

ANALIZA WPŁYWU POLA MAGNETYCZNEGO I PROMIENI GAMMA
NA ZMIENNOŚĆ ELEMENTÓW PŁONOWANIA JĘCZMIENIA JAREGO
(*Hordeum vulgare* L).

Wojciech Rybiński¹, Stanisław Pietruszewski², Krzysztof Kornarzyński²

¹Institut Genetyki Roślin PAN, ul. Strzeszyńska 34, 60-479 Poznań

²Katedra Fizyki, Akademia Rolnicza, ul. Akademicka 13, 20-033 Lublin

e-mail: wryb@igr.poznan.pl

Streszczenie. Materiał wyjściowy do badań stanowiły powietrznie suche ziarnki dwóch odmian jęczmienia jarego – Rasbet i Barke (*Hordeum vulgare* L.), które poddawano działaniu stałego i zmiennego pola magnetycznego oraz napromienianiu trzema zróżnicowanymi dawkami promieni gamma. Oprócz wyłącznych traktowań polem magnetycznym i promieniami gamma stosowano również traktowania łączone wg schematu – pole magnetyczne + promienie gamma. Ziarnki wysiewano na poletka, określając po zbiorze parametry plonowania. Wyłączne działanie pola magnetycznego wywołało dla obu odmian wyraźne różnicowanie badanych cech wyrażone redukcją wartości badanych cech, przede wszystkim efektem stymulacji. W pojedynczych naświetlaniach promieniami gamma, najniższa z dawek (60 Gy) wykazywała nawet niewielki efekt stymulacji lecz pozostałe dawki indukowały efekt redukcji w porównaniu z kombinacją kontrolną i wyłącznym działaniem pola magnetycznego. Efekt współdziałania pola magnetycznego i promieni gamma w wywoływaniu uszkodzeń biologicznych w pokoleniu M₁ wskazuje, że uzyskane wartości były generalnie niższe w porównaniu z formą wyjściową i wyłącznym działaniem pola magnetycznego, lecz dla większości kombinacji i cech, zwłaszcza bezpośrednio związanych z płodnością, wyraźnie wyższe. Mimo, że zmienne i stałe pole magnetyczne wywoływało stymulację badanych cech, stałe pole magnetyczne, zwłaszcza w odniesieniu do liczby płodnych kłosów z rośliny oraz liczby i masy ziaren z kłosa i rośliny wskazuje na jego większą efektywność w obniżaniu uszkodzeń biologicznych aniżeli zmienne pole magnetyczne, zwłaszcza dla odmiany Barke.

Słowa kluczowe: stymulacja, jęczmień jary, pole magnetyczne, promienie gamma, struktura plonu

WSTĘP

Pośród uprawianych gatunków zbóż, jęczmień obok pszenicy należy do najczęściej uprawianych w Polsce i oprócz jego przeznaczenia na cele paszowe, wykorzystywany jest również dla celów browarnych. Wysokie wymagania

stawiane nowym odmianom jęczmienia w zależności od kierunku użytkowania, są ściśle związane ze zmiennością genetyczną cech jaką hodowca dysponuje w swych programach hodowlanych. Stąd istotnym jest uzyskanie możliwie szerokiej zmienności co z kolei przekłada się na efektywność prowadzonej selekcji.

Mimo, że krzyżowanie roślin pozostaje niezaprzeczalnie podstawową metodą tworzenia nowej zmienności genetycznej cech, w licznych programach hodowlanych mutageneza i indukowanie mutacji są nadal istotnym uzupełnieniem efektów rekombinacji.

Stosowanie technik nuklearnych w hodowli roślin jest adresowane między innymi bezpośrednio do indukowania mutacji. Począwszy od odkrycia promieniowania X przed prawie stu laty, wykorzystanie promieni X, gamma czy neutronów dla indukowania zmienności genetycznej stało się dobrze poznaną technologią co przyczyniło się do poprawienia licznych cech u takich gatunków rozmnażanych przez nasiona jak pszenica, ryż, jęczmień, bawełna, orzech ziemny czy fasola [2].

Od momentu utworzenia przy FAO/IAEA wydziału do wykorzystania technik nuklearnych w rolnictwie, ponad 1800 odmian uzyskano w efekcie bezpośredniego wykorzystania mutantów lub ich użycia w krzyżowaniach na obszarze 50 krajów świata [13]. Szczególnie efektywne w tym względzie okazały się promienie gamma [16,12] które również wykorzystano w prezentowanej pracy. Mimo, że promienie gamma należą do czynników mutagennych o wysokiej efektywności indukowania mutacji, w pierwszym pokoleniu po napromieniowaniu, wywołują one wysoki poziom uszkodzeń biologicznych co w wielu przypadkach stanowi istotną przeszkodę w uzyskaniu dostatecznej liczby nasion koniecznych do wysiewu na pokolenie M_2 w którym prowadzi się wybór mutantów. Dotyczy to w szczególności wyższych dawek promieni gamma, w wielu przypadkach powodujących całkowitą sterylność roślin pokolenia M_1 przy wysokim poziomie aberracji chromosomowych. Z drugiej strony istnieją też inne czynniki fizyczne jak promienie lasera [4,6,26], światło białe [8], promienie mikrofalowe [18] oraz pole magnetyczne [9], które indukować mogą efekt przedsięwziętej stymulacji nasion. Stąd niewątpliwie interesującym jest w jakim stopniu jeden z wyżej wymienionych czynników, a mianowicie pole magnetyczne we współdziałaniu z promieniami gamma wpływa na poziom uszkodzeń biologicznych roślin pokolenia M_1 . Określenie reakcji jęczmienia na zastosowane kombinacje łączone pola magnetycznego z promieniami gamma wyrażone zmiennością parametrów plonowania było przedmiotem przeprowadzonych badań.

MATERIAŁ I METODY

Powietrznie suche ziarniaki dwóch krajowych odmian jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.) – Barke i Rasbet stanowiły materiał wyjściowy do prowadzonych badań. Ziarniaki poddawano działaniu pola magnetycznego, promieni

gamma oraz traktowaniom łączonym – pole magnetyczne + promienie gamma. Ziarniaki umieszczano w polu magnetycznym zasilanym prądem stałym i zmiennym. Regulacja natężenia prądu zasilającego uzwojenie elektromagnesu pozwoliła uzyskać zmienne pole magnetyczne (50 Hz) o indukcji magnetycznej 40 i 95 mT przy czasie działania $t = 15$ s (PI i PII) oraz stałe pole o indukcji magnetycznej 150 i 750 mT przy $t = 60$ s (P III i P IV).

Po zakończeniu traktowań polem magnetycznym ziarniaki napromieniowano promieniami gamma (kombinacje łączone). Jednostką pomiaru radiacji dawki był Grey (Gy) równy absorpcji 1 J energii na kilogram napromieniowywanych produktów. Zastosowano trzy zróżnicowane dawki a mianowicie 60, 100 i 140 Gy. Ziarniaki nie poddawane działaniu pola magnetycznego i promieni gamma stanowiły kombinacje kontrolne. Wyłączne traktowania ziarniaków polem magnetycznym lub promieniami gamma posłużyły do porównań uzyskanych wyników z kombinacją kontrolną i kombinacjami łączonymi (pole magnetyczne + promienie gamma).

Wysiew ziarniaków prowadzono na polu doświadczalnym IGR PAN w Cerekwicy, umieszczając ziarniaki na poletkach o powierzchni 1m^2 w doświadczeniu z blokami losowanymi w trzech powtórzeniach. Rozstawa między rzędami wynosiła 25 cm, a w każdym rzędzie wysiewano po 20 ziarniaków. W okresie wegetacji określano termin kłoszenia, a po zbiorze roślin analizowano następujące cechy: wysokość roślin (WS), długość kłosa (DK), liczbę kłosków w kłosie (LKK), liczbę płodnych kłosów z rośliny (LPKR), liczbę i masę ziaren z kłosa głównego (LZKG i MZKG) oraz rośliny (LZR i MZR). Uzyskane wyniki umożliwiły wyliczenie wielkości uszkodzeń biologicznych roślin pokolenia M_1 , które wyrażono w formie redukcji (-) a ponadto określano stymulację (+) wartości badanych cech w porównaniu z kombinacją kontrolną [26].

WYNIKI

Wartości średnich analizowanych cech (tab. 1 i 2) wskazują, że odmiana Barke cechowała się wyższymi wartościami cech struktury plonu aniżeli Rasbet. Przy zbliżonej wysokości roślin, odmiana Barke charakteryzowała się większą liczbą płodnych kłosów z rośliny oraz wyższą masą ziaren z kłosa oraz rośliny. Wartości badanych cech dla wyłącznego działania pola magnetycznego, promieni gamma oraz kombinacji łączonych (pole magnetyczne + promienie gamma) wskazują na szeroki zakres zróżnicowania cech w porównaniu z kombinacją kontrolną. O ile wyłączne stosowania pola magnetycznego dla większości cech wywoływało wzrost ich wartości, to wyłączne działanie promieni gamma indukowało efekt odwrotny z wyjątkiem niskiej dawki promieniowania (60 Gy) wywołującej u niektórych cech niewielki efekt stymulacji, zwłaszcza u odmiany

Barke. W kombinacjach łączonych, oprócz nieznacznego wzrostu wartości niektórych cech obserwowano głównie ich obniżenie.

Tabela 1. Wartości średnich cech jęczmienia odmiany wyjściowej Rasbet (kontrola) oraz roślin uzyskanych działaniem pola magnetycznego i promieni gamma

Table 1. Means of barley traits variety Rasbet (control) and plants obtained after use of magnetic field and gamma rays

Kombinacje Combinations	WS* (cm)	DK (cm)	LKK	LPKR	LZKG	MZKG (g)	LZR	MZR (g)	DKŁO
Kontrola Control	74,8	9,4	26,9	4,9	25,9	0,99	112,6	4,27	12,06
Pole I (PI)**	75,2	10,1	26,2	5,4	24,7	0,99	115,4	4,26	11,06
Pole II (PII)	77,2	9,9	26,2	6,1	25,7	1,05	129,0	4,84	11,06
PoleIII (PIII)	83,6	9,7	26,5	8,0	26,0	1,00	175,8	6,08	9,06
PoleIV(PIV)	89,3	10,5	28,2	6,5	26,7	1,09	148,2	5,22	10,06
60 Gy	81,2	10,9	27,8	5,6	24,7	1,03	100,0	3,87	13,06
100 Gy	76,8	9,9	25,2	5,2	19,2	0,78	82,8	3,11	16,06
140 Gy	76,4	9,1	22,2	3,7	13,2	0,48	51,4	1,74	18,06
PI + 60	85,3	10,8	26,8	6,9	22,3	0,62	143,4	4,14	12,06
PI + 100	86,7	11,1	25,8	5,4	18,5	0,78	92,3	3,39	14,06
PI + 140	81,3	11,0	25,8	4,1	17,7	0,73	46,0	1,83	15,06
PII + 60	78,8	9,6	24,9	5,9	23,3	0,78	94,9	3,24	13,06
PII + 100	76,0	8,3	22,6	5,9	20,0	0,69	74,8	2,45	14,06
PII + 140	76,3	10,1	25,0	4,9	16,9	0,70	59,5	2,33	16,06
PIII + 60	76,8	9,0	23,7	6,6	22,4	0,91	101,2	3,93	12,06
PIII + 100	75,2	9,5	24,5	5,6	18,6	0,81	61,3	2,67	13,06
PIII + 140	75,2	9,9	25,8	4,9	15,2	0,72	51,1	2,11	15,06
PIV + 60	79,8	9,9	26,3	6,1	22,8	1,07	117,7	4,68	12,06
PIV + 100	72,9	9,6	25,0	6,2	19,1	0,90	86,8	3,56	14,06
PIV + 140	66,9	9,2	23,4	3,7	16,7	0,67	38,6	1,49	16,06

* wysokość roślin, plant height (WS); długość kłosa – spike length (DK); liczba kłosek w kłosie – spikelets per spike (LKK); liczba płodnych kłosek z rośliny – fertile spikes per plant (LPKR); liczba i masa ziaren z kłosa głównego – kernels number and weight per main spike (LZKG i MZKG); liczba i masa ziaren z rośliny – kernels number and weight per plant (LZR i MZR); data kłoszenia – date of emergence (DKŁO).

**PI i PII – zmienne pole magnetyczne – alternate magnetic field, PIII i PIV – stałe pole magnetyczne – stationary magnetic field.

ANALIZA WPŁYWU POLA MAGNETYCZNEGO I PROMIENI GAMMA

Tabela 2. Wartości średnich cech jęczmienia odmiany wyjściowej Barke (kontrola) oraz roślin uzyskanych działaniem pola magnetycznego i promieni gamma

Table 2. Means of barley traits variety Barke (control) and plants obtained after use of magnetic field and gamma rays

Kombinacje Combinations	WS* (cm)	DK (cm)	LKK	LPKR	LZKG	MZKG (g)	LZR	MZR (g)	DKŁO
Kontrola Control	74,9	9,2	27,2	5,8	26,2	1,22	114,9	4,76	11.06
Pole I (PI)**	70,8	8,8	26,4	6,1	24,8	1,19	125,9	5,60	10.06
Pole II (PII)	76,1	9,1	27,0	6,3	25,4	1,21	120,8	5,14	10.06
PoleIII (PIII)	76,4	9,1	27,0	6,8	26,6	1,15	137,7	5,40	9.06
PoleIV(PIV)	76,3	8,9	26,8	6,6	25,8	1,08	131,3	5,71	9.06
60 Gy	75,8	9,7	26,6	6,4	24,1	1,18	119,8	5,35	11.06
100 Gy	80,4	9,1	25,6	6,0	18,8	0,98	100,7	3,99	14.06
140 Gy	77,9	9,8	26,8	4,5	16,2	0,75	36,6	2,03	16.06
PI + 60	80,3	9,6	26,5	6,7	23,7	1,37	119,8	5,76	11.06
PI + 100	84,9	9,8	27,0	6,0	22,9	1,32	99,5	4,94	12.06
PI + 140	74,4	9,7	24,8	4,7	14,0	0,71	54,0	2,09	13.06
PII + 60	72,7	8,9	25,2	6,2	23,1	1,16	116,6	5,37	12.06
PII + 100	73,4	8,4	24,2	6,7	19,6	1,00	99,8	4,16	12.06
PII + 140	76,7	9,5	24,8	4,9	15,1	0,62	62,3	2,32	13.06
PIII + 60	77,8	9,4	27,0	6,6	24,8	1,11	124,5	4,99	11.06
PIII + 100	76,7	9,5	27,3	6,8	24,1	1,24	113,5	5,00	11.06
PIII + 140	74,8	9,7	26,0	5,5	14,6	0,62	75,8	2,47	13.06
PIV + 60	77,0	8,7	26,6	7,5	23,7	1,04	144,8	5,61	10.06
PIV + 100	79,8	9,1	26,0	6,8	21,3	1,02	112,6	4,23	12.06
PIV + 140	73,6	9,4	24,4	5,7	18,2	0,79	76,0	2,36	12.06

* objaśnienia jak w tabeli 1 – explanations as in table 1.

** objaśnienia jak w tabeli 1 – explanations as in table 1.

Wyrażając uzyskane wyniki w wartościach redukcji lub stymulacji cech w porównaniu z kombinacją kontrolną (tab. 3 i 4), wyłączne działanie pola magnetycznego wywoływało oprócz nieznacznej redukcji efekt stymulacji, który był wyższy dla odmiany Rasbet aniżeli Barke. Dotyczy to w szczególności liczby płodnych kłosów z rośliny, których liczba była wyższa u odmiany Rasbet, a dla obu odmian stałe pole magnetyczne (P III i PIV) było bardziej efektywne w tym względzie aniżeli pole zmienne. Podobną sytuację obserwowano dla liczby i masy ziaren z rośliny. Szczególnie skuteczną okazała się niższa dawka stałego pola

magnetycznego (P III), która dla odmiany Rasbet powodowała wzrost liczby i masy ziaren z rośliny kolejno o 56,1 i 42,4% a odmiany Barke – 19,8 i 13,4%. Pod względem liczby i masy ziaren z kłosa głównego, u odmiany Rasbet pole magnetyczne wywoływało nieznaczny stymulację lub wartości pozostawały na poziomie formy kontrolnej. Dla odmiany Barke obserwowano prawie wyłączną, niewielką redukcję wartości tej cechy.

Tabela 3. Poziom uszkodzeń biologicznych u roślin jęczmienia jarego odmiany Rasbet wyrażony wielkością redukcji (–) oraz stymulacją (+) badanych cech

Table 3. The values of biological injuries in spring barley variety Rasbet expressed by reduction (–) and stimulation (+) of analyzed traits

Kombinacje Combinations	WS*	DK	LKK	LPKR	LZKG	MZKG	LZR	MZR	DKŁO (dni)
Pole I (PI)**	+0,5	+7,4	–2,6	+10,2	–4,7	0	+2,5	–0,3	–1
Pole II (PII)	+3,2	+5,3	–2,6	+24,5	–0,8	+6,0	+14,6	+13,4	–1
PoleIII (PIII)	+17,7	+3,2	–1,5	+63,5	+0,4	0	+56,1	+42,4	–3
PoleIV(PIV)	+19,3	+11,7	+4,8	+32,5	+3,0	+10,1	+31,6	+22,2	–1
60 Gy	+8,5	+15,9	+3,3	+14,2	–4,7	+4,0	–11,5	–9,4	+1
100 Gy	+2,6	+5,3	–6,4	+6,0	–25,9	–21,3	–26,5	–27,1	+4
140 Gy	+2,1	–3,2	–17,5	–24,5	–49,9	–51,5	–54,4	–59,3	+6
PI + 60	+14,0	+14,8	–0,4	+40,8	–13,9	–37,4	+27,3	–3,1	0
PI + 100	+15,9	+18,0	–4,1	+10,2	–28,6	–21,2	–18,0	–20,6	+2
PI + 140	+8,6	+17,0	–4,1	–16,4	–31,7	–26,7	–59,2	–57,2	+3
PII + 60	+5,3	+2,1	–7,5	+20,4	–10,0	–21,2	–15,7	–24,2	+1
PII + 100	+1,6	–11,7	–16,0	+20,4	–22,8	–30,4	–33,6	–42,6	+2
PII + 140	+2,0	+7,4	–7,1	0	–34,8	–29,3	–47,2	–45,4	+4
PIII + 60	+2,6	–4,3	–11,9	+34,6	–13,6	–8,1	–11,1	–8,0	0
PIII + 100	+0,5	+1,1	–9,0	+14,3	–28,2	–18,2	–45,4	–37,5	+1
PIII + 140	+0,5	+5,3	–4,1	0	–41,3	–27,3	–54,6	–50,6	+3
PIV + 60	+6,7	+5,3	–2,3	+24,5	–12,0	+8,0	+4,5	+9,6	0
PIV + 100	–2,6	+4,1	–7,1	+26,5	–26,3	–9,1	–22,9	–12,7	+2
PIV + 140	–10,6	–2,2	–13,0	–24,5	–35,6	–32,3	–65,8	–65,2	+4

* – objaśnienia jak w tabeli 1, explanations as in table 1.

** – objaśnienia jak w tabeli 1, explanations as in table 1.

Stosując wyłącznie promienie gamma, tylko najniższa z dawek (60 Gy) indukowała nieznaczny efekt stymulacji, najbardziej widoczny dla długości kłosa, liczby płodnych kłosów z rośliny oraz liczby i masy ziaren z rośliny u odmiany Barke. Wzrost dawek do 100, a zwłaszcza 140 Gy silnie redukował wartości badanych cech, szczególnie dla odmiany Rasbet. Redukcja liczby i masy ziaren z kłosa głównego dla 140 Gy odmiany Barke wynosiła kolejno 38,2 i 38,6% a odmiany Rasbet 49,9 i 51,5%.

ANALIZA WPŁYWU POLA MAGNETYCZNEGO I PROMIENI GAMMA

W kombinacjach łączonych uzyskane wyniki były niższe w porównaniu z kontrolą i wyłącznym działaniem pola magnetycznego lecz dla większości kombinacji wyższe aniżeli przy wyłącznym traktowaniu ziaren promieniami gamma. Obserwowano ponadto wpływ wielkości dawek promieniowania w współdziałaniu z polem magnetycznym na uzyskane wyniki, zwłaszcza dla cech związanych bezpośrednio z płodnością roślin. Wraz ze wzrostem dawek promieniowania wzrastała redukcja wartości cech. W kombinacji PIV + 60 Gy dla obu odmian obserwowano stymulacje liczby i masy ziaren z rośliny. W kombinacji z 100 Gy wystąpił już efekt redukcji w zakresie od 2,1-22,9%, a przy 140 Gy redukcja ta znacznie się pogłębiła i dla liczby i masy ziaren z rośliny odmiany Barke wynosiła kolejno: 33,8 i 50,5%, dla odmiany Rasbet – 65,8 i 65,2%. Mimo, że w pojedynczych traktowaniach dawki 60 i 100 Gy stymulowały liczbę płodnych kłosów z rośliny, to 140 Gy wywoływała efekt redukcji co znalazło swe odzwierciedlenie w kombinacjach łączonych, przy czym uzyskane tu wartości były tu z reguły wyższe aniżeli przy wyłącznym stosowaniu promieni gamma.

Tabela 4. Poziom uszkodzeń biologicznych u roślin jęczmienia jarego odmiany Barke wyrażony wielkością redukcji (-) oraz stymulacją (+) badanych cech

Table 4. The values of biological injuries in spring barley variety Barke expressed by reduction (-) and stimulation (+) of analyzed traits

Kombinacje Combinations	WS*	DK	LKK	LPKR	LZKG	MZKG	LZR	MZR	DKŁO (dni)
Pole I (PI)**	-5,5	-4,4	-3,0	+5,1	-5,4	-2,5	+9,5	+17,6	-1
Pole II (PII)	+1,6	-1,1	-0,8	+8,6	-3,1	-0,8	+5,1	+7,9	-1
PoleIII (PIII)	+2,0	-1,1	-0,8	+17,2	+1,5	-5,8	+19,8	+13,4	-2
PoleIV(PIV)	+1,9	-3,3	-1,5	+13,8	-1,6	-11,5	+14,4	+20,0	-2
60 Gy	+1,2	+5,4	-2,2	+10,3	-8,1	-3,3	+4,3	+12,4	0
100 Gy	+7,3	-1,1	-5,9	+3,0	-28,3	-19,7	-12,4	-16,2	+3
140 Gy	+4,0	+6,5	-1,5	-22,5	-38,2	-38,6	-68,2	-57,4	+5
PI + 60	+7,2	+4,3	-2,6	+15,5	-9,6	+12,2	+4,2	+21,0	0
PI + 100	+13,3	+6,5	-0,2	+3,4	-12,6	+8,1	-13,5	+3,0	+1
PI + 140	-0,7	+5,4	-8,9	-19,0	-46,6	-41,8	-50,0	-56,1	+2
PII + 60	-0,3	-3,3	-7,4	+6,8	-11,9	-4,9	+1,4	+12,8	+1
PII + 100	-2,0	-8,7	-11,1	+15,5	-25,2	-18,1	-13,2	-12,6	+1
PII + 140	+2,6	+3,2	-8,9	-15,5	-42,4	-49,2	-45,8	-51,3	+2
PIII + 60	+3,8	+2,1	-0,8	+13,8	-5,4	-9,9	+8,3	+4,8	0
PIII + 100	+2,4	+3,2	+0,4	+17,2	-8,0	+1,6	-2,2	+5,0	0
PIII + 140	-0,2	+5,4	-4,4	-5,2	-44,3	-49,2	-44,0	-48,2	+2
PIV + 60	+2,8	-3,5	-2,2	+29,3	-9,6	-14,8	+26,0	+17,8	-1
PIV + 100	+6,5	-1,1	-4,4	+17,8	-18,7	-16,4	-2,1	-11,2	+1
PIV + 140	-1,8	+2,1	-10,3	-1,8	-30,5	-35,3	-33,8	-50,5	+1

* – Objaśnienia jak w tabela 1, explanations as in table 1.

** * - Objaśnienia jak w tab. 1, explanations as in table 1.

Wyłączne stosowanie pola magnetycznego przyspieszało termin kłoszenia roślin, a promienie gamma opóźniały w miarę wzrostu stosowanych dawek. Dla kombinacji łączonych, termin kłoszenia był nieco późniejszy aniżeli dla wyłącznego stosowania pola magnetycznego i wcześniejszy w porównaniu z pojedynczymi traktowaniami promieniami gamma.

Analizując wartości cech dla poszczególnych rodzajów i dawek pola magnetycznego we współdziałaniu z zastosowanymi dawkami promieniowania łącznie (60-140 Gy) uzyskane wartości były niższe w porównaniu z wyłącznym stosowaniem pola magnetycznego lecz dla większości kombinacji wyższe aniżeli dla średniej dawek promieni gamma (tab. 5 i 6). Niezależnie od odmiany wyjściowej, kombinacje łączone w porównaniu z wyłącznym stosowaniem promieni gamma wpływały na wzrost liczby kłosów z rośliny. Podobny efekt obserwowano dla liczby i masy ziaren z kłosa głównego i rośliny, zwłaszcza u odmiany Barke. Szczególnie efektywne okazało się tu stałe pole magnetyczne, a kombinacja z promieniami gamma (PIV + γ) wywołująca u odmiany Barke wzrost liczby kłosów z rośliny o 15,5%. Wartość ta jest nawet wyższa aniżeli przy wyłącznym stosowaniu stałego pola magnetycznego (PIV). Stałe pole magnetyczne w kombinacji promieniami gamma (PIII + γ i PIV + γ) zwłaszcza dla odmiany Barke wykazywało wyższą zdolność do zwiększenia liczby i masy ziaren z kłosa i rośliny aniżeli kombinacje z zmiennym polem magnetycznym (PI + γ i PII + γ). Tak jednoznacznej zależności nie obserwowano dla odmiany Rasbet z wyjątkiem masy ziaren z kłosa.

Tabela 5. Wartości cech parametrów plonowania dla zastosowanych dawek pola magnetycznego, promieni gamma łącznie (γ) oraz kombinacji pola magnetycznego z promieniami gamma wyrażona w procentach formy wyjściowej Rasbet

Table 5. The values of yield structure parameters for magnetic field, gamma rays doses together (γ) and combination of magnetic field with gamma rays expressed in per cent of initial form Rasbet

Kombinacje Combinations	WS*	DK	LKK	LPKR	LZKG	MZKG	LZR	MZR
Pole I (PI)**	100,5	107,4	97,4	110,2	95,3	100,0	102,5	99,7
Pole II (PII)	103,2	105,3	97,4	124,5	99,2	106,1	114,6	113,4
Pole III (PIII)	118,8	103,8	98,5	163,2	100,4	101,0	156,1	142,4
Pole IV (PIV)	119,3	117,7	104,8	132,6	103,0	110,1	131,6	122,2
Γ (60-140 Gy)	104,4	106,0	93,1	98,6	73,3	76,7	69,3	67,9
PI + γ	112,8	116,6	97,1	111,6	75,3	71,7	83,4	73,1
PII + γ	102,9	99,2	89,6	114,2	77,6	72,7	67,8	62,57
PIII + γ	101,2	100,7	91,8	116,3	72,2	81,8	63,2	67,9
PIV + γ	97,9	101,8	92,6	108,2	75,3	88,9	71,9	75,8

* – objaśnienia jak w tabeli 1, explanations as in table 1.

** – objaśnienia jak w tabeli 1, explanations as in table 1.

ANALIZA WPŁYWU POLA MAGNETYCZNEGO I PROMIENI GAMMA

Tabela 6. Wartości cech parametrów plonowania dla zastosowanych dawek pola magnetycznego, promieni gamma łącznie (γ) oraz kombinacji pola magnetycznego z promieniami gamma wyrażona w procentach formy wyjściowej Barke

Table 6. The values of yield structure parameters for magnetic field, gamma rays doses together (γ) and combination of magnetic field with gamma rays expressed in per cent of initial form Barke

Kombinacje Combinations	WS*	DK	LKK	LPKR	LZKG	MZKG	LZR	MZR
Pole I (PI)**	94,5	95,6	97,0	105,1	94,6	97,5	109,5	117,6
Pole II (PII)	101,6	98,9	99,2	108,6	96,9	99,2	105,1	107,9
Pole III (PIII)	102,0	98,9	99,2	117,2	101,5	94,2	119,3	113,4
Pole IV(PIV)	101,9	96,7	98,5	113,8	98,4	88,8	114,3	120,0
γ (60-140 Gy)	104,2	103,2	96,7	96,5	75,2	79,5	74,6	79,6
PI + γ	106,5	103,2	96,0	100,0	77,1	92,6	79,2	89,4
PII + γ	99,1	96,7	90,1	101,7	73,7	76,2	80,8	83,0
PIII + γ	102,0	103,2	98,5	108,6	82,4	81,1	91,0	87,2
PIV + γ	102,5	98,9	94,5	115,5	80,5	77,9	96,7	86,1

* – objaśnienia jak w tabeli 1, explanations as in table 1.

** – objaśnienia jak w tabeli 1, explanation as in table 1.

DYSKUSJA

Pośród czynników fizycznych mogących wywoływać efekt stymulacji wartości cech u roślin wymienić można światło białe, promieniowanie mikrofalowe, pole magnetyczne oraz światło lasera. Jak wskazują dane literaturowe, efekt ten został lepiej poznany dla pola magnetycznego [9,14,15], a zwłaszcza światła lasera [4,7,22, 24,26]. W prezentowanej pracy pole magnetyczne oprócz nieznacznej redukcji wywoływało głównie efekt stymulacji zwłaszcza w odniesieniu do liczby kłosów oraz liczby i masy ziaren z rośliny, a stałe pole magnetyczne dla obu odmian wykazywało większą efektywność aniżeli zmienne. Badania nad kapustą białą [20] i cebulą [21] wykazały wysoką skuteczność stałego pola magnetycznego w zwiększeniu zdolności kiełkowania, a zmienne pole magnetyczne [23] nie wykazywało istotnego wpływu na szybkość kiełkowania, tempo wzrostu i wysokość plonu cebuli. Mimo, że obydwa rodzaje pola magnetycznego nie wywoływały wyraźnej stymulacji (a nawet nieznaczną redukcję) liczby i masy ziaren z kłosa u obu odmian, to stymulacja liczby i masy ziaren z rośliny jest wyraźnie widoczna. Efekt ten można wytłumaczyć zwiększeniem liczby płodnych kłosów z rośliny. Wysoka skuteczność pola magnetycznego w tym względzie, a zwłaszcza stałego pola, obserwowano dla jęczmienia [28]. Stosując pole magnetyczne u pszenicy [19] dla dwóch odmian uzyskano wzrost liczby kłosów z 1 m² o 12,6 i 16,7% a plon ziaren z tej samej powierzchni dla odmian Henika i Jasna był wyższy o 37,0 i 19%. Wzrost liczby płodnych kłosów z rośliny obserwowano również po działaniu światła lasera a wartość tej cechy dla odmian jęczmienia – Rudzik, Rambo i Boss była wyższa kolejno 24,2; 4,0 i 26,0% [25].

Promienie gamma należą do mutagenów o wysokiej efektywności indukowania mutacji [5,10] przy czym mogą wywoływać wysoki stopień uszkodzeń biologicznych [3], zwłaszcza przy wyższych dawkach [30]. Wg Ahloowalia i Małuszyńskiego [2] dawki promieni gamma można podzielić na trzy kategorie: wysokie – powyżej 10 kGy, średnie – 1-10 kGy i niskie – poniżej 1 kGy. O ile wysokie dawki służą głównie do sterylizacji produktów żywnościowych, to niskie dawki do indukowania mutacji przez napromieniowywanie nasion, gdzie zakres dawek dla takich roślin jak ryż, kukurydza, pszenica, fasola czy rzepak wynosić może od 60 – 700 Gy. Zastosowana przez nas niska dawka 60 Gy wywołała nawet niewielki efekt stymulacji wartości cech, a pozostałe dawki wzrastający efekt redukcji. Stymulujące właściwości mutagenów w niskich dawkach obserwowano także dla alg [17] oraz tytoniu [1]. W prezentowanej pracy najwyższa z dawek (140 Gy) redukowała liczbę i masę ziaren z roślin o prawie 60%. Stosując dla jęczmienia dawkę 200 Gy redukcja wyżej wymienionych cech wynosiła 96% a przy 250 Gy nieliczne przeżywające rośliny były całkowicie sterylne [30], a w skrajnych przypadkach nawet tak niska dawka jak 5-10 Gy istotnie redukowała rozwój napromieniowanych pylników jęczmienia w kulturze *in vitro* [11].

Biorąc pod uwagę deficyt nasion uzyskiwanych w pokoleniu M_1 (zwłaszcza przy wyższych dawkach mutagenów), niewątpliwym pozytywnym efektem jest obserwowany „ochronny” wpływ pola magnetycznego na wielkość uszkodzeń biologicznych indukowanych przez promienie gamma w traktowaniach łączonych (pole magnetyczne + promienie gamma). Mimo, że liczba kłosów z rośliny oraz liczba i masa ziaren z kłosa oraz rośliny w kombinacjach łączonych była niższa aniżeli przy z wyłącznym stosowaniem pola magnetycznego (PI-PIV), to w porównaniu z wyłącznymi traktowaniami promieniowania gamma (60-140 Gy) dla większości kombinacji wartości wyżej wspomnianych cech były wyższe. Efekt ten może mieć związek z obserwowanymi stymulującymi właściwościami pola magnetycznego, które stosowano przed traktowaniem ziaren promieniami gamma. Ten istotny i pozytywny aspekt wykorzystywania środków zdolnych wywoływać efekt stymulacji obserwowano także przy współdziałaniu pola magnetycznego z chemomutagenem (MNU) u jęczmienia [28] oraz światła lasera i MNU u lędźwianu siewnego [29]. Na korzyści wynikające z stosowania traktowań łączonych wskazują także prace nad współdziałaniem światła lasera i promieni gamma u jęczmienia [3] i pszenicy [31].

WNIOSKI

1. Pole magnetyczne wykazywało zdolność wywoływania stymulacji wartości cech bezpośrednio związanych z plonowaniem roślin. Dla liczby płodnych kłosów z rośliny oraz liczby i masy ziaren z rośliny, niezależnie od odmiany wyjściowej, stałe pole magnetyczne indukowało wyższy efekt stymulacji aniżeli

pole zmienne, przy czym stałe pole było bardziej efektywne dla wyżej wymienionych cech u odmiany Rasbet w porównaniu z Barke.

2. Mimo, że pole magnetyczne w porównaniu z kombinacją kontrolną nie wpływało jednoznacznie na wzrost liczby i masy ziaren z kłosa, uzyskany efekt stymulacji liczby i masy ziaren z rośliny był wynikiem wzrostu liczby płodnych kłosów z rośliny.

3. Tylko najniższa z dawek promieni gamma (60 Gy), obok redukcji indukowała nieznaczny efekt stymulacji. Wzrost dawki do 100 Gy, a zwłaszcza 140 Gy silnie redukował wartości analizowanych cech, zwłaszcza tych bezpośrednio związanych z płodnością roślin.

4. W kombinacjach pola magnetycznego z promieniami gamma wartości parametrów plonowania były niższe aniżeli przy wyłącznym stosowaniu pola magnetycznego lecz dla większości kombinacji wyższe w porównaniu z wyłącznym traktowaniem ziaren promieniami gamma. Wynikać to może z obserwowanych stymulujących zdolności pola magnetycznego które stosowano przed traktowaniami promieniami gamma.

PIŚMIENNICTWO

1. **Adamska E., Małuszyński M.:** Stymulacja wzrostu pędu *Nicotiana rustica* i *Nicotiana tabacum* po działaniu N-nitroso-N-metylomocznika (MNU). Acta Biologica, 12, 175-184, 1983.
2. **Ahloowalia B.S., Małuszyński M.:** Induced mutations – A new paradigm in plant breeding. Euphytica, 118, 167-173, 2001.
3. **Avramenko B.I., Volodin V.G., Lisovskaya Z.I., Khokhlova I.V., Khokhlova S.A.:** Method of obtaining breeding material of cereals by means of combined irradiation of the seeds with laser light and ionizing radiation. Referativnyi Zhurnal, 11, 275, 1989.
4. **Drozd D., Szajsner H., Laszkiewicz E.:** Wykorzystanie biostymulacji laserowej w uprawie pszenicy jarej. Biuletyn IHAR, 211, 85-90, 1999.
5. **Gottschalk W., Wolff G.:** Induced mutations in plant breeding. In: Monograph on Theoretical and Applied Genetics. Edited by Frankel, London, 10-18, 1983.
6. **Koper R.:** System of pre-sowing laser biostimulation of seeds. Proc. Conf. TAE, Prague, 187-189, 1999.
7. **Koper R.:** Wybrane metody przedsewnej laserowej biostymulacji nasion roślin warzywnych. I Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Oddziaływanie pól elektromagnetycznych na środowisko rolnicze”, Lublin, 26-28.09.2001, Referaty i doniesienia, 31-37, 2001.
8. **Koper R., Oleszczuk M., Truchliński J., Zarębski W.:** Przedsewna stymulacja światłem białym nasion buraków cukrowych. I Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Oddziaływanie pól elektromagnetycznych na środowisko rolnicze”, Lublin, 26-28.09.2001. Referaty i doniesienia, 140-142, 2001.
9. **Kornarzyński K., Pietruszewski S.:** Effect of stationary magnetic field on the germination of wheat grain. Int. Agrophysics, 13, 457-461, 1999.
10. **Kozachenko M.R., Manzyuk V.T.:** Producing spring barley mutants by combining red laser with chemical mutagens or penetrating radiation. Referativnyi Zhurnal, 11, 116, 1989.

11. **Laib Y., Szarejko L., Polok K., Małuszyński M.:** Barley anther culture for doubled haploid mutant production. Mutation Breed. Newsletter, 42, 15-17, 1996.
12. **Małuszyński M, Sigurbjörnsson E., Amano L., Stich L., Kamra O.:** Mutant varieties-data bank, FAO, IAEA database. Part II Mutation Breed. Newsletter, 39, 14-17, 1992.
13. **Małuszyński M., Ahloowalia B.S., Sigurbjörnsson B.:** Application of *in vitro* mutation techniques for crop improvement. Euphytica, 85, 303-315, 1995.
14. **Martinez E., Carbonell M.V., Amaya J.M.:** A static magnetic field of 125 mT stimulation the initial growth stages of barley (*Hordeum vulgare* L.). Electro-and magnetobiology, 19/3, 271-277, 2000.
15. **Martinez E., Carbonell M.V., Socorro A., Amaya J.M.:** Biological response of wheat (*Triticum aestivum* L.) to magnetic treatment. I Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Oddziaływanie pól elektromagnetycznych na środowisko rolnicze”, Lublin, 26-28.09.2001. Referaty i doniesienia, 63-71, 2001.
16. **Maruyama K., Araki H., Kato H.:** Thermosensitive genic male sterility induced by radiation. In: Rice Genetics II. IRRI, Manila, Philippines, 227-235.
17. **Necas J.:** Stimulation and inhibiting effects of mutagens on the growth of algae on solid medium. Arch. Hydrobiol., 39, 52-67, 1970.
18. **Olchowik G., Gawda H.:** Uszlachetnianie materiału nasiennego za pomocą promieniowania mikrofalowego. I Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Oddziaływanie pól elektromagnetycznych na środowisko rolnicze”, Lublin, 26-28.09.2001. Referaty i doniesienia, 155-156, 2001.
19. **Pietruszewski S.:** Influence of pre-sowing magnetic biostimulation on germination and yield of wheat. Int. Agrophysics, 13, 241-244, 1999.
20. **Pietruszewski S., Kornarzyński K., Łacek R., Prokop M.:** Kielkowanie kapusty białej w stałym polu magnetycznym. I Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Oddziaływanie pól elektromagnetycznych na środowisko rolnicze”, Lublin, 26-28.09.2001. Referaty i doniesienia, 158-159, 2001.
21. **Pietruszewski S., Kornarzyński K., Łacek R., Prokop M.:** Kielkowanie nasion cebuli w stałym polu magnetycznym. I Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Oddziaływanie pól elektromagnetycznych na środowisko rolnicze”, Lublin, 26-28.09.2001. Referaty i doniesienia, 160-161, 2001.
22. **Plesnik S.:** The evaluation of some quantitative traits in M₁ generation of soybeen after laser emission and ethyleneimine. Genetica et Biologia Molecularis, 24, 105-113, 1993..
23. **Prokop M., Pietruszewski S., Kornarzyński, Mikos-Bielak M.:** Wpływ zmiennego pola magnetycznego na kielkowanie, plony i właściwości chemiczne cebuli odmiany Sochaczewska. I Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Oddziaływanie pól elektromagnetycznych na środowisko rolnicze”, Lublin, 26-28.09.2001. Referaty i doniesienia, 165, 2001.
24. **Przewoźny T., Rybiński W.:** Wykorzystanie światła lasera do stymulacji androgenezы i indukowania mutacji u ziemniaka. VII Ogólnopolska Konferencja Kultur *In Vitro*. Prace Ogrodu Botanicznego PAN, Zeszyt 5/6, 547-553, 1994.
25. **Rybiński W.:** Influence of laser beams combined with chemomutagen (MNU) on variability of traits and mutation frequency in spring barley. Int. Agrophysics, 15, 115-119, 2001.
26. **Rybiński W., Patyna H., Przewoźny T.:** Mutagenic effect of laser and chemical mutagens in barley (*Hordeum vulgare* L.). Genetica Polonica, 34, 337-343, 1993.
27. **Rybiński W., Adamska E.:** Wykorzystanie światła lasera do uzyskania stymulacji rozwoju zarodków w metodzie bulbosowej. VII Ogólnopolska Konferencja „Roślinne kultury *in vitro* w badaniach podstawowych i stosowanych”, Kraków. Zeszyty Naukowe AR Kraków, 50, 29-292, 1997.

28. **Rybiński W., Pietruszewski S., Kornarzyński K.:** Ocena oddziaływania pola magnetycznego i traktowania chemomutagenem na zmienność cech jęczmienia jarego. *Acta Agrophysica*, 62, 135-145, 2002.
29. **Rybiński W., Pokora L.:** Wpływ światła lasera helowo-neonowego i chemomutagenu (MNU) na zmienność cech łądźwianu siewnego (*Lathyrus sativus* L.). *Acta Agrophysica*, 62, 135-127-134, 2002.
30. **Rybiński W., Pietruszewski S., Kornarzyński K.:** Influence of magnetic field with chemomutagen and gamma rays on the variability of yielding parameters in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Int. Agrophysics*, 85-91, 2003.
31. **Volodin V.G., Mostovnikov V.A., Avramenko B.I., Lisovskaya Z.I., Khokhlov I.V.:** Comparative mutagenic efficacy of gamma radiation and laser beams. *Doklady Akademii Nauk BSSR*, 26, 753-756, 1982.

ANALYSE OF MAGNETIC FIELD AND GAMMA RAYS INFLUENCE
ON VARIATION OF YIELD STRUCTURE TRAITS IN SPRING BARLEY
(*Hordeum vulgare* L.)

Wojciech Rybiński¹ Stanisław Pietruszewski² Krzysztof Kornarzyński²

¹Institute of Plant Genetics, Polish Academy of Sciences, ul. Strzeszyńska 34, 60-479 Poznań,

²Department of Physics, University of Agriculture, ul. Akademicka 13, 20-033 Lublin
e-mail: wryb@igr.poznan.pl

Abstract. The grains of two polish spring barley cultivars Rasbet and Barke were used for treatment with stationary and alternate magnetic field, gamma rays and in combination – magnetic field + gamma rays. After treatment the grains were placed on the plots in field experiment. During vegetation period the date of plant emergence was noticed and after harvest. The alone use of magnetic field induced for both cultivars high level of traits variability expressed by small reduction and first of all by stimulation effect. The lowest dose of gamma rays (60 Gy) in alone treatment induced small stimulation effect but with increase of dose to 100 and particularly to 140 Gy caused reduction effect as compared to control and alone use of magnetic field. Cooperation effect of magnetic field with gamma rays in induction of biological injuries of M₁ generation was estimated in common treatment. The values of analyzed traits were generally lower in comparison with control and exclusive use of magnetic field, but higher for majority of combination and traits directly connected with plant fertility as compared to alone treatment of grains with gamma rays. In spite of ability of both kind magnetic field for stimulation induction, the values of spike number per plant and number and weight of grains per spike and plant indicate on higher effectiveness of stationary magnetic field to decrease of biological injuries. It was particularly visible for variety Barke.

Keywords: stimulation, gamma rays, magnetic field, spring barley, yield structure