problemy agrofizyki

SKA AKADEMIA NAUK · INSTYTUT AGROFIZYKI

solineum zeszyt 54 rok 1987

P O L S K A A K A D E M I A N A U K
INSTYTUT AGROFIZYKI W LUBLINIE

PROBLEMY AGROFIZYKI 54

STANISŁAW GRUNDAS

NIEKTÓRE ASPEKTY PODATNOŚCI ZIARNA PSZENICY ZWYCZAJNEJ (*Triticum aestivum L.*) NA USZKODZENIA MECHANICZNE

WROCŁAW · WARSZAWA · KRAKÓW · GDAŃSK · ŁÓDŹ
ZAKŁAD NARODOWY IMIENIA OSSOLIŃSKICH
WYDAWNICTWO POLSKIEJ AKADEMII NAUK
1987

Komitet redakcyjny

prof. dr JAN GLIŃSKI (redaktor naczelny)
prof. dr IGNACY DECHNIK, prof. dr BOGUSŁAW SZOT

Rozprawa habilitacyjna

Redaktor Wydawnictwa Małgorzata Kuniewska-Kaucz

Wykonano ze składopisu dostarczonego przez Autora

© *Copyright by Zakład Narodowy im. Ossolińskich — Wydawnictwo. Wrocław 1987.*
Printed in Poland

PL ISSN 0137-6586
ISBN 83-04-02865-4

Zakład Narodowy im. Ossolińskich — Wydawnictwo. Wrocław 1987.
Nakład: 350 egz. Objętość ark. wyd. 3,40, ark. druk. 4,75.
Papier offsetowy kl. V, 70 g, A-1. Oddano do drukarni 1987.10.05.
Druk ukończono w listopadzie 1987. Wrocławska Drukarnia Naukowa.
Zam. 1192/87 C-4 Cena zł 75,—

Spis treści

Wstęp 5

Przegląd piśmiennictwa 6

Budowa morfologiczna i anatomiczna ziarniaka 6

Przegląd metod badania uszkodzeń mechanicznych ziarna 14

Cel pracy 23

Materiał i metodyka badań 26

Charakterystyka materiału 26

Aparatura pomiarowa 28

Sposób przeprowadzania pomiarów 31

Wyniki badań 34

Wpływ obciążeń statycznych ziarna pszenicy na uszkodzenia mechaniczne 35

Wskaźnik podatności ziarna pszenicy na uszkodzenia mechaniczne i jego uwarunkowania 38

Wpływ zawartości białka na wielkość uszkodzeń mechanicznych ziarna obu form pszenicy 43

Dyskusja 49

Wnioski 51

Tabele 53

Piśmiennictwo 61

S u m m a r y 69

Wykaz użytych symboli

X - poziom statycznych obciążeń jednostkowych ziarna / MPa /

B - zawartość białka / % /

Wpu - wskaźnik podatności ziarna pszenicy na uszkodzenia mechaniczne

V - przepuszczalność testowanego roztworu / % /

I - intensywność strumienia światła po wyjściu z warstwy testowanego roztworu

Io - intensywność strumienia światła wchodzącego do warstwy testowanego roztworu

E - ekstynkcja

E(x) - wartość ekstynkcji odpowiadająca określonemu poziomowi obciążeń jednostkowych

Eo - teoretyczna wartość ekstynkcji materiału kontrolnego

a - współczynnik charakteryzujący podatność ziarna na uszkodzenia mechaniczne

E(Bj) - wartość teoretyczna ekstynkcji zależna od zawartości białka w ziarnie pszenicy jarej

E(Bo) - wartość teoretyczna ekstynkcji zależna od zawartości białka w ziarnie pszenicy ozimej

E(o) - wartość ekstynkcji przy teoretycznie zerowej zawartości białka

k - współczynnik proporcjonalności

WSTĘP

Pszenica należy do roślin o największym znaczeniu gospodarczym zarówno w Polsce, jak i na świecie. Największymi centrami eksportowymi pszenicy są obecnie USA, Kanada, Argentyna i Australia. Według danych Międzynarodowej Rady Pszenicznej /23/ zapasy ziarna pszenicy w roku 1985 wynosiły około 135 milionów ton przy równocześnie drastycznie odczuwalnym niedoborze żywności w krajach Afryki, Ameryki Południowej i znacznych obszarów Azji. Przewiduje się, że do końca XX wieku 90 % przyrostu naturalnego ludności świata nastąpi w krajach rozwijających się, to jest tam, gdzie już obecnie z wyżywieniem ludności jest najtrudniej.

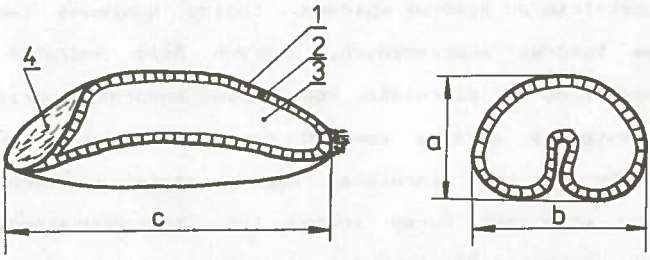
Nie wystarczający poziom produkcji pszenicy dotyczy również Polski. Potrzeby krajowe w zakresie wyżywienia ludności rokrocznie wzrastają. Srednio co 3 lata przybywa w kraju kolejny milion rodaków, a jednocześnie ubywa 100 - 150 tys. hektarów użytków rolnych pod rozbudowę miast, dróg i przemysłu. Do całkowitego zaspokojenia potrzeb żywnościowych na 10 milionów mieszkańców potrzeba około 1 miliona ton pszenicy, co w skali krajowej oznacza potrzebę zabezpieczenia na poziomie około 4 milionów ton.

Poszukując sposobów poprawy zaopatrzenia ludności kraju w ten cenny surowiec uzasadnione byłoby uwzględnienie problematyki maksymalnego ograniczania strat ilościowych i jakościowych ziarna w procesie jego zbioru, transportu i przechowalnictwa. Straty ilościowe i jakościowe ziarna wynikają głównie z destrukcyjnego oddziaływania sił zewnętrznych, pochodzących od elementów roboczych maszyn biorących udział w określonym procesie technologicznym zbioru i transportu. Uszkodzenia mechaniczne, objawiające się w postaci naruszenia naturalnej ciągłości tkanek ziarniaka, jak potwierdzają liczne w tym zakresie badania /5,7,11,13-16,20,21,33,47,48, 50,51,56,58,59,62,68/, znacznie obniżają jego wartość konsumpcyjną i reprodukcyjną.

PRZEGLĄD PIŚMIENNICTWA

Budowa morfologiczna i anatomiczna ziarniaka

Ziarniak pszenicy pod względem geometrycznym stanowi skomplikowany obiekt w kształcie zbliżonym do elipsoidy, której przekrój poprzeczny jest kardioidą. W praktyce jednakże jego kształt określa się trzema podstawowymi wymiarami; długością, szerokością i grubością (rys.1). Przeciętna długość ziarniaka pszenicy wynosi 6.0 - 6.5 mm, szerokość 3.0 - 3.5 mm, a grubość 2.5 - 3.0 mm. Masa pojedynczego ziarniaka pszenicy mieści się w przedziale od 30 do 40 miligramów / 51,72 /.



Rys.1. Podstawowe wymiary geometryczne i części anatomiczne ziarniaka pszenicy

1 - okrywa owocowo-nasienna, 2 - warstwa aleuronowa, 3 - endosperm (bielmo), 4 - zarodek, a - grubość, b - szerokość, c - długość

W budowie anatomicznej ziarniaka pszenicy, podobnie jak i innych zbóż, wyróżnia się 4 zasadnicze części: okrywę owocowo-nasienną, warstwę aleuronową, endosperm i zarodek. Procentowy udział tych części w masie ziarniaka jest następujący: okrywa owocowo-nasienna 5 - 7 % , warstwa aleuronowa 7 - 9 % , bielmo 83 - 85 % i zarodek 2 - 3 % / 51 /. Ziarniak pszenicy jest niełupką, w której owocnia ściśle przylega do łupiny nasiennej. Owocnię tworzy przezroczysta, najczęściej jednowarstwowa epiderma o komórkach wydłużonych równolegle do podłużnej osi ziarniaka /35 /. W górnej części ziarniaka, z epidermy wyrastają jednokomórkowe włoski w kształcie szydlastym. Powierzchnia suchego ziarniaka pszenicy po stronie grzbietowej jest najczęściej pofałdowana poprzecznie do osi podłużnej, co łatwo stwierdzić już przy 3-krotnym powiększeniu. Pod epidermą znajduje się zwykle

jedna lub dwie warstwy komórek subepidermalnych, podobnych w swym kształcie do komórek epidermy. Łupinę nasienną tworzy warstwa komórek poprzecznych, których osie podłużne są prostopadłe do osi ziarniaka. Pod warstwą komórek poprzecznych występuje warstwa komórek rurkowatych, wydłużonych równolegle do osi ziarniaka. Łupina nasienna ziarniaka pszenicy może być barwy żółtej lub żółtobrunatnej, a niekiedy czerwonej w zależności od pigmentu znajdującego się w jej komórkach. Przylega ona bezpośrednio do warstwy komórek aleuronowych, obejmując także zarodek. W dojrzałym ziarniaku pszenicy poszczególne komórki warstwy owocowo - -nasiennej ściśle przylegają do siebie. Ziarniaki poszczególnych odmian pszenicy mogą znacznie różnić się grubością okrywy owocowo - nasiennej. Jak wynika z badań porównawczych nad budową okrywy owocowej ziarniaków pszenicy / 39 /, zróżnicowanie w jej wykształceniu występuje pomiędzy ziarniakami słabo i silnie osadzonymi w kłosie. To zróżnicowanie szczególnie ujawnia się w postaci zdrewnienia komórek poprzecznych i rurkowatych. Największe zdrewnienie występuje u ziarniaków słabo osadzonych w kłosie. Odmiany charakteryzujące się wczesną dojrzałością fizjologiczną mają ziarniaki o cieńszej okrywie. Z badań Kolowcy / 47 / wynika, że cecha ta ma duże znaczenie dla odporności mechanicznej ziarniaka. Zarodek, który znajduje się w części dolnej - grzbietowej, jest w ziarniakach pszenicy zwyczajnej głęboko osadzony i nie wystaje na zewnątrz linii konturowej, tworząc jedynie wyraźniejsze pofałdowanie w porównaniu z powierzchnią grzbietową. W zarodku znajdują się zalążki organów przyszłej rośliny. Mogą one, w początkowej fazie swojego rozwoju, korzystać ze związków zapasowych bielma. Tarczka

przylega bezpośrednio do bielma i jest ku niemu zwrócona częścią ssącą. Komórki warstwy aleuronowej, widziane z góry mają kształt nieregularny, falisty a w przekroju poprzecznym są czworokątne. W części grzbietowej ziarniaka występuje niekiedy podwójna warstwa komórek aleuronowych, w części zaś środkowej - grzbietowej ściany komórek aleuronowych są niekiedy zauważalnie grubsze / 29 /. Ze względu na wysoką koncentrację związków fizjologicznie czynnych warstwie aleuronowej przypisuje się główną rolę w rozwoju zarodka / 1,60 /. Funkcja ta, według niektórych autorów (cyt.za Stroną /68 /), sprowadza się do zapoczątkowania procesu przewodzenia produktów rozkładu skrobi w kierunku wyspecjalizowanej części zarodka zwanej tarczką.

Bielmo właściwe (endosperm) składa się z dużych, cienkościennych komórek, wypełnionych głównie skrobią i białkiem. Twarde ziarniaki pszenicy o strukturze szklistej są bardziej preferowane do wypieku chleba, zaś miękkie - o strukturze mączystej - do wypieku ciast / 43 /. Interesujące spostrzeżenia na temat struktury endospermu ziarniaka pszenicy poczynili w swoich badaniach Jones /38 / i Kent / 42 /. Autorzy ci na przekrojach poprzecznych ziarniaków pszenicy stwierdzili obecność komórek o dominującym kształcie pryzmatycznym, wydłużonym, o orientacji prostopadłej do osi wzdłużnej ziarniaka. Komórki tego kształtu występują głównie w części grzbietowej ziarniaków. Komórki znajdujące się w głębi, w środkowej części obu fałd ziarniaka są mniej regularne. Temu zróżnicowaniu w kształcie komórek endospermu, można przypisać zmienność prędkości przemieszczania się wody w procesie nawilżania i suszenia ziarna. Prawdopodobnie zróżnicowanie prędkości przemieszczania się wody w

ziarniakach dojrzałych, w warunkach polowych, stanowi przyczynę powstawania doraźnych naprężeń wewnętrznych, po przekroczeniu których następują pęknięcia w obrębie obu fałd endospermu niektórych ziarniaków, rzego dowodzą badania rentgenograficzne / 16,18,56,59,62 /.

Ziarna skrobi wypełniające komórki endospermu stanowią około 66 - 68 % całkowitej objętości ziarniaka / 35,51 /. Według Brocklehursta i Eversa / 6 / liczba ziaren skrobi w endospermie ziarniaka pszenicy odmiany Maris Huntsman wahała się w zależności od kształtu i rozmiaru ziarniaka w przedziale 398 - 594 milionów. W składzie granulometrycznym ziarn skrobi wyróżnia się dwie charakterystyczne frakcje wymiarowe: o średnicy powyżej 10 mikrometrów, zwane frakcją typu A i o średnicy poniżej 10 mikrometrów - typ B / 19 /. W badaniach tych stwierdzono, że udział ziarn skrobi o średnicy poniżej 10 mikrometrów (typ B) był istotnie wyższy w ziarniakach dorodnych o kształcie regularnym w porównaniu z ziarniakami małymi o kształcie nieregularnym. Ziarniaki małe charakteryzują się najczęściej strukturą typu szklistego i zawierają więcej białka niż ziarna o strukturze mączystej. Autorzy sugerują, że skład granulometryczny skrobi jest uwarunkowany wpływem czynników zewnętrznych w procesie rozwoju ziarna. Skrobia w ziarnie pszenicy formuje się w okresie 28-40 dni stosownie do czynników agroekologicznych /40/. Ziarna skrobi typu A powstają już w fazie podziału komórkowego endospermu i ich rozwój trwa przez cały okres formowania się komórki. Ziarna skrobi typu B powstają w wykształconych już komórkach i można je nazwać "młodszymi". Badania dotyczące składu granulometrycznego skrobi, przeprowadzone na 12 odmianach pszenicy przez Eversa i Lindleya / 19 / wy-

kazały, że ziarna skrobi typu A nie przekraczają 3 % całkowitej ilości skrobi w pojedynczym ziarniaku. Wzajemny udział ziarn skrobi typu A i B w endopspermie ziarniaka, określony statystycznie, może stanowić informację o procesie wzrostu i formowania się skrobi w okresie dojrzewania poszczególnych komórek endospermu.

Zróżnicowany udział ziarn skrobi typu A i B w ziarniakach pszenicy stwierdzono w naszych badaniach / 44 /, przy wykorzystaniu skaningowego mikroskopu elektronowego. Na przełomach poprzecznych ziarniaków pszenicy jarej stwierdzono 20 % ziarn skrobi typu A, natomiast w ziarnie pszenicy ozimej zaledwie 8 % . Większy udział ziarn skrobi typu A stwierdzony w badaniach mikroskopowych wynikał z faktu, że na powierzchni przełomów poprzecznych ziarniaków znaczna liczba ziarn typu B była ukryta w białku. W cytowanej pracy Eversa i Lindleya skrobię wyodrębniano na drodze chemicznej, określając następnie jej skład granulometryczny za pomocą licznika drobnych cząstek (Coulter Counter). Niemniej jednak analiza składu granulometrycznego skrobi, uwidocznionej na fotografiach uzyskanych z mikroskopu elektronowego, wykazała istotne różnice ilościowe, wynikające ze zróżnicowania budowy wewnętrznej endopspermu ziarniaków obu form pszenicy.

Ziarna skrobi pszenicy są najczęściej kształtu kulistego, rzadziej elipsoidalnego, mniej lub bardziej nieregularne. Najmniejsze ziarna skrobi o średnicy około 1 mikrometra posiadają kształt kulisty, największe zaś o średnicy około 40 mikrometrów są zwykle kształtu nieregularnego / 17 /. Ciężar właściwy skrobi mieści się w przedziale 1.48 - 1.61 g/ml i jest największy w porównaniu z pozostałymi składnikami endospermu / 51 /. O ciężarze właściwym ziarniaka jako całości

decyduje przede wszystkim zawartość skrobi.

Kolejnym głównym składnikiem komórek endospermu jest białko. W poszczególnych częściach ziarniaka objętościowa zawartość białka jest następująca: okrywa owocowo-nasienna około 5 % , warstwa aleuronowa około 13 - 20 % , endosperm około 65 - 75 % oraz zarodek 6 - 20 % . W przeliczeniu na suchą masę udział białka wynosi odpowiednio: 30 - 50 % w warstwie aleuronowej, 11 - 12 % w endospermie i 20 - 35 % w zarodku. W endospermie najwięcej białka występuje w obszarze bezpośrednio przylegającym do warstwy aleuronowej, a w kierunku ku środkowi endospermu zawartość białka maleje / 8, 41 /. Rozmieszczenie przestrzenne białka i skrobi w ziarnie pszenicy jest silnie zróżnicowane. Wolne przestrzenie pomiędzy ziarnami skrobi a otaczającym białkiem, obserwowane przy powiększeniu około 5000 razy, są charakterystyczne dla struktur typu mączystego, które, jak wynika z obserwacji, tworzą efekt bieli na skutek rozpraszania światła przez małe przestrzenie powietrzne / 52 /. Ziarniaki typu mączystego są uboższe w białko w porównaniu z ziarniakami typu szklistego. W praktyce dość łatwo można dokonać selekcji w ziarnie pszenicy pod względem typu struktury endospermu poprzez ocenę wizualną, co pozwala uzyskać jednocześnie podział badanej próbki na dwie grupy o wyraźnie zróżnicowanej zawartości białka. Wizualna selekcja, aczkolwiek subiektywna, pozwala ocenić niektóre właściwości fizyczne, takie jak wytrzymałość ziarna na zgniatanie / 37,49 / lub wymiana gazowa / 2 /. Selekcja taka nie pozwala jednakże na dokładniejsze określenie struktury endospermu, rozumianej jako przestrzenne rozmieszczenie białka i skrobi w poszczególnych komórkach. W obrębie każdej komórki przestrzenie pomiędzy

ziarnami skrobi są w różnym stopniu wypełnione białkiem. Ziarna skrobi otoczone są cienką warstwą białka, rozpuszczalnego w wodzie. Jest to tak zwana albuminowa frakcja białka / 4,61 /. Białko to spełnia rolę substancji cementującej pomiędzy skrobią a matrycą białkową, powodując w określonych warunkach wzrostu wilgotności przyrost objętościowy komórki. Główne elementy składowe endospermu - skrobia i białko - nie różnią się twardością, lecz wykazują różną wartość adhezji w zależności od kierunku penetracji wody / 61, 64-66 /.

Z najnowszych badań Greenwella i Schofielda / 24 / wynika, że białko odgrywa istotną rolę w nadawaniu miękkości endospermu pszenicy. Chociaż białko otacza powierzchnię ziarn skrobi to przylega do nich z różną siłą. Jak stwierdzają cytowani wyżej autorzy, mechanizm związania białka ze skrobią nie jest jeszcze dokładnie poznany. W ziarniakach pszenicy o zwartej strukturze endospermu, szczeliny i pęknięcia powstające w procesie destrukcyjnego oddziaływania sił zewnętrznych wykazują tendencję do przechodzenia wzdłuż ścian komórkowych / 29,44 /. W przypadku występowania pęknięć poprzecznych komórek endospermu, znacznie wzrasta udział popękanych ziarn skrobi. W ziarniakach pszenicy o strukturze mączystej, na powierzchniach przełomów można zaobserwować całe ziarna skrobi, które na skutek mniejszej adhezji łatwiej oddzielają się od matrycy białkowej.

Z badań przeprowadzonych na ziarnie pszenicy, poddanym działaniu obciążeń statycznych wynika, że trwałym odkształceniom ziarniaków towarzyszą zawsze uszkodzenia wewnętrzne w postaci sieci drobnych pęknięć, najczęściej bez naruszenia ciągłości warstwy aleuronowej / 29 /. Złożoność struktury

wewnętrznej ziarniaka oraz jego odporność na destrukcyjne działanie czynników fizycznych, takich jak obciążenia mechaniczne (pochodzące od sił zewnętrznych) czy określony gradient temperatury i wilgotności (powodujący wzrost naprężeń wewnętrznych w endospermie ziarniaka) - nie są dotychczas dokładnie poznane / 9 /.

Badania struktury wewnętrznej ziarna pszenicy, przeprowadzone metodą porozymetrii rtęciowej, wskazują również na odmienny rozkład porów wewnętrznych w obrębie ziarna pszenicy jarej i ozimej / 74 /. Rozkład porów wewnętrznych prawdopodobnie wynika nie tylko ze zróżnicowania składu granulometrycznego skrobi, ale i białka. Kompleks białkowy wypełniający przestrzenie w obrębie komórek endospermu składa się z globul białkowych, których rozmiary mieszczą się w przedziale od 1 do 60 mikrometrów / 51 /.

Przegląd metod badania uszkodzeń mechanicznych ziarna

Procesowi zbioru, transportu i dalszej obróbki ziarna towarzyszy jedno z najbardziej nieuchwytnych zjawisk jakim są uszkodzenia mechaniczne. Z rolniczego punktu widzenia, uszkodzenia - jako skutek działania czynników fizycznych o charakterze destrukcyjnym - powodują niekiedy znaczne obniżenie wartości konsumpcyjnej i reprodukcyjnej. Czynnikiem destrukcyjnym może być działanie sił zewnętrznych pochodzących od elementów roboczych maszyn w określonym procesie technologicznym, względnie naprężenia wewnętrzne powstające w trakcie intensywnej zmiany temperatury i wilgotności. Destrukcja jako efekt działania wymienionych czynników, uzewnętrznia się w postaci naruszenia naturalnej ciągłości

tkanek ziarniaka. W praktyce, działania profilaktyczne - mające na celu zapobieganie powstawaniu uszkodzeń mechanicznych - sprowadzają się do ustalenia granicznej wartości tego czynnika, który determinuje określone skutki fizyczne i biologiczne, stosownie do przyjętej technologii uprawy, zbioru, transportu i przechowalnictwa ziarna zbóż.

Uszkodzenia mechaniczne ziarna można najogólniej podzielić na zewnętrzne i wewnętrzne. Uszkodzenia zewnętrzne są spowodowane głównie przez elementy robocze urządzeń zbierających i transportujących, podczas gdy uszkodzenia wewnętrzne endospermu mogą być spowodowane również wzrostem naprężeń wewnętrznych, pod wpływem określonego gradientu temperatury i wilgotności. Według Strony / 68 /, uszkodzenia mechaniczne ziarna można podzielić również na tak zwane makrouszkodzenia i mikrouszkodzenia. Jeżeli uszkodzenia ziarniaków polegają na widocznej utracie jakichkolwiek ich części, to zalicza się je do makrouszkodzeń, jeśli natomiast fragmenty tkanek są uszkodzone, lecz nie oddzielają się od ziarniaków - to do mikrouszkodzeń. O ile makrouszkodzenia są łatwe do identyfikacji to klasyfikacja mikrouszkodzeń nastręcza wiele wątpliwości.

W piśmiennictwie dotyczącym metod badania uszkodzeń mechanicznych ziarna zbóż na szczególną uwagę zasługują prace: Strony / 68 / i Chowdhury'ego / 10 /. Zaproponowany przez Stronę podział metod na bezpośrednie i pośrednie, pozwala na wyodrębnienie ich cech charakterystycznych i bardziej przejrzystą klasyfikację niż ma to miejsce w pracy Chowdhury'ego, który wymienia 25 metod bez klasyfikacji.

Metody bezpośrednie związane są z oceną wizualną stanu powierzchni badanego obiektu lub jego obrazu i zawierają w

sobie znaczną dozę subiektywizmu. Istota tej grupy metod polega na określeniu liczby uszkodzonych nasion oraz ich czystości w badanej próbie. Przy ocenie wizualnej ziarniaków stosuje się najczęściej lupę preparacyjną o 10-krotnym powiększeniu. Wynik analizy zależy w znacznym stopniu od doświadczenia osoby dokonującej oceny, ostrości jej wzroku, stopnia zmęczenia i szeregu innych czynników. W celu uzyskania większej dokładności pomiarów stosuje się określone modyfikacje w postaci barwienia badanego obiektu lub znaczniejszych powiększeń jego obrazu /68/. Stosując płyn Lugola, stwierdzono zmienną dostępność barwnika do skrobi w zależności od typu struktury endospermu. W ziarniakach o strukturze typu szklistego, pomimo ewidentnych pęknięć, barwnik ma utrudniony dostęp do skrobi, którą selektywnie zabarwia.

Orzechowski / 58 / w jednej z pierwszych polskich prac na temat uszkodzeń, podaje wyniki badań laboratoryjnych makro- i mikrouszkodzeń ziarna pszenicy, pochodzącej ze zbioru jedno-, dwu- i trójfazowego. Mikrouszkodzenia badano poprzez zanurzanie ziarna w 1 % roztworze alkoholowym płynu Lugola. W wyniku badań stwierdzono, że wszystkie zastosowane urządzenia młócące powodują makro- i mikrouszkodzenia ziarna. Zauważono również, że mikrouszkodzenia podnoszą energię kiełkowania nasion. Stosując analogiczną metodę oznaczania uszkodzeń, Bogdanowicz i inni / 5 / określili wielkość uszkodzeń ziarna kukurydzy powodowaną zastosowanym zbieraczem kolb Bourgoin GM-3. Wyniki tych badań wskazują na ewidentny wzrost mikro- i makrouszkodzeń ziarna w procesie przemieszczania się kolb kukurydzy poprzez urządzenia transportujące zbieracza. Znacznie lepszym dla klasyfikacji uszkodzeń mechanicznych ziarna okazał się mikrobarwnik Fast Green, który

zastosował Koehler / 45 /. Barwnik ten znalazł powszechne zastosowanie w USA, przy wizualnej ocenie uszkodzeń ziarna kukurydzy. Fast Green nie wchodzi w reakcję chemiczną z podstawowymi komponentami komórek endospermu, lecz jedynie przylega do uszkodzonych powierzchni, powstałych w wyniku destrukcyjnego działania określonych czynników. Stosując wizualną metodę oceny uszkodzeń ziarna kukurydzy Shmidt i inni / 63 /, a następnie Wall i Norris / 75 / wykazali jednakże bardzo duże zróżnicowanie w ocenie tego samego materiału, przeprowadzonej przez kilku obserwatorów. Do grupy metod bezpośrednich zalicza się również metodę rentgenograficzną / 62 /. Istotą tej metody jest zróżnicowana pochłanialność miękkiego promieniowania X przez ośrodek o różnej gęstości. Wszystkie szczeliny i wolne przestrzenie powietrzne o odpowiedniej wielkości, znajdujące się w płaszczyźnie przechodzenia promieni X, można zarejestrować na zwykłej kliszy fotograficznej. Początkowo techniki rentgenograficzne stosowane były do kontroli wewnętrznych uszkodzeń ziarna, spowodowanych przez insekty żerujące w spichrzach i magazynach portowych / 16 /. Obecnie zastosowanie lamp o parametrach napięcia w zakresie 10 - 20 kV i prądu od kilku do kilkudziesięciu mikroamperów pozwala na zarejestrowanie uszkodzeń w obrębie endospermu ziarniaka, których nie można wykryć na drodze barwienia.

Metody pośrednie pozwalają ocenić uszkodzenie na podstawie wartości mierzonych parametrów, mających związek z wielkością uszkodzenia, z zachowaniem obiektywności oceny. Wśród metod pośrednich wyróżnia się trzy następujące grupy:

1. Metody oparte na badaniu zdolności kiełkowania nasion.

Stopień uszkodzenia nasion jest odnoszony do żywotności

zarodka. Metoda ta, ma praktyczne duże znaczenie przy ocenie materiału reprodukcyjnego. Ocena zdolności kiełkowania służy jako wskaźnik jakościowy nasion, przy czym uszkodzenia mechaniczne stanowią jeden z wielu czynników wpływających na wynik końcowy oceny.

Badania przeprowadzone na ziarnie pszenicy poddanym działaniu obciążeń statycznych / 33 / w zakresie naprężeń osiowych do 4 MPa wykazywały w początkowym okresie rozwoju kiełka (po 4 dniach) - intensywniejszy wzrost w porównaniu z nasionami kontrolnymi. W warunkach polowych intensywność wzrostu ulega osłabieniu ze względu na niekorzystne oddziaływanie innych czynników zewnętrznych takich jak na przykład drobnoustroje. Z badań Koehlera / 45 / wynika, że istnieje ujemna korelacja pomiędzy niektórymi typami uszkodzeń a przyrostem suchej masy normalnie wykiełkowanych nasion. Z innych sposobów pomiaru żywotności zarodka, determinowanej poziomem uszkodzenia nasion jest ocena kiełkowania z zastosowaniem kwasu siarkowego. Nasiona zanurza się w 50 % kwasie na okres 3 godzin, w temperaturze 20 - 21 stopni Celsjusza, a następnie przemywa wodą i umieszcza w 2 % roztworze węglanu wapnia na okres 15 minut. Po ponownym przemyciu, nasiona poddaje się procesowi kiełkowania. Caldwell i Hampson / 7 / stwierdzili, że kwas siarkowy penetruje tylko w miejscach uszkodzenia okrywy nasiennej i nie uszkadza zarodka, jeśli okrywa w okolicy zarodka nie jest naruszona. Modyfikacją tej metody jest kiełkowanie nasion zbóż na podłożu zwilżonym roztworem kwasu siarkowego o bardzo niskim stężeniu: 0.005 % - 0.07 % . Takie stężenie kwasu siarkowego nieco utrudnia proces kiełkowania nasion uszkodzonych, stwarzając zbliżone warunki do kiełko-

wania w polu / 68 /. Zasadniczą wadą tych metod jest przede wszystkim duża czasochłonność wykonywania analiz.

2. Metody absorpcji wody lub roztworów barwiących z wykorzystaniem ich właściwości optycznych lub fluorescencyjnych.

Mc Ginty / 54 / stwierdził, że poziom uszkodzeń może być określony poprzez pomiar kinetyki absorpcji wody przez pory. Jednakże metoda ta w odniesieniu do ziarna uszkodzonego jest mało precyzyjna. Kinetyka absorpcji wody zależy nie tylko od poziomu uszkodzenia mechanicznego, lecz także od wilgotności początkowej, temperatury i przebiegu rozwoju ziarna /67 /.

Chowdhury i Buchele / 11 /, w roku 1976 opublikowali pierwszą pracę na temat zastosowania metody kolorymetrycznej do określania uszkodzeń ziarna kukurydzy, wykorzystując w tym celu barwnik Fast Green. Istota tej metody polega na określeniu poziomu absorpcji barwnika na uszkodzonych powierzchniach ziarniaków. Szczegółowe badania w tym zakresie / 10 - 14 / spowodowały, że metoda ta znalazła szerokie zastosowanie w ocenie uszkodzeń mechanicznych ziarna kukurydzy w USA. Sposób przeprowadzania pomiarów jest prosty i szybki. Czas trwania analizy pojedynczej próbki nie przekracza 5 minut.

Metoda kolorymetryczna została opatentowana w roku 1976 w USA / 76 / i jak wynika z jej opisu, jest przeznaczona do określania uszkodzeń mechanicznych ziarna kukurydzy i pszenicy. Dotychczas brak było jednak badań w zakresie wpływu zawartości białka na cechy wytrzymałościowe ziarna pszenicy, stosując tą metodę. Jest faktem oczywistym, że poszczególne odmiany zbóż charakteryzyją się różną przyswajalnością związków mineralnych, w tym i azotowych, zawartych w glebie, co w konsekwencji odpowiedniego nawożenia prowadzi do zróż-

nicowania zawartości białka. Z kolei w licznych badaniach wytrzymałościowych ziarna pszenicy /20,31,46,47,49,57/ podkreśla się znaczenie białka w wytrzymałości mechanicznej ziarniaka.

Nasze badania /26,49 / wykazały, że wartość modułu Younga - jako ważniejszej cechy wytrzymałościowej ziarna - wzrasta wraz z zawartością białka. Porównując wyniki badań kolorymetrycznych z wynikami badań wytrzymałościowych stwierdzono, że na zróżnicowanie struktury endospermu, a zatem na wytrzymałość mechaniczną ziarniaka pszenicy jarej, zawartość białka ma istotny wpływ. Badania kolorymetryczne /31,69/ przeprowadzone na ziarnie pszenicy jarej, o zróżnicowanej zawartości białka i zbitości endospermu, przy jednakowym poziomie uszkodzeń sztucznych ziarniaków (przecinano je poprzecznie względemich długości), wykazały istotny wzrost przepuszczalności testowanych roztworów. Dowodzi to, że poziom absorpcji barwnika, a tym samym i wielkość powierzchni uszkodzonych, ze wzrostem zawartości białka maleje. Porównawcze zastosowanie metody kolorymetrycznej i dyfuzyjnej /2/ do pomiarów uszkodzeń mechanicznych ziarna pozwoliło na ujawnienie zależności pomiędzy zawartością białka a poziomem absorpcji barwnika i dyfuzji gazu. Ze wzrostem zawartości białka w ziarnie prędkość dyfuzji gazu i poziom absorpcji barwnika maleją. Tą metodą przetestowano również uszkodzenia mechaniczne ziarna pszenicy ozimej, powstałe w zespołach roboczych kombajnu zbożowego /21/. Stwierdzono, że ziarno pszenicy, w miarę jego przemieszczania się w kierunku od bębna młócącego do kosza zasypowego i dalej przenośnikiem ślimakowym na przyczepę, wykazuje coraz więcej uszkodzeń.

Christenbury i Buchele / 15 / zaproponowali nową metodę pomiaru uszkodzeń mechanicznych ziarna kukurydzy wykorzystując fluorescencyjny barwnik białka. Istota tego systemu polega na tym, że mechanicznie uszkodzone ziarna - po zanurzeniu w cieczy zawierającej czynnik fluoryzujący - rozdrabnia się w celu uzyskania względnie jednorodnej substancji, a następnie przy użyciu systemu fotoelektrycznego określa natężenie światła fluorescencyjnego. Użyty barwnik fluoryzuje wówczas, gdy zwiąże się chemicznie z białkiem znajdującym się w ziarnie. Stwierdzono liniową zależność pomiędzy wzrostem fluorescencyjnego natężenia światła i poziomu uszkodzeń mechanicznych ziarna kukurydzy określonych na drodze oceny wizualnej. Jednakże, przyjmując nawet subiektywność wizualnej oceny uszkodzeń mechanicznych ziarna za dopuszczalną, na niedokładność oceny wpływać może zawartość białka w ziarnie, z którym ciecz fluoryzująca wiąże się selektywnie.

Do tej grupy metod zalicza się również metodę konduktometryczną /32 /, która polega na pomiarze przewodności jonowej testowanego roztworu, zawierającego sole soku komórkowego rozpuszczone w określonej objętości zdejonizowanej wody. Im wyższy jest poziom uszkodzeń mechanicznych w ziarnie, tym stężenie soli w roztworze i jego przewodność będzie wyższa. Zasadniczą wadą tej metody jest jednodobowy okres przygotowywania roztworu testowego.

3. Metody o niewielkim znaczeniu praktycznym, lecz istotnym z poznawczego punktu widzenia.

Należą tu metody reologiczne / 27,28,36,53 /, sprowadzające się w swej istocie do pomiaru zależności pomiędzy siłą i odkształceniem badanego obiektu z uwzględnieniem czasu

trwania danego procesu. Reologiczne właściwości ziarna pod kątem oceny uszkodzeń badał Manbeck / 53 /. Stwierdził on, że ze wzrostem poziomu uszkodzeń mechanicznych ziarna ciężar objętościowy i czas relaksacji naprężeń maleją liniowo, a odkształcenia wzrastają. Z innych badań w tym zakresie /26/ wynika, że ze wzrostem zawartości białka determinującego strukturę endospermu ziarniaka wyraźnie wzrastał poziom energii i naprężeń osiowych w procesie ściskania.

Metody te nie pozwalają jednakże na wyodrębnienie różnic w poziomie uszkodzeń technologicznych z jakimi mamy do czynienia w trakcie mechanicznego zbioru i obróbki materiału. Wynika to przede wszystkim z małej reprezentatywności pojedynczych ziarniaków pobieranych do badań wytrzymałościowych w stosunku do poziomu uszkodzeń masy ziarna w badanej próbce.

Arnold i Roberts / 3 / opracowali metodę wyznaczania pola naprężeń w modelach elastooptycznych ziarniaka pszenicy. Metody badań elastooptycznych mają istotne znaczenie jedynie teoretyczne, gdyż pozwalają na formułowanie matematycznego opisu mechanizmu powstawania uszkodzeń w obiektach roślinnych o tak złożonym kształcie jak ziarniak pszenicy.

Wymienione grupy metod badania uszkodzeń mechanicznych ziarna pszenicy mają zarówno swoje wady, jak i zalety. Wybór danej metody zależy przede wszystkim od wymagań stawianych przez użytkownika. Dla celów praktycznej oceny jakości materiału ziarnowego najbardziej przydatne są metody szybkie i łatwe w stosowaniu, w których wpływ czynników subiektywnych na wynik końcowy jest maksymalnie ograniczony. Warunek znacznego ograniczenia wpływu czynników subiektywnych na ocenę spełniają metody pośrednie, w których wynik pomiaru

rejestrowany jest przez miernik przyrządu.

Te warunki najbardziej spełnia metoda kolorymetryczna wymagająca jednak ścisłego przestrzegania czasu trwania poszczególnych etapów związanych z przygotowaniem roztworu testowego. Metoda ta umożliwia nie tylko obiektywne określenie wielkości uszkodzeń mechanicznych ziarna, ale pozwala również na uchwycenie ich zróżnicowania pod wpływem czynników endogennych, stwarza możliwość głębszego poznania samego obiektu, a jej charakter (obiektywność oceny, krótki czas trwania analizy), predestynuje ją do upowszechnienia w praktyce.

CEL PRACY

Złagodzenie deficytu żywności w kraju poprzez wzrost produkcji ziarna pszenicy o odpowiedniej jakości jest możliwe na drodze działań techniczno-ekonomicznych i hodowlano-uprawowych.

W zakresie działań techniczno-ekonomicznych upowszechnienie prostej i obiektywnej metody oceny uszkodzeń mechanicznych ziarna pszenicy w systemie skupu, a jednocześnie wprowadzenie preferencyjnych cen za ziarno o niskim poziomie uszkodzeń mechanicznych, mogłoby przyczynić się do wzrostu produkcji tego cennego surowca. Hipoteza ta ma swoje praktyczne potwierdzenie w wielu krajach, gdzie poziom produkcji pszenicy pozwala na zaspokojenie potrzeb nie tylko własnych. W Zachodniej Europie działają kluby producentów, którzy osiągają plony w granicach 10 - 15 ton pszenicy z jednego hektara. Tam też za ziarno o niskim poziomie uszkodzeń mechanicznych ustalane są ceny preferencyjne.

Również w Polsce od roku 1985 działa Telewizyjny Klub Producentów Zbóż, którego członkowie osiągają już plony przekraczające 10 ton z hektara. Od roku 1984 rozpoczęto kontraktację jakościowych odmian pszenicy. W krajowej produkcji pszenicy problem sprowadza się więc nie tylko do uzyskania maksymalnego plonu, ale i do poprawy jakości ziarna.

Interesujące badania w zakresie oceny jakościowej ziarna pszenicy prowadzone są pod kierunkiem prof. A. Biskupskiego we wrocławskim Laboratorium Technologii Zbóż Zakładu Roślin Zbożowych IHAR /22/. Na podstawie oznaczenia stosunku ilościowego białek wysokocząsteczkowych do niskocząsteczkowych można określić wartość technologiczną pszenicy. Im większa jest ilość białka ogólnego i gluteniny wysokocząsteczkowej, tym korzystniejsze są właściwości reologiczne ciasta pszennego /70/.

W zakresie działań hodowlano-uprawowych, upowszechnienie z jednej strony - metody oceny podatności ziarna pszenicy na uszkodzenia mechaniczne, a z drugiej - oceny jakościowej pszenicy, może przyczynić się do znacznego postępu prac hodowlanych i uprawowych z tą rośliną. Milczak /55/ w pracy poświęconej hodowlanym aspektom oceny fizycznych właściwości materiałów roślinnych podkreśla potrzebę wykorzystania żmudnych niekiedy badań agrofizycznych dla postępu biologicznego. Autor ten wskazuje możliwość określania bardzo ważnego wskaźnika odziedziczalności cech fizycznych.

W literaturze przedmiotu jest szereg prac opisujących zachowanie się ziarna pszenicy w warunkach oddziaływania określonych sił zewnętrznych z uwzględnieniem cech geometrycznych i wilgotności. Zawartość białka natomiast jako cecha zmieniająca się pod wpływem warunków agrometeorologicznych,

a równocześnie zdeterminowana genetycznie, jest bardzo często podawana jako uzupełnienie charakterystyki badanego materiału. Wpływ zawartości białka na cechy odpornościowe ziarna jest mało poznany, co stanowi wyraźną lukę w badaniach agrofizycznych, a tam gdzie jest on rozważany, ogranicza się do potwierdzenia wyższej odporności mechanicznej ziarniaków szklistych w porównaniu z mączystymi.

Biorąc pod uwagę zarówno aspekt poznawczy, wynikający z wyraźnej luki w badaniach agrofizycznych, jak i praktyczny - z potrzeby przyśpieszenia postępu biologicznego i ekonomicznego, przeprowadzono badania kolorymetryczne uszkodzeń mechanicznych ziarna pszenicy zwyczajnej, formy jarej i ozimej, w celu określenia:

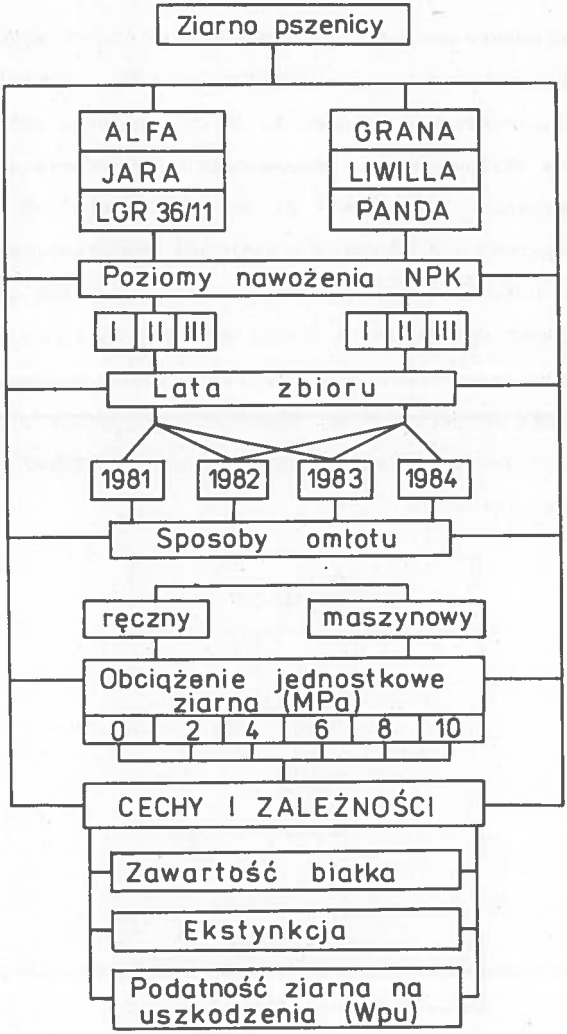
- zależności pomiędzy obciążeniem statycznym ziarna w masie a poziomem uszkodzeń mechanicznych,
- wpływu przyjętej kombinacji doświadczeń polowych na zróżnicowanie wskaźnika podatności ziarna na uszkodzenia mechaniczne,
- wpływu zawartości białka na wielkość uszkodzeń mechanicznych ziarna.

MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ

Charakterystyka materiału

Dla osiągnięcia przyjętego celu, w roku 1981 rozpoczęto 3-letnią serię badań kolorymetrycznych na ziarnie dwóch odmian pszenicy jarej: Alfa, Jara i rodu LGR 36/11, a w roku 1982 - na ziarnie trzech odmian pszenicy ozimej Grana, Liwilla i Panda. Materiał pochodził ze ścisłych doświadczeń polowych zlokalizowanych na terenie Rolniczego Zakładu Doświadczalnego Akademii Rolniczej, Lublin - Felin. W doświadczeniu polowym z pszenicą jarą zastosowano trzy poziomy nawożenia mineralnego: I - 200, II - 400 i III - 600 kg NPK/ha, natomiast w doświadczeniu z pszenicą ozimą poziomy nawożenia mineralnego były wyższe i wynosiły odpowiednio: I - 250, II-500 i III - 750 kg NPK/ha. Stosunek N:P:K wynosił jak 1.0 : 0.8 : 1.2.

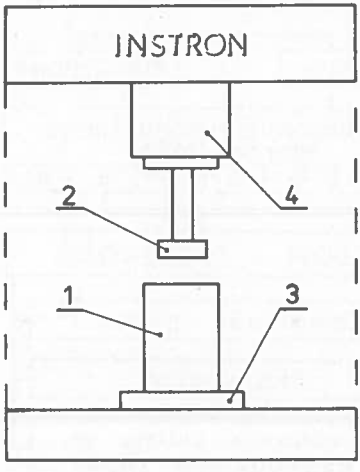
Ziarno pochodzące z omłotu ręcznego i maszynowego oczyszczano z zanieczyszczeń obcych, usuwając równocześnie frakcję ziarna o grubości poniżej 2.4 mm za pomocą sita o kalibrowanych otworach, zgodnie z opracowaną metodyką /72 /. Wilgotność ziarna poddanego działaniu obciążeń statycznych wynosiła około 12 % . Zawartość białka określano metodą Kjeldahla w trzech powtórzeniach stosując współczynnik N x 5.83. Na rysunku 2 przedstawiono schemat blokowy eksperymentu, obejmujący układ cech badanego obiektu.



Rys.2. Schemat blokowy eksperymentu

Aparatura pomiarowa

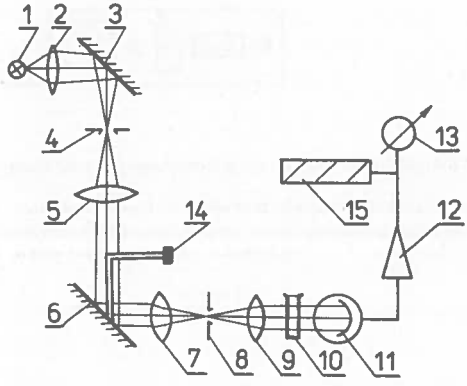
Do modelowania poziomu uszkodzeń mechanicznych wykorzystano maszynę wytrzymałościową INSTRON typ 1253, której układ pomiarowy przedstawia rysunek 3. Układ pomiarowy składał się z cylindra stalowego - 1, umocowanego na podstawie siłownika hydraulicznego - 3 i tłoka - 2, przymocowanego do głowicy tensometrycznej - 4. Głowica o zakresie pomiarowym do 100 kN umocowana była do belki poprzecznej maszyny. Układ zapewniał współosiowość przemieszczeń tłoka względem cylindra. Nominalny luz pomiędzy średnicą wewnętrzną cylindra a powierzchnią boczną tłoka wynosił 0.5 mm. Powierzchnie robocze cylindra i tłoka, wykonane w 9 klasie gładkości, minimalizowały tarcie zewnętrzne ziarna.



Rys.3. Schemat układu pomiarowego maszyny wytrzymałościowej INSTRON typ 1253

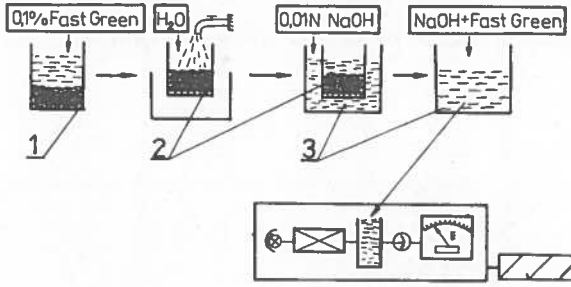
1 - cylinder, 2 - tłok, 3 - siłownik hydrauliczny, 4 - głowica tensometryczna

Do kolorymetrycznego określania skutków fizycznych działania obciążeń statycznych wykorzystano spektrofotometr SPEKOL - 10, produkcji Carl Zeiss Jena, którego schemat przedstawia rysunek 4. Przyrząd ten służył do pomiaru przepuszczalności testowanych roztworów. Roztworami tymi napełniano kuwetę pomiarową -10. Kształt kuwety pozwala na określenie przepuszczalności badanego roztworu o grubości warstwy 10 mm. Ze źródła światła - 1, poprzez układ optyczny - 2 do 9, przez warstwę testowanego roztworu - 10, przechodzi strumień promieni o stałej długości fali. Fotokomórka - 11, rejestruje wychodzącą część strumienia światła monochromatycznego i poprzez wzmacniacz - 12, przekazuje sygnał do wskaźnika uchylnego - 13, oraz cyfrowego miernika przepuszczalności - 15, dobudowanego równolegle do wskazówkowego układu rejestrującego. Pokrętło - 14 służy do ustawiania siatki dyfrakcyjnej i regulacji długości fali.



Rys.4. Schemat spektrofotometru SPEKOL-10

Schemat blokowy metody kolorymetrycznej wraz z zestawem naczyń do przygotowywania roztworów testowych, przedstawiono na rysunku 5. Naczynie - 1, przeznaczone jest do barwienia próbki ziarna. Naczynie z dnem sitowym - 2, służy do spłukiwania nadmiaru niezaabsorbowanego barwnika z powierzchni testowanych ziarniaków. Naczynie - 3, jest przeznaczone do odbarwiania ziarna w roztworze słabej zasady. Powstały w ten sposób roztwór testowy jest pobierany za pomocą pipety do kuwety pomiarowej spektrofotometru, gdzie z miernika cyfrowego - 4, odczytuje się procentową wartość przepuszczalności z dokładnością do 0.1 % .



Rys.5. Zestaw naczyń do przygotowywania roztworów testowych 1 - pojemnik z roztworem barwnika Fast Green, 2 - naczynie z dnem sitowym, 3 - pojemnik do odbarwiania testowanego ziarna

Sposób przeprowadzania pomiarów

Badania kolorymetryczne przeprowadzano na próbkach materiału kontrolnego (z omłotu ręcznego i maszynowego) oraz na próbkach ziarna poddanego działaniu obciążeń quasi - statycznych. Pomiary kolorymetryczne wykonywano w 3 powtórzeniach.

Na warstwę luźno usypanego ziarna, wypełniającego cylinder o pojemności 0.12 decymetra sześciennego i wysokości 120 milimetrów, wywierano nacisk płaskim tłokiem z prędkością 0.9 mm/s, stosując następujące obciążenia jednostkowe: 2, 4, 6, 8 i 10 MPa. Po osiągnięciu założpnego poziomu obciążenia jednostkowego, wielkość odkształcenia warstwy ziarna utrzymywano przez okres 1 minuty w celu zrelaksowania naprężeń wewnętrznych. Próby obciążeniowe przeprowadzano w 4 powtórzeniach.

Ziarno z czterech próbek zsypywano na jedną pryzmę i rozdzielano losowo na trzy części, odważając z każdej po 100 g ziarna z przeznaczeniem do badań kolorymetrycznych. Przygotowane w ten sposób próbki ziarna (rys.5) poddawano w pierwszej kolejności procesowi barwienia w 0.1 % wodnym roztworze Fast Green. Czas barwienia wynosił 30 sekund. W trakcie barwienia ziarno lekko mieszano, po czym wraz z roztworem barwiącym przelewano do pojemnika z dnem sitowym i przemywano w strumieniu wody bieżącej przez 30 sekund. Czas przemywania ziarna pozwalał w dostatecznym stopniu usunąć nadmiar barwnika przylęgającego do okryw ziarniaków. Czynność barwienia i przemywania wykonywano w czasie łącznym około 1 minuty z tolerancją nie przekraczającą 1 sekundy.

Po przemyciu ziarno znajdujące się w pojemniku z dnem si-

towym pozostawiano przez okres 1 minuty w celu grawitacyjnego usunięcia nadmiaru wody. Po tym czasie próbkę zanurzano do naczynia zawierajcego 250 mililitrów 0.01 normalnego NaOH na 30 sekund. Po usunięciu próbki odbarwionej otrzymywano roztwór testowy. Za pomocą pipety pobierano 1 mililitr tego roztworu do kuwety pomiarowej spektrofotometru. Przy użyciu miernika cyfrowego rejestrowano wartość przepuszczalności strumienia światła monochromatycznego o długości fali 610 nm.

Ze wzrostem poziomu uszkodzeń mechanicznych wzrasta poziom absorpcji barwnika w ziarnie oraz jego stężenie w roztworze testowanym. Wzrost stężenia barwnika w tym roztworze obniża z kolei przepuszczalność strumienia światła monochromatycznego. Przepuszczalność, rozumiana jako procentowe obniżenie intensywności strumienia światła po przejściu przez warstwę testowanego roztworu, może być wyrażona w następującej formie:

$$V = I / Io \times 100, \quad (\%) \qquad (1)$$

gdzie: Io – intensywność strumienia światła wchodzącego do warstwy testowanego roztworu,

I – intensywność strumienia światła po wyjściu z warstwy testowanego roztworu.

Stężenie barwnika w roztworze testowanym można wyrazić również miarą jego ekstynkcji. Jej związek z przepuszczalnością można wyrazić w następującej postaci:

$$E = C (2 - \log V), \qquad (2)$$

gdzie: C - wartość stała.

Dla zachowania zgodności kierunku wzrostu uszkodzeń ziarna ze wzrostem wartości mierzonego parametru, do analizy wyników zamiast wartości przepuszczalności testowanych roztworów przyjęto wartości ekstynkcji jako wielkości niemianowanej. Wartość stałej C wynikająca ze związku pomiędzy przepuszczalnością testowanych roztworów a wartościami wskaźnika (Grain Quality Index) w metodzie standardowej / 30 / wynosi 130, w warunkach zaś omawianego eksperymentu przyjęto wartość stałej C = 100.

Jak wynika z naszych wcześniejszych badań / 33 /, obciążenia statyczne ziarna pszenicy powodują określone skutki biologiczne. Przy obciążeniach jednostkowych ziarna pszenicy w zakresie do 2 MPa, zdolność kiełkowania nasion wykazywała nawet tendencję wzrostową, natomiast dopiero obciążenia w zakresie do 4 MPa powodowały istotne obniżenie zdolności kiełkowania w porównaniu z materiałem kontrolnym. Dwukrotny wzrost obciążeń w stosunku do poziomu 4 MPa obniżał zdolność kiełkowania nasion o połowę. Dla wyznaczenia wskaźnika podatności ziarna pszenicy na uszkodzenia mechaniczne - Wpu, z zakresu przyjętych obciążeń jednostkowych (2 - 10 MPa), wyznaczono przyrost bezwzględnej wartości ekstynkcji w przedziale od 4 do 8 MPa.

$$Wpu = E8 - E4, \qquad (3)$$

gdzie: E8 i E4 - odpowiednie wartości ekstynkcji testowanych roztworów dla ziarna poddanego działaniu obciążeń jednostkowych na poziomie 8 i 4 MPa.

Wzrost obciążeń statycznych ziarna powoduje ewidentny wzrost poziomu uszkodzeń mechanicznych, co udowodniliśmy we wcześniejszych pracach /33,34,71,73 /. Określenie wartości wskaźnika - Wpu pozwala, za pomocą jednej wielkości, ocenić podatność ziarna na uszkodzenia mechaniczne oraz przeanalizować związek tego parametru z innymi cechami jakościowymi ziarna konsumpcyjnego względnie reprodukcyjnego.

WYNIKI BADAŃ

Dane eksperymentalne opracowano statystycznie stosując analizę wariancji dwu-, trój- i czteroczynnikową. Analizę trójczynnikową zastosowano do oceny średnich wartości ekstynkcji i zawartości białka, a analizy dwu- i czteroczynnikowe do oceny średnich wartości wskaźnika podatności ziarna na uszkodzenia mechaniczne. W przypadku stwierdzenia istotnych różnic pomiędzy wartościami średnimi ekstynkcji posłużono się przedziałami Tukeya. Na podstawie analizy regresji wybrano krzywe najlepiej opisujące badane zależności. Wnioskowanie przeprowadzono na poziomie istotności 5 % .

Rezultaty badań kolorymetrycznych ziarna pszenicy jarej i ozimej, zgodnie ze schematem doświadczenia (rys.2), przedstawiono tabelarycznie i graficznie. Wyniki badań kolorymetrycznych ziarna pszenicy jarej i ozimej w postaci średnich wartości ekstynkcji przedstawiono w tabelach 1 - 4. Tabela 1 dotyczy ziarna pszenicy jarej, pochodzącej z omłotu ręcznego, a tabela 2 - z omłotu maszynowego, w tabelach zaś 3 i 4 - w analogicznej kolejności - podano odpowiednie dane dla ziarna pszenicy ozimej.

W pierwszej kolejności omówiono zależność pomiędzy poziomem obciążeń jednostkowych ziarna a wartością ekstynkcji, ilustrując jej przebieg i zakres zmiany badanych wielkości w obrębie przyjętych czynników doświadczenia. Na podstawie opisanego charakteru tej zależności przeanalizowano następnie przedział wartości wskaźnika Wpu. W końcowej części rozdziału omówiono wpływ zawartości białka w ziarnie obu form pszenicy na wielkość uszkodzeń mechanicznych, wywołanych działaniem przyjętych obciążeń statycznych.

Wpływ obciążeń statycznych ziarna pszenicy na uszkodzenia mechaniczne

Wzrost poziomu obciążeń jednostkowych w procesie zgniatania statycznego ziarna, jak wynika z danych zawartych w tabelach 1 - 4, powoduje ewidentny wzrost wartości ekstynkcji. W oparciu o analizę regresji, charakter zmiany wartości ekstynkcji pod wpływem obciążeń statycznych opisano równaniem następującej postaci:

$$E(x) = Eo + a X^2 , \qquad (4)$$

gdzie: E(x)- wartość ekstynkcji odpowiadająca określonemu poziomowi obciążeń statycznych,

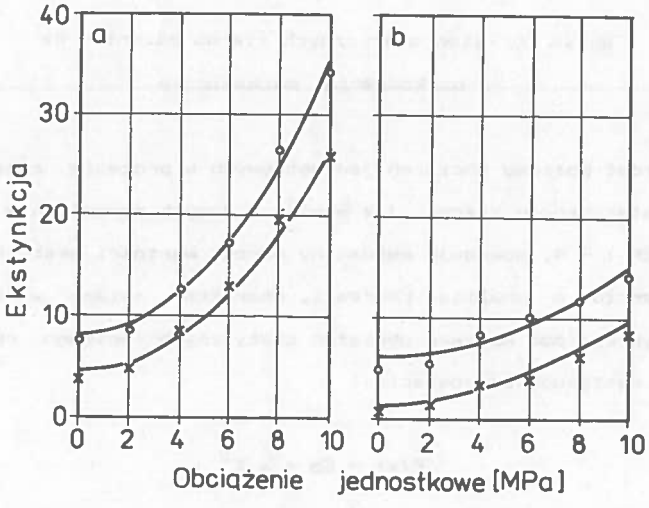
Eo - teoretyczana wartość ekstynkcji materiału kontrolnego,

a - współczynnik charakteryzujący podatność ziarna na uszkodzenia mechaniczne,

X - poziom statycznych obciążeń jednostkowych ziarna.

Parametry równania (4) dla ziarna pszenicy jarej i ozimej przedstawiono w kolejnych tabelach 5 i 6. Wartości współczynników regresji w obrębie obu form pszenicy są istotne i mieszczą się w przedziale od 0.88 do 0.99.

Dla zobrazowania różnic w wielkości uszkodzeń mechanicznych ziarna, powstałych pod wpływem przyjętych poziomów obciążeń jednostkowych w obrębie formy jarej i ozimej, na rysunkach 6 i 7 podano średnie, skrajne wartości eksperymentalne ekstynkcji oraz krzywe teoretyczne.

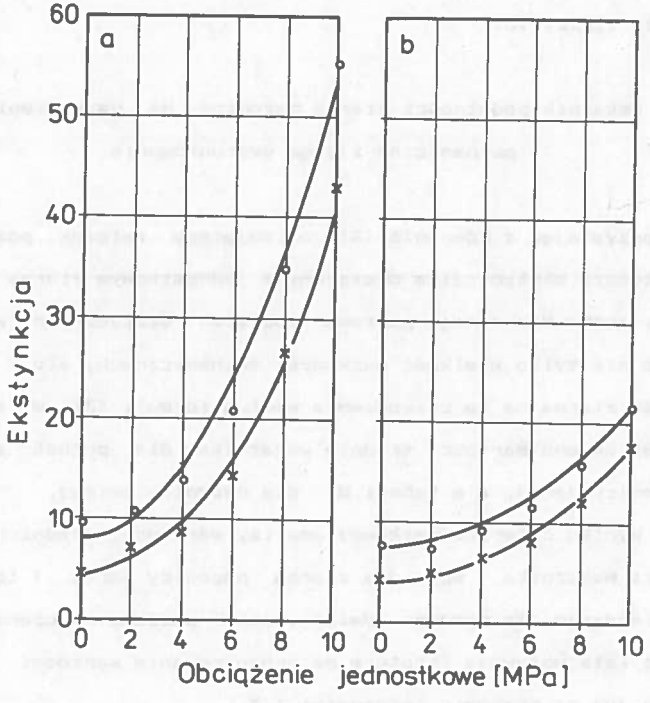


Rys.6. Teoretyczny przebieg zależności pomiędzy wartościami ekstynkcji a poziomami obciążeń jednostkowych dla ziarna pszenicy jarej

Przedstawione na rysunkach 6 i 7 wartości średnie ekstynkcji odnoszą się do próbek, dla których wartości współczynnika podatności ziarna na uszkodzenia mechaniczne - a i początkowe wartości teoretyczne - Eo, zawarte w tabelach 5 i 6

były najwyższe (rys.6a i 7a) oraz najniższe (rys.6b i 7b), w obrębie obu form pszenicy.

Wartości średnie ekstynkcji skupione wokół dolnej krzywej dotyczą ziarna młóconego ręcznie, a wokół górnej - maszynowo.



Rys.7. Teoretyczny przebieg zależności pomiędzy wartościami ekstynkcji a poziomami obciążeń jednostkowych dla ziarna pszenicy ozimej

Z danych przedstawionych na rysunkach 6 i 7 wynika, że ziarno pszenicy jarej jest bardziej odporne na uszkodzenia mechaniczne w porównaniu z ziarnem pszenicy ozimej. Istotne zróżnicowanie w odporności mechanicznej ziarna obu form

pszenicy występuje w obszarze obciążeń jednostkowych powyżej 4 MPa. Analizując dane zawarte w tabelach 5 i 6 oraz ich układ na rysunkach 6 i 7 należy stwierdzić, że wartości ekstynkcji zarówno eksperymentalne, jak i teoretyczne dla materiału kontrolnego obu form pszenicy, nie przekraczały liczby 10.

Wskaźnik podatności ziarna pszenicy na uszkodzenia mechaniczne i jego uwarunkowania

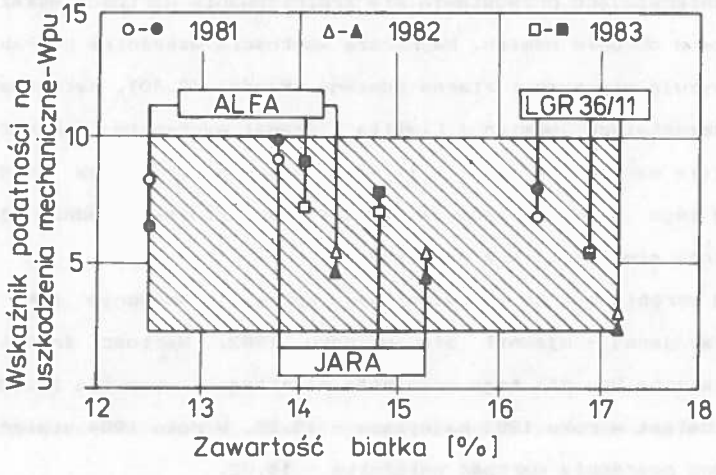
Korzystając z równania (4) opisującego związek pomiędzy wartością ekstynkcji a obciążeniem jednostkowym ziarna pszenicy można dla danego poziomu obciążeń statycznych wyznaczyć nie tylko wielkość uszkodzeń mechanicznych, ale i podatność ziarna na te uszkodzenia według formuły (3). W tabeli 7 zestawiono wartości średnie wskaźnika dla próbek ziarna pszenicy jarej, a w tabeli 8 - dla pszenicy ozimej.

W wyniku czteroczynnikowej analizy wariancji średnich wartości wskaźnika - Wpu dla ziarna pszenicy jarej (tab.7) stwierdzono, że zarówno odmiany, jak i poziomy nawożenia NPK oraz lata wpływają istotnie na zróżnicowanie wartości średnich już na poziomie istotności 1 % .

W obrębie odmian próbki ziarna rodu LGR 36/11 wykazały najniższą wartość wskaźnika (5.48), a pozostałe odmiany zajęły miejsca w następującej kolejności: Alfa (6.96), a Jara (7.50). W obrębie lat najkorzystniejszy wpływ pod względem odpornościowym ziarna ujawnił się w roku 1982 (4.31), a pozostałe lata 1981 i 1983 charakteryzowały się znacznym wzrostem wskaźnika, którego wartości średnie wynosiły odpowiednio: 8.43 i 7.30 (tab.7).

Interesująco przedstawia się wpływ nawożenia mineralnego NPK. Ze wzrostem tego czynnika, wartość wskaźnika Wpu maleje, co dowodzi, że odporność mechaniczna ziarna wzrasta z zawartością białka. Przy najwyższym poziomie nawożenia mineralnego (600 kg NPK/ha), wartość wskaźnika była najniższa i wynosiła 5.98, zaś przy odpowiednio niższych poziomach (400 i 200 kg NPK/ha) - wartości wskaźnika wynosiły: 6.57 i 7.38 (tab.7).

Jak wynika z analizy wariancji, nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy średnimi odnoszącymi się do sposobów omłotu. We współdziałaniu czynników: odmiany x sposoby omłotu oraz poziomy NPK x sposoby omłotu, również nie stwierdzono istotnych różnic. W pozostałych przypadkach interakcji tego rzędu stwierdzono istotne różnice na poziomie istotności 1%.



Rys.8. Graficzna ilustracja zakresu zmiany wartości wskaźnika Wpu dla ziarna pszenicy jarej o określonej zawartości białka

Oznaczenia: punkty jasne - omłot ręczny, ciemne - maszynowy.

Zakres zmiany średnich wartości wskaźnika Wpu dla ziarna pszenicy jarej (rys.8), zawiera się w przedziale od 2.5 do 10, przy czym najniższa (najkorzystniejsza) wartość średnia występuje w roku 1982, ziarno rodu LGR 36/11 osiąga poziom najniższy. Swiadczy to o zdecydowanej przewadze tego rodu, w stosunku do dwóch pozostałych odmian, pod względem odporności ziarna na uszkodzenia mechaniczne. Jednocześnie, wysoka zawartość białka w ziarnie rodu LGR 36/11 wskazuje na jej walory jakościowe.

Analiza wariancji dla danych zawartych w tabeli 8 dotyczących ziarna pszenicy ozimej dowiodła, że poszczególne czynniki doświadczenia: odmiany, lata, poziomy NPK i sposoby omłotu - każdy z osobna - mają istotny wpływ na zróżnicowanie wartości średnich tego wskaźnika.

Interesująco przedstawia się zróżnicowanie wartości wskaźnika w obrębie odmian. Najniższą wartością wskaźnika charakteryzują się próbki ziarna odmiany Panda (8.40), natomiast u pozostałych odmian (Liwilla i Grana) wystąpiły znacznie wyższe wartości (17.49 i 17.70), które z kolei mają średnie tego samego rzędu wielkości, aczkolwiek średnie te różnią się istotnie między sobą.

W obrębie lat najkorzystniejszy wpływ - podobnie jak u formy jarej - ujawnił się w roku 1982. Wartość średnia wskaźnika Wpu dla tego roku była najniższa i wynosiła 14.88, natomiast w roku 1983 najwyższa - 15.25. W roku 1984 stwierdzono pośrednią wartość wskaźnika - 14.72.

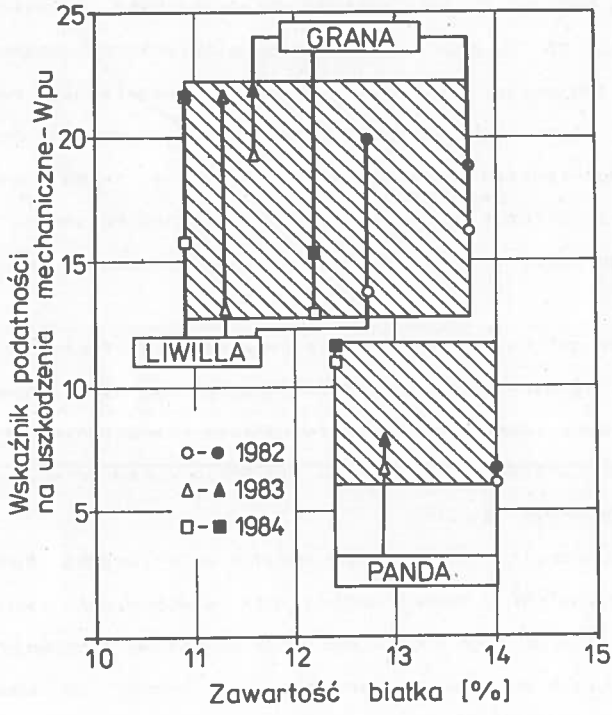
Na szczególną uwagę zasługuje wpływ poziomu nawożenia NPK. Stwierdzono bowiem zupełnie odmienną reakcję tego czynnika na zróżnicowanie wartości wskaźnika Wpu w porównaniu z formą jarą. Przy najwyższym poziomie nawożenia mineralnego NPK

(750 kg NPK/ha) średnia wartość wskaźnika była najwyższa i wynosiła 15.71, przy odpowiednio niższych poziomach NPK (500 i 250 kg/ha) wartości wskaźnika odpowiednio malały: 14.88 i 13.01 (tab.8). Należy stwierdzić, że wzrost poziomu NPK w doświadczeniach polowych z pszenicą ozimą, poprzez wzrost zawartości białka w ziarnie, istotnie wpływa na spadek odporności mechanicznej ziarna badanych odmian pszenicy ozimej.

Sposób omłotu ziarna - w przeciwieństwie do formy jarej - wykazał istotny wpływ na zróżnicowanie wartości wskaźnika Wpu. Próbki ziarna przy omłocie ręcznym charakteryzowały się niższymi wartościami wskaźnika (12.80) w porównaniu z omłotem maszynowym (16.26).

We współdziałaniu czynników jedynie w przypadku kombinacji: poziom NPK x sposób omłotu nie stwierdzono istotnych różnic. A więc tego typu kombinacje czynników zachowują się analogicznie do samych czynników, to znaczy do sposobów omłotu lub poziomów nawożenia NPK.

Na rysunku 9 przedstawiono - tak jak dla formy jarej - zakres zmiany wartości średnich wskaźnika Wpu w zależności od średniej zawartości białka w ziarnie, w poszczególnych latach zbioru. Zakres zmiany wskaźnika Wpu (rys.9) dla pszenicy ozimej zawiera się w znacznie szerszym przedziale - w porównaniu z pszenicą jarą (rys.8) - od 6 do 22. W obrębie odmian, najkorzystniej uplasowała się Panda, dla której wartość wskaźnika wynosi poniżej 12. Biorąc pod uwagę ponadto, zdecydowanie wyższą zawartość białka, w porównaniu z pozostałymi odmianami tej formy, można przypuszczać, iż ziarno tej odmiany posiada również korzystniejsze cechy jakościowe.



Rys.9. Graficzna ilustracja zakresu zmiany wartości wskaźnika Wpu dla ziarna pszenicy ozimej o określonej zawartości białka

Oznaczenia punktów jak na rysunku 8.

Mając na uwadze aspekt praktyczny badań, w których potwierdzenie hipotezy o braku wpływu sposobu omłotu na wartość wskaźnika Wpu w obrębie obu form pszenicy mogłaby mieć znaczenie dla prac hodowlanych z tą rośliną, przeprowadzono dwuczynnikową analizę wariancji. W tabeli 9 zestawiono wartości średnie wskaźnika podatności ziarna na uszkodzenia mechaniczne dla obu form i sposobów omłotu pszenicy.

W wyniku analizy danych stwierdzono istotne zróżnicowanie wartości wskaźnika Wpu pomiędzy formami pszenicy. Wartość wskaźnika dla ziarna pszenicy ozimej była ponad dwukrotnie wyższa w porównaniu z ziarnem pszenicy jarej. Stwierdzono również, że średnie wartości wskaźnika w obrębie formy jarej nie różnią się istotnie pod wpływem sposobu omłotu. Oznacza to, że na próbkach ziarna badanych odmian pszenicy jarej jest możliwe określenie wskaźnika Wpu bez względu na sposób omłotu, co w praktyce hodowlano - uprawowej może mieć korzystne znaczenie.

W przypadku badanych odmian pszenicy ozimej wartość wskaźnika Wpu jest istotnie związana ze sposobem omłotu. Fakt ten implikuje potrzebę uwzględniania sposobu omłotu ziarna pszenicy ozimej przy określaniu tego parametru.

Wpływ zawartości białka na wielkość uszkodzeń mechanicznych ziarna obu form pszenicy

Średnie zawartości białka dla ziarna pszenicy jarej zestawiono w tabeli 10, a dla ozimej - w tabeli 11. Z analizy danych wynika, że wzrost poziomu nawożenia mineralnego NPK, niezależnie od formy pszenicy, powoduje wzrost zawartości białka w ziarnie.

Odmiany pszenicy jarej (tab.10) uszeregowano pod względem zawartości białka w kolejności wzrastającej. Najniższą średnią zawartością białka charakteryzowała się odmiana Alfa (13.7 %), a najwyższą - ród LGR 36/11 (16.8 %).

Analiza wpływu nawożenia mineralnego dowiodła, że najniższą średnią zawartością białka (13.9 %) charakteryzowało się ziarno z poletek o najniższym poziomie nawożenia (NPK I),

zaś najwyższą (16.0 %) - z poletek o najwyższym poziomie nawożenia (NPK III).

Analizując z kolei wpływ lat stwierdzono, że najniższą zawartością białka (14.3 %) charakteryzowały się próbki ziarna pochodzące z roku 1981, a najwyższą (15.6 %) - z roku 1982. Srednie zawartości białka w obrębie odmian, poziomów NPK i lat różnią się istotnie. We współdziałaniu czynników: odmiany x lata, odmiany x poziomy NPK oraz lata x poziomy NPK stwierdzono również istotne różnice na poziomie istotności 1 % .

Zawartość białka w ziarnie badanych odmian pszenicy ozimej (tab.11), uszeregowano również w kolejności wzrastającej. Najniższą średnią zawartością białka charakteryzuje się odmiana Liwilla (11.6 %), a najwyższą - Panda (13.1 %).

W obrębie nawożenia mineralnego najniższą zawartością białka (11.4 %) charakteryzowało się ziarno z poletek o najniższym poziomie nawożenia (NPK I), zaś najwyższą (13.2 %) - pochodzące z poletek o najwyższym poziomie (NPK III).

Analizując następnie wpływ lat stwierdzono, że najniższa zawartość białka (11.8 %) wystąpiła w ziarnie pochodzącym ze zbioru w roku 1984, najwyższa zaś (13.4 %), podobnie jak w pszenicy jarej - ze zbioru w 1982 r.

Zróżnicowanie wartości średnich białka pomiędzy odmianami, poziomami NPK i latami było istotne - podobnie jak u formy jarej - na poziomie istotności 1 % . We współdziałaniu czynników istotne różnice stwierdzono jedynie dla pary: odmiany x lata zbioru.

Srednia ogólna zawartość białka u pszenicy jarej wynosiła 15.0 %, a u ozimej - 12.4 % . Z analizy wariancji wynika ponadto, że na zróżnicowanie zawartości białka najsilniej -

u formy jarej wpływają lata, a u formy ozimej - odmiany.

Analizując na tym tle średnie wartości ekstynkcji dla próbek ziarna pszenicy jarej (tab. 1 i 2) stwierdzono, że wzrost zawartości białka, stanowiący konsekwencję odpowiedniego wzrostu nawożenia mineralnego, niezależnie od czynników wewnętrznych (odmiana) i agrometeorologicznych (rok uprawy, poziom nawożenia NPK) - obniża wartość ekstynkcji nie tylko w materiale kontrolnym, ale i przy każdym poziomie obciążeń statycznych. Spadek wartości ekstynkcji ze wzrostem zawartości białka w obrębie poszczególnych odmian i lat niezależnie od poziomu obciążeń statycznych - świadczy o korzystnym wpływie białka na cechy wytrzymałościowe nie tylko endospermu, lecz i okrywy ziarniaka. Obniżenie wartości ekstynkcji w testowanym roztworze jest konsekwencją niższego poziomu absorpcji barwnika na powierzchniach uszkodzonych ziarna. W przypadku materiału kontrolnego, młóconego ręcznie (tab.1), poziom absorpcji wynika przypuszczalnie ze zróżnicowanej odporności mechanicznej okrywy ziarniaka, której struktura może być uwarunkowana zarówno genetycznie, jak i zasobnością gleby w składniki mineralne. Dane zawarte w tabeli 1 wskazują, że w obrębie prób kontrolnych ziarna (omłot ręczny), o najwyższej zawartości białka (NPK III), najniższe wartości ekstynkcji (E=0.6) wystąpiły u rodu LGR 36/11 z roku 1982, przy najniższej zawartości białka (NPK I) - najwyższą wartość ekstynkcji (E=3.7) stwierdzono u odmiany Jara z roku 1983.

W tabeli 3 podano średnie wartości ekstynkcji dla ziarna pszenicy ozimej młóconej ręcznie, a w tabeli 4 - maszynowo. Dane zawarte w tabeli 3 wskazują, że w obrębie prób kontrolnych ziarna (omłot ręczny), o najwyższej zawartości białka

(NPK III) - najwyższe wartości ekstynkcji (E=5.0) wystąpiły w ziarnie odmiany Panda zbieranej w roku 1982, a w obrębie prób pochodzących z poletek o najniższym poziomie nawożenia (NPK I) - najniższe wartości ekstynkcji (E=1.4) stwierdzono u odmiany Liwilla z roku 1983. Z danych zawartych w tabelach 3 i 4 wynika, że wzrost poziomu nawożenia mineralnego w doświadczeniu polowym z pszenicą ozimą, a w jego konsekwencji wzrost zawartości białka w ziarnie, niezależnie od wpływu cech wewnętrznych i agrometeorologicznych powoduje wzrost uszkodzeń mechanicznych ziarna.

Analizując związek zawartości białka w ziarnie pszenicy jarej i ozimej z wartościami ekstynkcji w obrębie odmian, lat zbioru i sposobów omłotu stwierdzono, że u obu form istnieje istotna, aczkolwiek o przeciwnych znakach, korelacja pomiędzy porównywanymi wielkościami, których związek można wyrazić odpowiednimi równaniami regresji liniowej o postaci:

- dla ziarna pszenicy jarej,

$$E(Bj) = E(o) - k\,B, \qquad (5)$$

gdzie; E(Bj)- wartość teoretyczna ekstynkcji zależna od zawartości białka w ziarnie pszenicy jarej,

E(o)- wartość ekstynkcji przy teoretycznie zerowej zawartości białka,

k - współczynnik proporcjonalności,

B - zawartość białka,

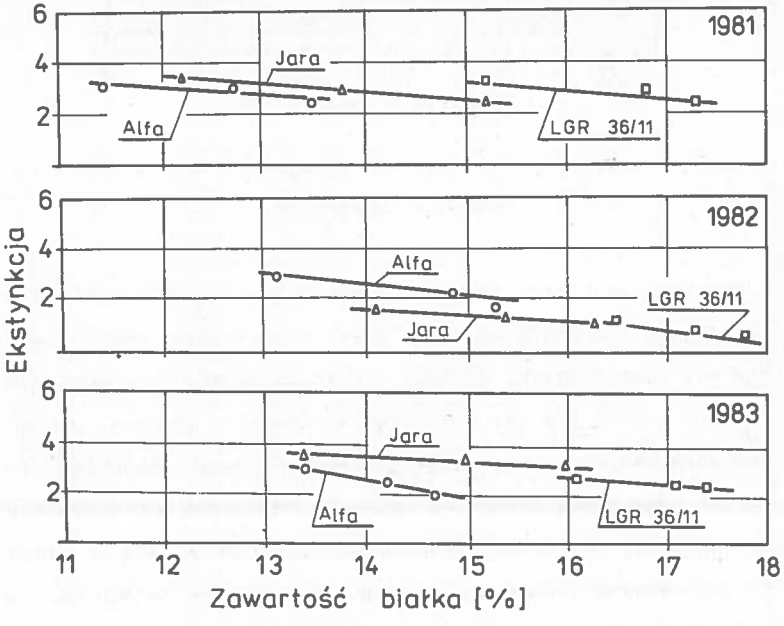
- dla ziarna pszenicy ozimej,

$$E(Bo) = E(o) + k\,B \qquad (6)$$

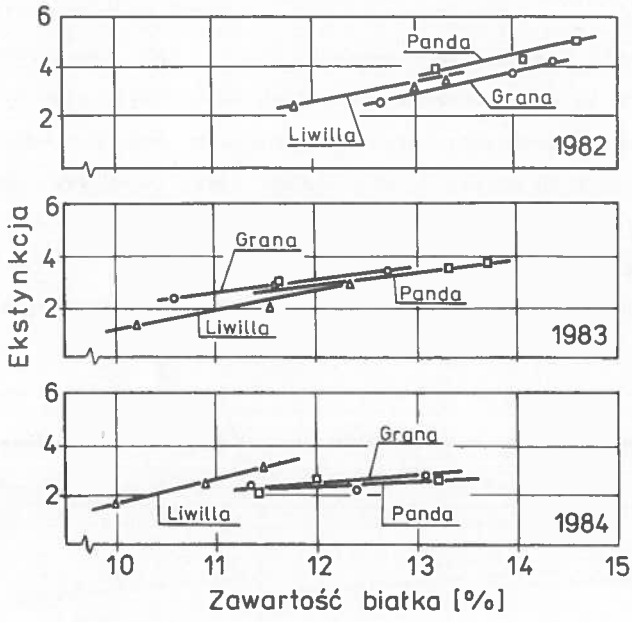
gdzie; E(Bo)- wartość teoretyczna ekstynkcji zależna od zawartości białka w ziarnie pszenicy ozimej.

Wartości parametrów równania (5) i (6) zestawiono w tabelach 12 i 13. Dotyczą one próbek kontrolnych ziarna (bez obciążeń statycznych) przy obu sposobach omłotu. Wartości współczynników korelacji dla formy jarej mieściły się w przedziale od -0.76 do -0.97, a dla formy ozimej od 0.87 do 0.99. Poziom istotności nie przekraczał 2 % .

Dla zobrazowania związku pomiędzy zawartością białka a wartościami ekstynkcji, na rysunku 10 przedstawiono proste regresji dla ziarna pszenicy jarej (omłot ręczny, bez obciążeń statycznych), a na rysunku 11 - dla pszenicy ozimej.



Rys.10. Proste regresji dla ziarna pszenicy jarej młóconej ręcznie (kontrola).



Rys.11. Proste regresji dla ziarna pszenicy ozimej młóconej ręcznie (kontrola)

Odmienny charakter zachowania się ziarna pszenicy ozimej w porównaniu z ziarnem pszenicy jarej w warunkach oddziaływania sił zewnętrznych, zarówno w trakcie omłotu ręcznego, jak i maszynowego, czy też - jeszcze wyraźniej - podczas obciążeń statycznych w warunkach laboratoryjnych wskazuje, że wzrost zawartości białka ma wpływ na obniżenie wytrzymałości mechanicznej nie tylko endospermu ziarniaka, ale i jego okrywy owocowo-nasiennej, czyniąc ją bardziej wrażliwą na uszkodzenia mechaniczne, co potwierdzają proste regresji przedstawione na rysunkach 10 i 11.

DYSKUSJA

Jak wynika z szeregu prac badawczych, jedną z najbardziej nieuchwytnych cech fizycznych ziarna zbóż jest odporność mechaniczna. Rozwój metod badawczych zmierza ku upowszechnieniu metody szybkiej, dokładnej i obiektywnej. Tym wymaganiom najbardziej odpowiada, jak udowodniono, metoda kolorymetrycznego testowania uszkodzeń ziarna. Z jej istoty wynika, że wielkość uszkodzeń mechanicznych ziarna można określić na drodze pomiaru koncentracji barwnika Fast Green w roztworze testowym. Ilość zaabsorbowanego barwnika jest proporcjonalna do wielkości powierzchni uszkodzonych.

Przyjęcie w praktyce określonych kryteriów oceny uszkodzeń mechanicznych powinno być podyktowane znajomością związku pomiędzy określonym rodzajem sił zewnętrznych a wartością ekstynkcji testowanego roztworu dla danej formy i odmiany ziarna pszenicy z uwzględnieniem odpowiednich wymagań jakościowych w stosunku do materiału konsumpcyjnego i siewnego.

W przedstawionej pracy przeanalizowano związek pomiędzy poziomem obciążeń jednostkowych ziarna pszenicy a wartościami ekstynkcji testowanych roztworów. Przyjęty sposób wywierania obciążeń mechanicznych na ziarno pozwala w warunkach laboratoryjnych modelować obciążenia statyczne, które można odnieść do dowolnie wybranego zakresu i charakteru obciążeń dynamicznych w trakcie badań porównawczych.

Analiza wariancji potwierdza istotny wpływ zarówno odmian, jak i warunków agrometeorologicznych na poziom uszkodzeń mechanicznych ziarna, a ponadto dowodzi, że charakter podatności ziarna na te uszkodzenia ze wzrostem zawartości białka jest odmienny u obu form pszenicy. Fenomen ten dotyczy rów-

nież zróżnicowanej odporności mechanicznej okrywy ziarna w próbach kontrolnych, pochodzących z omłotu ręcznego.

Z najnowszych badań nad białkiem ziarna pszenicy / 24 / wynika, że zróżnicowanie odporności mechanicznej endospermu wynika głównie z adhezji pomiędzy ziarnem skrobi i białkiem. Mechanizm tego wiązania, jak stwierdzają autorzy tej pracy, nie jest jeszcze dostatecznie poznany, aczkolwiek prowadzone są w tym kierunku intensywne badania.

Również studia nad zagadnieniem związku pomiędzy zasobnością gleby oraz genetycznymi czynnikami warunkującymi zawartość białka w ziarnie a budową morfologiczną okrywy owocowo-nasiennej ziarniaków pszenicy mogłyby przyczynić się do wyjaśnienia tego zjawiska. Znaczenie praktyczne mogą mieć także badania prowadzone pomiędzy podatnością ziarna pszenicy na uszkodzenia mechaniczne a cechami jakościowymi tego surowca.

Metoda kolorymetryczna, przy ścisłym przestrzeganiau przyjętych warunków przygotowywania roztworów testowych oraz przeprowadzania pomiarów koncentracji barwnika w tym roztworze, pozwoliła na uchwycenie nieznanych dotychczas zależności. Jej upowszechnienie dla celów badawczych jak i praktycznych w Polsce wymaga udostępnienia specjalnego zestawu do przygotowywania roztworów testowych, by rezultaty oceny mogły być porównywalne.

Kierując się wymogami stawianymi praktycznemu wykorzystaniu metody i jej upowszechnieniu, opracowano - poza zakresem niniejszej pracy - półautomatyczny zestaw do sporządzania roztworów testowych oraz symulator uszkodzeń mechanicznych ziarna. Wymienione opracowania zostały zgłoszone jako wzory użytkowe do urzędu patentowego PRL i aktualnie znajdują się

w stadium opracowania prototypów.

WNIOSKI

Uzyskane rezultaty badań własnych oraz przeprowadzona analiza statystyczna pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Zastosowanie metody kolorymetrycznej umożliwiło dokładny opis zachowania się ziarna pszenicy w warunkach oddziaływania określonego rodzaju sił zewnętrznych. W miarę wzrostu obciążeń jednostkowych od 0 dp 10 MPa wielkość uszkodzeń, mierzona wartością ekstynkcji, wzrasta od 0.6 do 35.0 dla pszenicy jarej oraz od 1.4 do 55.9 dla pszenicy ozimej.

2. Stwierdzono, że podatność ziarna pszenicy na uszkodzenia mechaniczne, za miarę której przyjęto wartości wskaźnika - Wpu, jest zdeterminowana właściwościami genetycznymi (odmiany) i warunkami agrometeorologicznymi (lata). W przypadku ziarna pszenicy jarej wskaźnik ten najsilniej jest zdeterminowany wpływem lat, natomiast w przypadku ziarna pszenicy ozimej - wpływem odmian. Dla ziarna pszenicy jarej wartość tego parametru waha się od 4.31 (1982) do 8.34 (1981), a dla pszenicy ozimej od 8.76 (Panda) do 21.23 (Liwilla).

3. Zastosowane w doświadczeniu polowym zróżnicowane nawożenie NPK powodowało istotne zmiany średnich wartości wskaźnika ~~ekstynkcji~~ w obrębie obu form pszenicy. Wielkości dotyczące pszenicy jarej obejmowały przedział od 5.98 (NPK III) do 7.38 (NPK I), natomiast dla pszenicy ozimej od 13.01 (NPK I) do 15.71 (NPK III).

4. Obciążenia statyczne powodujące uszkodzenia ziarna, wska-

zują na istotny związek pomiędzy poziomem absorpcji barwnika Fast Green a zawartością białka. W ziarnie pszenicy jarej stwierdzono spadek poziomu absorpcji barwnika wraz ze wzrostem zawartości białka, co świadczy o wzroście odporności mechanicznej ziarna, natomiast u pszenicy ozimej - wzrost tej absorpcji, a więc większą podatność ziarniaków na uszkodzenia.

5. Stwierdzono, że ziarno pszenicy nawet przy nieznacznych siłach zewnętrznych (omłot ręczny) ulega uszkodzeniu, co potwierdzają wartości ekstynkcji, od 0.6 do 3.7 - dla materiału kontrolnego formy jarej oraz od 1.4 do 5.0 - dla formy ozimej

6. Istotne zróżnicowanie wskaźnika podatności ziarna na uszkodzenia mechaniczne w zależności od zawartości białka stanowić może ważny etap w pracach badawczych, poświęconych opracowywaniu wyróżników technologicznych ziarna pszenicy. Na obecnym etapie poznania zachowanie się ziarna pszenicy zwyczjnej w warunkach obciążeń statycznych wskazuje na celowość kontynuowania badań nad określeniem związku pomiędzy podatnością ziarna pszenicy na uszkodzenia mechaniczne a jego cechami jakościowymi.

7. Przeprowadzone badania wskazują na zasadność upowszechnienia metody kolorymetrycznej w kraju do oceny wielkości uszkodzeń mechanicznych ziarna pszenicy jako metody obiektywnej, łatwej, szybkiej i dokładnej.

TABELE

Tabela 1. Wartości średnie ekstynkcji dla próbek ziarna pszenicy jarej, młóconej ręcznie

Odmiana	Obciąż. jedn. (MPa)	Lata zbioru i poziomy nawożenia N P K 1981 I	1981 II	1981 III	1982 I	1982 II	1982 III	1983 I	1983 II	1983 III
Alfa	0	3.2	3.1	2.5	3.4	3.0	2.5	3.2	2.8	2.4
	2	4.7	4.2	3.4	4.5	4.0	3.1	4.3	3.7	3.5
	4	7.5	6.0	5.3	8.9	8.0	7.2	7.4	6.8	6.0
	6	11.1	8.8	7.8	13.0	10.4	9.1	11.0	10.5	9.1
	8	16.4	14.4	13.1	19.8	16.6	15.0	15.6	13.4	12.2
	10	23.8	21.8	20.6	26.0	22.2	20.8	19.7	16.0	14.6
Jara	0	3.0	2.5	2.0	1.6	1.4	1.1	1.1	0.8	0.6
	2	4.3	4.1	3.5	3.7	3.0	2.1	2.0	1.7	1.3
	4	5.9	5.3	4.6	4.6	4.1	3.4	4.5	3.9	3.0
	6	8.2	7.2	5.5	6.8	6.3	5.1	5.6	5.2	3.9
	8	12.2	11.2	8.9	10.8	9.7	8.6	7.5	6.7	6.3
	10	19.4	17.2	12.4	15.5	13.4	10.6	9.6	9.0	8.5
L G R 36/11	0	3.0	2.5	2.1	3.7	3.4	3.1	2.6	2.2	2 0
	2	3.4	2.7	2.4	4.0	3.7	3.4	3.9	3.7	3.3
	4	6.3	3.7	2.9	6.9.	6.6	5.5	5.0	4.4	4.1
	6	10.4	6.6	5.1	10.3	9.7	9.2	8.9	7.7	7.0
	8	13.8	11.4	9.1	15.1	13.1	12.2	11.8	10.6	10.1
	10	17.4	16.6	15.6	17.8	17.1	16.5	17.1	15.4	13.9

Tabela 2. Wartości średnie ekstynkcji dla próbek ziarna pszenicy jarej, młóconej maszynowo

Odmiana	Obciąż. jedn. (MPa)	Lata zbioru i poziomy nawożenia N P K 1981 I	1981 II	1981 III	1982 I	1982 II	1982 III	1983 I	1983 II	1983 III
Alfa	0	6.9	6.4	6.4	7.4	6.8	6.4	7.9	7.3	6.9
	2	8.6	7.8	7.3	8.3	8.1	7.3	8.4	7.6	7.2
	4	12.5	9.5	8.9	10.0	9.2	8.5	11.6	8.7	7.8
	6	13.4	12.4	12.0	11.8	10.9	9.3	18.9	10.8	10.3
	8	18.4	16.7	15.5	15.3	14.2	12.9	21.6	18.7	14.9
	10	29.4	27.7	25.0	22.4	20.4	14.8	23.7	23.5	22.3
Jara	0	7.3	6.6	5.8	5.4	5.1	4.8	7.7	7.3	7.1
	2	8.5	7.9	6.9	7.7	6.9	5.9	7.9	7.6	7.3
	4	12.8	12.4	11.1	9.7	9.2	8.6	11.2	10.9	9.6
	6	17.8	14.8	13.4	10.5	9.9	9.0	15.0	14.2	13.7
	8	26.1	22.1	20.1	14.8	13.6	13.1	20.3	18.1	17.1
	10	35.0	29.5	26.6	20.3	18.2	15.3	23.3	22.6	21.9
L G R 36/11	0	8.2	7.8	7.3	5.7	5.4	4.9	6.4	6.0	5.8
	2	8.8	8.2	8.1	6.5	6.0	5.8	7.4	7.1	6.7
	4	13.6	11.7	10.3	9.9	9.4	9.0	8.6	7.9	7.6
	6	17.1	15.9	13.9	11.7	11.3	10.3	13.9	12.1	10.8
	8	21.6	20.2	18.0	12.5	11.3	11.3	15.3	14.1	13.5
	10	25.9	23.1	21.3	15.5	14.7	14.2	20.4	18.6	17.0

Tabela 3. Wartości średnie ekstynkcji dla próbek ziarna pszenicy ozimej, młóconej ręcznie

Odmiana	Obciąż. jedn. (MPa)	Lata zbioru i poziomy nawożenia N P K 1981 I	1981 II	1981 III	1982 I	1982 II	1982 III	1983 I	1983 II	1983 III
Liwilla	0	2.4	3.0	3.8	1.4	1.9	3.2	1.7	2.5	2.9
	2	3.5	3.9	4.7	3.4	3.8	4.5	2.4	2.9	3.7
	4	6.3	7.4	7.8	5.5	6.5	8.0	5.8	6.2	6.6
	6	11.7	12.9	13.9	10.6	12.0	13.1	10.3	13.1	13.8
	8	19.7	20.9	22.3	16.0	20.9	21.9	19.5	22.9	23.7
	10	30.2	33.0	37.4	28.0	33.5	34.7	31.5	35.8	39.3
Grana	0	2.7	3.7	4.4	2.4	2.9	3.4	2.1	2.4	2.8
	2	3.6	4.4	6.9	3.2	4.0	4.7	2.2	2.7	2.8
	4	5.9	6.5	8.7	4.7	5.4	5.9	5.0	5.5	5.9
	6	10.8	11.9	14.5	8.2	10.2	12.1	8.0	9.3	11.2
	8	19.1	24.0	26.6	20.5	25.0	28.7	17.6	18.6	18.9
	10	36.7	40.3	42.9	31.5	33.1	36.0	25.9	27.9	28.0
Panda	0	3.8	4.3	5.0	2.9	3.5	4.0	2.2	2.6	2.7
	2	4.4	5.8	6.4	3.5	4.3	4.9	2.4	2.9	3.7
	4	6.1	6.8	7.8	4.9	5.6	6.3	4.8	5.1	5.2
	6	8.1	9.1	11.2	6.9	8.0	9.0	8.4	9.4	11.1
	8	11.3	13.0	14.9	11.1	12.6	14.0	15.2	16.0	17.0
	10	17.4	19.7	20.8	17.8	18.9	21.9	24.8	25.4	26.6

Tabela 4. Wartości średnie ekstynkcji dla próbek ziarna pszenicy ozimej, młóconej maszynowo

Odmiana	Obciąż. jedn. (MPa)	Lata zbioru i poziomy nawożenia N P K 1982 I	1982 II	1982 III	1983 I	1983 II	1983 III	1984 I	1984 II	1984 III
Liwilla	0	6.0	6.9	7.8	4.2	5.0	6.2	5.0	5.2	5.3
	2	6.9	7.3	8.3	5.2	6.1	7.6	5.2	5.3	5.3
	4	7.3	7.8	9.4	7.5	9.0	10.0	7.0	7.4	7.6
	6	15.2	16.5	18.9	14.5	18.5	19.5	14.2	16.4	16.9
	8	25.6	28.4	30.3	28.6	31.1	33.2	28.2	29.0	29.6
	10	34.9	42.9	49.6	36.9	40.0	42.8	40.4	41.6	42.2
Grana	0	7.6	8.7	9.6	5.2	5.8	6.3	5.2	5.4	5.4
	2	8.1	9.5	10.9	6.1	6.8	7.8	5.4	5.4	5.5
	4	11.2	11.6	14.3	6.4	7.3	8.3	7.6	7.9	8.0
	6	16.6	17.8	21.0	11.4	13.3	15.4	11.6	14.0	15.4
	8	26.4	32.3	35.3	24.8	29.8	34.1	22.4	23.4	23.6
	10	48.0	52.7	55.9	37.1	39.3	42.7	31.1	32.6	33.3
Panda	0	7.2	8.3	8.9	6.8	7.4	8.1	5.3	5.6	5.9
	2	7.9	9.5	10.2	8.0	8.8	9.5	5.5	5.8	6.6
	4	9.8	10.5	11.6	9.0	9.8	10.5	8.1	8.2	8.8
	6	11.9	13.0	15.3	10.7	11.3	12.9	12.5	12.9	14.6
	8	15.4	17.3	19.4	16.3	17.6	19.0	19.4	20.1	20.6
	10	22.2	24.3	26.0	23.4	24.6	28.9	30.2	30.5	31.7

Tabela 5. Parametry równania (4) dla ziarna pszenicy jarej

Odmiana	Sposób omłotu	Parametry	Lata zbioru i poziomy nawożenia N P K 1981 I	1981 II	1981 III	1982 I	1982 II	1982 III	1983 I	1983 II	1983 III
Alfa	ręczny	Eo	3.76	2.96	2.30	3.14	2.81	2.59	3.34	1.92	1.30
		a	0.20	0.18	0.18	0.16	0.14	0.10	0.15	0.14	0.13
	maszyn.	Eo	7.07	6.18	5.02	7.33	6.94	6.81	9.21	6.52	5.98
		a	0.21	0.20	0.18	0.14	0.13	0.08	0.17	0.17	0.15
Jara	ręczny	Eo	4.30	3.72	2.96	2.35	2.09	1.63	4.21	3.84	3.35
		a	0.23	0.19	0.18	0.13	0.11	0.09	0.15	0.14	0.14
	maszyn.	Eo	7.75	7.31	6.49	6.41	6.08	5.75	8.19	7.79	7.26
		a	0.28	0.22	0.20	0.14	0.12	0.10	0.16	0.15	0.15
L G R 36/11	ręczny	Eo	4.15	3.97	3.50	2.07	1.71	1.12	3.04	2.67	2.48
		a	0.16	0.13	0.12	0.08	0.08	0.08	0.14	0.13	0.12
	maszyn.	Eo	9.52	8.60	7.93	7.01	6.59	6.15	6.96	6.45	6.14
		a	0.18	0.16	0.14	0.09	0.08	0.08	0.14	0.12	0.11

Tabela 6. Parametry równania (4) dla ziarna pszenicy ozimej

Odmiana	Sposób omłotu	Parametry	Lata zbioru i poziomy nawożenia N P K 1982 I	1982 II	1982 III	1983 I	1983 II	1983 III	1984 I	1984 II	1984 III
Li-willa	ręczny	Eo	1.12	1.76	2.89	0.98	1.83	2.20	1.21	1.96	2.15
		a	0.29	0.35	0.38	0.30	0.33	0.34	0.35	0.33	0.35
	maszyn.	Eo	4.88	4.64	5.28	3.47	4.79	5.81	3.06	3.48	3.57
		a	0.31	0.37	0.42	0.35	0.37	0.38	0.37	0.38	0.39
Grana	ręczny	Eo	1.06	1.68	3.04	0.87	1.74	2.31	1.16	1.64	2.13
		a	0.33	0.37	0.38	0.30	0.32	0.35	0.24	0.25	0.26
	maszyn.	Eo	5.30	5.99	7.67	3.11	4.01	4.78	3.99	4.40	4.57
		a	0.39	0.44	0.46	0.33	0.36	0.39	0.27	0.28	0.29
Panda	ręczny	Eo	3.69	4.41	5.38	2.53	3.25	3.59	1.31	1.81	2.27
		a	0.13	0.14	0.15	0.15	0.15	0.17	0.23	0.23	0.24
	maszyn.	Eo	7.11	8.16	9.10	6.45	7.14	7.49	4.36	4.66	5.31
		a	0.14	0.15	0.17	0.16	0.17	0.20	0.25	0.25	0.26

Tabela 7. Wartości średnie wkaźnika podatności ziarna - Wpu pszenicy jarej

Odmiana	Poz. NPK	Lata zbioru i sposoby omłotu 1981 ręczny	1981 maszyn.	1982 ręczny	1982 maszyn.	1983 ręczny	1983 maszyn.	Srednie
Alfa	I	8.91	6.86	6.30	5.28	7.53	10.02	7.48
	II	8.43	7.12	5.93	4.96	7.67	10.02	7.36
	III	7.72	6.56	4.28	4.37	6.20	7.07	6.03
Srednie		8.35	6.85	5.51	4.87	7.13	9.04	6.96
Jara	I	10.93	13.34	6.11	5.09	8.18	9.12	8.80
	II	8.63	9.78	5.52	4.42	6.50	7.23	7.01
	III	7.73	9.05	5.21	4.08	6.70	7.43	6.70
Srednie		9.10	10.72	5.62	4.53	7.13	7.93	7.50
LGR 36/11	I	8.21	7.94	3.04	2.49	6.72	6.72	5.86
	II	6.53	8.51	2.80	1.93	6.23	6.19	5.36
	III	6.24	7.63	3.30	2.36	5.93	5.87	5.22
Srednie		6.99	8.02	3.05	2.26	6.29	6.26	5.48
Srednie		8.15	8.53	4.72	3.89	6.85	7.74	6.65

Poziomy NPK	Sposoby omłotu ręczny	maszyn.	Srednie
I	7.33	7.43	7.38
II	6.47	6.68	6.57
III	5.92	6.05	5.98
Lata:			
1981	8.15	8.53	8.34
1982	4.72	3.89	4.31
1983	6.85	7.74	7.30
Odmiany:			
Alfa	7.00	6.92	
Jara	7.28	7.73	
LGR 36/11	5.44	5.51	
Srednie	6.57	6.72	

NIR dla:

odmiany
poz.NPK 0.27
lat zb.

dla interakcji pierwszego rzędu:

odmiany x poz.NPK
odmiany x lata zb. 0.63
poz. NPK x lata zb.
sp. omł. x lata zb. 0.47

Tabela 8. Wartości średnie wkaźnika podatności ziarna - Wpu pszenicy ozimej

Odmiana	Poz. NPK	Lata zbioru i sposoby omłotu 1982 ręczny	1982 maszyn.	1983 ręczny	1983 maszyn.	1984 ręczny	1984 maszyn.	Srednie
Liwilla	I	13.36	18.27	10.43	21.08	13.71	21.26	16.35
	II	13.51	20.63	14.42	22.10	16.67	21.58	18.14
	III	14.52	20.93	13.97	23.18	17.11	21.98	18.61
Srednie		13.80	19.95	12.94	22.12	15.83	21.61	17.71
Grana	I	13.27	15.22	15.73	18.43	12.53	14.77	14.99
	II	17.47	20.62	19.56	22.47	13.08	15.48	18.11
	III	17.89	21.01	22.91	25.75	12.99	15.62	19.36
Srednie		16.21	18.95	19.40	22.22	12.87	15.29	17.49
Panda	I	5.14	5.62	6.21	7.31	10.42	11.35	7.68
	II	6.12	6.71	6.99	7.73	10.92	11.86	8.39
	III	7.12	7.83	7.70	8.56	11.83	11.84	9.14
Srednie		6.13	6.72	6.97	7.87	11.06	11.68	8.40
S r e d n i e		12.04	15.20	13.10	17.40	13.25	16.19	14.53

Poziomy NPK	Sposoby omłotu ręczny	maszyn.	Srednie
I	11.20	14.81	13.01
II	13.19	16.58	14.88
III	14.00	17.41	15.71
L a t a:			
1982	12.04	15.20	
1983	13.10	17.40	
1984	13.25	16.19	
Odmiany:			
Liwilla	14.19	21.23	
Grana	16.16	18.82	
Panda	8.05	8.76	
Srednie	12.80	16.26	

N I R dla:	
odmiany poz. NPK	0.14
lat zb.	
sp. omł.	0.10
dla interakcji pierwszego rzędu:	
odmiany x poz. NPK	
odmiany x lata zb.	0.33
poz. NPK x lata zb.	
sp. omł. x odmiany	0.25
sp. omł. x lata zb.	0.25

Tabela 9. Wartości średnie wkaźnika - Wpu pszenicy jarej i ozimej

Forma pszenicy	Sposoby omłotu ręczny	maszynowy	Srednie
Jara	6.53	6.76	6.65
Ozima	12.80	16.27	14.53
Srednie	9.67	11.51	10.59

N I R dla:
formy 0.88
sp. omł 0.88

Tabela 10. Średnia zawartość białka w ziarnie pszenicy jarej

Odmiana	Poz. NPK	Lata zbioru 1981	1982	1983	Srednie
Alfa	I	11.4	13.1	13.4	12.6
	II	12.7	14.9	14.2	13.9
	III	13.5	15.3	14.7	14.5
Srednie		12.5	14.4	14.1	13.7
Jara	I	12.2	14.1	13.4	13.3
	II	13.8	15.4	15.0	14.8
	III	15.3	16.3	16.0	15.9
Srednie		13.8	15.3	14.8	14.6
L G R 36/11	I	15.2	16.5	16.1	15.9
	II	16.8	17.3	17.1	16.9
	III	17.3	17.8	17.4	17.5
Srednie		16.4	17.2	16.9	16.8
S r e d n i e		14.3	15.6	15.2	15.0

Odmiana	Poziomy N P K I	II	III
Alfa	12.6	13.9	14.5
Jara	13.3	14.8	15.9
LGR 36/11	15.9	16.9	17.5
Srednie	13.9	15.2	16.0

N I R dla: odmian, lat zb. i poz. N P K 0.18

interakcji; odmiany x lata zbioru
odmiany x poz. N P K 0.43
lata zb. x poz. N P K

Tabela 11. Średnia zawartość białka w ziarnie pszenicy ozimej

Odmiana	Poz. NPK	Lata zbioru 1982	1983	1984	Średnie
Liwilla	I	11.8	10.2	10.0	10.7
	II	12.8	11.5	10.9	11.7
	III	13.3	12.3	11.5	12.4
Średnie		12.6	11.3	10.8	11.6
Grana	I	12.7	10.6	11.4	11.6
	II	14.0	11.6	12.4	12.6
	III	14.4	12.7	13.1	13.4
Średnie		13.7	11.6	12.2	12.5
Panda	I	13.2	11.6	11.4	12.1
	II	14.1	13.3	12.6	13.6
	III	14.6	13.7	13.2	13.8
Średnie		14.0	12.9	12.4	13.1
S r e d n i e		13.4	12.0	11.8	12.4

Odmiana	Poziomy N P K I	II	III
Liwilla	10.7	11.7	12.4
Grana	11.6	12.6	13.4
Panda	12.1	13.6	13.8
Średnie	11.4	12.5	13.2

N I R dla: odmian, lat zb. i poz. N P K 0.27

interakcji; odmiany x lata zbioru 0.63

Tabela 12. Parametry równania regresji liniowej (5) dla ziarna pszenicy jarej

Odmiana	Parametry	Lata zbioru i sposoby omłotu 1981 ręczny	1981 maszyn.	1982 ręczny	1982 maszyn.	1983 ręczny	1983 maszyn.
Alfa	E(o)	6.61	9.45	8.47	12.61	12.13	18.10
	k	-0.29	-0.22	-0.41	-0.40	-0.68	-0.76
Jara	E(o)	7.02	13.14	4.78	8.86	6.49	10.72
	k	-0.29	-0.48	-0.22	-0.25	-0.21	-0.23
L G R 36/11	E(o)	8.63	16.32	7.04	15.23	9.39	13.85
	k	-0.35	-0.53	-0.36	-0.58	-0.42	-0.46

Tabela 13. Parametry równania regresji liniowej (6) dla ziarna pszenicy ozimej

Odmiana	Parametry	Lata zbioru i sposoby omłotu 1982 ręczny	1982 maszyn.	1983 ręczny	1983 maszyn.	1984 ręczny	1984 maszyn.
Liwilla	E(o)	-7.18	-6.64	-6.62	-5.32	-7.62	3.33
	k	0.81	1.07	0.77	0.92	0.93	0.17
Grana	E(o)	-8.96	-6.21	-2.64	0.03	-2.78	4.18
	k	0.91	1.08	0.48	0.49	0.43	0.09
Panda	E(o)	-5.00	-8.16	-2.53	0.69	-0.68	1.79
	k	0.69	1.17	0.46	0.52	0.25	0.31

PIŚMIENNICTWO

1. Aleksandrow W. G., Aleksandrowa O. G.: Ob otmirani razruszienja jader w kletkach endosperma złakow, kak odnom iz ważniejszich faktorow, obusławliwajuszczich naliw ziernowki. Wyd. AN ZSRR. 1954, 5, 88-103.
2. Aramowicz B., Adamczyk B., Staszewski P., Grundas S.: Gas diffusion and absorption of stain in wheat grains with various internal structures. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 1985, 304,85-91.
3. Arnold P.C., Roberts A. W.: An investigation of stress fields in wheat grains, using photoelastic and numerical techniques. J. Agric. Eng. Res. 14(2), 126-133.
4. Barlow K.K., Buttrose M.S., Simonds D.H., Vesk M.: The nature of the starch-protein interface in wheat endosperm. Cereal Chem. 1973, 50 (3), 443-454.
5. Bogdanowicz J., Mosz J., Molendowski F.: Badania zbieraczy kolb kukurydzy Bourgoin GM-3. Zesz. Nauk. AR Wrocław. 1981, 133, 227-234.
6. Brocklehurst P.A., Evers A.D.: The size distribution of starch granules in endosperm of different sized kernels of the wheat cultivar Maris Huntsman. J. Sci. Fd. Agric. 1977, 28, 1084-1089.
7. Caldwell F., Hampson G.: Germination of acid-treated samples as a means of assesing mechanical damage in barley. Institute of Brewing Journal 1985, 64, 319-326.

8. C a m p b e l l J.D., J o n e s C.R.: The rates penetration of moisture to different points in the several cross sections of the endosperm in damped Monitoba wheat grains. Cereal Chem. 1957, 34(2), 110-116.

9. C a m p b e l l J.D., J o n e s C.R.: The effect of temperature on the rate of penetration of moisture within damped wheat grain. Cereal Chem. 1955, 32, 132-139.

10. C h o w d h u r y M.H.: Methods for determining grain damage (mechanical). Proc. of the 4-th International Conf. on Mechanization of Field Experiments Iowa. 1976, 216-228.

11. C h o w d h u r y M.H., B u c h e l e W.F.: Colorimetric determination of grain damage. Trans. ASAE. 1976, 19(5), 807-808 i 811.

12. C h o w d h u r y M.H., B u c h e l e W.F.: Development of a numerical damage index for critical evaluation of grain amage. Trans. ASAE, 1976, 19(3), 428-432.

13. C h o w d h u r y M.H., B u c h e l e W.F.: Effects of the operating parameters of the rubber rolles sheller. Trans. ASAE. 1975, 18, 482-486 i 490.

14. C h o w d h u r y M.H., M o r l e y S.J., B u c h e l e W.F.: Effects of different bio-parameters for colorimetric evaluation of grain damage. Trans. ASAE. 1976, 19, 1019-1021.

15. C h r i s t e n b u r y G.D., B u c h e l e W.F.: Photoelektric system for measuring mechanical damage of corn. Trans. ASAE. 1977, 20(5), 972-975.

16. C h u n g D.S., C o n v e r s e M.H.: Internal damage of wheat by radiographical examination. Trans. ASAE, 1968, 13(3), 295-297 i 302.

17. D e n n e t K., S t e r l i n g C.: Role of starch in bread formation. Starch. 1979, 31(6), 209-213.

18. D o S u p C h u n g, C o n v e r s e H.H.: Internal damage of wheat analyzed by radiographical examination. Trans. ASAE, 1970, 13(3), 295-297 i 302.

19. E v e r s A.D., L i n d l e y J.: The particle - size distribution wheat endosperm grain. J.Sci.Fd.Agric. 1977, 28, 98- 102.

20. F r o n t c z a k J., B o g d a n o w i c z J.: The studies on corn resistance to the compression strenght, strain and work necessary to damage the husk of the kernel. Proc. of the 3-rd Interational Conf. in the Univ. of Agric. in Praque (CSRS). 1985, 233-238.

21. G i e r o b a J., D r e s z e r K., G r u n d a s S.: Uszkodzenia ziarna w zespołach roboczych kombajnu zbożowego. Roczn. Nauk Roln. 1986, 76-C-4, 87-95.

22. G ł a d k o w s k i A.: Białko ogólne i liczba sedymentacji. Przegl. Zboż.- Młyn. 1985, 5/6, 1-3.

23. G ł a d k o w s k i A.: Swiatowa produkcja pszenicy w 1985 roku. Przegl. Zboż.-Młyn. 1985, 5/6, 18.

24. G r e e n w e l l P., S c h o f i e l d J.D.: A starch granule protein associated with endosperm softness in wheat. Cereal Chem. 1986, 63(4), 379-380.

25. G r u n d a s S.: Próba określenia związku pomiędzy obciążeniem statycznym a porowatością ziarna pszenicy. Roczn. Nauk Roln. 1979, 73-C-4, 71-93.

26. G r u n d a s S., H n i l i c a P.: Typy endospermu ziarna pszenicy a jego właściwości mechaniczne. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. z.320 (w druku).

27. G r u n d a s S., H o r a b i k J.: Wpływ wilgotności

na lepkosprężyste właściwości zboża. Biofizyka (prace doświadczalne). Wyd. WSR-P Siedlce. 1980, 299-316.

28. Grundas S., Horabik J., Kuczyński A.: Zachowanie się masy ziarna pszenicy podczas cyklicznych obciążeń statycznych. Roczn. Nauk Roln. 1980, 74-C-2, 177-187.

29. Grundas S., Horabik J., Woźniak W., Kocoń J.: Niektóre skutki zmian strukturalnych w uszkodzonych ziarnach pszenicy. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 1983, 258, 449- 470.

30. Grundas S., Kustermann M.: Bestimmung des Aufbaus eines Weizenkorns. 3.Tagung Physic und Landwirtschaft in Reinhardsbrunn (DDR). 1984, 182 - 185.

31. Grundas S., Styk B.: Estimation of some structural properties of wheat grain. Proc. of the 3-rd International Conf. in the Univ. of Agric. in Praque (CSRS). 1985, 307 - 311.

32. Grundas S., Styk B., Kustermann M., Dorrer-Ibrahim D.: A comparative study of mechanical damage to winter wheat grain using colorimetric and conductometric methods. 4. Tagung Physic und Landwirtschaft in Rostock (DDR). 1987, 146 - 153.

33. Grundas S., Szot B.: Biological effects of static loading of wheat grain in mass. Zeszyty Probl. Post. Nauk Roln. 1978, 203, 515-520.

34. Grundas S., Szot B.: Untersuchung der mechanischen beschadigungen von weizenkornern mit der kolorimetrischen methode. 2. Tagung Physik und Landwirtschaft in Berlin (DDR). 1982, 208, 107-111.

35. Grzesiuk S., Kulka K.: Fizjologia i bioche-

mia nasion. PWRiL Warszawa 1981, 80-106.

36. H n i l i c a P., G r u n d a s S.: Mereni dynamickeho Youngova modulu endospermu obili pulsni ultrazvukovou metodou. Zemedelska technika. 1983, 29, 65-80.

37. H n i l i c a P., G r u n d a s S.: Wheat endpsperm investigated as composite material. Proc. of the 3-rd International Conf.in the Univ. of Agric. in Praque (CSRS). 1995, 325-332.

38. J o n e s C.R., C a m p b e l l J.D.: Micro-determination of endosperm density as a means of mapping moisture distribution in wheat grains. Cereal Chem. 1953, 30, 177-189.

39. K a n i e w s k i K., D a l k i e w i c z H.: Badania porównawcze nad budową okrywy owocowej ziarniaków pszenicy. Roczn. Nauk Roln. 1959, 84-D, 5-102.

40. K a r l s s o n R., O l e r e d R., E l i a s s o n A.C.: Changes in starch granule size distribution and starch gelatinization properties during development and maturation of wheat, barley and rye. Starch. 1983, 35(10), 335-340.

41. K e n t N.L., E v e r s A.D.: Fine grinding and air classification at subaleurone endosperm of high protein content. Cereal Sci. Today. 1969, 14(4), 142-147.

42. K e n t N.L., J o n e s C.R.: The cellular structure of wheat flour. Cereal Chem. 1952, 29, 383-398.

43. K l o c k i e w i c z - K a m i ń s k a E.: Metody badań i metody oceny jakości wypiekowej pszenicy. Przegl. Zboż.-Młyn. 1985, 9, 8-9.

44. K o c o ń J., G r u n d a s S.: Evaluation of the granularity of starch in wheat grain with the scanning elec-

tron microscopy. Proc. 3-rd International Conf. in the Univ. of Agric. in Praque (CSRS). 1985, 463-468.

45. K o e h l e r B.: Pericarp injures in seed corn. Biul. Illinois Agric. Exp. Station. 1957, 617.

46. K o l o w c a J.: Badanie odporności ziarna pszenicy na powstawanie mechanicznych uszkodzeń. Roczn. Nauk Roln. 1974, 71-C-3, 67-77.

47. K o l o w c a J.: Wpływ obciążeń mechanicznych na uszkadzalność i wartość biologiczną ziarna pszenicy. Zesz. Nauk. AR Kraków. 1979, 70.

48. K o ł g a n o w K.G.: O miechaniczieskich powrieżdienijach sjemian ziernowych kultur pri obmołotkie. Sbornik Trud. po ziemljedieczieskoj miechanikie. 1956,3, 231-246.

49. K o p e r R., G r u n d a s S.: Moduł Younga i absorpcji barwnika w ziarnie pszenicy o zróżnicowanej zawartości białka. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. z. 320, (w druku).

50. K u p e r m a n F.M.: Mechaniczieskoje powrieżdienije siemjan kak odna iz priczin razchorżdienii mieżdu laboratornoj i polewoj wschożestiu chlebnych zlakow. Trudy Ałtajsko S-ch. Instituta. 1948. 1.

51. L i t y ń s k i M.: Biologiczne podstawy nasiennictwa. PWN. 1977, 127.

52. L o r e n z K., Y e t t e r M., S a u n d e r s R.M.: Scanning elektron mikroscopy of maturing triticale, wheat and rye. Cereal Chem. 1978, 55(1), 66-76.

53. M a n b e c k H.B., N e l s o n G.L.: Methods and instrumentation for evaluating the stress-strain behavior of wheat in masse. Trans. ASAE. 1972, 15(5), 919-923.

54. M c G i n t y F.J.: Development of a standard grain

breakage tester. ASAE Paper. 1970, 70-501.

55. M i l c z a k M.: Hodowlane aspekty oceny fizycznych właściwości materiałów roślinnych. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. z.321, (w druku).

56. M i l n e r M., S h e l l e n b e r g e r J.A.: Physical properties of weathered wheat in relation to internal fissuring detected radiographically. Cereal Chem. 1953, 30, 202-212.

57. O b u c h o w s k i W., B u s h u k W.: Wheat hardness: Comparison of methods of its evaluation. Cereal Chem. 1980, 57(6), 421-425.

58. O r z e c h o w s k i J.: Metody zbioru pszenicy a jakość ziarna siewnego. Roczn. Nauk Roln. 1966, 68-C-1, 163-179.

59. O s t r o m ę c k i K.: Rentgenograficzna metoda oceny i klasyfikacji mechanicznych uszkodzeń ziarniaków pszenicy. Biul. IHAR. 1981, 143, 69-74.

60. P a v l o v A.N.: Aleurone layer, aleurone grains and protein bodies of caryopses in cereals. Physiol. and biochem. of cultiveted plants. 1972, 4(5), 464-473.

61. P o m e r a n z Y., M i l l e r B.S.: Wheat hardness: Its ignificance and determination. Proc. 7-th World Cereal and Bread Congress. in Praque (CSRS). 1982, 399-404.

62. S a w i n W.N., A r c h i p o w M.W., B a d e n k o A. L., J o f f e J.K., G r u n L.B.: Rentgienografija dlja wyjawlienja wnutriennych powrieżdienij i ich wlijanie na urożajnyje kacziestwa siemjan. Wiestn. s-ch. nauki. 1981, 10(301), 99-104.

63. S c h m i d t J.L., S a u l R.A., S t e e l e J.L.: Precision of estimating mechanical damage in shelled corn. US Dep.of Agric. Biul. 1968, 42-142.

64. Simmonds D.H., Barlow K.K., Wrigley C.W.: The biochemical basis of grain hardness in wheat. Cereal Chem. 1973, 5, 553-562.

65. Sockinger H.L., Wolf M.J.: Electron microscopy of endosperm protein from hard and soft wheats. Cereal Chem. 1970, 47, 236-243.

66. Stenvert N.L., Kingswood K.: The influence of the physical structure of the protein matrix on wheat hardness. J. Sci. Fd. Agric. 1977, 28, 11-19.

67. Stenvert N.L., Kingswood K.: Factors influencing the rate of moisture penetration into wheat during tempering. Cereal Chem. 1977, 54, 627-637.

68. Strona I.G.: Trawmirowanije siemjan i jewo prìedupriežđienije. Izd. Kołos. Moskwa. 1972.

69. Styk B., Grundas S.: Ocena wpływu poziomu nawożenia mineralnego na zawartość białka w ziarnie pszenicy jarej metodą kolorymetryczną. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. z. 320 (w druku).

70. Subda H.: Ilość białek glutenowych a wartość wypiekowa pszenicy. Przegl. Zboż.- Młyn. 1985, 9, 7.

71. Szot B., Grundas S.: Metodyka określania odporności ziarna zbóż na odkształcenia mechaniczne. Roczn. Nauk Roln. 1973, 70-C-3, 129-141.

72. Szot B., Grundas S.: Zastosowanie zestawu pomiarowego do dokładnego określania wymiarów ziarna zbóż. Biul. IHAR, 1974, 1(18), 103-112.

73. Szot B., Grundas S.: Zagadnienie zmienności niektórych cech fizycznych ziarna zbóż. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 1978, 202, 219-243.

74. Szot B., Stawiński J., Grundas S.:

Differentiation in the internal structure of wheat grain in the light of porosimetric investigation. 4. Tagung. Physik und Landwirtschaft in Rostock (DDR). 1977, 247-251.

75. W a l l G.H., N o r r i s E.R.: A technical note on the use of a colorimetric technique for evaluation mechanical corn kernel damage. Canadian J. Agric. Engeneering. 1981, 23, 67-68.

76. U n i t e d S t a t e s P a t e n t : Method of measuring mechanical damage to grain. 1976. Nr 4.020.682.

SOME ASPECTS OF WHEAT GRAIN SUSCEPTIBILITY TO MECHANICAL DAMAGE

S u m m a r y

Considering both cognitive and practical aspects of the problem, colorimetric studies of mechanical damage of spring and winter wheat (Triticum aestivum L.) were carried out according to original methodological conception in order estimate:

- the relation between wheat grain static load in mass and the level of mechanical damage,
- the influence of the chosen combination of field experiments on the differentiation of the grain vulnerability index,
- the influence of protein content on the level of mechanical damage.

On the basis of the so-gained results and statistic analysis the following conclusions may be drawn:

1. A detailed description of the behaviour of wheat grain under the influence of certain types of external forces is possible when colorimetric method is used. As intensity of continuous load increases from 0 to 10 MPa, the value of damage measured as the value of extinction increases from 0.6 to 35.0 for spring wheat, and from 1.4 to 55.9 for winter wheat.

2. It has been concluded, that vulnerability of wheat grain measured as an index Wpu, depends on genetic properties of grain (variety), and agrometeorological conditions (year). Spring wheat grain is largely influenced by the year, whereas winter wheat grain by variety. The value of this parameter ranges from 4.31 (1982) to 8.34 (1981) for spring wheat grain, and from 8.76 (Panda) to 21.23 (Liwilla) for winter wheat grain.

3. Differentiation of the levels of fertilization with N P K caused considerable differences in the mean values of vulnerability index extinction for both wheat types. The range for spring wheat was from 5.98 (NPK III) to 7.38 (NPK I), whereas for winter wheat it was from 13.01 (NPK I) to 15.71 (NPK III).

4. Static load causing grain damage showed the existance of a significant relation between the level of Fast Green stain absorption and protein content. The decrease of the level of stain absorption in spring wheat together with the increase of protein content meant the increase of mechanical resistance: whereas in winter wheat the increase in absorption meant less resistance to mechanical damage.

5. It was noticed that grain undergous damage even when

acting forces are very slight (hand thresing) which is also clear from the values of extinction for control material. For spring wheat they range from 0.6 to 3.7, and for winter wheat from 1.4 to 5.0.

6. A considerable and significant differentiation of the value of grain vulnerability index in relation to protein content may be an important consideration in working out technological indices for wheat. The behaviour of grain material in the conditions of static load shows clearly that it is worthwhile to continue studies on the relation between qualitative fetures of grain and its susceptibility to mechanical damage.

7. The studies showed the significance of the colorimetric method for evaluation of the level of mechanical wheat grain damage as it is an objective, simple and quick method.

Dotychczs ukazały się następujące zeszyty

PROBLEMOW AGROFIZYKI

1. Jan Gliński, Witold Stępniewski - Zastosowania chromatografii gazowej w badaniach gleboznawczych. 1972.
2. Piotr Kowalik - Podstawy teoretyczne pomiarów potencjału wody glebowej. 1972.
3. Jan Gliński, Jerzy Duliban - Potencjał oksydoredukcyjny w glebach. 1972.
4. Małgorzata Dąbek-Szreniawska - Mikrobiologiczne aspekty tworzenia się agregatów glebowych. 1972.
5. Bogusław Szot - Rozwój badań właściwości fizycznych materiałów rolniczych. 1972.
6. Ignacy Dechnik, Janusz Stawiński - Powierzchnia właściwa w badaniach fizykochemicznych i fizycznych gleb. 1973.
7. Adam Pukos, Ryszard Walczak - Podstawy teoretyczne badania właściwości mechanicznych gleb. 1973.
8. Bogusław Szot, Grażyna Kolemba - Metody oceny wylegania zbóż. 1973.
9. Janusz Haman, Bogusław Szot, Wanda Woźniak - Zagadnienie wymiany ciepła i masy w materiałach roślinnych. 1973.
10. Materiały seminarium poświęconego fizyce wody glebowej. Praca zbiorowa. 1973.
11. Henryk Czachor, Ryszard Walczak - Zamknięte źródła radioizotopowe w badaniach fizycznych właściwości gleb. 1974.
12. Zestawienie analizy spektralnej w badaniach rolniczych. Praca zbiorowa. 1974.

13. Krystyna Konstankiewicz, Adam Pukos, Ryszard Walczak - Domenowa teoria histerezy dla termodynamicznych procesów w glebie. 1974.
14. Jerzy Szczypa, Zofia Stępniewska - Zastosowanie radioizotopów do badania fizykochemicznych właściwości gleb. 1975.
15. Janusz Haman, Adam Pukos - Aktualne zagadnienia mechaniki gleb. 1975.
16. Jan Gliński, Zofia Stępniewska - Zastosowanie elektrod selektywnych w badaniach gleboznawczych. 1975.
17. Ignacy Dechnik, Jerzy Lipiec - Zwięzłość gleby jako czynnik środowiska rozwoju roślin. 1975
18. Ignacy Dechnik, Stanisław Tarkiewicz - Zmiany właściwości agrofizycznych gleb pod wpływem działania narzędzi aktywnych. 1975.
19. Ryszard Walczak, Barbara Witkowska - Metody badania i sposoby opisywania agregacji gleby. 1975.
20. Władysław Byszewski, Janusz Pala - Niektóre aspekty związku między poziomem mechanizacji produkcji roślinnej a właściwościami fizycznymi roślin. 1976.
21. Ignacy Dechnik, Ryszard Dębicki - Czynniki zaskorupiania gleb oraz metody przeciwdziałania temu zjawisku. 1976.
22. Helena Lisowa, Janusz Haman, Tadeusz Lis - Właściwości cieplne ciał kapilarno-porowatych i metody ich pomiaru. 1976.
23. Ignacy Dechnik, Ryszard Dębicki - Wykorzystanie syntetycznych środków do ulepszania gleb. 1977.
24. Ludomir Pavel, Stanisław Uziak - Metody badania składu i właściwości mineralnych wysokodyspersyjnych składników gleb. 1977.

25. Małgorzata Dąbek-Szreniawska, Maria Drążkiewicz - Zagadnienie sorpcji mikroorganizmów w glebach. 1977.
26. Ryszard Turski, Henryk Domżał, Anna Słotwińska-Jurkiewicz, Jan Hodara - Metody badania i wskaźniki oceny agrofizycznego efektu działania narzędzi uprawowych na glebę. 1977.
27. Jan Kossowski, Ewa Sikora - Cieplne właściwości gleb i metody ich wyznaczania. 1978.
28. Edmund Ślusarczyk, Ewa Kośmider - Potencjał wody w glebie i roślinie oraz metody jego oznaczania. 1978.
29. Bogusław Szot, Jerzy Tys - Przyczyny osypywania się nasion roślin oleistych i strączkowych oraz metody oceny tego zjawiska. 1979.
30. Jolanta Kaniewska, Piotr Kowalik - Numeryczne równania przepływu wody w glebie. 1979.
31. Marek Malicki - Przegląd metod pomiaru wilgotności gleb i oceny ich przydatności w badaniach polowych. 1979.
32. Ignacy Dechnik, Jerzy Lipiec - Przewodnictwo wodne gleby w strefie nienasyconej i metody jego pomiaru. 1980.
33. Bogusław Szot, Józef Horabik - Zagadnienia mechaniki ośrodków sypkich pochodzenia roślinnego. 1980.
34. Jerzy Szczypa, Jerzy Czajkowski - Stabilność układów zdyspergowanych w procesy flokulacji i aglomeracji. 1980.
35. Stanisław Dąbrowski, Józef Grochowicz, Wiktor Pietrzyk - Elektryczne właściwości nasion i ich praktyczne wykorzystanie. 1981.
36. Słownik agrofizyczny. Praca zbiorowa. 1981.
37. Piotr Staszczuk, Andrzej Waksmundzki - Właściwości warstewek hydratacyjnych na powierzchni ciał stałych. 1981.
38. Grażyna Skubisz - Zagadnienie sprężystości źdźbła zbóż. 1982.

39. Jan Gliński, Witold Stępniewski, Stanisław Łabuda - Pobierania tlenu i wydzielanie dwutlenku węgla w środowisku glebowym. 1983.
40. Jerzy Lipiec - Możliwości oceny przewodnictwa wodnego gleb na podstawie ich niektórych właściwości. 1983.
41. Ryszard Walczak - Modelowe badania zależności retencji wodnej od parametrów fazy stałej gleby. 1983.
42. Witold Stępniewski, Jan Gliński - Procesy transportu gazów w glebie i skład powietrza glebowego. 1983.
43. Jan Gieroba, Kazimierz Dreszer - Proces przemieszczania ziarna w przenośnikach śrubowych i zabierakowych. 1984.
44. Jan Gliński, Witold Stępniewski - Procesy biologiczne i chemiczne w glebie uzależnione od jej stanu natlenienia. 1984.
45. Witold Stępniewski, Jan Gliński - Reakcja roślin na stan aeracji gleby. 1984.
46. Witold Stępniewski, Jan Gliński - Metody pomiaru wskaźników aeracji gleb. 1984.
47. Krystyna Konstankiewicz - Porowatość gleby, definicje i metody. 1985.
48. Józef Horabik - Opis początkowej fazy grawitacyjnego wypływu roślinnego ośrodka ziarnistego ze zbiornika. 1985.
49. Tadeusz Wolski, Jan Gliński - Odpady przemysłowe i ich przetwarzanie na sole techniczne oraz preparaty do nawożenia gleb i żywienia zwierząt. 1985.
50. Jan Gieroba, Kazimierz Dreszer - Problemy strat i uszkodzeń ziarna podczas kombajnowego zbioru. 1986.
51. Krystyna Konstankiewicz - Wpływ prędkości odkształceń na charakterystyki mechaniczne gleb. 1987.

52. Stanisław Łabuda - Wpływ stresów tlenowych na zawartość składników mineralnych w roślinach. 1987.

53. Janusz Stawiński, Edmund Kozak, Mieczysław Hajnos - Elektrofiltracja - metoda i jej zastosowanie w analizie glebowej. 1987.

Problemy Agrofizyki można
nabyć w księgarni OR PAN
PAŁAC KULTURY i NAUKI
00-901 W a r s z a w a