ACTA AGROBOTANICA
Vol. XXVIII, z. 2, 1975

Dystrybucja produktów fotosyntezy w źdźbłach długo- i krótkosłomych pszenic ozimych

U. WOJCIESKA i M. ŚLUSARCZYK

Zakład Biochemii i Fizjologii Żywienia Roślin Uprawnych IUNG w Puławach

(Przyjęto dn. 10 II 1975 r.)

U. Wojcieska and M. Ślusarczyk (Institute of Cultivation and Soil Fertilization, Puławy, Poland) *Acta Agrobotanica 28 (2): 263-273, 1975.*

Distribution of photosynthetic products in short and long culms of hibernating wheats

The aim of the present study was to obtain the informations on the content of carbohydrates and the physiological behaviour of photosynthetic products formed at the beginning of grain development in short and long culm wheat plants. The effect of chlorcholin chloride (CCC) as an agent inhibiting elongation of plant organs, especially elongation of the culm was also studied.

The differences in the dynamics of dry matter accumulation, in content of carbohydrates and in distribution of assymilates depending on type of variety and effect of CCC were found.

WSTĘP

Dystrybucja produktów fotosyntezy wytworzonych w roślinach zbożowych przed i po wykłoszeniu jest bardzo ważnym zagadnieniem mającym bezpośredni wpływ na produkcję ziarna. Ogólnie uważa się, że w produkcji ziarna biorą udział: 1) asymilaty wytworzone w fazie wegetatywnej, magazynowane w organach (głównie w źdźble), a w miarę wzrostu i dojrzewania ziarniaków remobilizowane i przemieszczane do kłosa; 2) asymilaty wytworzone w fazie reproduktywnej i w dużych ilościach przemieszczane bezpośrednio do ziarna. Jednakże, nawet w początkowym okresie wzrostu ziarniaków część nowo wytworzonych asymilatów jest najpierw akumulowana w źdźble, a dopiero w okresie dużego zapotrzebowania kłosa na asymilaty remobilizowana i wykorzystywana jako materiał budulcowy ziarniaków.

Obecne doświadczenia miały na celu zebranie informacji o zawartości węglowodanów i dystrybucji produktów fotosyntezy wytworzonych

po zapłodnieniu w krótko- i długoźdźbłowych odmianach pszenic ozimych z uwzględnieniem roli CCC jako czynnika hamującego wzrost wydłużeniowy organów roślin.

MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie z dwoma odmianami pszenicy ozimej — długosłomą 'Małgorzatką' i krótkosłomą 'Modzurowską' — przeprowadzono w warunkach hali wegetacyjnej na mieszaninie gleby i piasku w stosunku 1 : 2,5. Podano następujące ilości składników mineralnych w g na wazon zawierający 7,0 kg mieszaniny i 10 roślin: N — 1,5; P — 0,6; K — 0,9. Część roślin została w fazie strzelania w źdźbło potraktowana chlorkiem chlorocholiny. CCC (w roztworze wodnym) podano do gleby w ilości 300 mg na wazon. W czasie wegetacji roślin utrzymywano kontrolowany poziom wody — do 60% cpw. Zbiory roślin (5 powtórzeń po 10 roślin) w celu określenia ich ciężaru i zmian zawartości węglowodanów przeprowadzono trzykrotnie w czasie wegetacji: w fazie kłoszenia oraz mlecznej i pełnej dojrzałości.

W początkowym okresie rozwoju ziarniaków rośliny poddano ekspozycji w atmosferze zawierającej $^{14}CO_2$ w celu prześledzenia aktywności fotosyntetycznej i dystrybucji wytworzonych asymilatów. Radioaktywne rośliny zbierano czterokrotnie (3 powtórzenia po 3 rośliny) w terminach podanych w tabelach. Materiał rooślinny mielono w młynku w stanie zamrożonym, a następnie rozdrabniano w szklanym homogenizatorze w 80% etanolu, a radioaktywność prób określano za pomocą licznika G.M. W badanym materiale roślinnym polisacharydy strukturalne oznaczano według metody Waksmana i Stevensa (1930) zmodyfikowanej przez Heylanda (1959). Przygotowanie materiału roślinnego do oznaczania cukrów frakcji wodnej opracowała Ślusarczyk (1971).

WYNIKI

W okresie od wykłoszenia się roślin do fazy mlecznej dojrzałości obserwowano jeszcze znaczny przyrost masy szczególnie w międzywęźlach górnych (tab. 1). Przyrosty masy poszczególnych międzywęźli malały stopniowo ku podstawie pędu, a w dwu dolnych międzywęźlach w większości wypadków stwierdzono ubytek masy w tym okresie. Godny uwagi jest fakt, że u wysokiej odmiany 'Małgorzatka' większe przyrosty masy notowano u roślin traktowanych chlorkiem chlorocholiny niż u roślin kontrolnych, mimo wyraźnego skrócenia źdźbeł w wyniku działania preparatu (tab. 2). W krótkosłomej odmianie 'Modzurowska' większy przyrost masy stwierdzono w źdźbłach roślin kontrolnych (tab. 1).

Tabela 1 — Table 1

Wpływ CCC na przyrost suchej masy w źdźbłach (g/roślinę)
Influence of CCC on dry matter increase in the culm (g/plant)

Międzywęźle Internode	Kłoszenie Earing		Dojrzałość mleczna Milk ripe stage		Dojrzałość pełna Full maturity	
	kontrola control	CCC	kontrola control	CCC	kontrola control	CCC
	'Małgorzatka'					
			*	*	**	**
1 dolne—lower	0,652	0,542	0,611 (−0,041)	0,578 (+0,036)	0,500 (−0,111)	0,420 (−0,158)
2 środkowe—middle	0,352	0,276	0,367 (+0,015)	0,382 (+0,106)	0,280 (−0,087)	0,270 (−0,112)
3 „ „	0,358	0,314	0,527 (+0,169)	0,555 (+0,241)	0,510 (−0,017)	0,460 (−0,095)
4 dokłosie—apical	0,134	0,125	0,396 (+0,262)	0,520 (+0,395)	0,410 (+0,014)	0,440 (−0,080)
Całe źdźbło Whole culm	1,426	1,257	1,901 (+0,405)	2,035 (+0,778)	1,700 (−0,201)	1,590 (−0,445)
	'Modzurowska'					
1 dolne—lower	0,542	0,495	0,468 (−0,074)	0,407 (−0,088)	0,350 (−0,118)	0,210 (−0,197)
2 środkowe—middle	0,345	0,282	0,403 (+0,058)	0,274 (−0,008)	0,250 (−0,153)	0,150 (−0,124)
3 „ „	0,349	0,257	0,599 (+0,250)	0,385 (+0,128)	0,400 (−0,199)	0,260 (−0,125)
4 dokłosie—apical	0,112	0,099	0,390 (+0,278)	0,316 (+0,217)	0,320 (−0,070)	0,300 (−0,016)
Całe źdźbło Whole culm	1,348	1,333	1,860 (+0,502)	1,382 (+0,249)	1,320 (−0,540)	0,920 (−0,462)

* Przyrost lub ubytek suchej masy w okresie od kłoszenia do dojrzałości mlecznej i ** od dojrzałości mlecznej do pełnej (w nawiasach).
* Increase or decrease of dry matter in the period from heading till milk ripe stage and ** from milk ripe stage till full maturity (in parentheses).

Tabela 2 — Table 2

Wpływ CCC na wysokość źdźbeł (cm)

Influence of CCC on the height of the culm (cm)

Międzywęźle Internode	Termin pobierania prób Period of sampling			
	kłoszenie earing		dojrzałość mleczna milk ripe stage	
	kontrola control	CCC	kontrola control	CCC
	'Małgorzatka'			
1	14,5	11,7	15,3	14,2
2	16,7	10,9	16,1	12,6
3	21,9	15,2	21,1	17,2
4	29,6	25,1	30,8	27,9
5	17,1	19,7	46,6	44,3
Całe źdźbło Whole culm	99,8	82,6	129,9	116,2
	'Modzurowska'			
1	12,5	6,4	6,1	8,1
2	11,8	8,1	11,8	8,2
3	19,3	10,9	16,8	12,0
4	23,5	14,7	27,2	19,2
5	15,2	11,8	38,3	32,9
Całe źdźbło Whole culm	82,3	51,9	98,2	80,4

W okresie od fazy dojrzałości mlecznej do pełnej następował ubytek masy źdźbeł u obudwu odmian przy czym u 'Małgorzatki' był on wyraźnie większy w kombinacji z CCC, natomiast u 'Modzurowskiej' — w kombinacji kontrolnej. Niezależnie od kombinacji największy ubytek masy u odmiany 'Małgorzatka' stwierdzono w międzywęźlach dolnych i środkowych. Dokłosie roślin kontrolnych wykazywało jeszcze niewielki przyrost masy w tym okresie, czego nie stwierdzono w dokłosiu roślin traktowanych preparatem. W wypadku krótkosłomej odmiany 'Modzurowska' ubytek masy poszczególnych międzywięźli był w obu seriach doświadczalnych bardziej równomierny i tylko w dokłosiu — wyraźnie niższy.

Analizy chemiczne wykazały zmiany w zawartości węglowodanów

pod wpływem CCC. Stwierdzono różną zawartość cukrów frakcji wodnej w obu odmianach (tab. 3 i 4).

Długosłoma 'Małgorzatka' w wyniku działania CCC w fazie kłoszenia nagromadzała więcej cukrów frakcji wodnej, szczególnie w dwu górnych międzywęźlach. W fazie mlecznej dojrzałości w dokłosiu stwierdzono znacznie więcej cukrów w roślinach traktowanych CCC niż w kontrolnych, natomiast w czterech pozostałych międzywęźlach znacznie mniej. W fazie pełnej dojrzałości ilość cukrów tej frakcji w poszczególnych międzywęźlach nie przekraczała jednego procentu, a różnice między kombinacjami były niewielkie (tab. 3).

Krótkosłoma 'Modzurowska', w fazie kłoszenia i mlecznej dojrzałości zawierała nieco więcej cukrów rozpuszczalnych w wodzie w poszczególnych międzywęźlach w roślinach traktowanych CCC (z wyjątkiem międzywęźla 1-go w fazie mlecznej dojrzałości) (tab. 4). W fazie pełnej dojrzałości, podobnie jak u 'Małgorzatki' zmiany w zawartości cukrów w wyniku działania CCC były nieznaczne.

Badane odmiany pszenicy różniły się zawartością polisacharydów strukturalnych. Odmiana 'Małgorzatka' zawierała na ogół więcej tych związków w porównaniu z odmianą 'Modzurowska'.

Przebieg gromadzenia się hemiceluloz i celulozy był podobny u obu odmian. W wyniku działania CCC nie stwierdzono różnic w zawartości tych związków (tab. 3 i 4). Zaobserwowano natomiast na ogół bardziej zbliżoną ich zawartość w poszczególnych międzywęźlach źdźbeł u roślin traktowanych preparatem CCC w porównaniu z kontrolą. W fazie dojrzałości mlecznej stwierdzono ubytek polisacharydów strukturalnych; dotyczyło to szczególnie środkowych międzywęźli. Ubytek ten był nieco mniejszy w roślinach kombinacji CCC.

Doświadczenie z ^{14}C wykazało szybki transport ^{14}C-asymilatów z liści i nagromadzanie znacznej ich puli w źdźble. Pula ta zależała jednak w dużym stopniu od odmiany (krótko- lub długoźdźbłowa), od czasu, jaki upłynął od wytworzenia ^{14}C-asymilatów oraz od kombinacji. W źdźbłach odmiany wysokosłomej obserwowano stopniowy wzrost procentowego udziału ^{14}C-asymilatów w stosunku do radioaktywności całego pędu (tab. 5), a następnie ich ubytek, choć duża część znakowanych związków pozostała aż do końca wegetacji. W źdźbłach niskiej odmiany już po dobie wykryto około 50% ogólnej ilości ^{14}C-związków. W późniejszym okresie procentowy udział tych związków zmniejszał się stopniowo i w fazie dojrzałości pełnej był niższy w porównaniu z odmianą wysoką.

Potraktowanie roślin CCC skracało okres kumulacji asymilatów w źdźble przyspieszając i zwiększając ich transport do ziarna (tab. 5 i 6). Ostateczna kumulacja ^{14}C-asymilatów w źdźbłach skróconych w wyniku działania CCC była mniejsza niż w źdźbłach roślin kontrolnych.

Tabela 3 — Table 3

Zawartość węglowodanów w poszczególnych międzywęźlach źdźbeł pszenicy 'Małgorzatki' (w % suchej masy)

Content of carbohydrates in the particular internodes of the wheat culm cv. Małgorzatka (% d.m.)

Forma rozwoju Stage of plant development	Międzywęźle (od dołu) Internodes (from the bottom)	Cukry rozpuszczalne w wodzie Water soluble sugars		Hemicelulozy Hemicelluloses		Celuloza Cellulose	
		kontrola control	CCC	kontrola control	CCC	kontrola control	CCC
Kłoszenie Heading	1	8,3	9,9	18,1	18,5	29,7	29,0
	2	8,6	10,2	16,2	17,6	29,9	30,1
	3	9,0	9,7	16,5	17,4	29,5	30,0
	4	2,5	5,1	19,0	19,3	29,2	29,0
	5	2,5	5,5	20,5	19,9	20,0	22,0
Mleczna dojrzałość Milk stage	1	11,7	6,7	19,0	19,6	30,0	30,0
	2	15,0	12,8	16,9	17,0	29,0	29,1
	3	14,0	13,3	14,5	15,7	26,1	27,0
	4	14,8	10,4	16,0	16,5	27,0	26,8
	5	7,4	10,4	19,2	18,6	26,9	27,0
Pełna dojrzałość Full maturity	1	0,5	0,7	24,2	24,0	39,2	39,4
	2	0,2	0,6	25,5	25,0	43,3	43,0
	3	1,0	0,5	24,8	25,8	44,0	43,9
	4	0,8	0,4	25,0	25,0	40,8	40,1
	5	0,7	1,0	26,8	26,0	38,4	39,2

Tabela 4 — Table 4

Zawartość węglowodanów w poszczególnych międzywęźlach źdźbeł pszenicy 'Modzurowska' (w % suchej masy)

Content of carbohydrates in the particular internodes of the wheat culm cv. Modzurowska (% d.m.)

Forma rozwoju Stage of plant development	Międzywęźle (od dołu) Internodes (from the bottom)	Cukry rozpuszczalne w wodzie Water soluble sugars		Hemicelulozy Hemicelluloses		Celuloza Cellulose	
		kontrola control	CCC	kontrola control	CCC	kontrola control	CCC
Kłoszenie Heading	1	9,0	11,3	16,2	15,9	25,9	25,4
	2	11,8	13,9	15,3	15,8	24,9	24,7
	3	13,2	14,0	15,0	15,4	26,0	25,0
	4	5,5	6,3	17,2	16,8	28,9	28,0
	5	3,6	4,0	19,0	17,9	20,1	24,1
Mleczna dojrzałość Milk stage	1	10,1	8,7	16,1	16,3	27,0	27,8
	2	12,5	14,0	13,4	14,7	24,1	24,9
	3	12,6	14,5	13,4	14,1	22,3	23,0
	4	13,0	14,0	14,8	15,0	24,5	24,5
	5	5,1	6,0	18,9	18,3	28,0	27,0
Pełna dojrzałość Full maturity	1	1,0	0,4	22,4	22,6	34,0	34,5
	2	0,9	0,2	22,2	22,9	34,9	35,8
	3	1,0	0,2	23,1	23,0	41,0	39,8
	4	0,7	1,0	22,9	23,0	37,0	37,5
	5	0,7	1,0	23,0	23,6	33,0	33,8

Tabela 5 — Table 5

Dystrybucja asymilatów w pędzie pszenicy długoźdźbłowej

Distribution of assimilates in the shoot of long-culm wheat (cv. Małgorzatka)

Radioaktywność całego pędu w kolejnych zbiorach = 100% — Radioactivity of the whole shoot in succesive samplings = 100%.

Liczby opatrzone gwiazdką oznaczają % asymilatów w całym kłosie — Figures with asterisk means percentage of assimilates in the whole ear.

Organ	Kontrola — Control					CCC				
	terminy zbiorów — dni po ekspozycji na $^{14}CO_2$ time of sampling — days after exposition to $^{14}CO_2$									
	0	1	7	14	rośliny dojrzałe ripened plants	0	1	7	14	rośliny dojrzałe ripened plants
Blaszki liściowe Leaf laminae	76,0	30,0	10,0	2,0	1,5	84,0	32,0	10,0	3,0	2,0
Pochwy liściowe Leaf sheaths	14,0	10,0	9,0	9,0	7,0	8,0	9,0	7,0	6,0	6,0
Międzywęźle Internode										
1. dolne bottom		3,0	5,0	6,0	3,0		4,0	6,0	4,0	4,0
2.	3,0	10,0	12,0	13,0	6,0	1,0	6,0	12,0	8,0	7,0
3.		12,0	14,0	16,0	13,0		11,0	15,0	16,0	14,0
4. dokłosie apical		15,0	18,0	19,0	25,0		16,0	18,0	17,0	15,0
Całe źdźbło Whole culm	3,0	40,0	49,0	54,0	47,0	1,0	37,0	51,0	45,0	40,0
Ziarno — Grain	7,0*	20,0*	6,0	15,0	37,5	7,0*	22,0*	9,0	30,0	46,0
Ości, plewy, osadki Awns, glumes, rachis			26,0	20,0	7,0			23,0	16,0	6,0
Cały kłos-Whole ear	7,0	20,0	32,0	35,0	44,5	7,0	22,0	32,0	46,0	52,0

Tabela 6 — Table 6

Dystrybucja asymilatów w pszenicy o krótkim źdźble
Distribution of assimilates in the short-culm wheat (cv. Modzurowska)

Radioaktywność całego pędu w kolejnych zbiorach = 100% — Radioactivity of the whole shoot in succesive samplings = 100%

Organ	Kontrola — Control					CCC				
	terminy zbiorów — dni po ekspozycji na $^{14}CO_2$ time of sampling — days after exposition to $^{14}CO_2$									
	0	1	7	14	dojrzałość pełna ripened plants	0	1	7	14	dojrzałość pełna ripened plants
Blaszki liściowe Leaf laminae	80,0	22,0	12,0	7,0	4,0	81,0	23,0	14,0	5,0	3,0
Pochwy liściowe Leaf sheaths	11,0	11,0	9,0	9,0	8,0	12,0	13,0	11,0	8,0	7,0
Międzywęźle Internode										
1. dolne bottom		12,0	8,0	5,0	3,0		6,0	4,0	3,0	2,0
2. dolne bottom										
3.		8,0	10,0	8,0	3,0	3,0	10,0	6,0	4,0	3,0
4.	4,0	15,0	14,0	16,0	12,0		14,0	14,0	13,0	11,0
5. dokłosie apical		16,0	17,0	19,0	24,0		15,0	16,0	16,0	14,0
Całe źdźbło Whole culm	4,0	51,0	49,0	48,0	40,0	3,0	45,0	40,0	36,0	30,0
Ziarno — Grain			17,0	25,0	42,0			21,0	42,0	53,0
Ości, plewy, osadki Awns, glumes, rachis	5,0*	16,0*	13,0	11,0	6,0	4,0*	19,0*	14,0	7,0	7,0
Cały kłos Whole ear	5,0	16,0	30,0	36,0	48,0	4,0	19,0	35,0	49,0	60,0

Wystąpiły pewne różnice między odmianami i między kombinacjami w rozmieszczeniu ^{14}C-asymilatów w poszczególnych międzywęźlach źdźbła. W odmianie wysokosłomej ogromna większość znakowanych związków nagromadzała się w międzywęźlach górnych, podczas gdy w odmianie krótkosłomej znaczną ich część znajdowano również w międzywęźlach dolnych. CCC wpłynął na bardziej równomierne rozmieszczenie ^{14}C-asymilatów w poszczególnych międzywęźlach, a w późniejszym okresie na bardziej równomierną ich remobilizację. Remobilizacja ^{14}C-asymilatów z międzywęźli górnych, a w szczególności z dokłosia była większa w wypadku roślin traktowanych preparatem.

DYSKUSJA

Aktywne nagromadzanie produktów fotosyntezy w źdźbłach zbóż, a następnie ich remobilizacja i transport do ziarna zostało już wcześniej stwierdzone przez Birecką i Włodkowską (1966), Evansa i Rawsona (1970), Rawsona i Hofstrę (1969), Rawsona i Evansa (1971), Wojcieską i Szczypę (1971) i wydaje się być cechą odmianową i gatunkową roślin (Włodkowska 1972; Ślusarczyk i Wojcieska 1974; Wojcieska, Szczypa i Ślusarczyk 1973). Zdolność roślin do nagromadzania masy w źdźble może jednak ulegać zmianom w wyniku działania czynników środowiskowych, między innymi zaopatrzenia roślin w azot (Birecka i Wojcieska 1968) w wodę (Szczypa-Wolska 1973) oraz w wyniku działania regulatorów wzrostu (Birecka 1966).

Analiza przyrostów masy źdźbeł i poszczególnych międzywęźli roślin doświadczalnych wykazała różny przebieg tego procesu. Większe nagromadzenie masy stwierdzono u odmiany o długim źdźble. ^{14}C-asymilaty wytworzone po zapłodnieniu przemieszczały się w największych ilościach do tych międzywęźli, w których najintensywniej przebiegały procesy wzrostowe. W rosnących międzywęźlach asymilaty transportowane w formie cukrów szybko ulegały przemianom w związki konstytucyjne, których poziom nie ulegał później większym zmianom aż do końca wegetacji. Wskazują na to niewielkie ubytki masy tych międzywęźli, duże nagromadzenie polisacharydów strukturalnych oraz duży udział ^{14}C-związków zakumulowanych w tych międzywęźlach w stosunku do ogólnej ilości ^{14}C-związków zawartych w całych źdźbłach roślin dojrzałych, szczególnie w odmianie wysokiej. Duże ubytki masy środkowych i dolnych międzywęźli, w tym nie tylko odprowadzenie występujących tam w dużych ilościach cukrów rozpuszczalnych, ale nawet ubytki polisacharydów strukturalnych wskazują, że właśnie te międzywęźla są w głównej mierze miejscem przejściowego magazynowania asymilatów

w źdźble i źródłem rezerw asymilatów wykorzystywanych w okresie dużego zapotrzebowania ziarniaków na asymilaty. Wskazują na to również duże ubytki związków znakowanych z tych międzywęźli. Włodkowska (1972) stwierdziła największy spadek radioaktywności cukrów w dolnych międzywęźlach, co również może wskazywać na ich największy udział w redystrybucji asymilatów ze źdźbła do kłosa. W odmianie krótkosłomej miał miejsce bardziej bezpośredni transport asymilatów do ziarna i bardziej równomierne ich rozłożenie w poszczególnych międzywęźlach. Podobny efekt uzyskano w wyniku sztucznego skrócenia źdźbeł przez chlorek chlorocholiny. Nie stwierdzone w przedstawionych badaniach działanie CCC na zmianę zawartości substancji szkieletowych jest zgodne z wynikami Mayera i Bayzera (1965) i Junga i Richle (1966). Działanie CCC uwidoczniło się przede wszystkim w zmianie zawartości cukrów frakcji wodnej i ich rozmieszczeniu w poszczególnych międzywęźlach i było różne w odmianie długo- i krótkosłomej.

LITERATURA

Birecka H., 1966, Bull. Acad. Pol. Sci. Ser. Sci. Biol. 14(4): 261.

Birecka H., Włodkowska L., 1966. Acta Soc. Bot. Pol. 33(4): 637.

Birecka H., Wojcieska U., 1968, ibid. 37(1): 77.

Evans L. T., Rawson H. M., 1970, Aust. J. Biol. Sci. 23(2): 245.

Heyland K. U., 1959, Z. Acker u. PfBau, 108(4): 473.

Jung J., Richle G., 1966, Z. Acker u. PfBau, 124(2): 112.

Mayr H. H., Bayzer H., 1965, Z. Acker u. PfBau, 121(4): 295.

Rawson H. M., Hofstra G., 1969, Aust. J. Biol. Sci., 22(2): 321.

Rawson H. M., Evans L. T., 1971, Aust. J. Agr. Res., 22(4): 851.

Ślusarczyk M., 1971, Zmienność występowania substancji szkieletowych w różnych gatunkach i odmianach zbóż. Praca doktorska, IUNG — Puławy.

Ślusarczyk M., Wojcieska U., 1974, Bull. Acad. Pol. Ser. Sci. Biol. 22(9): 653.

Szczypa-Wolska E., 1973, Wpływ wilgotności gleby na produktywność fotosyntezy żyta ozimego Dańkowskie Złote. Praca doktorska, IUNG — Puławy.

Waksman S. A., Stevens K. R., 1930, Ind. Eng. Chem. Aral. Ed., 2: 167.

Włodkowska L., 1972, Udział źdźbła w kształtowaniu się plonu pszenicy. Praca doktorska SGGW, Warszawa.

Wojcieska U., Szczypa E., 1971, Pam. Puł. 44, 49.

Wojcieska U., Szczypa-Wolska E., Ślusarczyk M., 1973, Photosynthesis, translocation and accumulation of assimilates in winter rye and winter wheat plants. Proc. Res. Inst. of Pom. Skierniewice, Poland, 3: 139.