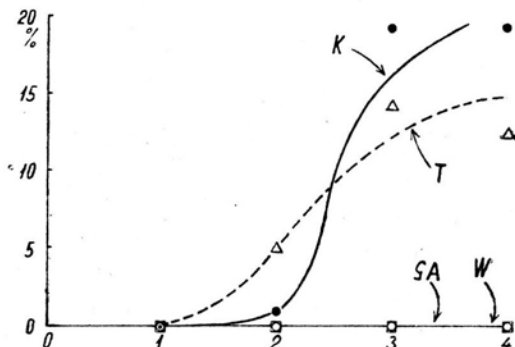
Wpływ dalekiej czerwieni na kiełkowanie nasion sałaty uprzednio poddanych działaniu czerwonego światła lub kwasu giberelinowego (Ikuma i Thimann 1960).

Dawkowanie	Procent kiełkowania
Czerwień (2 minuty)	92
Daleka czerwień (5 minut)	1
Czerwień (2 minuty), potem daleka czerwień (5 minut)	0
Daleka czerwień (5 minut), potem czerwień (2 minuty)	91
Kwas giberelinowy (2 godz.)	93
Daleka czerwień (5 minut), potem kwas giberelinowy (2 godz.)	93
Kwas giberelinowy (2 godz.), potem daleka czerwień (5 minut)	93
Woda (kontrola w ciemności)	2

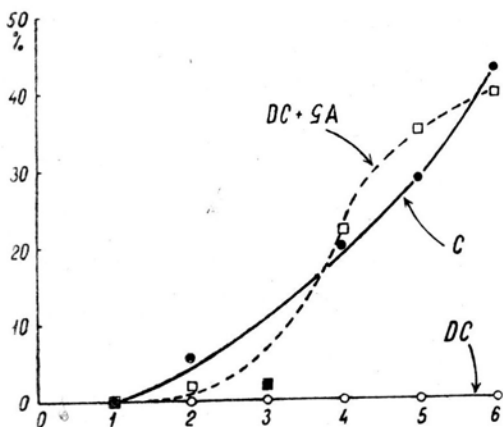
sałaty. Kahn (1960) stwierdził, że giberelina wywołuje kiełkowanie nasion sałaty w ciemności. Może ona zastąpić działanie światła czerwonego, jednakże ciągłe naświetlanie daleką czerwiecią osłabia stymulujące działanie gibereliny na kiełkowanie. Równoczesne działanie światła czerwonego i gibereliny powoduje sumowanie efektu działania obu czynników. Ikuma i Thimann (1960) uważają, że wpływ kwasu giberelinowego na kiełkowanie nasion sałaty można porównać z działaniem światła czerwonego. Jednakże nie otrzymali oni odwrócenia stymulującego wpływu kwasu giberelinowego przez następne działanie dalekiej czerwieni. Haber i Luipold (1960) wykazali, że kinetyna i tiomocznik stymulują kiełkowanie nasion sałaty w ciemności nawet w temperaturze 37°C, natomiast kwas giberelinowy nie

posiada wpływu w tej temperaturze. Jeżeli jednak w czasie działania kwasu giberelinowego zastosowano równocześnie naświetlanie daleką czerwienią wtedy następuje znaczna stymulacja kiełkowania.

Ryc. 5. Wpływ kwasu giberelinowego, kinetyny i tiomocznika na kiełkowanie nasion sałaty w ciemności przy 37°C. Odcięte — dni, rzędne — procent kiełkowania. ○ kontrola w wodzie (W), □ 3×10⁻⁴ M kwasu giberelinowego (GA), ● 10⁻⁵ M kinetyny (K) i Δ 3×10⁻² M tiomocznika (T). Każdy punkt przedstawia procent kiełkowania osobnej grupy 120 nasion (Haber i Luippold 1960).



Inicjujący wpływ promieniowania czerwonego w procesie kiełkowania może być zastąpiony stymulującym działaniem czynników chemicznych, takich jak: kinetyna, giberelina i tiomocznik. Jednakże efektu działania tych czynników chemicznych nie można odwrócić dalszym działaniem dalekiej czerwieni.



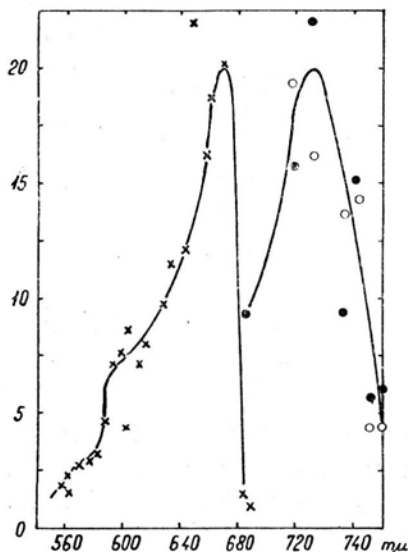
Ryc. 6. Wpływ kwasu giberelinowego i światła na kiełkowanie nasion sałaty przy 31,5°C. Odcięte — dni, rzędne — procent kiełkowania. ○ daleka czerwień (DC), ● czerwień (C), □ daleka czerwień + 3×10⁻⁴ M kwasu giberelinowego (DC+GA). Każdy punkt przedstawia procent kiełkowania osobnej grupy 88—94 nasion (Haber i Luippold 1960).

Wymienione czynniki chemiczne wywierają również stymulujący wpływ na inne procesy biologiczne, np. działaniem gibereliny można uzyskać kwiaty u roślin długiego dnia na krótkim dniu (Lang 1956, 1957, cyt. wg Kahn 1960).

Próby wyjaśnienia mechanizmu działania odwracalnego układu absorpcyjnego

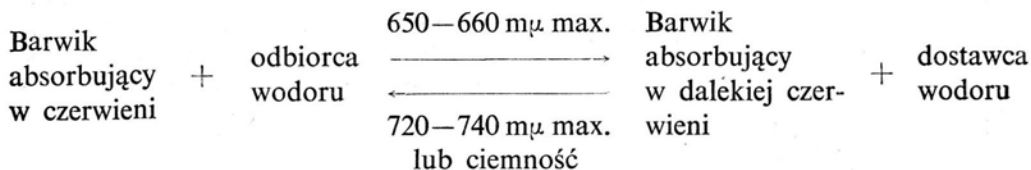
Istnieje wiele hipotez zmierzających do wyjaśnienia antagonistycznego działania fotoreakcji czerwieni — daleka czerwień. Borthwick *et al.* (1952) przypuszczają, że fotochemiczne działanie światła na kiełkowanie jest uzależnione od istnienia dwóch barwników; barwnik absorbujący światło czerwone posiada maksimum około 650 mμ, zaś barwnik absorbujący daleką czerwień około 730 mμ. Jednakże później-

sze badania tych autorów wykazały, że są to dwie różne formy tego samego barwika, które pod wpływem odpowiedniego światła mogą wzajemnie przechodzić

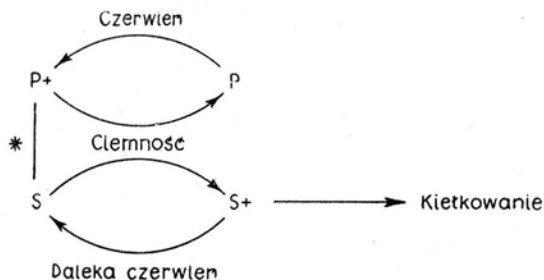


Ryc. 7. Molekularny współczynnik absorpcji spektralnej obu form barwika (absorbującego w czerwieni i absorbującego w dalekiej czerwieni). Odcięte — długość fali w $m\mu$, rzędne — molekularna absorpcja, współczynnik $\times 10^4$ (Borthwick i Hendricks 1961).

w siebie. Borthwick i Hendricks (1961) uważają, że odwracalny układ absorpcyjny kontroluje zasadniczy etap metabolizmu komórkowego przy udziale dwóch fotoreceptorów. Fotoreceptor posiadający absorpcję maksymalną w zakresie 720—740 $m\mu$ działa w bardzo niskich stężeniach jako enzym pośredniczący w przekazywaniu wodoru lub jego elektronów. Borthwick i Hendricks (1961) podają, że fotoreakcja może być napisana w następujący sposób:



Natomiast Kadman-Zahavi (1960) wyjaśnia działanie czerwieni i dalekiej czerwieni w procesie kiełkowania nasion za pomocą następującego schematu:



* Strzałka w schemacie została dopisana przez autora.

Pod wpływem promieni czerwonych barwik P przechodzi w stan czynny $P+$, który bez udziału światła oddziałuje na substancje S przeprowadzając ją w stan czynny $S+$, podczas gdy forma aktywna $P+$ wraca do stanu początkowego P . Substancja aktywna $S+$ inicjuje kiełkowanie. Krótkie naświetlanie daleką czerwienią doprowadza aktywną substancję $S+$ do stanu początkowego S , co tym samym unieważnia wpływ czerwieni. Fotoreakcja jest odwracalną ponieważ w końcowym etapie substancje biorące udział w reakcji znajdują się w tym samym stanie jak na początku tzn. P i S (Kadman-Zahavi 1960).

Jak już wskazano daleka czerwień nie działa powstrzymująco na kiełkowanie nasion jeżeli okres upływający między naświetlaniem czerwienią a daleką czerwienią jest odpowiednio długi. Dostosowując powyższy wynik do hipotezy podanej przez Kadman-Zahavi (1960) można byłoby przypuszczać, że w tym czasie (upływającym między naświetlaniem czerwienią a daleką czerwienią) została wytworzona wystarczająca ilość aktywnej substancji $S+$ potrzebnej do stymulacji kiełkowania. Substancja $S+$ aktywuje kosztem nadwyżki energii enzymy uruchamiające metabolizm i wraca do stanu S . W tych warunkach daleka czerwień jest bez wpływu, ponieważ brak jest substancji w formie aktywnej $S+$ wrażliwej na promieniowanie dalekiej czerwieni. Dalsze badania wykażą w jakiej mierze to przypuszczenie jest uzasadnione.

Antagonistyczne działanie czerwieni i dalekiej czerwieni jest obecnie wiązane z istnieniem specyficznego barwika — fitochromu, który otrzymano z etiolowanych kiełków *Zea mays in vitro* (Butler *et al.* 1959, Borthwick i Hendricks 1961). Posiada on krzywą absorpcji w zakresie długofalowym, zbliżoną do krzywej spektrum czynnego w fotoperiodycznej kontroli kwitnienia, kiełkowania nasion, wydłużania międzywęzła i innych procesów fotobiologicznych. Mechanizm działania fitochromu w odwracalności fotoreakcji czerwieni — daleka czerwień jest obecnie przedmiotem badań. Wyizolowanie fitochromu w stanie czystym napotyka jeszcze na wiele przeszkód metodycznych, gdyż jest on zlokalizowany w komórkach w minimalnym stężeniu, co przemawia za jego enzymatycznym charakterem. Opracowanie doskonalszych metod oczyszczania fitochromu pozwoli na przeprowadzenie szczegółowych doświadczeń nad jego enzymatyczną naturą i niewątpliwie przyczyni się do wyjaśnienia tego bardzo interesującego procesu fotofizjologicznego.

Zakład Fizjologii Roślin PAN w Krakowie

LITERATURA

- Black M. and Wareing P. F., 1957. Sensitivity of Light-inhibited Seeds to Certain Spectral Regions. *Nature*, **180**, 395.
- Black M. and Wareing P. F., 1960. Photoperiodism in the Light-inhibited Seed of *Nemophila insignis*. *Jour. of Exper. Bot.* **11**, 28—39.
- Borthwick H. A. and Hendricks S. B., 1961. Effects of radiation on growth and development. In: *Handbuch der Pflanzenphysiologie*. Herausgegeben von W. Ruhland, Bd. XVI, 299—330. Springer-Verlag: Berlin—Göttingen—Heidelberg, 1961.

- Borthwick H. A., Hendricks S. B. and Parker M. W., 1952. The reaction controlling floral initiation. Proc. Nat. Acad. Sci. USA **38**, 929—934.
- Borthwick H. A., Hendricks S. B., Parker M. W., Toole E. H. and Toole V. K., 1952. A reversible photoreaction controlling seed germination. Proc. Nat. Acad. Sci. USA **38**, 662—666.
- Butler W. L., Norris K. H., Siegelman W. H. and Hendricks S. B., 1959. Detection, assay, and preliminary purification of the pigment controlling photoresponsive development of plants. Proc. Nat. Acad. Sci. USA **45**, 1073—1708.
- Curtis O. F., Clark D. G., 1958. Wstęp do fizjologii roślin. Warszawa, 1958. PWRiL.
- Czopek M., 1959. Researches on the physiology of formation and germination of turions in *Spirodela polyrrhiza* (L.) Schleiden. Acta Biol. Crac. Ser. Bot. Vol. **II**, 75—90.
- Czopek M., 1960. Ekologiczno-fizjologiczne badania nad zakwitaniem gatunków z rodziny Lemnaceae. Wiad. Bot. **IV**, 263—280.
- Czopek M., 1962. The oligodynamic action of light on the germination of turions of *Spirodela polyrrhiza* (L.) Schleiden. Acta Soc. Bot. Pol. **31**, 703—722.
- Doorenbos J. and Wellensiek S. J., 1959. Photoperiodic control of floral induction. Ann. Rev. of Pl. Physiol. **10**, 147—184.
- Downs R. J., 1955. Photoreversibility of leaf and hypocotyl elongation of dark grown red kidney bean seedlings. Plant Physiology **30**, 468—473.
- Downs R. J., 1956. Photoreversibility of flower initiation. Plant Physiology **31**, 279—284.
- Elliot R. F. and French C. S., 1959. Germination of light sensitive seed in crossed gradients of temperature and light. Plant Physiology **34**, 454—456.
- Evenari M., 1956. Seed Germination. In: Radiation biology. Edit. by A. Hollaender. Vol. **III**, 519—549. New York: McGraw Hill Book Company 1956.
- Evenari M., Neumann G. and Stein G., 1957. Action of blue light on the germination of seeds. Nature **180**, 609—610.
- Haber A. H., 1959. Rendering the Germination of Light-Insensitive Lettuce Seeds Sensitive to Light. Physiologia Plantarum **12**, 456—464.
- Haber A. H. and Luippold H. J., 1960. Effects of gibberellin, kinetin, thiourea and photomorphogenic radiation on mitotic activity in dormant lettuce seed. Plant Physiology **35**, 486—494.
- Hillman W. S., 1959a. Experimental control of flowering in *Lemna*. I. General methods. Photoperiodism in *Lemna perpusilla* 6746. Amer. Jour. Bot. **46**, 466—473.
- Hillman W. S., 1959b. Experimental control of flowering in *Lemna*. II. Some effects of medium composition, chelating agents and high temperatures on flowering in *Lemna perpusilla* 6746. Amer. Jour. Bot. **46**, 489—495.
- Hillman W. S. and Galston A., 1957. Inductive control of indoleacetic acid oxidase activity by red and near infrared light. Plant Physiology **32**, 129—135.
- Ikuma H. and Thimann K. V., 1960. Action of gibberellic acid on lettuce seed germination. Plant Physiology **35**, 557—566.
- Ikuma H. and Thimann K. V., 1961. Effects of nitrogen atmosphere on the germination of photosensitive lettuce seeds. Plant Physiology **36**, xlii suppl.
- Isikawa S. and Ishikawa T., 1960. Requirement of low temperature treatment following illumination in the germination of seed of *Elsholtzia*. Plant and Cell Physiol. **1**, 143—149.
- Jones M. B. and Bailey L. F., 1956. Light effects on the germination of seeds of henbit (*Lamium amplexicaule* L.). Plant Physiology **31**, 347—349.
- Kadman-Zahavi A., 1960. Effects of short and continuous illuminations on the germination of *Amaranthus retroflexus* seeds. Bull. Res. Coun. of Israel **9D**, 1—20.
- Kahn A., 1960a. An analysis of «dark — osmotic inhibition» of germination of lettuce seeds. Plant Physiology **35**, 1—7.
- Kahn A., 1960b. Promotion of lettuce seed germination by gibberellin. Plant Physiology **35**, 333—339.
- Liverman J. L., 1955. The physiology of flowering. Ann. Rev. Pl. Physiol. **6**, 177—210.

- Liverman J. L. and Bonner J., 1953. The interaction of auxin and light in the growth responses of plants. Proc. Nat. Acad. Sci. USA **39**, 905—916.
- Miller C. O., 1956. Similarity of some kinetin and red light effects. Plant Physiology **31**, 318—319.
- Mohr H., 1956. Die Beeinflussung der Keimung von Farnsporen durch Licht und andere Faktoren. Planta **46**, 534—551.
- Piringer A. A. and Heinze P. H., 1954. Effect of light on the formation of a pigment in the tomato fruit cuticle. Plant Physiology **29**, 467—472.
- Sircar S. M. and Biswas M., 1960. Viability and Germination Inhibitor of the Seed of Rice. Nature **187**, 620—621.
- Skinner C. G. and Shive W., 1959. Stimulation of lettuce seed germination by 6-(substituted) purines. Plant Physiology **34**, 1—3.
- Surrey K., 1961. Spectral response of phosphate metabolism in germinating lettuce seeds. Plant Physiology **36**, xlvii suppl.
- Toole E. H., Hendricks S. B., Borthwick H. A. and Toole V. K., 1956. Physiology of seed germination. Ann. Rev. Pl. Physiol. **7**, 299—324.
- Toole E. H., Toole V. K., Borthwick H. A. and Hendricks S. B., 1955. Photocontrol of *Lepidium* seed germination. Plant Physiology **30**, 15—21.
- Toole V. K., Toole E. H., Hendricks S. B. and Borthwick H. A., 1961. Responses of Seeds of *Pinus virginiana* to Light. Plant Physiology **36**, 285—290.
- Wareing P. F., 1956. Photoperiodism in woody plants. Ann. Rev. Pl. Physiol. **7**, 191—214.
- Wassink E. C. and Stolwijk J. A. J., 1956. Effects of light quality on plant growth. Ann. Rev. Pl. Physiol. **7**, 373—400.