

WOJCIECH RYBIŃSKI**SEBASTIAN GARCZYŃSKI**

Instytut Genetyki Roślin PAN, Poznań

Wpływ światła lasera na wielkość powierzchni liścia i cechy struktury plonu linii DH jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.)

The influence of laser light on leaves area and yield structure parameters in DH lines of spring barley (*Hordeum vulgare* L.)

Badaniami przeprowadzonymi w warunkach szklarniowych objęto 4 linie DH jęczmienia jarego, z których dwie były formami oplewionymi, a dwie nagoziarnistymi. Przed wysiewem ziarniaki wybranych linii napromieniowano światłem lasera przy czasach ekspozycji 60 i 180 minut. Do badań użyto lasera helowo-neonowego działającego w przedziale światła czerwonego, o mocy 24 mW i długości fali 632 nm. Rośliny uzyskane z ziarniaków nienaświetlanych stanowiły kombinację kontrolną. Analizowano wpływ światła lasera na wielkość powierzchni blaszki liściowej liścia flagowego i podflagowego oraz elementy plonowania. Uzyskane wyniki wykazały, że wielkość powierzchni liści zależna była od zastosowanych dawek energii światła lasera oraz genotypu badanych roślin. Zastosowane łącznie dawki energii światła lasera do badanych linii indukowały biostymulację wartości tej cechy, która wzrastała wraz z wydłużaniem czasu naświetlania. Reakcja poszczególnych linii DH pod względem badanej cechy była zróżnicowana, przy czym najsilniejszą tendencję zwiększenia powierzchni blaszki liściowej, zarówno liścia flagowego jak i podflagowego wykazały nagoziarniste linie DH-R63N/14 i R58N/91. Dla badanych form określono ponadto parametry plonowania, których wartość zależna była od genotypowych właściwości wybranych linii. Generalnie światło lasera wpływało stymulująco na strukturę plonu badanych linii, aczkolwiek dla niektórych cech i czasów ekspozycji światła lasera obserwowano nieznaczny efekt redukcji.

Słowa kluczowe: biostymulacja, jęczmień jary, laser, liść flagowy, liść podflagowy, powierzchnia liścia, struktura plonu

The study material consisted of seeds of four DH lines (two hull-less and two hulled lines) of spring barley. Before sowing the grains of chosen lines were irradiated for 60 or 180 minutes. A helium-neon laser working in the range of red light at the wavelength of 632 nm and power capacity 24 mW was used as a source of irradiation. The plants grown from untreated grains were a control combination. The influence of laser light on area of penultimate and flag leaves as well as parameters of yield structure were analyzed. The results obtained showed the dependence of leaves area on both the applied laser light exposure and plant genotype. In all the analyzed lines laser light had a significant biostimulating effect on leaf area. The effect increased with increase of a dose of irradiation. The reactions of particular DH lines differed greatly. The highest tendency to enlarge the size of penultimate and flag leaves was observed with hull-less lines R63N/14 and R58N/91. In general, laser light

stimulated the yield structure parameters, although a small reducing effect of the treatment on some traits was also observed.

Key words: biostimulation, flag leaves, laser, leaf blade area, penultimate leaves, spring barley, yield structure

WSTĘP

Pierwsza praca nad wykorzystywaniem lasera rubinowego w naukach biologicznych, która ukazała się na początku lat sześćdziesiątych zainicjowała wzrost zainteresowania wykorzystania lasera głównie pod kątem badań nad funkcjonowaniem struktur komórkowych (McBridge i in., 1974; Hahne i Hoffmann, 1984). Prace Bernsa i innych (1969) wykazały, że oprócz destrukcyjnego wpływu światła lasera na struktury komórkowe wywołuje ono uszkodzenia chromosomów prowadząc do powstawania mutacji (Dudin, 1990; Rybiński in., 1993; Rybiński, 2001). O ile uszkodzeniowy charakter działania światła lasera obserwuje się przy dłuższych czasach ekspozycji, to krótsze czasy mogą aktywować funkcje komórek o charakterze biostymulacji, wpływając na przebieg procesów metabolicznych i aktywność fotosyntezy. Wskazuje to, że roślina jest zdolna pochłaniać, przekształcać, magazynować i wykorzystywać energię fotonów światła lasera (Szyrmer i Klimont, 1999). Podniesienie potencjału bioenergetycznego naświetlanych komórek umożliwia zwiększenie aktywności mitotycznej komórek merystematycznych, wyrażonej wzrostem indeksu mitotycznego (Kobrzyński i Różanowski, 2000), wzrost energii i zdolności kiełkowania (Laszkiewicz, 2001), przyspieszenie wzrostu kielków, koleoptyli i korzonków zarodkowych (Drozd i in., 2001) lepsze wyrównanie wschodów (Dziamba i Dziamba, 2001), przyspieszenie wzrostu siewek (Szajnsner i Drozd, 2001), dojrzewania (Lipski, 2001) oraz wzrost plonowania (Klimont, 2001). Obecnie biostymulujące właściwości światła lasera wykorzystuje się już w rolnictwie na skalę komercyjną w celu zwiększenia zdolności plonowania szeregu uprawnych gatunków, zwłaszcza roślin warzywnych (Koper, 1993).

Biorąc pod uwagę fakt, że światło lasera może stymulować wzrost i rozwój rośliny po naświetleniu nasion, niewątpliwie interesującym jest określić jego wpływ na wielkość powierzchni asymilacyjnej liści oraz kształtowanie się w tym kontekście parametrów plonowania jęczmienia jarego, co jest celem niniejszej pracy.

MATERIAŁ I METODY

Materiał do badań stanowiły cztery linie DH jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.). Dwie pośród nich to linie oplewione (R58N/48 i R63N/34), a pozostałe to formy nagoziarniste (R58N/91 i R63N/14). Linie te, w pełni homozygotyczne, uzyskano z wykorzystaniem metody krzyżowania z *Hordeum bulbosum* (metoda bulbosowa) w Instytucie Genetyki Roślin PAN w Pracowni Genetyki Ilościowej. Przed wysiewem w warunkach szklarni powietrznie suche ziarniaki linii DH poddawano naświetlaniu laserem. Do badań wykorzystano laser helowo-neonowy przygotowany do naświetlania obiektów biologicznych przez Centrum Techniki Laserowej w Warszawie. Wybrany laser helowo-neonowy pracuje na długości fali 632 nm (w przedziale światła czerwonego)

i mocy wyjściowej 24 mW oraz gęstości powierzchniowej mocy padającego światła na naświetlany obiekt — 1 mW/cm². Do naświetlań ziarniaków wybrano dwie ekspozycje światła lasera wynoszące 60 i 180 minut. Ziarniaki badanych odmian nie poddawane działaniu światła lasera stanowiły kombinację kontrolną. Wysiew prowadzono w warunkach szklarniowych do doniczek, umieszczając w każdej z nich stałą ilość dobrze wymieszanej i parowanej gleby. W każdej doniczce pozostawiano trzy rośliny, które w fazie strzelania w źdźbło nawożono taką samą ilością florovitu. Począwszy od stadium siewki rośliny podlewano stałą ilością wody w godzinach porannych. Zależnie od stadium rozwoju prowadzono doświetlanie roślin, wykorzystując w tym celu lampy sodowe o mocy 400 W. W momencie pełnego wykształcenia liścia flagowego prowadzono pomiar powierzchni liści. Dokonywano pomiaru powierzchni liścia flagowego i podflagowego [(szerokość × długość) × 0,75] na roślinach z każdej kombinacji ze światłem lasera oraz kontroli w sześciu powtórzeniach. Uzyskane wyniki wyrażano w cm² z podaniem wartości NIR dla poszczególnych kombinacji.

Po zakończeniu wzrostu i rozwoju roślin w stadium dojrzałości pełnej prowadzono zbiór roślin (3 × 15 roślin z każdej kombinacji), dokonując pomiarów wysokości rośliny, długości kłosa, liczby i masy ziaren z kłosa oraz masy 1000 ziarniaków.

WYNIKI I DYSKUSJA

Biorąc pod uwagę biostymulujący wpływ światła lasera na aktywność mitotyczną komórek merystematycznych żyta wyrażoną wzrostem indeksu mitotycznego (Kobrzyński i Różanowski, 2000) oraz stymulacyjny wpływ na wzrost syntezy DNA i podziałów komórkowych (Karu, 1988) jest niewątpliwie interesującym wpływ światła lasera na wzrost i rozwój rośliny. Jednym z analizowanych parametrów w przeprowadzonych badaniach u jęczmienia jest powierzchnia blaszki liściowej. Uzyskane wartości dla poszczególnych czasów naświetlania oraz badanych linii DH łącznie przedstawia tabela 1.

Tabela 1

Wpływ czasu naświetlania laserem na rozmiar liści roślin w liniach DH jęczmienia jarego — ocena łączna

The effect of a dose irradiation on the leaf size in DH lines of spring barley

Kombinacje Combination	Powierzchnia liścia (cm ²) Leaf blade area (cm ²)		
	średnia mean	liść flagowy flag leaf	liść podflagowy penultimate leaf
Kontrola Control	14,06	6,88	21,25
Laser 60 min.	23,11	12,80	33,42
Laser 180 min.	24,87	15,00	34,74
NIR ($\alpha = 0,05$)			
LSD ($\alpha = 0,05$)	1,36		1,92

Wartości średnich dla liścia flagowego i podflagowego łącznie wskazują na istotny wzrost powierzchni liści w kombinacjach ze światłem lasera w porównaniu z kontrolą. Również istotnie od kontroli badane linie różniły się pod względem liścia flagowego

i podflagowego. Mimo, że obydwie dawki światła lasera zwiększały powierzchnie liści, czas ekspozycji 180 minut był bardziej efektywny w tym względzie, zwłaszcza w odniesieniu do liścia flagowego. Fotosynteza i transpiracja liścia są istotnymi czynnikami promującymi wzrost i plonowanie roślin (Górny, 2001), a fotosyntetyczna aktywność najwyższej położonych liści na roślinie ma szczególne znaczenie podczas nalewania ziaren (Loss i Sidique, 1994; Turner, 1997). Istotny, biostymulujący wpływ światła lasera w odniesieniu do liścia flagowego wydaje się tu szczególnie interesujący. Na wielkość liścia flagowego mają też wpływ inne czynniki jak ograniczone nawożenie redukujące nie tylko wielkość liścia, ale również intensywność fotosyntezy oraz efektywność wymiany gazowej. Jednocześnie okazuje się, że zróżnicowanie parametrów fotosyntezy jest zależne nie tylko od wielkości liścia, ale także ich położenia na roślinie (Austin, 1989; Del Blanco i in., 2000).

Powierzchnia liści zależna była od genotypowych właściwości badanych linii (tab. 2). Odminną reakcję na światło lasera obserwowano u nagoziarnistej linii DH-R63N/14, która efektywnie wykorzystywała pochłanianą energię światła lasera w kierunku zwiększenia powierzchni zarówno liścia flagowego, jak i podflagowego. Średnia powierzchnia obu rodzajów liści dla tej linii wynosiła 26,4 cm², a u pozostałych linii 17,6–19,4 cm². Dla liścia flagowego linii R63N/14 powierzchnia wynosiła 15,6 cm², a dla pozostałych linii od 8,8–11,2 cm². W odniesieniu do liścia podflagowego wartości te wynosiły kolejno 37,2 cm² oraz 26,4–27,9 cm². Najmniej (statystycznie nieistotnie) pod względem badanej cechy różniły się między sobą linie R58N/91 i R63N/34.

Tabela 2

Wpływ naświetlania laserem na rozmiar liści roślin poszczególnych linii DH jęczmienia jarego
The effect of laser irradiation on the leaf size in particular DH lines of spring barley

Linie DH DH lines	Powierzchnia liścia (cm ²) Leaf blade area (cm ²)		
	średnia mean	liść flagowy flag leaf	liść podflagowy penultimate leaf
R58N/48	17,63	8,82	26,44
R58N/91	19,33	10,76	27,90
R63N/34	19,45	11,21	27,69
R63N/14	26,41	15,63	37,19
NIR ($\alpha = 0,05$)			
LSD ($\alpha = 0,05$)	1,57		2,22

Wpływ poszczególnych dawek światła lasera w odniesieniu do każdej z badanych linii przedstawiono w tabeli 3. Światło lasera w porównaniu z kontrolą wpłynęło na wzrost powierzchni liścia. Wyjątek stanowiła tu linia R58N/48, dla której ekspozycja 60 minut wywołała redukcję powierzchni liścia flagowego przy nieznacznej biostymulacji powierzchni liścia podflagowego. Wysoce efektywne okazało się światło lasera dla linii R63N/14, a zwłaszcza R58N/91, która charakteryzowała się najmniejszą powierzchnią obu rodzajów liści w kombinacji kontrolnej. Dla tej ostatniej linii wzrost powierzchni był szczególnie efektywny dla liścia flagowego przy 180 minutach ekspozycji światła lasera. Obserwowane zróżnicowanie powierzchni liści między liniami zależne jest od ich

genotypowych właściwości. Powierzchnia najwyższej położonych liści ulegała zmianie wraz z postępowaniem hodowlanym. Starsze odmiany pszenicy charakteryzowały się tendencją do formowania najwyższej położonych liści o powierzchni od 41,8–46,0 cm² (indeks plonu 39,6–45,1%) przy powierzchni liści u nowoczesnych odmian wynoszących 37,7–43,0 cm² i indeksie plonowania 48,8–49,9% (Górny i Garczyński, 2002). Ponadto generalnie mniejsze liście nowoczesnych odmian wykazują tendencję do większej aktywności fotosyntetycznej oraz efektywności wymiany gazowej na jednostkę powierzchni aniżeli większe liście starszych odmian.

Tabela 3

Wpływ czasu naświetlania laserem na rozmiar liści (cm²) roślin poszczególnych linii DH jęczmienia jarego

The effect of a dose irradiation on the leaf size (cm²) in particular DH lines of spring barley

Linie DH DH lines	Kontrola Control			Laser 60 minut Laser 60 minutes			Laser 180 minut Laser 180 minutes		
	średnia mean	liść flagowy flag leaf	podflagowy penultimate	średnia mean	liść flagowy flag leaf	podflagowy penultimate	średnia mean	liść flagowy flag leaf	podflagowy penultimate
R58N/48	17,04	9,37	24,71	16,35	7,35	25,35	19,48	9,73	29,24
R58N/91	9,48	4,12	14,85	23,71	12,90	34,53	24,51	14,68	34,32
R63N/34	12,81	6,52	19,10	21,79	12,63	30,95	23,69	14,35	33,03
R63N/14	16,86	7,37	26,36	30,57	18,31	42,84	31,79	21,21	42,38
NIR ($\alpha = 0,05$)	2,72	3,84	3,84	2,72	3,84	3,84	2,72	3,84	3,84
LSD ($\alpha = 0,05$)									

Mimo, że średnia powierzchnia badanych liści u linii wyjściowej R58N/48 była wyższa aniżeli u linii R63N/14 (tab. 3) to zastosowane światło lasera w obu dawkach energii istotnie wpływało na powierzchnie liści dla linii R63N/14, a uzyskane wartości były tu najwyższe spośród wszystkich analizowanych form. Wzrost powierzchni liści kukurydzy po działaniu światła lasera He-Ne obserwował Lipski (2001) w doświadczeniu wazonowym u roślin w fazie początku wiechowania. Podobnie jak w przeprowadzonych przez nas badaniach powierzchnia liści wzrastała wraz ze wzrostem dawek lasera, a także ze zwiększeniem uwilgotnienia naświetlanych ziaren. Dla najwyższej z dawek energii światła lasera i wysokiego stopnia uwilgotnienia ziaren kukurydzy obserwowano wzrost powierzchni liści z rośliny z 158 dm² (kombinacja bez naświetlania) do 190 dm² (laser), co przyczyniało się do zwiększenia suchej masy pojedynczej rośliny o około 10%. Wzrost powierzchni liści, masywniejszą łodygę i zwiększoną odporność owoców na odkształcenie obserwowano po działaniu światła lasera u pomidora (Koper i in., 2001). U buraka cukrowego światło lasera istotnie wpływało na plon liści z jednostki powierzchni, przy czym autorzy nie podają wpływu lasera na powierzchnie liści (Wójcik, 2001).

Strukturę plonu linii DH dla form wyjściowych i kombinacji ze światłem lasera przedstawiono w tabeli 4. Światło lasera generalnie, niezależnie od dawki energii wpływało na wzrost wysokości roślin, długości kłosa oraz parametrów plonowania. Analiza plonowania nie wskazuje jednoznacznie, która z obu dawek energii światła lasera była efektywniejsza w indukowaniu stymulacji. Dane dotyczące masy ziaren w kłosie a zwłaszcza masy 1000 ziaren sugerują wyższą efektywność czasu naświetlania 60 minut,

a w kilku wypadkach czas 180 minut w porównaniu z kontrolą nieznacznie redukował wartości niektórych cech. Wzrost plonowania po działaniu światła lasera obserwowano oprócz jęczmienia (Rybiński i in., 1993; Dziamba i Dziamba, 2001) także u pszenicy jarej (Dziamba i Koper, 1992), bobiku (Podleśny, 1997 a), buraka cukrowego (Wójcik, 2001), łubinu (Podleśny, 1997 b), oraz ogórka i pomidora (Klimont, 2001).

Tabela 4

Wartości średnich cech struktury plonu roślin wyjściowych linii DH (kontrola) oraz roślin uzyskanych po naświetlaniu światłem lasera ziarniaków przy czasach ekspozycji 60 i 180 minut
Means for yield structure parameters of plants in initial DH lines (control) and plants obtained after grains irradiation for 60 or 180 minutes

Linie — kombinacje Lines — combinations	Wysokość roślin (cm) Plant height (cm)	Długość kłosa (cm) Spike length (cm)	Liczba ziaren z kłosa Grains no. per spike	Masa ziaren z kłosa (g) Grains weight/spike	Masa 1000 ziaren (g) Weight of 1000 grains
R58N/48					
Kontrola Control	50,7	6,0	17,9	0,74	41,2
Laser 60 min	53,4	6,2	19,6	0,82	43,0
Laser 180 min.	51,5	6,1	20,2	0,78	39,8
R58N/91					
Kontrola Control	71,1	7,0	18,4	0,70	38,2
Laser 60 min	75,5	7,3	18,7	0,86	45,2
Laser 180 min.	73,3	6,8	18,8	0,88	44,4
R63N/34					
Kontrola Control	64,3	8,5	19,2	1,04	52,2
Laser 60 min	65,2	8,5	19,6	1,09	55,9
Laser 180 min.	67,1	8,7	20,2	1,09	54,2
R63N/14					
Kontrola Control	55,2	7,5	18,0	0,87	46,3
Laser 60 min	59,7	8,2	19,1	0,98	50,1
Laser 180 min.	59,3	8,0	19,2	0,87	45,6
NIR ($\alpha = 0,05$)	1,9	0,4	1,1	0,10	3,3
LSD ($\alpha = 0,05$)					

Zagadnienie roli najwyższej położonych liści w procesie wypełniania ziaren (także w kontekście wystąpienia czynników stresowych) jest dość złożone i niejednoznaczne. Badania Górnego i Garczyńskiego (2002) prowadzone na pszenicy wykazały, że liść flagowy i podflagowy wykazywały zróżnicowaną intensywność fotosyntezy i obniżoną efektywność wymiany gazowej na jednostkę powierzchni w porównaniu z niżej położonymi liśćmi, przy czym mniejsze liście nowoczesnych odmian w porównaniu z odmianami starszymi o większych liściach wykazywały tendencje do wyższej intensywności fotosyntezy i wyższej efektywności wymiany gazowej na jednostkę powierzchni liścia. Według Evansa i Dunstone (1970) wyjaśnieniem obniżenia fotosyntezy u większych liści jest ich wyższa odporność do wymiany CO₂ poprzez redukcję stosunku powierzchni do objętości większych mezofilowych komórek. Niewątpliwie istotną cechą liścia flagowego w kontekście formowania plonu jest jego okres trwania w fazie zielonej.

Według Oosteroma i in. (1996) zdolność najwyższej położonych liści i międzywęzli do pozostawania w stanie fotosyntetycznej aktywności podczas nalewania ziaren może mieć istotną wartość adaptacyjną. Starsze odmiany pszenicy wyróżnia krótszy okres trwania zielonego liścia flagowego, a liść flagowy odmian nowoczesnych zamierał 2–8 dni później aniżeli u starych odmian. W warunkach obniżenia poziomu NPK długość trwania liścia flagowego pszenicy w stanie zielonym była ściśle skorelowana z indeksem plonu i dla obu cech obserwowano wysoki, pozytywny stopień korelacji ze współczynnikiem wykorzystania wody w fazie generatywnej (Górny i Garczyński, 2002). To z kolei może się przyczyniać do poprawienia efektywności wykorzystania wody w formowaniu ziaren. Liść flagowy i podflagowy w kombinacji ze światłem lasera pozostawał dłużej zielony aniżeli w kombinacji kontrolnej, co mogło mieć wpływ na obserwowaną biostymulację parametrów plonowania. Cecha ta obserwowana u roślin po działaniu lasera wydaje się mieć szczególne znaczenie, a badania nad analizą intensywności fotosyntetycznej w kontekście wzrostu powierzchni najwyższej położonych liści winny przyczynić się do pełniejszego poznania biostymulacyjnego działania światła lasera.

WNIOSKI

1. Biostymulacyjne działanie światła lasera helowo-neonowego o długości fali 632 nm wyrażało się wzrostem powierzchni liścia flagowego i podflagowego w porównaniu z kombinacją kontrolną.
2. Dłuższa ekspozycja światłem lasera miała wpływ na zwiększenie powierzchni asymilacyjnej dwóch najwyższej położonych na roślinie liści, przy czym różnice w reakcji między dwoma stosowanymi dawkami energii w kilku wypadkach były statystycznie nieistotne.
3. Wartości biostymulacji cechy powierzchni liścia flagowego i podflagowego zależne były od rodzaju linii DH użytych do naświetlania ziarniaków, przy czym formy nagoziarniste w porównaniu z oplewionymi bardziej efektywnie wykorzystywały światło lasera do zwiększenia powierzchni blaszki liściowej.
4. Światło lasera w porównaniu z kombinacją bez naświetlania wywoływało wzrost parametrów struktury plonu, przy czym dawka energii w czasie 60 minut w odniesieniu do masy ziaren z kłosa oraz masy 1000 ziaren była bardziej efektywna aniżeli dawka energii w czasie 180 minut powodująca w kilku wypadkach redukcję plonowania.

LITERATURA

- Austin R. B. 1989. Genetic variation in photosynthesis. *J. Agric. Sci.* 112: 287 — 294.
- Berns M. W., Olson R. S., Rounds D. E. 1969. *In vitro* production of chromosomal lesions using an argon ion laser microbeam. *Nature* 221: 74 — 75.
- Del Blanco L. A., Rajaram S., Kronstad W. E., Reynolds M. P. 2000. Physiological performance of synthetic hexaploid wheat-derived populations. *Crop. Sci.* 40: 1257 — 1263.
- Drozd D. T., Szajsner H. A., Turzyniecka-Małysz H. 2001. Zastosowanie światła laserowego do poprawy wartości siewnej pszenicy z lat zbioru 1993–1997. I Międzynarodowa konferencja naukowa „Oddziaływanie pól elektromagnetycznych na środowisko rolnicze”, Lublin, 26–28.09. 2001, Referaty i Doniesienia: 13 — 17.

- Dudin P. 1990. The frequency of waxy mutations in barley treated with laser radiation and phytohormones. *Genetica* 26 (2): 363 — 366.
- Dziamba Sz., Koper R. 1992. Wpływ naświetlania laserem nasion na plon ziarna pszenicy jarej. *Fragm. Agron.* 1 (33): 88 — 93.
- Dziamba Sz., Dziamba M. 2001. Wpływ przedsiewnego naświetlania nasion światłem na plonowanie i elementy struktury plonu jęczmienia jarego. I Międzynarodowa konferencja naukowa „Oddziaływanie pól elektromagnetycznych na środowisko rolnicze”, Lublin, 26–28.09. 2001, Referaty i Doniesienia: 19 — 24.
- Evans L. T., Dunstone R. L. 1970. Some physiological aspects of evolution in wheat. *Aust. J. Biol. Sci.* 23: 725 — 741.
- Górny A. G. 2001. Photosynthetic activity of flag leaves in diallel crosses of spring barley under varied nutrition and soil moisture. *Cereal Res. Commun.* 29 (1/ 2): 159 — 166.
- Górny A. G., Garczyński S. 2002. Genotypic and nutrition-dependent variation in water use efficiency and photosynthetic activity of leaves in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *J. Appl. Genet.* 43 (2): 145 — 160.
- Hahne G., Hoffmann. 1984. The effect of laser surgery on cytoplasmic streaming in isolated plant protoplast. *Eur. J. Cell Biol.* 33: 175 — 179.
- Karu T. I. 1988. Molecular mechanism of the therapeutic effects of low intensity laser irradiation. *Lasers Life Sci.* 2: 53 — 74.
- Klimont K. 2001. Badanie biostymulacji lasera na wartość siewną nasion i strukturę plonu roślin pomidora (*Lycopersicon esculentum* Mill.) i ogórka (*Cucumis sativus* L.). I Międzynarodowa konferencja naukowa „Oddziaływanie pól elektromagnetycznych na środowisko rolnicze”, Lublin, 26–28.09. 2001, Referaty i Doniesienia: 132 — 133.
- Kobrzyński M., Różanowski B. 2000. Wpływ metali ciężkich (kadmu i ołowiu) oraz światła laserów He-Ne i AR na aktywność mitotyczną komórek merystematycznych korzeni żyta (*Secale cereale* L.). XIV Zjazd Polskiego Towarzystwa Genetycznego, Poznań, 11–13.06. 2000, Streszczenia: 279.
- Koper R. 1993. Biuletyn Urzędu Patentowego 9.
- Koper R., Truchliński J., Więclaw A., Gagoś M. 2001. Przedsiewna biostymulacja laserowa wiązką naturalną nasion pomidorów. I Międzynarodowa konferencja naukowa „Oddziaływanie pól elektromagnetycznych na środowisko rolnicze”, Lublin, 26–28.09. 2001, Referaty i Doniesienia: 138 — 139.
- Laszkiewicz E. 2001. Zastosowanie biostymulacji laserowej do podwyższenia wartości siewnej odmian pszenicy twardej (*Triticum durum*). I Międzynarodowa konferencja naukowa „Oddziaływanie pól elektromagnetycznych na środowisko rolnicze”, Lublin, 26–28.09. 2001, Referaty i Doniesienia: 45 — 50.
- Lipski S. 2001. Efektywność biostymulacji laserowej kukurydzy (*Zea mays* L.) w zależności od stopnia uwilgotnienia nasion. I Międzynarodowa konferencja naukowa „Oddziaływanie pól elektromagnetycznych na środowisko rolnicze”, Lublin, 26–28.09. 2001, Referaty i Doniesienia: 51 — 56.
- Loss S. P., Siddique K. H. M. 1994. Morphological and physiological traits associated with wheat yield increases in Mediterranean environments. *Adv. Agron.* 52: 229 — 276.
- McBridge G., Labounty J., Adams J., Berns M. W. 1974. The totipotency of seta-bearing cells to thallus development in green alga *Coleochaete scutata*. A laser microbeam study. *Develop. Biol.*, 37: 90 — 99.
- Oosterom E. J., Jayachandran R., Bidinger F. R. 1996. Diallel analysis of the stay-green trait and its components in sorghum. *Crop Sci.*, 36/3: 549 — 555.
- Podleśny J. 1997 a. Wpływ przedsiewnego traktowania nasion światłem laserowym na kształtowanie cech morfologicznych i plonowanie bobiku. *Zeszyty Problemowe Postępu Nauk Rolniczych* 446: 435 — 439.
- Podleśny J. 1997 b. Wpływ przedsiewnego traktowania nasion światłem laserowym na kształtowanie cech morfologicznych i plonowanie łubinu białego. Łubin we Współczesnym Rolnictwie. Olsztyn-Kortowo, Materiały Konferencyjne: 87 — 92.
- Rybiński W., Patyna H., Przewoźny T. 1993. Mutagenic effect of laser and chemical mutagens in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Genet. Pol.* 34: 337 — 343.
- Rybiński W. 2001. Influence of laser beams combined with chemomutagen (MNU) on the variability of traits and mutation frequency in spring barley. *Int. Agrophysics* 15: 115 — 119.

- Szajsner H. A., Drozd D. T. 2001. Ocena przedsiewnej biostymulacji laserowej u odmian pszenżyta. I Międzynarodowa konferencja naukowa „Oddziaływanie pól elektromagnetycznych na środowisko rolnicze”, Lublin, 26–28.09. 2001, Referaty i Doniesienia: 95 — 98.
- Szyrmer J., Klimont K. 1999. Wpływ światła lasera na jakość nasion fasoli (*Phaseolus vulgaris* L.). Biul. IHAR 210: 165 — 168.
- Turner N.C. 1997. Further progress in crop water relations. Adv. Agron., 58: 293 — 338.
- Wójcik S. 2001. Plonowanie i jakość korzeni buraka cukrowego w zależności od sposobu przedsiewnej biostymulacji nasion. I Międzynarodowa konferencja naukowa „Oddziaływanie pól elektromagnetycznych na środowisko rolnicze”, Lublin, 26–28.09. 2001, Referaty i Doniesienia: 113 — 120.

PODZIĘKOWANIE

Panu Prof. Ludwikowi Pokorze oraz Centrum Techniki Laserowej w Warszawie za umożliwienie korzystania z aparatury laserowej.