

JACEK WAGA

Zakład Oceny Jakości i Metod Hodowli Zbóż

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin w Krakowie

Wewnątrzliniowy polimorfizm białek gliadynowych a zmienność liczby sedymentacji i zawartości białka ogółem u wybranych rodów pszenicy ozimej

Intra-varietal polymorphism of gliadin proteins in relation to variability of sedimentation value and protein content in some winter wheat strains

Analizowano wewnątrzliniowy polimorfizm białek zapasowych czterech rodów pszenicy ozimej: CHD 225, SCHW 124-84-46, GK 5695 oraz SMH 4716. Dla każdego rodu utworzono biotypy różniące się pod względem obrazów elektroforetycznych gliadyn. Na podstawie badań biochemicznych, realizowanych na przestrzeni trzech lat, dla każdego biotypu określono procentową zawartość białka ogółem oraz liczbę sedymentacji. Stwierdzono, iż frakcje białkowe kodowane chromosomami 1B (ród CHD 225) i 1A (ród GK 5695), a także frakcje z grupy β -gliadyn (ród SCHW 124-84-46) były istotnie powiązane ze zróżnicowaniem obu wskaźników jakości technologicznej. Natomiast biotypy różniące się gliadynami z grupy chromosomu 6A (ród 4716) nie wykazywały istotnych różnic pod względem badanych cech. Selekcja rodów hodowlanych na podstawie obrazu elektroforetycznego białek zapasowych pozwoliła uzyskać linie czyste o poprawionych właściwościach technologicznych.

Słowa kluczowe: analiza elektroforetyczna, białka gliadynowe, biotypy, polimorfizm wewnątrzliniowy

Intra-varietal polymorphism of storage proteins among four winter wheat strains: CHD 225, SCHW 124-84-46, GK 5695 oraz SMH 4716 was studied. Multiline strains were divided into subgroups (biotypes) with respect to their gliadin protein composition. Based on the results of three-years investigation, average values of grain protein content and sedimentation value were calculated for each biotype. Gliadins encoded by the chromosome 1B (strain CHD 225) and 1A (strain GK 5695) as well as some β -gliadin components (strain SCHW 124-84-46) were related to variability of the both quality characteristics. Biotypes of different gliadins encoded by the chromosome 6A (strain SMH 4716) did not differ significantly neither with respect to grain protein content or sedimentation value. Selection based on gliadin composition made possible to obtain uniform lines of improved technological properties.

Key words: electrophoresis, gliadin proteins, biotypes, intra-varietal polymorphism

WSTĘP

Badania gliadyn oraz wysokocząsteczkowych glutenin koncentrują się w pierwszej kolejności nad oceną stopnia ich zróżnicowania pomiędzy różnymi formami pszenicy (Javornik, 1989; Metakovsky, 1991; Lukov i in., 1989; Wang i in., 1993). Stosunkowo rzadko przedmiotem badań jest polimorfizm, który można obserwować w obrębie jednej odmiany czy rodu (Pogna i in., 1986; Sasek i in., 1988 a). Ten rodzaj polimorfizmu będzie określany mianem „wewnątrzliniowy”, w odróżnieniu od tradycyjnego znaczenia słowa polimorfizm, które odnosi się przede wszystkim do zróżnicowania „międzyliniowego”. O polimorfizmie wewnątrzliniowym można mówić wówczas, gdy obraz elektroforetyczny białek uzyskanych drogą ekstrakcji z pojedynczych ziarniaków danej odmiany lub rodu jest niejednorodny. W takich przypadkach najczęściej obserwuje się od dwóch do czterech różnych kombinacji prążków elektroforetycznych (Sasek i in., 1988 b). Z heterogenicznej formy pszenicy można drogą selekcji uzyskać linie czyste określane mianem biotypów.

Polimorfizm wewnątrzliniowy jest efektem niskiego wyrównania materiałów hodowlanych uzyskanych z rozmnożenia jednej — heterozygotycznej pod względem loci białek zapasowych rośliny (w badaniach białek zapasowych pszenicy; Metakovsky, 1991 a). W przypadku, gdy gliadyny różniące biotypy są powiązane z cechami użytkowymi, polimorfizm wewnątrzliniowy może mieć niekorzystny wpływ na wartość badanego rodu czy odmiany. Hodowca powinien być wówczas zainteresowany selekcją linii czystych z heterogenicznych materiałów.

Formy wieloliniowe można wykorzystać w pracach nad identyfikacją nowych alleli białek zapasowych, a także określeniem ich związku ze zmiennością cech użytkowych (Metakovsky, 1991 b). Rody hodowlane stanowią populacje w znacznym stopniu wyrównane zarówno pod względem genotypu, jak i fenotypu. Identyfikacja różnych kombinacji prążków elektroforetycznych w obrębie takich rodów, a następnie selekcja linii czystych pozwala uzyskać formy blisko spokrewnione, jednak różniące się pojedynczymi frakcjami białkowymi. Zaobserwowane różnice wartości cech użytkowych wytworzonych linii można do pewnego stopnia tłumaczyć zmiennością różnicujących je gliadyn, a obserwowany związek będzie w znacznym stopniu wolny od błędu wynikającego ze współdziałania pozostałych genów, czyli tzw. tła genetycznego, które wcześniej zostało ujednolicone przez hodowcę. Badania te łączą aspekty naukowe i użytkowe. Z jednej strony ich wyniki dostarczają informacji na temat związku białek zapasowych z cechami użytkowymi, z drugiej strony pozwalają wytworzyć ulepszony materiał hodowlany w stosunku do formy wyjściowej.

Celem niniejszej pracy było stwierdzenie, w jaki sposób polimorfizm wewnątrzliniowy białek gliadynowych obserwowany u czterech rodów pszenicy ozimej jest powiązany ze zmiennością dwóch wskaźników jakości technologicznej: procentową zawartością białka ogółem oraz liczbą sedymentacji.

MATERIAŁ I METODY

Materiał roślinny

U czterech rodów z kolekcji pszenicy ozimej IHAR: CHD 225, SCHW 124 84 46, GK 5695, oraz SMH 4716 zaobserwowano polimorfizm wewnątrzliniowy gliadyn oraz wysokocząsteczkowych glutenin. W 1998 roku zebrano po około 100 roślin z każdego rodzaju. Metodami rozdziału elektroforetycznego analizowano białka zapasowe w próbach mąki uzyskanej z części ziarniaków każdej zebranej rośliny. Na podstawie wyników analizy elektroforetycznej gliadyn oraz wysokocząsteczkowych podjednostek glutenin dokonano wstępnej selekcji pojedynczków w obrębie każdego rodzaju. Do dalszych badań wybrano rośliny identyczne pod względem składu podjednostek glutenin, natomiast różniące się pojedynczymi prążkami bądź też blokami gliadyn. W następnej kolejności utworzono po dwa biotypy dla każdego rodzaju. Każdy z nich liczył po 10 pojedynczków roślinnych. W wyniku ich rozmnożenia uzyskano 80 linii (cztery zestawy po 20 linii z każdego rodzaju, po 10 linii dla każdego z dwóch biotypów w obrębie rodzaju).

Cztery zestawy linii badano przez trzy kolejne lata (2000, 2001 i 2002), metodami rozdziału elektroforetycznego. Analizowano stopień wyrównania białek gliadynowych oraz wysokocząsteczkowych glutenin. Określono też liczbę sedymentacji oraz procentową zawartość białka ogółem dla poszczególnych linii.

Analizy elektroforetyczne

Białka gliadynowe analizowano metodą elektroforezy na żelu poliakrylamidowym w środowisku kwaśnym buforu mleczanowo-glinowego (pH = 3,1) optymalizowaną do własnych warunków laboratoryjnych (Bushuk i Zillman, 1978). Bloki białek gliadynowych różnicujące biotypy badanych rodów pszenicy ozimej, które obserwowano we wcześniejszych pracach, identyfikowano na podstawie katalogu opracowanego w Zakładzie Roślin Zbożowych IHAR w Krakowie (Waga, 2000).

Gluteniny wysokocząsteczkowe analizowano metodą rozdziału elektroforetycznego na żelu poliakrylamidowym w środowisku zasadowym buforu tris-HCl (pH = 8,1) z dodatkiem soli sodowej siarczanu dodecyłu (Laemmli, 1970). Uzyskane obrazy elektroforetyczne opisano na podstawie katalogu białek gluteninowych Payne'a (Payne i Lawrence, 1983).

W analizach wykorzystywano komory elektroforetyczne firmy DESAGA.

Określenie procentowej zawartości białka ogółem oraz liczby sedymentacji

Liczbę sedymentacji określono na podstawie testu Zeleny'ego z dodatkiem soli sodowej siarczanu dodecyłu (Zeleny i in., 1960). Procentową zawartość białka ogółem w ziarniakach określono na podstawie analizy w bliskiej podczerwieni (NIR) przy użyciu analizatora Infratec 1255 firmy Tecator. Badania wykonano w Pracowni Oceny Jakości i Odporności Zbóż Zakładu Oceny Jakości i Metod Hodowli Zbóż IHAR w Krakowie.

Analiza statystyczna

Istotność zróżnicowania wartości dwóch wskaźników jakości technologicznej pomiędzy grupami linii różniących się pojedynczymi prążkami gliadyn określono na podstawie analizy wariancji. Ze zmienności całkowitej wyodrębniono zmienność bloków, lat oraz interakcji bloków z latami. W skład bloku wchodziły linie o identycznych

wzorcach elektroforetycznych zarówno białek gliadynowych, jak i gluteninowych. W przypadku procentowej zawartości białka ogółem dane wyjściowe transformowano według wzoru:

$$Y = \arcsin \sqrt{0,01 \cdot x}$$

Po transformacji wyniki miały rozkład normalny.

OMÓWIENIE WYNIKÓW

W efekcie wykonanej na wstępnym etapie badań selekcji pod względem składu białek gluteninowych ich obraz elektroforetyczny u wszystkich linii w obrębie każdego z czterech badanych rodów był identyczny. Skład podjednostek tej frakcji białek zapasowych określono na podstawie katalogu Payne'a (tab. 1).

Tabela 1

Skład podjednostek białek gluteninowych czterech badanych rodów (na podstawie katalogu Payne'a)
Composition of glutenin protein subunits in four winter wheat strains based on the Payne catalogue

Ród Strain	Locus <i>Glu A1</i>	Locus <i>Glu B1</i>	Locus <i>Glu D1</i>
CHD 225	1	7 + 8	2 + 12
SCHW 124 84 46	Null	6 + 8	2 + 12
GK 5695	Null	7 + 9	5 + 10
SMH 4716	2*	7 + 9	2 + 12

Frakcje białek gliadynowych różnicujące biotypy analizowanych rodów zilustrowano na obrazach elektroforetycznych (rys. 1).

Biotypy rodu CHD 225 różniły się podjednostkami, które na podstawie opracowanego katalogu można opisać jako bloki białkowe *Gli B1-2* — biotyp A, *Gli B1-1* — biotyp B (kodowane chromosomem 1B), *Gli A2-3* — biotyp A oraz blok podobny do *Gli A2-1* (kodowane chromosomem 6A).

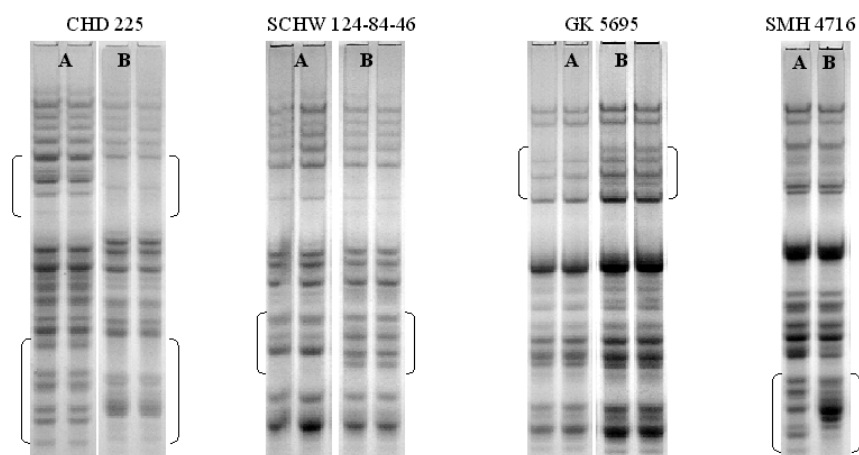
W przypadku rodu SCHW 124-84-46 biotyp B — w porównaniu z biotypem A — zawiera jeden dodatkowy prążek w strefie β-gliadyn. Dokładne wskazanie chromosomu warunkującego syntezę tej frakcji jest trudne do określenia — na podstawie uzyskanych rozdziałów elektroforetycznych można z dużym prawdopodobieństwem twierdzić, iż jest ona kodowana chromosomem 6B bądź 6D (locus *Gli B2* lub *Gli D2*).

Biotyp B rodu GK 5695 zawiera w strefie ω-gliadyn dwa prążki, których nie ma w biotypie A. Tych prążków nie obserwowano również u odmian i rodów pszenicy we wcześniejszych pracach autora niniejszej publikacji. Ich lokalizacja w stosunku do pozostałych prążków tej strefy obrazu elektroforetycznego pozwala przypuszczać, że są one kodowane chromosomem 1A (locus *Gli A1*).

Dwa biotypy rodu SMH 4716 różnią się między sobą blokami białkowymi kodowanymi chromosomem 6A (locus *Gli A2*). Biotyp A zawiera blok oznaczony symbolem *Gli A2-2*, natomiast biotyp B zawiera blok *Gli A2-1*. Identyfikacji tych bloków białek gliadynowych można było dokonać w sposób jednoznaczny. Pojawiają się one stosunkowo często wśród

odmian i rodów pszenicy ozimej. Oba bloki białkowe zostały opisane w jednej z wcześniejszych prac (Waga, 2000).

Średnie wartości liczby sedymentacji i procentowej zawartości białka ogółem, jak również zakresy zmienności tych cech obliczono na podstawie wyników badań trzyletnich (tab. 2). W przypadku procentowej zawartości białka ogółem znaczne różnice między biotypami obserwowano dla rodów GK 5695 oraz CHD 225, natomiast w przypadku liczby sedymentacji dla rodów GK 5695 oraz SCHW 124 84 46.



Rys. 1. Obraz elektroforetyczny białek gliadynowych czterech rodów pszenicy ozimej. Klamrami zaznaczono prążki różnicujące biotypy poszczególnych rodów

Fig. 1. Gliadin proteins electrophoregrams of four winter wheat strains. Differences between biotypes are marked by the brackets

Tabela 2

Średnie wartości białka oraz liczby sedymentacji w liniach pszenicy ozimej na podstawie badań trzyletnich

Average protein content and sedimentation value of some winter wheat strains, based on three years of investigations

Symbol linii pszenicy Symbol of the wheat line		Procentowa zawartość białka — Protein content		Liczba sedymentacji — Sedimentation value	
		wartość średnia (%) average value (%)	zakres zmienności (%) range of variability (%)	wartość średnia (%) average value (%)	zakres zmienności (%) range of variability (%)
CHD 225	A	10,48	9,29–12,71	27,57	20,33–40,00
	B	13,78	13,14–14,59	43,43	41,33–46,33
SCHW 124-84-46	A	11,46	10,35–12,61	44,47	39,67–51,00
	B	11,27	10,28–13,02	27,9	23,67–33,00
GK 5695	A	11,64	10,32–12,14	30,47	27,67–33,33
	B	10,9	10,03–12,01	34	30,33–39,33
SMH 4716	A	13,84	12,62–14,90	59,52	56,00–64,33
	B	13,7	12,62–14,90	57,6	53,00–62,33

Istotność zróżnicowania średnich wartości liczby sedymentacji oraz procentowej zawartości białka ogółem między parami utworzonych biotypów stwierdzono na podstawie wyników analizy wariancji wykonanej dla każdego roku oddzielnie. Zmienność bloków, lat oraz interakcji bloków z latami oszacowano testem F. We wszystkich przypadkach obserwowano istotne zróżnicowanie w latach. Jest to w znacznym stopniu efektem warunków meteorologicznych panujących w okresie bezpośrednio poprzedzającym zbiór ziarna w roku 2001. Ciągłe opady deszczu i znaczna wilgotność powietrza miały wpływ na znaczne obniżenie wartości obu wskaźników jakościowych w stosunku do pozostałych lat badań.

Analiza wariancji dla dwóch biotypów rodu CHD 225 dowodzi istotnego zróżnicowania średnich wartości zarówno w przypadku liczby sedymentacji, jak i procentowej zawartości białka ogółem, przy czym biotyp A zawierający blok *Gli B1-2* charakteryzował się niższymi wartościami obu cech niż biotyp B zawierający blok *Gli B1-1* (tab. 3).

Tabela 3

Analiza wariancji dla białka oraz liczby sedymentacji w badanych liniach pszenicy ozimej
Analysis of variance for protein content and sedimentation value of the investigated winter wheat strains

Ród Strain	Zawartość białka — Protein content				Liczba sedymentacji — Sedimentation value			
	źródło zmienności source of variability	Lss Df	ŚK MS	test F F-test value	źródło zmienności source of variability	Lss Df	ŚK MS	test F F-test value
CHD 225	lata years	2	14,256	16,322**	lata years	2	287,15	10,341**
	bloki blocks	1	133,62	152,88**	bloki blocks	1	3776,26	135,998**
	interakcja interaction	2	1,44	1,648	interakcja interaction	2	36,52	1,315
	lata years	2	51,455	42,280**	lata years	2	150,415	6,187**
SCHW 124-84-46	bloki blocks	1	0,37	0,304	bloki blocks	1	4116,81	169,326**
	interakcja interaction	2	0,355	0,292	interakcja interaction	2	14,22	0,585
	lata years	2	17,83	20,354**	lata years	2	725,99	41,042**
GK 5695	bloki blocks	1	6,91	7,888**	bloki blocks	1	187,26	10,586**
	interakcja interaction	2	0,475	0,542	interakcja interaction	2	94,145	5,322**
	lata years	2	42,96	27,311**	lata years	2	1755,62	54,619**
SMH 4716	bloki blocks	1	2,16	1,373	bloki blocks	1	56,06	1,744
	interakcja interaction	2	1,875	1,192	interakcja interaction	2	3,87	0,12

Lss — Df — Liczba stopni swobody; Degrees of freedom

ŚK — MS — Średni kwadrat; Mean square

** — Istotne na poziomie $\alpha = 0,01$; Significant at $\alpha = 0,01$

Podjednostki z grupy β -gliadyn różnicowały dwa biotypy rodu SCHW 124-84-46 tylko pod względem liczby sedymentacji, której wyższe wartości obserwowano dla biotypu B zawierającego w tej strefie jeden dodatkowy prążek w porównaniu z biotypem A. Z kolei dla rodu GK 5695 obserwowano istotne zróżnicowanie pod względem obu cech jednak biorąc pod uwagę wysoce istotną interakcję w przypadku liczby sedymentacji można stwierdzić, że zidentyfikowane podjednostki ω -gliadyn różnicują badane biotypy tylko pod względem zawartości białka. Biotyp B zawierał mniej białka w porównaniu z biotypem A. Dwa biotypy rodu SMH 4715 nie różniły się istotnie ani pod względem liczby sedymentacji, ani też procentowej zawartości białka ogółem pomimo obserwowanych różnic w składzie podjednostek gliadyn kodowanych chromosomem 6A.

DYSKUSJA

Wewnątrzliniowy polimorfizm gliadyn opisany dla czterech wybranych rodów pszenicy ozimej jest zjawiskiem stosunkowo często obserwowanym w kolekcjach roboczych i materiałach hodowlanych. Znaczna liczba rodów, a często i odmian uprawnych, to formy heterogeniczne pod względem genów warunkujących białka zapasowe. Potwierdzają to badania innych autorów, jak również wcześniejsze prace wykonane w ZRZb IHAR w Krakowie (Sasek i in., 1988 a; Waga, 1991).

Uzyskane wyniki sugerują, iż polimorfizm wewnątrzliniowy gliadyn może w przypadku niektórych kombinacji podjednostek pogarszać jakość technologiczną badanej formy pszenicy. Jeżeli bowiem składa się ona z dwóch lub większej liczby biotypów, z których jeden zawiera korzystne, a drugi niekorzystne podjednostki gliadyn, to wypadkowa wartość badanej cechy w mieszaninie biotypów będzie gorsza niż w przypadku linii czystej biotypu zawierającego podjednostki korzystne. Szczególnie drastyczne różnice obserwowano między biotypami rodów CHD 225 i SCHW 124-84-46 dla liczby sedymentacji. Nie dziwi to w przypadku rodu CHD 225, którego biotyp A zawierał blok *Gli B1-2* — marker translokacji *1B/1R*. Wielokrotnie wykazano, że blok ten znacznie pogarsza właściwości technologiczne pszenicy (Dhaliwal i in., 1988; Graybosch i in., 1990; Waga i Węgrzyn, 2000). Mimo, iż biotypy rodu CHD 225 różnią się także podjednostkami α -gliadyn kodowanymi chromosomem 6A (locus *Gli A2*), to prawdopodobnie całą różnicę średnich wartości liczby sedymentacji można tłumaczyć zróżnicowaniem w locus *Gli B1*. Zarówno z wcześniejszych, jak i obecnych badań wynika, że bloki gliadynowe kodowane przez locus *Gli A2* nie mają istotnego wpływu na jakość technologiczną. Potwierdza to brak zróżnicowania wskaźników jakościowych w liniach rodu SMH 4716. Natomiast istotne zróżnicowanie obu wskaźników pomiędzy liniami rodów SCHW 124-84-46 i GK 5695 powiązane jest z nie badanymi dotychczas podjednostkami gliadyn i dlatego wymaga potwierdzenia w przyszłości.

Zaobserwowane różnice liczby sedymentacji i procentowej zawartości białka ogółem są efektem związku pomiędzy gliadynami różnicującymi uzyskane biotypy, a wymienionymi wskaźnikami jakości technologicznej. Mimo iż każdy z badanych rodów charakteryzował się jednolitym obrazem elektroforetycznym wysokocząsteczkowych glutenin uzyskane biotypy różniły się pod względem cech jakościowych, a zróżnicowanie

to było statystycznie powiązane ze zmiennością frakcji gliadyn. Podobne zależności opisano w pracach innych autorów (Metakovsky, 1991 b; Sasek, 1988 a). Wydaje się to zrozumiałe, gdyż właściwości wypiekowe są (w znacznym stopniu) efektem interakcji gliadyn i glutenin (Bushuk, 1994). Dlatego też prowadząc selekcję materiałów hodowlanych na podstawie analizy elektroforetycznej należy pamiętać, że o cechach technologicznych genotypu decydują kombinacje podjednostek glutenin i gliadyn, a nie tylko jedna z wymienionych frakcji białek zapasowych.

Wyniki badań opisanych w niniejszej publikacji poszerzają zakres informacji na temat biochemicznych markerów białkowych, które uzyskano we wcześniejszych pracach realizowanych przez Zakład Roślin Zbożowych IHAR w Krakowie (Waga i Węgrzyn, 2000).

WNIOSKI

1. Biotypy uzyskane drogą selekcji linii czystych z polimorficznych pod względem białek zapasowych rodów pszenicy ozimej różnią się między sobą istotnie wartościami liczby sedimentacji i procentowej zawartości białka ogółem.
2. Zmienność badanych wskaźników jakości technologicznej jest powiązana ze zróżnicowaniem niektórych frakcji białek zapasowych należących do grupy β - i ω -gliadyn.
3. Biotypy zawierające korzystne frakcje gliadyn o poprawionych właściwościach użytkowych mogą stanowić cenny materiał wyjściowy dla hodowli nowych odmian pszenicy.

LITERATURA

- Bushuk W., Zillman R. R. 1978. Wheat cultivar identification by gliadin electrophoregrams. I. Apparatus, method and nomenclature. *Can J. Plant Sci.* 58: 505 — 515.
- Bushuk W. 1994. Interactions in wheat dough's. Quality cereals in a changing world, 14th ICC Congress, The Hague, Netherlands.
- Dhaliwal A. S., Mares D. J., Mardhall D. R., Skerritt J. H. 1988. Protein composition and content in relation to dough stickiness of 1B/1R translocation wheats. *Cereal Chem.* 65 (2): 143 — 149.
- Graybosch R. A., Peterson C. J., Hansen L. E., Mattern P. J. 1990. Relationships between protein solubility characteristics, 1Bl/1Rs, high molecular weight glutenin composition and end-use quality in winter wheat germplasm. *Cereal Chem.* 67 (4): 342 — 349.
- Javornik B. 1989. Wheat cultivar identification by gliadin electrophoresis. *Podravka* (7) 1: 49.
- Laemmli V. K. 1970. Cleavage of structural proteins during assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature* 227: 680 — 685.
- Lookhart G. L., Kayla H., Kasarda D. D. 1993. High-molecular-weight glutenin subunits of the most commonly grown wheat cultivars in the U.S. in 1984. *Plant Breeding* 110: 48 — 62.
- Lukow O. M., Payne P. I., Tkachuk R. 1989. The HMW glutenin composition of Canadian wheat cultivars and their association with bread-making quality. *J. Sci. Food Agric.* 46: 451 — 460.
- Metakovsky E. V. 1991 a. Gliadin allele identification in common wheat. II. Catalogue of gliadin alleles in common wheat. *J. Genet. Breed.* 45: 325 — 344.
- Metakovsky E. V. 1991 b. The value of gliadin biotypes in commercial cultivars of wheat. In: W. Bushuk and R. Tkachuk (eds.), *Gluten Protein*. AACC, St. Paul (MN), USA: 569 — 580.

- Payne P. I., Lawrence G. J. 1983. Catalogue of alleles for the complex gene loci GluA1, GluB1, GluD1, which code for high-molecular-weight subunits of glutenin in hexaploid wheat. *Cereal Res. Commun.* 11/1: 29 — 35.
- Pogna N. E., Borghi B., Mellini F., Dal Belin Peruffo A., Nash R. J. 1986. Electrophoresis of gliadins for estimating the genetic purity in hybrid wheat seed production. *Genet. Agric.* 40: 205 — 212.
- Sasek A., Stehno Z., Sykorova S. 1988 a. Evaluation of the gliadin lines of winter wheat varieties. *Scienta Agriculturae Bohemoslovaca*. T. 20, No. 1: 25 — 32.
- Sasek A., Sykorova S., Cerny J., Hauzer K., Kubanek J., Dostal J. 1988 b. Electrophoretic patterns of prolamines and glutelins of some perspective cultivars of triticale. *Scienta Agriculturae Bohemoslovaca* T. 20, No. 3: 63 — 174.
- Waga J. 1991. Zróżnicowanie frakcji białek gliadynowych u wybranych form pszenicy ozimej i jarej. *Hod. Rośl. Aklim.* 35, 1/2: 58 — 63.
- Waga J. 2000. Syntetyczna metoda klasyfikacji białek gliadynowych. *Biul. IHAR* 215: 35 — 60.
- Waga J., Węgrzyn S. 2000. Powiązanie wybranych frakcji białek gliadynowych ze zmiennością cech użytkowych odmian i rodów pszenicy ozimej. *Biul. IHAR* 215: 61 — 76.
- Wang G., Snape J. W., Hu H., Rogers W. J. 1993. The high-molecular-weight subunit compositions of Chinese bread wheat varieties and their relationship with bread making quality. *Euphytica* 68: 205 — 212.
- Zeleny L., Greeway W. T., Gurney G. M., Fifield C. C., Lebsack K. L. 1960. Sedimentation value as the index of dough mixing characteristics in early-generation wheat selections, *Cereal Chem.* 27: 673.