

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

KRZYSZTOF BARTOSZEK

Relacje między cyrkulacją atmosferyczną a przezimowaniem rzepaku na Lubelszczyźnie

Relationship between atmospheric circulation and the oilseed rape overwintering
in the Lublin Region

Streszczenie. Celem pracy jest określenie wpływu cyrkulacji atmosferycznej na przezimowanie rzepaku uprawianego na Lubelszczyźnie. Realizując tak postawiony cel, wykorzystano wyniki obserwacji kondycji roślin rzepaku po zimach w latach 1974/75–2009/10, które pozyskano ze stacji doświadczalnych COBORU w Bezku i Ciciborze Dużym. Uwarunkowania cyrkulacyjne przezimowania rzepaku określono na podstawie wartości wskaźnika NAO, oscylacji wschodnio-polskiej strefowej i południkowej (OWPs i OWPP), a ponadto indeksów cyrkulacji strefowej, południkowej i indeksu cykloniczności oraz częstości występowania typów cyrkulacji nad obszarem Lubelszczyzny w okresie od grudnia do marca. Największy wpływ na stan przezimowania rzepaku miał przebieg warunków atmosferycznych na początku zimy. Straty na plantacjach rzepaku były znaczące, gdy w okresach zimowych notowano dużą częstość napływu powietrza z kierunku wschodniego i południowo-wschodniego, przy mniejszym udziale adwekcji z sektora zachodniego. Niekorzystny wpływ na stan rzepaku miała także większa częstość występowania sytuacji antycyklonalnych, zwłaszcza w lutym i marcu.

Słowa kluczowe: rzepak ozimy, ocena przezimowania, cyrkulacja atmosferyczna, oscylacja Północnego Atlantyku, Lubelszczyzna

WSTĘP

Rzepak (*Brassica napus* L.) jest obecnie drugą rośliną pod względem udziału w produkcji nasion oleistych na świecie. Na dynamiczny wzrost powierzchni uprawy tej rośliny wpłynęło między innymi zainteresowanie odnawialnymi źródłami energii i dążenie do ograniczenia antropogenicznej emisji CO₂ do atmosfery [Johnson i in. 2007, Vergé i in. 2007]. W porównaniu z innymi roślinami przemysłowymi, np. ziemniakiem czy burakiem cukrowym, wzrost znaczenia rzepaku zauważalny jest od kilkunastu lat również w Polsce [Bartkowiak-Broda i in. 2006].

W warunkach klimatycznych naszego kraju, a zwłaszcza w jego wschodniej części, istnieje stałe niebezpieczeństwo wymarznienia całych plantacji rzepaku [Tomaszewska 1988, Czarnecka 1997]. Niekorzystnie na stan przezimowania omawianej rośliny wpływa długi okres z niskimi wartościami temperatury powietrza ($< -10^{\circ}\text{C}$), przy jednoczesnym braku pokrywy śnieżnej. Najbardziej wrażliwy na oddziaływanie ujemnej temperatury jest korzeń rzepaku, dlatego też największe uszkodzenia mrozowe na plantacjach tej rośliny obserwuje się po zimach, w których wartości temperatury gleby na głębokości 5 cm spadały poniżej -3°C i utrzymywały się przez 15 dni lub dłużej [Bartoszek 2013]. W ostatnich dziesięcioleciach tego rodzaju ekstremalne warunki termiczne, przyczyniające się do likwidacji upraw tej rośliny po zimie, wystąpiły na obszarze Lubelszczyzny w latach 1978/79, 1981/82, 1984/85, 1995/96, 1996/97 i 2002/03.

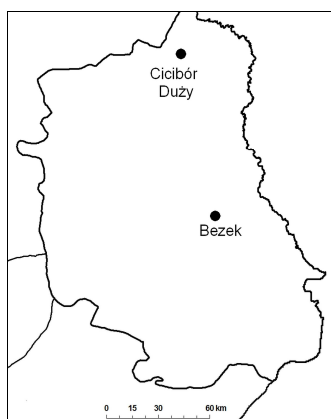
Warunki termiczne i śnieżne zim w Polsce kształtują się przede wszystkim pod wpływem czynników cyrkulacyjnych, które można określić m.in. przez kierunek adwekcji mas powietrza i ruch układów barycznych [Ustrnul 2006, Falarz 2007]. Badania wielu autorów wykazały, że w Europie Środkowej istnieje współzależność między datami pojawów fenologicznych różnych gatunków roślin w okresie wiosennym a intensywnością strefowego przepływu powietrza w zimie [Chmielewski i Rötzer 2002, Scheifinger i in. 2002, Aasa i in. 2004, Menzel i in. 2005]. Zauważalny jest jednak brak opracowań dotyczących związków między cyrkulacją atmosferyczną a stanem roślin uprawnych po zimowej przerwie w wegetacji. Celem niniejszej pracy jest określenie wpływu cyrkulacji atmosferycznej (w okresie od grudnia do marca) na przezimowanie rzepaku uprawianego w warunkach klimatycznych Lubelszczyzny.

MATERIAŁ I METODY

W pracy zostały wykorzystane wyniki obserwacji dotyczące ocen przezimowania rzepaku w latach 1974/75–2009/10, które pozyskano z Zakładu Doświadczalnego Oceny Odmian w Bezku koło Chełma ($51^{\circ}11'\text{N}$, $23^{\circ}15'\text{E}$; 224 m n.p.m.) i Stacji Doświadczalnej Oceny Odmian w Ciciborze Dużym koło Białej Podlaskiej ($52^{\circ}05'\text{N}$, $23^{\circ}07'\text{E}$, 143 m n.p.m), należących do Centralnego Ośrodka Badania Odmian Roślin Uprawnych (COBORU) (rys. 1). Wartości ocen przezimowania (od 0 do 100%) obliczane są na podstawie procentu martwych roślin i ich stanu po zimie [Heimann i Broniarz 2008]. Na obu stacjach odznaczały się one w badanym okresie wyraźną współzależnością ($r = 0,95$).

W analizowanym okresie uprawiano cztery typy odmian rzepaku ozimego: odmiany erukowe, bezerukowe, populacyjne oraz mieszańcowe. Z każdego typu do badań wybrano tylko zarejestrowane odmiany, które charakteryzowały się dużym znaczeniem gospodarczym i utrzymywały się w produkcji oraz badaniach przynajmniej przez kilka lat. W odniesieniu do ocen przezimowania zastosowanie nieparametrycznego testu U Manna-Whitneya pozwoliło stwierdzić brak istotnych statystycznie różnic (na poziomie $\alpha = 0,05$) między czterema typami odmian rzepaku.

W okresie grudzień–marzec wpływ cyrkulacji na stopień przezimowania rzepaku określono na podstawie:



Rys. 1. Lokalizacja stacji doświadczalnych wykorzystanych w opracowaniu
Fig. 1. Location of experimental stations used in the study

– miesięcznych wartości wskaźnika oscylacji Północnego Atlantyku (NAO – North Atlantic Oscillation), zdefiniowanego przez Jonesa i in. [1997] jako standaryzowana różnica ciśnienia na poziomie morza między Gibraltarem a południowo-zachodnią Islandią. Wysokie dodatnie wartości wskaźnika NAO informują o nasilonej cyrkulacji strefowej zachodniej nad wschodnim Atlantykiem oraz północno-zachodnią Europą;

– obliczonych przez autora miesięcznych wartości wskaźnika oscylacji wschodniopolskiej strefowej (OWPs), który jest standaryzowaną różnicą ciśnienia atmosferycznego między dwoma punktami gridowymi o współrzędnych $\varphi = 48^{\circ}\text{N}$ i $\lambda = 22^{\circ}\text{E}$ oraz $\varphi = 56^{\circ}\text{N}$ i $\lambda = 22^{\circ}\text{E}$, a także wskaźnika oscylacji wschodniopolskiej południkowej (OWPp), określanego jako standaryzowana różnica ciśnienia atmosferycznego między punktami gridowymi $\varphi = 52^{\circ}\text{N}$ i $\lambda = 18^{\circ}\text{E}$ oraz $\varphi = 52^{\circ}\text{N}$ i $\lambda = 26^{\circ}\text{E}$. Pierwszy wskaźnik określa intensywność cyrkulacji strefowej w Polsce Wschodniej (wartości dodatnie oznaczają napływ powietrza z sektora zachodniego, a ujemne ze wschodniego), a drugi natężenie cyrkulacji południkowej (wartości dodatnie to napływ powietrza z sektora południowego, a ujemne z północnego);

– liczby dni z określonymi typami cyrkulacji nad obszarem Lubelszczyzny [Bartoszek 2012]. W tym celu wykorzystano autorską klasyfikację typów cyrkulacji, w której wyróżnia się po 8 typów kierunkowych cyklonalnych, pośrednich i antycyklonalnych oraz po jednym typie cyklonalnym, antycyklonalnym i nieokreślonym (tab. 1). Kierunek cyrkulacji oraz jej charakter (cyklonalny, antycyklonalny lub nieokreślony) ustalony został na podstawie średnich dobowych wartości ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza pochodzących z punktów gridowych rozmieszczonych na obszarze Europy Środkowej;

– trzech wskaźników zaproponowanych przez Niedźwiedzia [2001], których miesięczne wartości wyrażone zostały za pomocą niemianowanych liczb, będących w niniejszej pracy sumą punktów wagowych przypisanych poszczególnym typom cyrkulacji nad Lubelszczyzną.

Wyróżniono wskaźnik cyrkulacji strefowej – zachodniej (W), wskaźnik cyrkulacji południkowej – południowej (S) i wskaźnik cykloniczności (C). Wskaźnik W wyraża natężenie cyrkulacji strefowej zachodniej (wartości dodatnie) lub wschodniej (wartości ujemne), wskaźnik S – natężenie cyrkulacji południkowej (dodatnie wartości przy ad-

wekcji powietrza z sektora południowego, ujemne zaś z sektora północnego), natomiast wskaźnik C przedstawia przewagę aktywności cyklonalnej (wartości dodatnie) lub antycyklonalnej (wartości ujemne).

Tabela 1. Klasyfikacja typów cyrkulacji nad Lubelszczyzną [Bartoszek 2012]
Table 1. Classification of circulation types over Lublin Region [Bartoszek 2012]

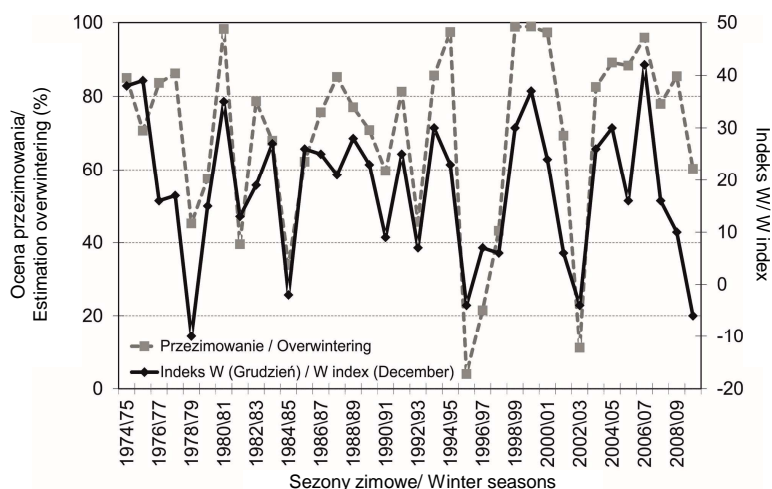
Symbole Symbols	Opis Description
Nc, NEc, Ec, SEc, Sc, SWc, Wc, NWc	typy kierunkowe cyklonalne directional cyclonic types
No, NEo, Eo, SEo, So, SWo, Wo, NWo	typy kierunkowe pośrednie directional transitional types
Na, NEa, Ea, SEa, Sa, SWa, Wa, NWA	typy kierunkowe antycyklonalne directional anticyclonic types
C	typ bezadwekcyjny cyklonalny cyclonic non-directional type
A	typ bezadwekcyjny antycyklonalny anticyclonic non-directional type
x	typ bezadwekcyjny nieokreślony undefined non-directional type

W celu określenia związku między warunkami cyrkulacyjnymi w okresie grudzień–marzec a ocenami przezimowania rzepaku zastosowano korelację liniową Pearsona, a istotność statystyczną współczynnika korelacji sprawdzano testem t-Studenta. Do oceny zależności między analizowanymi zmiennymi wykorzystano analizę regresji krokowej wstecznej.

WYNIKI

Na obu stacjach doświadczalnych stopień przezimowania rzepaku dobrze korespondował z wartościami wskaźnika NAO w grudniu i styczniu. Oznacza to, że lepszą kondycję roślin po zimie notowano wówczas, gdy w tych miesiącach w zachodniej części kontynentu zaznaczała się nasilona adwekcja relatywnie ciepłych mas powietrza z Oceanu Atlantyckiego (tab. 2). Wskaźniki W i OWPs, które określają natężenie strefowego przepływu powietrza nad Polską Wschodnią, również potwierdziły znaczący wpływ na stan przezimowania rzepaku warunków atmosferycznych występujących w pierwszym miesiącu zimy kalendarzowej (rys. 2 i 3a). Wówczas stwierdzono także istotne statystycznie wartości współczynników korelacji (na poziomie $\alpha = 0,05$) w przypadku wskaźników cyrkulacji południkowej (OWPp i S) (tab. 2). Oznaczało to, że lepszą kondycję roślin rzepaku po zimie obserwowano w latach, gdy w grudniu przeważała cyrkulacja z sektora północnego. Badania Bartoszka [2013] wykazały, że rośliny rzepaku są najbardziej wrażliwe na oddziaływanie niskich ujemnych wartości temperatury powietrza tuż po rozpoczęciu zimowej przerwy w wegetacji. Stąd też w grudniu, podczas wzmożonej

adwekcji chłodnych mas powietrza z nad Europy Wschodniej, istnieje największe ryzyko wystąpienia uszkodzeń mrozowych na plantacjach omawianej rośliny.



Rys. 2. Wieloletnia zmienność oceny przezimowania rzepaku (%) oraz wskaźnika cyrkulacji strefowej zachodniej w grudniu (wartości ocen uśrednione z dwóch stacji pomiarowych)
Fig. 2. Long-term variability of rapeseed overwintering rates (%) and zonal westerly circulation index in December (values of rates averaged from two experimental stations)

W przypadku wskaźnika cykloniczności współczynniki korelacji odznaczały się istotną statystycznie dodatnią współzmiennością w lutym i marcu (tab. 2), a więc w drugiej połowie zimy. W związku z tym na zmienność omawianej cechy mniejszy wpływ miał wówczas kierunek adwekcji powietrza, większy zaś miała częstość występowania sytuacji antycyklonalnych i cyklonalnych. W chłodnej porze roku silnym wyżom (antycyklonom) zwykle towarzyszą niskie ujemne wartości temperatury powietrza, co szczególnie zaznacza się podczas bezchmurnej i bezwietrznej nocy. Dlatego też na przełomie zimy i wiosny, gdy rośliny są już rozhartowane i osłabione po zimie, spadki temperatury powietrza poniżej 0°C przy sytuacjach antycyklonalnych mogą przyczyniać się do wystąpienia uszkodzeń mrozowych na plantacjach rzepaku [Lardon i Tribou-Blondel 1995].

Analiza współzmienności ocen przezimowania rzepaku z kierunkiem adwekcji powietrza wykazała, że w okresie grudzień–marzec dodatnie współczynniki korelacji (istotne na poziomie $\alpha = 0,05$) uzyskano w dniach z napływem powietrza z kierunku południowo-zachodniego ($r = 0,36$ w Bezku i $r = 0,41$ w Ciciborze Dużym), zachodniego (0,34 i 0,35) oraz północno-zachodniego (0,35 i 0,34), ujemne zaś dla kierunku wschodniego ($-0,37$ i $-0,40$) oraz południowo-wschodniego ($-0,34$ i $-0,41$). Większe dodatnie wartości współczynników korelacji otrzymano dla liczby dni z typami cyrkulacji, które od grudnia do marca warunkowały napływ relatywnie ciepłych o tej porze roku mas powietrza z sektora zachodniego (rys. 3b). Natomiast mniejsze (ujemne) wartości współczynników korelacji odnosiły się do liczby dni z antycyklonalnymi typami cyrkulacji (rys. 3c i 3d). Spośród wszystkich typów cyrkulacji wartości oceny przezimowania były

istotnie statystycznie skorelowane z sytuacjami NWc (0,62 i 0,60), A (-0,53 i -0,50), SEa (-0,43 i -0,45), Ea (-0,39 i -0,40), Sa (-0,41 i -0,38) oraz Wo (0,33 i 0,37), występującymi w okresie grudzień–marzec (rys. 4).

Tabela 2. Współczynniki korelacji liniowej między oceną przezimowania rzepaku a wskaźnikami cyrkulacji atmosferycznej

Table 2. Coefficients of linear correlation between overwintering rates and atmospheric circulation indices

Miesiąc Month	Stacja doświadczalna Experimental station	NAO	Oscylacja wschodniopolska East Poland Oscillation		Wskaźniki cyrkulacji Circulation indices		
			OWPs	OWPp	W	S	C
Grudzień December	Bezek	0,44**	0,58**	-0,39*	0,66**	-0,42*	0,05
	Cicibór	0,47**	0,50**	-0,36*	0,61**	-0,39*	0,03
Styczeń January	Bezek	0,46**	0,27	-0,12	0,27	-0,10	0,14
	Cicibór	0,51**	0,30	-0,09	0,30	-0,09	0,03
Luty February	Bezek	-0,21	0,13	-0,08	0,13	-0,08	0,34*
	Cicibór	-0,19	0,18	-0,18	0,19	-0,16	0,42*
Marzec March	Bezek	0,05	0,13	-0,02	0,17	0,08	0,40*
	Cicibór	0,06	0,21	-0,03	0,26	0,06	0,41*
Grudzień–marzec December–March	Bezek	0,36*	0,39*	-0,25	0,42*	-0,20	0,45**
	Cicibór	0,38*	0,42*	-0,24	0,46**	-0,21	0,44**

Objaśnienia: ** poziom istotności $\alpha = 0,01$; * poziom istotności $\alpha = 0,05$. Wartości krytyczne współczynnika korelacji – $r_{0,05} = 0,329$ oraz $r_{0,01} = 0,424$. NAO – oscylacja Północnego Atlantyku; OWPs – oscylacja wschodniopolska strefowa; OWPp – oscylacja wschodniopolska południkowa; W – wskaźnik cyrkulacji strefowej zachodniej; S – wskaźnik cyrkulacji południkowej południowej; C – wskaźnik cykloniczności.

Explanations: ** significance level $\alpha = 0.01$; * significance level $\alpha = 0.05$. Critical values of correlation coefficient – $r_{0,05} = 0.329$ oraz $r_{0,01} = 0.424$. NAO – North Atlantic Oscillation; OWPs – East Poland Zonal Oscillation; OWPp – East Poland Meridional Oscillation; W – zonal westerly circulation index; S – meridional southerly circulation index; C – cyclonicity index.

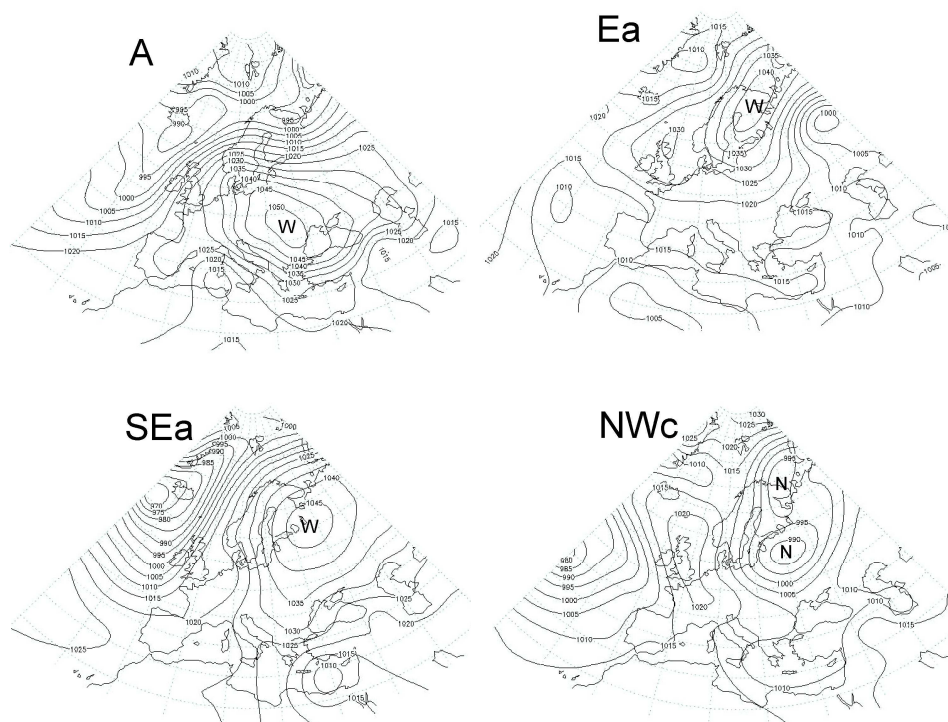
Liczba dni z typem NWc, A i SEa, a także wskaźnik cyrkulacji strefowej oraz cykloniczności wyjaśniały niemal w 50% zmienność oceny stanu przezimowania rzepaku w badanym okresie (tab. 3). Do najważniejszych zmiennych objaśniających zaliczała się liczba dni z typem A (bezdewekcyjnym antycyklonalnym) w okresie od grudnia do marca (współczynnik korelacji cząstkowej $r = -0,46$ w Bezku i $r = -0,42$ w Ciciborze Dużym) oraz wskaźnik W z grudnia (0,62 i 0,55). Wskaźniki cyrkulacji NAO i OWP były wyraźnie słabszymi predyktorami ocen przezimowania badanej rośliny na obszarze Lubelszczyzny (R^2 między 22 a 35%).

Tabela 3. Równania regresji liniowej, opisujące zależność między oceną przezimowania rzepaku a poszczególnymi wskaźnikami cyrkulacji atmosferycznej
 Table 3. The multiple regression model which defines the relationship between rapeseed overwintering rates and selected atmospheric circulation indices

Wskaźnik Index	Stacja doświadczalna Experimental station	Model regresji liniowej Linear regression model	R ² skoryg. R ² adj.
NAO	Bezek	$OP = 5,98 \times NAO_I - 4,11 \times NAO_{II} + 4,02 \times NAO_{XII} + 71,14$	29,5%
	Cicibór	$OP = 6,71 \times NAO_I - 3,91 \times NAO_{II} + 4,14 \times NAO_{XII} + 72,96$	35,1%
OWPs	Bezek	$OP = 20,29 \times OWPs_{S,XII} + 69,04$	31,5%
	Cicibór	$OP = 17,34 \times OWPs_{S,XII} + 71,82$	22,4%
Wskaźnik W, S i C W, S and C index	Bezek	$OP = 1,32 \times W_{XII} + 0,92 \times C_{II} + 0,69 \times C_{III} + 50,08$	49,8%
	Cicibór	$OP = 1,12 \times W_{XII} + 1,09 \times C_{II} + 0,73 \times C_{III} + 56,64$	46,4%
Typy cyrkulacji Circulation types	Bezek	$OP = 4,75 \times NWC_{XII-III} - 2,74 \times A_{XII-III} - 1,19 \times SEa_{XII-III} + 80,37$	48,7%
	Cicibór	$OP = 4,27 \times NWC_{XII-III} - 2,55 \times A_{XII-III} - 1,43 \times SEa_{XII-III} + 84,73$	45,3%

Objaśnienia: R² skoryg. (%) – skorygowany współczynnik determinacji; OP – ocena przezimowania rzepaku; NAO – oscylacja Północnego Atlantyku; OWPs – oscylacja wschodniopolska (cyrkulacja strefowa); W – wskaźnik cyrkulacji strefowej zachodniej; C – wskaźnik cykloniczności; NWC, A i SEa – typy cyrkulacji; XII, I, II, III – grudzień, styczeń, luty, marzec.

Explanations: R² adj. (%) – the adjusted coefficient of determination; OP – rapeseed overwintering rate (%); NAO – North Atlantic Oscillation; OWPs – East Poland Oscillation (zonal air flow); W – zonal westerly circulation index; C – cyclonicity index; NWC, A i SEa – circulation types; XII, I, II, III – December, January, February, March.



Rys. 4. Typy cyrkulacji, których frekwencja od grudnia do marca odznacza się największą współzmiernością z oceną przezimowania rzepaku na obszarze Lubelszczyzny. A – typ bezadwekcyjny antycyklonalny, Ea – typ wschodni antycyklonalny, SEa – typ południowo-wschodni antycyklonalny, NWc – typ północno-zachodni cyklonalny

Fig. 4. Circulation types that are characterized by the largest correlation with rapeseed overwintering rates in the Lublin Region. A – anticyclonic non-directional type, Ea – eastern anticyclonic type, SEa – south-eastern anticyclonic type, NWc – north-western cyclonic type

WNIOSKI

1. Wskaźniki cyrkulacji atmosferycznej dobrze opisywały zmienność ocen przezimowania rzepaku na obszarze Lubelszczyzny. Świadczy to o istotnej roli tego procesu klimatotwórczego w kształtowaniu warunków pogodowych, których przebieg od grudnia do marca istotnie wpływa na stan roślin rzepaku po zimie.

2. O stanie przezimowania rzepaku w największym stopniu decydowały warunki atmosferyczne na początku zimy kalendarzowej. Świadczy to o tym, że w tym okresie roku rośliny nie są jeszcze odporne na oddziaływanie niskich ujemnych wartości temperatury powietrza. Największymi (dodatnimi) wartościami współczynników korelacji charakteryzowały się wówczas wskaźniki określające intensywność cyrkulacji strefowej.

3. Znaczne straty na plantacjach rzepaku występowały po okresach zimowych, w których notowano dużą częstość napływu powietrza z kierunku wschodniego i południowo-wschodniego (znad wychłodzonego kontynentu Eurazji), przy jednocześnie mniejszym udziale cyrkulacji z sektora zachodniego (napływ mas powietrza znad Oceanu Atlantyckiego). Niekorzystny wpływ miała także większa częstość występowania sytuacji antycyklonalnych, przede wszystkim w lutym i marcu.

PIŚMIENNICTWO

- Aasa A., Jaagus J., Ahas R., Sepp M., 2004. The influence of atmospheric circulation on plant phenological phases in central and eastern Europe. *Int. J. Climatol.* 24(12), 1551–1564.
- Bartkowiak-Broda I., Wałkowski T., Ogrodowczyk M., 2006. Znaczenie gospodarcze rzepaku. *Nasz Rzepak* 12(10), 13–18.
- Bartoszek K., 2012. Kalendarz typów cyrkulacji atmosferycznej dla obszaru Lubelszczyzny. Zbiór komputerowy. UP w Lublinie, Pracownia Agrometeorologii, Lublin, <http://www.krzysztof.bartoszek.up.lublin.pl/wyniki.html>
- Bartoszek K., 2013. Przezimowanie rzepaku w warunkach klimatycznych środkowo-wschodniej Lubelszczyzny. *Acta Agrophys.* 20(3), 341–352.
- Chmielewski F.M., Rötzer T., 2002. Annual and spatial variability of the beginning of the growing season in Europe in relation to air temperature changes. *Clim. Res.* 19, 257–264.
- Czarnecka M., 1997. Czynniki klimatyczne niekorzystne dla zimowania rzepaku ozimego w Polsce. *Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu* 15(313), 43–47.
- Falarz M., 2007. Snow cover variability in Poland in relation to the macro- and mesoscale atmospheric circulation in the twentieth century. *Int. J. Climatol.* 27, 2069–2081.
- Heimann S., Broniarz J., 2008. Metodyka badania wartości gospodarczej odmian (WGO) – Rzepak. COBORU, Słupia Wielka.
- Johnson J.M.F., Franzluebbers A.J., Weyers S.L., Reicosky D.C., 2007. Agricultural opportunities to mitigate greenhouse gas emissions. *Environ. Pollut.* 150(1), 107–124.
- Jones P.D., Jonsson T., Wheeler D., 1997. Extension of the North Atlantic Oscillation using early instrumental pressure observations from Gibraltar and south-west Iceland. *Int. J. Climatol.* 17(13), 1433–1450.
- Lardon A., Triboui-Blondel A.M., 1995. Cold and freeze stress at flowering. Effects on seed yields in winter rapeseed. *Field Crop. Res.* 44(2), 95–101.
- Menzel A., Sparks T.H., Estrella N., Eckhardt S., 2005. 'SSW to NNE' – North Atlantic Oscillation affects the progress of seasons across Europe. *Glob. Change Biol.* 11, 909–918.
- Niedźwiedz T., 2001. Zmienność cyrkulacji atmosfery nad Spitsbergenem w drugiej połowie XX wieku. *Probl. Klim. Polar.* 11, 7–26.
- Scheifinger H., Menzel A., Koch E., 2002. Atmospheric mechanisms governing the spatial and temporal variability of phenological phases across Europe. *Int. J. Climatol.* 22, 1739–1755.
- Tomaszewska T., 1988. Ocena agroklimatyczna warunków wymarzania rzepaku ozimego na obszarze Polski. *Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Rolnictwo* 27(158), 89–97.
- Ustrnul Z., 2006. Spatial differentiation of air temperature in Poland using circulation types and GIS. *Int. J. Climatol.* 26, 1529–1546.
- Vergé X.P.C., De Kimpe C., Desjardins R.L., 2007. Agricultural production, greenhouse gas emissions and mitigation potential. *Agr. Forest Meteorol.* 142(2–4), 255–269.

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

Summary. The aim of the study is to determine the influence of atmospheric circulation on the condition of rapeseed plants after overwintering in the Lublin Region. Results of observation of rapeseed plants after each winter from 1974/75 to 2009/10 came from COBORU experimental stations in Bezek and Ciczibór Duży. The relationships between atmospheric circulation and overwintering rates were analyzed on the basis of values of the NAO index, OWPs and OWPP indices (East Poland Zonal and Meridional Oscillation), zonal, meridional and cyclonical indices and frequency of circulation types over the Lublin Region from December to March. It was found that the condition of rapeseed plants after winter was most significantly affected by atmospheric circulation conditions in December. The greatest losses in rapeseed plantations were reported when a high frequency of easterly and south-easterly airflow along with a low frequency of westerly airflow was noticed. The adverse effect was also caused by a higher incidence of anticyclonic days, especially in February and March.

Key words: winter rapeseed, overwintering rates, atmospheric circulation, North Atlantic Oscillation, Lublin Region