

ZMIANY W SUBMIKROSKOPOWEJ STRUKTURZE WĘZŁÓW ŻDZBŁA
PSZENICY GRANA W CZASIE WEGETACJI PRZY RÓŻNYCH
POZIOMACH NAWOŻENIA MINERALNEGO

Helena Gawda

Zakład Fizyki Technicznej AR w Lublinie

Węzły należą do szczególnie ważnych i najmniej poznanych części źdźbła. Od ich aktywności zależy między innymi ułożenie kłosa i międzywęźli w przestrzeni, długość międzywęźli, zdolność do wytwarzania korzeni przybyszowych i odporność źdźbła na wyleganie [2].

Badania substancji pektynowych i składników mineralnych w węzłach i międzywęzłach pszenicy wylegającej i niewylegającej przeprowadzone przez Przeszlakowską [3] w okresie kwitnienia wykazały, że ogólna zawartość substancji pektynowych w węzłach jest trzykrotnie wyższa od ich ilości w międzywęzłach. Najniższe zawartości tych substancji stwierdzono u odmian o długim i podatnym na wyleganie źdźble, natomiast odmiany odporne na wyleganie charakteryzuje stosunkowo duża zawartość substancji pektynowych zarówno w węzłach, jak i w międzywęzłach. Nawożenie azotem (0, 40, 80 kg N/ha) nie wpływa na ilość frakcji protopektyn związanych z jonami wapnia i magnezu, zawartość składników mineralnych (popiołu) oraz wapnia i magnezu w międzywęzłach źdźbła.

Rola jaką spełniają węzły w ontogenetycznym rozwoju źdźbła oraz stwierdzone różnice w składzie chemicznym źdźbła o zróżnicowanej odporności na wyleganie wskazują na celowość kontynuowania tego tematu.

Celem tej pracy było badanie submikroskopowej struktury węzłów o zróżnicowanej aktywności biologicznej oraz zmian zachodzących w tej strukturze w czasie wegetacji w zależności od poziomu nawożenia mineralnego.

PRZEDMIOT I METODYKA BADAŃ

Przedmiotem badań były węzły źdźbeł pszenicy Grana wyhodowanej przez Zakład doświadczalny Akademii Rolniczej i Zakład Agrofizyki PAN w Lublinie. Badania ultradźwiękowe przeprowadzono na 450 węzłach wyciętych ze 150 źdźbeł pobranych z poletek o poziomie nawożenia 120, 300, 600 i 1200 kg NPK/ha. Jednorazowo pobierano z poletka po 10 źdźbeł. Pomiar ultradźwiękowy przeprowadzono na wydzielonych węzłach bezpośrednio po ścięciu oraz po ich wysuszeniu, stosując głowice o częstotliwości 1 MHz i próbnik materiałów typ 541

[1]. Numerację węzłów przyjęto od dołu źdźbła do dokłosa. Część węzłów (40 szt.) po pomiarach ultradźwiękowych poddano dyfrakcyjnym badaniom rentgenowskim w celu zidentyfikowania substancji krystalicznych w nich występujących. Rentgenogramy wykonano w Pracowni Krystalografii Instytutu Chemii UMCS w Lublinie, stosując metodę Debye'a Scherrera-Straumanissa i odfiltrowane promieniowanie lampy Cu.

WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Badając poszczególne węzły źdźbła pszenicy w stanie powietrznie suchym stwierdzono, że prędkość rozchodzenia się fal ultradźwiękowych zmienia się w zakresie od 5144 do 2791 m/s i zależy od położenia węzła w źdźble, jak również od fazy dojrzałości. Wyniki z pomiarów ultradźwiękowych opracowano statystycznie wyliczając wartości średnie i odchylenie standardowe i zestawiono je w tabeli 1.

W okresie kłoszenia, kiedy węzły wykazują największą aktywność biologiczną, stwierdzono najwyższe wartości prędkości rozchodzenia się fal ultradźwiękowych. Analizując zmiany w prędkości fal w poszczególnych węzłach źdźbła, stwierdzono maksymalne wartości prędkości fal w I węźle od korzenia, natomiast w kolejnych węzłach w kierunku kłosa zaobserwowano spadek tej wartości. Ten rozkład prędkości zachował się podczas całego procesu wegetacji, zmieniały się jedynie bezwzględne wartości prędkości (tab. 1). Z dojrzałością biologiczną prędkości fal w węzłach malały i osiągnęły wartości minimalne w okresie pełnej dojrzałości.

Średnie wartości prędkości fal ultradźwiękowych i odchylenia standardowe dla węzłów źdźbeł pszenicy ozimej Grana

Poziom nawożenia kg NPK/ha	Nr węzła	Kłoszenie		Dojrzałość mleczna		Dojrzałość woskowa		Dojrzałość pełna	
		A	B	A	B	A	B	A	B
300	I	5144	372	4618	271	4746	341	3591	220
	II	4351	202	4361	481	4434	250	3293	127
	III	3957	257	3626	381	3706	189	2791	79
600	I	4711	343	4549	171	4727	317	3693	130
	II	4229	202	4314	338	4622	189	3413	288
	III	3994	173	3370	86	3832	235	3146	300
1200	I	4892	203	4620	274	4795	202	4358	230
	II	4204	282	4361	483	4668	152	4009	330
	III	3701	361	3730	182	3708	264	3605	104

A - średnia prędkość, B - odchylenie standardowe.

Zestawienie danych o substancjach występujących w węzłach, uzyskanych z badań ultradźwiękowych i rentgenograficznych. Węzły źdźbła z okresu kłoszenia (K)

$C_{IIIK} = 3297 \text{ m/s}$				
I	2l	θ	d	identyfikacja
1	2	3	4	5
8	22,4	11,2	3,9689	celuloza
9	28,4	14,2	3,1426	KCl
1	31,1	15,55	2,8756	celuloza
1	35,5	17,75	2,5287	-"-
10	41,0	20,5	2,2013	KCl
3	50,6	25,3	1,8039	-"-
2	59,2	29,6	1,5607	-"-
4	67,0	33,5	1,3967	-"-
3	74,2	37,1	1,2780	-"-
1	78,4	50,8	0,9948	-"-
1	71,2	54,4	0,9481	-"-
2	55,9	62,05	0,8727	-"-
3	47,2	66,4	0,8413	-"-

$C_{IIK} = 3924 \text{ m/s}$				
I	2l	θ	d	identyfikacja
8	22,4	11,2	3,9689	celuloza
9	28,8	14,2	3,1426	KCl
1	31,2	15,6	2,8667	-"-
1	35,6	17,8	2,5218	-"-
10	41,0	20,5	2,2013	-"-
4	50,4	25,2	1,8106	-"-
3	59,2	29,6	1,5607	-"-
5	67,0	33,5	1,3967	-"-

cd. tabeli 2

1	2	3	4	5
3	74,2	37,1	1,2780	KCl
2	78,2	50,9	0,9934	"-
2	71,2	54,4	0,9481	"-
2	55,9	62,05	0,8727	"-
3	47,0	66,5	0,8406	"-

$$C_{IK} = 4357 \text{ m/s}$$

8	22,4	11,2	3,9689	celuloza
7	28,2	14,1	3,1644	KCl
3	31,2	15,6	2,8667	celuloza
4	35,6	17,8	2,5218	"-
10	40,1	20,55	2,1961	KCl
3	50,8	25,4	1,7972	"-
1	59,6	29,8	1,5512	"-
3	67,2	33,6	1,3930	"-
2	74,1	37,05	1,2795	"-
1	71,1	54,45	0,9475	"-
1	56,0	62,0	0,8731	"-
1	47,1	66,45	0,8409	"-

W_1, W_2, W_3 - numeracja węzłów licząc od korzenia. I - intensywność linii, $2l$ - średnica pierścienia, θ - kąt braggowski, d - odległość międzypłaszczyznowa, $C_{I,II,III}$ - prędkość fal w węzłach.

W zależności od poziomu nawożenia zmiany w prędkościach fal w poszczególnych węzłach przebiegały różnie. Największe zróżnicowanie wystąpiło przy najniższym poziomie nawożenia, natomiast przy najwyższym poziomie nawożenia (1200 kg NPK/ha) nawet w dojrzałości pełnej prędkości fal ulegały niewielkim zmianom. W źdźbłach pobranych w ostatnim terminie prędkości fal w węzłach były wprost proporcjonalne do poziomu nawożenia.

Substancje występujące w węzłach uzyskanych na podstawie badań ultradźwiękowych i rentgenograficznych. Węzły zdźbła z okresu dojrzałości mleczej (M)

$C_{IVM} = 3273 \text{ m/s}$				
I	21	θ	d	identyfikacja
1	2	3	4	5
7	22,5	11,25	3,9515	celuloza
10	28,5	14,25	3,1318	KCl
8	41,0	20,5	2,2013	"-
5	51,0	25,5	1,7907	"-
3	59,5	29,75	1,5536	"-
6	67,5	33,75	1,3876	"-
4	74,8	37,4	1,2692	"-
3	78,8	50,6	0,9976	"-
2	71,5	54,25	0,9499	"-
1	64,5	57,8	0,9110	"-
3	56,0	62,0	0,8731	"-
5	47,4	66,3	0,8419	"-
$C_{IIIM} = 3636 \text{ m/s}$				
10	22,5	11,25	3,9515	celuloza
9	31,0	15,5	2,8847	"-
6	35,5	17,75	2,5287	"-
5	41,0	20,5	2,2013	KCl
5	44,0	22,0	2,0579	x
4	49,5	24,75	1,8418	x
3	59,5	29,75	1,5536	KCl
2	65,2	32,6	1,4308	x
1	70,0	35,0	1,3440	x

cd. tabeli 3

1	2	3	4	5
$C_{IIM} = 3636 \text{ m/s}$				
10	22,5	11,25	3,9515	celuloza
8	31,2	15,6	2,8667	-"-
6	35,5	17,75	2,5287	-"-
5	41,5	20,75	2,1759	KCl
2	49,0	24,5	1,8590	x
2	55,5	27,75	1,6557	x
1	65,2	32,6	1,4308	x

Uzyskane wyniki pomiarów ultradźwiękowych wykazują, że struktura ścian komórkowych, z których zbudowane są węzły, ulega zmianie w czasie wegetacji, przy czym przy różnych poziomach nawożenia mineralnego proces ten zachodzi inaczej.

W celu ustalenia różnic w submikroskopowej strukturze węzłów poddano je dyfrakcyjnym badaniom rentgenowskim. Wykonano rentgenogramy 40 węzłów, z czego 6 węzłów wycięto ze źdźbeł pobranych z poletka o poziomie nawożenia 300 kg NPK/ha w okresie uznanym przez hodowców za dojrzałość pełną. Pozostałe węzły wycięto ze źdźbeł pszenicy pobranej z poletek o poziomie nawożenia 120 kg NPK/ha w okresie kłoszenia, dojrzałości mleczonej, woskowej i pełnej. Przykładowy rentgenogram przedstawia rysunek 1. Dla rentgenogramu określano:

I - względną intensywność linii w skali 1-10, przyjmując za 10 najintensywniejszą linię na rentgenogramie,

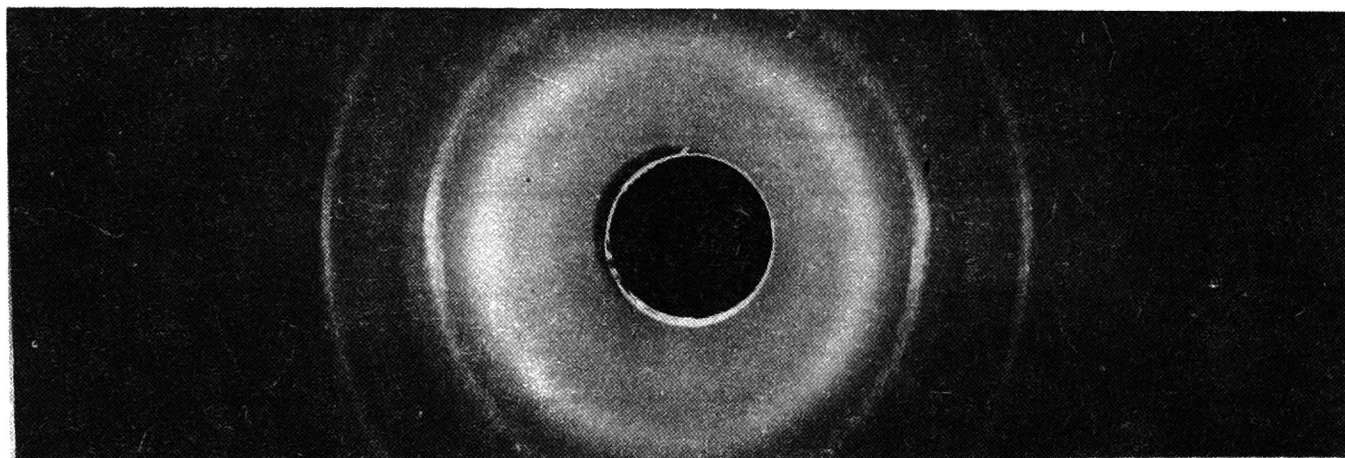
2l - średnice poszczególnych pierścieni,

θ - kąt braggowski obliczony z proporcji, gdy dane jest 2l i promień kamery,

d - odległość międzypłaszczyznowa obliczona z równania Bragga.

Stwierdzono, że rentgenogramy poszczególnych węzłów wyciętych z jednego źdźbła różnią się ilością linii, jak również ich intensywnością oraz, że obrazy te zmieniają się wraz z dojrzałością ro-

śliny. Przykład uzyskanych rentgenogramów węzłów jednego źdźbła z okresu kłoszenia zamieszczono na rysunku 2. W tabelach 2-5 zestawiono informacje uzyskane z badań rentgenograficznych węzłów źdźbeł z czterech faz fenologicznych dla poziomu nawożenia 120 kg NPK/ha.

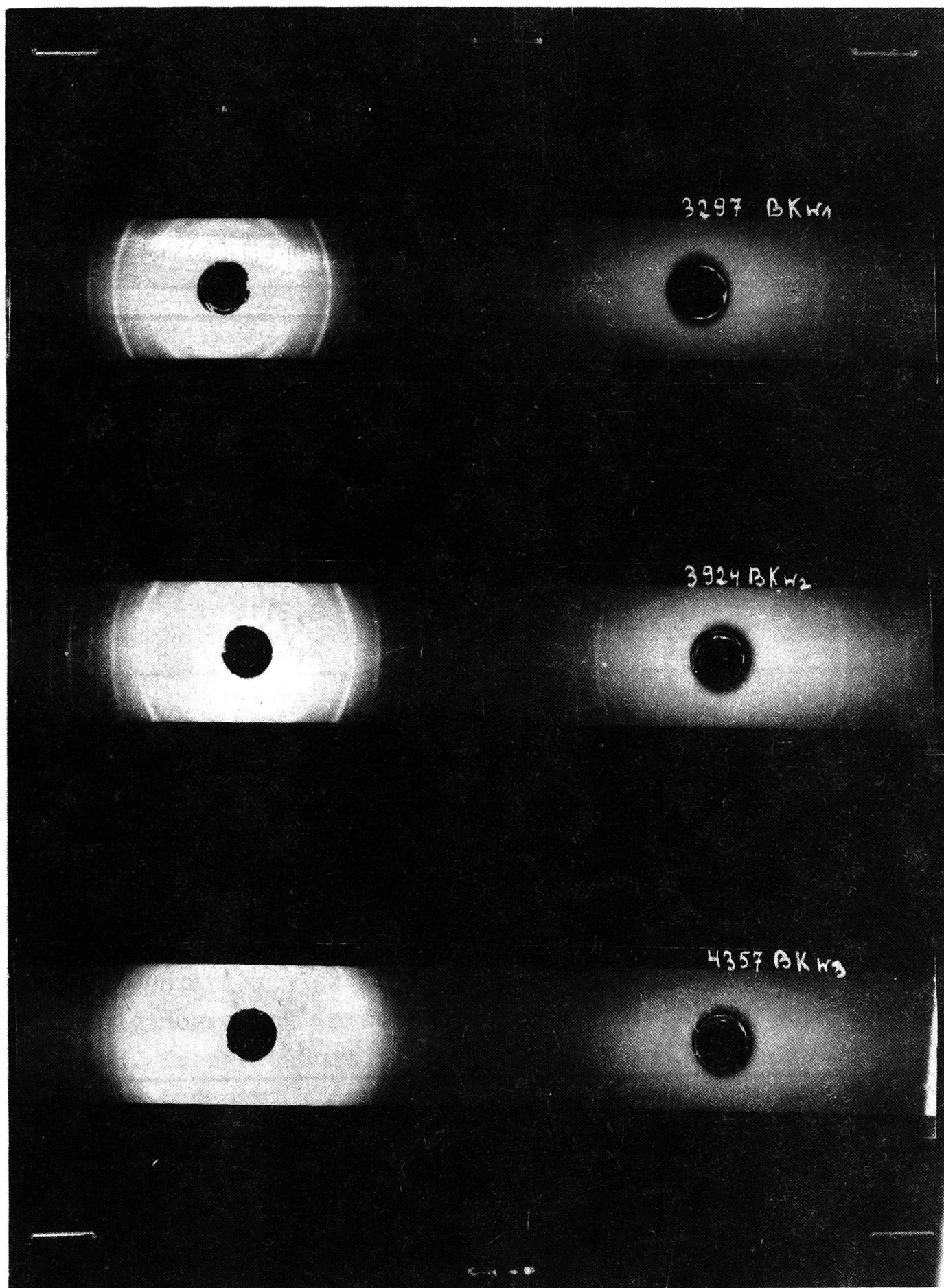


Rys.1. Przykładowy rentgenogram węzła

Na podstawie wyznaczonych wartości (I , d), korzystając z katalogów linii poszczególnych związków [5] zidentyfikowano występowanie fazy krystalicznej chlorku potasu i celulozy. Stwierdzono, również występowanie linii, których na podstawie dotychczas wykonanych rentgenogramów nie można zidentyfikować, a które w zestawieniu oznaczono „x”.

We wczesnych etapach rozwoju rośliny, w okresie największej aktywności biologicznej substancje krystaliczne występują we wszystkich węzłach. Z dojrzałością biologiczną zachodzi proces zmniejszania się ich zawartości przebiegający w kierunku od korzenia do kłosa. W okresie dojrzałości pełnej przy nawożeniu 120 kg NPK/ha stwierdzono występowanie jedynie nielicznych linii celulozy krystalicznej (tab. 5).

Uzyskane wyniki badań ultradźwiękowych i rentgenowskich węzłów wykazują, że prędkość rozchodzenia się fal w węzłach zależy od struktury występujących w nich substancji, gdyż ułożenie krystalitów, jak wynika z rentgenogramów, jest izotropowe. Prowadząc badania rentgenograficzne węzłów stwierdzono, że proces przemieszczania się substancji w roślinie zachodzi również po jej ścięciu. Pobrane z poletek źdźbła podzielono na dwie części. Kilka źdźbeł natych-



Rys.2. Rentgenogramy węzłów źdźbła pszenicy Grana z okresu kłoszenia. Poziom nawożenia 120 kg NPK/ha

miast po ścięciu pocięto na węzły i międzywęzła i poddano badaniom ultradźwiękowym i rentgenograficznym, pozostałe źdźbła w całości przechowywano przez około pół roku.

T a b e l a 4

Substancje występujące w węzłach uzyskane na podstawie badań ultradźwiękowych i rentgenograficznych. Węzły źdźbła z okresu dojrzałości woskowej (W)

$C_{IIIW} = 3714 \text{ m/s}$				
I	2l	θ	d	identyfikacja
1	2	3	4	5
10	22,5	11,25	3,9515	celuloza
4	31,0	15,5	2,8847	-"-
4	35,2	17,6	2,5495	-"-
1	40,8	20,4	2,2116	KCl
1	43,6	21,8	2,0758	x
1	49,6	24,8	1,8379	x
1	55,0	27,5	1,6695	x
1	65,2	32,6	1,4308	x
$C_{IIW} = 4339 \text{ m/s}$				
5	15,5	7,27	5,7167	celuloza
10	22,5	11,25	3,9515	-"-
1	30,2	15,1	2,9593	-"-
4	34,8	17,4	2,5779	-"-
$C_{IW} = 4783 \text{ ms}^{-1}$				
4	15,5	7,75	5,7167	celuloza
10	22,5	11,25	3,9515	-"-
1	30,0	15,0	2,9785	-"-
4	35,0	17,5	2,5636	-"-
1	41,2	20,6	2,1910	KCl

T a b e l a 5

Substancje występujące w węzłach uzyskane na podstawie badań ultradźwiękowych i rentgenograficznych. Węzły źdźbła z okresu dojrzałości pełnej (P)

$C_{IIIIP} = 2790 \text{ m/s}$				
I	2l	θ	d	identyfikacja
10	22,5	11,25	3,9515	celuloza
5	31,0	15,5	2,8847	-"-
7	35,0	17,5	2,5636	-"-
1	41,5	20,75	2,1759	x
$C_{IIP} = 3280 \text{ m/s}$				
10	23,0	11,25	3,9515	celuloza
8	35,5	17,75	2,5287	-"-
$C_{IP} = 3590 \text{ m/s}$				
10	23,0	11,5	3,9515	celuloza
8	35,0	17,5	2,5636	-"-

Na rentgenogramach węzłów wydzielonych ze źdźbła bezpośrednio po ścięciu wystąpiła większa ilość linii i większe ich natężenie niż na rentgenogramach węzłów pochodzących ze źdźbeł w całości przechowywanych. Spostrzeżenie to jest zgodne z wynikami uzyskanymi przez innych badaczy, którzy stwierdzili, że podczas dojrzewania ziarna w snopach, zachodzi proces gromadzenia się różnych składników w ziarnie, których ilość jest uzależniona od długości pozostawionej łodygi [4].

Badając zmiany masy 1000 ziarn ustalono, że dojrzewanie ziarna pszenicy po ścięciu źdźbła zależy od tego, który z organów wpływa na zwiększenie suchej masy nasion: tylko kłos, kłos i łodyga, czy kłos nie oddzielony od łodygi i korzeni. Stwierdzono, że ziarno

pszenicy, która po ścięciu stała w snopach zawierało 20,9% więcej węglowodanów niż bezpośrednio po ścięciu [4]. Obecnie kiedy najczęściej stosuje się jednoetapowy zbiór, ocena, czy proces gromadzenia się suchej masy w ziarnie jest już zakończony i można je już oddzielić od całej rośliny jest problemem ważnym zarówno ze względu na przydatność ziarna do siewu, jak i na jego wartość wypiekową.

W źdźbłach ściętych z poletka o poziomie nawożenia 300 kg NPK/ha w pierwszych dniach sierpnia, czyli według opinii hodowców w okresie dojrzałości pełnej, stwierdzono bardzo dużą ilość linii na rentgenogramach wszystkich węzłów (rys. 1). Podobne obrazy rentgenowskie uzyskano dla węzłów źdźbła z okresu kłoszenia przy poziomie nawożenia 120 kg NPK/ha (rys. 2). Uzyskane wyniki można interpretować na dwa różne sposoby:

- przy zwiększonym poziomie nawożenia wydłuża się okres wegetacji i w czasie pobierania źdźbeł pszenica nie była jeszcze w stanie dojrzałości pełnej,

- przy tym poziomie nawożenia nagromadzenie fazy krystalicznej związków mineralnych jest tak duże, że nie wszystkie składniki są wykorzystywane, ale pozostają w postaci krystalicznej w węzłach nawet w dojrzałości pełnej.

Wyjaśnienie tego problemu jest bardzo ważne zarówno ze względów poznawczych jak i ekonomicznych. Informacje te mogą być bardzo wartościowe przy optymalizacji terminu zbioru i procesu nawożenia. Obecnie badania nad transportem mineralnych składników pokarmowych w roślinie prowadzone są za pomocą atomów znaczących izotopami promieniotwórczymi [4]. Metoda ta jest jednak bardzo pracochłonna, co powoduje, że mechanizm przemieszczania się tych substancji w roślinie podczas całego procesu wegetacji nie jest dokładnie poznany. Tylko zastosowanie równocześnie kilku technik pomiarowych do badania zmian zachodzących w poszczególnych węzłach źdźbła umożliwi uzyskanie znaczącego postępu w tym zakresie. Najwięcej informacji uzyskuje się na podstawie badań rentgenograficznych węzłów, które w połączeniu z wynikami badań ultradźwiękowych umożliwiają ocenę prawidłowości przebiegu tego procesu dla określonego etapu dojrzałości biologicznej. Dotychczas uzyskane wyniki badań

ultradźwiękowych i rentgenograficznych węzłów wskazują na potrzebę rozszerzenia tych badań poprzez zastosowanie mikroskopii skaningowej w celu uwizualnienia stwierdzonych rentgenograficznie krystalitów celulozy i związków mineralnych oraz opracowanie atlasu łączącego wyniki z badania tego materiału różnymi metodami.

Tylko zastosowanie nowoczesnych technik pomiarowych do badania struktury węzłów na poziomie submikroskopowym i ich składu chemicznego umożliwi wykrycie zmian w nich zachodzących w czasie wegetacji przy różnych poziomach nawożenia mineralnego.

WNIOSKI

1. W węzłach źdźbła magazynowane są substancje zapasowe w postaci krystalicznej. Wykorzystywanie tych substancji rozpoczyna się od dolnego węzła i w miarę rozwoju rośliny aktywność biologiczna kolejnych węzłów maleje.

2. Ze wzrostem poziomu nawożenia ilość substancji zapasowych w węzłach wzrasta, co powoduje przedłużenie aktywności węzłów i okresu wegetacji. Przy wysokich dawkach nawożenia stwierdzono występowanie substancji krystalicznych we wszystkich węzłach w okresie dojrzałości pełnej.

3. W węzłach źdźbeł pobranych z poletek nawożonych dawką 120 kg NPK/ha już w okresie dojrzałości woskowej stwierdzono jedynie kilka linii wskazujących na występowanie niewielkiej ilości celulozy krystalicznej i nie zidentyfikowanych substancji.

4. Potwierdzona została przydatność metody rentgenograficznej do identyfikacji substancji zapasowych występujących w poszczególnych węzłach. Wykazano, że zastosowanie tej metody do badania roślin zbożowych umożliwi określenie optymalnego terminu zbioru i procesu nawożenia.

5. Wyniki badań ultradźwiękowych dostarczają informacji o strukturze i właściwościach sprężystych materiału poszczególnych węzłów danego źdźbła oraz o zmianach zachodzących w tych cechach w czasie wegetacji.

6. Uzyskane wyniki mogą mieć aspekt praktyczny, gdyż wczesne wykrycie deficytu substancji mineralnych w źdźble może być zlikwidowane przez zastosowanie odpowiedniego nawożenia.

PIŚMIENNICTWO

1. Gawda H., Haman J.: An ultrasonic method of determining Young's modulus in cereal plants. Transactions ASAE 26, 250 1983.
2. Praca zbiorowa: Badanie nad dynamizmem podnoszenia się po wylegnięciu odmian żyta odpornych i łatwo wylegających oraz możliwości zwiększenia tego dynamizmu. Inst. Biologii Roślin, SGGW-AR w Warszawie, 1973.
3. Przeszlakowska M.: Zawartość substancji pektynowych, wapnia, magnezu oraz składników mineralnych w węzłach i międzywęzłach pszenicy wylegającej i niewylegającej w okresie kwitnienia. Acta Agrobot., vol. 34, 99-112, 1981.
4. Tierientiejew W.M.: Osobiennosti fizjologii rosta chleбных злаков на торфяной почве. Izd. Nauka i Tіchnika, Mińsk, 1970.
5. Mirkin A.I.: Sprawocznik po rіentgienostrukturnom analizu polikryształow. Moskwa 1961..

Г. Гавда

ИЗМЕНЕНИЯ В СУБМИКРОСКОПИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЕ УЗЛОВ СТЕБЛЯ ПШЕНИЦЫ ГРАНА ВО ВРЕМЯ ВЕГЕТАЦИИ ПРИ РАЗНОМ УРОВНЕ МИНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕНИЯ

Р е з ю м е

Проведено ультразвуковые исследования (1 мц) узлов стебля пшеницы Грана в 4 фенологических фазах. Стебли для исследований брались с участков с уровнем удобрения 120, 300, 600 и 1200 кг $\text{NPK}/\text{га}$. Обнаружено дифференциацию в субмикроскопической структуре и упругих свойствах клеточных стенок узлов в отдельном стебле.

Отмечено появление в себлях в кристаллической форме целлюлозы, хлорида калия и нераспознанных веществ, количество ко-

торых росло с уровнем удобрения. Показано, что использование запасных веществ начинается с нижних узлов и по мере созревания растения биологическая активность очередных узлов уменьшается.

Подтверждено пригодность ультразвукового метода для исследования изменений, происходящих в структуре узлов во время вегетации и пригодность рентгенографического метода для идентификации веществ, проявляющихся в кристаллической форме в узлах (сухих) на каком-либо этапе биологической спелости.

H. Gawda

CHANGES IN THE SUBMICROSCOPIC STRUCTURE OF GRANA WHEAT STALK NODES
DURING THE VEGETATION PERIOD AT VARIOUS FERTILIZATION LEVELS

S u m m a r y

Ultrasonic (1 MHz) studies of Grana winter wheat stalk nodes at four development stages were performed. The stalks for the measurements were taken from the plots of 120, 300, 600 and 1200 kg NPK/ha fertilization levels. Differences in the submicroscopic structure and elasticity of node cell walls in single stalk were found.

Occurrence of cristaline cellulose, KCl and unidentified substances was stated, the amount of the latters being increased with fertilization level increase. It was shown that utilization of spare substances begins from the bottom nodes and as the plant matures the biological activity of subsequent nodes decreases.

Suitability of ultrasonic method for studies of changes occurring in node structure during vegetation period and suitability of rentgenographic method for identification of substances occurring in cristalline form in nodes (in dry state) at any development stage was confirmed.