



Janusz Podleśny

STUDIA NAD ODDZIAŁYWANIEM
ŚWIATŁA LASEROWEGO NA
NASIONA, WZROST I ROZWÓJ
ROŚLIN ORAZ PLONOWANIE
ŁUBINU BIAŁEGO
(*Lupinus albus* L.)

ROZPRAWA HABILITACYJNA

MONOGRAFIE
I ROZPRAWY
NAUKOWE

3

INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA I GLEBOZNAWSTWA
INSTITUTE OF SOIL SCIENCE AND PLANT CULTIVATION

Dyrektor: prof. dr hab. *Seweryn Kukula*



Recenzent
prof. dr hab. *Szymon Dziamba*

Opracowanie redakcyjne
dr *Irena Marcinkowska*

Nakład 250 egz., B-5, zam. 44/F/02
Dział Upowszechniania i Wydawnictw IUNG w Puławach
tel. (081) 8863421 w. 301, i 307; fax (081) 8864547
e-mail: iung@iung.pulawy.pl; <http://www.iung.pulawy.pl>

Janusz Podleśny

STUDIA NAD ODDZIAŁYWANIEM ŚWIATŁA
LASEROWEGO NA NASIONA, WZROST I ROZWÓJ
ROŚLIN ORAZ PLONOWANIE ŁUBINU BIAŁEGO
(*Lupinus albus* L.)

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP	7
2. PRZEGLĄD LITERATURY	7
2.1. Charakterystyka światła laserowego	7
2.2. Urządzenia do przedśiewnej biostymulacji nasion	8
2.3. Mechanizm oddziaływania światła laserowego na nasiona	9
2.4. Wpływ dawki promieniowania na efekty biostymulacji	11
2.5. Oddziaływanie światła laserowego na rozwój i plonowanie roślin	12
2.6. Wpływ promieniowania laserowego na jakość plonów	13
3. MATERIAŁ I METODY	14
3.1. Wpływ światła laserowego na niektóre procesy biochemiczne i fizjologiczne w roślinach w nasionach i roślinach łubinu białego	14
3.2. Wpływ przedśiewnej biostymulacji laserowej nasion na wzrost i rozwój łubinu białego w zróżnicowanych warunkach wilgotności i temperatury.....	15
3.3. Wpływ traktowania nasion promieniami laserowymi na rozwój oraz dynamikę gromadzenia suchej masy łubinu białego	16
3.4. Oddziaływanie światła laserowego na rozwój i plonowanie łubinu białego w warunkach pola doświadczalnego	16
4. WYNIKI BADAŃ	17
4.1. Aktywność enzymów amylolitycznych	18
4.2. Koncentracja wolnych rodników	19
4.3. Zawartość fitohormonów	20
4.4. Wpływ światła laserowego na kiełkowanie i wschody łubinu białego	22
4.5. Wzrost i rozwój roślin	26
4.6. Plonowanie roślin	35
4.7. Jakość plonu	38
5. DYSKUSJA	39
6. WNIOSKI	46
7. LITERATURA	49
8. SUMMARY	56
9. ANEKS – publikacje własne wykorzystane w rozprawie habilitacyjnej	59

1. WSTĘP

(11)

W rozwoju nowoczesnego rolnictwa, związanego z propagowaniem dobrej praktyki rolniczej i racjonalnym wykorzystaniem rolniczej przestrzeni produkcyjnej, dużą uwagę zwraca się na umiejętne i bezpieczne dla środowiska zwiększanie plonów roślin uprawnych. Bardzo ważnym czynnikiem plonotwórczym jest odpowiednie przygotowanie materiału siewnego, które ma na celu zwiększenie zdolności kiełkowania nasion i polepszenie wigoru wyrosłych z nich siewek (39). Młode rośliny o większym wigorze lepiej się rozwijają i lepiej znoszą niekorzystne (stresowe) czynniki siedliska, są mniej porażane przez choroby – wymagają mniejszej ochrony chemicznej. Przebieg wschodów decyduje zatem w dużym stopniu o późniejszym rozwoju i plonowaniu roślin. W przedsięwzięciu przygotowaniu nasion najczęściej stosowane są obecnie substancje chemiczne, głównie zaprawy nasienne i regulatory wzrostu. Rozwój rolnictwa integrowanego, kładącego duży nacisk na oszczędne gospodarowanie zasobami środowiska przyrodniczego, zmusza do znacznego ograniczenia stosowania tego typu środków, bowiem wiele substancji aktywnych może przenikać do wnętrza nasion, modyfikując ich skład chemiczny oraz do gleby powodując jej skażenie. Dlatego w ostatnich latach większą uwagę zaczęto zwracać na fizyczne czynniki mogące mieć zastosowanie w obróbce materiału siewnego (23, 25, 26, 57, 66, 69, 72). Ze względu na swoją specyfikę szczególnie przydatne do tego celu może być światło laserowe (1, 3, 10, 15, 50, 57, 119).

Celem przeprowadzonych eksperymentów było:

- określenie wpływu traktowania nasion promieniami laserowymi na niektóre procesy biochemiczne i fizjologiczne w nasionach i siewkach dwu form łubinu,
- określenie oddziaływania przedsięwzięcia traktowania nasion światłem laserowym na kiełkowanie, wschody oraz wzrost i rozwój łubinu białego rosnącego w optymalnych i niesprzyjających warunkach termiczno-wilgotnościowych,
- określenie wpływu naświetlania nasion na dynamikę gromadzenia plonu suchej masy całych roślin i poszczególnych organów roślinnych,
- określenie wpływu naświetlania nasion promieniami laserowymi na tempo wzrostu i rozwoju oraz plonowanie tradycyjnych i samokończących genotypów łubinu białego w warunkach doświadczenia polowego.

2. PRZEGLĄD LITERATURY

2.1. CHARAKTERYSTYKA ŚWIATŁA LASEROWEGO

(10)

W badaniach dotyczących napromieniowania nasion stosuje się najczęściej lasery helowo-neonowe małej mocy (20-40 mW) emitujące światło czerwone o długości fali $\lambda = 632 \text{ nm}$ (56). Spotyka się także prace naukowe, w których stosowano lasery rubinowe emitujące światło czerwone o długości fali $\lambda = 694 \text{ nm}$ (17), argonowe – światło zielone o długości fali $\lambda = 514 \text{ nm}$ (37) i azotowe – promieniowanie ultrafioletowe o długości fali $\lambda = 337 \text{ nm}$ (117). Przeważa jednak pogląd, że

lasery gazowe są najbardziej przydatne do tego typu badań, bowiem gaz w przeciwieństwie do kryształu ma strukturę jednorodną, brak w nim naprężeń, a atomy i cząstki aktywne są rozmieszczone równomiernie w całej objętości. Światło laserowe jest wytworzone w sposób zorganizowany, dzięki wykorzystaniu procesów wymuszonej emisji promieniowania i dlatego różni się od zwykłego światła, które charakteryzuje przypadkowość poszczególnych aktów emisyjnych i brak między nimi powiązania falowego. Laser wytwarza światło spójne i jednobarwne o wiązce równoległej. Spójność generowanego światła, czyli przestrzenno-czasowe uporządkowanie tworzących je oscylacji elektromagnetycznych, stanowi najistotniejszą cechę światła laserowego (73). Ponadto światło laserowe w przeciwieństwie do światła zwykłego charakteryzuje zwartość w bardzo wąskim paśmie tworzącym linię widmową. Wysoki stopień monochromatyczności światła laserowego jest podstawą licznych zastosowań w nauce i technice. Cechą charakterystyczną światła laserowego jest równoległość wiązki świetlnej wynikająca z mechanizmu akcji laserowej. Równoległość wiązki i mała szerokość linii emisyjnej pozwalają bardzo ostro zogniskować promieniowanie laserowe na obszarze o bardzo małych rozmiarach, wskutek czego uzyskuje się ogromną gęstość powierzchniową energii. Dlatego też promienie laserowe mogą bardzo szybko przenikać do wnętrza nasion. W literaturze przedmiotu nie ma wyników badań dotyczących określenia głębokości penetracji światła laserowego w poszczególnych częściach nasienia, ani szybkości przenikania promieniowania laserowego do jego wnętrza. Z prac niepublikowanych dotychczas wynika, że emitowana przez laser helowo-neonowy wiązka światła przenika do wnętrza nasienia w bardzo krótkim czasie mierzonym w ułamkach sekund. Badania widmowe owocni i okrywy nasiennej prowadzone przez B i d z i l a i in. (8) wykazały, że do zarodka i bielma dociera w bardzo krótkim czasie przede wszystkim czerwona część widma. Dlatego najprawdopodobniej światło lasera helowo-neonowego emitującego promieniowanie o barwie czerwonej oddziałuje najbardziej stymulująco na metabolizm nasion. Przypuszczenia te zostały potwierdzone częściowo również przez B l a a u w - J a n s e n i B l a a u w (9), K a r l a n d e r a i K r a u s a (50) oraz P o p p a (87), którzy wykazali szczególnie korzystny wpływ światła laserowego o barwie czerwonej na kiełkowanie oraz wzrost i rozwój roślin.

2.2. URZĄDZENIA DO PRZEDSIEWNEJ BIOSTYMULACJI NASION

W literaturze zagranicznej znajduje się niewiele danych szczegółowo opisujących urządzenia przeznaczone do przedśiewnego naświetlania nasion promieniami laserowymi. Podaje się najczęściej parametry fizyczne zabiegu naświetlania, głównie dawkę promieniowania, moc stosowanych laserów, czas napromieniowania. Szczegółowe opisy konstrukcyjne urządzeń stosowanych do napromieniowania nasion pochodzą głównie z literatury polskiej i dotyczą urządzeń skonstruowanych w Katedrze Fizyki Akademii Rolniczej w Lublinie (58). Najczęściej stosuje się naświetlanie nasion metodą wiązki naturalnej, wiązki rozbieżnej i nastawnych dawek energii.

Naświetlanie nasion wiązką naturalną odbywa się na nieruchomym przezroczystym stole z rowkami, w których równomiernie rozłożone są naświetlane nasiona. Nad stołem przesuwają się ruchem posuwisto-zwrotnym laser lub kilka laserów małej mocy 10-20 mW. Zaletą tej metody jest duża dokładność naświetlania poszczególnych nasion, wadą zaś mała jej wydajność. W technologii wiązki rozbieżnej nasiona naświetlane są podczas swobodnego spadku z rynn transportowej rozbieżną wiązką laserową uzyskaną poprzez przepuszczenie jej przez obiektyw mikroskopowy. Zaletą tej metody jest duża wydajność, a wadą na ogół mniejsza niż w przypadku wiązki naturalnej równomierność naświetlania poszczególnych nasion. Urządzenie do naświetlania nasion metodą dawek nastawnych ma podobną konstrukcję jak urządzenie do naświetlania nasion wiązką rozbieżną. Z tą różnicą, że w urządzeniu tym wykorzystano dwa lasery, których wiązki ulegają załamaniu w pryzmatach, a następnie rozczepieniu w obiektywach mikroskopów. W niektórych urządzeniach napromieniowanie nasion odbywa się podczas przesuwu taśmy z nasionami, nad którą umieszczony jest laser lub kilka laserów. Wielkość dawki napromieniowania nasion regulowana jest szybkością przesuwu taśmy (46, 96). Niekiedy do tego typu badań wykorzystuje się również urządzenia medyczne, w których występują lasery (116). We wszystkich opisanych urządzeniach naświetlaniu podlegają całe nasiona, a nie poszczególne ich części.

2.3. MECHANIZM ODDZIAŁYWANIA ŚWIATŁA LASEROWEGO NA NASIONA

Mechanizm oddziaływania światła laserowego na nasiona nie jest jeszcze dokładnie poznany. Brakuje dotychczas wystarczającej liczby wyników badań jednoznacznie wyjaśniających to zjawisko. Istnieje jednak kilka hipotez za pomocą których próbuje się wyjaśnić sposób oddziaływania promieniowania laserowego na materiał siewny. Zdaniem Grzesiuka i Kulki (41) światło wpływa bardzo wszechstronnie na nasiona, stąd wyjaśnienie tego zjawiska jest bardzo trudne. W największym stopniu modyfikuje ono jednak przebieg procesów enzymatycznych w nasionach. Według Sedlaka (98) energia promieniowania laserowego gromadzona jest w komórkach roślinnych pod postacią bioplazmy, którą stanowi przestrzeń wypełniona fotonami i polem elektromagnetycznym zapewniająca przepływ swobodnej energii dostarczanej przez fotony. Koncepcja bioplazmy daje jedynie teoretyczne przesłanki do wyjaśnienia zjawiska oddziaływania światła laserowego na nasiona, bowiem w niewystarczającym stopniu udokumentowana jest wynikami badań. Mechanizm oddziaływania światła laserowego na komórki roślinne objaśnia się niekiedy na podstawie wyników badań dotyczących wpływu tego światła na inne organizmy. Friedmann i in. (29) zakładają rezonansowe oddziaływanie promieniowania laserowego z biologicznymi „tarczami”, w skład których mogą wchodzić kompleksy flawinowe oraz cytochromy traktowane jako **specyficzne układy molekularne**, w których różnice poziomów energii elektronowej promieniowania laserowego zbliżone są do energii kwantu $h\nu$, co prowadzi do wzbudzenia elektronowo-oscylacyjnego „tarczy” i inicjuje ciąg następujących po

sobie procesów biochemicznych i fizykochemicznych. Duże znaczenie ma rezonansowe dopasowanie spektroskopowych parametrów „tarczy” do częstotliwości, mocy i dawki padającego promieniowania laserowego oraz stan fizjologiczny komórki spowodowany wpływem środowiska (109). Końcowy efekt biostymulacji spowodowany jest kaskadą sprzężonych procesów oksydoredukcyjnych, fosforylacji i transportu e^- i H^+ . Według R o s c h e r a i in. (92) oraz K l i m y i in. (54) tarczę taką mogą stanowić również endogenne porfiryny silnie absorbujące promieniowanie o barwie czerwonej. Energia wzbudzenia elektronowego przekazywana jest bezpromieniście cząsteczkom tlenu w stanie podstawowym. W tarczy zachodzi proces fotosensybilizowanego tworzenia elektronowo wzbudzonych molekuł 1O_2 i dimoli $^1(O_2)_2$. Małe stężenia 1O_2 modyfikują przebieg procesów biochemicznych i przyspieszają podziały komórek, duże natomiast powodują zniszczenie między innymi błon komórkowych.

Inną hipotezę tłumaczącą mechanizm biostymulacji nasion promieniami laserowymi przedstawił W a r n k e (122). Autor wyjaśnia sposób oddziaływania promieni laserowych za pomocą aktywacji ogniw łańcucha oddechowego prowadzącej do podwyższenia potencjału energetycznego komórki. W komórkach zasilanych substratami i energią promieniowania pojawiają się oscylacje stanów oksydoredukcyjnych. Pod wpływem tych zmian wzrasta metabolizm nasion. Powszechnie uważa się, że światło emitowane przez lasery małej mocy 20-40 mW wywołuje znikomy efekt cieplny, zwłaszcza że czas napromieniowania jest bardzo krótki.

Zarówno promienie jonizujące, jak i ultradźwięki powodują w białkach złożonych powstawanie wolnych rodników skupionych w aktywnych ogniskach rodnikowych, które w wyniku szybkiej reakcji łańcuchowej z tlenem tworzą nadtlenki. Reakcje utleniania zachodzące w lipoproteidach powodują zmiany w wewnętrznych warstwach protoplazmy. Pod wpływem tych zmian wzrasta aktywność enzymów hydrolitycznych, zwiększa się pobieranie wody przez nasiona. Następstwem tego jest szybkie uruchomienie substancji zapasowych zgromadzonych w nasionach, lepsze kiełkowanie nasion oraz szybszy wzrost kiełków (39). Badania G a l o w e j (32) wykazują wyraźne oddziaływanie promieniowania laserowego na aktywność α -amylazy w ziarniakach pszenicy ozimej. Szczególnie duży wpływ światła laserowego na aktywność α -amylazy stwierdzono po kilku dniach od wysiewu. T o t h i in. (118) donoszą, że w naświetlanych światłem lasera helowo-neonowego nasionach kukurydzy zachodzi szybsza redukcja zawartości cukrów prostych, powodowana wzrostem aktywności enzymów hydrolitycznych. Także z badań D r o z d i in. (18, 19) wynika, że promieniowanie laserowe prowadziło do zwiększonej koncentracji wolnych rodników w ziarniakach pszenicy ozimej. Ich liczba była uzależniona od odmiany i dawki promieniowania.

Wpływ promieniowania laserowego na nasiona i późniejszy rozwój roślin z nich wyrosłych jest jeszcze słabo poznany, niemniej wyniki przeprowadzonych dotychczas badań pozwalają przypuszczać, że pod wieloma względami jest ono podobne do działania promieni jonizujących i ultradźwięków.

2.4. WPLYW DAWKI PROMIENIOWANIA LASEROWEGO NA EFEKTY BIOSTYMULACJI

Panuje pogląd, że dawka promieniowania ma bardzo duży wpływ na wielkość efektów uzyskiwanych z naświetlania materiału siewnego światłem laserowym. Zdaniem I n y u s h i n a (45) dla każdego gatunku, a niekiedy także odmiany można wyznaczyć optymalną dawkę promieniowania oddziałującą najkorzystniej na stymulację rozwoju i plonowania. Przekroczenie tej dawki powoduje obniżkę plonu i jego jakości. Również w polskich warunkach R y b i Ń s k i i in. (93, 94) stwierdzili zdecydowaną obniżkę plonu jęczmienia jarego na skutek długiego czasu napromieniowania nasion światłem lasera helowo-neonowego. Na ogół do stymulacji kiełkowania, wzrostu, rozwoju i plonowania roślin stosuje się małe dawki promieniowania laserowego. Z danych literatury wynika, że pomimo tego, iż wielu badaczy stosuje lasery różnej mocy to jednak wielkość dawek napromieniowania nasion jest podobna, bowiem są one regulowane czasem naświetlania. Stosuje się najczęściej lasery małej mocy i stosunkowo długi czas naświetlania nasion mierzony w sekundach lub minutach (57, 96) bądź lasery większej mocy i krótki czas naświetlania mierzony w mili-, a niekiedy także w pikosekundach (123). Zdaniem I n y u s h i n a i in. (46) obok ustalenia dawki promieniowania bardzo ważna jest liczba naświetlań. Powszechnie uważa się, że nasiona powinno naświetlać się kilkakrotnie małymi dawkami promieniowania w celu wykluczenia możliwości powstawania mutacji. R y b i Ń s k i i in. (94) wykazali, że światło laserowe może powodować mutacje chlorofilowe jęczmienia jarego wówczas, gdy ziarniaki napromieniowane są światłem lasera o mocy 1 mW w ciągu 30 minut. Dlatego też w większości badań stosuje się naświetlanie 3–5-krotne, a czas napromieniowania nasion około kilku sekund. Autorzy większości badań dotyczących naświetlania nasion wykazują uzależnienie efektu naświetlania od stosowanej dawki. Spotyka się również takie prace, których autorzy nie stwierdzili wyraźnego wpływu dawki napromieniowania na wielkość badanych cech roślin – wszystkie stosowane dawki miały podobny wpływ (17). Można przypuszczać, że dla niektórych gatunków roślin istnieje pewien zakres promieniowania, w obrębie którego wszystkie dawki podobnie stymulują metabolizm nasion. Dopiero przekroczenie tego zakresu promieniowania daje często ujemny efekt naświetlania. Wielkość dawki ekspozycyjnej określa się najczęściej podając moc powierzchniową promieniowania laserowego w $\text{J} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

2.5. ODDZIAŁYWANIE ŚWIATŁA LASEROWEGO NA ROZWÓJ I PLONOWANIE ROŚLIN

Doniesienia literatury krajowej i zagranicznej wykazują, że światło laserowe wpływa nie tylko na zmiany w przebiegu procesów fizjologicznych i biochemicznych w nasionach, lecz również modyfikuje przebieg wzrostu i rozwoju roślin z nich wyrosłych. Szczególnie widoczny wpływ zabiegu naświetlania obserwuje się w początkowych fazach ich wzrostu i rozwoju. Naświetlane nasiona niektórych gatunków roślin uprawnych szybciej i równomierniej kiełkują. Najlepsze efekty związane z przyspieszeniem wschodów uzyskiwano u roślin warzywnych. W i l d e i in. (123) naświetlając nasiona fasoli, rzodkiewki i ogórków światłem lasera rubinowego uzyskali kilkudniowe przyspieszenie wschodów badanych gatunków roślin. Również D r o z d i in. (17) obserwowali polepszenie kiełkowania ziarniaków pszenicy po naświetlaniu ich światłem lasera helowo-neonowego. Na uwagę zasługuje fakt, że wszystkie dawki stosowanego napromieniowania miały dodatni wpływ na kiełkowanie. Pozytywne rezultaty dotyczące wpływu naświetlania nasion na ich kiełkowanie obserwowano również w innych doświadczeniach prowadzonych w warunkach laboratoryjnych. Wydaje się, że wielkość uzyskiwanego efektu zależy w dużym stopniu od wilgotności i temperatury gleby (35). Na ogół uważa się, że w warunkach doświadczeń polowych uzyskuje się mniejszy wpływ napromieniowania nasion na rozwój roślin z nich wyrosłych niż w warunkach doświadczeń wazonowych czy laboratoryjnych. G i e r o b a i in. (33), S o n (104) oraz V a s i l i e n k o i K u z n i e c o v (120) obserwowali wyraźne przyspieszenie zakwitania i dojrzewania roślin wyrosłych z nasion napromieniowanych. Zdaniem G r z e s i u k a (40) niektóre czynniki fizyczne mogą oddziaływać na nasiona roślin uprawnych powodując ich szybsze dojrzewanie. Skrócenie okresu wegetacji zmniejsza długość okresu, w którym rośliny porażane są przez choroby i szkodniki, w związku z tym rośliny wyrosłe z nasion napromieniowanych wymagają mniejszych ilości środków chemicznych, co ma znaczenie zarówno ekologiczne, jak i ekonomiczne (123). Ponadto z badań M o d z h e i e v y (63) wynika, że rośliny wyrosłe z nasion napromieniowanych wymagają mniejszego nawożenia azotem niż rośliny z nasion nie napromieniowanych. Skrócenie okresu wegetacji ma szczególne znaczenie w uprawie roślin późno dojrzewających (34, 108), które do prawidłowego zbioru wymagają stosowania środków chemicznych przyspieszających dojrzewanie lub wysychanie. Napromieniowanie nasion wpływa także na cechy morfologiczne roślin, między innymi na wysokość roślin, powierzchnię liściową, masę części nadziemnej i korzeni (1,45).

Większość dotychczas przeprowadzonych badań nad wpływem światła laserowego na materiał siewny roślin uprawnych dotyczyła wielkości efektu uzyskiwanego w postaci zwyczajki plonu. Na ogół badacze zajmujący się tą tematyką stwierdzali wyraźny przyrost plonu badanych gatunków, który niekiedy osiągał 15–20% plonu uzyskiwanego w kontroli (45, 57, 59). W literaturze krajowej i zagranicznej spotyka się także nieliczne prace, w których uzyskiwane efekty wyni-

kające z napromieniowania nasion były widoczne jedynie w początkowym okresie rozwoju roślin (15). W dostępnej literaturze nie spotyka się prac, w których uzyskano ujemny wpływ napromieniowania nasion, z wyjątkiem tych, w których stosowano bardzo duże dawki naświetlania w celach hodowlanych. Zdaniem *Inyushina* (45) oraz *Shepparda i Chubey* (99) szczególnie duże efekty wynikające z napromieniowania nasion uzyskuje się w odniesieniu do roślin warzywnych, nieco mniejsze w przypadku zbóż i okopowych. Potwierdzają to również doniesienia *Gładyszewskiej i Kopera* (36) dotyczące wpływu światła laserowego na nasiona pomidorów uprawianych w warunkach szklarniowych. Autorzy, oprócz wyraźnej wyższy plonu owoców dwóch odmian pomidora stwierdzili kilkudniowe przyspieszenie zakwitania roślin i dojrzewania owoców. Uzyskano również znaczące wyższy plonu na skutek napromieniowania ziarniaków zbóż (24, 91, 93, 94). Stwierdzono, że przyrost plonu ziarna następował na skutek zwiększenia liczby i masy ziaren z kłosa. *Inyushin* (45) wykazał, że naświetlanie nasion zbóż powodowało również zwiększenie ich krzewistości produkcyjnej. Z badań *Wójcika i Bojarskiej* wynika (126), że promienie lasera helowo-neonowego stymulują także plonowanie niektórych roślin okopowych. *Dziamba i Koper* (24) badając wpływ światła laserowego na rozwój i plonowanie pszenicy jarej stwierdzili uzależnienie wielkości uzyskanej wyższy plonu od przebiegu warunków pogodowych w latach badań. Autorzy nie podali jednak w jakich warunkach pogodowych rośliny wyrosłe z nasion napromieniowanych najlepiej rozwijały się i plonowały.

2.6. WPLYW PROMIENIOWANIA LASEROWEGO NA JAKOŚĆ PLONÓW

W dostępnej literaturze krajowej i zagranicznej jest niewiele wyników badań dokumentujących w sposób jednoznaczny wpływ traktowania nasion promieniami laserowymi na jakość uzyskiwanych plonów. Dodatni wpływ naświetlania nasion na zawartość cukru w korzeniach buraka cukrowego stwierdzili między innymi *Inyushin* (46), *Koper i in.* (58) oraz *Wójcika i Bojarska* (126). *Dobrowolski* (14) wykazał wpływ światła laserowego na zawartość niektórych mikroelementów w owocach pomidorów. Zwiększenie zawartości tłuszczu w nasionach konopi stwierdziła *Ivanova* (47), a zawartości węglowodanów i niektórych witamin *Andruszkin i Dudnik* (4) oraz *Cholakov* (12). Natomiast *Vasilenko i in.* (120) oraz *Andruszkin i Dudnik* (4) stwierdzili zwiększenie zawartości chlorofilu w liściach pszenicy jarej i lnu. Badania *Yuzhanga i in.* (128) wskazują na oddziaływanie światła laserowego na polepszenie jakości włókna bawełny. Nie u wszystkich badanych gatunków roślin uprawnych następuje polepszenie jakości plonu na skutek zabiegu napromieniowania nasion. Na przykład *Gieroba i in.* (33) nie stwierdzili wyraźnej różnicy w zawartości białka i tłuszczu w ziarnie kukurydzy zebranych z roślin wyrosłych z napromieniowanego i nie napromieniowanego materiału siewnego.

3. MATERIAŁ I METODY

Szczegółowy opis stosowanych metod badawczych zawarty jest w poszczególnych publikacjach stanowiących część składową niniejszej monografii. W rozdziale „Materiał i metody” przedstawiono jedynie krótką charakterystykę metod badawczych, ograniczając się do wymienienia czynników doświadczeń. Dokładnego opisu metodyki badań dokonano wówczas, gdy dotyczyła ona części wyników nie zamieszczonych w załączonych publikacjach.

3.1. WPŁYW ŚWIATŁA LASEROWEGO NA NIEKTÓRE PROCESY BIOCHEMICZNE I FIZJOLOGICZNE W NASIONACH I ROŚLINACH ŁUBINU BIAŁEGO

Doświadczenia dotyczące wpływu naświetlania nasion na niektóre procesy biochemiczne i fizjologiczne w nasionach i roślinach łubinu białego przeprowadzono w Zakładzie Uprawy Roślin Pastewnych IUNG w Puławach, przy współpracy Zakładu Biochemii i Jakości Plonów IUNG w Puławach, Zakładu Fizyki Doświadczalnej UMCS w Lublinie i Instytutu Medycyny Wsi w Lublinie. W publikacji (82) omówiono stosowane metody badawcze dotyczące określania aktywności enzymów amylolitycznych i koncentracji wolnych rodników. Za miarę aktywności enzymów przyjęto ilość glukozy uwolnionej ze skrobi przez kompleks enzymów zawartych w supernatancie. Zawartość skrobi oznaczano metodą *S m o g y - N e l - s o n a* (103). Czynnikiem I rzędu były dwa genotypy łubinu białego: Bardo – forma tradycyjna i Katon – forma samokończąca, natomiast czynnikiem II rzędu – trzy dawki promieniowania laserowego: *D0* – brak naświetlania, *D3* – trzykrotne naświetlanie, *D5* – pięciokrotne naświetlanie nasion. Koncentrację wolnych rodników określano metodą Elektronowego Rezonansu Paramagnetycznego (28, 111, 114). Czynnikiem I rzędu były dwa genotypy łubinu białego: Bardo – forma tradycyjna i Katon – forma samokończąca, natomiast czynnikiem II rzędu – pięć dawek promieniowania laserowego: *D0* – brak naświetlania, *D1* – jednokrotne naświetlanie, *D2* – dwukrotne naświetlanie, *D3* – trzykrotne naświetlanie, *D4* – czterokrotne naświetlanie, *D5* – pięciokrotne naświetlanie nasion.

W prezentowanym opracowaniu dodatkowo podano wyniki oznaczeń zawartości fitohormonów IAA i GA_3 w nasionach i roślinach. Zawartość fitohormonów oznaczano metodą chromatografii wysokociśnieniowej HPLC (43, 44, 65). Analizy wykonano na chromatografie cieczowym HP-1050. Do 10 g rozdrobionej wstępnie masy roślinnej dodawano 100 ml roztworu (2:1) acetonu i wody. Następnie mieszaninę rozdrabniano w moździerzu i całość przechowywano w szczelnie zamkniętej kolbie przez okres 1 doby w temperaturze $+4^{\circ}C$. Zawartość kolby sączono przez spiek szklany, a następnie przesącz zateżano na wyparce próżniowej do objętości mniejszej niż 20 ml na 1 g suchej masy. Roztwór przelewano następnie do pojemników uzupełniając wodą destylowaną do objętości 20 ml na 1 g s.m.

i zamrażano w temperaturze -20°C . Następnie kolejno rozmrażano i wirowano roztwór pobierając 2 razy po 5 ml supernatantu. Do pierwszej porcji dodawano 50 μl acetonitrylu, a do drugiej 50 μl acetonitrylu zawierającego 10 000 ng IAA i 36000 ng GA_3 . Obydwie porcje zakwaszano do $\text{pH} = 2$ za pomocą 10% HCL i ekstrahowano 2 razy po 5 ml – mieszaniny butanol i octan metylu (1:1). Ekstrakty odparowano pod próżnią do sucha (temperatura łaźni 40°C) i pozostałość rozpuszczono w 10 ml 20% roztworu metanolu w wodzie. Roztwory przepuszczano przez kolumnienki anionitu DOWEX 1x8 100-200 Mesch. obj. 1 ml. Następnie przepłukano 10 ml 20% roztworu metanolu a później 10 ml 0,2 N octanem sodu – 80 cz. i metanolu – 20 cz. (V:V). Następnie 20 ml kwasem octowym i metanolem (1:1). Wyciek ten zateżano na wyparce do sucha (temperatura łaźni 40°C) i dodawano do pozostałości 500 μl fazy ruchomej. Dozowano do pętli w chromatografii cieczowym 20 μl GA_3 oznaczano na detektorze UV 254 nm, faza ruchoma – 0,15 M octan cynku, 0,05% kwas octowy, 0,75% acetonitrylu. Uzyskane wykresy porównywano z wzorcem planimetrycznie. IAA oznaczano na detektorze fluoroscencyjnym E_x 292, E_m 362, faza ruchoma MeOH, acetonitryl, bufor 20/20/60 (0,05 M kwasu octowego, 0,005 M octan sodu). Kolumna ODS Hypersil 5 μm 200x4,6 nm. Ilość IAA wyliczano ze stosunku wysokości pików w próbkach bez i z dodatkiem znanej ilości IAA. Eksperymenty dotyczące określania aktywności enzymów amylolitycznych, koncentracji wolnych rodników oraz zawartości niektórych fitohormonów w nasionach i roślinach łubinu białego przeprowadzono w 3 seriach, każda w 4 powtórzeniach.

3.2. WPŁYW PRZEDSIĘWNEJ BIOSTYMULACJI LASEROWEJ NASION NA WZROST I ROZWÓJ ŁUBINU BIAŁEGO W ZRÓŻNICOWANYCH WARUNKACH WILGOTNOŚCI I TEMPERATURY

W publikacji (79) omówiono szczegółowo stosowane metody badawcze. Eksperyment dotyczący wpływu biostymulacji laserowej na wzrost i rozwój roślin w warunkach zróżnicowanej wilgotności prowadzono przez okres 120 dni. Rośliny zbierano w okresie dojrzałości pełnej. Czynnikiem I rzędu była zróżnicowana wilgotność gleby, a czynnikiem II rzędu zróżnicowane dawki promieniowania laserowego: $D0$ – brak naświetlania, $D3$ – naświetlanie trzykrotne, $D5$ – naświetlanie pięciokrotne. Eksperyment dotyczący wpływu biostymulacji laserowej na wzrost i rozwój roślin w warunkach zróżnicowanej temperatury prowadzono przez okres 35 dni. Rośliny zbierano w fazie 3-4 liści. Czynnikiem I rzędu były zróżnicowane warunki termiczne, a czynnikiem II rzędu były zróżnicowane dawki promieniowania laserowego: $D0$ – brak naświetlania, $D1$ – naświetlanie jednokrotne, $D3$ – naświetlanie trzykrotne, $D5$ – naświetlanie pięciokrotne i $D7$ – naświetlanie siedmiokrotne.

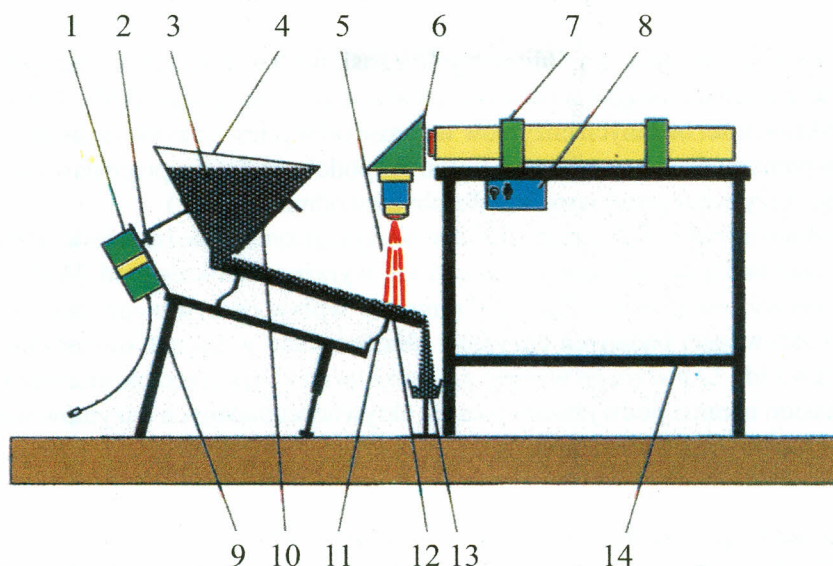
3.3. WPŁYW TRAKTOWANIA NASION PROMIENIAMI LASEROWYMI NA ROZWÓJ ORAZ DYNAMIKĘ GROMADZENIA SUCHEJ MASY ŁUBINU BIAŁEGO

W publikacji (81) podano dokładny opis stosowanych metod badawczych. Dynamikę przyrostu masy określono na podstawie bezwzględnej (GR) i względnej (RGR) szybkości wzrostu wykorzystując wzory E v a n s a (30). Czynnikiem I rzędu były dwie odmiany łubinu białego: Bardo – forma tradycyjna i Katon – forma samokończąca, a czynnikiem II rzędu dawki promieniowania laserowego: *D0* – bez naświetlania, *D3* – trzykrotne naświetlanie, *D5* – pięciokrotne naświetlanie nasion. W prezentowanym opracowaniu dodatkowo podano wyniki pomiarów intensywności fotosyntezy netto mierzonej w okresie kwitnienia, zawiązywania strąków i wypełniania nasion aparatem do pomiaru parametrów wymiany gazowej LI-COR 6400 oraz indeksu zieloności liścia (SPAD) mierzonego w tych samych terminach przy wykorzystaniu aparatu N-Tester SPAD 502.

3.4. ODDZIAŁYWANIE ŚWIATŁA LASEROWEGO NA ROZWÓJ I PŁONOWANIE ŁUBINU BIAŁEGO W WARUNKACH POLADOŚWIADCZALNEGO

W publikacji (80) podano szczegółowy opis metodyki badań. Czynnikiem I rzędu były dwie odmiany łubinu białego: Bardo – typ tradycyjny i Katon – typ samokończący, natomiast czynnikiem II rzędu pięć dawek promieniowania laserowego: *D0* – bez naświetlania (kontrola), *D1* – jednokrotne naświetlanie, *D2* – dwukrotne naświetlanie, *D3* – trzykrotne naświetlanie, *D4* – czterokrotne naświetlanie, *D5* – pięciokrotne naświetlanie nasion. W prezentowanym opracowaniu dodatkowo podano metody oceny składu chemicznego. W nasionach po zbiorze określano: zawartość białka – przeliczoną z zawartości N określonego metodą spektrofotometrii przepływowej według PN - 91/R-04014, tłuszczu – metodą wagową według Soxhleta PN - 76/R-64753, włókna surowego – metodą wagową PN - 87/R-64814 oraz niektórych makroskładników: fosforu – metodą spektrometrii przepływowej, potasu i sodu – metodą emisji spektrometrii płomieniowej, wapnia i magnezu – metodą spektrometrii absorpcji. Mineralizację prób do oznaczania makroelementów wykonano na drodze mokrej (stężony H_2SO_4 + perhydrol) według PN - 91/R-04014.

Naświetlania nasion dokonano w Katedrze Fizyki AR w Lublinie (58), wykorzystując urządzenie do przedsięwziętej obróbki nasion promieniowaniem laserowym (rys. 1). Dawka pojedynczej ekspozycji w każdym eksperymencie wynosiła $4 \cdot 10^{-3} \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Wyniki badań opracowano statystycznie metodą analizy wariancji. W przypadku braku współdziałania badanych cech z latami, wyniki przedstawiono jako średnie.



1 – wibrator; vibrator, 2 – łącznik; bond, 3 – nasiona; seeds, 4 – zbiornik zasypowy; filled up reservoir, 5 – wiązka laserowa; laser beam, 6 – pryzmat; prism, 7 – laser helowo-neonowy; helium-neon laser, 8 – zasilacz lasera; laser feeder, 9 – podstawa zbiornika; base of reservoir, 10 – zasuwa regulacyjna; regulation bar, 11 – uchwyt rynienki; gutter holder, 12 – rynienka zsykowa; chutes gutter, 13 – zbiornik na nasiona; reservoir on seeds, 14 – podstawa; bedplate

Rys. 1. Schemat urządzenia do naświetlania nasion wiązką laserową
Schema of mechanism to seeds irradiation by laser beam

Sporządzono również wykresy regresji obrazujące przebieg zmian najważniejszych cech morfologicznych i użytkowych roślin w okresie wegetacji. W analizie statystycznej posługiwano się półprzedziałem ufności Tukeya przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

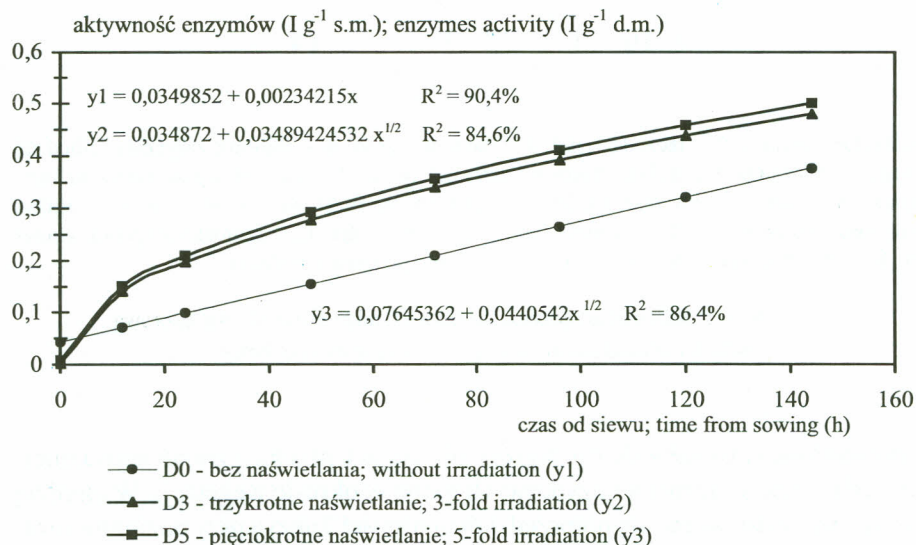
4. WYNIKI BADAŃ

Większość wyników badań własnych przedstawionych w niniejszej pracy została zamieszczona w czterech publikacjach oryginalnych cytowanych w odpowiednich podrozdziałach i włączona do pracy. W rozdziale „Omówienie wyników” przedstawiono syntetyczne zestawienie wyników publikowanych w w/w pracach oraz szczegółowy opis wyników badań własnych dotychczas niepublikowanych. Materiał dokumentacyjny dotyczący omawianych wyników znajduje się w załączonych publikacjach.

4.1. AKTYWNOŚĆ ENZYMÓW AMYLOLITYCZNYCH

Aktywność enzymów amylolitycznych w nasionach wzrastała w miarę upływu czasu od wysiewu i osiągnęła najwyższą wartość po 96 godzinach (82). Przebieg zmian aktywności badanych enzymów w czasie od wysiewu nasion do ostatniego terminu pomiaru dla odmian Bardo i Katon był podobny, dlatego przedstawiono go w postaci krzywej regresji wspólnie dla obydwu odmian (rys. 2).

Przedsiewne naświetlanie materiału siewnego przyczyniało się istotnie do wzrostu aktywności badanych enzymów szczególnie wyraźnie w okresie od 24 do 144 godzin od wysiewu nasion. Znacznie mniejszy wpływ opisywanego zabiegu na poziom aktywności badanych enzymów obserwowano w początkowym okresie od wysiewu (do 12 godzin po wysiewie). Zarówno trzy-, jak i pięciokrotne naświetlanie nasion istotnie podwyższało poziom aktywności badanych enzymów w odniesieniu do obydwu form łubinu.



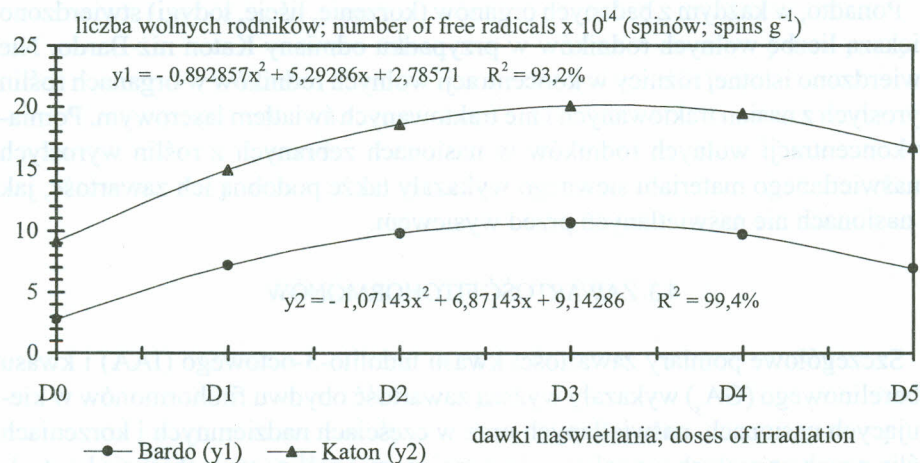
Rys. 2. Przebieg zmian aktywności enzymów amylolitycznych w nasionach i siewkach łubinu białego traktowanych i nie traktowanych promieniami laserowymi
Course of changes of amylolytic enzymes activity in the seeds and seedlings of white lupine treated and non-treated by laser irradiation

Pęczniejące nasiona, a później siewki łubinu białego odmiany Bardo miały zdecydowanie większą masę niż w analogicznym terminie pomiaru nasiona i siewki odmiany Katon. Przedsiewne napromieniowanie materiału siewnego wpływało na masę pęczniejących nasion łubinu białego (82). Naświetlone nasiona łubinu zwiększyły istotnie swoją masę w porównaniu z nasionami nie naświetlonymi. Średnia masa 1 nasiona odmiany Bardo w okresie od wysiewu do kiełkowania wynosiła

0,71 g, a odmiany Katon 0,58 g. Różna też była dynamika zmiany masy pęczniejących nasion traktowanych i nie traktowanych przedświeczeniem światłem laserowym. Nasiona naświecane w porównaniu z nasionami nie naświecane szybciej zwiększały masę podczas pęcznienia. Przyrost masy pęczniejących nasion był większy w przypadku odmiany Katon niż odmiany Bardo, natomiast w odniesieniu do masy siewek było odwrotnie.

4.2. KONCENTRACJA WOLNYCH RODNIKÓW

W przeprowadzonych badaniach obserwowano zróżnicowaną koncentrację wolnych rodników w nasionach obydwu odmian łubinu białego (82). W nasionach łubinu samokończącej formy Katon stwierdzono ponad dwukrotnie większą liczbę wolnych rodników niż w nasionach formy tradycyjnej Bardo. Stwierdzono istotne różnice w koncentracji wolnych rodników w próbkach nasion naświecanych i nie naświecanych światłem laserowym; koncentracja ta początkowo wzrastała wraz ze wzrostem dawki promieniowania laserowego, a następnie po osiągnięciu maksymalnej wartości obniżała się (rys. 3).



Rys. 3. Przebieg zmian koncentracji wolnych rodników w nasionach bezpośrednio po naświecaniu różnymi dawkami promienia laserowego

Corse of changes of free radicals concentration in the white lupine seeds directly after irradiation by different doses of laser light

Pomiary prowadzone w późniejszym terminie, kiedy rośliny były w fazie początkowego rozwoju (faza 2-3 liści) wykazały, że koncentracja wolnych rodników w poszczególnych, badanych organach roślin łubinu jest zróżnicowana (tab. 1).

Tabela 1

Liczba wolnych rodników w organach roślin wyrosłych z nasion napromieniowanych i kontrolnych $\times 10^{14}$ (spinów g^{-1})

Number of free radicals at organs of plants grew from irradiated and control seeds ($\times 10^{14}$ spins $\cdot \text{g}^{-1}$)

Wyszczególnienie Description	Łodygi Stems	Liście Leaves	Korzenie Roots	Nasiona Seeds
Odmiany; Varieties				
Bardo	1,4a	3,3a	2,8a	6,3a
Katon	3,4b	5,0b	3,8b	10,6b
Dawki naświetlania Doses of irradiation				
D0	2,4a	3,7a	3,1a	8,4a
D1	2,2a	3,6a	3,3a	8,1a
D2	2,4a	3,7a	3,1a	8,6a
D3	2,4a	3,9a	3,5a	9,0a
D4	2,5a	3,8a	3,2a	8,3a
D5	2,4a	4,0a	3,6a	8,6a

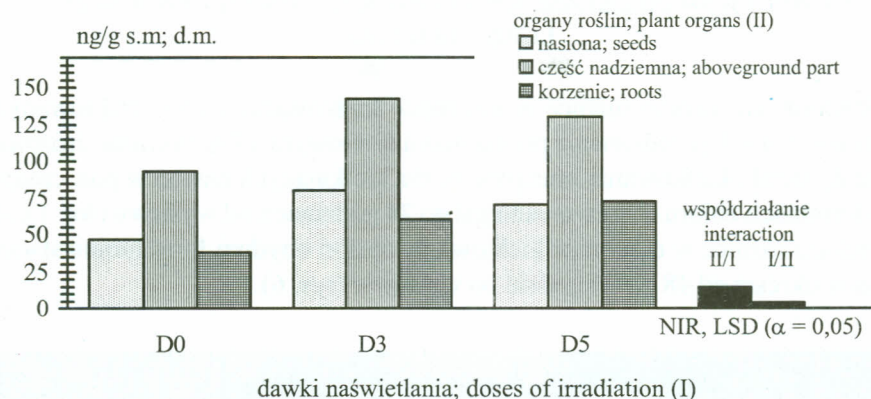
* liczby w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie
values in columns marked with the same letters do not differ significantly

Ponadto, w każdym z badanych organów (korzenie, liście, łodygi) stwierdzono większą liczbę wolnych rodników w przypadku odmiany Katon niż Bardo. Nie stwierdzono istotnej różnicy w koncentracji wolnych rodników w organach roślin wyrosłych z nasion traktowanych i nie traktowanych światłem laserowym. Pomiar koncentracji wolnych rodników w nasionach zebranych z roślin wyrosłych z naświetlanego materiału siewnego wykazały także podobną ich zawartość, jak w nasionach nie naświetlanych przed wysiewem.

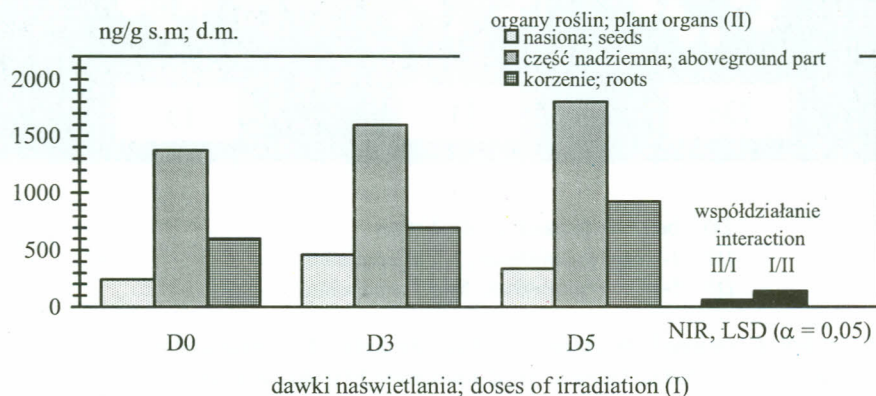
4.3. ZAWARTOŚĆ FITOHORMONÓW

Szczegółowe pomiary zawartości kwasu indolilo-3-octowego (IAA) i kwasu giberelinowego (GA_3) wykazały wyższą zawartość obydwu fitohormonów w kiełkujących nasionach naświetlanych oraz w częściach nadziemnych i korzeniach roślin z nich wyrosłych w porównaniu z nasionami i roślinami w obiekcie kontrolnym (rys. 4 i 5).

Dawka 3-krotnego naświetlania wpływała w największym stopniu na przyrost zawartości IAA w nasionach i częściach nadziemnych, a dawka 5-krotnego naświetlania na przyrost zawartości IAA w korzeniach roślin. Natomiast największy przyrost zawartości GA_3 stwierdzono w nasionach roślin wyrosłych z materiału roślinnego naświetlanego 3-krotnie oraz w części nadziemnej i korzeniach roślin wyrosłych z nasion 5-krotnie naświetlanych. Nie stwierdzono istotnej różnicy w zawartości IAA i GA_3 między nasionami naświetlanymi trzy- i pięciokrotnie. Największą zawartość badanych fitohormonów stwierdzono w części nadziemnej roślin łubinu, natomiast znacznie mniejszą w kiełkujących nasionach i korzeniach.



Rys. 4. Zawartość kwasu indolio-3-octowego (IAA) w nasionach, części nadziemnej i korzeniach łubinu białego w zależności od dawki naświetlania
 Content of IAA in the seeds, aboveground part and roots of white lupine treated and non treated by laser light

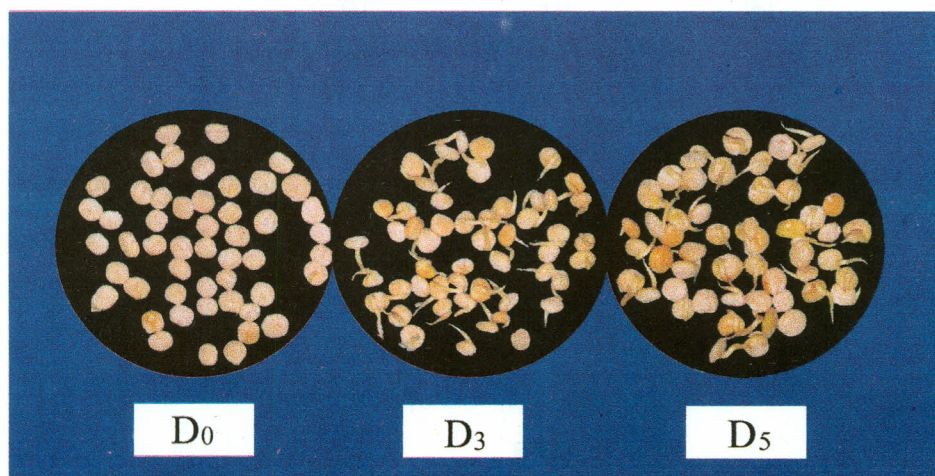


Rys. 5. Zawartość kwasu giberelinowego (GA_3) w nasionach, części nadziemnej i korzeniach łubinu białego w zależności od dawki naświetlania
 Content of GA_3 in the seeds, aboveground part and roots of white lupine treated and non treated by laser light

Nie stwierdzono istotnej różnicy w zawartości IAA i GA_3 między badanymi odmianami łubinu białego. Na skutek napromieniowania materiału siewnego przyrost zawartości IAA w kiełkujących nasionach oraz części nadziemnej i korzeniach wyrosłych z nich roślin w stosunku do zawartości IAA w nasionach i częściach roślin w obiekcie kontrolnym wynosił odpowiednio: 49,5; 45,6 i 46,4%, a GA_3 odpowiednio: 51,7; 25,6 i 19,1%.

5.4. WPŁYW ŚWIATŁA LASEROWEGO NA KIEŁKOWANIE I WSCHODY ŁUBINU BIAŁEGO

Stwierdzono istotne różnice w dynamice kiełkowania nasion traktowanych i nie traktowanych przedsięwzięcie promieniami laserowymi (79). Wyraźne zróżnicowanie dynamiki kiełkowania mierzone liczbą kiełkujących nasion w poszczególnych terminach zbioru obserwowano już po 24 godzinach od wysiewu (fot. 1), ale największe różnice w dynamice kiełkowania nasion obydwu form łubinu stwierdzono w okresie od 48 do 96 godzin po wysiewie (rys. 6).

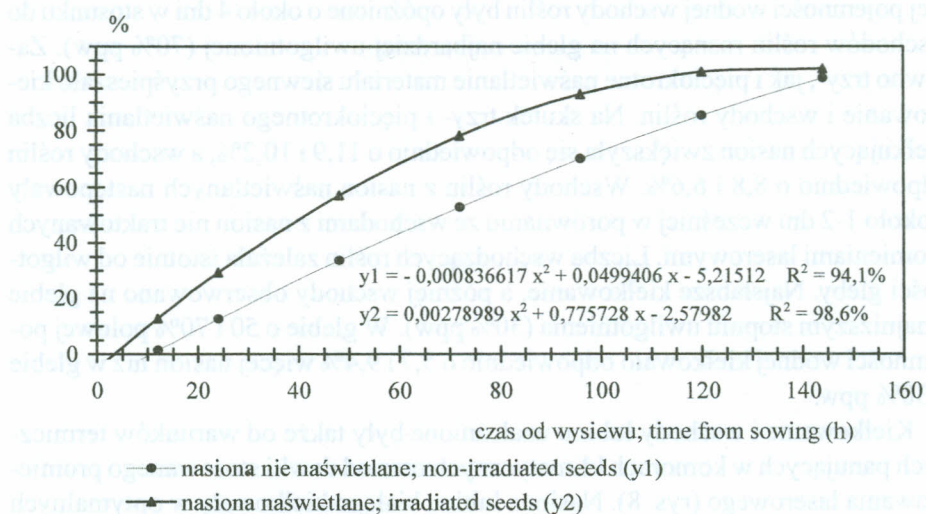


D0 – bez naświetlania; no irradiation
D3 – 3-krotne naświetlanie; 3-fold irradiation
D5 – 5-krotne naświetlanie; 5-fold irradiation

Fot. 1. Nasiona łubinu białego odmiany Bardo po 24 godzinach od wysiewu
 White lupine seeds Bardo variety 24 h after sowing

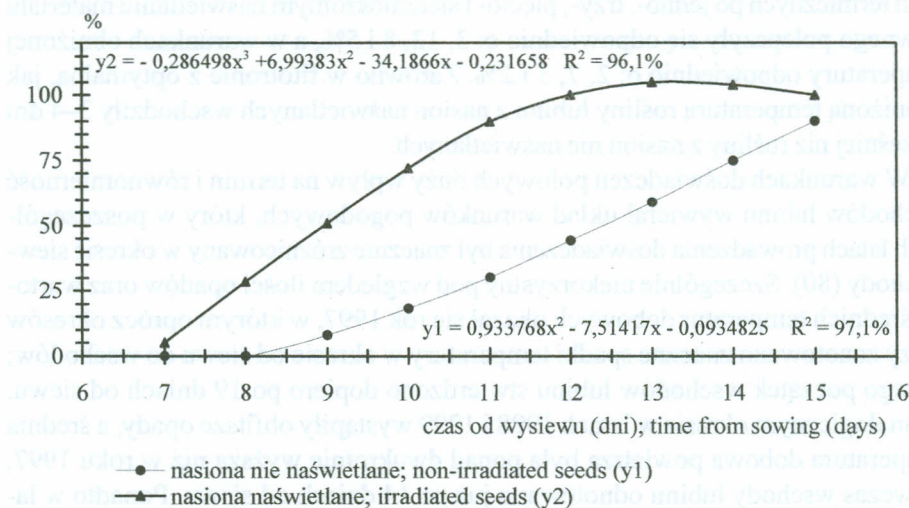
W warunkach hali wegetacyjnej wschody łubinu białego z nasion naświetlanych wystąpiły po 7, a z nasion nie naświetlanych po 8 dniach od wysiewu (rys. 7). Rośliny łubinu białego odmiany Katon wschodziły wcześniej przeciętnie o około 1-2 dni niż odmiany Bardo (81). Obydwie zastosowane dawki naświetlania wpływały korzystnie na przyspieszenie wschodów roślin. Wschody łubinu odmiany Katon były szybsze i bardziej równomierne niż odmiany Bardo.

Tempo kiełkowania i wschodów łubinu białego uzależnione było od wilgotności gleby i temperatury powietrza oraz od dawki stosowanego promieniowania laserowego (79). Najwcześniej wschodziły i najlepiej rozwijały się rośliny uprawiane na glebie o 70% polowej pojemności wodnej. Wraz ze zmniejszaniem się zawartości wody w glebie obserwowano opóźnienie wschodów roślin. Na glebie o 30% polo-



Rys. 6. Dynamika kiełkowania nasion traktowanych i nie traktowanych światłem laserowym w doświadczeniach wazonowych

Dynamic of germination of treated and non treated seeds by laser light at pot experiments



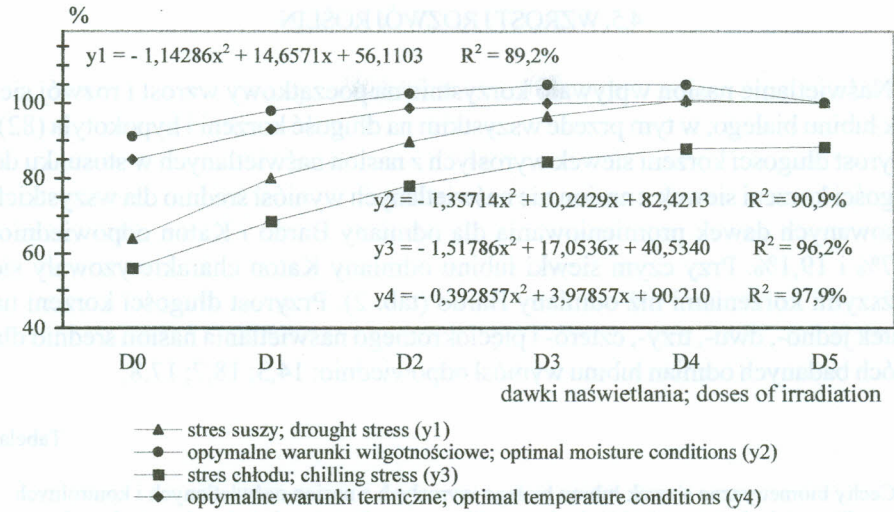
Rys. 7. Dynamika wschodów łubinu białego w doświadczeniach wazonowych

Dynamic of white lupine emergence at pot experiments

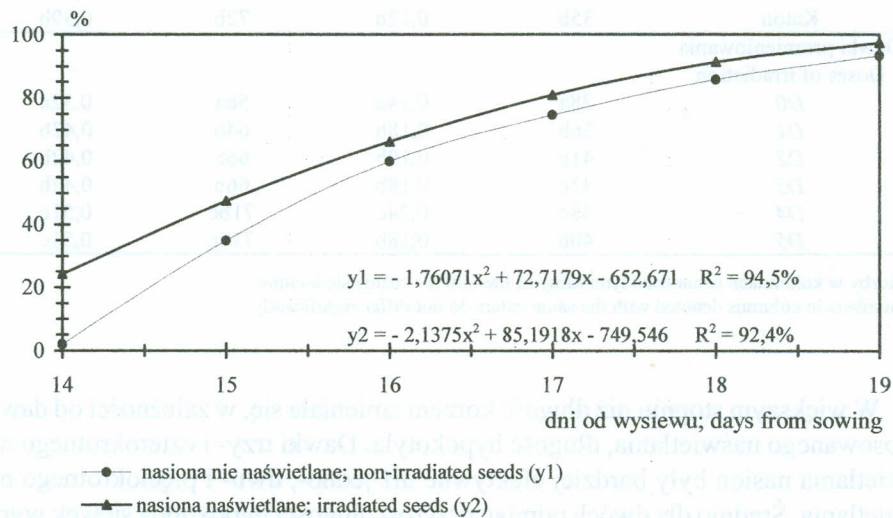
wej pojemności wodnej wschody roślin były opóźnione o około 4 dni w stosunku do wschodów roślin rosnących na glebie najbardziej uwilgotnionej (70% ppw). Zarówno trzy-, jak i pięciokrotne naświetlanie materiału siewnego przyspieszało kiełkowanie i wschody roślin. Na skutek trzy- i pięciokrotnego naświetlania liczba kiełkujących nasion zwiększyła się odpowiednio o 11,9 i 10,2%, a wschody roślin odpowiednio o 8,8 i 6,6%. Wschody roślin z nasion naświetlanych następowały o około 1-2 dni wcześniej w porównaniu ze wschodami z nasion nie traktowanych promieniami laserowymi. Liczba wschodzących roślin zależała istotnie od wilgotności gleby. Najślabsze kiełkowanie, a później wschody obserwowano na glebie o najniższym stopniu uwilgotnienia (30% ppw). W glebie o 50 i 70% polowej pojemności wodnej kiełkowało odpowiednio o 5,7 i 9,4% więcej nasion niż w glebie o 30% ppw.

Kiełkowanie i wschody łubinu uzależnione były także od warunków termicznych panujących w komorach klimatycznych oraz od dawki stosowanego promieniowania laserowego (rys. 8). Nasiona łubinu białego kiełkowały w optymalnych warunkach termicznych zdecydowanie lepiej niż w warunkach obniżonej temperatury (79). W niższej temperaturze wschodziło około 20% mniej roślin, a wschody były późniejsze o około 8-9 dni niż w optymalnych warunkach termicznych. Istotny wpływ na kiełkowanie i wschody łubinu, niezależnie od odmiany, miało przedśiewne naświetlanie nasion promieniami lasera. Większy wpływ tego zabiegu na kiełkowanie i wschody roślin stwierdzono w odniesieniu do roślin uprawianych w optymalnych warunkach termicznych. Wschody łubinu białego w tych warunkach termicznych po jedno-, trzy-, pięcio- i siedmiokrotnym naświetlaniu materiału siewnego polepszyły się odpowiednio o: 3, 12, 8 i 5%, a w warunkach obniżonej temperatury odpowiednio o: 2, 7, 3 i 2%. Zarówno w fitotronie z optymalną, jak i obniżoną temperaturą rośliny łubinu z nasion naświetlanych wschodziły 3–4 dni wcześniej niż rośliny z nasion nie naświetlanych.

W warunkach doświadczeń polowych duży wpływ na termin i równomierność wschodów łubinu wywierał układ warunków pogodowych, który w poszczególnych latach prowadzenia doświadczenia był znacznie zróżnicowany w okresie siew-wschody (80). Szczególnie niekorzystny pod względem ilości opadów oraz wartości średnich temperatur dobowych okazał się rok 1997, w którym oprócz okresów suszy zanotowano znaczne spadki temperatury w okresie od siewu do wschodów; dlatego początek wschodów łubinu stwierdzono dopiero po 19 dniach od siewu. W analogicznym okresie w latach 1998 i 1999 wystąpiły obfitsze opady, a średnia temperatura dobową powietrza była ponad dwukrotnie wyższa niż w roku 1997, wówczas wschody łubinu odnotowano już po 14 dniach od siewu. Ponadto w latach tych wschody były bardziej równomierne. Obserwowano wyraźny wpływ napromieniowania nasion na termin ukazywania się pierwszych wschodów. W latach, w których warunki pogodowe sprzyjały kiełkowaniu nasion wschody roślin z nasion naświetlanych następowały o 2-3 dni, a w warunkach niesprzyjających kiełkowaniu nasion o 1-2 dni wcześniej niż z nasion nie naświetlanych. Wystąpiły



Rys. 8. Przebieg wschodów łubinu białego w warunkach zróżnicowanej wilgotności gleby i temperatury powietrza
Course of white lupine plants emergence at differentiated moisture and temperature conditions



Rys. 9. Dynamika wschodów roślin w warunkach doświadczenia polowego
Dynamic of white lupine emergence at field experiment conditions

także istotne różnice w dynamice wschodów roślin z nasion naświetlanych i nie naświetlanych. Istotnie większy procent wschodzących roślin wyrosłych z nasion naświetlanych w porównaniu z nasionami nie naświetlanymi stwierdzono szczególnie w okresie początku wschodów łubinu (rys. 9).

4.5. WZROST I ROZWÓJ ROŚLIN

Naświetlanie nasion wpływało korzystnie na początkowy wzrost i rozwój siewek łubinu białego, w tym przede wszystkim na długość korzeni i hypokotyła (82). Przyrost długości korzeni siewek wyrosłych z nasion naświetlanych w stosunku do długości korzeni siewek z nasion nie naświetlanych wyniósł średnio dla wszystkich stosowanych dawek promieniowania dla odmiany Bardo i Katon odpowiednio: 23,7% i 19,1%. Przy czym siewki łubinu odmiany Katon charakteryzowały się dłuższymi korzeniami niż odmiany Bardo (tab. 2). Przyrost długości korzeni na skutek jedno-, dwu-, trzy-, cztero- i pięciokrotnego naświetlania nasion średnio dla dwóch badanych odmian łubinu wyniósł odpowiednio: 14,3; 18,7; 17,8;

Tabela 2

Cechy biometryczne siewek łubinu białego wyrosłych z nasion naświetlanych i kontrolnych
Biometric features of white lupine seedlings grew from irradiated and control seeds

Wyszczególnienie Description	Hypokotyl; Hypocotyl		Korzenie; Roots	
	długość; length (mm)	masa; mass (g)	długość; length (mm)	masa; mass (g)
Odmiany; Varieties				
Bardo	41a	0,28a	56a	0,44a
Katon	35b	0,12b	72b	0,39b
Dawki promieniowania Doses of irradiation				
D0	28a	0,14a	56a	0,32a
D1	36b	0,18b	64b	0,42b
D2	41b	0,19b	66b	0,42b
D3	43c	0,18b	66b	0,43b
D4	48c	0,24c	71bc	0,51c
D5	40b	0,18b	71bc	0,51c

* liczby w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie
numbers in columns denoted with the same letters do not differ significantly

W większym stopniu niż długość korzeni zmieniała się, w zależności od dawki stosowanego naświetlania, długość hypokotyła. Dawki trzy- i czterokrotnego naświetlania nasion były bardziej efektywne niż jedno-, dwu- i pięciokrotnego naświetlania. Średnio dla dwóch odmian przyrost długości hypokotyła siewek wyrosłych z nasion trzy- i czterokrotnie naświetlanych wyniósł odpowiednio: 54,1 i 72,2%. Siewki łubinu odmiany Bardo charakteryzowały się na ogół dłuższym hypokotylem niż siewki odmiany Katon. Przedsiewne naświetlanie nasion łubinu białego wpływało modyfikująco na morfologię roślin rosnących w optymalnych i niesprzyjających warunkach wilgotnościowo-termicznych (tab. 3). Rośliny wyrosłe z nasion traktowanych promieniami laserowymi charakteryzowały się bardziej masywnym pokrojem zewnętrznym, były wyższe i bardziej ulistnione w porównaniu z roślinami wyrosłymi z nasion nie naświetlanych (79). Naświetlanie nasion powodowało istotny

wzrost wysokości roślin rosnących w optymalnych i niekorzystnych warunkach termicznych odpowiednio o: 28 i 23%.

Stwierdzono istotny wpływ dawki promieniowania światła laserowego i uwilgotnienia gleby na wielkość plonu suchej masy korzeni. Współdziałanie obydwu czynników doświadczenia w odniesieniu do plonu korzeni wskazuje na uzależnienie efektów napromieniowania od wilgotności gleby. Największy przyrost suchej masy korzeni w stosunku do korzeni roślin wyrosłych z nasion nie naświetlanych wystąpił po pięciokrotnym naświetlaniu nasion (około 24%). Nie stwierdzono natomiast istotnej różnicy między trzy- i pięciokrotnym naświetlaniem nasion w odniesieniu do gromadzenia suchej masy korzeni. Również uwilgotnienie gleby istotnie modyfikowało rozwój systemu korzeniowego łubinu. Rośliny łubinu białego rosnące na glebie o najniższym stopniu uwilgotnienia (30% ppw) wytworzyły największą masę korzeniową. Najmniejszy plon suchej masy korzeni stwierdzono na glebie najbardziej wilgotnej (70% ppw).

Rośliny uprawiane na glebie o najniższym stopniu uwilgotnienia (30% ppw) zakwitły o 5-6 dni wcześniej niż uprawiane na glebie o 50 i 70% polowej pojemności wodnej. Na glebie najmniej uwilgotnionej naświetlanie nasion najbardziej przyspieszało termin kwitnienia łubinu. Nie stwierdzono natomiast wyraźnej różnicy w terminie zakwitania roślin wyrosłych z nasion po trzy- i pięciokrotnym naświetlaniu na wszystkich badanych poziomach wilgotności gleby.

Akumulacja plonu suchej masy części nadziemnej roślin zależała istotnie zarówno od wilgotności gleby, jak też od dawki przedsięwziętego naświetlania nasion. Wystąpiło współdziałanie pomiędzy dawkami promieniowania laserowego i wilgotnością gleby a plonem suchej masy części nadziemnej. Współdziałanie obydwu czynników wskazuje na uzależnienie efektów napromieniowania od wilgotności gleby. Efekty wynikające z napromieniowania nasion światłem laserowym były większe, gdy rośliny rosły w warunkach suszy niż na glebie o optymalnej wilgotności. Średnio dla trzy- i pięciokrotnego naświetlania przyrost wysokości, suchej masy części nadziemnej i korzeni roślin rosnących w optymalnych warunkach wilgotności gleby (70% ppw) wyniósł w stosunku do kontroli odpowiednio: 12,5; 17,1 oraz 21,6%, a w warunkach stresu suszy (30% ppw) odpowiednio: 18,8; 26,12 i 22,2%. Uwilgotnienie gleby istotnie modyfikowało rozwój systemu korzeniowego łubinu. Rośliny łubinu białego rosnące w warunkach suszy wytworzyły znacznie większą masę korzeniową niż rosnące w optymalnych warunkach wilgotności gleby.

Temperatura powietrza wpływała istotnie na rozwój roślin łubinu oraz na efektywność napromieniowania nasion (79). Naświetlanie nasion powodowało istotny wzrost wysokości roślin, wynoszący średnio dla optymalnych warunków termicznych i warunków chłodu odpowiednio: 21% i 36%. Rośliny rosnące w warunkach obniżonej temperatury wytworzyły istotnie mniejszy plon suchej masy części nadziemnej niż rośliny rosnące w optymalnych warunkach termicznych (tab. 4). **Największy przyrost suchej masy części nadziemnej roślin rosnących w obydwu warunkach termicznych stwierdzono w przypadku stosowania trzy- i pięciokrotnego**

naświetlania nasion. Pozostałe dawki promieniowania powodowały znacznie mniejsze przyrosty suchej masy. Naświetlanie nasion wpływało modyfikująco również na rozwój korzeni roślin rosnących w warunkach chłodu. Największy wpływ na wzrost długości korzenia głównego i plon suchej masy korzeni roślin rosnących w tych warunkach wywierała dawka 5-krotnego naświetlania nasion, która powodowała przyrost suchej masy korzeni średnio o 24% w stosunku do tej samej cechy u roślin wyrosłych z nasion nie naświetlanych. Nie stwierdzono istotnej różnicy między plonem suchej masy korzeni roślin rosnących w optymalnych warunkach termicznych i w warunkach chłodu.

Rośliny uprawiane na glebie o najniższym stopniu uwilgotnienia (30% ppw) zakwitały o 5-6 dni wcześniej niż uprawiane na glebie o 50 i 70% polowej pojemności wodnej. Na glebie najmniej uwilgotnionej naświetlanie nasion najbardziej przyspieszało termin kwitnienia łubinu. Nie stwierdzono natomiast wyraźnej różnicy w terminie zakwitania roślin wyrosłych z nasion po trzy- i pięciokrotnym ich naświetlaniu na wszystkich badanych poziomach wilgotności gleby.

Obserwowano także różnice we wzroście i rozwoju roślin wyrosłych z naświetlanego i nie naświetlanego materiału siewnego w doświadczeniach wazonowych prowadzonych w warunkach hali wegetacyjnej (81). Rośliny wyrosłe z nasion naświetlanych od fazy 2-3 liści do kwitnienia pędu głównego były wyższe niż rośliny z nasion nie naświetlanych. Przyrost ich wysokości po okresie kwitnienia następował wolniej i dlatego różnice w wysokości roślin wyrosłych z nasion naświetlanych i nie naświetlanych przed zbiorem były znacznie mniejsze. Prowadzone szczegółowe obserwacje i pomiary roślin przed zbiorem wykazały, że dawka pięciokrotnego naświetlania nasion miała większy wpływ na zmiany wysokości roślin niż dawka trzykrotnego naświetlania.

Bezwzględna szybkość wzrostu (GR) części nadziemnej, mała na początku wegetacji, zwiększała się w miarę postępującego rozwoju roślin i osiągnęła najwyższą wartość w okresie kwitnienia oraz zawiązywania strąków na pędzie głównym, a zwłaszcza ich wypełniania się (81). Po tym okresie absolutna szybkość wzrostu zmniejszała się bardzo wyraźnie. Względna szybkość wzrostu (RGR) była największa na początku wegetacji i malała w miarę rozwoju roślin. Podobnie jak bezwzględna szybkość wzrostu części nadziemnej (GR) zmieniała się bezwzględna szybkość wzrostu całej rośliny – początkowo osiągała stosunkowo małe wartości i zwiększała się bardzo wyraźnie dopiero w późniejszym okresie jej wzrostu. Po okresie zawiązywania strąków szybkość wzrostu GR całej rośliny zmniejszała się jeszcze bardziej niż w przypadku części nadziemnej. Względna szybkość wzrostu całej rośliny osiągnęła największą wartość w początkowym okresie rozwoju roślin. Naświetlanie materiału siewnego powodowało zwiększenie wartości wskaźników wzrostu roślin (GR i RGR) od fazy siewki (T_1) do okresu wypełniania nasion (T_6). Natomiast w okresie dojrzewania ze względu na wcześniejsze zasychanie roślin wyrosłych z nasion naświetlanych wartość tych wskaźników była na ogół mniejsza niż roślin w obiekcie kontrolnym.

Tabela 3

Wpływ napromieniowania nasion na wzrost i rozwój roślin rosnących w zróżnicowanych warunkach wilgotności gleby
The effect of seed irradiation on growth and development of plants growing at differentiated conditions of soil humidity

Wyszczególnienie Description	Wysokość roślin Height of plants (cm)				S.m. części nadziemnej (g/rośl.) Dry matter of aboveground part (g per plant)				S.m. korzeni (g/rośl.) Dry matter of roots (g per plant)			
	wilgotność gleby (%ppw); humidity of soil (% of field capacity)											
	30	50	70	x	30	50	70	x	30	50	70	x
Dawki naświetlania Doses of irradiation (II)												
D0	40,42	66,41	71,22	59,35	6,41	8,18	9,12	7,90	1,94	1,62	1,34	1,63
D3	47,94	76,43	80,41	68,26	7,98	9,44	11,14	9,52	2,24	1,93	1,62	1,93
D5	48,12	75,72	79,83	67,89	8,24	9,92	10,22	9,46	2,50	1,93	1,64	2,02
$\bar{x}$	45,49	72,85	77,15	65,16	7,44	9,18	10,48	9,03	2,23	1,82	1,53	1,86
Współdziałanie Interaction												
II/I	1,443				1,211				0,242			
I/II	14,211				2,240				0,228			

Tabela 4

Wpływ napromieniowania nasion na wzrost i rozwój roślin rosnących w zróżnicowanych warunkach temperatury powietrza
 The effect of seeds irradiation on growth and development of plants growing at differentiated temperature conditions

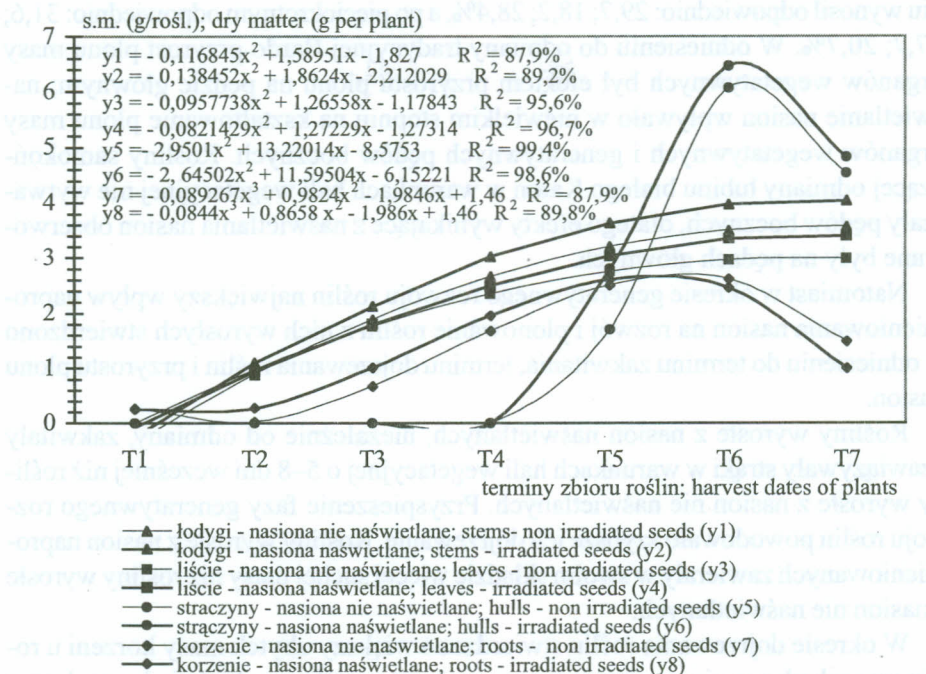
Wyszczególnienie Description	Wysokość roślin Height of plant (cm)			S.m. części nadziemnej (g/rośl.) Dry matter of aboveground part (g per plant)			S.m. korzeni (g/rośl.) Dry matter of roots (g per plant)		
	A	B	$\bar{x}$	A	B	$\bar{x}$	A	B	$\bar{x}$
Dawki naświetlania Doses of irradiation (II)									
<i>D0</i>	10,70	15,41	13,05	0,15	0,30	0,22	0,14	0,15	0,14
<i>D1</i>	13,62	18,04	15,83	0,24	0,36	0,30	0,16	0,16	0,16
<i>D3</i>	14,21	18,43	16,32	0,30	0,43	0,36	0,16	0,17	0,16
<i>D5</i>	15,10	18,91	17,00	0,30	0,39	0,34	0,19	0,17	0,18
<i>D7</i>	15,43	19,24	17,33	0,28	0,35	0,31	0,16	0,18	0,17
$\bar{x}$	13,81	18,00	15,90	0,25	0,37	0,31	0,16	0,17	0,16
		NIR, LSD		Współdziałanie Interaction			NIR, LSD		
		I - 1,364		II/I 0,082			I - r.n.		
		II - 2,442		I/II 0,040			II - 0,018		

A – stres chłodu; chilling stress

B – optymalne warunki termiczne; optimal thermal conditions

Największe przyrosty plonu suchej masy poszczególnych organów obydwu badanych odmian łubinu białego wystąpiły pomiędzy zbiorami *T3* i *T4*, czyli w okresie od tworzenia pąków do kwitnienia pędu głównego. W późniejszym okresie rozwoju roślin stwierdzono znacznie mniejszy plon suchej masy korzeni i nieco mniejszy plon łodyg i liści, natomiast plon nasion i strączyń był istotnie większy. Rośliny wyrosłe z nasion napromieniowanych osiągały na ogół większe wskaźniki wzrostu GR i RGR w porównaniu z roślinami w obiekcie kontrolnym, zatem ich dynamika wzrostu była większa niż roślin wyrosłych z nasion nie naświetlanych.

Stwierdzono wyraźne różnice w plonie suchej masy pomiędzy tradycyjną (Bardo) i samokończącą (Katon) formą łubinu białego (81). Znaczną część biomasy liści, łodyg, strączyń i nasion łubinu odmiany Bardo wytworzyły pędy boczne. W odniesieniu do łodyg i liści stanowiło to około 50% całkowitej biomasy roślin. Nieco mniejszy udział pędów bocznych odnotowano w odniesieniu do plonu nasion i strączyń. Odmiana samokończąca Katon w warunkach hali wegetacyjnej nie wytwarzała pędów bocznych, zatem plon biomasy wszystkich organów u roślin tej odmiany pochodził z pędu głównego. Dynamika przyrostu plonu poszczególnych organów roślin obydwu badanych odmian łubinu białego miała bardzo podobny przebieg, dlatego przedstawiono ją wspólnie dla odmiany Bardo i Katon w postaci krzywych regresji, na rysunku 10. Przyrost plonu suchej masy roślin obydwu



Rys. 10. Dynamika gromadzenia plonu suchej masy poszczególnych organów roślin łubinu białego wyrosłych z nasion naświetlanych i nie naświetlanych promieniami laserowymi
Dynamic of dry matter yield accumulation of particular white lupine plant organs grew from seeds treated and non treated by laser light

odmian po kwitnieniu był znacznie mniejszy niż w okresie początkowego rozwoju. Plon suchej masy całej części nadziemnej zwiększał się w miarę wzrostu i rozwoju rośliny aż do zbioru T6, czyli do fazy wypełniania się nasion, a plon korzeni – do fazy T5, czyli zawiązywania strąków. Masa organów vegetatywnych łubinu białego najbardziej zwiększała się w okresie poprzedzającym kwitnienie i we wszystkich obiektach była największa w okresie zbioru T5. Po tym okresie masa organów vegetatywnych była już mniejsza, podczas gdy masa organów generatywnych bardzo szybko przyrastała. Napromieniowanie nasion światłem laserowym miało istotny wpływ na tempo gromadzenia suchej masy w poszczególnych organach roślinnych. W okresie vegetatywnego rozwoju roślin największy wpływ tego zabiegu na plon suchej masy obserwowano w okresie wschodów oraz od fazy 5-6 liści (T3) do kwitnienia (T4) łubinu białego, czyli w okresie najszybszego wzrostu roślin. Naświetlanie nasion w największym stopniu modyfikowało plon liści w okresie poprzedzającym kwitnienie i w okresie kwitnienia (T3-T6) oraz plon korzeni w okresie dojrzewania (T7). W okresie tworzenia pąków na pędzie głównym łubinu (T4) przyrost plonu suchej masy korzeni, liści i łodyg po trzykrotnym naświetla-

niu wynosił odpowiednio: 29,7; 18,2; 28,4%, a po pięciokrotnym odpowiednio: 31,6; 17,7; 20,7%. W odniesieniu do odmiany tradycyjnej Bardo przyrost plonu masy organów wegetatywnych był efektem przyrostu plonu na pędzie głównym; naświetlanie nasion wpływało w niewielkim stopniu na kształtowanie plonu masy organów wegetatywnych i generatywnych pędów bocznych. Rośliny samokończącej odmiany łubinu białego Katon w warunkach hali wegetacyjnej nie wytwarzały pędów bocznych, dlatego efekty wynikające z naświetlania nasion obserwowane były na pędach głównych.

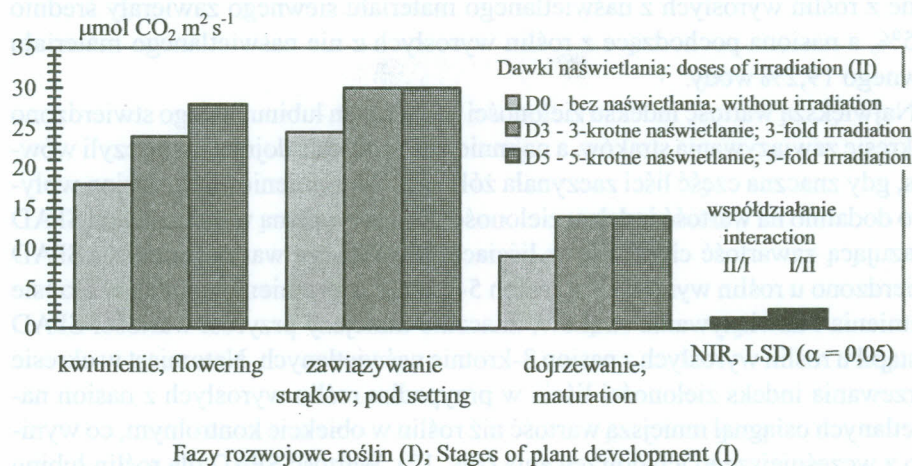
Natomiast w okresie generatywnego rozwoju roślin największy wpływ napromieniowania nasion na rozwój i plonowanie roślin z nich wyrosłych stwierdzono w odniesieniu do terminu zakwitania, terminu dojrzewania roślin i przyrostu plonu nasion.

Rośliny wyrosłe z nasion naświetlanych, niezależnie od odmiany, zakwitały i zawiązywały strąki w warunkach hali wegetacyjnej o 5–8 dni wcześniej niż rośliny wyrosłe z nasion nie naświetlanych. Przyspieszenie fazy generatywnego rozwoju roślin powodowało szybsze ich dojrzewanie. Rośliny wyrosłe z nasion napromieniowanych zawierały w swoim składzie więcej suchej masy niż rośliny wyrosłe z nasion nie naświetlanych.

W okresie dojrzewania roślin stwierdzono większy ubytek masy korzeni u roślin wyrosłych z nasion napromieniowanych niż u roślin w obiekcie kontrolnym; dotyczyło to zarówno odmiany Bardo, jak i Katon. Należy przypuszczać, że wynikało to z faktu szybszego dojrzewania roślin wyrosłych z naświetlanego materiału siewnego.

Szczegółowe pomiary biometryczne poszczególnych organów roślin łubinu białego rosnącego w doświadczeniach wazonowych wykazały, że naświetlanie nasion modyfikowało cechy morfologiczne roślin. Rośliny wyrosłe z nasion napromieniowanych wytwarzały w okresie od wschodów do kwitnienia większą powierzchnię liściową, niż rośliny z nasion nie naświetlanych, natomiast w okresie dojrzewania było odwrotnie. Nie stwierdzono istotnej różnicy w wielkości powierzchni liściowej oraz w wysokości roślin między badanymi odmianami łubinu białego. Nieznacznie zmieniała się również, na skutek napromieniowania nasion, liczba liści na roślinie. Odmiana Bardo wytwarzała większą liczbę liści niż odmiana Katon, co wynikało z różnicy w budowie morfologicznej między tymi odmianami.

Rośliny łubinu wyrosłe z nasion napromieniowanych charakteryzowała większa intensywność fotosyntezy netto (rys. 11). Różnice te były szczególnie widoczne w okresie kwitnienia i zawiązywania strąków. Zarówno trzy-, jak i pięciokrotne naświetlanie nasion wpływało na zwiększenie intensywności fotosyntezy. Wystąpiło współdziałanie między dawką promieniowania a okresem rozwoju roślin. W okresie kwitnienia dawka pięciokrotnego napromieniowania wpływała najkorzystniej na intensywność fotosyntezy, natomiast w okresie zawiązywania strąków i dojrzewania wpływ obydwu dawek był podobny. Nie wystąpiły istotne różnice w intensywności fotosyntezy między badanymi odmianami łubinu, dlatego przebieg zmian intensywności fotosyntezy netto roślin wyrosłych z nasion napromieniowa-



Rys. 11. Intensywność fotosyntezy netto roślin łubinu białego wyrosłych z nasion traktowanych i nie traktowanych promieniami laserowymi
Intensity of net photosynthesis of white lupine plants grew from seeds treated and non treated by laser light

nych i kontrolnych w okresie od kwitnienia do dojrzewania przedstawiono średnio dla obydwóch odmian.

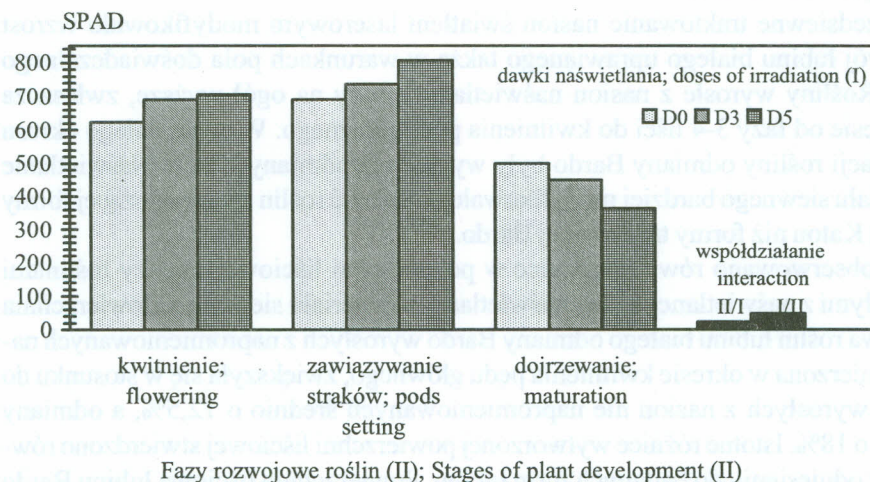
Przedświewne traktowanie nasion światłem laserowym modyfikowało wzrost i rozwój łubinu białego uprawianego także w warunkach pola doświadczalnego (80). Rośliny wyrosłe z nasion naświetlanych były na ogół wyższe, zwłaszcza w okresie od fazy 3-4 liści do kwitnienia pędu głównego. W ciągu całego okresu wegetacji rośliny odmiany Bardo były wyższe niż odmiany Katon. Naświetlanie materiału siewnego bardziej modyfikowało wysokość roślin samokończącej formy łubinu Katon niż formy tradycyjnej Bardo.

Zaobserwowano również różnice w powierzchni liściowej między roślinami wyrosłymi z naświetlanego i nie naświetlanego materiału siewnego. Powierzchnia liściowa roślin łubinu białego odmiany Bardo wyrosłych z napromieniowanych nasion, mierzona w okresie kwitnienia pędu głównego, zwiększyła się w stosunku do roślin wyrosłych z nasion nie napromieniowanych średnio o 12,5%, a odmiany Katon o 18%. Istotne różnice wytworzonej powierzchni liściowej stwierdzono również w odniesieniu do badanych form łubinu. Powierzchnia liściowa łubinu Bardo wytworzona na 1 m² wynosiła 8,4 m², a łubinu odmiany Katon 7,6 m².

Podczas prowadzenia obserwacji polowych nie stwierdzono wyraźnych różnic w tempie dojrzewania roślin naświetlanych i nie naświetlanych. Jednak pomiary wilgotności nasion pobranych bezpośrednio przed zbiorem wykazały mniejszą zawartość wody w nasionach roślin wyrosłych z nasion naświetlanych; nasiona ze-

brane z roślin wyrosłych z naświetlanego materiału siewnego zawierały średnio 17,5%, a nasiona pochodzące z roślin wyrosłych z nie naświetlanego materiału siewnego 19,2% wody.

Największą wartość indeksu zieloności liścia roślin łubinu białego stwierdzono w okresie zawiązywania strąków, a najmniejszą w okresie dojrzewania, czyli wówczas, gdy znaczna część liści zaczynała żółknąć. Napromieniowanie nasion wpływało dodatnio na wartość indeksu zieloności liścia wyrażoną w jednostkach SPAD obrazującą zawartość chlorofilu w liściach. Największą wartość indeksu SPAD stwierdzono u roślin wyrosłych z nasion 5-krotnie napromieniowanych w okresie kwitnienia i zawiązywania strąków; znacznie mniejszy przyrost wartości SPAD wystąpił u roślin wyrosłych z nasion 3-krotnie naświetlanych. Natomiast w okresie dojrzewania indeks zieloności liścia w przypadku roślin wyrosłych z nasion naświetlanych osiągnął mniejszą wartość niż roślin w obiekcie kontrolnym, co wynikało z wcześniejszego ich dojrzewania (rys. 12). Wartość SPAD dla roślin łubinu wyrosłych z nasion naświetlanych w okresie kwitnienia i zawiązywania strąków wynosiła odpowiednio: 698,0 i 771,5, i była większa odpowiednio o 12,4 i 11,7% od indeksu zieloności liści roślin z nasion nie naświetlanych. Indeks zieloności liści roślin wyrosłych z nasion naświetlanych wynosił w okresie dojrzewania 407,0 i był mniejszy o 22,8% od indeksu zieloności liści roślin w obiekcie kontrolnym.

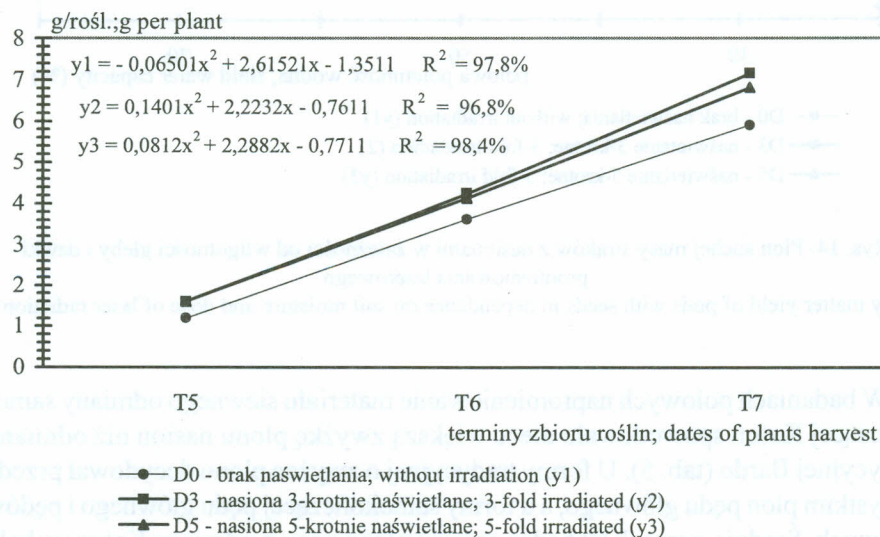


Rys. 12. Indeks zieloności liścia (SPAD) roślin łubinu białego wyrosłych z nasion traktowanych i nie traktowanych promieniami laserowymi
Leaf greenness index (SPAD) of white lupine plants grew from seeds treated and non treated by laser light

4.6. PLONOWANIE ROŚLIN

W badaniach wazonowych stwierdzono istotny wpływ napromieniowania nasion na przyrost plonu obydwu odmian łubinu (81). Trzykrotne napromieniowanie materiału siewnego dawało lepsze efekty niż pięciokrotne. Plon nasion roślin łubinu białego odmian Bardo i Katon wyrosłych z materiału siewnego naświetlanego trzykrotnie zwiększył się odpowiednio o: 21,4 i 16,0%, a pięciokrotnie naświetlanego o: 15,4 i 16,2%. Wpływ napromieniowania nasion na kształtowanie się plonu nasion łubinu obserwowano już w okresie początku ich wypełniania (rys. 13).

Naświetlanie nasion oddziaływało na długość odcinka łodygi ze strąkami i na liczbę strąków wykształconych na roślinie. Rośliny odmiany Bardo wyrosłe z nasion nie naświetlanych wytworzyły 8,7, a odmiany Katon 6,8 strąków, natomiast z naświetlanych trzykrotnie odpowiednio: 10,2 i 7,7 oraz pięciokrotnie: 9,6 i 7,8 strąków. Odmiana Bardo charakteryzowała się większą obsadą strąków na roślinie umiejscowionych w większości na pędzie głównym, ale przy znacznym udziale pędów bocznych. Rośliny odmiany Katon zawiązywały strąki tylko na pędzie głównym. Zaznaczyć należy, że w warunkach doświadczeń wazonowych duża część zawiązanych strąków, głównie u odmiany Katon, opadała w późniejszym okresie rozwoju roślin.

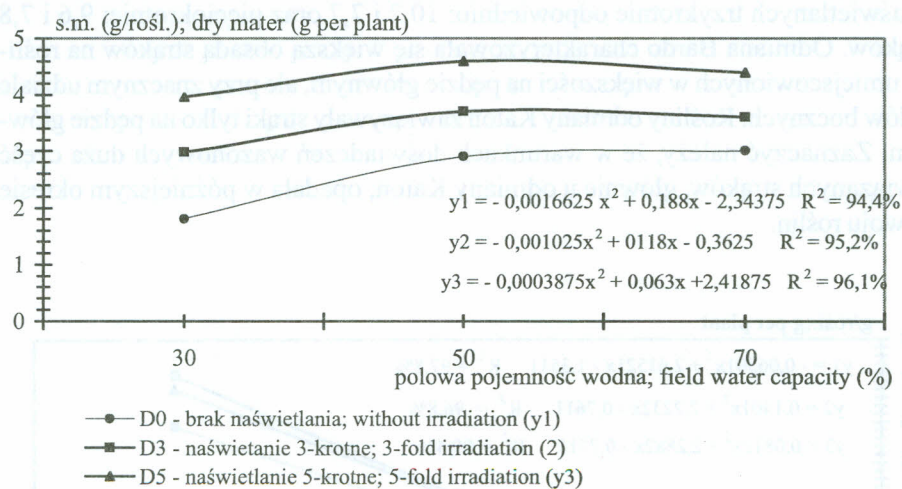


Rys. 13. Wpływ napromieniowania materiału siewnego na kształtowanie się plonu nasion łubinu białego

The effect of seed lot irradiation on formation of white lupine seeds yield

Istotnie większą masą 1000 nasion cechowała się odmiana Katon. Nie stwierdzono natomiast wpływu naświetlania materiału siewnego na masę 1000 nasion.

Największe oddziaływanie przedsiewnego traktowania nasion światłem laserowym na wielkość plonu suchej masy strąków z nasionami stwierdzono w przypadku roślin rosnących na glebie o małej wilgotności (30% ppw), najmniejsze zaś u roślin rosnących na glebie o dużej wilgotności (70% ppw); (rys. 14). Wzrost plonu wyniósł średnio przy kolejnych poziomach wilgotności gleby (30, 50 i 70% ppw): 24,5; 20,6 i 16,4%. Zaznaczyć należy, że istotny przyrost plonu stwierdzono tylko na pędzie głównym rośliny. Podobne zależności stwierdzono w przypadku liczby strąków na roślinie (rys. 15).

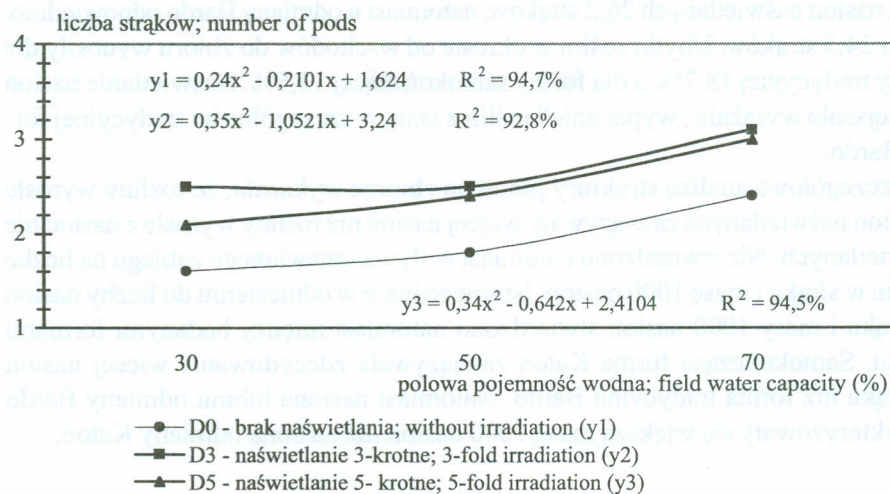


Rys. 14. Plon suchej masy strąków z nasionami w zależności od wilgotności gleby i dawki promieniowania laserowego

Dry matter yield of pods with seeds in dependence on soil moisture and dose of laser radiation

W badaniach polowych napromieniowanie materiału siewnego odmiany samokończącej Katon spowodowało nieco większą zwyżkę plonu nasion niż odmiany tradycyjnej Bardo (tab. 5). U formy tradycyjnej o zwyżce plonu decydował przede wszystkim plon pędu głównego, a u formy samokończącej pędu głównego i pędów bocznych. Średnio z trzech lat badań zwyżki plonu nasion odmiany Katon wahały się od 8,7 do 16,1%, a odmiany Bardo od 6,0 do 13,4% w zależności od dawki promieniowania.

Przyrost plonu nasion na roślinach łubinu wyrosłych z napromieniowanego materiału siewnego następował na skutek zwiększenia obsady strąków na roślinie i mniejszych ubytków roślin z łanu w okresie wegetacji. Na roślinie łubinu odmiany Katon wyrosłej z nasion nie naświetlanych było średnio 24,6 strąków, a na wyro-



Rys. 15. Obsada strąków na roślinie w zależności od wilgotności gleby i dawki promieniowania laserowego

Density of pods per plant in dependence on soil moisture and dose of laser radiation

Tabela 5

Plon nasion dwu odmian łubinu białego (średnie z 3 lat)
Seed yield of two white lupine varieties (means from 3 years)

Odmiana Variety	Dawki promieniowania Doses of irradiation	Plon nasion ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$); Seed yield			
		pęd główny main shoot	pędy boczne lateral shoots	Σ	przyrost plonu yield increase (%)
Bardo	D0	0,076	0,113	0,189	100,0
	D1	0,093	0,123	0,216	114,3
	D2	0,100	0,120	0,220	116,4
	D3	0,103	0,116	0,219	115,8
	D4	0,110	0,120	0,230	121,7
	D5	0,103	0,120	0,223	118,0
	$\bar{x}$	0,097	0,118	0,215	113,8
Katon	D0	0,150	0,043	0,193	100,0
	D1	0,173	0,050	0,223	115,5
	D2	0,176	0,053	0,229	118,6
	D3	0,180	0,053	0,233	120,1
	D4	0,174	0,066	0,240	124,3
	D5	0,180	0,056	0,236	122,3
	$\bar{x}$	0,172	0,053	0,229	118,7
Współdziałanie; Interaction					
	II/I	0,018	0,008	0,024	8,64
	I/II	0,044	0,036	0,010	2,44

* różnice nieistotne; differences not significant

słej z nasion naświetlanych 26,2 strąków, natomiast u odmiany Bardo odpowiednio: 23,2 i 24,5 strąków. Ubytki roślin w okresie od wschodów do zbioru wynosiły dla formy tradycyjnej 18,7%, a dla formy samokończącej 13,5%. Naświetlanie nasion zmniejszało wyraźnie „wypadanie” roślin z ładu, w szczególności tradycyjnej formy Bardo.

Szczegółowa analiza struktury plonu po zbiorze wykazała, że rośliny wyrosłe z nasion naświetlanych zawiązywały więcej nasion niż rośliny wyrosłe z nasion nie naświetlanych. Nie stwierdzono natomiast wpływu omawianego zabiegu na liczbę nasion w strąku i masę 1000 nasion. Istotne różnice w odniesieniu do liczby nasion w strąku i masy 1000 nasion stwierdzono natomiast między badanymi formami łubinu. Samokończąca forma Katon zawiązywała zdecydowanie więcej nasion w strąku niż forma tradycyjna Bardo. Natomiast nasiona łubinu odmiany Bardo charakteryzowały się większą masą 1000 nasion niż nasiona odmiany Katon.

4.7. JAKOŚĆ PLONU

Nie stwierdzono wyraźnych różnic w zawartości białka, tłuszczu, włókna surowego oraz niektórych makroelementów w nasionach obydwu odmian zebranych z roślin wyrosłych z naświetlanego i nie naświetlanego materiału siewnego (tab. 6). Nie stwierdzono również wpływu następczego napromieniowania na zdolność kiełkowania nasion. Nieznaczne różnice w zdolności kiełkowania nasion wystąpiły jedynie między odmianami łubinu.

Tabela 6

Wartości niektórych cech jakościowych nasion łubinu białego zebranych z roślin wyrosłych z naświetlanego i nie naświetlanego materiału siewnego
Values of some quality features of white lupine seeds harvested from plants grew from irradiated and non irradiated seed lot

Wyszczególnienie Description	Zawartość suchej masy (%); Content of dry matter (%)							
	białko ogólne; total protein	tłuszcz; fat	włókno surowe; crude fibre	P	K	Ca	Mg	Na
Odmiana; Variety (I):								
<i>Bardo</i>	34,7	8,8	8,8	0,59	1,39	0,33	0,22	0,01
<i>Katon</i>	31,9	8,7	8,7	0,54	1,33	0,36	0,22	0,01
Dawki promieniowania; Doses of irradiation (II):								
<i>D0</i>	32,0	8,7	8,8	0,55	1,35	0,34	0,21	0,01
<i>D1</i>	33,0	9,0	8,9	0,56	1,36	0,35	0,24	0,01
<i>D2</i>	33,3	9,1	8,6	0,57	1,35	0,35	0,22	0,01
<i>D3</i>	34,8	9,1	8,7	0,56	1,31	0,36	0,24	0,01
<i>D4</i>	34,1	9,0	8,8	0,56	1,38	0,36	0,23	0,01
<i>D5</i>	33,8	8,9	8,5	0,60	1,42	0,35	0,22	0,01

5. DYSKUSJA

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono istotny wpływ przedsięwzięgo napromieniowania nasion na aktywność enzymów amylolitycznych, do których zalicza się głównie α i β amylazy określane jako hydrolazy skrobiowe oraz fosforylazy skrobiowe. Enzymy te w procesie kiełkowania powodują rozkład wiązań α -1,4-glikozydowych wewnątrz łańcucha skrobi (39, 40). Aktywność tych enzymów określa zatem stopień zaawansowania procesu kiełkowania nasion. Szczególnie duże różnice w aktywności enzymów amylolitycznych między naświetlanymi i nie naświetlanymi nasionami łubinu obserwowano po 48 godzinach od wysiewu. Wykazana duża różnica w aktywności enzymów amylolitycznych świadczy o tym, że światło laserowe o odpowiedniej powierzchniowej gęstości mocy promieniowania bardzo silnie pobudza przebieg procesów metabolicznych w nasionach łubinu (82). Podobne wyniki uzyskały D u r k o v a (22) i G a l o v a (32) badając pszenicę ozimą. Wyniki licznych prac (14, 17, 49, 116-118, 123, 127) dowodzą dodatniego wpływu napromieniowania nasion na kiełkowanie i rozwój siewek, co sugeruje, że powoduje ono zmiany biochemiczne modyfikujące procesy fizjologiczne zachodzące w nasionach i młodych roślinach. Potwierdzeniem takiego rozumowania są wyniki badań P a d m a k e r a i A w a s t h i (67) oraz P a s t o r e i in. (68) wskazujące, że światło laserowe i promieniowanie gamma wpływają na biosyntezę kwasów nukleinowych i białka.

Promieniowanie laserowe powoduje wzrost aktywności enzymatycznej, a przez to zwiększa tempo pobierania wody. Dlatego w prezentowanych badaniach naświetlone nasiona miały większą masę w okresie kiełkowania i szybciej kiełkowały.

Na dodatni wpływ promieniowania jonizującego i fal ultradźwiękowych na rośliny zwracali uwagę G r z e s i u k i R e j o w s k i (42) w badaniach nad kukurydzą. Wprawdzie zarówno ultradźwięki, jak i promieniowanie jonizujące różnią się niektórymi parametrami fizycznymi od promieniowania laserowego, ale ich oddziaływanie na materiał siewny roślin uprawnych może być podobne.

Wykazano jednoznacznie korzystny wpływ światła laserowego na długość hypocotyli i korzeni siewek łubinu białego. Świadczy to o tym, że zmiany w przebiegu metabolizmu nasion wywołane napromieniowaniem wpływają również na dynamikę wzrostu siewek. Potwierdzałoby to pogląd innych badaczy (14, 59, 91, 94, 97, 113) zajmujących się tą problematyką i wskazujących, że największe zmiany zachodzą w napromieniowanych nasionach i w początkowym okresie rozwoju roślin z nich wyrosłych; zmiany te prowadzą w późniejszym okresie rozwoju do zróżnicowania przebiegu ontogenezy i plonowania roślin.

Wyniki przeprowadzonych badań wykazały istotny przyrost liczby wolnych rodników w nasionach traktowanych przedsięwzięnie promieniami laserowymi. Koncentracja wolnych rodników w nasionach zależała zarówno od dawki naświetlania, jak też od odmiany łubinu. W pracy (80) wykazano istnienie optymalnej dawki

promieniowania laserowego oddziałującego stymulująco na powstawanie wolnych rodników w napromieniowanych nasionach łubinu białego. Obliczone wartości czynnika rozszczepienia spektroskopowego g dla obydwu badanych odmian łubinu zawierały się w przedziale od 2,0036 do 2,0042. Czynniki g dla wolnych elektronów wynosi 2,0023 (114). Porównując wartości obydwu czynników można wnioskować, że stabilne wolne rodniki w nasionach są masywniejsze i zapewne mają bardziej ograniczoną swobodę poruszania się w porównaniu z wolnymi elektronami. W związku z tym, że wartość czynnika g w nasionach łubinu nie zmieniała się przed i po napromieniowaniu, należy przypuszczać, że wolne rodniki zawarte w nasionach przed i po ich naświetlaniu mają podobną budowę.

Niektórzy autorzy twierdzą, że promieniowanie dużej mocy powoduje często powstawanie w nasionach zwiększonej liczby wolnych rodników – jonów lub grup chemicznie związanych jonów z nieskompensowanymi spinami (19, 53). Podstawową cechą wolnych rodników jest duża aktywność chemiczna oraz to, że w reakcjach z ich udziałem nie jest konieczna obecność enzymów. Wolne rodniki często łączą się w grupy tworząc tzw. aktywne ogniska rodnikowe mające wpływ na przebieg zmian w metabolizmie nasion. Autor w sposób udokumentowany statystycznie wykazał istotny wpływ napromieniowania nasion łubinu na zwiększenie koncentracji wolnych rodników. Uważa się, że wolne rodniki jako silne utleniacze w reakcji łańcuchowej z tlenem mogą tworzyć nadtlutki. Reakcje utleniania zachodzące w lipoproteidach powodują zmiany w wewnętrznych warstwach protoplazmy. Pod wpływem tych zmian wzrasta aktywność enzymów hydrolitycznych, zwiększa się pobieranie wody i uruchamianie substancji zapasowych zgromadzonych w nasionach. Konsekwencją tego może być przerwanie ich spoczynku względnego, wcześniejsze kiełkowanie, jak również szybszy wzrost i rozwój wyrosłych z nich roślin. W taki właśnie sposób oddziałuje na nasiona promieniowanie wysokoenergetyczne α , β , γ . Otrzymane wyniki trudno porównać z uzyskanymi przez innych badaczy, bowiem w dostępnej literaturze krajowej i zagranicznej nie znaleziono dotychczas wyników dotyczących wpływu światła laserowego na koncentrację wolnych rodników w nasionach wysokobiałkowych roślin strączkowych. Z innych badań autora wynika, że światło laserowe zwiększa koncentrację wolnych rodników również w nasionach bobiku bezpośrednio po ich napromieniowaniu (84). Gładyszewska (35) naświetlając nasiona światłem laserowym obserwowała zwiększenie koncentracji wolnych rodników w nasionach pomidorów, ale uzyskiwane efekty naświetlania uzależnione były w dużej mierze od temperatury, w której prowadzono badania. Natomiast Drozd i in. (17, 19) wykazali, że promieniowanie laserowe zmienia znacząco koncentrację wolnych rodników w ziarniakach pszenicy. Wielkość tych zmian uzależniona była w dużej mierze od dawki stosowanego promieniowania i odmiany pszenicy. Badań dotyczących wpływu napromieniowania nasion na koncentrację wolnych rodników wykonano dotychczas niewiele, bowiem są one pracochłonne i wymagają skomplikowanej i drogiej aparatury. Określenie wpływu światła laserowego na koncentrację wolnych rodników

w nasionach i roślinach łubinu białego było próbą wyjaśnienia sposobu oddziaływania promieniowania laserowego na nasiona i na rozwój roślin.

Nasiona łubinu stanowią wartościową paszę dla zwierząt (34, 48, 115), a w ostatnich latach również cenny składnik pożywienia dla ludzi (61, 62). Zwiększenie koncentracji wolnych rodników w materiale roślinnym i w nasionach roślin wyrosłych z naświetlanego materiału siewnego mogłoby znacznie ograniczyć możliwości jego wykorzystania do celów żywieniowych (2, 7, 64, 101). W wyniku szczegółowych badań laboratoryjnych materiału roślinnego zbieranego we wczesnym okresie rozwoju roślin, czyli wówczas, kiedy można przypuszczać, że koncentracja wolnych rodników jest największa, nie stwierdzono zwiększonej liczby wolnych rodników ani w częściach nadziemnych roślin, ani w korzeniach. Badania spektroskopowe wykazały, że koncentracja wolnych rodników w nasionach zebranych z roślin wyrosłych z naświetlanego materiału siewnego jest podobna, jak w nasionach zebranych z roślin wyrosłych z nie naświetlanego materiału siewnego i jest zbliżona do koncentracji wolnych rodników w nasionach nie naświetlanych przed wysiewem. Mechanizm oddziaływania światła laserowego na nasiona nie jest jeszcze dobrze poznany. Brakuje dotychczas wyników badań jednoznacznie wyjaśniających to zjawisko. Oprócz prowadzenia eksperymentów naukowych mających na celu poszerzenie wiedzy dotyczącej tej tematyki formułuje się hipotezy, za pomocą których próbuje się wyjaśnić przebieg tego zjawiska (54, 90, 92). Według S e d l a k a (97, 98) monochromatyczna, koherentna i spolaryzowana wiązka światła laserowego jest dobrze absorbowana przez struktury bioplazmy, którą stanowi w komórkach roślinnych przestrzeń wypełniona fotonami i polem elektromagnetycznym. W następstwie promieniowania zwiększa się potencjał bioenergetyczny komórki, co pozostaje w ścisłym związku ze wzrostem aktywności fitohormonów i stymulacją procesów fizjologicznych i biochemicznych w komórce roślinnej. Nieskuteczną próbę określenia bilansu fitohormonów w nasionach naświetlanych promieniami laserowymi podjęli również S e b a n e k i in. (96). Szczegółowe badania własne wykonane nowoczesnymi metodami opartymi na wysokociśnieniowej chromatografii cieczowej (HPLC) wykazały, że światło laserowe modyfikuje aktywność niektórych fitohormonów w nasionach i roślinach wyrosłych z tych nasion.

Następstwem przyspieszonego metabolizmu nasion i zmian w przebiegu procesów biochemicznych i fizjologicznych w nasionach było szybsze kiełkowanie obserwowane zarówno w doświadczeniach wazonowych (81), jak i polowych (80). Wschody roślin z nasion naświetlanych następowały o kilka dni wcześniej niż z nasion nie naświetlanych. Ma to w przypadku łubinu białego szczególne znaczenie, bowiem gatunek ten charakteryzuje się długim okresem wegetacji; zbiór nasion wykonuje się często w późnych miesiącach letnich, gdy warunki pogodowe nie sprzyjają dojrzewaniu i dosychaniu roślin. Uzyskane wówczas nasiona są niskiej jakości, bowiem mają małą zdolność kiełkowania i wschodzą nierównomiernie. Wyrósłe z nich siewki mają słaby wigor i są bardziej porażane przez choroby

grzybowe niż siewki z nasion dobrze kiełkujących. Dotychczas wykonano niewiele badań dotyczących możliwości zwiększenia zdolności kiełkowania nasion roślin strączkowych poprzez traktowanie ich światłem laserowym i innymi czynnikami fizycznymi. Do nielicznych prac związanych z oddziaływaniem światła laserowego na kiełkowanie nasion roślin strączkowych należy doniesienie S z y r m e r a i K l i m o n t a (113), w którym stwierdzono znaczne zmniejszenie liczby twardych i nienormalnie kiełkujących nasion fasoli na skutek napromieniowania ich światłem lasera helowo-neonowego. Więcej badań związanych ze zwiększaniem zdolności kiełkowania nasion i przyspieszaniem terminu wschodów roślin po przedsięwzięciu napromieniowaniu nasion światłem laserowym wykonano z roślinami zbożowymi i warzywnymi (20, 35, 112, 129). W i l d e i n. (123) naświetlając promieniami lasera rubinowego nasiona rzodkiewki, ogórków, fasoli, a także lucerny obserwowali kilkudniowe przyspieszenie kiełkowania i wschodów roślin. Ponadto rośliny wyrosłe z nasion naświetlanych wytworzyły dłuższy hipokotyl od nie naświetlanych. Podobne spostrzeżenia poczynił I n y u s h i n i n. (46) w odniesieniu do pszenicy i żyta. Zdaniem tego badacza, stosując naświetlanie nasion o słabszej zdolności kiełkowania można polepszyć ich kiełkowanie nawet o 22-34% oraz znacznie przyspieszyć wzrost koleoptyla. Spostrzeżenia te znajdują również potwierdzenie w późniejszych badaniach D r o z d i n. (20), którzy stosując przedsięwzięcie naświetlanie nasion światłem laserowym uzyskali zwiększenie średnio o 27% energii kiełkowania i o 28% długości koleoptyla pszenicy jarej. Wydaje się jednak, że tak oczywisty wpływ światła laserowego na tempo kiełkowania i wschodów roślin obserwuje się przede wszystkim w warunkach laboratoryjnych. W doświadczeniach polowych efekty te są nieco mniejsze, a niekiedy nawet ich brak (16, 51, 107). Należy sądzić, że zmienność przebiegu pogody ma niewątpliwie wpływ na stopień stymulacji kiełkowania i wschodów roślin przez światło laserowe. Przypuszczenia te potwierdzają częściowo badania własne nad bobikiem (76), w których stwierdzono, że w latach z dużą ilością opadów w okresie wschodów, tj. w warunkach pogodowych sprzyjających kiełkowaniu nasion, efekty napromieniowania nasion były zdecydowanie większe niż w latach z niedoborem opadów. Niezgodność tych wyników z rezultatami omawianych doświadczeń wazonowych z łubinem białym rosnącym w różnych warunkach wilgotności podłoża wskazuje na konieczność dalszych badań. Badania G ł a d y s z e w s k i e j (35) dotyczące oceny wpływu przedsięwzięcia laserowej biostymulacji nasion pomidorów na proces ich kiełkowania wskazują na duże uzależnienie efektu naświetlania od temperatury w jakiej przebywają kiełkujące nasiona.

Należy przypuszczać, że oprócz wspomnianych czynników pogodowych, wpływ na przebieg kiełkowania i późniejszego rozwoju roślin wyrosłych z naświetlanego materiału siewnego może mieć na przykład wilgotność początkowa nasion poddawanych napromieniowaniu światłem laserowym (83). Badania G r z e s i u k a i R e j o w s k i e g o (42) wykazują współdziałanie fal ultradźwiękowych z wilgotnością początkową nasion w kształtowaniu przebiegu kiełkowania oraz

wzrostu i rozwoju kukurydzy. Pietruszewski (70, 71) lepsze kiełkowanie ziarniaków pszenicy jarej moczonych w wodzie przed umieszczeniem ich w polu magnetycznym w porównaniu z nasionami poddawanych jego działaniu na sucho, tłumaczy większą ruchliwością jonów w nasionach.

Z dotychczas przeprowadzonych badań wynika, że napromieniowanie materiału siewnego ma istotny wpływ na ontogenezę roślin, efektem czego są zmiany w kształtowaniu cech plonotwórczych (4, 27, 49, 52, 107, 110). Badania autora wykonane w warunkach kontrolowanych wykazały istotny wpływ napromieniowania nasion na przebieg zarówno wzrostu, jak i rozwoju roślin łubinu białego. Rośliny wyrosłe z nasion naświetlanych charakteryzowały się szybszym rozwojem w porównaniu z roślinami w obiektach kontrolnych, co powodowało wcześniejsze ich zakwitanie i dojrzewanie. Potwierdziły to także badania zmian zawartości suchej masy w roślinach wyrosłych z nasion naświetlanych i nie naświetlanych promieniami laserowymi przeprowadzone w warunkach hali vegetacyjnej. Największe różnice w zawartości suchej masy roślin stwierdzono w okresie ich dojrzewania. Wcześniejsze zakwitanie roślin wyrosłych z nasion naświetlanych obserwowano szczególnie wyraźnie w warunkach małej wilgotności podłoża, co potwierdza prawidłowość, że w warunkach stresowych rośliny wcześniej zakwitają i szybciej dojrzewają. W warunkach polowych nie obserwowano różnic w przebiegu wzrostu i rozwoju roślin łubinu w zależności od napromieniowania nasion. Rośliny wyrosłe z nasion napromieniowanych charakteryzowały się mniejszą zawartością wody w nasionach (72, 80). Możliwość uzyskania nasion o mniejszej wilgotności ma także aspekt ekonomiczny, bowiem ogranicza lub eliminuje nakłady związane z ich dosuszaniem.

Według Grzesiuka i Kulki (40), wpływ czynników fizycznych na nasiona uwidacznia się często przyspieszeniem dojrzewania roślin. Ma to szczególne znaczenie w przypadku łubinu białego, którego zbyt długi okres wegetacji (34, 48) powoduje często trudności w uzyskaniu nasion dobrej jakości. Zdaniem Stawińskiego (108) długi okres wegetacji łubinu białego jest główną przyczyną małej powierzchni uprawy tej rośliny. Promienie lasera helowo-neonowego, emitującego wiązkę światła o barwie czerwonej i o dużej powierzchniowej gęstości mocy promieniowania (56, 87, 88), oddziałują podobnie na rozwój i plonowanie roślin jak pole magnetyczne, fale ultradźwiękowe czy promieniowanie gamma (41, 60, 72, 102). Wcześniejsze zakwitanie i dojrzewanie roślin wyrosłych z naświetlanego materiału siewnego obserwowali również inni badacze (13, 33, 100).

Ekspresja oddziaływania napromieniowania nasion zmieniała się w okresie wegetacji łubinu. Na przykład powierzchnia liści roślin wyrosłych z nasion napromieniowanych w okresie od pełni wschodów do zawiązywania strąków była zdecydowanie większa, a w okresie dojrzewania istotnie mniejsza niż roślin kontrolnych. Zmniejszenie powierzchni liściowej w okresie dojrzewania było konsekwencją wcześniejszego zasychania i częściowej utraty liści. Powierzchnia liściowa rośliny

jest kształtowana przez wielkość poszczególnych liści i ich liczbę. W badaniach autora nie stwierdzono istotnego zróżnicowania liczby liści na roślinach wyrosłych z nasion napromieniowanych i nie napromieniowanych. Zwiększenie powierzchni liściowej roślin wyrosłych z nasion napromieniowanych następowało na skutek przyrostu powierzchni poszczególnych liści. Rezultatów tych oznaczeń nie udało się skonfrontować z innymi wynikami dotyczącymi roślin strączkowych, natomiast znajdują one potwierdzenie w badaniach I n y u s h i n a (45) nad jęczmieniem i ogórkiem.

S e b a n e k i in. (96) oraz C h o l a k o v a (12) wykazali, że naświetlanie nasion zwiększyło zawartość chlorofilu u grochu i pomidora. Badania autora potwierdziły takie oddziaływanie promieniowania u łubinu białego oraz wykazały korzystny wpływ tego zabiegu na intensywność fotosyntezy netto. Zwiększenie potencjału fotosyntetycznego roślin prawdopodobnie było przyczyną stwierdzonej w warunkach polowych większej wysokości roślin, zarówno w badaniach aktualnie omawianych, jak i wcześniejszych (79, 81, 86).

Reakcja badanych form łubinu na zabieg przedsięwziętego naświetlania nasion była niejednakowa. Wysokość roślin odmiany Katon ulegała większym zmianom niż odmiany Bardo. Stymulujący wpływ napromieniowania nasion na wysokość roślin obu odmian stwierdzono szczególnie w początkowym okresie wzrostu, co znajduje potwierdzenie w innych badaniach (20, 46, 71, 113).

Wyniki badań dowodzą, że największy plon suchej masy części nadziemnej uzyskano stosując trzykrotne naświetlanie nasion, natomiast plon suchej masy korzeni – pięciokrotne naświetlanie. Na korzystny wpływ naświetlania nasion na wzrost korzeni niektórych gatunków zbóż zwracali uwagę P r o k h o r o v a i in. (89).

Stwierdzono współdziałanie naświetlania nasion z uwilgotnieniem gleby w kształtowaniu liczby strąków na roślinie i plonu suchej masy strąków z nasionami oraz dawki napromieniowania nasion z warunkami termicznymi w kształtowaniu suchej masy części nadziemnej łubinu. Interakcja wskazuje, że efekt przedsięwziętego naświetlania nasion może być uzależniony od uwilgotnienia gleby oraz temperatury powietrza. Potwierdzają to wyniki badań dotyczące wpływu przedsięwziętego napromieniowania nasion na rozwój roślin rosnących w różnych warunkach wilgotności podłoża. Największą masę korzeniową wytworzył łubin uprawiany na glebie najsuchszej (30% ppw), co potwierdza znaną opinię, że w warunkach niskiej wilgotności rośliny rozbudowują system korzeniowy. Jednocześnie stwierdzono w tych warunkach największy przyrost masy korzeni na skutek napromieniowania nasion. Korzystne oddziaływanie światła laserowego na rozwój systemu korzeniowego stwierdzili S e b a n e k i in. (96) w badaniach nad grochem.

W warunkach chłodu i niedoboru wody w glebie rozwój i plonowanie roślin łubinu wyrosłych z nasion napromieniowanych były podobne jak roślin wyrosłych z nasion nie napromieniowanych i rosnących w optymalnych warunkach termiczno-wilgotnościowych. Oznacza to, że stosując zabieg przedsięwziętego napromieniowania nasion zlagodzono wpływ niekorzystnych czynników siedliska. Podobne

obserwacje zawarte są w literaturze krajowej i zagranicznej dotyczącej innych roślin (6, 31, 46, 63, 96). W i l d e i in. (123) wskazują na aspekt ekologiczny stosowanego zabiegu. Skoro naświetlanie nasion przyspiesza dojrzewanie roślin i skraca okres, w którym rośliny porażane są przez choroby i szkodniki, to można ograniczyć stosowanie chemicznych środków ochrony roślin. Badania autora (75, 80) wskazują na większą odporność roślin wyrosłych z nasion naświetlanych, co zmniejsza ubytki roślin z łanu w okresie od wschodów do zbioru. Z badań G a u t r e e a u (31) wynika, że traktując przedsięwnie nasiona promieniowaniem gamma uzyskano zwiększenie odporności roślin na suszę.

Analiza struktury plonu wykazała, że uzyskana zwyczajka plonu nasion łubinu białego była efektem zwiększonej obsady strąków na roślinie. Liczba nasion w strąku i masa 1000 nasion nie ulegały istotnym zmianom. Potwierdzają to wyniki wcześniejszych badań, że liczba strąków na roślinie jest labilna (74, 75). Badania nad napromieniowaniem materiału siewnego zbóż (24, 45, 94) wskazują, że uzyskiwane zwyczki plonu ziarna były powodowane zwiększeniem liczby ziarn w kłosie i masy 1000 ziarn.

Plon suchej masy poszczególnych organów obydwu odmian łubinu białego bardzo szybko zwiększał się do fazy zawiązywania strąków, po czym tempo gromadzenia masy ulegało znacznemu zróżnicowaniu w zależności od organu rośliny. Mechanizm tych zmian wyjaśniają badania W o j c i e s k i e j i in. (124) wskazujące, że zmniejszenie masy liści i łodyg wynika, między innymi, ze strat powstałych w procesie oddychania oraz redystrybucji asymilatów do organów generatywnych. W przypadku korzeni zmniejszenie się ich masy może być spowodowane, między innymi, procesami lizy komórek i starych korzeni oraz odpadaniem od korzeni starzejących się brodawek.

Nie stwierdzono istotnego wpływu napromieniowania materiału siewnego na skład chemiczny zebranych nasion łubinu. Zaobserwowano tendencję do zmiany w zawartości białka i tłuszczu. Badania nad innymi roślinami często wykazują korzystny wpływ następczy zabiegu przedsięwnego naświetlania nasion na jakość zbieranego plonu. Na przykład I n y u s h i n i in. (46) wykazali zwiększenie zawartości cukrów i witaminy C w owocach pomidora i ogórka oraz cukrów w korzeniach buraka cukrowego. D o b r o w o l s k i (14) stwierdził zwiększenie zawartości niektórych mikroelementów w owocach pomidora. Inne badania (125-127) wskazują na wzrost zawartości cukru w korzeniach kilku odmian buraka cukrowego oraz zawartości tłuszczu w nasionach konopi (12, 47), jak również polepszenie jakości włókna bawełny (130). Uzyskiwanie różnych efektów promieniowania w odniesieniu do cech jakościowych uzyskiwanych plonów może wskazywać na selektywność oddziaływania w stosunku do różnych gatunków roślin. Wyjaśnienie tego zagadnienia wymaga prowadzenia dalszych szczegółowych badań.

Wyniki badań wielu autorów (38, 77, 85, 107 116, 123, 126) i obserwacje własne wskazują, że istotne znaczenie dla efektu oddziaływania ma dawka promieniowania laserowego. W omówionych badaniach nie określono wielkości optymalnej

dawki napromieniowania nasion łubinu białego. Uwzględnione dawki promieniowania miały korzystny wpływ na rozwój i plonowanie roślin, z tym że większe dawki promieniowania laserowego wpływały na ogół korzystniej na rozwój i plonowanie roślin niż dawki mniejsze. W warunkach stresu chłodu trzykrotne naświetlanie nasion wpływało korzystniej na plon masy części nadziemnej roślin, a pięciokrotne na plon korzeni łubinu. Potrzebę określenia dawek promieniowania najpełniej dokumentują badania Rybickiego i in. (94). Dowodzą one, że istnieje graniczna wartość dawki energii wpływająca stymulująco na metabolizm nasion i rozwój wyrosłych z nich roślin, a jej przekroczenie wywołuje skutki niekorzystne. Do przedsięwziętej biostymulacji nasion stosuje się najczęściej lasery małej mocy i stosunkowo długi czas naświetlania (58) lub lasery dużej mocy i bardzo krótkie czasy naświetlania (123). Najczęściej stosuje się jednak kilkakrotne naświetlanie małymi dawkami promieniowania. Niektórzy badacze (45) twierdzą, że efekt biostymulacji w większym stopniu zależy od liczby krótkotrwałych naświetlań niż od dawki promieniowania.

Napromieniowanie materiału siewnego wywoływało różnorodne efekty, które stwierdzono już w kiełkujących nasionach łubinu białego. Zmiany w przebiegu niektórych procesów biochemicznych i fizjologicznych w nasionach miały odzwierciedlenie w późniejszym wzroście i rozwoju roślin. Do szczególnie pozytywnych należy przyspieszenie wschodów skutkujące mniejszym porażeniem roślin przez choroby w tym okresie i większym procentem wschodzących roślin. Właściwa obsada roślin i ich zdrowotność należą do podstawowych warunków uzyskiwania wysokich plonów nasion. Innym pozytywnym skutkiem naświetlania nasion było ogólne zwiększenie aktywności fizjologicznej roślin objawiające się szybszym tempem wzrostu i gromadzenia masy przez poszczególne organy roślin. Badania opisane w niniejszej pracy obrazują oddziaływanie napromieniowania nasion na przebieg tworzenia plonu masy w ciągu całego okresu wegetacji. Wykazano w nich, że napromieniowanie materiału siewnego wpływało najbardziej na tempo gromadzenia plonu suchej masy w okresie od wschodów do kwitnienia. Po tym okresie różnice w plonie suchej masy organów wegetatywnych między roślinami wyrosłymi z nasion napromieniowanych i nie napromieniowanych były znacznie mniejsze. Na uwagę zasługuje niejednakowy wpływ napromieniowania nasion w poszczególnych fazach rozwoju roślin. Należy przypuszczać, że może to być przyczyną rozbieżności wyników uzyskiwanych przez autorów podających wyniki obserwacji z różnych faz wzrostu roślin.

6. WNIOSKI

1. Przedsięwzięte traktowanie materiału siewnego promieniami laserowymi istotnie pobudzało aktywność enzymów amylolitycznych w nasionach obydwu badanych odmian łubinu białego. Największe zróżnicowanie aktywności enzymatycznej między nasionami naświetlanymi i nie naświetlanymi stwierdzono w okresie od 48 do

96 godzin od wysiewu, czyli wówczas, gdy proces kiełkowania był już zaawansowany, a nasiona wchłonęły dostateczną ilość wody. Większą aktywność enzymów odnotowano w nasionach łubinu białego odmiany Bardo – typ tradycyjny, niż odmiany Katon – typ samokończący.

2. Naświetlanie nasion przed siewem promieniami laserowymi zwiększało w nich koncentrację wolnych rodników. Największy przyrost ich liczby stwierdzono po trzy- i czterokrotnym naświetlaniu nasion. Nie stwierdzono natomiast wpływu napromieniowania nasion na koncentrację wolnych rodników w wyrosłych z nich roślinach.

3. Pod wpływem naświetlania nasion zwiększała się zawartość kwasu indolilo-3-octowego (IAA) i kwasu giberelinowego (GA_3) w nasionach oraz w części nadziemnej i korzeniach młodych roślin obydwu odmian łubinu. Największą zawartość badanych fitohormonów stwierdzono w części nadziemnej roślin, natomiast ich zawartość w nasionach i korzeniach była mniejsza.

4. Napromieniowane nasiona łubinu białego, w wyniku szybszego pobierania wody, wykazywały większą dynamikę przyrostu masy podczas pęcznienia niż nasiona nie napromieniowane, co sprzyjało wcześniejszemu i bardziej równomiernemu kiełkowaniu i wschodom roślin.

5. Rośliny wyrosłe z nasion napromieniowanych w warunkach kontrolowanych wcześniej zakwitały i dojrzewały, natomiast w warunkach polowych wydawały nasiona, które wcześniej dosychały niż nasiona z roślin kontrolnych.

6. Przedsiewna biostymulacja laserowa nasion wpływała dodatnio na wzrost i rozwój siewek. Siewki łubinu wyrosłe z nasion napromieniowanych miały w kolejnych terminach pomiaru istotnie dłuższy hipokotyl i korzenie w porównaniu z siewkami wyrosłymi z nasion nie naświetlanych. Różnica w wysokości roślin i długości korzeni między roślinami wyrosłymi z nasion napromieniowanych i kontrolnych utrzymywała się również w późniejszym okresie ich wzrostu i rozwoju.

7. Naświetlanie nasion wpływało korzystnie na kiełkowanie, wschody, wzrost i rozwój roślin, a także na przyrost plonu suchej masy części nadziemnej, w tym masy strąków z nasionami i nasion łubinu rosnącego również w niesprzyjających warunkach siedliskowych (susza, chłód). Oznacza to, że stosując napromieniowanie materiału siewnego można częściowo łagodzić wpływ niesprzyjających czynników siedliska na rozwój i plonowanie łubinu białego.

8. Rośliny łubinu białego wyrosłe z nasion traktowanych światłem laserowym charakteryzowały się większymi fizjologicznymi wskaźnikami bezwzględnej (GR) oraz względnej (RGR) szybkości wzrostu części nadziemnej i całej rośliny w porównaniu z roślinami z nasion nie naświetlanych. Napromieniowanie nasion miało istotny wpływ na tempo nagromadzania się suchej masy w poszczególnych organach łubinu białego i jej ilość. Największy wpływ tego zabiegu na przyrost plonu suchej masy wystąpił w okresie kwitnienia i zawiązywania strąków. Dawka trzykrotnego naświetlania najkorzystniej wpływała na dynamikę przyrostu masy poszczególnych organów części nadziemnej, a dawka pięciokrotnego naświetlania na przyrost masy korzeni.

9. Naświetlanie nasion łubinu światłem laserowym powodowało przyrost powierzchni liściowej roślin – największy w okresie intensywnego wzrostu roślin od fazy 2-3 liści do zakwitania. Zwiększona powierzchnia liściowa oraz zawartość chlorofilu w liściach wpłynęły korzystnie na intensywność fotosyntezy netto, która u roślin wyrosłych z nasion napromieniowanych była istotnie wyższa niż u roślin kontrolnych.

10. Przedśiewne traktowanie nasion łubinu białego promieniami laserowymi istotnie zwiększyło plon nasion. W odniesieniu do obydwu odmian łubinu białego większe dawki promieniowania laserowego (*D3*, *D4*, *D5*) wpływały korzystniej na plonowanie niż dawki mniejsze (*D1*, *D2*). W doświadczeniach polowych efektywność stosowanego zabiegu była niejednakowa w poszczególnych latach badań, co wskazuje na uzależnienie efektu naświetlania od przebiegu pogody. Zwyżka plonu nasion była efektem zwiększonej obsady strąków na roślinie, a w warunkach pola doświadczalnego również mniejszych ubytków roślin z łanu w okresie wegetacji; masa 1000 nasion i liczba nasion w strąku nie ulegały istotnym zmianom.

11. Naświetlanie materiału siewnego światłem laserowym nie wpływało na jakość paszową i siewną zebranych nasion łubinu białego. Stwierdzono jedynie niewielką tendencję do polepszenia zdolności kiełkowania oraz do zwiększenia zawartości białka, tłuszczu i niektórych makroskładników w nasionach uzyskanych z roślin wyrosłych z nasion traktowanych promieniami laserowymi.

8. LITERATURA

1. Aladzhadzhiyan A., Khadzhiatanosov D., Georgiev V.: Seed coat transparency of maize, soybean and bean. *Bul. J. Agric. Sci.*, 1995, **1**: 23–26.
2. Aleksandrowicz J.: Mikotoksyny i ich rola w onkogenezie ze szczególnym uwzględnieniem chorób krwi. *Tyg. Lek.*, 1970, **29**: 1100–1103.
3. Angelov K.: Effect of presowing seed irradiated with helium-neon laser on some morphological characters of maize. *Rastienieviedni Nauki*, 1987, **24**: 4, 25–30.
4. Andruszkin M. I., Dudnik W. H., Vunukajnen N. P.: Predposevnoje obłucenie semian lna-dolunca svetom gielij-neonovo lazera. *Vestnik Sielskochozjajstviennoi Nauki*, 1977, **2**: 123–128.
5. Anisimov A., Vorobev V., Zuiikov A.: The influence of laser radiation on the velocity of rotational motion of protoplasm in *Elodea* cells. *Laser Physics*, 1997, **7**(5): 1132–1137.
6. Augsten H., Michel D.: Effects of irradiation with light of different wavelengths on nitrate reductase activity in roots of *Zea mays* L. *Z. Pflanzenphysiol. Bd.*, 1981, **102**, 1–10.
7. Bartosz G.: *Druga twarz tlenu*. PWN Warszawa, 1995.
8. Bidzila N. I., Szalepa S. W., Okanienko A. S.: Svobodnoradikalnye sostojania i opytieskije charakteristiki klubockow sacharnoj sviekly. *Problemy Fotoenergetiki Rastanii. Alma-Ata*, 1974, **2**: 85–86.
9. Blaauw-Jansen G., Blaauw O. H.: A Shift of the response threshold to red irradiation in dormant lettuce seeds. *Acta Bot. Neerl.*, 1975, **24**(2): 199–202.
10. Cepero L., Martin G., Mesa A. R., Castro P.: Effect of irradiation of seeds of *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham with a He-Ne laser. *Pastos y Forrajes*, 1997, **20**(2): 125–131.
11. Chuvaeva A. D., Fedulov Yu. P., Gerashenko E. K.: The effect of presowing laser irradiation of maize seed on plant morphological features. *Sielskohozyaistvennaya Biologia*, 1981, **16**: 2, 237–240.
12. Cholakov D.: The effect of laser irradiation of tomato seeds on the photosynthetic activity and plastid pigment content of leaves. *Rastieniviedni Nauki*, 1995, **37**: 7–8, 76–79.
13. Cvetkovic V. T., Milovanovic S. M., Ogujanovic S. R., Dokic D., Lomocic S.: Uticaj tretivanja semena ozime pszenice laserom na duzinu vegetacionog perioda i zetveni indeks. *Selekcja i Semenarstvo*, 1996, vol. **3**(3–4): 105–109.
14. Dobrowolski J. W., Smyk B., Różycki E., Barabasz W., Wachalewski T.: Experiments about the influence of laser light on some biological elements of the natural environment. *Acta Universitatis Upsaliensis*, Stockholm, 1992, 1–15.
15. Drozd D.: The effect of laser radiation on spring wheat properties. *Inter. Agrophysics*, 1994, **8**: 209–219.
16. Drozd D.: Wpływ przedsewnego napromieniowania laserem ziarniaków na elementy struktury plonu u pszenicy jarej. *Zesz. Nauk. AR Wrocław*, 1994, Seria Rolnictwo, **254**: 63–69.
17. Drozd D., Szajzner H.: Laboratoryjna ocena wczesnych faz rozwojowych pszenicy jarej poddanej działaniu promieniowania laserowego. *Biul. IHAR*, 1997, **204**: 187–190.

18. Drozd D., Szajsner H., Jezierski A.: Zastosowanie elektronowego rezonansu paramagnetycznego EPR do oceny wpływu promieniowania laserowego na ziarniaki pszenicy jarej. Biul. IHAR, 1997, **204**: 181-186.
19. Drozd D., Szajsner H., Jezierski A.: Electron paramagnetic resonance (EPR) investigations of laser induced free radicals in spring wheat grains. Inter. Agrophysics, 1998, **13**: 343-346.
20. Drozd D., Szajsner R., Koper R.: Wpływ przedsiewnego naświetlania laserem nasion pszenicy jarej na zdolność kiełkowania i długość koleoptyla. Fragm. Agron., 1996, **1**: 44 - 51.
21. Dudin P.: Mutagenic effect of irradiation from a helium-neon laser on spring barley. Genetica, 1983, **19**: 1693-1699.
22. Durkova E.: The activity of wheat grains and the effect of laser radiation. Acta Fytotechnica, 1993, **49**: 59-66.
23. Dziamba Sz., Dziamba M., Zarębski Z., Rachóń L.: Wpływ przesiewnej obróbki nasion odmian pszenżyta światłem na plonowanie. Mat. Konf. Nauk. „Hodowla, uprawa i wykorzystanie pszenżyta”, 1-4.09. 1996, Międzyzdroje, 27.
24. Dziamba Sz., Koper R.: Wpływ naświetlania laserem nasion na plon pszenicy jarej. Fragm. Agron., 1992, **1**: 33, 88-93.
25. Dziamba Sz., Wielgo B., Maj L., Cebula M.: Wpływ terminu przedsiewnej biostymulacji nasion na plonowanie i elementy struktury plonu pszenicy jarej odmiany Omega. Pam. Puł., 1999, **118**: 137-142.
26. Dziamba Sz., Zarębski Z. W.: Sposób przedsiewnej obróbki ziarna i urządzenie do obróbki ziarna. 1993. Patent Nr P 299454 RP.
27. El-Shafie S.A., Mazrou M. M., El-Sayed S.A., El-Kholy S.A., Aly H. F. M.: The influence of pre-sowing laser irradiation on the growth, productivity and some chemical constituents of *Ammi visnaga* L plants. Menofiya J. Agric. Res., 1993, v. **18** (4): 2591-2604.
28. Eriksson L. E. G., Hyde J., Ehrenberg A.: Electron-nuclear double resonance from flavin radicals in liquid and polycrystalline phase and conjugated to protein. Biochim. Biophys. Acta., 1969, **192**: 211-230.
29. Friedmann H., Lubart R., Laulicht I., Rochkind A.: A possible explanation of laser-induced stimulation and damage of cell cultures. J. Photochem. Photobiol. In: Biol., 1991, **11**: 87-95.
30. Evans G. C.: The quantitative analysis of plant growth. Univ. California Press, 1972, 734.
31. Gautreau J.: Effects of gamma irradiation of the seeds on the performance and drought resistance of groundnuts. Oleagineux, 1976, **31**(3): 119-127.
32. Galova Z.: The effect of laser beams on the process of germinating power of winter wheat grains. Roczniki AR Poznań, 1996, CCCLXXXVI, ser. Rol., **49**: 39-43.
33. Gieroba J., Koper R., Matyka S.: The influence of pre-sowing laser biostimulation of maize seeds on the crop and nutritive value of the corn. 45th Australian Cereal Chemistry Conference, Adelaide, 1995, 30-33.
34. Gladstones J. S., Atkins C., Hamblin J.: Lupins as crop plant. Biology, Production, Utilization. CAB INTERNATIONAL, 1998.
35. Gładyszewska B.: Ocena wpływu przedsiewnej laserowej biostymulacji nasion pomidorów na proces ich kiełkowania. Rozprawa doktorska, AR Lublin, 1999.

36. Gładyszewska B., Koper R.: Effects of the pre-sowing laser biostimulation of seeds of some cultivated plant. COST 814 – Crop development for the cool and wet regions of Europe. European Commission, 1997, 225-230.
37. Govil S. R., Agrawal D. C., Rai K. P., Thakur S. N.: Physiological responses of *Vigna radiata* L. to nitrogen and argon laser irradiation. Indian J. Plant Physiol., 1991, **34(1)**: 72-76.
38. Grodzieński D. E.: Radiobiologia. PWN Warszawa, 1969.
39. Górecki R. J., Grzesiuk S.: Światowe tendencje i kierunki uszlachetniania materiałów nasiennych. Konf. Nauk. „Uszlachetnianie materiałów nasiennych”. Olsztyn-Kortowo, 9-10.06.1994, 9-24.
40. Grzesiuk S., Kulka K.: Fizjologia i biochemia nasion. PWRiL Warszawa, 1986.
41. Grzesiuk S., Kulka K.: Biologia ziarniaków zbóż. PWN Warszawa, 1988.
42. Grzesiuk S., Rejowski A.: Wpływ pola ultradźwiękowego na kiełkowanie oraz wzrost i rozwój kukurydzy (*Zea mays* L.). Post. Nauk Rol., 1957, **3(45)**: 4-13.
43. Hardin J. M., Stutte Ch. A.: Analysis of plant hormones using high-performance liquid chromatography. J. Chromatography, 1981, **208**: 124-128.
44. Hirasova E.: Auxins induce α -amylase activity in pea cotyledons. Plant. Physiol., 1989, **916**: 484-486.
45. Inyushin W. M.: Technika laserowa w służbie rolnictwa. Nowe Rol., 1977, **21/22**: 21-26.
46. Inyushin W. M., Iljasov G. U., Fedorova N. N.: Laser light and crop. Kainar Publ. Alma-Ata, 1981.
47. Ivanova R.: Influence of Pre-sowing Laser Irradiation of Seeds of Introduced Flax Varieties of Linseed Oil on Yield Quality. Bul. J. Agricult. Sci., 1998, **4**: 49-53.
48. Jasińska Z., Kotecki A.: Rośliny strączkowe. PWN Warszawa, 1993.
49. Kapelev O.: The effect of pre-sowing OKG II laser irradiation on the swelling and main enzymatic processes of catmint seeds. Sbornik Nauchnykh Trudov Gasudarstvenii Nikitskii Botanichskii Sad., 1999, **108**: 137-144.
50. Karlander E. P., Krauss R. W.: The laser as a light source for the photosynthesis and growth of *Clorella vaneli*. Biochem. et Biophys., 1968, vol. **153(1)**, 312.
51. Kartalov P., Szabon I.: Prilozhenie na lazernata energia pri krastavici sort Sandra. Rastenieviedni Nauki, 1988, **7**: 62 – 66.
52. Khlopuk P. M.: Influence of pre-sowing treatment of pea seeds with laser radiation on seed yield and quality. Kormoproizvodstvo, 2000, **2**: 15-16.
53. Khouny A., Dannani S. D., Ouaid A. F., Chetverikov A. G., Stanko S. A.: Influence of light intensity and wavelength on the yield of free radicals in tomato and carrot seeds. Physiologia Plantarum, 1982, **54(4)**: 485-490.
54. Klima H., Hass O., Roscher P.: Photon emission from blood cells and its possible role in immune system regulation. In: Jezowska-Trzebiatowska B., Kochel B. et al. eds. Proceedings of the First International Symposium on Photon Emission from Biological Systems. 24-26 January 1986, Wrocław, World Scientific, Hong-Kong, Singapore, 153-169.
55. Kolosov V. I., Kapelev O. I., Grodzieński A. M.: Laser stimulation of spring barley in the Kiev region. Allelopatiya i productivnost rastienii, 1990, 129-132.
56. Klejman H.: Lasery. PWN Warszawa, 1979.
57. Koper R.: Pre-sowing laser biostimulation of seeds of cultivated plants and its results in agrotechnics. Inter. Agrophysics. 1994, **8**: 593-596.

58. Koper R.: Urządzenie do przedsięwziętej obróbki nasion promieniowaniem laserowym. Patent RP Nr 162598.
59. Koper R., Wójcik S., Kornas-Czuczwar B., Bojarska U.: Effect of the laser exposure of seeds on the yield and chemical composition of sugar beet roots. *Inter. Agrophysics*, 1996, **10**: 103-108.
60. Kurobaru I., Yamaguchi H., Sander C., Nilan R.A.: The effects of gamma irradiation on the production and secretion of enzymes, and on enzyme activities on barley seeds. *Environ. Experiment. Bot.*, 1979, v. **19**(2): 75-84.
61. Lampart-Szczapa E.: Białko łubinowe w żywieniu człowieka. Łubin w gospodarce i życiu człowieka. Polskie Towarzystwo Łubinowe, Poznań 1993, 55-70.
62. Lampart-Szczapa E.: Nasiona roślin strączkowych w żywieniu człowieka. Wartość biologiczna i technologiczna. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 1997, **446**: 61-81.
63. Mandzhieva A.: Biological nitrogen and aspects of ecology. *Kormovye Kulturny*, 1991, **5**: 30-31.
64. Maniak B., Targoński Z.: Przeciwtłeniace naturalne występujące w żywności. *Przem. Ferm. Owoc. Warz.*, 1996, **4**: 7-10.
65. Michalczuk L.: Metody oznaczania kwasu indolilo-3-octowego w roślinach. W: *Regulatory wzrostu i rozwoju roślin. Praca zbiorowa pod redakcją L.S. Jankiewicza*. PWN Warszawa, 1997, **1**: 188-197.
66. Olchowiak G., Dziamba Sz.: Wpływ promieniowania mikrofalowego na elementy struktury plonu gryki. *Mat. Konf. Nauk. „Uszlachetnianie materiałów nasiennych”*. Olsztyn – Kortowo, 1994, 283-287.
67. Padmakar A. S., Awasthi C. P.: Stimulation of nucleic acid and protein synthesis in mungbean (*Vigna radiata* L.) seeds by UV irradiation. *Biochemistry International*, 1991, **24**(2): 291-297.
68. Pastore D., DiMartino C., Bosco G., Passarella S.: Stimulation of ATP synthesis via oxidative phosphorylation in wheat mitochondria irradiated with helium-neon laser. *Biochemistry and Molecular Biology International*, 1996, **39**(1): 149-157.
69. Phirke P. S., Kudbe A. B., Umbarkar S. P.: The influence of magnetic field on plant growth. *Seed Sci. Technol.*, 1996, **24**: 375-392.
70. Pietruszewski S.: Effect of magnetic seed treatment on yield of wheat. *Seed Sci. Technol.*, 1993, **21**: 621-626.
71. Pietruszewski S.: Magnetyczna biostymulacja materiału siewnego pszenicy jarej. Rozprawa habilitacyjna 220, AR Lublin, 1999.
72. Pittman U. J., Carefoot J. M., Ormrod D. P.: Effect of magnetic seed treatment on amylolytic activity of Quiescent and germinating barley and wheat seeds. *Can. J. Plant Sci.*, 1979, **59**(4): 1007-1011.
73. Płochocki Z.: Co to jest laser. Wiedza Powszechna, Warszawa, 1984, 1-216.
74. Podleśny J.: Wpływ przedsięwziętego traktowania nasion światłem laserowym na kształtowanie się cech morfologicznych i plonowanie łubinu białego. *Polskie Towarzystwo Łubinowe, Olsztyn-Kortowo*, 1997, 87-92.
75. Podleśny J.: Wpływ przedsięwziętego naświetlania nasion światłem laserowym na kształtowanie się cech morfologicznych i plonowanie bobiku. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 1997, **446**: 435-440.
76. Podleśny J.: Wpływ przedsięwziętego traktowania nasion promieniami laserowymi na rozwój i plonowanie bobiku (*Vicia faba minor*). *Pam. Puł.*, 1998, **113**: 73-84.

77. Podleśny J.: The effect pre-sowing treatment of laser light on morphological features formation and white lupine yielding. In: Lupin, an ancient crop for the new millenium. Department of Agronomy and Soils Alabama Agric. Expt. Stn. and Auburn University, USA, 1999, 388-390.
78. Podleśny J.: The effect of seeds laser biostimulation on white lupine growth in differentiated moisture conditions. Acta Physiol. Plant., 1998, vol. 20: 64.
79. Podleśny J.: Wpływ przedsiwnej biostymulacji laserowej nasion na wzrost i rozwój łubinu białego w zróżnicowanych warunkach wilgotności i temperatury. Pam. Puł., 1999, 117: 61-81.
80. Podleśny J.: Oddziaływanie światła laserowego na rozwój i plonowanie łubinu białego (*Lupinus albus* L.). Pam. Puł., 2000, 121: 127-146.
81. Podleśny J.: Wpływ traktowania nasion promieniami laserowymi na rozwój oraz dynamikę gromadzenia suchej masy łubinu białego (*Lupinus albus* L.). Pam. Puł., 2000, 121: 147-170.
82. Podleśny J.: Wpływ światła laserowego na niektóre zmiany biochemiczne i fizjologiczne w nasionach i roślinach łubinu białego (*Lupinus albus* L.). Pam. Puł., 2000, 121: 171-191.
83. Podleśny J., Koper R.: Efektywność biostymulacji laserowej nasion łubinu białego (*Lupinus albus* L.) w zależności od ich wilgotności. Inż. Rol., 2001, 9(29); (w druku).
84. Podleśny J., Misiak L., Koper R.: Concentration of free radicals in faba bean seeds after the pre-sowing treatment of the seeds with laser light. Int. Agrophysics, 2001, 15: 185-189.
85. Podleśny J., Podleśna A.: The effect of pre-sowing treatment of seeds by laser light on morphological features formation and faba bean yielding. Inter. Conf. on Agricultural Engineering, Oslo, Part II, 1998, 967-969.
86. Podleśny J., Podleśna A., Koper R.: Chilling tolerance of white lupine in early developmental phases – the effect of seed pre-sowing irradiation by laser. COST 814 – Crop development for the cool and wet regions of Europe. European Commission, 1997, 236-240.
87. Popp E. F.: Elektromagnetic Bio-information. Coherent Photon Storage of Biological Systems. Urban and Schwarzenberg, München-Vien-Baltimore, 1979.
88. Popp A. F.: Biologie des Lichts, Verlag Paul Parey Berlin und Hamburg, 1984.
89. Prokhorova I. M., Gregorieva V. S., Vasilev Y. V., Leushkina A. A., Odorova L. V.: Specific and varietal sensitivity to laser radiation in cereals. Ekologicheskije aspekty regulatsii productivnosti rastienii, 1991, 130-143.
90. Quickend T. L., Daniels L. L.: Attempts biostimulation of division in *Saccharomyces cerevisiae* using red coherent light. Photochem. Photobiol., 1993, 57: 272-278.
91. Rachon L., Dziamba Sz.: Wpływ przedsiwnej biostymulacji nasion światłem na plonowanie i jakość pszenicy twardej (*Triticum durum* Desf.). Pam. Puł., 1999, 118: 341-348.
92. Roscher P., Graniger W., Klima H.: Low-level chemiluminescence from activated polymorphonuclear leukocytes. Biochem. Biophys. Res. Commun., 1984, 123: 1646-1651.
93. Rybiński W.: Wykorzystanie światła lasera w badaniach nad jęczmieniem. Pam. Puł., 1998, 112: 169-177.

94. Rybiński W., Patyna H., Przewoźny T.: Mutagenic effect of laser and chemical mutagens in barley (*Hordeum vulgare* L.). Gen. Pol., 1993, vol. **34** (4): 337-343.
95. Sawicki B.: Plonowanie niektórych traw pod wpływem naświetlania materiału siewnego laserem helowo-neonowym. Ann. UMCS, 1995, Sect. E, vol. **L**, 9: 59-63.
96. Sebanek J., Kralik J., Hudeova M., Kliciva S., Slaby K., Psota V., Vitkova H., Polisenska M., Kudova D., Sterba S., Vancura J.: Growth and hormonal effects of laser on germination and rhizogenesis in plants. Acta Sc. Nat. Brno. Praga 1989, **23**(9): 1-49.
97. Sedlak W.: Plazma fizyczna i laserowe efekty w układach biologicznych. Kosmos, 1970, A, **19**: 143-154.
98. Sedlak W.: Dynamika bioplazmy i metabolizm. Kosmos, 1975, A, **24**: 261-272.
99. Sheppard S. C., Chubey B. B.: Radiation hormesis of field-seeded broccoli, parsnip and cauliflower. Can. J. Plant Sci., 1990, **70**(1): 369-373.
100. Shtanko Yu N.: Effect of laser light on the growth, development and productivity of peas. Seleksiya i Semenovotsvo Ovoshch Kultur, 1979, 113-121.
101. Slater T. F.: Free radicals in medicine. Free Rad. Res. Commun., 1989, **7**: 119-390.
102. Smith M. T.: Ultrastructural changes during imbibition in seeds of lettuce (*Lactuca sativa* L.) after gamma irradiation. Seed Sci. Technol., 1991, **19**(2): 385-395.
103. Somogyi M.: Notes on sugar determination. J. Biol. Chem., 1952, **19**: 195.
104. SonT. S.: Łaziernaia aktivacia kenafa. Tech. Kult., 1990, **6**: 42-43.
105. Srojtova G.: Pre-sowing stimulation of sunflower and rape seeds by laser irradiation. Zbornik Vedeckych Prac Oblastnieho Vyskumneho Ustavu Agroekologiev, 1992, 11, 55-60.
106. Stamp P.: Kühleverträglichkeit von Mais – Utopie und Realität. Mais, 1992, **3**: 9-11.
107. Stand J.: Osetreni osiva lnu laserovym ozarovanim. Rostlinna Vyroba, 1991, **37**: 223-229.
108. Stawiński S.: Długość okresu wegetacji, jako czynnik ograniczający uprawę łubinu białego w Polsce. Mat. konf. nauk.: Łubin-Białko-Ekologia, Poznań, 1994, 91-99.
109. Stuck E. B.: Measuring and reporting physical parameters in laser biomodulation research. SPIE. International Society for Optical Engineering. Washington, 1993, 21-26.
110. Svetleva A., Aladjadjian A.: The effect of helium-neon laser during irradiation of dry bean seeds. Bulgarian J. Agric. Sci., 1996, **2**: 5, 587-593.
111. Swartz H. M., Bolton J. R., Borg D. C., Wiley J.: Biological applications of electron spin resonance. New York, 1972.
112. Szwoniek E., Felczyńska A.: Tomato plant response to laser beam seed treatment. Acta Horticulture, 2nd Inter. Symp. on Protected Cultivation of Vegetables in Mild Winter Climates, Crete Greece, Oct. 29-Nov. 3, 1989, 451-454.
113. Szyrmer J., Klimont K.: Wpływ światła lasera na jakość nasion fasoli (*Phaseolus vulgaris* L.). Biul. IHAR, 1999, **210**: 165-168.
114. Symons M.: Chemical and biochemical aspects of electron-spin resonance spectroscopy. Van Nostrand Reinhold Company, New York-Cincinnati-Toronto-London-Melbourne, 1978.
115. Świącicki W.: Łubin jako roślina ekologiczna. Łubin w gospodarce i życiu człowieka. Polskie Towarzystwo Łubinowe, Poznań, 1993, 15-22.

116. Tamura K., Kishioke S., Miyashita M., Iijima K.: Stimulating effects of low-power He-Ne laser on growth of *Saccharomyces cerevisiae* under high pressure. *Biotechnology Techniques*, 1996, vol. **10**(5): 339-340.
117. Thompson K.: A comparative study of germination responses to high irradiance light. *Ann. Bot.*, 1989, **63**: 159-162.
118. Toth M., Kerpert I., Kozma L., Klujber L.: Influence of different wave-length laser lights on the carbohydrate metabolism in germinating maize seeds. *Acta Botanica Hungarica*, 1993, **38**(1-4): 421-430.
119. Vasilevski G., Bosev D., Jevtic S., Lazic B.: Laser light as a biostimulator into the potato production. *Acta Horticulturae*, 1997, **462**: 325-328.
120. Vasilienko V.F., Kuznecov E. D.: Fizjologiceskie i ekologiceskie aspekty izpolzovania chimiceskoi i svetlovoi regulacji rosta rastenii. *Viestnik Sielskochozjajstvennoi Nauki*, 1990, **7**: 63-68.
121. Wang L., Q.: Induced mutations for crop improvement in China. In: *Plant Breeding for Crop Improvement. Proc. Symp.*, Vienna, IAEA, 1991, **1**: 9-93.
122. Warnke U.: Influence mutations for crop improvement in China. W: *Plant Breeding Proceedings of the First International Symposium „Foton emission from biological systems”*. Word scientific, Hong-Kong, Singapore, 1986, 211-218.
123. Wilde W.H.A., Parr W.H., McPeak D.W.: Seeds bask in laser light. *Laser Focus*, 1969, vol. **5**(23): 41-42.
124. Wojcieszka U., Giza A., Wolska E., Łyszcz S.: Dynamika wzrostu i pobierania składników pokarmowych przez groch siewny odmian Ramir i Koral. I. Dynamika przyrostu masy i plon roślin. *Pam. Puł.*, 1993, **102**: 119-133.
125. Wójcik S.: Effect of seed irradiation with laser on the yield and chemical composition of sugar beet roots. *International Agrophysics*, 1994, **8**: 539-542.
126. Wójcik S., Bojarska U.: Wpływ przedsiewnej obróbki nasion promieniami lasera na plon i jakość korzeni kilku odmian buraka cukrowego. *Ann. UMCS*, 1998, Sectio E, vol. **10**: 87-96.
127. Wójcik S., Filipiuk H.: Plonowanie i jakość technologiczna korzeni kilku odmian buraka cukrowego w zależności od przedsiewnej biostymulacji nasion. *Ann. UMCS*, 1999, sectio E, **6**: 41-50.
128. Xu M. F.: Studies on mutagenic effect of using laser in wheat. *Appl. Laser*, 1988, **9**: 1-2.
129. Zhidong F., Shuzhen X.: Effects of He-Ne laser upon the germinating ability of wheat seeds. *Acta Universitatis Agriculturae Boreli Occidentalis*, 1990, vol. **18**(2): 95-98.
130. Yuzhang X., Zhidong F., Duli Z.: Effects of laser on the yield and quality of cotton. *China Cottons*. 1990, **17**(2): 37-38.
131. Zhu X. D.: Genetical analysis of quantitative characters of laser treated wheat. *Laser J.*, 1988, **9**: 167-170.

8. SUMMARY

STUDIES ON INFLUENCE OF LASER LIGHT ON SEEDS, GROWTH, DEVELOPMENT AND YIELDING OF THE WHITE LUPINE (*Lupinus albus* L.) PLANTS

In order to learn the effect of laser light on seeds, development and forming of white lupine plants, studies on their yielding potential were carried out. The conditions in which these studies were conducted included Petri dish, pot experiments in the greenhouse, growth chambers with controlled moisture and temperature conditions and field experiments. Two white lupine varieties were selected for experiments: Bardo – traditional type and Katon – self determined type. The dose of laser irradiation was differentiated by the number of irradiation exposures. One exposition was equal to $4 \cdot 10^{-3} \text{ J} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. The studies had cognitive as well as practical character. Some special experiments were also conducted, mostly of biochemical and physiological nature, in order to determine the usefulness of seed irradiation treatments for seed yield increase and improvement of yield structure. It was found that treating of seeds at the pre-sowing stage with laser light significantly increased the activity of amylolytic enzymes in seeds of both white lupine varieties. The most differentiation of enzymes activity between irradiated and non irradiated seeds was found in the period from 48 to 96 hours after sowing, in other words its occurrence was the most distinct when seeds had absorbed sufficient amount of water and the emergence process was advanced. In white lupine seeds of Bardo var. of traditional type, more activity of enzymes was noted in comparison to Katon var. of determinate type. A significant increase of free radicals concentration was found in seeds treated with laser light. The biggest increase of free radicals number in seeds of both lupine varieties was found after three and four irradiation exposures. The effect of concentration of free radicals in the leaves, stems and roots from the irradiated plants did not differ significantly in comparison to those from the plants grown from non-irradiated seeds. The spectroscopy tests did not show an increased number of free radicals in the seeds of plants which grew from the irradiated seed lot either. Detailed measurements of IAA and GA_3 content showed higher concentration of both phytohormones in the lupine seeds after irradiation and in the aboveground part and roots of young plants which grew from these seeds, in comparison to the control object. The highest concentration of phytohormones measured was found in the aboveground part of lupine plants; their concentration was the same in the emerging seeds and roots. No significant difference in IAA and GA_3 content was found either between the seeds and plants grown from these seeds after three and five exposures or between white lupine varieties examined. Irradiated seeds of both varieties had greater dynamics of mass increase during seed imbibition than non-irradiated seeds. As a consequence their germination and sprouting was found to begin earlier and to evolve more evenly. Under greenhouse conditions forcing of particular developmental phases was also observed, e.g. earlier flowering and plant maturation. However, in field experiments no clear effect of irradiation on the ontogenesis course of plants originated from irradiated seeds was observed. On the other hand, a lower water concentration in the seeds harvested from plants grown from the irradiated seed lot was found. It indicates that they mature faster, which can be of importance to their post-harvest treatment, as it may mean reduction of the

cost related to additional drying. Pre-sowing laser biostimulation of seeds affected favourably the growth and development of the seedlings. Lupine seedlings, which grew from irradiated seeds, had significantly higher length of the hypocotyl and roots in comparison to those grown from non-irradiated seeds on successive dates of measurement. The difference of the height of plants and length of roots between plants grown from irradiated seeds and non-irradiated seeds continued to be significant also in later periods of their growth and development. Seed irradiations affected advantageously germination, emergence, growth and plant development under unfavourable environmental conditions. That treatment had also favourable influence on dry matter yield of the aboveground part, especially on the yield of pods and seeds. It means that by using irradiation on a seed lot it is possible to somewhat weaken the influence of unfavourable habitat factors on the development and yielding of white lupine. A significant dependence of dry matter yield accumulation dynamics on seed irradiation, soil humidity and air temperature was found. Pre-sowing treatment of white lupine seeds with laser light significantly affected seed yield increase. In field experiments the impact of treatments was different in particular years of research. It indicates that the influence of irradiation depends on weather conditions. The yield increase was the result of greater pod density on plant and in field experiments the thousand seed weight and the number of seeds per pod did not change significantly. Greater doses of laser irradiation (*D3*, *D4*, *D5*) affected the yield more considerably than smaller ones (*D1*, *D2*) on both white lupine varieties. Aboveground part weight had been increasing very fast up to the flowering period; the greatest increase of the aboveground part took place during flowering and pod setting. Afterwards the vegetative organs mass had been decreasing, while the mass of generative organs had been increasing very fast. White lupine plants which grew from irradiated seeds had greater values of growth rate (GR) and relative growth rate (RGR) of the aboveground part and the whole plant in comparison to plants from non-irradiated seeds. Seed irradiation had little effect on the rate of dry matter accumulation of particular organs of white lupine or their size. Three exposures to irradiation had more influence on growth dynamic of individual aboveground part organs, and five exposure irradiation – on root mass increase. Very similar dependence occurred in research which was conducted in growth chambers, under differentiated humidity and temperature conditions. It can be supposed that to stimulate lupine root growth and development it may be necessary to use greater doses of irradiation than for aboveground part development stimulation. Seed irradiation with laser light modified some yielding factors of lupine plants which grew from these seeds. It was found, among other things, that leaf area increase was the most visible in the period of intensive growth of plants from 2-3 leaves to flowering. After this period earlier maturation of plants grown from irradiated seeds was observed. Their leaf area decreased faster than that of plants originated from non-irradiated seeds. The increase of leaf area, and increase of chlorophyll content in the leaves, showed in these studies a favourable effect on intensity of net photosynthesis (net assimilation rate - NAR), which was significantly higher in plants from irradiated seeds compared to plants from the control object. Pre-sowing seed irradiation with laser light did not influence significantly fodder and sowing quality of white lupine harvested seeds. The results of post-harvest laboratory and chemical analysis showed improvement of germinability and a tendency to increase the protein content, fat and some macro-elements in the seeds obtained from plants which belonged to the laser irradiated object. However, these differences were not statistically proved. In the majority of studies conducted till now, the effects of laser

light irradiation on seeds are presented but there are very few papers trying to explain the mechanism of this treatment on seeds and subsequent development of plants. This problem has not been very well known until now. Besides the doses of irradiation, used in the author's experiment, favourably effected growth, development and yielding of both white lupine varieties, generally to the similar extent. Hence, there is a need to conduct detailed studies, especially biochemical and physiological ones, in order to determine the way the laser light influences the seeds and also to conduct research with the purpose to determine the margin doses of irradiation which favourably affect the plant development.

ANEKS

WYKAZ PRAC WŁASNYCH WCHODZĄCYCH W SKŁAD
ROZPRAWY HABILITACYJNEJ**pt. „Studia nad oddziaływaniem światła laserowego na nasiona, wzrost i rozwój roślin oraz plonowanie łubinu białego (*Lupinus albus* L.)”**

Przedstawione opracowanie stanowi podsumowanie oraz uzupełnienie zestawu 4 prac monograficznych nad oddziaływaniem promieniowania laserowego na zmiany przebiegu niektórych procesów biochemicznych i fizjologicznych w nasionach oraz rozwój i plonowanie łubinu białego opublikowanych w latach 1999–2000.

- I. Podleśny J.: Wpływ przedsiewnej biostymulacji laserowej nasion na wzrost łubinu białego (*Lupinus albus* L.) w zróżnicowanych warunkach wilgotności i temperatury. Pam. Puł., 1999, **117**: 61-81; (79)*.
- II. Podleśny J.: Oddziaływanie światła laserowego na rozwój i plonowanie łubinu białego (*Lupinus albus* L.). Pam. Puł., 2000, **121**: 128-146; (80).
- III. Podleśny J.: Wpływ traktowania nasion promieniami laserowymi na rozwój oraz dynamikę gromadzenia suchej masy łubinu białego (*Lupinus albus* L.). Pam. Puł., 2000, **121**: 147-170; (81).
- IV. Podleśny J.: Wpływ światła laserowego na niektóre zmiany biochemiczne i fizjologiczne w nasionach i roślinach łubinu białego (*Lupinus albus* L.). Pam. Puł., 2000, **121**: 171-191; (82).

Prace zostały zrealizowane częściowo w ramach projektu badawczego (grantu) Nr 5P06B 07614 pt. „Oddziaływanie światła laserowego na przyspieszenie wschodów i rozwoju bobiku, łubinu białego i kukurydzy” finansowanego przez Komitet Badań Naukowych.

* Numery publikacji według spisu literatury

JANUSZ PODLEŚNY

Zakład Uprawy Roślin Pastewnych

IUNG – Puławy

WPLYW PRZEDSIEWNEJ BIOSTYMULACJI LASEROWEJ NASION
NA WZROST I ROZWÓJ ŁUBINU BIAŁEGO (*Lupinus albus* L.)
W ZRÓŻNICOWANYCH WARUNKACH WILGOTNOŚCI
I TEMPERATURY*

The effect of pre-sowing laser biostimulation of seeds on the growth and development
of white lupine (*Lupinus albus* L.) under various moisture and temperature conditions

(Wpłynęło do Redakcji 8 VI 1999 r.)

Łubin biały jest gatunkiem szczególnie wrażliwym na niedobór wody podczas kiełkowania nasion – ograniczenie jej dostępności w tym okresie rozwoju niekorzystnie wpływa na wschody roślin, a także opóźnia wzrost i rozwój siewek. Ilość wody pobranej podczas kiełkowania stanowi około 170% masy nasion. Optymalna wilgotność gleby dla uprawy tego gatunku wynosi 70% połowej pojemności wodnej (16). Znaczne niższe plony występują w przypadku pojawienia się suszy w okresach krytycznych, które dla roślin strączkowych przypadają na fazę kwitnienia i zawiązywania strąków.

Panuje pogląd, że wymagania termiczne łubinu białego nie są zbyt duże, ponieważ kiełkowanie nasion tego gatunku przebiega już w temperaturze 4–5°C. Jednak są to warunki uznawane za niesprzyjające kiełkowaniu i wschodom, gdyż optymalna temperatura kiełkowania łubinu białego wynosi 10–12°C (16). W niskich temperaturach wigor nasion ulega silnemu obniżeniu, a siewki są porażane przez choroby grzybowe. Stres chłodu zmniejsza zatem liczbę i pogarsza zdrowotność wschodzących roślin. Ten niekorzystny wpływ czynników środowiska można znacznie łagodzić poprzez odpowiednie przygotowanie metodami chemicznymi lub fizycznymi materiału siewnego.

* Badania przeprowadzono w ramach projektu badawczego Nr 5P06B 07614 finansowanego przez
Komitet Badań Naukowych

Obecnie coraz większą uwagę zwraca się na stosowanie do tego celu metod fizycznych takich, jak: pole magnetyczne (24-26), promieniowanie jonizujące (12, 13, 22, 34, 35), pole ultradźwiękowe (12-14), promieniowanie laserowe (2, 3, 4, 7, 19, 21, 27, 28, 29, 43), które ze względów ekologicznych uznawane są za bezpieczniejsze od metod chemicznych.

Wśród fizycznych metod ulepszania materiału siewnego szczególnie korzystne efekty otrzymano po traktowaniu nasion promieniami laserów rubinowych i helowo-neonowych (18, 30) małej mocy, lecz o wysokim stopniu koherencji, polaryzacji i monochromatyczności światła (3, 15, 19, 42).

Na podstawie przeglądu literatury, a w szczególności wyników dotychczas przeprowadzonych badań własnych można przypuszczać, że energia promieniowania laserowego zwiększając aktywność układów enzymatycznych (8, 22, 39) i fitohormonalnych w nasionach (32, 41) może znacznie zmniejszać wrażliwość roślin na niesprzyjające czynniki środowiska i choroby. Dotychczas prowadzone badania, głównie z roślinami zbożowymi i warzywnymi, wykazały bowiem zwiększenie energii kiełkowania, przyspieszenie wschodów oraz tempa wzrostu i rozwoju, a następnie zwiększenie masy roślin i plonów po przedsiewnym naświetlaniu nasion promieniami laserowymi (6, 9, 21, 33, 42, 44).

Celem podjętych badań było określenie oddziaływania przedsiewnego traktowania nasion światłem laserowym na kiełkowanie, wschody oraz wzrost i rozwój łubinu białego rosnącego w optymalnych i niesprzyjających warunkach termiczno-wilgotnościowych. Przeprowadzone badania miały również na celu określenie wpływu naświetlania nasion na wielkość plonu suchej masy całych roślin lub poszczególnych organów roślinnych. Celem eksperymentów było także zbadanie, w jakim stopniu uzyskiwany efekt zabiegu naświetlania nasion zależy od warunków termicznych i wilgotnościowych oraz określenie w jakim stopniu stosując zabieg napromieniowania nasion można zmniejszyć wpływ niektórych niesprzyjających czynników siedliska na rozwój i plonowanie łubinu białego.

METODYKA

Doświadczenie I dotyczące określenia wpływu przedsiewnej biostymulacji laserowej nasion na wzrost łubinu białego w zróżnicowanych warunkach wilgotności gleby prowadzono w wazonach Mitscherlicha umieszczonych w komorach klimatycznych firmy HERAEUS, w 4 powtórzeniach. Do każdego wazonu zawierającego 7 kg gleby średniozwięzłej wysiewano po 6 nasion łubinu białego odmiany Bardo. Bezpośrednio po wschodach dokonywano przerywki pozostawiając w każdym wazonie po 5 roślin. Czynnikiem I rzędu była zróżnicowana wilgotność gleby: 30, 50 i 70% połowej pojemności wodnej (ppw), a czynnikiem II rzędu zróżnicowane dawki promieniowania laserowego: D_0 – brak naświetlania, D_3 – naświetlanie trzykrotne, D_5 – naświetlanie pięciokrotne. Dawka pojedynczej ekspozycji wyno-

siła $4 \cdot 10^{-3} \text{ Jcm}^{-2}\text{s}^{-1}$. W fitotronie utrzymywano warunki termiczne i wilgotnościowe zbliżone do występujących w okresie wegetacji roślin w warunkach polowych. Temperatura w zależności od okresu rozwoju wynosiła od 4 do 20°C w nocy i od 7 do 26°C w dzień, wilgotność powietrza 65% w dzień i 85% w nocy oraz długość dnia od 9 do 14 h. W doświadczeniu prowadzono szczegółowe obserwacje wschodów oraz wzrostu i rozwoju roślin. W okresie kwitnienia łubinu wykonano pomiary biometryczne roślin, a podczas zbioru określono plon suchej masy części nadziemnej oraz długość i suchą masę korzeni. Doświadczenie prowadzono przez 120 dni.

Doświadczenie II dotyczące określenia wpływu przedsiewnej biostymulacji laserowej nasion na początkowy wzrost i rozwój łubinu białego w zróżnicowanych warunkach temperatury prowadzono w dwóch fitotronach, w 4 powtórzeniach, w doniczkach zawierających około 2 kg gleby średniozwięzłej. Do każdej doniczki wysiewano po 6 nasion łubinu białego odmiany Bardo. Następnie po wschodach dokonywano przerywki pozostawiając po 5 roślin w doniczce.

Czynnikiem I rzędu były zróżnicowane warunki termiczne. W I fitotronie zastosowano w okresie od siewu do wschodów temperaturę 6°C w dzień i 4°C w nocy (warunki niesprzyjające) zmieniane co tydzień o +2°C, a w fitotronie II – temperaturę 12°C w dzień i 10°C w nocy (warunki optymalne) zmieniane co tydzień podobnie jak w fitotronie I. W obydwu fitotronach ustawiono czas trwania dnia na 14 h i nocy na 10 h oraz wilgotność powietrza w dzień i w nocy odpowiednio 65 i 85%. Czynnikiem II rzędu były zróżnicowane dawki promieniowania laserowego: D_0 – brak naświetlania, D_1 – naświetlanie jednokrotne, D_3 – naświetlanie trzykrotne, D_5 – naświetlanie pięciokrotne i D_7 – naświetlanie siedmiokrotne. Doświadczenie prowadzono przez 35 dni. W przeprowadzonym eksperymencie rośliny podlewano kilkakrotnie w ciągu dnia utrzymując wilgotność gleby: do fazy 5–6 liści – 50%, później 70% połowej pojemności wodnej.

W obydwu doświadczeniach do naświetlania nasion łubinu białego wykorzystano urządzenie do przedsiewnej obróbki nasion promieniowaniem laserowym skonstruowane w Katedrze Fizyki AR w Lublinie (20). W czasie trwania doświadczenia dokonano oceny wschodów roślin oraz określono dynamikę wzrostu roślin dokonując kilkakrotnego pomiaru ich wysokości. Natomiast podczas zbioru określono długość korzeni oraz suchą masę części nadziemnej i korzeni.

Obydwa doświadczenia prowadzono w trzech seriach. W ocenie statystycznej posługiwano się półprzedziałem ufności Tukeya przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

OMÓWIENIE WYNIKÓW

W doświadczeniu I tempo kiełkowania i wschodów łubinu białego uzależnione było zarówno od wilgotności gleby, jak i od dawki stosowanego przedsiewnie promieniowania laserowego (tab. 1). Najwcześniej wschodziły i najlepiej rozwijały się rośliny uprawiane na glebie o wilgotności równej 70% połowej pojemności wodnej.

Tabela 1

Kielkowanie nasion i wschody roślin
Germination and emergence of white lupine plants

Wyszczególnienie Description	Kielkowanie; Germination (%)	Wschody; Emergence (%)
Dawki naświetlania: Doses of irradiation (I):		
D0	84,1 A*	84,2 A
D3	95,6 B	95,3 B
D5	93,7 B	92,3 B
Warunki wilgotnościowe: Moisture conditions (II):		
30% ppw; FWC	87,1 A	89,0 A
50% ppw; FWC	92,4 B	92,5 B
70% ppw; FWC	95,3 C	94,0 B

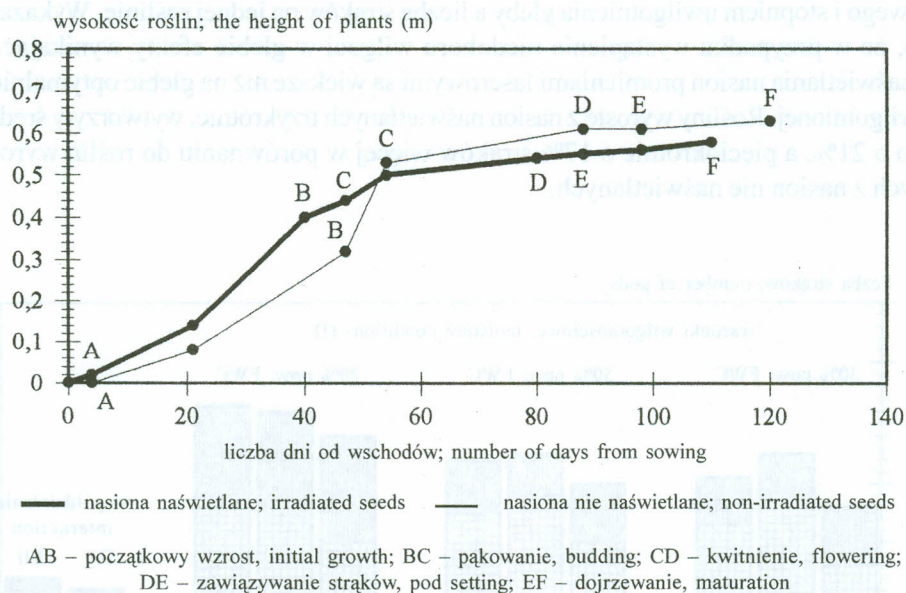
* liczby w kolumnach zaznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie ($\alpha = 0,05$)
values in columns marked with the same letters do not differ significantly ($\alpha = 0,05$)

Wraz ze zmniejszaniem zawartości wody w glebie obserwowano opóźnienie wschodów roślin. Na glebie uwilgotnionej do 30% połowej pojemności wodnej wschody roślin były opóźnione o około 4 dni w stosunku do roślin rosnących na glebie najbardziej uwilgotnionej (70% ppw). Zabieg przedsewnego naświetlania nasion światłem emitowanym przez laser helowo-neonowy wpływał bardziej na szybkość kiełkowania, niż na tempo wschodów roślin łubinu. Zarówno trzy-, jak i pięciokrotne naświetlanie materiału siewnego przyspieszało kiełkowanie o 2–3 dni i wschody roślin o około 1–2 dni w stosunku do obserwowanych w obiektach z nasionami nie naświetlanymi.

Liczba kiełkujących nasion i wschodzących roślin zależała istotnie od wilgotności gleby. Najsłabsze kiełkowanie i wschody obserwowano na glebie o najniższym stopniu uwilgotnienia (30% ppw); w glebie o wilgotności 50 i 70% połowej pojemności wodnej kiełkowało odpowiednio o 5,7 i 9,4% więcej nasion. Podobnie przebiegały również wschody roślin, chociaż były one mniej modyfikowane przez stopień uwilgotnienia gleby niż kiełkowanie. Liczba zabiegów przedsewnego naświetlania nasion miała istotny wpływ na kiełkowanie i wschody. Wskutek trzy- i pięciokrotnego naświetlania liczba kiełkujących nasion zwiększyła się odpowiednio o 11,9 i 10,2%, a wschody roślin odpowiednio o 8,8 i 6,6%. Nie stwierdzono współdziałania uwilgotnienia gleby i dawek napromieniowania nasion na kiełkowanie i wschody łubinu białego, dlatego wyniki przedstawiono w postaci średnich.

W przeprowadzonym doświadczeniu stwierdzono wyraźny wpływ naświetlania nasion na przebieg wzrostu i rozwoju roślin. Rośliny wyrosłe z nasion naświetlanych trzykrotną dawką energii zakwitły i zawiązywały strąki o około 8 dni, a pięciokrotną dawką o około 5 dni wcześniej niż wyrosłe z nasion nie naświetla-

nych (rys. 1). Obserwowano również różnice w wysokości roślin. W okresie od wschodów do kwitnienia rośliny wyrosłe z nasion naświetlanych były wyższe od wyrosłych z nasion nie naświetlanych, szybciej osiągały fazę generatywną, po czym dalszy przyrost ich wysokości następował wolniej niż roślin z nasion nie naświetlanych, dlatego przed zbiorem były od nich niższe. Prowadzone szczegółowe obserwacje i pomiary roślin przed zbiorem wykazały, że dawka pięciokrotnego naświetlania nasion miała większy wpływ na zmiany wysokości roślin niż dawka trzykrotnego naświetlania. Jednak analiza statystyczna nie wykazała istotnej różnicy między trzy- i pięciokrotnym naświetlaniem nasion w odniesieniu do zmiany wysokości roślin, dlatego na rysunku 1 przedstawiono dynamikę wzrostu roślin jako średnią dla dwóch stosowanych w doświadczeniu dawek promieniowania.



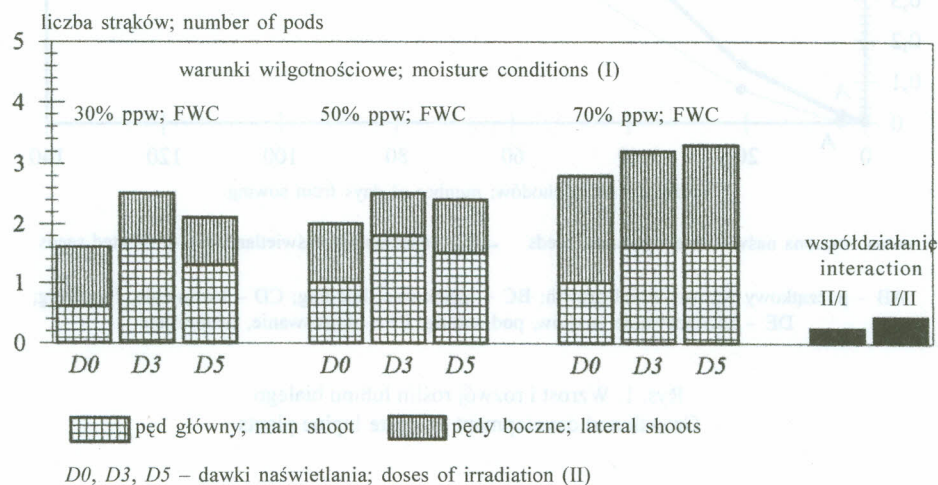
Rys. 1. Wzrost i rozwój roślin łubinu białego
Growth and development of white lupine plants

Przedsięwzięte naświetlanie nasion łubinu białego wpływało modyfikująco na morfologię roślin rosnących zarówno w optymalnych, jak i niesprzyjających warunkach wilgotnościowo-termicznych. Rośliny wyrosłe z nasion traktowanych promieniami laserowymi charakteryzowały się bardziej masywnym pokrojem, były wyższe i bardziej ulistnione w porównaniu do roślin wyrosłych z nasion nie naświetlanych. Różnice te były najbardziej widoczne w początkowym okresie wzro-

stu i rozwoju roślin. Nie obserwowano natomiast wyraźnych różnic w intensywności zabarwienia roślin (fot. 1 i 2).

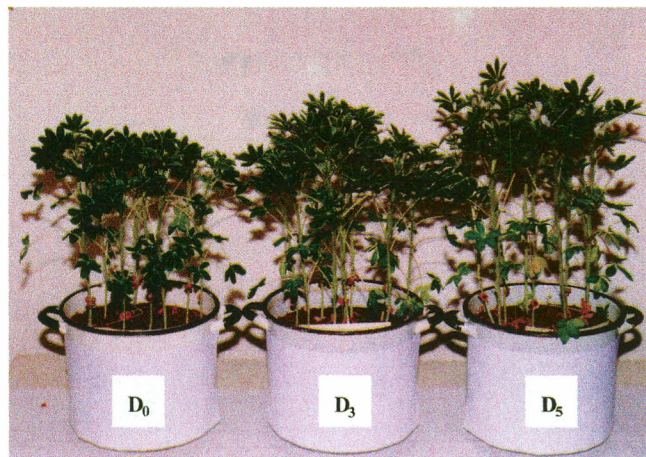
Rośliny uprawiane na glebie o najniższym stopniu uwilgotnienia (30% ppw) zakwitły o 5–6 dni wcześniej niż pozostałe. Również na glebie najmniej uwilgotnionej naświetlanie nasion najbardziej przyspieszało termin kwitnienia łubinu. Nie stwierdzono natomiast wyraźnej różnicy w terminie zakwitania roślin wyrosłych z nasion trzy- i pięciokrotnie naświetlanych przy wszystkich badanych poziomach wilgotności gleby.

Szczegółowa analiza wykazała, że przedsiewne naświetlanie nasion powodowało istotny przyrost liczby strąków na pędzie głównym łubinu, natomiast liczba strąków na pędach bocznych nie zmieniała się istotnie. Na skutek zastosowanego zabiegu naświetlania nasion nastąpił istotny wzrost sumarycznej liczby strąków na roślinie (rys. 2). Wystąpiło współdziałanie pomiędzy dawką promieniowania laserowego i stopniem uwilgotnienia gleby a liczbą strąków na jednej roślinie. Wykazano, że w przypadku wystąpienia niedoboru wilgoci w glebie efekty wynikające z naświetlania nasion promieniami laserowymi są większe niż na glebie optymalnie uwilgotnionej. Rośliny wyrosłe z nasion naświetlanych trzykrotnie, wytworzyły średnio o 21%, a pięciokrotnie o 17% strąków więcej w porównaniu do roślin wyrosłych z nasion nie naświetlanych.



Rys. 2. Liczba strąków na roślinie
Number of pods per plant

W przeprowadzonych badaniach stwierdzono istotny wpływ przedsiewnego naświetlania nasion i uwilgotnienia gleby na suchą masę strąków z nasionami (rys. 3). Stwierdzono współdziałanie pomiędzy uwilgotnieniem gleby i dawką pro-



30% polowej pojemności wodnej; 30% of field water capacity



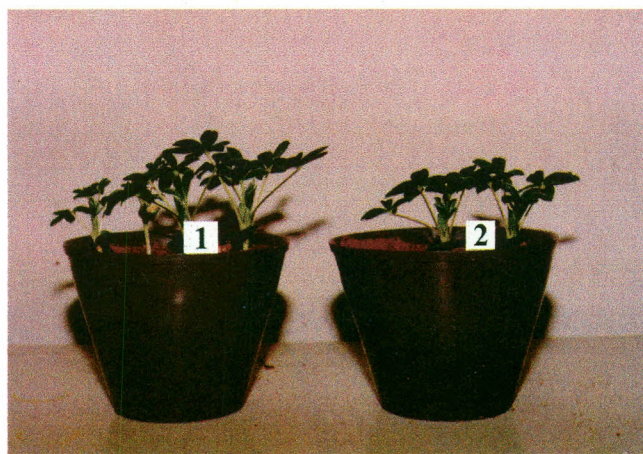
70% polowej pojemności wodnej; 70% of field water capacity

D₀ – bez naświetlania; without irradiation
D₃ – trzykrotne naświetlanie; 3-fold irradiation
D₅ – pięciokrotne naświetlanie; 5-fold irradiation

Fot. 1. Rozwój roślin w zróżnicowanych warunkach wilgotnościowych
Development of plants under various moisture conditions



optymalne warunki termiczne; optimum temperature conditions

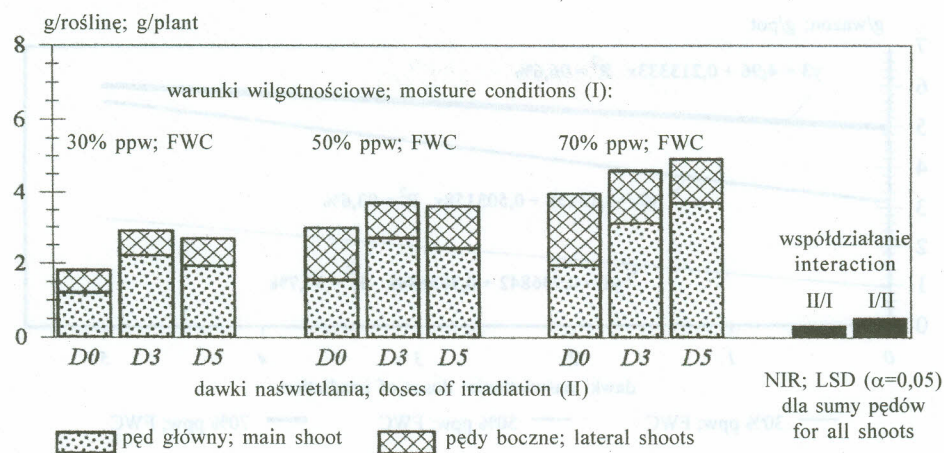


niekorzystne warunki termiczne; unfavourable temperature conditions

1 – rośliny z nasion naświetlanych; plants from irradiated seeds

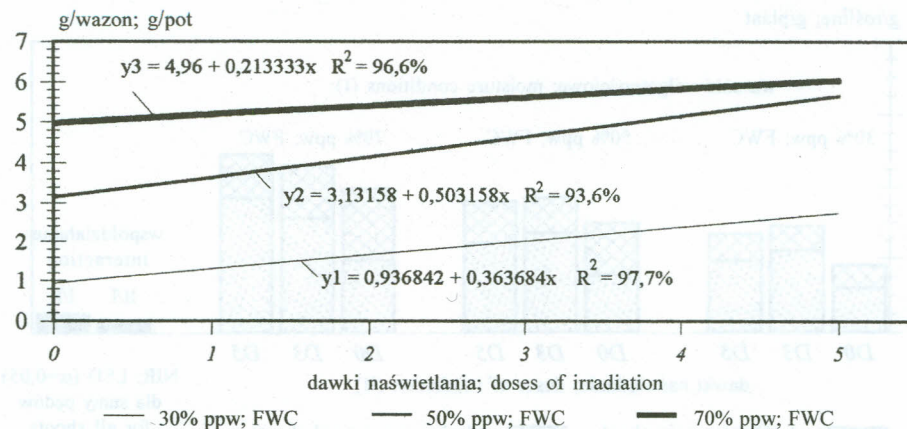
2 – rośliny z nasion nie naświetlanych; plants from not irradiated seeds

Fot. 2. Rozwój roślin w zróżnicowanych warunkach termicznych
Development of plants under various temperature conditions

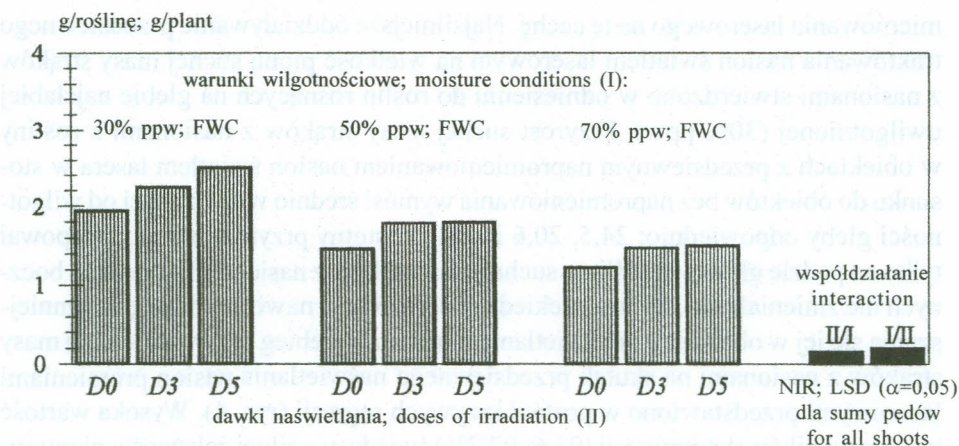


Rys. 3. Sucha masa strąków z nasionami
Dry matter yield of pods containing seeds

mieniowania laserowego na tę cechę. Najsilniejsze oddziaływanie przedsięwziętego traktowania nasion światłem laserowym na wielkość plonu suchej masy strąków z nasionami stwierdzono w odniesieniu do roślin rosnących na glebie najslabiej uwilgotnionej (30% ppw). Przyrost suchej masy strąków z nasionami z rośliny w obiektach z przedsięwziętym napromieniowaniem nasion światłem lasera w stosunku do obiektów bez napromieniowania wyniósł średnio w zależności od wilgotności gleby odpowiednio: 24,5, 20,6 i 16,4%. Istotny przyrost plonu następował tylko na pędzie głównym rośliny; sucha masa strąków z nasionami na pędach bocznych nie zmieniała się istotnie, niekiedy obserwowano nawet tendencję do zmniejszania się jej w obiektach z naświetlaniem nasion. Przebieg przyrostu suchej masy strąków z nasionami na skutek przedsięwziętego naświetlania nasion promieniami laserowymi przedstawiono w postaci krzywych regresji (rys. 4). Wysoka wartość współczynników determinacji (93,6–97,7%) świadczy o silnej zależności plonu suchej masy od dawki stosowanego promieniowania. Stwierdzono również istotny wpływ dawki promieniowania światła laserowego i uwilgotnienia gleby na wielkość suchej masy korzeni (rys. 5). Współdziałanie obydwu czynników doświadczania w odniesieniu do plonu korzeni wskazuje na uzależnienie efektów napromieniowania od wilgotności gleby. Największy przyrost suchej masy korzeni (o około 24%) w stosunku do roślin wyrosłych z nasion nie naświetlanych wystąpił na każdym z badanych poziomów uwilgotnienia gleby po pięciokrotnym naświetlaniu nasion, nie stwierdzono natomiast istotnej różnicy między obiektami z trzy- i pięciokrotnym naświetlaniem nasion. Również uwilgotnienie gleby istotnie modyfikowało rozwój systemu korzeniowego łubinu. Rośliny wyrosłe zarówno z nasion naświetlanych, jak i nie naświetlanych rosnące na glebie o najniższym stopniu uwil-



Rys. 4. Zależność suchej masy strąków z nasionami od dawki promieniowania laserowego
Dry matter of pods containing seeds in relation to doses of laser irradiation



Rys. 5. Sucha masa korzeni
Dry matter of roots

gotnienia (30% ppw) wytworzyły największą masę korzeniową, a na glebie najbardziej uwilgotnionej (70% ppw) – najmniejszą.

W doświadczeniu II kiełkowanie i wschody łubinu uzależnione były od warunków termicznych panujących w komorach klimatycznych oraz dawki stosowanego przedsięwzięcia promieniowania laserowego (tab. 2). Nasiona łubinu białego kiełkowały w optymalnych warunkach termicznych zdecydowanie lepiej niż w warunkach obniżonej temperatury. W niższej temperaturze wschodziło o około 20%

Tabela 2

Kiełkowanie nasion i wschody roślin
Germination and emergence of white lupine plants

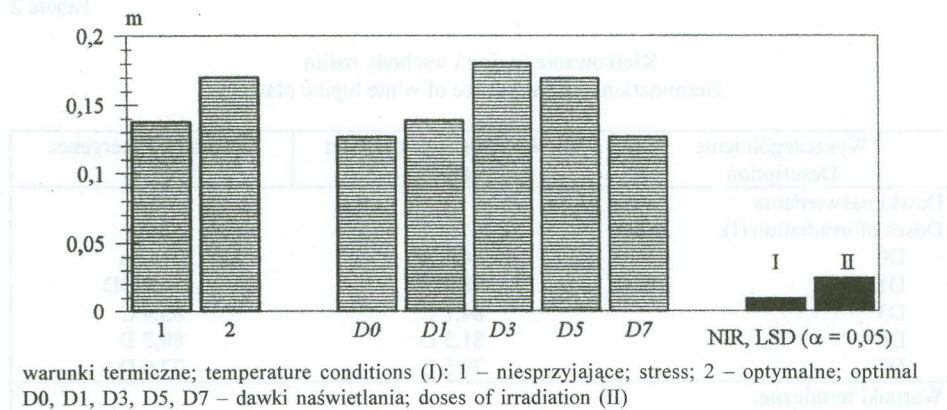
Wyszczególnienie Description	Kiełkowanie; Germination (%)	Wschody; Emergence (%)
Dawki naświetlania: Doses of irradiation (I):		
D0	74,1 A*	71,0 A
D1	78,2 BE	76,3 BD
D3	84,1 C	83,4 C
D5	81,5 D	80,2 D
D7	79,5 E	77,6 D
Warunki termiczne: Temperature conditions (II):		
stresowe; stress	66,8 A	65,7 A
optymalne; optimal	89,0 B	88,6 B

* liczby w kolumnach zaznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie ($\alpha = 0,05$)
values in columns marked with the same letters do not differ significantly ($\alpha = 0,05$)

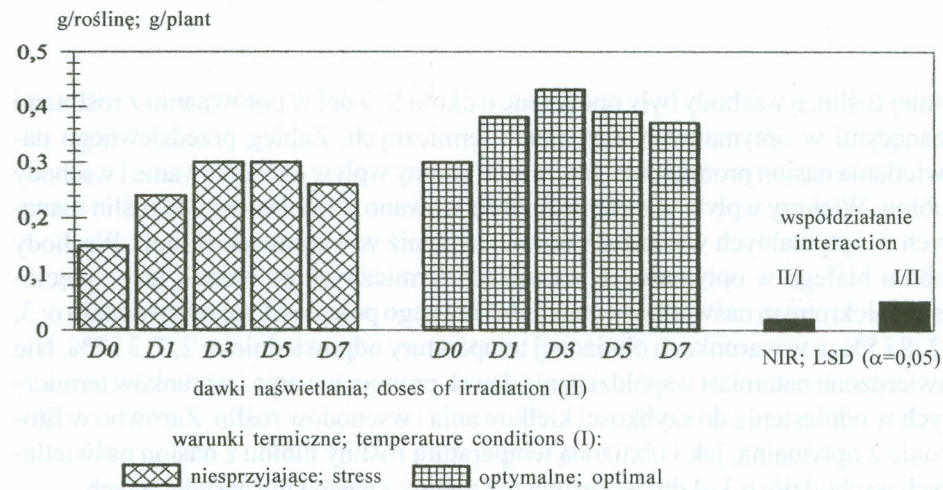
mniej roślin, a wschody były opóźnione o około 8–9 dni w porównaniu z roślinami rosnącymi w optymalnych warunkach termicznych. Zabieg przedsiewnego naświetlania nasion promieniami lasera miał istotny wpływ na kiełkowanie i wschody łubinu. Większy wpływ tego zabiegu obserwowano w odniesieniu do roślin rosnących w optymalnych warunkach termicznych niż w warunkach chłodu. Wschody łubinu białego w optymalnych warunkach termicznych po jedno-, trzy-, pięcio- i siedmiokrotnym naświetlaniu materiału siewnego polepszyły się odpowiednio o: 3, 12, 8 i 5%, a w warunkach obniżonej temperatury odpowiednio o: 2, 7, 3 i 2%. Nie stwierdzono natomiast współdziałania dawek promieniowania i warunków termicznych w odniesieniu do szybkości kiełkowania i wschodów roślin. Zarówno w fitotronie z optymalną, jak i obniżoną temperaturą rośliny łubinu z nasion naświetlanych wschodziły o 3–4 dni wcześniej niż rośliny z nasion nie naświetlanych.

Rośliny rosnące w optymalnych warunkach termicznych osiągnęły większą wysokość niż rośliny rosnące w obniżonej temperaturze (rys. 6). Również przedsiewne naświetlanie nasion modyfikowało wysokość roślin. Trzykrotne i pięciokrotne naświetlanie nasion powodowało istotny przyrost wysokości roślin, wynoszący niezależnie od warunków termicznych odpowiednio: 28 i 23%.

Akumulacja suchej masy części nadziemnej zależała istotnie zarówno od warunków termicznych, w jakich rosły rośliny, jak też od dawki przedsiewnego naświetlania nasion. Wystąpiło współdziałanie pomiędzy dawką promieniowania laserowego i warunkami termicznymi w odniesieniu do plonu suchej masy części nadziemnej roślin łubinu (rys. 7). Rośliny rosnące w warunkach obniżonej temperatury wytworzyły średnio o 46,6% mniejszy plon suchej masy niż rośliny rosnące

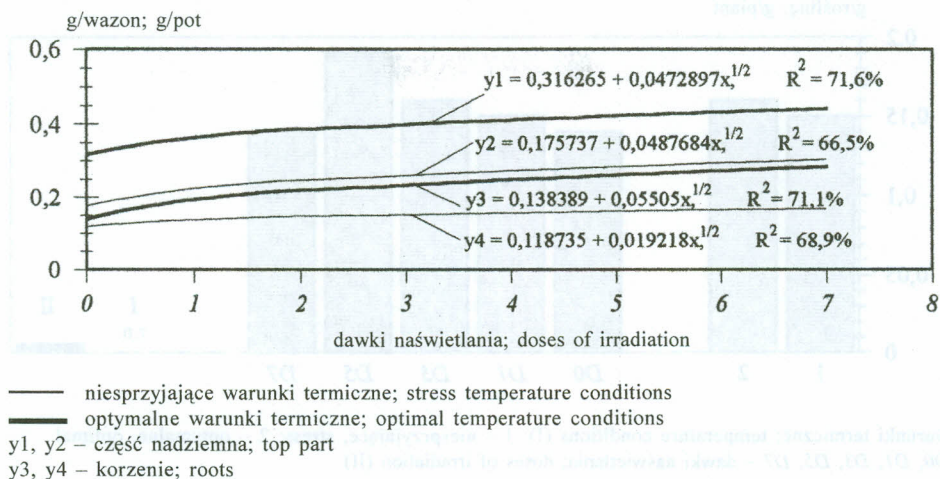


Rys. 6. Wysokość roślin przed zbiorem
The height of plants before harvest

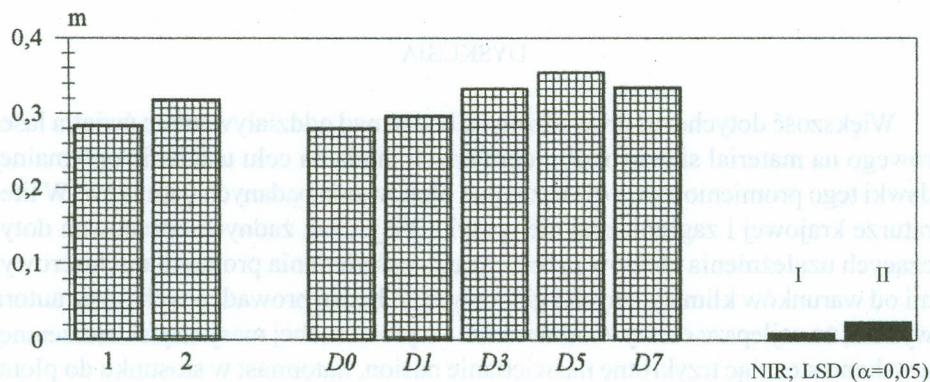


Rys. 7. Sucha masa części nadziemnej
Dry matter yield of the top part

w optymalnych warunkach termicznych. Największy przyrost suchej masy części nadziemnej roślin stwierdzono w przypadku stosowania trzy- i pięciokrotnego naświetlania nasion. Pozostałe dawki promieniowania powodowały znacznie mniejsze przyrosty suchej masy. Przebieg gromadzenia suchej masy części nadziemnej roślin na skutek przedsiewnego naświetlania nasion promieniami laserowymi przedstawiono w postaci krzywych regresji (rys. 8) opisanych równaniami o współczynnikach determinacji zawartych w granicach 66,5–71,6%.



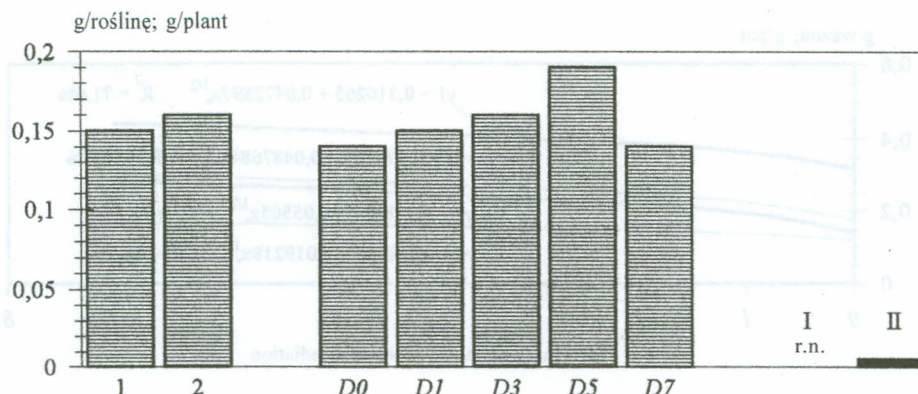
Rys. 8. Zależność suchej masy części nadziemnej i korzeni od dawki promieniowania laserowego
Dry matter of the top part and roots in relation to doses of laser irradiation



warunki termiczne; temperature conditions (I): 1 – niesprzyjające, stress; 2 – optymalne; optimal
D0, D1, D3, D5, D7 – dawki naświetlania; doses of irradiation (II)

Rys. 9. Długość korzenia głównego
The length of main root

Przedsięwzięcie naświetlania nasion wpływało modyfikująco również na rozwój korzeni. Największy przyrost długości korzenia głównego i plon suchej masy korzeni uzyskano przy dawce 5-krotnego naświetlania nasion (rys. 9 i 10). Wynosił on w stosunku do roślin wyrosłych z nasion nie naświetlanych średnio odpowiednio 25% i 32%. Nie stwierdzono istotnej różnicy między suchą masą korzeni roślin rosnących przy optymalnej i obniżonej temperaturze powietrza.



warunki termiczne; temperature conditions (I): 1 – niesprzyjające, stress; 2 – optymalne, optimal
 D0, D1, D3, D5, D7 – dawki naświetlania; doses of irradiation (II)

r.n. – różnice nieistotne; non-significant differences

Rys. 10. Sucha masa korzeni
 Dry matter of roots

DYSKUSJA

Większość dotychczas prowadzonych badań nad oddziaływaniem światła laserowego na materiał siewny roślin uprawnych miała na celu ustalenie optymalnej dawki tego promieniowania dla rozwoju i plonowania badanych gatunków. W literaturze krajowej i zagranicznej nie spotyka się jednak żadnych opracowań dotyczących uzależnienia efektów przesiewnego naświetlania promieniami laserowymi od warunków klimatycznych i glebowych. Z badań prowadzonych przez autora wynika, że najlepsze efekty w odniesieniu do plonu suchej masy części nadziemnej uzyskano stosując trzykrotne naświetlanie nasion, natomiast w stosunku do plonu suchej masy korzeni – pięciokrotne naświetlanie. Stwierdzono współdziałanie naświetlania i stopnia uwilgotnienia gleby w odniesieniu do liczby strąków na roślinie i plonu suchej masy strąków z nasionami oraz dawki napromieniowania nasion i warunków termicznych w odniesieniu do suchej masy części nadziemnej. Interakcja ta wskazuje, że efekt przedsiewnego naświetlania nasion uzależniony jest między innymi od uwilgotnienia gleby oraz temperatury powietrza. Zwyżki plonu uzyskane w prezentowanych badaniach nie były aż tak duże, jak uzyskiwane niekiedy przez innych badaczy w odniesieniu do plonu ziarna zbóż i korzeni buraków cukrowych (15, 19, 21, 43), ale zostały udowodnione statystycznie. Niektóre gatunki roślin uprawnych w warunkach stresu chłodu wytwarzają na ogół większą masę korzeniową niż w optymalnych warunkach termicznych (36). W przeprowadzonym doświadczeniu nie stwierdzono jednak takiej zależności. Prawdopodobnie

obniżenie temperatury, jakie zastosowano w eksperymencie nie miało aż tak głębokiego oddziaływania stresowego na badany gatunek, jakie obserwuje się u roślin zdecydowanie ciepłolubnych. Natomiast wilgotność gleby miała istotny wpływ na rozwój systemu korzeniowego łubinu białego. Największą masę korzeniową wytworzył łubin uprawiany na glebie najbardziej suchej (30% ppw). Otrzymane wyniki potwierdziły znaną prawidłowość, że w warunkach stresu suszy rośliny rozbudowują system korzeniowy w celu efektywniejszego pobierania wody z przesuszonej gleby. Również przy najślabszym uwilgotnieniu gleby stwierdzono największy wpływ napromieniowania nasion na przyrost masy korzeni. Korzystny wpływ światła laserowego na rozwój systemu korzeniowego w odniesieniu do grochu stwierdzili S e b a n e k i in. (31). Szczególnie wyraźny wpływ napromieniowania nasion na przyrost plonu suchej masy korzeni obserwowali oni u 21-dniowych roślin grochu, które wyrosły z nasion wysianych bezpośrednio po naświetlaniu.

Prezentowane wyniki wykazały korzystny wpływ przedsiewnego traktowania nasion światłem laserowym na rozwój i plonowanie łubinu białego uprawianego również w niekorzystnych warunkach wilgotności i temperatury. Oznacza to, że stosując zabieg przedsiewnego napromieniowania nasion można częściowo poprawić ich wigor również w warunkach niesprzyjających dla wzrostu, rozwoju i plonowania łubinu białego. Otrzymane wyniki trudno jednak porównać z uzyskiwanymi przez innych autorów, bowiem w literaturze krajowej i zagranicznej spotyka się jedynie wzmianki dotyczące tego zagadnienia i w odniesieniu do innych gatunków uprawnych. Na przykład I n y u s h i n i in. (15), M a n d z h i e v a (23) oraz S e b a n e k i in. (32) podają, że rośliny wyrosłe z naświetlanego materiału siewnego wymagają mniejszego nawożenia azotowego od roślin z nasion nie naświetlanych. Ponadto S e b a n e k i in. wykazali zwiększoną zawartość chlorofilu w liściach grochu wyrosłego z nasion naświetlanych światłem laserowym. Zdaniem A u g s t e n a i M i c h e l a (1) naświetlanie nasion wpływa także korzystnie na wzrost aktywności reduktazy azotanowej w korzeniach kukurydzy wyrosłej z naświetlanego materiału siewnego. Natomiast W i l d e i in. (42) wskazują również na aspekt ekologiczny stosowanego zabiegu. Zdaniem tych badaczy naświetlanie nasion przyspiesza dojrzewanie roślin, przez co skraca się okres, w którym są one porażane przez choroby i szkodniki. Dlatego też można znacznie ograniczyć stosowanie chemicznych środków ochrony roślin. Sugestie wskazujące na większą odporność roślin wyrosłych z nasion naświetlanych potwierdzają częściowo również inne badania autora (27), w których stwierdzono między innymi mniejsze ubytki roślin z łanu w okresie od wschodów do zbioru. Jednak korzystny wpływ przedsiewnego napromieniowania nasion światłem laserowym w warunkach doświadczeń polowych był mniej wyraźny niż w badaniach prowadzonych w warunkach kontrolowanej wilgotności i temperatury. Można przypuszczać, że w warunkach pola doświadczalnego efekty wynikające z naświetlania nasion są najprawdopodobniej modyfikowane przez inne, zmienne i niekontrolowane czynniki siedliska.

Istnieje hipoteza, że monochromatyczna, koherentna i spolaryzowana wiązka światła laserowego jest dobrze absorbowana przez struktury bioplazmy. Zdaniem S e d l a k a (32) bioplazma jest plazmą wzbogaconą elektronami na skutek stanu żywienia materii. Zgodnie z omawianą teorią, bioplazma w żywych organizmach to przestrzeń wypełniona fotonami i polem elektromagnetycznym, zapewniająca przepływ swobodnej energii dostarczonej przez fotony. W następstwie napromieniowania wzrasta potencjał bioenergetyczny komórki, co pozostaje w bezpośrednim związku z aktywnością fitohormonów, przyczyniając się tym samym do stymulacji przebiegu procesów fizjologicznych i biochemicznych w komórce (3, 35, 40). Zdaniem G r z e s i u k a i K u l k i (12) wrażliwość nasion różnych gatunków nawet na ten sam rodzaj promieniowania jest niejednakowa. Natomiast z badań G a l o v a (8), S a w i c k i e g o (31), W ó j c i k i B o j a r s k i e j (43) wynika, że nawet różne odmiany tego samego gatunku wykazują różną reakcję na przedsięwzięte napromieniowanie.

G r z e s i u k i K u l k a (12) w monografii dotyczącej fizjologii i biochemii nasion donoszą o bardzo różnorodnym wpływie energii świetlnej na nasiona. Jednak podstawą tego oddziaływania jest wpływ światła na aktywność enzymatyczną nasion. Oprócz tego istnieje kilka innych koncepcji dostarczających teoretycznych przesłanek dla interpretacji skutków przedsięwziętej biostymulacji laserowej nasion, ale brak spójnej teorii tłumaczącej jednoznacznie uzyskiwane w licznych eksperymentach wyniki wskazuje na to, że mechanizm ten nie jest w pełni poznany.

Przeprowadzone badania wykazały jednoznacznie, że przedsięwzięte naświetlanie nasion wpływa dodatnio na kiełkowanie i wschody łubinu. Na skutek zastosowanego zabiegu istotnie wzrastała liczba kiełkujących nasion i wschodzących roślin. Ponadto wschody roślin z nasion naświetlanych następowały o kilka dni wcześniej niż z nasion nie naświetlanych. Wzmianki w literaturze na temat korzystnego oddziaływania światła laserowego na kiełkowanie i wschody roślin dotyczą głównie roślin warzywnych i niektórych roślin zbożowych. W i l d e i i n. (42) naświetlając promieniami lasera rubinowego nasiona rzodkiewki, ogórków, fasoli, a także lucerny obserwowali około dziesięciodniowe przyspieszenie kiełkowania i wschodów roślin. Ponadto rośliny wyrosłe z nasion naświetlanych wytworzyły dłuższy hipokotyl od nie naświetlanych. W latach osiemdziesiątych podobne spostrzeżenia poczynił I n y u s h i n i i n. (15) w odniesieniu do pszenicy i żyta – zdaniem tego badacza stosując naświetlanie nasion o słabszej zdolności kiełkowania można poprawić ich kiełkowanie nawet o 22–34% oraz znacznie przyspieszyć wzrost koleoptyli. Spostrzeżenia te znajdują również potwierdzenie w późniejszych badaniach D r o z d i i n. (6), którzy stosując przedsięwzięte naświetlanie nasion światłem laserowym uzyskali podwyższenie średnio o 27% energii kiełkowania i o 28% długości koleoptyli pszenicy jarej. Wydaje się jednak, że tak oczywisty wpływ światła laserowego na tempo kiełkowania i wschodów roślin obserwuje się przede wszystkim w warunkach laboratoryjnych. W doświadczeniach polowych efekty te są nieco mniejsze, a niekiedy nawet ich brak (5, 17, 37). Należy sądzić, że zmienność prze-

biegu warunków pogodowych w latach badań ma niewątpliwy wpływ na oddziaływanie światła laserowego na kiełkowanie i wschody roślin. Przypuszczenia te potwierdzają częściowo inne badania autora dotyczące napromieniowania nasion bobiku (27), w których stwierdzono zależność efektu naświetlania nasion, w odniesieniu do wschodów roślin, od przebiegu warunków pogodowych (głównie ilości opadów w okresie od siewu do wschodów). Należy sądzić, że w warunkach doświadczeń polowych w okresie niedoboru opadów wierzchnia warstwa gleby była bardziej przesuszona niż w wazonach o 30% polowej pojemności wodnej. Warunki kiełkowania nasion w wazonach, w których uzupełniano ciągle do zakładanej wilgotności zawartość wody w glebie, były o wiele lepsze niż w okresie dużego niedoboru wilgoci w glebie w warunkach pola doświadczalnego. Również badania G ł a d y s z e w s k i e j (10) dotyczące oceny wpływu przedsiewnej laserowej biostymulacji nasion pomidorów na proces ich kiełkowania wskazują na ściśle uzależnienie efektu naświetlania od temperatury, w jakiej przebywają kiełkujące nasiona. Uzyskiwane wyraźne efekty w odniesieniu do wschodów roślin wynikające z naświetlania nasion w warunkach laboratoryjnych i mniejsze efekty uzyskiwane w poszczególnych latach badań uzyskiwane w doświadczeniach polowych, świadczą o silnej zależności efektów przedsiewnej biostymulacji nasion od czynników siedliska.

W przeprowadzonych badaniach stwierdzono wyraźnie wcześniejsze zakwitanie roślin łubinu wyrosłych z nasion naświetlanych oraz szybsze ich dojrzewanie. Dotyczyło to w największym stopniu roślin uprawianych na glebie najmniej uwilgotnionej, na której niezależnie od naświetlania nasion rośliny zakwitwały najwcześniej. Zjawisko to potwierdza znaną prawidłowość, że w warunkach stresowych (na przykład długiego okresu suszy glebowej) rośliny wcześniej zakwitają i szybciej dojrzewają. Zjawiska takiego nie obserwowano we wcześniej prowadzonych badaniach polowych. Jedynym symptomem wskazującym na oddziaływanie przedsiewnego naświetlania nasion światłem laserowym na przyspieszenie dojrzewania roślin z nich wyrosłych w tych badaniach była mniejsza zawartość wody w zebranych z nich nasionach. Przyspieszenie dojrzewania łubinu białego ma szczególne znaczenie, bowiem długi okres wegetacji tej rośliny powoduje pogorszenie jakości plonu. Zdaniem S t a w i Ń s k i e g o (38) długi okres wegetacji tego gatunku jest główną przyczyną małej powierzchni jego uprawy. Wcześniejsze zakwitanie roślin kukurydzy wyrosłych z naświetlanego materiału siewnego obserwowali również G i e r o b a i i n. (8). Zdaniem G r z e s i u k a i K u l k i (12) wpływ niektórych czynników fizycznych stosowanych w przedsiewnej obróbce nasion uwidacznia się często dopiero w późniejszych etapach ontogenezy. Najczęstszym tego przejawem jest przyspieszenie całego cyklu rozwojowego i szybsze starzenie się roślin.

W dostępnej literaturze przedstawiane są również badania, w których uzyskano nieznaczące, bądź nie uzyskano żadnych korzystnych efektów przedsiewnego naświetlania nasion. Wrażliwość gatunków, a nawet odmian na przedsiewne traktowanie nasion światłem laserowym jest różna. Na przykład S t a n d (37) naświe-

tlając nasiona lnu różnymi dawkami światła laserowego nie uzyskał żadnej reakcji na stosowany zabieg. Można sądzić, że nasiona lnu słabo reagują na działanie fizycznych czynników, bowiem jak podaje G r o d z i e Ń s k i (11) nie są one wrażliwe nawet na silne promieniowanie jonizujące. Z dostępnej literatury krajowej i zagranicznej wynika, że istnieje szereg czynników mających wpływ na uzyskiwane efekty przedsiewnej obróbki nasion promieniami laserowymi, dlatego też uzyskuje się bardzo różne wyniki badań dotyczących tego samego zagadnienia. Wyniki badań przedstawione w niniejszej pracy wykazują, że jednym z takich czynników jest wilgotność gleby i temperatura powietrza. Reasumując można stwierdzić, że światło lasera helowo-neonowego zastosowane przedsiewnie dodatnio oddziałuje na kiełkowanie, wschody i rozwój łubinu białego uprawianego zarówno w korzystnych, jak i niekorzystnych warunkach termiczno-wilgotnościowych. Należy podkreślić jednak, że prezentowane badania dotyczą jedynie tradycyjnej formy łubinu białego odmiany Bardo. Określenie wpływu światła laserowego na nasiona form samokończących, o zmienionej budowie morfologicznej jest przedmiotem obecnie prowadzonych badań.

PODSUMOWANIE

1. Zastosowanie przedsiewnego naświetlania nasion łubinu białego światłem lasera helowo-neonowego wpływało na zwiększenie liczby kiełkujących nasion i wschody roślin zarówno w optymalnych, jak też niekorzystnych warunkach termicznych i wilgotnościowych. Nie stwierdzono natomiast istotnej różnicy w kiełkowaniu i we wschodach roślin pod wpływem trzy- i pięciokrotnego naświetlania nasion.
2. Zarówno w warunkach zróżnicowanej wilgotności, jak i temperatury najkorzystniej na wzrost i rozwój oraz przyrost suchej masy części nadziemnej roślin wpływało trzykrotne przedsiewne traktowanie nasion promieniami lasera. Stwierdzono istotną zależność gromadzenia suchej masy od napromieniowania nasion oraz wilgotności gleby i temperatury powietrza. Nie stwierdzono natomiast istotnej różnicy w nagromadzeniu suchej masy pomiędzy obiektami z trzy- i pięciokrotnym naświetlaniem nasion.
3. Pięciokrotne naświetlanie nasion promieniami lasera wpłynęło najbardziej na przyrost długości korzenia oraz plonu suchej masy korzeni we wszystkich badanych warunkach wilgotności i temperatury. Można zatem sądzić, że do stymulacji wzrostu i rozwoju korzeni trzeba stosować nieco większe dawki promieniowania niż do stymulacji rozwoju nadziemnej części rośliny.
4. Stwierdzono korzystny wpływ przedsiewnego naświetlania nasion światłem laserowym na wzrost i na akumulację suchej masy łubinu białego rosnącego zarówno w optymalnych, jak też w mniej sprzyjających dla rozwoju warunkach termicznych i wilgotnościowych. Oznacza to, że stosując napromieniowanie materia-

łu siewnego można częściowo łagodzić wpływ niesprzyjających czynników siedliska na rozwój i plonowanie łubinu białego.

LITERATURA

1. Augsten H., Michel D.: Effects of irradiation with light of different wavelengths on nitrate reductase activity in roots of *Zea mays* L. Z. Pflanzenphys., 1981, **102**: 1-10.
2. Cepero L., Martin G., Mesa A.R., Castro P.: Effect of irradiation of seeds of *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham with a He-Ne laser. Pastos y Forrajes, 1997, **20(2)**: 125-131.
3. Dobrowolski J.W., Smyk B., Różycki E., Barabasz W., Wachalewski T.: Experiments about the influence of laser light on some biological elements of the natural environment. Acta Universitatis Upsaliensis, Stockholm, 1992, 1-15.
4. Drozd D.: The effect of laser radiation on spring wheat properties. Inter. Agrophysics, 1994, **8**: 209-219.
5. Drozd D.: Wpływ przedsiewnego napromieniowania laserem ziarniaków na elementy struktury plonu u pszenicy jarej. Zesz. Nauk. AR Wrocł., Rolnictwo, 1994, **254**: 63-69.
6. Drozd D., Szajsner R., Koper R.: Wpływ przedsiewnego naświetlania laserem nasion pszenicy jarej na zdolność kiełkowania i długość koleoptyla. Fragm. Agron., 1996, **1**: 44-51.
7. El-Shafie S.A., Mazrou M.M., El-Sayed S.A., El-Kholi S.A., Aly H.F.M.: The influence of pre-sowing laser irradiation on the growth, productivity and some chemical constituents of *Ammi visnaga* L. plants. Menofiya J. Agric. Res., 1993, **18(4)**: 2591-2604.
8. Galova Z.: The effect of laser beams on the process of germinating power of winter wheat grains. Roczn. AR Poznań, CCCLXXXVI, Rol., 1996, **49**: 39-43.
9. Gieroba J., Koper R., Matyka S.: The influence of pre-sowing laser biostimulation of maize seeds on the crop and nutritive value of the corn. 45th Australian Cereal Chemistry Conference, Adelaide, 1995, 30-33.
10. Gładyszewska B.: Ocena wpływu przedsiewnej laserowej biostymulacji nasion pomidorów na proces ich kiełkowania. Rozprawa doktorska, AR Lublin, 1999.
11. Grodzieński D.E.: Radiobiologia. PWN Warszawa, 1969.
12. Grzesiuk S., Kulka K.: Fizjologia i biochemia nasion. PWRiL Warszawa, 1986.
13. Grzesiuk S., Kulka K.: Biologia ziarniaków zbóż. PWN Warszawa, 1988.
14. Grzesiuk S., Rejowski A.: Wpływ pola ultradźwiękowego na kiełkowanie oraz wzrost i rozwój kukurydzy (*Zea mays* L.). Post. Nauk Rol., 1957, **3(45)**: 4-13.
15. Inyushin W.M., Iljasov G.U., Fedorova N.N.: Laser Light and Crop. 1981, Kainar Publ. Alma-Ata, 1981.
16. Jasińska Z., Kotecki A.: Rośliny strączkowe, PWN Warszawa, 1993.
17. Kartalov P., Szabon I.: Prilozhenie na lazernata energija pri krastavici sort Sandra. Rasteniedni Nauki, 1988, **7**: 62-66.
18. Klejman H.: Lasery, PWN Warszawa, 1979.
19. Koper R.: Pre-sowing laser biostimulation of seeds of cultivated plants and its results in agrotechnics. Inter. Agrophysics, 1994, **8**: 593-596.
20. Koper R.: Urządzenie do przedsiewnej obróbki nasion promieniowaniem laserowym. Patent RP Nr 162598.
21. Koper R., Wójcik S., Kornas-Czuczwar B., Bojarska U.: Effect of the laser exposure of seeds on the yield and chemical composition of sugar beet roots. Inter. Agrophysics, 1996, **10**: 103-108.
22. Kurobaru I., Yamaguchi H., Sander C., Nilan R.A.: The effects of gamma irradiation on the production and secretion of enzymes, and on enzyme activities on barley seeds. Environ. Experiment. Bot., 1979, **19(2)**: 75-84.

23. Mandzhieva A.: Biological nitrogen and aspects of ecology. Korm. Kult., 1991, **5**: 30-31.
24. Phirke P.S., Kudbe A.B., Umbarkar S.P.: The influence of magnetic field on plant growth. Seed Sci. Technol., 1996, **24**: 375-392.
25. Pietruszewski S.: Effect of magnetic seed treatment on yield of wheat. Seed Sci. Technol., 1993, 621-626.
26. Pittman U.J., Carefoot J.M., Ormrod D.P.: Effect of magnetic seed treatment on amylolytic activity of Quiescent and germinating barley and wheat seeds. Can. J. Plant Sci., 1979, **59(4)**: 1007-1011.
27. Podleśny J.: Wpływ przedsiewnego naświetlania nasion światłem laserowym na kształtowanie się cech morfologicznych i plonowanie bobiku. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1997, **446**: 435-440.
28. Podleśny J., Podleśna A., Koper R.: Chilling tolerance of white lupine in early developmental phases – the effect of seed pre-sowing irradiation by laser. COST 814 – Crop development for the cool and wet regions of Europe. European Commission, 1997, 236-240.
29. Podleśny J., Podleśna A.: The effect of pre-sowing treatment of seeds by laser light on morphological features formation and faba bean yielding. Inter. Conf. on Agricultural Engineering, Oslo, Part II, 1998, 967-969.
30. Popp A. F.: Biologie des Lichts. Verlag Paul Parey Berlin und Hamburg, 1984.
31. Sebanek J., Kralik J., Hudeova M., Kliciva S., Slaby K., Psota V., Vitkova H., Polisenka M., Kudova D., Sterba S., Vancura J.: Growth and hormonal effects of laser on germination and rhizogenesis in plants. Acta Sc. Nat. Brno. Praga, 1989, **23(9)**: 1-49.
32. Sedlak W.: Plazma fizyczna i laserowe efekty w układach biologicznych. Kosmos, **19**: 143-154.
33. Sheppard S.C., Chubey B.B.: Radiation hormesis of field-seeded broccoli, parsnip and cauliflower. Canadian J. Plant Sci., 1990, **70(1)**: 369-373.
34. Smith M.T.: Ultrastructural changes during imbibition in seeds of lettuce (*Lactuca sativa* L.) after gamma irradiation. Seed Sci. Technol., 1991, **19(2)**: 385-395.
35. Sawicki B.: Plonowanie niektórych traw pod wpływem naświetlania materiału siewnego laserem helowo-neonowym. Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, 1995, E, L 9, 59-63.
36. Stamp P.: Kühleverträglichkeit von Mais – Utopie und Realität. Mais, 1992, **3**: 9-11.
37. Stand J.: Osetreni osiva lnu laserovym ozarovanim. Rostlinna Vyroba, 1991, **37**: 223-229.
38. Stawiński S.: Długość okresu wegetacji, jako czynnik ograniczający uprawę łubinu białego w Polsce. Mat. konf. nauk.: Łubin-Białko-Ekologia, Poznań, 1994, 91-99.
39. Toth M., Kerpert I., Kozma L., Klujber L.: Influence of different wave-length laser lights on the carbohydrate metabolism in germinating maize seeds. Acta Bot. Hungar., 1993, **38(1-4)**: 421-430.
40. Vasilevski G.: By laser to healthier and cheaper food. Rep. faculty Agric., Skopje, 1991, 1-2.
41. Vasilenko V.F., Kuznecov E.D.: Fizjologičeskie i ekologicieskie aspekty izpolzowania chimiceskoi i svetlovoi regulacji rosta rastienii. Viestnik Sielskochozjajstviennoi Nauki, 1990, **7**: 63-68.
42. Wilde W.H.A., Parr W.H., McPeak D.W.: Seeds Bask in Laser Light. Laser Focus, 1969, **5(23)**: 41-42.
43. Wójcik S., Bojarska U.: Wpływ przedsiewnej obróbki nasion promieniami lasera na plon i jakość korzeni kilku odmian buraka cukrowego. Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, 1998, E, **10**: 87-96.
44. Zhidong F., Shuzhen X.: Effects of He-Ne laser upon the germinating ability of wheat seeds. Acta Univ. Agric. Boreli Occidentalis, 1990, **18(2)**: 95-98.

J. Podleśny

THE EFFECT OF PRE-SOWING LASER BIOSTIMULATION OF SEEDS
ON THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF WHITE LUPINE (*Lupinus albus* L.)
UNDER VARIOUS MOISTURE AND TEMPERATURE CONDITIONS

Summary

The experiment, aim of which was to evaluate the effect of pre-sowing laser biostimulation of seeds on the growth and development of white lupine (*Lupinus albus* L.) var. Bardo, was divided into two parts. Experiment I was carried out in pots that were placed in climatic chambers. Various moisture conditions (30, 50 and 70% of water capacity of the soil) were considered as factor I, and different doses of irradiation with hel-neon laser light (D0 - no irradiation, D3 - 3-fold irradiation, D5 - 5-fold irradiation) as factor II. It was found that plant emergence was affected both by soil moisture and doses of irradiation. Seeds irradiated 3 times emerged about 10% better regardless of moisture conditions. Moreover such plants were sprouting 2-3 days earlier than plants grown from non-irradiated seeds. A significant impact of irradiation on the length of white lupine development stages was observed. It is particularly important that under drought stress conditions plants, which seeds were not treated with laser light. Biostimulation of seeds increased both the height of plants and their dry matter yield.

Experiment II took six weeks and was, just experiment I, conducted in climatic chambers. Various temperature conditions were regarded as factor I, and different doses of laser irradiation (D0 - no irradiation, D1 - 1-fold irradiation, D3 - 3-fold irradiation, D5 - 5-fold irradiation, D7 - 7-fold irradiation) - as factor II. It was stated that both temperature and doses of irradiation had an influence on plant emergence. Higher temperatures made the plants emerge much better, whereas at temperatures lower than optimal, plant emergence was delayed by about 10 days. Three-fold irradiation of seeds before sowing accelerated emergence and increased number of emerging plants under both temperature regimes. Such plants emerged 3-4 days earlier. Laser light beneficially affected the height of plants, the length of roots as well as dry matter yield of roots and the top part.

JANUSZ PODLEŚNY

Zakład Uprawy Roślin Pastewnych
IUNG – Puławy

ODDZIAŁYWANIE ŚWIATŁA LASEROWEGO NA ROZWÓJ I PLONOWANIE ŁUBINU BIAŁEGO (*Lupinus albus* L.)

The effect of pre-sowing laser light treatment on development and yielding of white lupine
(*Lupinus albus* L.)

(Wpłynęło do Redakcji 7 XII 1999 r.)

W ostatnich latach wzrasta znaczenie uprawy łubinów w związku z propagowaniem rolnictwa ekologicznego i integrowanego (14, 51). Ze względu na wiele korzystnych cech biologicznych i użytkowych łubinu białego należy przypuszczać, że w przyszłości może on mieć największe znaczenie gospodarcze spośród trzech gatunków łubinu uprawianych w naszym kraju. Jednym z czynników ograniczających zasięg uprawy tego gatunku są stosunkowo niskie i zmienne w latach plony nasion oraz długi okres wegetacji (22, 49). Dlatego w latach z niekorzystnym dla uprawy łubinu przebiegiem warunków pogodowych zbiera się niski plon o słabej wartości paszowej i siewnej. Ze względu na późne dojrzewanie łubinu białego często przed zbiorem konieczne jest przeprowadzenie desykacji – zabiegu kosztownego i nieobojętnego dla środowiska.

Wyniki badań przeprowadzonych dotychczas w niektórych ośrodkach krajowych i zagranicznych wskazują na korzystny wpływ przedsiewnego naświetlania nasion światłem laserowym na wzrost, rozwój, plonowanie roślin, a niekiedy także przyspieszenie ich dojrzewania. Szczególnie dobre efekty uzyskano w odniesieniu do nasion niektórych gatunków zbóż, roślin okopowych i warzyw (13, 20, 28). W ostatnich latach również ze względów ekologicznych wzrasta zainteresowanie fizycznymi metodami przedsiewnej biostymulacji nasion oraz wpływem tych zabiegów na rozwój roślin. Uważa się bowiem, że czynniki fizyczne takie jak: promieniowanie jonizujące, mikrofalowe, fale ultradźwiękowe (16-19, 30, 46), pole magnetyczne (31-34) i promieniowanie laserowe (2, 5, 7-9, 11, 39) w przeciwieństwie do zabiegów chemicznych modyfikują jedynie przebieg procesów biochemicznych i fizjologicznych w nasionach nie powodując niekorzystnych zmian w środowisku (1, 3, 6, 12, 29, 44, 53). Ze względu na znaczną toksyczność stosowanych środków (regulatory wzrostu itp.), metody chemiczne uznawane są za

szkodliwe dla środowiska, zwłaszcza że wiele stosowanych substancji może przenikać do wnętrza nasion i modyfikować ich skład chemiczny.

Najczęściej do przedświecania nasion stosuje się gazowe lasery helowo-neonowe małej mocy emitujące światło monochromatyczne, koherentne i intensywne o barwie czerwonej (21, 25, 27). Wytworzone w laserze promieniowanie różni się od zwykłego światła białego pochodzącego zarówno z konwencjonalnych, jak i sztucznych źródeł energią ogromną gęstością powierzchniową mocy, dlatego światło laserowe w krótkim czasie może przenikać do wnętrza nasienia. Badania widmowe owocu i okrywy nasiennej prowadzone przez B i d z i l a i in. (4) wykazały, że do zarodka i bielma dociera w bardzo krótkim czasie przede wszystkim czerwona część widma. Dlatego najprawdopodobniej światło lasera helowo-neonowego emitującego promieniowanie o barwie czerwonej oddziałuje najbardziej stymulująco na metabolizm nasion. Przypuszczenia te zostały potwierdzone częściowo również przez K a r l a n d e r a i K r a u s s a (23) oraz P o p p a (41, 42), którzy wykazali szczególnie korzystny wpływ światła laserowego o barwie czerwonej na wzrost i rozwój roślin.

Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu naświecania nasion promieniami laserowymi na tempo wzrostu i rozwoju oraz plonowanie tradycyjnych i samokończących genotypów łubinu białego w warunkach doświadczenia polowego.

METODYKA BADAŃ

Doświadczenie polowe prowadzono w RZD Puławy-Kępa, w latach 1997–1999, w układzie równoważnych podbloków (split-block), na glebie kompleksu pszennego dobrego klasy IIIa. W każdym roku badań przedplonem były zboża. Nawożenie mineralne wynosiło: P_2O_5 – 60 kg/ha i K_2O – 80 kg/ha; nawożenia azotem nie stosowano. Powierzchnia poletka do zbioru wynosiła 12 m². Czynnikiem I rzędu był genotyp łubinu białego: Bardo – forma tradycyjna i Katon – forma samokończąca, natomiast czynnikiem II rzędu – dawka promieniowania laserowego: D0 – bez naświecania (kontrola), D1 – jednokrotne naświecanie, D2 – dwukrotne naświecanie, D3 – trzykrotne naświecanie, D4 – czterokrotne naświecanie, D5 – pięciokrotne naświecanie nasion. Naświecania nasion dokonano w Katedrze Fizyki AR w Lublinie, wykorzystując urządzenie do obróbki przedświecania nasion promieniowaniem laserowym (27). Dawka pojedynczej ekspozycji wynosiła $4 \cdot 10^{-3} \text{ J cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Nasiona wysiewano ręcznie (każdego roku 2 kwietnia) na głębokość około 3–4 cm, w zagęszczeniu 80 roślin na 1 m². Dwa tygodnie przed siewem nasiona zaprawiano Funabenem T, a bezpośrednio przed siewem szczepionką bakteryjną *Bradyrhizobium lupini*. Bezpośrednio po siewie stosowano bronowanie w celu przykrycia nasion glebą i wyrównania powierzchni pola. Chwasty zwalczano stosując po siewie doglebowo preparat Afalon w dawce 1,2 kg/ha,

w późniejszym okresie chwasty niszczone mechanicznie. W okresie wegetacji prowadzono szczegółowe obserwacje i pomiary roślin oraz ocenę ich porażenia przez choroby grzybowe – głównie antraknozę. Kilkakrotnie podczas wschodów i bezpośrednio przed zbiorem liczono rośliny na powierzchni 1 m². Notowano daty wystąpienia faz rozwojowych roślin: pełni wschodów, początku i końca kwitnienia, zbrunatnienia około 5 i 80% strąków. Przeprowadzono również ocenę stanu zachwaszczenia zasiewów w skali 9° (1° – największe zachwaszczenie, 9° – brak zachwaszczenia). W pełni kwitnienia pędu głównego łubinu mierzono na 10 wybranych losowo roślinach: wysokość do wierzchołka oraz powierzchnię liściową usuwając liście z roślin i mierząc ich powierzchnię aparatem LI-3050A firmy LICOR. Otrzymane wyniki pomiarów przeliczono na powierzchnię 1 m². Natomiast przed zbiorem wybierano z każdego poletka losowo po 10 roślin i określano: wysokość do pierwszego i ostatniego strąka oraz do wierzchołka rośliny, liczbę strąków na roślinie i liczbę nasion na roślinie oddzielnie dla pędu głównego i pędów bocznych. Po zbiorze natomiast określono: wilgotność nasion, zawartość białka i tłuszczu oraz masę 1000 nasion. Plon nasion przeliczono do 14% wilgotności. Wyniki badań opracowano statystycznie metodą analizy wariancji. W przypadku wystąpienia współdziałania z latami badań wyniki przedstawiono oddzielnie dla każdego roku, a przy braku tego współdziałania – w formie średnich z trzech lat. W analizie statystycznej posługiwano się półprzedziałem ufności Tukeya, przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Przebieg zmian ważniejszych cech biologicznych w zależności od dawki promieniowania laserowego przedstawiono w postaci krzywych regresji.

OMÓWIENIE WYNIKÓW

Układ warunków pogodowych w poszczególnych latach prowadzenia doświadczenia był znacznie zróżnicowany. Ilość opadów oraz wartość średnich temperatur dobowych w okresie siew–wschody miały duży wpływ na termin wschodów i liczbę wschodzących roślin. Szczególnie niekorzystny pod tym względem okazał się rok 1997, w którym oprócz niedoboru opadów zanotowano znaczne spadki temperatury w okresie od siewu do wschodów; dlatego początek wschodów łubinu stwierdzono dopiero po 19 dniach od siewu (tab. 1). W analogicznym okresie w latach 1998 i 1999 wystąpiły obfitsze opady, a średnia temperatura dobowa powietrza była ponad dwukrotnie wyższa niż w roku 1997. Wschody łubinu odnotowano wówczas już po 14 dniach od siewu. Ponadto w latach tych wschody były bardziej równomierne. Obserwowano wpływ napromieniowania nasion na termin ukazywania się pierwszych wschodów. W latach, w których warunki pogodowe sprzyjały kiełkowaniu nasion wschody roślin z nasion naświetlanych następowały o 2–3 dni, a w warunkach niesprzyjających kiełkowaniu nasion o 1–2 dni wcześniej, niż z nasion nie naświetlanych. Wystąpiły istotne różnice w dynamice wscho-

Tabela 1

Warunki pogody w poszczególnych okresach wzrostu i rozwoju łubinu białego
Weather conditions at different stages of white lupine growth

Rok Year	Siew–wschody Sowing–emergence			Wchody–kwitnienie Emergence–flowering			Kwitnienie– zawijanie strąków Flowering–pod setting			Zawijanie strąków– dojrzałość Pod setting–maturity			Siew–dojrzałość Sowing–maturity		
	liczba dni number of days	ST* CMT	opady precipitation (mm)	liczba dni number of days	ST* CMT	opady precipitation (mm)	liczba dni number of days	ST* CMT	opady precipitation (mm)	liczba dni number of days	ST* CMT	opady precipitation (mm)	liczba dni number of days	ST* CMT	opady precipitation (mm)
1997	19	66	17	40	537	43	10	146	26	54	1003	191	123	1752	327
1998	14	127	37	39	557	133	14	320	42	52	933	160	119	1937	353
1999	14	160	26	36	475	131	10	216	14	52	1112	170	112	1963	243

* suma temperatur; sum of temperature

Tabela 2

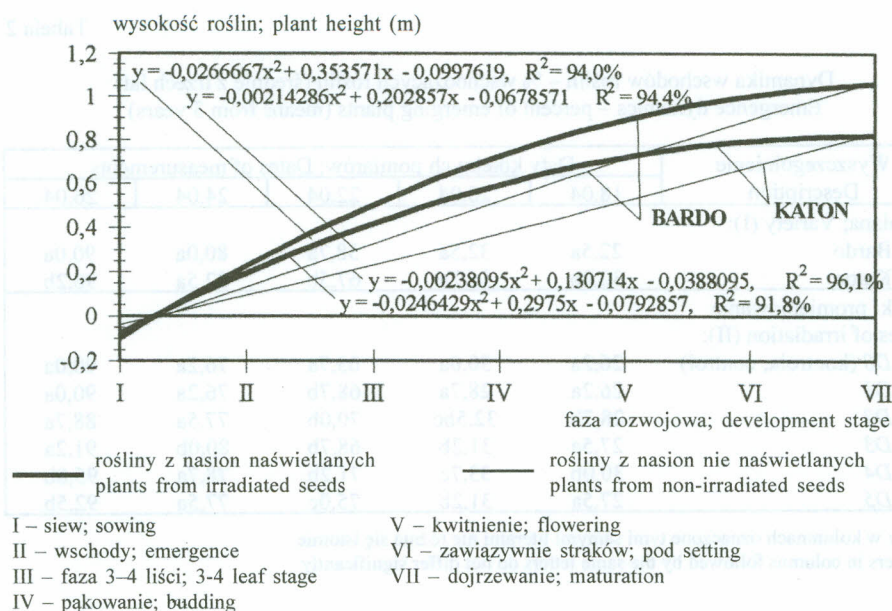
Dynamika wschodów roślin – % wschodzących roślin (średnie z trzech lat)
Emergence dynamics – percent of emerging plants (means from 3 years)

Wyszczególnienie Description	Daty kolejnych pomiarów; Dates of measurements				
	18.04	20.04	22.04	24.04	26.04
Odmiana; Variety (I):					
Bardo	22,5a	32,5a	58,7a	80,0a	90,0a
Katon	30,0b	36,2a	67,5b	82,5a	96,2b
Dawki promieniowania Doses of irradiation (II):					
D0 (kontrola; control)	26,2a	30,0a	63,7a	76,2a	90,0a
D1	26,2a	28,7a	68,7b	76,2a	90,0a
D2	28,7b	32,5bc	70,0b	77,5a	88,7a
D3	27,5a	31,2b	68,7b	80,0b	91,2a
D4	30,0b	33,7c	71,2b	78,7a	95,0b
D5	27,5a	31,2b	75,0c	77,5a	92,5b

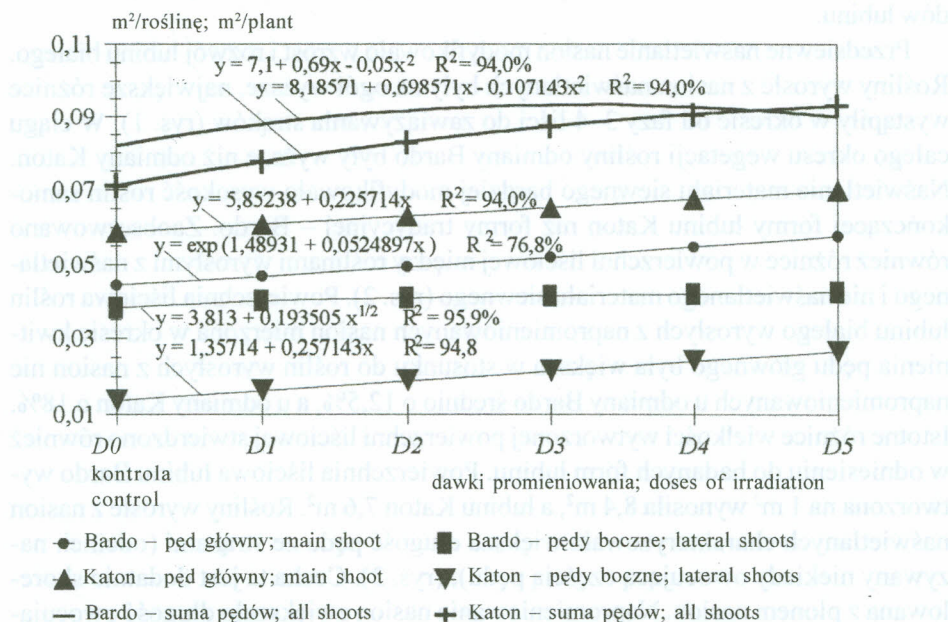
Liczby w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie
Numbers in columns followed by the same letters do not differ significantly

dów roślin z nasion naświetlanych i nie naświetlanych (tab. 2). Istotnie większy procent wschodzących roślin wyrosłych z nasion naświetlanych w porównaniu do roślin z nasion nie naświetlanych stwierdzono szczególnie w okresie początku wschodów łubinu.

Przedsiewne naświetlanie nasion modyfikowało wzrost i rozwój łubinu białego. Rośliny wyrosłe z nasion naświetlanych były na ogół wyższe, największe różnice wystąpiły w okresie od fazy 3–4 liści do zawiązywania strąków (rys. 1). W ciągu całego okresu wegetacji rośliny odmiany Bardo były wyższe niż odmiany Katon. Naświetlanie materiału siewnego bardziej modyfikowało wysokość roślin samokończącej formy łubinu Katon niż formy tradycyjnej – Bardo. Zaobserwowano również różnice w powierzchni liściowej między roślinami wyrosłymi z naświetlanego i nie naświetlanego materiału siewnego (rys. 2). Powierzchnia liściowa roślin łubinu białego wyrosłych z napromieniowanych nasion mierzona w okresie kwitnienia pędu głównego była większa w stosunku do roślin wyrosłych z nasion nie napromieniowanych u odmiany Bardo średnio o 12,5%, a u odmiany Katon o 18%. Istotne różnice wielkości wytworzonej powierzchni liściowej stwierdzono również w odniesieniu do badanych form łubinu. Powierzchnia liściowa łubinu Bardo wytworzona na 1 m² wynosiła 8,4 m², a łubinu Katon 7,6 m². Rośliny wyrosłe z nasion naświetlanych charakteryzowała większa długość pędu ze strąkami (odcinek nazywany niekiedy owocującą częścią pędu); (rys. 3). Cecha ta jest dodatnio skorelowana z plonem nasion. Napromieniowanie nasion zwiększało długość owocującej części łodygi łubinu odmian Bardo i Katon odpowiednio o: 12 i 14%. U odmiany samokończącej – Katon strąki osadzone były na krótszym odcinku łodygi niż u odmiany tradycyjnej – Bardo.

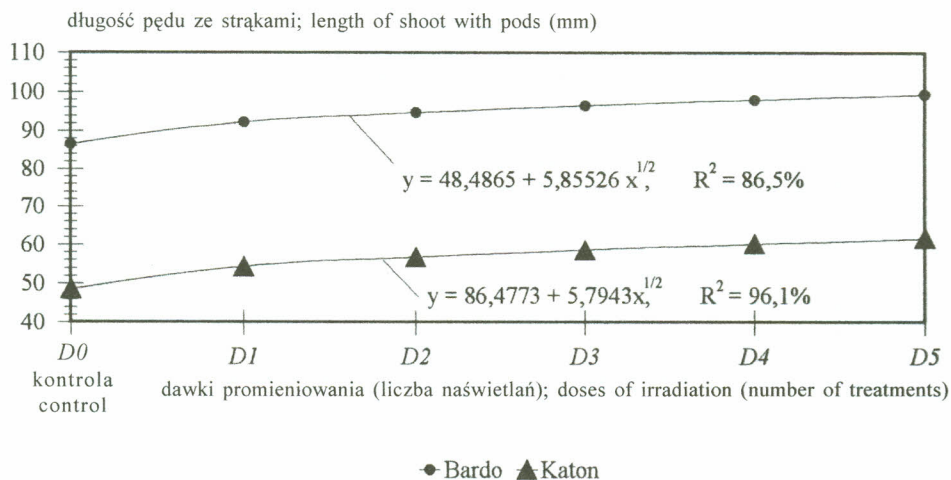


Rys. 1. Wysokość roślin w okresie od wschodów do zbioru (średnie z 3 lat)
 Plant height from emergence to harvest (mean from 3 years)



Rys. 2. Zależność zmiany powierzchni liściowej od dawki promieniowania laserowego
 (faza kwitnienia pędu głównego)

The effect of laser irradiation dose on leaf area changes (main shoot flowering)



Rys. 3. Zależność długości owocującej części pędu od dawki promieniowania laserowego
The effect of laser irradiation dose on the length of shoot with pods

Podczas prowadzenia obserwacji polowych nie stwierdzono wyraźnych różnic w dojrzewaniu roślin naświetlanych i nie naświetlanych. Jednak pomiary wilgotności nasion pobranych bezpośrednio przed zbiorem wykazały mniejszą zawartość wody w nasionach z roślin wyrosłych z nasion naświetlanych (śr. 17,5%) niż nie naświetlanych (śr. 19,2%).

Na skutek konkurencji o światło, wodę i składniki pokarmowe obsada roślin w okresie wegetacji ulegała dużej zmianie (tab. 3). Średnio z trzech lat badań ubytki roślin w okresie od wschodów do zbioru wynosiły dla formy tradycyjnej – 18,7%, a dla formy samokończącej – 13,5%. Różnice w ubytkach roślin pomiędzy dwoma formami łubinu wynikały najprawdopodobniej z różnej budowy morfologicznej roślin. Formy tradycyjne łubinu białego wytwarzają bowiem silne pędy boczne, które dostarczają przeszło połowy ogólnego plonu nasion z rośliny. Formy samokończące natomiast charakteryzuje dominujący pęd główny i mocno zredukowane pędy boczne. Dlatego też inna jest wzajemna konkurencja roślin form tradycyjnych i samokończących. Naświetlanie nasion zmniejszało wyraźnie wypadanie roślin z ładu, w szczególności formy tradycyjnej – Bardo. Każda z zastosowanych dawek promieniowania wpływała na ograniczenie ubytków roślin w okresie wegetacji; większe dawki promieniowania dawały nieco lepsze efekty niż dawki mniejsze.

Stwierdzono istotne różnice w plonowaniu łubinu w poszczególnych latach badań (rys. 4). Największe plony nasion uzyskano w 1999 roku, w którym wystąpiły korzystne warunki pogodowe do uprawy tego gatunku. Dostateczna ilość opadów i stosunkowo wysokie temperatury w okresie wschodów oraz w okresie zawiązy-

Tabela 3

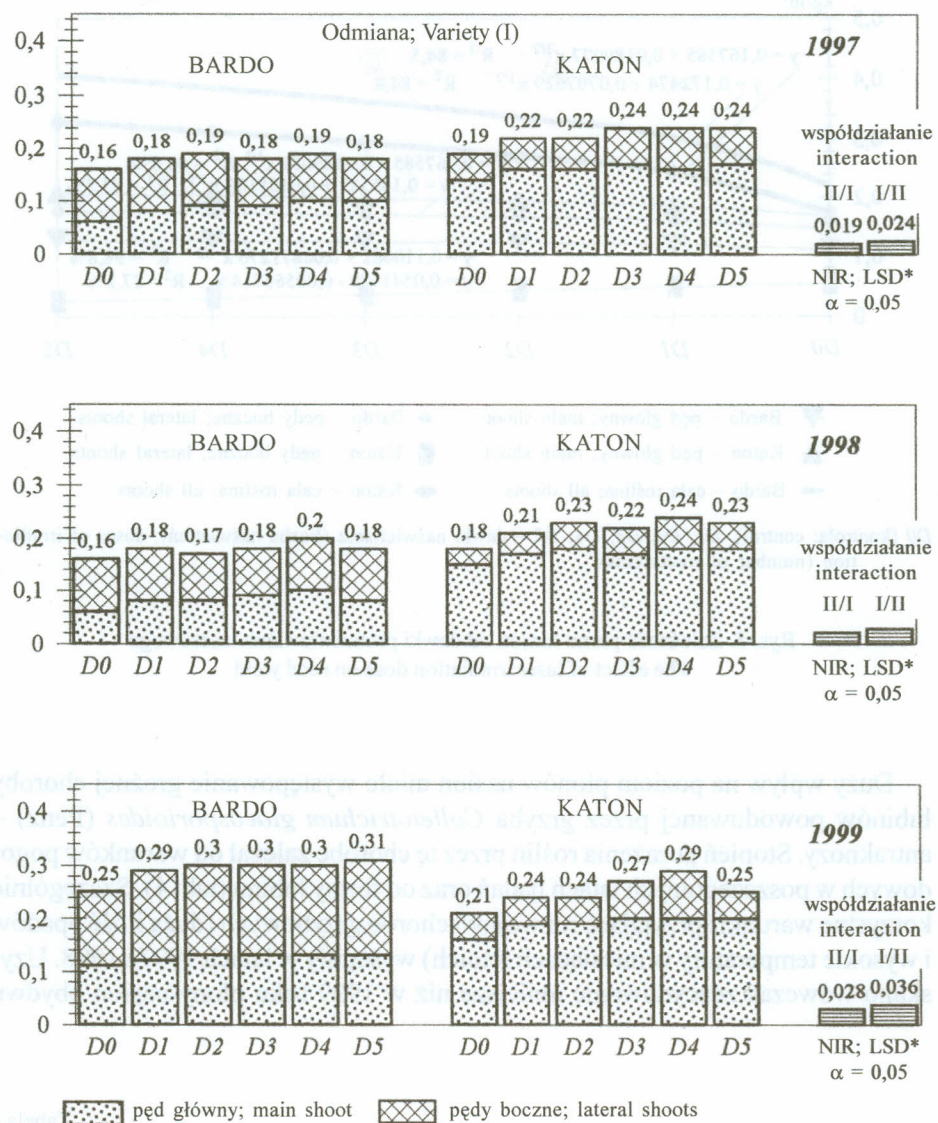
Ubytki roślin w okresie wegetacji (%)
Plant losses during vegetation (%)

Wyszczególnienie Description	1997	1998	1999
Odmiana; Variety (I):			
Bardo	17,2a	22,4a	16,6a
Katon	11,4b	14,7b	14,5b
Dawki promieniowania Doses of irradiation (II):			
D0 (kontrola; control)	18,3a	23,5a	18,4a
D1	17,2b	22,3b	16,5b
D2	17,4b	21,2c	16,1bc
D3	16,1c	20,3c	16,2b
D4	17,0b	18,1d	15,7c
D5	16,2c	18,7d	16,4b

Liczby w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie
Numbers in columns followed by the same letters do not differ significantly

wania strąków wpływały korzystnie na poziom plonów nasion. Ponadto zdecydowanie wyższe niż w pozostałych dwóch latach średnie temperatury dobowe i mniejsza ilość opadów w okresie dojrzewania łubinu przyczyniły się do uzyskania nasion zdrowych, w niewielkim stopniu porażonych przez choroby grzybowe. Mniejsze plony nasion łubinu uzyskano w pozostałych dwóch latach badań.

Naświetlanie materiału siewnego obydwu form łubinu białego wpływało korzystnie na poziom plonów nasion, przy czym efekt tego zabiegu był różny w poszczególnych latach badań. W każdym roku prowadzenia badań wystąpiło współdziałanie dawki promieniowania laserowego z odmianami łubinu w odniesieniu do plonu nasion. Na ogół większe dawki promieniowania oddziaływały korzystniej na plonowanie łubinu niż dawki mniejsze. Zależność plonu nasion od dawki promieniowania laserowego przedstawiono w postaci krzywych regresji (rys. 5). Najkorzystniejszy wpływ na plon nasion stwierdzono w przypadku trzy-, cztero- i pięciokrotnego naświetlania. W każdym roku badań forma samokończąca Katon silniej reagowała na przedsięwzięte naświetlanie niż forma tradycyjna Bardo. Średnio z trzech lat badań zwyczajka plonu nasion odmian Bardo i Katon na skutek przedsięwziętego naświetlania nasion wynosiła odpowiednio: 10,8% i 12,6%. U formy tradycyjnej o zwyczajce tej decydował przede wszystkim plon z pędu głównego, a u formy samokończącej – z pędu głównego i pędów bocznych. Średnio z trzech lat badań uzyskano zwyczajkę plonu nasion łubinu białego po jedno-, dwu-, trzy-, cztero- i pięciokrotnym naświetlaniu nasion w stosunku do nasion nie naświetlanych odpowiednio o: 8,7; 9,5; 16,1; 16,0 i 12,6% – dla formy samokończącej Katon i o 6,0; 8,5; 13,2; 13,1 i 13,4% – dla formy tradycyjnej Bardo.

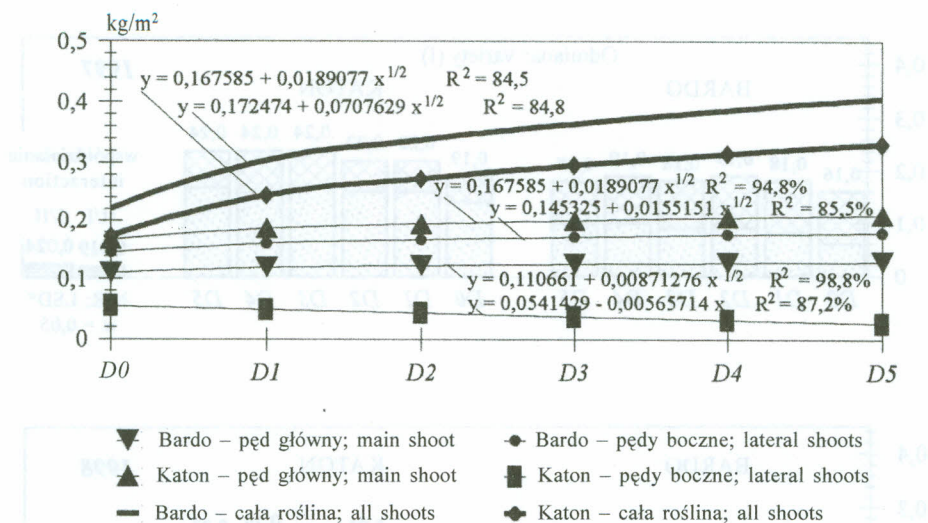


D0 (kontrola; control), D1, D2, D3, D4, D5 – dawki naświetlania; doses of irradiation (II)

* dla sumy plonu z pędów; for sum of yield from shoots

Rys. 4. Plon nasion łubinu białego (kg/m²) w zależności od odmiany i dawki promieniowania laserowego

Yield of white lupine seeds as affected by variety and laser irradiation dose



D0 (kontrola; control), D1, D2, D3, D4, D5 – dawki naświetlania (liczba naświetlań); doses of irradiation (number of treatments)

Rys. 5. Zależność plonu nasion od dawki promieniowania laserowego
The effect of laser irradiation dose on seed yield

Duży wpływ na poziom plonów nasion miało występowanie groźnej choroby łubinów powodowanej przez grzyba *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz) – antraknozy. Stopień porażenia roślin przez tę chorobę zależał od warunków pogodowych w poszczególnych latach badań oraz od formy łubinu (tab. 4). Szczególnie korzystne warunki sprzyjające rozwojowi chorób grzybowych (duża ilość opadów i wysokie temperatury w miesiącach letnich) wystąpiły w latach 1997 i 1998. Użytkowano wówczas zdecydowanie mniejsze niż w 1999 roku plony nasion obydwu

Tabela 4

Procent roślin porażonych przez antraknozę w ciągu całego okresu wegetacji
Percent of plants infested by anthracnose during vegetation

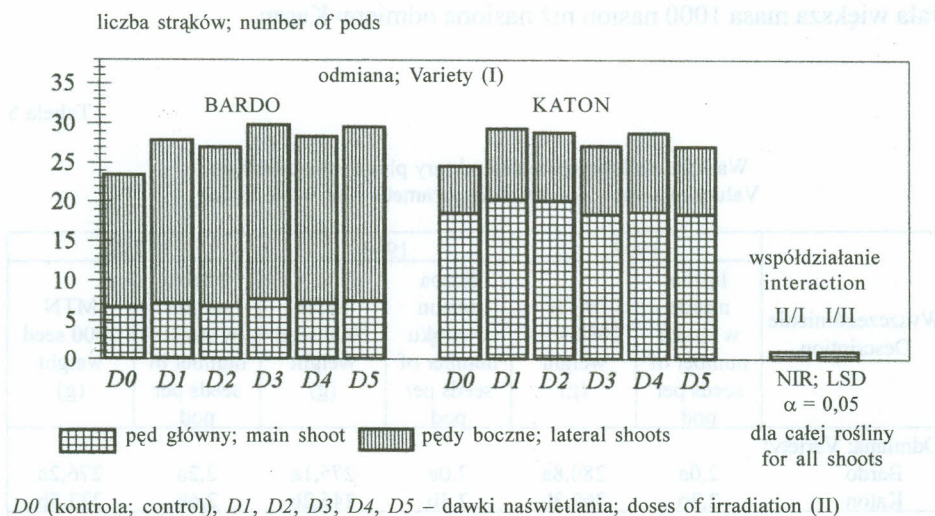
Wyszczególnienie Description	Lata badań; Years		
	1997	1998	1999
Odmiana; Variety (I):			
Bardo	24,4a	26,1a	15,0a
Katon	13,7b	13,8b	22,5b

Liczby w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie
Numbers in columns followed by the same letters do not differ significantly

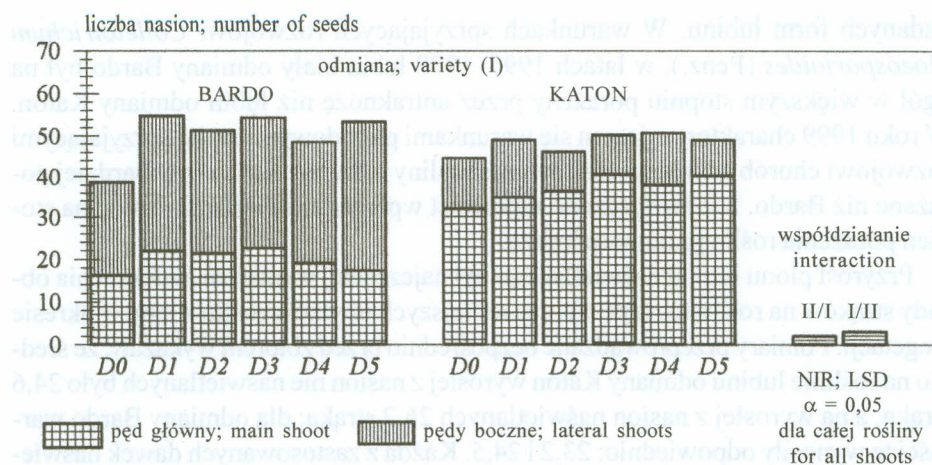
badanych form łubinu. W warunkach sprzyjających rozwojowi *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.), w latach 1997–1998 łubin biały odmiany Bardo był na ogół w większym stopniu porażany przez antraknozę niż łubin odmiany Katon. W roku 1999 charakteryzującym się warunkami pogodowymi mniej sprzyjającymi rozwojowi chorób grzybowych wówczas rośliny odmiany Katon były bardziej porażane niż Bardo. Nie stwierdzono natomiast wpływu naświetlania nasion na stopień porażenia roślin przez antraknozę.

Przyrost plonu łubinu naświetlanego był najczęściej wynikiem zwiększenia obłady strąków na roślinach (rys. 6) oraz mniejszych ubytków roślin z łanu w okresie wegetacji. Pomiar przeprowadzany bezpośrednio przed zbiorem wykazały, że średnio na roślinie łubinu odmiany Katon wyrosłej z nasion nie naświetlanych było 24,6 strąka, a na wyrosłej z nasion naświetlanych 26,2 strąka; dla odmiany Bardo wartości te wynosiły odpowiednio: 23,2 i 24,5. Każda z zastosowanych dawek naświetlania wpływała na przyrost liczby strąków na roślinie, przy czym dawki większe dawały lepsze efekty niż dawki mniejsze. Nie stwierdzono istotnej różnicy w średniej liczbie strąków na roślinie w poszczególnych latach badań, dlatego wyniki dotyczące tej cechy przedstawiono jako średnie z trzech lat.

Analiza struktury plonu po zbiorze wykazała, że rośliny wyrosłe z nasion naświetlanych zawiązywały więcej nasion niż rośliny wyrosłe z nasion nie naświetlanych (rys. 7). Nie stwierdzono natomiast wpływu tego zabiegu na liczbę nasion w strąku i masę 1000 nasion. Istotne zróżnicowanie pod względem tych cech stwier-



Rys. 6. Liczba strąków na roślinie
Number of pods per plant



D0 (kontrola; control), D1, D2, D3, D4, D5 – dawki naświetlania; doses of irradiation (II)

Rys. 7. Liczba nasion z rośliny
Number of seeds per plant

dzono natomiast w odniesieniu do badanych form łubinu (tab. 5). Samokończąca forma łubinu – Katon zawiązywała zdecydowanie więcej nasion w strąku niż forma tradycyjna – Bardo. Natomiast nasiona łubinu odmiany Bardo charakteryzowała większa masa 1000 nasion niż nasiona odmiany Katon.

Tabela 5

Wartości niektórych cech struktury plonu łubinu białego
Values of some yield structure parameters for white lupine

Wyszczególnienie Description	1997		1998		1999	
	liczba nasion w strąku number of seeds per pod	MTN 1000 seed weight (g)	liczba nasion w strąku number of seeds per pod	MTN 1000 seed weight (g)	liczba nasion w strąku number of seeds per pod	MTN 1000 seed weight (g)
Odmiana; Variety:						
Bardo	2,0a	280,8a	2,0a	275,1a	2,2a	276,2a
Katon	2,3b	269,3b	2,3b	245,2b	2,6b	233,5b
Pęd; Shoot:						
główny; main	2,8a	286,8a	2,9a	265,1a	3,2a	268,6a
boczne; lateral	1,5b	263,3b	1,4b	245,3b	1,4b	241,2b

Liczby w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie
Numbers in columns followed by the same letters do not differ significantly

Analiza laboratoryjna nie wykazała istotnych różnic w zdolności kiełkowania nasion zebranych z roślin wyrosłych z naświetlanego i nie naświetlanego materiału siewnego (tab. 6). Nie stwierdzono także istotnych różnic w zdolności kiełkowania nasion formy tradycyjnej i samokończącej łubinu.

W przeprowadzonych badaniach nie stwierdzono istotnego wpływu przedsięwziętego naświetlania materiału siewnego na zawartość białka i tłuszczu w zebranych nasionach. Uzyskane wyniki wskazują na istnienie tendencji, nieudowodnionej statystycznie, do wzrostu zawartości białka pod wpływem tego zabiegu (tab. 6). Istotne różnice w zawartości białka i tłuszczu w nasionach wystąpiły jedynie pomiędzy badanymi odmianami łubinu.

Tabela 6

Wartości niektórych cech biometrycznych i użytkowych łubinu białego (średnie z 3 lat)
Values of some biometric and utilizable parameters of white lupine (means from 3 years)

Wyszczególnienie Description	Zdolność kiełkowania Germinating capacity (%)	Wilgotność nasion podczas zbioru Moisture content of seeds at harvest (%)	Zawartość białka Protein content (%)	Zawartość tłuszczu Fat content (%)
Odmiana; Variety (I):				
Bardo	93,6a	19,4a	33,57a	9,06a
Katon	94,2a	17,6b	30,18b	8,33b
Dawki promieniowania Doses of irradiation (II):				
D0 (kontrola; control)	93,4a	19,2a	31,2a	8,31a
D1	94,2a	17,6dc	31,1a	8,42a
D2	93,7a	17,0b	32,4a	9,01a
D3	95,0a	17,8c	32,0a	8,34a
D4	94,0a	17,5dc	31,2a	8,39a
D5	93,8a	17,8c	32,0a	8,44a

Liczby w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie
Numbers in columns followed by the same letters do not differ significantly

DYSKUSJA

W przeprowadzonych trzyletnich badaniach polowych stwierdzono korzystny wpływ zabiegu przedsięwziętego traktowania nasion promieniami laserowymi na rozwój, kształtowanie się niektórych cech morfologicznych i plonowanie roślin dwóch zróżnicowanych form łubinu białego. Uzyskane efekty były nieco mniejsze od podawanych przez innych badaczy w odniesieniu do niektórych gatunków roślin uprawnych (20, 21, 26, 28, 43, 58), ale otrzymany przyrost plonu przekraczający po zasto-

sowaniu niektórych dawek napromieniowania nasion 16% w odniesieniu do odmiany samokończącej Katon i 13% – odmiany tradycyjnej Bardo ma duże znaczenie dla poprawy poziomu plonowania łubinu białego. Przedświewne naświetlanie nasion promieniami emitowanymi przez laser helowo-neonowy jako jeden z fizycznych sposobów przygotowania materiału siewnego oddziałuje różnie na rozwój roślin i ich plonowanie w poszczególnych latach badań. Wcześniejsze badania autora, jak również wyniki innych badań (24, 47, 48, 35, 36, 40) wskazują na zależność efektu stosowanego zabiegu od warunków siedliskowych, między innymi od wilgotności gleby i temperatury powietrza. Potwierdzeniem tych wyników są również rezultaty badań laboratoryjnych G ł a d y s z e w s k i e j (15), która wykazała zależność wpływu przedświewnego naświetlania nasion światłem laserowym na kiełkowanie nasion pomidorów od warunków termicznych, w których następuje proces kiełkowania. Być może dlatego lepsze efekty naświetlania nasion uzyskuje się w warunkach kontrolowanych niż w doświadczeniach polowych. Należy przypuszczać, że oprócz wspomnianych czynników pogodowych, wpływ na przebieg kiełkowania i późniejszego rozwoju roślin mogą mieć jeszcze inne czynniki, na przykład wilgotność początkowa nasion poddawanych napromieniowaniu światłem laserowym. Badania G r z e s i u k a i R e j o w s k i e g o (19) wykazują bowiem wyraźne współdziałanie innego czynnika fizycznego – fal ultradźwiękowych, z wilgotnością początkową nasion w odniesieniu do przebiegu procesu kiełkowania oraz wzrostu i rozwoju kukurydzy. Również P i e t r u s z e w s k i (33) obserwował lepsze kiełkowanie ziarniaków pszenicy jarej moczonych w wodzie przed umieszczeniem ich w polu magnetycznym w porównaniu do ziarniaków zawierających mniej wody; tłumaczył to większą ruchliwością jonów w nasionach bardziej wilgotnych po przedświewnej biostymulacji magnetycznej.

Doniesienia literatury krajowej i zagranicznej wykazują, że nasiona roślin uprawnych reagują najbardziej na naświetlanie wówczas, gdy dawka promieniowania laserowego jest optymalna dla danego gatunku (37, 39, 52, 57, 58). Małe dawki promieniowania zwykle stymulują kiełkowanie nasion i późniejszy ich rozwój (54), natomiast duże mogą niekiedy powodować mutacje (10). Wyniki doświadczeń R y b i Ń s k i e g o i in. (43) dotyczące wykorzystania światła laserowego w badaniach nad jęczmieniem dowodzą, że istnieje graniczna wartość dawki energii, do której następuje biostymulacja nasion, jej przekroczenie powoduje mutacje i pogorszenie cech morfologicznych i struktury plonu. Laser stał się ważnym narzędziem w pracach hodowlanych. Potwierdzają to badania prowadzone w Chinach, gdzie stosując laser uzyskano w ostatnich latach 13 nowych odmian roślin uprawnych (45, 56, 59, 61). Do przedświewnej biostymulacji nasion stosuje się najczęściej lasery małej mocy i stosunkowo długi czas naświetlania (21, 27) lub lasery dużej mocy i bardzo krótkie czasy naświetlania (57). Najczęściej wykorzystuje się jednak kilkakrotne naświetlanie małymi dawkami promieniowania. Niektórzy badacze (20) twierdzą, że większy wpływ na efekt biostymulacji ma liczba naświetlań niż dawka promieniowania. W przeprowadzonych badaniach w niektórych

latach nie stwierdzano istotnych różnic wpływu stosowanych dawek naświetlania na plon nasion łubinu. Również z badań D r o z d i S z a j s n e r (8) wynika, że każda z sześciu zastosowanych przedsięwzięć dawek promieniowania laserowego wykazywała podobne istotnie dodatnie działanie na energię kiełkowania i przyrost długości koleoptyla pszenicy jarej. Wcześniejsze badania autora (35) dotyczące biostymulacji nasion bobiku wskazują wyraźnie na występowanie optymalnych dawek promieniowania dla rozwoju i plonowania tego gatunku.

Przeważa pogląd, że przedsięwzięcie traktowanie nasion oddziałuje w największym stopniu na początkowy wzrost i rozwój roślin (8, 11, 50, 55), w szczególności zaś na kiełkowanie i przyrost wysokości roślin. Spostrzeżenia te dotyczą przede wszystkim badań prowadzonych w warunkach wegetacyjnych. W prezentowanych badaniach polowych obserwowano również przyspieszenie wschodów łubinu, ale tylko w latach z dużą ilością opadów w okresie siew–wschody, a więc wówczas, kiedy warunki pogodowe sprzyjały kiełkowaniu nasion. W i l d e i i n. (57) obserwowali kilkudniowe przyspieszenie wschodów fasoli po traktowaniu nasion promieniami laserowymi, a G a l o v a (12) oraz Z h i n d o n g i S h u h z e n (60) przyspieszenie kiełkowania pszenicy ozimej. Na ogół panuje pogląd, że rośliny wyrosłe z nasion naświetlanych są wyższe. Wyniki badań zawarte w literaturze krajowej i zagranicznej wskazują na dodatni wpływ napromieniowania nasion na wysokość roślin, szczególnie w początkowym okresie ich rozwoju (9, 21, 36, 50). W badaniach polowych autora obserwowano również różnice w wysokości między roślinami wyrosłymi z naświetlanego i nie naświetlanego materiału siewnego. Różnice te były jednak niezbyt duże (szczególnie wyraźne w okresie kwitnienia pędu głównego). Zdecydowanie większy wpływ naświetlania nasion na wzrost i rozwój roślin stwierdził autor we wcześniejszych doświadczeniach wazonowych (40). Obserwowano też różną reakcję badanych form łubinu na zabieg przedsięwzięcia naświetlania nasion. Napromieniowanie nasion modyfikowało bardziej wysokość roślin łubinu odmiany Katon niż Bardo.

W przeprowadzonych badaniach nie stwierdzono istotnego wpływu naświetlania nasion na długość okresu wegetacji i przyspieszenie dojrzewania roślin. Odnotowano jednak mniejszą zawartość wody nasionach zebranych z roślin wyrosłych z naświetlanego materiału siewnego. Można przypuszczać, że promieniowanie laserowe powoduje zmiany fizjologiczne w roślinach, które są trudne do zaobserwowania w warunkach doświadczeń polowych. Uzyskanie plonu o mniejszej zawartości wody w nasionach ma także aspekt ekonomiczny. Nasiona roślin o długim okresie wegetacji zawierają najczęściej bezpośrednio po zbiorze znaczną ilość wody i do dalszego składowania konieczne jest ich dosuszanie. Wiąże się to ze znacznymi nakładami i wzrostem kosztów produkcji. Podobne obserwacje dotyczące zmian zawartości wody w nasionach zebranych z roślin wyrosłych z naświetlanego materiału siewnego poczyniono również we wcześniejszych badaniach polowych w odniesieniu do bobiku. Nie stwierdzono wpływu tego zabiegu na tempo przebiegu poszczególnych faz rozwojowych roślin, chociaż dane literatury wskazują na

możliwość szybszego dojrzewania roślin po działaniu na materiał siewny niektórych czynników fizycznych (18). Wyraźne przyspieszenie zakwitania roślin łubinu i szybsze jego dojrzewanie po przedsiewnym naświetlaniu nasion obserwowano jedynie w doświadczeniach wazonowych, w warunkach ściśle kontrolowanej temperatury i wilgotności w komorach klimatyzacyjnych (40). Zakłócenie rytmu „zegara biologicznego” przejawiające się szybszym zakwitaniem roślin kukurydzy i wcześniejszym ich dojrzewaniem obserwowali G i e r o b a i in. (13).

Analiza chemiczna nasion łubinu nie wykazała istotnego wpływu światła laserowego na skład chemiczny nasion. Literatura krajowa i zagraniczna dostarcza danych wykazujących korzystny wpływ zabiegu przedsiewnego naświetlania nasion na jakość zbieranego plonu. Na przykład I n y u s h i n i in. (21) wykazali wzrost zawartości cukrów i witaminy C w owocach pomidorów i ogórków oraz cukrów w korzeniach buraka cukrowego po przedsiewnym naświetlaniu nasion. Również badania W ó j c i k i B o j a r s k i e j (58) prowadzone w ostatnich latach wskazują na wzrost zawartości cukru w korzeniach kilku odmian buraka cukrowego po przedsiewnej biostymulacji nasion światłem laserowym. Panuje pogląd, że traktowanie nasion promieniami laserowymi może wpływać na metabolizm roślin powodując zmianę kierunku i intensywności biosyntezy, co prowadzi do polepszenia jakości plonu. W literaturze przedmiotu jest jednak niewiele wyników dotyczących tego zagadnienia. Również dotychczasowe badania autora nie wykazały istotnego wpływu światła laserowego na jakość plonu. Niewykluczone, że światło lasera oddziałuje na skład chemiczny nasion jedynie w przypadku niektórych gatunków roślin. Wyjaśnienie tego zagadnienia wymaga prowadzenia szczegółowych badań biochemicznych.

WNIOSKI

1. Przedsiewne traktowanie nasion łubinu białego promieniami laserowymi wpływało istotnie na zwiększenie plonu nasion. Efektywność stosowanego zabiegu była różna w poszczególnych latach badań, co wskazuje na jej uzależnienie od przebiegu warunków pogodowych.

2. Każda z pięciu zastosowanych dawek promieniowania laserowego modyfikowała wzrost, rozwój i plonowanie badanych form łubinu białego. W odniesieniu do formy tradycyjnej Bardo plon wzrastał wraz z dawką promieniowania, natomiast w odniesieniu do formy samokończącej Katon najlepsze efekty stwierdzono po trzy- i czterokrotnym naświetlaniu nasion.

3. Przyrost plonu nasion na skutek przedsiewnego naświetlania materiału siewnego zarówno w odniesieniu do formy samokończącej, jak i tradycyjnej łubinu białego był następstwem większej liczby strąków na roślinie oraz mniejszych ubytków roślin w okresie wegetacji.

4. Nie obserwowano istotnych różnic w przebiegu faz rozwojowych roślin wyrosłych z nasion naświetlanych i nie naświetlanych. Stwierdzono natomiast mniejszą zawartość wody w nasionach zbieranych z roślin wyrosłych z naświetlanego materiału siewnego, co może wpływać na obniżenie kosztów związanych z dosuszaniem nasion.

5. Przedsiewne naświetlanie nasion światłem laserowym nie wpływało istotnie na polepszenie jakości paszowej i siewnej zebranych nasion łubinu białego. Analiza laboratoryjna i chemiczna po zbiorze wykazała jedynie nieznaczny wzrost zdolności kiełkowania nasion oraz tendencję do zwiększenia w nich zawartości białka i tłuszczu.

LITERATURA

1. Anisimov A., Vorobev V., Zuikov A.: The influence of laser radiation on the velocity of rotational motion of protoplasm in *Elodea* cells. *Laser Physics*, 1997, **7(5)**: 1132-1137.
2. Aladzhadzhian A., Khadzhitanosov D., Georgiev V.: Seed coat transparency of maize, soybean and bean. *Bull. J. Agric. Sci.*, 1995, **1**: 23-26.
3. Augsten H., Michel D.: Effects of irradiation with light of different wavelengths on nitrate reductase activity in roots of *Zea mays* L. *Z. Pflanzenphysiol.*, 1981, **102**: 1-10.
4. Bidzila N.I., Szalepa S.W., Okanienko A.S.: Svobodnoradikalnyje sostojanija i opytieskije charakteristiki klubockov sacharnoj svekly. *Problemy Fotoenergetiki Rastanii. Alma-Ata*, 1974, **2**: 85-86.
5. Cepero L., Martin G., Mesa A. R., Castro P.: Effect of irradiation of seeds of *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham with a He-Ne laser. *Pastos y Forrajes*, 1997, **20(2)**: 125-131.
6. Dobrowolski J. W., Smyk B., Rozycki E., Barabasz W., Wachalewski T.: Experiments about the influence of laser light on some biological elements of the natural environment. *Acta Universitatis Upsaliensis, Stockholm*, 1992, 1-15.
7. Drozd D.: The effect of laser radiation on spring wheat properties. *Inter. Agrophysics*, 1994, **8**: 209-219.
8. Drozd D., Szajsner H.: Laboratoryjna ocena wczesnych faz rozwojowych pszenicy jarej poddanej działaniu promieniowania laserowego. *Biul. IHAR*, 1997, **204**: 187-190.
9. Drozd D., Szajsner R., Koper R.: Wpływ przedsiewnego naświetlania laserem nasion pszenicy jarej na zdolność kiełkowania i długość koleoptyla. *Fragm. Agron.*, 1996, **1**: 44-51.
10. Dudin P.: Mutagenic effect of irradiation from a helium-neon laser on spring barley. *Genetica*, 1983, **19**: 1693-1699.
11. El-Shafie S.A., Mazrou M.M., El-Sayed S.A., El-Kholy S.A., Aly H.F.M.: The influence of pre-sowing laser irradiation on the growth, productivity and some chemical constituents of *Ammi visnaga* L. plants. *Menofiya J. Agric. Res.*, 1993, **18(4)**: 2591-2604.
12. Galova Z.: The effect of laser beams on the process of germinating power of winter wheat grains. *Rocz. AR Poznań*, 1996, CCCLXXXVI, ser. Rol., **49**: 39-43.
13. Gieroba J., Koper R., Matyka S.: The influence of pre-sowing laser biostimulation of maize seeds on the crop and nutritive value of the corn. 45th Australian Cereal Chemistry Conference, Adelaide, 1995, 30-33.
14. Gladstones J.S., Atkins C., Hamblin J.: Lupins as crop plant. *Biology, production, utilization*. CAB INTERNATIONAL, 1998.
15. Gładyszewska B.: Ocena wpływu przedsiewnej laserowej biostymulacji nasion pomidorów na proces ich kiełkowania. *Rozprawa doktorska, AR Lublin*, 1999.

16. Grodzieński D.E.: Radiobiologia. PWN Warszawa, 1969.
17. Grzesiuk S., Kulka K.: Fizjologia i biochemia nasion. PWRiL Warszawa, 1986.
18. Grzesiuk S., Kulka K.: Biologia ziarniaków zbóż, PWN Warszawa, 1988.
19. Grzesiuk S., Rejowski A.: Wpływ pola ultradźwiękowego na kiełkowanie oraz wzrost i rozwój kukurydzy (*Zea Mays* L.). Post. Nauk Rol., 1957, **3(45)**: 4-13.
20. Inyushin W.M.: Technika laserowa w służbie rolnictwa. Nowe Rol., 1977, **21-22**: 21-26.
21. Inyushin W.M., Iljasov G.U., Fedorova N.N.: Laser light and crop. 1981, Kainar Publ. Alma-Ata, 1981.
22. Jasińska Z., Kotecki A.: Rośliny strączkowe. PWN Warszawa, 1993.
23. Karlander E.P., Krauss R.W.: The laser as a light source for the photosynthesis and growth of *Chlorella vaneli*. Biochem. Biophys., 1968, **153(1)**: 312.
24. Kartalov P., Szabon I.: Prilozenie na lazernata energia pri krastavici sort Sandra. Rasteniedni Nauki, 1988, **7**: 62-66.
25. Klejman H.: Lasery. PWN Warszawa, 1979.
26. Koper R.: Pre-sowing laser biostimulation of seeds of cultivated plants and its results in agrotechnics. Inter. Agrophysics, 1994, **8**: 593-596.
27. Koper R.: Urządzenie do przedsięwnej obróbki nasion promieniowaniem laserowym. Patent RP Nr 162598.
28. Koper R., Wójcik S., Kornas-Czuczwar B., Bojarska U.: Effect of the laser exposure of seeds on the yield and chemical composition of sugar beet roots. Inter. Agrophysics, 1996, **10**: 103-108.
29. Kurobaru I., Yamaguchi H., Sander C., Nilan R.A.: The effects of gamma irradiation on the production and secretion of enzymes, and on enzyme activities on barley seeds. Environ. Experiment. Bot., 1979, **19(2)**: 75-84.
30. Olchowiak G., Dziamba Sz.: Wpływ promieniowania mikrofalowego na elementy struktury plonu gryki. Mat. Konf. Nauk. „Uszlachetnianie materiałów nasiennych”. Olsztyn-Kortowo, 1994, 283-287.
31. Phirke P.S., Kudbe A. B., Umbarkar S.P.: The influence of magnetic field on plant growth. Seed Sci. Technol., 1996, **24**: 375-392.
32. Pietruszewski S.: Effect of magnetic seed treatment on yield of wheat. Seed Sci. Technol., 1993, **21**: 621-626.
33. Pietruszewski S.: Magnetyczna biostymulacja materiału siewnego pszenicy jarej. Rozprawa hab. 220, AR Lublin, 1999.
34. Pittman U.J., Carefoot J.M., Ormrod D.P.: Effect of magnetic seed treatment on amylolytic activity of Quiescent and germinating barley and wheat seeds. Can. J. Plant Sci., 1979, **59(4)**: 1007-1011.
35. Podleśny J.: Wpływ przedsięwnego traktowania nasion promieniami laserowymi na rozwój i plonowanie bobiku (*Vicia faba minor*). Pam. Puł., 1998, **113**: 73-84.
36. Podleśny J., Podleśna A., Koper R.: Chilling tolerance of white lupine in early developmental phases – the effect of seed pre-sowing irradiation by laser. COST 814 – Crop development for the cool and wet regions of Europe. European Commission, 1997, 236-240.
37. Podleśny J., Podleśna A.: The effect of pre-sowing treatment of seeds by laser light on morphological features formation and faba bean yielding. Inter. Conf. on Agricultural Engineering, Oslo, 1998, **II**: 967-969.
38. Podleśny J.: The effect of seeds laser biostimulation on white lupine growth in differentiated moisture conditions. Acta Physiol. Plant., 1998, **20**: 64.
39. Podleśny J.: The effect pre-sowing treatment of laser light on morphological features formation and white lupine yielding. Inter. Lupin Conf. Klink/Müritz, Germany, 1999, 388-390.

40. Podleśny J.: Wpływ przedśiewnej biostymulacji laserowej nasion na wzrost i rozwój łubinu białego w zróżnicowanych warunkach wilgotności i temperatury. Pam. Puł., 1999, **117**: 61-81.
41. Popp E.F.: Elektromagnetik Bio-information. Coherent Photon Storage of Biological Systems. Urban and Schwarzenberg. München-Vien-Baltimore, 1979.
42. Popp A. F.: Biologie des Lichts. Verlag Paul Parey Berlin und Hamburg, 1984.
43. Rybiński W., Patyna H., Przewoźny T.: Mutagenic effect of laser and chemical mutagens in barley (*Hordeum vulgare* L.). Gen. Pol., 1993, **34(4)**: 337-343.
44. Sebanek J., Kralik J., Hudeova M., Kliciva S., Slaby K., Psota V., Vitkova H., Polisenska M., Kudova D., Sterba S., Vancura J.: Growth and hormonal effects of laser on germination and rhizogenesis in plants. Acta Sc. Nat. Brno. Praga 1989, **23(9)**: 1-49.
45. Sheppard S.C., Chubey B.B.: Radiation hormesis of field-seeded broccoli, parsnip and cauliflower. Can. J. Plant Sci., 1990, **70(1)**: 369-373.
46. Smith M.T.: Ultrastructural changes during imbibition in seeds of lettuce (*Lactuca sativa* L.) after gamma irradiation. Seed Sci. Technol., 1991, **19(2)**: 385-395.
47. Sawicki B.: Plonowanie niektórych traw pod wpływem naświetlania materiału siewnego laserem helowo-neonowym. Ann. UMCS, 1995, Sect. E, **L(9)**: 59-63.
48. Stand J.: Osetreni osiva lnu laserovym ozarovanim. Rostlinna Výroba, 1991, **37**: 223-229.
49. Stawiński S.: Długość okresu wegetacji, jako czynnik ograniczający uprawę łubinu białego w Polsce. Mat. konf. nauk.: Łubin-Białko-Ekologia, Poznań, 1994, 91-99.
50. Szyrmer J., Klimont K.: Wpływ światła lasera na jakość nasion fasoli (*Phaseolus vulgaris* L.). Biul. IHAR, 1999, **210**: 165-168.
51. Świącicki W.: Łubin jako roślina ekologiczna. Łubin w gospodarce i życiu człowieka. Polskie Towarzystwo Łubinowe, Poznań 1993, 15-22.
52. Tamura K., Kishioka S., Miyashita M., Iijima K.: Stimulating effects of low-power He-Ne laser on growth of *Saccharomyces cerevisiae* under hight pressure. Biotechnol. Tech., 1996, **10(5)**: 339-340.
53. Toth M., Kerpert I., Kozma L., Klujber L.: Influence of different wave-length laser lights on the carbohydrate metabolism in germinating maize seeds. Acta Bot. Hungarica, 1993, **38(1-4)**: 421-430.
54. Vasilevski G.: By laser to healthier and cheaper food. Rep. faculty Agric., Skopje, 1991, 1-2.
55. Vasilenko V.F., Kuznecov E.D.: Fizjologiceskije i ekologiceskije aspekty ispolzowanija chimiceskoj i svietlovoj regulacji rosta rastenij. Viestnik Sielskochozjajstviennoj Nauki, 1990, **7**: 63-68.
56. Wang L.Q.: Induced mutations for crop improvement in China. In: Plant Breeding for Crop Improvement. Proc. Symp., Vienna, IAEA, 1991, **1**: 9-93.
57. Wilde W.H.A., Parr W.H., McPeak D.W.: Seeds bask in laser light. Laser Focus, 1969, **5(23)**: 41-42.
58. Wójcik S., Bojarska U.: Wpływ przedśiewnej obróbki nasion promieniami lasera na plon i jakość korzeni kilku odmian buraka cukrowego. Ann. UMCS, 1998, Sectio E, **10**: 87-96.
59. Xu M.F.: Studies on mutagenic effect of using laser in wheat. Appl. Laser, 1988, **9**: 1-2.
60. Zhidong F., Shuzhen X.: Effects of He-Ne laser upon the germinating ability of wheat seeds. Acta Univ. Agric. Boreli Occidentalis, 1990, **18(2)**: 95-98.
61. Zhu X.D.: Genetical analysis of quantitative characters of laser-treated wheat. Laser J., 1988, **9**: 167-170.

J. Podleśny

THE EFFECT OF PRE-SOWING LASER LIGHT TREATMENT ON DEVELOPMENT AND YIELDING OF WHITE LUPINE (*Lupinus albus* L.)

Summary

The study was conducted at Agricultural Experimental Station Puławy-Kępa in the years 1997–1999. The experimental design included two factors: two morphologically different varieties of white lupine: Bardo (traditional form) and Katon (determinate form), and six doses of laser irradiation: D0 – no irradiation, D1 – single irradiation, D2 – double irradiation, D3 – 3-fold irradiation, D4 – 4-fold irradiation, and D5 – 5-fold irradiation. Single exposition was equal to $4 \times 10^{-3} \text{ J/cm}^2/\text{s}$. Seeds were irradiated before sowing at Physics Department, Agricultural University in Lublin, using the device to pre-sowing laser irradiation. It was found that irradiation of faba bean seeds by hel-neon laser light significantly increased seed yield and some elements of its structure, especially number of pods per plant. Three-fold irradiation proved to be more effective than 5-fold. The impact of seed irradiation differed in particular years of studies and depended on weather conditions and faba bean genotype. Plants, grown from laser light irradiated seeds were more resistant to adverse conditions in the stand, what had been proved by smaller losses of plants from irradiated seeds from emergence to harvest. Protein and fat content in seeds of plants grown from both irradiated and non-irradiated seeds was similar. Also the course of plant growth stages did not differ in the experiment. However, it was found that seeds harvested from plants, grown from laser light irradiated seeds contained less water.

JANUSZ PODLEŚNY

Zakład Uprawy Roślin Pastewnych
IUNG – Puławy

WPLYW TRAKTOWANIA NASION PROMIENIAMI LASEROWYMI
NA ROZWÓJ ORAZ DYNAMIKĘ GROMADZENIA SUCHEJ MASY
ŁUBINU BIAŁEGO (*Lupinus albus* L.)*

The effect of treating seeds with laser light on development and dynamics of dry matter
accumulation by white lupine (*Lupinus albus* L.)

(Wpłynęło do Redakcji 31 X 2000)

Jednym z ważniejszych czynników plonotwórczych jest jakość materiału siewnego (23). W ostatnich latach wzrasta znaczenie fizycznej obróbki nasion (26, 33, 37, 41-45, 47, 50, 58, 67), uznawanej za bezpieczną dla środowiska.

Na szczególną uwagę zasługuje światło laserowe, które ze względu na swoją specyfikę (monochromatyczność, spójność i równoległość wiązki) oraz dużą gęstość powierzchniową mocy może przenikać do wnętrza nasion zmieniając w nich przebieg niektórych procesów biochemicznych i fizjologicznych (3, 17, 31, 40, 48, 62, 68, 70). Efektem tych zmian jest najczęściej szybsze kiełkowanie nasion oraz przyspieszone tempo rozwoju roślin z nich wyrosłych.

Z danych literatury wynika, że napromieniowanie nasion wpływa także na zwiększenie wielkości i jakości plonów. Najwięcej badań z tego zakresu wykonano w odniesieniu do roślin zbożowych (10, 28, 35, 57), okopowych (4, 39, 69, 73) i warzyw (9, 28, 60, 65). Wcześniejsze badania autora wskazują na korzystny wpływ promieni laserowych na rozwój i plonowanie łubinu białego i bobiku uprawianych zarówno w warunkach ściśle kontrolowanych – w komorach klimatycznych (47, 49, 51-53), jak też w warunkach pola doświadczalnego (46, 54).

Celem doświadczenia było określenie zmian przebiegu wzrostu, rozwoju i kształtowania się cech plonotwórczych roślin łubinu białego wywołanych napromienianiem laserowym nasion.

* Badania prowadzono w ramach projektu badawczego NR 5 P06B 07614 finansowanego przez Komitet Badań Naukowych

METODYKA

Badania prowadzono w latach 1998–2000 w hali wegetacyjnej Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach, w wazonach Mitscherlicha zawierających mieszaninę 5 kg ziemi ogrodowej i 2 kg piasku. Do każdego wazonu wysiewano po 10 nasion łubinu białego. Bezpośrednio po wschodach dokonywano przerywki pozostawiając po 5 roślin w wazonie. Dawka nawozów na 1 wazon wynosiła: 0,3 g NH_4NO_3 i 4,4 g KH_2PO_4 . Do nawożenia i podlewania roślin stosowano automatyczne urządzenie do precyzyjnego podlewania roślin z dozownikiem nawozowym. Rośliny podlewano wodą destylowaną do 60% połowej pojemności wodnej gleby. Czynnikiem I rzędu była odmiana łubinu białego: Bardo – forma tradycyjna i Katon – forma samokończąca, a czynnikiem II rzędu dawka promieniowania laserowego: D0 – bez naświetlania, D3 – trzykrotne naświetlanie, D5 – pięciokrotne naświetlanie nasion. Dawka pojedynczej ekspozycji wynosiła $4 \cdot 10^{-3} \text{ J cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Naświetlanie nasion wykonano w Katedrze Fizyki AR w Lublinie wykorzystując urządzenie do przedświecznej biostymulacji nasion promieniowaniem laserowym wyposażone w laser helowo-neonowy (38).

Od chwili ukazania się pierwszych wschodów liczono rośliny codziennie w celu ustalenia dynamiki wschodów. W ciągu całego okresu wegetacji prowadzono szczegółowe obserwacje wzrostu i rozwoju roślin. W celu oznaczenia dynamiki przyrostu świeżej i suchej masy dokonano zbioru roślin w 7 terminach: T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7 (tab. 1). Podczas zbioru w każdym z terminów określano następujące parametry roślin: wysokość do wierzchołka, powierzchnię liściową, liczbę liści, świeżą i suchą masę poszczególnych organów roślinnych, a w późniejszych terminach zbioru również: wysokość do pierwszego i ostatniego strąka, liczbę pędów bocznych, liczbę kwitnących kwiatostanów, liczbę strąków, przeciętną długość strąka, masę strączyn, liczbę i masę nasion, wilgotność nasion. Wszystkie pomiary wykonywano oddzielnie dla pędu głównego i pędów bocznych. Wyniki badań stanowiły średnie z 3 wazonów. Dynamikę przyrostu masy określono na podstawie bezwzględnej (GR) i względnej (RGR) szybkości wzrostu wykorzystując wzory E v a n s a (18):

$$\text{GR} = (W_2 - W_1) (T_2 - T_1)^{-1} \quad [\text{g/dobę}]$$

$$\text{RGR} = (\ln W_2 - \ln W_1) (T_2 - T_1)^{-1} \quad [\text{g/g/dobę}]$$

gdzie: W_1 – sucha masa roślin na początku okresu pomiarowego

W_2 – sucha masa roślin na końcu okresu pomiarowego

T_1 – początek okresu pomiarowego

T_2 – koniec okresu pomiarowego.

Wyniki badań opracowano statystycznie metodą analizy wariancji. W przypadku braku współdziałania badanych cech z latami, wyniki przedstawiono jako średnie z 3 lat. Sporządzono również wykresy regresji obrazujące przebieg zmian naj-

Tabela 1

Zbiory roślin i fazy rozwojowe
Plant harvests and development stages

Zbiór Harvest	Dni po siewie Days after sowing	Fazy rozwojowe roślin Development stages
<i>T1</i>	24	rośliny w fazie siewki, wysokość około 3–4 cm, początek tworzenia brodawek korzeniowych (skala BBA-14) seedling stage, height about 3–4 cm, beginning of root nodules formation
<i>T2</i>	38	rośliny w fazie 2–3 liści, intensywne tworzenie brodawek korzeniowych, wysokość roślin około 10–12 cm (skala BBA-24) 2–3 leaf stage, intensive formation of root nodules, height about 10–12 cm
<i>T3</i>	52	rośliny w fazie 5–6 liści, wysokość około 16–18 cm, początek tworzenia pąków na pędzie głównym i tworzenia pędów bocznych (skala BBA-28) 5–6 leaf stage, height about 16–18 cm, beginning of flower buds' formation on main shoot and lateral shoots' formation
<i>T4</i>	66	kwitnienie pędu głównego łubinu, pojawienie się pierwszych pąków na pędach bocznych, wysokość roślin około 55–60 cm (skala BBA-64) flowering of main shoot, first buds on lateral shoots, height about 55–60 cm
<i>T5</i>	80	zawiązywanie strąków i początek wypełniania nasion na pędzie głównym, wysokość roślin około 65–75 cm (skala BBA-72) pod setting and beginning of seed filling on main shoot, height about 65–75 cm
<i>T6</i>	94	pełnia wypełniania nasion na pędzie głównym, początek zawiązywania strąków na pędach bocznych, zahamowanie wzrostu, rośliny osiągnęły wysokość około 75 cm (skala BBA-78) full seed filling on main shoots, beginning of pod setting on lateral shoots, growth retardation, height about 75 cm
<i>T7</i>	124	dojrzałość pełna nasion na pędzie głównym i pędach bocznych, około 90–95% strąków zbrunatniałych, wilgotność nasion około 20% (skala BBA-92) full maturity of seeds on main shoot and lateral shoots, about 90–95% of pods browned, moisture of seeds about 20%

ważniejszych cech morfologicznych i użytkowych roślin w okresie wegetacji. W analizie statystycznej posługiwano się półprzedziałem ufności Tukeya przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

OMÓWIENIE WYNIKÓW

Wschody łubinu białego były równomierne i wystąpiły w przypadku odmiany Bardo po 9, a odmiany Katon po 7 dniach od wysiewu. Obydwie zastosowane dawki naświetlania wpływały korzystnie na termin i równomierność wschodów. Zarówno rośliny łubinu odmiany Bardo, jak i odmiany Katon wschodziły około 2–3 dni wcześniej z nasion naświetlanych, niż z nasion nie naświetlanych. Stwierdzono różnice w dynamice wschodów zarówno między badanymi odmianami, jak też między roślinami wschodzącymi z nasion naświetlanych i nie naświetlanych (tab. 2). Wschody łubinu odmiany Katon były szybsze i bardziej równomierne niż odmiany Bardo. Naświetlanie materiału siewnego obydwu odmian łubinu bardzo wyraźnie zwiększyło dynamikę wschodów roślin określaną stosunkiem liczby wschodzących roślin do liczby wysianych nasion.

Tabela 2

Dynamika wschodów łubinu białego – % wschodzących roślin
Plant emergence dynamics – percent of emerging plants

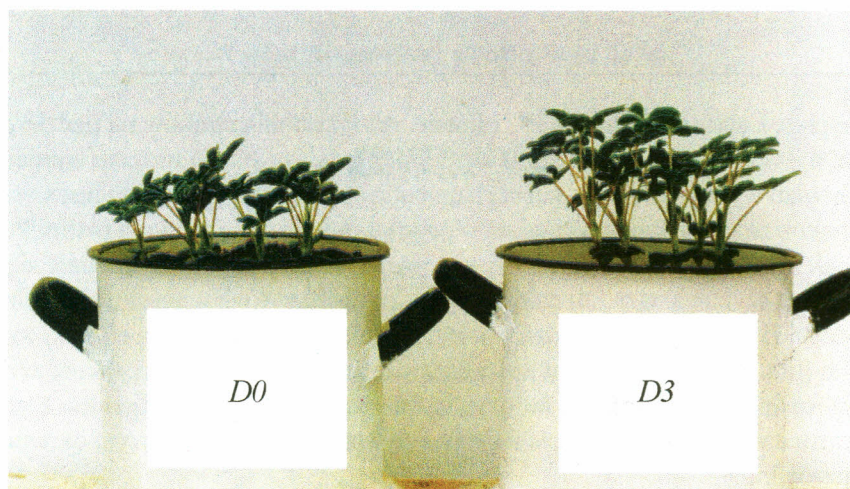
Wyszczególnienie Description	Czas od wysiewu (dni); Time from sowing (days)							
	8	9	10	11	12	13	14	15
Odmiana: Variety:								
Bardo	16,6a*	26,7a	46,7a	63,3a	80,0a	90,0a	96,7a	96,7a
Katon	20,0b	26,7a	50,0a	76,7b	76,7a	90,0a	93,3a	96,7a
Dawki promieniowania: Doses of irradiation:								
D0 (kontrola; control)	0,0a	10,0a	15,0a	30,0a	35,0a	70,0a	85,0a	90,0a
D3	25,0b	40,0b	85,0b	95,0b	100,0b	100,0b	100,0b	100,0b
D5	30,0b	30,0c	50,0c	85,0c	100,0b	100,0b	100,0b	100,0b

* Liczby w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie; Numbers in columns marked with the same letters do not differ significantly

Obserwowano także różnice we wzroście i rozwoju roślin wyrosłych z naświetlanego i nie naświetlanego materiału siewnego. Rośliny wyrosłe z nasion naświetlanych od fazy 2–3 liści do kwitnienia pędu głównego były wyższe (fot. 1 i 2) niż rośliny z nasion nie naświetlanych. Nie obserwowano wyraźnych różnic we wzroście i rozwoju roślin wyrosłych z nasion trzy- i pięciokrotnie naświetlanych.

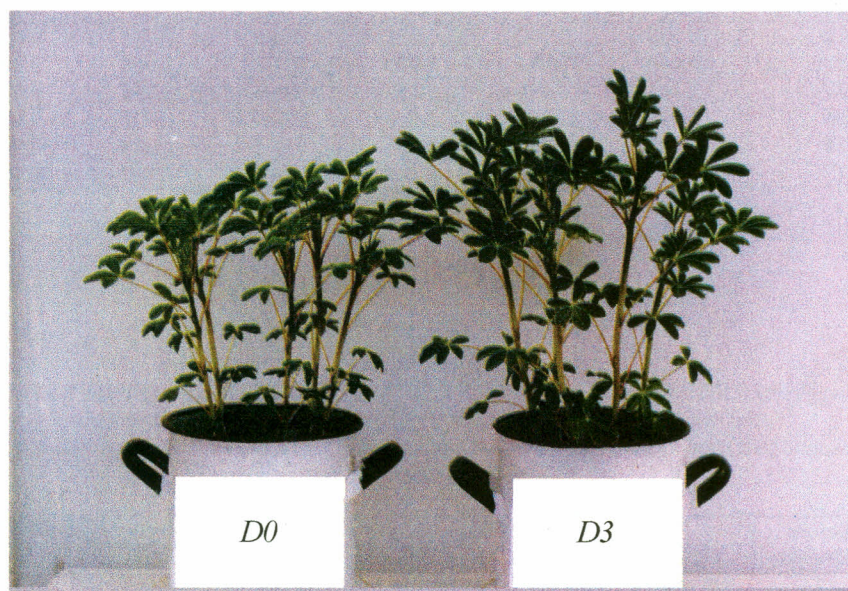
Pierwsze brodawki na korzeniach siewek łubinu białego widoczne były już po 12–14 dniach od wschodów; napromieniowanie nasion nie miało wpływu na termin wykształcania pierwszych brodawek korzeniowych.

Bezwzględna szybkość wzrostu (GR) części nadziemnej, mała na początku wegetacji, zwiększała się w miarę rozwoju roślin i osiągnęła najwyższą wartość



D0 – bez naświetlania; no irradiation
D3 – trzykrotne naświetlanie; 3-fold irradiation

Fot. 1. Początkowy rozwój roślin łubinu białego wyrosłych z nasion traktowanych i nie traktowanych promieniami laserowymi
 Initial development of white lupine plants grown from seeds treated and non-treated with laser light



D0 – bez naświetlania; no irradiation
D3 – trzykrotne naświetlanie; 3-fold irradiation

Fot. 2. Rozwój roślin wyrosłych z nasion traktowanych i nie traktowanych promieniami laserowymi
 (faza 8–9 liści)
 Development of white lupine plants grown from seeds treated and non-treated with laser light
 (8–9 leaf stage)

w okresie kwitnienia (tab. 3). Po okresie zawiązywania strąków na pędzie głównym, a zwłaszcza ich wypełniania się bezwzględna szybkość wzrostu zmniejszała się bardzo wyraźnie. Względna szybkość wzrostu (RGR) była największa w okresie pąkowania i kwitnienia i malała w późniejszym okresie rozwoju roślin. Podobnie jak bezwzględna szybkość wzrostu części nadziemnej GR zmieniała się bezwzględna szybkość wzrostu całej rośliny – początkowo osiągała stosunkowo małe wartości i zwiększała się bardzo wyraźnie dopiero w późniejszym okresie wzrostu roślin (tab. 4). Po okresie zawiązywania strąków bezwzględna szybkość wzrostu całej rośliny zmniejszała się bardziej niż części nadziemnej. Względna szybkość wzrostu całej rośliny osiągnęła największą wartość w początkowym okresie rozwoju roślin.

Tabela 3

Bezwzględna (GR) i względna szybkość wzrostu (RGR) roślin łubinu białego wyrosłych z nasion traktowanych i nie traktowanych promieniami laserowymi (część nadziemna)
Absolute (GR) and relative (RGR) growth rate of white lupine plants grown from seeds treated and non-treated with laser light (aboveground part)

Zbiory Harvests	GR (g/dobę; g/day)			RGR (g/g/dobę; g/g/day)		
	D0	D3	D5	D0	D3	D5
T1-T2	0,208	0,200	0,276	0,072	0,031	0,050
T2-T3	0,645	0,872	0,920	0,078	0,068	0,070
T3-T4	2,747	3,291	3,657	0,096	0,085	0,089
T4-T5	2,321	2,607	2,685	0,035	0,031	0,030
T5-T6	2,085	1,562	1,565	0,021	0,014	0,015
T6-T7	-0,225	-0,280	-0,268	0,003	-0,001	-0,003

T1, T2...T7 – patrz tab. 1; see tab. 1

D0, D3, D5 – dawki promieniowania; doses of irradiation

Tabela 4

Bezwzględna (GR) i względna szybkość wzrostu (RGR) roślin łubinu białego wyrosłych z nasion traktowanych i nie traktowanych promieniami laserowymi (cała roślina)
Absolute (GR) and relative (RGR) growth rate of white lupine plants grown from seeds treated and non-treated by laser light (whole plant)

Zbiory Harvests	GR (g/dobę; g/day)			RGR (g/g/dobę; g/g/day)		
	D0	D3	D5	D0	D3	D5
T1-T2	0,334	0,345	0,398	0,286	0,193	0,167
T2-T3	0,696	0,940	0,991	0,101	0,093	0,097
T3-T4	2,905	3,497	3,849	0,140	0,113	0,133
T4-T5	2,707	3,095	3,153	0,089	0,085	0,084
T5-T6	2,299	1,683	1,731	0,038	0,022	0,025
T6-T7	-0,292	-0,331	-0,341	-0,008	-0,005	-0,007

T1, T2...T7 – patrz tab. 1; see tab. 1

D0, D3, D5 – dawki promieniowania; doses of irradiation

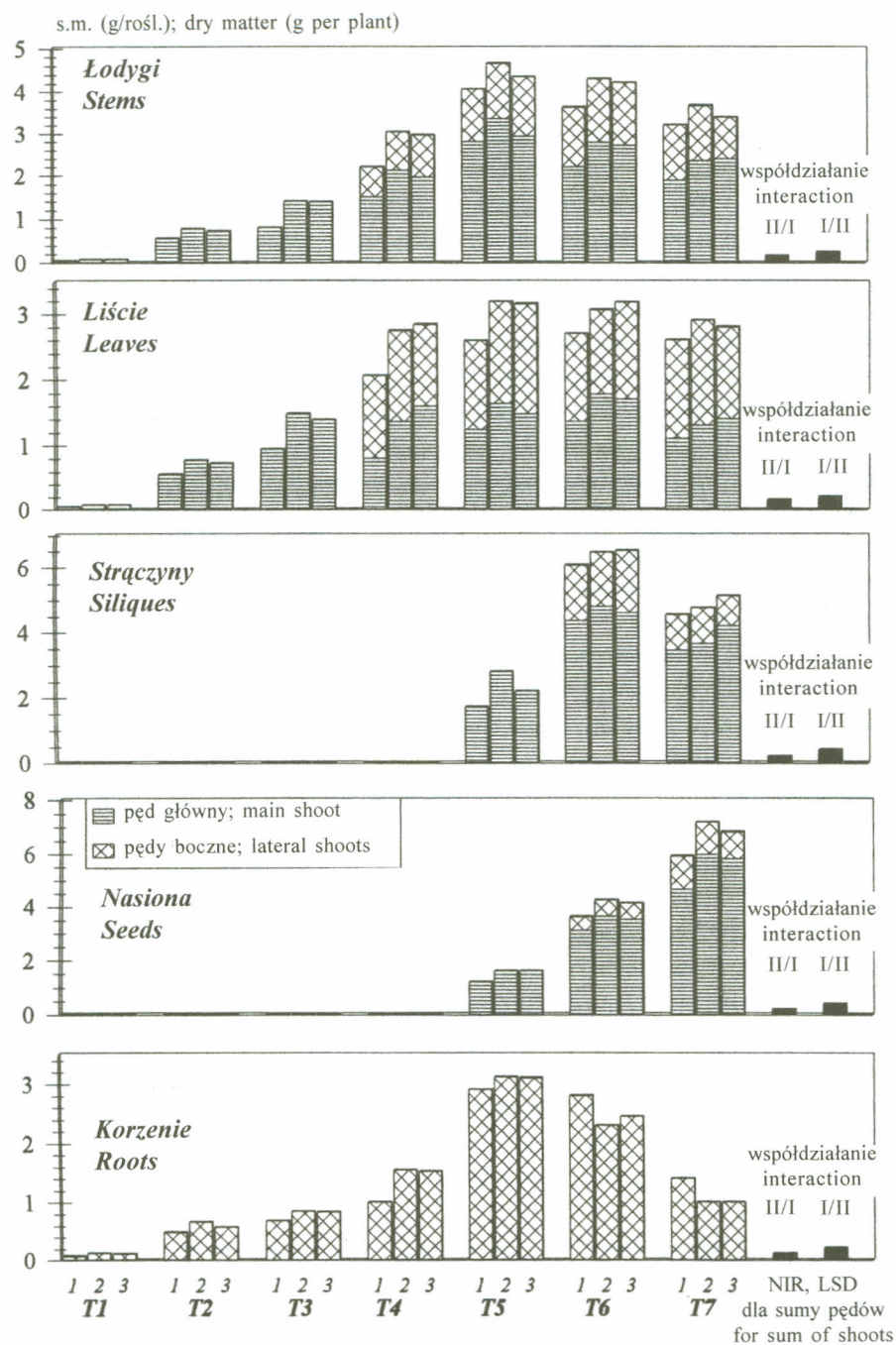
Napromieniowanie nasion światłem laserowym miało istotny wpływ na tempo gromadzenia suchej masy w poszczególnych organach roślin (rys. 1 i 2). W okresie wegetatywnego rozwoju roślin, największy wpływ tego zabiegu na plon suchej masy obserwowano w okresie wschodów oraz od fazy 5–6 liści (*T3*) do kwitnienia (*T4*) łubinu białego, czyli w okresie najszybszego wzrostu roślin.

Można uznać, że naświetlanie nasion wpływało na ogół w podobnym stopniu na przyrost suchej masy poszczególnych organów wegetatywnych roślin. Jednakże, niezależnie od odmiany, w największym stopniu modyfikowany był plon liści i łodyg w okresie poprzedzającym kwitnienie i w okresie kwitnienia (*T3–T6*) oraz plon korzeni w okresie dojrzewania (*T7*). W okresie tworzenia pąków na pędzie głównym łubinu (*T4*) przyrost plonu suchej masy korzeni, liści i łodyg po trzykrotnym naświetlaniu wynosił średnio dla obydwu odmian odpowiednio: 31,6, 28,3, 34,4%, a po pięciokrotnym odpowiednio: 29,7, 26,4, 31,2%. W odniesieniu do odmiany tradycyjnej Bardo przyrost plonu masy organów wegetatywnych był skutkiem przyrostu plonu na pędzie głównym; naświetlanie nasion wpływało w niewielkim stopniu na kształtowanie plonu masy organów wegetatywnych i generatywnych pędów bocznych. Rośliny odmiany Katon, w warunkach hali wegetacyjnej nie wytwarzały pędów bocznych.

Natomiast w okresie generatywnego rozwoju roślin, największy wpływ napromieniowania nasion na rozwój i plonowanie roślin z nich wyrosłych stwierdzono w odniesieniu do terminu zakwitania (fot. 3), terminu dojrzewania roślin (fot. 4) i przyrostu plonu nasion.

Największe przyrosty plonu suchej masy łodyg i liści obydwu badanych odmian łubinu białego wystąpiły pomiędzy zbiorami *T3* i *T4*, czyli w okresie, gdy rośliny były w fazie tworzenia pąków i kwitnienia pędu głównego. W późniejszym okresie rozwoju roślin stwierdzono znaczne zmniejszenie plonu suchej masy korzeni i niewielkie zmniejszenie plonu łodyg i liści, natomiast plon nasion i strączyń istotnie się zwiększał. Wystąpiły wyraźne różnice w plonie suchej masy pomiędzy tradycyjną (Bardo) i samokończącą (Katon) formą łubinu białego. Znaczną część biomasy liści, łodyg, strączyń i nasion łubinu odmiany Bardo wytworzyły pędy boczne. W odniesieniu do łodyg i liści stanowiło to około 50% całkowitej biomasy roślin. Nieco mniejszy udział pędów bocznych odnotowano w odniesieniu do plonu nasion i strączyń. Odmiana samokończąca – Katon w warunkach hali wegetacyjnej nie wytwarzała pędów bocznych, zatem plon biomasy roślin tej odmiany pochodził z pędu głównego.

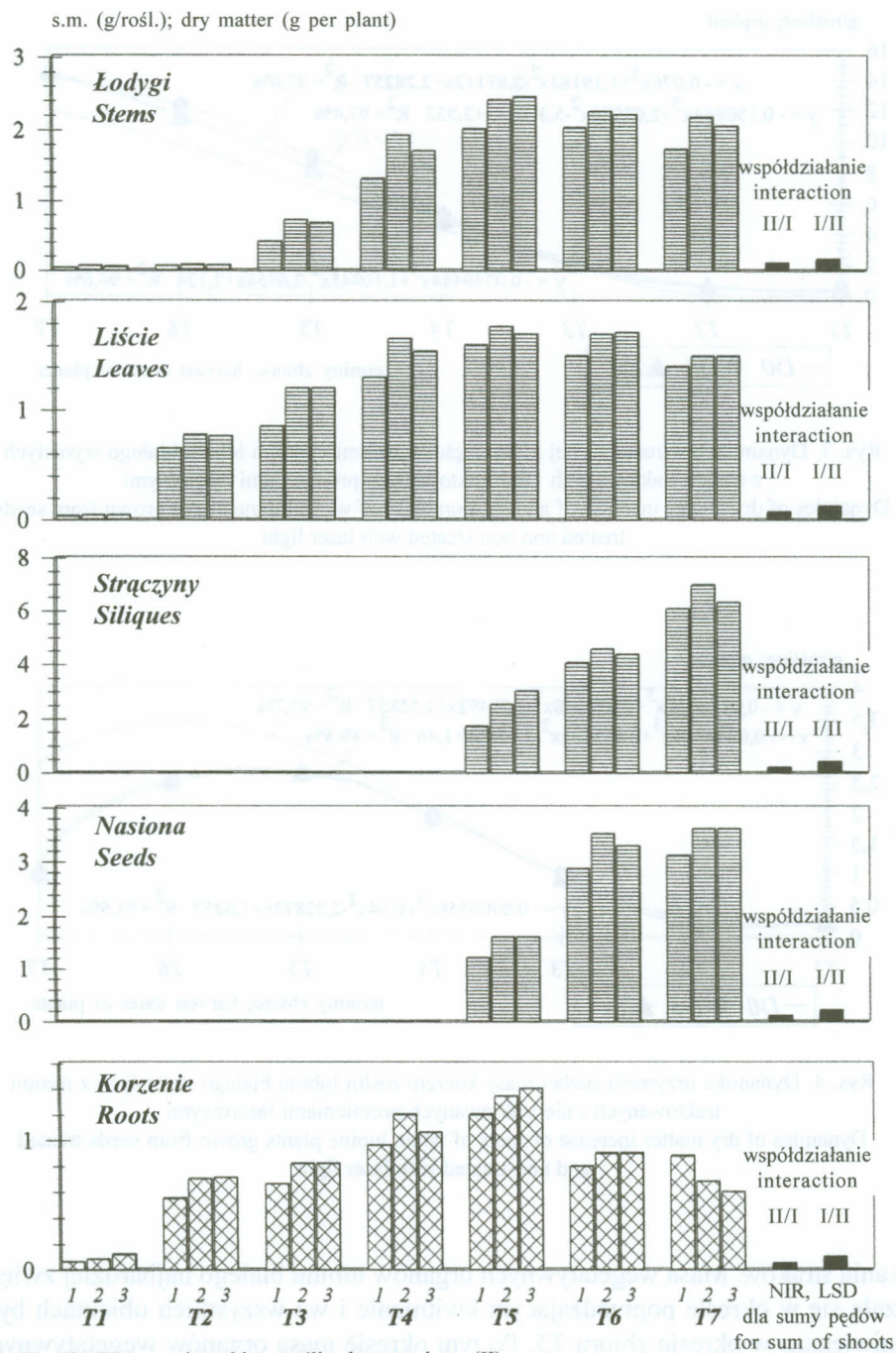
Dynamika przyrostu plonu części nadziemnej i korzeni roślin obydwu badanych odmian łubinu białego miała bardzo podobny przebieg, dlatego przedstawiono ją wspólnie dla odmian Bardo i Katon w postaci krzywych regresji, na rysunkach 3 i 4. Przyrost plonu suchej masy roślin obydwu odmian łubinu białego po kwitnieniu był znacznie mniejszy niż w okresie początkowego rozwoju. Plon suchej masy całej części nadziemnej rośliny zwiększał się w miarę jej wzrostu i rozwoju aż do zbioru *T6*, czyli do fazy wypełniania się nasion, a korzeni do fazy *T5*, czyli zawiązy-



T1, T2, T3...T7 – terminy zbioru roślin; harvest dates (II)

1 – D0, 2 – D3, 3 – D5: dawki naświetlania; doses of irradiation (I)

Rys. 1. Plon suchej masy roślin łubinu białego odmiany Bardo wyrosłych z nasion naświetlanych i nie naświetlanych promieniami laserowymi
Dry matter yield of white lupine var. Bardo grown from seeds treated and non-treated with laser light

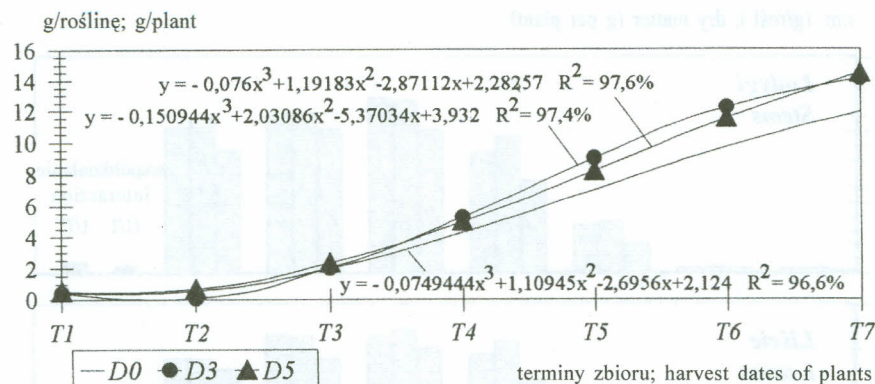


T1, T2, T3...T7 – terminy zbioru roślin; harvest dates (II)

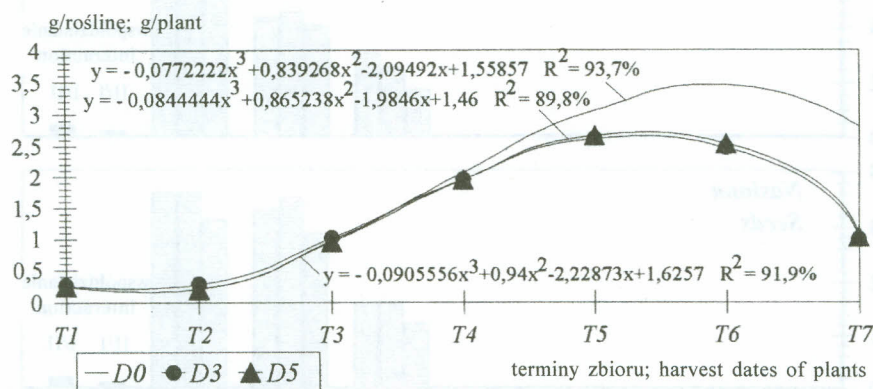
1 – D0, 2 – D3, 3 – D5: dawki naświetlania; doses of irradiation (I)

Rys. 2. Plon suchej masy organów roślinnych łubinu białego odmiany Katon wyrosłych z nasion naświetlanych i nie naświetlanych promieniami laserowymi

Dry matter yield of white lupine var. Katon grown from seeds treated and non-treated with laser light



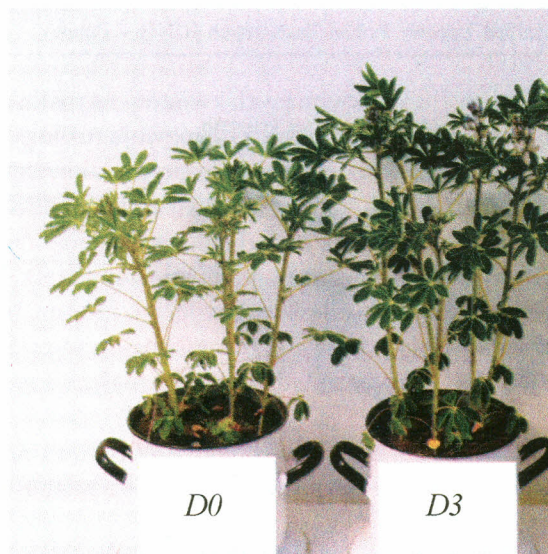
Rys. 3. Dynamika przyrostu suchej masy części nadziemnej roślin łąbinu białego wyrosłych z nasion traktowanych i nie traktowanych promieniami laserowymi
Dynamics of dry matter increase of aboveground part of white lupine plants grown from seeds treated and non-treated with laser light



Rys. 4. Dynamika przyrostu suchej masy korzeni roślin łąbinu białego wyrosłych z nasion traktowanych i nie traktowanych promieniami laserowymi
Dynamics of dry matter increase of roots of white lupine plants grown from seeds treated and non-treated with laser light

wania strąków. Masa vegetatywnych organów łąbinu białego najbardziej zwiększała się w okresie poprzedzającym kwitnienie i we wszystkich obiektach była największa w okresie zbioru T5. Po tym okresie masa organów vegetatywnych była już mniejsza, podczas gdy masa organów generatywnych bardzo szybko przyrastała.

Rośliny wyrosłe z nasion naświetlanych, niezależnie od odmiany, zakwitły o około 6–7 dni wcześniej niż rośliny wyrosłe z nasion nie naświetlanych. Przebieg

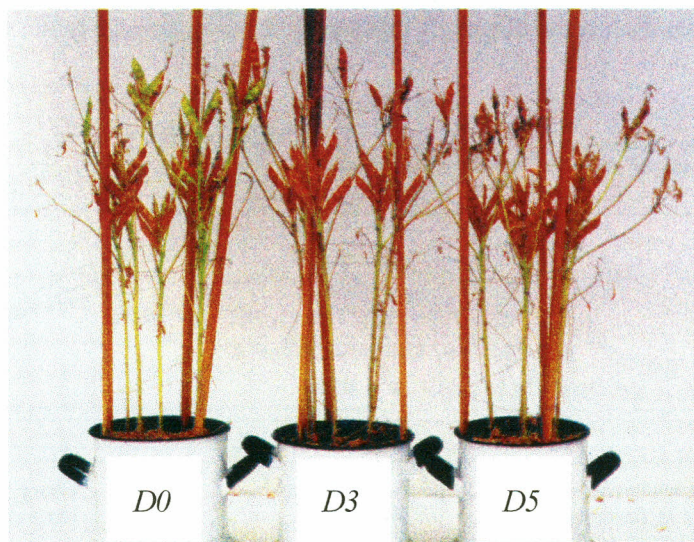


D0 – bez naświetlania; no irradiation

D3 – trzykrotne naświetlanie (początek kwitnienia); 3-fold irradiation (beginning of flowering)

Fot. 3. Porównanie rozwoju roślin łubinu białego wyrosłych z nasion traktowanych i nie traktowanych promieniami laserowymi

Comparison of development of white lupine plants grown from seeds treated and non-treated with laser light



D0 – bez naświetlania; no irradiation

D3 – trzykrotne naświetlanie; 3-fold irradiation

D5 – pięciokrotne naświetlanie; 5-fold irradiation

Fot. 4. Dojrzewanie roślin wyrosłych z nasion traktowanych i nie traktowanych promieniami laserowymi

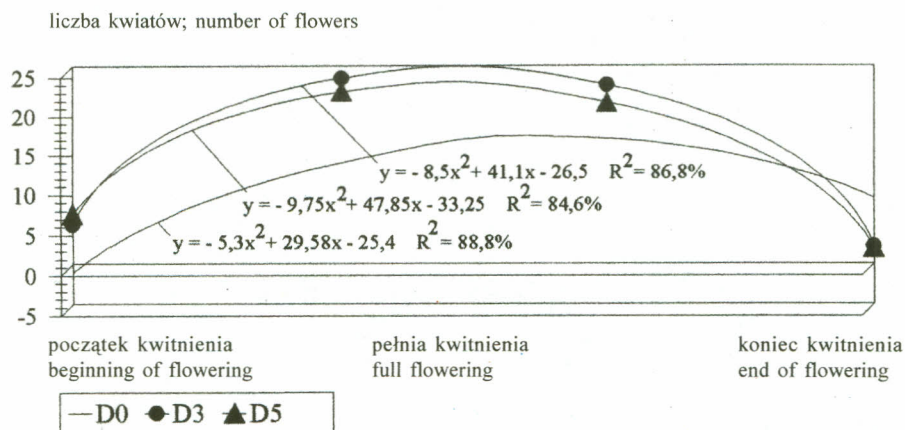
Maturation of white lupine plants grown from seeds treated and non-treated with laser light

zakwitania roślin mierzony liczbą kwitnących kwiatów na roślinie przedstawiono na rysunku 5. Przyspieszenie fazy generatywnego rozwoju roślin powodowało szybsze ich dojrzewanie. Rośliny wyrosłe z nasion napromieniowanych zawierały po okresie kwitnienia więcej suchej masy w porównaniu z roślinami z nasion nie naświetlanych (rys. 6). W okresie dojrzewania roślin stwierdzono większy ubytek masy korzeni u roślin wyrosłych z nasion napromieniowanych niż u roślin z obiektu kontrolnego; dotyczyło to zarówno odmiany Bardo, jak i Katon. Należy przypuszczać, że wynikało to z faktu szybszego dojrzewania roślin wyrosłych z naświetlanego materiału siewnego w porównaniu do roślin wyrosłych z nasion nie naświetlanych.

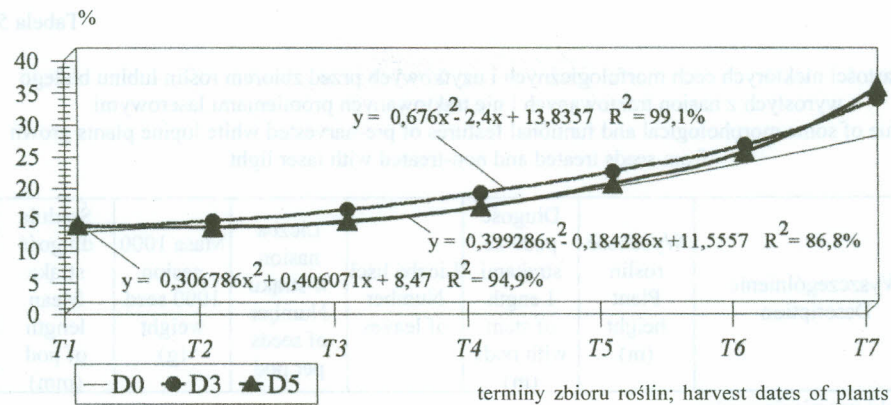
Naświetlanie materiału siewnego łubinu odmiany Bardo i Katon zwiększało plon suchej masy zebranych nasion: trzykrotnie odpowiednio o 21,4 i 16,0%, a pięciokrotnie – o 15,4 i 16,2%.

Szczegółowe pomiary biometryczne wykazały, że naświetlanie nasion modyfikowało cechy morfologiczne roślin. U roślin wyrosłych z nasion napromieniowanych stwierdzono większy przyrost powierzchni liściowej w okresie od wschodów do kwitnienia, a następnie szybsze jej zmniejszenie się w okresie dojrzewania, w porównaniu z roślinami z obiektu kontrolnego. Nie stwierdzono natomiast istotnej różnicy w powierzchni liściowej pomiędzy badanymi odmianami łubinu, dlatego wykres obrazujący przebieg opisywanych zmian przedstawiono wspólnie dla obydwu odmian (rys. 7).

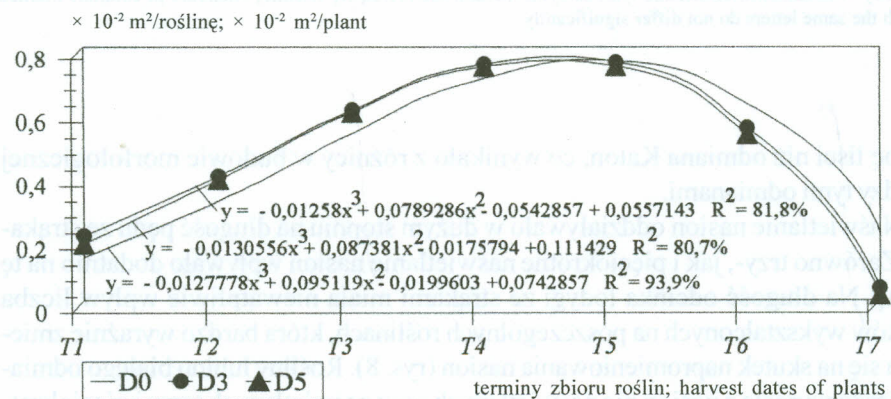
Stwierdzono nieznaczne różnice w wysokości roślin przed zbiorem wywołane naświetlaniem nasion, ale dotyczyły one w największym stopniu roślin wyrosłych



Rys. 5. Liczba kwitnących kwiatów na roślinie łubinu białego wyrosłej z nasion traktowanych i nie traktowanych promieniami laserowymi
 Number of flowers on the main stem of white lupine grown from seeds treated and non-treated with laser light



Rys. 6. Zawartość suchej masy w roślinach łubinu białego wyrosłych z nasion traktowanych i nie traktowanych promieniami laserowymi
Change of dry matter content in white lupine plants grown from seeds treated and non-treated with laser light



Rys. 7. Zmiana powierzchni liściowej roślin łubinu białego wyrosłych z nasion traktowanych i nie traktowanych promieniami laserowymi
Change of leaf area of white lupine plants grown from seeds treated and non-treated with laser light

z nasion naświetlanych pięciokrotnie i tylko dla tej dawki zostały udowodnione statystycznie (tab. 5). Nie stwierdzono istotnej różnicy w wysokości roślin między badanymi odmianami łubinu białego. Nieznacznie zmieniała się również liczba liści na roślinie. Stwierdzono jedynie tendencję do wzrostu liczby liści na roślinach wyrosłych z naświetlanego materiału siewnego. Odmiana Bardo wytwarzała większą

Tabela 5

Wartości niektórych cech morfologicznych i użytkowych przed zbiorem roślin łubinu białego
 wyrosłych z nasion traktowanych i nie traktowanych promieniami laserowymi
 Value of some morphological and funtional features of pre-harvested white lupine plants grown
 from seeds treated and non-treated with laser light

Wyszczególnienie Description	Wysokość roślin Plant height (m)	Długość pędu ze strąkami Length of stem with pods (m)	Liczba liści Number of leaves	Liczba nasion w strąku Number of seeds per pod	Masa 1000 nasion 1000 seed weight (g)	Średnia długość strąka Mean length of pod (mm)
Dawki promieniowania: Doses of irradiation:						
D0	0,457a*	0,056a	13,3a	4,4a	235a	4,7a
D3	0,463a	0,088b	14,9a	4,0a	238a	5,0a
D5	0,492b	0,069b	14,5a	4,2a	237a	5,2a
Odmiany: Varieties:						
Bardo	0,475a	0,075a	15,7a	4,0a	226a	4,8a
Katon	0,467a	0,067b	13,4b	4,1a	249b	5,3b

* Liczby w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie; Numbers in columns marked with the same letters do not differ significantly

liczbę liści niż odmiana Katon, co wynikało z różnicy w budowie morfologicznej między tymi odmianami.

Naświetlanie nasion oddziaływało w dużym stopniu na długość pędu ze strąkami. Zarówno trzy-, jak i pięciokrotne naświetlanie nasion wpływało dodatnio na tę cechę. Na długość odcinka łodygi ze strąkami miała niewątpliwie wpływ liczba strąków wykształconych na poszczególnych roślinach, która bardzo wyraźnie zmieniała się na skutek napromieniowania nasion (rys. 8). Rośliny łubinu białego odmiany Bardo wyrósł z nasion nie naświetlanych oraz naświetlanych trzy- i pięciokrotnie wytworzyły średnio odpowiednio: 8,7; 10,2 i 9,6 strąka, a odmiany Katon odpowiednio: 6,8; 7,7 i 7,8 strąka. Rośliny łubinu odmiany Bardo charakteryzowała większa obsada strąków w fazie dojrzałości pełnej niż rośliny odmiany Katon. Strąki u odmiany Bardo umiejscowione były w większości na pędzie głównym, ale znaczna część strąków zawiązywana była także na pędach bocznych, natomiast rośliny łubinu odmiany Katon zawiązywały strąki tylko na pędzie głównym. Ponadto w warunkach doświadczeń wazonowych bardzo duża część zawiązanych strąków, głównie u odmiany Katon, opadała w późniejszym okresie rozwoju roślin. Wynikało to stąd, że samokończące odmiany łubinu są bardziej wrażliwe na ograniczenia wynikające z warunków prowadzenia doświadczeń wazonowych. Strąki odmiany Katon były dłuższe niż odmiany Bardo, co wiązało się najprawdopodob-

ryzuje się on długim okresem wegetacji; zbiór nasion wykonuje się często w późnych miesiącach letnich, gdy warunki pogodowe nie sprzyjają dojrzewaniu i wysychaniu roślin. Duży procent uzyskanych wówczas nasion stanowi słaby jakościowo materiał siewny, bowiem mają małą zdolność kiełkowania i wschodzą nierównomiernie. Wyrosłe z nich siewki mają słaby wigor i są bardziej porażane przez choroby grzybowe niż siewki z nasion dobrze kiełkujących. Dotychczas wykonano niewiele badań dotyczących możliwości zwiększenia zdolności kiełkowania nasion roślin strączkowych poprzez traktowanie ich światłem laserowym i innymi czynnikami fizycznymi. Weześniejsze i równomierniejsze wschody roślin wyrosłych z nasion traktowanych promieniami laserowymi obserwował autor także w eksperymentach polowych z bobikiem i łubinem (47, 54), a zwłaszcza w doświadczeniach z łubinem białym prowadzonych w warunkach kontrolowanej temperatury i wilgotności gleby (53). Do nielicznych prac związanych z oddziaływaniem światła laserowego na kiełkowanie nasion roślin strączkowych należy doniesienie S z y r m e r a i K l i m o n t a (66), w którym stwierdzono znaczne zmniejszenie liczby martwych i nienormalnie kiełkujących nasion fasoli na skutek napromieniania materiału siewnego światłem lasera helowo-neonowego. Więcej badań nad wpływem przedsiewnego napromieniania nasion światłem laserowym na zwiększenie zdolności kiełkowania nasion i przyspieszanie wschodów roślin wykonano z roślinami zbożowymi i warzywnymi (11, 14, 22, 71, 74).

Zdaniem wielu badaczy, efekty wynikające z naświetlania nasion światłem laserowym są szczególnie widoczne w kiełkujących nasionach i siewkach (9, 11, 66-68, 71), co sugeruje, że przyczyn oddziaływania promieniowania należy poszukiwać prowadząc badania biochemiczne i fizjologiczne nasion i młodych roślin. Słuszności takiego rozumowania dowodzą badania D u r k o v e j (7) i G a l o v e j (19) wykazujące dodatni wpływ światła laserowego na aktywność α -amylazy w ziarniakach kilku odmian pszenicy ozimej w początkowej fazie kiełkowania. Również badania autora (47), w których wykazano istotny wpływ napromieniania nasion na aktywność enzymów amylolitycznych i koncentrację wolnych rodników w nasionach i siewkach bobiku potwierdzają te przypuszczenia. W nielicznych dotychczas badaniach stwierdzono inne zmiany w nasionach powodowane napromienianiem światłem laserowym. Na przykład C h u v a e v a i in. (6) oraz S e b a n e k i in. (59) stwierdzili zwiększenie aktywności niektórych fitohormonów, głównie kwasu indolilo-3-octowego (IAA), w napromienianych nasionach grochu siewnego i kukurydzy. Określenie zmian zawartości fitohormonów w kiełkujących nasionach i młodych roślinach łubinu białego i bobiku w następstwie przedsiewnego naświetlania materiału siewnego, są przedmiotem badań aktualnie prowadzonych przez autora. Niektórzy badacze zwracają uwagę na zmiany koncentracji wolnych rodników w nasionach zbóż i warzyw naświetlonych promieniami laserowymi (12, 13, 34). G r z e s i u k i K u l k a (24, 25) wskazują na wszechstronny wpływ światła na nasiona, ale podkreślają najsilniejsze oddziaływanie na ich aktywność enzymatyczną.

Z dotychczas przeprowadzonych badań wynika, że napromieniowanie materiału siewnego wywołuje istotne zmiany również w późniejszych fazach ontogenezy, efektem czego są zmiany w tempie rozwoju i w kształtowaniu się cech plonotwórczych roślin. Badania autora wykazują istotny wpływ napromieniowania nasion na przebieg ontogenezy roślin łubinu białego zarówno w okresie ich wegetatywnego wzrostu, jak i generatywnego rozwoju. Autor obserwował szybsze tempo rozwoju roślin wyrosłych z nasion naświetlanych w porównaniu do roślin w obiektach kontrolnych, co powodowało wcześniejsze ich zakwitanie i dojrzewanie. Potwierdziły to również badania przebiegu zmian zawartości suchej masy w roślinach wyrosłych z nasion naświetlanych i nie naświetlanych promieniami laserowymi; największa różnica w zawartości suchej masy roślin występowała w okresie ich dojrzewania. Według Grzesiuka i Kulki (24), wpływ czynników fizycznych na nasiona uwidacznia się często w późniejszych okresach ontogenezy, efektem czego jest szybsze starzenie się roślin mające szczególne znaczenie w uprawie gatunków o długim okresie wegetacji. Uzyskane rezultaty są szczególnie cenne w odniesieniu do łubinu białego – rośliny o długim okresie wegetacji (21, 30). Z przeprowadzonych badań wynika, że promienie lasera helowo-neonowego, emitującego wiązkę światła o barwie czerwonej i o dużej gęstości powierzchniowej mocy (36, 55, 56), oddziałują podobnie na rozwój i plonowanie roślin, jak niektóre inne czynniki fizyczne (25, 40, 45, 62). Zjawisko skrócenia okresu wegetacji powodowane napromieniowaniem materiału siewnego łubinu obserwowane było bardzo wyraźnie w doświadczeniach prowadzonych w warunkach ściśle kontrolowanych, w komorach klimatycznych (51, 53). W warunkach doświadczeń polowych, w których występuje większe niż w warunkach hali wegetacyjnej oddziaływanie czynników siedliska na rośliny, trudniej jest dostrzec ten efekt. Wcześniejsze dojrzewanie roślin rosnących w warunkach pola doświadczalnego stwierdził autor jedynie na podstawie zawartości wody w nasionach po zbiorze (47, 54), chociaż niektórzy badacze, także w doświadczeniach polowych (8, 20, 61) obserwowali wcześniejsze zakwitanie roślin wyrosłych z nasion napromieniowanych.

W literaturze przedmiotu większość przeprowadzonych dotychczas badań dotyczy, oprócz wpływu napromieniowania nasion na kiełkowanie i wschody roślin z nich wyrosłych, efektu końcowego mierzonego wielkością i jakością uzyskanego plonu (2, 16, 29, 33, 63, 64). W niniejszej pracy przedstawiono oddziaływanie napromieniowania nasion na przebieg tworzenia plonu w ciągu całego okresu wegetacji. Wykazano, że napromieniowanie materiału siewnego wpływa najbardziej na tempo gromadzenia plonu suchej masy w okresie od wschodów do kwitnienia. Po tym okresie różnice w plonie suchej masy organów wegetatywnych między roślinami wyrosłymi z nasion napromieniowanych i nie napromieniowanych są znacznie mniejsze. Na uwagę zasługuje fakt, że efekty wynikające z napromieniowania nasion ujawniają się nie we wszystkich fazach rozwoju ontogenetycznego roślin. Można przypuszczać, że jest to przyczyną rozbieżności wyników uzyskiwanych przez różnych badaczy zajmujących się tym zagadnieniem. Spostrzeżenia te po-

twierdząc obserwacje G r z e s i u k a i K u l k i (25), zdaniem których efekty wynikające z działania niektórych czynników fizycznych na nasiona mogą być widoczne w różnych okresach ontogenezy roślin.

Z badań autora wynika, że różnicowanie między plonem nasion uzyskanym z roślin wyrosłych z nasion napromieniowanych i nie napromieniowanych występowało już w okresie wykształcania nasion, bowiem już wówczas rośliny wyrosłe z nasion napromieniowanych charakteryzowała większa obsada strąków niż rośliny z obiektu kontrolnego. Różnica ta utrzymywała się aż do dojrzałości pełnej łubinu.

Analiza struktury plonu wykazała, że zwyżka plonu nasion łubinu białego była efektem zwiększonej obsady strąków na roślinie, która u roślin strączkowych jest cechą zmieniającą się najczęściej na skutek działania innych czynników plonotwórczych; liczba nasion w strąku jest cechą najmniej zmienną. Napromieniowanie materiału siewnego łubinu nie miało istotnego wpływu na liczbę nasion w strąku i masę 1000 nasion. Zatem w przypadku łubinu białego przyrost plonu powodowany był zmianą innych cech plonotwórczych niż u zbóż, bowiem według D z i a m b y i K o p e r a (15) oraz innych autorów (27, 57) zwyżka plonu na skutek napromieniowania nasion pszenicy ozimej następowała w wyniku zwiększenia masy 1000 ziaren i liczby ziaren w kłosie.

W prezentowanych badaniach, oprócz wykazania wpływu napromieniowania nasion na rozwój i plonowanie łubinu białego, starano się wyjaśnić przyczyny uzyskanych efektów. Określono między innymi powierzchnię liściową roślin łubinu białego wyrosłych z nasion traktowanych i nie traktowanych promieniami laserowymi i wykazano dodatni wpływ naświetlania na kształtowanie tego ważnego czynnika plonotwórczego. Przy czym różnice wielkości powierzchni liściowej między roślinami wyrosłymi z nasion nie naświetlanych i naświetlanych obydwu badanych odmian nie były jednakowe w poszczególnych fazach rozwoju. U roślin wyrosłych z nasion naświetlanych stwierdzono w okresie od wschodów do kwitnienia i zawiązywania strąków zdecydowanie większą powierzchnię liściową, a w okresie dojrzewania wyraźnie mniejszą w porównaniu z roślinami z obiektu kontrolnego. Większa powierzchnia liściowa w okresie wzrostu wegetatywnego u roślin z nasion napromieniowanych wynikała prawdopodobnie z szybszego wzrostu tych roślin w porównaniu do kontrolnych, natomiast zmniejszenie powierzchni liściowej było konsekwencją wcześniejszego ich dojrzewania. Wzrost powierzchni liściowej może nastąpić na skutek przyrostu powierzchni liścia bądź zwiększenia liczby liści na roślinie. W obydwu przypadkach prowadzi to do zwiększenia powierzchni asymilacyjnej i produktywności fotosyntezy. W badaniach autora nie stwierdzono istotnej różnicy w liczbie liści roślin wyrosłych z nasion napromieniowanych i nie napromieniowanych. Zatem przyrost całkowitej powierzchni liściowej rośliny następował na skutek przyrostu powierzchni poszczególnych liści. Prac dotyczących wpływu światła laserowego na kształtowanie fizjologicznych wskaźników produktywności roślin spotyka się w literaturze niewiele, stąd trudność w porównaniu

uzyskanych rezultatów z wynikami innych autorów. Jedynie I n y u s h i n (27) donosi, że rośliny jęczmienia i ogórka wyrosłe z nasion naświetlanych wytworzyły powierzchnię liściową większą niż rośliny z nasion nie naświetlanych; wzrost tej powierzchni nastąpił na skutek zwiększenia liczby i wielkości liści.

Plon suchej masy poszczególnych organów obydwu odmian łubinu białego bardzo szybko zwiększał się do fazy zawiązywania strąków, po czym ulegał znacznemu zmniejszeniu. Najwyraźniej zauważalne to było w odniesieniu do korzeni. Zdaniem W o j c i e s k i e j i n. (72), obniżka masy liści i łodyg może wynikać między innymi ze strat suchej masy w procesie oddychania. Większy przyrost masy nasion niż całej biomasy w okresie wykształcania strąków sugeruje, że przyczyną ubytku masy organów wegetatywnych był również proces przemieszczania się substancji organicznej z liści i łodyg do rozwijających się strąków. W przypadku korzeni zmniejszenie się ich masy mogło być spowodowane między innymi procesami lizy (rozpadu komórek powodowanego zniszczeniem błony komórkowej przez enzymy oraz działania detergentów i szoku osmotycznego) i odpadaniem od korzeni starzejących się brodawek, a także rozkładem starych korzeni.

Wielu autorów (1, 5, 22, 29, 32, 64) stwierdziło, że wielkość uzyskiwanego efektu napromieniowania nasion zależała od dawki światła laserowego. Wyniki wcześniejszych (54) oraz prezentowanych w niniejszej pracy badań autora wykazują, że obydwie uwzględnione dawki promieniowania miały korzystny wpływ na rozwój i plonowanie roślin, z tym że trzykrotne naświetlanie nasion wpływało korzystniej na plon masy części nadziemnej roślin, a pięciokrotne na plon korzeni łubinu. Badania R y b i Ń s k i e g o (57) dowodzą potrzeby określenia zakresu dawek promieniowania o działaniu pozytywnym i wskazują, że przekroczenie granicznych dawek promieniowania laserowego może prowadzić do obniżki plonu i pogorszenia cech jego struktury.

WNIOSKI

1. Napromieniowanie nasion wpływało dodatnio na wschody roślin oraz modyfikowało przebieg poszczególnych faz rozwojowych łubinu białego. Efektem tych zmian było przyspieszenie wschodów oraz wcześniejsze zakwitanie i dojrzewanie roślin.
2. Masa organów wegetatywnych łubinu białego szybko zwiększała się do okresu kwitnienia roślin; największe przyrosty masy części nadziemnej występowały w okresie kwitnienia i zawiązywania strąków. Później masa organów wegetatywnych zmniejszała się, natomiast bardzo szybko przyrastała masa organów generatywnych.
3. Napromieniowanie nasion miało istotny wpływ na plon suchej masy i tempo jej nagromadzania w poszczególnych organach łubinu białego. Trzykrotne naświetlanie najkorzystniej wpływało na dynamikę przyrostu masy poszczególnych organów części nadziemnej, a pięciokrotne – na przyrost masy korzeni.

4. Napromieniowanie materiału siewnego łubinu białego wpływało dodatnio na plon nasion. Zwyżka plonu była efektem zwiększonej obsady strąków na roślinie; masa 1000 nasion i liczba nasion w strąku nie ulegały istotnym zmianom.

5. Największy przyrost powierzchni liściowej pojedynczej rośliny występował w okresie intensywnego wzrostu – od fazy 2–3 liści do zakwitania. Po tym okresie, ze względu na wcześniejsze dojrzewanie roślin wyrosłych z nasion naświetlanych ich powierzchnia liściowa zmniejszała się szybciej niż u roślin wyrosłych z nasion nie naświetlanych.

LITERATURA

1. Angelov K.: Effect of presowing seed irradiated with helium-neon laser on some morphological characters of maize. *Rastienieviedni Nauki*, 1987, **24(4)**: 25-30.
2. Andruszkin M.I., Dudnik W.H.: Predposevnoje obłucenie semian lna-dolunca svetom geliij-neonovò lazera. *Vestnik Sielskochozajstviennoi Nauki*, 1977, **2**: 123-128.
3. Anisimov A., Vorobev V., Zuikov A.: The influence of laser radiation on the velocity of rotational motion of protoplasm in *Elodea* cells. *Laser Physics*, 1997, **7(5)**: 1132-1137.
4. Bidzila N.I., Szalepa S.W., Okanienko A.S.: Svobodnoradikalnyje sostojania i opytieskije charakteristiki klubockow sacharnoj sviekly. *Problemy Fotoenergetiki Rastanii*. Alma-Ata, 1974, **2**: 85-86.
5. Cepero L., Martin G., Mesa A. R., Castro P.: Effect of irradiation of seeds of *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham with a He-Ne laser. *Pastos y Forrajes*, 1997, **20(2)**: 125-131.
6. Chuvaeva A.D., Fedulov Yu. P., Gerashenko E.K.: The effect of presowing laser irradiation of maize seed on plant morphological features. *Sielskohozyaistvennaya Biologia*, 1981, **16(2)**: 237-240.
7. Durkova E.: The activity of wheat grains and the effect of laser radiation. *Acta Phytotechnica*, 1993, **49**: 59-66.
8. Cvetkovic V.T., Milovanovic S. M., Ogujanovic S.R., Dokic D., Lomocic S.: Uticaj tretivanja semena ozime pszenice laserom na duzinu vegetacionog perioda i zetveni indeks. *Selekcja i Semenarstvo*, 1996, **3(3-4)**: 105-109.
9. Dobrowolski J. W., Smyk B., Rozycki E., Barabasz W., Wachalewski T.: Experiments about the influence of laser light on some biological elements of the natural environment. *Acta Universitatis Upsaliensis*, Stockholm, 1992, 1-15.
10. Drozd D.: The effect of laser radiation on spring wheat properties. *Inter. Agrophysics*, 1994, **8**: 209-219.
11. Drozd D., Szajsner H.: Laboratoryjna ocena wczesnych faz rozwojowych pszenicy jarej poddanej działaniu promieniowania laserowego. *Biul. IHAR*, 1997, **204**: 187-190.
12. Drozd D., Szajsner H., Jezierski A.: Zastosowanie elektronowego rezonansu paramagnetycznego EPR do oceny wpływu promieniowania laserowego na ziarniaki pszenicy jarej. *Biul. IHAR*, 1997, **204**: 181-186.
13. Drozd D., Szajsner H., Jezierski A.: Electron paramagnetic resonance (EPR) investigations of laser induced free radicals in spring wheat grains. *Inter. Agrophysics*, 1998, **13**: 343-346.
14. Drozd D., Szajsner R., Koper R.: Wpływ przedsiewnego naświetlania laserem nasion pszenicy jarej na zdolność kiełkowania i długość koleoptyla. *Fragm. Agron.*, 1996, **1**: 44-51.
15. Dziamba Sz., Koper R.: Wpływ naświetlania laserem nasion na plon pszenicy jarej. *Fragm. Agron.*, 1992, **1(33)**: 88-93.

16. El-Shafie S. A., Mazrou M. M., El-Sayed S. A., El-Kholy S. A., Aly H. F. M.: The influence of pre-sowing laser irradiation on the growth, productivity and some chemical constituents of *Ammi visnaga* L. plants. *Menofiya J. Agric. Res.*, 1993, **18(4)**: 2591-2604.
17. Friedmann H., Lubart R., Laulich I., Ročkind A.: A possible explanation of laser-induced stimulation and damage of cell cultures. *J. Photochem. Photobiol. In: Biol.*, 1991, **11**: 87-95.
18. Evans G. C.: The quantitative analysis of plant growth. Univ. California Press, 1972, 734.
19. Galova Z.: The effect of laser beams on the process of germinating power of winter wheat grains. *Roczniki AR Poznań*, 1996, CCCLXXXVI, ser. Rol., **49**: 39-43.
20. Gieroba J., Koper R., Matyka S.: The influence of pre-sowing laser biostimulation of maize seeds on the crop and nutritive value of the corn. 45th Australian Cereal Chemistry Conference, Adelaide, 1995, 30-33.
21. Gladstones J. S., Atkins C., Hamblin J.: Lupins as crop plant. Biology, production, utilization. CAB INTERNATIONAL, 1998.
22. Gładyszewska B.: Ocena wpływu przedsięwzięcia laserowej biostymulacji nasion pomidorów na proces ich kiełkowania. Rozprawa doktorska, AR Lublin, 1999.
23. Górecki R. J., Grzesiuk S.: Światowe tendencje i kierunki uszlachetniania materiałów nasiennych. *Konf. Nauk. „Uszlachetnianie materiałów nasiennych”*. Olsztyn-Kortowo, 9-10.06.1994, 9-24.
24. Grzesiuk S., Kulka K.: Fizjologia i biochemia nasion. PWRiL Warszawa, 1986.
25. Grzesiuk S., Kulka K.: Biologia ziarniaków zbóż. PWN, Warszawa 1988.
26. Grzesiuk S., Rejowski A.: Wpływ pola ultradźwiękowego na kiełkowanie oraz wzrost i rozwój kukurydzy (*Zea Mays* L.). *Post. Nauk Rol.*, 1957, **3(45)**: 4-13.
27. Inyushin W. M.: Technika laserowa w służbie rolnictwa. *Nowe Rol.*, 1977, **21/22**: 21-26.
28. Inyushin W. M., Iljasov G. U., Fedorova N. N.: Laser light and crop. Kainar Publ. Alma-Ata, 1981.
29. Ivanova R.: Influence of pre-sowing laser irradiation of seeds of introduced flax varieties of linseed oil on yield quality. *Bull. J. Agric. Sci.*, 1998, **4**: 49-53.
30. Jasińska Z., Kotecki A.: Rośliny strączkowe. PWN Warszawa, 1993.
31. Karlander E. P., Krauss R. W.: The laser as a light source for the photosynthesis and growth of *Chlorella vaneli*. *Biochem. Biophys.*, 1968, **153(1)**: 312.
32. Kartalov P., Szabon I.: Prilozenie na lazernata energija pri krastavici sort Sandra. *Rastenieviedni Nauki*, 1988, **7**: 62-66.
33. Khlopyuk P. M.: Influence of pre-sowing treatment of pea seeds with laser radiation on seed yield and quality. *Kormoproizvodstvo*, 2000, **2**: 15-16.
34. Khouny A., Dannani S. D., Ouaid A. F., Chetverikov A. G., Stanko S. A.: Influence of light intensity and wavelength on the yield of free radicals in tomato and carrot seeds. *Physiol. Plant.*, 1982, **54(4)**: 485-490.
35. Kolosov V. I., Kapelev O. I., Grodziński A. M.: Laser stimulation of spring barley in the Kiev region. *Allelopatiya i productivnost rastenii*, 1990, 129-132.
36. Klejman H.: Lasery. PWN Warszawa, 1979.
37. Koper R.: Pre-sowing laser biostimulation of seeds of cultivated plants and its results in agrotechnics. *Inter. Agrophysics*, 1994, **8**: 593-596.
38. Koper R.: Urządzenie do przedsięwzięcia obróbki nasion promieniowaniem laserowym. Patent RP Nr 162598.
39. Koper R., Wójcik S., Kornas-Czuczwar B., Bojarska U.: Effect of the laser exposure of seeds on the yield and chemical composition of sugar beet roots. *Inter. Agrophysics*, 1996, **10**: 103-108.

40. Kurobaru I., Yamaguchi H., Sander C., Nilan R. A.: The effects of gamma irradiation on the production and secretion of enzymes, and on enzyme activities on barley seeds. *Environment. Experiment. Bot.*, 1979, **19(2)**: 75-84.
41. Olchowiak G., Dziamba Sz.: Wpływ promieniowania mikrofalowego na elementy struktury plonu gryki. *Mat. Konf. Nauk. „Uszlachetnianie materiałów nasiennych”*. Olsztyn-Kortowo, 1994, 283-287.
42. Pirke P. S., Kudbe A. B., Umbarkar S. P.: The influence of magnetic field on plant growth. *Seed Sci. Technol.*, 1996, **24**: 375-392.
43. Pietruszewski S.: Effect of magnetic seed treatment on yield of wheat. *Seed Sci. Technol.*, 1993, **21**: 621-626.
44. Pietruszewski S.: Magnetyczna biostymulacja materiału siewnego pszenicy jarej. Rozprawa hab. 220, AR Lublin, 1999.
45. Pittman U. J., Carefoot J. M., Ormrod D. P.: Effect of magnetic seed treatment on amylolytic activity of Quiescent and germinating barley and wheat seeds. *Can. J. Plant Sci.*, 1979, **59(4)**: 1007-1011.
46. Podleśny J.: Wpływ przedsiewnego traktowania nasion światłem laserowym na kształtowanie się cech morfologicznych i plonowanie łubinu białego. *Polskie Towarzystwo Łubinowe*, Olsztyn-Kortowo, 1997, 87-92.
47. Podleśny J.: Wpływ przedsiewnego traktowania nasion promieniami laserowymi na rozwój i plonowanie bobiku (*Vicia faba minor*). *Pam. Puł.*, 1998, **113**: 73-84.
48. Podleśny J.: Wpływ światła laserowego na niektóre procesy biochemiczne i fizjologiczne w nasionach i roślinach łubinu białego (*Lupinus albus* L.). *Pam. Puł.*, 2000, **121**: 171-191.
49. Podleśny J., Podleśna A., Koper R.: Chilling tolerance of white lupine in early developmental phases – the effect of seed pre-sowing irradiation by laser. COST 814 – Crop development for the cool and wet regions of Europe. European Commission, 1997, 236-240.
50. Podleśny J., Podleśna A.: The effect of pre-sowing treatment of seeds by laser light on morphological features formation and faba bean yielding. *Inter. Conf. on Agricultural Engineering*, Oslo, 1998, **II**: 967-969.
51. Podleśny J.: The effect of seeds laser biostimulation on white lupine growth in differentiated moisture conditions. *Acta Physiol. Plant.*, 1998, **20**: 64.
52. Podleśny J.: The effect pre-sowing treatment of laser light on morphological features formation and white lupine yielding. *Inter. Lupin Conf. Klink/Müritz, Germany*, 1999, 388-390.
53. Podleśny J.: Wpływ przedsiewnej biostymulacji laserowej nasion na wzrost i rozwój łubinu białego w zróżnicowanych warunkach wilgotności i temperatury. *Pam. Puł.*, 1999, **117**: 61-81.
54. Podleśny J.: Oddziaływanie światła laserowego na rozwój i plonowanie łubinu białego (*Lupinus albus* L.). *Pam. Puł.*, 2000, **121**: 127-146.
55. Popp E.F.: *Elektromagnetik Bio-information. Coherent Photon Storage of Biological Systems*. Urban and Schwarzenberg, 1979, München-Vien-Baltimore.
56. Popp A. F.: *Biologie des Lichts*. Verlag Paul Parey Berlin und Hamburg, 1984.
57. Rybiński W., Patyna H., Przewoźny T.: Mutagenic effect of laser and chemical mutagens in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Gen. Pol.*, 1993, **34(4)**: 337-343.
58. Sawicki B.: Plonowanie niektórych traw pod wpływem naświetlania materiału siewnego laserem helowo-neonowym. *Ann. UMCS*, 1995, Sect. E, **L(9)**: 59-63.
59. Sebanek J., Kralik J., Hudeova M., Kliciva S., Slaby K., Psota V., Vitkova H., Polisenska M., Kudova D., Sterba S., Vancura J.: Growth and hormonal effects of laser on germination and rhizogenesis in plants. *Acta Sc. Nat. Brno. Praga* 1989, **23(9)**: 1-49.
60. Sheppard S. C., Chubey B. B.: Radiation hormesis of field-seeded broccoli, parsnip and cauliflower. *Can. J. Plant Sci.*, 1990, **70(1)**: 369-373.
61. Shtanko Yu. N.: Effect of laser light on the growth, development and productivity of peas. *Selektsiya i Semenovotsvo Ovoshch Kultur*, 1979, 113-121.

62. Smith M. T.: Ultrastructural changes during imbibition in seeds of lettuce (*Lactuca sativa* L.) after gamma irradiation. Seed Sci. Technol., 1991, **19**(2): 385-395.
63. Stand J.: Osetreni osiva lnu laserovym ozarovanim. Rostlinna Vyroba, 1991, **37**: 223-229.
64. Svetleva A., Aladjajian A.: The effect of helium-neon laser during irradiation of dry bean seeds. Bulgarian J. Agric. Sci., 1996, **2**(5): 587-593.
65. Szwoniek E., Felczyńska A.: Tomato plant response to laser beam seed treatment. Acta Hort., 2nd Inter. Symp. on Protected Cultivation of Vegetables in Mild Winter Climates, Crete Greece, Oct. 29-Nov., 1989, **3**: 451-454.
66. Szyrmer J., Klimont K.: Wpływ światła lasera na jakość nasion fasoli (*Phaseolus vulgaris* L.). Biul. IHAR, 1999, **210**: 165-168.
67. Thompson K.: A comparative study of germination responses to high irradiance light. Ann. Bot., 1989, **63**: 159-162.
68. Toth M., Kerpert I., Kozma L., Klujber L.: Influence of different wave-length laser lights on the carbohydrate metabolism in germinating maize seeds. Acta Bot. Hungarica, 1993, **38**(1-4): 421-430.
69. Vasilevski G., Bosev D., Jevtic S., Lazic B.: Laser light as a biostimulator into the potato production. Acta Hort., 1997, **462**: 325-328.
70. Vasilienko V. F., Kuznecov E. D.: Fizjologičieskie i ekologicieskie aspekty izpolzowania chimičieskoj i svietlovoj regulacii rosta rastenii. Viestnik Sielskochozjajstviennej Nauki, 1990, **7**: 63-68.
71. Wilde W. H. A., Parr W. H., McPeak D. W.: Seeds bask in laser light. Laser Focus, 1969, **5**(23): 41-42.
72. Wojcieszka U., Giza A., Wolska E., Łyszcz S.: Dynamika wzrostu i pobierania składników pokarmowych przez groch siewny odmian Ramir i Koral. I. Dynamika przyrostu masy i plon roślin. Pam. Puł., 1993, **102**: 119-133.
73. Wójcik S., Bojarska U.: Wpływ przedśiewnej obróbki nasion promieniami lasera na plon i jakość korzeni kilku odmian buraka cukrowego. Ann. UMCS, 1998, Sectio E, **10**: 87-96.
74. Zhidong F., Shuzhen X.: Effects of He-Ne laser upon the germinating ability of wheat seeds. Acta Universitatis Agriculturae Boreali Occidentalis, 1990, **18**(2): 95-98.

J. Podleśny

THE EFFECT OF TREATING SEEDS WITH LASER LIGHT ON DEVELOPMENT
AND DYNAMICS OF DRY MATTER ACCUMULATION BY WHITE LUPINE
(*Lupinus albus* L.)

Summary

The studies based on two-factorial design with various white lupine varieties (traditional form – Bardo and determinate – Katon) regarded as factor I, and different doses of irradiation with hel-neon laser light (D_0 – no irradiation, D_3 – 3-fold irradiation, D_5 – 5-fold irradiation) – as factor II were run in the greenhouse of the Institute of Soil Science and Plant Cultivation in Pulawy. Irradiation took place at Physics Department of Agricultural University in Lublin where special device equipped with hel-neon laser was used to biostimulate seeds before sowing. Single exposition was equal to $4 \cdot 10^{-3} \text{ J cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Seeds were then sown into Mitscherlich pots containing 7 kg of medium-heavy soil. During the experiment plants were fertilised ($0,3 \text{ g NH}_4\text{NO}_3$ and $4,4 \text{ g KH}_2\text{PO}_4$) and watered (distilled water to 60% of field water capacity of the soil) by an automatic system fitted with fertiliser feeder that allowed to apply precise amounts of water and fertilisers. Detailed observation of plant growth and development were carried out through a whole vegetation period. In order to analyse dynamics of fresh and dry matter increase plants were harvested at 7 previously fixed dates: T_1 , T_2 ,

T3, T4, T5, T6, and T7. Each harvest was followed by biometric measurements as well as estimation of both fresh and dry matter of particular plant organs. It was found that treating seeds with laser light significantly affected the quantity and rate of dry matter accumulation of particular white lupine organs. Irradiation repeated three times was proved to have the best influence on the dynamics of aboveground part increase, while 5-fold irradiation – of white lupine roots. Weight of white lupine vegetative organs tended to grow rapidly up to flowering; the greatest increase of aboveground part weight was observed at flowering and pod setting stages. After that period it declined, while weight of generative organs started to increase very fast. Seed irradiation positively affected white lupine emergence and modified the course of white lupine development stages, what resulted in accelerating emergence, earlier flowering and ripening of plants. Yield increase was the consequence of higher pod density per plant, when 1000 seed weight and number of seeds per pod did not considerably differ. It was also found that treating seeds with laser light influenced leaf area index (LAI) of white lupine. The greatest increase of LAI of a single plant was noticed at the period of intensive growth up to flowering. After that, with regard to earlier ripening of plants grown from seeds treated with laser light, their LAI was decreasing faster than that of plants grown from non-irradiated seeds.

JANUSZ PODLEŚNY

Zakład Uprawy Roślin Pastewnych
IUNG – Puławy

WPLYW ŚWIATŁA LASEROWEGO NA NIEKTÓRE PROCESY
BIOCHEMICZNE I FIZJOLOGICZNE W NASIONACH I ROŚLINACH
ŁUBINU BIAŁEGO (*Lupinus albus* L.)*

The effect of pre-sowing laser light treatment on some biochemical and physiological processes
in the seeds and plants of white lupine (*Lupinus albus* L.)

(Wpłynęło do Redakcji 23 III 2000 r.)

Przeprowadzone dotychczas badania wykazały korzystny wpływ przedsięwzięcia traktowania nasion promieniami laserowymi na kiełkowanie, początkowy rozwój oraz plonowanie niektórych roślin zbożowych (8, 17, 23, 28, 31, 50, 71), okopowych (5, 33, 69), warzywnych (24, 62, 68) i innych (2, 6, 13, 25, 51, 57, 59). W pracach opublikowanych dotychczas przez autora wykazano korzystny wpływ przedsięwzięcia napromieniowania nasion światłem laserowym na rozwój i plonowanie niektórych gatunków roślin strączkowych w warunkach ściśle kontrolowanych (w komorach klimatycznych) i w warunkach doświadczeń polowych (38, 39, 40-45). Zjawisko oddziaływania promieni laserowych, charakteryzujących się ogromną gęstością powierzchniową mocy (29, 46, 47) jest jeszcze słabo poznane i wyjaśnione. Potrzebne są badania bardziej szczegółowe, dotyczące procesów zachodzących w napromieniowanych nasionach i roślinach z nich wyrosłych. Z danych literatury wynika, że przeprowadzono dotychczas niewiele takich doświadczeń (3, 7, 15, 27, 34, 64, 66, 67) i nie dotyczyły one roślin strączkowych.

W niewielu z nich podjęto próbę wyjaśnienia sposobu oddziaływania światła laserowego na materiał siewny badanych gatunków. Istnieją jedynie fragmentaryczne badania bądź hipotezy, z pomocą których próbuje się wyjaśnić mechanizm oddziaływania światła laserowego na materiał biologiczny. Jedną z nich jest koncepcja bioplazmy, która zakłada, że oprócz energii magazynowanej w białkach, węglowodanach, ATP i innych nośnikach, każda roślina posiada znaczny zasób

* Badania prowadzono w ramach projektu badawczego Nr 5P06B 07614 finansowanego przez Komitet Badań Naukowych

energii zgromadzonej w całej jej strukturze pod postacią bioplazmy. Zdaniem S e d l a k a (53, 54) bioplazma to plazma wzbogacona elektronami na skutek stanużywienia materii. Zgodnie z tą teorią w żywych organizmach stanowi ją przestrzeń wypełniona fotonami i polem elektromagnetycznym, które zapewniają przepływ swobodnej energii dostarczanej przez fotony. W myśl tej teorii światło laserowe może podnosić potencjał energetyczny nasion, co stymuluje kiełkowanie i wschody roślin. Według K l i m y i in. (30) oraz R o s c h e r a i in. (49), energia wzbudzenia elektronowego jest przekazywana cząsteczkom tlenu w stanie podstawowym. Zachodzi wówczas proces fotosensybilizowanego tworzenia elektrownowo wzbudzonych cząsteczek tlenu $^1\text{O}_2^*$ i dimoli tlenu $(^1\text{O}_2^*)_2$. Małe stężenia tych cząsteczek i dimoli modyfikują procesy biochemiczne i przyspieszają podziały komórek, natomiast duże powodują ich śmierć w następstwie zniszczenia błon komórkowych. Zdaniem G r z e s i u k a i K u l k i (20, 21), promieniowanie wysokoenergetyczne typu α , β , γ wywołuje w nasionach powstawanie wolnych rodników. Energia fotonów pochłaniana jest dość równomiernie przez różne części nasion. W makrocząsteczkach ma ona zdolność do przemieszczania się wzdłuż ich łańcuchów i koncentracji w określonych miejscach, w wyniku tego powstają tzw. ogniska rodnikowe, które w reakcji łańcuchowej z tlenem prowadzą do tworzenia się nadtlenu. Pod wpływem tych zmian wzrasta aktywność enzymów hydrolytycznych i mobilizacja substancji zapasowych gromadzonych w nasionach, następstwem czego jest lepsze kiełkowanie i szybszy rozwój roślin. Mechanizm oddziaływania promieni laserowych na nasiona nie jest jednak w pełni poznany. Brakuje spójnej teorii wyjaśniającej jednoznacznie uzyskiwane dotychczas wyniki badań. Na przykład Q u i c k e n d i D a n i e l s (48) twierdzą, że zjawisko oddziaływania światła laserowego na nasiona można sprowadzić do efektu fototermicznego.

Celem przeprowadzonych badań było określenie niektórych zmian biochemicznych i fizjologicznych w dwóch zróżnicowanych formach łubinu białego po przedsięwziętym traktowaniu nasion promieniami laserowymi, w tym przede wszystkim wykazanie, w jakim stopniu światło laserowe modyfikuje aktywność enzymów amylolitycznych oraz koncentrację wolnych rodników w nasionach i siewkach z nich wyrosłych.

METODYKA BADAŃ

Doświadczenia dotyczące zmian biochemicznych i fizjologicznych w materiale nasiennym i roślinnym po naświetlaniu nasion światłem laserowym przeprowadzono w Zakładzie Uprawy Roślin Pastewnych IUNG w Puławach. Analizy laboratoryjne nasion i siewek roślin przeprowadzono w Zakładzie Biochemii i Jakości Plonów IUNG w Puławach i Zakładzie Fizyki Doświadczalnej UMCS w Lublinie. Naświetlania nasion dokonano w Katedrze Fizyki AR w Lublinie, wykorzystując urządzenie do przedsięwziętej obróbki nasion promieniowaniem laserowym (32).

Czynnikiem I rzędu był genotyp łubinu białego: Bardo – forma tradycyjna i Katon – forma samokończąca, natomiast czynnikiem II rzędu – pięć dawek promieniowania laserowego: *D0* – bez naświetlania, *D1* – jednokrotne naświetlanie, *D2* – dwukrotne naświetlanie, *D3* – trzykrotne naświetlanie, *D4* – czterokrotne naświetlanie, *D5* – pięciokrotne naświetlanie nasion. Dawka pojedynczej ekspozycji wynosiła $4 \times 10^{-3} \text{ J cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

OKREŚLENIE AKTYWNOŚCI ENZYMÓW AMYLOLITYCZNYCH

Nasiona przeznaczone do określenia aktywności enzymów amylolitycznych wysiewano po naświetleniu na płytki Petriego, a następnie analizowano w ustalonych wcześniej terminach. Przed każdym terminem zbioru ważono nasiona, a później wyrosłe z nich siewki. Za miarę aktywności enzymów przyjęto ilość glukozy uwolnionej ze skrobi (I) przez kompleks enzymów zawartych w supernatancie, który otrzymano przez dodanie do 0,5 g zmielonego suszu materiału roślinnego 5 ml buforu octanowego o pH 4,8 zawierającego 20 μmol CaCl_2 i wirowanie w ciągu 10 min przy 3000 obr./min. Do 0,5 ml supernatantu dodawano 0,5 ml 0,5% roztworu skrobi i prowadzono w ciągu 10 minut hydrolizę w temperaturze 37°C. Zawartość glukozy oznaczano zmodyfikowaną metodą Somogy-Nelsona (58), stosowaną najczęściej w badaniach biochemicznych do oznaczania zawartości cukrów redukujących. W metodzie tej wykorzystuje się reakcję barwną odczynnika arseno-molibdenowego z jonami miedziawymi, powstającymi w roztworze w wyniku reakcji odczynnika miedziowego z cukrami redukującymi. Intensywność zabarwienia mierzono kolorymetrycznie przy długości fali $\lambda = 520 \text{ nm}$. Zawartość cukrów redukujących określono na podstawie krzywej wzorcowej sporządzonej dla roztworów glukozy. Aktywność enzymów badano w 7 terminach: bezpośrednio po naświetlaniu oraz po 12, 24, 48, 72, 96, 120, 144 godzinach od naświetlania.

Określono również dynamikę kiełkowania nasion wyrażoną jako procentowy udział nasion skiełkowanych w ogólnej liczbie nasion. Wyniki porównywano z otrzymanymi dla próbek nasion nie naświetlanych.

OKREŚLENIE KONCENTRACJI WOLNYCH RODNIKÓW W NASIONACH I ROŚLINACH

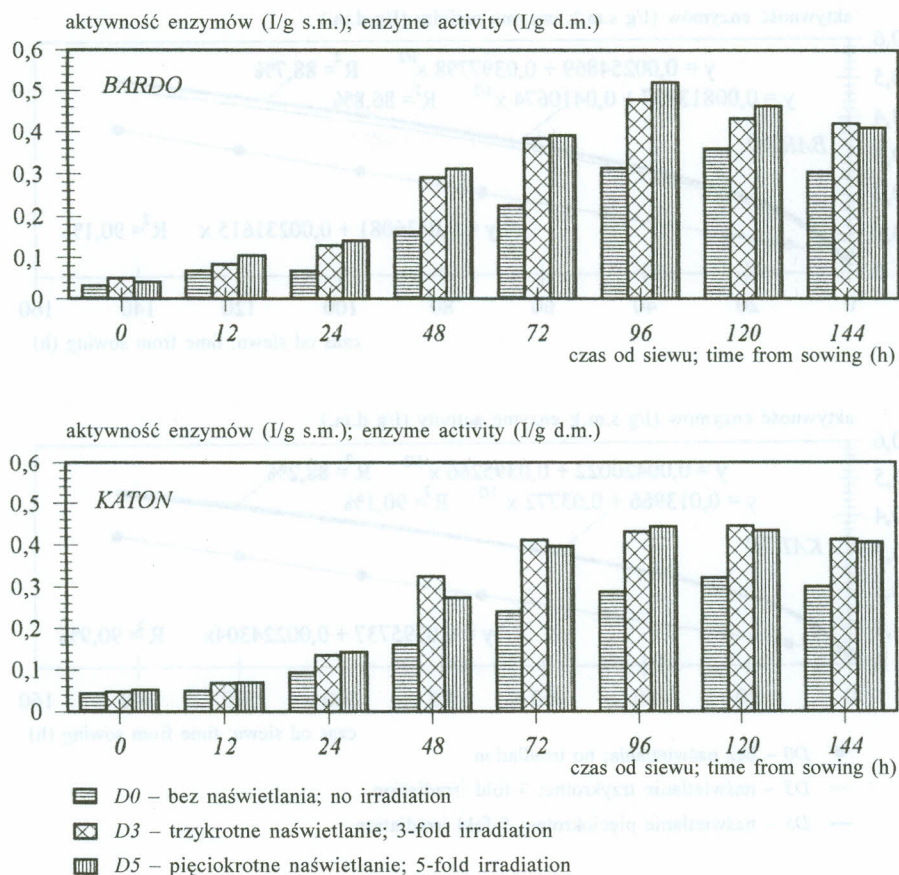
Liczbę wolnych rodników określano: w nasionach przed wysiewem bezpośrednio po ich naświetlaniu, w roślinach wyrosłych z naświetlanego materiału siewnego w początkowym okresie ich rozwoju oraz w nasionach uzyskanych z tych roślin po zbiorze. Dlatego część nasion po naświetlaniu analizowano, a pozostałą część tej samej partii nasion wysiewano do wazonów Mitscherlicha w celu uzyskania materiału do analiz w pozostałych terminach zbioru. Liczbę wolnych rodników w nasionach oraz roślinach określano metodą Elektronowego Rezonansu Paramagnetycznego (14, 60, 61). Pomiary widm EPR zostały przeprowadzone na spektro-

metrze EPR typu SE/X-2547 z wnęką rezonansową typu CX-101TE₁₀₂. Badany materiał siewny umieszczano w cienkościennej probówce precyzyjnie wykonanej z kwarcu syntetycznego (733-5PQ-7 firmy WILMAD). Kwarc syntetyczny (suprasil) przepuszcza bowiem promieniowanie ultrafioletowe do 200 nm i ułatwia pomiar słabych sygnałów EPR. Rejestrację widm EPR prowadzono przy następujących ustawieniach: częstość mikrofalowa $9,4 \div 9,5$ GHz, moc mikrofalowa ~ 15 mW, częstość modulacji 100 kHz, amplituda 0,5 mT, stała czasowa 1 s i przemiatanie 20 mT/4 min. W pomiarach EPR stosowano mikrofałe o długości fali 3×10^{-2} m w polu magnetycznym około 340 mT. Do wyznaczenia koncentracji wolnych rodników użyto jako wzorca *Weak pitch EPR sample (904450-02, $3.3 \times 10^{-4}\%$ pitch in KCl)*. Koncentrację wolnych rodników wyznaczano z porównania widma próbki wzorcowej z widmami próbek nasion po naświetleniu daną dawką promieniowania laserowego, po czym przeliczano wynik na 1 g nasion. Analizę przeprowadzono w temperaturze pokojowej.

Badania dotyczące określania zarówno liczby wolnych rodników, jak i aktywności enzymów amylolitycznych przeprowadzono w 3 seriach, każda w 4 powtórzeniach. W analizie statystycznej posługiwano się półprzedziałem ufności Tukeya, przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Przebieg zmian ważniejszych cech biologicznych w zależności od dawki promieniowania laserowego przedstawiono w postaci krzywych regresji.

OMÓWIENIE WYNIKÓW

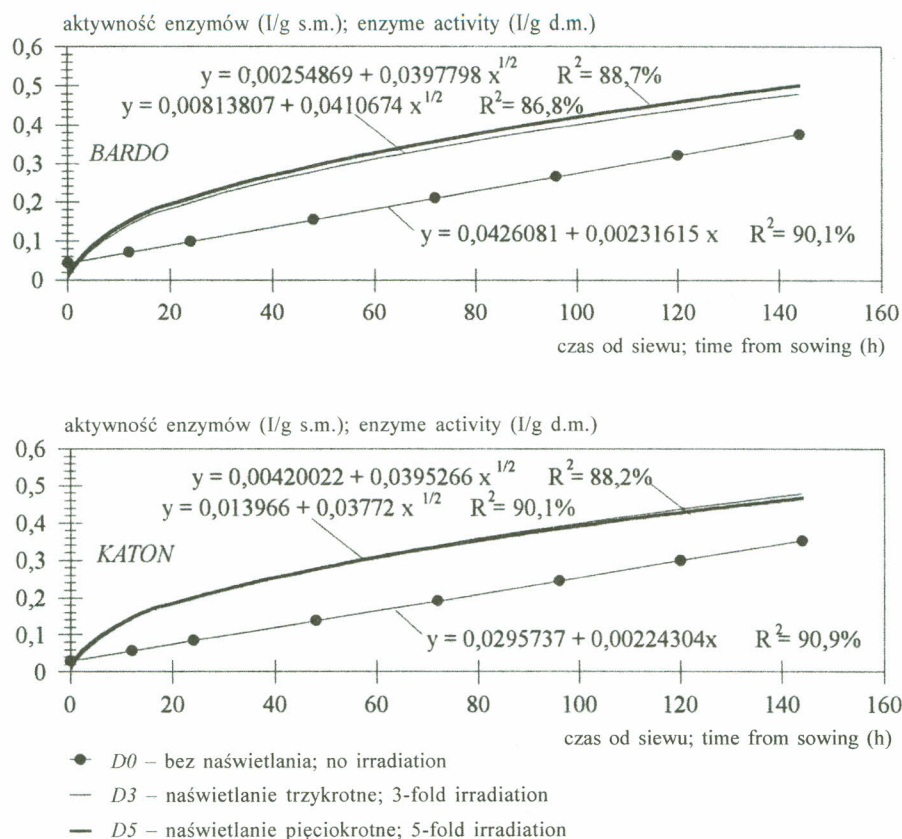
Aktywność enzymów amylolitycznych modyfikowana była na skutek naświetlania materiału siewnego obydwu badanych form łubinu. Aktywność tych enzymów wzrastała w miarę upływu czasu od wysiewu i osiągnęła najwyższą wartość po 96 godzinach w siewkach łubinu odmiany Bardo i po 120 godzinach w siewkach odmiany Katon (rys. 1). Przebieg zmian aktywności w czasie od wysiewu nasion do ostatniego terminu pomiaru dla obydwu odmian łubinu był na ogół bardzo podobny. W nasionach i siewkach tradycyjnej odmiany łubinu Bardo stwierdzono większą aktywność enzymów amylolitycznych niż w nasionach formy samokończącej – Katon. Maksymalna wartość aktywności tych enzymów dla odmian Bardo i Katon wynosiła odpowiednio: 394×10^{-3} i 310×10^{-3} I/g.s.m. Przedsiewne naświetlanie materiału siewnego powodowało wzrost aktywności badanych enzymów, szczególnie wyraźny w okresie od 24 do 144 godzin od wysiewu nasion. Znacznie mniejszy wpływ tego zabiegu na poziom aktywności badanych enzymów obserwowano w ciągu pierwszych 12 godzin po wysiewie. Nie stwierdzono natomiast istotnego wpływu dawki promieniowania na aktywność enzymów zarówno samokończącej, jak i tradycyjnej formy łubinu białego. Zarówno trzy-, jak i pięciokrotne naświetlanie nasion istotnie podwyższało poziom aktywności badanych enzymów u obydwu form łubinu. Naświetlanie nasion łubinu spowodowało zwiększenie ak-



Rys. 1. Aktywność enzymów amylolitycznych w nasionach i siewkach łubinu białego traktowanych i nie traktowanych promieniami laserowymi
 The activity of amylolytic enzymes in white lupine seeds and seedlings treated and non-treated by laser irradiation

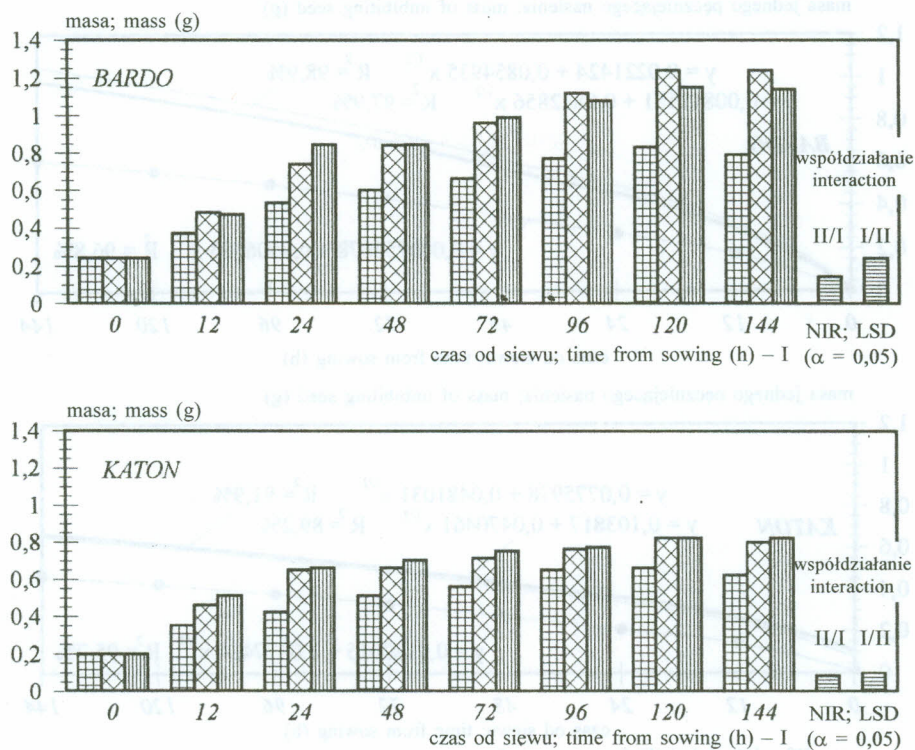
tywności enzymów amylolitycznych średnio dla trzy- i pięciokrotnej dawki promieniowania po 12, 24, 48, 72, 96, 120 i 144 godzinach od wysiewu u odmiany Bardo odpowiednio o: 36,0; 96,7; 86,4; 72,4; 59,2%, a u odmiany Katon odpowiednio o: 32,8; 46,3; 89,2; 68,8; 50,3%. Przebieg zmian aktywności enzymów amylolitycznych w nasionach badanych form łubinu przedstawiono na rysunku 2. Krzywe regresji na obydwu wykresach, dla nasion naświetlanych i nie naświetlanych, mają bardzo podobny przebieg, co wskazuje, że aktywność badanych enzymów w poszczególnych terminach pomiarów u obu form łubinu była podobna.

Pęczniejące nasiona i siewki łubinu białego odmiany Bardo miały zdecydowanie większą masę niż w analogicznych terminach pomiaru nasiona i siewki odmia-



Rys. 2. Przebieg zmian aktywności enzymów amylolitycznych w nasionach i siewkach łubinu białego traktowanych i nie traktowanych promieniami laserowymi
 Changes of amylolytic enzyme activity in white lupine seeds and seedlings treated and non-treated by laser irradiation

ny Katon. Przedsiewne napromieniowanie materiału siewnego wpływało na masę pęczniejących nasion obydwu badanych form łubinu białego (rys. 3). Naświetlone nasiona łubinu po 12, 24, 48 godzinach od wysiewu zwiększyły swoją masę w porównaniu z nasionami nie naświetlonymi u odmiany Bardo odpowiednio o: 28,3; 49,2; 40,3%, a u odmiany Katon odpowiednio o: 38,3; 55,7; 33,2%. Średnia masa 1 nasienia odmiany Bardo w okresie od wysiewu do kiełkowania wynosiła 0,71 g, a odmiany Katon 0,58 g. Różna też była dynamika zmiany masy pęczniejących nasion traktowanych i nie traktowanych przedsiewnie światłem laserowym (rys. 4). Nasiona naświetlane w porównaniu z nasionami nie naświetlanymi szybciej zwiększały masę podczas pęcznienia. Przyrost masy pęczniejących nasion był



dawki naświetlania; doses of irradiation (II)

■ D0 – bez naświetlania; no irradiation

▣ D3 – naświetlanie trzykrotne; 3-fold irradiation

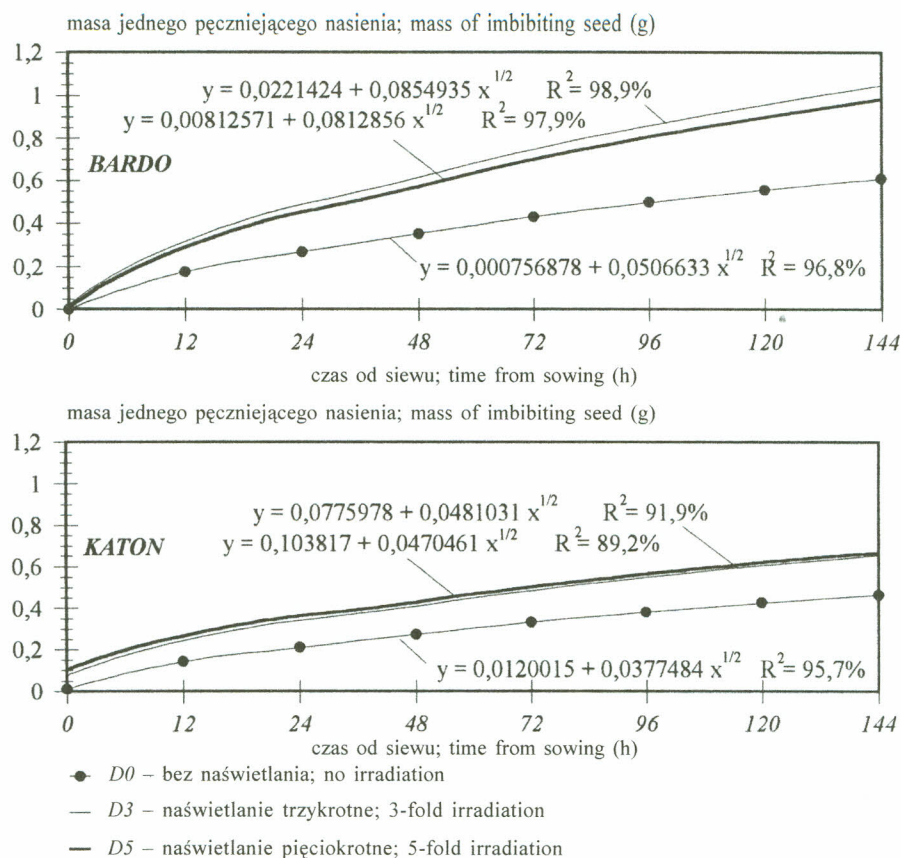
▤ D5 – naświetlanie pięciokrotne; 5-fold irradiation

Rys. 3. Średnia masa jednego pęczniącego nasienia i siewki łubinu białego traktowanego i nie traktowanego promieniami laserowymi

Mean mass of one imbibiting seed and white lupine seedling treated and non-treated by laser irradiation

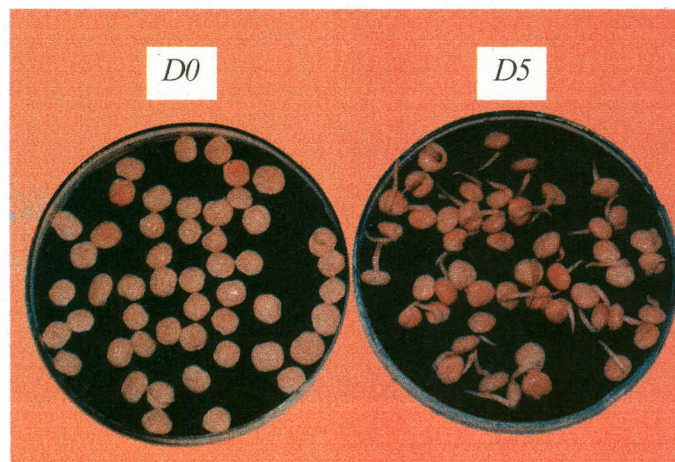
wyrażnie większy w przypadku odmiany Bardo niż odmiany Katon. Stwierdzono również istotne różnice w dynamice kiełkowania nasion traktowanych i nie traktowanych przedśiewnie promieniami laserowymi (tab. 1), szczególnie wyraźne po 24 godzinach od wysiewu (fot. 1). Istotne różnice w dynamice kiełkowania nasion obydwu form łubinu stwierdzono jedynie w okresie od 48 do 96 godzin po wysiewie. Po 144 godzinach od wysiewu skielkowało 100% nasion.

Naświetlanie nasion wpływało również modyfikująco na początkowy wzrost i rozwój siewek łubinu białego, w tym przede wszystkim na długość korzeni i hipokotyła (fot. 2 i 3). Wszystkie dawki promieniowania laserowego wpływały istotnie



Rys. 4. Dynamika zmiany masy pęczniejących nasion i siewek łubinu białego traktowanych i nie traktowanych promieniami laserowymi
 Dynamics of change of imbibiting seed mass and white lupine seedlings treated and non-treated by laser irradiation

na zwiększenie długości korzeni łubinu, zarówno odmiany Bardo, jak i Katon (rys. 5). Średnio dla wszystkich stosowanych dawek promieniowania przyrost długości korzeni siewek wyrosłych z nasion naświetlanych w stosunku do długości korzeni siewek wyrosłych z nasion nie naświetlanych wyniósł dla odmiany Bardo 23,7% i dla odmiany Katon 19,1%. Korzenie siewek łubinu odmiany Katon były dłuższe niż odmiany Bardo. Przyrost długości korzeni na skutek jedno-, dwu-, trzy-, cztero- i pięciokrotnego naświetlania nasion średnio dla dwóch badanych odmian łubinu wyniósł odpowiednio: 14,3; 18,7; 17,8; 27,7; 26,8%. W większym stopniu niż długość korzeni zmieniała się w zależności od dawki stosowanego naświetlania długość hipokotyla (rys. 6). Trzy- i czterokrotne naświetlanie nasion było bardziej efektywne niż jedno-, dwu- i pięciokrotne. Średnio dla dwóch odmian przyrost



D0 – bez naświetlania; no irradiation

D5 – pięciokrotne naświetlanie; 5-fold irradiation

Fot. 1. Kiełkowanie nasion łubinu białego traktowanych i nie traktowanych przedśiewnie promieniami laserowymi (24 h po wysiewie)

Germination of white lupine seeds treated and non-treated by laser light before sowing (24 h after sowing)



D0 – bez naświetlania; no irradiation

D5 – pięciokrotne naświetlanie; 5-fold irradiation

Fot. 2. Kiełkowanie nasion łubinu białego traktowanych i nie traktowanych przedśiewnie promieniami laserowymi (48 h po wysiewie)

Germination of white lupine seeds treated and non-treated by laser light before sowing (48 h after sowing)



D0 – bez naświetlania; no irradiation

D5 – pięciokrotne naświetlanie; 5-fold irradiation

Fot. 3. Siewki łubinu białego wyrosłe z nasion traktowanych i nie traktowanych przed siewem promieniami laserowymi (120 h po wysiewie)

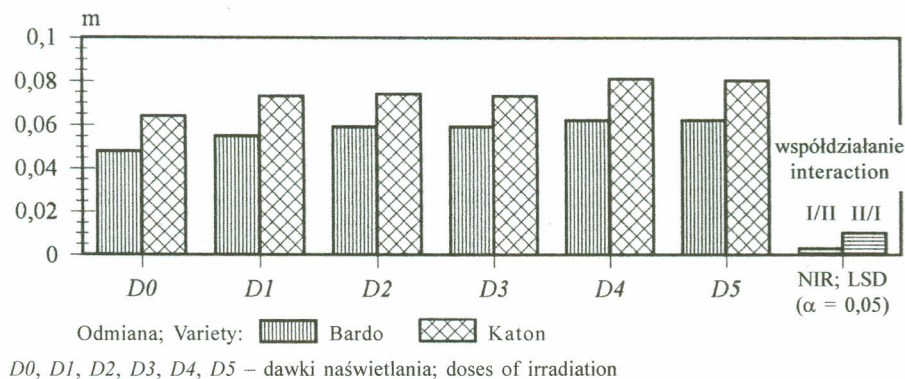
White lupine seedlings grown from the seeds treated and non-treated by laser light before sowing (120 h after sowing)

Tabela 1

Dynamika kiełkowania nasion traktowanych i nie traktowanych światłem laserowym
(liczba skielkowanych nasion)
Germination dynamics of seeds treated and non-treated by laser light expressed
as a number of germinating seeds

Wyszczególnienie Description	Czas od wysiewu; Time from sowing (h)						
	12	24	48	72	96	120	144
Odmiana; Variety:							
Bardo	3,7 a	11,5 a	21,0 a	35,5 a	47,2 a	48,2 a	50,0 a
Katon	4,3 a	12,3 a	18,8 b	36,8 b	49,2 b	49,7 a	50,0 a
Dawki promieniowania; Doses of irradiation:							
<i>D0</i>	0,0 a	2,0 a	12,0 a	24,5 a	44,0 a	45,5 a	50,0 a
<i>D1</i>	3,5 b	13,0 b	18,5 b	31,0 b	47,5 b	49,0 b	50,0 a
<i>D2</i>	4,0 bc	13,0 b	20,5 b	44,5 c	49,0 b	49,0 b	50,0 a
<i>D3</i>	5,0 cd	14,0 bc	24,0 c	41,5 c	49,0 b	49,5 b	50,0 a
<i>D4</i>	5,5 d	15,5 c	23,0 c	40,5 c	49,5 b	50,0 b	50,0 a
<i>D5</i>	5,0 cd	14,0 bc	24,0 c	40,5 c	50,0 b	50,0 b	50,0 a

Liczby w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie
Numbers in columns followed by the same letters do not differ significantly

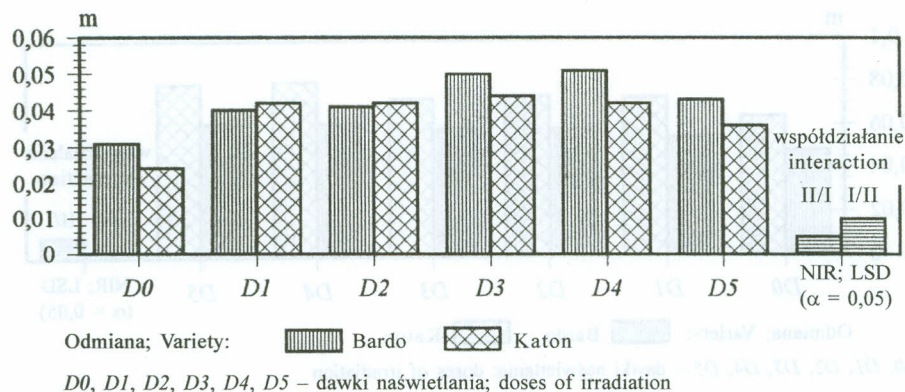


Rys. 5. Długość korzeni siewek łubinu białego wyrosłych z nasion traktowanych i nie traktowanych przedsięwzięciem promieniami laserowymi
 Length of white lupine seedling roots grown from seeds treated and non-treated by laser irradiation

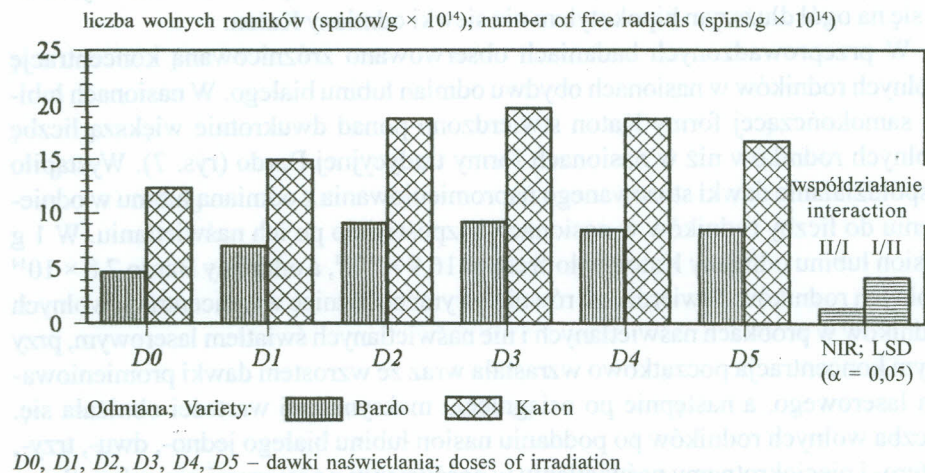
długości hipokotyła siewek wyrosłych z nasion trzy- i czterokrotnie naświetlanych wynosił odpowiednio: 54,1 i 72,2%. Siewki łubinu odmiany Bardo charakteryzowały się na ogół dłuższym hipokotylem niż siewki odmiany Katon.

W przeprowadzonych badaniach obserwowano zróżnicowaną koncentrację wolnych rodników w nasionach obydwu odmian łubinu białego. W nasionach łubinu samokończącej formy Katon stwierdzono ponad dwukrotnie większą liczbę wolnych rodników niż w nasionach formy tradycyjnej Bardo (rys. 7). Wystąpiło współdziałanie dawki stosowanego napromieniowania z odmianą łubinu w odniesieniu do liczby rodników w nasionach bezpośrednio po ich naświetlaniu. W 1 g nasion łubinu odmiany Katon było średnio $16,9 \times 10^{14}$, a odmiany Bardo $7,8 \times 10^{14}$ wolnych rodników. Stwierdzono również wyraźne różnice w koncentracji wolnych rodników w próbkach naświetlanych i nie naświetlanych światłem laserowym, przy czym koncentracja początkowo wzrastała wraz ze wzrostem dawki promieniowania laserowego, a następnie po osiągnięciu maksymalnej wartości obniżała się. Liczba wolnych rodników po poddaniu nasion łubinu białego jedno-, dwu-, trzy-, cztero- i pięciokrotnemu naświetlaniu w porównaniu z nasionami nie naświetlanymi zwiększyła się u odmiany Katon odpowiednio o: 21,1; 52,8; 60,9; 52,8; 35,6%, a u odmiany Bardo odpowiednio o: 51,6; 96,3; 99,3; 84,8 i 85,2%.

Pomiary prowadzone w późniejszym terminie, kiedy rośliny były w fazie 2–3 liści wykazały, że koncentracja wolnych rodników w poszczególnych badanych organach roślin łubinu jest zróżnicowana (rys. 8-10). Ponadto, w każdym z badanych organów (korzenie, liście, łodygi) stwierdzono większą liczbę wolnych rodników w przypadku odmiany Katon niż Bardo. Średnio dla naświetlanych i nie naświetlanych nasion łubinu odmiany Bardo liczba wolnych rodników w korzeniach, liściach i łodygach wynosiła odpowiednio: $2,8 \times 10^{14}$, $3,3 \times 10^{14}$ i $1,4 \times 10^{14}$, a odmia-

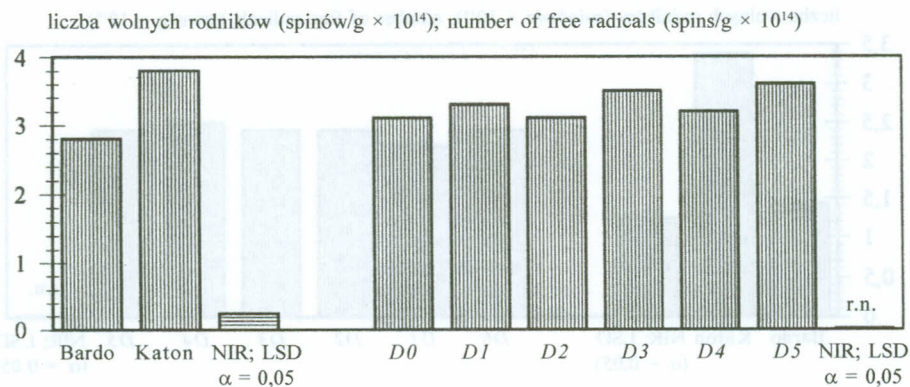


Rys. 6. Długość łodyg siewek łubinu białego wyrosłych z nasion traktowanych i nie traktowanych promieniami laserowymi
Length of white lupine seedling stems grown from seeds treated and non-treated by laser irradiation



Rys. 7. Liczba wolnych rodników (spinów) w nasionach łubinu białego bezpośrednio po naświetlaniu promieniami laserowymi
Number of free radicals (spins) in white lupine seeds directly after laser light irradiation

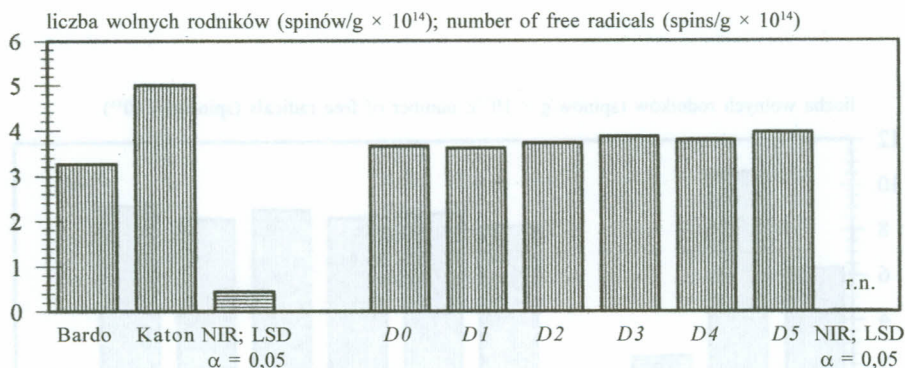
ny Katon odpowiednio: $3,8 \times 10^{14}$, $4,9 \times 10^{14}$ i $3,4 \times 10^{14}$ spinów/g. Nie stwierdzono istotnego wpływu przedsewnego napromieniowania nasion na koncentrację wolnych rodników w liściach, łodygach i korzeniach siewek łubinu białego. W nasionach łubinu białego odmiany Katon zebranych z roślin wyrosłych z naświetlanego materiału siewnego koncentracja wolnych rodników była większa niż u odmiany



D0, D1, D2, D3, D4, D5 – dawki naświetlania; doses of irradiation

r.n. – różnice nieistotne; differences not significant

Rys. 8. Liczba wolnych rodników (spinów) w korzeniach siewek łubinu białego wyrosłych z nasion traktowanych i nie traktowanych promieniami laserowymi
Number of free radicals (spins) in white lupine seedling roots grown from seeds treated and non-treated by laser light

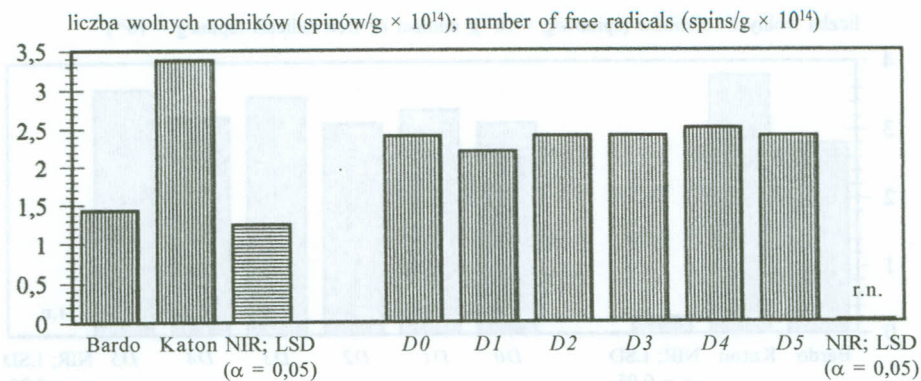


D0, D1, D2, D3, D4, D5 – dawki naświetlania; doses of irradiation

r.n. – różnice nieistotne; differences not significant

Rys. 9. Liczba wolnych rodników (spinów) w liściach siewek łubinu białego wyrosłych z nasion traktowanych i nie traktowanych promieniami laserowymi
Number of free radicals (spins) in white lupine seedling leaves grown from seeds treated and non-treated by laser light

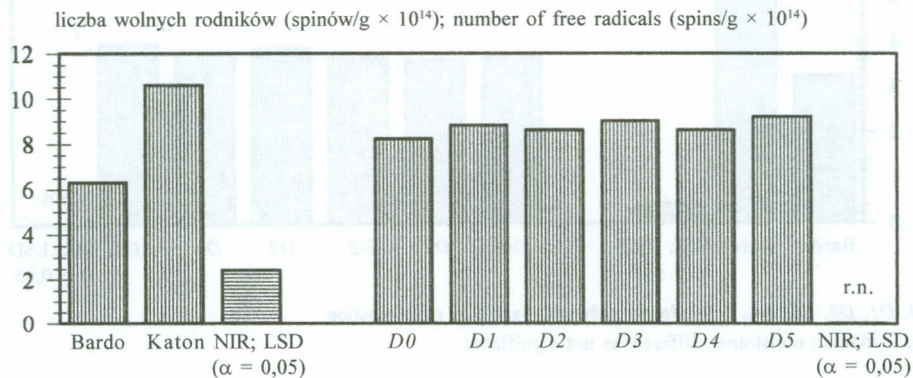
Bardo (rys. 11). Nie stwierdzono istotnego zróżnicowania koncentracji wolnych rodników w nasionach zebranych z roślin wyrosłych z naświetlanego i nie naświetlanego materiału siewnego; liczba wolnych rodników w 1 g nasion łubinu odmiany Bardo wynosiła $6,2 \times 10^{14}$, a odmiany Katon $11,3 \times 10^{14}$ i była podobna do stwierdzonej w nie naświetlanym materiale siewnym.



D0, D1, D2, D3, D4, D5 – dawki naświetlania; doses of irradiation

r.n. – różnice nieistotne; differences not significant

Rys. 10. Liczba wolnych rodników (spinów) w łodygach siewek łubinu białego wyrosłych z nasion traktowanych i nie traktowanych promieniami laserowymi
Number of free radicals (spins) in white lupine seedling stems grown from seeds treated and non-treated by laser light



D0, D1, D2, D3, D4, D5 – dawki naświetlania; doses of irradiation

r.n. – różnice nieistotne; differences not significant

Rys. 11. Liczba wolnych rodników (spinów) w nasionach łubinu białego zebranych z roślin wyrosłych z nasion traktowanych i nie traktowanych promieniami laserowymi
Number of free radicals (spins) in white lupine seeds harvested from plants, which seeds were treated and non-treated by laser light

DYSKUSJA

W prezentowanej pracy określano oddziaływanie światła laserowego na niektóre procesy biochemiczne i fizjologiczne w nasionach łubinu białego bezpośrednio po naświetlaniu i w początkowym okresie wzrostu i rozwoju roślin z nich wyrosłych. Stwierdzono istotny wpływ przedśiewnego napromieniowania nasion na aktywność enzymów amylolitycznych, do których zalicza się głównie α i β amylazy określane jako hydrolazy skrobiowe oraz fosforylasy skrobiowe. Enzymy te w procesie kiełkowania powodują rozkład wiązań α -1,4-glikozydowych znajdujących się wewnątrz łańcucha skrobi (20, 21). Szczególnie duże różnice w aktywności enzymów amylolitycznych w nasionach łubinu obserwowano po 48 godzinach od wysiewu. Można przypuszczać, że aktywność enzymów różnicuje się w nasionach naświetlonych i nie naświetlonych wówczas, kiedy zawierają one dostatecznie dużo wody. Przebieg zmian aktywności enzymów u łubinu odmiany Bardo i Katon był podobny. Natomiast G a l o v a (16) badając aktywność α -amylazy w nasionach pszenicy ozimej poddanych przedśiewnie napromieniowaniu światłem laserowym stwierdziła wyraźną różnicę między badanymi odmianami w odniesieniu do aktywności enzymatycznej w nasionach naświetlanych i nie naświetlanych. Ponadto obserwowała występowanie zróżnicowanej aktywności α -amylazy w nasionach naświetlanych i nie naświetlanych również w późniejszym etapie kiełkowania.

W przeprowadzonych badaniach podobnie jak aktywność amylazy zmieniała się również dynamika kiełkowania nasion. Stwierdzono istotne przyspieszenie kiełkowania nasion obydwóch odmian łubinu białego pod wpływem naświetlania. Wcześniejsze wschody roślin łubinu białego wskutek tego zabiegu obserwował również autor w badaniach prowadzonych w warunkach pola doświadczalnego (45). Także D r o z d i in. (10, 12), G a l o v a (16), G ł a d y s z e w s k a (19) oraz Z h i d o n g i S h u z h e n (70) stwierdzili zwiększenie zdolności kiełkowania nasion traktowanych przedśiewnie światłem laserowym, ale w odniesieniu do innych gatunków roślin uprawnych.

W przeprowadzonych badaniach stwierdzono korzystny wpływ światła laserowego na przyrost długości hipokotyla i korzeni łubinu białego. Świadczy to o tym, że wcześniej omawiane zmiany w napromieniowanych nasionach powodują również zmiany w dynamice rozwoju roślin z nich wyrosłych. Zdaniem wielu badaczy zajmujących się problematyką traktowania materiału siewnego promieniami laserowymi, największe zmiany zachodzą właśnie w napromieniowanych nasionach i w początkowym okresie rozwoju roślin z nich wyrosłych (7, 33, 50, 52, 53, 62); prowadzą one w późniejszym okresie rozwoju do szybszego wzrostu roślin. Wcześniejsze badania autora dotyczące łubinu białego prowadzone w komorach klimatycznych wykazały, że napromieniowanie nasion ma wpływ na przyspieszenie zakwitania i wcześniejsze dojrzewanie roślin (44). Naświetlane nasiona łubinu zwiększały szybciej masę w okresie pęcznienia w porównaniu do nasion nie naświetlanych,

najprawdopodobniej na skutek szybszego pobierania wody, stąd też dynamika ich kiełkowania była większa. Badania Grzesiuka i Rejowskiego (22) wykazały, że nasiona kukurydzy traktowane przedsięwzię falami ultradźwiękowymi pobierają zdecydowanie więcej wody niż nasiona nie poddane temu zabiegowi. Również promieniowanie jonizujące powoduje przyspieszenie oddychania nasion i zwiększenie pobierania wody. Wprawdzie zarówno ultradźwięki, jak i promieniowanie jonizujące mają inną naturę niż promieniowanie laserowe, ale są to czynniki fizyczne, stąd ich oddziaływanie na materiał siewny roślin uprawnych wydaje się bardzo podobne (55, 65).

Przeprowadzone badania wykazały istotny przyrost liczby wolnych rodników w nasionach traktowanych przedsięwzię promieniami laserowymi. Koncentracja wolnych rodników w nasionach zależała zarówno od dawki stosowanego naświetlania, jak też od formy łubinu. W pracy wykazano istnienie pewnej optymalnej dawki promieniowania laserowego oddziałującego stymulująco na powstawanie wolnych rodników w napromieniowanych nasionach. Obliczone wartości czynnika rozszczepienia spektroskopowego g dla obydwu badanych odmian łubinu zawierały się w przedziale od 2,0036 do 2,0042. Czynniki g dla wolnych elektronów wynosi 2,0023. Porównując wartości obydwu czynników można wnioskować, że stabilne wolne rodniki w nasionach są masywniejsze i zapewne mają bardziej ograniczoną swobodę poruszania się w porównaniu z wolnymi elektronami. W związku z tym, że wartość czynnika g w nasionach łubinu nie zmieniała się przed i po napromieniowaniu, należy przypuszczać, że wolne rodniki zawarte w nasionach przed i po ich naświetlaniu mają podobną budowę.

W literaturze można znaleźć stwierdzenie, że promieniowanie dużej mocy powoduje często powstawanie w nasionach zwiększonej liczby wolnych rodników. Tworzą się wówczas tzw. aktywne ogniska rodnikowe mające pośredni wpływ na przebieg zmian w matabolizmie nasion i przerwanie ich spoczynku względnego (20). Wcześniejsze kiełkowanie, jak również szybsze tempo wzrostu i rozwoju roślin wyrosłych z materiału siewnego poddanego oddziaływaniu czynników fizycznych wydaje się być, między innymi, konsekwencją tych właśnie zmian. Gładyszevska (19) traktując nasiona pomidorów światłem laserowym obserwowała zwiększenie w nich koncentracji wolnych rodników, ale uzyskiwane efekty naświetlania uzależnione były w dużej mierze od temperatury, w której prowadzono badania. Natomiast Drozd i in. (9, 11) wykazali, że promieniowanie laserowe zmienia znacząco koncentrację wolnych rodników w ziarniakach pszenicy. Wielkość tych zmian uzależniona jest w dużej mierze od dawki stosowanego promieniowania i badanej odmiany pszenicy. Nasiona łubinu stanowią od dawna wartościową paszę dla zwierząt (18, 26, 63), a w ostatnich latach również cenny składnik pożywienia dla ludzi (35, 36). Zwiększenie koncentracji wolnych rodników w materiale roślinnym i w nasionach mogłoby znacznie ograniczyć możliwości jego wykorzystania do celów żywieniowych (1, 4, 37, 56). Szczegółowe badania laboratoryjne materiału roślinnego zbieranego we wczesnym okresie rozwoju ro-

ślin, czyli wówczas, kiedy można przypuszczać, że koncentracja wolnych rodników jest największa, nie wykazały zwiększonej liczby wolnych rodników ani w poszczególnych częściach nadziemnych roślin, ani w korzeniach. Badania spektroskopowe wykazały, że koncentracja wolnych rodników w nasionach zebranych z roślin wyrosłych z naświetlanego materiału siewnego jest podobna do stwierdzonej w nasionach zebranych z roślin wyrosłych z nie naświetlanego materiału siewnego i zbliżona do koncentracji wolnych rodników w nasionach nie naświetlanych. Doniesienia literatury wskazują, że ocena wpływu napromieniowania nasion na zmiany zachodzące w wyrosłych z nich roślinach sprowadzała się najczęściej do badania składu chemicznego uzyskanego plonu (7, 17, 69). Otrzymane wyniki trudno jest więc porównać z uzyskanymi przez innych badaczy, bowiem w dostępnej literaturze krajowej i zagranicznej nie znaleziono dotychczas wyników dotyczących tego zagadnienia.

WNIOSKI

1. Przedsiewne traktowanie materiału siewnego promieniami laserowymi zwiększało istotnie aktywność enzymów amylolitycznych w nasionach obydwu badanych form łubinu białego. Największe zróżnicowanie aktywności enzymatycznej w nasionach naświetlanych i nie naświetlanych stwierdzono po upływie 96 godzin od wysiewu. Większą aktywność enzymów odnotowano w nasionach łubinu białego odmiany Bardo – typ tradycyjny niż w nasionach odmiany Katon – typ samo-kończący.

2. Napromieniowane nasiona obydwu form łubinu białego uzyskiwały większą masę w okresie pęcznienia niż nasiona nie napromieniowane. Konsekwencją tego było wcześniejsze i bardziej równomierne ich kiełkowanie.

3. Przedsiewna stymulacja laserowa nasion wpływała dodatnio na wzrost i rozwój siewek z nich wyrosłych. Siewki łubinu wyrosłe z nasion napromieniowanych osiągały w kolejnych terminach pomiaru istotnie większą długość hipokotyla i korzeni w porównaniu do siewek z nasion nie naświetlanych.

4. Stwierdzono istotne zwiększenie koncentracji wolnych rodników w nasionach traktowanych przedsiewnie promieniami laserowymi. Największy przyrost liczby wolnych rodników w materiale siewnym obydwóch odmian łubinu stwierdzono po trzy- i czterokrotnym naświetlaniu nasion.

5. Nie stwierdzono istotnego wpływu napromieniowania nasion badanych odmian łubinu białego na koncentrację wolnych rodników w organach młodych roślin. Liczba wolnych rodników w liściach, łodygach i korzeniach nie różniła się istotnie od tej, jaką stwierdzono w analogicznych organach roślin wyrosłych z nasion nie naświetlanych. Badania spektroskopowe nie wykazały również zwiększonej liczby wolnych rodników w nasionach zebranych z roślin wyrosłych z naświetlanego materiału siewnego.

LITERATURA

1. Aleksandrowicz J.: Mikotoksyny i ich rola w onkogenezie ze szczególnym uwzględnieniem chorób krwi. Tyg. Lek., 1970, **29**: 1100-1103.
2. Andruszkin M.I., Dudnik W.H.: Predposevnoje obłucienije semian lna-dolunca svetom gielij-neonovo lazera. Vestnik Sielskochozjajstviennoj Nauki, 1977, **2**: 123-128.
3. Anisimov A., Vorobev V., Zuikov A.: The influence of laser radiation on the velocity of rotational motion of protoplasm in *Elodea cells*. Laser Physics, 1997, **7(5)**: 1132-1137.
4. Bartosz G.: Druga twarz tlenu. PWN Warszawa, 1995.
5. Bidzila N.I., Szalepa S.W., Okanienko A.S.: Svobodnoradikalnyje sostojanija i opytieskije charakteristiki klubockov sacharnoj sviekly. Problemy Fotoenergetiki Rastenij. Alma-Ata, 1974, **2**: 85-86.
6. Cepero L., Martin G., Mesa A. R., Castro P.: Effect of irradiation of seeds of *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham with a He-Ne laser. Pastos y Forrajes, 1997, **20(2)**: 125-131.
7. Dobrowolski J.W., Smyk B., Rozycki E., Barabasz W., Wachalewski T.: Experiments about the influence of laser light on some biological elements of the natural environment. Acta Universitatis Upsaliensis, Stockholm, 1992, 1- 15.
8. Drozd D.: The effect of laser radiation on spring wheat properties. Inter. Agrophysics, 1994, **8**: 209-219.
9. Drozd D., Szajsner H.: Laboratoryjna ocena wczesnych faz rozwojowych pszenicy jarej poddanej działaniu promieniowania laserowego. Biul. IHAR, 1997, **204**: 187-190.
10. Drozd D., Szajsner H., Jezierski A.: Zastosowanie elektronowego rezonansu paramagnetycznego EPR do oceny wpływu promieniowania laserowego na ziarniaki pszenicy jarej. Biul. IHAR, 1997, **204**: 181-186.
11. Drozd D., Szajsner H., Jezierski A.: Electron paramagnetic resonance (EPR) investigations of laser induced free radicals in spring wheat grains. Inter. Agrophysics, 1998, **13**: 343-346.
12. Drozd D., Szajsner R., Koper R.: Wpływ przedsiewnego naświetlania laserem nasion pszenicy jarej na zdolność kiełkowania i długość koleoptyla. Fragm. Agron., 1996, **1**: 44-51.
13. El-Shafie S.A., Mazrou M.M., El-Sayed S.A., El-Kholi S.A., Aly H.F.M.: The influence of pre-sowing laser irradiation on the growth, productivity and some chemical constituents of *Ammi visnaga* L. plants. Menofiya J. Agric. Res., 1993, **18(4)**: 2591-2604.
14. Eriksson L.E.G., Hyde J., Ehrenberg A.: Electron-nuclear double resonance from flavin radicals in liquid and polycrystalline phase and conjugated to protein. Biochim. Biophys. Acta, 1969, **192**: 211-230.
15. Friedmann H., Lubart R., Laulich I., Rochkind A.: A possible explanation of laser-induced stimulation and damage of cell cultures. J. Photochem. Photobiol. In: Biology, 1991, **11**: 87-95.
16. Galova Z.: The effect of laser beams on the process of germinating power of winter wheat grains. Roczn. AR Poznań, 1996, CCCLXXXVI, Rol., **49**: 39-43.
17. Gieroba J., Koper R., Matyka S.: The influence of pre-sowing laser biostimulation of maize seeds on the crop and nutritive value of the corn. 45th Australian Cereal Chemistry Conference, Adelaide, 1995, 30-33.
18. Gladstones J.S., Atkins C., Hamblin J.: Lupins as crop plant. Biology, production, utilization. CAB International, 1998.
19. Gładyszewska B.: Ocena wpływu przedsiewnej laserowej biostymulacji nasion pomidorów na proces ich kiełkowania. Rozprawa doktorska, AR Lublin, 1999.
20. Grzesiuk S., Kulka K.: Fizjologia i biochemia nasion. PWRiL Warszawa, 1986.
21. Grzesiuk S., Kulka K.: Biologia ziarniaków zbóż. PWN Warszawa, 1988.
22. Grzesiuk S., Rejowski A.: Wpływ pola ultradźwiękowego na kiełkowanie oraz wzrost i rozwój kukurydzy (*Zea Mays* L.). Post. Nauk Rol., 1957, **3(45)**: 4-13.

23. Inyushin W.M.: Technika laserowa w służbie rolnictwa. Nowe Rol., 1977, **21/22**: 21-26.
24. Inyushin W.M., Iljasov G.U., Fedorova N.N.: Laser light and crop. Kainar Publ. Alma-Ata, 1981.
25. Ivanova R.: Influence of pre-sowing laser irradiation of seeds of introduced flax varieties of linseed oil on yield quality. Bul. J. Agric. Sci., 1998, **4**: 49-53.
26. Jasińska Z., Kotecki A.: Rośliny strączkowe. PWN Warszawa., 1993.
27. Karlander E.P., Krauss R.W.: The laser as a light source for the photosynthesis and growth of *Chlorella vaneli*. Biochem. Biophys., 1968, **153(1)**: 312.
28. Kartalov P., Szabon I.: Prilozhenie na lazernata energia pri krastavici sort Sandra. Rasteniieviedni Nauki, 1988, **7**: 62-66.
29. Klejman H.: Lasery. PWN Warszawa, 1979.
30. Klima H., Hass O., Roscher P.: Photon emission from blood cells and its possible role in immune system regulation. W: Jeżowska-Trzebiatowska B., Kochel B. et al. eds. Proceedings of the First International Symposium on Photon Emission from Biological Systems. 24-26 January 1986, Wrocław, World Scientific, Hong-Kong, Singapore, 153-169.
31. Koper R.: Pre-sowing laser biostimulation of seeds of cultivated plants and its results in agrotechnics. Inter. Agrophysics, 1994, **8**: 593-596.
32. Koper R.: Urządzenie do przedsiewnej obróbki nasion promieniowaniem laserowym. Patent RP Nr 162598.
33. Koper R., Wójcik S., Kornas-Czuczwar B., Bojarska U.: Effect of the laser exposure of seeds on the yield and chemical composition of sugar beet roots. Inter. Agrophysics, 1996, **10**: 103-108.
34. Kurobaru I., Yamaguchi H., Sander C., Nilan R.A.: The effects of gamma irradiation on the production and secretion of enzymes, and on enzyme activities on barley seeds. Environ. Experiment. Bot., 1979, **19(2)**: 75-84.
35. Lampart-Szczapa E.: Białko łubinowe w żywieniu człowieka. Łubin w gospodarce i życiu człowieka. Polskie Towarzystwo Łubinowe, Poznań, 1993, 55-70.
36. Lampart-Szczapa E.: Nasiona roślin strączkowych w żywieniu człowieka. Wartość biologiczna i technologiczna. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1997, **446**: 61-81.
37. Maniak B., Targoński Z.: Przeciwtleniacze naturalne występujące w żywności. Przem. Ferm. Owoc. Warz., 1996, **4**: 7-10.
38. Podleśny J.: Wpływ przedsiewnego traktowania nasion światłem laserowym na kształtowanie się cech morfologicznych i plonowanie łubinu białego. Polskie Towarzystwo Łubinowe, Olsztyn-Kortowo, 1997, 87-92.
39. Podleśny J.: Wpływ przedsiewnego traktowania nasion promieniami laserowymi na rozwój i plonowanie bobiku (*Vicia faba minor*). Pam. Puł., 1998, **113**: 73-84.
40. Podleśny J., Podleśna A., Koper R.: Chilling tolerance of white lupine in early developmental phases – the effect of seed pre-sowing irradiation by laser. COST 814 – Crop development for the cool and wet regions of Europe. European Commission, 1997, 236-240.
41. Podleśny J., Podleśna A.: The effect of pre-sowing treatment of seeds by laser light on morphological features formation and faba bean yielding. Inter. Conf. on Agricultural Engineering, Oslo, Part II, 1998, 967-969.
42. Podleśny J.: The effect of seeds laser biostimulation on white lupine growth in differentiated moisture conditions. Acta Physiol. Plant., 1998, **20**: 64.
43. Podleśny J.: The effect pre-sowing treatment of laser light on morphological features formation and white lupine yielding. Inter. Lupin Conf. Klink/Müritz, Germany, 1999, 388-390.
44. Podleśny J.: Wpływ przedsiewnej biostymulacji laserowej nasion na wzrost i rozwój łubinu białego (*Lupinus albus* L.) w zróżnicowanych warunkach wilgotności i temperatury. Pam. Puł., 1999, **117**: 61-81.
45. Podleśny J.: Oddziaływanie światła laserowego na rozwój i plonowanie łubinu białego (*Lupinus albus* L.). Pam., Puł., 2000, **121**: 127-146.

46. Popp E.F.: Elektromagnetic Bio-information. Coherent Photon Storage of Biological Systems. Urban and Schwarzenberg, 1979, München-Vien-Baltimore.
47. Popp A.F.: Biologie des Lichts. Verlag Paul Parey Berlin und Hamburg, 1984.
48. Quickend T.L., Daniels L.L.: Attempts biostimulation of division in *Saccharomyces cerevisiae* using red coherent light. Photochem. Photobiol., **57**: 272-278.
49. Roscher P., Graniger W., Klima H.: Low-level chemiluminescence from activated polymorphonuclear leukocytes. Biochem. Biophys. Res. Commun., **123**: 1646-1651.
50. Rybiński W., Patyna H., Przewoźny T.: Mutagenic effect of laser and chemical mutagens in barley (*Hordeum vulgare* L.). Gen. Pol., 1993, **34(4)**: 337-343.
51. Sawicki B.: Plonowanie niektórych traw pod wpływem nasświetlania materiału siewnego laserem helowo-neonowym. Ann. UMCS, 1995, Sect. E, **L(9)**: 59-63.
52. Sebanek J., Kralik J., Hudecova M., Kliciva S., Slaby K., Psota V., Vitkova H., Polisenska M., Kudova D., Sterba S., Vancura J.: Growth and hormonal effects of laser on germination and rhizogenesis in plants. Acta Sc. Nat. Brno. Praga 1989, **23(9)**: 1-49.
53. Sedlak W.: Plazma fizyczna i laserowe efekty w układach biologicznych. Kosmos, 1970, A, **19**: 143-144.
54. Sedlak W.: Dynamika bioplazmy i metabolizm. Kosmos, 1975, A, **24**: 261-272.
55. Sheppard S.C., Chubey B. B.: Radiation hormesis of field-seeded broccoli, parsnip and cauliflower. Can. J. Plant Sci., 1990, **70(1)**: 369-373.
56. Slater T.F.: Free radicals in medicine. Free Rad. Res. Commun., **7**: 119-390.
57. Smith M. T.: Ultrastructural changes during imbibition in seeds of lettuce (*Lactuca sativa* L.) after gamma irradiation. Seed Sci. Technol., 1991, **19(2)**: 385-395.
58. Somogy M.: Notes on sugar determination. J. Biol. Chem., 1952, **19**, 195.
59. Stand J.: Osetreni osiva lnu laserovym ozarovanim. Rostlinna Vyroba, 1991, **37**, 223-229.
60. Swartz H.M., Bolton J.R., Borg D.C., Wiley J.: Biological applications of electron spin resonance. New York, 1972.
61. Symons M.: Chemical and biochemical aspects of Electron-Spin Resonance Spectroscopy. Van Nostrand Reinhold Company, New York-Cincinnati-Toronto-London-Melbourne, 1978.
62. Szyrmer J., Klimont K.: Wpływ światła lasera na jakość nasion fasoli (*Phaseolus vulgaris* L.). Biul. IHAR, 1999, **210**: 165-168.
63. Święcicki W.: Łubin jako roślina ekologiczna. Łubin w gospodarce i życiu człowieka. Polskie Towarzystwo Łubinowe, Poznań, 1993, 15-22.
64. Tamura K., Kishioka S., Miyashita M., Iijima K.: Stimulating effects of low-power He-Ne laser on growth of *Saccharomyces cerevisiae* under high pressure. Biotechnol. Tech., 1996, **10(5)**: 339-340.
65. Thompson K.: A comparative study of germination responses to high irradiance light. Ann. Bot., 1989, **63**: 159-162.
66. Toth M., Kerpert I., Kozma L., Klujber L.: Influence of different wave-length laser lights on the carbohydrate metabolism in germinating maize seeds. Acta Bot. Hungar., 1993, **38(1-4)**: 421-430.
67. Vasilienko V.F., Kuznetsov E.D.: Fizjologičeskie i ekologicieskie aspekty izpolzowania chimičeskoj i svetlovoj regulacii rosta rastenii. Vestnik Sielskochozjajstvennoj Nauki, 1990, **7**: 63-68.
68. Wilde W.H.A., Parr W.H., McPeak D.W.: Seeds bask in laser light. Laser Focus, 1969, **5(23)**: 41-42.
69. Wójcik S., Bojarska U.: Wpływ przedsiewnej obróbki nasion promieniami lasera na plon i jakość korzeni kilku odmian buraka cukrowego. Ann. UMCS, Sectio E, 1998, **10**: 87-96.

70. Zhidong F., Shuzhen X.: Effects of He-Ne laser upon the germinating ability of wheat seeds. *Acta Universitatis Agriculturae Boreali Occidentalis*, 1990, **18(2)**: 95-98.
71. Zhu X.D.: Genetical analysis of quantitative characters of laser-treated wheat. *Laser J.*, 1988, **9**: 167-170.

J. Podleśny

THE EFFECT OF PRE-SOWING LASER LIGHT TREATMENT ON SOME BIOCHEMICAL AND PHYSIOLOGICAL PROCESSES IN THE SEEDS AND PLANTS OF WHITE LUPINE
(*Lupinus albus* L.)

Summary

The study was conducted at the Institute of Soil Science and Plant Cultivation in Puławy, Agricultural University and University of Maria Curie-Skłodowska in Lublin. The experimental design included two factors: two morphologically different varieties of white lupine: Bardo (traditional form) and Katon (determinate form) and six doses of laser irradiation: *D0* – no irradiation, *D1* – single irradiation, *D2* – double irradiation, *D3* – 3-fold irradiation, *D4* – 4-fold irradiation, *D5* – 5-fold irradiation. Single exposition was equal to $4 \times 10^{-3} \text{ J/cm}^2/\text{s}$.

Pre-sown irradiation of seeds carried out at Physics Department, Agricultural University in Lublin significantly increased activity of amolytic enzymes in both examined forms of white lupine. The highest differentiation of enzymatic activity in irradiated and non-irradiated seeds was found 96 hours after sowing. Seeds of the traditional white lupine variety Bardo proved to have higher activity of enzymes. Irradiated seeds of both white lupine forms were found to uptake water faster and achieve larger mass during the seed imbibition, and as a result emerged earlier and steadier as compared to non-irradiated seeds. Lupine seedlings grown from irradiated seeds had, at the succeeding measurement times, hypocotyl and roots much longer than seedlings from non-irradiated seeds. Considerable increase of free radicals concentration was observed in the seeds treated with laser light before sowing and was the highest after 3- and 4-fold irradiation of seeds of both lupine varieties. There was no significant effect of seed irradiation on the concentration of free radicals in young plant organs of both examined varieties. Number of free radicals in leaves, stems and roots did not really differ from that found in the particular organs of plants grown from non-irradiated seeds. The laboratory trials did not show increased number of free radicals in seeds harvested from plants grown from irradiated seeds.

