

WPŁYW SYMULOWANYCH PRZYMROZKÓW WIOSENNYCH NA USZKODZENIA KWITNĄCYCH ROŚLIN RZEPAKU OZIMEGO ORAZ STRATY W PLONIE NASION

FRANCISZEK WIELEBSKI¹, MAREK WÓJTOWICZ

*Samodzielna Pracownia Stresów Środowiskowych Roślin Oleistych, Instytut Hodowli i Aklimatyzacji
Roślin – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział w Poznaniu, ul. Strzeszyńska 36, 60-479 Poznań*

Synopsis. W pracy przedstawiono wyniki trzyletnich badań (2014–2016), w których określono wpływ symulowanych, wiosennych przymrozków na uszkodzenia kwitnących roślin rzepaku oraz plon nasion i jego komponenty. W tym celu wazony z kwitnącymi roślinami rzepaku umieszczano w komorze chłodniczej z regulowaną temperaturą, gdzie zgodnie ze schematem doświadczenia czasowo były one poddane niskiej temperaturze (symulacja przymrozków). Schemat doświadczenia obejmował 4 obiekty (każdy w 4 powtórzeniach): 1 obiekt kontrolny (A) i 3 obiekty (B, C i D) o zróżnicowanej intensywności oddziaływania niskich temperatur na rzepak w fazie kwitnienia (B – przymrozek 1 dzień, temperatura, do -3°C ; C – przymrozek 1 dzień, temperatura, do -7°C i D – przymrozek 3 dni, temperatura, do 7°C). Umiarkowane przymrozki (do -3°C , obiekt B) powodowały u kwitnących roślin chwilowe przewodnienia w postaci zwisających wierzchołków z kwiatostanem, które w przypadku bardzo silnych przymrozków (do -7°C , obiekty C i D) zazwyczaj łamały się uniemożliwiając dalszy proces ich kwitnienia i zawiązywania łuszczyń. Trwałemu uszkodzeniu ulegała również większość kwiatów w pełni rozwiniętych, a także najbardziej zaawansowanych rozwojowo pąków oraz zawiązków młodych łuszczyń. Przemrożone kwiaty nie wiązały łuszczyń, zaś młode łuszczyzny wkrótce opadały. Symulowane przymrozki w fazie kwitnienia powodowały straty w plonie nasion pojedynczej rośliny rzepaku. Nieistotny względem kontroli spadek plonu obserwowano gdy jednodniowy przymrozek nie przekraczał -3°C (obiekt B), natomiast duże straty plonu (odpowiednio o 25 i 51%) stwierdzono gdy spadek temperatury był duży (do -7°C , obiekt C), a zwłaszcza gdy występował przez 3 kolejne dni w rzędzie (obiekt D). Bardzo silne przymrozki (do -7°C , obiekty C i D), mocno zaburzające prawidłowy wzrost i rozwój roślin, zwłaszcza pędu głównego spowodowały istotne zmniejszenie wysokości roślin przed zbiorem, a także istotnie różnicowały elementy struktury plonu: liczbę łuszczyń na roślinie, liczbę nasion w łuszczyźnie, masę 1000 nasion, masę nasion w łuszczyźnie oraz liczbę rozgałęzień i liczbę łuszczyń na rozgałęzieniu. Najbardziej zmiennym i najsilniej korelującym z plonem nasion elementem plonotwórczym była liczba łuszczyń na roślinie i liczba rozgałęzień produkcyjnych I rzędu na roślinie. W przypadku bardzo silnego przymrozków (do -7°C , obiekty C i D), kompensacja uszkodzeń przez pojedynczą roślinę okazała się nie skuteczna, bowiem straty nie były kompensowane przez rozwój innych komponentów plonu.

Słowa kluczowe: rzepak ozimy, przymrozki w fazie kwitnienia, szkody, plon nasion, struktura plonu

WSTĘP

Przymrozek definiowany jest jako spadek minimalnej temperatury powietrza poniżej 0°C , podczas gdy średnia dobowa jest powyżej 0°C [Kossowska-Cezak 2003]. Ze względu na genezę, przymrozki można podzielić na adwekcyjne i radiacyjne. Te pierwsze wywoływane są przez napływ zimnego powietrza, obejmują duże obszary, natomiast te drugie występują

¹ Adres do korespondencji – *Corresponding address:* fwiel@nico.ihar.poznan.pl

lokalnie i powodowane są silnym wypromieniowaniem ciepła z podłoża. Obydwa rodzaje przymrozków mogą wystąpić niezależnie od siebie, ale najczęściej spotykamy się z przymrozkiem adwekcyjno-radiacyjnym. W strefie klimatu umiarkowanego (przejściowego) w którym leży Polska, wiosenne przymrozki mogą być corocznym problemem silnie zakłócającym prawidłowy rozwój roślin. Najczęściej występują pojedyncze dni przymrozkowe, ale często pojawiają się ciągi trwające > 2 dni [Koźmiński 1976]. Zazwyczaj są to przymrozki łagodne, z temperaturą minimalną od -0,1 do -2°C i umiarkowane (od -2,1 do -4°C), a przymrozki silne (od -4,1 do -6°C) i bardzo silne (poniżej -6°C) zdarzają się wyjątkowo rzadko [Dragańska i in. 2004, Dudek i in. 2012, Tomczyk 2015]. Podlegają one dużym zmianom w poszczególnych latach. Najgroźniejsze dla roślin są przymrozki majowe, zazwyczaj zwane „zimnymi ogrodnikami”, spowodowane adwekcją arktycznego powietrza [Dudek i in. 2012].

Przymrozki wiosenne są przyczyną bardzo poważnych szkód w postaci zmniejszenia, a nawet całkowitej utraty plonów w wielu uprawach [Dragańska i in. 2004, Lardon i in. 1995, Wieteska 2011], w tym również w rzepaku ozimym [Budzyński 2010]. Wiosną po ruszeniu wegetacji rośliny rzepaku szybko tracą nabytą wcześniej mrozoodporność. Występujące w tym czasie dość często duże spadki temperatury są niebezpieczne szczególnie gdy mają miejsce w fazie kwitnienia [Budzyński 2010]. Nie są również obojętne dla rzepaku gdy występują w fazie zielonego pąka. Mogą powodować destrukcję zalążni i tym samym wpływać na liczbę płodnych kwiatów. Uszkodzone mogą być pąki kwiatowe, kwiaty a nawet młode łuszczyńy, które zamierają i opadają co stwarza duże zagrożenie dla plonu nasion. Niskie temperatury wywołują silny stres u roślin, konsekwencją czego jest ogólne osłabienie organizmu i obniżenie jego odporności zarówno na choroby, jak i działanie niekorzystnych warunków środowiska [Tomczyk 2015]. Przy dużych spadkach temperatury łodygi wyginają się w kształt litery S, a nawet pękają. Przez uszkodzone tkanki łatwo wnikają różnego rodzaju patogeny [Doroszewski i in. 2013]. Bardzo niebezpieczne są przymrozki (nawet łagodne), które pojawiają się przez kilka dni z rzędu. Wyrządzają one większe szkody aniżeli przymrozek silny, lecz jednodniowy [Dragańska i in. 2004, Koźmiński 1976].

Zagrożenie ze strony przymrozków potęgują zachodzące zmiany klimatyczne. Prognozy zakładają zwiększenie zmienności temperatury o ponad 25%, co oznacza częstsze występowanie dni z dużymi zmianami temperatury (przymrozki, ekstremalne upały) [Kuchar 2009]. Wyniki wielu badań dotyczących czasowego i przestrzennego rozkładu przymrozków wskazują, że w ostatnich latach na większości obszaru kraju nastąpiło wydłużenie okresu bezprzymrozkowego i zmiana dat jego występowania [Dragańska i in. 2004, Dudek i in. 2012, Kolasiński 2008, Tomczyk 2015]. Dotyczy to zarówno wcześniejszego rozpoczęcia jak i późniejszego zakończenia okresu bezprzymrozkowego, na co największy wpływ miał wyraźny wzrost temperatury od początku lat 90. ubiegłego wieku [Bielec-Bąkowska i Piotrowicz 2011, Mager i Kopeć 2010]. Największe zmiany zachodziły w zachodnich regionach kraju, a najmniejsze na wschodzie i południowym-wschodzie [Bielec-Bąkowska i Piotrowicz 2011]. Także w wielu innych krajach Europy (Czechy, Białoruś, Szwajcaria, Finlandia) odnotowano tendencję zmniejszania się liczby dni z przymrozkiem oraz zwiększenia się długości okresu bez występowania przymrozków [Heino i in. 1999, Loginov i in. 2007]. Nie brakuje również badań [Grabowski 2010, Starkel i Kundzewicz 2008], które wykazują, że pomimo cieplejszych zim wydłuża się okres, w którym mogą wystąpić przymrozki. Zachodzące zmiany nie ograniczają także ryzyka związanego z ich występowaniem. Pesymistyczne scenariusze prognozują bardzo duży wzrost ryzyka przymrozków. Ocieplający się klimat przyspiesza wiosenny wzrost roślin, a tym samym i proces kwitnienia, co zwiększa narażenie upraw na późnowiosenne przymrozki.

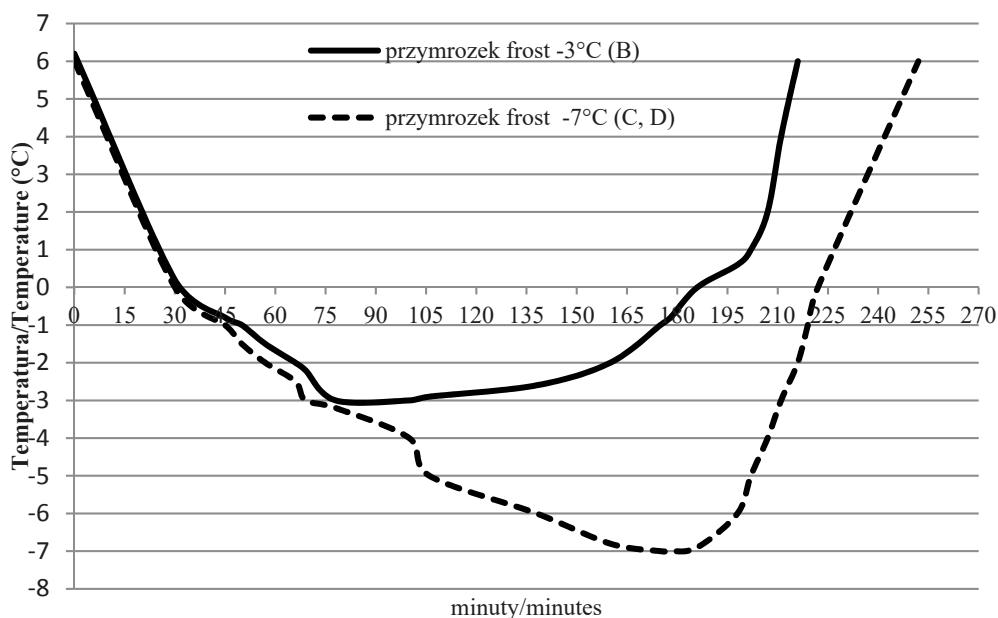
Czynnikami stresowe jakimi są np. przymrozki mogą wywołać zjawisko kompensacji, które w świecie roślin występuje powszechnie i polega na ujawnieniu się naturalnych zdolności

każdego żywego organizmu do całkowitego bądź częściowego wyrównania efektów działania czynników szkodliwych [Wójtowicz i Wielebski 2011]. Rzepak charakteryzuje się bardzo dużymi zdolnościami kompensacyjnymi, które wynikają głównie z jego ogromnego potencjału genetycznego umożliwiające roślinie wytworzenie 4–5 tys. pąków kwiatowych [Dmoch 1996]. Następstwem uszkodzenia pąków kwiatowych, a tym samym zmniejszenia liczby łuszczyń na roślinie, może być w przypadku wystąpienia korzystnych warunków pogodowych, zwiększenie liczby i masy nasion w łuszczyńce.

Celem badań było poznanie uszkodzeń na roślinach rzepaku spowodowanych przymrozkami w czasie kwitnienia oraz wpływ tych szkód na plon i składowe plonu nasion rzepaku ozimego.

MATERIAŁ I METODY

Badania prowadzono w latach 2014–2016 w Instytucie Hodowli i Aklimatyzacji Roślin - Państwowym Instytucie Badawczym, Oddział w Poznaniu. Wczesną wiosną, wykopane z pola rośliny rzepaku ozimego odmiany populacyjnej Pamela, sadzono pojedynczo w wazonach o pojemności 10 litrów i umieszczono w szklarni. W fazie początku kwitnienia (BBCH 60–61), wazony zostały przeniesione na noc do komory chłodniczej z regulowaną temperaturą, gdzie kwitnące rośliny zgodnie z dobowym rytmem wzrostu i schematem doświadczenia czasowo (około 2,5–3 godzin) były poddane niskiej temperaturze (symulacja przymrozków). Przebieg zmian temperatury w komorze był wzorowany na przebiegu zmian temperatury podczas przymrozków w warunkach polowych. Następnie wazony ponownie umieszczono w szklarni.



Rys. 1. Przebieg temperatury w czasie symulowanych przymrozków
Fig. 1. Temperature course during simulated frosts

Schemat doświadczenia obejmował 4 obiekty (każdy w 4 powtórzeniach) – 1 obiekt kontrolny i 3 obiekty o zróżnicowanej intensywności i czasie oddziaływania niskich temperatur na rzepak w fazie kwitnienia:

- A – Kontrola
- B – Przymrozek 1 dzień, temperatura, do -3°C
- C – Przymrozek 1 dzień, temperatura, do -7°C
- D – Przymrozek 3 dni, temperatura, do -7°C

Zanotowano daty i czas poddania roślin przymrozkom. Przebieg temperatury w czasie symulowanych przymrozków przedstawiono na rysunku 1. Szczegółowo opisano uszkodzenia spowodowane przymrozkami. Przed zbiorem określono wysokość roślin, liczbę rozgałęzień produkcyjnych I rzędu na roślinie i liczbę łuszczyń na roślinie. Liczbę nasion w łuszczyńce określono na 25 losowo wybranych łuszczyńcach z górnej, środkowej i dolnej partii gron owocnośnych. Po zbiorze określono plon nasion z rośliny oraz masę 1000 nasion. Wyniki poddano analizie statystycznej za pomocą pakietu STATISTICA. Istotność różnic określono testem Tukeya na poziomie istotności $p = 0,05$.

WYNIKI I DYSKUSJA

Kwitnące rośliny rzepaku poddane czasowo (około 2,5–3 godzin) niskim temperaturom (do -3 lub do -7°C) symulującym przymrozki, ulegały częściowemu podwiednięciu, objawiającemu się głównie w postaci zwisających wierzchołków z kwiatostanem. Delikatnemu zwiędnięciu uległy również liście. Te chwilowe przewiednięcia zwłaszcza, gdy spadek temperatury nie był duży (do -3°C , wariant B) były niegroźne, gdyż po ustaniu czynnika stresującego rośliny się wyprostowały, a tylko niektóre pozostały nieznacznie wygięte. Inaczej było w przypadku gdy spadek temperatury był duży (do -7°C , wariant C i D), a zwłaszcza gdy występował przez 3 dni z rzędu (wariant D). Przewiednięcia były zdecydowanie większe. Zwisające kwiatostany zazwyczaj nie zdołały się wyprostować, a często również łamały się, co uniemożliwiało dalszy proces ich kwitnienia i zawiązywania łuszczyń. Niskie temperatury powodowały rozerwanie mocno uwodnionych komórek, a następnie zamieranie uszkodzonych fragmentów tkanek. Większość kwiatów w pełni rozwiniętych, a także najbardziej zaawansowanych rozwojowo pąków oraz zawiązków młodych łuszczyń ulegała trwałemu uszkodzeniu. Przemrożone kwiaty nie wiązały łuszczyń, zaś młode łuszczyńce wkrótce opadały. Skutkiem tego były widoczne na kwiatostanie same szypułki bez zawiązanych łuszczyń. Duże spadki temperatury (do -7°C) silnie zaburzyły prawidłowy wzrost i rozwój roślin (zwłaszcza pędu głównego), w efekcie także wysokość roślin przed zbiorem w obu wariantach (C i D) była istotnie mniejsza niż na kontroli (A) oraz w wariantach B, w którym przymrozek był mniej intensywny i trwał krócej (tab. 1).

Analiza zmienności plonowania wykazała, że symulowane przymrozki w fazie kwitnienia rzepaku przyczyniły się do znacznego spadku plonu nasion pojedynczej rośliny rzepaku (rys. 2), przy czym wielkość tych strat zależała od intensywności przymrozku i czasu trwania, natomiast nie zależała od roku badań. W przypadku gdy jednodniowy przymrozek nie przekraczał -3°C (wariant B), spadek plonu względem kontroli był tylko statystycznie nieistotny. Zdecydowanie większe i statystycznie istotne ubytki plonu (odpowiednio o 25 i 51%) wykazano gdy przymrozek był bardzo silny (do -7°C , wariant C), a zwłaszcza gdy występował przez 3 kolejne dni z rzędu (wariant D). Dudek i in. [2012] dowodzą również, że stopień szkodliwości spadku temperatury poniżej 0°C zależy od terminu wystąpienia i intensywności przymrozku, czasu trwania i fazy rozwojowej rośliny. Im występują później tym bardziej niebezpieczne są dla rzepaku, szczególnie gdy mają miejsce w fazie żółtego pąka i początku kwitnienia oraz wiązania łuszczyń. Budzyński [2010] uważa, że mogą one zniszczyć ponad 15% łuszczyń.

Tabela 1. Pokrój roślin przed zbiorem (średnia z lat 2014–2016)

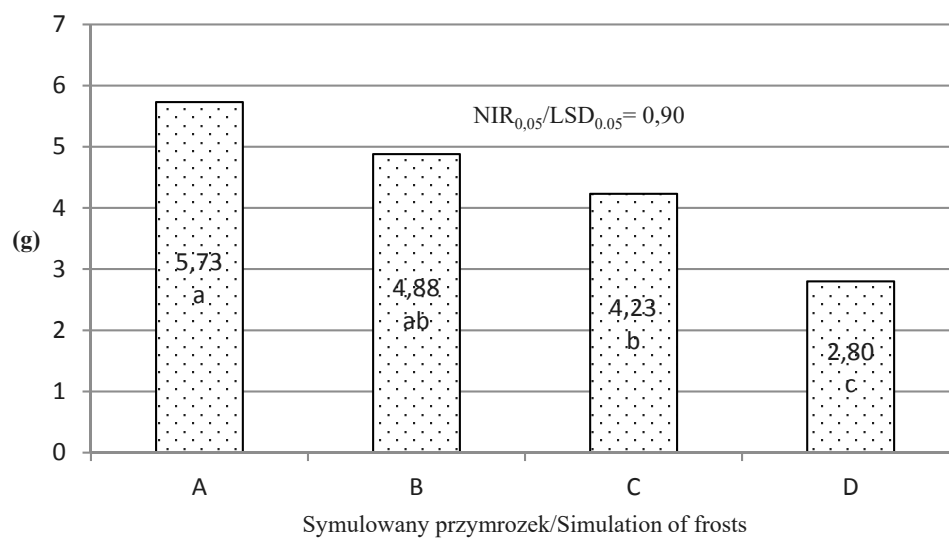
Table 1. Morphological character of plants before harvest (mean in years 2014–2016)

Symulowany przymrozek Simulation of frosts		Wysokość roślin przed zbiorem Plant height (cm)	Liczba rozgałęzień produkcyjnych I rzędu na roślinie No of branches per plant (szt./pcs)
A	Kontrola/Control	135 a	4,8 ab
B	Przymrozek 1 dzień, temperatura, do -3°C Frost 1 day, temperature, to -3°C	136 a	3,8 b
C	Przymrozek 1 dzień, temperatura, do -7°C Frost 1 day, temperature, to -7°C	115 b	5,0 a
D	Przymrozek 3 dni, temperatura, do -7°C Frost 3 day, temperature, to -7°C	112 b	4,9 ab
NIR _{0,05} /LSD _{0,05}		18,5	1,15
CV (%)		18,8	52,3
r		0,70*	0,63*

CV – współczynnik zmienności/variability coefficient; r – współczynnik korelacji z plonem nasion/correlation coefficient with seed yield

* – istotność korelacji na poziomie 0,05/correlation significance at 0.05 level

a, b – Wartości oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ /Values marked with the same letter do not differ at significance level $\alpha = 0.05$



Rys. 2. Plon nasion z rośliny; średnio z lat 2014–2016 (g)

Fig. 2. Seed yield of plant; mean in years 2014–2016 (g)

Prezentowane wyniki badań własnych wykazały, że symulowane wiosenne przymrozki istotnie wpływały na cechy charakteryzujące pokrój roślin przed zbiorem (wysokość roślin i liczbę rozgałęzień), a także istotnie różnicowały szczegółowe (liczbę łuszczyń na roślinie, liczbę nasion w łuszczyń, masę 1000 nasion) i podstawowe (masę nasion w łuszczyń i liczbę łuszczyń na rozgałęzieniu) elementy struktury plonu (tab. 2). Najbardziej zmiennym elementem plonotwórczym była liczba łuszczyń na roślinie i liczba rozgałęzień produkcyjnych I rzędu na roślinie. Oba te komponenty również najsilniej korelowały z plonem. Zmiany liczby łuszczyń na roślinie przebiegały prawie równoległe do zmian plonu nasion ($r=88$). Pinet i in. [2015] wykazali, że odbudowanie liczby łuszczyń było najważniejsze dla kompensacji plonu w odpowiedzi na obcinanie pąków kwiatowych lub kwiatostanów symulujących uszkodzenia tych organów w rzepaku. Liczba bowiem łuszczyń na roślinie, co wykazuje Kotecki i in. [2007], silnie determinowana jest przez warunki środowiska i w największym stopniu decyduje o wysokości plonu.

Tabela 2. Składowe plonu (średnia z lat 2014–2016)

Table 2. Yield components (mean in years 2014–2016)

Symulacja przymrozków Simulation of frosts	Liczba łuszczyń na roślinie No of pods per plant (szt./pcs)	Liczba nasion w łuszczyń No of seeds per pod (szt./pcs)	Masa 1000 nasion Weight of 1000 seeds (g)	Masa nasion w łuszczyń Weight of seeds per pod (mg)	Liczba łuszczyń na rozgałęzieniu No of pods per branches (szt./pcs)
A	108,2 a	19,3 a	2,76 ab	52,6 ab	25,9 ab
B	99,8 ab	18,2 a	3,07 a	55,4 a	33,3 a
C	84,6 bc	19,0 a	2,55 b	48,4 ab	22,1 ab
D	70,3 c	16,5 b	2,56 b	42,1 b	15,1 b
NIR _{0,05} /LSD _{0,05}	21,3	1,59	0,47	7,84	15,4
CV (%)	49,6	16,2	25,0	20,9	63,3
r	0,88*	0,15	0,12	0,19	-0,19

A, B, C, D – oznaczenia jak w tabeli 1/explanation as table 1

CV – współczynnik zmienności/variability coefficient; r – współczynnik korelacji z plonem nasion/correlation coefficient with seed yield

* – istotność korelacji na poziomie 0,05/correlation significance at 0.05 level

a, b – Wartości oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ /Values marked with the same letter do not differ at significance level $\alpha = 0.05$

Przebieg zjawiska kompensacji w dużej mierze zależy nie tylko od terminu wystąpienia przymrozku, ale także co pokazały nasze badania od intensywności czynnika stresującego. Mniejsza liczba łuszczyń na roślinie, spowodowana jednodniowym umiarkowanym (do -3°C) przymrozkiem (wariant B) została częściowo skompensowana zwiększoną masą 1000 nasion i liczbą łuszczyń na rozgałęzieniu. Zmniejszenie liczby łuszczyń na roślinie, z reguły powoduje u rzepaku wzrost komponentów plonu, których ostateczna wielkość ustalana jest w późniejszym czasie np. masa 1000 nasion. W pozostałych dwóch wariantach (C i D), w których czynnik stresowy był zdecydowanie silniejszy (do -7°C) lub występował przez 3 kolejne dni, wywołane

szkody spowodowały obok zmniejszonej liczby łuszczyń, ograniczenie również pozostałych komponentów plonu, zwłaszcza liczby nasion w łuszczyń. Przy silnym uszkodzeniu rośliny, mocno zaburzającym jej prawidłowy rozwój, kompensacja uszkodzeń przez pojedynczą roślinę była ograniczona, bowiem straty nie były wystarczająco kompensowane przez rozwój pozostałych komponentów plonu. Należy pamiętać, że zjawisko kompensacji nie dotyczy tylko pojedynczej rośliny ale również wyrównywania strat powstałych w zbiorowisku roślin (całej plantacji). Rośliny nieuszkodzone rozwijają się intensywniej i w ten sposób kompensują straty roślin uszkodzonych. Z prac niektórych autorów [Sauerman i Gronow 2007] wynika jednak, że już przy uszkodzeniu 25% roślin kompensacja nie równoważy strat plonu powstałych w wyniku tych uszkodzeń. Zjawisko kompensacji jest również bardzo silnie warunkowane czynnikami środowiskowymi. Efektywność kompensacji zależy od poziomu dostarczenia metabolitów do organów rośliny, na co wpływ ma stan odżywienia rośliny i zaopatrzenie we wszystkie niezbędne do prawidłowego wzrostu makro i mikroelementy [Gruntman i in. 2011, Grzebiś i Gaj 2000]. W badaniach własnych mniejsza efektywność kompensacji uszkodzeń wywołanych przymrozkami mogła być powodowana ograniczeniami wynikającymi z rozwoju roślin w wazonie.

WNIOSKI

1. Umiarkowane przymrozki (do -3°C , wariant B) powodowały u kwitnących roślin chwilowe przewiędnienia w postaci zwisających wierzchołków z kwiatostanem. W przypadku silniejszych przymrozków (do -7°C , wariant C i D) zwisające kwiatostany często łamały się uniemożliwiając dalszy proces ich kwitnienia i zawiązywania łuszczyń. Trwałemu uszkodzeniu ulegała również większość kwiatów w pełni rozwiniętych, a także najbardziej zaawansowanych rozwojowo pąków oraz zawiązków młodych łuszczyń. Przemrożone kwiaty nie wiązały łuszczyń, zaś młode łuszczyzny wkrótce opadały.
2. Symulowane przymrozki w fazie kwitnienia powodowały straty w plonie nasion pojedynczej rośliny rzepaku, które zależały od intensywności i liczby dni z przymrozkiem. Nieistotny względem kontroli spadek plonu obserwowano gdy jednodniowy przymrozek nie przekraczał -3°C (wariant B), natomiast duże straty plonu (odpowiednio o 25 i 51%) obserwowano gdy spadek temperatury był duży (do -7°C , wariant C), a zwłaszcza gdy występował przez 3 kolejne dni z rzędu (wariant D).
3. Bardzo silne przymrozki (do -7°C , wariant C i D) mocno zaburzające prawidłowy wzrost i rozwój roślin, zwłaszcza pędu głównego spowodowały istotne zmniejszenie wysokości roślin przed zbiorem, a także istotnie różnicowały badane elementy składowe plonu: liczbę łuszczyń na roślinie, liczbę nasion w łuszczyń, masę 1000 nasion, masę nasion w łuszczyń oraz liczbę rozgałęzień I rzędu i liczbę łuszczyń na rozgałęzieniu. Najbardziej zmiennym i najsilniej korelującym z plonem nasion elementem plonotwórczym była liczba łuszczyń na roślinie i liczba rozgałęzień produkcyjnych I rzędu na roślinie.

PIŚMIENICTWO

- Bielec-Bąkowska Z., Piotrowicz K. 2011. Wieloletnia zmienność okresu bezprzymrozkowego w Polsce w latach 1951–2006. *Prace i Studia Geograficzne* 47: 77–86.
- Budzyński W. 2010. Kapusta rzepak. W: *Rośliny oleiste – uprawa i zastosowanie*. Budzyński W., Zając T. (red.). Poznań. PWRiL, ss. 15–107.

- Dmoch J. 1996. Uwagi na temat ochrony rzepaku przed szkodnikami. *Post. Nauk Rol.* 2: 90–97.
- Doroszewski A., Wróblewska E., Józwicki T., Mizak K. 2013. Ocena szkód w roślinach sadowniczych i ogrodniczych powodowanych przez przymrozki w maju 2011 roku. *Acta Agrophys.* 20(2): 269–281.
- Dragańska E., Rynkiewicz I., Panfil M. 2004. Częstotliwość i intensywność występowania przymrozków w Polsce Północno-Wschodniej w latach 1971–2000. *Acta Agrophys.* 3(1): 35–41.
- Dudek S., Żarski J., Kuśmierk-Tomaszewska R. 2012. Tendencje zmian występowania przymrozków przygruntowych w rejonie Bydgoszczy. *Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie* 12(2): 93–106.
- Grabowski J. 2010. The occurrence of ground frost in the Mazurskie Lakeland between the years 1966 and 2005. *Rozprawy i Monografie, Acta Agrophys.* 185(6): 99–110.
- Gruntman M., Shirata C., Novoplansky A. 2011. Plasticity in apical dominance and damage tolerance under variable resource availability in *Medicago truncatula*. *Plant Ecol.* 212: 1537–1548
- Grzebisz W., Gaj R. 2000. Zbilansowane nawożenie rzepaku ozimego. W: Zbilansowane nawożenie rzepaku. Aktualne problemy. Grzebisz W. (red.). Wyd. AR Poznań, 83–98.
- Heino R., Bråzdil R., Forland E., Tuomenvirta H., Alexandersson H., Beniston M., Pfister C., Rebetz M., Rosenhagen G., Rösner S., Wibig J. 1999. Progress in the study of climatic extremes in Northern and Central Europe. *Climatic Change* 42: 151–181.
- Kolasiński J., 2008. Przymrozki wiosenne i jesienne – występowanie i tendencje zmian w okresie 1966–2005 (na przykładzie Falent). *Przegląd Geofizyczny* 53(3–4): 303–310.
- Kossowska-Cezak U. 2003. Współczesne ocieplenie a częstość dni charakterystycznych. *Balneologia Polska* 45(1–2): 92–100.
- Kotecki A., Malarz W., Kozak M., Pogorzelec A. 2007. Wpływ rozmieszczenia roślin w łanie na rozwój i plonowanie mieszańcowych i populacyjnych odmian rzepaku. Część I. Morfologia roślin i plony nasion. *Zesz. Nauk. UP Wrocław* 553, Rol. 90: 7–39.
- Koźmiński Cz. 1976. Występowanie ciągów dni przymrozkowych w okresie wegetacyjnym na terenie Polski. *Przeg. Geogr.* 48(1): 75–93.
- Kuchar L. 2009. Application of mathematical methods for crop yield estimation under changing climatic conditions. *Rozprawy i Monografie, Acta Agrophys.* 169(1): 52–62.
- Lardon A., Triboi-Blondel A.M. 1995. Cold and freeze stress at flowering. Effects on seed yields in winter rapeseed. *Field Crops Res.* 44: 95–101.
- Loginov V., Mikutskii V., Kuznetsov G. 2007. Statistical and probability analysis of frost in Belarus. *Russian Meteorol. Hydrol.* 32: 651–657.
- Mager P., Kopeć M. 2010. Okres wegetacyjny w Polsce i w Europie w dobie obserwowanego ocieplenia. W: *Klimat Polski na tle klimatu Europy – zmiany i ich konsekwencje*. Bednorz E., Kolendowicz L. (red.). Bogucki Wyd. Nauk., Seria: Studia z Geografii i Geologii 16: 49–63.
- Pinet A., Mathieu A., Jullien A. 2015. Floral bud damage compensation by branching and biomass allocation in genotypes of *Brassica napus* with different architecture and branching potential. *Front Plant Sci.* 6: 70. (DOI: 10.3389/fpls.2015.00070).
- Sauerman W., Gronow J. 2007. Einfluss von sehr starkem Befall mit Rapsglanzkäfern auf die Ertragsleistung von Winterraps (www.ufop.de).
- Starkel L., Kundzewicz W. 2008. Konsekwencje zmian klimatu dla zagospodarowania przestrzennego kraju. *Nauka* 1: 85–101.
- Tomczyk A. M. 2015. Przymrozki wiosenne i jesienne oraz okres bezprzymrozkowy na Nizinie Wielkopolskiej w latach 1981–2010. *Współczesne problemy i kierunki badawcze w geografii*. Wyd. UJ Kraków T. 3, 245–256.
- Wieteska S. 2011. Ryzyko występowania przymrozków w polskiej strefie klimatycznej. *Acta Univ. Lodziensis, Folia Oeconomica* 259: 143–157.
- Wójtowicz M., Wielebski F. 2011. Zdolności kompensacyjne rzepaku uszkodzonego przez czynniki stresogenne na różnych etapach jego rozwoju oraz ich efektywność. *Rośliny Oleiste/Oilseed Crops* 32(2): 223–230.

F. WIELEBSKI, M. WÓJTOWICZ

EFFECT OF SIMULATED SPRING FROSTS ON DAMAGE TO FLOWERING WINTER RAPE PLANTS AND LOSSES IN YIELD OF SEEDS

Summary

The paper presents the results of a three-year study (2014–2016), in which the effect of simulated spring frosts on damage to flowering rape plants and the yield of seeds and its components was determined. For this purpose, the vases with flowering rape plants were placed in a temperature-controlled cooling chamber, where according to the experimental diagram, they were subjected to a low temperature (simulation of frosts) temporarily. The scheme of the experiment comprised 4 objects (each in 4 repetitions): 1 control object (A) and 3 objects (B, C and D) with different intensity of impact of low temperatures on oilseed rape in the flowering phase (B – frost 1 day, temperature, to -3°C ; C – frost 1 day, temperature, to -7°C and D – frost 3 days, temperature, to -7°C). Moderate frosts (to -3°C , object B) caused temporary wilting in flowering plants in the form of hanging down vertices with inflorescence, which in the case of very strong frosts (to -7°C , objects C and D) usually broke preventing the further flowering process and the formation of pods. The majority of fully developed flowers, as well as the most advanced buds and buds of young pods were also damaged. Frozen flowers did not bind pods, and young pods soon fell. Simulated frosts in the flowering phase caused losses in the yield of single rapeseed plants. The decrease in yield, irrelevant to control, was observed when the one-day frost did not exceed -3°C (object B), whereas large yield losses (by 25 and 51% respectively) were observed when the temperature drop was high (to -7°C , object C), especially when there was for three consecutive days in a row (object D). Very strong frosts (to -7°C , objects C and D), strongly disturbing the proper growth and development of plants, especially the main shoot, caused a significant reduction in the height of plants before harvesting, and significantly differentiated the tested elements of the yield structure: number of pods per plant, number of seeds in pod, weight of 1000 seeds, weight of seeds in silique and number of branches and number of siliques on branching. The most variable and the most correlating yield component with the yield of seeds was the number of siliques per plant and the number of 1st order production branches on the plant. In the case of a very strong frost (to -7°C , objects C and D), compensation of damage by a single plant proved to be ineffective, as losses were not compensated by the development of other yield components.

Key words: winter rape, frosts in the flowering phase, damage, yield of seeds, yield components

Zaakceptowano do druku – *Accepted for print*: 7.06.2019

Do cytowania – *For citation*

Wielebski F., Wójtowicz M. 2019. Wpływ symulowanych przymrozków wiosennych na uszkodzenia kwitnących roślin rzepaku ozimego oraz straty w plonie nasion. *Fragm. Agron.* 36(2): 97–105.