

ANNA ĆWIKLIŃSKA
ZBIGNIEW BRODA
DANUTA KURASIAK-POPOWSKA
Katedra Genetyki i Hodowli Roślin
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Biologia kwitnienia różnych gatunków z rodzaju *Secale* L. Komunikat

Differentiation of flowering biology among species of rye in the genus *Secale* Short communication

Przedmiotem badań była charakterystyka kwitnienia jedenastu dzikich gatunków i podgatunków żyta pochodzących z Europy i Azji Środkowej, oraz gatunku uprawnego *Secale cereale* ssp. *cereale*, odmiany Walet. Celem badań była więc charakterystyka biologii kwitnienia gatunków z rodzaju *Secale* L. Poznanie biologii kwitnienia jest przydatne do krzyżowań oddalonych, ponieważ synchronizacja terminów kwitnienia odgrywa podstawową rolę w prawidłowym przeprowadzaniu krzyżowań i wytworzeniu mieszańców. Porównane zostały takie cechy jak: budowa kłosów (budowa morfologiczna kłosów, długość kłosa, liczba kłosków w kłosie, zbitość kłosa), żywotność ziaren pyłku, termin i długość kwitnienia, stopień samoniezgodności kłosów z poszczególnych gatunków. W wyniku prowadzonych badań i obserwacji ustalono, że wszystkie gatunki i podgatunki mają podobną budowę morfologiczną kłosów, różnią się istotnie statystycznie niektórymi cechami ilościowymi: długością kłosa, liczbą kłosków w kłosie i zbitością kłosów. W roku prowadzenia obserwacji kwitnienie w rodzaju *Secale* było rozłożone w czasie. Gatunek najwcześniejszy rozpoczynał kwitnienie 18.05, a gatunek najpóźniejszy rozpoczynał kwitnienie 16.06. Gatunki *Secale silvestre* i *Secale strictum* ssp. *africanum* zawiązywały ziarniaki przy samozapyleniu. Pozostałe gatunki i podgatunki jako obcopolne i samoniezgodne nie zawiązywały ziarniaków przy samozapyleniu.

Słowa kluczowe: biologia kwitnienia, dzikie gatunki, rodzaj *Secale* sp.

The purpose of the study was to characterize the flowering of different species in the genus *Secale*. Good knowledge of blooming biology is needed for making distant crosses because synchronization of flowering is important for proper performance of the treatment. Investigations were carried out on eleven wild rye species coming from Europe and Middle Asia, and on a cultivated species *Secale cereale* ssp. *cereale*, cultivar Walet. The following elements of flowering were compared: structure of inflorescences (morphological structure of spikelets, ear length, spikelet number per ear, ear density), viability of pollen, flowering dates and level of self-incompatibility in species. All the species and subspecies under study were found to have the same morphological structure and to differ significantly in ear length, number of spikelets per ear and ear density. In the year of investigations the duration of flowering in *Secale* species was largely extended and it lasted from 18 May till 16 June. The species

Secale silvestre and *Secale strictum* ssp. *africanum* set seeds in the self-pollination process. The other species and subspecies, being self-incompatible ones, did not bind grains in this process.

Key words: flowering biology, *Secale* genus, wild species

WSTĘP

Dziki gatunki z rodzaju *Secale* L. są wykorzystywane w celu uzyskania mieszańców oddalonych z żytem uprawnym. Tego typu krzyżowania mogą pozwolić na poszerzenie zmienności rekombinacyjnej, a obserwacje pod względem wzrostu i rozwoju rekombinantów do hodowli heterozyjnej, transgresyjnej i populacyjnej. Interakcja genomów pochodzących z różnych gatunków czy podgatunków daje możliwość ekspresji genów o działaniu addytywnym i epistatycznym determinujących cechy jakościowe i ilościowe.

Pewnym utrudnieniem w prowadzeniu efektywnych krzyżowań między gatunkami dzikimi i odmianami uprawnymi żyta, jest mała znajomość biologii kwitnienia dzikich gatunków i brak całościowego ich opisu w literaturze.

Znajomość biologii kwitnienia roślin uprawnych oraz komponentów wykorzystywanych do krzyżowań ma bardzo duże znaczenie dla tworzenia zmienności rekombinacyjnej przydatnej dla hodowli twórczej. Ważne są takie elementy biologii kwitnienia jak: termin kwitnienia i jego długość, żywotność ziaren pyłku, stopień samoniezgodności i budowa kwiatów żyta. Ich znajomość umożliwia przeprowadzanie efektywnych krzyżowań.

Celem badań było porównanie biologii kwitnienia jedenastu dzikich gatunków i podgatunków z rodzaju *Secale* L. z gatunkiem uprawnym *Secale cereale* ssp. *cereale*, odmiana Walet.

MATERIAŁ I METODY

Warunki glebowe i pogodowe w trakcie prowadzenia doświadczenia

Doświadczenie zostało założone na polu doświadczalnym należącym do Katedry Genetyki i Hodowli Roślin w Poznaniu, na glebie lekkiej klasy IVa odpowiedniej do uprawy żyta. Warunki pogodowe w czasie kwitnienia roślin, zapyłania i nalewania ziarniaków były następujące: średnia temperatura maja wynosiła 15,1°C, czerwca 19,2°C, lipca 18,5°C. Średnia suma opadów w miesiącu maju 82,2 mm, czerwcu 44,3 mm oraz lipcu 39,6 mm. Średnia minimalna dobowa temperatura w okresie kwitnienia roślin od 18. maja do 28. czerwca wynosiła 15,6°C a średnia maksymalna temperatura doby w tym samym okresie wynosiła 24,8°C.

Materiał roślinny

Gatunkami i podgatunkami z rodzaju *Secale* L. wykorzystanymi do badań były gatunki: *Secale cereale* ssp. *cereale*, odmiana Walet, *Secale cereale afghanicum*, *Secale cereale ancestrale*, *Secale cereale dighoricum* 1778, *Secale cereale segetale*, *Secale strictum*, *Secale strictum africanum*, *Secale strictum anatolicum*, *Secale strictum ciliatoglume*, *Secale strictum kuprianovii*, *Secale vavilovii*, *Secale silvestre*.

Do badań kontrolnych w prowadzonych badaniach wykorzystano gatunek *Secale cereale* ssp. *cereale* odmiana uprawna Walet. Każdy gatunek i podgatunek reprezentowało 60 roślin. Do badań łącznie wykorzystano 720 roślin. Dzikie gatunki żyta będące obiektem badań pochodziły z terenów Europy Środkowej i Wschodniej i Azji. Materiały roślinne pochodziły z kolekcji prowadzonej w Ogrodzie Botanicznym Centrum Zachowania Różnorodności Biologicznej PAN w Warszawie Odmiana uprawna Walet wykorzystana jako wzorzec, jest polską odmianą wytworzoną przez Hodowlę Roślin Danko w 1999 roku.

Metodyka badań

Porównanie budowy kłosów i kwiatów poszczególnych gatunków przeprowadzono pod mikroskopem binokularnym. Porównano budowę morfologiczną pojedynczych kwiatów, zmierzono długość kłosów, policzono liczbę kłosków w kłosie oraz obliczono zbitość kłosów. Zbitość kłosów określona została ze wzoru (Dubas, 1997):

$$D = (n - 1) \times \frac{100}{l}$$

gdzie:

D — zbitość kłosa,

n — liczba kłosków w kłosie,

l — długość osadki kłosowej w (mm),

Do ustalenia różnic między gatunkami zastosowano skalę opisaną przez Dubasa (1997) w której:

- zbitość <34 charakteryzuje kłosy luźne,
- zbitość 34–37 charakteryzuje kłosy średnio zbite,
- zbitość 37–40 charakteryzuje kłosy zbite.

Budowę morfologiczną kłosków i kwiatków obserwowano na początku kwitnienia roślin. Długość kłosów, liczbę kłosków w kłosie, oraz zbitość kłosów określano po zbiorze dojrzałych kłosów. Pomiar dokonywano na 50 kłosach z każdego gatunku (po 5 kłosów na 10 roślinach).

Żywotność ziaren pyłku określano, barwiąc je na szkiełku mikroskopowym płynem Bellinga (acetokarmin + gliceryna 1:1), a następnie licząc przy użyciu mikroskopu świetlnego ziarna żywotne i nieżywotne w 10 polach widzenia. Do badań użyto ziaren pyłku pobranych losowo z 5 roślin.

Termin i długość kwitnienia roślin obserwowano w sezonie wegetacyjnym 2007 roku. Do określenia faz rozwojowych roślin zastosowano skalę Zadoksa (1974). Skala Zadoksa jest skalą 100-stopniową, w której kwitnienie opisywane jest między 60 stopniem (ukazanie się pierwszych pylników w środkowej części najwcześniej zakwitających kłosów) i 70 stopniem (rozpoznanie pierwszych zaschniętych pylników u roślin najpóźniej zakwitających).

W celu określenia stopnia samozgodności poszczególnych gatunków żyta przeprowadzono w tym samym czasie zapylenia wszystkich gatunków. Zapylenia przeprowadzone zostały w trzech wariantach: samozapylenie (izolowano 75 kłosów — po 5 kłosów na 15 roślinach), zapylenie geitonogamiczne (zapylenie między 5–7 kłosami pochodzącymi z jednej rośliny, z jednego genotypu, umieszczonymi pod wspólnym izolatorem) i zapylenie między genotypami w obrębie jednego gatunku (15 kłosów — po 5 kłosów z trzech

genotypów pod jednym izolatorem). Izolację przeprowadzano zakładając na pojedyncze kłosa oraz na całe rośliny izolatory pergaminowe dostosowane rozmiarami do wielkości i liczby izolowanych kłosów.

Każdą z trzech kombinacji zapylenia przeprowadzano na 15 roślinach z gatunków i podgatunków dzikich i gatunku uprawnego, odmiany uprawnej.

Dodatkowo obliczono współczynnik zmienności dla takich cech jak: długość kłosa, liczba kłosków w kłosie, zbitość kłosów oraz dla średniej efektywności wiązania ziarniaków przy trzech wariantach zapylenia. W celu obliczenia współczynnika zmienności skorzystano ze wzoru:

$$V(\%) = \frac{S}{\bar{x}} \times 100\%$$

gdzie:

$V(\%)$ — współczynnik zmienności,

S — odchylenie standardowe,

\bar{x} — wartość średnia.

W trakcie analizowania wyników opierano się na klasyfikacji zmienności według Baryszewa, opisanej przez Muchę (1994),

gdzie:

- zmienność 0–20% określona jest jako mała,
- zmienność 20–40% określona jest jako przeciętna,
- zmienność 40–100% określona jest jako duża,
- zmienność 100–150% określona jest jako bardzo duża,
- zmienność >150 określona jest jako skrajnie duża.

WYNIKI

Budowa morfologiczna kłosów i kwiatów żyta

Kwiaty wszystkich analizowanych gatunków zbóż miały jednakową budowę. Kwiaty żyta zebrane były w kwiatostany — kłosa złożone, osadzone na osadce kłosowej (rys. 1).

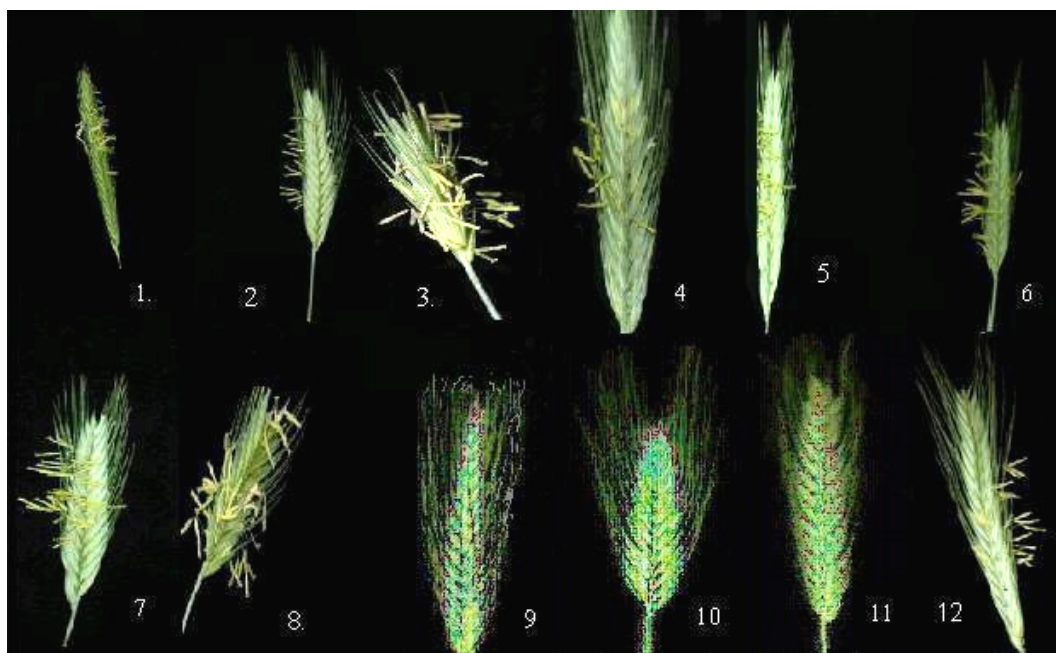
Kłoski osadzone były naprzemiennie w dwóch rzędach. Obserwacje morfologiczne kłosków wykazały, że u nasady każdego kłoska wyrastały dwie plewki: plewka górna oraz plewka dolna zakończona ością. Kwiaty gatunków i podgatunków były obupłciowe. Każdy kwiat składał się z trzech pręcików i jednego słupka. Na podstawie obserwacji morfologicznych stwierdzono, że kłosa i kwiaty badanych gatunków i podgatunków żyta mają budowę typową dla roślin rodziny *Gramineae*.

Parametry ilościowe kłosa

Średnia długość kłosów dla poszczególnych gatunków wahała się od 6,7 cm dla gatunku *Secale silvestre* do 13 cm dla gatunku *Secale strictum* (tab. 1). Różnica średniej długości kłosa między gatunkami o kłosach najkrótszych a gatunkami o kłosach najdłuższych wynosiła 6,3 cm. Najniższa zmienność tej cechy charakteryzowała gatunek *Secale cereale* ssp. *cereale* odmianę Walet (19,4%). Dla pozostałych gatunków współczynnik zmienności mieścił się w zakresie od 25,6% dla gatunku *S. c.* ssp. *segetale* do 46,7% dla *S. c.* ssp.

dighoricum 17785 i *S. s. ssp. africanum* (tab. 1). Według skali Baryszewa i Muchy zmienność ta klasyfikowała się jako przeciętna i duża.

Średnia liczba kłosek w kłosie wahała się od 11,8 dla *S. c. ssp. ciliatoglume* do 20,8 kłosek w kłosie dla gatunku *Secale vavilovii* (tab. 1). Różnica między najniższą a najwyższą średnią ilością kłosek w kłosie między gatunkami wynosiła 9 i była statystycznie istotna.



Rys. 1. Kwiatostany dzikich gatunków żyta oraz gatunku uprawnego: 1 *Secale strictum* ssp. *kuprianovii*, 2. *Secale strictum*, 3. *S. ssp. anatolicum*, 4. *S. vavilovii*, 5. *S.c. ssp. dighoricum* 17785, 6. *S. c. ssp. segetale*, 7. *S. C. ssp. afghanicum*, 8. *S.s. ssp. africanum*, 9. *S. c. ssp. ancestrale*, 10. *S s. ssp. ciliatoglume*, 11. *S. silvestre*, 12. *S. c. ssp. cereale* odmiana Walet

Fig. 1. Inflorescences of wild and cultivated species of rye: 1 *Secale strictum* ssp. *kuprianovii*, 2. *Secale strictum*, 3. *S. ssp. anatolicum*, 4. *S. vavilovii*, 5. *S.c.ssp. dighoricum* 17785, 6. *S. c. ssp. segetale*, 7. *S. c. ssp. afghanicum*, 8. *S.s. ssp. africanum*, 9. *S. c. ssp. ancestrale*, 10. *S s. ssp. ciliatoglume*, 11. *S. silvestre*, 12. *S. c. ssp. cereale* ca. Walet

Średnia zbitość kłosek wahała się od 27,6 dla gatunku *Secale cereale* ssp. *segetale* do 34,3 dla gatunku *Secale cereale* ssp. *dighoricum* 1785 (tab. 1). Różnica między najniższą a najwyższą średnią zbitością kłosek wynosiła 6,7 i była istotna statystycznie (tab. 1). Gatunek *S. c. ssp. dighoricum* 17785 charakteryzował się kłosami średnio zbitymi a pozostałe gatunki charakteryzowały się kłosami luźnymi. Najniższy współczynnik zmienności oznaczono dla gatunku wzorcowego — 16,8%. Współczynnik zmienności tej cechy dla podgatunków w rodzaju *Secale* wahał się od 31,4% (*S. c. ssp. afghanicum*) do 42,1% (*S. c. ssp. dighoricum* 17785) (tab. 2), a więc zmienność określić można było jako przeciętną i dużą. Współczynnik zmienności zbitości kłosek w obrębie gatunku *Secale*

strictum wraz z podgatunkami wahał się od 33,6% do 42,1%, był więc duży i przeciętny. Gatunki *Secale vavilovii* i *Secale silvestre* charakteryzowały się zmiennością przeciętną.

Współczynnik zmienności tej cechy dla gatunku wzorcowego wyniósł 14,3, dla podgatunków *Secale cereale* i mieścił się w zakresie od 29,1% (*S. c. ssp. segetale*) do 38,2% (*S. c. ssp. ancestrale*). Zmienność dla gatunku *Secale strictum* z podgatunkami wahała się od 33,3% do 40,2% była więc przeciętna i duża. Najwyższy współczynniki zmienności charakteryzował gatunek *Secale vavilovii* — 42,7%.

Tabela 1

Ilościowe parametry kłosa
Quantitative parameters of ear

Gatunek — podgatunek Species — subspecies	Długość kłosa Ear length \bar{x} (cm)	Współczynnik zmienności Variation coefficient (V%)	Liczba kłosków w kłosie Number of spikelets per ear \bar{x}	Współczynnik zmienności Variation coefficient (V%)	Zbitość kłosów Ear density (D) \bar{x}	Współczynnik zmienności Variation coefficient (V%)
<i>S. cereale ssp. cereale</i> (cv. Walet)	9,9	19,4	14,3	16,8	34,8	14,3
<i>S. c. ssp. afghanicum</i>	11,2	38,1	14,4	31,4	28	36,7
<i>S. c. ssp. ancestrale</i>	9,7	32,4	13,4	34,7	28,3	38,2
<i>S. c. ssp. dighoricum 17785</i>	10,1	46,7	17,3	42,1	34,3	37,2
<i>S. c. ssp. segetale</i>	8,5	25,6	14,8	31,7	27,6	29,1
<i>S. strictum</i>	13	41,8	17,3	40,2	32,5	38,4
<i>S. s. ssp. africanum</i>	11,6	46,7	16	36,8	29,5	33,3
<i>S. s. anatolicum</i>	10,9	43,4	14,6	42,1	34	40,2
<i>S. s. ssp. ciliatoglume</i>	8,7	33,2	11,8	33,6	32,5	36,9
<i>S. s. ssp. kuprianovii</i>	10,1	35,6	12,9	37,1	31,5	38,1
<i>S. vavilovii</i>	10,5	32,8	20,8	36,7	30,2	42,7
<i>S. silvestre</i>	6,7	36,7	18	39,1	29	34,5
	NIR/LSD _{0,01} =1,2 NIR/LSD _{0,05} =0,9			NIR/LSD _{0,01} =1,8 NIR/LSD _{0,05} =1,4		NIR/LSD _{0,01} =2,3 NIR/LSD _{0,05} = 1,7

Kwitnienie roślin i żywotność ziaren pyłku

Gatunek *Secale silvestre* jako gatunek samopylny charakteryzował się kwitnieniem typu klejstogamicznego, do zapylenia dochodziło przy kwiatach zamkniętych, gdy kłos był jeszcze otoczony pochwą liściową. U 10 pozostałych dzikich gatunków i u gatunku uprawnego *S. cereale ssp. cereale* odmiany Walet do zapylenia dochodziło przy kwiatach otwartych i pylnikach zwieszających się na nitkach pylnikowych kłoska — kwitnienie typu chasmogamicznego.

Kolejność, termin i długość zakwitania kłosów u gatunków i podgatunków przedstawiono w tabeli 2. Najwcześniej kwitły kłosy u gatunku *Secale cereale ssp. ancestrale* (18.05), a najpóźniej gatunek *Secale strictum ssp. kuprianovii* (16.06). Gatunek *Secale cereale ssp. ancestrale* zakwitał 30 dni wcześniej niż gatunek *Secale strictum ssp. kuprianovii*. Najdłużej kwitł gatunek *Secale cereale ssp. afghanicum* — kwitnienie trwało 21 dni. Znaczący to, że od ukazania się pierwszych pylników w kłosach najwcześniej zakwitających roślin z gatunku do zaobserwowania pierwszych zasychających pylników u najpóźniej zakwitających roślin z gatunku minęło 21 dni. Najkrócej kwitły gatunki *Secale*

strictum ssp. *anatolicum* i *Secale strictum* ssp. *kuprianovii* — każdy z nich kwitł 10 dni. Gatunek uprawny *Secale cereale* ssp. *cereale* odmiana Walet zakwitał wcześniej, bo już 20.05, a jego kwitnienie trwało 18 dni. Wcześniej niż *Secale cereale* ssp. *cereale* zakwitały tylko dwa gatunki *Secale cereale* ssp. *ancestrale*, który zakwitał dwa dni wcześniej i *S. silvestre*, które zakwitało tylko jeden dzień wcześniej niż odmiana wzorcowa.

Tabela 2

Długość okresu kwitnienia badanych gatunków i podgatunków z rodzaju *Secale*
Duration of flowering in the analyzed species and subspecies of the genus *Secale*

Gatunek — podgatunek Species — subspecies	Termin kwitnienia Date of flowering		Długość kwitnienia w dniach* Length of flowering in days*	Kwitnienie wcześniejsze(+) i późniejsze (-) niż odmiana Walet (0) Flowering earlier (+) and later (-) than in cv. Walet
	początek kwitnienia beginning of flowering	koniec kwitnienia end of flowering		
<i>S. cereale</i> ssp. <i>ancestrale</i>	18.05	31.05	14	+
<i>S. silvestre</i>	19.05	3.06	16	+
<i>S. cereale</i> ssp. <i>cereale</i> (cultivar — odmiana Walet)	20.05	6.06	17	0
<i>S. c.</i> ssp. <i>segetale</i>	20.05	8.06	20	0**
<i>S. c.</i> ssp. <i>afghanicum</i>	22.05	10.06	21	-
<i>S. c.</i> ssp. <i>dighoricum</i> 17785	27.05	12.06	17	-
<i>S. strictum.</i> ssp. <i>ciliatoglume</i>	3.06	17.06	15	-
<i>S. vavilovii</i>	3.06	22.06	20	-
<i>S.s.</i> ssp. <i>africanum</i>	10.06	24.06	16	-
<i>S. s.</i> ssp. <i>anatolicum</i>	15.06	25.06	10	-
<i>S. strictum</i>	15.06	26.06	12	-
<i>S. s.</i> ssp. <i>kuprianovii</i>	16.06	28.06	12	-

*NIR/LSD_{0,01}=4*NIR/LSD_{0,05}=3

0** Gatunek dziki rozpoczynający kwitnienie w tym samym dniu, co odmiana uprawna

0** Wild species that began flowering the same day as the cultivar

Tabela 3

Żywotność ziaren pyłku gatunków i podgatunków w rodzaju *Secale*
Viability of pollen grains in species and subspecies of the genus *Secale*

Gatunek — podgatunek Species — subspecies	Żywotność ziaren pyłku(%) Viability of pollen grains (%)
<i>S. cereale</i> ssp. <i>cereale</i> (odmiana — cultivar Walet)	86
<i>S. c.</i> ssp. <i>afghanicum</i>	93
<i>S. c.</i> ssp. <i>ancestrale</i>	96
<i>S. c.</i> ssp. <i>dighoricum</i> 17785	90
<i>S. c.</i> ssp. <i>segetale</i>	92
<i>S. strictum</i>	87
<i>S. s.</i> ssp. <i>africanum</i>	87
<i>S. s.</i> ssp. <i>anatolicum</i>	91
<i>S. s.</i> ssp. <i>ciliatoglume</i>	82
<i>S. s.</i> ssp. <i>kuprianovii</i>	91
<i>S. vavilovii</i>	95
<i>S. silvestre</i>	97

NIR/LSD_{0,01}=10,5%NIR/LSD_{0,05}=8,0%

W roku 2007 różnice między kwitnieniem gatunku *Secale cereale* ssp. *cereale* odmianą Walet i gatunków kwitnących wcześniej nie są istotne statystycznie. Istotne statystycznie okazały się natomiast różnice między gatunkiem *Secale cereale* ssp. *cereale* odmianą Walet a gatunkami kwitnącymi po 23 maja.

Średnia żywotność ziaren pyłku w zależności od gatunku wahała się od 82% (dla *S. s. ciliatoglume*) do 96% (dla gatunku *S. c. ssp. ancestrale*). Odmiana uprawna Walet charakteryzowała się żywotnością ziaren pyłku na poziomie 86%. Żywotność ziaren pyłku dzikich gatunków z rodzaju *Secale* różniła się istotnie od żywotności ziaren pyłku odmiany Walet. Szczegółowe wyniki przedstawione zostały w tabeli 3.

Efektywność wiązania ziarna przy różnych typach zapylenia

Samozapylenie

Analizując samozgodność badanych gatunków otrzymano następujące wyniki: przy samozapyleniu najwyższą samozgodnością wykazał się gatunek *S. silvestre*. Efektywność wiązania ziarniaków dla tego gatunku wynosiła 40% (tab. 4). Najwyższą, spośród gatunku *Secale cereale* wraz z podgatunkami, efektywnością zawiązywania ziarniaków w wyniku samozapylenia charakteryzował się gatunek *S. c. segetale* (11,1%), natomiast gatunek uprawny — samoniezgodny nie zawiązał ziarna przy samozapyleniu. Gatunek *Secale strictum* wraz z podgatunkami zawiązywał ziarniaki z efektywnością od maksymalną 1,8% (*S. s. ciliatoglume*) do minimalnej równej 0 dla gatunku *S. strictum*, *S. s. ssp. anatolicum*, *S. s. ssp. kuprianovii*. Procent zawiązanych ziarniaków dla dzikiego gatunku *Secale strictum* wraz z podgatunkami był znacznie niższy niż dla dzikich podgatunków *Secale cereale*.

Dla gatunków *S. c. ssp. dighoricum* 17785, *S. c. ssp. ancestrale*, *S. s. ssp. afghanicum*, *S. s. ssp. ciliatoglume*, *S. vavilovii* efektywność wiązania ziarniaków przy samozapyleniu wynosiła poniżej 5%, i nie była istotna statystycznie. Przy samozapyleniu samoniezgodne okazały się gatunki *S. strictum*, *S. s. ssp. anatolicum*, *S. s. ssp. kuprianovii* oraz gatunek *S. c. ssp. cereale* odmiana Walet (tab. 4).

Efektywność wiązania ziarniaków przy samozapyleniu otrzymane dla gatunków: *S. c. ssp. ancestrale*, *S. c. ssp. dighoricum* 17785, *S. c. ssp. afghanicum*, *S. vavilovii*, *S. strictum*, *S. s. ssp. africanum*, *S. s. ssp. anatolicum*, *S. s. ssp. ciliatoglume*, *S. s. ssp. kuprianovii* nie różniły się statystycznie istotnie od wyników otrzymanych dla gatunku *S. c. ssp. cereale* (tab. 4). Natomiast gatunki *S. silvestre* oraz *S. segetale* pod względem tej cechy różniły się istotnie od gatunku wzorcowego *Secale cereale* ssp. *cereale* odmiany Walet (tab. 4).

Przy samozapyleniu gatunki i podgatunki dzikie charakteryzowały się małą zmiennością cechy. Wyjątek stanowił gatunek *Secale silvestre*, dla którego zmienność cechy charakteryzowana współczynnikiem zmienności wyniosła 35,1%.

Zapylenie geitonogamiczne

Przy zapyleniu geitonogamicznym (tab. 4), otrzymano następujące wyniki: najbardziej samozgodny okazał się gatunek oraz *S. silvestre*, gdzie średnia efektywność wiązania ziarniaków wynosiła 30,7%. Różnica między gatunkiem *S. silvestre*, a pozostałymi badanymi gatunkami była istotna statystycznie. Dla pozostałych gatunków średnia efektywność wiązania ziarniaków była niższa niż 5,2% i nie różniła się istotnie statystycznie od gatunku *Secale cereale* ssp. *cereale*. Dla dzikich podgatunków *Secale*

cereale maksymalna efektywność wiązania ziarniaków wyniosła 5,2% dla *S. c. ssp. afghanicum* najniższą, zerową efektywnością wykazał się gatunek uprawny *Secale cereale* ssp. *cereale*. Natomiast spośród gatunków i podgatunków *Secale strictum*, tylko *Secale strictum kuprianovii* zawiązał ziarniaki. Efektywność wyniosła tylko 2,6%. Ponownie gatunek *Secale strictum* wraz z podgatunkami zawiązywał ziarniaki słabiej niż gatunek *Secale cereale* i jego dzikie podgatunki.

Tabela 4

Efektywność wiązania ziarna przy trzech wariantach zapylenia
The efficiency of seed setting at three variants of pollination

Gatunek — podgatunek Species — subspecies	Średnia efektywność wiązania ziarna przy: Mean efficiency of seed set:					
	samozapylenia self-pollination (%)	współczynnik zmienności variation coefficient (V%)	zapylenia geitonogami- cznym geitonogamous pollination (%)	współczynnik zmienności variation coefficient (V%)	zapylenia między genotypami pollination between genotypes (%)	współczynnik zmienności Variation coefficient (V%)
<i>S. cereale</i> ssp. <i>cereale</i> (cv. — odm. Walet)	0	—	0	—	15	7,2
<i>S. c. ssp. afghanicum</i>	5,2	14,7	5,2	17,8	19,5	20,1
<i>S. c. ssp. ancestrale</i>	1,4	8,1	0,75	2,3	18,1	24,1
<i>S. c. ssp. dighoricum</i> 17785	1,8	7,4	0,47	3,7	8,3	17,1
<i>S. c. ssp. segetale</i>	11,1	19,7	0,5	1,3	11,9	27,1
<i>S. strictum</i>	0	—	0	—	5	1,8
<i>S. s. ssp. africanum</i>	1,4	2,7	0	—	0	—
<i>S. s. ssp. anatolicum</i>	0	-	0	—	3,5	5,2
<i>S. s. ssp. ciliatoglume</i>	1,8	4,1	0	—	8,1	12,4
<i>S. s. ssp. kuprianovii</i>	0	—	2,6	3,1	3,5	4,8
<i>S. vavilovii</i>	0,7	1,7	0,8	2,4	10,8	24,9
<i>S. silvestre</i>	40	35,1	30,7	32,4	0	—
	NIR/LSD _{0,01} = 8,4%		NIR/LSD _{0,01} = 4,9%		NIR/LSD _{0,01} = 1%	
	NIR/LSD _{0,05} = 6,4%		NIR/LSD _{0,05} = 6,5%		NIR/LSD _{0,05} = 0,8%	

Zmienność cechy określona współczynnikiem zmienności dla gatunku *Secale silvestre* była przeciętna i wyniosła 32,4%, a dla pozostałych gatunków i podgatunków była mała i wahała się od 1,3% (*S. c. ssp. segetale*) do 17,8% (*S. c. ssp. afghanicum*, tab. 4).

Zapylenie między genotypami w badanych gatunkach i podgatunkach

Przeprowadzając zapylenie między genotypami w obrębie gatunku uzyskano następujące wyniki: gatunek *Secale silvestre* jako wybitnie samopylny nie zawiązał żadnych ziarniaków, natomiast efektywność zawiązywania ziarniaków dla gatunku *Secale cereale* wraz z podgatunkami dzikimi wahała się od 11,9% dla *S. c. ssp. segetale* do 19,5% dla podgatunku *S. c. ssp. afghanicum*. Natomiast gatunek *Secale strictum* wraz z podgatunkami wiązał ziarniaki z mniejszą efektywnością, to jest od 0% dla gatunku *S. s. africanum* do 8,1% dla gatunku *S. s. ciliatoglume* (tab. 4).

Najwyższą efektywnością wiązania ziarniaków przy zapyleniu między genotypami w obrębie gatunku charakteryzowały się *Secale strictum* ssp. *afghanicum* (19,5%), *Secale*

cereale ssp. *ancestrale* (18,1%) i odmiana Walet (15%). Pozostałe gatunki charakteryzowały się niższą niż 10% średnią efektywnością wiązania ziarniaków.

Współczynnik zmienności tej cechy dla odmiany uprawnej wyniósł 7,2%. Podgatunki rodzaju *Secale cereale* charakteryzowały się zmiennością małą (*S. c.* ssp. *dighoricum* 17785, *S. strictum*) i przeciętną (*S. c.* ssp. *afghanicum*, *S. c.* ssp. *ancestrale*, *S. c.* ssp. *segetale*). Natomiast współczynniki zmienności dla gatunku *Secale strictum* z podgatunkami były małe i wahały się od 1,8% (*S. strictum*) do 12,4% (*S. s.* ssp. *ciliatoglume*).

Efektywność wiązania ziarniaków między badanymi gatunkami była statystycznie istotna na poziomie $\alpha = 0,05$ i $0,01$ (tab. 4).

DYSKUSJA

Do rodzaju *Secale* L. poza gatunkiem uprawnym *Secale cereale* ssp. *cereale* należy także szereg gatunków i podgatunków dzikich, nieuprawnych. Gatunkami tymi interesowano się już na początku poprzedniego stulecia (Vavilov, 1917, 1926; Roshevitz, 1947). Wielokrotnie próbowano usystematyzować rodzaj *Secale* na podstawie wzajemnej zdolności do krzyżowania między gatunkami w tym rodzaju, czy podobieństwa cytologicznego i morfologicznego (Kush, 1962). Jednak dopiero uzupełnienie badań o analizy cytogenetyczne (Hammer, 1987) molekularne (Shang, 2006) i cytogenetyczno-molekularną analizę FISH (Cuadrado, 2002) umożliwiło usystematyzowanie rodzaju *Secale*. W literaturze brak jest całościowego opisu i porównania biologii poszczególnych gatunków w rodzaju *Secale* L.

Wiedza dotycząca biologii kwitnienia gatunków jest, szczególnie ważna, jeżeli celem jest przeprowadzenie krzyżowań, w wyniku których chcemy doprowadzić do poszerzenia zmienności rekombinacyjnej metodami hodowli konwencjonalnej. Dotyczy to szczególnie wiedzy na temat biologii kwitnienia gatunków, które mogą być wykorzystane do krzyżowań międzygatunkowych materiałów wyjściowych do hodowli. A takimi gatunkami są bez wątpienia dzikie gatunki z rodzaju *Secale* L. Są one cennym źródłem genów odporności na choroby (na przykład mączniaka, Rzepka, 1988), odporności na porastanie (Rzepka, 1993), czy cytoplazmy sterylizującej (Łapiński, 1977).

Wszystkie gatunki i podgatunki żyta miały typową dla większości zbóż budowę morfologiczną kłosów i kwiatów, (Szwejkowscy, 2003; Rapiejko, 1998). Między gatunkami wystąpiły znaczne różnice dotyczące, takich cech jak: długość kłosa, liczba kłosków w kłosie i zbitość kłosa. Różnice w wielkościach tych cech pomiędzy większością gatunków były istotne statystycznie.

Znaczne różnice w wartościach współczynnika zmienności między gatunkiem wzorcowym — *Secale cereale* ssp. *cereale* a pozostałymi badanymi obiektami świadczą o dużym wyrównaniu obserwowanych cech u odmiany uprawnej w odróżnieniu od silnie zróżnicowanych gatunków i podgatunków dzikich, nie poddawanych wcześniej procesowi selekcji.

Ważnym z punktu widzenia prac hodowlanych aspektem jest żywotność ziaren pyłku. Ma ona wpływ na efektywne wykorzystanie poszczególnych gatunków w hodowli, ponieważ wysoka żywotność ziaren pyłku pozwala na uzyskanie wysokiej efektywności

krzyżowania. Żywotność pyłku badanych genotypów wahała się od 82% do 96%. Tym samym była nieco wyższa niż żywotność otrzymana w pracy Mackiewicz i Brody (2002) i wskazywała na przydatność tych gatunków do krzyżowań i wytwarzania mieszańców *in vivo*.

Potwierdzone zostały badania prowadzone przez Kociubę i Kramek (2004) dotyczące typu kwitnienia żyta. Z badań wynikało, iż żyto jest gatunkiem, który ma otwarty typ kwiatów i wyrzuca pylniki na zewnątrz kwiatów. W literaturze nie spotyka się charakterystyki kwitnienia gatunku *Secale silvestre*. Wspomina się jedynie, że rodzaj *Secale* jest bardzo różnorodny, ponieważ należą do niego gatunki jednoroczne, dwuletnie, samo i obcopolne, uprawne i dzikie (Khush, 1962; Chikmawati, 2005). Autorzy wykorzystujący w swoich badaniach gatunek *Secale silvestre* podkreślają, że jest to gatunek najstarszy, najbardziej pierwotny (Shang i in., 2006), a jednocześnie najbardziej różniący się od pozostałych gatunków w rodzaju *Secale* między innymi pod względem sposobu kwitnienia, ponieważ kwitnienie kłosów odbywa się w pochwach liściowych przed wyklóseniem się kłosów (Chikmawati, 2005). Równocześnie krzyżowanie tego gatunku z innymi z rodzaju *Secale* okazywało się najmniej efektywne (Mackiewicz, 2004). Mogło to wynikać z innego niż u pozostałych gatunków sposobu kwitnienia.

Rośliny żyta przy normalnym przebiegu pogody kwitną 10 dni (Rapiejko, 1998; Ludwicka, 2007). W niniejszej pracy w warunkach pola doświadczalnego ten okres był wydłużony nawet do 20 dni dla gatunku *Secale cereale* ssp. *segetale* czy *Secale vavilovii*. Na długość kwitnienia mają zasadniczy wpływ warunki pogodowe w okresie sezonu wegetacyjnego. Szczególnie duży wpływ ma słoneczna pogoda w ciągu dnia i optymalna temperatura powietrza w okresie kwitnienia. Na podstawie badań jednorocznych trudno więc jednoznacznie stwierdzić czy termin i długość kwitnienia gatunków dzikich rzeczywiście jest tak odmienny od gatunku uprawnego, czy może zaistniał tak duży wpływ warunków pogodowych na przebieg kwitnienia w danym roku. Mimo iż w warunkach polowych różnice 3 czy 5 dni w terminie zakwitania nie mają większego znaczenia, to w przypadku prac hodowlanych zjawisko to ma znaczenie zasadnicze. Okazuje się to szczególnie ważne, jeżeli podejmujemy próbę przeprowadzenia krzyżowania gatunku zakwitającego najwcześniej z gatunkiem zakwitającym najpóźniej.

System samoniezdgodności dla gatunku *Secale* L. jest znany i opisywany od dawna (Brewbaker, 1959; Baumann i in., 2000). Dobrze znane jest także podłoże molekularne odpowiedzialne za system samoniezdgodności u zbóż. Literatura podaje, że uwarunkowany jest on dwoma różnymi, dominującymi wieloallelicznymi genami dziedziczącymi się niezależnie (Baumann, 2000). Geny te zlokalizowane zostały na chromosomie 1R i 2RL (Hackauf i Wehling, 2002).

Tematykę tę w swoich artykułach przeglądowych podejmowali McKubin (1996) i Bednarska (2003). Ten typ samoniezdgodności zidentyfikowany został jako samoniezdgodność gametofitowa. Najbardziej nieoczekiwane wyniki dały badania średniej efektywności krzyżowania przy trzech wariantach zapylenia. W literaturze wskazuje się trzy gatunki wybitnie samopylne (Tarkowski, 1983; Mackiewicz i in., 2002), a pozostałe uważa się za obcopolne. Gatunki samopylne to *S. silvestre*, *S. vavilovii* i *S. s. ssp. africanum*. W powyższych badaniach gatunki samopylne wykazały się bardzo niską efektywnością

zawiazywania ziarniaków. Niemniej jednak na podstawie badań własnych można wskazać tylko jeden wybitnie samozgodny gatunek dziki — *Secale silvestre*. Dwa pozostałe wskazywane w literaturze jako samozgodne nie dały tak jednoznacznych wyników. W niniejszych badaniach stwierdzono, że *S. vavilovii* przy obcozapyleniu (zapyleniu między genotypami) wykazuje aż 10,8% efektywności zawiazywania ziarniaków, przy samozapyleniu zaś efektywność wynosiła tylko 0,7%. Natomiast podgatunek *S. s. africanum* bardzo słabo zawiązał ziarniaki tylko przy samozapyleniu a w dwóch pozostałych wariantach zapylenia nie zawiązał ich wcale. Dlatego wyniki te mogą wskazywać na fakultatywną samozgodność podgatunku *S. s. africanum* oraz gatunku *S. vavilovii*. Również podgatunek *S. s. dighoricum* 17785 wykazał się fakultatywną samozgodnością, mimo iż literatura wskazuje, że jest to gatunek samoniezdodny.

Zjawisko fakultatywnej samozgodności jest dość powszechne w rodzaju *Brassica* (Thompson, 1957; Thompson, Howard, 1959), ale również w rodzaju *Pyrrus* (Antkowiak i Wojciechowski, 2007). Autorzy wskazali, że na wzrost stopnia samopylności wpływać mogły nietypowe warunki środowiskowe.

O tym, że samozgodność może być warunkowana lub modyfikowana środowiskowo może świadczyć także niski współczynnik zmienności dla badanych gatunków.

Przeprowadzone obserwacje biologii kwitnienia gatunków żyta podkreślają złożoność procesów zapylenia i zapłodnienia, a zatem otrzymania potomstw o zróżnicowanym składzie genetycznym. Gatunki, podgatunki żyta zachowały więc ewolucyjnie ukształtowaną biologię kwitnienia w interakcji ze środowiskiem. Jest jednak ona modyfikowana w niewielkim stopniu przez stres abiotyczny i zjawiska samozgodności lub pseudo-samozgodności.

WNIOSKI

1. Badane gatunki w rodzaju *Secale* sp. w większości są gatunkami obcopylnymi, z wyjątkiem gatunku *Secale silvestre*, który jest gatunkiem samopylnym.
2. Kwitnienie gatunków obcopylnych przebiegało przy kwiatach otwartych — chasmogamicznie, natomiast gatunku samopylnego *S. silvestre* przy kwiatach zamkniętych — klejstogamicznie.
3. Wśród gatunków obcopylnych otrzymano wyniki wskazujące na fakultatywną samozgodność warunkowaną przez zmieniające się warunki środowiskowe. Skłonności do fakultatywnej samozgodności wykazywały gatunki: *S. c. ssp. afganicum* oraz *S. c. ssp. segetale*.
4. Najwcześniej w stosunku do gatunku wzorcowego *S. c. ssp. cereale* zakwitał gatunek *Secale silvestre*. Najpóźniej w stosunku do wzorca zakwitał gatunek *S. s. kuprianovii*.
5. U gatunków obcopylnych efektywność zawiazywania ziarniaków była bardzo niska. Gatunki i podgatunki z *Secale cereale* wykazywały wyższą efektywność wiązania ziarna niż gatunki należące do *S. strictum* i gatunek *S. vavilovii*.

LITERATURA

- Antkowiak A., Wojciechowski A. 2007 *Botanica Steciana* 11: 131 — 134.
- Baumann U., Juttner J., Bian X., Longride P. 2000. Self-incompatibility in the Grasses.; *Annales of Botany* 85: 203 — 209.
- Bednarska E. 2003. Mechanizmy samoniezgodności u roślin kwiatowych; *Kosmos* 52, 4: 425 — 443.
- Brewbaker J. L. 1959. Pollen cytology and self – incompatibility systems in plants. *Journal of Heredity* 2, 46: 271 — 277.
- Cuadrado A., Jouve N. 2002. Evolutionary trends of different Repetitive DNA Sequences during speciation in the genus *Secale*. *The American Genetic Association* 93: 339 — 345.
- Chikmawati T., Skovmand B., Gustafson J. P. 2005. Phylogenetic relationships among *Secale* species revealed by amplified fragment length polymorphisms. *Genome* 48:792 — 801.
- Dubas A. 1997. Szczegółowa uprawa roślin rolniczych. Wydawnictwo AR Poznań.
- Hackauf B., Wehling P. 2002 Identification of microsatellite polymorphisms in an expressed portion of the rye genome. *Plant Breeding* 121:17 — 25.
- Hammer K., Skolimowska E. 1987. Vorarbeiten zur monographischen Darstellung vor Wildpflanzensortimenten: *Secale* L. *Kulturpflanze* 35: 135 — 177.
- Khush G. 1961. Cytogenetic and evolutionary studies in *Secale*. I. Some new data on the ancestry of *S. cereale*. *Amer. J. Bot.* 48: 723 — 730.
- Khush G. 1962. Cytogenetic and evolutionary studies in *Secale*. II. Interrelationship of the wild species. *Evol.* 16: 484 — 496.
- Kociuba W., Kramek A. 2004. Analiza niektórych właściwości biologii kwitnienia pszenżyta przydatnych dla hodowli i reprodukcji odmian. *Annales UMCS Vol.* 59, 1: 115 — 122.
- Ludwicka A. 2007. Żyto-roślina energetyczna. *Album Roślin Energetycznych*: 45 — 47.
- Łapiński M. 1977. Wstępne wyniki badań nad krzyżówkami oddalonymi z rodzaju *Secale*. *Pr. Zesp. Hod. Żyta w 1975 r IHAR Radzików*: 89 — 95.
- Mackiewicz-Karolczak D., Broda Z. 2002. Ocena efektywności krzyżowań międzygatunkowych w rodzaju *Secale*. *Biul. IHAR* 221: 73 — 82.
- Mackiewicz D., Broda Z. 2004. Ocena przydatności hodowlanej mieszańców żyta uprawnego *Secale cereale* (L.) z dzikimi gatunkami z rodzaju *Secale*”. *Biul. IHAR* 231/2002 :265 — 277.
- McCubin A. G. Kao T. 1996. Molecular mechanisms of self-incompatibility. *Current Opinion in Biotechnology* 7: 150 — 154.
- Mucha J. 1994. Metody geostatystyczne w dokumentowaniu złóż. Skrypt, Katedra Geologii Kopalnianej. AGH Kraków: 155 ss.
- Rapiejko P., Weryszko-Chmielewska E. 1998. Pyłek traw. *Alergia Astma Immunologia* 3 (4): 187 — 192.
- Rzepka D. 1988. Przydatność międzygatunkowych mieszańców żyta (*Secale* sp.) w hodowli odmian odpornych na mączniaka (*Erysiphe graminis* DC. f. sp. *secalis* Marchal). *Hod. Rośl. Aklim* 3–4: 39 — 48.
- Rzepka D. 1993. Badania nad mieszańcami *S. cereale* × *S. vavilovii* Gross. w aspekcie ich przydatności do hodowli odmian odpornych na porastanie. Część I: Ocena odporności na porastanie mieszańców międzygatunkowych żyta; *Hod. Rośl. Aklim.* 37 (6/5): 69 — 79.
- Roshevitz R. Y. 1947. A monograph of the wild weedy and cultivated species of rye. *Acta Inst. Bot. Nom. Acad. Sci. U.S.S.R Ser.1 F₁ et Syst.* 6: 105 — 163.
- Shang H. I, Wei Y. M., Wang X. R., Zheng Y. L. 2006. Genetic diversity and polygenetic relationships in the rye genus *Secale* L. (rye) based on *Secale cereale* microsatellite markers. *Genet and Molec. Biol.* 29, 4: 685 — 691.
- Szweykowska A., Szweykowski J. 2003. *Botanika T. 2*, PWN, Warszawa.
- Tarkowski C. 1983. *Biologia żyta*. PWN, Warszawa.
- Thompson K. F. 1957. Self-incompatibility in marrow-stem kale, *Brassica oleracea* var *acephala* I. Demonstration of a saprophytic system *J. Genetics* 55: 45 — 60.
- Thompson K. F. 1959. Self-incompatibility in marrow-stem kale, *Brassica oleracea* var *acephala* II. Methods for the recognition in inbred lines of plants homozygous for S alleles *J. Genetics* 56: 325 — 340.
- Vavilov N. I. 1917. On the origin of cultivated rye, *Bull. Appl. Bot. Genet. Plant Breed* 10: 561 — 590.

- Vavilov N. I. 1926. Studies on the origin of cultivated plants Bull. Appl. Bot. Genet. Plant Breed. 16: 1 — 248.
Zadoks J. C., Chang T. T., Konzak C. F. 1974. Decimal code for growth stages of cereals Weed Res. 14: 415 — 431.