

**ZESZYTY NAUKOWE
UNIwersYTETU
PRZYRODNICZEGO
WE WROCŁAWIU**

NR 571

**ROZPRAWY
CCLVI**

HANNA SZAJSNER

**THE ANALYSIS OF LASER RADIATION
TREATMENT EFFECTS ON GRAINS
OF SELECTED GENOTYPES OF CEREALS**

**DEPARTMENT OF GENETICS, PLANT
BREEDING AND SEED SCIENCE**



WROCLAW 2009

HANNA SZAJSNER

**ANALIZA EFEKTÓW DZIAŁANIA
PROMIENIOWANIA LASEROWEGO
NA ZIARNIAKI WYBRANYCH
GENOTYPÓW ROŚLIN ZBOŻOWYCH**

**KATEDRA GENETYKI,
HODOWLI ROŚLIN I NASIENICTWA**



WROCŁAW 2009

Opiniodawcy:

prof. dr hab. Irena Koczowska
prof. dr hab. Janusz Podleśny

Redaktor merytoryczny

prof. dr hab. Zofia Spiak

Opracowanie redakcyjne

mgr Elżbieta Winiarska-Grabosz

Korekta

Janina Szydłowska

Łamanie

Teresa Alicja Chmura

Projekt okładki

Grażyna Kwiatkowska

© Copyright by Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wrocław 2009

Utwór w całości ani we fragmentach nie może być powielany ani rozpowszechniany
za pomocą urządzeń elektronicznych, nagrywających i innych
bez pisemnej zgody posiadacza praw autorskich

ISSN 1897-208X

ISSN 1897-4732

WYDAWNICTWO UNIWERSYTETU PRZYRODNICZEGO WE WROCŁAWIU

Redaktor Naczelny – prof. dr hab. Andrzej Kotecki

ul. Sopocka 23, 50–344 Wrocław, tel./fax 071 328–12–77

e-mail: wyd@up.wroc.pl

Nakład 100 + 16 egz. Ark. wyd. 5,9. Ark. druk. 6,25

Druk i oprawa: Wydawnictwo Tekst Sp. z o.o.

ul. Kossaka 72, 85–307 Bydgoszcz

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP.....	7
2. PRZEGLĄD LITERATURY	10
2.1. Metody uszlachetniania nasion	10
2.2. Charakterystyka światła laserowego.....	12
2.3. Klasyfikacja laserów	12
2.4. Zastosowanie laserów ze szczególnym uwzględnieniem rolnictwa	13
2.4.1. Wpływ promieniowania laserowego na nasiona.....	13
2.4.2. Wpływ promieniowania laserowego na rozwój i plonowanie roślin.....	15
2.5. Rola fitohormonów w roślinie ze szczególnym uwzględnieniem IAA.....	17
2.6. Rola i znaczenie wolnych rodników	19
3. MATERIAŁ I METODY BADAŃ	21
3.1. Doświadczenie laboratoryjne „Wpływ okresu przechowywania nasion pszenicy jarej na ujawnienie się efektu stymulacji laserowej”	21
3.2. Doświadczenie laboratoryjne „Porównanie wpływu promieniowania laserowego na wybrane genotypy pszenicy, żyta i pszenżyta”	23
3.2.1. Pszenica ozima.....	23
3.2.2. Pszenica jara.....	24
3.2.3. Żyto ozime	25
3.2.4. Żyto jare.....	26
3.2.5. Pszenżyto ozime.....	26
3.2.6. Pszenżyto jare	26
3.3. Określenie liczby wolnych rodników metodą elektronowego rezonansu paramagnetycznego (EPR).....	27
3.4. Ocena zawartości kwasu indolilo-3-octowego (IAA) w nasionach.....	28
4. WYNIKI BADAŃ	29
4.1. Wpływ długości okresu przechowywania na ujawnienie się efektu stymulacji laserowej.....	29
4.1.1. Energia kiełkowania.....	29
4.1.2. Zdolność kiełkowania	32
4.1.3. Długość korzonków zarodkowych.....	37
4.1.4. Długość koleoptyla	42
4.1.5. Długość nadziemnej części siewki.....	44
4.2. Zmiany procesu kiełkowania i cech morfologicznych siewek pod wpływem biostymulacji laserowej.....	46
4.2.1. Pszenica ozima.....	46
4.2.2. Pszenica jara.....	50
4.2.3. Żyto ozime	53

4.2.4. Żyto jare	57
4.2.5. Pszenżyto ozime.....	61
4.2.6. Pszenżyto jare	64
4.3. Porównanie reakcji form ozimych i jarych badanych genotypów roślin zbożowych na światło lasera.....	68
4.4. Koncentracja wolnych rodników w ziarniakach.....	74
4.5. Zawartość kwasu indolilo-3-octowego (IAA) w ziarniakach zbóż	75
5. PODSUMOWANIE.....	78
6. DYSKUSJA.....	81
7. WNIOSKI	86
8. PIŚMIENNICTWO	88

1. WSTĘP

Jednym z warunków osiągnięcia wysokich plonów zbóż jest wprowadzenie do produkcji plennych odmian o wartościowych cechach użytkowych. Najbardziej nowoczesną metodę zwiększania bądź doskonalenia jakości produkcji rolniczej stanowi postęp biologiczny, którego udział we wzroście plonów zbóż stale się zwiększa (obecnie szacuje się go powyżej 50%). Wyznacznikami postępu są nasiona nowych odmian, gdyż decydują one o jakości i cechach użytkowych uzyskanego plonu (Górny i in. 2004, 2005).

Wśród wielu elementów plonotwórczych wymienić można czynniki, na które rolnik praktycznie nie ma żadnego wpływu, takie jak: jakość gleb, warunki pogodowe (ilość i rozkład opadów, przebieg temperatur). Szereg czynników zależy jednak od rolnika czy hodowcy, m.in.: dokładność wykonania zabiegów agrotechnicznych, jakość materiału siewnego, chemiczna ochrona roślin, nawożenie, terminowość zbioru. Jednak najlepsza odmiana nie osiągnie wysokiego plonu ziarna, jeśli do siewu użyje się materiału siewnego o niskich parametrach energii i zdolności kiełkowania. O jakości nasion decydują m.in.: czystość, wartość siewna, wykształcenie ziarna, zdrowotność, cechy odmianowe, wigor (Jassem i Sadowski 2000). Nasiona mające niską energię i zdolność kiełkowania dają słabe i nierównomierne wschody. Z ziarna wykazującego dobrą energię i zdolność kiełkowania otrzymuje się szybkie i równomierne wschody, co gwarantuje wyrównanie tempa wzrostu i rozwoju roślin, zaś część roślin rozwija się z pewnym opóźnieniem, a to zwiększa ilość poślądu w plonie.

System korzeniowy, jego wielkość i właściwości mają związek z wysokością plonu roślin uprawnych, zależność ta jest wyraźna także u zbóż (Nass, Zuber 1971, Szymańska 1982). Badania prowadzone przez Gut i Ptak (1988) nad pszenicą wykazały korelację między liczbą korzeni zarodkowych a liczbą dni do kłoszenia oraz masą 1000 ziaren zarówno dla formy jarej, jak i ozimej. Wymienione cechy zależały od formy pszenicy, u pszenicy jarej korelacja ta była dodatnia, u ozimej zaś ujemna. W przypadku pszenicy jarej dodatni wpływ liczby korzeni zarodkowych ujawniał się dopiero w warunkach stresowych (np. suszy wiosennej).

W hodowli odmian krótkosłomych ważną cechą siewek jest długość koleoptyla. Dolnicki i Kumelowska (1975) stwierdzili, że cecha ta jest skorelowana dodatnio z wysokością roślin. Ponadto obserwowano, iż wolno rosnące koleoptyle mogą być przyczyną opóźnionych i słabszych wschodów (Verma i in. 1972 – cyt. za Nalepa i in. 1975).

W związku z zastrzaniem norm ochrony środowiska dochodzi z jednej strony do ograniczania intensywności produkcji rolnej, a z drugiej, tworzą się nowe rynki, jak np. rolnictwo ekologiczne. Technologie produkcji roślinnej muszą być podporządko-

wane przede wszystkim bezpiecznemu wykorzystaniu środowiska przyrodniczego. Efekt w postaci wyższego plonu można uzyskać metodami biologicznymi przyjaznymi środowisku, a często także korzystniejszymi z punktu widzenia ekonomiki produkcji (Gruszecka 2005, Maćkowiak i in. 1993, Małuszyńska 2002). Przyspieszenie rozwoju roślin można uzyskać na drodze krzyżowań lub poprzez zabiegi przeprowadzane bezpośrednio na materiale siewnym, takie jak: hydratacyjne kondycjonowanie (pęcznienie nasion i ich suszenie powtarzane wielokrotnie), wysiew nasion podkiełkowanych, zaprawianie nasion (nawozy, regulatory wzrostu, fitohormony) – Jańczak (2000), biostymulacja laserowa (Grzesik 2000, Vasilevski i in. 1997, Cholakov i in. 2004, Szajsner 2003a). Dodatkowe nawożenie zastępuje się, wprowadzając odmianę o mniejszych wymaganiach lub lepiej wykorzystującą naturalną zasobność gleby. Stosowanie w uprawie odmian odpornych na choroby, szkodniki i niesprzyjające czynniki środowiska może spowodować ograniczenie ilości oprysków środkami chemicznymi (Arseniuk, Oleksiak 2002a,b).

Jedną z dróg zwiększenia plonu roślin jest również odpowiednie przygotowanie materiału siewnego (Grzesiuk, Kulka 1981, Podleśny 1998, Koper, Dziwulska 2003, Koper, Grochowicz 1994). Nowoczesny materiał siewny musi spełniać wiele warunków dotyczących wysokości plonu, odpowiedniej jego jakości oraz odporności (Nalepa 2003, Cichy i in. 2002). Dotychczas w przedsięwzięciu przygotowaniu materiału siewnego często stosowane są substancje chemiczne, głównie zaprawy nasienne i regulatory wzrostu. Wiele tych substancji może przenikać do wnętrza nasion, modyfikując ich skład chemiczny lub po dostaniu się do gleby powodować jej skażenie. Z tego powodu w ostatnich latach zaczęto zwracać coraz większą uwagę na fizyczne czynniki, mogące mieć zastosowanie w przygotowaniu materiału siewnego (Dziamba i in. 1996, 1999, Dziamba, Zarebski 1993, Koper 1994, Olchowik, Dziamba 1994, Phirke i in. 1996). Istotne znaczenie ma światło laserowe, które ze względu na swoją specyfikę może być stosowane do naświetlania obiektów biologicznych (Jalink i in. 1999, Volodin i in. 1990, Katańska i in. 2003). Dotychczasowe wyniki badań dotyczyły wpływu promieni laserowych na strukturę komórki oraz na powstawanie dziedzicznych zmian genetycznych, jak również wywoływania efektów stymulacji (Kozachenko, Manzyuk 1989, Salyaev i in. 2003, 2001a,b, Qi-Zhi i in. 2000).

W literaturze nie spotkano opisu doświadczeń dotyczących wpływu lasera półprzewodnikowego na materiał roślinny, większość prac dotyczy działania lasera rubinowego i helowo-neonowego (He-Ne). Drozd i Szajsner (2006) prowadziły w warunkach laboratoryjnych badania nad określeniem wpływu promieniowania laserowego na wczesne fazy rozwojowe pszenicy jarej Banti. Materiał stanowiły nasiona przechowywane przez okres 1, 2, 3 i 4 lat. Ziarno poddano naświetlaniu promieniami lasera He-Ne oraz półprzewodnikowego. Wykazano skuteczniejsze działanie biostymulujące lasera półprzewodnikowego niż gazowego He-Ne. Stwierdzono podwyższenie energii i zdolności kiełkowania oraz stymulację cech morfologicznych siewek pszenicy po zastosowaniu promieniowania lasera półprzewodnikowego.

Celem badań było określenie wpływu traktowania nasion promieniami lasera półprzewodnikowego na cechy warunkujące ich wartość siewną oraz przebieg wczesnych faz rozwojowych wybranych form jarych i ozimych roślin zbożowych. Analizowano różne genotypy pszenicy, żyta oraz pszenżyta w celu obserwacji podobieństw lub różnic

w podatności na światło laserowe. Ponadto na odmianach pszenicy jarej oceniano wpływ długości okresu przechowywania, od zbioru do siewu, na ujawnienie się efektu przed-siewnej stymulacji laserowej.

Badano również wpływ formy zboża (jara lub ozima) na ujawnienie się efektu działania promieni lasera półprzewodnikowego na ziarniaki pszenicy, żyta i pszenżyta. Z danych literaturowych (Gut, Ptak 1988) wynika, że reakcja na zastosowane czynniki jest zróżnicowana i zależna od typu rozwojowego (jary czy ozimy). Typ rozwojowy rośliny kontrolowany jest przez geny odpowiedzialne za reakcję na jaryzację, co odróżnia formy jare od ozimych. Geny warunkujące ozimność są allelami recesywnymi ujawniającymi się po upływie okresu co najmniej sześciu tygodni temperatury jaryzującej. Allele typu jarego są dominujące i nie wykazują wrażliwości na niskie temperatury. Kontrola terminu kwitnienia regulowana jest przez geny reakcji na fotoperiod. Zmiany czasu kwitnienia związane z reakcją na fotoperiod występują zarówno u form jarych, jak i ozimych (Górny i in. 2004, 2005). Złożoność w uwarunkowaniu genetycznym typu rozwojowego, tzn. jarego czy ozimego, a także różna wrażliwość odmian na proces jaryzacji mogą powodować duże zróżnicowanie reakcji genotypów na działanie światła laserowego.

Podjęto również próby zmierzające do wyjaśnienia przebiegu procesów zachodzących w nasionach roślin zbożowych bezpośrednio po poddaniu ich naświetlaniu promieniami lasera. Oceniano zawartość wolnych rodników przy zastosowaniu Elektronowego Rezonansu Paramagnetycznego (EPR) oraz porównywano ich ilość i budowę z wynikami otrzymanymi dla próbek kontrolnych. Wykonano także badania zawartości regulatora wzrostu (fitohormonu – kwasu indolilo-3-octowego, IAA) w ziarniakach kontrolnych i poddanych naświetlaniu.

Uzyskane wyniki po opracowaniu statystycznym pozwoliły na kompleksową analizę reakcji genotypów zbóż na przed-siewną biostymulację laserową.

2. PRZEGLĄD LITERATURY

2.1. Metody uszlachetniania nasion

Podstawowym środkiem produkcji roślinnej są materiały nasienne, których wysoka jakość jest jednym z najważniejszych warunków uzyskania wysokiej produktywności roślin. Współczesne metody uszlachetniania materiałów nasiennych dotyczą przede wszystkim zagadnień:

- jak zapewnić najlepszy wysiew oraz zabezpieczyć siewkom optymalne warunki startowe;
- jak ustalić ekspresję genową regulującą wigor oraz produktywność nasion, siewek i roślin;
- na jakich etapach rozwoju osobniczego i jakimi zabiegami formować wysoką jakość materiałów nasiennych (Górecki, Grzesiuk 1994, Podlaski 1992a,b, Szafirowska i in. 2002).

Rodzaj i sposób uszlachetniania nasion musi być dostosowany do założonego celu, stosowanej technologii uprawy i etapu rozwoju roślin. W praktyce stosuje się uszlachetnianie materiałów nasiennych już na roślinach macierzystych. Zabiegi są następujące: pozakorzeniowe nawożenie roślin makroskładnikami (N, P, K i S) oraz wybranymi mikroelementami (Cu, Fe, Zn, Mn) – Harder i in. (1982) stosowanie zapraw nasiennych (Jańczak 2000, Podlaski 1994, Ścibor, Magnuszewski 1994) lub traktowanie roślin regulatorami wzrostu – gibereliny, cytokininy, retardanty, morfaktyny (Grzesik 2000, Fordoński i in. 1992). W poprawianiu wartości siewnej nasion duże znaczenie może mieć opryskiwanie roślin regulatorami wzrostu w okresie ich formowania. Stosowane wówczas fitohormony wpływają na wigor, skład chemiczny, bilans fitohormonów oraz cechy anatomiczno-morfologiczne nasion. Badania nad zastosowaniem tej metody dotyczyły głównie roślin warzywnych i wykazały, że zwłaszcza gibereliny powodują spływanie spoczynku nasion i przyczyniają się do lepszego ich kiełkowania (Górecki, Grzesiuk 1994, Grzesiuk, Kulka 1981, 1988, Knypl 1979, 1983). Inne stosowane metody uszlachetniania nasion to: kalibrowanie, otoczkowanie, kapsułkowanie i taśmowanie (Domaradzki, Holcman 2000a,b, Domaradzki i in. 2000a, Domaradzki i in. 2000b, Podlaski 1994). Zabiegi te mają na celu zwiększenie rozmiarów i masy nasion drobnych, zmianę ich kształtu jak również umieszczenie na powierzchni nasion (w otoczce) substancji odżywczych, pestycydów, pożądaných mikroorganizmów itp. (Domaradzki 2000, Domaradzki, Holcman 2000a, Podlaski 1992a).

Ostatnie trzydzieści lat to okres prac nad uszlachetnianiem nasion oraz udoskonalaniem stosowanych w tym procesie metod. Podstawowym celem fizjologicznego kondycjonowania nasion jest przyspieszenie i synchronizacja wschodów roślin poprzez poddanie nasion powolnemu uwodnieniu, tak aby pierwsze dwie fazy kiełkowania, imbibicyjna i biochemiczna przebiegały w warunkach kontrolowanych (Szafrowska 2002). Proces hydratacyjnego kondycjonowania pobudza wstępne etapy kiełkowania nasion na drodze biochemicznej mobilizacji materiałów zapasowych i wzroście aktywności enzymów, zwłaszcza biorących udział w biosyntezie białek: fosfataz, peroksydaz, dehydrogenaz, syntetaz (Górecki, Grzesiuk 1994).

Dotychczas prowadzone badania wykazały korzystny wpływ poszczególnych metod kondycjonowania nasion na ich kiełkowanie oraz wschody i rozwój szeregu gatunków roślin, m.in.: marchwi, cebuli, pietruszki, selera, papryki, pszenicy, rzepaku i łubinu andyjskiego. Zabieg ten przyspieszał kiełkowanie i wschody, poprawiał ich równomierność, a niekiedy zwiększał liczbę kiełkujących nasion i wschodzących siewek (Grzesik i in. 2002, Bieniek, Strachowska 2000, Dąbrowska, Kolasińska 1995, Dąbrowska, Suchorska 1999, Dąbrowska i in. 2000). Podobne wyniki otrzymali Tulo i Dąbrowska (1993) w badaniach nad osmokondycjonowaniem nasion wczesnych odmian pomidorów. Borowski i Michałek (2006) prowadząc badania nad osmo- i matrykondycjonowaniem nasion selera i pietruszki, stwierdzili oprócz zwiększenia wysokości części nadziemnych, długości korzeni i świeżej masy siewek korzystny wpływ zastosowanych substancji na zawartość chlorofilu w liściach badanych warzyw.

Obecnie w dobie rozwoju rolnictwa ekologicznego duży nacisk kładzie się na racjonalne gospodarowanie zasobami środowiska przyrodniczego i jego ochronę. Stosowane środki chemiczne zawierające substancje aktywne powodują skażenie gleby, jak również przenikając do wnętrza nasion, wywołują zmianę ich składu chemicznego (Sylwestrzak, Stachurska 1986). Dlatego też coraz większą uwagę zaczęto zwracać na fizyczne czynniki, które nie powodując skażenia środowiska, a wpływając jedynie modyfikująco na procesy fizjologiczne, mogą znaleźć zastosowanie w uszlachetnianiu materiałów nasiennych. Do czynników takich należą m.in.: promieniowanie mikrofalowe (Olchowik, Dziamba S. 1994), pole elektryczne (Pietrzyk, Sumorek 1997, Semerak i in. 2001, Pietruszewski 2003), pole magnetyczne (Phirke i in. 1996, Pietruszewski 1993, Martinez i in. 2001, Krupczyński, Zeńczak 2003, Kornarzyński i in. 2004), promienie jonizujące (Rochalska, Muszyński 1993), światło widzialne (Dziamba S., Dziamba M. 2001), promieniowanie milimetrowe (Olchowik, Gawda 1994), promieniowanie laserowe (Rochalska, Orzeszko-Rywka 2004, Avramenko i in. 1998). W badaniach nad traktowaniem nasion promieniami gamma wykazano dodatni wpływ tego zabiegu na zdrowotność i cechy jakościowe oraz ograniczenie zasiedlenia nasion przez mikroorganizmy (Köksel i in. 1998).

Stymulacja laserowa, jako sposób na uzyskanie wzrostu plonów (Rybiński, Stawiński 2001, Dziwulska i in. 2006, Klimont 2002b), jest metodą ekologiczną, co przy obecnym zanieczyszczeniu środowiska naturalnego stanowi jej dodatkową zaletę. Istotną wydaje się możliwość wykorzystania tej metody do przerywania spoczynku nasion, ograniczenia dawek zapraw chemicznych i nawożenia mineralnego (Grzesik 2000).

Stopień poprawy procesu kiełkowania nasion i ich wigoru zależy od gatunku rośliny i odmiany oraz od jakości i żywotności nasion modyfikowanej przez czynniki środowiskowe (Grzesik i in. 2002).

2.2. Charakterystyka światła laserowego

Laser, jeden z największych wynalazków XX w., początkowo znalazł zastosowanie w technice wojskowej, następnie w przemyśle oraz medycynie (Glinkowski, Pokora 1993, Klejman 1979, Wilde i in. 1969). Najbardziej znane i najczęściej stosowane lasery to: CO₂ (głównie cięcie tkanek), Nd:YAG (koagulacja i cięcie), półprzewodnikowe (biostymulacja, koagulacja), ekscymerowe (mikrochirurgia).

W latach 70. podjęto próbę zastosowania światła laserowego do biostymulacji materiałów roślinnych.

Generator lub wzmacniacz promieniowania świetlnego, nazywany laserem działa na zasadzie wymuszonej (stymulowanej) emisji światła w zakresie od podczerwieni do ultrafioletu. Promieniowanie laserowe posiada specyficzne cechy w porównaniu do zwykłego promieniowania optycznego, tj.: monochromatyczność (jednobarwność promieniowania), spójność, kierunkowość oraz bardzo duża gęstość strumienia mocy.

Monochromatyczność oznacza, że światło lasera nie podlega rozszczepieniu w pryzmacie. Szerokość spektralna promieniowania laserowego jest bardzo mała i może osiągnąć nawet 10⁻⁷ nm, przy czym cała energia promieniowania zgromadzona jest w tym wąskim paśmie. Ułatwia to ogniskowanie wiązki laserowej i osiągnięcie bardzo małych rozmiarów ogniska. Światło białe promieniuje w szerokim obszarze widmowym, duża jego część nagrzewa tkankę, wywołując niepożądane efekty termiczne z odparowaniem tkanki włącznie. Wzrost temperatury tkanek naświetlanych promieniami lasera biostymulującego nigdy nie przekracza 1°C, w odróżnieniu od wprowadzonej do medycyny chirurgii laserowej, w której istotne jest działanie energetyczne (cieplne) wiązki laserowej.

Spójność (koherencja) oznacza taką samą fazę fal na dużych odległościach, czyli szczyty i zagłębienia układają się w jednej linii, w odróżnieniu od światła żarówki, gdzie fazy poszczególnych fal nie pokrywają się.

Kierunkowość to możliwość wysłania promieniowania na dużą odległość z minimalną zmianą jej rozmiaru (mała rozbieżność kątowna).

Ponieważ cała moc promieniowania zawarta jest w wąskiej wiązce laserowej, można po skupieniu uzyskać bardzo dużą gęstość mocy promieniowania w ognisku soczewki rzędu 10⁸ – 10¹² W/cm² (Czałyk 1987, Klejman 1979, Glinkowski, Pokora 1993).

2.3. Klasyfikacja laserów

Współcześnie istnieje kilkadziesiąt urządzeń laserowych. Ich klasyfikacja dotyczy: rodzaju ośrodka aktywnego, sposobu zasilania, długości fali, mocy generowanego promieniowania. Ze względu na rodzaj substancji laserującej wyróżniamy lasery:

- gazowe – ośrodkiem czynnym jest gaz lub mieszanina gazów (laser He–Ne); wśród gazowych wyróżnia się lasery: atomowe – wzbudzeniu ulega elektron w atomie, jonowe – zachodzi proces jonizacji, a następnie zderzenia elektronów z jądrami oraz molekularne – zmiana struktury wiązań cząsteczki;
- na ciałach stałych – ośrodek szklany lub krystaliczny, np. rubinowy lub szklany neodymowy;
- półprzewodnikowe – ośrodkiem są materiały półprzewodnikowe, np. arsenek galu oraz
- cieczowe – ośrodkiem czynnym jest barwnik organiczny w roztworze lub zawieszynie; w przeciwieństwie do większości laserów mają one możliwość emisji światła o kilku różnych długościach fali.

Klasyfikacja pod względem sposobu działania wyróżnia dwie grupy laserów: lasery działające falą ciągłą – moc lub natężenie promieniowania w wiązce jest stałe w czasie oraz lasery charakteryzujące się impulsowym działaniem. Urządzenia te można podzielić również pod względem mocy wytwarzanego promieniowania na:

- małej mocy, od 1 do 6 mW, nazywane laserami miękkimi (soft lasers),
- średniej mocy, od 7 do 500 mW, (mid lasers),
- dużej mocy powyżej 500 mW, (hard lasers).

2.4. Zastosowanie laserów ze szczególnym uwzględnieniem rolnictwa

Ze względu na sposób ich oddziaływania na tkankę żywą lasery znalazły zastosowanie jako urządzenia stosowane w chirurgii – lasery wysokoenergetyczne oraz lasery o małej i średniej mocy tzw., biostymulacyjne. Przy działaniu na tkankę promieniowania o małej mocy nie zachodzi działanie destrukcyjne, a jedynie powodujące zmianę w procesach metabolicznych (Glinkowski, Pokora 1993, Mroziejewicz i in. 1985, Kaczmarek 1986). W medycynie do biostymulacji stosowane są lasery generujące promieniowanie o długości fal 650–1000 nm, gdyż warunkuje to maksymalne głębokości wnikania promieniowania do tkanek (ok. 4 cm). W zakresie tym znajduje się czerwone promieniowanie lasera helowo-neonowego o długości fali $\lambda = 630$ nm oraz promieniowanie laserów półprzewodnikowych o zakresie długości fal od 630 do 980 nm.

2.4.1. Wpływ promieniowania laserowego na nasiona

Zarówno w hodowli, jak i w nasiennictwie krótsze czasy naświetlania wykorzystywane są do indukowania procesów biostymulacji, polegających między innymi na poprawie jakości materiałów nasiennych oraz podwyższeniu plonowania roślin (Koper 1999, Podleśny 2002, Rybiński i in. 1993). Dłuższa ekspozycja nasion na działanie światła laserowego powoduje uszkodzenia materiału genetycznego komórki i powstanie mutacji (Dudin 1983, 1991).

Przedświenne naświetlanie nasion łubinu białego promieniami lasera He-Ne powodowało przyspieszenie kiełkowania o 2–3 dni i wschodów roślin o ok. 1–2 dni w stosunku do nasion kontrolnych. Zastosowana dawka miała istotny wpływ na liczbę kiełkujących nasion. Trzy- i pięciokrotne naświetlanie zwiększyło odpowiednio o 11,9 i 10,2% kiełkowanie oraz o 8,8 i 6,6% wschody roślin (Podleśny 1999).

Stwierdzono, że światło laserowe lepiej wykorzystywane jest przez formy nagonasienne niż oplewione (Rybiński, Garczyński 2004). Podobne efekty otrzymali Drozd i in. (2004) w badaniach nad wpływem promieni laserowych na formy oplewione i nieoplewione owsa. Odmiany nagoziarniste Polar i Akt po zastosowaniu przedświnnego naświetlania wytwarzały najdłuższą nadziemną część siewki, odpowiednio: 124,9 i 119,1 mm.

Podleśny (2000a,d, 2002) w swoich badaniach nad wpływem promieni laserowych na nasiona łubinu białego odmian Bardo i Katon stwierdził istotny wzrost aktywności enzymów amylolitycznych. Ponadto wykazał, że naświetlone nasiona łubinu bardziej zwiększyły masę podczas pęcznienia. Promieniowanie laserowe wpłynęło również istotnie na koncentrację wolnych rodników wyżej wymienionych odmian łubinu białego. Koncentracja rodników wzrastała do pewnej granicy wraz ze zwiększaniem dawki promieniowania, a po osiągnięciu maksymalnej wartości zmniejszała się. Podobne efekty dotyczące zwiększenia liczby wolnych rodników w naświetlonym materiale nasiennym otrzymały Drozd i Szajnsner (2001). Stymulację aktywności enzymatycznej alfa-amylazy po zastosowaniu promieniowania laserowego obserwowano również w nasionach pszenicy ozimej (Galova 1996) oraz pszenżyta (Drozd i in. 2003).

Badania prowadzone przez Podleśnego i Stochmal (2004) wykazały istotny wpływ przedświnnego naświetlania nasion łubinu białego i bobiku na aktywność enzymatyczną w napromieniowanych nasionach. Największą różnicę w aktywności enzymów amylolitycznych, między nasionami naświetlanymi i kontrolnymi, stwierdzono po upływie 96 godz. od wysiewu.

Pod wpływem światła lasera nastąpiła stymulacja androgenicznego rozwoju pyłku wyrażona liczbą kalusów u wybranych odmian pszenżyta ozimego (Katańska i in. 2003).

W doświadczeniu nad wpływem światła laserowego He-Ne na przeżywalność grzybów w nasionach rzepaku Dakowska i in. (2001) stwierdzili, dla niektórych odmian i mikroorganizmów, wprost proporcjonalną zależność pomiędzy długością naświetlania a zdrowotnością nasion. Liczba kolonii grzybów uległa znacznemu zmniejszeniu zwłaszcza w przypadku rzepaku jarego. Zjawisko to obserwowano przy krótszych czasach naświetlania wynoszących 30 i 90 minut. Przy dłuższym naświetlaniu – 120 i 180 minut liczba nasion z objawami porażenia niejednokrotnie przewyższała te wartości, a nawet wartości uzyskiwane dla wariantów kontrolnych.

Rybiński i in. (1993) stwierdzili, że laser może być stosowany do wywoływania stymulacji oraz indukowania mutacji u jęczmienia. Wyniki te mogą potwierdzać obserwacje prowadzone przez Rafalskiego, Wiśniewską i Klimonta, którzy otrzymali zmiany fragmentów DNA po zastosowaniu światła lasera do przedświnnego traktowania nasion jęczmienia (Rafalski i in. 2001). Podwyższenie wartości indeksu mitotycznego, jak również zaburzenia mitozy w komórkach merystematycznych korzonków zarodkowych

uzyskanych z napromieniowanych nasion pszenicy jarej obserwowano w swych badaniach Szajsner (1999a).

2.4.2. Wpływ promieniowania laserowego na rozwój i plonowanie roślin

W doświadczeniach polowych nad wpływem promieniowania laserowego na genotypy pszenicy jarej oceniano cechy morfologiczne roślin oraz parametry struktury plonu. Wykazano duże zróżnicowanie w podatności badanych odmian pszenicy jarej na działanie przedsięwziętego naświetlania promieniami lasera. W przypadku struktury plonu jedynie trzy spośród badanych cech wykazały istotną reakcję: liczba kłosek w kłosie, długość kłosa i jego zbiżość. Na otrzymane wyniki doświadczenia polowego duży wpływ wywarły warunki pogodowe (Szajsner 1999b). Cvetkovic i in. (1996) w doświadczeniach polowych z uprawą pszenicy ozimej stwierdzili skrócenie okresu wegetacji roślin wyrosłych z ziarniaków traktowanych promieniami lasera. Podobne efekty obserwowali Gieroba i in. (1995) w uprawie kukurydzy.

W badaniach nad zastosowaniem przedsięwziętego naświetlania ziaren jęczmienia otrzymano wzrost powierzchni liścia flagowego i podflagowego oraz zwiększenie masy ziaren z kłosa i masy 1000 ziaren (Klimont 2002a). Rybiński i Garczyński (2003), stosując w badaniach nad oplewionymi i nieoplewionymi liniami DH jęczmienia jarego napromieniowanie światłem lasera He-Ne, wykazali zwiększenie powierzchni liścia flagowego i podflagowego w porównaniu z roślinami kontrolnymi. Pod względem intensywności przebiegu fotosyntezy nie obserwowano dla obu form istotnych różnic wywołanych zastosowanym światłem lasera, natomiast stwierdzono obniżenie intensywności transpiracji. Ponadto rośliny wyrosłe z napromieniowanych ziarniaków charakteryzowały się wyższym wzrostem, długością kłosa oraz polepszeniem niektórych elementów plonowania. Rybiński i in. (2002) w badaniach nad uzyskiwaniem haploidów u jęczmienia jarego stwierdzili, że naświetlanie pyłku *H. bulbosum* dawką światła lasera wpłynęło na wzrost efektywności zastosowania metody bulbosowej, wyrażony stosunkiem liczby ziarniaków do zapylonych kwiatków oraz liczbą otrzymanych haploidów wyłożonych zarodków i zapylonych kwiatków. W doświadczeniu Rybińskiego i in. (2001), dotyczącym stymulacji i rozwoju roślin, a także niedojrzałych haploidalnych zarodków, wykazano istotny wpływ promieni lasera o długości fali 632 nm na liczbę udanych zapyleń.

W doświadczeniu nad wpływem stymulacji nasion koniczyny czerwonej światłem laserowym Wilczek i Fordoński (2007) obserwowali istotny wzrost intensywności fotosyntezy po zastosowaniu najwyższych dawek. Dla roślin odmiany Bona, wyrosłych z naświetlonych nasion, stwierdzili istotnie wyższą transpirację w porównaniu z obiektem kontrolnym. Badania prowadzone m.in. przez Dziwulską i in. (2006) oraz Pastore i in. (1996) wykazały, że przedsięwzięte naświetlanie nasion promieniami lasera przyczynia się do stymulacji ATP oraz wzrostu suchej i zielonej masy dzięki zwiększeniu niektórych elementów struktury plonu.

Z badań Podleśnego (2000c) wynika, że zastosowane przedsięwzięte światło lasera He-Ne modyfikuje wzrost i rozwój roślin łąbinu białego. Z nasion potraktowanych

promieniami lasera wyrastały na ogół wyższe rośliny, o istotnie większych liściach – od 12,5% dla odmiany Bardo do 18,0% dla odmiany Katon. Ponadto rośliny otrzymane z nasion naświetlonych miały większą długość pędu ze strąkami, co było dodatnio skorelowane z plonem (Podleśny 2000c). Zabieg przedsewnego traktowania nasion promieniami lasera miał istotny wpływ na tempo gromadzenia suchej masy w roślinach łubinu białego. Trzykrotne naświetlenie zwiększyło plon suchej masy o 21,4%, a pięciokrotne o ok. 16,0% (Podleśny 2000b). W doświadczeniach nad dynamiką gromadzenia suchej masy bobiku Podleśny i Lenartowicz (2000) stwierdzili, stosując zróżnicowane dawki promieniowania laserowego, że dawka trzykrotnego naświetlania nasion wpływa korzystniej na dynamikę gromadzenia masy części nadziemnej, natomiast pięciokrotne naświetlanie – na zwiększenie suchej masy korzeni bobiku. Ponadto efektem naświetlania nasion było przyspieszenie wschodów i dojrzewania bobiku (Koper i in. 2002a). Lipski i in. (1996) w badaniach nad mieszańcami kukurydzy obserwowali zwiększenie plonu ziarna o 12,6%, wskutek zwiększenia liczby roślin z prawidłowo wykształconymi kolbami oraz zmniejszenia masy części wegetatywnych roślin po zastosowaniu przedsewnego naświetlania nasion. Koper i in. (2001b) stwierdzili istotny korzystny wpływ zastosowania przedsewniej biostymulacji laserowej (laser He-Ne) ziarniaków kukurydzy na wartość paszową plonów. Pozytywny efekt dotyczył zarówno wielkości, jak i jakości plonów, czyli zawartości białka, tłuszczu oraz kwasów tłuszczowych. Pod wpływem promieniowania laserowego zmianom ulegają także właściwości fizykochemiczne plonów (Koper i in. 2000). Po naświetleniu nasion bobiku odmian Tim i Nadwiślański promieniami lasera He-Ne obserwowano istotne zmiany w procentowej zawartości białka i tłuszczu w nasionach, a także zawartości niektórych mikro- i makroelementów. W badaniach polowych nad przedsewną biostymulacją laserową nasion bobiku Koper i in. (2001a) stwierdzili zwiększenie odporności roślin na niesprzyjające warunki pogodowe. Ponadto wystąpił wzrost plonów dla odmiany Nadwiślański i Tim o: 16,6 i 32,14% w stosunku do kontroli. Naświetlanie nasion wpłynęło także na zmniejszenie zawartości metali ciężkich w nasionach. Zawartość ołowiu zmniejszyła się dla nasion odmiany Tim i Nadwiślański odpowiednio o: 8,03 i 5,58%, zawartość kadmu odpowiednio o: 37,9 i 10,52% w stosunku do grupy kontrolnej. Zmniejszyła się również średnio o 13,4% zawartość żelaza i o 46,8% zawartość cynku w nasionach bobiku.

Wpływ promieniowania laserowego na wysokość plonów roślin warzywnych badali m.in. Koper i Kornas-Czuczwar (1996) oraz Klimont (2002c). Materiałem do badań były: jedna odmiana pomidorów szklarniowych i gruntowych oraz dwie odmiany ogórków szklarniowych. Stwierdzono istotny pozytywny efekt zastosowania promieni laserowych. Światło lasera oprócz zwiększania plonów otrzymanych z roślin wyrosłych z naświetlonych nasion często wpływa też na jakość plonów. Efekty takie otrzymali Koper i Rybak (2000) w badaniach nad biostymulacją nasion pomidorów szklarniowych. Promieniowanie laserowe wpłynęło korzystnie na przedłużenie czasu przechowywania owoców pomidora. Ponadto owoce te były bardziej odporne na odkształcenia, zawierały więcej ekstraktu i charakteryzowały się mniejszą kwasowością. Szyrmer i Klimont (1999) badali wpływ światła lasera na jakość nasion fasoli odmiany Proсна. W doświadczeniu obserwowano wpływ 2-, 4-, i 6-krotnego naświetlania. Rośliny z nasion napromieniowanych wyższymi dawkami były większe, jak również poprawie uległa energia

i zdolność kiełkowania otrzymanych z nich nasion. Badania z zastosowaniem światła lasera jako czynnika uszlachetniającego nasiona prowadzono również u buraka cukrowego. Użyto zróżnicowanych dawek promieni lasera He-Ne, 1-, 2-, 3- i 4-krotność dawki podstawowej. Notowano zwiększenie plonu po dwukrotnym, a wzrost zawartości cukru po trzykrotnym naświetleniu nasion (Wójcik, Bojarska 1999). Koper i in. (1999) użyli promieni lasera do przedsięwziętego traktowania nasion łubinu odmian Bardo, Hetman i Wat. Badając wpływ naświetlania na właściwości mechaniczne plonów (wytrzymałość okrywy nasiennej), stwierdzili, że najwyższą wytrzymałość na zgniatanie miały nasiona z kombinacji – trzykrotność dawki podstawowej, najniższą w próbach 5-krotnie naświetlanych.

Istotny wpływ światła laserowego obserwowano w doświadczeniach z nasionami marchwi. Stwierdzono obniżenie zawartości suchej masy, włókna surowego oraz K, Ca, Mg, Fe. Równocześnie obserwowano wzrost koncentracji cukrów redukujących i rozpuszczalnych, a także zawartości Cu, Zn, Pb, Cd i Ni w korzeniach marchwi (Mikos-Bielak, Koper 2003).

2.5. Rola fitohormonów w roślinie ze szczególnym uwzględnieniem IAA

Bardzo ważnym czynnikiem regulującym i kierującym podstawowymi procesami fizjologicznymi są hormony roślinne (fitohormony). Występują one w roślinach powszechnie i wykazują aktywność biologiczną w bardzo małych stężeniach (10^{-6} – 10^{-8} M), wykluczających ich funkcje odżywcze i budulcowe. Wpływają na rozwój roślin w całym cyklu życiowym, od kiełkowania do rozmnażania. Charakterystyczną cechą fitohormonów jest ich tzw. działanie plejotropowe polegające na indukowaniu przez ten sam związek odrębnych reakcji fizjologicznych w różnych komórkach docelowych. Uważa się, że działanie fitohormonów związane jest z ich udziałem w regulacji ekspresji genów (Jakubowska 2004). Auksyny regulują procesy zachodzące na poziomie komórkowym między innymi: wzrost wydłużeniowy, podziały i różnicowanie, co prowadzi do zmian całej rośliny (np. zjawisko dominacji wierzchołkowej, wydłużanie korzenia, ukorzenianie, fototropizm czy geotropizm) – Jankiewicz (1997). Jednym z najwcześniej poznanych fitohormonów jest IAA (kwas indolilo-3-octowy) – rysunek 1. W roślinach występuje on zarówno we frakcji wolnej, jak i związanej, ale aktywność biologiczną posiada jedynie frakcja wolna (Wright i in. 1991). Efekty działania auksyn są zależne od stężenia hormonu, wrażliwości tkanki na IAA oraz od stosunku IAA do innych fitohormonów. Stężenie auksyn, które indukują wydłużanie się komórek łodygi, jest za wysokie dla komórek korzenia i hamuje jego wzrost (Jakubowska i in. 2001).

Znanych jest pięć grup hormonów roślinnych: auksyny, gibereliny, cytokininy, etylen i kwas abscysynowy. Wśród głównych procesów biochemicznych, fizjologicznych oraz biologicznych regulowanych działaniem fitohormonów wymienia się:

- syntezę enzymów,
- wzrost roślin,

- podział komórek i ich zróżnicowanie
 - rozwój roślin,
 - dojrzewanie i starzenie się tkanek. (Szajdak 2004)
- Główną auksyną wykrytą u roślin jest kwas indolilo-3-octowy (IAA).



Rys. 1. Kwas indolilo-3-octowy (IAA)
Fig. 1. Indolilo-3-acetic acid (IAA)

Miejszem biosyntezy IAA są głównie merystemy wierzchołkowe pędów i młode liście oraz, w niewielkim stopniu, dojrzewające nasiona i starsze liście. W młodych tkankach, w których związki te powstają, ma miejsce tzw. transport polarny, który odbywa się od wierzchołka do podstawy pędu. Szybkość polarnego przepływu IAA w izolowanych tkankach roślinnych wynosi od 5 do 20 mm/godz., auksyny syntetyczne przemieszczają się wolniej. Auksyny są przemieszczane najszybciej w temp. 20–30°C sprzyjającej działaniu większości enzymów. Transport ten jest procesem wymagającym energii – hamują go brak tlenu, a także inhibitory oddychania (Szydło 2003, Banasiak 2003).

Kwas indolilo-3-octowy (IAA) występuje w roślinach w formie wolnej oraz związanej. W formie wolnej posiada on większą aktywność biologiczną niż w formie związanej, gdzie połączony jest za pośrednictwem wiązań estrowych z cukrami lub peptydowych z aminokwasami. Zarówno IAA, jak i jego pochodne określane są jako hormony wzrostu – auksyny (Cohen i Bandurski 1982). Uważa się, że u roślin funkcjonuje kilka szlaków biosyntezy IAA. Niektórzy autorzy (Normanly 1997, Bartel 1997) sugerują, że biosynteza IAA zależna od tryptofanu dominuje we wczesnej embriogenezie i podczas kiełkowania nasion, natomiast w późnej embriogenezie i w czasie wzrostu wegetatywnego IAA syntetyzowany jest z indolu lub indolilo-3-fosfoglicerolu.

Pomimo licznych prób wyjaśnienia nadal istnieje wiele wątpliwości co do mechanizmu działania IAA. Działaniu tej auksyny towarzyszy deformacja i rozciąganie ścian komórkowych, w związku z czym przypuszcza się, że indukuje ona syntezę enzymów katalizujących przemiany komponentów ścian komórkowych roślin – celulozy, hemicelulozy, białek i substancji pektynowych (Szajdak 2004). Jedną z koncepcji wyjaśniających wpływ IAA na wzrost roślin zakłada, że indukuje on mRNA – proces ten rozpoczyna się już po 2,5 min od absorpcji IAA przez komórki roślinne (Cohen i Bandurski 1982). Druga teoria zakłada wywoływanie przez auksynę następujących reakcji:

- wydzielanie protonów na zewnątrz komórki,
- podwyższanie potencjału polaryzacji błony komórkowej,
- wydłużenie komórki.

Według Kączkowskiego (1984) funkcje IAA są następujące:

- przyspieszanie wzrostu podłużnego komórek,
- stymulowanie podziału komórek w kambium, szczególnie drzew liściastych,
- stymulowanie wzrostu komórek korzeniowych przy wytwarzaniu korzeni bocznych i przybyszowych,
- stymulowanie podziału komórek w kulturach tkankowych,
- hamowanie wzrostu pędów bocznych i ułatwianie wzrostu pędu głównego,
- udział w mechanizmie powodującym opadanie liści i owoców,
- indukowanie wytwarzania owoców bez zapłodnienia (partenokarpia),
- stymulowanie lub hamowanie syntezy enzymów z grupy hydrolaz oraz oksydaz,
- udział w dojrzewaniu i starzeniu się tkanek owoców po zbiorze.

Zasadniczy problem w badaniach nad mechanizmem działania IAA stwarza fakt, iż stymulowany przez auksynę wzrost roślin można obserwować już po upływie 10–15 min od absorpcji jej do komórki (Szajdak 2004).

2.6. Rola i znaczenie wolnych rodników

Wolne rodniki to atomy lub cząsteczki zawierające co najmniej jeden niesparowany elektron. Wykazują one dużą aktywność chemiczną, gdyż dążąc do przyłączenia lub oddania elektronu, powodują szybkie utlenianie związków. Mogą być obojętne elektrycznie, posiadać ładunek ujemny (anionorodniki) lub dodatni (kationorodniki). Cząsteczka jakiegokolwiek związku chemicznego po zjonizowaniu lub wzbudzeniu może ulec rozpadowi na jony i wolne rodniki. Proces ten może zaistnieć np. pod wpływem promieniowania jonizującego (Symons 1987, Muszyński 1970). W materii żywej promieniowanie jonizujące działa nie tylko na wodę. Jonizacja we wnętrzu komórki może doprowadzić do uszkodzenia kwasów nukleinowych w jądrze komórki, powodując rozregulowanie podstawowych jej funkcji. Szkodliwe działanie wolnych rodników sprowadza się do tego, iż bardzo łatwo reagują one z białkami, tłuszczami czy kwasami nukleinowymi. Najczęściej zostaje zakłócona synteza białek (w tym enzymów), może również dojść do zmian w strukturze genów, a następnie do powstania mutacji – zmian i zaburzeń cyklu genetycznego. Obecność wolnych rodników w tkankach biologicznych ma związek z bardzo ważnymi i korzystnymi funkcjami – mechanizmami obronnymi, ale nadmiar ich jest szkodliwy.

Dotychczas spotkano niewiele opracowań dotyczących roli wolnych rodników w roślinach. W przypadku tkanek roślinnych promieniowanie jonizujące jak i ultradźwięki inicjują proces powstawania w białkach złożonych wolnych rodników. Aktywne ogniska rodnikowe powstałe w nasionach poddanych działaniu jonizacji lub ultradźwięków mogą tworzyć w reakcji z tlenem nadtlenki. Reakcje te powodują zmiany w wewnętrznych warstwach protoplazmy, przez co wzrasta aktywność enzymów hydrolitycznych – zwiększa się pobieranie wody przez nasiona. Zwiększenie zawartości wody w nasionach bezpośrednio wpływa na uruchomienie substancji zapasowych, co przyspiesza proces wschodów, a także wzrost i rozwój roślin (Grzesiuk, Kulka 1988). Skutkiem tych zmian

może być przerwanie spoczynku względnego nasion oraz przyspieszenie wzrostu i rozwoju roślin (Podleśny 2002). Przypuszcza się również, że starzenie nasion rozpoczyna się od procesów oksydacyjnych, w następstwie których zachodzi rozpad fosfolipidów, denaturacja białek oraz tworzą się bardzo reaktywne wolne rodniki o właściwościach toksycznych i mutagennych (Duczmal, Tucholska 2000).

3. MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Doświadczenia laboratoryjne prowadzono w Katedrze Genetyki, Hodowli Roślin i Nasiennictwa Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Ziarniaki badanych form zbóż (pochodzące z jednego roku zbioru), zarówno kontrolne, jak i poddane naświetlaniu promieniami laserowymi umieszczano w komorze do hodowli roślin typu SANYO MLR – 351 H.

3.1. Doświadczenie laboratoryjne „Wpływ okresu przechowywania nasion pszenicy jarej na ujawnienie się efektu stymulacji laserowej”

Badanymi genotypami z gatunku pszenica jara były odmiany: Koksza, Korynta, Kosma, Nawra, Olimpia, Vinjett i Zebra (Listy Opisowe Odmian – COBORU).

Odmiana: KOKSA

Pochodzenie: Star x Eta

Wpis do Rejestru Odmian: 2000 r.

Odmiana typu jakościowego (grupa A), charakteryzuje się dobrą zdrowotnością, szczególnie dużą odpornością na mączniaka. Rośliny o przeciętnej wysokości i średniej odporności na wyleganie. Odmiana o dużej zawartości białka i glutenu, wymagania glebowe przeciętne, MTZ – 41,3 g.

Odmiana: KORYNTA

Pochodzenie: Star x Sokrates

Wpis do Rejestru Odmian: 2002 r.

Odmiana przydatna na cele młynarsko-piekarskie. Wartość technologiczna dobra – grupa jakościowa (A). Charakteryzuje się dość dużą odpornością na rdzę brunatną i septoriozy. Rośliny średniej wysokości, o dość małej odporności na wyleganie. Ziarno o dużej zawartości białka i bardzo dużej zawartości glutenu, MTZ – 40,2 g.

Odmiana: KOSMA

Pochodzenie: Eta x POA 3510/80/1

Wpis do Rejestru Odmian: 2002 r.

Wartość technologiczna odmiany dobra – grupa (A), forma przydatna na cele młynarsko-piekarskie. Odporność na septoriozę liści i fuzariozę kłosów dość duża. Rośliny średniej wysokości i odporności na wyleganie. Ziarno o dużej zawartości białka i glutenu, MTZ – 36,4 g.

Odmiana: NAWRA

Pochodzenie: Herold x (HEC 1148/78 x M 279/74)

Wpis do Rejestru Odmian: 1999 r.

Odmiana klasy A. Forma o bardzo dobrej wartości wypiekowej i wysokiej zawartości białka i glutenu w ziarnie. Charakteryzuje się odpornością na porastanie i osypywanie, rośliny dość niskie, odporne na wyleganie. Odmiana plenna w skali kraju, odporna na choroby. Przystosowana do warunków intensywnej uprawy, MTZ – 42,5 g.

Odmiana: OLIMPIA

Pochodzenie: (Solitaire x KOC 1052/82) x Henika

Wpis do Rejestru Odmian: 2001 r.

Odmiana jakościowa – grupa (B). Charakteryzuje się przeciętną odpornością na choroby oraz dużą odpornością na wyleganie i rdzę brunatną. Odmiana łącząca w sobie wysokie plonowanie z dobrą jakością technologiczną. Wymagania glebowe przeciętne, MTZ – 38,6 g.

Odmiana: VINJETT

Pochodzenie: (Tjalve M14 X Tjalve M 15) x Canon

Wpis do Rejestru Odmian: 2000 r.

Odmiana szwedzkiej firmy SVALOV WEIBULL, klasa jakościowa (E). Plonuje bardzo dobrze i dobrze w całym kraju. Odporna na mączniaka i rdzę. Rośliny niskie, odporne na wyleganie. Ziarno o wysokiej zawartości białka i glutenu oraz dużej wydajności ogólnej mąki. Vinjett posiada przeciętne wymagania glebowe i dobrą odporność na suszę, MTZ – 41,0 g.

Odmiana: ZEBRA

Pochodzenie: Ralle x Dragon

Wpis do Rejestru Odmian: 2001 r.

Odmiana szwedzkiej firmy SVALOV WEIBULL, zaliczana do grupy elitarniej (E) o bardzo dobrej jakości technologicznej. Rośliny średnio wysokie, odporne na wyleganie. Zebra odznacza się dobrą zdrowotnością i plennością. Ziarno o dużej zawartości białka i glutenu o bardzo dobrej jakości. Pszenica o średnich wymaganiach glebowych, MTZ – 40,5 g.

Materiał nasienny pszenicy jarej, przeznaczony do badań nad wpływem okresu przechowywania na ujawnienie się efektu przedśiewnego naświetlania promieniami lasera, przechowywano (od września do marca) w warunkach stałej temperatury i wilgotności. Ziarniaki badanych genotypów pszenicy, żyta i pszenżyta pochodziły z jednej miejscowości – Hodowla Roślin Smolice Sp. z o. o.

Trzyczynnikowy eksperyment, trwający siedem miesięcy, prowadzono na siedmiu genotypach pszenicy jarej, zakładając doświadczenie raz w miesiącu przez okres od zbiorów nasion do siewu (od września do marca). Pierwszy czynnik stanowiły badane genotypy (A), drugi – zastosowane dawki promieniowania laserowego (czynnik B), trzeci – czas przechowywania ziarna (C). Przeprowadzane trzyczynnikowe doświadczenia laboratoryjne zakładane były metodą serii niezależnych w trzech powtórzeniach – po 100 nasion w powtórzeniu.

W doświadczeniach laboratoryjnych do przedświejnej stymulacji użyto światła lasera półprzewodnikowego typ CTL – 1106 MX o mocy 200 mW i długości fali 670 nm. Powierzchnię naświetlaną ustalano za pomocą współpracującego z laserem skanera model CTL 1202 S. Zastosowano dawki: trzy- (D_3) i pięciokrotne (D_5) naświetlanie dawką podstawową wynoszącą $2,5 \cdot 10^{-1} \text{J} \cdot \text{cm}^{-2}$ oraz wariant kontrolny (K) – ziarniaki nie poddane naświetlaniu.

Ziarno pszenicy jarej przechowywano przez okres siedmiu miesięcy: pierwszym miesiącem od zbiorów był wrzesień (I), ostatnim – marzec (VII).

W doświadczeniu oceniano energię i zdolność kiełkowania – zgodnie z Międzynarodowymi Przepisami Oceny Nasion ISTA 2007 na nasionach czystych. Ziarniaki kontrolne i poddane naświetlaniu promieniowaniem laserowym umieszczano w plastikowych kuwetach wyłożonych bibułą filtracyjną zwilżoną wodą destylacyjną. Ziarniaki pszenicy jarej (kontrolne i naświetlane) umieszczano w kabinie kiełkowniczej w kontrolowanych warunkach temperatury i wilgotności. Ponadto dokonano pomiarów cech morfologicznych siewek wyrosłych z ziarniaków kontrolnych i naświetlanych: długości korzonków zarodkowych, koleoptyli i nadziemnych części siewek.

Wyniki otrzymane z doświadczeń opracowano statystycznie zgodnie z metodyką właściwą dla trzyczynnikowego doświadczenia laboratoryjnego. Oceniano zmienność odmian, dawek światła laserowego, miesięcy przechowywania oraz interakcje podwójne i potrójną między tymi czynnikami. Zastosowano test F w celu określenia istotności różnic między wariantami zastosowanymi w doświadczeniu. W tabelach zamieszczono wartości średnie oraz podano wartości NIR, na podstawie których wyodrębniono grupy jednorodne, stosując test Duncana. Układ obiektów w grupach dla poszczególnych badanych cech został omówiony w tekście pracy.

3.2. Doświadczenie laboratoryjne „Porównanie wpływu promieniowania laserowego na wybrane genotypy pszenicy, żyta i pszenżyta”

3.2.1. Pszenica ozima

Badanymi genotypami były odmiany: Almari, Kobra, Korweta, Tortija oraz ród SMH 6780.

Odmiana: ALMARI

Pochodzenie: Maris Huntsman x Alcedo

Wpis do Rejestru Odmian: 1989 r.

Odmiana typu paszowego, charakteryzująca się małą odpornością na mróz. Wysoki stabilny plon, bardzo dobra zdrowotność, może być uprawiana bez stosowania fungicydów. Wydajność mąki dobra, odporność na porastanie w kłosach duża, wyrównanie słabe, liczba opadania stosunkowo duża do dużej, zawartość białka średnia, szklistość ziarna dość duża, MTZ – 49,0 g.

Odmiana: KOBRA

Pochodzenie: (Maris Huntsman x Krasnodarska 39) x (Mironowska 808 x Luna)

Wpis do Rejestru Odmian: 1992 r.

Odmiana zaliczona do klasy technologicznej B. Mrozoodporność średnia, duża odporność na rdzę brunatną, dość mała na septoriozę i mączniaka. Odporność na wyleganie duża, plenność przeciętna, wymagania glebowe większe, MTZ – 45,3 g.

Odmiana: KORWETA

Pochodzenie: CHD 3672/72/77 x Gamma

Wpis do Rejestru Odmian: 1997 r.

Odmiana jakościowa grupy A, mrozoodporność mała, plenność poniżej wzorca, zdrowotność dobra, odporność na wyleganie średnia. Zawartość białka duża, szklistość duża, wymagania glebowe średnie, MTZ – 44,5 g.

Odmiana: TORTIJA

Pochodzenie: Alidos x Jawa

Wpis do Rejestru Odmian: 2000 r.

Odmiana typu chlebowego (klasa B), mrozoodporność mała do bardzo małej. Odporność na porastanie średnia, MTZ – 42,0 g.

3.2.2. Pszenica jara

Badanymi genotypami były odmiany: Jasna i Opatka oraz rody: SMH 73, SMH 113 i SMH 267.

Odmiana: JASNA

Pochodzenie: Eta x Kokart

Wpis do Rejestru Odmian: 1996 r.

Odmiana należąca do grupy jakościowej A. Plonuje wysoko i bardzo stabilnie. Wyróżnia się dobrą zdrowotnością i odpornością na wyleganie. Duża odporność na rdzę żółtą i septoriozę liści i plew. Ziarno szkliste o dużej zawartości białka, MTZ – 38,5 g.

Odmiana: OPATKA

Pochodzenie: (WW22057 x Eta) x Sokrates

Wpis do Rejestru Odmian: 1999 r.

Forma należąca do grupy jakościowej A. Odmiana odporna na rdzę brunatną, żdźbłową i żółtą. Odporna na wyleganie. Wydajność mąki dobra do bardzo dobrej. Szczególnie polecana w północnych rejonach kraju, przydatna na gleby słabsze, MTZ – 39,2 g.

3.2.3. Żyto ozime

Badanymi formami były odmiany: Bosmo, Hegro, Rostockie, Wibro i Zduno.

Odmiana: BOSMO (d. SMH 1398)

Pochodzenie: SMH 69 x SMH 70

Wpis do Rejestru Odmian: 2001 r.

Odmiana populacyjna, przeznaczona na ziarno, zimotrwałość i zdrowotność dobra, rośliny dość wysokie o średniej odporności na wyleganie i porastanie, wysokoplenna. Wyróżnia ją wśród innych odmian populacyjnych i mieszańców F₁ uprawianych w Polsce wysoki stopień odporności na rdzę brunatną (*Puccinia dispersa*) i mączniaka prawdziwego traw (*Erysiphe graminis f. secalis*), MTZ – 34,1 g.

Odmiana: HEGRO

Pochodzenie: Motto x SMH 58

Wpis do Rejestru Odmian: 1999 r.

Odmiana populacyjna, plonuje wysoko i stabilnie na terenie całego kraju, dobra zimotrwałość i odporność na wyleganie, odporna na choroby (mączniak, rdza brunatna i żdźbłowa, ryńhosporioza) oraz na porastanie, MTZ – 34,7 g.

Odmiana: ROSTOCKIE

Pochodzenie: (SMH209 x SMH 69) x (SMH 210 x SMH 70)

Wpis do Rejestru Odmian: 2002 r.

Odmiana populacyjna, stabilnie wysokoplenna, nie wylega, odporna na rdzę brunatną (*Puccinia dispersa*) i mączniaka prawdziwego traw (*Erysiphe graminis f. secalis*) i rdzę żdźbłową (*Fusarium nivale*). Tolerancyjne wobec kompleksu chorób zgnilizny korzeni, siewek i podstawy żdźbła, MTZ – 33,6 g.

Odmiana: WIBRO

Pochodzenie: (d. SMH 590)

Wpis do Rejestru Odmian: 1994 r.

Odmiana plonuje wysoko i stabilnie na terenie całego kraju, zimotrwałość i odporność na wyleganie oraz choroby dobra, MTZ – 36,4 g.

Odmiana: ZDUNO

Pochodzenie: SMH 61 x Motto

Wpis do Rejestru Odmian: 1996 r.

Przeznaczona do uprawy na ziarno, wysokość roślin średnia, odporność na wyleganie przeciętna. Ziarno średnio wyrównane o przeciętnej zawartości białka, MTZ – 33,4 g.

3.2.4. Żyto jare

Badanymi formami była odmiana Abago i ród SMH 301.

Odmiana: ABAGO

Pochodzenie: Strzekęcińskie x SMH 51-1

Wpis do Rejestru Odmian: 1999 r.

Odmiana populacyjna, odporna na wiosenne przymrozki, przydatna do uprawy na glebach średnich i lekkich, MTZ – 35,4 g.

3.2.5. Pszenżyto ozime

Badanymi formami były odmiany: Lamberto i Voltario oraz rody: SMH 246-25, SMH 246-39, SMH 404.

Odmiana: LAMBERTO (d. CHD 1295)

Pochodzenie: (CT 929/84 x Moniko) x Presto

Wpis do Rejestru Odmian: 1998 r.

Odmiana o przeciętnej mrozoodporności, dość dobrej zdrowotności, średnio wysoka o dużej odporności na wyleganie, kłos ościsty, mała odporność na porastanie w kłosie, zawartość białka średnia, plonuje bardzo dobrze na terenie całego kraju, MTZ – 42,8 g.

Odmiana: WOLTARIO (d. DED 697)

Pochodzenie: {[pszenica Lanca x żyto L 506/79) x Bolero] x LAD 285} x Presto

Wpis do Rejestru Odmian: 2000 r.

Odmiana o średniej mrozoodporności, przeciętnej zdrowotności, rośliny niskie (typ półkarłowy) o bardzo dużej odporności na wyleganie, kłos ościsty, odporność na porastanie w kłosie mała, zawartość białka przeciętna, plonuje bardzo dobrze na zachodzie, zaś dobrze na wschodzie kraju, MTZ – 46,3 g.

3.2.6. Pszenżyto jare

Badanymi formami były odmiany: Kargo, Wanad oraz rody: SMH 224 i SMH 234.

Odmiana: KARGO (d. MAH 1093)

Pochodzenie: (MAH 13296-r-2-2) x (MAH 7746-3/3)

Wpis do Rejestru Odmian: 1998 r.

Odmiana średnio wysoka, o dość dużej odporności na wyleganie, kłos ościsty, odporność na porastanie dość duża, zawartość białka mała, plonuje dobrze lub bardzo dobrze w całym kraju, MTZ – 36,7 g.

Odmiana: WANAD (D. MAH 1293)

Pochodzenie: (Mo 7746-55-2) x (Mo 13302 r-5-3)

Wpis do Rejestru Odmian: 1997 r.

Rośliny średnio wysokie o przeciętnej odporności na wyleganie, zdrowotność dobra, kłos ościsty, odporność na porastanie mała, zawartość białka przeciętna, plonuje dobrze i bardzo dobrze na terenie całego kraju, MTZ – 40,6 g.

W kolejnych doświadczeniach dwuczynnikowych oceniano efekt stymulacji laserowej ziarniaków zbóż zarówno dla form jarych, jak i ozimych. Wszystkie odmiany i rody zarówno pszenicy, żyta, jak i pszenżyta pochodziły z jednego roku zbioru oraz z jednej miejscowości – Stacja Hodowli Roślin Smolice Sp. z o. o.

Zastosowano następujące dawki światła laserowego:

- K – kontrola, nasiona nie naświetlane,
- D₁ – dawka podstawowa – $2,5 \cdot 10^{-1} \text{J} \cdot \text{cm}^{-2}$,
- D₃ – trzykrotność dawki podstawowej,
- D₅ – pięciokrotność dawki podstawowej,
- D₇ – siedmiokrotność dawki podstawowej.

Ziarniaki umieszczano w kielkowniku w kontrolowanych warunkach odpowiednich do badanego genotypu. Dokonywano oceny wartości siewnej – zgodnie z przepisami ISTA (2007) oraz pomiarów cech morfologicznych siewek wyrosłych z ziarniaków naświetlanych i kontrolnych. Wyniki otrzymane z doświadczeń opracowano statystycznie, zgodnie z metodyką właściwą dla dwuczynnikowego doświadczenia laboratoryjnego. W celu stwierdzenia różnic w podatności form ozimych i jarych na zastosowane promieniowanie laserowe porównano te formy za pomocą testu t – Studenta.

3.3. Określenie liczby wolnych rodników metodą elektronowego rezonansu paramagnetycznego (EPR)

Badania zawartości wolnych rodników oraz ich budowy przeprowadzono zarówno na materiale naświetlanym promieniami lasera, jak i w próbkach kontrolnych – nie poddanych naświetlaniu (wzorzec). Ocenianymi czynnikami były dawki promieniowania laserowego i genotypy zbóż. Zastosowano zróżnicowane dawki światła laserowego: D₃ – trzykrotne naświetlanie dawką podstawową wynoszącą $2,5 \cdot 10^{-1} \text{J} \cdot \text{cm}^{-2}$, D₅ – pięciokrotne naświetlanie dawką podstawową oraz K – kontrola. Materiał do badań stanowiły odmiany zbóż: pszenica ozima – Kobra, pszenica jara – Jasna, żyto ozime – Rostockie, żyto jare – Abago, pszenżyto ozime – Woltario, pszenżyto jare – Kargo. Do pomiarów użyto następujących spektrometrów EPR: ESP 300E firmy Bruker oraz SE firmy Radiopan, wykorzystując metodę tzw. ilościowego EPR, przy zastosowaniu fali elektromagnetycznej o długości 3 cm w polu magnetycznym 0,33 T. Wyniki podano w przeliczeniu na suchą masę ziarna, w jednostkach $n \times 10^{16}$ spinów/g suchej masy ziarna. Oznaczenia wykonano w Instytucie Chemii Uniwersytetu Wrocławskiego.

3.4. Ocena zawartości kwasu indolilo-3-octowego (IAA) w nasionach

Analizy zawartości kwasu indolilo-3-octowego w ziarniakach kontrolnych – wórzec (K) i poddanych przedświeceniowej biostymulacji laserowej dawką D_5 przeprowadzono metodą fluorescencyjną. Badanymi czynnikami były dawki światła laserowego oraz odmiany zbóż: pszenica ozima – Kobra, pszenica jara – Jasna, żyto ozime – Rostockie, żyto jare – Abago, pszenżyto ozime – Woltario, pszenżyto jare – Kargo. Oznaczenia wykonano przy zastosowaniu spektrofluorymetru Cobrabid Opole z modyfikacją wg Szajdaka (2004). Do 2,0 g zmielonego w młynku ręcznym ziarna dodano 25,0 ml zasady sodowej o stężeniu 0,1 mol/l. Powstałą zawiesinę wytrząsano 30 min, następnie odwirowano przez 15 min przy prędkości 2000 obrotów/minutę. Stosując kolejno ekstrakcje roztworu wodnego (faza organiczna), mierzono fluorescencję warstwy wodnej na spektrofluorymetrze wyposażonym w palnik ksenonowy XBO 150, korzystając z następujących parametrów: λ_{max} wzbudzenia = 290 nm oraz λ_{max} emisji = 367 nm. Analizy wykonywano po upływie 0 h – kontrola, 24, 48 i 120 h. Zawartość kwasu indolilo-3-octowego obliczono z wyznaczonej krzywej wzorcowej. Badania wykonano w Zakładzie Badań Środowiska Rolniczego i Leśnego Polskiej Akademii Nauk w Poznaniu.

4. WYNIKI BADAŃ

4.1. Wpływ długości okresu przechowywania nasion na ujawnienie się efektu stymulacji laserowej

Badania własne dotyczyły wpływu czasu, jaki upłynął od zbioru do założenia doświadczenia, na ujawnienie się efektów stymulacji ziarniaków odmian pszenicy jarej promieniami lasera półprzewodnikowego.

4.1.1. Energia kiełkowania

Po przeprowadzeniu analizy statystycznej stwierdzono dla energii kiełkowania istotne zróżnicowanie odmian (A), miesięcy (C), interakcję (A x C) odmiana x miesiąc oraz interakcję (B x C) dawka x miesiąc (tab. 1).

Badane odmiany utworzyły pięć grup jednorodnych zachodzących na siebie, przy czym najwyższe wartości energii kiełkowania (96,8%) stwierdzono u Kosmy, najniższe zaś u Zebrzy (94,8%).

Dla energii kiełkowania ocenianej w poszczególnych miesiącach przechowywania utworzono cztery grupy jednorodne. Miesiące, w których energia kiełkowania osiągnęła najniższe wartości, to: I – 91,5% i II – 93,3%. Wartości z pozostałych pięciu miesięcy należały do dwóch zachodzących na siebie grup o istotnie wyższych wartościach (95,8–94,9%) – tab. 2.

Interakcja A x C (odmiana x miesiąc) potwierdziła układ wartości energii kiełkowania otrzymany dla miesięcy, najniższe wyniki energii kiełkowania najczęściej otrzymywano w pierwszym i drugim miesiącu od zbiorów. Jednocześnie wskazała ona, iż najwyższe wartości energii kiełkowania dla większości badanych odmian wystąpiły w piątym miesiącu. W siódmym miesiącu, tj. w marcu tylko jedna odmiana Olimpia miała istotnie niższe wartości energii kiełkowania od wartości osiąganych przez nasiona pozostałych odmian. Formą, która przez sześć miesięcy, z wyjątkiem pierwszego, charakteryzowała się energią kiełkowania przyjmującą wartości należące do najlepszej grupy, była Korynta. Może to świadczyć o mniejszym wpływie okresu przechowywania na energię kiełkowania u tej odmiany w porównaniu z pozostałymi formami. Natomiast dla odmiany Vinjett wartości energii kiełkowania, oznaczone w piątym, szóstym i siódmym miesiącu po zbiorach, tworzyły grupę o najwyższych wartościach, co z kolei może sugerować, że wymaga ona dłuższego okresu dojrzwania późniejszego w celu uzyskania optymalnych wartości parametrów kiełkowania (tab. 2).

Tabela 1
Table 1

Reakcja odmian pszenicy jarej na promieniowanie laserowe – doświadczenie wielokrotne
Reaction of spring wheat cultivars on laser radiation – multiple experiment

Cecha Character Zmienność Variability	Energia kielkowania Germination energy (%)	Zdolność kielkowania Germination capacity(%)	Długość korzonek Radicle length (mm)	Długość koleoptyla Coleoptile length (mm)	Długość siewki First leaf length (mm)
Odmiana A Cultivar	+	+	+	+	+
Dawka B Dose	-	-	+	+	+
Miesiąc C Month	+	+	+	+	+
Interakcja odmiana x dawka A x B Interaction cultivar x dose	-	+	-	+	+
Interakcja odmiana x miesiąc A x C Interaction cultivar x month	+	+	+	+	+
Interakcja dawka x miesiąc B x C Interaction dose x month	+	+	-	-	-
Interakcja odmiana x dawka x miesiąc A x B x C Interaction cultivar x dose x month	-	+	+	-	-

+ istotna reakcja – significant reaction

- brak reakcji – not significant reaction

Interakcja B x C (dawka x miesiąc) wykazała, że najwyższą energię kiełkowania dla wariantu kontrolnego otrzymano w miesiącach – od trzeciego do siódmego, wartości te należą do jednej grupy jednorodnej. Podobne wyniki otrzymano po zastosowaniu dawki D₅. Po naświetleniu dawką D₃ istotnie wyższe wartości obserwowano w piątym i siódmym miesiącu od zbioru. Porównując wyniki otrzymane po zastosowaniu dawek z kontrolą w poszczególnych miesiącach, można stwierdzić istotną stymulację wartości badanej cechy w pierwszym i piątym miesiącu przechowywania. Brak wpływu dawek na

energię kiełkowania obserwowano w trzecim, czwartym oraz siódmym miesiącu, gdzie wariant kontrolny jak i wartości otrzymane po biostymulacji tworzyły jedną grupę jednorodną (tab. 2).

Tabela 2

Table 2

Średnie wartości dla energii kiełkowania ziarniaków pszenicy jarej (%) – doświadczenie wielokrotne
Means value for germination energy of spring wheat grains (%) – multiple experiment

Dawka Dose	Odmiana Cultivar	Miesiąc – Month							Średnia Mean
		I	II	III	IV	V	VI	VII	
Kontrola Control	Koksa	92,3	94,7	98,3	95,7	95,3	98,0	92,0	95,2
	Korynta	92,7	96,3	94,0	94,7	96,0	97,3	97,0	95,4
	Kosma	95,7	95,7	97,7	98,7	97,7	96,0	96,3	96,8
	Nawra	87,3	92,3	95,0	93,3	95,7	96,3	97,3	93,9
	Olimpia	85,3	89,0	98,0	91,7	91,7	91,3	91,0	91,1
	Vinjett	92,7	94,0	93,7	95,7	96,0	97,7	97,0	95,3
	Zebra	86,0	94,7	95,7	96,3	92,3	97,7	95,7	94,1
D ₃	Koksa	97,0	94,7	96,0	95,7	99,3	97,0	95,3	96,4
	Korynta	93,3	96,3	95,7	95,3	95,7	96,7	96,7	95,7
	Kosma	96,0	95,7	96,0	99,0	99,0	96,3	96,3	96,9
	Nawra	88,7	92,3	95,0	92,0	95,3	94,3	96,0	93,4
	Olimpia	86,3	89,0	91,3	90,3	94,3	88,3	93,7	90,5
	Vinjett	96,3	94,0	96,0	93,7	96,3	96,7	97,3	95,8
	Zebra	88,3	94,7	96,0	97,7	97,0	93,7	96,3	94,8
D ₅	Koksa	95,3	93,7	95,0	98,0	95,3	97,3	95,3	95,7
	Korynta	93,7	94,0	95,0	95,3	96,3	97,0	96,0	95,3
	Kosma	93,3	94,7	98,0	96,7	97,3	98,7	97,3	96,6
	Nawra	90,0	92,3	95,0	90,7	94,7	94,7	94,7	93,2
	Olimpia	88,3	88,0	93,7	91,0	91,7	86,0	92,0	90,1
	Vinjett	95,7	92,3	95,0	93,7	96,3	96,7	97,3	95,3
	Zebra	88,0	91,7	97,3	98,3	98,3	97,3	97,7	95,5
NIR – LSD _(a=0,05)		r.n – n.s							r.n – n.s
Kontrola – Control		90,3	93,8	96,1	95,2	95,0	96,3	95,2	94,5
D ₃		92,3	93,8	95,1	94,8	96,7	94,7	95,9	94,8
D ₅		92,0	92,4	95,6	94,8	95,7	95,4	95,8	94,5
NIR – LSD _(a=0,05)		1,3							r.n – n.s
	Koksa	94,9	94,4	96,4	96,5	96,6	97,4	94,2	95,8
	Korynta	93,2	95,5	94,9	95,1	96,0	97,0	96,6	95,5
	Kosma	95,0	95,4	97,2	98,1	98,0	97,0	96,6	96,8
	Nawra	88,7	92,3	95,0	92,0	95,2	95,1	96,0	93,5
	Olimpia	86,6	88,7	94,3	91,0	92,6	88,5	92,2	90,6
	Vinjett	94,9	93,4	94,9	94,4	96,2	97,0	97,2	95,4
	Zebra	87,4	93,7	96,3	97,4	95,9	96,2	96,6	94,8
NIR – LSD _(a=0,05)		2,0							0,8
Miesiąc – Month		91,5	93,3	95,6	94,9	95,8	95,5	95,6	–
NIR – LSD _(a=0,05)		0,8							–

r. n. – różnica nieistotna, n.s. – not significant difference

4.1.2. Zdolność kiełkowania

Przeprowadzona analiza wariancji dla zdolności kiełkowania wykazała istotność zróżnicowania: odmian (A), miesięcy (C), interakcji (A x B) odmiana x dawka, interakcji (A x C) odmiana x miesiąc, interakcji (B x C) dawka x miesiąc oraz interakcji potrójnej (A x B x C) odmiana x dawka x miesiąc (tab. 1).

Podobnie jak w przypadku energii, dla zdolności kiełkowania, najwyższe wartości badanej cechy obserwowano u Kosmy (97,1%).

Porównując średnie dla miesięcy przechowywania, w których prowadzono badania, wyniki są podobne jak dla energii, ponieważ miesiące trzeci, piąty, szósty i siódmy od zbioru należą do grupy o istotnie wyższych wartościach (tab. 3).

Interakcja (A x B) odmiana x dawka uwidoczniła istotny stymulujący wpływ (podwyższenie zdolności kiełkowania o 1,7% w stosunku do kontroli) obu zastosowanych dawek światła laserowego, ale tylko u odmiany Zebra (tab. 3). Analizując układ odmian dla wariantu kontrolnego, utworzono trzy grupy jednorodne. Odmianą o istotnie najniższej zdolności kiełkowania była Olimpia, a pozostałe odmiany utworzyły dwie nierozłączne grupy jednorodne. Po zastosowaniu dawek światła lasera otrzymano po cztery grupy jednorodne. Olimpię charakteryzowała zdolność kiełkowania należąca do grupy o najniższych wartościach (tab. 3).

W przypadku interakcji (A x C) odmiana x miesiąc, podobnie jak dla energii, zdolność kiełkowania w miesiącach pierwszym i drugim po zbiorach, dla wszystkich odmian osiągała istotnie niższe wartości. Dla odmiany Vinjett zdolność kiełkowania osiągnęła istotnie wyższe wartości tylko w styczniu, lutym i marcu, co może potwierdzać przypuszczenie o dłuższym dojrzewaniu późnym tego genotypu. Kosma w każdym miesiącu należała do grupy jednorodnej o istotnie najwyższych wartościach tej cechy (tab. 3).

Rozpatrując interakcję (B x C) dawka x miesiąc, można stwierdzić, iż ziarno kontrolne charakteryzowało się najwyższą zdolnością kiełkowania w trzecim, szóstym i siódmym miesiącu od zbioru. Ziarniki poddane działaniu światła lasera półprzewodnikowego (obu dawek) najwyższe wyniki osiągały w piątym i szóstym miesiącu od zbiorów. Stymulację zdolności kiełkowania promieniami lasera obserwowano we wrześniu – dawka D_5 spowodowała wzrost wartości tej cechy o 1,3% i w styczniu obie dawki wywołały zwykłą odpowiednio o: D_3 – 2,4% oraz D_5 – 1,6% w stosunku do kontroli. W trzecim, czwartym, szóstym i siódmym miesiącu przechowywania otrzymano jedną grupę jednorodną. Powyższe wyniki sugerują, iż stymulacja ziarniaków promieniami laserowymi dawała najlepsze efekty dla zdolności kiełkowania w miesiącach wrzesień i styczeń.

Zdolność kiełkowania była cechą, dla której przeprowadzona analiza statystyczna wyników wykazała interakcję potrójną (A x B x C) odmiana x dawka x miesiąc (tab. 3).

Tabela 3

Table 3

Średnie wartości dla zdolności kiełkowania ziarniaków pszenicy jarej (%) – doświadczenie wielokrotne
 Means value for germination capacity of spring wheat grains (%) – multiple experiment

Dawka Dose	Odmiana Cultivar	Miesiąc – Month							Średnia Mean
		I	II	III	IV	V	VI	VII	
Kontrola Control	Koksa	94,0	95,0	98,0	96,0	95,0	97,7	94,0	95,7
	Korynta	97,3	96,7	95,0	95,7	95,7	98,0	98,0	96,6
	Kosma	94,0	95,3	98,0	98,3	97,3	96,3	97,0	96,6
	Nawra	96,7	94,7	96,0	93,7	95,3	97,3	95,7	95,6
	Olimpia	90,0	90,7	99,0	93,3	93,7	92,3	95,7	93,5
	Vinjett	97,3	94,3	94,7	95,7	97,0	98,0	97,7	96,4
	Zebra	89,3	95,3	97,0	96,3	94,3	98,0	96,7	95,3
D ₃	Koksa	94,0	94,7	95,7	96,3	98,7	96,7	97,6	96,2
	Korynta	94,0	91,7	96,0	96,0	97,0	98,0	96,6	95,6
	Kosma	96,7	94,0	96,3	99,0	99,7	98,3	97,6	97,4
	Nawra	90,0	94,0	95,7	92,7	96,7	96,3	95,3	94,4
	Olimpia	89,3	89,0	96,0	94,7	96,3	93,0	92,3	92,9
	Vinjett	94,7	93,3	96,3	94,0	98,7	98,3	97,3	96,1
	Zebra	93,0	93,3	96,7	97,7	98,0	96,7	98,0	96,2
D ₅	Koksa	96,7	94,3	96,3	98,3	94,7	97,3	96,7	96,3
	Korynta	97,3	94,0	95,3	98,3	97,3	99,0	96,7	96,8
	Kosma	97,7	95,3	98,0	95,7	98,0	99,3	97,7	97,4
	Nawra	93,0	95,3	95,7	96,7	96,7	97,0	95,3	95,7
	Olimpia	93,7	89,3	95,7	91,3	95,3	92,3	92,3	92,8
	Vinjett	95,7	93,3	95,0	93,7	97,7	98,7	97,3	95,9
	Zebra	93,7	93,0	97,7	98,0	99,8	99,0	98,0	97,0
NIR – LSD _(a=0,05)		2,9							1,1
Kontrola – Control		94,1	94,6	96,8	95,6	95,5	96,8	96,4	95,7
D ₃		93,1	92,9	96,1	95,8	97,9	96,8	96,4	95,6
D ₅		95,4	93,5	96,2	96,0	97,1	97,5	96,3	96,0
NIR – LSD _(a=0,05)		1,1							r.n – n.s
Koksa		94,9	94,7	96,7	96,9	96,1	97,2	96,1	96,1
Korynta		96,2	94,1	95,4	96,7	96,7	98,3	97,1	96,4
Kosma		96,1	94,9	97,4	97,7	98,3	98,0	97,4	97,1
Nawra		93,2	94,7	95,8	94,4	96,2	96,9	95,4	95,2
Olimpia		91,0	89,7	96,9	93,1	95,1	92,5	93,4	93,1
Vinjett		95,9	93,6	95,3	94,5	97,8	98,3	97,4	96,1
Zebra		92,0	93,9	97,1	97,3	97,4	97,9	97,6	96,2
NIR – LSD _(a=0,05)		1,7							0,6
Miesiąc – Month		94,2	93,7	96,4	95,8	96,8	97,0	96,4	–
NIR – LSD _(a=0,05)		0,6							–

r. n. – różnica nieistotna, n.s. – not significant difference

a) Pierwszy czynnik interakcji potrójnej – odmiany

- **Koksa.** Dla zdolności kiełkowania ziarniaków bez naświetlania otrzymano dwie grupy jednorodnie zachodzące na siebie. Najwyższe wartości zdolności kiełkowania obserwowano w trzecim miesiącu (98,0%), najniższe zaś w pierwszym i siódmym (po 94,0%). Dla wyników zdolności kiełkowania po zastosowaniu dawki D_3 utworzono trzy, a po zastosowaniu dawki D_5 dwie grupy jednorodnie. U ziarniaków naświetlonych zarówno dawką D_3 , jak i D_5 w drugim miesiącu, a po napromieniowaniu dawką D_3 również w pierwszym miesiącu, obserwowano istotnie niższą zdolność kiełkowania tej odmiany. Najwyższe wartości energii kiełkowania otrzymano odpowiednio dla D_3 – w piątym (98,7%), a dla D_5 w czwartym miesiącu (98,3%).

Porównując wartości zdolności kiełkowania po zastosowaniu dawek światła lasera w poszczególnych miesiącach, istotny stymulujący wpływ promieni lasera obserwowano tylko dla piątego i siódmego miesiąca od zbioru. Zastosowanie w piątym miesiącu przechowywania dawki D_3 podniosło wartość zdolności kiełkowania o 3,9%, natomiast w marcu – siódmym miesiącu stymulację otrzymano po zastosowaniu obu dawek – odpowiednio o: D_5 – 3,8%, zaś dla D_3 – 2,9% w stosunku do kontroli.

- **Korynta.** Dla wartości kontrolnych obserwowano brak istotnego zróżnicowania w poszczególnych miesiącach - powstała jedna grupa jednorodna. Po zastosowaniu dawki światła lasera D_3 i D_5 uzyskano po trzy grupy zachodzące na siebie. Miesiącem, w którym otrzymano najwyższe wartości zdolności kiełkowania u tej odmiany, był szósty miesiąc od zbiorów (luty) – 98,0%. Istotnie najniższe wartości tej cechy uzyskano w październiku, czyli drugim miesiącu – po zastosowaniu D_3 otrzymano 91,7%, zaś dla D_5 – 94,0%.

Porównując wartości badanej cechy po zastosowaniu stymulacji laserowej w poszczególnych miesiącach, w jakich prowadzono badania, wykazano jedynie redukcję zdolności kiełkowania w drugim miesiącu po zastosowaniu dawki D_3 . Dla wartości zdolności kiełkowania w pozostałych miesiącach utworzono jedną grupę jednorodną, co świadczy o braku istotnego wpływu zastosowanych dawek promieniowania laserowego na tę cechę.

- **Kosma.** Dla ziarniaków kontrolnych otrzymano dwie nierozłączne grupy jednorodnie. Najwyższe wartości zdolności kiełkowania dla tej odmiany wystąpiły w czwartym miesiącu przechowywania (98,3%), najniższe – jeden miesiąc od zbiorów (94,0%). Po zastosowaniu dawki D_3 otrzymano trzy, natomiast dawki D_5 dwie grupy jednorodnie zachodzące na siebie. Najwyższe wartości zdolności kiełkowania wystąpiły w piątym miesiącu dla D_3 – 99,7% oraz w szóstym dla D_5 – 99,3%, najniższe w drugim i trzecim – 94,0% i 96,3% dla dawki D_3 oraz 95,3% dla D_5 w drugim miesiącu. Istotną stymulację zdolności kiełkowania nasion Kosmy obserwowano po zastosowaniu dawki D_5 miesiąc od zbioru (3,9%) oraz po sześciu miesiącach od zbioru (3,1%).

- **Nawra.** Dla ziarniaków nie naświetlanych uzyskano dwie grupy nierozłączne wartości zdolności kiełkowania. W szóstym miesiącu od zbioru obserwowano największą wartość zdolności kiełkowania wynoszącą 97,3%, najmniejszą zaś w grudniu – 93,7%. Po zastosowaniu obu dawek naświetlania utworzono dwie zachodzące na siebie grupy jednorodnie. Najwyższe wartości zdolności kiełkowania wystąpiły w styczniu po zastoso-

waniu dawki D_3 – 96,7% i lutym po zastosowaniu dawki D_5 – 97,0%, natomiast najniższe w pierwszym miesiącu, 90,0 i 93,0% odpowiednio dla dawki D_3 i D_5 .

W czwartym miesiącu przechowywania uzyskano efekt stymulacji po zastosowaniu dawki D_5 (wzrost zdolności kiełkowania o ponad 4,3%), redukcję zaś w pierwszym miesiącu przechowywania – o około 7%.

- **Olimpia** jest formą, u której zarówno dla kontroli, jak i po zastosowaniu dawki D_3 i D_5 światła laserowego otrzymano cztery grupy jednorodne. Zdolność kiełkowania osiągnęła najwyższe wartości dla wariantu kontrolnego i dawki D_5 w listopadzie, natomiast po zastosowaniu dawki D_3 – w styczniu. Z kolei najniższe wartości energii kiełkowania obserwowano natomiast w pierwszym i drugim miesiącu po zastosowaniu dawki D_3 , dla D_5 w drugim i czwartym miesiącu od zbiorów.

Stymulację wartości badanej cechy o 4,1%, po naświetleniu ziarniaków, tej odmiany uzyskano miesiąc po zbiorach, natomiast redukcję – w trzecim i siódmym miesiącu odpowiednio o 3,3 i 3,5%.

- **Vinjett**. Wartości zdolności kiełkowania utworzyły trzy grupy jednorodne zachodzące na siebie, zarówno dla kontroli, jak i po zastosowaniu obu dawek. Najwyższe wartości wystąpiły w trzech ostatnich miesiącach przechowywania (ok. 97,0–98,0%). Istotnie najniższe natomiast w październiku, drugim miesiącu od zbioru – 94,3%.

Dla siedmiu miesięcy w jakich prowadzono badania, wartości uzyskane po zastosowaniu obu dawek utworzyły jedną grupę jednorodną wraz z kontrolą – co świadczy o braku istotnego wpływu zastosowanego promieniowania laserowego na zdolność kiełkowania tej odmiany.

- **Zebra** jest odmianą, dla której uzyskano grupy rozdzielne po zastosowaniu naświetlania promieniami lasera. Istotnie niższe wartości zdolności kiełkowania obserwowano w pierwszym i piątym miesiącu po zbiorach, czyli we wrześniu i styczniu. Różnica między skrajnymi wartościami przekraczała 6%.

Stymulujący wpływ światła lasera półprzewodnikowego wystąpił we wrześniu i w styczniu. Obie dawki spowodowały wzrost wartości zdolności kiełkowania o ok. 5% w stosunku do kontroli.

b) Drugi czynnik interakcji potrójnej – dawki:

- **Kontrola**. Dla nie naświetlanych nasion sześciu odmian wartości otrzymane w poszczególnych miesiącach utworzyły grupy jednorodne zachodzące na siebie. Jedynie dla Korynty uzyskano odrębną grupę, co świadczyć może o braku wpływu miesiąca, w którym założono doświadczenie na zdolność kiełkowania tej odmiany. Dla większości badanych genotypów, podobnie jak w poprzednim porównaniu, najniższe wartości otrzymano w dwóch pierwszych miesiącach przechowywania.

- **Dawka D_3 i D_5** . Po naświetleniu ziarniaków promieniami lasera utworzono grupy zachodzące na siebie dla sześciu spośród siedmiu badanych odmian. Dla Zebry wartości otrzymane w dwóch pierwszych miesiącach po zbiorach tworzą grupę o istotnie niższych wartościach zdolności kiełkowania.

Analizując układ grup utworzonych przez wartości zdolności kiełkowania dla odmian w poszczególnych miesiącach, można zauważyć, że dla wszystkich wariantów –

odmiany Korynta i Vinjett należą w większości do grupy o wyższych wartościach. Olimpia, z wyjątkiem trzeciego miesiąca, należy do grupy o wartościach niższych. Wartości zdolności kiełkowania nasion po biostymulacji laserowej w trzecim miesiącu od zbiorów, po zastosowaniu obu dawek, utworzyły jedną grupę jednorodną.

e) Trzeci czynnik interakcji potrójnej – miesiące przechowywania nasion:

- **Pierwszy miesiąc** od zbioru. Dla wszystkich badanych wariantów (kontrola i nasiona naświetlane) odmiany: Nawra (z wyjątkiem nasion kontrolnych), Olimpia i Zebra charakteryzowały się niższymi wartościami zdolności kiełkowania (od 89,3 do 93,7%) niż Korynta, Kosma i Vinjett (od 94,0 do 97,7%).

Reakcja badanych odmian na światło lasera była zróżnicowana. Stymulację w stosunku do kontroli obserwowano u Kosmy (wzrost o 3,9%), Olimpji (4,1%), Zebry (4,9%). Koksia i Vinjett nie wykazały reakcji na naświetlanie, natomiast u odmiany Korynta i Nawra wystąpiła redukcja wartości tej cechy odpowiednio o: 3,4 i 6,9%.

- **Drugi miesiąc** od zbioru. Dla ziarniaków kontrolnych i po zastosowaniu dawek D_3 i D_5 utworzono dwie grupy wartości zdolności kiełkowania, przy czym Olimpia zawsze należała do grupy o istotnie niższych, zaś pozostałe formy do grupy o istotnie wyższych wartościach.

W drugim miesiącu od zbiorów tylko u odmiany Korynta obserwowano redukcję wartości zdolności kiełkowania po zastosowaniu dawki D_5 o 5,2% w stosunku do kontroli. Pozostałe formy nie wykazały istotnej reakcji.

- **Trzeci miesiąc** od zbioru. W miesiącu tym zdolności kiełkowania ziarna wszystkich odmian poddanych naświetlaniu utworzyły dla każdej dawki jedną grupę jednorodną. Dla ziarniaków kontrolnych (nie naświetlanych) powstały dwie grupy jednorodne zachodzące na siebie. Niższymi wartościami zdolności kiełkowania charakteryzowały się ziarniaki odmian Korynta i Vinjett, pozostałe odmiany należały do grupy o wyższych wartościach.

Spośród badanych odmian, na skutek naświetlania, jedynie Olimpia wykazała redukcję wartości badanej cechy o ok. 3,3% w porównaniu z kontrolą. U pozostałych form nie stwierdzono reakcji na światło lasera.

- **Czwarty miesiąc** od zbioru. Wartości zdolności kiełkowania dla odmian utworzyły odpowiednio: dla kontroli dwie grupy, po zastosowaniu dawki D_3 – cztery grupy a dla dawki D_5 trzy grupy jednorodne zachodzące na siebie. Odmianami charakteryzującymi się niższymi wartościami zdolności kiełkowania, w każdym wariantcie, były Olimpia i Vinjett.

Spośród siedmiu badanych form jedynie Nawra wykazywała efekt stymulacji po zastosowaniu dawki D_5 o 4,1% w stosunku do kontroli.

- **Piąty miesiąc** od zbioru. Styczeń to miesiąc, w którym wartości zdolności kiełkowania nasion dla form pszenicy utworzyły grupy nierozłączne. Olimpia była odmianą o najniższych wartościach badanej cechy.

Pięć odmian: Korynta, Kosma, Nawra, Olimpia i Vinjett nie wykazało w styczniu reakcji na zastosowane naświetlanie promieniami lasera. U Koksia i Zebry widoczny był efekt stymulacji zdolności kiełkowania odpowiednio o 3,9 i 5,3%.

- **Szósty miesiąc** od zbioru. U odmiany Olimpia obserwowano wyraźnie niższe wartości zdolności kiełkowania niż u pozostałych, zarówno dla kontroli (92,3%), jak i ziarniaków naświetlanych ($D_3 - 93,0\%$ i $D_5 - 92,3\%$). Pozostałe sześć odmian należało do grupy o istotnie wyższych wartościach. Jedynie Kosma zareagowała w tym miesiącu na naświetlanie (dawką D_3) wzrostem zdolności kiełkowania o 3,1% w stosunku do kontroli.

- **Siódmy miesiąc** od zbioru. Podobnie jak w szóstym miesiącu, istotnie niższymi wartościami zdolności kiełkowania cechowała się odmiana Olimpia oraz Nawra i Kokska.

Odmiana Kokska wykazała wzrost wartości tej cechy o 3,8%, natomiast Olimpia redukcję o 3,6% w stosunku do kontroli.

4.1.3. Długość korzonków zarodkowych

Analiza wariancji przeprowadzona dla cechy długość korzonków zarodkowych wykazała istotne zróżnicowanie odmian (A), dawek (B), miesięcy (C), interakcji (A x C) odmiana x miesiąc oraz interakcji (A x B x C) odmiana x dawka x miesiąc (tab. 1).

Porównując średnie wartości dla odmian, utworzono cztery grupy jednorodne. Do grupy o najdłuższych korzonkach należy odmiana Zebra (115,2 mm), zaś formami o najkrótszych korzonkach były Kosma (98,2 mm), Nawra (97,3 mm) oraz Kokska (94,1 mm) należące do tej samej grupy (tab. 4).

Po przeprowadzeniu analizy statystycznej stwierdzono istotny wpływ dawek światła lasera na wartości tej cechy. Długość korzonków po zastosowaniu obu dawek uległa stymulacji i otrzymano jedną grupę jednorodną o istotnie wyższych wartościach (104,3 i 104,5 mm) niż dla wariantu kontrolnego (100,8 mm) – tabela 4.

Analiza wariancji pozwoliła stwierdzić wpływ miesiąca, w którym założono doświadczenie na wartości badanej cechy. Najdłuższe korzonki zarodkowe obserwowano w drugim miesiącu przechowywania – 123,0 mm, najkrótsze zaś, należące do trzeciej grupy, w miesiącach listopad i styczeń (odpowiednio 92,5 oraz 94,0 mm) – tabela 4.

Rozpatrując grupy jednorodne dla interakcji odmian z miesiącami, można stwierdzić, że nasiona sześciu z siedmiu badanych odmian wytworzyły najdłuższe korzonki zarodkowe dwa miesiące po zbiorze.

Po przeprowadzeniu analizy statystycznej, właściwej dla doświadczenia trzyczynnikowego, dla cechy długość korzonków zarodkowych otrzymano interakcję potrójną (A x B x C) odmiana x dawka x miesiąc (tab. 4).

Tabela 4

Table 4

Średnie wartości dla długości korzonków zarodkowych pszenicy jarej (mm) – doświadczenie wielokrotne
Means value for radicle length of spring wheat (mm) – multiple experiment

Dawka Dose	Odmiana Cultivar	Miesiąc – Month							Średnia Mean
		I	II	III	IV	V	VI	VII	
Kontrola Control	Koksa	77,6	112,9	82,1	73,7	70,1	94,2	98,2	87,0
	Korynta	102,9	111,7	93,9	108,4	98,7	112,3	87,7	102,2
	Kosma	107,3	99,2	79,1	84,4	94,4	104,1	92,7	94,5
	Nawra	76,7	115,1	81,1	107,8	93,9	87,9	92,1	93,5
	Olimpia	103,7	118,8	125,6	77,9	90,5	95,8	98,6	101,6
	Vinjett	103,0	157,1	97,1	117,5	94,2	104,0	106,3	111,3
	Zebra	120,6	148,1	89,4	106,4	112,7	119,2	113,6	115,7
D ₃	Koksa	102,6	111,0	79,2	91,4	85,5	96,2	108,5	96,3
	Korynta	98,6	121,7	88,5	110,4	97,7	100,7	97,2	102,1
	Kosma	116,6	117,1	86,9	95,7	80,1	104,3	95,5	99,5
	Nawra	96,7	115,8	101,6	108,9	83,3	96,0	98,4	100,1
	Olimpia	112,1	138,3	99,0	121,5	98,0	101,0	103,8	110,5
	Vinjett	103,7	141,4	88,6	111,9	96,7	111,3	105,3	108,4
	Zebra	124,0	117,1	115,5	113,8	101,0	108,1	113,9	113,3
D ₅	Koksa	103,0	119,5	98,0	91,6	87,6	95,0	98,8	99,1
	Korynta	107,2	129,0	80,6	96,6	78,9	113,5	104,3	101,4
	Kosma	128,4	99,8	81,5	102,7	92,2	99,5	100,0	100,6
	Nawra	97,5	104,6	80,1	118,3	84,4	105,6	96,6	98,2
	Olimpia	102,8	134,4	91,8	103,3	116,2	100,1	107,3	108,0
	Vinjett	109,3	136,4	96,9	93,7	100,3	115,7	99,3	107,4
	Zebra	116,4	133,0	105,3	128,8	117,8	102,1	112,4	116,5
NIR – LSD (a=0,05)		19,8							r.n. – n.s.
Kontrola – Control		98,8	123,3	92,6	96,6	93,5	102,5	98,5	100,8
D ₃		107,8	123,2	94,2	107,7	91,8	102,5	103,2	104,3
D ₅		109,2	122,4	90,6	105,0	96,8	104,5	102,7	104,5
NIR – LSD (a=0,05)		r.n. – n.s.							2,8
	Koksa	94,4	114,5	86,4	85,6	81,0	95,1	101,8	94,1
	Korynta	102,9	120,8	87,7	105,1	91,8	108,8	96,4	101,9
	Kosma	117,4	105,4	82,5	94,3	88,9	102,6	96,1	98,2
	Nawra	90,3	111,8	87,6	111,7	87,2	96,5	95,7	97,3
	Olimpia	106,2	130,5	105,5	100,9	101,6	99,0	103,2	106,7
	Vinjett	105,3	145,0	94,2	107,7	97,1	110,3	103,6	109,0
	Zebra	120,3	132,7	103,4	116,3	110,5	109,8	113,3	115,2
NIR – LSD (a=0,05)		11,4							4,3
Miesiąc – Month		105,3	123,0	92,5	103,1	94,0	103,2	101,4	–
NIR – LSD (a=0,05)		4,3							–

r. n. – różnica nieistotna, n.s. – not significant difference

a) Pierwszy czynnik interakcji potrójnej – odmiany:

- **Koksa.** Ziarniki tej odmiany nie poddane naświetlaniu wytworzyły w poszczególnych miesiącach korzonki, dla długości których otrzymano cztery nierozłączne grupy jednorodne. Najdłuższe korzonki powstały w drugim, szóstym i siódmym miesiącu od zbiorów. Po zastosowaniu naświetlania najdłuższe korzonki otrzymano w pierwszym, drugim oraz siódmym miesiącu przechowywania. Dla wszystkich trzech wariantów naświetlania miesiącem, w którym korzonki osiągnęły najmniejszą długość, był piąty miesiąc od zbiorów.

Porównując długości korzonków po zastosowaniu obu dawek promieni lasera w poszczególnych miesiącach, można stwierdzić, iż Koksę jedynie w styczniu zareagowała na światło lasera wydłużeniem korzonków o 22% (tj. o 15,4 mm po zastosowaniu dawki D_3 i o 25% (tj. o 17,5 mm) po zastosowaniu dawki D_5 w stosunku do kontroli). W pozostałych miesiącach długości korzonków wytworzonych z nasion kontrolnych jak i poddanych naświetlaniu należały do jednej grupy jednorodnej.

- **Korynta.** Miesiącami, w których otrzymano najdłuższe korzonki zarodkowe, zarówno w kontroli, jak i po zastosowaniu obu dawek, był drugi i szósty miesiąc po zbiorach. W trzecim, piątym i siódmym miesiącu przechowywania korzonki osiągały istotnie mniejszą długość.

Korynta okazała się odmianą niewrażliwą na naświetlanie promieniami lasera, bowiem w żadnym miesiącu nie wystąpiła ani stymulacja, ani redukcja wartości tej cechy.

- **Kosma.** Długości korzonków otrzymanych dla wariantu kontrolnego i po zastosowaniu dawki D_3 utworzyły po trzy grupy jednorodne zachodzące na siebie. Miesiącami, w których korzonki osiągnęły największą długość, były pierwszy, drugi i siódmy, natomiast najmniejszą – w trzecim miesiącu przechowywania. Po zastosowaniu dawki D_5 grupę o istotnie wyższych wartościach tworzyły korzonki wykształcone w pierwszym miesiącu. W pozostałych miesiącach długość korzonków nie różniła się od siebie istotnie, w związku z czym utworzono jedną grupę jednorodną dla wartości tej cechy.

U odmiany Kosma efekt stymulujący obserwowano jedynie po upływie pięciu miesięcy, gdy to pod wpływem dawki D_5 długość korzonków wzrosła o 19,7% (tj. o 22,1 mm w stosunku do kontroli).

- **Nawra.** Porównując długości korzonków otrzymane dla tej odmiany w poszczególnych miesiącach po zastosowaniu dawek promieni lasera, można zauważyć, że najdłuższe korzonki powstają w drugim i czwartym miesiącu przechowywania, najkrótsze zaś – dla kontroli we wrześniu i listopadzie, dla dawki D_3 – w styczniu i lutym, natomiast dla dawki D_5 w listopadzie i styczniu.

U odmiany Nawra przedświecenie światła lasera wywołało efekt stymulujący tylko w pierwszym i szóstym miesiącu przechowywania. W pierwszym miesiącu nastąpiło wydłużenie korzonków o 27,1% (tj. o 20,8 mm), natomiast w szóstym o 20,1% (tj. o 17,7 mm w stosunku do kontroli). W pozostałych pięciu miesiącach utworzono jedną grupę jednorodną dla wartości tej cechy.

- **Olimpia.** Jej nasiona (wariant kontrolny) wytworzyły najdłuższe korzonki dwa i trzy miesiące po zbiorze, najkrótsze należące do czwartej grupy jednorodnej w czwartym i piątym miesiącu. Po naświetleniu obydwoma dawkami promieniowania laserowego

układ dla długości korzonków w poszczególnych miesiącach uległ zmianie. Istotnie dłuższe korzonki powstały po czterech miesiącach, najkrótsze natomiast w trzecim i piątym miesiącu. Korzonki otrzymane w piątym miesiącu, również dla kontroli, należały do grupy o istotnie niższych wartościach długości.

Oceniając wpływ dawek w poszczególnych miesiącach badań, obserwowano brak reakcji tej odmiany na promieniowanie laserowe zarówno w dwóch pierwszych, jak i dwóch ostatnich miesiącach przechowywania. W trzecim miesiącu wystąpiło zjawisko redukcji, po zastosowaniu obu dawek o 21,2% (tj. 26,6 mm) dla D_3 oraz o 26,9% (tj. 33,8 mm) dla D_5 . Efekt stymulacji otrzymano po czterech miesiącach – wydłużenie korzonków Olimpii o 56% (43,6 mm) po użyciu dawki D_3 oraz o 32,6% (25,4 mm) po zastosowaniu D_5 . Dawka D_5 również wywołała stymulację długości korzonków w piątym miesiącu o 28,4% (25,7 mm).

- **Vinjett.** We wszystkich trzech wariantach (nasiona kontrolne i naświetlane) otrzymano trzy grupy jednorodne. Korzonki wykształcone po dwóch miesiącach przechowywania nasion, zarówno dla kontroli, jak i po naświetleniu ziarniaków obiema dawkami, należały do grupy o istotnie najwyższych wartościach. Długości korzonków otrzymane w trzecim miesiącu przechowywania zawsze należały do grup o najniższych wartościach badanej cechy.

Odmiana Vinjett zareagowała na światło lasera jedynie w czwartym miesiącu, gdy długość jej korzonków, po zastosowaniu dawki D_5 , uległa redukcji o 20,3% (tj. 23,8 mm).

- **Zebra.** Dwa miesiące po zbiorach zarówno z naświetlanych, jak i nie naświetlanych ziarniaków wytwarzała dłuższe korzonki. Najkrótsze korzonki otrzymano dla nasion kontrolnych w trzecim miesiącu, natomiast po naświetleniu – w miesiącach trzecim, piątym i szóstym.

Odmiana Zebra różnie reagowała na zastosowane naświetlanie promieniami lasera. Wydłużenie korzonków zarodkowych o 29,2% – tj. 26,1 mm przy dawce D_3 otrzymano po trzech miesiącach od zbiorów oraz w przypadku dawki D_5 o 21,1%, tj. 22,4 mm w czwartym miesiącu. Redukcja o 20,9% (tj. 31 mm) wystąpiła w drugim miesiącu, po zastosowaniu dawki D_3 . W pozostałych miesiącach utworzono jedną grupę jednorodną, czyli wystąpił brak reakcji tej odmiany na promieniowanie laserowe.

b) Drugi czynnik interakcji potrójnej – dawki:

- **Kontrola.** Nasiona poszczególnych odmian nie poddane naświetlaniu laserem wytworzyły korzonki zarodkowe o długościach należących, w zależności od miesiąca przechowywania ziarniaków, do dwóch, trzech lub czterech grup jednorodnych. Na uwagę zasługuje drugi miesiąc, w którym długości korzonków wszystkich odmian znajdowały się w grupie o najwyższych wartościach. Natomiast w trzecim miesiącu od zbiorów najkrótsze korzonki wytworzyło pięć spośród badanych odmian (z wyjątkiem Vinjett i Olimpii).

Porównując układ długości korzonków zarodkowych wytworzonych przez odmianę (z wyjątkiem Kosmy) w poszczególnych miesiącach, można zauważyć, że w ostatnim

miesiącu przechowywania otrzymano wartości należące do grupy o wyższych wartościach, natomiast w pierwszym – do grupy obejmującej krótsze korzonki zarodkowe.

- **Dawki D₃ i D₅.** Po zastosowaniu naświetlania podobnie jak dla kontroli, dłuższe lub najdłuższe korzonki wytwarzane były dwa miesiące po zbiorach (z wyjątkiem Kosmy). Najniższe wartości cecha ta osiągała w trzecim i piątym miesiącu od zbioru.

Przy zastosowaniu obu dawek światła lasera w miesiącach bliższych terminowi siewu – długość korzonków poszczególnych odmian nie różniła się istotnie od siebie; utworzono jedną grupę jednorodną. Dla dawki D₃ brak było zróżnicowania w trzech, a dla D₅ w dwóch ostatnich miesiącach przechowywania. W pozostałych miesiącach odmianą o dłuższym korzonku była Zebra, zaś formą wykształcającą zdecydowanie krótszy korzonek zarodkowy – Kokska.

c) Trzeci czynnik interakcji potrójnej – miesiące przechowywania nasion:

- **Pierwszy miesiąc** od zbioru. W miesiącu tym, dla długości korzonków zarodkowych, utworzono po dwie grupy jednorodne zarówno dla wariantu kontrolnego, jak i po zastosowaniu dawek światła laserowego. Dla wartości kontrolnych grupy tworzyły układ rozłączny, natomiast po naświetlaniu – grupy zachodzące na siebie. Odmiany Kosma i Zebra były genotypami o najdłuższych korzonkach zarodkowych, zaś Nawra – formą o krótszym korzonku zarówno dla korzonków uzyskanych z ziarniaków kontrolnych, jak i otrzymanych po zastosowaniu obu dawek promieniowania.

Po zastosowaniu obu dawek obserwowano stymulację długości korzonków zarodkowych u odmian Kokska i Nawra – odpowiednio o 32,7% (tj. 25,4 mm) i 27,1% (tj. 20,8 mm). Kosma zareagowała tylko na dawkę D₅ wydłużeniem korzonków zarodkowych o 19,7% (tj. 21,1 mm). Cztery pozostałe odmiany nie zareagowały na przedsięwzięte naświetlanie ziarniaków.

- **Drugi miesiąc** od zbioru. Vinjett i Zebra były odmianami o istotnie wyższych wartościach długości korzonków zarodkowych uzyskanych z nasion kontrolnych. Po zastosowaniu promieni lasera długości korzonków badanych form utworzyły grupy zachodzące na siebie. Dla Vinjett wartości tej cechy należały do grupy o najwyższych wartościach dla obu dawek, zaś Kosma była odmianą o krótszych korzonkach.

Tylko Zebra zareagowała na naświetlanie redukcją długości korzonków zarodkowych o 20,9% (tj. 31 mm) – po zastosowaniu dawki D₃.

- **Trzeci miesiąc** od zbioru. Ziarniaki nienaświetlane wytworzyły korzonki o długościach należących do dwóch grup jednorodnych. Olimpia była odmianą o najdłuższym korzonku – 125,6 mm, tworząc odrębną grupę, istotnie różną od pozostałych (korzonki długości od 79,1 do 97,1 mm). Po zastosowaniu dawek światła lasera uzyskano grupy zachodzące na siebie, przy czym Zebra była odmianą o najdłuższym korzonku.

Efekt stymulacji obserwowano po zastosowaniu dawki D₃ u odmian: Nawra o 25,3% – tj. 20,5 mm oraz Zebra o 29,2% – tj. 26,1 mm. Natomiast redukcja długości korzonka zarodkowego wystąpiła u Olimpii – od 26,6 do 33,8 mm (tj. o 21,2–26,9%) po zastosowaniu obu dawek promieniowania.

- **Czwarty miesiąc** od zbioru. W kolejnym miesiącu dla ziarniaków kontrolnych ponownie uzyskano dwie grupy rozdzielne. Pierwszą o istotnie wyższych wartościach

utworzyły Vinjett, Korynta, Nawra i Zebra. Zastosowane naświetlanie spowodowało utworzenie grup jednorodnych zachodzących na siebie. Odmianą o dłuższym korzonku była Zebra, zaś Kokska charakteryzowała się krótszym korzonkiem.

Odmiana Olimpia zareagowała na obie dawki wydłużeniem korzonka zarodkowego o 56% (tj. 43,6 mm) – dla dawki D_3 i o 32,6% (tj. 25,4 mm) dla D_5 . Zebra wykazała efekt redukcji o 20,3%, tj. 23,8 mm po naświetleniu dawką D_5 .

- **Piąty miesiąc** od zbioru. Dla długości korzonków otrzymanych z ziarniaków nie-naświetlanych odmiany Kokska utworzono odrębną grupę jednorodną o istotnie niższych wartościach – 70,1 mm, pozostałe posiadały korzonki długości 90,5–112,7 mm. Zastosowanie dawki D_3 spowodowało wytworzenie przez odmiany korzonków nie różniących się od siebie istotnie (jedna grupa jednorodna). Po naświetleniu dawką D_5 powstały trzy zachodzące na siebie grupy jednorodne. Zebra była odmianą, która posiadała korzonek dłuższy – 117,8 mm, krótszym charakteryzowała się Korynta – 78,9 mm.

Stymulację obserwowano u Olimpii, po zastosowaniu dawki D_5 – zwiększenie długości korzonków o 28,4%, tj. 25,7 mm. Nasiona pozostałych odmian nie wykazały reakcji na przedsięwzięte naświetlanie laserem.

- **Szósty i siódmy miesiąc** od zbioru. Były to miesiące, w których po zastosowaniu obu dawek światła lasera otrzymano po jednej grupie jednorodnej, czyli badane odmiany nie różniły się między sobą długością korzonków zarodkowych. W obu miesiącach z ziarniaków kontrolnych otrzymano korzonki, których długości należały do grup zachodzących na siebie, przy czym Zebra była genotypem o najdłuższych korzonkach. W szóstym i siódmym miesiącu od zbioru nie wystąpiła reakcja na przedsięwzięte naświetlanie u żadnej z siedmiu badanych odmian pszenicy jarej.

4.1.4. Długość koleoptyla

Analiza statystyczna wyników otrzymanych z pomiarów długości koleoptyli wykazała istotne zróżnicowanie: odmian (A), dawek światła lasera (B), miesięcy (C), jak również interakcje podwójne, odmian z dawkami (A x B) i (A x C) odmian z miesiącami (tab. 1).

Pośród siedmiu badanych odmian Korynta charakteryzowała się istotnie najdłuższym koleoptylem (78,9 mm), tworząc odrębną grupę jednorodną. Najkrótsze koleoptyle wytworzyły nasiona odmian Nawra (53,5 mm) i Olimpia (49,8 mm) – tabela 5.

Obie zastosowane dawki promieniowania laserowego wywołały efekt stymulujący. Po naświetleniu dawką D_3 długość koleoptyla wzrosła o 4,5% (tj. 3 mm), natomiast po zastosowaniu dawki D_5 – o 4,3% (tj. 2,8 mm). Kontrola stanowiła odrębną grupę jednorodną o istotnie niższych wartościach.

Rozpatrując reakcję odmian w poszczególnych miesiącach, otrzymano cztery grupy jednorodne. Koleoptyle o największej długości obserwowano w piątym i szóstym miesiącu przechowywania nasion – odpowiednio 70,9 i 71,6 mm, najkrótsze zaś, istotnie różniące się od pozostałych, otrzymano miesiąc po zbiorze – 64,5 mm (tab. 5).

Tabela 5
Table 5

Średnie wartości dla długości koleoptyla pszenicy jarej (mm) – doświadczenie wielokrotne
Means value for coleoptile length of spring wheat (mm) – multiple experiment

Dawka Dose	Odmiana Cultivar	Miesiąc – Month							Średnia Mean
		I	II	III	IV	V	VI	VII	
Kontrola Control	Koksa	67,4	74,5	71,2	70,2	77,0	70,8	78,3	72,8
	Korynta	74,1	79,6	80,7	75,0	80,9	82,1	79,6	78,9
	Kosma	66,1	67,3	63,5	71,2	74,6	67,1	65,4	67,9
	Nawra	48,1	52,0	53,7	54,1	55,3	57,2	54,4	53,5
	Olimpia	53,3	51,3	47,4	41,0	47,0	56,4	52,0	49,8
	Vinjett	56,2	76,2	79,1	75,6	78,9	78,6	73,8	74,1
	Zebra	68,9	64,4	66,2	76,5	65,5	75,1	63,1	68,5
D ₃	Koksa	71,4	70,8	79,2	70,4	86,3	81,7	76,1	76,5
	Korynta	75,2	77,0	81,5	83,0	83,4	79,8	76,4	79,5
	Kosma	69,5	72,3	71,3	68,2	77,3	76,1	69,9	72,1
	Nawra	53,1	52,0	55,8	54,9	54,1	56,9	52,4	54,2
	Olimpia	51,7	54,7	56,0	55,3	58,0	62,0	68,6	58,0
	Vinjett	63,8	70,4	81,2	73,8	78,5	78,3	78,0	74,9
	Zebra	70,7	67,1	74,3	69,7	74,4	74,5	68,5	71,3
D ₅	Koksa	68,3	76,2	86,0	76,2	82,8	79,5	72,8	77,4
	Korynta	73,3	78,4	84,7	80,6	73,1	82,9	73,7	78,1
	Kosma	69,7	69,6	70,3	69,1	74,4	75,3	68,2	70,9
	Nawra	51,1	51,6	53,8	54,0	54,1	57,4	52,2	53,5
	Olimpia	56,4	54,4	57,8	56,2	52,2	58,5	63,2	57,0
	Vinjett	75,5	73,2	80,3	77,6	82,4	79,2	63,2	75,9
	Zebra	70,0	71,6	70,3	74,9	78,3	73,7	68,1	72,4
NIR – LSD (a=0,05)		r.n. – n.s							3,3
Kontrola – Control		62,0	66,5	66,0	66,2	68,5	69,6	66,7	66,5
D ₃		65,1	66,3	71,3	67,9	73,1	72,8	70,0	69,5
D ₅		66,3	67,9	71,9	69,8	71,0	72,4	65,9	69,3
NIR – LSD (a=0,05)		r.n. – n.s							1,3
	Koksa	69,0	73,8	78,8	72,3	82,0	77,3	75,7	75,6
	Korynta	74,2	78,3	82,3	79,5	79,1	81,6	76,6	78,8
	Kosma	68,4	69,7	68,4	69,5	75,4	72,8	67,8	70,3
	Nawra	50,8	51,9	54,4	54,3	54,5	57,2	53,0	53,7
	Olimpia	53,8	53,5	53,7	50,8	52,4	59,0	61,3	54,9
	Vinjett	65,2	73,3	80,2	75,7	79,9	78,7	71,7	75,0
	Zebra	69,9	67,7	70,3	73,7	72,7	74,4	66,6	70,8
NIR – LSD (a=0,05)		5,1							1,9
Miesiąc – Month		64,5	66,9	69,7	68,0	70,9	71,6	67,5	–
NIR – LSD (a=0,05)		1,9							–

r. n. – różnica nieistotna, n.s. – not significant difference

Interakcja odmian z dawkami (A x B) potwierdza zróżnicowaną wrażliwość badanych form na zastosowane światło lasera. Trzy spośród form użytych w doświadczeniu, tzn. Korynta, Nawra i Vinjett nie wykazały wpływu naświetlania. Natomiast Koksa, Kosma, Olimpia i Zebra zareagowały istotnym wydłużeniem koleoptyli, odpowiednio o: 4,6, 4,2, 8,3, i 3,9 mm. Najwyższy efekt stymulujący obserwowano u Olimpii, gdzie wydłużenie koleoptyla osiągnęło 16,6%. Rozpatrując układ odmian dla poszczególnych dawek, podobnie jak dla poprzednich cech, odmiany Korynta i Vinjett należą do grup o istotnie dłuższych koleoptylach, zaś Nawra i Olimpia do grup o istotnie najkrótszych koleoptylach.

Interakcja (A x C) odmian z miesiącami potwierdza, że dla większości odmian najmniejsze długości koleoptyli otrzymywane są w dwóch pierwszych miesiącach od zbioru. Z wykonanych porównań wynika również, że najdłuższe koleoptyle obserwujemy w styczniu i lutym, tj. w szóstym i siódmym miesiącu po zbiorze nasion.

Porównanie w poszczególnych miesiącach grup utworzonych przez długości koleoptyli badanych odmian wskazuje ponownie na przynależność form Korynta i Vinjett do grup o istotnie wyższych, zaś Nawra i Olimpia o istotnie najniższych wartościach badanej cechy (tab. 5).

4.1.5. Długość nadziemnej części siewki

Analiza wariancji dla długości nadziemnej części siewki wykazała istotne zróżnicowanie odmian, dawek, miesięcy oraz interakcje (A x B) odmiana x dawka i (A x C) odmiana x miesiąc (tab. 1).

Utworzenie trzech rozłącznych grup jednorodnych dla odmian pozwoliło wyodrębnić formy o istotnie najdłuższej siewce. Są to Vinjett – 100,1 mm i Korynta – 97,7 mm oraz o najkrótszej siewce Olimpia – 75,9 mm, należąca do trzeciej grupy jednorodnej o najniższych wartościach.

Obie zastosowane dawki promieniowania laserowego wywołały istotną stymulację długości nadziemnej części siewki, powodując jej wydłużenie o 8,2 mm (tj. 10,3%) – dawka D₅ oraz o 6,7 mm (tj. o 8,2%) dawka D₃ (tab. 6).

Przyporządkowanie otrzymanych wartości, w poszczególnych miesiącach, do grup jednorodnych wskazuje, podobnie jak dla wcześniej omawianych cech, że najwyższe wartości długości siewki osiągnęła w dwóch ostatnich miesiącach przechowywania (100,5 i 96,8 mm), najniższą zaś miesiąc po zbiorze – 69,5 mm (tab. 6).

W przypadku interakcji (A x B), tj. odmiana x dawka – dla długości nadziemnej części siewki wyodrębniono dwie grupy jednorodne, po zastosowaniu przedsięwziętego naświetlania nasion promieniami lasera. Formami, które wykazały stymulujący efekt światła laserowego, były: Koksa – wydłużenie o 11,3 mm (14,5%), Kosma – o 9,0 mm (10,9%) oraz Olimpia – 26,2 mm (44,6%). Drugą grupę utworzyły: Korynta, Nawra, Vinjett i Zebra, które nie zareagowały na napromieniowanie (tab. 6).

Porównanie odmian w obrębie dawek wskazuje po raz kolejny na Koryntę i Vinjett – jako te o najwyższych wartościach, również o najdłuższej siewce, zarówno dla kontroli, jak i po napromieniowaniu. Natomiast Olimpia ponownie znajduje się w grupach o istotnie niższych lub najniższych wartościach.

Tabela 6
Table 6

Średnie wartości dla długości nadziemnej części siewki pszenicy jarej (mm) – doświadczenie wielokrotne

Means value for first leaf length of spring wheat (mm) – multiple experiment

Dawka Dose	Odmiana Cultivar	Miesiąc – Month							Średnia Mean
		I	II	III	IV	V	VI	VII	
Kontrola Control	Koksa	56,2	80,8	59,5	60,0	91,8	112,0	87,9	78,3
	Korynta	55,6	83,2	94,0	91,7	102,7	115,6	125,6	95,5
	Kosma	61,5	68,3	94,8	90,2	79,1	90,7	94,9	82,8
	Nawra	68,3	77,0	79,7	84,6	80,4	93,0	79,8	80,4
	Olimpia	63,7	63,1	59,9	36,2	46,8	75,7	66,5	58,8
	Vinjett	64,6	98,7	97,5	113,4	100,4	105,1	108,1	98,3
	Zebra	77,7	91,6	69,7	83,7	77,9	99,8	87,6	84,0
D ₃	Koksa	62,4	75,0	76,8	73,4	100,2	106,9	95,2	84,3
	Korynta	71,9	84,9	97,0	99,1	102,4	115,6	119,2	98,6
	Kosma	63,6	76,4	84,9	86,2	80,5	116,4	99,9	86,8
	Nawra	74,4	81,9	93,6	89,4	77,4	92,4	81,8	84,4
	Olimpia	76,6	83,8	77,3	80,6	87,6	91,9	97,8	85,1
	Vinjett	77,1	94,1	113,3	108,3	87,2	98,7	107,2	98,0
	Zebra	75,4	78,5	114,1	81,6	88,4	87,7	83,5	87,0
D ₅	Koksa	60,7	87,9	88,1	85,1	94,5	107,1	104,2	89,7
	Korynta	65,5	91,8	103,6	111,8	88,5	116,6	114,7	98,9
	Kosma	74,5	66,5	105,9	95,8	84,5	111,8	103,5	91,8
	Nawra	76,0	66,1	72,7	88,6	76,1	89,9	94,8	80,6
	Olimpia	71,7	85,1	89,3	80,7	83,4	84,5	91,8	83,8
	Vinjett	85,0	112,4	119,1	96,6	105,5	116,6	93,9	104,2
	Zebra	76,6	88,7	85,7	91,4	89,4	81,7	93,8	86,8
NIR – LSD (a=0,05)		r.n. – n.s.							7,9
Kontrola – Control		63,9	80,4	79,3	80,0	82,7	98,8	92,9	82,6
D ₃		71,6	82,1	93,9	88,4	89,1	101,4	97,8	89,2
D ₅		72,9	85,5	94,9	92,9	88,8	101,2	99,5	90,8
NIR – LSD (a=0,05)		r.n. – n.s.							3,0
Koksa		59,8	81,2	74,8	72,8	95,5	108,7	95,8	84,1
Korynta		64,3	86,6	98,2	100,9	97,9	115,9	119,8	97,7
Kosma		66,5	70,4	95,2	90,7	81,4	106,3	99,4	87,1
Nawra		72,9	75,0	82,0	87,5	78,0	91,8	85,5	81,8
Olimpia		70,7	77,3	75,5	65,8	72,6	84,0	85,4	75,9
Vinjett		75,6	101,7	110,0	106,1	97,7	106,8	103,1	100,1
Zebra		76,6	86,3	89,8	85,6	85,2	89,7	88,3	85,9
NIR, LSD (a=0,05)		12,0							4,5
Miesiąc – Month		69,5	82,7	89,4	87,1	86,9	100,5	96,8	–
NIR – LSD (a=0,05)		4,5							–

r. n. – różnica nieistotna, n.s. – not significant difference

Dla interakcji (A x C), tj. odmiana x miesiąc, analiza otrzymanych wartości dla każdej odmiany w poszczególnych miesiącach uwidacznia, że dla wszystkich form pierwszy miesiąc jest okresem, gdy długość siewki była najmniejsza. Najwyższe wartości tej cechy uzyskiwały wszystkie odmiany, podobnie jak dla poprzednich cech, w miesiącach szóstym i siódmym. Spośród siedmiu z nich jedynie Zebra nie reagowała na długość okresu przechowywania nasion, a zatem powstała jedna grupa jednorodna dla wszystkich miesięcy. Odmiana Vinjett wytwarzała siewkę podobnej długości we wszystkich miesiącach, z wyjątkiem pierwszego miesiąca badań.

Korynta i Vinjett są formami o dłuższych siewkach, natomiast Olimpia należy do grupy o niższych lub najniższych wartościach długości siewki (tab. 6).

4.2. Zmiany procesu kiełkowania i cech morfologicznych siewek pod wpływem biostymulacji laserowej

4.2.1. Pszenica ozima

Badanymi genotypami z gatunku pszenica ozima były odmiany: Almari, Kobra, Korweta, Tortija oraz ród SMH 6780.

- **Energia kiełkowania.** Przeprowadzona analiza wariancji dla uzyskanych z doświadczenia laboratoryjnego wyników wykazała istotne zróżnicowanie genotypów i interakcji genotypów z dawkami światła laserowego. W przypadku genotypów wartości energii utworzyły dwie rozdzielne grupy jednorodne. Obiektami o istotnie wyższej energii kiełkowania były Kobra (98,5%), SMH 6780 (97,9%) oraz Korweta (97,9%). Porównując grupy utworzone dla interakcji, można zauważyć, że energia kiełkowania dla odmian Almari i Tortiji, zarówno dla wariantu kontrolnego, jak i po zastosowaniu czterech zróżnicowanych dawek promieni lasera, należała do grup jednorodnych o istotnie niższych wartościach (tab. 7).

Istotną reakcję na przedsięwzięte naświetlenie stwierdzono tylko u Almari i Tortiji. U pierwszej odmiany wystąpiła stymulacja energii kiełkowania z 84,3% dla kontroli do 94% po zastosowaniu dawki D_5 (wzrost o 11,5%). Z kolei Tortija wykazała obniżenie wartości energii kiełkowania z 90,7% na 85% po zastosowaniu pięciokrotnego naświetlania (redukcja o 6,3%).

- **Zdolność kiełkowania.** Analiza wariancji udowodniła istotne zróżnicowanie zastosowanych dawek oraz genotypów. Dawki D_3 , D_5 oraz D_7 wywołały wzrost wartości tej cechy odpowiednio o: D_3 – 2,8, D_5 – 2,4 i D_7 – 1,9% w stosunku do kontroli przyjmującej wartość 95,8% (tab. 8).

Porównując badane genotypy pod względem zdolności kiełkowania, wyróżniono dwie rozłączne grupy jednorodne. Do grupy o istotnie wyższych wartościach należały Kobra (99,1%), ród SMH 6780 (98,9%) oraz Korweta (98,5%). Grupę o niższej zdolności kiełkowania stanowiły Tortija – 95,4% i Almari – 95,3%.

Tabela 7
Table 7

Średnie wartości dla energii kiełkowania (%) – pszenica ozima
Means value for germination energy (%) – winter wheat

Dawka Dose	Genotyp – Genotype					Średnia Mean
	Almari	Kobra	Korweta	Tortija	SMH 6780	
Kontrola Control	84,3	98,0	97,7	90,7	98,7	93,9
D ₁	85,0	97,0	98,7	88,7	97,7	93,4
D ₃	92,3	98,7	98,3	88,3	97,0	94,9
D ₅	94,0	99,3	99,3	85,0	97,7	95,1
D ₇	88,0	99,3	95,3	86,7	98,3	93,5
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	4,7					r.n. – n.s.
Genotyp Genotype	88,7	98,5	97,9	87,9	97,9	94,2
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	2,1					–

r.n. – różnica nieistotna, n.s. – not significant difference

Tabela 8
Table 8

Średnie wartości dla zdolności kiełkowania (%) – pszenica ozima
Means value for germination capacity (%) – winter wheat

Dawka Dose	Genotyp – Genotype					Średnia Mean
	Almari	Kobra	Korweta	Tortija	SMH 6780	
Kontrola Control	91,0	99,7	97,7	92,0	98,7	95,8
D ₁	95,3	97,7	99,0	95,3	99,0	97,3
D ₃	98,0	99,3	98,7	97,0	99,3	98,5
D ₅	97,3	99,3	99,0	95,7	99,0	98,1
D ₇	94,7	99,3	98,3	97,0	98,7	97,6
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	r.n. – n.s.					1,5
Genotyp Genotype	95,3	99,1	98,5	95,4	98,9	97,4
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	1,5					–

r.n. – różnica nieistotna, n.s. – not significant difference

• **Długość korzonków zarodkowych.** Dla tej cechy wykazano jedynie zróżnicowanie odmianowe. Utworzono cztery zachodzące na siebie grupy jednorodne, do pierwszej o najdłuższych korzonkach należały Kobra (94,1 mm) i Korweta (90,0 mm). Najmniejszymi wartościami tej cechy charakteryzowały się: ród SMH 6780 (78,3 mm) i odmiana Almari (77,0 mm) – tabela 9.

• **Długość koleoptyla.** Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała istotne zróżnicowanie dawek promieniowania, genotypów oraz interakcję genotyp x dawka (tab. 10).

Tabela 9

Table 9

Średnie wartości dla długości korzonków zarodkowych (mm) – pszenica ozima

Means value for radicle length (mm) – winter wheat

Dawka Dose	Genotyp – Genotype					Średnia Mean
	Almari	Kobra	Korweta	Tortija	SMH 6780	
Kontrola Control	72,6	93,0	87,9	91,3	81,3	85,2
D ₁	85,7	106,2	98,3	86,7	73,3	90,0
D ₃	81,7	84,1	83,7	88,2	69,6	81,5
D ₅	71,0	83,6	95,6	86,3	84,0	84,1
D ₇	74,2	103,5	84,4	76,8	83,4	84,5
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	r.n. – n.s.					r.n. – n.s.
Genotyp Genotype	77,0	94,1	90,0	85,9	78,3	85,1
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	7,8					–

r.n. – różnica nieistotna, n.s. – not significant difference

Tabela 10

Table 10

Średnie wartości dla długości koleoptyla (mm) – pszenica ozima

Means value for coleoptile length (mm) – winter wheat

Dawka Dose	Genotyp – Genotype					Średnia Mean
	Almari	Kobra	Korweta	Tortija	SMH 6780	
Kontrola – Control	48,0	62,1	63,0	64,7	68,1	61,2
D ₁	68,0	65,9	59,3	67,3	62,3	64,6
D ₃	62,4	65,5	61,2	67,7	68,5	65,1
D ₅	66,8	67,6	63,3	71,9	72,7	68,5
D ₇	62,9	65,9	60,9	67,1	68,5	65,1
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	6,8					3,0
Genotyp Genotype	61,6	65,4	61,5	67,7	68,0	64,8
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	3,0					–

Porównując długości koleoptyli pszenicy otrzymanych z ziarniaków naświetlanych, stwierdzono utworzenie trzech grup jednorodnych. Grupę o istotnie najwyższych wartościach (68,5 mm) stanowiły długości koleoptyli, które wyrosły po zastosowaniu dawki D_5 . Kolejną grupę stanowiły długości koleoptyli otrzymanych po naświetleniu ziarniaków dawkami D_7 (65,1 mm), D_3 (65,15 mm) i D_1 (64,6 mm). Istotnie najkrótsze koleoptyle – 61,2 mm – wytworzyły ziarniaki kontrolne. Największy efekt stymulacji, w stosunku do wartości kontrolnej, obserwowano po zastosowaniu dawki D_5 (7,3 mm), tj. 11,9%.

Pod względem długości koleoptyla genotypy podzieliły się na dwie rozdzielne grupy jednorodne. Pierwszą, o istotnie wyższych wartościach, stanowiły: ród SMH 6780 – 68,0 mm oraz odmiany: Tortija – 67,7 mm i Kobra – 65,4 mm. Z kolei Almari (61,6 mm) i Korweta (61,5 mm) należały do drugiej grupy jednorodnej.

Interakcja genotyp x dawka uwidoczniła, że dla wariantu kontrolnego istotnie najkrótszy koleoptyl wytworzyła Almari. Długości koleoptyli pozostałych genotypów stanowiły jedną grupę o istotnie wyższych wartościach. Po zastosowaniu przedsięwziętego naświetlania jedną grupę jednorodną uzyskano tylko dla dawki D_3 , dla pozostałych dawek otrzymano dwie grupy zachodzące na siebie. Wpływ wszystkich dawek promieni lasera obserwowano jedynie u odmiany Almari, gdzie wystąpiła stymulacja długości koleoptyla z 48,0 mm – dla ziarniaków kontrolnych do 62,4–68,0 mm po napromieniowaniu. Efekt stymulacji wyniósł od 30,0 do 42,0%. Pozostałe genotypy pszenicy ozimej nie wykazały reakcji na światło lasera.

- **Długości nadziemnej części siewki.** Analiza wariancji przeprowadzona dla tej cechy wykazała istotne zróżnicowanie dawek promieniowania, genotypów pszenicy i interakcję genotyp x dawka. Stymulację długości siewek wywołały dawki: D_5 – otrzymano wartość 86,2 mm, D_3 – 80,0 mm i D_1 – 79,1 mm. W stosunku do kontroli, przyjmującej wartość 68,4 mm, efekt wydłużenia wyniósł od 15,5 do 26% (tab. 11).

Długości siewek wykształconych przez poszczególne genotypy pszenicy utworzyły cztery grupy jednorodne. Odmianą o istotnie najdłuższej siewce była Tortija – 92,4 mm, najkrótszą zaś wytworzył ród SMH 6780 – 65 mm.

Po stwierdzeniu interakcji odmian z dawkami dla tej cechy utworzono w wariancie kontrolnym trzy grupy. Należy dodać, iż Tortija charakteryzowała się najdłuższą siewką – 97,5 mm i tworzyła oddzielną grupę jednorodną. Do drugiej grupy należały: Korweta – 72,2 mm i ród SMH 6780 – 69,7 mm. Istotnie najkrótsze siewki wytworzyły odmiany Kobra (54,2 mm) i Almari (48,5 mm). Po zastosowaniu naświetlania promieniami lasera formy pszenicy wykształcały siewki tworzące po: dwie grupy jednorodne dla dawek D_1 i D_5 , trzy dla D_3 i cztery dla D_7 . Kobra jest odmianą, która we wszystkich tych wariantach należała do grupy o wyższych lub najwyższych wartościach tej cechy. Długości siewek wytworzonych przez ród SMH 6780 najczęściej znajdowały się w grupie jednorodnej o niższych lub najniższych wartościach.

Stwierdzono, że genotypy Almari i Kobra wykazały reakcję na przedsięwzięte naświetlanie ziarniaków promieniami lasera. W przypadku odmian wystąpił efekt stymulacji po zastosowaniu wszystkich dawek światła lasera, odpowiednio o: Almari 36,8 mm (tj. o 75,8%) i Kobra 41,9 mm (tj. o 77,3%). Odmiany Korweta, Tortija oraz ród SMH 6780 nie wykazały reakcji na naświetlanie.

Tabela 11
Table 11

Średnie wartości dla długości nadziemnej części siewki (mm) – pszenica ozima
Means value for first leaf length (mm) – winter wheat

Dawka Dose	Genotyp – Genotype					Średnia Mean
	Almari	Kobra	Korweta	Tortija	SMH 6780	
Kontrola Control	48,5	54,2	72,2	97,5	69,7	68,4
D ₁	75,3	92,1	86,4	83,9	57,6	79,1
D ₃	85,3	96,1	72,0	92,6	54,2	80,0
D ₅	77,3	90,4	79,5	96,3	87,5	86,2
D ₇	66,1	85,3	73,6	91,6	56,0	74,5
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	16,4					7,4
Genotyp Genotype	70,5	83,6	76,7	92,4	65,0	77,7
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	7,4					–

4.2.2. Pszenica jara

Badania nad wpływem promieni lasera na pszenicę jarą przeprowadzono na odmianach Jasna i Opatka oraz na rodach SMH 73, SMH 113 i SMH 267.

Forma jara pszenicy wykazała zróżnicowanie pod względem genotypowym dla energii kiełkowania, długości koleoptyla i nadziemnej części siewki. Nie stwierdzono żadnego wpływu zastosowanych dawek światła laserowego na wartość siewną i cechy morfologiczne siewek. Analiza statystyczna wykazała interakcję dawka x odmiana jedynie dla długości koleoptyla.

- **Energia kiełkowania.** W obrębie badanych odmian i rodów pszenicy jarej wyodrębniono dwie grupy jednorodne. Grupę o istotnie niższej wartości tworzył ród SMH 73 o energii kiełkowania równej 97,2%, a do grupy o istotnie wyższej energii kiełkowania (od 98,7 do 99,3%) należały pozostałe genotypy pszenicy jarej (tab. 12).

- **Zdolność kiełkowania i długość korzonków zarodkowych.** Przeprowadzona analiza statystyczna uzyskanych danych nie uwidoczniła istotnego wpływu odmiany i dawki promieniowania na te cechy (tab. 13 i 14).

- **Długość koleoptyla.** Analiza statystyczna pozwoliła utworzyć trzy grupy jednorodne. Ponownie w grupie o istotnie najniższych wartościach znalazł się ród SMH 73 (58,6 mm). Grupę o istotnie najdłuższym koleoptylu tworzyły rody: SMH 267 (70 mm) i SMH 113 (69,9 mm) oraz odmiana Jasna – 68,1 mm. Odmiana Opatka należała do drugiej grupy, przyjmując wartość 64,3 mm (tab. 15).

Interakcja genotyp x dawka wykazała utworzenie dwóch grup jednorodnych dla wariantu kontrolnego oraz po zastosowaniu pięciokrotnego naświetlania. W przypadku pozostałych dawek uzyskano po trzy grupy jednorodne. Ród SMH 73, dla wszystkich

wariantów naświetlania oraz dla kontroli, znajdował się w grupie o niższych lub najniższych wartościach długości koleoptyla (54,7–62,2 mm). Najdłuższym koleptylem charakteryzował się ród SMH 267 (71,4–75,5 mm).

Tabela 12

Table 12

Średnie wartości dla energii kiełkowania (%) – pszenica jara
Means value for germination energy (%) – spring wheat

Dawka Dose	Genotyp – Genotype					Średnia Mean
	Jasna	Opatka	SMH 73	SMH 113	SMH 267	
Kontrola Control	99,0	99,7	96,3	100,0	99,3	98,9
D ₁	98,7	99,0	98,0	99,7	98,0	98,7
D ₃	98,7	99,7	98,7	99,3	99,3	99,1
D ₅	98,3	99,0	97,7	99,3	99,0	98,7
D ₇	99,3	99,3	95,3	98,3	97,7	98,0
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	r.n. – n.s.					r.n. – n.s.
Genotyp Genotype	98,8	99,3	97,2	99,3	98,7	98,7
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	1,3					–

r.n. – różnica nieistotna, n.s. – not significant difference

Tabela 13

Table 13

Średnie wartości dla zdolności kiełkowania (%) – pszenica jara
Means value for germination capacity (%) – spring wheat

Dawka Dose	Genotyp – Genotype					Średnia Mean
	Jasna	Opatka	SMH 73	SMH 113	SMH 267	
Kontrola Control	99,7	100,0	97,7	100,0	99,7	99,4
D ₁	99,0	100,0	98,3	99,7	98,0	99,0
D ₃	99,7	99,7	99,3	99,3	99,7	99,5
D ₅	99,0	99,0	99,3	99,7	99,0	99,2
D ₇	99,3	99,3	97,7	98,7	98,3	98,7
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	r.n. – n.s.					r.n. – n.s.
Genotyp Genotype	99,3	99,6	98,5	99,5	98,9	99,2
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	r.n. – n.s.					–

r.n. – różnica nieistotna, n.s. – not significant difference

Tabela 14
Table 14

Średnie wartości dla długości korzonków zarodkowych (mm) – pszenica jara
Means value for radicle length (mm) – spring wheat

Dawka Dose	Genotyp – Genotype					Średnia Mean
	Jasna	Opatka	SMH 73	SMH 113	SMH 267	
Kontrola Control	103,9	116,0	118,6	106,0	114,6	111,8
D ₁	132,5	101,2	112,7	101,8	104,0	110,4
D ₃	109,5	101,1	113,4	110,1	114,7	109,8
D ₅	102,0	102,8	106,7	101,8	108,7	104,4
D ₇	115,1	105,4	116,4	100,6	114,8	110,5
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	r.n. – n.s.					r.n. – n.s.
Genotyp Genotype	112,6	105,3	113,6	104,1	111,4	109,4
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	r.n. – n.s.					–

r.n. – różnica nieistotna, n.s. – not significant difference

Tabela 15
Table 15

Średnie wartości dla długości koleoptyla (mm) – pszenica jara
Means value for coleoptile length (mm) – spring wheat

Dawka Dose	Genotyp – Genotype					Średnia Mean
	Jasna	Opatka	SMH 73	SMH 113	SMH 267	
Kontrola Control	67,1	66,1	62,2	68,7	74,0	67,6
D ₁	68,2	65,8	59,3	72,3	54,2	64,0
D ₃	70,6	63,3	54,7	69,1	75,5	66,6
D ₅	67,5	63,2	56,2	69,7	71,4	65,6
D ₇	67,3	63,2	60,4	69,5	74,9	67,1
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	7,9					r.n. – n.s.
Genotyp Genotype	68,1	64,3	58,6	69,9	70,0	66,2
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	3,5					–

r. n. – różnica nieistotna, n.s. – not significant difference

Jedynie ród SMH 267 okazał się wrażliwy na zastosowane przedsięwzięcie naświetlania promieniami lasera. W wyniku tego nastąpiła redukcja długości koleoptyla o 19,74 mm, tj. o 26,7%.

- **Długość nadziemnej części siewki.** Dla tej cechy wykazano jedynie zróżnicowanie genotypów, wykorzystując test Duncana otrzymano trzy grupy jednorodne. Siewki wytworzone przez ród SMH 113 stanowiły grupę o najwyższych wartościach (89,9 mm), istotnie różną od pozostałych, zachodzących na siebie grup (tab. 16).

Tabela 16

Table 16

Średnie wartości dla długości nadziemnej części siewki (mm) – pszenica jara
Means value for first leaf length (mm) – spring wheat

Dawka Dose	Genotyp – Genotype					Średnia Mean
	Jasna	Opatka	SMH 73	SMH 113	SMH 267	
Kontrola Control	73,7	75,2	86,4	93,3	82,1	82,1
D ₁	78,6	70,2	89,9	87,8	75,5	80,4
D ₃	74,7	70,8	85,4	97,0	83,3	82,2
D ₅	78,7	68,0	69,3	88,7	77,8	76,5
D ₇	84,2	80,0	82,7	82,9	79,5	81,9
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	r.n. – n.s.					r.n. – n.s.
Genotyp Genotype	78,0	72,8	82,7	89,9	79,6	80,6
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	6,9					–

r. n. – różnica nieistotna, n.s. – not significant difference

4.2.3. Żyto ozime

Materiał do badań nad wpływem przedsięwzięcia naświetlania ziarniaków żyta ozimego stanowiło pięć odmian: Bosmo, Hegro, Rostockie, Wibro oraz Zduno.

- **Energia kiełkowania.** Analiza statystyczna wyników otrzymanych w doświadczeniu laboratoryjnym uwidoczniła istotne zróżnicowanie odmian i zastosowanych dawek światła laserowego.

Dla badanych odmian utworzono dwie rozdzielne grupy jednorodne. Genotypem o istotnie niższej energii kiełkowania okazało się Rostockie (90,4%), a do grupy o wyższych wartościach (93,5–95,5%) należą pozostałe odmiany żyta ozimego. Spośród czterech zróżnicowanych dawek światła lasera, tylko trzykrotne naświetlenie nie wywołało żadnego wpływu na badaną cechę. Wartości energii kiełkowania otrzymane dla nasion kontrolnych jak i naświetlonych dawką D₃ utworzyły grupę jednorodną o niższych wartościach (kontrola – 91,5%, dawka D₃ – 91,9%). Jedno-, pięcio- i siedmiokrotne naświetlenie spowodowało podwyższenie wartości energii kiełkowania odpowiednio o: 3,6, 3,8 i 4,6%. Wszystkie te wartości stanowią jedną grupę jednorodną o istotnie wyższych wartościach (tab. 17).

Tabela 17
Table 17

Średnie wartości dla energii kiełkowania (%) – żyto ozime
Means value for germination energy (%) – winter rye

Dawka Dose	Genotyp – Genotype					Średnia Mean
	Bosmo	Hegro	Rostockie	Wibro	Zduno	
Kontrola Control	91,7	90,3	87,5	93,3	94,7	91,5
D ₁	97,0	95,0	88,7	98,0	95,3	94,8
D ₃	91,7	95,7	84,7	95,3	92,0	91,9
D ₅	97,3	93,0	95,3	97,0	95,7	95,7
D ₇	98,3	93,3	95,7	94,0	93,7	95,0
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	r.n. – n.s.					2,6
Genotyp Genotype	95,2	93,5	90,4	95,5	94,3	93,8
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	2,6					–

r.n. – różnica nieistotna, n.s. – not significant difference

- **Zdolność kiełkowania.** Wykazano istotne zróżnicowanie dawek promieniowania laserowego i odmian oraz interakcję obu analizowanych czynników. Również dla tej cechy żyto Rostockie należało do grupy jednorodnej o najniższych wartościach – 92,4%. Uzyskane wyniki dotyczące zdolności kiełkowania pozostałych odmian utworzyły dwie zachodzące na siebie grupy jednorodne.

Wszystkie zastosowane dawki światła laserowego spowodowały podwyższenie wartości tej cechy od 2,7 do 4,4% w stosunku do wariantu kontrolnego (92,8%) stanowiącego grupę jednorodną o istotnie niższych wartościach.

Interakcja dawka x odmiana udowodniła, że żyto Rostockie było formą o najniższej zdolności kiełkowania dla wariantu kontrolnego. Po zastosowaniu przedsięwziętego naświetlania, dla dawek D₁ i D₃ uzyskano po dwie nierozłączne grupy jednorodne. Rostockie również należało do grup o niższych wartościach, natomiast po napromieniowaniu dawkami D₅ i D₇ wszystkie odmiany charakteryzowały się podobnymi wartościami zdolności kiełkowania i tworzyły jedną grupę jednorodną. Spośród pięciu badanych odmian tylko u żyta Rostockie obserwowano stymulujący wpływ promieni lasera po zastosowaniu wszystkich dawek naświetlania. Wzrost wartości zdolności kiełkowania wyniósł od 6,3 do 13,7% w stosunku do kontroli (85,3%). Najwyższe wartości osiągnięto po zastosowaniu pięcio- i siedmiokrotnego naświetlania. Drugą odmianą reagującą na światło lasera była Hegro, u której efekt stymulacji uzyskany po naświetleniu ziarniaków dawkami D₃ oraz D₅ wyniósł 5,1% (tab. 18). Pozostałe odmiany: Bosmo oraz Zduno nie wykazały reakcji na zastosowanie promieni lasera w odniesieniu do omawianej cechy.

Tabela 18
Table 18

Średnie wartości dla zdolności kiełkowania (%) – żyto ozime
Means value for germination capacity (%) – winter rye

Dawka Dose	Genotyp – Genotype					Średnia Mean
	Bosmo	Hegro	Rostockie	Wibro	Zduno	
Kontrola Control	96,3	92,3	85,3	94,7	95,3	92,8
D ₁	97,7	95,3	92,7	99,0	96,3	96,2
D ₃	97,3	97,0	90,7	97,0	94,7	95,3
D ₅	97,7	97,0	97,0	96,3	96,3	96,9
D ₇	99,7	96,3	96,3	96,0	95,3	96,7
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	4,1					1,8
Genotyp Genotype	97,7	95,6	92,4	96,6	95,6	95,6
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	1,8					–

Tabela 19
Table 19

Średnie wartości dla długości korzonków zarodkowych (mm) – żyto ozime
Means value for radicle length (mm) – winter rye

Dawka Dose	Genotyp – Genotype					Średnia Mean
	Bosmo	Hegro	Rostockie	Wibro	Zduno	
Kontrola Control	95,0	78,13	80,0	103,1	107,3	92,7
D ₁	80,4	97,4	95,1	104,2	107,6	96,9
D ₃	76,5	106,2	101,4	109,4	120,2	102,7
D ₅	84,4	101,6	111,6	114,4	103,7	103,1
D ₇	91,1	103,9	110,0	115,3	107,2	105,5
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	r.n. – n.s.					8,9
Genotyp Genotype	85,5	97,4	99,6	109,3	109,2	100,2
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	8,9					–

r.n. – różnica nieistotna, n.s. – not significant difference

• **Długość korzonków zarodkowych.** Stwierdzono istotne zróżnicowanie odmian i dawek dla wartości tej cechy (tab. 19).

Odmiany badane w doświadczeniu wytworzyły korzonki, których długości należały do trzech rozłącznych grup jednorodnych. Najdłuższymi korzonkami charakteryzowały się Wibro (109,3 mm) i Zduno (109,2 mm) tworzące jedną, istotnie najlepszą grupę. Odmiany Rostockie i Hegro wytworzyły korzonki o długości – odpowiednio 99,6 i 97,4 mm i wartości te należały do drugiej grupy jednorodnej. Istotnie najkrótszymi korzonkami charakteryzowała się Bosmo – 85,5 mm.

Po naświetleniu ziarniaków obserwowano stymulujący wpływ dawek na wydłużenie korzonków zarodkowych: D_7 – 12,78 mm (tj. o 13,8%); D_5 – 10,42 mm (tj. 11,2%) oraz D_3 – 10,1 mm (tj. 10,8%) w stosunku do kontroli.

• **Długość koleoptyla.** Wykazano istotny wpływ zastosowanego naświetlania na tę cechę. Wszystkie dawki promieniowania lasera półprzewodnikowego spowodowały wydłużenie koleoptyla od 7,6 do 8,1 mm w stosunku do kontroli (41,0 mm) stanowiącej grupę o istotnie niższych wartościach. Efekt stymulacji wyniósł od 18,6 do 19,8% (tab. 20).

• **Długość nadziemnej części siewki.** Analiza statystyczna otrzymanych wartości udowodniła dla tej cechy istotne zróżnicowanie odmian, dawek promieniowania oraz interakcję dawka x odmiana. Długości siewek badanych odmian utworzyły trzy zachodzące na siebie grupy jednorodne. Najdłuższą siewkę obserwowano u Zduno (95,7 mm), najkrótszą zaś u Bosmo (81,2 mm) (tab. 21).

Wszystkie zastosowane dawki spowodowały istotne wydłużenie siewek od 8,3 do 10,8 mm (tj. o 10,4–13,6%) w stosunku do wartości kontrolnej wynoszącej 79,3 mm.

Tabela 20
Table 20

Średnie wartości dla długości koleoptyla (mm) – żyto ozime
Means value for coleoptile length (mm) – winter rye

Dawka Dose	Genotyp – Genotype					Średnia Mean
	Bosmo	Hegro	Rostockie	Wibro	Zduno	
Kontrola Control	39,2	39,9	35,9	41,4	48,5	41,0
D_1	49,9	53,7	44,3	48,7	48,6	49,0
D_3	44,4	52,6	47,6	52,7	47,0	48,9
D_5	53,5	47,7	43,4	50,7	47,3	48,5
D_7	50,2	45,4	46,6	53,2	49,8	49,0
$NIR_{(a=0,05)}$ $LSD_{(a=0,05)}$	r.n. – n.s.					4,4
Genotyp Genotype	47,4	47,9	43,6	49,3	48,2	47,3
$NIR_{(a=0,05)}$ $LSD_{(a=0,05)}$	r.n. – n.s.					–

r.n. – różnica nieistotna, n.s. – not significant difference

Tabela 21
Table 21

Średnie wartości dla długości nadziemnej części siewki (mm) – żyto ozime
Means value for first leaf length (mm) – winter rye

Dawka Dose	Genotyp – Genotype					Średnia Mean
	Bosmo	Hegro	Rostockie	Wibro	Zduno	
Kontrola Control	74,5	67,6	81,0	75,5	97,9	79,3
D ₁	97,9	91,1	82,6	83,9	92,3	89,6
D ₃	74,1	87,5	99,1	91,1	96,2	89,6
D ₅	85,2	79,6	82,2	96,8	94,4	87,6
D ₇	74,1	87,0	83,5	108,2	97,6	90,1
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	16,5					7,4
Genotyp Genotype	81,2	82,6	85,7	91,1	95,7	87,3
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	7,4					–

Interakcja dawek z odmianami wykazała, że po zastosowaniu dawek D₁ i D₅ siewki wytworzone przez wszystkie odmiany nie różniły się od siebie istotnie. Zastosowanie pozostałych dawek spowodowało wytworzenie siewek żyta o długościach należących do dwóch lub trzech nierozłącznych grup jednorodnych wraz z wariantem kontrolnym. Efekt stymulujący zastosowanego napromieniowania obserwowano u trzech spośród pięciu badanych odmian. Bosmo zareagowała na dawkę D₁ wydłużeniem siewki o 23,4 mm (tj. 31,4%), natomiast Hegro po użyciu dawek D₁, D₃, D₇ wydłużyła siewkę od 19,37 (28,7%) do 23,5 mm (34,7%). Odmiana Wibro wykazała stymulację długości nadziemnej części siewki po naświetleniu dawką D₇ i D₅ odpowiednio o: 32,7 (43,3%) i 21,27 mm (28,2%). Odmiany Rostockie i Zduno okazały się genotypami nie wykazującymi wrażliwości na promieniowanie laserowe. Wszystkie zastosowane dawki promieni lasera spowodowały u nich powstanie siewek o długościach nie różniących się istotnie od siebie.

4.2.4. Żyto jare

Naświetlanie ziarniaków żyta jarego prowadzono tylko na dwóch genotypach: odmianie Abago i rodzie SMH 301. W celu zachowania poprawności obliczeń statystycznych liczbę powtórzeń w doświadczeniu laboratoryjnym zwiększono do pięciu.

- **Energia kiełkowania.** W przypadku tej cechy istotne zróżnicowanie stwierdzono jedynie dla badanych genotypów. Odmiana Abago charakteryzowała się istotnie wyższą (74,2%) energią kiełkowania niż ród SMH 301 (69,8%) – tabela 22.

Tabela 22
Table 22

Średnie wartości dla energii kiełkowania (%) – żyto jare
Means value for germination energy (%) – spring rye

Dawka Dose	Genotyp – Genotype		Średnia Mean
	Abago	SMH 301	
Kontrola Control	74,4	70,6	72,5
D ₁	78,0	70,0	74,0
D ₃	69,2	69,8	69,5
D ₅	72,8	70,0	71,4
D ₇	76,8	68,4	72,6
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	r.n. – n.s.		r.n. – n.s.
Genotyp – Genotype	74,2	69,8	72,0
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	2,5		–

r.n. – różnica nieistotna, n.s. – not significant difference

- **Zdolność kiełkowania.** Biorąc pod uwagę zdolność kiełkowania, układ grup jednorodnych był identyczny jak dla energii kiełkowania. Istotnie wyższą wartością tej cechy charakteryzowała się Abago.

Interakcja genotyp x dawka udowodniła, iż odmiana Abago istotnie różniła się zdolnością kiełkowania od rodu SMH 301. Genotypem wrażliwym na promienie lasera okazała się Abago, przy czym po zastosowaniu trzy- i pięciokrotnego naświetlania otrzymano efekt redukcji zdolności kiełkowania. Wartości otrzymane po zastosowaniu dawek D₁ i D₇ oraz w kontroli stanowiły jedną grupę jednorodną o istotnie wyższych wartościach. Ród SMH 301 nie wykazał reakcji na przedsięwzięte naświetlenie promieniami lasera (tab. 23).

- **Długość korzonków zarodkowych.** Wykonana analiza statystyczna wyników nie uwidoczniła istotnego zróżnicowania dla dawek, genotypów ani interakcji dawka x genotyp w odniesieniu do tej cechy (tab. 24).

- **Długość koleoptyla.** Analiza wariancji przedstawiła istotne zróżnicowanie badanych genotypów, zastosowanych dawek światła lasera oraz interakcję dawka x genotyp (tab. 25). Odmiana Abago wytworzyła koleoptyl o długości istotnie większej (55,2 mm) niż ród SMH 301 (49,7 mm).

Po zastosowaniu czterech dawek promieniowania laserowego długości uzyskanych koleoptyli należały do trzech grup jednorodnych. Dawki D₇ i D₃ (grupa o istotnie najwyższych wartościach) spowodowały stymulację długości koleoptyla od 8,0 do 9,1 mm (tj. 16,9 do 19,3%). Jedno- i pięciokrotne naświetlenie wywołało mniejszy efekt wydłużenia koleoptyla wynoszący od 3,7 do 4,5 mm (tj. 7,9 do 9,4%). Kontrola stanowiła trzecią grupę jednorodną o istotnie najniższych wartościach (47,4 mm).

Tabela 23
Table 23

Średnie wartości dla zdolności kiełkowania (%) – żyto jare
Means value for germination capacity (%) – spring rye

Dawka Dose	Genotyp – Genotype		Średnia Mean
	Abago	SMH 301	
Kontrola Control	82,8	77,0	79,9
D ₁	83,0	73,4	78,2
D ₃	73,0	76,0	74,5
D ₅	76,6	76,8	76,7
D ₇	82,4	75,8	79,1
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	5,7		r.n. – n.s.
Genotyp – Genotype	79,6	75,8	77,7
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	2,5		–

r.n. – różnica nieistotna, n.s. – not significant difference

Tabela 24
Table 24

Średnie wartości dla długości korzonków zarodkowych (mm) – żyto jare
Means value for radicle length (mm) – spring rye

Dawka Dose	Genotyp – Genotype		Średnia Mean
	Abago	SMH 301	
Kontrola Control	87,5	84,5	86,0
D ₁	76,8	91,1	84,0
D ₃	96,82	90,9	93,9
D ₅	83,7	85,6	84,7
D ₇	95,0	91,8	93,4
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	r.n. – n.s.		r.n. – n.s.
Genotyp – Genotype	88,0	88,8	88,4
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	r.n. – n.s.		–

r.n. – różnica nieistotna, n.s. – not significant difference

Obliczona interakcja dawka x odmiana udowodniła, iż długości koleoptyli wytworzonych z ziarniaków nie naświetlonych utworzyły dwie odrębne grupy jednorodne. Odmiana Abago charakteryzowała się istotnie dłuższym koleoptylem niż ród SMH 301. Podobne zależności wystąpiły również po zastosowaniu dawek D₁ i D₅. Siedmiokrotne naświetlanie spowodowało brak różnic między badanymi genotypami, w efekcie czego powstała jedna grupa jednorodna. Odmiana Abago wykazała efekt stymulujący tylko po zastosowaniu dawki D₃ – nastąpiło wydłużenie koleoptyla o 7,2 mm (tj. 13,9%). W przypadku rodu SMH 301 wydłużenie koleoptyla otrzymano po

naświetleniu wszystkimi dawkami światła lasera. Istotnie najlepszą grupę jednorodną stanowiły koleoptyle uzyskane po siedmiokrotnym naświetlaniu (57,2 mm), a przyrost długości wyniósł wówczas 14,7 mm (34,4%). Pozostałe dawki spowodowały uzyskanie koleoptyli o długości 48–51,4 mm, wydłużenie wyniosło od 5,4 do 8,8 mm (12,6–20,7%). Do grupy o istotnie najniższych wartościach należały koleoptyle o długości 42,6 mm wyrosłe z nasion kontrolnych.

• **Długość nadziemnej części siewki.** Przeprowadzona analiza statystyczna udowodniła istotność zróżnicowania obu badanych czynników, dawek oraz genotypów (tab. 26).

Tabela 25
Table 25

Średnie wartości dla długości koleoptyla (mm) – żyto jare
Means value for coleoptile length (mm) – spring rye

Dawka Dose	Genotyp – Genotype		Średnia Mean
	Abago	SMH 301	
Kontrola Control	52,2	42,6	47,4
D ₁	54,3	48,0	51,2
D ₃	59,4	51,4	55,4
D ₅	54,5	49,2	51,9
D ₇	55,8	57,2	56,5
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	4,8		3,4
Genotyp – Genotype	55,2	49,7	52,5
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	2,2		–

Tabela 26
Table 26

Średnie wartości dla długości nadziemnej części siewki (mm) – żyto jare
Means value for first leaf length (mm) – spring rye

Dawka Dose	Genotyp – Genotype		Średnia Mean
	Abago	SMH 301	
Kontrola Control	86,7	46,1	66,4
D ₁	79,7	65,6	72,7
D ₃	103,8	75,1	89,5
D ₅	95,8	63,6	79,7
D ₇	104,4	85,8	95,1
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	r.n. – n.s.		11,7
Genotyp – Genotype	94,1	67,2	80,7
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	7,4		–

r.n. – różnica nieistotna, n.s. – not significant difference

Odmiana Abago należała do grupy o istotnie wyższych wartościach długości siewki (94,1 mm) w porównaniu z rodem SMH 301 (67,2 mm).

Trzy spośród zastosowanych dawek światła laserowego spowodowały wydłużenie siewki w porównaniu z kontrolą. Siedmiokrotne napromieniowanie nasion dało największy efekt, powodując wzrost wartości tej cechy o 28,7 mm (tj. 43,2%). Dawki D₃ i D₅ powodowały stymulację odpowiednio o: 23,1 mm (34,7%) i 13,3 mm (20%). Jedynie dawka D₁ należała, wraz z kontrolą, do jednej grupy jednorodnej o najniższych wartościach długości części nadziemnej.

4.2.5. Pszenżyto ozime

Materiał do badań stanowiło pięć genotypów pszenżyta ozimego, tj. dwie odmiany: Lamberto i Woltario oraz trzy rody: SMH 246 – 25, SMH 246 – 39 i SMH 404.

- **Energia i zdolność kiełkowania.** Analizy wariancji dla tych cech wykazały istotne zróżnicowanie tylko dla badanych genotypów (tab. 27 i 28).

W przypadku energii kiełkowania otrzymano trzy grupy jednorodne, przy czym najwyższymi wartościami tej cechy charakteryzowały się rody SMH 246–25 (98,9%), SMH 246–39 (98,3%) oraz odmiana Woltario (98,1%). Istotnie najniższą energię wykazywał ród SMH 404 (94,9%).

Uzyskane dla poszczególnych genotypów pszenżyta wartości zdolności kiełkowania utworzyły identyczny układ w obrębie grup jednorodnych podobnie jak dla energii kiełkowania. Najwyższą wartością tej cechy charakteryzował się ród SMH 246 – 25 (99%), najniższą zaś SMH 404 (95,6%).

Tabela 27
Table 27

Średnie wartości dla energii kiełkowania (%) – pszenżyto ozime
Means value for germination energy (%) – winter triticale

Dawka Dose	Genotyp – Genotype					Średnia Mean
	Lamberto	SMH 246-25	SMH 246-39	SMH 404	Woltario	
Kontrola Control	97,3	99,3	99,3	96,0	98,3	98,0
D ₁	98,7	99,0	98,3	94,3	98,7	97,8
D ₃	97,0	99,0	98,0	93,3	97,7	97,0
D ₅	96,0	99,3	97,7	95,0	97,7	97,1
D ₇	98,3	97,7	98,3	96,0	98,0	97,7
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	r.n. – n.s.					r.n. – n.s.
Genotyp Genotype	97,5	98,9	98,3	94,9	98,1	97,5
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	1,2					

r.n. – różnica nieistotna, n.s. – not significant difference

Tabela 28
Table 28

Średnie wartości dla zdolności kiełkowania (%) – pszenżyto ozime
Means value for germination capacity (%) – winter triticale

Dawka Dose	Genotyp – Genotype					Średnia Mean
	Lamberto	SMH 246-25	SMH 246-39	SMH 404	Woltario	
Kontrola Control	97,7	99,3	99,3	97,0	99,0	98,5
D ₁	99,0	99,0	98,3	95,0	99,3	98,1
D ₃	97,7	99,3	98,3	93,3	98,0	97,3
D ₅	96,7	99,3	98,3	96,3	98,0	97,7
D ₇	98,3	98,0	98,3	96,3	98,3	97,8
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	r.n. – n.s.					r.n. – n.s.
Genotyp Genotype	97,9	99,0	98,5	95,6	98,5	97,9
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	1,0					–

r.n. – różnica nieistotna, n.s. – not significant difference

- **Długość korzonków zarodkowych.** Statystyczne opracowanie wyników wykazało zróżnicowanie jedynie dla badanych genotypów pszenżyta. Otrzymano trzy grupy jednorodnie, a rody SMH 246 – 25 i SMH 246 – 39 ponownie należały do grupy o najwyższych wartościach. Nasiona rodu SMH 246 – 25 wytworzyły korzonki o długości 159,7 mm, rodu SMH 246 – 39 o długości 145,9 mm, zaś do grupy o najkrótszych korzonkach należały ród SMH 404 (121,2 mm) oraz odmiana Lamberto (121,1 mm) – tabela 29.

- **Długości koleoptyla.** Analizując grupy utworzone dla długości koleoptyla, uzyskano istotne zróżnicowanie genotypów i dawek. Można stwierdzić, że rody SMH 246 – 25 i SMH 246 – 39 należą do grupy jednorodnej o wyższych wartościach. SMH 246 – 25 wytworzył koleoptyl o długości 56,6 mm, zaś SMH 246 – 39 o długości 56,0 mm. Pozostałe trzy genotypy należą do grupy o istotnie krótszym koleoptylu (od 48,2 mm – SMH 404 do 43,3 mm – Woltario).

Pszenżyto ozime zareagowało na przedświeczne naświetlenie promieniami lasera redukcją długości koleoptyla. Wartość kontrolna wynosząca 52,9 mm należała wraz z długościami koleoptyla otrzymanymi po zastosowaniu dawek D₁ (54,2 mm) i D₃ (53,2 mm) do grupy o istotnie wyższych wartościach. Zastosowanie dawek D₅ i D₇ spowodowało skrócenie długości koleoptyla do 46,0 i 44,5 mm. Redukcja wyniosła odpowiednio 13,0 i 15,7% (tab. 30).

- **Długość nadziemnej części siewki** była cechą, dla której otrzymano istotne zróżnicowanie genotypów i zastosowanych dawek światła lasera (tab. 31).

Tabela 29
Table 29

Średnie wartości dla długości korzonków zarodkowych (mm) – pszenżyto ozime
Means value for radicle length (mm) – winter triticale

Dawka Dose	Genotyp – Genotype					Średnia Mean
	Lamberto	SMH 246-25	SMH 246-39	SMH 404	Woltario	
Kontrola Control	99,5	151,7	147,4	129,7	126,4	130,9
D ₁	130,1	155,6	150,4	127,1	146,6	142,0
D ₃	147,6	159,6	157,9	125,1	155,9	149,2
D ₅	110,9	161,8	138,5	121,0	133,7	133,2
D ₇	117,4	169,8	135,3	103,3	128,7	130,9
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	r.n. – n.s.					r.n. – n.s.
Genotyp Genotype	121,1	159,7	145,9	121,2	138,3	137,2
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	14,7					–

r.n. – różnica nieistotna, n.s. – not significant difference

Tabela 30
Table 30

Średnie wartości dla długości koleoptyla (mm) – pszenżyto ozime
Means value for coleoptile length (mm) – winter triticale

Dawka Dose	Genotyp – Genotype					Średnia Mean
	Lamberto	SMH 246-25	SMH 246-39	SMH 404	Woltario	
Kontrola Control	52,2	56,3	60,1	50,4	45,7	52,9
D ₁	55,9	58,9	63,4	50,0	43,0	54,2
D ₃	52,0	55,9	61,8	49,5	46,9	53,2
D ₅	38,6	58,5	49,1	41,9	41,7	46,0
D ₇	35,4	53,4	45,8	49,0	39,1	44,5
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	r.n. – n.s.					6,0
Genotyp Genotype	46,8	56,6	56,0	48,2	43,3	50,2
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	6,0					–

r.n. – różnica nieistotna, n.s. – not significant difference

Tabela 31
Table 31

Średnie wartości dla długości nadziemnej części siewki (mm) – pszenżyto ozime
Means value for first leaf length (mm) – winter triticale

Dawka Dose	Genotyp – Genotype					Średnia Mean
	Lamberto	SMH 246-25	SMH 246-39	SMH 404	Woltario	
Kontrola Control	101,2	95,8	99,5	102,4	98,8	99,5
D ₁	110,2	106,2	101,5	106,1	116,2	108,0
D ₃	127,4	109,2	107,3	97,8	119,3	112,2
D ₅	105,5	119,3	93,9	87,6	96,2	100,5
D ₇	98,7	126,0	90,6	91,3	101,4	101,6
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	r.n. – n.s.					8,5
Genotyp Genotype	108,6	111,3	98,6	97,0	106,4	104,4
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	8,5					–

r.n. – różnica nieistotna, n.s. – not significant difference

Dla genotypów uzyskano trzy grupy jednorodne. Ród SMH 246 – 25 należy do grupy o najwyższych wartościach, wykształcając siewkę o długości 111,3 mm, do grupy tej zaliczają się również odmiany Lamberto – 108,6 mm i Woltario – 106,4 mm. Genotypami o najkrótszej siewce okazały się rody SMH 246 – 39 (98,6 mm) oraz SMH 404 (97,0 mm).

Dla genotypów pszenżyta ozimego wpływ na długość nadziemnej części siewki miała jedynie dawka D₃, powodując zwiększenie wartości tej cechy o 12,7 mm, tj. o 12,8% w stosunku do kontroli. Długości siewek wyrosłych z nasion napromieniowanych pozostałymi dawkami światła laserowego znalazły się w jednej grupie jednorodnej z wartością kontrolną.

4.2.6. Pszenżyto jare

Materiał do badań w doświadczeniu laboratoryjnym stanowiły cztery genotypy pszenżyta jarego, tj. odmiany: Kargo i Wanad oraz rody: SMH 224 i SMH 334.

Wyniki otrzymane z doświadczenia laboratoryjnego poddano analizie statystycznej, w wyniku której stwierdzono istotne zróżnicowanie genotypów dla energii i zdolności kiełkowania, a także długości koleoptyla. Wpływ dawek wykazano jedynie dla długości koleoptyla, zaś interakcję dla długości koleoptyla i nadziemnej części siewki.

- **Energia kiełkowania.** Dla energii kiełkowania utworzono trzy nierozłączne grupy jednorodne. Najwyższe wartości tej cechy wystąpiły u odmiany Wanad 98,8%.

Najniższą, istotnie różną od pozostałych form energią kiełkowania charakteryzowały się nasiona rodu SMH 334 – 71,3% (tab. 32).

• **Zdolność kiełkowania.** W przypadku tej cechy powstały dwie rozdzielne grupy, przy czym genotypy: Wanad, Kargo i ród SMH 224 charakteryzowały się istotnie wyższymi wartościami tej cechy i wynosiły odpowiednio: 99,5, 97,8 oraz 97,5%. Najniższą zdolność kiełkowania wykazały nasiona rodu SMH 334 (75,9%) – tabela 33.

Tabela 32
Table 32

Średnie wartości dla energii kiełkowania (%) – pszenżyto jare
Means value for germination energy (%) – spring triticale

Dawka Dose	Genotyp – Genotype				Średnia Mean
	Kargo	SMH 224	SMH 334	Wanad	
Kontrola Control	96,7	94,7	68,0	99,3	89,7
D ₁	97,3	97,3	71,0	99,0	91,2
D ₃	97,7	98,7	71,7	99,3	91,9
D ₅	98,0	95,3	72,7	99,3	91,3
D ₇	96,3	97,0	73,3	97,0	90,9
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	r.n. – n.s.				r.n. – n.s.
Genotyp – Genotype	97,2	96,6	71,3	98,8	91,0
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	2,0				–

r.n. – różnica nieistotna, n.s. – not significant difference

Tabela 33
Table 33

Średnie wartości dla zdolności kiełkowania (%) – pszenżyto jare
Means value for germination capacity (%) – spring triticale

Dawka Dose	Genotyp – Genotype				Średnia Mean
	Kargo	SMH 224	SMH 334	Wanad	
Kontrola Control	97,0	96,0	75,3	99,3	91,9
D ₁	97,7	99,0	74,3	99,3	92,6
D ₃	98,0	99,0	74,7	99,7	92,9
D ₅	99,0	96,3	74,7	99,7	92,4
D ₇	97,3	97,3	80,3	99,3	93,6
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	r.n. – n.s.				r.n. – n.s.
Genotyp – Genotype	97,8	97,5	75,9	99,5	92,7
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	1,9				–

r.n. – różnica nieistotna, n.s. – not significant difference

• **Długość korzonków zarodkowych** była cechą, dla której nie stwierdzono istotnych różnic dla żadnego ze źródeł zmienności, tj. dawek, genotypów oraz interakcji genotyp x dawka promieniowania laserowego (tab. 34).

• **Długość koleoptyla.** Analiza wariancji pozwoliła stwierdzić istotność różnicowania dla badanych genotypów, zastosowanych dawek, a także interakcję dawka x genotyp (tab. 35).

Tabela 34

Table 34

Średnie wartości dla długości korzonków zarodkowych (mm) – pszenżyto jare

Means value for radicle length (mm) – spring triticale

Dawka Dose	Genotyp – Genotype				Średnia Mean
	Kargo	SMH 224	SMH 334	Wanad	
Kontrola Control	120,0	139,3	139,2	111,3	127,5
D ₁	121,3	119,9	124,8	123,3	122,3
D ₃	124,4	122,6	131,1	122,8	125,2
D ₅	128,7	146,3	128,1	124,0	131,8
D ₇	120,0	135,2	127,4	130,2	128,2
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	r.n. – n.s.				r.n. – n.s.
Genotyp – Genotype	122,9	132,7	130,1	122,3	127,0
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	r.n. – n.s.				–

r.n. – różnica nieistotna, n.s. – not significant difference

Tabela 35

Table 35

Średnie wartości dla długości koleoptyla (mm) – pszenżyto jare

Means value for coleoptile length (mm) – spring triticale

Dawka Dose	Genotyp – Genotype				Średnia Mean
	Kargo	SMH 224	SMH 334	Wanad	
Kontrola Control	40,2	56,7	54,2	47,9	49,8
D ₁	51,6	55,9	61,3	57,2	56,5
D ₃	54,3	49,0	60,5	58,2	55,5
D ₅	51,7	56,3	59,0	57,2	56,1
D ₇	45,3	49,5	50,2	61,9	51,7
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	8,6				4,3
Genotyp – Genotype	48,6	53,5	57,0	56,5	53,9
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	3,9				–

Koleoptyle wytworzone przez genotypy pszenżyta jarego należały pod względem długości do dwóch grup jednorodnych. Rody SMH 334, SMH 224 oraz odmiana Wanad mające koleoptyle o długości 57,0–53,5 mm należały do grupy o istotnie wyższych wartościach, zaś odmiana Kargo (48,6 mm) stanowiła sama dla siebie odrębną grupę jednorodną o niższych wartościach.

Stymulację długości koleoptyla uzyskano po zastosowaniu dawek D_1 (56,5 mm), D_5 (56,1 mm) oraz D_3 (55,5 mm) w stosunku do kontroli (49,8 mm). Efekt ten wyniósł odpowiednio: 6,8 (tj. 13,7%), 6,4 (12,9%) oraz 5,8 mm (tj. 11,7%). Długość koleoptyla uzyskana po zastosowaniu siedmiokrotnego naświetlania utworzyła wraz z wartością kontrolną (49,8 mm) jedną grupę jednorodną o najniższych wartościach.

Na podstawie interakcji można stwierdzić, że zarówno dla wariantu kontrolnego, jak i dla dawek D_1 , D_3 i D_7 długości koleoptyla tworzyły po dwie grupy jednorodne. Genotypem, który najczęściej należał do grupy o wyższych wartościach, był ród SMH 334, natomiast odmiana Kargo dla większości wariantów znajdowała się w grupie o mniejszej długości koleoptyla. Wpływ dawek promieniowania laserowego stwierdzono u obu badanych odmian. Kargo zareagowała na dawki D_3 (54,3 mm), D_5 (51,7 mm) oraz D_1 (51,6 mm), wykazując efekt stymulacji odpowiednio o: 14,1 (tj. 35,1%), 11,5 (tj. 28,6%) i 11,4 mm (tj. 28,4%) w stosunku do wartości kontrolnej (40,2 mm). Odmiana Wanad zareagowała na zastosowanie dawki wydłużeniem koleoptyla. W przypadku dawki D_7 – otrzymano długość 61,9 mm – przyrost o 14 mm (tj. 29,2%) w stosunku do kontroli (47,9 mm) oraz po zastosowaniu dawki D_3 (58,2 mm) – przyrost o 10,3 mm (tj. 21,5%). Oba badane rody nie wykazały reakcji na zastosowane przedsięwzięte naświetlenie promieniami lasera w odniesieniu do zmiany długości koleoptyla.

- **Długość nadziemnej części siewki.** Analiza wariancji wykazała jedynie interakcję dawek z genotypami. W przypadku wariantu kontrolnego jak i dawek D_1 i D_3 obserwowano brak istotnych różnic między długościami części nadziemnej siewek wytworzonych przez badane genotypy. Po zastosowaniu pięcio- i siedmiokrotnego naświetlania otrzymano po dwie grupy jednorodne, przy czym ród SMH 334 po zastosowaniu obu wymienionych dawek charakteryzował się niższą wartością tej cechy. Efekt stymulacji pod wpływem promieni lasera, podobnie jak dla długości koleoptyla, odnotowano u odmian Kargo i Wanad. U odmiany Kargo obserwowano istotne wydłużenie nadziemnej części siewki po użyciu dawki D_5 (86,5 mm) – efekt wyniósł 38 mm (tj. 78,4%) w stosunku do kontroli (48,5 mm). Nasiona odmiany Wanad zareagowały na siedmiokrotne naświetlenie, wytwarzając siewki o długości 80,5 mm. Wzrost wartości tej cechy wyniósł 32,8 mm, co w porównaniu z kontrolą (47,7 mm) dało stymulację o 68,8% (tab. 36).

Tabela 36
Table 36

Średnie wartości dla długości nadziemnej części siewki (mm) – pszenżyto jare
Means value for first leaf length (mm) – spring triticale

Dawka Dose	Genotyp – Genotype				Średnia Mean
	Kargo	SMH 224	SMH 334	Wanad	
Kontrola Control	48,5	67,5	64,6	47,7	57,1
D ₁	56,7	59,1	72,7	64,7	63,3
D ₃	69,5	51,2	71,1	65,6	64,4
D ₅	86,5	76,1	55,7	64,4	70,7
D ₇	69,4	62,3	52,1	80,5	66,1
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	20,7				r.n. – n.s.
Genotyp – Genotype	66,1	63,2	63,2	64,6	64,3
NIR _(a=0,05) LSD _(a=0,05)	r.n. – n.s.				–

r.n. – różnica nieistotna, n.s. – not significant difference

4.3. Porównanie reakcji form ozimych i jarych genotypów roślin zbożowych na światło lasera

PSZENICA

Dla pszenicy ozimej stwierdzono istotny wpływ promieni lasera na zdolność kiełkowania (dawka D₃ wywołała największą stymulację o 2,8%) oraz na długość koleoptyla i nadziemnej części siewki. Dla cech morfologicznych największy efekt otrzymano po zastosowaniu dawki D₅ – wydłużenie koleoptyla o 11,9% i siewki o 26% w stosunku do kontroli. Wartości badanych cech w kombinacji kontrolnej formy jarej i ozimej różniły się istotnie od siebie zarówno dla energii i zdolności kiełkowania, jak i długości korzonka, koleoptyla i siewki, przy czym wyższymi wartościami charakteryzowała się forma jara. Zastosowane przedsięwzięcia naświetlania ziarniaków promieniami lasera powodowało istotną stymulację wartości badanych cech u formy ozimej dla długości koleoptyla i siewki po zastosowaniu wszystkich dawek, dla zdolności kiełkowania dla dawek wyższych, tj. D₅ i D₇. Przedsięwzięcia biostymulacja laserowa wywołując istotne wydłużenie koleoptyli i nadziemnej części siewki u pszenicy ozimej, spowodowała jednocześnie zatarcie różnic między formami jarą i ozimą obserwowane dla siewek kontrolnych.

Przeprowadzona analiza statystyczna wyników otrzymanych dla pszenicy jarej wykazała brak wpływu zastosowanych dawek światła lasera na wartość siewną i cechy morfologiczne siewek (tab. 37, 40).

Tabela 37
Table 37

Porównanie reakcji form ozimych i jarych pszenicy na promieniowanie laserowe
Comparison of winter and spring wheat cultivars reaction on laser radiation

Cecha Character	Dawka Dose	Średnia dla form pszenicy ozimej Mean for winter wheat	Średnia dla form pszenicy jarej Mean for spring wheat	Różnica Difference
Energia kielekowania Germination energy (%)	K	93,9 (-)	98,9 (-)	5,0 *
	D ₁	93,4	98,7	-
	D ₃	94,9	99,1	-
	D ₅	95,1	98,7	-
	D ₇	93,5	98,0	-
Zdolność kielekowania Germination capacity (%)	K	95,8 (+)	99,4 (-)	3,6 **
	D ₁	97,3 <i>1,6</i>	99,0	1,7 *
	D ₃	98,5 <i>2,8</i>	99,5	1,0 **
	D ₅	98,1 <i>2,4</i>	99,2	1,1
	D ₇	97,6 <i>1,9</i>	98,7	1,1
Długość korzonka zarodkowego Radicle length (mm)	K	85,2 (-)	111,8 (-)	26,6 **
	D ₁	90,0	110,4	-
	D ₃	81,5	109,8	-
	D ₅	84,1	104,4	-
	D ₇	84,5	110,5	-
Długość koleoptyla Coleoptile length (mm)	K	61,2 (+)	67,6 (-)	6,4 *
	D ₁	64,6 <i>5,6</i>	64,0	0,6
	D ₃	65,1 <i>6,4</i>	66,6	1,5
	D ₅	68,5 <i>11,9</i>	65,6	2,9
	D ₇	65,1 <i>6,4</i>	67,1	2,0
Długość nadziemnej części siewki First leaf length (mm)	K	68,4 (+)	82,1 (-)	13,7 *
	D ₁	79,1 <i>15,6</i>	80,4	1,3
	D ₃	80,0 <i>17,0</i>	82,2	2,2
	D ₅	86,2 <i>26,0</i>	76,5	9,7 *
	D ₇	74,5 <i>8,9</i>	81,9	7,4

* poziom istotności 0,05 – significant level 0,05

** poziom istotności 0,01 – significant level 0,01

(+) istotny wpływ dawek – significant influence of doses

(-) brak istotnego wpływu dawek – not significant influence of doses

Kursywą podano procentowy wzrost wartości badanej cechy w stosunku do kontroli

By italic was designated percentage increase of character value in comparison to the control

Tabela 38
Table 38

Porównanie reakcji form ozimych i jarych żyta na promieniowanie laserowe
Comparison of winter and spring rye cultivars reaction on laser radiation

Cecha Character	Dawka Dose	Średnia dla form żyta ozimego Mean for winter rye		Średnia dla form żyta jarego Mean for spring rye		Różnica Difference
Energia kielkowania Germination energy (%)	K	91,5 (+)		72,5 (-)		19,0 **
	D ₁	94,8	<i>3,6</i>	74,0		20,8 **
	D ₃	91,9	<i>0,4</i>	69,5		22,4 **
	D ₅	95,7	<i>4,6</i>	71,4		24,3 **
	D ₇	95,0	<i>3,8</i>	72,6		22,4 **
Zdolność kielkowania Germination capacity (%)	K	92,8 (+)		79,9 (-)		12,9 **
	D ₁	96,2	<i>3,7</i>	78,2		18,0 **
	D ₃	95,3	<i>2,7</i>	74,5		20,8 **
	D ₅	96,9	<i>4,4</i>	76,7		20,2 **
	D ₇	96,7	<i>4,2</i>	79,1		17,6 **
Długość korzonka zarodkowego Radicle length (mm)	K	92,7 (+)		86,0 (-)		6,7
	D ₁	96,9	<i>4,5</i>	84,0		12,9 *
	D ₃	102,7	<i>10,8</i>	93,9		8,8
	D ₅	103,1	<i>11,2</i>	84,7		18,4 **
	D ₇	105,5	<i>13,8</i>	93,4		12,1 **
Długość koleoptyla Coleoptile length (mm)	K	41,0 (+)		47,4 (+)		6,4
	D ₁	49,0	<i>19,5</i>	51,2	<i>8,0</i>	2,2
	D ₃	48,9	<i>19,3</i>	55,4	<i>16,9</i>	6,5 **
	D ₅	48,5	<i>18,3</i>	51,9	<i>9,5</i>	3,4
	D ₇	49,0	<i>19,5</i>	56,5	<i>19,2</i>	7,5 **
Długość nadziemnej części siewki First leaf length (mm)	K	79,3 (+)		66,4 (+)		12,9
	D ₁	89,6	<i>13,0</i>	72,7	<i>9,5</i>	16,9 **
	D ₃	89,6	<i>13,0</i>	89,5	<i>34,8</i>	0,1
	D ₅	87,6	<i>10,5</i>	79,7	<i>20,0</i>	7,9
	D ₇	90,1	<i>13,6</i>	95,1	<i>43,2</i>	5,0

* poziom istotności 0,05 – significant level 0,05

** poziom istotności 0,01 – significant level 0,01

(+) istotny wpływ dawek – significant influence of doses

(-) brak istotnego wpływu dawek – not significant influence of doses

Kursywą podano procentowy wzrost wartości badanej cechy w stosunku do kontroli

By italic was designated percentage increase of character value in comparison to the control

ŻYTO

Analiza danych uzyskanych dla formy ozimej żyta wykazała istotny pozytywny efekt zastosowania światła lasera zarówno dla energii, jak i zdolności kiełkowania oraz cech morfologicznych siewek. U żyta jarego obserwowano wpływ promieni lasera tylko na długość koleoptyla i nadziemnej części siewki. Dla energii i zdolności kiełkowania formy ozimej najwyższą stymulację uzyskano po zastosowaniu pięciokrotnego naświetlania – odpowiednio 4,6 i 4,4% w stosunku do kontroli. Wydłużenie korzonka zarodkowego u żyta ozimego nastąpiło pod wpływem trzy-, pięcio- i siedmiokrotnego naświetlania. Największy efekt wywołało zastosowanie dawki D_7 , powodując stymulację długości korzonków o 13,8% w stosunku do kontroli. Długość koleoptyla i nadziemnej części siewki to cechy, u których dla obu badanych form (jara i ozima) stwierdzono istotny wpływ światła lasera. Dla tych cech najwyższy efekt stymulacji uzyskano, stosując siedmiokrotne przedsiewne naświetlanie ziarniaków i to zarówno u formy jarej, jak i ozimej. Koleoptyl uległ wydłużeniu o 19,5% u formy ozimej i 19,2% u formy jarej, natomiast siewka o 13,6% – forma ozima i 43,2% – forma jara. Pod względem energii i zdolności kiełkowania oraz długości korzonków ozima forma żyta charakteryzowała się istotnie wyższymi wartościami niż forma jara (tab. 38, 40).

PSZENŻYTO

Wpływ przedsiewnego naświetlania ziarniaków pszenżyta ujawnił się u obu form tylko w przypadku długości koleoptyla. U formy ozimej, po zastosowaniu dawki D_3 , obserwowano istotną stymulację dla długości nadziemnej części siewki. Koleoptyl u formy ozimej uległ redukcji po zastosowaniu pięcio- i siedmiokrotnego naświetlania odpowiednio o 13,1 i 15,9% w porównaniu z kontrolą. Natomiast koleoptyl formy jarej uległ wydłużeniu po naświetleniu ziarniaków dawkami D_1 , D_3 i D_5 od 11,4 do 13,5%. Dla energii i zdolności kiełkowania oraz długości nadziemnej części siewki ozima forma pszenżyta wykazywała istotnie wyższe wartości niż forma jara (tab. 39, 40).

Tabela 39
Table 39

Porównanie reakcji form ozimych i jarych pszenżyta na promieniowanie laserowe
Comparison of winter and spring triticale cultivars reaction on laser radiation

Cecha Character	Dawka Dose	Średnia dla form pszenżyta ozimego Mean for winter triticale	Średnia dla form pszenżyta jarego Mean for spring triticale	Różnica Difference
Energia kielekowania Germination energy (%)	K	98,1 (-)	89,7 (-)	8,4 *
	D ₁	97,8	91,2	–
	D ₃	97,0	91,9	–
	D ₅	97,1	91,3	–
	D ₇	97,7	90,9	–
Zdolność kielekowania Germination capacity (%)	K	98,5 (-)	91,9 (-)	6,6 *
	D ₁	98,1	92,6	–
	D ₃	97,3	92,9	–
	D ₅	97,7	92,4	–
	D ₇	97,8	93,6	–
Długość korzonka zarodkowego Radicule length (mm)	K	130,9 (-)	127,5 (-)	3,4
	D ₁	142,0	122,3	–
	D ₃	149,2	125,2	–
	D ₅	133,2	131,8	–
	D ₇	130,9	128,2	–
Długość koleoptyla Coleoptile length (mm)	K	52,9 (+)	49,8 (+)	3,1
	D ₁	54,2 2,5	56,5 13,5	2,3
	D ₃	53,2 0,6	55,5 11,4	2,3
	D ₅	46,0 -13,1	56,1 12,7	10,1 *
	D ₇	44,5 -15,9	51,7 3,8	7,2
Długość nadziemnej części siewki First leaf length (mm)	K	99,5 (+)	57,1 (-)	42,4 **
	D ₁	108,0 8,5	63,3	44,7 **
	D ₃	112,2 12,8	64,4	47,8 **
	D ₅	100,5 1,0	70,7	29,8 **
	D ₇	101,6 2,1	66,1	35,5 **

* poziom istotności 0,0 – significant level 0,05

** poziom istotności 0,01 – significant level 0,01

(+) istotny wpływ dawek – significant influence of doses

(-) brak istotnego wpływu dawek – significant influence of doses

Kursywą podano procentowy wzrost lub redukcję wartości badanej cechy w stosunku do kontroli

By italic was designated percentage increase or reduction of character value in comparison to the control

Tabela 40
Table 40

Porównanie reakcji pszenicy, żyta i pszenżyta (form jarych i ozimych) na działanie lasera półprzewodnikowego
Comparison of wheat, rye and triticale (winter and spring forms) reaction on semi-conductor laser impact

Cecha Character	Pszenica – Wheat				Żyto – Rye				Pszenżyto – Triticale			
	Forma ozima Winter form		Forma jara Spring form		Forma ozima Winter form		Forma jara Spring form		Forma ozima Winter form		Forma jara Spring form	
	D	O	I	D	O	I	D	O	I	D	O	I
Energia kiełkowania Germination energy (%)	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	-
Zdolność kiełkowania Germination capacity(%)	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-	+	-
Długość korzonków zarodkowych Radicle length (mm)	-	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-
Długość koleoptyla Coleoptile length (mm)	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+
Długość nadziemnej części siewki First leaf length (mm)	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+
Wolne rodniki (n x 10 ¹⁶ spinów/ g s.m. ziarna) Free radicals (EPR) (n x 10 ¹⁶ spins/g d.w.b.)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+
IAA	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

D – dawka – dose, O – odmiana – cultivar, I – interakcja – interaction
+ istotna reakcja – significant reaction, - brak reakcji – not significant reaction

4.4. Koncentracja wolnych rodników w ziarniakach

Stwierdzono, że promieniowanie laserowe wpływa na zwiększenie liczby wolnych rodników w naświetlonych ziarniakach w stosunku do ziarniaków kontrolnych. Obserwowano zarówno przed, jak i po naświetleniu identyczną budowę wolnych rodników – typ semichinonowy (semiquinone radicals). Parametr q dla tych rodników przyjmował wartość typową, mieszczącą się w granicach 2,0043–2,0046.

Przeprowadzona analiza wariancji dla zawartości wolnych rodników w ziarniakach zbóż wykazała istotne zróżnicowanie wszystkich źródeł zmienności, czyli zastosowanych dawek światła laserowego, gatunków zbóż jak i interakcji dawka x gatunek. Stwierdzono istotnie wyższą zawartość wolnych rodników w badanym materiale po zastosowaniu obu dawek światła laserowego. Po napromieniowaniu ziarniaków pszenicy, żyta i pszenżyta dawką D_3 otrzymano wzrost liczby wolnych rodników średnio o 23,4%, natomiast po zastosowaniu dawki D_5 nastąpił wzrost średnio o 38,0% w porównaniu z wartością kontrolną (tab. 41).

Dla wymienionych gatunków zbóż otrzymano trzy odrębne grupy jednorodne. Do grupy o największej liczbie wolnych rodników należały pszenica ozima i żyto jare. Do grupy o średnich wartościach zaliczono pszenicę jarą, żyto ozime i pszenżyto jare. Odrębną grupę o istotnie najniższej wartości stanowiło pszenżyto ozime (tab. 41).

Rozpatrując interakcję dawka x gatunek, można stwierdzić, że w przypadku ziarniaków kontrolnych największą liczbą wolnych rodników charakteryzowała się pszenica ozima. Wszystkie pozostałe gatunki zbóż należały do jednej grupy jednorodnej o istotnie niższych wartościach. Po zastosowaniu dawki D_3 wyodrębniono cztery zachodzące na siebie grupy jednorodne, przy czym grupę o najwyższych wartościach tworzyły obie formy pszenicy, natomiast pszenżyto należało do grupy o najniższej liczbie wolnych rodników. Dla dawki D_5 uzyskano trzy grupy jednorodne, do pierwszej charakteryzującej się najwyższą wartością zaliczono żyto jare, pszenżyto ozime ponownie stanowiło grupę o istotnie najniższej wartości, zaś pozostałe gatunki należały do grupy pośredniej. Porównując poszczególne gatunki i zastosowane dawki światła laserowego, stwierdzono, że jedynie pszenżyto ozime nie zareagowało na żadną z zastosowanych dawek promieniowania – powstała jedna grupa jednorodna, natomiast pszenżyto jare zareagowało tylko na dawkę D_5 . U wszystkich pozostałych gatunków liczba wolnych rodników w naświetlanych ziarniakach uległa istotnemu podwyższeniu. Obserwowano również większą wrażliwość form jarych na zastosowane promieniowanie lasera, co wyrażało się zwiększeniem koncentracji wolnych rodników w naświetlonych ziarniakach. U pszenicy jarej wystąpił wzrost zawartości wolnych rodników o 63,8% (u pszenicy ozimej 19,6%), u żyta jarego 65,8% (u żyta ozimego 42,5%), u pszenżyta jarego 29,9% (u pszenżyta ozimego 17,4%).

Tabela 41
Table 41

Zawartość wolnych rodników w przeliczeniu na suchą masę ziarna
($n \times 10^{16}$ spinów/ g s.m. ziarna)
Free radicals content adjusted to the dry weight basis of grain ($n \times 10^{16}$ spins/g d.w.b.)

Dawka Dose	Pszenica ozima Winter wheat Kobra	Pszenica jara Spring wheat Jasna	Żyto ozime Winter rye Rostockie	Żyto jare Spring rye Abago	Pszenżyto ozime Winter triticale Woltario	Pszenżyto jare Spring triticale Kargo	Średnia Mean
Kontrola Control	0,643	0,445	0,456	0,523	0,465	0,515	0,508
D ₃	0,769	0,673	0,635	0,659	0,481	0,543	0,627
D ₅	0,747	0,729	0,650	0,867	0,546	0,669	0,701
NIR LSD _(a=0,05)	0,096						0,040
Średnia Mean	0,720	0,616	0,580	0,683	0,497	0,576	0,612
NIR LSD _(a=0,05)	0,055						–

4.5. Zawartość kwasu indolilo-3-octowego (IAA) w ziarniakach zbóż

Prowadzono obserwacje dynamiki zmian zawartości kwasu indolilo-3-octowego (IAA) w kontrolnych nasionach badanych gatunków zbóż oraz po zastosowaniu naświetlania promieniami lasera półprzewodnikowego.

Wyniki dotyczące zbóż ozimych podane w tabeli 42 pozwoliły stwierdzić, że najmniejszą zawartością IAA w nasionach kontrolnych charakteryzowało się żyto (0,8852 mg kg⁻¹s.m.), większą pszenżyto (1,1416 mg kg⁻¹s.m.), największą zaś pszenica (1,2874 mg kg⁻¹s.m.). Pomiary przeprowadzane w trzech terminach od naświetlenia wskazują na największy wzrost ilości IAA (po 24 h) w ziarniakach żyta – o 48,5%, najmniejszy u pszenżyta – 33,3%, a u pszenicy wartość ta wyniosła 43,1%. Kolejne pomiary (po 48 i 120 h) pozwoliły zaobserwować najszybszy spadek zawartości IAA u pszenicy (odpowiednio o 14,2 oraz 17,2%), u pozostałych dwóch gatunków dynamika była zbliżona i wynosiła odpowiednio – u żyta spadek o 12,2 i 9,4%, u pszenżyta 11,0 i 9,1%.

W przypadku zbóż jarych dla wariantu kontrolnego zawartość IAA osiągała zbliżony poziom i wynosiła u pszenicy i pszenżyta odpowiednio: 1,1332 mg kg⁻¹s.m. i 1,0152 mg kg⁻¹s.m. (tab. 43). Wzrost zawartości kwasu indolilo-3-octowego po zastosowaniu promieniowania laserowego wystąpił po 24 h: u pszenicy 46,2%, u żyta 43,6%. Najmniejszą reakcję obserwowano u pszenżyta 36,6%, które wykazało jednocześnie

najszybszą tendencję spadkową zawartości IAA po upływie 48 o 24,8% i 120 h o 20,7%. Dla porównania, pszenica wykazała zmniejszenie zawartości IAA po 48 o 3,9% i po 120 h o 6,2%, natomiast żyto odpowiednio o 9,9% i 6,5%.

Tabela 42

Table 42

Zawartość kwasu indolilo-3-octowego (IAA mg kg⁻¹ s.m.) w ziarnach zbóż ozimych poddanych ekspozycji światłem laserowym
Content of indole-3-acetic acid (IAA mg kg⁻¹ d.w.b.) in grains of winter cereals after laser radiation

Gatunek – odmiana Species – cultivar	Zawartości IAA (mg kg ⁻¹ s.m.) po czasie (h) ekspozycji światłem laserowym Contents of IAA (mg kg ⁻¹ d.w.b.) after time of (h) laser radiation			
	0 h	24 h	48 h	120 h
Pszenica – Kobra Wheat – Kobra	1,2874 ± 0,035	1,8421 ± 0,059 <i>+43,1</i>	1,6595 ± 0,047 <i>+ 28,9</i>	1,4382 ± 0,051 <i>+ 11,7</i>
Żyto – Rostockie Rye – Rostockie	0,8852 ± 0,043	1,3148 ± 0,065 <i>+48,5</i>	1,2062 ± 0,042 <i>+36,3</i>	1,1232 ± 0,062 <i>+26,9</i>
Pszenżyto – Woltario Triticale – Woltario	1,1416 ± 0,034	1,5216 ± 0,047 <i>+33,3</i>	1,3960 ± 0,031 <i>+ 22,3</i>	1,2920 ± 0,042 <i>+ 13,2</i>

$x \pm \Delta x$ oznacza przedział ufności dla wartości średniej

$x \pm \Delta x$ indicates the confidence interval for mean value

Kursywą podano procentowy wzrost (+) lub obniżenie (-) stężeń w stosunku do czasu t = 0 h

By italic was designated percentage increase (+) or decrease (-) of content in comparison to the control time t = 0 h

Tabela 43

Table 43

Zawartość kwasu indolilo-3-octowego (IAA mg kg⁻¹ s.m.) w ziarnach zbóż jarych poddanych ekspozycji światłem laserowym
Content of indole-3-acetic acid (IAA mg kg⁻¹ d.w.b.) in grains of spring cereals after laser radiation

Gatunek – odmiana Species – cultivar	Zawartości IAA (mg kg ⁻¹ s.m.) po czasie (h) ekspozycji światłem laserowym Contents IAA (mg kg ⁻¹ d.w.b.) after (h) laser radiation			
	0 h	24 h	48 h	120 h
Pszenica – Jasna Wheat – Jasna	1,1332 ± 0,035	1,6571 ± 0,055 <i>+46,2</i>	1,6128 ± 0,020 <i>+ 42,3</i>	1,5426 ± 0,051 <i>+ 36,1</i>
Żyto – Abago Rye – Abago	1,1095 ± 0,037	1,5933 ± 0,054 <i>+43,6</i>	1,4832 ± 0,080 <i>+33,7</i>	1,4112 ± 0,047 <i>+27,2</i>
Pszenżyto – Kargo Triticale – Kargo	1,0152 ± 0,034	1,3874 ± 0,047 <i>+36,6</i>	1,1348 ± 0,04 <i>+ 11,8</i>	0,9250 ± 0,031 <i>- 8,9</i>

$x \pm \Delta x$ oznacza przedział ufności dla wartości średniej

$x \pm \Delta x$ indicates the confidence interval for mean value

Kursywą podano procentowy wzrost (+) lub obniżenie (-) stężeń w stosunku do czasu t = 0 h

By italic was designated percentage increase (+) or decrease (-) of content in comparison to the control time t = 0 h

Porównując badane gatunki zbóż, można zauważyć, iż najmniejszy przyrost zawartości kwasu indolilo-3-octowego występował u formy jarej jak i ozimej pszenżyta. Zboża ozime wykazywały szybszą dynamikę zmian zawartości IAA w powrocie do stanu wyjściowego niż formy jare. Wyjątkiem jest tu pszenżyto jare, u którego zmiany zawartości tego kwasu były najszybsze. Po upływie 120 h zawartość IAA w ziarnie pszenżyta jarego była o 8,9% niższa niż w próbie kontrolnej.

5. PODSUMOWANIE

W celu porównania reakcji pszenicy, żyta i pszenżyta (form ozimych i jarych) na działanie lasera półprzewodnikowego przeprowadzono badania na materiale nasiennym pochodzącym z tego samego roku zbiorów i tej samej miejscowości – Hodowla Roślin Smolice Sp. z o.o. Pochodzenie materiału z tego samego okresu wegetacyjnego pozwoliło na wyeliminowanie wpływu warunków pogodowych podczas całego okresu rozwoju roślin jak i podczas zbioru oraz na proces wykształcania i dojrzewania nasion.

Doświadczenie laboratoryjne „Wpływ okresu przechowywania nasion pszenicy jarej na ujawnienie się efektu stymulacji laserowej”

Genotypy pszenicy jarej badane w siedmiomiesięcznym cyklu doświadczeń wykazały duże zróżnicowanie wrażliwości na zastosowane promieniowanie laserowe. Na ujawnienie się efektu przedsięwziętego naświetlania ziarniaków, oprócz genotypu, miały wpływ zróżnicowane dawki światła lasera, jak również czas przechowywania materiału siewnego.

Analizując energię i zdolność kiełkowania nasion kontrolnych i poddanych naświetlaniu, stwierdzono brak wpływu zastosowanych dawek na te cechy. Zarówno interakcja odmiana x miesiąc (A x C), dawka x miesiąc (B x C), jak i interakcja potrójna (A x B x C) stwierdzona dla zdolności kiełkowania wykazały, iż najniższe wartości dla tej cechy otrzymywane były w dwóch pierwszych miesiącach po zbiorze, najwyższe natomiast w trzech ostatnich. Grupy jednorodne otrzymane dla wartości zdolności kiełkowania w poszczególnych miesiącach również potwierdzają tę tezę. Rozpatrując wartości uzyskane dla tej cechy oraz wyniki interakcji potrójnej, można stwierdzić, że odmiana Vinjett w żadnym miesiącu nie wykazała reakcji na przedsięwzięte naświetlanie, w związku z czym okazała się najmniej wrażliwą na promienie lasera. Korynta również stosunkowo słabo reagowała na światło lasera półprzewodnikowego, jedynie w pierwszym i drugim miesiącu obserwowano u niej redukcję wartości tej cechy. Efekt stymulacji natomiast wystąpił u odmian: Koksa (w piątym i siódmym miesiącu), Kosma (pierwszy i szósty) oraz Zebra (pierwszy i piąty miesiąc).

Zastosowane przedsięwzięte naświetlanie ziarniaków wywarło istotny stymulujący wpływ na długość korzonków zarodkowych. Stwierdzono również, że na wartości tej cechy miał wpływ czas, jaki upłynął od zbiorów do założenia doświadczenia. Najkorzystniejszym był drugi miesiąc, najkrótsze korzonki otrzymywano zaś w trzecim

i piątym miesiącu. Reakcja badanych genotypów na promienie lasera, pod względem długości korzonków zarodkowych, była bardzo zróżnicowana. Stymulację wykazało pięć spośród siedmiu badanych odmian (Koksa, Kosma, Nawra, Olimpia i Zebra), a efekt ten najczęściej występował w trzecim, czwartym i piątym miesiącu od zbiorów. Natomiast odmianą, która okazała się odporna na napromieniowanie, była Korynta – brak zarówno stymulacji, jak i redukcji długości korzonków.

W przypadku cechy długości koleoptyla jej stymulację wywołały obie zastosowane dawki światła lasera. Na podstawie interakcji odmiana x dawka wyłoniono formy niewrażliwe na traktowanie ziarniaków promieniami lasera i były to: Korynta, Nawra oraz Vinjett. Największy efekt stymulacji uzyskano u Olimpii. Najkrótsze koleoptyle otrzymywano w pierwszym i drugim miesiącu przechowywania, najdłuższe zaś w miesiącu piątym i szóstym.

Porównując długość siewek, stwierdzono ich istotne zwiększenie po zastosowaniu światła lasera. Najdłuższe siewki otrzymywano w szóstym i siódmym, najkrótsze zaś w pierwszym miesiącu od zbioru. Stymulujący wpływ promieniowania laserowego obserwowano w trzech badanych odmian: Koksy, Kosmy i Olimpii.

Rozpatrując cechy morfologiczne – długość korzonków zarodkowych, długość koleoptyli i nadziemnej części siewki, można zauważyć, że odmiany Korynta i Vinjett charakteryzowały się największymi, zaś Olimpia najmniejszymi wartościami tych cech.

Reakcja genotypów zbóż na promieniowanie laserowe

Przeprowadzone analizy wariancji dla wyników wszystkich doświadczeń pozwoliły wykazać zróżnicowanie w reakcjach genotypów pszenicy, żyta i pszenżyta na naświetlanie nasion promieniami laserowymi.

Tylko u żyta ozimego stwierdzono wpływ zastosowanych dawek światła lasera na energię kiełkowania. Pszenica ozima wykazała natomiast interakcję odmian z dawkami, co świadczy o zróżnicowanej wrażliwości odmian na zastosowane światło lasera.

Dla zdolności kiełkowania istotną reakcję na promieniowanie laserowe obserwowano w przypadku form ozimych pszenicy i żyta. Formy jare u żadnego z badanych zbóż nie wykazały istotnego zróżnicowania dla zastosowanych dawek promieni lasera. U żyta jarego i ozimego wystąpiła interakcja genotypów z dawkami światła lasera.

Większą podatność na przedsiewne naświetlanie wykazały długość koleoptyla i nadziemnej części siewki niż długość korzonków zarodkowych. Jedynie formy żyta ozimego okazały się wrażliwe na światło lasera i nastąpiła zmiana długości jego korzonków. U żadnej z badanych form zbóż nie wykazano również interakcji forma x dawka.

Dla długości koleoptyla tylko u genotypów pszenicy jarej nie obserwowano istotnego zróżnicowania dawek promieniowania laserowego. Natomiast wykonane analizy statystyczne pozwoliły wykazać interakcje forma x dawka dla wszystkich jarych form zbóż oraz dla pszenicy ozimej.

Dla długości nadziemnej części siewki stwierdzono istotny wpływ dawek i interakcję dawek z formami u wszystkich ozimych genotypów. Spośród jarych form jedynie żyto wykazało podatność na zastosowane promieniowanie laserowe.

Na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych i analiz można stwierdzić, że formy ozime wykazywały większą podatność na światło laserowe niż formy jare. Genotypem o najmniejszej podatności na przedświeczne naświetlanie ziarniaków promieniami lasera było pszenżyto i to zarówno formy ozimej, jak i jarej.

Żyto ozime było gatunkiem, u którego obserwowano istotny wpływ dawek światła lasera na energię i zdolność kiełkowania oraz cechy morfologiczne siewek.

Genotypy zbóż – pszenica, żyto oraz ich mieszańce pszenżyto wykazywały duże zróżnicowanie wrażliwości na zastosowane promieniowanie laserowe pod względem badanej wartości siewnej i cech morfologicznych siewek. Efekt biostymulacji zależny jest również od tego, czy jest to forma jara, czy ozima danego zboża.

Oceniając koncentrację wolnych rodników w ziarniakach zbóż, nie stwierdzono zmiany w ich budowie pod wpływem promieniowania laserowego. Obserwowano natomiast istotny wpływ biostymulacji laserowej ziarniaków na liczbę wolnych rodników. Jedyną formą, u której nie stwierdzono istotnego zwiększenia ich liczby po zastosowaniu zróżnicowanych dawek światła lasera, było pszenżyto ozime. Pszenżyto jare zareagowało tylko na wyższą dawkę światła lasera. Genotypy pszenicy i żyta zarówno formy jare, jak i ozime reagowały istotnym zwiększeniem zawartości wolnych rodników na zastosowanie obu dawek promieni lasera. Większy efekt przedświecznego naświetlania obserwowano u form jarych wszystkich badanych zbóż.

Zawartość kwasu indolilo-3-octowego zmieniała się pod wpływem zastosowanego promieniowania laserowego. Istotny wpływ na dynamikę tych zmian, oprócz rodzaju zboża, miała jego forma (jara czy ozima). Najmniejszą wrażliwość na promieniowanie lasera półprzewodnikowego wykazały obie formy pszenżyta, u których stwierdzono najniższy wzrost zawartości kwasu indolilo-3-octowego. Ponadto w ziarniakach zbóż ozimych po naświetlaniu obserwowano z reguły szybszy powrót do wyjściowego (przed naświetlaniem) poziomu zawartości tego kwasu.

Przypuszczalnie czynnikiem wpływającym na podatność różnych gatunków jak i form zbóż na działanie promieni lasera jest również ploidalność tych genotypów. Żyto jako forma diploidalna łatwiej ulega wpływom czynnika modyfikującego, jakim jest promieniowanie laserowe niż allopoliploidalne pszenżyto. Cechą, u której obserwowano mniejsze zmiany wartości po zastosowaniu promieni lasera, jest długość korzonków zarodkowych. Większa podatność form ozimych na promieniowanie laserowe może być prawdopodobnie uwarunkowana mniejszą wrażliwością ziarniaków tych form na zwiększenie liczby wolnych rodników po przedświecznym naświetlaniu. Wolne rodniki charakteryzują się toksycznymi i mutagennymi właściwościami, stąd przypuszcza się, że nagromadzenie większej ich liczby jest przyczyną starzenia się i obumierania nasion.

6. DYSKUSJA

W badaniach własnych jako urządzenia do przedświecania użyto lasera półprzewodnikowego. W literaturze dotyczącej wpływu promieni lasera na materiały roślinne nie spotkano prac z zastosowaniem tego typu lasera w doświadczeniach przyrodniczych. Większość prac dotyczących oddziaływania światła lasera koncentruje się głównie na wysokości plonu i jego jakości u roślin warzywnych (Roszko, Michalik 2002, Gładyszewska, Koper 2002a,b, Koper i in. 2002b), roślin strączkowych (Dziwulska, Koper 2003, Rybiński, Pokora 2002) i zbożowych (Zhidong, Shuzhen 1990, Rybiński 1998, Szajnsner, Drozd 2001b, Salyaev i in. 2003). Wszystkie te eksperymenty zarówno polowe – których jest większość, jak i laboratoryjne dotyczą zastosowania lasera rubinowego oraz gazowego He-Ne (helowo-neonowego).

W przeprowadzonych badaniach własnych obserwowano zmiany w podatności różnych genotypów zbóż na promieniowanie laserowe w zależności od czasu dojrzewania późniejszego, tj. od zbioru aż do kolejnego okresu uprawy. Okres ten obejmował siedem miesięcy. Dojrzewanie późniejsze zaczyna się u zbóż tuż po zbiorze i w prawidłowych warunkach, tzn. 15–30°C i wilgotności ziarna poniżej 15% proces ten przebiega w ciągu 60 dni. Jak przedstawia Trybała (1999), w tym czasie następuje wzrost zdolności ziarna do kiełkowania, ale okres ten można skrócić do 21–28 dni, stosując dosuszanie. W dostępnej literaturze dotyczącej wpływu promieni lasera na wczesne fazy rozwojowe roślin i na wartość siewną nasion nie spotkano informacji odnośnie oddziaływania wpływu czasu od zbiorów do założenia doświadczenia laboratoryjnego. Nasiona roślin uprawnych wskutek zabiegów hodowlanych mają spoczynek płytszy i krótszy niż formy dzikie, może to być czynnikiem modyfikującym, a przez to utrudniającym porównywanie wyników tych doświadczeń.

Spoczynek nasion może być względny lub bezwzględny. Indukcja spoczynku zachodzi już podczas formowania i dojrzewania ziarniaków, co u zbóż wypada ok. 10–20 dni po kwitnieniu. Podczas dojrzewania zachodzą zmiany w budowie i składzie chemicznym nasion i okryw nasiennych, ponadto czasem w tkankach zapasowych gromadzą się inhibitory. Na proces ten duży wpływ wywierają (oprócz genotypu rośliny) warunki, w jakich ziarniak wykształca się i dojrzewa. Ziarno powstające w warunkach suchych i ciepłych charakteryzuje się krótszym okresem spoczynku niż powstające w warunkach chłodnych i wilgotnych.

Świeżo zebrane nasiona znajdują się w fazie spoczynku bezwzględnego, co oznacza, że mimo umieszczenia ich w sprzyjających warunkach nie kiełkują. Głęboki spoczynek nasion, zwany też spoczynkiem zarodkowym spowodowany jest niedojrzałością

fizjologiczną. Ustępuje on po przejściu procesów zwanych dojrzewaniem posprzętnym, gdy nasiona przechodzą w fazę spoczynku względnego, czyli wymuszonego (Kopcewicz, Lewak 2002).

Spoczynek zarodkowy często charakteryzuje się rytmicznością sezonową. Usuwanie czy przerywanie tego procesu przeprowadza się za pomocą różnych czynników, np. uszkadzając okrywy nasienne (skaryfikacja), termicznie (ciepły azot), działając niską lub zmienną temperaturą, stosując substancje chemiczne (etylen, azotyny, azotany, gibbereliny, auksyny itd.). Jak wykazały badania Injuszyna (już w 1977 r.), światło lasera może być czynnikiem fizycznym przerywającym stan spoczynku nasion. Autor ten wykazał wpływ promieni lasera na biosyntezę pigmentów, produktywność fotosyntezy, powstawanie aminokwasów, kwasów nukleinowych i białka.

Na podstawie przeprowadzonego eksperymentu własnego można przypuszczać, iż naświetlanie ziarna form jarych pszenicy daje podobny efekt jak jego dosuszanie. W doświadczeniu stwierdzono istotną interakcję zastosowanej dawki x miesiąc zarówno dla energii, jak i zdolności kiełkowania oraz interakcję potrójną (dawka x miesiąc x odmiana) tylko dla zdolności kiełkowania. Obserwowano istotny wzrost energii kiełkowania (miesiąc po zbiorach) po zastosowaniu do uszlachetniania nasion światła lasera półprzewodnikowego, co może stwarzać możliwość zastosowania tej metody w celu skracania okresu dojrzewania późniejszego. Dla zdolności kiełkowania stymulację wartości tej cechy otrzymano po zastosowaniu silniejszej dawki światła lasera. Długość korzonka zarodkowego, koleoptyla jak i nadziemnej części siewki badanych genotypów pszenicy jarej uległa stymulacji po zastosowaniu zarówno trzy-, jak i pięciokrotnego naświetlania ziarniaków promieniami lasera. Istotny pozytywny wpływ promieniowania laserowego na przebieg kiełkowania i wschodów roślin pszenicy stwierdzili również Zhindong, Shuzhen (1990).

Badania prowadzone przez Podleśnego (2001a) nad bobikiem wykazały korzystny wpływ traktowania nasion światłem lasera na proces kiełkowania i wschody roślin. Lepsze efekty obserwowano, gdy nasiona zawierały więcej wody. Ponadto rośliny wyrosłe z naświetlanych wilgotnych nasion dawały wyższy plon niż wyrosłe z naświetlanych nasion suchych. Podleśny i in. (2001) stwierdzili w badaniach nad bobikiem, że trzykrotne naświetlanie jest z reguły bardziej efektywne niż pięciokrotne. Korzystniejszy wpływ trzykrotnego naświetlania nasion potwierdzają również badania Podleśnego i Lenartowicz (2000). Stosując światło lasera helowo-neonowego do napromieniowania nasion łubinu białego Podleśny (1999) obserwował, że trzykrotne naświetlanie wpływa korzystnie na wzrost roślin i przyrost ich suchej masy, a pięciokrotne – na długość korzenia.

Zastosowanie promieniowania laserowego do poprawy wartości siewnej materiałów długotrwałe przechowywanych lub w przypadku nasion o obniżonej energii i zdolności kiełkowania posiada ważny aspekt praktyczny. Z takim zjawiskiem mamy do czynienia w przypadku rezerw nasiennych oraz banków genów. Drozd i in. (1996) badali wpływ przedsięwziętej biostymulacji laserowej na wartość użytkową nasion pszenicy jarej. Materiał siewny odmiany Henika pochodził z czterech różnych lat zbioru. Stwierdzono istotny wpływ promieniowania laserowego na energię kiełkowania nasion o dłuższym okresie przechowywania (trzy lata), ponieważ nastąpił 11% wzrost wartości tej cechy w stosunku do nasion kontrolnych. Pod wpływem promieniowania laserowego

obserwowano wydłużenie koleoptyla u ziarniaków pochodzących z tego samego roku zbioru. Stymulację wartości użytkowej nasion przechowywanych, po zastosowaniu światła lasera, uzyskiwały również Szajsner i Drozd (2001a) u pszenicy odmiany Banti oraz Drozd i in. (2001), oceniając materiał siewny pszenicy pochodzący z pięciu różnych sezonów wegetacyjnych. Po zastosowaniu przedświeceniowej biostymulacji laserowej u odmian pszenicy Szajsner i Drozd (2001b) wykazały istotne podwyższenie parametrów wartości siewnej. Stwierdzony szybszy rozwój siewek pszenicy, wydłużenie zarówno korzonków zarodkowych, koleoptyli, jak i nadziemnej części siewki, mogą okazać się istotne w przypadku opóźnionych siewów. Danila i in. (2003), prowadząc badania nad zastosowaniem promieni lasera He-Ne do naświetlania nasion kukurydzy, otrzymali istotne wydłużenie zarówno koleoptyli, jak i korzeni u roślin wyrosłych z napromieniowanych nasion. W doświadczeniu tym użyto zróżnicowanych dawek promieni lasera o gęstości powierzchniowej mocy: 1 J/cm², 2 J/cm² i 3 J/cm².

Promieniowanie laserowe (laser He-Ne) w swoich badaniach nad jęczmieniem jarym stosowali Rybiński i in. (1993). Obserwowali oni, że niskie dawki promieniowania lasera wywoływały efekt stymulacji, zaś wysokie powodowały redukcje długości pędu i korzenia siewek oraz cech struktury plonu. Podobne wyniki otrzymano w badaniach własnych nad genotypami pszenicy ozimego, w których zastosowane przedświeceniowe dawki promieniowania laserowego (D₅ i D₇) spowodowały redukcję długości koleoptyla o 13–15,7%. Pozytywny wpływ małych dawek promieniowania laserowego na metabolizm nasion przejawiający się przyspieszeniem ich kiełkowania i rozwoju roślin odnotowuje w swych badaniach Podleśny (2001b). Obserwacje własne potwierdzają wspomniane badania Podleśnego i wynika z nich, że dawki trzy- i pięciokrotnego naświetlania najczęściej wywołują stymulację cech morfologicznych siewek. U pszenicy ozimej największy efekt wydłużenia koleoptyla wystąpił po zastosowaniu dawki D₅, która powodowała również wydłużenie nadziemnej części siewki u tej formy. Dla żyta ozimego zastosowanie tych dawek światła lasera półprzewodnikowego spowodowało stymulację długości korzonków zarodkowych o 11,2–10,8%, natomiast długość koleoptyli i nadziemnej części siewki uległa wydłużeniu po zastosowaniu wszystkich dawek promieniowania. Żyto jare wykazało największe wydłużenie koleoptyla po zastosowaniu dawki D₃ (o 19,3% w stosunku do kontroli), natomiast długość siewki uległa zwiększeniu o 34,7 i o 20,0% odpowiednio dla dawek D₃ i D₅.

Wolne rodniki należą do czynników, których nagromadzenie się w komórkach w nadmiernej ilości może być szkodliwe, jak również może powodować starzenie się nasion. Przeprowadzone oznaczenia zawartości wolnych rodników w ziarniakach wybranych gatunków zbóż po zastosowaniu przedświeceniowej biostymulacji wykazały istotny, stymulujący wpływ promieniowania laserowego na ich liczbę. Obserwowano zróżnicowaną zawartość wolnych rodników w badanych ziarniakach kontrolnych w zależności od rodzaju zboża. Pszenica ozima była formą o największej liczbie wolnych rodników w ziarniakach kontrolnych, natomiast pszenicy ozime – o najmniejszej ich zawartości, jak również jedyną formą, która nie zareagowała na żadną z zastosowanych dawek światła lasera. We wcześniejszych badaniach (Drozd i in. 1997, Drozd i in. 1999), z zastosowaniem EPR do oceny wpływu światła lasera na nasiona, obserwowano wzrost ilości wolnych rodników po napromieniowaniu ziarniaków 10 odmian pszenicy jarej. Wzrost

ten nie był wprost proporcjonalny do zastosowanej dawki, a zależał przede wszystkim od genotypu pszenicy. Badania nad wpływem promieniowania laserowego na nasiona łubinu białego (odmiana Butan) i bobiku (odmiana Tim) prowadzili Podleśny i Stochmal (2004). Obserwowali oni istotne zwiększenie koncentracji wolnych rodników w naświetlonych nasionach, przy czym największy przyrost ich liczby dla obydwu gatunków wystąpił po trzykrotnym naświetleniu. Nie stwierdzono wpływu promieni lasera na koncentrację wolnych rodników w roślinach wyrosłych z napromieniowanych nasion. U otrzymanych siewek obu gatunków obserwowano pozytywny wpływ promieniowania laserowego. Nasiona potraktowane światłem lasera uzyskiwały większą masę w okresie pęcznienia, efektem czego kiełkowanie było wcześniejsze i bardziej równomierne. Wytworzone siewki łubinu i bobiku osiągały istotnie większą długość hypocotyli i korzeni niż siewki wyrosłe z nasion nie poddanych przedświawnemu naświetlaniu. Podleśny i in. (2000) obserwowali zmianę koncentracji wolnych rodników, po napromieniowaniu światłem lasera nasion u formy tradycyjnej bobiku odmiana – Nadwiślański i Tim (forma samokończąca). Stwierdzono istotne różnice w zawartości wolnych rodników w nasionach naświetlanych w porównaniu z kontrolnymi. Największą ich koncentrację obserwowano po trzy- i pięciokrotnym naświetleniu. Światło lasera użyte do napromieniowania dwóch różnych form łubinu białego wpłynęło na procesy biochemiczne i fizjologiczne w nasionach i roślinach. Otrzymano stymulację aktywności enzymów amylolitycznych oraz zwiększenie zawartości wolnych rodników w nasionach i siewkach z nich wyrosłych (Podleśny 2000a). W badaniach polowych nad wpływem traktowania nasion bobiku promieniami lasera Podleśny i in. (2001) stwierdzili większą efektywność naświetlania trzykrotnego niż pięciokrotnego. Przejawiało się to istotnym zwiększeniem plonu i niektórych elementów jego struktury, a zwłaszcza liczby strąków na roślinie i liczby nasion w strąku.

Badania nad zawartością fitohormonów (IAA i GA_3) w nasionach i roślinach łubinu białego prowadził Podleśny (2002). Stosując metodę chromatografii wysokociśnieniowej HPLC, stwierdził wyższą zawartość obydwu fitohormonów w kiełkujących nasionach po ich naświetleniu laserem He-Ne oraz w częściach nadziemnych i korzeniach roślin z nich wyrosłych w porównaniu z nasionami i roślinami w obiekcie kontrolnym. 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.

W badaniach własnych oznaczano zawartość kwasu IAA oraz obserwowano dynamikę zmian jego zawartości w nasionach zbóż poddanych napromieniowaniu światłem lasera. Formą o najmniejszej zawartości IAA było żyto ozime, największą zaś ilością IAA charakteryzowała się pszenica ozima. Najmniejszy wzrost zawartości kwasu indolilo-3-octowego występował u pszenżyta, czyli formy u której ilość wolnych rodników nie zmieniła się pod wpływem naświetlania.

„W celu utrzymania właściwego poziomu aktywnych hormonów, specyficznego dla danej tkanki i etapu rozwoju rośliny wykształciły skomplikowany mechanizm regulacyjny, podatny na bodźce wewnętrzne i zewnętrzne sygnały środowiskowe. Wzrost zawartości IAA może być spowodowany m.in. hydrolizą koniugatów IAA, natomiast obniżenie poziomu jest wynikiem nieodwracalnej koniugacji lub degradacji oksydacyjnej hormonu.” – cyt. Jakubowska (2004). Zatem, zastosowane promieniowanie laserowe

może być przypuszczalnie jednym z zewnętrznych czynników wpływających na mechanizm regulacji zawartości IAA w nasionach poddanych jego działaniu.

Wyniki uzyskane z doświadczeń laboratoryjnych mogą świadczyć o większej wrażliwości form ozimych niż form jarych zbóż na przedświecne naświetlanie ziarniaków. Podobne wyniki uzyskano we wcześniejszych badaniach, prowadząc obserwacje reakcji pszenicy zwyczajnej (form jarych – siedem odmian) i ozimych (sześć odmian) na przedświecne biostymulację laserową (Szajsner 2003b). Efekty uzyskane po zastosowaniu światła lasera zależne były nie tylko od wielkości użytej dawki promieniowania laserowego, lecz również od badanego genotypu. Różnice genotypowe obserwowali Adamska i Rybiński (2000) w badaniach nad pokoleniem mutacyjnym M1 różnych odmian jęczmienia uzyskanym poprzez działanie światła lasera. Materiał do badań własnych stanowiły genotypy roślin zbożowych o bardzo zróżnicowanej ploidalności – od diploidalnego żyta do alloploidalnego pszenżyta. Bardziej celowym i efektywnym wydaje się zastosowanie promieniowania laserowego do uszlachetniania materiałów nasiennych genotypów o mniejszej ploidalności. Przykładem tego wśród badanych genotypów zbóż jest żyto, które w porównaniu z pszenicą i pszenżytem wykazało największą wrażliwość na przedświecne biostymulację laserową. W efekcie stwierdzono podwyższenie zdolności kiełkowania oraz stymulację cech morfologicznych siewek.

7. WNIOSKI

1. Efekt przedsięwzięcia zastosowania promieniowania laserowego w celu uszlachetniania ziarniaków różnych odmian jarych i ozimych form pszenicy, żyta i pszenżyta zależał od genotypu i dawki światła laserowego.

2. U jarych form pszenicy reakcja na światło laserowe zależała również od długości okresu przechowywania nasion. Badania własne potwierdzają, że nie należy oceniać wartości siewnej form jarych w czasie trwania dojrzewania późniejszego. Zastosowane światło lasera półprzewodnikowego wywołało istotną stymulację energii i zdolności kiełkowania jarych form pszenicy w pierwszym miesiącu po zbiorze. U niektórych genotypów pszenicy jarej prawdopodobnie nastąpiło skrócenie lub przerwanie procesu dojrzewania późniejszego ziarniaków pod wpływem promieniowania laserowego.

3. Zróżnicowana reakcja form jarych pszenicy na światło lasera, w przypadku wartości siewnej (w doświadczeniu trzyczynnikowym z okresem przechowywania nasion), była prawdopodobnie modyfikowana różną długością czasu niezbędnego do osiągnięcia przez nasiona pełnej zdolności kiełkowania.

4. Przedsięwzięcie zastosowanie promieniowania laserowego powodując stymulację wzrostu korzonków zarodkowych u form jarych pszenicy (w doświadczeniu wielokrotnym) oraz jarych form pszenżyta, wpływa na przyspieszenie ukorzeniania się roślin, co może mieć istotne praktyczne znaczenie w przypadku opóźnionych terminów siewu i związanym z tym zagrożeniem wiosenną suszą glebową.

5. Zastosowanie światła laserowego do przedsięwzięcia uszlachetniania ziarniaków u trzech odmian pszenicy jarej (Koksa, Kosma i Olimpia) stymulowało długość koleoptyla i nadziemnej części siewki. Istotne wydłużenie koleoptyla może mieć znaczenie w uprawie pszenicy jarej, gdyż często przyczyną opóźnionych i słabszych wschodów są krótkie, wolno rosnące koleoptyle. Zastosowanie światła laserowego do przedsięwzięcia biostymulacji nasion powoduje przyspieszenie wzrostu i rozwoju roślin, co w praktyce często uzyskuje się, stosując wysokie dawki nawozów azotowych.

6. Po zastosowaniu przedsięwzięcia naświetlania laserem ziarniaków wybranych genotypów pszenicy ozimej stwierdzono istotną stymulację długości koleoptyla, nadziemnej części siewki i zdolności kiełkowania. Formą pszenicy ozimej najbardziej podatną na promieniowanie laserowe okazała się odmiana Almar.

7. Odmiany żyta ozimego zareagowały na biostymulację laserową podwyższeniem wartości energii i zdolności kiełkowania oraz istotnym wydłużeniem koleoptyli,

korzonków zarodkowych i nadziemnej części siewki. U form żyta jarego stwierdzono stymulację tylko długości koleoptyla i nadziemnej części siewki.

8. Bardziej podatne na naświetlanie ziarniaków promieniami lasera były formy ozime pszenicy i żyta niż formy jare, co wyrażało się istotną stymulacją cech morfologicznych w początkowych fazach wzrostu i rozwoju roślin, a także poprawą parametrów wartości siewnej ziarniaków tych genotypów.

9. Promieniowanie laserowe spowodowało istotne zwiększenie liczby wolnych rodników w naświetlonych ziarniakach pszenicy i żyta. Pszenżyto u którego nie stwierdzono wzrostu liczby wolnych rodników po zastosowaniu światła lasera, okazało się również gatunkiem u którego obserwowano najmniejszy wpływ przedsięwziętego naświetlania ziarniaków na wartość siewną i cechy morfologiczne siewek.

10. Promieniowanie laserowe powodowało istotne zwiększenie zawartości kwasu indolilo-3-octowego (IAA) w naświetlanych ziarniakach pszenicy, żyta i pszenżyta. Prawdopodobnie światło lasera może wywoływać podobny efekt jak donasienne stosowanie auksyn (takich jak IAA), w celu regulacji spoczynku nasion lub pobudzenia nasion przechowywanych przez kilkuletni okres, co może mieć praktyczne znaczenie w nasienictwie roślin uprawnych.

11. Największą wrażliwość na działanie promieni lasera wykazały genotypy formy diploidalnej żyta, najmniejszą zaś pszenżyto będące allopoliploidem, co wskazuje, że podatność genotypów zbóż na światło lasera przypuszczalnie może także zależeć od ploidalności badanych form.

12. Złożoność uwarunkowania genetycznego form, typu rozwojowego (jary czy ozimy), stopnia ploidalności, a także różna wrażliwość odmian pszenicy, żyta i pszenżyta na proces jarowizacji mogą być przyczyną zróżnicowania reakcji genotypów zbóż na przedsięwzięte oddziaływanie światła lasera. Duża liczba czynników modyfikujących ujawnienie się efektu przedsięwziętego naświetlania ziarniaków promieniami lasera uniemożliwia zastosowanie jednolitej metodyki uszlachetniania nasion dla wszystkich genotypów roślin zbożowych.

8. PIŚMIENICTWO

- Adamska E., Rybiński W.: 2000. Analiza cech ilościowych roślin pokolenia M1 jęczmienia uzyskanych działaniem światła lasera i azydku sodu. *Biul. IHAR*, nr 216, cz. 1, 213–219;
- Arseniuk E.: 2002. V Międzynarodowe Sympozjum Naukowe w Instytucie Hodowli i Aklimatyzacji Roślin w Radzikowie na temat pszenżyta. *Hodowla Roślin i Nasiennictwo*, nr 4, 138–143.
- Arseniuk E., Oleksiak T.: 2002a. Production and breeding of cereals in Poland. *Eucarpia*, Poland, vol. I, 11–20.
- Arseniuk E., Oleksiak T.: 2002b. Production and breeding of cereals in Poland. *Proc. 5th Int. Triticale Symp.*, IHAR, Radzików, Poland, 30 June – 5 July 2002, I, 11–20.
- Avramenko B.I., Volodin V.G., Khokhlova S.A., Khokhlov I.V., Lisovskaya Z.I.: 1998. Genetics effectiveness of laser radiation and NAD following treatment of the seeds of cereal crops. *Tezisy Dokladov*, Mińsk, 56–57.
- Banasiak A.S.: 2003. Polarny transport auksyny – hipotezy i odkrycia. *Post. Biol. Kom.*, 30, 605–618.
- Bartel B.: 1997. Auxin biosynthesis. *Annu Rev Plant Physiol Mol Biol*, 48, 51–66.
- Bieniek A., Strachowska J.: 2000. Porównanie efektywności kondycjonowania nasion marchwi i selera w glikolu polietylenowym i w celicie. *Rocz. AR Poznań CCC-CXXXIII*, *Ogrod.*, 31, 2, 223–227.
- Borowski E., Michałek S.: 2006. Wpływ kondycjonowania nasion na wschody i wzrost siewek selera i pietruszki. *Acta Agrophysica*, vol. 8 (2), 309–318.
- Cholakov D., Ovtcharova A., Kona J.: 2004. Influence of helium-neon laser radiation treatment of cucumber seeds on some biological characters of plants cultivated under water stress conditions. *Acta Horticulturae et Regioteecturae*, 7, 113–115.
- Cichy H., Woś H., Budzianowski G.: 2002. Program of winter and spring triticale breeding of Plant Breeding Company Strzelce. *Eucarpia*, Poland, vol. II, 325–331.
- Cohen J.D., Bandurski R.S.: 1982. Chemistry and physiology of the bound auxin. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, 33, 403–430.
- Cvetkovic V.T., Milovanovic S.M., Ogujanovic S.R., Dokic D., Lomocic S.: 1996. Uticaj tretivanja semena ozime pszenice laserom na duzinu vege tacionoga perida i zetveni indeks. *Selekcja i Semearstvo*, vol. 3, 3–4, 105–109.
- Czałyk V.: 1987. Promieniowanie lasera i możliwości jego wykorzystania w hodowlano-genetycznych badaniach u kukurydzy. *Kiszyniew*.

- Dakowska S., Jędryczka M., Rybiński W.: 2001. Wpływ światła lasera helowo-neonowego na przeżywalność grzybów w nasionach rzepaku. I Międzynarodowa Konferencja Naukowa AGROLASER 2001, Lublin, 128–130.
- Daniła C., Ristici M., Ristici E.: 2003. He-Ne laser beam irradiation effect on germination response of corn plant seeds. II Międzynarodowa Konferencja Naukowa AGROLASER 2003, Lublin, 98.
- Dąbrowska B., Kolasińska K.: 1995. Wstępne badania wartości uszlachetnionego materiału siewnego marchwi i pietruszki. Biul. IHAR, 193, 121–133.
- Dąbrowska B., Suchorska K.: 1999. Wpływ matrykondycjonowania nasion papryki ostrej (*Capsicum annuum* L.) na wigor nasion i siewek, plonowanie i jakość surowca. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 466, 135–145.
- Dąbrowska B., Suchorska K., Szalacha E.: 2000. Wartość matrykondycjonowanych nasion papryki (*Capsicum annuum* L.) po rocznym przechowywaniu. cz. I, Szybkość i zdolność wschodów oraz wigor siewek. Annal. UMCS, sec. EEE, vol. VIII, 363–368.
- Dolnicki A., Kumelowska I.: 1975. Zależność pomiędzy wysokością roślin a długością koleoptyla i korzeni zarodkowych siewek pszenicy. Biul. Inst. Hod. Rośl., 1–2, 15–19.
- Domoradzki M.: 2000. Granulacja nasion. Warsztaty nasienne. Kraków, 79–84.
- Domoradzki M., Holcman J.: 2000a. Nasiona otoczkowane. Warsztaty nasienne. Kraków, 75–79.
- Domoradzki M., Holcman J.: 2000b. Mycie nasion wodą. Warsztaty nasienne. Kraków, 88–94.
- Domoradzki M., Holcman J., Korpala W.: 2000a. Technologia otoczkowania i powlekania nasion. Warsztaty nasienne. Kraków, 84–88.
- Domoradzki M., Weiner W., Chabowski E.: 2000b. Proces kalibracji nasion. Warsztaty nasienne. Kraków, 94–97.
- Drozd D., Szajsner H.: 2001. Ocena wpływu promieniowania laserowego na materiały roślinne. Acta Bio-Optica et Informatica Medica, vol. 7, 165–171.
- Drozd D., Szajsner H., Bielawska A.: 1996. Wpływ przedświecnej biostymulacji laserowej na wartość użytkową nasion pszenicy jarej ze zbiorów w latach 1992–1995. Biul. IHAR, nr 200, 287–290.
- Drozd D., Szajsner H., Bielecki K.: 2003. Wpływ światła lasera na aktywność alfa-amylazy w ziarniakach różnych genotypów pszenżyta. Biul. IHAR, nr 226/227/1, 177–180.
- Drozd D., Szajsner H., Bieniek J., Banasiak J.: 2004. Wpływ stymulacji laserowej na zdolność kiełkowania i cechy siewek różnych odmian owsa. Acta Agrophysica, vol. 4(3), 637–643.
- Drozd D., Szajsner H., Jezierski A.: 1997. Zastosowanie elektronowego rezonansu paramagnetycznego (EPR) do oceny wpływu promieniowania laserowego na ziarniaki pszenicy jarej. Biul. IHAR, nr 204, 181–186.
- Drozd D., Szajsner H., Jezierski A.: 1999. Electron paramagnetic resonance (EPR) investigations of laser induced free radicals in spring wheat grains. Int. Agrophysics, 13, 343–346.

- Drozd D., Szajsner H., Turzyniecka-Małysz H.: 2001. Zastosowanie światła laserowego do poprawy wartości siewnej pszenicy z lat zbioru 1993–1997. I Międzynarodowa Konferencja Naukowa AGROLASER 2001, Lublin, 13–17.
- Drozd D., Szajsner H.: 2006. Analiza reakcji genotypów pszenicy jarej na oddziaływanie promieniowania laserowego. *Biul. IHAR*, 242, 57–62.
- Duczmal K., Tucholska H.: 2000. *Nasiennictwo*, t. 1, PWRiL, Poznań, s. 205.
- Dudin P.: 1983. Mutagenic effect of irradiation from helium – neon laser on spring barley. *Genetics* 19, 1693–1699.
- Dudin P.: 1991. Variation in barley as effected by laser radiation and benzyladenine. *Sel'skokhozyaistvennaya radiobiologiya*, 23–28.
- Dziamba S., Dziamba M.: 2001. Wpływ przedśiewnego naświetlania nasion światłem na plonowanie i elementy struktury plonu jęczmienia jarego. I Międzynarodowa Konferencja Naukowa – Oddziaływanie pól elektromagnetycznych na środowisko rolnicze. Referaty i doniesienia, Lublin. 19–25.
- Dziamba S., Dziamba M., Zarębski Z., Rachoń L.: 1996. Wpływ przedśiewnej obróbki nasion odmian pszenżyta światłem na plonowanie. *Mat. Konf. Nauk. „Hodowla uprawa i wykorzystanie pszenżyta”*, 1–4.09. 1996, Międzyzdroje, s. 27.
- Dziamba S., Wielgo B., Maj L., Cebula M.: 1999. Wpływ terminu przedśiewnej biostymulacji nasion na plonowanie i elementy struktury plonu pszenicy jarej odmiany Omega. *Pam. Puł.*, 118, 137–142.
- Dziamba S., Zarębski Z.: 1993. Sposób przedśiewnej obróbki ziarna i urządzenie do obróbki ziarna. Patent nr P 299454 RP.
- Dziwulska A., Koper R.: 2003. Wpływ przedśiewnej biostymulacji laserowej na kiełkowanie nasion lucerny siewnej. *Acta Agrophysica*, nr 82, 33–39.
- Dziwulska A., Wilczek M., Ćwintal M.: 2006. Effect of laser stimulation on crop yield of alfalfa and hybrid alfalfa studied in years of full land use. *Acta Agrophysica*. vol. 7(2), 327–337.
- Fordoński G., Górecki R.J., Bieniaszewski T., Majchrzak B.: 1992. Wpływ regulatorów wzrostu na kiełkowanie i wigor nasion oraz zdrowotność siewek roślin strączkowych w warunkach stresu chłodnowodnego. *Biul. IHAR*, 184, 93–103.
- Galova Z.: 1996. The effect of laser beams on the process of germinating power of winter grains. *Rocz. AR Pozn. Rol.*, z. 49 (286), 39–43.
- Gieroba J., Koper R., Matyka S.: 1995. 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, 30–33.
- Glinkowski W., Pokora L.: 1993. *Lasery w terapii*. Warszawa, s. 27.
- Gładyszewska B., Koper R.: 2000. Wyznaczanie stężenia wolnych rodników w nasionach pomidorów biostymulowanych laserowo. *Inż. Rol.*, nr 4(15), 35–42.
- Gładyszewska B., Koper R.: 2002a. Ustalanie dawek energii promieniowania laserowego w procesie biostymulacji nasion pomidorów. *Acta Agrophysica*, nr 62, 15–23.
- Gładyszewska B., Koper R.: 2002b. Ocena wpływu przedśiewnej laserowej biostymulacji nasion pomidorów na proces ich kiełkowania. *Acta Agrophysica*, nr 62, 5–14.

- Górecki R., Grzesiuk S.: 1994. Światowe tendencje i kierunki uszlachetniania materiałów nasiennych. Uszlachetnianie materiałów nasiennych. Materiały konferencyjne. Olsztyn – Kortowo, 9–24.
- Górny A., Kubicka H., Nawracała J.: 2004. Zarys genetyki zbóż. t. 1. Instytut Genetyki Roślin PAN, Poznań, s. 183.
- Górny A., Gruszecka D., Adamczyk J.: 2005. Zarys genetyki zbóż. t. 2. Instytut Genetyki Roślin PAN, Poznań, s. 288.
- Gruszecka D.: 2005. Zarys genetyki zbóż. t. 2, Instytut Genetyki Roślin PAN, Poznań, s. 15.
- Grzesik M.: 2000. Metody uszlachetniania nasion. Warsztaty nasienne. Kraków, 67–74.
- Grzesik M., Górnik K., Karsznicka A., Badek B.: 2002. Wpływ wybranych czynników na efektywność kondycjonowania nasion. 100-lecie Katedry Hodowli Roślin i Nasiennictwa AR w Krakowie, Symposium Sekcji Hodowli i Nasiennictwa PTNO „Hodowla i nasiennictwo roślin ogrodniczych”, s. 31.
- Grzesiuk S., Kulka K.: 1981. Fizjologia i biochemia nasion. PWRiL, Warszawa.
- Grzesiuk S., Kulka K.: 1988. Biologia ziarniaków zbóż. PWN, Warszawa.
- Gut A., Ptak J.: 1988. Zmienność cech morfologicznych siewek pszenicy. Biul. IHAR, 221, 169–178.
- Harder H.J., Carlson R.E., Shaw R.H.: 1982. Corn grain yield and nutrient response to foliar fertilizer applied during grain fill. *Agronom. J.*, 74, 106–108.
- Injuszyn W.: 1977. Technika laserowa w służbie rolnictwa. *Nowe Rolnictwo*, nr 21–22, 21–26.
- ISTA: 2007. Międzynarodowe Przepisy Oceny Nasion, Wyd. IHAR.
- Jakubowska A.: 2004. Mechanizm regulacji poziomu IAA w roślinach. Wyd. Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń.
- Jakubowska A., Zielińska E., Kowalczyk S.: 2001. Metabolizm i transport auksyn w roślinach. *Post. Biochem.*, 47, 169–183.
- Jalink H., Schoor R., Birnbaum Y.E. Bino R.J.: 1999. Seed chlorophyll content as an indicator for seed maturity and seed quality. *Acta Horticulturae*, 504, 219–227.
- Jankiewicz L.S.: 1997. Regulatory wzrostu i rozwoju roślin. cz. 1. Właściwości i działanie. Warszawa, PWN.
- Jańczak C.: 2000. Zaprawianie materiału siewnego. Warsztaty nasienne. Kraków, 44–47.
- Jassem M., Sadowski H.: 2000. Wigor – istotny element oceny jakości materiału siewnego. Warsztaty nasienne. Kraków, 32–35.
- Kaczmarek F.: 1986. Wstęp do fizyki laserów. PWN, Warszawa.
- Katańska A., Rybiński W., Broda Z.: 2003. Wpływ światła lasera helowo-neonowego na androgenezę wybranych odmian pszenżyta ozimego. *Acta Agrophysica*, vol. 2(97), z. 3, 559–566.
- Kączkowski J.: 1984. Biochemia roślin. PWN, Warszawa.
- Klejman H.: 1979. Lasery. PWN, Warszawa, 165–216.
- Klimont K.: 2002a. Wpływ naświetlania laserem nasion na plon ziarna i wartość siewną ziarna jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.). Biul. IHAR, 223/224, 169–178.
- Klimont K.: 2002b. Wpływ światła lasera na plon roślin i jakość nasion szarlatu krwistego (*Amaranthus cruentus* L.). Biul. IHAR, 223/224, 249–256.

- Klimont K. 2002c: Badania biostymulacji laserem na wartość siewną nasion i plon roślin pomidora (*Lycopersicon esculentum* Mill.) i ogórka (*Cucumis sativus* L.). Biul. IHAR, 223/224, 257–266.
- Knypl J.S.: 1979. Podwyższanie wigoru nasion metodą infuzji substancji czynnych. Kosmos, Biol., A – 28, 701–713.
- Knypl J.S.: 1983. Podwyższanie wschodów i plonów soi przez osmokondycjonowanie nasion w roztworze glikolu polietylenowego z dodatkiem fitohormonów lub w atmosferze nasyconej parą wodną. Zesz. Probl. Post. Nauk. Rol., 253, 35–51.
- Kopcewicz J., Lewak S.: 2002. Fizjologia roślin. PWN, Warszawa.
- Koper R.: 1994. Pre-sowing laser biostimulation of seeds cultivated plants and its results in agrotechnics. Int. Agrophysics, vol. 8, 593–596.
- Koper R.: 1999. System pre-sowing laser biostimulation of seeds. Proc. Conf. TAE, Prague, 187–189.
- Koper R., Dziwulska A.: 2003. Biostymulacja laserowa nasion łubinu białego. Acta Agrophysica, nr 82, 99–106.
- Koper R., Grochowicz J.: 1994. Equipment for the pre-sowing laser biostimulation of seeds of cultivated plants and the effects of biostimulation. XII World Congress on Agricultural Engineering, Proceedings, vol. 2, Milan, 1224–1229.
- Koper R., Kornas-Czuczwar B.: 1996. Metoda nastawnych dawek energii w przedsięwziętej laserowej biostymulacji nasion i jej efekty. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., z. 443, 55–62.
- Koper R., Kornas-Czuczwar B., Mikos-Bielak M.: 2000. Wpływ przedsięwziętej laserowej biostymulacji nasion bobiku na właściwości fizyko-chemiczne plonów. Inż. Rol., nr 8(19), 39–46.
- Koper R., Kornas-Czuczwar B., Mikos-Bielak M., Podleśny J., Truchliński J.: 2001a. Wpływ przedsięwziętej laserowej biostymulacji nasion bobiku na plony i ich właściwości chemiczne. I Międzynarodowa Konferencja Naukowa AGROLASER 2001, Lublin, 136–138.
- Koper R., Kornas-Czuczwar B., Lipski S., Matyka S.: 2001b. Wpływ przedsięwziętej laserowej biostymulacji nasion kukurydzy na plony i ich właściwości fizyko-chemiczne. Acta Agrophysica, nr 46, 85–94.
- Koper R., Kornas-Czuczwar B., Podleśny J.: 2002a. Wpływ przedsięwziętej laserowej biostymulacji nasion bobiku na właściwości mechaniczne plonów. Acta Agrophysica, nr 62, 25–34.
- Koper R., Kornas-Czuczwar B., Pruchniak T., Podleśny J.: 1999. Wpływ przedsięwziętej laserowej biostymulacji nasion łubinu białego na właściwości mechaniczne plonów. Inż. Rol. nr 2(8) 21–28.
- Koper R., Kornas-Czuczwar B., Truchliński J., Więclaw A.: 2002b. Przedsięwzięta laserowa biostymulacja nasion pomidora metodą wiązki naturalnej. Acta Agrophysica, nr 62, 35–40.
- Koper R., Rybak P.: 2000. Wpływ przedsięwziętej laserowej biostymulacji nasion pomidorów szklarniowych na właściwości fizyko-chemiczne owoców. Inż. Rol., nr 5(16), 105–114.

- Kornarzyński K., Gładyszewska B., Pietruszewski S., Segit Z., Łacek R.: 2004. Ocena wpływu zmiennego pola magnetycznego na kiełkowanie ziarniaków pszenicy twardej. *Acta Agrophysica* vol. 4(1), 59–68.
- Kozachenko M.R., Manzyuk V.T.: 1989. Producing spring barley mutants by combining red laser radiation with chemical mutagens or penetrating radiation. *Tezisy dokladov.*, Mińsk, 77–78.
- Köksel H., Celik S., Özkara R.: 1998. Effects of gamma irradiation of barley and malt on malting quality. *J. Inst. Brew.*, 104, 89–92.
- Krupczyński M., Zeńczak M.: 2003. Oddziaływanie pola elektromagnetycznego na nasiona. II Międzynarodowa Konferencja Naukowa – Oddziaływanie pól elektromagnetycznych na środowisko rolnicze. Referaty i doniesienia, Lublin, 29–31.
- Lipski S., Koper R., Kornas-Czuczwar B.: 1996. Ocena wpływu biostymulacji nasion światłem laserowym na rozwój i plonowanie kukurydzy. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, z. 444, 219–224.
- Lista opisowa odmian: 1989, 1992, 1994, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2006, 2007. Wyd. COBORU, Słupia Wielka.
- Maćkowiak W., Paizert K., Mazurkiewicz L., Woś H.: 1993. Osiągnięcia i problemy hodowli pszenżyta w Polsce. *Biul. IHAR*, 187, 143–165.
- Małuszyńska E.: 2002. Trwałość odmian pszenżyta ozimego. *Hodowla Roślin i Nasiennictwo*, nr 4, 327–350.
- Martinez E., Carbonell M.V., Socorro A., Amaya J.M.: 2001. Biological response of wheat (*Triticum aestivum* L.) to magnetic treatment. I Międzynarodowa Konferencja Naukowa – Oddziaływanie pól elektromagnetycznych na środowisko rolnicze. Referaty i doniesienia, Lublin, 63–71.
- Mikos-Bielak M., Koper R.: 2003. Wpływ biostymulacji laserowej nasion marchwi na właściwości sprężyste i wybrane składniki chemiczne korzeni. *Acta Agrophysica* vol. 2(98), z. 4, 823–832.
- Mroziewicz B., Bugajski M., Nakwaski W.: 1985. *Lasery półprzewodnikowe*. PWN, Warszawa.
- Muszyński S.: 1970. *Zarys radiacyjnej hodowli roślin*. PWRiL, Warszawa.
- Nalepa S.: 2003. Perspektywy hodowli pszenżyta w Resource Seeds Inc. w USA. *Biul. IHAR*, 230, 143–146.
- Nalepa S., Kumelowska I., Grzesik H.: 1975. Wstępne badania nad dziedziczeniem długości koleoptyla i długości korzeni zarodkowych u siewek kilku form *Triticale*. *Biul. Inst. Hod. Rośl.*, 1–2, 29–32.
- Nass H.G., Zuber M.S.: 1971. Correlation of corn (*Zea mays*) roots early development to mature root development. *Crop Sci.*, 11, 5, 655–657.
- Normanly J.: 1997. Auxin metabolism. *Physiol. Plant*, 100, 431–442.
- Olchownik G., Dziamba S.: 1994. Wpływ promieniowania mikrofalowego na elementy struktury plonu gryki. Uszlachetnianie materiałów nasiennych. *Mat. Konf. Nauk. Olsztyn – Kortowo*, 283–287.
- Olchownik G., Gawda H.: 1994. Wpływ promieniowania milimetrowego na energię i zdolność kiełkowania nasion lnu. Uszlachetnianie materiałów nasiennych, materiały konferencyjne. *Olsztyn – Kortowo*, 289–295.

- Pastore D., Martino C., Bosco G., Passarella S.: 1996. Stimulation of ATP synthesis via oxidative phosphorylation in wheat mitochondria irradiated with helium-neon laser. *Biochemistry and Molecular Biology International*, 39 (1), 149–157.
- Phirke P.S. Kudbe A.B., Umbarkar S.P.: 1996. The influence of magnetic field on plant growth. *Seed Sci. Technol.*, 24, 375–392.
- Pietruszewski S.: 1993. Effect of magnetic seed treatment on yields of wheat. *Seed Sci. & Technol.*, 21, 621–626.
- Pietruszewski S.: 2003. Magnetyczna i elektryczna biostymulacja nasion roślin uprawnych. II Międzynarodowa Konferencja Naukowa – Oddziaływanie pól elektromagnetycznych na środowisko rolnicze. Referaty i doniesienia, Lublin. 63–70.
- Pietrzyk W., Sumorek A.: 1997. Influence of electric field on wheat grain drying. vol. 1. Conference on Agrophysics, Lublin, 132–134.
- Podlaski S.: 1992a. Nowoczesne sposoby poprawy jakości nasion. cz. III. Otoczkowanie i taśmowanie nasion. *Hod. Rośl. Nasion.*, 2, 15–21.
- Podlaski S.: 1992b. Nowoczesne sposoby poprawy jakości materiału siewnego. cz. IV. Wysiew nasion kielkujących umieszczonych w żelu (fluid-drill). *Hod. Rośl. Nasion.*, 2, 21–24.
- Podlaski S.: 1994. Uszlachetnianie materiałów nasiennych roślin rolniczych. Uszlachetnianie materiałów nasiennych. Materiały konferencyjne. Olsztyn – Kortowo, 25–30.
- Podleśny J.: 1998. Wpływ przedśiewnego traktowania nasion promieniami laserowymi na rozwój i plonowanie bobiku (*Vicia faba minor*). *Pam. Puł.*, 113, 73–84.
- Podleśny J.: 1999. Wpływ przedśiewnej biostymulacji laserowej nasion na wzrost i rozwój łubinu białego (*Lupinus albus* L.) w zróżnicowanych warunkach wilgotności i temperatury. *Pam. Puł.*, z. 117, 61–81.
- Podleśny J.: 2000a. Wpływ światła laserowego na niektóre procesy biochemiczne i fizjologiczne w nasionach i roślinach łubinu białego (*Lupinus albus* L.). *Pam. Puł.*, z. 121, 171–191.
- Podleśny J.: 2000b. Wpływ traktowania nasion promieniami laserowymi na rozwój oraz dynamikę gromadzenia suchej masy łubinu białego (*Lupinus albus* L.). *Pam. Puł.*, z. 121, 147–170.
- Podleśny J.: 2000c. Oddziaływanie światła laserowego na rozwój i plonowanie łubinu białego (*Lupinus albus* L.). *Pam. Puł.*, z. 121, 127–146.
- Podleśny J.: 2000d. Biostymulacja nasion światłem laserowym i jej wpływ na wzrost, rozwój oraz plonowanie roślin. *Post. Nauk Rol.*, 47/52, nr 6, 27–39.
- Podleśny J.: 2001a. Efektywność biostymulacji laserowej nasion bobiku w zależności od wilgotności materiału siewnego. *Inż. Rol.*, nr 13(33), 358–364.
- Podleśny J.: 2001b. Oddziaływanie światła laserowego na przyspieszenie wzrostu i rozwoju roślin uprawnych. *Biul. Inf. IUNG*, nr 15, 27–32.
- Podleśny J.: 2002. Studia nad oddziaływaniem światła laserowego na nasiona, wzrost i rozwój roślin oraz plonowanie łubinu białego (*Lupinus albus* L.). Monografie i rozprawy naukowe, nr 3, IUNG Puławy.

- Podleśny J., Lenartowicz W.: 2000. Wpływ traktowania nasion promieniami laserowymi na rozwój oraz dynamikę gromadzenia suchej masy bobiku (*Vicia faba var. minor*). Bibl. Fragm. Agron. t. 8, 241–250.
- Podleśny J., Lenartowicz W., Koper R.: 2001. Efektywność biostymulacji laserowej nasion bobiku uprawianego w warunkach doświadczeń polowych. Inż. Rol. nr 10(30), 289–296.
- Podleśny J., Misiak L., Koper R.: 2000. Koncentracja wolnych rodników w nasionach bobiku po przedsięwziętym traktowaniu nasion promieniami laserowymi. II Zjazd Naukowy Polskiego Towarzystwa Agrofizycznego. Lublin – Dąbrowica, 239–240.
- Podleśny J., Stochmal A.: 2004. Wpływ przedsięwziętego traktowania nasion światłem laserowym na niektóre procesy biochemiczne i fizjologiczne w nasionach i roślinach łubinu białego i bobiku. Acta Agrophysica, 4(1), 149–160.
- Rafalski A., Wiśniewska I., Klimont K.: 2001. Zmiany obrazu fragmentów DNA po traktowaniu nasion jęczmienia promieniowaniem laserowym. Biul. IHAR, 218–219.
- Rochalska M., Muszyński S.: 1993. Wykorzystywanie energii atomowej w rolnictwie i utrwalaniu żywności. Opracowanie problemowe, Warszawa, 41–46.
- Rochalska M., Orzeszko-Rywka A.: 2004. Nietypowe metody późniejszej poprawy jakości materiału siewnego. Post. Nauk. Rol., 51, 1, 35–41.
- Roszko A., Michalik B.: 2002. Wpływ naświetlania laserem na wartość siewną nasion marchwi. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., z. 488 cz. 1, 425–430.
- Rybiński W.: 1998. Wykorzystanie światła lasera w badaniach nad jęczmieniem. Pam. Puł., z. 112, 169–177.
- Rybiński W., Adamski T., Surma M.: 2002. Wpływ naświetlania laserem pyłku *Hordeum bulbosum* L. na efektywność uzyskiwania haploidów u jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.). Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., z. 488, 767–772.
- Rybiński W., Garczyński S.: 2003. Ocena wpływu światła lasera na elementy plonowania i parametry fotosyntetycznej aktywności liści linii DH jęczmienia jarego. II Międzynarodowa Konferencja Naukowa AGROLASER 2003, Lublin, 133–134.
- Rybiński W., Garczyński S.: 2004. Wpływ światła lasera na wielkość powierzchni liścia i cechy struktury plonu linii DH jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.). Biul. IHAR, nr 231, 321–329.
- Rybiński W., Patyna H., Przewoźny T.: 1993. Mutagenic effect of laser and chemical mutagens in barley (*Hordeum vulgare* L.). Gen. Pol., 34, 337–343.
- Rybiński W., Pokora L.: 2002. Wpływ światła lasera helowo-neonowego i chemomutagenu (MNU) na zmienność cech lędźwianu siewnego (*Lathyrus sativus* L.) w pokoleniu M 1. Acta Agrophysica, nr 62, 127–134.
- Rybiński W., Stawiński S.: 2001. Wykorzystanie biostymulującego działania światła lasera helowo-neonowego w badaniach nad łubinem andyjskim. Acta Agrophysica, nr 46, 159–166.
- Rybiński W., Surma M., Adamski T.: 2001. Wykorzystanie światła lasera do uzyskiwania haploidów jęczmienia metodą *H. bulbosum*. Biotechnologia, nr 1(52), 143–147.
- Salyaev R.K., Dudareva L.V., Lankevich S.V., Ekimova E.G., Sumtsova V.M.: 2003. Effect of low-intensity laser radiation on the lipid peroxidation in wheat callus culture. J. Plant Physiol., 50 (4), 498–500.

- Salyaev R.K., Dudareva L.V. Lankevich S.V., Sumtsova V.M.: 2001a. Effect of low-intensity coherent radiation on callusogenesis in wild grasses. *Doklady Biochemistry and Biophysics*, 379 (1/6), 279–280.
- Salyaev R.K., Dudareva L.V. Lankevich S.V., Sumtsova V.M.: 2001b. The effect of low-intensity coherent radiation on morphogenetic processes in wheat callus culture. *Doklady Biological Sciences*, 376, 113–114.
- Semerak M., Kushnir P., Wowk O.: 2001. Dependence of the grain and vegetable cultures yield on pre-sowing seed processing by electrical and magnetic fields. I Międzynarodowa Konferencja Naukowa – Oddziaływanie pól elektromagnetycznych na środowisko rolnicze. Lublin, 77–83.
- Sylwestrzak B., Stachurska E.: 1986. Wartość siewna i biologiczna pszenicy jarej traktowanej chlorkiem chlorocholiny. *Biuletyn IHAR*, nr 160, 83–87.
- Symons M.: 1987. *Spektroskopia EPR w chemii i biochemii*. PWN, Warszawa.
- Szafirowska A.: 2002. Porównanie wybranych technik przedsewnego kondycjonowania nasion warzyw. Wpływ wybranych czynników na efektywność kondycjonowania nasion. 100-lecie Katedry Hodowli Roślin i Nasiennictwa AR w Krakowie, Sympozjum Sekcji Hodowli i Nasiennictwa PTNO „Hodowla i nasiennictwo roślin ogrodniczych”, 57–58.
- Szafirowska A., Grzesik M., Habdas H., Staniaszek M.: 2002. Improving germination and vigor of aged and stored onion seeds by matricconditioning. *Acta Physiol. Plant.*, 24, 2, 167–171.
- Szajdak L.: 2004. „Substancje aktywne biologicznie w kompostach z odpadów komunalnych na tle innych podłoży organicznych.” *Komposty z odpadów komunalnych, produkcja, wykorzystanie i wpływ na środowisko*. Pod red. J. Drozd. PTSH, Wrocław.
- Szajsner H.: 1999a. Reakcja genotypów pszenicy jarej na stresowe oddziaływanie promieniowania laserowego. cz. I. Badania cytogenetyczne. *Zesz. Nauk. AR Wroc.*, 45–65.
- Szajsner H.: 1999b. Reakcja genotypów pszenicy jarej na stresowe oddziaływanie promieniowania laserowego. cz. II. Doświadczenie polowe. *Zesz. Nauk. AR Wroc.*, 67–82.
- Szajsner H.: 2003a. Zmienność cech ilościowych u pszenic pod wpływem biostymulacji laserowej. *Biul. IHAR*, nr 226/227/1, 149–154.
- Szajsner H.: 2003b. Porównanie reakcji form jarych i ozimych pszenicy zwyczajnej na przedsewną biostymulację laserową. *Acta Agrophysica*, 2(3), 639–643.
- Szajsner H., Drozd D.: 2001a. Stymulacja wartości użytkowej nasion przechowywanych przez kilka lat (promienie lasera). *Wyd. Nauk FRNA*, 2001, 3, 165–166.
- Szajsner H., Drozd D.: 2001b. Ocena efektu przedsewnej biostymulacji laserowej u odmian pszenżyta (*Triticale*). I Międzynarodowa Konferencja Naukowa AGROLASER 2001, Lublin, 95–98.
- Szydło W.: 2003. Auksyny w rozmnażaniu drzew i krzewów ozdobnych przez sadzonki. cz. I. Charakterystyka auksyn. *Szkółkarstwo* nr 4.

- Szymańska L.: 1982. Wpływ korzenia głównego i przybyszowych korzeni zarodkowych na przebieg kształtowania się kłosa i elementów jego produkcji u pszenicy ozimej. *Hod. Rośl. Aklim. Nasien.* 26, 4, 345–359.
- Szyrmer J., Klimont K.: 1999. Wpływ światła lasera na jakość nasion fasoli (*Phaseolus vulgaris* L.) *Biul. IHAR*, nr 210, 165–168.
- Ścibior H., Magnuszewski T.: 1994. Wpływ zaprawiania oraz otoczkowania nasion na plonowanie roślin motylkowych oraz efektywność symbiozy z bakteriami *Rhizobium*. *Uszlachetnianie materiałów nasiennych. Materiały konferencyjne. Olsztyn – Kortowo*, 97–103.
- Trybała M.: 1999. *Produkcja i przechowywanie płodów rolniczych*. Wyd. AR Wrocław.
- Tulo M.A., Dąbrowska B.: 1993. Wpływ osmokondycjonowania nasion wczesnych genotypów pomidora na szybkość kiełkowania i wschody. *Biul. IHAR*, 185, 93–102.
- Qi-Zhi, Yue-Ming, Wang-XunLing: 2000. Laser pretreatment protects cells of broad bean from UV-B radiation damage. *Journal of Photochemistry and Photobiology*, 59 (1/3), 33–37.
- Vasilevski G., Bosev D., Jevtic S., Lazic B.: 1997. Laser light as a biostimulator into the potato production. *Acta Horticulturae*, 46, 325–328.
- Volodin V.G., Lisovskaya Z.I., Khokhlov I.V., Pleskevich E.N.: 1990. Genetic features of laser mutants of barley. *Tezisy dokladov*, t. 4, Mińsk, 90–93.
- Wilczek M., Fordoński G.: 2007. Wpływ stymulacji nasion światłem lasera na intensywność fotosyntezy i transpiracji oraz plonowanie koniczyny czerwonej. *Acta Agrophysica*, 9 (2), 517–524.
- Wilde W.H.A., Parr W.H., McPeak D.W.: 1969. Seeds bask in laser light. *Laser Focus*, vol. 5(23), 41–42.
- Wójcik S., Bojarska U.: 1999. Wpływ przedsiewnego naświetlania nasion promieniami lasera na plonowanie i jakość korzeni czterech odmian buraka cukrowego. *Ann. UMCS Sect. E*, vol. 54, 51–61.
- Wright A.D., Sampson M.B., Neuffer M.G., Michaleczuk L., Slovin J.P., Cohen J.D.: 1991. Indole-3-acetic acid biosynthesis in the mutant maize Orange pericarp, a tryptophan auxotroph. *Science*, 254, 998–1000.
- Zhidong F., Shuzhen X.: 1990. Effects of He-Ne laser upon the germinating ability of wheat seeds. *Acta Universitatis Agriculturae Boreali Occidentalis*, vol. 18 (2), 95–98.

THE ANALYSIS OF LASER RADIATION TREATMENT EFFECTS ON GRAINS OF SELECTED GENOTYPES OF CEREALS

S u m m a r y

The aim of the research was to describe the impact of semiconductor laser radiation on traits determining the sowing value as well as early development phases of selected spring and winter forms of cereals. Wheat, rye and their hybrid, triticale, were examined in order to observe differences and similarities in their susceptibility to laser light. Moreover in the case of spring wheat genotypes the influence of the storing period (from harvesting to sowing) was assessed on revealing the effect of pre-sowing laser bio-stimulation.

Attempts were also made to explain the processes taking place in seeds immediately after exposure to laser radiation. The content of free radicals was assessed using Electron Paramagnetic Resonance (EPR) and their amount and structure were compared against the results obtained for control samples. Additionally, the content of growth regulator (phytohormone – IAA) was tested in seeds exposed to radiation.

The semiconductor laser light as an abiotic factor used in order to grade up the sowing material caused significant changes in the sowing value, morphological features of seedlings, content of free radicals and of indole-3-acetic acid in spring and winter forms of wheat, rye and triticale.

Differentiated reaction of cultivars as regards germination energy to laser radiation in individual months may suggest that the cultivars require different periods of post-harvest maturation. Pre-sowing application of laser light may be considered a factor shortening the post-harvest maturation period in some genotypes of spring wheat.

The analysis of morphological features of seedlings showed that their winter forms appeared to be more susceptible to laser radiation of the seeds than the spring ones, and among the analysed species rye showed more sensitivity whereas triticale proved to be the least sensitive.

Laser radiation caused significant increase in the amount of free radicals in radiated seeds but had no influence on their structure. The laser radiation impact on the concentration of radicals depended on the form of the analysed genotype – spring forms appeared to be more sensitive. Winter triticale was the only genotype which showed no significant impact of radiation on the content of radicals in seeds. Complexity of genetic conditioning of a developmental type (spring or winter) as well as different sensitivity of

cultivars to vernalisation process may be the reason for a significant differentiation in the reaction of cereal genotypes to laser light.

Causing significant increase in IAA content in radiated seeds, laser radiation might probably be an alternative to the in-seed application of auxins in order to regulate seed dormancy or to stimulate aged seeds.

Susceptibility of cereal genotypes to laser radiation probably depends on the ploidy of the analysed forms. Considering the results obtained for triticale and comparing them with the effects observed in wheat and rye, it can be supposed that triticale is the species least sensitive to laser radiation whereas rye, as a diploid form, is the most sensitive. Winter forms of wheat and rye were characterised by bigger susceptibility to laser radiation than their spring forms.