

WPLYW POZIOMU NAWOŻENIA MINERALNEGO NA WŁAŚCIWOŚCI
SPRĘŻYSTE TWORZYWA ŚCIAN KOMÓRKOWYCH ŻDZBŁA RÓŻNYCH
GATUNKÓW ZBÓŻ

Helena Gawda

Zakład Fizyki Technicznej AR w Lublinie

·Maria Mikos

Katedra Chemii Ogólnej i Biochemii AR w Lublinie

WSTĘP

W hodowli zbóż dąży się do uzyskania jak najwyższych plonów ziarna z jednostki powierzchni poprzez dobór odpowiednich odmian, stosowanie zwiększonych dawek nawozów mineralnych, nawadnianie, optymalizację gęstości siewu itp. Osiąganie zadowalających plonów ziarna o wysokiej jakości utrudniają jednak takie zjawiska jak: wymarzenie, wypadanie roślin, różnego rodzaju choroby oraz wyleganie szczególnie niekorzystne od kwitnienia do dojrzałości mleczej, a w okresie późniejszym osypywanie się ziarna [10, 13].

Z obserwacji polowych i badań źdźbeł w skali makro- i mikroskopowej wynika, że obfite nawożenie azotowe zwiększa niebezpieczeństwo wylegania poprzez zmianę budowy morfologicznej i anatomicznej źdźbła. Ze wzrostem nawożenia mineralnego zwiększa się między innymi ciężar kłosów i całej części nadziemnej rośliny, wydłużają się międzywęzła, a zmniejsza się grubość ścianek źdźbła i maleje masa korzeniowa [8, 11, 12]. Wpływ nawożenia mineralnego na plon ziarna jest jednak tak duży, że należy poszukiwać innych rozwiązań problemu wylegania niż zmniejszenie nawożenia - na przykład na drodze wyhodowania źdźbła o odpowiedniej wytrzymałości mechanicznej i termicznej.

Obszerna jest literatura dotycząca właściwości sprężystych źdźbła zbóż [1, 6, 8, 11, 12], w której autorzy określając współczynnik sprężystości, zwany modułem Younga, wykazują bardzo dużą zmienność sprężystości źdźbła w zależności od odmiany, fazy rozwoju rośliny, warunków atmosferycznych w czasie wegetacji oraz od parametrów geometrycznych źdźbła. Wykonując próby zginania całych źdźbeł lub ich odcinków, stwierdzono systematyczny wzrost sprężystości źdźbła w miarę dojrzewania oraz zróżnicowanie tego parametru na długości źdźbła [11]. Brak jest jednak w tych pracach uzasadnienia zróżnicowania właściwości sprężystych uzyskanego na podstawie submikroskopowej struktury ścian komórkowych i ich składu chemicznego. Trudno jest również porównać wyniki uzyskane przez różnych autorów, gdyż jedni wykonują pomiary na materiale suchym, inni na wilgotnym bez określenia stopnia wilgotności i miejsca pobrania próbki ze źdźbła.

Podejmowane są prace mające na celu wykrycie różnic w składzie chemicznym źdźbeł pochodzących z łanów wyległych i stojących różnych gatunków zbóż. Przeglądu tych prac dokonała Przeszlakowska [10]. Najwięcej uwagi poświęca się w nich celulozie jako głównej substancji szkieletowej roślin. Stwierdzono, że zawartość celulozy wzrasta z wiekiem rośliny, jedynie pod koniec okresu wegetacji w fazie dojrzałości mleczonej następuje niewielki spadek jej zawartości, który może stanowić jedną z przyczyn zwiększonego wylegania zbóż w tym okresie. Ślusarczyk [13] badając źdźbła odmian odpornych i wrażliwych na wyleganie, stwierdziła większą zawartość celulozy u tych pierwszych. Bardzo obszerne badania przeprowadzone przez Heylanda [7] na stojących i wyległych roślinach żyta i pszenicy nie wykazały tej zależności. Brak jest również zgodności co do roli ligniny w zapewnieniu roślinom odporności na wyleganie. Rozbieżności wyników uzyskiwanych przez różnych autorów uzasadniano stosowaniem różnych metod wyodrębniania i oznaczania substancji szkieletowych źdźbła zbóż.

Wpływem celulozy i ligniny na wytrzymałość źdźbła zajmował się Ahlgrimm [1]. Wykazał on, że między zawartością celulozy a wytrzymałością na rozciąganie zachodzi wprost proporcjonalna zależność, oraz że w środkowym obszarze źdźbła zarówno wytrzymałość na rozcią-

ganie jak i zawartość celulozy jest najwyższa, natomiast wpływ ligniny na wytrzymałość na rozciąganie - znacznie mniejszy ze względu na jej cząsteczkową strukturę - może jedynie obniżać rozciągliwość. Przy stałej zawartości celulozy wytrzymałość na rozciąganie jest 3 razy większa niż wytrzymałość na ścinanie, która zwiększa się wraz z zawartością celulozy. Dłuższe źdźbła wykazują wyższe wskaźniki wytrzymałości na ścinanie. Jak więc wynika z danych literatury celuloza w roślinie odgrywa bardzo ważną rolę, gdyż zwiększa jej odporność na wyleganie. Różnice w metodyce wyodrębniania i oznaczania celulozy nie stanowią jedynej przyczyny niezgodności interpretacji znaczenia celulozy na odporność zbóż na wyleganie. Najprawdopodobniej główną przyczyną jest to, że przy interpretacji wyników pominięto fakt, że tworzywo ścian komórkowych jest materiałem kompozytowym, w którym mikrofibryle celulozowe rozmieszczone są w amorficznym podłożu substancji podstawowej. Właściwości mechaniczne takich materiałów zależą nie tylko od procentowej zawartości poszczególnych składników, ale również od orientacji włókien zbrojących, które w źdźble stanowią mikrofibryle celulozowe względem kierunku obciążenia, od właściwości fizycznych materiału zbrojącego i podłoża oraz od ich wzajemnego powiązania [3, 4, 9].

Poszczególne tkanki pełniąc określone funkcje w roślinie zbudowane są z komórek o różnej submikroskopowej strukturze ścian.

Różnice występują w składzie chemicznym, w stopniu polimeryzacji i krystaliczności celulozy, orientacji mikrofibryli oraz gęstości ścian [3, 9]. Cechy te mają decydujący wpływ na właściwości mechaniczne tworzywa ścian i makroskopowe zachowanie się tego materiału pod wpływem czynników zewnętrznych. Jakość celulozy i jej rozmieszczenie w roślinie, a w szczególności we włóknach tkanki mechanicznej podczas całego okresu wegetacji odgrywa bardzo ważną rolę w zapewnieniu źdźbłu odporności na wyleganie [3, 4].

Żadna z metod chemicznych nie umożliwia określenia orientacji mikrofibryli w ścianach komórkowych roślin, gdyż są to metody niszczące strukturę, do tego celu można zastosować jedynie metody fizyczne.

W ostatnich latach powstały nowe możliwości badania właściwości sprężystych ścian komórkowych roślin poprzez zastosowanie do tych badań impulsowej metody ultradźwiękowej [2-5]. Na drodze badań po-

równawczych - ultradźwiękowych, rentgenograficznych i mikroskopowych wykazano, że prędkość rozchodzenia się fal ultradźwiękowych w źdźbłach uzależniona jest od submikroskopowej struktury ścian komórkowych. Ze wzrostem orientacji mikrofibryl celulozowych wzrasta prędkość rozchodzenia się fal ultradźwiękowych [4]. Stwierdzono, że istnieje dodatnia korelacja między modułem statycznym wyznaczonym z próby na rozciąganie a modułem dynamicznym obliczonym na podstawie pomiarów ultradźwiękowych przy założonej stałej gęstości tworzywa ścian komórkowych [5].

Znając możliwości pomiarowe metody ultradźwiękowej zastosowano ją do badania właściwości sprężystych ścian komórkowych w źdźbłach żyta, pszenicy i Triticale pobranych z poletek o zróżnicowanym poziomie nawożenia mineralnego w dwóch fazach fenologicznych.

Celem tej pracy była analiza wpływu nawożenia mineralnego na submikroskopową strukturę i właściwości sprężyste materiału ścian komórkowych różnych gatunków zbóż.

METODYKA BADAŃ

Materiał do badań stanowiły źdźbła zbóż: żyta Dańkowskie Złote, pszenicy Grana oraz Triticale ród CR-275 wyhodowany przez pracowników Instytutu Hodowli Roślin AR w Lublinie. Doświadczenie mikropoletkowe prowadzone było przez Instytut Roli i Roślin AR w Lublinie w RZD-Felin na glebie pylastej wytworzonej z lessów wykazującej dużą skłonność do zaskorupiania się po deszczu i dużą zdolność magazynowania wody, natomiast wolno ogrzewającej się. Gleba ta zaliczana jest do kompleksu pszennego dobrego, wykazuje odczyn lekko kwaśny, zasobna jest w fosfor i potas przyswajalny oraz mangan aktywny, a średnio zasobna w miedź i cynk.

Występujące w doświadczeniu żyto Dańkowskie Złote jest odmianą uniwersalną o wysokim potencjale plonowania. Ma źdźbło średnio wysokie o dużej odporności na wyleganie.

Pszenica Grana daje dobre plony na terenie całego kraju, ma źdźbło krótkie o dużej odporności na wyleganie.

Triticale CR-275 jest mieszańcem naturalnym Triticale Müntzinga x Triticale Nakajima z Triticale Kissa. Cechuje go znaczna wy-

T a b e l a 1

Średnie dobowe temperatury powietrza, sumy opadów i nasłonecznienie
w RZD Felin w okresie wegetacyjnym 1978/1979

	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	\bar{x}
Średnie temperatury powietrza, °C	10,6	8,1	3,8	-4,5	-6,3	-6,3	1,8	6,0	14,2	18,8	14,6	5,5
\bar{x} 1951-1975	13,1	8,2	2,9	-1,4	-4,2	-3,1	0,5	7,5	12,8	16,7	18,1	7,3
Suma opadów, mm	101,6	49,9	24,9	35,8	56,4	10,2	28,2	41,4	80,4	91,3	75,1	595,2
\bar{x} 1951-1975	45,1	46,5	43,9	31,9	21,2	28,7	24,7	40,9	63,6	71,3	84,4	572,6
Nasłonecznienie, godz.	83,4	74,3	41,7	56,7	15,0	68,8	77,2	134,9	267,4	254,7	195,6	1269,7
\bar{x} 1974-1977	140,5	48,5	41,6	27,0	37,9	79,6	99,5	126,8	184,6	192,9	226,0	1411,9

sokość roślin i duża odporność na wyleganie.

Rośliny nawożono saletrą amonową, superfosfatem granulowanym oraz 60-procentową solą potasową w dawkach: 0, 150, 300 i 450 kg NPK/ha zachowując stosunek N : P : K jak 1,0 : 0,8 : 1,2. Zboża wysiewano w ilości 4 mln kiełkujących ziarniaków na 1 hektar. Rośliny pobierano z powierzchni 0,16 m² w okresie wegetacyjnym 1978/79 w fazach kwitnienia i dojrzałości mleczonej, gdyż jak wiadomo z literatury [10,12] straty ziarna spowodowane wyleganiem w okresie kwitnienia sięgają nawet 50% plonu, natomiast w fazie dojrzałości mleczonej wyraźnie spada odporność zbóż na wyleganie. Okres wegetacyjny, z którego pochodzą analizowane rośliny charakteryzował się niższą od średniej wieloletniej temperaturą powietrza, zwłaszcza w okresie zimowym, gwałtowniejszymi zmianami usłonecznienia niż w poprzednich okresach wegetacyjnych oraz wyższą sumą opadów zwłaszcza we wrześniu i styczniu oraz maju i czerwcu (tab. 1).

Z każdej próby pobrano po 20 roślin średniej wysokości, podzielono na międzywęźla wraz z węzłem leżącym poniżej, oznaczono długość i świeżą masę międzywęźli oraz zawartość suchej masy. Na powierzchni suchych międzywęźlach wykonano pomiar czasu przejścia fal ultradźwiękowych wzdłuż międzywęźli przy pomocy próbnika materiałów typ-541, stosując głowice o częstotliwości 1 MHz. Pomiar czasu przejścia fal ultradźwiękowych wykonano z dokładnością do 0,1 μ s, a pomiary długości międzywęźli z dokładnością do 0,001 m.

Wszystkie uzyskane wyniki poddano analizie wariancji a istotność różnic oceniono testem Tukeya.

OMÓWIENIE WYNIKÓW I DYSKUSJA

Analizując świeżą masę zdźbeł 20 roślin stwierdzano na ogół jej wzrost pod wpływem wzrastających dawek NPK, najbardziej wyraźny dla międzywęźli III i IV u żyta i pszenicy, a dla dolnych międzywęźli u Triticale. Spośród analizowanych zbóż największe przyrosty świeżej masy pod wpływem NPK stwierdzono w przypadku Triticale (tab.2).

Z rozwojem roślin od kwitnienia do dojrzałości mleczonej wielkość świeżej masy zdźbła żyta i pszenicy nie ulegała wyraźnym zmianom; u obu tych zbóż nastąpił nawet niewielki spadek świeżej masy

żdźbła. Zupełnie inaczej przedstawiał się natomiast rozwój masy u Triticale, dla którego stwierdzono istotny przyrost świeżej masy w okresie od kwitnienia do dojrzałości mleczej we wszystkich kombinacjach NPK.

Procentowa zawartość suchej masy zmieniała się w badanych żdźbłach w sposób jeszcze bardziej zróżnicowany niż świeża masa roślin (tab. 2). U wszystkich zbóż w obu fazach następował spadek procentowej zawartości suchej masy pod wpływem NPK. U roślin żyta zmiany te były dość równomierne dla różnych partii żdźbła. Przy porównywaniu roślin z kombinacji kontrolnej NPK i nawożonej najwyższą dawką było to obniżenie suchej masy około 7% ($NIR_{0,05} NPK = 2,2$). U Triticale znacznie wyraźniejsze obniżenie suchej masy pod wpływem NPK wystąpiło w dolnych partiach żdźbła niż w środkowych i górnych. U pszenicy natomiast w obu fazach stwierdzono najniższą zawartość suchej masy u roślin pochodzących z kombinacji 150 kg NPK/ha. Spadek zawartości suchej masy w porównaniu z roślinami z kombinacji 0 NPK dochodził do 9% w I międzywęźlu w fazie kwitnienia ($NPK_{0,05}$ międzywęźli 2,6).

W miarę dojrzewania roślin następował wzrost zawartości suchej masy. Dla tych samych kombinacji NPK u pszenicy wzrost ten wynosił od 0,5 do 4%, u żyta 6 do 10%, a u Triticale 7 do 12%. U roślin żyta i Triticale w miarę dojrzewania największym zmianom ulegała procentowa zawartość suchej masy w międzywęźlu IV i dokłosiu.

Na podstawie wyników uzyskanych z pomiarów ultradźwiękowych (około 2400 międzywęźli) stwierdzono, że tworzywo ścian komórkowych ma bardzo zróżnicowane właściwości sprężyste. Wartość dynamicznego modułu Younga (E) obliczono ze wzoru [5]:

$$E = \rho c^2$$

gdzie:

- ρ - gęstość materiału ścian komórkowych przyjęto jako stałą równą 1500 kg/m^3 ,
- c - prędkość rozchodzenia się fal ultradźwiękowych w badanym odcinku żdźbła.

Stwierdzono, że niezależnie od gatunku zboża, poziomu nawożenia i fazy wzrostu moduł sprężystości materiału powietrznie suchego przyjmuje najwyższe wartości w środkowej części żdźbła. Są to war-

Świeża masa źdźbeł 20 roślin oraz zawartość suchej ma-

Między- węźla	Kwitnienie							
	świeża masa, kg x 10 ⁻³				sucha masa, %			
	0	150	300	450	0	150	300	450
	Żyto							
I	11,0	10,6	13,6	12,0	26,6	26,2	24,7	24,0
II	25,2	22,0	27,2	26,8	26,0	25,7	24,0	22,0
III	25,2	27,6	30,6	30,2	26,9	25,2	24,0	22,0
IV	33,6	36,0	36,6	41,2	28,5	25,1	26,6	24,0
V (dokłósie)	21,0	22,6	22,6	24,0	34,5	33,3	31,8	28,6
	Pszenica							
I	1,8	2,2	2,4	2,6	38,2	29,3	30,1	31,2
II	9,0	10,6	11,0	10,6	33,7	28,2	29,1	29,6
III	18,6	21,4	21,2	22,0	33,5	25,8	27,2	27,3
IV	26,2	28,4	29,8	29,8	32,5	25,8	26,7	27,0
V (dokłósie)	25,0	29,4	29,4	28,2	30,7	25,1	26,2	26,6
	Triticale							
I	12,2	14,4	18,4	20,6	28,8	22,8	20,2	20,0
II	28,0	31,0	48,0	52,0	27,6	23,6	20,3	21,0
III	46,0	50,0	61,0	64,0	26,7	24,6	21,0	19,8
IV	64,0	74,4	71,0	77,0	26,4	26,0	22,5	21,4
V (dokłósie)	45,0	46,0	49,0	52,0	29,0	28,2	25,2	24,8

NIR_{0,05} dla:

świeżej masy:

NPK = 3,4

NPK x gatunek = 8,0

międzywęźli = 2,8

NIR_{0,05} dla:

suchej masy:

NPK = 2,2

międzywęźli =

= 2,6

T a b e l a 2

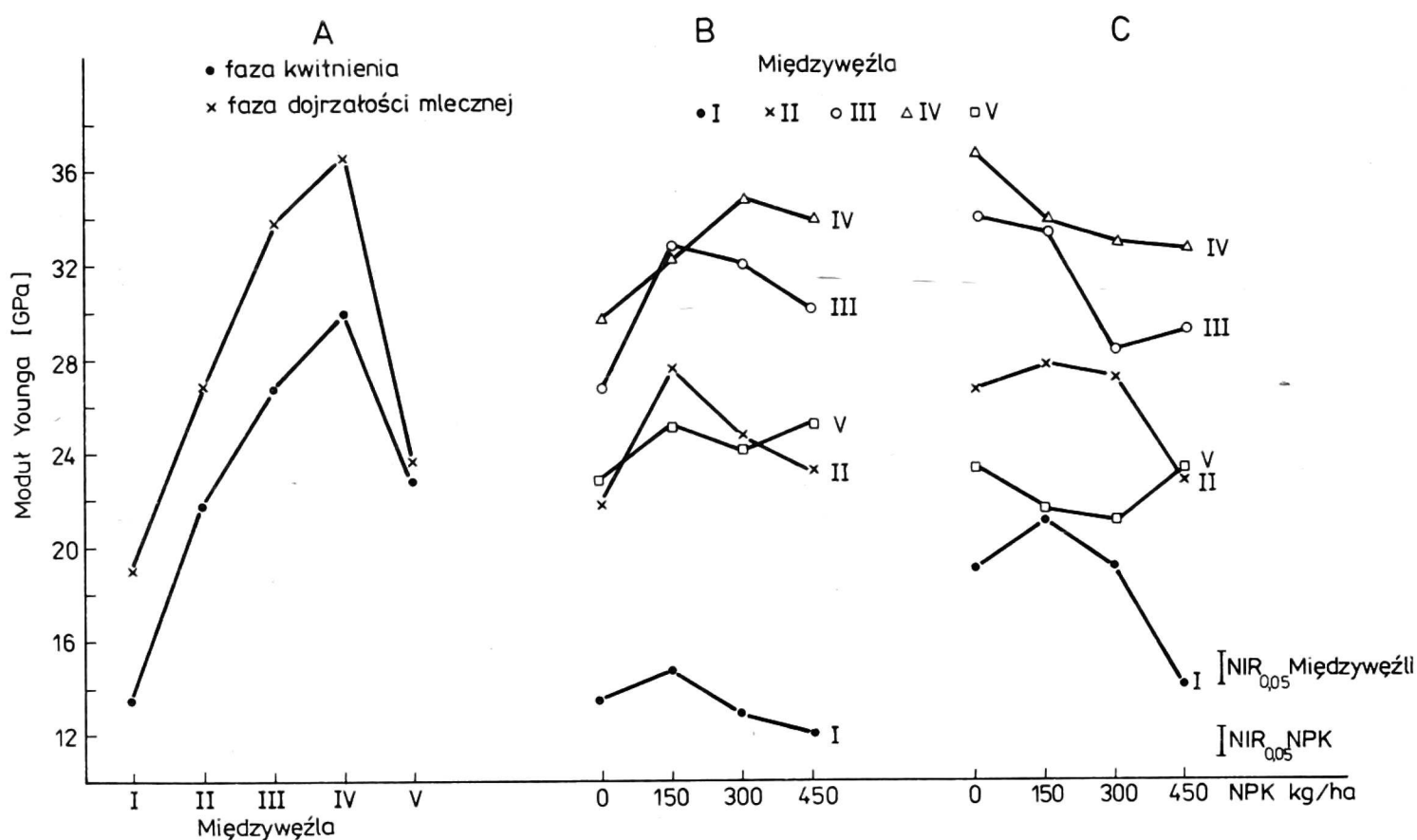
sy w zależności od nawożenia mineralnego (0-450 kg NPK/ha)

Dojrzałość mleczna							
świeża masa, kg x 10 ⁻³				sucha masa, %			
0	150	300	450	0	150	300	450
9,6	10,2	10,4	12,0	33,4	31,2	30,0	27,3
19,2	20,2	19,8	21,6	36,6	32,2	29,0	26,9
25,2	24,4	24,2	26,0	37,1	33,7	34,4	29,6
33,6	33,4	34,4	36,6	40,2	38,7	33,8	32,8
20,0	19,8	20,0	22,0	44,6	41,7	36,0	38,7
1,6	2,0	2,4	2,2	39,6	32,0	31,8	33,0
7,6	9,0	9,0	8,8	36,2	29,7	30,3	31,6
13,4	16,8	16,2	16,6	35,5	29,8	29,8	30,6
20,6	25,2	22,8	23,2	35,1	28,6	29,4	30,2
22,4	26,0	23,2	23,8	33,0	29,0	28,6	29,5
19,0	24,0	28,0	25,0	35,3	30,1	28,3	28,1
37,6	46,0	52,2	45,0	33,0	32,7	28,0	28,5
62,0	62,0	72,0	62,0	33,1	34,4	31,1	30,7
82,0	87,0	98,2	92,2	36,5	34,0	32,1	32,7
59,8	60,0	61,0	56,0	42,2	40,7	38,3	37,4

tości: dla żyta 38,4 GPa, pszenicy 36,5 GPa i dla Triticale 33,0 GPa. W dolnych międzywęźlach i dokłosisi wartości modułu Younga są znacznie niższe i podobne. Największe zróżnicowanie modułu sprężystości wzdłuż źdźbła stwierdzono dla pszenicy (rys. 1), mniejsze dla żyta (rys. 2), a najmniejsze dla Triticale (rys. 3). Współczynnik zmienności analizowanych wyników wahał się od 6% u żyta do 12% u pszenicy. Jak wiadomo pszenica Grana zaliczana jest do zbóż odpornych na wyleganie, być może tak znaczne zróżnicowanie modułu Younga wzdłuż źdźbła jest cechą, która odgrywa istotną rolę w zapewnieniu roślinie odporności na wyleganie.

Analizując zmiany modułu sprężystości w zależności od fazy wzrostu dla wszystkich międzywęźli zbóż z kombinacji kontrolnej NPK oraz dla żyta, niezależnie od NPK, stwierdzono istotny wzrost jego wartości w procesie dojrzwania. Dla żyta w obu fazach wzrostu oraz dla Triticale w dojrzałości mlecznej stwierdzono istotny statystycznie spadek wartości modułu Younga pod wpływem NPK, natomiast pszenica reagowała na nawożenie innymi zmianami modułu sprężystości źdźbła niż żyto. Mianowicie u roślin z dawką NPK 150 kg/ha stwierdzono podwyższenie modułu Younga w stosunku do roślin kontrolnych we wszystkich częściach źdźbła w fazie kwitnienia oraz w międzywęźlach dolnych w dojrzałości mlecznej. Przy zwiększanych dawkach NPK rośliny wykazywały spadek sprężystości. Zmiany modułu Younga u pszenicy pod wpływem NPK były statystycznie istotne. Podobny charakter zmian jak u pszenicy stwierdzono dla własności sprężystych źdźbła Triticale w fazie kwitnienia, z tym że zmiany te były statystycznie nieistotne. Do czynników mających wpływ na zachowanie się roślin w łanie należy zaliczyć między innymi: wysokość roślin, masę całkowitą części nadziemnej, udział procentowy suchej masy oraz właściwości sprężyste materiału ścian komórkowych [1, 4, 5].

W naszych warunkach klimatycznych najczęściej spotykanym typem wylegania zbóż jest wyleganie źdźbłowe spowodowane wyboczeniem dolnych międzywęźli. Na ogół deformacji ulega źdźbło na wysokości II międzywęźla. Spowodowane jest to dysproporcją pomiędzy ciężarem górnych partii źdźbła a wytrzymałością dolnych [8, 14]. W związku z tym przeanalizowano wartość modułu sprężystości II międzywęźla w powiązaniu z długością całego źdźbła, świeżą i suchą masą roślin oraz procentową zawartością suchej masy w II międzywęźlu (tab. 3).



Rys.1. Wartości modułu Younga dla źdźbła pszenicy w zależności od części źdźbła fazy wzrostu i nawożenia
 A - rozkład modułu Younga wzdłuż źdźbła dla roślin z kombinacji kontrolnej NPK, B - zmiany wartości modułu Younga materiału źdźbła w fazie kwitnienia w zależności od nawożenia, C - zmiany wartości modułu Younga materiału źdźbła w fazie dojrzałości mleczej w zależności od nawożenia

Stwierdzono, że u żyta pod wpływem NPK ze wzrostem świeżej masy roślin i spadkiem procentowego udziału suchej masy maleje wartość modułu sprężystości materiału ścian komórkowych II międzywęźla.

W przypadku pszenicy i Triticale z kombinacji kontrolnej NPK stwierdzono stosunkowo niskie wartości modułu Younga II międzywęźla przy wysokiej zawartości suchej masy w tym odcinku źdźbła i małej masie świeżych roślin. Pod wpływem NPK u tych zbóż wzrastała długość źdźbła i świeża masa roślin - szczególnie u Triticale, zmalała procentowa zawartość suchej masy II międzywęźla, a moduł sprężystości materiału jego ścian komórkowych przyjmował wyższe wartości niż w roślinach z kombinacji kontrolnej. Być może również w tym należałoby dopatrywać się większej odporności na wyleganie u pszenicy i Triticale niż u żyta.

Zestawienie wartości średnich dla źdźbła w zależności od

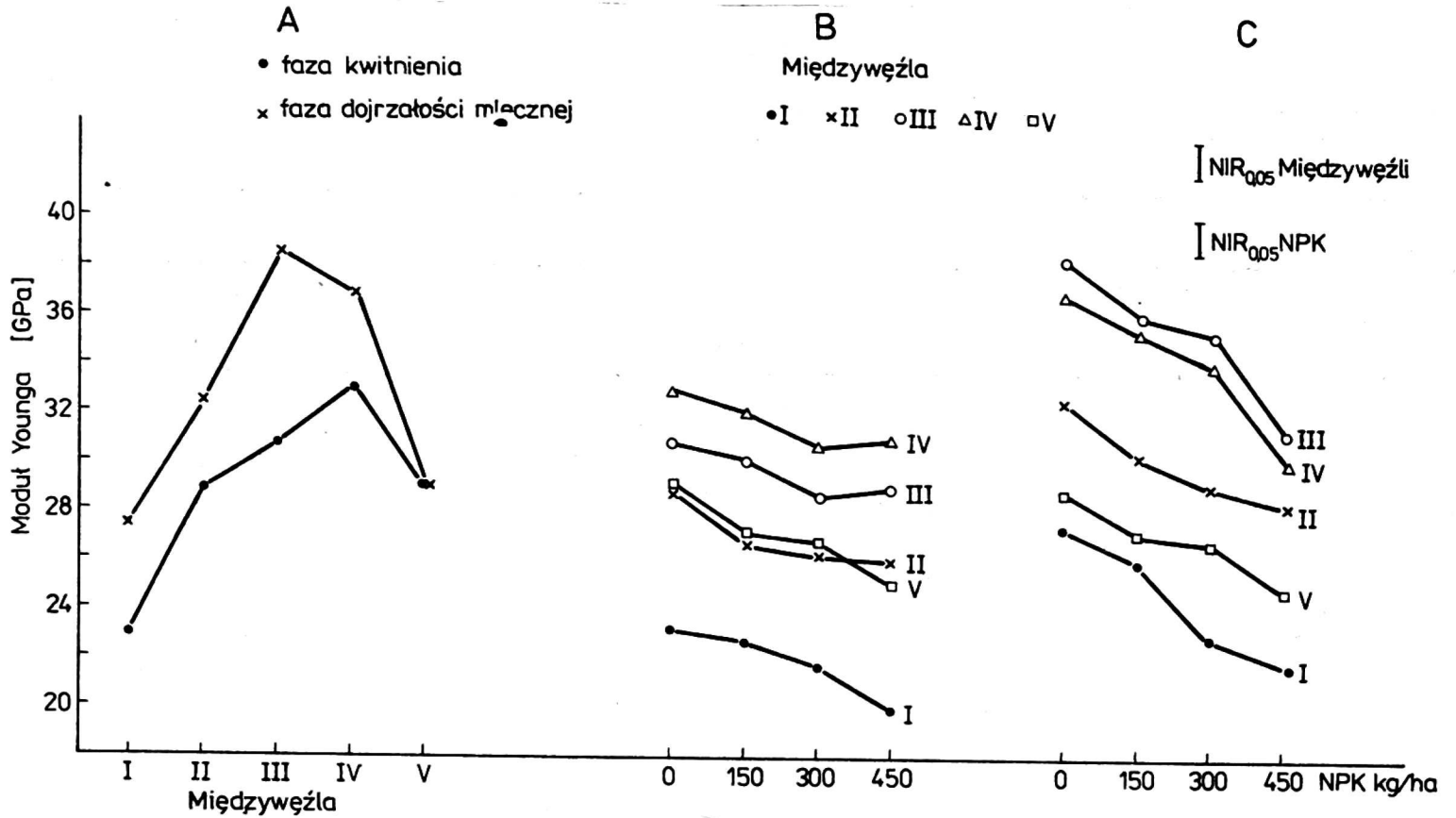
Właściwości źdźbła	Kwitnienie			
	0	150	300	450 kg NPK/ha
	Żyto			
Długość, m	1,21	1,23	1,24	1,16
Świeża masa, $\times 10^{-3}$ kg	5,80	5,94	6,63	6,71
Sucha masa, $\times 10^{-3}$ kg	1,65	1,60	1,72	1,64
Zawartość s.m. w II międzywęźlu, %	26,00	25,70	24,00	22,00
Moduł Younga II międzywęźla w stanie suchym, GPa	28,80	26,60	26,20	26,60
Świeża masa części nadziemnej, $\times 10^{-3}$ kg	7,00	7,61	8,41	8,54
	Pszenica			
Długość, m	0,69	0,79	0,76	0,78
Świeża masa, $\times 10^{-3}$ kg	4,03	4,60	4,70	4,66
Sucha masa, $\times 10^{-3}$ kg	1,30	1,19	1,27	1,27
Zawartość s.m. w II międzywęźlu, %	33,70	28,20	29,10	29,60
Moduł Younga II międzywęźla w stanie suchym, GPa	21,80	27,30	24,50	23,00
Świeża masa części nadziemnej, $\times 10^{-3}$ kg	6,30	6,82	6,97	6,81
	Triticale			
Długość, m	1,08	1,20	1,24	1,21
Świeża masa, $\times 10^{-3}$ kg	9,76	10,79	12,37	13,28
Sucha masa, $\times 10^{-3}$ kg	2,66	2,75	2,72	2,83
Zawartość s.m. w II międzywęźlu, %	27,60	23,60	20,30	21,00
Moduł Younga II międzywęźla w stanie suchym, GPa	21,70	27,20	24,40	23,00
Świeża masa części nadziemnej, $\times 10^{-3}$ kg	13,45	14,55	16,15	17,50

T a b e l a 3

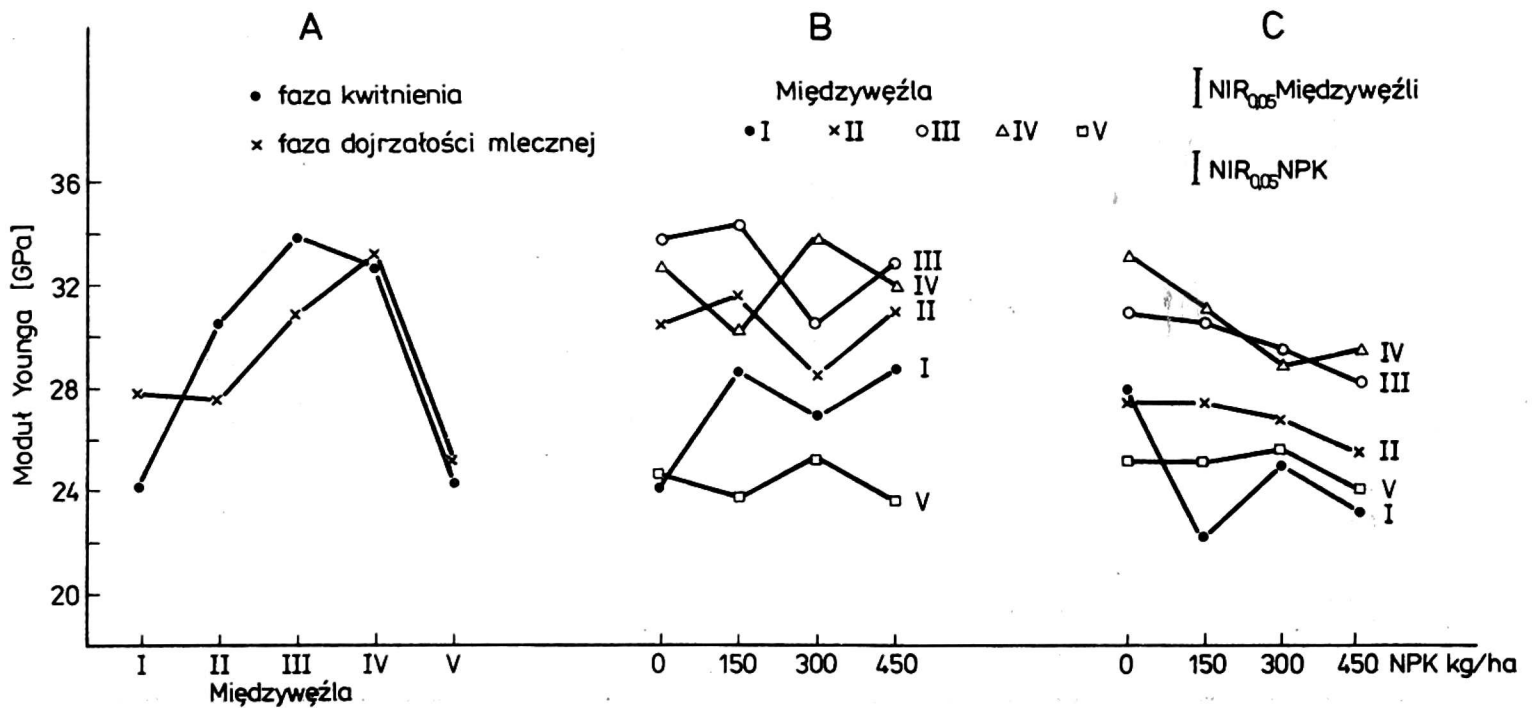
poziomu nawożenia i fazy rozwoju (średnia z 20 roślin)

Dojrzałość mleczna

0	150	300	450 kg NPK/ha
Żyto			
1,29	1,33	1,33	1,21
5,38	5,40	5,50	5,91
2,13	1,94	1,76	1,83
36,60	32,20	29,00	26,90
32,40	30,20	29,00	28,20
7,65	8,28	8,35	8,47
Pszenica			
0,76	0,88	0,86	0,81
3,28	3,95	3,68	3,73
1,14	1,15	1,09	1,13
36,20	29,70	33,00	31,60
26,60	27,60	27,20	22,60
6,35	7,20	6,59	6,61
Triticale			
1,17	1,21	1,23	1,24
13,12	13,95	15,56	14,01
4,77	4,77	5,02	4,49
33,00	32,70	28,00	28,50
27,50	27,30	26,70	25,30
21,18	21,05	22,38	19,05



Rys. 2. Wartości modułu Younga dla źdźbła w zależności od części źdźbła, fazy wzrostu i nawożenia. Oznaczenia jak na rys. 1



Rys. 3. Wartości modułu Younga dla źdźbła Triticale w zależności od części źdźbła, fazy wzrostu i nawożenia. Oznaczenia jak na rys. 1

Porównując źdźbło do smukłego pręta umocowanego jednym końcem w podłożu można przeanalizować jego zachowanie pod działaniem obciążenia pionowego (F), wykorzystując wzór Eulera [8] dotyczący wyboczenia sprężystego:

$$F = \frac{m E I}{l^2},$$

gdzie:

m - współczynnik proporcjonalności zależny od rozłożenia masy wzdłuż źdźbła,

E - moduł sprężystości Younga,

I - moment bezwładności przekroju źdźbła,

l - długość źdźbła.

Z wzoru tego wynika, że wartość siły powodującej wyboczenie sprężyste źdźbła jest wprost proporcjonalna do modułu sprężystości materiału i momentu bezwładności przekroju, a odwrotnie proporcjonalna do kwadratu jego długości. Dla źdźbeł o jednakowej długości, średnicy wewnętrznej i zewnętrznej wielkość tej siły jest zależna od jakości materiału ścian komórkowych, a w szczególności od wewnętrznej struktury włókien tkanki mechanicznej posiadającej decydujący wpływ na wartość modułu sprężystości tego materiału.

Korzystając z danych dotyczących wysokości źdźbła i modułu sprężystości II międzywęźla (tab. 3), przy założeniu, że moment bezwładności przekroju nie ulega istotnej zmianie w okresie od kwitnienia do dojrzałości mleczonej, można wyjaśnić niższą odporność zbóż na wyleganie w fazie dojrzałości mleczonej. U żyta i pszenicy z kombinacji nawożonych nastąpił w tym okresie istotny wzrost wysokości źdźbła, natomiast wartość modułu sprężystości II międzywęźla u pszenicy prawie nie zmieniła się, a u żyta niewiele wzrosła. Dla roślin Triticale w okresie od kwitnienia do dojrzałości mleczonej nie stwierdzono istotnego wzrostu długości źdźbła ani istotnych zmian modułu sprężystości, natomiast bardzo znacznie wzrosła świeża masa roślin. Zmiany zaobserwowane u badanych zbóż sprzyjają na ogół zwiększonemu wyleganiu.

Interesujący natomiast wydaje się fakt znacznego wzrostu w okresie od kwitnienia do dojrzałości mleczonej modułu sprężystości II międzywęźla dla wszystkich zbóż z kombinacji kontrolnej NPK oraz

większy niż u roślin nawożonych wzrost procentowej zawartości suchej masy. Wymienione tutaj czynniki wpływają korzystnie na zwiększenie odporności roślin na wyleganie, być może między innymi dlatego wyleganie roślin nie nawożonych i dziko rosnących jest rzadko spotykane.

WNIOSKI

Na podstawie wyników uzyskanych z badania właściwości sprężystych ścian komórkowych źdźbła różnych gatunków zbóż metodą ultradźwiękową oraz z pomiarów biometrycznych roślin nasuwają się następujące wnioski:

1. Wartość modułu sprężystości wzdłużnej Younga dla materiału powietrznie suchego obliczona przy założeniu stałej gęstości tworzywa ścian komórkowych żyta, pszenicy i Triticale zawarta była w granicach od 12 do 39 GPa.

2. Największe zróżnicowanie właściwości sprężystych wzdłuż źdźbła wystąpiło u pszenicy. Wartość modułu Younga dla dolnych międzywęźli tego zboża jest trzykrotnie niższa od jego wartości oznaczonych dla czwartego międzywęźla.

3. Pod wpływem nawożenia mineralnego wartość modułu Younga maleje regularnie tylko dla żyta, dla pozostałych gatunków zbóż zmiany te zależne są ponadto od części źdźbła.

Spadek wartości modułu Younga wiąże się z niższą orientacją mikrofibril celulozowych we włóknach tkanki mechanicznej względem długiej osi źdźbła.

4. Właściwości sprężyste źdźbła pszenicy były najlepsze przy nawożeniu 150 kg NPK/ha.

5. W przypadku żyta stwierdzono spadek wartości modułu Younga ze spadkiem procentowej zawartości suchej masy w różnych partiach źdźbła.

6. Dla wszystkich zbóż z kombinacji kontrolnej NPK oraz dla żyta przy różnych dawkach nawożenia wartość modułu Younga wzrastała w miarę dojrzewania.

7. Świeża masa części nadziemnej roślin była wyższa w kombina-

cjach z NPK niż w kombinacji nie nawożonej, natomiast procentowa zawartość suchej masy malała pod wpływem nawożenia.

PIŚMIENNICTWO

1. Ahlgrimm H.J.: Die Wirkung einiger physiologischer und morphologischer Parameter auf die Halmfestigkeit. *Grundl. Landtechnik*, 29, nr 2, s. 64-70, 1979.
2. Gawda H.: Attempt at applying the ultrasonic method for determining the Young modulus of cereal stalk. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, z. 203, s. 45-152, 1978.
3. Gawda H.: Submikroskopowa budowa tkanki mechanicznej źdźbła pszenicy (*Triticum aestivum* ssp. *vulgare*) odpornej na wyleganie. *Materiały X Sympozjum Doświadczalnych Badań w Mechanice Ciała Stałego*, s. 124-129, Warszawa 3-4 grudnia 1982.
4. Gawda H.: The effect of the texture of cell walls on the value of the Young modulus of plant material, *Proceedings II International Conference on Physical Properties of Agricultural Materials, Gödöllő, Hungary, 26-28 August, T.I paper nr 21, 1980.*
5. Gawda H., Haman J.: An ultrasonic method of determining Young's modulus in cereal plants, *Transactions of the ASAE*, 26 No 1, s. 250-254, 1983.
6. Gowin J.: Determination of wheat stalk modulus of elasticity by means of holographic interferometry, *Proceedings II International Conference on Physical Properties of Agricultural Materials, Gödöllő, Hungary, 26-28 August, T.I paper 106, 1980.*
7. Heyland K.U.: Der Verlauf der Einlagerung von Gerüstsubstanzen und anderen Kohlenhydraten in den Spross von Weizen und Roggen zwischen Ahrenschriften und Todreife, *z. Acker- u Pflanzenbau*, 108, 4, 431, 1959.
8. Kaczorowski T.: Zjawisko wylegania zbóż z punktu widzenia mechaniki źdźbła, *IUNG, Puławy 1970.*
9. Preston R.D.: *The physical biology of plant cell walls.* Chapman and Hall, London 1974.
10. Przeszlakowska M.: Skład chemiczny źdźbła zbóż i jego znaczenie w odporności na wyleganie. *Post. Nauk Rol.*, nr 2, s. 41-45, 1975.
11. Skubisz G.: Zagadnienie sprężystości źdźbła. *Probl. Agrofiz.*, z. 38, 1982.
12. Skucińska B.: Wyleganie zbóż w świetle literatury naukowej, *Biul. Inst. Hod. Rośl.*, z. 3, s. 171-177, 1965.
13. Ślusarczyk M.: Zmiany w zawartości i składzie węglowodanów w pszenicy jarej wywołane nawożeniem azotowym. *Pam. Puł.*, z. 62, s. 69-72, 1975.
14. Wąs L.: Przegląd badań nad odpornością zbóż na wyleganie. *Biul. Inst. Hod. Rośl.*, nr 3-4, 117, 1970.

Г. Гавда, М. Микос

ВЛИЯНИЕ УРОВНЯ МИНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕНИЯ НА УПРУГИЕ СВОЙСТВА
МАТЕРИАЛА КЛЕТОЧНЫХ СТенок СТЕБЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ЗЕРНОВЫХ

Р е з ю м е

Подняли проблему оценки устойчивости к полеганию зерновых, выведенных при дифференцированном уровне минерального удобрения. Провели ультразвуковые (1 Мгц) исследования междоузлий стебля ржи, пшеницы и тритикале в воздушносухом состоянии в период цветения и молочной спелости при уровне удобрения 0, 150, 300 и 450 кг NPK/га. В анализе результатов учли процентную долю сухой массы в материале клеточных стенок. Упругие свойства материала клеточных стенок определяли, устанавливая величину модуля Янга и его изменения под влиянием минерального удобрения и во время вегетации.

Отмечено, что под влиянием минерального удобрения величина модуля Янга материала клеточных стенок (особенно при дозах 300 и 450 кг NPK/га) уменьшается, а также и процентное содержание сухой массы в стебле. Для всех зерновых из контрольной комбинации NPK и для ржи при разных дозах удобрения величина модуля Янга росла по мере созревания.

H. Gawda, M. Mikos

EFFECT OF MINERAL FERTILIZATION LEVEL ON THE ELASTIC PROPERTIES
OF THE CELL WALL MATERIAL OF THE STALKS OF CEREALS OF VARIOUS
SPECIES

S u m m a r y

A problem of evaluation of susceptibility to lodging of cereals grown at different fertilization levels has been undertaken. Ultra-

sonic (1 MHz) investigations of air dry rye, wheat and triticale stalk internodes taken in the flowering and milk ripeness stage from fertilizations treatments 0, 150, 300, and 450 kg/ha have been performed. In the analysis of the results a contribution of dry matter in the cell wall material was taken into consideration. Elastic properties of cell wall material were characterized by determination of Young's modulus and its changes proceeding under the influence of differentiated fertilization levels and during vegetation period.

It was found that at high fertilization levels 300 and 450 NPK per ha Young's modulus of cell wall material and dry matter content in the stalk decreased. For all cereals from control NPK treatment and for rye at different fertilization level the value of Young's modulus increased as the plant matured.