

WPLÝW WARUNKÓW METEOROLOGICZNYCH NA POCZĄTEK
WYBRANYCH FAZ ROZWOJOWYCH RZEPAKU OZIMEGO WIOSNĄ
I LATEM*

Krzysztof Bartoszek

Pracownia Agrometeorologii, Katedra Technologii Produkcji Roślinnej i Towaroznawstwa,
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
ul. Akademicka 15, 20-950 Lublin
e-mail: krzysztof.bartoszek@up.lublin.pl

Streszczenie. W pracy wykorzystano dane dotyczące dat początku fazy kwitnienia i dojrzewania rzepaku ozimego z okresu 1974/75-2008/09. Wartości odnosiły się do wyników pomiarów oraz obserwacji wykonanych w Zakładzie Doświadczalnym Oceny Odmian w Bezku koło Chelma. W celu określenia współzmienności i współzależności elementów meteorologicznych z datami początku analizowanych fenofaz zastosowano korelację liniową Pearsona oraz analizę regresji. Badania wykazały, że początek fazy kwitnienia oraz dojrzewania w największym stopniu zależał od warunków termicznych w kwietniu i maju. Istotne znaczenie dla wzrostu i rozwoju rzepaku ozimego w okresie od marca do lipca miał też przebieg temperatury powietrza oraz gleby w okresie zimowym. Na późniejszy początek fazy kwitnienia i dojrzewania rzepaku ozimego wpływ miała także większa liczba dni z przygruntowym przymrozkiem oraz niższe sumy usłonecznienia w okresie wiosennym. Ponadto stwierdzono występowanie w ostatnich latach coraz wcześniejszych dat początku fazy kwitnienia i dojrzewania. W tym przypadku szczególnie wyróżniała się ta pierwsza fenofaza (współczynnik kierunkowy trendu istotny statystycznie na poziomie $\alpha = 0,01$), co należy wiązać z notowanym w Polsce od dwóch dekad wzrostem temperatury powietrza na przełomie zimy i wiosny.

Słowa kluczowe: rzepak ozimy, fenofazy, kwitnienie, dojrzewanie, Lubelszczyzna

WSTĘP

Prawidłowy wzrost i rozwój roślin uprawnych w znacznym stopniu zależy od optymalnych dla nich dat rozpoczęcia poszczególnych faz rozwojowych. W przypadku rzepaku ozimego duże znaczenie wiosną i latem przypisuje się warunkom meteorologicznym, które mają wpływ na początek m.in. kwitnienia roślin i dojrzewania nasion.

* Praca została wykonana w ramach projektu badawczego Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego nr N N310 448738 realizowanego w latach 2010-2011.

Jednym z czynników, który w okresie wiosennym może powodować duże szkody na plantacjach roślin są wiosenne przymrozki. Największą wrażliwość na to zjawisko rzepak ozimy wykazuje przed początkiem kwitnienia i przez następne dwie dekady (Koźmiński i in. 1993). Wystąpienie późnych wiosennych przymrozków często przyczynia się do uszkodzania kwiatów i zawiązków łuszczyń pędu głównego, a rezultatem tego może być w późniejszym okresie mniejsza liczba nasion w łuszczyńce oraz masa 1000 nasion (Lardon i Triboi-Blondel 1994).

Do innych ważnych czynników abiotycznych, mających podczas wiosny niekorzystny wpływ na wzrost i rozwój rzepaku ozimego, zalicza się występowanie wysokich wartości temperatury powietrza. Na tego rodzaju stres termiczny rzepak najbardziej wrażliwy jest podczas kwitnienia roślin (Angadi i in. 2000, Kutcher i in. 2010), a w nieco mniejszym stopniu od końca fazy pąkowania do początku fazy formowania nasion (Morrison 1993). Następstwem pojawiania się wiosną większej liczby dni z temperaturą maksymalną powyżej 30°C jest zwykle mniejsza masa 1000 nasion (Young i in. 2004), słabsze wykształcenie nasion w łuszczyńcach oraz niższa zawartość suchej masy w nadziemnej części rośliny (Angadi i in. 2000).

Niewielkie sumy opadów atmosferycznych wiosną mogą z kolei przyczyniać się do wystąpienia stresu wodnego, co w konsekwencji wpływa na długość międzyfaz rzepaku ozimego (Robertson i Holland 2004). Niedobór wody w okresie tworzenia się pąków powoduje często ich zasychanie i opadanie, a w rezultacie zmniejsza się liczba łuszczyń. Uważa się, że największy wpływ suszy na spadek plonu nasion rzepaku ma miejsce w fazie kwitnienia (Bouchereau i in. 1996, Nielsen 1997, Tesfamariam i in. 2010).

Celem pracy było określenie wpływu warunków atmosferycznych na początek fazy kwitnienia i dojrzewania rzepaku ozimego na obszarze środkowo-wschodniej Lubelszczyzny w okresie 1974/75-2008/09.

MATERIAŁ I METODY

W pracy wykorzystano dane dotyczące dat początku fazy kwitnienia i dojrzewania rzepaku ozimego (*Brassica napus*) z okresu 1974/75-2008/09. Wartości odnosiły się do wyników pomiarów oraz obserwacji wykonanych w Zakładzie Doświadczalnym Oceny Odmian w Bezku koło Chełma (51°11'N, 23°15'E, 224 m n.p.m.), należącym do Centralnego Ośrodka Badania Odmian Roślin Uprawnych (COBORU). Rezultaty doświadczeń z ZDOO Bezek uważa się za reprezentatywne dla zachodniej części Polesia Wołyńskiego i środkowo-wschodniej części Wyżyny Lubelskiej (Machnik 1973). Po słabym przezimowaniu rzepaku w sezonach 1978/79, 1981/82, 1983/84, 1984/85, 1995/96, 1996/97 i 2002/03 zdecydowano na początku wiosny zaorać plantacje tej rośliny.

Przez cały okres badań stosowano przeciętny poziom agrotechniki, a przedplonem rzepaku ozimego był najczęściej groch. Na polach doświadczalnych uprawiano odmiany erukowe, bezerukowe, populacyjne oraz mieszańcowe rzepaku, a do badań wybrano tylko takie, które były zarejestrowane przez COBORU i utrzymywały się w produkcji przynajmniej przez kilka lat. Zastosowanie nieparametrycznego testu U Manna-Whitneya pozwoliło wykazać brak istotnych statystycznie różnic (na poziomie $\alpha = 0,05$) pomiędzy wymienionymi typami odmian rzepaku, co oznacza, że charakteryzowane na ich podstawie daty kwitnienia i dojrzewania są reprezentatywne dla całego gatunku.

Za początek kwitnienia rzepaku przyjęto datę, kiedy zakwitło około 10% roślin danej odmiany na poletku, natomiast koniec kwitnienia notowano, gdy przekwitły wszystkie kwiaty u ponad 90% roślin (Heimann i Broniarz 2008). Z kolei za datę początku dojrzałości technicznej przyjmowano termin, gdy łodygi rzepaku były bladezielone, łuszczyzny pożółkłe, a nasiona całkowicie zbrunatniałe.

Wartości temperatury powietrza i gleby, opadów atmosferycznych oraz pokrywy śnieżnej pochodziły z posterunku meteorologicznego znajdującego się w sąsiedztwie pól doświadczalnych. W przypadku temperatury powietrza wykorzystano wartości średnie dobowe, maksymalne i minimalne (na wysokości 2 m i 5 cm n.p.g.), a ponadto zestawiono liczbę dni gorących (gdy $T_{max} > 25^{\circ}\text{C}$), mroźnych ($T_{max} < 0^{\circ}\text{C}$) oraz dni z przygruntowym przymrozkiem (gdy $T_{sr} \geq 0^{\circ}\text{C}$ oraz $T_{min5cm} < 0^{\circ}\text{C}$). Na podstawie miesięcznych wartości temperatury powietrza i sum opadów atmosferycznych wyznaczono wskaźnik suchości Peda, którego dodatnie wartości mogą wskazywać na występowanie suszy meteorologicznej.

Ze stacji hydrologiczno-meteorologicznej IMGW we Włodawie ($51^{\circ}33'\text{N}$, $23^{\circ}33'\text{E}$, 175 m n.p.m.), położonej w odległości około 45 km na północny wschód od Bezka, pozyskano sumy dobowe usłonecznienia rzeczywistego oraz wartości wilgotności względnej powietrza z godziny 12 UTC¹.

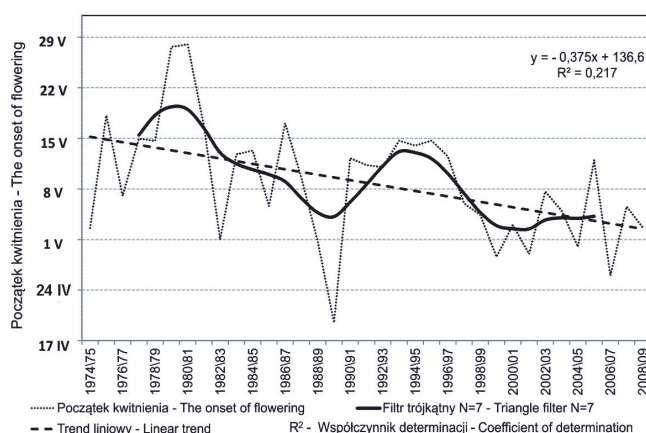
W celu określenia współzmienności elementów meteorologicznych z datami początku fazy kwitnienia i dojrzewania rzepaku ozimego zastosowano korelację liniową Pearsona, a istotność statystyczną współczynnika korelacji sprawdzano testem t-Studenta. Do oceny zależności między wyżej wymienionymi zmiennymi wykorzystano analizę regresji, zaś do stwierdzenia istotności statystycznej współczynników kierunkowych trendów zastosowano nieparametryczny test Mann-Kendalla.

WYNIKI I DYSKUSJA

Na obszarze środkowo-wschodniej Lubelszczyzny początek kwitnienia rzepaku ozimego występował z dość znaczną zmiennością (rys. 1). Wyróżniały się dwa

¹Uzyskanie tych danych było możliwe w wyniku zawartego porozumienia między Instytutem Meteorologii i Gospodarki Wodnej a Uniwersytetem Przyrodniczym w Lublinie.

okresy, gdy daty początku omawianej fazy rozwojowej notowano wcześniej niż przeciętnie, tj. druga połowa lat 80. XX w. oraz pierwsza dekada XXI w. Współczynnik kierunkowy trendu był istotny statystycznie na poziomie $\alpha = 0,01$, a jego wartość wskazuje na wcześniejsze w badanym okresie zakwitanie roślin rzepaku, o około 4 dni na 10 lat (ocena rangowa trendu $\tau = -0,36$). Zjawisko to można powiązać z występowaniem w ostatnich latach, pod koniec zimy i wiosną, wyższych od normy wartości temperatury powietrza w różnych regionach Polski (Kozuchowski i Żmudzka 2001, Michalska 2011).



Rys. 1. Wieloletnia zmienność dat początku kwitnienia rzepaku ozimego na obszarze środkowo-wschodniej Lubelszczyzny w okresie 1974/75-2008/09 (brakujące dane uzupełniono wartościami uzyskanymi z modelu regresji umieszczonym w tabeli 3)

Fig. 1. Long-term variability of the onset of flowering stage of winter rapeseed in the Central Eastern Lublin Region from 1974/75 to 2008/09 (to complement the missing data, the regression model placed in Table 3 was used)

Początek analizowanej fenofazy zanotowano najwcześniej 19 kwietnia 1990 r., natomiast najpóźniej 28 maja 1981 r. (przeciętna data to 8 maja). W pierwszym przypadku wpływ na to miała łagodna i małośnieżna zima oraz bardzo ciepła wiosna, z kolei ekstremalnie późny początek kwitnienia rzepaku w 1981 r. był związany z bardzo dużą liczbą dni z silnym przygruntowym przymrozkiem ($T_{min} \leq -6^{\circ}\text{C}$) w kwietniu i maju (tab. 1).

Współczynnik korelacji między liczbą dni z przygruntowym przymrozkiem (niezależnie od jego intensywności) w okresie od kwietnia do maja a datami początku fazy kwitnienia rzepaku ozimego był dodatni i istotny statystycznie na poziomie $\alpha = 0,05$ ($r = 0,43$). Jednakże stwierdzono, że wpływ przymrozków na początek tej fazy rozwojowej jest niejednoznaczny i zależy od warunków termicznych na wiosnę (rys. 2). Podczas cieplej wiosny większa niż przeciętnie licz-

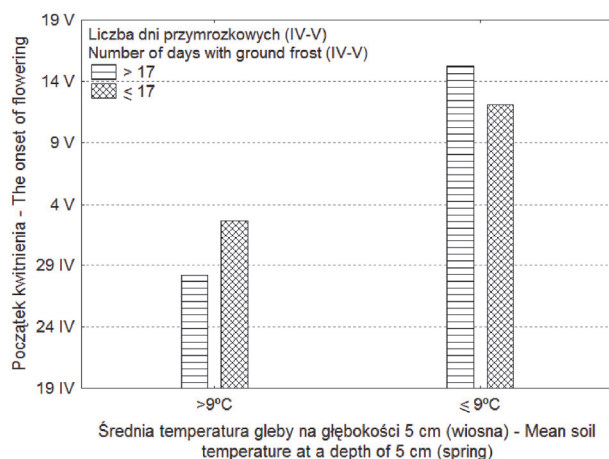
ba dni przymrozkowych nie wpływała na późniejszy termin zakwitania roślin, z kolei niższe wartości temperatury powietrza i gleby o tej porze roku najprawdopodobniej spowalniały proces regeneracji uszkodzeń pąków kwiatowych przez mróz, co mogło mieć istotne znaczenie na opóźnianie się początku tej fenofazy.

Tabela 1. Wartości charakterystyk wybranych elementów meteorologicznych w sezonach wegetacji rzepaku ozimego o wczesnym i późnym początku fazy kwitnienia

Table 1. The values of selected meteorological characteristics in growing seasons with early and late onset of flowering stage of winter rapeseed

Okresy wegetacji – Vegetation seasons	Data – Date	1	2	3	4
1989/90	19 IV	36	1,7	9,0	4
2006/07	26 IV	30	1,8	9,8	2
1988/89	30 IV	24	0,8	9,1	0
1980/81	28 V	68	-0,8	7,2	14
1979/80	27 V	59	-0,6	4,3	0
1975/76	18 V	83	-0,8	5,6	4
Średnia – Mean	8 V	62	-0,3	7,6	1,6

Objaśnienia: 1 – liczba dni z pokrywą śnieżną (listopad-marzec); 2 – średnia temperatura gleby na głębokości 5 cm w zimie (°C); 3 – średnia temperatura powietrza wiosną (°C); 4 – liczba dni z silnym przygruntowym przymrozkiem, gdy $t_{\min} \leq -6^{\circ}\text{C}$ (kwiecień-maj) – Explanations: 1 – the number of days with snow cover (November-March); 2 – mean soil temperature at a depth of 5 cm in winter (°C); 3 – mean air temperature in spring (°C); 4 – the number of days with severe ground frost ($t_{\min} \leq -6^{\circ}\text{C}$) from April to May.



Rys. 2. Związek między średnimi wartościami temperatury gleby na głębokości 5 cm wiosną a liczbą dni z przygruntowym przymrozkiem ogółem (kwiecień-maj) w odniesieniu do początku fazy kwitnienia rzepaku
Fig. 2. The relationship between mean soil temperature at a depth of 5 cm in spring and the number of days with ground frost (April-May) in relation to the onset of flowering

Daty początku kwitnienia rzepaku ozimego wykazywały największą współzmienną z przebiegiem warunków termicznych w zimie oraz wiosną (tab. 2, rys. 3a). Długa i mroźna zima zwykle przyczyniała się do opóźnienia wznowienia vegetacji, zaś niższe wartości temperatury powietrza i gleby w okresie wiosennym spowalniały wzrost i rozwój roślin, co prowadziło do przesunięcia w czasie początku tej fazy fenologicznej. Wolniejszy wzrost i rozwój rzepaku był też rezultatem mniejszej liczby godzin usłonecznienia rzeczywistego na wiosnę (tab. 2, rys. 3b) i wpływał na słabszą niż przeciętnie aktywność fotosyntetyczną roślin. Nie stwierdzono natomiast istotnych statystycznie związków między analizowaną cechą a sumą opadów atmosferycznych i wartościami wskaźnika suchości w tym okresie roku.

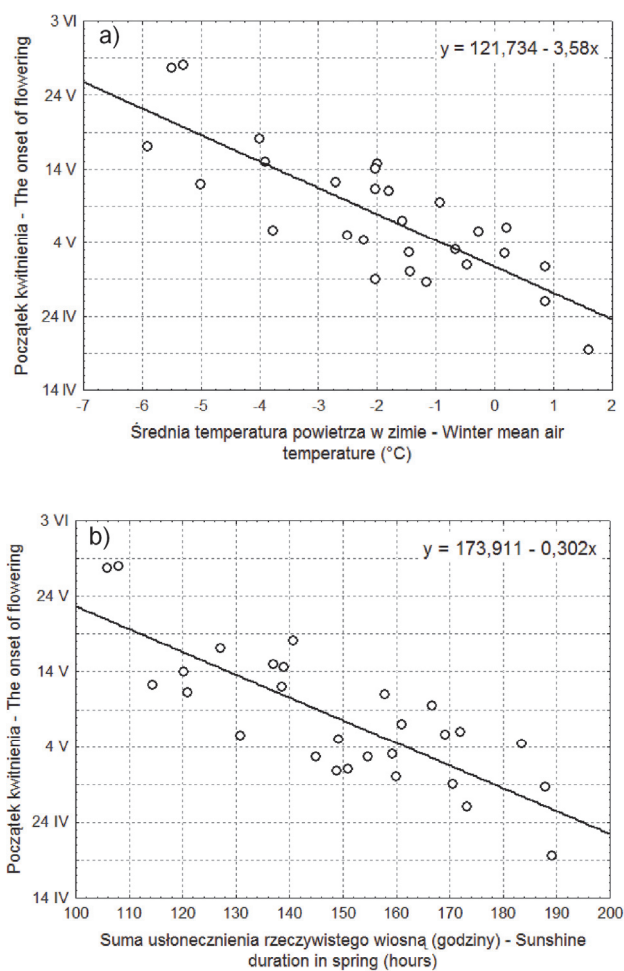
Tabela 2. Współczynniki korelacji liniowej między początkiem kwitnienia rzepaku a wartościami charakterystyk poszczególnych elementów meteorologicznych w określonych miesiącach i porach roku (1974/75-2008/09)

Table 2. Coefficients of linear correlation between the onset of flowering and the values of selected meteorological characteristics in months and seasons (1974/75-2008/09)

Miesiące – Months	Temperatura powietrza Air temperature					Temperatura gleby Soil temperature			Usłonecznienie rzeczywiste Sunshine duration
	Średnia – Mean	Maksymalna Maximum	Minimalna Minimum	Min. (5 cm n.p.g.) Min. (5 cm a.g.l.)	Dni mroźne Frosty days	5 cm	10 cm	20 cm	
I	-0,55**	-0,54**	-0,51**	-0,53**	0,59**	-0,56**	-0,51**	-0,46*	-0,11
II	-0,42*	-0,47*	-0,36	-0,30	0,45*	-0,59**	-0,59**	-0,65**	-0,21
III	-0,61**	-0,61**	-0,56**	-0,48*	0,53**	-0,67**	-0,69**	-0,71**	-0,42*
IV	-0,62**	-0,59**	-0,52**	-0,42*	–	-0,71**	-0,75**	-0,79**	-0,36
V	-0,53**	-0,54**	-0,40*	-0,50*	–	-0,68**	-0,70**	-0,71**	-0,46*
zima (XII-II)	-0,63**	-0,66**	-0,56**	-0,58**	0,66**	-0,74**	-0,75**	-0,71**	-0,34
wiosna (III-V)	-0,81**	-0,81**	-0,46*	-0,72**	–	-0,84**	-0,85**	-0,85**	-0,63**

Objaśnienia: ** – poziom istotności $\alpha = 0,01$; * – poziom istotności $\alpha = 0,05$; n.p.g – nad poziomem gruntu – Explanations: ** – significance level $\alpha = 0.01$; * – significance level $\alpha = 0.05$; a.g.l. – above ground level.

Warunki termiczne w zimie oraz wiosną wyjaśniały w około 75% zmienność dat początku kwitnienia rzepaku na badanym obszarze (tab. 3). Największe znaczenie można przypisać średniej temperaturze gleby na głębokości 5 cm w okresie wiosennym (współczynnik korelacji cząstkowej $r = -0,62$) oraz na głębokości 10 cm w zimie ($r = -0,43$), a nieco mniejsze ($r = 0,33$) liczbie dni z przygruntowym przymrozkiem w okresie od kwietnia do maja.



Rys. 3. Wykresy rozrzutu z dopasowaną prostą regresji ($n = 28$), które przedstawiają związek dat początku kwitnienia rzepaku ozimego ze średnią temperaturą powietrza w zimie (a) i sumą usłonecznienia rzeczywistego wiosną (b)

Fig. 3. A scatter plots with a line of regression function ($n = 28$) showing the relationship between the onset of flowering and mean air temperature in winter (a) and sunshine duration in spring (b)

Tabela 3. Równanie regresji wielokrotnej, określające zależność początku fazy kwitnienia rzepaku ozimego od wybranych charakterystyk temperatury powietrza i gleby

Table 3. The polynomial regression model which defines the relationship between the onset of flowering and selected characteristics of air and soil temperature

Model regresji wielokrotnej Polynomial regression model	R ² (%)	Statystyka F F-distribution	Błąd standardowy Standard error
$y = 156,835 - 3,405x_1 + 0,246x_2 - 3,687x_3$	74,7%	24,6	4,6

Objaśnienia: R² (%) – współczynnik determinacji; y – data początku kwitnienia (numer dnia w roku); x₁ – średnia temperatura gleby na głębokości 5 cm wiosną (°C); x₂ – liczba dni z przygruntowym przymrozkiem (kwiecień-maj); x₃ – średnia temperatura gleby na głębokości 10 cm w zimie (°C).

Explanations: R² (%) – the coefficient of determination; y – the onset of flowering (day number in a year); x₁ – mean soil temperature at a depth of 5 cm in spring (°C); x₂ – the number of days with ground frost (April-May); x₃ – mean soil temperature at a depth of 10 cm in winter (°C).

Na obszarze środkowo-wschodniej Lubelszczyzny w analizowanym okresie faza kwitnienia trwała przeciętnie 21 dni, bez wyraźnego trendu zmian w jej długości. Najkrócej rośliny rzepaku kwitły w sezonie 1979/80 (15 dni), najdłużej zaś w sezonie 1990/91 (27 dni). Podczas tej fazy rozwojowej przeciętna suma temperatur efektywnych wynosiła 286,7°C, a zmiany wartości tej charakterystyki zależały nie tylko od czasu trwania kwitnienia, ale także od warunków termicznych i sum usłonecznienia w tym okresie (tab. 4).

Tabela 4. Współczynniki korelacji liniowej między długością fazy kwitnienia rzepaku ozimego a charakterystykami temperatury powietrza i sumą usłonecznienia rzeczywistego

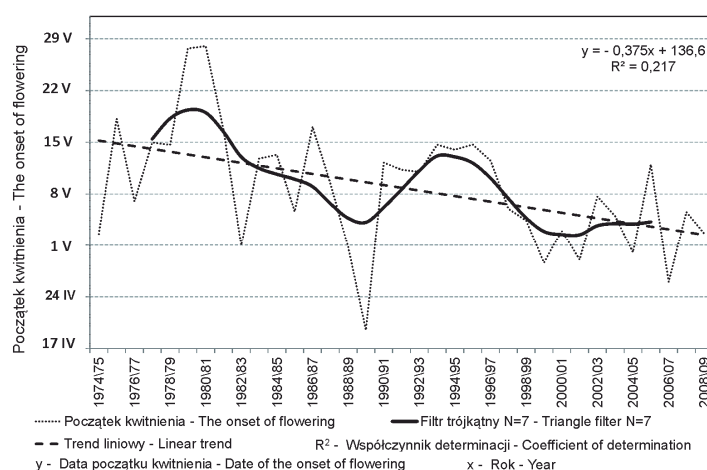
Table 4. Coefficients of linear correlation between the duration of flowering stage and selected characteristics of air temperature and sunshine duration

Temperatura powietrza – Air temperature				Dni gorące Hot days	Usłonecznienie rzeczywiste Sunshine duration
Średnia Mean	Maksymalna Maximum	Minimalna Minimum	Min. (5c m n.p.g.) Min. (5 cm a.g.l.)		
-0,61**	-0,60**	-0,43*	-0,38	-0,53*	-0,43*

Objaśnienia jak pod Tabelą 2 – Explanations as in Table 2.

W pracy scharakteryzowano również wpływ warunków pogodowych na rozpoczęcie fazy dojrzewania, która stanowi ostatni etap rozwoju rzepaku ozimego w jego okresie wegetacji. W fazie tej stopniowo zmienia się barwa luszczyn i nasion tej rośliny, a ponadto następuje z nich ubytek wody i rozkład chlorofilu (Muśnicki 1989).

Na obszarze środkowo-wschodniej Lubelszczyzny daty początku dojrzewania odznaczały się również dość dużą zmiennością, gdyż omawiana fenofaza rozpoczynała się między końcem czerwca a ostatnią dekadą lipca (rys. 4). W porównaniu do dat początku kwitnienia, w tym przypadku wartość współczynnika kierunkowego trendu była nieistotna statystycznie (ocena rangowa trendu $\tau = -0,15$).



Rys. 4. Wieloletnia zmienność dat początku fazy dojrzewania rzepaku ozimego na obszarze środkowo-wschodniej Lubelszczyzny w okresie 1974/75-2008/09 (brakujące dane uzupełniono wartościami uzyskanymi z modelu regresji umieszczonym w Tabeli 7)

Fig. 4. Long-term variability of the onset of ripening stage of winter rapeseed in the Central Eastern Lublin Region from 1974/75 to 2008/09 (to complement the missing data, the regression model placed in Table 7 was used)

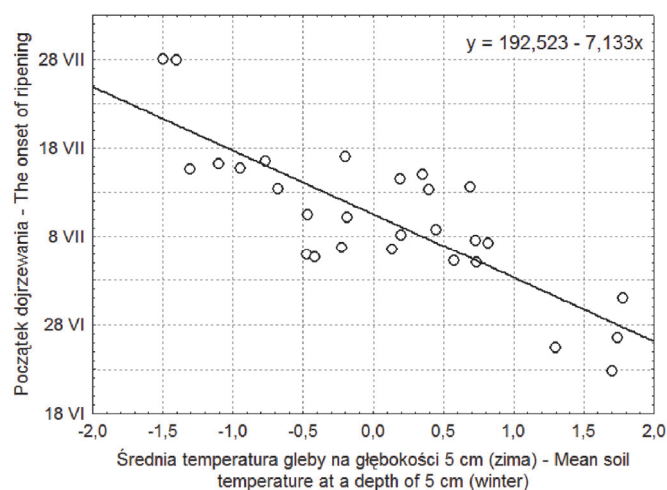
Najwcześniej faza dojrzewania rozpoczęła się 22 czerwca 1999 r., zaś najpóźniej 28 lipca 1980 r. (średnia data – 10 lipiec). Początek tej fenofazy w istotnym stopniu nawiązywał do przebiegu wartości temperatury gleby i powietrza w okresie zimowym i na wiosnę (tab. 5). Łagodna zima i ciepła wiosna (rys. 5) przyczyniały się do wcześniejszego początku dojrzewania nasion rzepaku. Przyspieszonemu dojrzewaniu sprzyjała również większa liczba dni gorących w maju i czerwcu, niższa wilgotność względna wiosną oraz wyższe sumy usłonecznienia rzeczywistego o tej porze roku (tab. 5 i 6). Ponadto, niezależnie od przebiegu warunków termicznych na wiosnę, częstsze występowanie przygruntowych przymrozków w kwietniu i maju najprawdopodobniej powodowało uszkodzenia kwiatów rzepaku i wpływało na nieco późniejszy początek dojrzewania nasion (rys. 6). Współczynnik korelacji między datami początku tej fenofazy a liczbą dni z przymrozkiem był dodatni i istotny statystycznie ($r = 0,41$) na poziomie $\alpha = 0,05$.

Tabela 5. Współczynniki korelacji liniowej między początkiem fazy dojrzewania a wartościami charakterystyk poszczególnych elementów meteorologicznych w określonych miesiącach i porach roku

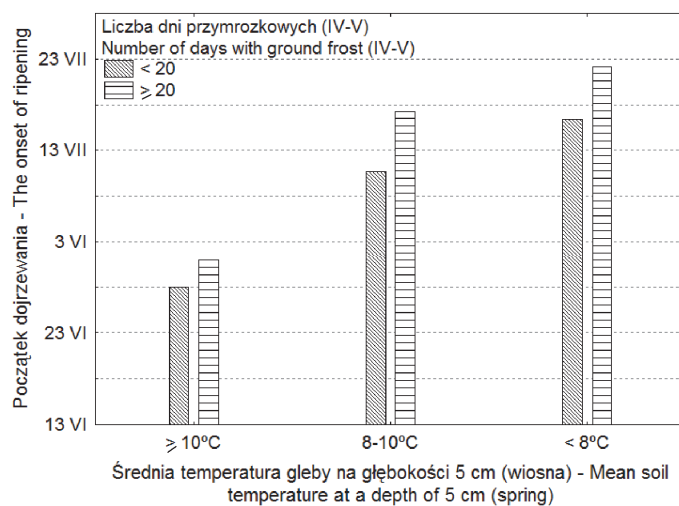
Table 5. Coefficients of linear correlation between the onset of ripening stage and the values of selected meteorological characteristics in months and seasons

Miesiące – Months	Temperatura powietrza – Air temperature					Temperatura gleby Soil temperature			Opady Precipitation	Usłonecznienie ręczyste Sunshine duration	Wilgotność względna Relative humidity	
	Srednia – Mean	Maksymalna Maximum	Minimalna Minimum	Min. (5 cm n.p.g.) Min. (5 cm a.g.l.)	Dni mroźne Frosty days	Dni gorące Heat days	5 cm	10 cm				20 cm
I	-0,41*	-0,41*	-0,38	-0,45*	0,49*	-	-0,49*	-0,45*	-0,40*	-0,03	-0,14	-0,04
II	-0,41*	-0,45*	-0,35	-0,30	0,45*	-	-0,56**	-0,55**	-0,57**	-0,24	-0,19	0,48*
III	-0,45*	-0,47*	-0,38	-0,36	0,42*	-	-0,54**	-0,56**	-0,57**	-0,18	-0,44*	0,45*
IV	-0,58**	-0,55**	-0,49*	-0,46*	-	-	-0,67**	-0,69**	-0,72**	-0,13	-0,30	-0,06
V	-0,60**	-0,63**	-0,41*	-0,50**	-	-0,40*	-0,74**	-0,74**	-0,74**	0,04	-0,60**	0,37
VI	-0,38	-0,43*	-0,12	-0,39	-	-0,42*	-0,49*	-0,52**	-0,53**	-0,19	-0,25	0,19
VII	-0,18	-0,17	-0,17	-0,53**	-	-0,20	-0,17	-0,18	-0,19	-0,06	0,05	0,05
Zima Winter (XII-II)	-0,49*	-0,53**	-0,41*	-0,48*	0,55**	-	-0,66**	-0,66**	-0,60**	-0,11	-0,22	0,26
Wiosna Spring (III-V)	-0,73**	-0,75**	-0,43*	-0,66**	-	-0,43*	-0,86**	-0,80**	-0,79**	-0,14	-0,68**	0,43*

Objasnienia jak pod Tabelą 2 – Explanations as in Table 2.



Rys. 5. Wykres rozrzutu z dopasowaną prostą regresji ($n = 28$), które przedstawiają związek dat początku fazy dojrzewania rzepaku ozimego ze średnią temperaturą gleby na głębokości 5 cm zimą
Fig. 5. A scatter plot with a line of regression function ($n = 28$) showing the relationship between the onset of ripening and mean soil temperature at a depth of 5 cm in winter



Rys. 6. Związek między średnimi wartościami temperatury gleby na głębokości 5 cm wiosną a liczbą dni z przygruntowym przymrozkiem ogółem (kwiecień-maj) w odniesieniu do początku fazy dojrzewania rzepaku

Fig. 6. The relationship between mean soil temperature at a depth of 5 cm in spring and the number of days with ground frost (April-May) in relation to the onset of ripening

Tabela 6. Wartości charakterystyk wybranych elementów meteorologicznych w sezonach wegetacji rzepaku ozimego o wczesnym i późnym początku fazy dojrzewania

Table 6. The values of selected meteorological characteristics in growing seasons with early and late onset of ripening stage of winter rapeseed

Okresy wegetacji Vegetation seasons	Data – Date	1	2	3	4
1999/00	22 VI	563,5	3	11,6	56,1
2001/02	25 VI	511,8	0	11,4	56,3
1989/90	26 VI	567,3	2	10,2	51,7
2006/07	30 VI	519,6	0	11,6	56,5
1980/81	28 VII	443,4	7	8,0	64,1
1979/80	27 VII	390,7	13	5,7	72,9
1990/91	16 VII	343,4	11	7,9	60,6
Średnia – Mean	10 VII	447,8	9,0	8,7	59,2

Objaśnienia: 1 – suma usłonecznienia wiosną (godz.); 2 – liczba dni z temperaturą gleby $\leq -3^{\circ}\text{C}$ na głębokości 5 cm w zimie; 3 – średnia temperatura gleby na głębokości 5 cm wiosną ($^{\circ}\text{C}$); 4 – średnia wilgotność względna o godz. 12 UTC w okresie czerwiec-lipiec (%).

Explanations: 1 – sunshine duration in spring (hours); 2 – the number of days with soil temperature $\leq -3^{\circ}\text{C}$ at a depth of 5 cm in winter; 3 – mean soil temperature at a depth of 5 cm in spring ($^{\circ}\text{C}$); 4 – mean relative air humidity at 12 UTC from June to July (%).

Tabela 7. Równanie regresji wielokrotnej, określające zależność początku fazy dojrzewania rzepaku ozimego od wartości elementów meteorologicznych

Table 7. The polynomial regression model which defines the relationship between the onset of ripening and the values of meteorological characteristics

Model regresji wielokrotnej Polynomial regression model	R^2 (%)	Statystyka F F-distribution	Błąd standardowy Standard error
$y = 225,968 - 0,047x_1 + 0,667x_2 - 1,443x_3$	81,0%	39,4	3,6

Objaśnienia: R^2 (%) – współczynnik determinacji; y – data początku fazy dojrzewania (numer dnia w roku); x_1 – suma usłonecznienia (wiosna); x_2 – liczba dni z temperaturą gleby $\leq -3^{\circ}\text{C}$ na głębokości 5 cm w zimie; x_3 – średnia temperatura gleby na głębokości 5 cm wiosną ($^{\circ}\text{C}$).

Explanations: R^2 (%) – the coefficient of determination; y – the onset of ripening (day number in a year); x_1 – sunshine duration in spring; x_2 – the number of days with soil temperature $\leq -3^{\circ}\text{C}$ at a depth of 5 cm in winter; x_3 – mean soil temperature at a depth of 5 cm in spring ($^{\circ}\text{C}$).

Warunki termiczne oraz sumy usłonecznienia w okresie poprzedzającym fazę dojrzewania nasion rzepaku wyjaśniały w 81% zmienność jej dat początku (tab. 7). Duże znaczenie miała liczba dni z ujemnymi wartościami temperatury gleby

w zimie (współczynnik korelacji cząstkowej $r = 0,56$), a także sumy usłonecznienia wiosną ($r = -0,55$), mniejsze natomiast wartości temperatury gleby od marca do maja ($r = -0,34$).

WNIOSKI

1. Na obszarze środkowo-wschodniej Lubelszczyzny początek fazy kwitnienia oraz dojrzewania w największym stopniu zależał od warunków termicznych w kwietniu i maju. Ponadto istotne znaczenie miał też przebieg temperatury powietrza oraz gleby w okresie zimowym.

2. Na późniejszy początek fazy kwitnienia i dojrzewania rzepaku ozimego wpływ miała także większa liczba dni z przygruntowym przymrozkiem (ryzyko uszkodzeń pąków i kwiatów) oraz niższe sumy usłonecznienia w okresie wiosennym (zmniejszona aktywność fotosyntetyczna roślin).

3. Na omawianym obszarze stwierdzono występowanie coraz wcześniejszego początku fazy kwitnienia i dojrzewania. W tym przypadku szczególnie wyróżniała się ta pierwsza fenofaza, co należy wiązać z notowanym w Polsce od dwóch dekad wzrostem temperatury powietrza na przełomie zimy i wiosny.

PIŚMIENNICTWO

- Angadi S.V., Cutforth H.W., Miller P.R., McConkey B.G., Entz M.H., Brandt S.A., Volkmar K.M., 2000. Response of three Brassica species to high temperature stress during reproductive growth. *Can. J. Plant Sci.*, 80(4), 693-701.
- Bouchereau A., Clossais-Besnard N., Benasoud A., Lepout L., Renard M., 1996. Water stress effects on rapeseed quality. *Eur. J. Agron.*, 5(1-2), 19-30.
- Heimann S., Broniarz J., 2008. Metodyka badania wartości gospodarczej odmian (WGO) – Rzepak. COBORU, Słupia Wielka.
- Koźmiński Cz., Michalska B., Czarnecka M., 1993. Ekstremalne warunki pogodowe [w:] Czynniki plonotwórcze – plonowanie roślin pod red. J. Dzieżyca. PWN Warszawa.
- Koźuchowski K., Żmudzka E., 2001. Ocieplenie w Polsce: skala i rozkład sezonowy zmian temperatury w drugiej połowie XX w. *Prz. Geof.*, 46(1-2), 81-90.
- Kutcher H.R., Warland J.S., Brandt S.A., 2010. Temperature and precipitation effects on canola yields in Saskatchewan, Canada. *Agric. For. Meteorol.*, 150(2), 161-165.
- Lardon A., Tribou-Blondel A.M., 1994. Freezing injury to ovules, pollen and seeds in winter rape. *J. Exp. Bot.*, 45(8), 1177-1181.
- Machnik R., 1973. Przyrodnicza reprezentatywność Stacji Doświadczalnych Oceny Odmian. *Biul. Oceny Odm. COBORU*, 4, 23-86.
- Michalska B., 2011. Tendencje zmian temperatury powietrza w Polsce. *Prace i Studia Geogr.*, 47, 67-75.
- Morrison M.J., 1993. Heat stress during reproduction in summer rape. *Can. J. Bot.*, 71(2), 303-308.
- Muśnicki Cz., 1989. Charakterystyka botaniczno-rolnicza rzepaku ozimego i jego plonowanie w zmiennych warunkach siedliskowo-agrotechnicznych. *Roczn. AR w Poznaniu, Rozpr. Nauk.*, 191.

- Nielsen D.C., 1997. Water use and yield of canola under dryland conditions in the central Great Plains. *J. Prod. Agric.*, 10(2), 307-313.
- Robertson M.J., Holland J.F., 2004. Production risk of canola in the semi-arid subtropics of Australia. *Aust. J. Agric. Res.*, 55(5), 525-538.
- Tesfamariam E.H., Annandale J.G., Steyn J.M., 2010. Water Stress Effects on Winter Canola Growth and Yield. *Agron. J.*, 102(2), 658-666.
- Young L.W., Wilen R.W., Bonham-Smith P.C., 2004. High temperature stress of *Brassica napus* during flowering reduces micro- and megagametophyte fertility, induces fruit abortion, and disrupts seed production. *J. Exp. Bot.*, 55(396), 485-495.

IMPACT OF WEATHER CONDITIONS ON THE ONSET OF SELECTED STAGES OF WINTER RAPESEED IN SPRING AND SUMMER

Krzysztof Bartoszek

Department of Agrometeorology, University of Life Sciences
ul. Akademicka 15, 20-950 Lublin, Poland
e-mail: krzysztof.bartoszek@up.lublin.pl

Abstract. The relationship between weather conditions and the onset of the flowering and ripening stages of winter rapeseed was studied based on meteorological data and field observations from the Experimental Stations for Cultivar Testing (COBORU) in Bezek near Chelm in the period from 1974/75 to 2008/09. The Pearson's correlation and linear regression analysis were used in order to determine the correlation between meteorological elements and dates of onset of the two stages. The study showed that the onset of flowering and ripening was strongly associated with thermal conditions in April and May. The relationship between growth and development of winter oilseed rape in the period from March to July and the values of air and soil temperatures in winter was also noted. Later dates of the onset of flowering and ripening were influenced by greater number of days with ground frost and decrease in sunshine duration in spring. There were no statistically significant correlations with precipitation and Ped's drought index. Furthermore, in recent years, the occurrence of early dates of onset of the two stages was found. In the case of the onset of flowering, a statistically significant ($\alpha = 0.01$) downward trend in the analysed area was indicated. It is probably associated with an increase of air temperature during the last two decades in Poland (from February to May).

Keywords: winter rapeseed, phenophases, flowering, ripening, the Lublin Region