

BARBARA APOLINARSKA

Instytut Genetyki Roślin, PAN w Poznaniu

Substytucyjne, addycyjne i translokacyjne chromosomy pszenicy w życie diploidalnym

Substitutions, additions and translocations of wheat chromosomes in diploid rye

Celem badań była introgresja chromosomów pszenicy do diploidalnego żyta. W tym celu analizowano metodą C-prążkową pokolenie F₄ krzyżówek żyta diploidalnego z substytucyjno-translokacyjnym żytem tetraploidalnym oraz pokolenie F₁ z tego samego typu krzyżowań. W potomstwie substytucyjno-translokacyjnego żyta diploidalnego stwierdzono eliminację chromosomów pszenicy w 23,4% analizowanego materiału. W pozostałych roślinach wystąpił materiał genetyczny pszenicy w postaci monosomicznych, disomicznych substytucji, nielicznych addycji, a także translokacji. Liczba chromosomów pszenicy wahała się od jednej do trzech na roślinę. Najczęściej w substytucjach występował chromosom 5A, a następnie w malejącej kolejności 7A, 2A, 1A, 4A. Chromosom 6A występował tylko w roślinach addycyjnych. W jednej tylko roślinie odnotowano substytucyjny chromosom pszenicy genomu B — 7B. W translokacjach najczęściej brało udział krótkie ramię chromosomu pszenicy 7A, a następnie w malejącej ilości 2AS, 2AL, 1AS, 1AL, 4AL, 6AL, 3AL. Chromosomy pszenicy w życie diploidalnym przekazywane były przez gamety żeńskie, rzadziej przez pyłek. Analiza samopłodności z udziałem różnych i w różnej liczbie chromosomów pszenicy w życie diploidalnym wykazała, że materiał genetyczny pszenicy nie powodował przełamania genów samoniezgodności żyta. Samopłodność żyta diploidalnego z chromosomami pszenicy była uzależniona wyłącznie od wykorzystanego w krzyżowaniach samozgodnych i męskosterylnych form żyta diploidalnego.

Słowa kluczowe: addycja, chromosom pszenicy, samozgodność, *Secale cereale* L., substytucja, translokacja, *Triticum aestivum* L.

The aim of this study was introgression of wheat chromosomes into diploid rye. For this purpose the F₄ and F₁ generations of the hybrids between 2x rye and substitution-translocation 4x rye were analyzed with the C-banding method. Elimination of wheat chromosomes was observed in 23.4% of substitution-translocation diploid rye progeny analyzed. The remaining plants carried monosomic and disomic substitutions, some additions and also translocations of wheat genetic material. Wheat chromosome number ranged from one to three per plant. The frequency of chromosome 5A was the highest, followed by 7A, 2A, 1A and 4A. Chromosome 6A occurred only in addition plants. Substitution wheat chromosome of the genome B — 7B was noted only in one plant. Translocations occurred most frequently in the short arm of 7A wheat chromosome followed in the diminishing number by 2AS, 2AL, 1AS, 1AL, 4AL, 6AL, 3AL. The wheat chromosomes in diploid rye were transmitted through the female gametes, rarely through the pollen. Self-fertility analysis in the diploid rye with the participation of different wheat chromosomes occurring in various numbers showed, that the wheat genetic material did not cause inactivation of rye self-incompatibility genes. The self-fertility of diploid

rye with wheat chromosomes was conditioned exclusively by the self-fertile genes introduced by male sterile diploid rye forms used in the crosses.

Key words: addition, *Secale cereale* L., self-compatibility, substitution, translocation, *Triticum aestivum* L., wheat chromosome

WSTĘP

Żyto jest jednym z ważniejszych zbóż uprawianych w Europie. W latach 90. XX wieku żyto było najbardziej popularnym zbożem hodowanym w Polsce (Wolski, 1994). W 2000 roku żyto uprawiane było na 2,13 miliona hektarów, co stanowiło jeszcze 25,8% areалу wszystkich zbóż w Polsce (Arseniuk i Oleksiak, 2001). Żyto ze względu na specyfikę klimatu i warunki glebowe, a także na korzystne cechy takie jak mała wrażliwość na deficyt wody, wysoka tolerancyjność na zakwaszenie i zasolenie gleb, odporność na choroby i niskie temperatury oraz mrozoodporność nie będzie nigdy prawdopodobnie wyeliminowane z hodowli. Ponadto w literaturze odnotowano doniesienia o korzystnym wpływie diety żytniej na zdrowie człowieka (Boros, 2001; Graham i Aman, 1991; Roehring, 1988). W porównaniu z pszenicą wartość paszowa żyta jest jednak niższa. Ziarno żyta zawiera bowiem substancje antyżywnościowe, które hamują wzrost młodych zwierząt (Rakowska, 1994). Prace nad hodowlą żyta powinny zmierzać w kierunku ulepszenia cech jakościowych. Poprawę cech agronomicznych, a szczególnie jakościowych coraz częściej uzyskuje się poprzez transfer genów z gatunków pokrewnych. Przykładem mogą być liczne odmiany pszenic, do których wprowadzono chromatynę żyta. Geny żyta najczęściej zostały wprowadzone do pszenic w wyniku substytucji (Zeller i Fischbeck, 1971; Zeller i Baier, 1973) i translokacji chromosomów (Zeller i Koller 1981, Friebe i wsp. 1990, Łukaszewski 1990, Tarkowski i Apolinarska, 1992). Pierwsze prace nad wprowadzaniem genów pszenicy do żyta podjął Schlegel w 1982 roku, otrzymał rośliny addycyjne żyta diploidalnego z chromosomami pszenicy. W następnych latach Schlegel i wsp. (1986), Schlegel i Kynast (1988), Thiele i wsp. (1988), Melz i wsp. (1991), Baum (1991) z różnych typów krzyżowań uzyskali również addycyjne rośliny żyta diploidalnego z chromosomami pszenicy. Addycyjne rośliny żyta diploidalnego (Schlegel i in., 1986; Bum, 1991) charakteryzowały się słabą żywotnością, niską płodnością oraz niestabilnością cytologiczną. Analizy cytologiczne (Schlegel i in., 1991) oraz cytogenetyczno-biochemiczne (Thiele i in., 1988; Melz i Thiele, 1990, Łukaszewski i in., 2000) wykazały obecność materiału genetycznego pszenicy w życie diploidalnym. Apolinarska (1996 a, b, 1998) otrzymała tetraploidalne żyto z substytucyjnymi, addycyjnymi i translokacyjnymi chromosomami pszenicy, które następnie zostało wykorzystane do wprowadzania materiału genetycznego pszenicy na poziom diploidalny (Apolinarska, 2003 a).

Celem obecnej pracy była introgresja chromosomów pszenicy *Triticum aestivum* L. do genomu żyta diploidalnego, *Secale cereale* L. oraz zbadanie ich stabilności mitotycznej. Badania nad introgresją materiału genetycznego pszenicy są prowadzone w kierunku poprawienia cech jakościowych żyta.

MATERIAŁ I METODY

Analizowano cytologicznie metodą C-prążkową opisaną przez Łukaszewskiego i Gustafsona (1983) pokolenie F_4 krzyżówek żyta diploidalnego z substytucyjno-translokacyjnym żytem tetraploidalnym oraz pokolenie F_1 z tego samego typu krzyżowań. Do krzyżowań, których potomstwo analizowano w pokoleniu F_4 wykorzystano substytucyjne rośliny żyta tetraploidalnego z udziałem chromosomów pszenicy genomu A — 1A, 2A, 4A, 5A, 6A, 7A oraz z genomu B — 3B, 5B, 7B i pszeniczno-żytnich translokacji, żyto diploidalne stanowiły trzy odmiany — Otello, Muro, Amilo oraz cztery linie samozgodne — WS66N/85, WS79N/85, WS149N/86, WS267N/88 i trzy linie męskosterylne WS66P/85, WS149P/86, WS267P/96. Do otrzymania pokolenia F_1 wykorzystano substytucyjne żyto 4x z udziałem chromosomów pszenicy tylko genomu B — 3B, 5B, 7B oraz dwie odmiany żyta diploidalnego — Otello i Muro. Linie samozgodne i męskosterylne otrzymano z Poznańskiej Hodowli Roślin w Tulcach.

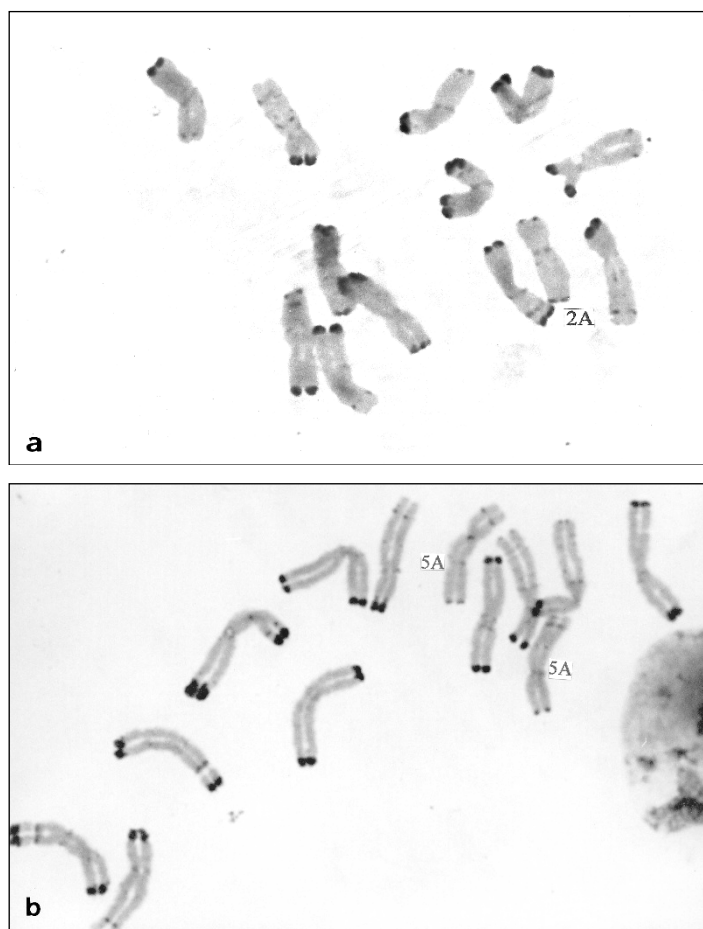
Izolowano jeden, główny kłos każdej rośliny z materiałem genetycznym pszenicy pokolenia F_4 . Analizowano liczbą ziarniaków z kłosa, zarówno w kłosach izolowanych jak i nieizolowanych.

WYNIKI I DYSKUSJA

Z krzyżówek różnych form żyta diploidalnego z substytucyjno-translokacyjnym żytem tetraploidalnym z udziałem materiału genetycznego pszenicy (Apolinarśka, 2003 a) otrzymano już w pokoleniu F_1 kilkanaście roślin żyta diploidalnego z substytucyjnymi, addycyjnymi i traslokacyjnymi chromosomami pszenicy genomu A, w analizowanym materiale brak natomiast było chromosomów genomu B.

W celu pozyskania większej liczby roślin żyta diploidalnego z materiałem genetycznym pszenicy pokolenie F_2 i F_3 żyta diploidalnego z substytucyjnym żytem tetraploidalnym poddano wolnemu i siostrzanemu (w izolatorze) przepyleniu. W pokoleniu F_4 przeprowadzono analizę kariotypów 303 roślin - było to potomstwo żyta diploidalnego z substytucyjnymi i addycyjnymi chromosomami pszenicy. Eliminację chromosomów pszenicy stwierdzono u 71 roślin, co stanowiło 23,4% analizowanego materiału. W pozostałych roślinach wystąpił materiał genetyczny pszenicy w postaci substytucji, addycji i translokacji. Otrzymano 103 rośliny z jednym monosomicznym chromosomem pszenicy (rys. 1 a), 43 rośliny z dwoma, 18 roślin z trzema monosomicznymi chromosomami pszenicy (2A, 5A, 7A) oraz 3 rośliny z jednym disomicznym i jednym monosomicznym chromosomem pszenicy ($2 \times 2A, 7A$; $2 \times 5A, 7A$; $2 \times 7A, 5A$). Ponadto w 10 roślinach stwierdzono disomiczny chromosom 2A, w 8 roślinach disomiczny chromosom 5A (rys. 1 b) oraz w 5 roślinach disomiczny chromosom 7A. Najczęściej w substytucjach występował chromosom 5A — 81 razy, a następnie w malejącej kolejności 7A — 77 razy, 2A — 77, 1A — 4, 4A — 3 razy. Chromosom 6A (rys. 2 a) występował 4 razy tylko w addycjach, 15 chromosomowych roślinach. W analizowanych roślinach żyta diploidalnego występowały translokacje między homeologicznymi chromosomami pszenicy i żyta. Najczęściej w translokacjach brało udział krótkie ramie

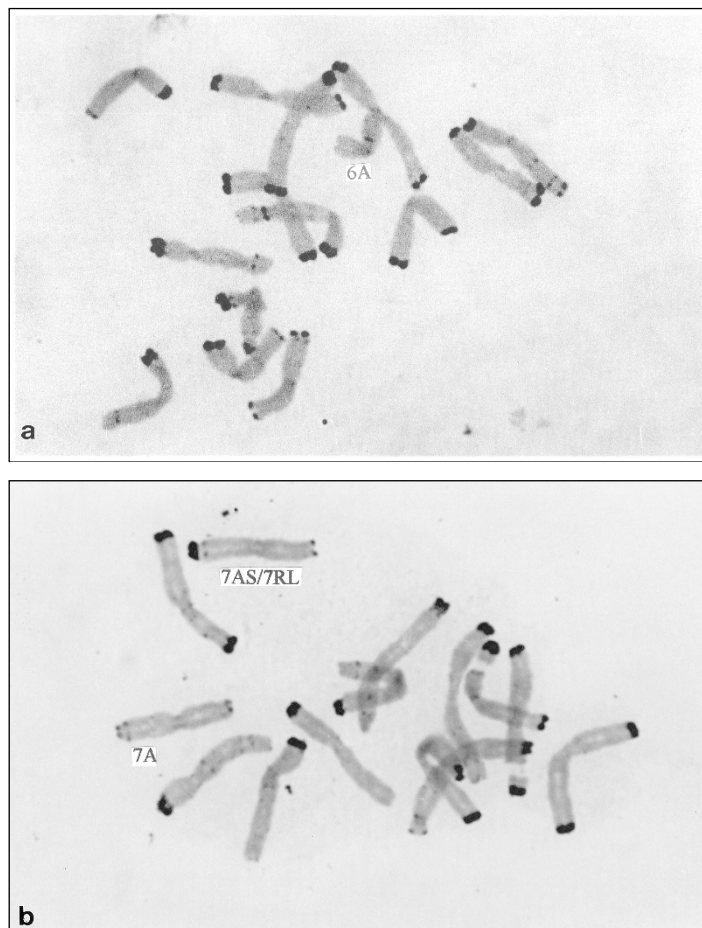
chromosomu 7A (21x) (rys. 2 b), a następnie w malejącej ilości 2AS (16x), 2AL (13x), 1AS (6x), 1AL (5x), 4AL (4x), 6AL (3x).



Rys. 1. Chromosomy mitotyczne żyta diploidalnego z substytucyjnymi chromosomami pszenicy (a) z monosomicznym, (b) z disomicznym (oznaczono na zdjęciu)
Fig. 1. Mitotic chromosome of diploid rye with wheat chromosome substitution: (a) monosomic, (b) disomic (designated in the picture)

W substytucyjnym i addycyjnym życie diploidalnym chromosomy pszenicy przekazywane były przez gamety żeńskie, znacznie rzadziej przez pyłek. Najczęściej przekazywany przez gamety żeńskie był chromosom 7A (69,1%), a następnie w malejącej częstotliwości 5A (58,6%), 2A (55,4%), 4A (16,7%), 1A (15,4%), 6A (10,0%) (tab. 1). W 26 roślinach stwierdzono przekazywanie przez pyłek chromosomu 7A, w 15 roślinach chromosomu 5A, w 6 roślinach 2A, w 2 roślinach 1A, w 2 różnych roślinach chromosomu 4A i chromosomu 6A (tab. 1). Przenoszenie chromosomów pszenicy przez gamety męskie — pyłek zostało stwierdzone w substytucyjnym i substytucyjno-translokacyjnym życie

tetraploidalnym (Apolinarska, 1996 b) oraz addycyjnym życie diploidalnym (Schlegel i Kynast, 1988; Schlegel i in., 1991), natomiast Schlegel (1982) i Melz i wsp. (1991) stwierdzili, że chromosomy pszenicy są przekazywane tylko przez komórkę jajową. Apolinarska (2003 a) stwierdziła, że gamety męskie substytucyjnego żyta tetraploidalnego także o niższej i wyższej liczbie chromosomów niż 14 były zdolne do przenoszenia chromosomów pszenicy.



Rys. 2. Chromosomy mitotyczne żyta diploidalnego z chromosomami pszenicy (b) z substytucyjnym i translokacyjnym (a) z addycyjnym (oznaczone na zdjęciu)

Fig. 2. Mitotic chromosomes of diploid rye with wheat chromosome (b) substitution and translocation (a) addition (designated in the picture)

Wszystkie chromosomy pszenicy genomu A, które występowały w substytucyjnym życie tetraploidalnym wykorzystanym do krzyżowań z żytem diploidalnym jako zapylacz wystąpiły w krzyżówkach pokolenia F_1 i następnych, natomiast nie stwierdzono chromosomów genomu B (Apolinarska, 2003 a). W związku z brakiem chromosomów genomu B

pszenicy w dotychczas opracowywanym materiale (Apolinarska, 2003 a) wykonano dodatkowe krzyżowanie żyta 2x odmiany Otello i Muro z substytucyjnym żytem tetraploidalnym z chromosomami 3B, 5B i 7B. Z zapylnych 8062 kwiatków uzyskano 679 nasion ziarniaków, co stanowiło 8,42% osadzenia ziarniaków, a skiełkowało zaledwie 7,36%. Analiza kariotypów 50 roślin pokolenia F₁ żyta diploidalnego z substytucyjnym żytem tetraploidalnym wykazała, że tylko w jednej z nich stwierdzono chromosom 7B, w pozostałych krzyżówkach nastąpiła eliminacja chromosomów pszenicy. Roślina żyta diploidalnego z substytucyjnym chromosomem 7B miała zdegenerowane zarówno słupki, jak i pylniki, nie zawiązała żadnego ziarniaka. Otrzymanie jednej sterylnej rośliny z substytucyjnym chromosomem genomu B pszenicy na kilka tysięcy zapylnych kwiatków w omawianych powyżej krzyżówkach, jak również w materiale otrzymanym w latach ubiegłych (Apolinarska, 2003 a) wskazuje, że żyto diploidalne znacznie słabiej toleruje chromosomy genomu B pszenicy niż żyto tetraploidalne (Apolinarska, 1996 a, b, 1998). Prawdopodobnie ze względu na znacznie słabszą homeologię między genomem B pszenicy a genomem żyta (Apolinarska, 2003 b) występują zaburzenia w rozwoju ziarniaka i/lub zarodka. Z liczby uzyskanych substytucyjnych i addycyjnych roślin żyta diploidalnego z udziałem chromosomów genomu A pszenicy można sugerować, że genom A jest bardziej spokrewniony z genomem żyta niż genom B. Na bliższe pokrewieństwo genomu A pszenicy z żytem wskazuje również fakt, że w życiu tetraploidalnym stosunek substytucyjnych chromosomów pszenicy genomu A do chromosomów genomu B wynosił w przybliżeniu 3:1, jak również znacznie częściej chromosomy genomu A brały udział w translokacjach z chromosomami genomu żyta (Apolinarska, 1996, 1998). Jednakże w liniach addycyjnych żyta 2x otrzymanych przez Schlegela (1982) oraz Melza i wsp. (1991) występowały zarówno chromosomy genomu A i B, a w liniach żyta 2x, które zostały otrzymane przez Thiela i wsp. (1988) tylko 6B.

Tabela 1

Przenoszenie chromosomów pszenicy przez gamety żeńskie i pyłek w diploidalnym życiu
Transfer of wheat chromosomes through female and male gametes in diploid rye

Chromosom Chromosome	Częstotliwość przenoszenia chromosomów pszenicy przez gamety żeńskie w% Percent of wheat chromosomes transferred through female gametes	Liczba roślin żyta 2x z chromosomem pszenicy przeniesionym przez pyłek No. of plants with wheat chromosome transferred through pollen
1A	15,4	2
2A	55,4	6
4A	16,7	1
5A	58,6	15
6A	10,0	1
7A	69,1	26

Rośliny żyta diploidalnego z substytucyjnym chromosomem pszenicy 7A w kłosach izolowanych zawiązały średnio najwięcej ziarniaków/kłos — 7,4, a następnie z chromosomem 2A — 2,6, z 5A — 1,8, a z 6A — 0,7 ziarniaka/kłos. Rośliny z substytucyjnym chromosomem 1A i 4A w kłosach izolowanych nie zawiązały nasion. Liczba substytucyjnych chromosomów pszenicy w życiu diploidalnym nie wpłynęła na

wzrost samopłodności roślin. Analiza zawiązywania ziarniaków w kłosach izolowanych i równocześnie rodowodu roślin wykazuje, że na samopłodność żyta diploidalnego z chromosomami pszenicy miały wpływ głównie formy wyjściowe żyta diploidalnego, które zostały wykorzystane do otrzymania pokolenia F₁. Najwięcej średnio ziarniaków/kłos zawiązały substytucyjne rośliny żyta 2x — 52,7, które miały w rodowodzie dwie formy żyta diploidalnego — formę samozgodną WS79N/85 oraz odmianę Otello. Stosunkowo wysoką samopłodność odnotowano w dwóch różnych liniach, jedna z nich miała w rodowodzie samozgodną formę WS267N/88, a druga męskosterylną WS66P/85, zawiązały odpowiednio 33,3 i 19,7 ziarniaków/kłos. Rośliny substytucyjne żyta diploidalnego, które miały w rodowodzie odmianę Otello zawiązały w kłosach izolowanych średnio 7,0 ziarniaków/kłos, a w przypadku Muro 0,3 ziarniaka/kłos. Wszystkie rośliny, które w rodowodzie miały odmianę Amilo charakteryzowały się całkowitą samoniezgodnością, nie zawiązały żadnego ziarniaka w kłosach izolowanych (tab. 2).

Tabela 2

Wpływ form wyjściowych żyta 2x na liczbę ziarniaków/kłos żyta diploidalnego z chromosomami pszenicy
Influence of 2x rye initial forms on kernel numbers/spike in 2x rye with wheat chromosomes

Formy wyjściowe Initial forms	Liczba ziarniaków/kłos No. of kernels per spike	
	W izolowanych In isolated	Wolne zapylanie Open pollinated
Otello	7,0	33,5
Muro	0,3	24,6
Amilo	0	0,5
WS66P/85	19,7	28,6
WS66N/85	1,5	33,9
WS79N/88	16,5	23,2
WS149N/86	0,2	22,9
WS267N/88	33,3	27,5
Otello, Amilo	0	32,6
Otello, Muro	1,4	34,0
Otello, WS66P/85	0,7	22,6
Otello, WS66N/85	0,4	27,3
Otello, WS79N/88	52,7	41,3
Otello, WS267P/88	0,4	33,0
Amilo, WS267P/88	0	19,8
Otello, WS66P/85, WS79N/88, WS267P/88	3,5	39,1

P — Męskosterylny N — Samozgodne
P — Male sterile N — Self-compatibility

Rośliny żyta diploidalnego z substytucyjnym chromosomem 7A charakteryzowały się średnio najwyższą samopłodnością, gdyż najwięcej roślin z tym chromosomem miało w rodowodzie formy powodujące samozgodność — WS79N/85 oraz WS267N/88, natomiast rośliny z 7A, które miały w rodowodzie Muro i Amilo charakteryzowały się sterylnością. Podobnie było w roślinach z innymi substytucyjnymi chromosomami

pszenicy. Z przedstawionych wyników można wnioskować, że substytucyjne i addycyjne chromosomy pszenicy genomu A nie przyczyniły się do pokonania genów samoniezgodności w życie diploidalnym.

WNIOSKI

1. Do żyta diploidalnego został włączony materiał genetyczny pszenicy w postaci substytucji, addycji i translokacji.
2. Chromosomy genomu A pszenicy przekazywane były przez gamety żeńskie i pyłek.
3. Substytucyjne i addycyjne chromosomy pszenicy nie przyczyniły się do pokonania genów samoniezgodności w życie diploidalnym.
4. Samozgodność substytucyjno-translokacyjnego żyta była uzależniona wyłącznie od form wyjściowych żyta 2x wykorzystanych w krzyżowaniach.

LITERATURA

- Apolinaraska B. 1996 a. Additions, substitutions and translocations of wheat chromosomes in tetraploid rye. Inter. Symp. Rye Breed. Genet. 27–29 June, Stuttgart, Germany. Vortr. Pflanzenzüchtung 35: 304 — 305.
- Apolinaraska B. 1996 b. Transfer of chromosomes of the A and B genomes of wheat to tetraploid rye. J. Appl. Genet. 37: 345 — 356.
- Apolinaraska B. 1998. Tetraploid rye with wheat genetic material. In: Plant Cytogenetics. Maluszyńska J. (ed.). Spring Symp., Cieszyn 19–22 May 1997, Silesian Univ. Katowice, Poland: 206 — 209.
- Apolinaraska B. 2003 a. Production of diploid rye/wheat chromosome additions and translocations. Cereal Res. Com. 31: 73 — 79.
- Apolinaraska B. 2003b. Chromosome pairing in tetraploid rye with monosomic-substitution wheat chromosomes. J. Appl. Genet. 44: 119 — 128.
- Arseniuk E., Oleksiak T. 2001. Rye production and breeding in Poland. Proc. Eucarpia Rye Meeting, July 4–7, Radzików, Poland: 11 — 18.
- Baum M. 1991. Rye-wheat hybrids: the production of wheat chromosome additions to rye. Genome 34: 840 — 844.
- Boros D. 2001. Prospects of greater utilization of rye in animal feeding and human consumption. Proc. Eucarpia Rye Meet., July 4–7, 2001, Radzików, Poland: 285.
- Friebe B., Hatchett J. H., Sears R. G., Gill B. S. 1990. Transfer of Hessian fly resistance from “Chaupon” rye to hexaploid wheat via a 2BS/2RL wheat-rye chromosome translocation. Theor. Appl. Genet. 79: 385 — 389.
- Graham H., Aman P. 1991. Nutritional aspects of dietary fibres. Anim. Feed Sci. Technol. 32: 143 — 158.
- Lukaszewski A. J. 1990. Frequency of 1RS.1AL and 1RS.1BL translocations in United States wheats. Crop. Sci. 30: 1151 — 1153.
- Lukaszewski A. J., W. Brzeziński, E. Klockiewicz-Kamińska. 2000. Transfer of the Glu-D1 locus encoding high molecular weight glutenin subunits 5+10 from bread wheat to diploid rye. Euphytica 115: 49 — 57.
- Lukaszewski A. J., Gustafson P. J. 1983. Translocations and modifications of chromosomes in tritcale × wheat hybrids. Theor. Appl. Genet. 64: 239 — 248.
- Melz G., Thiele V. 1990. Spontaneous somatic transfer of a segment from a wheat addition chromosome into the rye genome. Genome 33: 794 — 797.
- Melz G., Thiele V., Seidel A., Buschbeck R. 1991. Rye-cytoplasmic rye-wheat additions — a new material for breeding. Genet. Pol. 32: 89 — 93.
- Rakowska M. 1994. Antinutritive compounds in rye grain. Hod. Rośl. Aklim. 38: 21 — 42.
- Roehring K. L. 1988. The physiological effects of dietary fiber — a review. Food Hydrocolloids 1, 2: 1 — 18.
- Schlegel R. 1982. First evidence for rye — wheat additions. Biol. Zbl. 101: 641 — 646.

- Schlegel R., Boerner A., Thiele V., Melz G. 1991. The effect of the *Ph1* gene in diploid rye, *Secale cereale* L. Genome 34: 913 — 917.
- Schlegel R., Kynast R. 1988. Wheat chromosome 6B compensates genetical information of diploid rye, *Secale cereale* L. 7th Inter. Wheat Genetics Symp. Cambridge: 421 — 426.
- Schlegel R., Melz G., Mettin D. 1986. Rye cytology, cytogenetics and genetics — Current status. Theor. Appl. Genet. 72: 721 — 734.
- Tarkowski Cz., Apolinarska B. 1992. The use of chromosome substitutions and translocations in the breeding triticale, wheat and rye. Hereditas 116: 281 — 283.
- Thiele V., Buschbeck R., Seidel A., Melz G. 1988. Identification of the first rye-cytoplasmic rye-wheat-addition using LAP-isozymes. Plant. Breed. 101: 250 — 252.
- Zeller F. J., Baier A. C. 1973. Substitution des Weizenchromosomenpaares 4A durch das Roggenchromosomenpaar 5R in den Weihenstephaner Weizenstamm W 70a 86 (Blaukorn): Zeit. Pflanzenzücht. 70: 1 — 10.
- Zeller F. J., Fischbeck G. 1971. Cytologische Untersuchungen zur Identifizierung des Fremdchromosoms in der Weizensorte Zorba (W 565) Zeit. Pflanzenzücht. 66: 260 — 265.
- Zeller F. J., O. I. Koller. 1981. Identification of a 4A/7R and 7B/4R wheat and rye chromosome. Theor. Appl. Genet. 59: 33 — 37.