

W. WOŹNIAK, S. GRUNDAS, J. NIEWCZAS

**Zastosowanie metody kolorymetrycznej i rentgenograficznej
w badaniach uszkodzeń mechanicznych ziarna pszenicy**

WSTĘP

Ocenie właściwości technologicznych i reprodukcyjnych ziarna zbóż poświęca się w naukach rolniczych coraz więcej uwagi. Wśród przyczyn powodujących obniżenie jakości ziarna wymienia się uszkodzenia mechaniczne. Uszkodzenia te są skutkiem działania sił zewnętrznych podczas zbioru kombajnowego i transportu, jak również naprężeń wewnętrznych powstających w procesie intensywnego nawilżania lub suszenia ziarna [4].

Uszkodzenie mechaniczne ziarna rozumiane jest jako stan naruszenia naturalnej ciągłości jego tkanek. Uszkodzenia mogą objawiać się w formie pęknięć okrywy owocowo-nasiennej sięgających w głąb endospermu lub też jako pęknięcia samego endospermu bez naruszenia warstwy aleuronowej. Stąd też uszkodzenia mechaniczne ziarna podzielić można na zewnętrzne i wewnętrzne. Uszkodzenia te często nie są widoczne gołym okiem, wywołują jednak określone skutki. W okresie przechowywania uszkodzony materiał charakteryzuje się większymi stratami suchej masy, a po wysiewie — obniżoną produktywnością rośliny. Pojawia się więc bardzo istotny problem ograniczenia strat ilościowych ziarna oraz oceny jego wartości technologicznej i użytkowej [2,4,12]. Zastosowanie metod kolorymetrycznej i rentgenograficznej w badaniach uszkodzeń mechanicznych ziarna pszenicy, jako metod wzajemnie dopełniających się, umożliwia bliższe poznanie zjawiska powstawania tych uszkodzeń.

CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU BADAŃ

Ziarniak pszenicy pod względem geometrycznym stanowi skomplikowany obiekt o kształcie zbliżonym do elipsoidy. W budowie anatomicznej wyróżnia się cztery zasadnicze części: okrywę owocowo-nasienne, warstwę aleuronową, bielmo zwane inaczej endospermem i zarodek [11].

Główny składnik ziarniaka, bielmo, składa się z dużych, cienkościennych komórek, które zawierają głównie ziarna skrobi. Między ziarnami skrobi znajduje się białkowe matrix. Białko wypełniające nie wszędzie ściśle przylega do powierzchni ziaren skrobi. Między białkiem a ziarnami skrobi występują wolne przestrzenie. Nieciągła budowa mikroskopowa bielma (wolne przestrzenie) oraz duża niejednorodność (skrobia, białko, ściany komórkowe) powodują, że bielmo rozpatrywane jako struktura mechaniczna jest kruche i mało wytrzymałe na działanie zewnętrznych i wewnętrznych naprężeń. Twardość suchego ziarniaka kształtowana jest specyficznymi właściwościami niektórych frakcji białka, które z różną siłą przylegają do ziarn skrobi [1,11,14].

Warstwa aleuronowa, otaczająca ściśle endosperm zbudowana jest z dużych, grubościennych komórek, wypełnionych białkiem funkcjonalnym i składnikami odżywczymi. Zwarta i jednorodna budowa komórek aleuronowych zapewnia im dużą wytrzymałość, natomiast bezpostaciowy aleuron może być wyjaśnieniem dużej odkształcalności tej warstwy bez wyraźnego jej zniszczenia. Warstwa aleuronowa nadaje sztywność i wytrzymałość mechaniczną całej konstrukcji ziarniaka. Poszukując mechanicznego modelu ziarniaka należałoby więc dla warstwy aleuronowej szukać analogu lepko-sprężystego, zaś dla bielma analogu plastycznego [1,2,11].

Warstwa owocowo-nasienna składa się z epidermy zewnętrznej, warstwy komórek poprzecznych, komórek rurkowatych i łupiny nasiennej. Grubość okrywy ma również wpływ na odporność ziarniaka na uszkodzenia mechaniczne [14].

Zarodek jest zawsze bardziej uwodniony niż pozostałe części ziarniaka. W przeciwieństwie do bielma wykazuje właściwości plastyczne. Z fizjologicznego punktu widzenia stanowi on najważniejszą część ziarniaka [11,12].

METODY OCENY STANU USZKODZEŃ ZIARNA

Stosowane metody badania uszkodzeń mechanicznych ziarna można podzielić na bezpośrednie i pośrednie. Metody bezpośrednie, oparte na wizualnej ocenie stanu powierzchni badanego obiektu lub jego obrazu, charakteryzują się znaczną subiektywnością oceny uszkodzeń. Metody pośrednie, bardziej obiektywne, pozwalają ocenić uszkodzenia na podstawie wartości parametrów mierzonych, a mających związek z wielkością uszkodzenia. Dla celów praktycznej oceny jakości ziarna najbardziej przydatne są metody szybkie i łatwe w stosowaniu, w których wpływ czynników subiektywnych na wynik oceny jest maksymalnie ograniczony. Wymagania takie spełnia metoda kolorymetryczna, jako metoda pośrednia i rentgenograficzna, jako bezpośrednia.

Instytut Agrofizyki PAN w Lublinie, jako pierwszy w Polsce, podjął badania kolorymetryczne w zakresie oceny zewnętrznych uszkodzeń mechanicznych ziarna pszenicy [1,3,6,13]. Badania kolorymetryczne ujawniają ogólny poziom uszkodzeń mechanicznych ziarna, które objawiają się w postaci sieci pęknięć i otarć okrywy owocowo-nasiennej, jak i szczelin sięgających w głąb endospermu. Próbkę ziarna poddaje się procesowi barwienia w wodnym roztworze Fast Greenu, o ściśle określonej koncentracji, przy czym ziarno wraz z roztworem przemywa się w strumieniu

bieżącej wody w celu usunięcia nadmiaru barwnika przylegającego do okrywy owocowej ziarniaka. Następnie próbkę ziarna zanurza się w słabym roztworze NaOH. W otrzymanym w ten sposób roztworze określa się wartość ekstynkcji stanowiącej miarę poziomu uszkodzeń mechanicznych ziarna. Im wyższy jest poziom uszkodzeń, tym wyższa jest wartość ekstynkcji roztworu testowego.

Do wykrywania uszkodzeń wewnętrznych bardzo przydatna okazała się metoda rentgenograficzna. Na szerszą skalę zastosowano ją w Instytucie Agrofizyki w Petersburgu w badaniach uszkodzeń ziarna powstających podczas zbioru kombajnowego, a także uszkodzeń będących skutkiem żerowania szkodników [10,13]. W Instytucie Agrofizyki PAN w Lublinie metoda ta znalazła zastosowanie w badaniach uszkodzeń wewnętrznych ziarna pszenicy. Do wykrywania uszkodzeń używa się małogabarytowego, krótkoogniskowego aparatu rentgenowskiego ELEKTRONIKA 25 produkcji rosyjskiej, który daje możliwość uzyskania obrazu o różnym powiększeniu (od 2 do 10 razy) bez geometrycznej nieostrości. Przeznaczone do badań ziarniaki nakleja się na kasety pomiarowe z bibuły filtracyjnej (z reguły po 100 sztuk) i poddaje detekcji rentgenowskiej. Miękkie promieniowanie rentgenowskie jest w różnym stopniu pochłaniane przez uszkodzone i nieuszkodzone struktury ziarna. Wiązka promieni przechodząca przez badany obiekt daje jego powiększony cień na kliszy. Dużą zaletą metody rentgenograficznej jest możliwość prowadzenia badań nieniszczących. Ziarno w nich użyte może być stosowane do innych badań, takich jak ocena biologicznych skutków uszkodzeń.

Otrzymane rentgenogramy analizuje się wizualnie przy pomocy czytnika mikrofilmów, który daje możliwość czterdziestokrotnego powiększenia obrazu. Wykryte mechaniczne uszkodzenia wewnętrzne są zróżnicowane pod względem ilości, wielkości i lokalizacji. Można je opisać przy pomocy wskaźników opartych na odpowiednim podziale obrazu ziarniaka i cyfrowym zapisie układu jego uszkodzeń [7-9].

REZULTATY BADAŃ

Metoda kolorymetryczna została zastosowana do kompleksowych badań zewnętrznych uszkodzeń mechanicznych powstających w ziarnie pszenicy pod wpływem laboratoryjnych obciążeń statycznych. Badania przeprowadzono na próbkach ziarna wybranych odmian pszenicy ozimej i jarej, pochodzących ze ścisłych doświadczeń o zróżnicowanym nawożeniu NPK, warunkującym różną zawartość białka ogólnego.

W tabeli 1 przedstawiono wartości wskaźników podatności ziarna na uszkodzenia mechaniczne (Wpu) oraz wartość wypiekową mąki dla próbek o różnej zawartości białka. Wskaźniki Wpu stanowią różnicę wartości ekstynkcji wyznaczonej dla masy ziarna poddanego obciążeniom statycznym 4 i 8 MPa [1]. Wyniki badań dowodzą, że wzrost zawartości białka w ziarnie pszenicy ozimej pociąga za sobą wzrost podatności na uszkodzenia mechaniczne, zaś u pszenicy jarej spadek podatności. Stąd też kierunek uprawy pszenicy ozimej zmierzający do wzrostu zawartości białka pociąga za sobą spadek odporności na uszkodzenia mechaniczne. Stwierdzono ponadto, że właściwości technologiczne ziarna (po-

Tab. 1. Zawartość białka ogólnego, wskaźnik podatności ziarna na uszkodzenia mechaniczne oraz ocena wartości wypiekowej mąki [5]

Odmiana	Zawartość białka ogólnego (%)	Wskaźnik Wpu (-)	Wartość wypiekowa
pszenica ozima			
Liwilla	10,2	21,1	zła
	12,3	23,2	
Grana	10,6	18,4	zła
	12,7	25,8	
Panda	11,6	7,3	dobra
	13,7	8,5	
pszenica jara			
Alfa	13,4	10,0	średnio dobra
	14,7	7,1	
Jara	13,4	9,1	średnio dobra
	16,0	7,5	
LGR 36/11	16,1	6,7	bardzo dobra
	17,4	5,9	

tencjalna wartość wypiekowa) związane są z podatnością ziarna na uszkodzenia mechaniczne.

W tabeli 2 przedstawiono wartości wskaźników odziedziczalności dwóch badanych cech: zawartości białka i podatności ziarna na uszkodzenia mechaniczne. Podatność na uszkodzenia mechaniczne jest w wyższym stopniu uwarunkowana genetycznie niż zawartość białka. Wydaje się więc, że metoda kolorymetrycznego określania podatności ziarna pszenicy na uszkodzenia mechaniczne jako cechy jakościowej może mieć praktyczne zastosowanie w pracach hodowlanych.

Tab. 2. Wskaźniki odziedziczalności wybranych cech — $h^2_{s,l}$ [5]

Badane cechy	1982 r.	1983 r.
Zawartość białka ogólnego	0,768	0,747
Wskaźnik Wpu	0,968	0,953

Na podstawie metody rentgenograficznej przeprowadzono badania uszkodzeń wewnętrznych powstałych pod wpływem obciążeń statycznych i dynamicznych [8]. Przyjęty zakres obciążeń był zbliżony do obciążeń występujących w rzeczywistych procesach technologicznych, takich jak zbiór lub transport ziarna. Rezultaty badań przedstawia tabela 3.

Uzyskane wyniki wskazują, że pszenice jare charakteryzują się mniejszą odpornością na wewnętrzne uszkodzenia mechaniczne niż pszenice ozime. Obciążenia statyczne i dynamiczne na niższych poziomach nie powodowały jeszcze istotnego wzrostu uszkodzeń w stosunku do prób kontrolnych. Dopiero większe obciążenia spowodowały istotny przyrost uszkodzeń endospermu. Jednakże obie formy reagowały odmiennie na zadane obciążenia statyczne i dynamiczne wyższego poziomu. Odmiany jare były bardziej podatne na uszkodzenia przy obciążeniach statycznych, zaś ozime przy dynamicznych. Przeprowadzone badania, które pozwoliły na ocenę fizycznych skutków destrukcyjnego działania obciążeń mechanicznych, mogą być

Tab. 3. Średnie wartości wskaźnika W dla przyjętych obciążeń statycznych i dynamicznych ziarna pszenicy ozimej i jarej [8]

Obciążenie	Gama pszenica ozima	Liwilla pszenica ozima	Jara pszenica jara	Kadett pszenica jara
Kontrola	0,11	0,16	0,36	0,33
Statyczne 4 MPa	0,25	0,44	0,52	0,43
8 MPa	1,33*	1,84*	1,12*	1,17*
Dynamiczna 20 m/s	0,17	0,61*	0,95*	0,61
25 m/s	0,41*	0,96*	2,23*	1,71*
Średnia	0,46	0,80	1,03	0,86

* Wartość istotnie wyższa w porównaniu z materiałem kontrolnym

Tab. 4. Średnie wartości wskaźników uszkodzeń BI ziarna pszenicy ozimej i jarej [15]

Odmiana	Struktura bielma	Czas nawilżania (h)			Średnie
		1	3	6	
Liwilla		pszenica ozima			
	mączysta	2,7	3,6	2,4	2,9
	szklista	1,8	3,5	2,1	2,5
	średnie	2,3	3,6	2,3	2,7
Panda	mączysta	3,0	4,0	2,6	3,2
	szklista	3,0	5,4	4,3	4,2
	średnie	3,0	4,7	3,5	3,7
Gama	mączysta	1,5	5,4	3,6	3,5
	szklista	2,6	5,7	4,5	4,3
	średnie	2,0	5,5	4,0	3,9
Średnie dla mączystych		2,4	4,3	2,9	3,2
Średnie dla szklitych		2,5	4,8	3,7	3,7
Średnie		2,4	4,6	3,3	3,4
Kadett		pszenica jara			
	mączysta	3,4	3,9	2,4	3,2
	szklista	1,8	3,7	1,8	2,4
	średnie	2,6	3,8	2,1	2,8
Henika	mączysta	1,9	5,6	4,6	4,0
	szklista	4,1	6,7	5,7	5,5
	średnie	3,0	6,2	5,2	4,8
Jara	mączysta	5,5	5,7	4,0	5,1
	szklista	4,8	6,8	6,4	6,0
	średnie	5,2	3,2	5,2	5,6
Średnie dla mączystych		3,6	5,1	3,7	4,1
Średnie dla szklitych		3,6	5,6	4,6	4,6
Średnie		3,6	5,4	4,2	4,4
Średnie ogólne		3,0	5,0	3,7	3,9

wykorzystane do ilościowej i jakościowej oceny uszkodzeń ziarna pszenicy lub innych zbóż w warunkach laboratoryjnych, a także do badania relacji między stanem powstałych uszkodzeń a ich skutkami biologicznymi lub technologicznymi.

Jednym z ważniejszych czynników destrukcyjnych, powodującym powstawanie uszkodzeń wewnętrznych, jest gradient wilgotności, który powstaje w procesie suszenia lub nawilżania ziarna. Uszkodzenia wewnętrzne obserwuje się już w czasie wegetacji, gdzie zmienne warunki pogodowe i klimatyczne są przyczyną powstawania wysokich gradientów wilgotności w ziarniaku. Stwierdzono, że u pszenic ozimych w miarę upływu czasu od dojrzałości pełnej rośnie liczba uszkodzonych ziarniaków, dochodząc do 90% w materiale zebranym 14 dni po optymalnym terminie zbioru.

Wysoki gradient wilgotności występuje również w trakcie intensywnego nawilżania lub suszenia ziarna w różnych procesach technologicznych, np. rozdrabniania i przemiału. Z uwagi na praktyczne aspekty oceny jakości ziarna, scharakteryzowano podatność ziarna na mechaniczne uszkodzenia wewnętrzne [9,15]. Ziarno kilku odmian pszenicy ozimej i jarej o zróżnicowanej strukturze bielma (szklistej i mączystej) poddano intensywnemu nawilżaniu — przez zanurzenie w wodzie destylowanej. Po doprowadzeniu do trzech poziomów wilgotności — 16%, 21% i 26% (1, 3 i 6 godzin moczenia) rejestrowano powstałe uszkodzenia wewnętrzne. Analiza poziomu uszkodzeń wykrytych techniką rentgenograficzną i określonych wyżej opisanymi wskaźnikami (Tab. 4) pozwoliła stwierdzić, że intensywne nawilżanie ziarna powoduje naprężenia wewnętrzne, których skutkiem jest naruszenie naturalnej ciągłości jego tkanek. Niezależnie od cech odmianowych i typu struktury bielma najwięcej uszkodzeń ujawniło się po 3 godzinach nawilżania (wilgotność — 21%). Przy wyższej wilgotności następował spadek obserwowanych uszkodzeń. Nasycenie komórek endospermu wodą i tym samym wzrost ich objętości powoduje, że widoczne wcześniej pęknięcia zmniejszają się poniżej granicy wykrywalności metodą rentgenograficzną.

WNIOSKI

1. Omówione w pracy metody badania uszkodzeń mechanicznych ziarna pszenicy (zewnętrznych i wewnętrznych) potwierdzają potrzebę ich łącznego stosowania dla pełniejszej oceny uszkodzeń powstających w procesach destrukcyjnego oddziaływania czynników zewnętrznych.

2. Uzyskane wyniki badań kolorymetrycznych wskazują, że kierunek uprawy pszenicy ozimej zmierzający do wzrostu zawartości białka pociąga za sobą spadek odporności na uszkodzenia mechaniczne, a tym samym i spadek wartości technologicznej surowca.

3. Zaproponowane wskaźniki uszkodzeń wewnętrznych ziarna pozwalają oceniać stan endospermu w kolejnych fazach destrukcyjnego działania stresów wodno-temperamentalnych lub obciążeń statycznych i dynamicznych. Odtwarzanie stanu uszkodzeń pojedynczych ziarn, na podstawie wartości wskaźnika, umożliwia analizowanie skutków fizycznych i biologicznych tych uszkodzeń.

4. Rezultaty badań rentgenograficznych dowiodły, że podczas intensywnego nawilżania suchego ziarna, najwięcej uszkodzeń powstaje w początkowej fazie tego procesu, kiedy gradient wilgotności jest najwyższy.

LITERATURA

- [1] Grundas S., *Problemy Agrofizyki*, 54 (1987), Ossolineum.
- [2] Grundas S., Horabik J., Woźniak W., *Z. Probl. Post. Nauk Roln.*, 258 (1983), 449–470.
- [3] Grundas S., Miś A., Duma Z., [w:] *Proceedings II of ICC Symposium. Cereal Based Foods: New Developments, Prague 1991*, 505–509.
- [4] Grundas S., Styk B., [w:] *13th Congress ICC, Wien 1990*, 623.
- [5] Grundas S., Styk B., Wielikanow L., *Z. Probl. IHAR* (w druku).
- [6] Miś A., Grundas S., Gągala L., Styk B., [w:] *Proceedings II of ICC Symposium. Cereal Base Foods: New Developments, Prague 1991*, 510–515.
- [7] Niewczas J., *Z. Probl. Post. Nauk Roln.*, 389 (1991), 89–95.
- [8] Niewczas J., Grundas S., [w:] *Proceedings II of ICC Symposium. Cereal Base Foods: New Developments, Prague 1991*, 500–504.
- [9] Niewczas J., Woźniak W., *Problemy Agrofizyki* (w druku).
- [10] Savin V. N., Arhipov M. V., Badenko A. L., Ioffe Ju. K., *Vest. Selsk-choz. Nauki*, 10 (1981), 99–105.
- [11] Strebeyko P., *Biologia pszenicy*, PWN, Warszawa 1976.
- [12] Strona I. G., *Uszkodzenia nasion — przyczyny i zapobieganie*, PWRiL, Warszawa 1977.
- [13] Styk B., Grundas S., Savin N., Velikanov L., *Mezhd. Agroprom. Zh.*, 1 (1989), 85–89.
- [14] Ślipek Z., *Z. Nauk. AR w Krakowie*, 180, 81–90.
- [15] Woźniak W., Grundas S., Kocoń J., [w:] *Proceedings II of ICC Symposium. Cereal Based Foods: New Developments, Prague 1991*, 494–499.

