Cukry i związki fosforowe w procesie posprzętnego dojrzewania ziarna jęczmienia jarego (Browarny PZHR)

*The dynamics of sugars and phosphorus compounds in the process of after-harvest
ripening of spring barley (Browarny PZHR)*

K. KULKA, B. SOBIERAJ

Bezpośrednią przyczyną wywołującą stan spoczynku ziarna jęczmienia jarego są inhibitory, które nagromadzają się w okresie dojrzewania (Grzesiuk 1961). W poprzedniej pracy (Rejowski i Kulka 1967) stwierdzono, że podczas wtórnego (fizjologicznego) dojrzewania ziarna zanika w nim aktywność tzw. β -inhibitora, związku mogącego hamować działanie wielu enzymów regulujących metabolizm kwasów nukleinowych, białek, cukrowców oraz stymulatorów wzrostu.

Niektórzy autorzy utrzymują, że przerwanie spoczynku głębokiego organów roślinnych uwarunkowane jest nagromadzeniem się w tkankach merystematycznych odpowiedniej ilości kwasów nukleinowych i związków „makroergicznych” typu ATP (Sabinin 1957; Olney i Pollock 1960; Bradbeer i Floyd 1964; Mietlickij i Korablewa 1965; Korablewa 1966).

W całości jednak przemiany biochemiczne zachodzące w okresie posprzętnego (fizjologicznego) dojrzewania nasion i warunkujące przerwanie spoczynku są dotychczas poznane w niewielkim stopniu (Grzesiuk 1967). Podjęte więc przez nas badania miały na celu prześledzenie tych przemian w ziarnie jęczmienia.

Pierwsza publikacja (Kulka, Sobieraj 1967) z zakresu omawianych badań donosiła o zmianach wolnych aminokwasów, a praca niniejsza przedstawia dynamikę cukrów i związków fosforowych w okresie uzyskiwania przez ziarno spoczynkowe jęczmienia zdolności kiełkowania.

METODY BADAŃ

Badania przeprowadzano na dojrzałym morfologicznie ziarnie jęczmienia jarego ('Browarny PZHR'), które zebrano w latach 1965 i 1966. Świeże ziarno, pochodzące ze zbioru w 1965 roku, podzielono na dwie części. Jedną z nich przechowywano w stanie powietrznie suchym w laboratorium, w temperaturze pokojowej, drugą zaś część ziarna trzymano stale na kielkowniku Jacobsena w stanie pełnego nasycenia wodą w temperaturze około 18°C. Ziarniaki skielkowane odrzucono, a w nieskielkowanym ziarnie oraz w ziarnie powietrznie suchym oznaczano zawartość mono- i oligosacharydów.

Ziarno ze zbioru w 1966 roku również podzielono na dwie grupy. Obie grupy ziarna przechowywano w stanie powietrznie suchym, przy czym jedną z nich trzymano w temperaturze pokojowej, drugą zaś w termostacie, w temperaturze podwyższonej do 38°C. (W takiej temperaturze szybciej przebiega u zbóż proces posprzętnego dojrzewania (Grzesiuk 1967). Z obu partii ziarna izolowano po utrwaleniu zarodki wraz z tarczkami i oznaczano w nich, a także w bielmie zawartość cukrów. Kwasy nukleinowe i pozostałe frakcje związków fosforu oznaczano tylko w zarodkach.

Próbki ziarna przeznaczone do analiz pobierano w odstępach kilku- lub kilkunastu dni. Bezpośrednio po pobraniu utrwalano próbki w przepływającej parze wodnej o temperaturze około 100°C w ciągu 15 minut. Następnie utrwalony materiał suszono w temperaturze 55°C do stałego ciężaru, dokładnie mielono i przechowywano w hermetycznych naczyniach w szafie chłodniczej. Równolegle oznaczano też wilgotność i zdolność kiełkowania ziarna.

Ekstrakcję cukrów przeprowadzano 70 % etanolem. Otrzymany ekstrakt uwalniano od lipidów poprzez wytrząsanie go z chloroformem i odparowywano w temperaturze 45°C w ciągu 4 godzin. Suchą pozostałość rozpuszczano w 1 ml 50 % etanolu. Do rozdzielania cukrów zastosowano chromatografię wstępującą, jednokierunkową, na bibule Whatman 3. Chromatogramy rozwijano trzykrotnie w układzie: n butanol — kwas octowy — woda (4:1:1); wywoływano roztworem m-aminofenolu. Ilościowo badane związki określano na densytometrze firmy Jouan.

Związki fosforu frakcjonowano za pomocą metody Schmidta i Thannhausera zmodyfikowanej przez Kuramszina, Nietupską i Konariewa (1967).

Analizy chemiczne przeprowadzano przynajmniej w dwóch powtórzeniach.

WYNIKI I ICH OMÓWIENIE

Ziarno jęczmienia pochodzące ze zbioru w 1965 roku miało dość głęboki spoczynek. Ustępował on dopiero po okresie dwóch miesięcy suchego przechowywania w laboratorium. Wilgotność ziarna w miarę upływu spoczynku systematycznie malała (z 33,6—13,4 %).

Zdolność kiełkowania ziarna przechowywanego w stanie pełnego nasycenia wodą była niska i w końcu eksperymentu (po 64 dniach) wynosiła zaledwie 25 %. Prawdopodobnie ziarno to w stanie napęczniałym popada w tzw. spoczynek wtórny (Grzesiuk 1967).

Spoczynek posprzętny ziarna jęczmienia zebranego w 1966 roku trwał w przybliżeniu jeden miesiąc w warunkach suchego przechowywania i w temperaturze pokojowej, natomiast podwyższenie temperatury do 38°C skracało okres spoczynku praktycznie do jednego tygodnia. Wilgotność ziarna określona bezpośrednio po zbiorze wynosiła 17 %, zaś po zakończeniu eksperymentu — dla ziarna przechowywanego w temperaturze pokojowej 12,1, a przy 38°C — 5,9 %.

1. Cukry, W całym ziarnie spoczynkowym lub jego częściach (bielmie i zarodkach) wykryto znaczne ilości sacharozy, rafinozy i glikodifruktozy (tabele 1, 2 i 3).

Tabela 1 — Table 1

Zmiany ilościowe cukrów w okresie spoczynku ziarna jęczmienia jarego (mg/l g suchej masy)

Quantitative changes in sugars during dormancy of barley grain (in mg/l g of dry matter)

Liczba dni po sprzęcie Number of days after harvest	Ziarno przechowywane w stanie powietrznie suchym Grain stored in air-dry condition										Ziarno nasyczone wodą Grain saturated by water									
	% suchej masy ziarna Dry mass of grain in %	% ziarna kiełkującego po 12 dniach after 12 days % of germinating grain	Fructose	Glucose	Sucrose	Maltose	Glicodiffructose	Rafinose	Monosaccharides (sum)	Oligosaccharides (sum)	Fructose	Glucose	Sucrose	Maltose	Glicodiffructose	Rafinose	Monosaccharides (sum)	Oligosaccharides (sum)		
0	66,4	4,0	0,33	0,20	3,00	0,30	0,81	2,25	0,53	6,46	—	0,23	—	—	—	—	—	—		
6	75,0	2,5	0,25	0,10	3,60	0,13	0,77	2,53	0,35	7,03	54,2	0,32	3,22	0,85	0,90	2,61	0,55	7,58		
13	83,3	6,0	0,33	0,09	3,60	0,13	0,83	2,16	0,42	6,72	—	—	—	—	—	—	—	—		
23	85,2	16,5	0,35	0,08	4,05	0,13	0,75	2,45	0,43	7,36	56,4	0,10	3,60	0,98	1,63	2,60	0,18	8,81		
35	85,5	23,5	0,29	0,10	3,67	0,13	0,70	2,40	0,39	6,90	—	—	—	—	—	—	—	—		
44	86,0	81,0	0,33	0,09	3,53	0,13	1,05	2,40	0,42	7,11	55,0	0,22	4,35	1,81	2,13	2,60	0,52	10,89		
64	86,6	87,0	0,25	0,10	3,53	0,13	0,96	2,34	0,35	6,96	50,6	0,35	4,95	3,25	2,40	2,60	0,75	13,2		
		Ziarno skielkowane Germinating grain									—	2,82	3,00	5,25	9,01	1,56	2,46	5,82	18,3	

Tabela 2 — Table 2

Zmiany ilościowe cukrów w zarodkach i bielmach jęczmienia jarego w okresie spoczynku późniejszego (w mg/1 g suchej masy). Ziarno przechowywano w stanie powietrznie suchym, w temperaturze pokojowej

Quantitative changes of sugars in the embryos and endosperms of spring barley grain during after harvest dormancy (in mg/1 g of dry matter). Grain stored in the air-dry conditions in room temperature

Liczba dni po spręcie Number of days after harvest	Wilgotność ziarna w % Grain humidity in %	% ziarna kielującego po % of germinating grain after		Zarodki — embryos							Bielmo — endosperm							
		3 dniach 3 days	6 dniach 6 days	Fructose	Glucose	Sucrose	Maltose	Glicodiffructose	Rafinose	Oligosaccharides (sum)	Fructose	Glucose	Sucrose	Maltose	Glicodiffructose	Rafinose	Monosaccharides (sum)	Oligosaccharides (sum)
8	13,4	1	4	0	0	33,0	0	1,31	28,5	62,81	0,34	0,21	3,50	0,12	1,20	1,85	0,55	6,67
16	12,4	25	75	0	0	44,4	0	2,74	31,5	78,64	0,50	0,22	4,20	0,25	1,40	3,35	0,72	9,20
24	12,1	44	89	0	0	38,4	0	3,02	31,5	72,92	0,50	0,24	3,75	0,25	1,22	2,35	0,74	7,57
38	12,1	90	99	0	0	39,0	0	3,01	27,5	69,51	0,65	0,35	3,75	0,43	1,22	2,40	1,00	7,80

Tabela 3 — Table 3

Zmiany ilościowe cukrów w zarodkach i bielmach ziarna jęczmienia jarego w okresie spoczynku pożniwnego w mg/l g suchej masy Ziarno przechowywano w stanie powietrznie suchym, w temperaturze 38°C

Quantitative changes of sugars in the embryos and endosperms of spring barley grain during after-harvest dormancy (in mg/l g of dry matter). Grain stored in the air-dry conditions in temperature 38°C

Liczba dni po sprzecie Number of days after harvest	Wilgotność ziarna w % Grain humidity in %	% ziarna kielkującego po % of germinating grain after		Zarodki — embryos								Bielmo — endosperm							
		3 dniach 3 days	6 dniach 6 days	Fructose	Glucose	Sucrose	Maltose	Glicodiffructose	Rafinose	Oligosaccharides (sum)	Fructose	Glucose	Sucrose	Maltose	Glicodiffructose	Rafinose	Monosaccharides (sum)	Oligosaccharides (sum)	
9	7,2	37	98	0	0	43,2	0	3,0	31,5	77,7	0,5	0,24	3,9	0,45	1,22	3,28	0,74	8,85	
17	5,9	66	99	0	0	43,8	0	2,7	33,1	79,6	0,36	0,15	3,2	0,37	0,94	1,85	0,51	6,36	

Zawartość pozostałych cukrów (maltozy, glukozy i fruktozy) w bielmie była niewielka, a w zarodkach w ogóle nie stwierdzono ich obecności. Podobne dane przytaczają Kretowicz (1958) i Grzesiuk (1967). W całym ziarnie jęczmienia, przechodzącym dojrzewanie wtórne w stanie powietrznie suchym nie stwierdzono, jak w przypadku wolnych aminokwasów (Kulka i Sobieraj, 1967), większych zmian (z wyjątkiem sacharozy) w zawartości poszczególnych cukrów (tabela 1). Świadczy to o dużym zahamowaniu metabolizmu cukrowcowego (być może przez inhibitory wzrostu).

Większe różnice wystąpiły w dynamice cukrowców przy oddzielnej analizie bielma i zarodków ziarna przechodzącego spoczynek poźniwny w ciągu 38 dni. W pierwszej połowie spoczynku w obu częściach ziarna ogólna ilość cukrów wyraźnie się zwiększyła, po czym zawartość ich uległa niewielkiemu obniżeniu. Zawartość jednak maltozy, glukozy i fruktozy wzrastała w bielmie do końca trwania spoczynku.

Kluczową pozycję w przemianach cukrowców zajmuje sacharoza (Grzesiuk 1961 a; Axelord 1965; Grzesiuk 1967). Związek ten może ulec przemianie w pentozę, heksozę, a także w polisacharydy (Wanner 1958).

W całym ziarnie powietrznie suchym oraz w jego częściach składowych (tabele 2 i 3) dynamika sacharozy kształtowała się podczas spoczynku poźniwnego w sposób bardzo charakterystyczny. W początkowym okresie posprzętnego dojrzewania obserwowano wyraźną syntezę sacharozy, co najwyraźniej zaznaczyło się w zarodkach później zaś zawartość tego związku nieznacznie się obniżyła.

Ziarno jęczmienia będące w stanie napęczniałym utraciło spoczynek dopiero po 9 miesiącach przechowywania w temperaturze pokojowej. Dane przytoczone w tabeli 1 świadczą o dużym zahamowaniu jego metabolizmu cukrowcowego, prawdopodobnie poprzez inaktywację enzymów biorących udział w rozkładzie skrobi i innych przemianach. Przypuszczenie to znalazło częściowe potwierdzenie w pracy Elliota i Leopolda (1953). Autorzy ci stwierdzili mianowicie, że przyczyną słabej zdolności kiełkowania ziarna owsa było ograniczenie przez inhibitory aktywności α i β -amylaz.

Podsumowując przytoczone wyżej dane, należy stwierdzić, że podczas posprzętnego dojrzewania ziarna jęczmienia, przemiany biochemiczne mają na celu zabezpieczenie zarodka w odpowiednią ilość oligosacharydów, głównie zaś w sacharozę. Bezpośrednią jednak przyczyną uwolnienia się ziarna od spoczynku głębokiego jest prawdopodobnie wzrost aktywności niektórych układów enzymatycznych (uprzednio zablokowanych przez inhibitory) związanych między innymi z metabolizmem cukrowców.

2. Związki fosforowe. Wśród związków fosforowych bardzo ważną rolę w metabolizmie spełniają kwasy nukleinowe. Nagromadzają się one zawsze w największych ilościach (w stosunku suchej masy) w tkankach i organach o największej aktywności fizjologicznej (Kulka i Grzesiuk 1965). Wielu autorów stwierdziło, że synteza RNA i DNA zachodzi w zarodkach do końca dojrzewania ziarna (Li Din Cho i Biełozierskij 1958; Chang Chong 1963; Kulka 1966).

Z danych przedstawionych w tabeli 4 wynika, że również w zarodkach ziarna jęczmienia jarego posprzętnie dojrzewającego zachodził proces syntezy KN. Bio-

synteza DNA trwała w zarodkach do 16 dnia, a gromadzenie się RNA do 24 dnia spoczynku ziarna. Prawdopodobnie zwiększenie ilości kwasów nukleinowych w zarodkach odbywało się kosztem rozkładu tych związków w bielmie. W poprzedniej bowiem pracy wykazano, że ogólna zawartość RNA i DNA w całym ziarnie spoczynkowym, przechowywanym w stanie powietrznie suchym nie ulega istotnym zmianom (Rejowski i Kulka 1967).

Tabela 4 — Table 4

Frakcje związków fosforu w zarodkach ziarna jęczmienia jarego podczas spoczynku późniwego. Ziarno przechowywano w stanie powietrznie suchym w temperaturze pokojowej
Fractions of phosphorus compounds in the embryos of spring barley grain during after-harvest dormancy. Grain stored in the air-dry conditions in room temperature

Liczba dni po sprężeniu Number of days after harvest	Fosfor w $\mu\text{g}/1$ g suchej masy — Phosphorus in $\mu\text{g}/1$ g of dry matter						
	nie-organiczny inorganic	kwaso-rozpuszczalny acid-soluble	lipidowy lipid	RNA	DNA	RNA+DNA	RNA/DNA
8	675	6375	165	2625	675	3300	3,9
16	560	5437	129	2737	1012	3750	2,7
24	600	6375	135	2925	975	3900	3,0
38	560	6225	135	2925	975	3900	3,0

Tabela 5 — Table 5

Frakcje związków fosforu w zarodkach ziarna jęczmienia jarego podczas spoczynku późniwego. Ziarno przechowywano w stanie powietrznie suchym w temperaturze 38°C
Fraction of phosphorus compounds in the embryos of spring barley grain during after-harvest dormancy. Grain stored in the air-dry conditions in temperature 38°C

Liczba dni po sprężeniu Number of days after harvest	Fosfor w $\mu\text{g}/1$ g suchej masy — Phosphorus in $\mu\text{g}/1$ g of dry matter						
	nie-organiczny inorganic	Kwaso-rozpuszczalny acid-soluble	lipidowy lipid	RNA	DNA	RNA+DNA	RNA/DNA
9	697	5212	108	2925	937	3862	3,1
* 17	600	5212	117	2887	975	3862	3,0

Wyniki zebrane w tabeli 5 wskazują, że podwyższona temperatura, skracając okres spoczynku ziarna, spowodowała jednocześnie szybsze nagromadzenie się kwasów nukleinowych w zarodkach.

Jak już zaznaczono we wstępie, niektórzy autorzy utrzymują, że uwolnienie się organu roślinnego od spoczynku związane jest z nagromadzeniem w jego tkankach merystematycznych odpowiedniej ilości RNA i DNA (Sabinin 1957; Mietlickij i Korablewa 1966). Z poglądem tym trudno się w całości zgodzić. Niewątpliwie zwiększenie ilości RNA i DNA w tkankach merystematycznych ziarniaka ułatwia i przyspiesza proces kiełkowania, istnieje jednak duże prawdopodobieństwo, że proces wtórnego dojrzwiania związany jest z jakościową przebudową omawianych związków. Pogląd ten znajduje częściowe potwierdzenie w badaniach cytochemicznych (Rżewska 1964). Wymieniona autorka stwierdziła istnienie różnic w stanie jakościowym RNA i DNA pomiędzy świeżo zebranymi nasionami bawełny o niskiej energii kiełkowania a przechowywanymi przez pewien czas w stanie powietrznie suchym i o dużej energii kiełkowania.

W dynamice pozostałych frakcji związków fosforu nie zaobserwowano wyraźnych prawidłowości (tabele 4 i 5). Jedynie w zarodkach ziarna, które zakończyło spoczynek, stwierdzono mniejszą ilość fosfolipidów.

Zdaniem niektórych badaczy (por. Mietlickij i Korablewa 1965) w nasionach i organach roślin znajdujących się w stanie spoczynku głębokiego występują znaczne ilości lipidów, które gromadzą się w komórkach na powierzchni protoplazmy w formie otoczki, co prowadzi do izolacji protoplastów poszczególnych komórek i zahamowania ich funkcji życiowych. Zawartość tych związków w tkankach zmniejsza się po ustąpieniu spoczynku. Dane niniejszej pracy (tabele 4 i 5) potwierdzają częściowo przedstawiony wyżej pogląd o roli lipidów w kształtowaniu spoczynku późniejszego ziarna jęczmienia jarego.

Panu Prof. Dr Stanisławowi Grzesiukowi składamy serdeczne podziękowanie za cenne wskazówki i pomoc w czasie wykonywania niniejszej pracy.

STRESZCZENIE I WNIOSKI

Badania cukrów i związków fosforowych przeprowadzono na dojrzałym morfologicznie ziarnie jęczmienia jarego zebranego w latach 1965 i 1966. Ziarno zebrane w 1965 roku przechowywano w stanie powietrznie suchym oraz na kiełkowniku w stanie napełczonym. Obie grupy ziarna trzymano w temperaturze pokojowej (18–20°C). W ziarnie tym w miarę dojrzwiania posprzętnego oznaczono chromatograficznie zawartość cukrów rozpuszczalnych.

Ziarno zebrane w 1966 roku przechowywano w stanie powietrznie suchym w temperaturze pokojowej oraz w temp. 38°C. Z ziarna tego, w miarę upływu spoczynku, izolowano zarodki i oznaczano w nich chromatograficznie cukry oraz związki fosforowe metodą Schmidta i Thannhausera. Z przeprowadzonych doświadczeń można wyciągnąć następujące wnioski:

1. W całym ziarnie jęczmienia, dojrzewającym posprzętnie w stanie powietrznie suchym w ciągu 64 dni, poziom poszczególnych cukrów, z wyjątkiem sacharozy, nie ulega istotnym zmianom.

2. Większe różnice występują w dynamice cukrowców przy oddzielnej analizie bielma i zarodków ziarna, przechodzącego spoczynek w ciągu 38 dni. W pierwszej połowie spoczynku w obu częściach

ziarna ogólna ilość cukrów wyraźnie zwiększa się, po czym ich zawartość ulega niewielkiemu obniżeniu. Zawartość jednak maltozy, glukozy i fruktozy wzrasta w bielmie do końca trwania spoczynku.

3. W pierwszym okresie suchego przechowywania ziarna zachodzi intensywna synteza sacharozy, co najwyraźniej zaznacza się w zarodkach. Następnie zawartość tego związku nieznacznie się obniża.

4. Podwyższona temperatura (38°C) powoduje znaczne przyspieszenie dojrzewania posprzętowego ziarna i jednocześnie sprzyja nagromadzeniu się cukrów w bielmie i zarodkach.

5. W spoczynkowym ziarnie jęczmienia nasyconym wodą nie stwierdza się początkowo istotnych zmian w składzie ilościowym cukrów. Świadczy to o głębokim zahamowaniu metabolizmu cukrowego. W miarę jednak dalszego przechowywania ziarna wzrasta w nim zawartość sacharozy, maltozy i glikodifruktozy. Poziom monoz natomiast nie ulega w tym czasie większym zmianom.

6. Podczas suchego posprzętowego dojrzewania ziarna jęczmienia w zarodkach zachodzi synteza kwasów nukleinowych, przy czym w pierwszej fazie dojrzewania (i ustępowania spoczynku) zwiększa się głównie zawartość DNA. Natomiast proces nagromadzania się RNA w zarodkach trwa prawie do końca okresu dojrzewania. Podwyższona temperatura przyspiesza dojrzewanie wtórne, stymulując syntezę RNA i DNA.

7. Po 16 dniach dojrzewania posprzętowego ziarna w stanie powietrznie suchym wyraźnie obniża się w zarodkach poziom fosfolipidów.

*Katedra Fizjologii Roślin
WSR w Olsztynie*

(Wpłynęło dn. 28.3.1968 r.)

SUMMARY

The contents of sugars and phosphorus compounds of the morphologically ripe barley grain, harvested in 1965 and 1966, were determined. One lot of the 1965 grain was stored in air-dry state and the other lot in the imbibed state, both at room temperature (18–20°C). The 1966 grain was stored in air-dry state: one lot at room temperature and the other at 38°C. As the after-harvest ripening progressed grain samples were taken and analyzed chromatographically for soluble sugar content; from the 1966 grains embryos were isolated and analyzed for the contents of sugars and phosphorus compounds.

1. There were not significant differences in the level of all sugars, except saccharose, when barley grains were stored in air-dry state for sixty four days.

2. In the grains that had passed their deep dormancy in 38 days greater changes in the dynamics of carbohydrates were noted when the endosperms and embryos were analyzed separately. In the first half of dormancy the sugar content of the two grain parts markedly increased and in the second it decreased. However, the contents of maltose, glucose and fructose in endosperm increased until the end of dormancy.

3. During the first period of storage, air-dry grains were characterized by an intensive saccharose synthesis which was most pronounced in embryos; and then the content of that compound slightly decreased.

4. An increased temperature (38°C) resulted in a marked fastening of after-harvest ripening and also it promoted sugar concentration in endosperms and embryos.

5. In a dormant barley grain, imbibed with water, there appeared to be no marked changes in the quantitative composition of sugars. It proves of pronounced inhibition of carbohydrate metabolism. However, further storage resulted in an increase in the contents of saccharose, maltose and glucodifuctose. The level of monoses, on the other hand, was not changed very much at that time.

6. During dry storage of after-harvest ripening barley grains there is amino acid synthesis in their embryos; in the first stage of that ripening mainly DNA content increases. After-harvest ri-

pening in fastened by an increased temperature which has stimulating effects on RNA and DNA synthesis.

7. After 16 days of storage in air-dry state, the level of phospholipids in embryos was markedly reduced.

LITERATURA

- Axelord B., 1965, Mono and oligosaccharides [W:] Plant biochemistry, red. J. Bonner, J. E. Varner, Academic Press, New York and London, 231—254.
- Bradbeer J. W., Floyd V. H., 1964, Nucleotide synthesis in hazel seeds during after-ripening, *Nature* 201 (4914): 99—100.
- Chang Chong W., 1963, Incorporation of phosphorus-32 in to nucleic acids during embryo development of barley, *Nature*, 198 (4886): 193—216.
- Elliott B. B., Leopold A. C., 1953, An inhibitor of germination and of amylase activity in oat seeds, *Physiol. Plant.* 6 (1): 65—68.
- Grzesiuk St., 1961, Studia nad fizjologią dojrzewającego ziarna zbóż, *Zeszyty Naukowe WSR w Olsztynie* 11 (104): 3—82.
- Grzesiuk St., 1961 a, Cukrowce dojrzewającego ziarna zbóż, *Roczn. Nauk Roln.* 83 (A-4): 707—733.
- Grzesiuk St., 1967, *Fizjologia nasion*, Warszawa, PWRiL.
- Korablewa N. P., 1966, Rol nukleinowych kislót i nukleotidow w jawlenijach pokoja zapasajuszczich organow rastienij, III nauczna konferencja po nukleinowym kislótam rastienij, Ufa.
- Kretowicz W. L., 1958, *Biochimia ziarna i chleba*, Moskwa, Izd-wo AN SSSR.
- Kulka K., 1966, Kwasy nukleinowe w rozwijającym się ziarnie żyta. Cz. II. Dynamika RNA, DNA oraz niektórych frakcji związków fosforu w rozwijającym się ziarniaku, *Acta Soc. Bot. Pol.*, 35 (1): 59—68.
- Kulka K., Grzesiuk St., 1965, Kwasy nukleinowe i ich fizjologiczne funkcje w roślinach, *Postępy Nauk Roln.* 4: 19—51.
- Kulka K., Sobieraj B., 1967, Zmiany wolnych aminokwasów w czasie spoczynku poźniwego ziarna jęczmienia jarego („Browarny PZHR”), *Acta Soc. Bot. Polon.* 36 (2): 261—270.
- Kuramszin G. S., Nietupskaja S. W., Konariew W. G., 1967, Opredelenie nukleinowych kislót po fosforu, [W:] *Metody issledowanija nukleinowych kislót rastienij*, red. W. G. Konariew, Leningrad, 5—9.
- Li Din Cho i Biełozierskij A. N., 1958, Fosfornyje sojedinienija i nukleinowyje kislóty w processie sozriewanija siemian pszenicy, *Wiest. Mosk. Uniwersiteta* (2): 15—28.
- Mietlickij L. W., Korablewa N. P., 1965, *Biochimia pokoja zapasajuszczich organow rastienij*, Moskwa, Izd-wo „Nauka”.
- Olney H. O., Pollock B. M., 1960, Studies of rest period. II Nitrogen and Phosphorus metabolism changes in embryonic organs of after ripening cherry seed, *Plant Physiol.* 35 (6): 970—975.
- Rejowski A., Grzesiuk St., 1967, Naturalne inhibitory wzrostu i ich rola w życiu roślin wyższych, *Post. Nauk Roln.* 1 (103): 9—33.
- Rejowski A., Kulka K., 1967, Rola naturalnych inhibitorów wzrostu i kwasów nukleinowych w kształtowaniu spoczynku ziarna jęczmienia jarego, *Acta Soc. Bot. Polon.* 36 (2): 221—234.
- Rżewska F. Ju., 1964, Wlijanie prodołżitelności chranienija na sodierżanie nukleinowych kislót w tkanjach siemjan chłopczałnika, *Fizjol. Rast.* 11 (1): 112—119.
- Sabinin D. A., 1957, O ritmicznosti strojenia i rosta rastienij, *Bot. Żurn.* 42 (7): 991—1010.
- Wanner H., 1958, Speicherung von Kohlenhydraten in anderen vegetativen Organen, *Handbuch der Pflanzenphysiologie* 6: 855—870, Berlin, Göttingen, Heidelberg.