

PODATNOŚĆ ZIARNA PSZENICY I PSZENŻYTA NA USZKODZENIA
BIELMA OZNACZANA METODĄ RENTGENOGRAFICZNĄ

*Stanisław Grundas¹, Daniela Gruszecka², Krzysztof Kowalczyk²,
Zbigniew Niewiadomski¹*

¹Institutu Agrofizyki im. B. Dobrzańskiego PAN, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin
e-mail: s.grundas@ipan.lublin.pl

²Institut Genetyki, Hodowli i Biotechnologii Roślin, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
20-950 Lublin, ul. Akademicka 13

Streszczenie. Artykuł zawiera wyniki rentgenograficznych badań podatności ziarna pszenicy i pszenżyta na powstawanie uszkodzeń bielma. Materiał pochodził z doświadczeń polowych (eksperyment 1) przeprowadzonych w Stacji Hodowli Roślin w Laskach, w latach 2005-2007 oraz z doświadczeń prowadzonych na mieszańcach pszenżyta przez Instytut Genetyki, Hodowli i Biotechnologii Roślin UP w Lublinie w roku 2009 (eksperyment 2). Zarejestrowany metodą rentgenowską udział ziarniaków z pęknięciami poprzecznymi bielma wskazuje na genetyczne uwarunkowanie tego typu uszkodzeń.

Słowa kluczowe: ziarno pszenicy i pszenżyta, uszkodzenia bielma, metoda rentgenograficzna

WSTĘP

Metoda rentgenograficzna oceny stanu fizycznego ziarniaka pozwala na ujawnienie wewnętrznych uszkodzeń ziarna w postaci charakterystycznych pęknięć poprzecznych bielma (Grundas i in. 1989, Woźniak i in. 1991, Grundas i in. 1999, Grundas i Velikanov 2001). Tego typu uszkodzenia powstają w wyniku intensywnego nawilżania suchego ziarna o wilgotności w przedziale 12-13%, bezpośrednio po osiągnięciu tak zwanej dojrzałości technologicznej w warunkach polowych (Niewczas i in. 1999, Geodecki i in. 2003, Geodecki i in. 2008). Należy zaznaczyć, że w warunkach przedzbiorowych zbóż istnieją możliwości ponownego nawilżenia suchego ziarna wskutek albo opadów atmosferycznych albo zjawiska rosy. Kilkogodzinne nawilżanie suchego ziarna w warunkach rosy jest wystarczającym czasem, aby doszło do wzrostu gradientu wilgotności, a w ślad za nim powstania krytycznych naprężeń wewnętrznych tkanki bielma, które tworzą charakterystyczne pęknięcia poprzeczne w tej tkance. Podobny efekt można uży-

skąć podczas nawilżania suchego ziarna o podobnej wilgotności w warunkach laboratoryjnych (Niewczas i in. 1999). Ziarniaki, które uległy takiemu stresowi w warunkach polowych wykazują mniejszą odporność mechaniczną podczas zbioru kombajnowego, co objawia się zwykle tak zwanym pogłówkowaniem ziarna i stratami ilościowymi surowca (Grundas i in. 2002 b).

Podjęcie badań nad mieszańcami uzyskanymi w wyniku krzyżowania oddalonego jest uzasadnione ze względów poznawczych jak i aplikacyjnych. Krzyżowanie oddalone wzbogaca genotyp i poszerza zakres zmienności genetycznej formy uprawnej (Gruszecka 1997 i 1998). Krzyżowanie z gatunkami dzikimi pozwala na odzyskanie cech, które zostały utracone w trakcie udomowienia roślin (Gruszecka i Czerwińska 2004). Krzyżowanie w obrębie plemienia *Triticeae*, połączone z odpowiednią selekcją materiałów mieszańcowych, pozwala na przeniesienie pożądaných genów (cech) z dzikich form do pszenżyta i otrzymanie zróżnicowanych form mieszańcowych pszenżyta. Mieszańce te mogą być wykorzystane do uzyskania linii addycyjnych, substytucyjnych lub translokacyjnych, mogą one stanowić cenny materiał badawczy oraz wyjściowy w hodowli twórczej pszenżyta (Geodecki i in. 2009, Gruszecka i Kowalczyk 2000, Kowalczyk i Gruszecka 2000, Grundas i in. 2011).

Istnieje dość bogata literatura związana z zagadnieniem detekcji rentgenowskiej uszkodzeń wewnętrznych ziarna. Ziarno ulega uszkodzeniom mechanicznym wskutek naruszenia ciągłości naturalnej jego tkanek (Hnilica i in. 1989, Pecan i in. 1992, Grundas i in. 2002a, Pecan i in. 2002, Yakushev i in. 2002, Grundas i Wriughly 2004). O ile uszkodzenia zewnętrzne, łatwe do identyfikacji na zasadzie oceny wizualnej nie nastroczają większych problemów to uszkodzenia wewnętrzne ulokowane np. w obrębie bielma ziarniaka stanowią dość złożony problem do ich identyfikacji. W tym względzie bardzo przydatna okazała się detekcja rentgenowska, która umożliwia ujawnienie stanu fizycznego ziarna w obrębie jego tkanek wewnętrznych (Niewczas i in. 1994, Demyanchuk i in. 2011) oraz ich oszacowania przy pomocy opracowanych wskaźników (Niewczas i Grundas, 1994). Zagadnienie uszkodzeń wewnętrznych ziarna jest związane najczęściej z dwoma kategoriami czynników je wywołujących. Do pierwszej kategorii należą dwa główne czynniki: oddziaływanie elementów roboczych maszyn i urządzeń związanych ze zbiorem surowca (Grundas i in. 2002b) oraz oddziaływanie gradientu wilgotności w procesie intensywnego nawilżania suchego względnie intensywnego suszenia wilgotnego ziarna (Woźniak i in. 1994, Woźniak i Styk 1996, Niewczas i in. 1999). Te dwa czynniki oddziaływań destrukcyjnych (obciążenia mechaniczne i gradient wilgotności) prowadzą bezpośrednio do naruszenia naturalnej ciągłości struktury tkanek. Druga kategoria czynników destrukcyjnych ziarna jest związana z funkcjami życiowymi ukrytego żerowania szkodników owadzich wewnątrz ziarna, np. wołka zbożowego – *Sitophilus granarius* L. (Nawrocka i in. 2010).

W omawianym przypadku główną uwagę poświęcono zagadnieniu uszkodzeń mechanicznych powodowanych przez czynnik gradientu wilgotności i skutków jego oddziaływania, a także ocenie podatności na powstawanie tego typu uszkodzeń w obrębie przetestowanych odmian pszenicy ozimej i jarej, odmian i rodów pszenżyta oraz mieszańców międzygatunkowych pszenżyta.

MATERIAŁ I METODA

Badania polowe przeprowadzono w latach 2005-2007 na terenie Stacji Hodowli Roślin „Danko” w Laskach. W wyniku konsultacji, uwzględniając oczekiwania hodowców tej stacji, dokonano wyboru odmian i rodów pszenicy i pszenżyta. Eksperyment obejmował 12 odmian pszenicy i pszenżyta formy ozimej i jarej. Pszenica ozima reprezentowana była przez odmiany: ‘Bogatka’, ‘Finezja’ i ‘Rapsodia’; pszenica jara: ‘Bombona’, ‘Zebra’ i ród CHD 125/02; pszenżyto ozime: ‘Grenado’, ‘Sorento’ i ‘Woltario’; pszenżyto jare: ‘Dublet’, ‘Legalo’ i ród CHD 492/02.

Przeprowadzono 3-letni eksperyment polowy, którego celem było określenie podatności na uszkodzenia bielma w okresie przedzbiorowym ziarna pszenicy zwyczajnej (*Triticum aestivum*) i mieszańca międzyrodzajowego, pszenżyta (*Triticale*). Wybrane do badań na prośbę hodowców spółki „Danko” rody pszenicy jarej CHD 125/02 i pszenżyta jarego CHD 492/02 zostały w roku 2008 wprowadzone do rejestru odmian roślin uprawnych COBORU, odpowiednio jako: Katoda – odmiana pszenicy jarej i Nagano – odmiana pszenżyta jarego.

Materiał do badań w postaci kłosów pobierano z poletek doświadczalnych, które pod względem zastosowanej agrotechniki były adekwatne ze ścisłymi doświadczeniami prowadzonymi rutynowo w tej stacji. Przyjęto 3 terminy pobierania kłosów odpowiadające stadiom: dojrzałości pełnej, dojrzałości technologicznej (zbiór kombajnowy) i zbiorowi opóźnionemu o 7 dni. W każdym z tych terminów pobierano po 40 kłosów badanych odmian i rodów. Po przetransportowaniu do laboratorium, materiał był stabilizowany, w warunkach wilgotności względnej 85% i temperatury powietrza 18°C, przez 2 tygodnie. Wilgotność względna ziarna pozyskiwanego bezpośrednio z poletek doświadczalnych zawierała się w przedziale 14,3-15,2%. W drugim i trzecim terminie zbioru odnotowano również znaczny poziom opadów, które stanowiły bezpośredni czynnik naruszający naturalną ciągłość tkanki endospermu. Dane na temat poziomu opadów w okresie przedzbiorowym pochodzą ze Stacji Hodowli Roślin w Laskach.

Do detekcji rentgenograficznej uszkodzeń ziarna wykorzystano aparat Elektronika 25, produkcji rosyjskiej (fot. 1) o następujących parametrach roboczych: napięcie zasilania 220 V (50 kHz), moc zasilania aparatu – 70 W, napięcie przyspieszenia na elektrodzie lampy rentgenowskiej – 20 kV, prąd żarzenia elektrody – 50 mA, czas ekspozycji kliszy – 2 min.



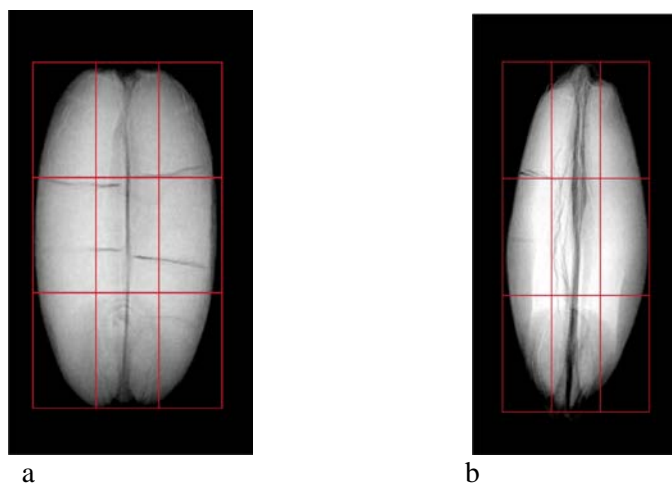
Fot. 1. Zestaw aparatury rentgenowskiej „Elektronika 25”

Photo 1. X-ray measurement set “Elektronika 25”

W eksperymencie pierwszym, dla każdej odmiany i rodu oraz 3 terminów pobierania kłosów przygotowywano kasety pomiarowe z naklejonymi, losowo ziarniakami po 45 sztuk na jednej kasecie w 10 powtórzeniach.

Obrazy rentgenowskie z wpisanymi w ich kontury szablonami po zeskanowaniu poddawano procedurze wyznaczania sumarycznego wskaźnika uszkodzeń (SWU). Sposób wyznaczania sumarycznego wskaźnika uszkodzeń (SWU), widoczny na rysunku 1a i 1b, polega na podziale ziarniaka na 9 pól przy pomocy szablonu prostokątnego, składającego się z trzech pasów pionowych i trzech pasów poziomych. Przyjęto 10 kategorii klasyfikacji uszkodzeń, gdzie 0 oznacza brak uszkodzeń, a 9 – wszystkie pola z uszkodzeniami. Dla danego obrazu rentgenowskiego ziarniaka pszenicy (rys. 1a)

lub pszenżyta (rys. 1b) dopasowywano szablon tak, aby kontury obrazu wpisywały się do jego krawędzi zewnętrznych (Niewczas i Grundas 1994).



a

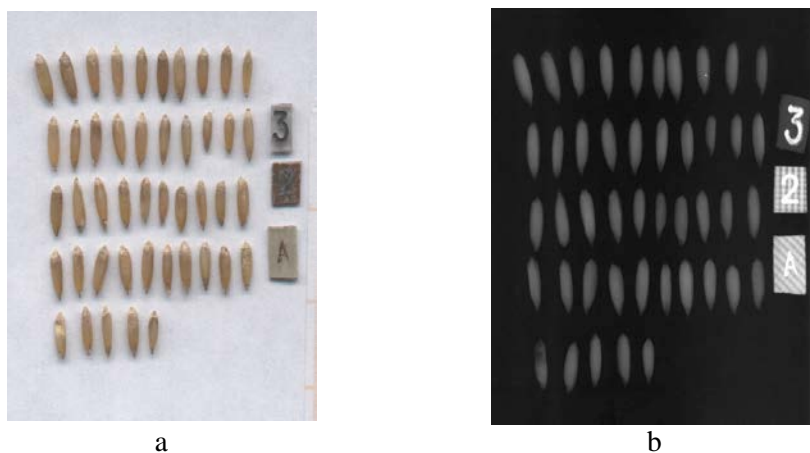
b

Rys. 1. Szablony do wyznaczania Sumarycznego Wskaźnika Uszkodzeń SWU z obrazami rentgenowskimi ziarniaka pszenicy (a) i pszenżyta (b)

Fig. 1. Templates for determination of Summary Index of Damage (SID) of X-ray images of wheat (a), and triticale grain (b)

Obrazy ziarniaków rejestrowano na kliszach rentgenowskich XS-1 firmy Kodak o rozmiarach 13x18cm. Zarejestrowane obrazy przedstawiały ziarniaki w powiększeniu 3x (fot. 2 b).

Uzyskane obrazy ziarniaków analizowano pod kątem charakterystycznych, poprzecznych uszkodzeń bielma, a parametrem oceny był SWU – dla pierwszego eksperymentu oraz liczba ziarniaków z uszkodzeniami wyrażona w procentach w stosunku do liczby ziarniaków ogółem – dla pierwszego i drugiego eksperymentu.



Fot. 2. Kasetka pomiarowa z naklejonymi ziarniakami (a) i obrazy rentgenowskie ziarniaków (b)
Photo 2. Measurement cassette with glued kernels (a) and X-ray image of kernels (b)

Do opracowania wyników pomiaru SWU wykorzystano system SAS, według procedury ANOVA. W analizie uwzględniono wartości średnie SWU i najmniejsze istotne różnice (NIR) pomiędzy badanymi 'wartościami średnimi. Wyniki zostały poddane ocenie istotności statystycznej przyjmując za graniczny poziom $p = 0,05$.

W eksperymencie drugim z roku 2009 określono podatność na wewnętrzne uszkodzenia mechaniczne ziarniaków mieszańcowych pszenżyta, powstałych w wyniku krzyżowania oddalonego oraz ich komponentów rodzicielskich. Przeprowadzone badania miały charakter wstępny, a ze względu na ograniczoną liczbę ziarniaków pomiar podatności na powstawanie uszkodzeń mechanicznych ograniczono tylko do wyznaczenia procentowego poziomu uszkodzeń w stosunku do całkowitej liczby ziarniaków w danej próbce.

Obiektem badań były ziarniaki mieszańcowe 14 kombinacji krzyżówkowych oraz ich 19 form wyjściowych (pszenica, żyto, pszenżyto, pszenperz, *Dasyphyrum villosum* L.).

1. CZR 876/01 x CZR 89/01
2. (Fidelio x 748) x *Dasyphyrum villosum* L. (2x)

3. (740 x Witon) x *Dasyphyrum villosum* L.
4. Presto x PPG 115
5. (Liwilla x Donar) x Liwilla
6. [(Liwilla x Donar) x Liwilla] x PPG 113
7. {(Liwilla x Donar) x Liwilla} x PPG 113} x Presto
8. [(Liwilla x Donar) x Liwilla] x PPG 115
9. Presto x *Triticum aestivum* 1
10. CHD 299/99 x 981
11. [CHD 299/99 x 981] x Woltario
12. DAD 396/99 x 998
13. (DAD 396/99 x 998) x Woltario
14. Clever x 998

Z uwagi na ograniczoną liczbę ziarniaków w poszczególnych kombinacjach doświadczenia (43-65 szt.) oraz brak wiedzy na temat warunków dojrzewania ziarna pszenżyta pochodzącego z kombinacji krzyżówkowych jak i komponentów rodzicielskich na tych samych ziarniakach przeprowadzono tylko pomiary PU, traktując je wstępnie jako materiał kontrolny. Następnie, w celu wywołania zjawiska powstawania uszkodzeń wewnętrznych te same ziarniaki poddano procesowi intensywnego nawilżania przez 3 godziny w warunkach pełnego dostępu wody. Po tym zabiegu próbki ziarna, po usunięciu nadmiaru wody na powierzchni pozostawiono w pomieszczeniu laboratoryjnym do ich wysuszenia i ustalenia wilgotności równowagowej w warunkach 80% wilgotności względnej powietrza przy temperaturze 20°C.

WYNIKI I DYSKUSJA

W pierwszym terminie zbioru, tj. w okresie dojrzałości pełnej, ziarniaki nie wykazywały uszkodzeń wewnętrznych w postaci pęknięć poprzecznych bielma. W związku z tym zestawienie wartości średnich SWU obejmuje tylko II i III termin zbioru. W tabeli 1 zestawiono wartości średnie SWU ziarna ze zbiorów w latach 2005-2007 z uwzględnieniem II i III terminu zbioru.

W pierwszym roku zbioru (2005), w pierwszym terminie pobierania kłosów, kiedy wilgotność ziarna wynosiła 15-18%, nie stwierdzono uszkodzeń ziarniaków dla żadnej z badanych odmian i rodów pszenicy oraz pszenżyta, zarówno formy ozimej, jak i jarej. W drugim terminie, który przypadał w dniach poprzedzonych opadami (3,5 mm dla ozimych i 9,5 mm dla jarych) stwierdzono uszkodzenia w ziarniakach wszystkich odmian pszenicy tak formy ozimej, jak i jarej oraz w ziarniakach 1 odmiany pszenżyta ozimego 'Woltario' i 2 odmian pszenżyta jarego 'Nagano' i 'Dublet'.

W trzecim terminie, który przypadał w dniach poprzedzonych opadami (9,5 mm dla ozimych i 6,8 mm dla jarych) stwierdzono wzrost uszkodzeń w ziarniakach wszystkich odmian pszenicy formy ozimej i jarej oraz w ziarniakach tej samej odmiany pszenżyta ozimego i 2 odmian pszenżyta jarego.

Tabela 1. Średnie wartości sumarycznego wskaźnika uszkodzeń (SWU) ziarna pszenicy i pszenżyta w z uwzględnieniem terminów i lat zbioru

Table 1. Mean values of summary index of damage (SID) of wheat and triticale grain according to harvest times and years

Gatunki/odmiany Species/cultivars	Terminy zbioru w latach 2005-2007 – Harvest times in 2005-2007						Średnia Mean
	II (2005)	III (2005)	II (2006)	III (2006)	II (2007)	III (2007)	
Pszenica ozima – Winter wheat							
Bogatka	0,360 _b	1,435 _a	3,305 _a	3,383 _a	0,205 _e	0,975 _e	1,610
Finezja	0,793 _a	0,913 _c	2,355 _b	3,110 _{ab}	0,110 _{bc}	1,268 _d	1,425
Rapsodia	0,323 _b	0,958 _{bc}	2,235 _b	2,995 _b	0,130 _{bc}	1,463 _d	1,191
Średnia – Mean	0,492	1,102	2,632	3,163	0,148	1,235	1,409
Pszenica jara – Spring wheat							
Zebra	0,258 _b	1,170 _b	0,150 _d	0,565 _d	0,445 _a	4,040 _a	1,105
Katoda	0,363 _b	0,418 _e	0,588 _c	1,555 _c	0,065 _b	3,190 _b	1,030
Bombona	0,640 _a	0,678 _d	0,130 _d	1,293 _c	0,423 _a	2,890 _c	1,009
Średnia – Mean	0,420	0,755	0,289	1,138	0,311	3,373	1,062
Pszenżyto ozime – Winter triticale							
Woltario	0,223 _b	0,438 _e	0,608 _c	1,423 _c	0,090 _{bc}	0,310 _f	0,515
Grenado	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sorento	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Średnia – Mean	0,223	0,438	0,608	1,423	0,090	0,310	0,515
Pszenżyto jare – Spring triticale							
Nagano	0,425 _c	0,550 _e	0,110 _d	0,245 _e	0,460 _e	0,718 _e	0,418
Dublet	0,398 _c	0,550 _e	0,258 _d	0,705 _d	0,165 _{bc}	0,835 _e	0,393
Legalo	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Średnia – Mean	0,411	0,550	0,184	0,475	0,313	0,776	0,406

Średnie wartości oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie – Mean values followed by the same letter are not significantly different ($P \leq 0.05$).

NIR dla terminów zbioru w roku 2005: II = 0,154; III = 0,235; w roku 2006: II = 0,212; III = 0,311 i roku 2007: II = 0,135; III = 0,284.

LSD for harvest times in 2005: II = 0.154; III = 0.235; in 2006: II = 0.212; III = 0.311, and for 2007: II = 0.135; III = 0.284.

W roku 2006, również w pierwszym terminie pobierania kłosów, kiedy wilgotność ziarna wynosiła 15-18%, nie stwierdzono uszkodzeń ziarniaków dla żadnej z badanych odmian pszenicy i pszenżyta. W drugim terminie, który przypadał w dniach poprzedzonych opadami (8,8 mm dla ozimych i 2,4 mm dla jarych) stwierdzono uszkodzenia w ziarniakach wszystkich odmian pszenicy tak formy ozimej, jak i jarej oraz w ziarniakach tej samej odmiany pszenżyta ozimego 'Woltaro' i dwóch odmian pszenżyta jarego 'Nagano' i 'Dublet'. W trzecim terminie, który przypadał w dniach poprzedzonych opadami (5,5 mm dla ozimych i 9,1 mm dla jarych) stwierdzono wzrost uszkodzeń w ziarniakach wszystkich odmian pszenicy formy ozimej i jarej oraz w ziarniakach tej samej odmiany pszenżyta ozimego i 2 odmian pszenżyta jarego.

W trzecim kolejnym roku zbioru, w pierwszym terminie pobierania kłosów nie stwierdzono uszkodzeń ziarniaków żadnej z badanych odmian pszenicy oraz pszenżyta zarówno formy ozimej, jak i jarej. W drugim terminie (II) stwierdzono uszkodzenia w ziarniakach wszystkich odmian obu form pszenicy oraz w ziarniakach analogicznej odmiany pszenżyta ozimego i dwóch odmian pszenżyta jarego.

W roku 2007, w trzecim terminie zbioru stwierdzono zdecydowany wzrost wartości SWU i poziomu uszkodzeń (PU) szczególnie widoczny u odmian pszenicy jarej. W przypadku odmian pszenżyta ozimego 'Grenado' i 'Sorento' oraz pszenżyta jarego 'Legalo' w III terminie nadal nie stwierdzono żadnych uszkodzeń. W tabeli 2 zestawiono wartości średnie PU (%) dla trzech lat zbioru łącznie z wyróżnieniem II i III terminu zbioru.

Średnie wartości wskaźnika PU wskazują na duże podobieństwo do danych zawartych w tabeli 1. Podobnie jak w przypadku wartości SWU, poziom uszkodzeń wyrażony w procentach wykazuje analogiczny ranking odmian poszczególnych gatunków. Można, więc stwierdzić, że w ocenie wartości obu tych parametrów, uwarunkowania wewnętrzne (odmianowe) oraz uwarunkowania środowiskowe (opady deszczy w okresie po dojrzałości pełnej) kształtowały w podobny sposób podatność ziarna na powstawanie uszkodzeń wewnętrznych.

W eksperymencie drugim badania rentgenowskie pod kątem obecności pęknięć poprzecznych bielma obejmowały materiał kontrolny oraz poddany intensywnemu nawilżaniu.

Tabela 3 zawiera dane dotyczące podatności na wewnętrzne uszkodzenia mechaniczne ziarniaków mieszańcowych powstałych w wyniku krzyżowania oddalonego. Podatność na uszkodzenia rozumiana jest jako liczba ziarniaków z ewidentnymi pęknięciami poprzecznymi bielma w danej próbce wyrażona w procentach.

Dla obydwu wariantów (kontrolny i po nawilżaniu), dla 5 kombinacji krzyżówkowych nie stwierdzono żadnych uszkodzeń, natomiast u pozostałych 9 kombinacji uszkodzenia wewnętrzne ziarniaków stwierdzono dla wariantu kontrolnego w przedziale 5-47%, a dla wariantu z nawilżaniem 6-61%.

Tabela 2. Wartości średnie uszkodzeń (%) z uwzględnieniem II i III terminu zbioru*
Table 2. Mean values of damage (%) taking into account harvest times II and III *

Gatunki/odmiany Species/cultivars	Terminy zbioru w latach 2005-2007 Harvest times in 2005-2007		
	II	III	Średnia – Mean
Pszenica ozima – Winter wheat			
Bogatka	48	67	57,5
Finezja	42	68	55,0
Rapsodia	41	68	54,5
Średnia – Mean	43,7	67,7	
Pszenica jara – Spring wheat			
Zebra	23	58	40,5
Katoda	22	60	41,0
Bombona	21	60	30,5
Średnia – Mean	22,0	59,3	
Pszenżyto ozime – Winter triticale			
Woltario	20	36	28,0
Grenado	0	0	0,0
Sorento	0	0	0,0
Średnia – Mean	20,0	36,0	28,0
Pszenżyto jare - Spring triticale			
Nagano	13	24	18,5
Dublet	11	23	17,0
Legalo	0	0	0,0
Średnia – Mean	22,0	23,5	17,8

* średnie z trzech lat zbioru – means for three years.

Tabela 3. Podatność na wewnętrzne uszkodzenia mechaniczne ziarniaków mieszańców międzyrodzajowych pszenżyta**Table 3.** Susceptibility to mechanical damage of kernels from interspecific hybrids of triticale

Kombinacje krzyżówkowe Crossing combinations	Liczba ziarniaków ogółem Total kernels	Podatność na uszkodzenia Susceptibility to damage (%)	
		Kontrola Control	Po nawilżaniu After wetting
Presto x <i>Triticum aestivum</i> 1	51	47	61
[(Liwilla x Donar) x Liwilla] x PPG 113	63	32	40
Presto x PPG 115	52	21	40
[(Liwilla x Donar) x Liwilla] x PPG 115	59	17	17
{(Liwilla x Donar) x Liwilla} x PPG 113} x Presto	55	13	18
(Fidelio x 748) x <i>Dasyphyrum villosum</i> L. (2x)	60	8	12
(Liwilla x Donar) x Liwilla	40	6	6
CZR 876/01 x CZR 89/01	65	5	15
(740 x Witon) x <i>Dasyphyrum villosum</i> L.	43	5	9
CHD 299/99 x 981	44	0	0
[CHD 299/99 x 981] x Woltario	50	0	0
DAD 396/99 x 998	50	0	0
(DAD 396/99 x 998) x Woltario	45	0	0
Clever x 998	47	0	0

Tabela 4 zawiera dane dotyczące podatności na wewnętrzne uszkodzenia mechaniczne ziarniaków powstałych w komponentach rodzicielskich. W tym przypadku również podatność na powstawanie uszkodzeń wewnętrznych jest tożsama z procentowym poziomem uszkodzeń.

Analogiczny test przeprowadzono na ziarniakach 19 komponentów rodzicielskich. Dla 6 komponentów intensywne nawilżanie nie spowodowało dalszych uszkodzeń, dla 4 stwierdzono przyrost uszkodzeń o 6-27%. Spośród form rodzicielskich, dla których w materiale kontrolnym nie zanotowano uszkodzeń, po nawilżeniu u 2 wystąpiło uszkodzenie na poziomie 10% (*Triticum aestivum* L.) i 33% (PPG 115).

Tabela 4. Podatność na wewnętrzne uszkodzenia mechaniczne ziarniaków form rodzicielskich
Table 4. Susceptibility to mechanical damage of grains from parental forms

Komponenty rodzicielskie Parental forms	Liczba ziarniaków ogółem Total kernels	Podatność na uszkodzenia Susceptibility to damage (%)	
		Kontrola Control	Po nawilżaniu After wetting
748	60	25	25
CZR 876/01	48	21	42
Woltario	47	15	21
Aegilos juvenalis	50	12	12
CZR 891/01	49	10	10
PPG 113	51	10	22
Presto	51	8	8
740	56	7	34
Witon	58	7	7
Fidelio	54	4	4
998	51	0	0
Clever	47	0	0
CHD 299/99	51	0	0
DAD 396/99	53	0	0
981	45	0	0
Triticum aestivum 1	49	0	10
PPG 115	49	0	33
<i>Dasypyrum villosum</i> L. (szkliste)	45	0	0
<i>Dasypyrum villosum</i> L. (mączyste)	43	0	0

WNIOSKI

Analiza uzyskanych wyników w obu przeprowadzonych eksperymentach umożliwia sformułowanie następujących wniosków:

1. Dla ziarna pszenicy ozimej i jarej oraz jednej odmiany pszenżyta ozimego i dwóch jarego zanotowano podatność na uszkodzenia bielma przed zbiorem. Dla dwóch odmian pszenżyta ozimego i jednej jarego takiej podatności nie stwierdzono. Wskazuje to na uwarunkowanie genotypowe tej cechy.

2. Ziarno odmian pszenicy wykazało większą podatność na powstawanie uszkodzeń w porównaniu z ziarnem pszenżyta.

3. Ziarniaki form jarych wykazywały większą podatność na uszkodzenia niż ozimych, co wskazuje na uwarunkowanie środowiskowe – intensywne deszcze poprzedzające zbiór opóźniony w roku 2007.

4. Gatunki zbóż – *Triticum* i *Triticale* – mają zróżnicowaną podatność na uszkodzenia wewnętrzne ziarna, przy czym ziarno pszenżyta z reguły wykazuje mniejszą podatność na tego typu uszkodzenia.

5. Ziarno zbierane w optymalnym (I) terminie nie wykazywało żadnych uszkodzeń wewnętrznych bielma niezależnie od gatunku i formy.

PIŚMIENNICTWO

- Demyanchuk A.M., Velikanov L., Arhipov M., Grundas S., 2011. X-ray method to evaluate grain quality. Encyclopedia of Agrophysics. Published by Springer (Ed. Gliński J., Horabik J., Lipiec J.), 1005-1009.
- Geodecki M., Grundas S., Sosnowski S., 2009. Rozpoznawanie wewnętrznych uszkodzeń ziarna pszenicy i triticale. Materiały konferencyjne z Forum LNUR, Lwów, Dublany, 23-24.09. 2009 r., 154-157.
- Geodecki M., Grundas S., Sosnowski S., 2003. Uszkodzenia mechaniczne ziarna pszenicy w okresie przedzbiorowym, jako przyczyna strat plonu. Acta Agrophysica, 2003, 2 (1), 51-60.
- Geodecki M., Pojmaj M., Grundas S., Niewiadomski Z., 2008. Określenie podatności ziarna pszenicy i pszenżyta na powstawanie uszkodzeń mechanicznych bielma w warunkach przedzbiorowych. Materiały II Sympozjum Naukowego. Poznań, 01-03.04.2008, 87-88.
- Grundas S., Geodecki M., Velikanov L. 2002a. Zastosowanie metody rentgenograficznej w badaniach materiałów roślinnych. Acta Agrophysica „Agrofizyka na początku XXI wieku – część II”. Vol. 63, 39-47.
- Grundas S., Grodek J., Pecen J., 2005. X-ray method for prediction of wheat grain compliance to endosperm damage. Review of current problems in agrophysics. Ed.: G. Józefaciuk, C. Sławiński and R.T. Walczak. Institute of Agrophysics PAS. Lublin (ISBN: 83-89969-15-7), 161-164.
- Grundas S., Gruszecka D., Kowalczyk K., 2011. Podatność mieszańcowych ziarniaków pszenżyta oraz ich komponentów rodzicielskich na uszkodzenia mechaniczne. Streszczenia prac z konferencji naukowej p.t. Nauka dla hodowli i nasiennictwa roślin uprawnych. Zakopane 7-11.02.2011. Sekcja 2. Nauka o odporności roślin na stresy biologiczne i klimatyczne a hodowla odpornościowa i jakościowa. ISBN 83-891172-50-X.
- Grundas S., Sosnowski S., Pecen J. 2002b. Meaning of wheat grain endosperm cracks detected by X-ray method. Proceedings of the International Scientific Conference „40th Years of Agricultural Engineering Study Branch and its Effect on Agricultural Technical Science”. Nitra, Slovak Republic. 06.11. 2002, 125-129.
- Grundas S., Velikanov L., 2001. Identyfikacja uszkodzeń mechanicznych ziarna zbóż metodą rentgenowską. Inżynieria Rolnicza, 2(22), 77-83.
- Grundas S., Velikanov L., Archipov M., 1999. Importance of wheat grain orientation for the detection of internal mechanical damage by the X-ray method. Int. Agrophysics, 1999, vol. 13(3), 355-361.
- Grundas S., Velikanov L., Szwed G., Łukaszuk J. 1989. Przystawka aparatu rentgena do przestrzennej analizy uszkodzeń wewnętrznych nasion. Wzór użytkowy, W-85162.

- Grundas S., Wrigley C.W., 2004. Wheat: Ultrastructure of the Grain, of Flour and of Dough. Encyclopedia of Grain Science. Wrigley C., Walker C and Corke H, eds., Elsevier Science, Oxford., 391-400 (ISBN: 0-12-765490-9).
- Gruszecka D., 1997. Otrzymanie i charakterystyka mieszańców *Secale cereale* L. z *Dasyphyrum villosum* (*Haynaldia villosa* L.). Hodowla Roślin. I Krajowa Konferencja, Poznań 19-20 listopada 1997, 135-139.
- Gruszecka D., 1998. Transfer of genes from *Aegilops* sp. to *X Triticosecale* Wittmack - analysis of some quantitative traits. Proc. of the 4th Int. Triticale Symp., 26-31 July 1998, Red Deer, Alberta, Canada, 2, 17-20.
- Gruszecka D., Czerwińska E., 2004. Charakterystyka rodów uzyskanych z mieszańców pszenżyta (*X Triticosecale* Wittmack) z pszenperzem (*Agrotriticum* sp.). Biul. IHAR, 231, 171-177.
- Gruszecka D., Kowalczyk K., 2000. Charakterystyka wybranych cech ilościowych mieszańców pszenżyta (*X Triticosecale* Wittmack) z kozięcami (*Aegilops* sp.). Folia Univ. Agric. Stetin. 206, Agricultura, 82), 83-88.
- Hnilica P., Velikanov L., Grundas S., 1989. Distribuce hustoty a rentgenograficka studie lomu endospermu. Zemedelska Technika. Praga, CSRS, 35(8), 471-484.
- Kowalczyk K., Gruszecka D., 2000. Charakterystyka wybranych cech ilościowych mieszańców pszenżyta (*X Triticosecale* Wittmack) z pszenperzem (*Agrotriticum* sp.). Biul. IHAR, 216, 151-157.
- Nawrocka A., Grundas S., Grodek J., 2010. Losses caused by granary weevil larva in wheat grain using digital analysis of X-ray image. Int. Agrophysics, 24 (1), 63-68.
- Niewczas J., Grundas S., 1994. Sposób wyznaczania wskaźnika uszkodzeń mechanicznych ziarna zbóż, w szczególności pszenicy, zwłaszcza przy zastosowaniu technik rentgenograficznych. Patent, PL16029 B1, UP RP (Świadcstwo autorskie Nr 292937), Warszawa, dn. 06.06.1994.
- Niewczas J., Grundas S., Ślipek Z., 1994. The analysis of increments of internal damage to wheat grain affected dynamic loading. Int. Agrophysics, 8(2), 283-287.
- Niewczas J., Woźniak W., Grundas S., 1999. Charakterystyka obrazów rentgenowskich ziarniaków pszenicy o różnej wilgotności. Biuletyn Zakładu Fizycznych Podstaw Oceny i Ulepszenia Materiałów Roślinnych Instytutu Agrofizyki PAN (Dod. do „Przeglądu Zbożowo-Młynarskiego”). Nr 2, rok II, 27-29.
- Pecen J., Grundas S., Sosnowski S., 2002. Visualization of the cracks in grains by soft X-ray radiation. Proceedings of the International Scientific Conference. 40th Years of Agricultural Engineering Study Branch and its Effect on Agricultural Technical Science”. Nitra, Slovak Republic, 265-269.
- Pecen J., Grundas S., Velikanov L., 1992. On the need of studies on mechanical damage to wheat grain. Proceedings of the International Scientific Conference on "Trends in Agricultural Engineering"-TAE'92. Praga, CSRS. 15-18. 09. 1992, I, 398-405.
- Woźniak W., Grundas S., Niewczas J., 1991. Zastosowanie metody kolorymetrycznej i rentgenograficznej w badaniach uszkodzeń mechanicznych ziarna pszenicy. Wyd.: ANNALES UMCS, 1991/1992, vol. XLVI/XLVII, 47, sectio AAA (Fizyka), 469-475.
- Woźniak W., Styk W., 1996. Internal damage to wheat grain as result of wetting and drying. Drying Technology, 14(2), 349-365.
- Woźniak W., Styk W., Geodecki M. 1994. High relative humidity as cause of inner damage of wheat grain. Int. Agrophysics, 8(2), 377-380.
- Yakushev V., Grundas S., Velikanov L., Archipov M., 2002. X-ray pattern analysis of seeds and other vegetative materials. Workshop „Applied Physics in Life Science. ISBN 80-213-0973-3. Prague/Czech Republic, 55-60.

SUSCEPTIBILITY OF WHEAT AND TRITICALE GRAIN TO INNER
MECHANICAL DAMAGE BY USING THE X-RAY METHOD

*Stanisław Grundas¹, Daniela Gruszecka², Krzysztof Kowalczyk²,
Zbigniew Niewiadomski¹*

Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin
e-mail: s.grundas@ipan.lublin.pl

²Institute of Plant Genetics, Breeding and Biotechnology, University of Life Science in Lublin
ul. Akademicka 13, 20-950 Lublin

Abstract. The paper presents the results of X-ray investigations of wheat and triticale grain susceptibility to endosperm damage. The experimental material originated from field experiments carried out at the Plant Breeding Station in Laski in 2005-2007 (experiment 1), and from experiments carried out on grain hybrids of Triticale at the Institute of Genetics, Breeding and Plants Biotechnology at the University of Life Sciences in Lublin, in 2009 (experiment 2). The share of kernels with inner cracks, registered with the X-ray method, indicates an influence of genetic factors on the occurrence of this kind of damage.

Keywords: wheat and triticale grain, endosperm damage, X-ray method