



Instytut Genetyki, Hodowli i Biotechnologii Roślin, Wydział Agrobiotechnologii,
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
e-mail: roman.prazak@up.lublin.pl

ROMAN PRAŻAK  <https://orcid.org/0000-0002-6920-1017>

Otrzymywanie i charakterystyka mieszańców *Aegilops triuncialis* L. × *Triticum aestivum* L.

Obtaining and characterizing of *Aegilops triuncialis* L. × *Triticum aestivum* L.
hybrids

Abstrakt. W warunkach polowych wykonano krzyżowania między *Aegilops triuncialis* L. ($2n = 4x = 28$, genomu *UUCC*) a odmianami pszenicy zwyczajnej *Triticum aestivum* L. ($2n = 6x = 42$, genomu *AABBDD*) Begra, Monopol, Nawra i Zyta. Celem krzyżowań było poszerzenie zmienności genetycznej pszenicy zwyczajnej. Zdolność do krzyżowania badanych genotypów w warunkach polowych wahała się od 7,14% (*Ae. triuncialis* × Zyta) do 13,33% (*Ae. triuncialis* × Monopol). Ziarniaki mieszańcowe zawiązały się jedynie w przypadku, gdy formą mateczną był *Ae. triuncialis*. Z uzyskanych 22 mieszańcowych ziarniaków F_1 w warunkach *in vitro* wyizolowano 19 zarodków i wyłożono je na pożywkę MS z dodatkiem $10 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ IAA (kwas β -indolilo-3-octowy) i $0,04 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ kinetyny. Z zarodków F_1 w *in vitro* rozwinęło się 15 siewek. Po 4 tygodniach uzyskane siewki mieszańców przesadzono do doniczek i umieszczono w fitotronie, a następnie w polowie września wysadzono na polu doświadczalnym obok komponentów rodzicielskich. Oceny liczby chromosomów mieszańców dokonano na preparatach rozmazowych komórek merystematycznych wierzchołków korzeni siewek. W czasie sezonu wegetacyjnego z pochw liściowych roślin mieszańcowych pobrano niedojrzałe kłosa do analizy mejozy. Analiza cytologiczna wykazała nieprawidłowości w procesie mikrosporogenezy mieszańców, co wpłynęło na wykształcenie się nieżywnego pyłku. Część kłosów mieszańców F_1 wykastrowano i zapylono wstecznie pyłkiem pszenicy. Mieszańce F_1 rozmnażano również *in vitro*, wykładając na pożywkę MS z dodatkiem $2 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ 2,4-D (kwas 2,4-dichlorofenoksyoctowy) po 100 fragmentów niedojrzałych kwiatostanów w każdej kombinacji krzyżówkowej. Z kalusa wytworzonego przez eksplantaty zregenerowało 5 roślin R_1 w kombinacji *Ae. triuncialis* L. × *T. aestivum* L. Zyta. W fazie dojrzałości pełnej na roślinach mieszańcowych F_1 i R_1 dokonano pomiarów cech biometrycznych, takich jak krzewienie ogólne, długość pędu głównego, średnica drugiego od dołu międzywęźla, długość osadki kłosowej kłosa głównego, zbitość kłosa głównego i płodność kłosa głównego. Mieszańce charakteryzowały się pośrednim w stosunku do form rodzicielskich krzewieniem (15,0–41,0 źdźbeł), średnicą drugiego od dołu

Cytowanie: Prazak R., 2025. Otrzymywanie i charakterystyka mieszańców *Aegilops triuncialis* L. × *Triticum aestivum* L. Agron. Sci. 80(4), 5–22. <https://doi.org/10.24326/as.2025.5576>

międzywęzła (2,1–2,9 mm), zbitością kłosa głównego (14,6–17,5 kłosek na 1 dm osadki kłosa), krótszymi źdźbłami (43,0–48,3 cm) i osadkami kłosowymi (0,55–0,68 dm) oraz sterylnymi kłosami.

Słowa kluczowe: *Aegilops triuncialis* L., cechy plonotwórcze, pszenica zwyczajna, kultury *in vitro*, mieszańce międzyrodzajowe

WSTĘP

Dla zwiększenia zmienności genetycznej pszenicy zwyczajnej krzyżuje się ją z różnymi gatunkami pokrewnymi z rodzaju *Aegilops* L. [Fakhri i in. 2016, Zhao i in. 2018, Wang i in. 2022, Feldman i Levy 2023]. Gatunki te są opisywane jako źródła pożądanych cech plonotwórczych, odpornościowych (na choroby, szkodniki, zakwaszenie i zasolenie gleby), jakościowych (wysoka zawartość białka i mikroelementów w ziarniakach pszenicy) [Arzani i Ashraf 2016, Prażak i Molas 2017, Prażak i Krzepiło 2018, Darko i in. 2020, Kiani i in. 2021, Bocianowski i Prażak 2022, Laugerotte i in. 2022, Hadzhiivanova i in. 2025]. *Aegilops triuncialis* L. (genomy *UUCC*) jest przedmiotem zainteresowania hodowców pszenicy jako źródło genów odporności na choroby kłosa [Pilch i in. 1995], rdzę brunatną (*Puccinia recondita*) – *Lr58* [Ijaz i in. 2023], szkodniki [Martín-Sánchez i in. 2003], suszę i zasolenie gleby [Yildiz i in. 2006] oraz charakteryzuje się dużą zawartością białka [Karagoz 2006]. Pochodzi on z Europy Wschodniej i basenu Morza Śródziemnego oraz Azji Zachodniej [Kimber i Feldman 1987]. W naturalnych warunkach *Ae. triuncialis* L. najczęściej rośnie na ugorach, przydrożach, ale dobrze radzi sobie również na użytkach zielonych. W Ameryce Północnej jest to gatunek inwazyjny, występujący głównie na zachodnim wybrzeżu Stanów Zjednoczonych [Zaharieva i Monneveux 2005, Aigner i Worerly 2011]. *Ae. triuncialis* L. jest rzadko wykorzystywany do ulepszania pszenicy zwyczajnej, istnieje niewiele doniesień o udanych krzyżowaniach między tymi dwoma gatunkami. Pilch i in. [1995] zapylali linię mono-5B pszenicy zwyczajnej *T. aestivum* L. Chiñese Spring pyłkiem *Ae. triuncialis* L., a następnie powstałego mieszańca krzyżowali wstecznie z *T. aestivum* Chinese Spring. Delibes i in. [1988] w pierwszej kolejności krzyżowali pszenicę tetraploidalną *T. turgidum* L. z *Ae. triuncialis* L., a następnie uzyskane mieszańce F_1 zapylali pyłkiem pszenicy heksaploidalnej. Aghaee-Sarbarzeh i in. [2002] przenieśli odporność na rdzę brunatną z *Ae. triuncialis* L. do pszenicy zwyczajnej przy użyciu indukowanej homeologicznej koniugacji i przy wykorzystaniu genu *Ph1*. Genomowa hybrydyzacja *in situ* (GISH) i analiza markerów DNA (SSR) pozwoliły zidentyfikować u mieszańca pszenicy z *Ae. triuncialis* L. zrekombinowany chromosom 5U z małym końcowym segmentem pochodzącym z ramienia 5AS chromosomu pszenicy [Aghaee-Sarbarzeh i in. 2008]. W krzyżowaniach, w których otrzymuje się niewiele zarodków, wydajność regeneracji żywotnych mieszańców można zwiększyć poprzez indukcję kalusa z fragmentów niedojrzałych kwiatostanów. Zastosowanie pożywki regenerującej o odpowiednim składzie regulatorów wzrostu może zapoczątkować proces organogenezy w tkance kalusowej [Hejnowicz 2002].

Celem badań było otrzymanie mieszańców międzyrodzajowych *Ae. triuncialis* L. $\times$ *T. aestivum* L. oraz ich charakterystyka morfologiczna i cytologiczna.

MATERIAŁ I METODY

Obiektem badań był dziki gatunek *Ae. triuncialis* L. i odmiany pszenicy *T. aestivum* L. Begra, Monopol, Nawra i Zyta. Ziarno *Ae. triuncialis* L. uzyskano z Instytutu Genetyki Roślin Leibniza i Badań Roślin Uprawnych (IPK) Gatersleben w Niemczech (numer obiektu w banku genów AE 120/78). Pszenice pochodziły z Krajowego Centrum Roślinnych Zasobów Genowych IHAR w Radzikowie. Krzyżowania przeprowadzono na polu doświadczalnym Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie. W każdej kombinacji zapyłono co najmniej dziesięć kłosów. Trzy dni przed kwitnieniem kłosy pszenicy zwyczajnej i *Ae. triuncialis* L. kastrowano i zakładano na nie izolatory z celofanu, aby uniknąć niepożądanego zapylenia. Krzyżowania przeprowadzono przy użyciu świeżego pyłku *Aegilops* lub danej odmiany pszenicy. Po 18 dniach od zapylenia w laboratorium kultur *in vitro* niedojrzałe zarodki mieszańcowe izolowano z ziarniaków i wykładano w warunkach aseptycznych do probówek na pożywkę MS [Murashige i Skoog 1962], z dodatkiem kinetyny – $0,04 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ i kwasu indolilo-3-octowego (IAA) – $10,0 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ [Chueca i in. 1977]. Ziarniaki były wcześniej odwadniane w 70% alkoholu etylowym i odkażane przez 6 minut w 0,1% roztworze chlorku rtęci (HgCl_2), następnie trzykrotnie płukane w sterylnej wodzie. Hodowlę kultur zarodków prowadzono w fitotronie, w temperaturze $23 \pm 2^\circ\text{C}$, przy 60–70% wilgotności względnej, 16-godzinnym fotoperiodzie i natężeniu światła $36 \mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Zregenerowane z zarodków rośliny w fazie drugiego liścia przenoszono do doniczek z wyjałowioną ziemią i piaskiem (w stosunku 1 : 1). Po aklimatyzacji od połowy września uprawiano je (podobnie jak genotypy rodzicielskie) na poletkach doświadczalnych o długości 2,0 m i szerokości 1,0 m, w rozstawie rzędów $20 \times 10 \text{ cm}$ na glebie brunatnej, kompleksu pszennego dobrego, w tych samych warunkach uprawy i nawożenia. Na roślinach mieszańcowych F_1 przeprowadzono krzyżowania wsteczne BC_1 z pszenicami rodzicielskimi, zapyłając po 50 wykastrowanych kwiatków w każdej kombinacji.

Analizy cytologiczne. Do obserwacji podziałów mitotycznych pobierano wierzchołki korzeni mieszańców, które po wstępnym traktowaniu mieszaniną wody z lodem przez okres 24 godzin utrwalano w roztworze Carnoya (etanol : kwas octowy = 3 : 1 v/v). Chromosomy liczono pod mikroskopem świetlnym przy powiększeniu $100\times$. Do obserwacji podziałów mejotycznych z pochw liściowych pobierano młode kłosy z pylnikami zawierającymi komórki macierzyste pyłku i mikrospory na różnym etapie rozwoju i utrwalano je przez trzy godziny w roztworze Carnoya. Utrwalone preparaty przechowywano w 70-procentowym alkoholu etylowym i temperaturze 4°C . W metafazie I obserwowano co najmniej 50 komórek macierzystych pyłku (PMC) wybarwionych acetokarminem. Określano liczbę bivalentów w postaci prętów i pierścieni oraz obecność uniwalentów, triwalentów, kwadriwalentów. W anafazie I obserwowano obecność chromosomów opóźnionych i mostów chromatynowych. Badano również frekwencję mikrojąder, analizując 300 tetrad każdej formy. Pomiary ziaren pyłku wykonano okularzem $8\times$ z podziałką, pod obiektywem $40\times$, a następnie wynik przeliczono na μm . Ziarna pyłku wybarwione acetokarminem na czerwono uznawano za żywotne [Chrzastek 2000]. Wykonano również preparaty rozmazowe komórek kalusa, które barwiono acetokarminem.

Rozmnażanie mieszańców z fragmentów kwiatostanów. Niedojrzałe kłosa mieszańców odwadniano w 70-procentowym alkoholu C_2H_5OH , odkażano w 0,1-procentowym roztworze chlorku rtęci ($HgCl_2$) przez 4 min. Następnie po trzykrotnym przepłukaniu w sterylnej wodzie podzielono je na fragmenty wielkości ok. 0,5 cm i wyłożono do kolb Erlenmeyera o pojemności 150 ml (po 10 szt. na kolbę) na pożywkę MS [Murashige i Skoog 1962], z dodatkiem $2,0\text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ 2,4-D (kwas 2,4-dichlorofenoksyoctowy) [Prażak 1996]. W każdej kombinacji krzyżówkowej zastosowano po 100 eksplantatów. Hodowlę prowadzono w fitotronie w podobnych warunkach temperatury i oświetlenia jak w przypadku zarodków.

Analiza fenotypowa pojedynków. Rośliny zebrano z pola w fazie dojrzałości pełnej i na 3–5 pojedynkach z każdej formy mieszańcowej oraz na 10 pojedynkach form rodzicielskich analizowano cechy ilościowe, takie jak: krzewienie ogólne (liczba pędów z rośliny), długość pędu głównego, średnicę drugiego od dołu międzywęzła, długość osadki kłosowej, zbitość kłosa głównego (liczbę kłosek przypadających na 1 dm osadki kłosowej), płodność kłosa głównego (liczba ziarniaków przypadających na 1 kłosek).

Analiza statystyczna. Uzyskane wyniki opracowano statystycznie za pomocą analizy wariancji, oceniając istotność różnic testem t-Tukeya przy $\alpha = 0,05$. Do analizy wykorzystano program Statistica v.13.1.

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Najczęściej pierwszym etapem prac mających na celu transfer genów z gatunków *Aegilops* L. do *Triticum* L. jest otrzymanie roślin mieszańcowych pierwszego pokolenia. Dalsze etapy polegają na kolejnych krzyżowaniach wstecznych mieszańców z pszenicą heksaploidalną, prowadzonych jednocześnie z wszechstronną oceną i selekcją.

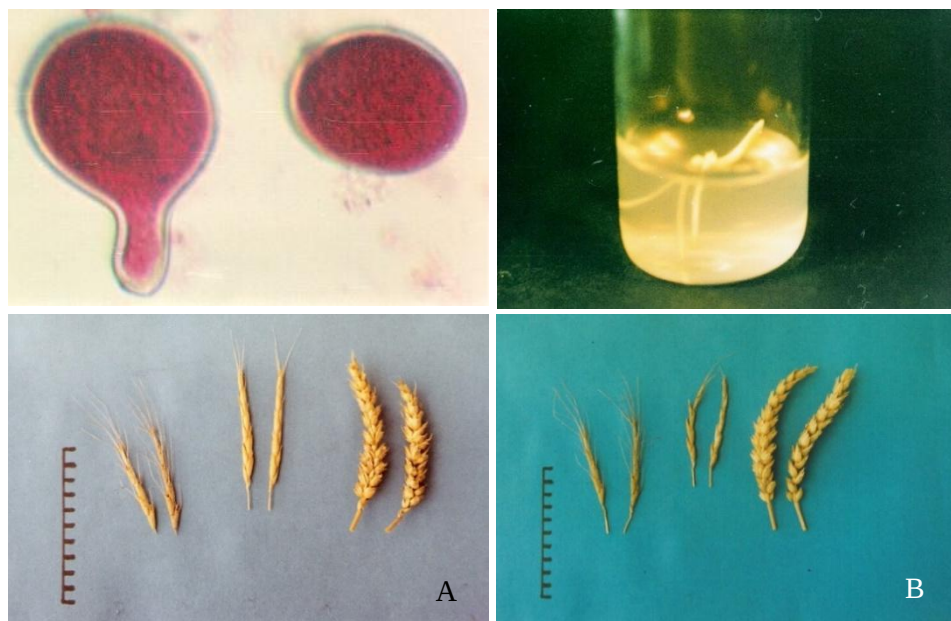
W prezentowanej pracy przedstawiono wyniki z bezpośredniego krzyżowania dzikiego gatunku *Aegilops* – *A. triuncialis* L. z odmianami pszenicy zwyczajnej *Triticum aestivum* L. (tab. 1).

Rośliny F_1 nie zawiązały ziarniaków. Wynikało to z zaburzeń w mejozie, w efekcie których nie powstały płodne gamety. Zaburzenia te były spowodowane niekompletną koniugacją chromosomów, słabym powinowactwem chromosomów obcych genomów do włókien wrzeciona podziałowego. W metafazie I mejozy mieszańców F_1 *Ae. Triuncialis* $\times$ *T. aestivum* L. (*ABDUC*) występowały uniwalenty. Nie było biwalentów zarówno w postaci prętów, jak i pierścieni, a także nie zaobserwowano poliwalentów. Liczba pentad w tych mieszańcach wahała się od 23 do 36. W tetradach widoczne były mikrojądra średnio od 0,28 do 0,33 (tab. 2, ryc. 2D i 2E).

Otrzymywanie roślin drugiego pokolenia w wyniku wstecznego zapylania pyłkiem pszenicy wykastrowanych kłosów mieszańców pierwszego pokolenia napotyka na ogół na jeszcze większe trudności. Bai i in. [1994], krzyżując *Aegilops triaristata* Willd. (genomy *UUMMUnUn*) z *T. aestivum* L. cv. Chinese Spring (genomy *AABBDD*) otrzymali wysokie zawiązywanie mieszańcowych ziarniaków na poziomie od 38,89% do 60,81%. Natomiast w wyniku krzyżowania wstecznego zawiązywanie ziarniaków wahało się jedynie od 0% do 7,14%.

Tabela 1. Rezultaty krzyżowania *Aegilops triuncialis* L. z odmianami *Triticum aestivum* L.
Table 1. Results of crosses between *Aegilops triuncialis* L. and *Triticum aestivum* L. cultivars

Kombinacja krzyżówkowa Cross combination	Liczba zapylonych kwiatków Number of florets pollinated	Zawiązane ziarniaki F ₁ F ₁ seeds set		Liczba zarodków F ₁ w <i>in vitro</i> Number of F ₁ embryos in <i>in vitro</i>				Rośliny F ₁ z kultur <i>in vitro</i> F ₁ plants from <i>in vitro</i> cultures	
		liczba number	%	kiełkujących germinating	kalusujących callusing	zamarłych lifeless	razem total	liczba number	%
<i>Ae. triuncialis</i> × <i>Begra</i>	82	8	9,76	4	3	1	8	4	50,00
<i>Begra</i> × <i>Ae. triuncialis</i>	206	0	0,00	0	0	0	0	0	0,00
<i>Ae. triuncialis</i> × <i>Monopol</i>	60	8	13,33	5	0	0	5	5	100,00
<i>Monopol</i> × <i>Ae. triuncialis</i>	196	0	0,00	0	0	0	0	0	0,00
<i>Ae. triuncialis</i> × <i>Nawra</i>	36	3	8,33	3	0	0	3	3	100,00
<i>Nawra</i> × <i>Ae. triuncialis</i>	96	0	0,00	0	0	0	0	0	0,00
<i>Ae. triuncialis</i> × <i>Zyta</i>	42	3	7,14	3	0	0	3	3	100,00
<i>Zyta</i> × <i>Ae. triuncialis</i>	94	0	0,00	0	0	0	0	0	0,00
<i>Ae. triuncialis</i> × <i>T. aestivum</i>	220	22	10,00	15	3	1	19	15	78,95
<i>T. aestivum</i> × <i>Ae. triuncialis</i>	592	0	0,00	0	0	0	0	0	0,00



Ryc. 1. Mieszańce *F*₁ *Ae. triuncialis* L. z *T. aestivum* L.: A) kielkujące ziarno pyłku pszenicy, B) kielkujący zarodek mieszańcowy, C) kłosy *Ae. triuncialis* L., mieszańca *F*₁ pszenicy Monopol, D) kłosy *Ae. triuncialis* L., mieszańca *F*₁, pszenicy Zyta

Fig. 1. *F*₁ hybrids of *Ae. triuncialis* L. with *T. aestivum* L.: A) germinating wheat pollen grain, B) germinating hybrid embryo, C) spikes of *Ae. triuncialis* L., *F*₁ hybrid, wheat Monopol, D) spikes of *Ae. triuncialis* L., *F*₁ hybrid, wheat Zyta

Po zapyleniu wykastrowanych kwiatków obu gatunków uzyskano zawiązywanie ziarniaków na poziomie od 7,14% (*Ae. triuncialis* × Zyta) do 13,33% (*Ae. triuncialis* × Monopol). Ziarniaki mieszańcowe zawiązywały się jedynie w przypadku, gdy formą matczną był *Aegilops*. Potwierdza to wcześniejsze badania, w których taki kierunek krzyżowania dawał kilkukrotnie większą możliwość uzyskania mieszańców *F*₁ [Prażak 2001, Mirzaghaderi i in. 2020]. Krzyżowanie *Ae. triuncialis* L. z pszenicą zwyczajną i uzyskanie płodnych mieszańców *F*₁ jest trudne ze względu na bariery krzyżowalności i brak homologii pomiędzy ich genomami. Jak wynika z badań Chueca i in. [1977], w wyniku krzyżowania pszenicy z gatunkami *Aegilops* tworzą się ziarniaki, ale niektóre z nich są niezdolne do kiełkowania z powodu zamierania zarodków we wczesnej fazie rozwoju. Według tych autorów rośliny mieszańcowe udaje się uzyskać przez wczesną izolację i hodowlę niedojrzałych zarodków w kulturze *in vitro*. W niniejszej pracy z 22-mieszańcowych 18-dniowych ziarniaków *F*₁ wyizolowano 19 zarodków. Hodowla *in vitro* tych zarodków dała w efekcie 15 roślin *F*₁ (tab. 1, ryc. 1). Kalusujące zarodki wytwarzały jedynie korzenie. Najwięcej roślin mieszańcowych zregenerowało w kombinacji *A. triuncialis* × Monopol (5). W pozostałych kombinacjach zregenerowały 3–4 rośliny (tab. 1).

W przeprowadzonych badaniach w wyniku krzyżowania wstecznego z pszenicą nie uzyskano mieszańców BC₁. Delibes i in. [1988], zapylając pszenicę tetraploidalną *T. turgidum* L. pyłkiem *Ae. triuncialis* L. uzyskali 3 rośliny mieszańcowe F₁. Następnie mieszańce F₁ zapylili pyłkiem pszenicy heksaploidalnej Almatense H-10-15, uzyskując tym razem 8 roślin, które charakteryzowały się bardzo słabą płodnością, dając 3–5 ziaren na roślinę, bez zauważalnego wzrostu płodności w kolejnych pokoleniach. Mieszańce z *Ae. triuncialis* L. charakteryzowały się mniejszą płodnością niż z *Ae. ventricosa* Tausch. (genomy *DDUnUn*). Według cytowanych autorów genom *D* *Ae. ventricosa* Tausch. jest bardziej podobny do genomu *D* pszenicy heksaploidalnej niż którykolwiek z dwóch różnych genomów (*CU*) obecnych w *Ae. triuncialis* L., co może prowadzić do bardziej regularnej mejozy w pierwszym przypadku i do prawdopodobnego bardziej rozległego procesu rearanżacji chromosomów w drugim przypadku, z powodu niwelowania efektu działania genu *Ph* przez genom *C* [Delibes i in. 1988].

W badaniach Stefanowskiej i in. [1995] przy krzyżowaniu *Ae. ventricosa* Tausch. z *T. durum* Desf. Grandur zawiązywanie ziarniaków wyniosło 16,67%, a przy krzyżowaniu *Ae. juvenalis* (Tell.) Eig. (genomy *DDMMUU*) z linią pszenicy zwyczajnej CZR 1406 – 41,18%.

Gatunki *Ae. ventricosa* Tausch. (*DDUnUn*) i *Ae. juvenalis* (Tell.) Eig. (genomy *DDMMUU*) zawierają genomy *D*, które są homologiczne do genomu *D* pszenicy, podobnie jak genomy *D* *Ae. tauchyii* Coss. (*DD*) i *Ae. cylindrica* Host. (*DDCC*). W tych przypadkach transfer genów może odbywać się na zasadzie prostego crossing-over.

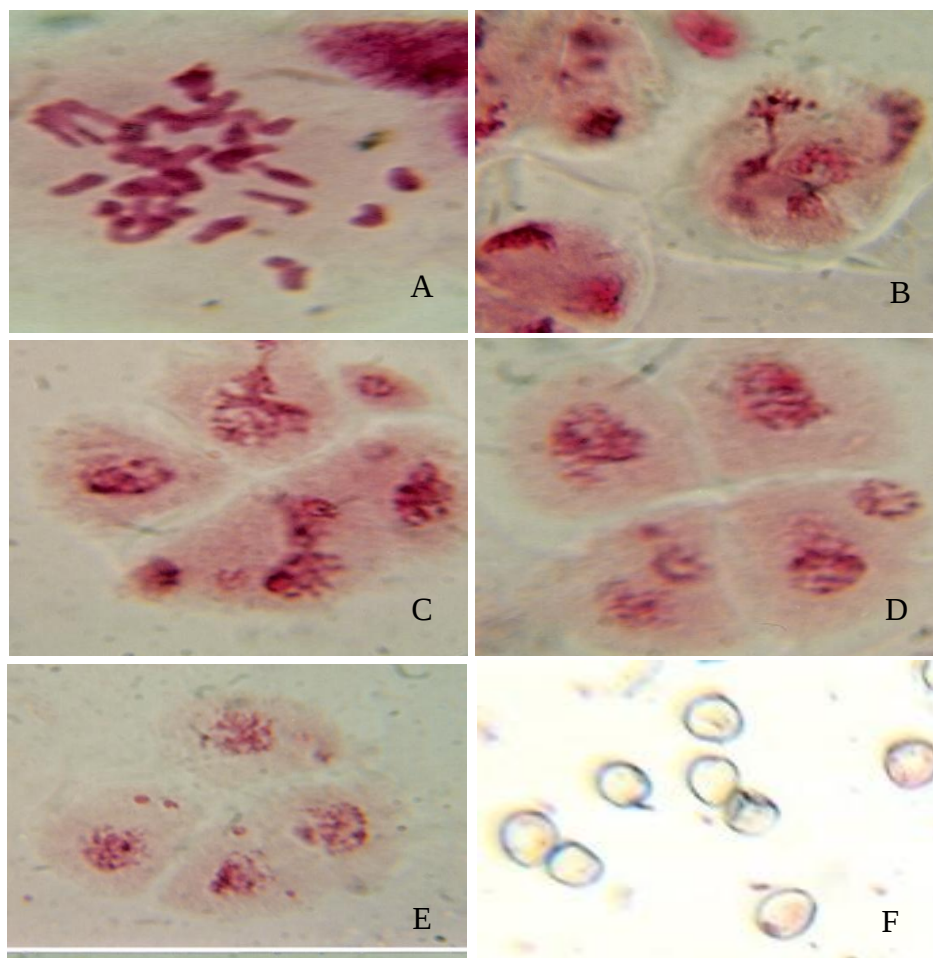
Wszystkich 15 pentaploidalnych mieszańców *A. triuncialis* L. z *T. aestivum* L. było całkowicie sterylnych. Pylniki zawierały niezabarwione ziarna pyłku (ryc. 2F). *Ae. triuncialis* L. został zaliczony przez Searsa [1981] do tej samej grupy co gatunki o niskim podobieństwie genomów do *T. aestivum* L., takie jak *Ae. umbellulata* Zhuk. (genomy *UU*) i *Ae. caudata* L., syn. *Ae. markgrafii* (Greuter) Hammer (genomy *CC*). Prawdopodobnie *Ae. triuncialis* powstał w wyniku skrzyżowania tych dwóch gatunków [Mirzaghaderi i in. 2014].

Tabela 2. Analiza cytologiczna mieszańców F₁ *Ae. triuncialis* L. z *T. aestivum* L. i R₁ *Ae. triuncialis* L. × *T. aestivum* L. Zyta
 Table 2. Cytological analysis of F₁ *Ae. triuncialis* L. with *T. aestivum* L. hybrids and R₁ *Ae. triuncialis* L. × *T. aestivum* L. Zyta

Analizowane formy Forms analysed	Średnia liczba na komórkę Mean number per cell							Średnia liczba mikrojąder w tetradzie Mean number of micro-nucleiin tetrad	Liczba pentad Number of pentads
	chromosomy chromosomes	uniwalenty univalents	biwalenty bivalents		triwalenty trivalents	kwadriwalenty quadrivalents	chiazmy chiasmata		
			pręty rods	pierścienie rings					
F ₁ <i>Ae. triuncialis</i> × Begra	35	35,00*	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,31*	23
F ₁ <i>Ae. triuncialis</i> × Nawra	35	35,00*	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,28*	28
F ₁ <i>Ae. triuncialis</i> × Zyta	35	35,00*	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33*	36
R ₁ <i>Ae. Triuncialis</i> × Zyta	35	33,94*	0,88*	0,16*	0,00	0,00	1,22*	0,24*	19
Zyta	42	0,04	0,36	20,62	0,00	0,00	41,52	0,01	0

* Wynik istotnie różny od pszenicy Zyta przy $\alpha = 0,05$

* Result significantly different in relation to the Zyta wheat at $\alpha = 0.05$



Ryc. 2. Niektóre aspekty mejozy u mieszańca *Ae. triuncialis* L. × *T. aestivum* L. Zyta ($2n = 5x = 35$): A) metafaza I w PMC, B) późna anafaza II z mostkami i segmentami, nieregularną cytokinezą i chromosomami opóźnionymi, C) poliada z komórkami o różnej wielkości, D) i E) tetrazy z mikrojądrami, F) puste ziarna pyłku (odcinek = 45 μ m)

Fig. 2. Some aspects of meiosis in *Ae. triuncialis* L. × *T. aestivum* L. Zyta hybrid ($2n = 5x = 35$): A) metaphase I in PMC, B) late anaphase II with bridges and segments, irregular cytokinesis and lagging chromosomes, C) polyad with cells of different sizes, D) and E) tetrads with micronuclei, F) empty pollen grains (bar = 45 μ m)

Do rozmnożenia mieszańców F_1 zastosowano również technikę hodowli tkankowej (ryc. 3 i 4). W kulturze *in vitro* może dochodzić do spontanicznego podwojenia liczby chromosomów. Warunki hodowli *in vitro* mogą również przyczynić się do translokacji pomiędzy chromosomami *Aegilops* i *Triticum*. Davies i in. [1986] podają, że rośliny pszenicy zregenerowane wegetatywnie *in vitro* z wykorzystaniem tej metody charakteryzowały się wysoką

częstotliwością niehomologicznych translokacji powodujących tworzenie się multiwalentów w czasie mejozy. Feldman [1988] również obserwował obecność multiwalentów w mejozie wywołaną prawdopodobnie translokacjami u mieszańców między *T. aestivum* a amfiploidem *T. turgidum* – *Ae. squarrosa*. Mieszańce były regenerowane z kalusa pochodzącego z hodowli *in vitro* mikrospor.

W przeprowadzonych badaniach do indukcji kalusa wykorzystano niedojrzałe kwiatostany. Z kalusa wytworzonego przez eksplantaty zregenerowało 5 roślin R_1 (5,68% kalusujących eksplantatów) w kombinacji *Ae. triuncialis* L. $\times$ *T. aestivum* L. Zyta (tab. 3).

Tabela 3. Regeneracja roślin mieszańcowych R_1 w kulturze *in vitro* z fragmentów kwiatostanów F_1 *Ae. triuncialis* $\times$ *T. aestivum* L.

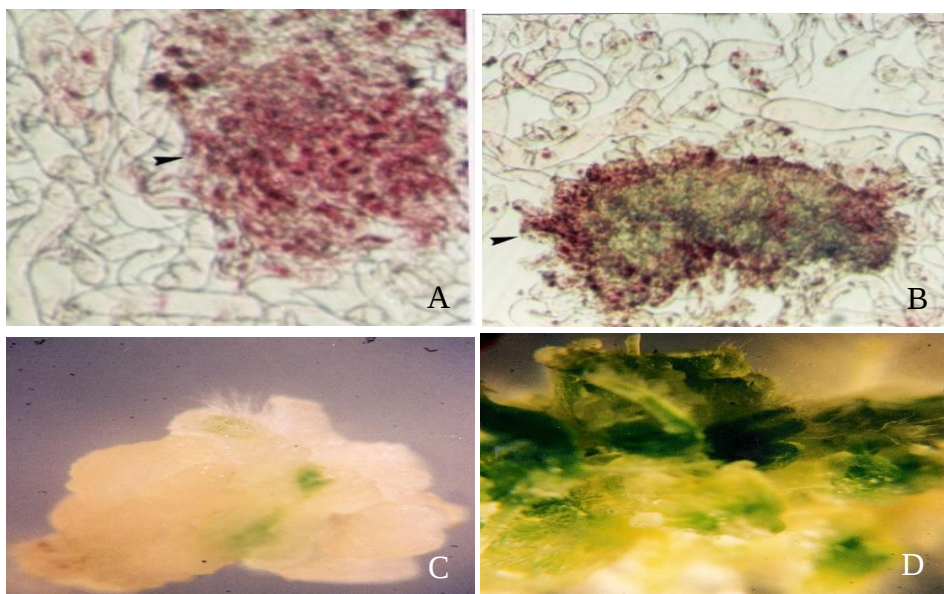
Table 3. Regeneration of R_1 *Ae. triuncialis* $\times$ *T. aestivum* L. hybrid plants in *in vitro* culture from flower fragments of F_1 *Ae. triuncialis* $\times$ *T. aestivum* L.

Mieszańce F_1 F_1 hybrids	Kalusujące eksplantaty na 100 wyłożonych Calloused explants per 100 placed		Zregenerowane w kalusie rośliny R_1 R_1 plants regenerated in callus	
	liczba number	%	liczba number	%
<i>Ae. triuncialis</i> $\times$ Begra	72	72	0	0,00
<i>Ae. triuncialis</i> $\times$ Monopol	84	84	0	0,00
<i>Ae. triuncialis</i> $\times$ Nawra	65	65	0	0,00
<i>Ae. triuncialis</i> $\times$ Zyta	88	88	5	5,68

Obserwacje cytologiczne wykazały, że w chaotycznie zbudowanej tkance kalusowej pojawiały się morfogenne obszary, z których tworzyły się zawiązki organów (ryc. 3). Najpierw komórki kalusa przypominały komórki miękiszowe, a potem odróżnicowały się, przybierając kształt komórek merystematycznych. W wyniku organogenezy na powierzchni kalusa kształtował się wierzchołek przybyszowy, w którym po pewnym czasie różnicował się związek pędu z wierzchołkiem wzrostu i zaczątkami liści i (lub) związek korzenia z wierzchołkiem.

Tworzenie się wierzchołków przybyszowych wiąże się z naruszeniem regulacji hormonalnej, w wyniku oddzielenia eksplantatu od tkanki macierzystej lub podania regulatorów wzrostu z zewnątrz, głównie auksyn i cytokinin [Hejnowicz 2002].

Kultury *in vitro* fragmentów kwiatostanów przyczyniły się do rozmnożenia mieszańców F_1 i uzyskania dojrzałych roślin R_1 *Ae. triuncialis* $\times$ Zyta (ryc. 4). Uzyskano regeneranty R_1 o liczbie chromosomów rośliny dawcy *Ae. triuncialis* L. $\times$ *T. aestivum* L. Zyta ($2n = 35$) – tab. 3. Pentaploidy R_1 *Ae. triuncialis* L. $\times$ *T. aestivum* L. (ABDUC) zawierały średnio 33,94 uniwalentów, 0,88 biwalentów w formie prętów i 0,16 biwalentów w formie pierścieni. Liczba chiazm w ich przypadku wynosiła średnio 1,22, mikrojąder w tetradach – 0,24, a liczba pentad – 19. W anafazach I i II tworzyły się mostki chromosomowe, chromatydowe i występowały fragmenty chromosomowe oraz nieprawidłowa liczba biegunów, co w konsekwencji prowadziło do powstawania pentad (tab. 2, ryc. 2).



Ryc. 3. Kalus mieszańca F₁ *Ae. triuncialis* L. × *T. aestivum* L. Zyta uzyskany w kulturze *in vitro* z fragmentu kwiatostanu: A) grot wskazuje centrum merystematyczne (odcinek = 50 μm), B) grot wskazuje primordium pędu (odcinek = 100 μm), C) tkanka kalusowa z widocznymi zielonymi centrami różnicowania się zawiązków pędu (odcinek = 3 mm), D) formowanie się pędów (odcinek = 1,0 mm)

Fig. 3. Callus of the F₁ hybrid *Ae. triuncialis* L. × *T. aestivum* L. Zyta obtained in *in vitro* culture from an inflorescence fragment: A) the arrowhead indicates the meristematic center (bar = 50 μm), B) the arrowhead indicates the shoot primordium (bar = 100 μm). C) callus tissue with visible green centers of shoot primordia differentiation (bar = 3 mm), D) shoot formation (bar = 1,0 mm)

W mieszańcach *Ae. triuncialis* L. × *T. aestivum* L. Zyta analizowano żywotność pyłku i porównywano ją z żywotnością form rodzicielskich. Ziarna pyłku mieszańców F₁ okazały się w 100% puste, a mieszańców R₁ w 94,70%. Natomiast 90,75% ziaren pyłku *Ae. triuncialis* L. i 91,80% pszenicy Zyta było całkowicie wypełnione cytoplazmą (tab. 4). Ziarna pyłku mieszańców F₁ miały wielkość od 44,18 × 40,34 μm (mieszaniec F₁ *Ae. triuncialis* L. z pszenicą Bęgra) do 45,51 × 41,23 μm (mieszaniec F₁ *Ae. triuncialis* L. z pszenicą Zyta). Mieszaniec R₁ *Ae. triuncialis* L. × Zyta miał ziarna pyłku nieco większe: 46,96 × 41,12 μm. Średnia wielkość ziaren pyłku *Ae. triuncialis* L. wyniosła 51,80 × 47,60 μm. Największe ziarna pyłku miała pszenica Zyta 62,29 × 54,86 μm. W badaniach Chrzastek [2000] wielkość ziaren pyłku pszenicy Grana wyniosła 56,87 × 56,19 μm.

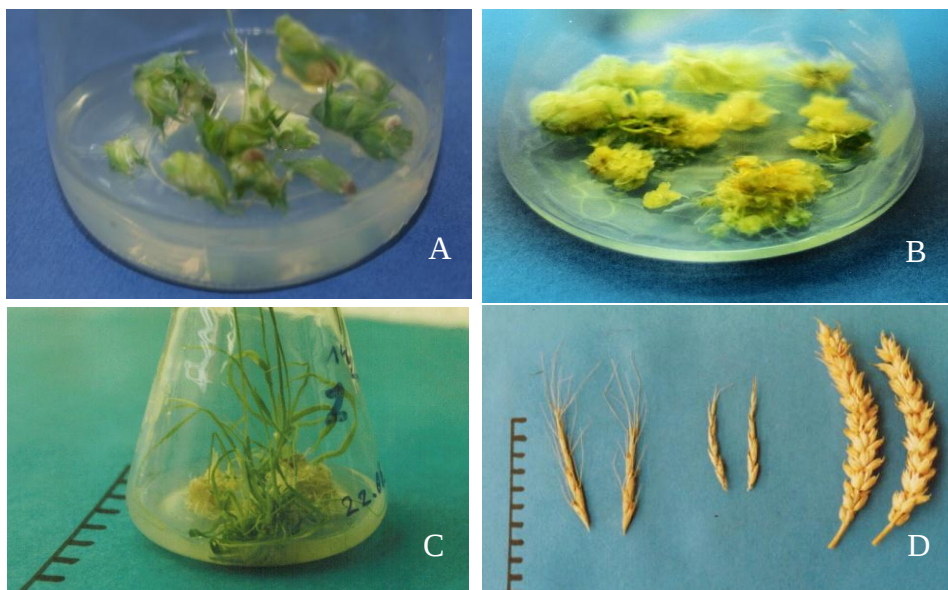
Pylniki mieszańców F₁ miały wielkość od 4,51 × 0,85 mm (mieszaniec F₁ *Ae. Triuncialis* L. × Bęgra) do 4,68 × 0,89 mm (mieszaniec F₁ *Ae. triuncialis* L. × Zyta) – tab. 4.

Tabela 4. Żywotność oraz wymiary ziaren pyłku i pylników mieszańców F₁ i R₁ *Ae. triuncialis* L. z *T. aestivum* L. i *T. aestivum* L. Zyta
 Table 4. Viability and dimensions of pollen grains and anthers of F₁ and R₁ hybrids of *Ae. triuncialis* L. with *T. aestivum* L. and *T. aestivum* L. Zyta

Analizowane formy Forms analysed	Ziarna pyłku wypełnione cytoplazmą Pollen grains filled with cytoplasm (%)			Wymiary ziaren pyłku wypełnionych cytoplazmą Dimensions of pollen grains filled with cytoplasm (µm)						Wymiary pylników Anther dimensions (mm)	
				całkowicie entirely		częściowo partly		puste empty			
	całkowicie entirely	częściowo partly	puste empty	długość length	szerokość width	długość length	szerokość width	długość length	szerokość width	długość length	szerokość width
F ₁ <i>Ae. triuncialis</i> × Begra	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	44,18 ^{fm}	40,34 ^{fm}	4,51 ^f	0,85
F ₁ <i>Ae. triuncialis</i> × Monopol	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	44,29 ^{fm}	40,45 ^{fm}	4,53 ^f	0,86
F ₁ <i>Ae. triuncialis</i> × Nawra	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	45,42 ^{fm}	41,16 ^{fm}	4,62 ^{fm}	0,88
F ₁ <i>Ae. triuncialis</i> × Zyta	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	45,51 ^{fm}	41,23 ^{fm}	4,68 ^{fm}	0,89
R ₁ <i>Ae. triuncialis</i> × Zyta	0,00	5,30	94,70	0,00 ^{fm}	0,00	50,85 ^m	44,32 ^m	46,96 ^{fm}	41,12 ^{fm}	4,73 ^{fm}	0,86
<i>Ae. triuncialis</i>	90,75	3,08	6,17	52,00	46,50	44,83	41,00	51,80	47,60	5,10	0,87
Zyta	91,80	1,19	7,01	67,53	64,08	61,57	56,71	62,29	54,86	4,46	0,94

^f Wynik istotnie różny od formy matcznej przy $\alpha = 0,05$; ^m wynik istotnie różny od formy ojcowskiej przy $\alpha = 0,05$

^f Result significantly different from the mother form at $\alpha = 0.05$; ^m result significantly different from the paternal form at $\alpha = 0.05$



Ryc. 4. Otrzymywanie mieszańców R₁ *Ae. triuncialis* L. × *T. aestivum* L. Zyta w kulturze *in vitro*:

A) eksplantaty niedojrzałych kłosów, B) i C) regeneracja pędów i korzeni w kalusie, D) kłosy roślin (od lewej): *Ae. triuncialis* L., mieszaniec R₁, *T. aestivum* L. Zyta

Fig. 4. Obtaining R₁ hybrids *Ae. triuncialis* L. × *T. aestivum* L. Zyta in *in vitro* culture: A) explants of immature spikes, B) i C) regeneration of shoots and roots in callus, D) spikes of plants (from the left): *Ae. triuncialis* L., R₁ hybrid, *T. aestivum* L. Zyta

Mieszaniec R₁ *Ae. triuncialis* L. z pszenicą Zyta miał pylniki nieco większe: $4,73 \times 0,86$ mm. Średnia wielkość pylników *Ae. triuncialis* L. wyniosła $5,10 \times 0,87$ mm. Pylniki pszenicy Zyta miały średnią wielkość $4,46 \times 0,94$ mm (tab. 4). W badaniach Komaki i Tsunewaki [1981] długość pylników 61 odmian pszenicy wahała się od 3,0 do 5,0 mm.

Gatunki traw z rodzaju *Aegilops* należą do form jednorocznych, silnie krzewiących się, wytwarzających bardzo dużo ziarniaków. Przykładowo *Ae. cylindrica* Host wytwarza ponad 100 źdźbeł i ponad 3 tys. ziarniaków. Ziarniaki *Aegilops* pozostają w glebie nawet do 3–5 lat, zachowując zdolność kiełkowania, co pozwala poszczególnym populacjom szybko kolonizować nowe tereny [Zaharieva i Monneveux 2005].

Pszenice krzewią się znacznie słabiej. Analiza pojedynków wykazała, że najwięcej pędów wytworzył dziki gatunek *Ae. triuncialis* – średnio 146,5 na roślinę. Krzewienie mieszańców było pośrednie. Najwięcej pędów wytworzyły mieszańce F₁ i R₁ *Ae. triuncialis* × Zyta, odpowiednio 41,0 i 36,3. Najmniej pędów (średnio 15,0 na roślinę) odnotowano u mieszańców F₁ *Ae. triuncialis* × Monopol. Była to wartość podobna jak u pszenic zwyczajnych. Pszenice wytwarzały średnio od 9,1 (Nawra) do 14,3 (Monopol) pędów na roślinę (tab. 5).

Tabela 5. Wartości średnie wybranych cech ilościowych u mieszańców F₁ i R₁ *Ae. triuncialis* L. × *T. aestivum* L. oraz ich form rodzicielskich
 Table 5. Mean values of some quantitative traits in F₁ and R₁ *Ae. triuncialis* L. × *T. aestivum* L. hybrids and their parental forms

Analizowane formy Forms analysed	Liczba roślin Number of plants	Krzewienie ogólne Total tillering ¹	Długość pędu głównego Length of main shoot (cm)	Średnica drugiego od dołu międzywęźla Diameter of 2nd bottom internode (mm)	Długość osadki kłosowej Length of spike rachis (dm)	Zbitość kłosa głównego Main spike density ²	Płodność kłosa głównego Main spike fertility ³
F ₁ <i>Ae. triuncialis</i> × Begra	4	22,50 ^f	48,30 ^{fm}	2,35 ^{fm}	0,68 ^m	15,60 ^{fm}	0,00 ^{fm}
F ₁ <i>Ae. triuncialis</i> × Monopol	5	15,00 ^f	46,00 ^{fm}	2,50 ^m	0,60 ^{fm}	16,70 ^{fm}	0,00 ^{fm}
F ₁ <i>Ae. triuncialis</i> × Nawra	3	34,00 ^f	43,00 ^{fm}	2,10 ^m	0,55 ^{fm}	14,60 ^{fm}	0,00 ^{fm}
F ₁ <i>Ae. triuncialis</i> × Zyta	3	41,00 ^f	48,00 ^{fm}	2,90 ^{fm}	0,63 ^m	17,50 ^{fm}	0,00 ^{fm}
R ₁ <i>Ae. triuncialis</i> × Zyta	5	36,30 ^{fm}	46,50 ^{fm}	2,43 ^{fm}	0,56 ^{fm}	14,60 ^{fm}	0,00 ^{fm}
<i>Ae. triuncialis</i>	20	146,50	70,40	1,46	0,77	7,50	1,69
Begra	20	12,10	86,50	4,08	0,93	21,10	2,66
Monopol	20	14,30	100,80	4,43	0,90	24,40	2,75
Nawra	20	9,10	79,78	4,62	0,94	20,00	2,16
Zyta	20	12,50	99,88	5,22	0,99	19,40	2,48

¹ liczba pędów z rośliny, ² liczba kłosek przypadająca na 1 dm osadki kłosa, ³ liczba ziaren przypadająca na 1 kłosek

^f wynik istotnie różny w stosunku do formy żeńskiej przy $\alpha = 0,05$; ^m wynik istotnie różny w stosunku do formy męskiej przy $\alpha = 0,05$

¹ number of shoots from plant, ² number of spikelets per 1 dm of the spike rachis, ³ number of kernels per 1 spikelet

^f result significantly different in relation to the female form at $\alpha = 0.05$; ^m result significantly different in relation to the male form at $\alpha = 0.05$

Długość pędu głównego mieszańców była mniejsza od długości pędów obu komponentów rodzicielskich i wynosiła średnio od 43,0 cm (F_1 *Ae. triuncialis* × Nawra) do 48,3 cm (F_1 *Ae. triuncialis* × Bęgra). Były to wartości istotnie mniejsze od długości pędów dzikiego gatunku (70,4 cm) i od pszenic (79,78–100,80 cm) – tab. 5. Podobnie w środowisku naturalnym gatunki *Aegilops* osiągają wysokość ok. 70 cm [Kimber i Feldman 1987].

Średnica zewnętrzna drugiego od dołu międzywęźla mieszańców mieściła się w granicach od 2,1 do 2,9 mm. Była ona istotnie większa od średnicy dzikiego gatunku (1,46 mm). Wśród mieszańców najgrubsze źdźbła miał F_1 *Ae. triuncialis* × Zyta. U pszenic wartość tej cechy była istotnie większa od mieszańców i wahała się od 4,08 do 5,22 mm (tab. 5).

Większość mieszańców F_1 wytworzyła osadki kłosowe istotnie krótsze od osadek form rodzicielskich. Najdłuższe osadki kłosowe o długości od 0,90 do 0,99 dm odnotowano u pszenic. Nieco krótsze osadki kłosowe miał *Ae. triuncialis*. Osadki kłosowe mieszańców osiągały średnią długość 0,55–0,68 dm (tab. 5, ryc. 1C, 1D, 4D).

Kształt dojrzałych kłosów mieszańców był pośredni w stosunku do form rodzicielskich. Jednak przeważały cechy formy dzikiej (ryc. 1C, 1D, 4D). Największą liczbę kłosek przypadających na 1 dm osadki kłosowej (zbitość kłosa) miały pszenice (od 19,4 do 24,4). Mieszańce charakteryzowały się pośrednią w porównaniu z komponentami rodzicielskimi zbitością kłosów (od 14,6 do 17,5 kłosek na 1 dm osadki kłosa). Zbitość kłosów *Ae. triuncialis* wyniosła 7,5 (tab. 5). We wcześniejszych badaniach [Prażak 1997] kłosy innych mieszańców *Aegilops* sp. z *Triticum* sp. również charakteryzowały się pośrednią zbitością w stosunku do form rodzicielskich.

Mieszańce nie zawiązały ziarniaków. Natomiast płodność kłosów głównych pszenic wahała się od 2,16 (Nawra) do 2,75 (Monopol). Płodność dzikiego gatunku *Ae. triuncialis* wyniosła 1,69. Słaba płodność mieszańców F_1 pszenicy z gatunkami *Aegilops* wynika z niskiego poziomu koniugacji chromosomów w mejozie lub jej braku [Bai i in. 1994].

Dla zwiększenia płodności form mieszańcowych można zastosować wcześniejsze krzyżowanie *Ae. triuncialis* L. z pszenicami tetraploidalnymi, np. *T. turgidum* L. lub *T. durum* Desf. jako formami pomostowymi [Delibes i in. 1988, Stefanowska i in. 1995]. Inną metodą może być krzyżowanie pszenicy zwyczajnej *T. aestivum* L. mono-5B Chinese Spring z *Ae. triuncialis* L., a następnie powstałego mieszańca z *T. aestivum* Chinese Spring [Pilch i in. 1995]. Jeżeli chromosom obcy nie jest homeologiczny do chromosomów pszenicy i nie może z nimi koniugować w mieszańcach pomostowych F_1 , można zastosować metody radiacji w celu spowodowania jego fizycznej aktywacji, a następnie w pokoleniu F_2 zidentyfikować translokację z obcym chromosomem [Pilch 2005].

WNIOSKI

1. Przy krzyżowaniach odwrotnych *Ae. triuncialis* L. z odmianami pszenicy zwyczajnej Bęgra, Monopol, Nawra i Zyta ziarniaki mieszańcowe uzyskano jedynie przy zapyleniu *Ae. triuncialis* L. pyłkiem *T. aestivum* L. Średnia zdolność do krzyżowania wyniosła 10,0%, a regeneracja roślin z 18-dniowych zarodków F_1 hodowanych *in vitro* – 78,95%.

2. Wyłożenie fragmentów niedojrzałych kłosów na pożywkę MS z dodatkiem $2,0 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ 2,4-D przyczyniło się do uzyskania tkanki kalusowej mieszańców F_1 *Ae. triuncialis* z *Triticum aestivum* L. Najbardziej embriogeny okazał się kalus mieszańców F_1 *Ae. triuncialis* × *T. aestivum* L. Zyta, w którym zregenerowały pędy i korzenie roślin R_1 .

3. W porównaniu do form rodzicielskich mieszańce *Ae. triuncialis* z *T. aestivum* L. miały pośrednią liczbę pędów (15,0–41,0), średnicę drugiego od dołu międzywęźla (2,1–2,9 mm) i zbitość kłosa (14,6–17,5 kłosków na 1 dm osadki kłosa) oraz krótsze źdźbła (43,0–48,3 cm) i osadki kłosowe (0,55–0,68 dm). Brak płodności mieszańców F_1 i R_1 oraz brak skuteczności krzyżowań wstecznych BC_1 z pszenicą był spowodowany zaburzeniami w procesie mejozy, które wynikały ze słabej homologii pomiędzy genomami *ABD* pszenicy zwyczajnej i genomami *UC Ae. triuncialis* L.

PIŚMIENNICTWO

- Aghaee-Sarbarzeh M., Ferrahi M., Singh S. i in., 2002. PhI-induced transfer of leaf and stripe rust-resistance genes from *Aegilops triuncialis* and *Ae. geniculata* to bread wheat. *Euphytica* 127, 377–382. <https://doi.org/10.1023/A:1020334821122>
- Aghaee-Sarbarzeh M., Singh H., Dhaliwal H.S., 2008. A microsatellite marker linked to leaf rust resistance transferred from *Aegilops triuncialis* into hexaploid wheat. *Plant Breed.* 120(3), 259–261. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0523.2001.00598.x>
- Aigner P.A., Woerly R.J., 2011. Herbicides and mowing to control barb goatgrass (*Aegilops triuncialis*) and restore native plants in serpentine grasslands. *Invas. Plant Sci. Manag.* 4(4), 448–457. <https://doi.org/10.1614/IPSM-D-11-00027.1>
- Arzani A., Ashraf M., 2016. Smart engineering of genetic resources for enhanced salinity tolerance in crop plants. *Crit. Rev. Plant Sci.* 35, 146–189. <https://doi.org/10.1080/07352689.2016.1245056>
- Bai D., Scoles G.J., Knott D.R., 1994. Transfer of leaf rust and stem rust resistance genes from *Triticum triaristatum* to durum and bread wheats and their molecular cytogenetic localization. *Genome* 37(3), 410–418. <https://doi.org/10.1139/g94-058>
- Bocianowski J., Prażak R., 2022. Genotype by year interaction for selected quantitative traits in hybrid lines of *Triticum aestivum* L. with *Aegilops kotschy* Boiss. and *Ae. variabilis* Eig. using the additive main effects and multiplicative interaction model. *Euphytica* 218(11). <https://doi.org/10.1007/s10681-022-02967-4>
- Chrzastek M., 2000. Wpływ dodanych i podstawionych chromosomów żyta (*Secale cereale* L.) cv. Dańkowskie Złote na mejozę oraz niektóre cechy morfologiczne i fizjologiczne pszenicy (*Triticum aestivum* L.) cv. Grana. Rozprawa habilitacyjna. Rozprawy Naukowe Akademii Rolniczej w Lublinie 242. Wyd. AR w Lublinie, Lublin.
- Chueca M., Cauderon Y., Tempe J., 1977. Techniques d'obtention d'hybrides Blé tender $\times$ *Aegilops* par culture *in vitro* d'embryons immatures. *Ann. Amélior. Plantes* 27(5), 539–547.
- Darko E., Khalil R., Dobi Z. i in., 2020. Addition of *Aegilops biuncialis* chromosomes 2M or 3M improves the salt tolerance of wheat in different way. *Sci. Rep.* 10(22327). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79372-1>
- Davies P.A., Pallota M.A., Ryan S.A. i in., 1986. Somaclonal variation in wheat: genetic and cytogenetic characterization of alcohol dehydrogenase 1 mutants. *Theor. Appl. Genet.* 72, 644–653.
- Delibes A., López-Braña I., Mena M. i in., 1988. Introgression of *Aegilops triuncialis* into *Triticum aestivum*. A progress report. *An. Aula Dei* 19(1–2), 189–194.
- Fakhri Z., Mirzaghaderi G., Ahmadian S. i in., 2016. Unreduced gamete formation in wheat $\times$ *Aegilops* interspecific hybrids is genotype specific and prevented by shared homologous subgenomes. *Plant Cell Rep.* 35, 1143–1154. <https://doi.org/10.1007/s00299-016-1951-9>
- Feldman M., 1988. Cytogenetic and molecular approaches to alien gene transfer in wheat. *Proc. of the Seventh Int. Wheat Genet. Symp.* 1, 23–32.

- Feldman M., Levy A.A., 2023. *Aegilops* L. W: M. Feldman, A.A. Levy, Wheat evolution and domestication. Springer Nature Link Berlin, Heidelberg, 213–364.
- Hadzhiivanova B., Taneva K., Bozhanova V. i in., 2025. Evaluation of yield and quality of advanced durum wheat lines obtained by the distant hybridization method. Bulg. J. Agric. Sci. 62(1), 3–16. <https://doi.org/10.61308/CJNU6516>
- Hejnowicz Z., 2002. Anatomia i histogeneza roślin naczyniowych. Organy wegetatywne. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Ijazl M., Afzal A., Shabbir G. i in., 2023. Breeding wheat for leaf rust resistance: past, present and future. Asian J. Agric. Biol. 1, 1–16. <https://doi.org/10.35495/ajab.2021.426>
- Karagoz A., 2006. Hybridization in Turkish *Aegilops* L. Species. Pak. J. Biol. Sci. 9(12), 2243–2248. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2006.2243.2248>
- Kiani R., Arzani A., Mirmohammady Maibody S., 2021. Polyphenols, flavonoids, and antioxidant activity involved in salt tolerance in wheat, *Aegilops cylindrica* and their amphidiploids. Front Plant Sci. 12, 493. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.646221>
- Kimber G., Feldman M., 1987. Wild wheat: an introduction. Special Report 35. College of Agriculture, University of Missouri, Columbia, 1–146. <https://hdl.handle.net/10355/57430>
- Komaki M.K., Tsunewaki K., 1981. Genetic studies on the difference of anther length among common wheat cultivar. Euphytica 30, 45–53. <https://doi.org/10.1007/BF00033658>
- Laugerotte J., Baumann U., Sourdille P., 2022. Genetic control of compatibility in crosses between wheat and its wild or cultivated relatives. Plant Biotechnol. J. 20(5), 812–832. <https://doi.org/10.1111/pbi.13784>
- Martin-Sánchez J.A., Gómez-Colmenarejo M., Del Moral J. i in., 2003. A new Hessian fly resistance gene (*H30*) transferred from the wild grass *Aegilops triuncialis* to hexaploid wheat. Theor. Appl. Genet. 106(7), 1248–1255. <https://doi.org/10.1007/s00122-002-1182-z>
- Mirzaghaderi G., Abdolmalaki Z., Ebrahimzadegan R. i in., 2020. Production of synthetic wheat lines to exploit the genetic diversity of emmer wheat and D genome containing *Aegilops* species in wheat breeding. Sci. Rep. 10, 19698. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-76475-7>
- Mirzaghaderi G., Houben A., Badaeva E.D., 2014. Molecular-cytogenetic analysis of *Aegilops triuncialis* and identification of its chromosomes in the background of wheat. Mol. Cytogenet. 7(1), 91. <https://doi.org/doi:10.1186/s13039-014-0091-6>
- Murashige T., Skoog F., 1962. A revised medium for rapid growth and bioassay with tobacco tissue cultures. Physiol. Plant. 15, 473–497.
- Pilch J., 2005. Możliwości wykorzystania krzyżowania introgresywnego w hodowli pszenicy ozimej *Triticum aestivum* L. Część I. Zastosowanie systemów genetycznych pszenicy *T. aestivum* L. do otrzymania mieszańców pomostowych F₁. Biul. IHAR 235, 31–41. <https://doi.org/10.37317/biul-2005-0059>
- Pilch J., Głowacz E., Kubara-Szpunar Ł. i in., 1995. Mieszance oddalone *Triticum aestivum* L. jako źródła odporności na choroby kłosa. Biul. IHAR 194, 159–167.
- Prażak R., 1996. Somatic embryogenesis and plant regeneration of common wheat *Triticum aestivum* L. J. Appl. Genet. 37A, 246–248.
- Prażak R., 1997. Charakterystyka morfologiczna mieszańców F₁ *Triticum aestivum* L. i *Triticum durum* Desf. z wybranymi gatunkami *Aegilops* sp. Biul. IHAR 204, 33–42.
- Prażak R., 2001. Cross direction for successful production of F₁ hybrids between *Triticum* and *Aegilops* species. Plant Breed. Seed Sci. 45(1), 83–86.
- Prażak R., Krzepińko A., 2018. Evaluation of iron and zinc content in grain of *Aegilops* L. × *Triticum aestivum* L. hybrid lines. J. Elem. 23(2), 545–557. <https://doi.org/10.5601/jelem.2017.22.3.1486>
- Prażak R., Molas J., 2017. Ocena jakości ziarna linii mieszańcowych *Aegilops* L. × *Triticum aestivum* L. Pol. J. Agron. 29, 35–42.
- Sears E.R., 1981. Transfer of alien genetic material to wheat. W: L.T. Evans, W.J. Peacock (red.). Wheat science – today and tomorrow. Cambridge University Press, Cambridge, 75–89.

- Stefanowska G., Prażak R., Strzembicka A. i in., 1995. Transfer genów z *Aegilops ventricosa* Tausch. i *Aegilops juvenalis* (Thell) Eig. do *Triticum aestivum* L. Biul. IHAR 194, 45–52.
- Wang X., Yoo E., Lee S. i in., 2022. Classification of 17 species *Aegilops* using DNA barcoding and SNPs, reveals gene flow among *Aegilops biuncialis*, *Aegilops juvenalis*, and *Aegilops columnaris*. Front. Plant Sci. 13, 984825. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.984825>
- Yildiz M., Terzi H., Arikan E.S., 2006. Seed germination of populations of wild wheat species, *Aegilops biuncialis* and *Ae. triuncialis*: effects of salinity, temperature and photoperiod. Pak. J. Biol. Sci. 9(7), 1299–1305.
- Zaharieva M., Monneveux P., 2005. Spontaneous hybridization between bread wheat (*Triticum aestivum* L.) and its wild relatives in Europe. Crop Sci. 46(2), 512–527.
- Zhao L., Ning S., Yi, Y. i in., 2018. Fluorescence *in situ* hybridization karyotyping reveals the presence of two distinct genomes in the taxon *Aegilops tauschii*. BMC Genomics 19(3), 1–9. <https://doi.org/10.1186/s12864-017-4384-0>

Źródło finansowania: Instytut Genetyki, Hodowli i Biotechnologii Roślin, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, SUBB.WRH.19.024.

Abstract. Field crosses were performed between *Aegilops triuncialis* L. ($2n = 4x = 28$, *UUCC* genomes) and the common wheat cultivars *Triticum aestivum* L. ($2n = 6x = 42$, *AABBDD* genomes) Begra, Monopol, Nawra, and Zyta. The aim of the crosses was to expand the genetic variability of common wheat. The interbreeding ability of tested genotypes under field conditions ranged from 7.14% (*Ae. triuncialis* × Zyta) to 13.33% (*Ae. triuncialis* × Monopol). Hybrid kernels were formed only when the maternal form was *Ae. triuncialis*. From obtained 22 F_1 hybrid kernels, 19 embryos were isolated *in vitro* and plated on MS medium supplemented with 10 mg dm^{-3} IAA (β -indolyl-3-acetic acid) and 0.04 mg dm^{-3} kinetin. F_1 embryos developed into 15 seedlings *in vitro*. After 4 weeks, the hybrid seedlings were transplanted into pots and placed in a growth chamber. Then, in mid-September, they were planted out in the experimental field next to the parental components. Chromosome number of the hybrids were assessed on smear preparations of meristematic cells from the seedling root tips. During the growing season, immature spikes were collected from the leaf sheaths of the hybrid plants for meiosis analysis. Cytological analysis revealed abnormalities in the microsporogenesis process of the hybrids, which resulted in the development of non-viable pollen. Some spikes of the F_1 hybrids were castrated and back-pollinated with wheat pollen. The F_1 hybrids were also propagated *in vitro* by placing 100 fragments of immature inflorescences in each cross combination on MS medium supplemented with 2 mg dm^{-3} 2,4-D (2,4-dichlorophenoxyacetic acid). Five R_1 plants in the *Ae. triuncialis* L. × *T. aestivum* L. Zyta combination were regenerated from callus produced by the explants. At the full maturity stage, biometric traits such as general tillering, main shoot length, diameter of the second internode from the bottom, length of the main spike rachis, main spike density and main spike fertility were measured on F_1 and R_1 hybrid plants. The hybrids were characterized by intermediate tillering (15.0–41.0 stems) compared to their parental forms, a diameter of the second internode from the bottom (2.1–2.9 mm), a dense main spike (14.6–17.5), shorter stems (43.0–48.3 cm) and spike rachis (0.55–0.68 dm), and sterile spikes.

Keywords: *Aegilops triuncialis* L., field traits, common wheat, *in vitro* cultures, intergeneric hybrids

Otrzymano/Received: 28.07.2025
Zaakceptowano/Accepted: 9.10.2025
Opublikowano/Published: 31.12.2025