

Zakład Meteorologii i Klimatologii,
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie,
ul. Papieża Pawła VI nr 3, 71-469 Szczecin
e-mail: Eliza.Kalbarczyk@zut.edu.pl,
e-mail: Robert.Kalbarczyk@zut.edu.pl

ELIZA KALBARCZYK, ROBERT KALBARCZYK

Przebieg faz fenologicznych ziemniaka i jego uwarunkowania wieloletnią zmiennością temperatury powietrza w Polsce

The course of phenological phases of potato and its determination
by multi-annual variability of air temperature in Poland

Streszczenie. Celem pracy było określenie wpływu wieloletnich zmian temperatury powietrza na przebieg terminów faz fenologicznych i długości okresów rozwojowych ziemniaka w Polsce. Materiał do badań stanowiły wyniki doświadczeń z 30 stacji COBORU, z lat 1973–2002, dotyczące faz rozwoju dla wzorca ziemniaka średnio wczesnego i średnio późnego. Średnie miesięczne temperatury powietrza w okresie kwiecień–październik zebrano z posterunków meteorologicznych stacji COBORU lub ze stacji IMGW. Obserwowano wzrost średniej temperatury powietrza w całym okresie wegetacji ziemniaka w Polsce, średnio o $+0,54^{\circ}\text{C}/10$ lat oraz w kwietniu, maju, lipcu i sierpniu, od $+0,67^{\circ}\text{C}/10$ lat do $+0,96^{\circ}\text{C}/10$ lat. Wystąpiło także przyspieszenie terminów faz fenologicznych ziemniaka, średnio od około 1 do 4 dni/10 lat, jak również wydłużenie, średnio o około 2–3 dni/10 lat, okresu kwitnienie–usychanie łętów oraz skrócenie, średnio o około 1–2 dni/10 lat, okresów wschody–kwitnienie ziemniaka średnio późnego i zasychanie łętów–zbiór ziemniaka średnio wczesnego. Zmienność terminów kwitnienia, a w mniejszym stopniu także wschodów, zależała od przebiegu temperatury powietrza.

Słowa kluczowe: ziemniak, odmiany, temperatura powietrza, trend liniowy, fazy, fenologia

WSTĘP

W ostatnich latach powierzchnia uprawy ziemniaka w Polsce zmniejszyła się z 1,3 mln ha w 1996 r. do około 0,5 mln ha w roku 2010 [GUS 2010]. Udział ziemniaka w strukturze wyniósł około 5%. W Polsce plon ziemniaka zwykle nie przekracza 20 t ha^{-1} .

Rozwój ziemniaka i wielkość plonu jest w dużym stopniu determinowany przez przebieg warunków meteorologicznych w okresie jego wegetacji. Jednym z ważniejszych elementów meteorologicznych wpływających na tempo wzrostu i rozwoju roślin jest temperatura powietrza [Deputat 1977, Chowdhury i Wardlaw 1978, Wheeler i in. 1996]. Zmiany w przebiegu faz fenologicznych, zachodzące pod wpływem zmian klimatycznych, w zależności od gatunku rośliny i regionu świata, mogą się skrajnie różnić – od przyspieszenia po opóźnienie terminu fenofazy [Gao i in. 1995, Chmielewski i in. 2004, Wang i in. 2008, Xiao i in. 2008, Kalbarczyk 2009]. Ze względu na związek zachodzący pomiędzy rozwojem roślin a temperaturą powietrza sformułowano hipotezę badawczą, że zmiany zachodzące w wieloletnim przebiegu temperatury w Polsce powodują przyspieszenie dotychczasowego przebiegu rozwoju ziemniaka i skrócenie jego okresów rozwojowych.

Celem pracy było określenie wpływu wieloletnich zmian temperatury powietrza na przebieg terminów faz fenologicznych i długości okresów rozwojowych średnio wczesnych i średnio późnych odmian ziemniaka.

MATERIAŁ I METODY

Materiał do badań stanowiły wyniki doświadczeń Centralnego Ośrodka Badań Odmian Roślin Uprawnych (COBORU) z lat 1973–2002 średnio wczesnych i średnio późnych odmian ziemniaka, uprawianych w 30 stacjach doświadczalnych na terenie całej Polski (rys. 1). Zastosowanie do badań wzorca zbiorowego oparto na założeniu, iż różnice



Rys. 1. Rozmieszczenie stacji COBORU (●) prowadzących doświadczenia z odmianami średnio wczesnymi i średnio późnymi ziemniaka w latach 1973–2002

Fig. 1. Distribution of COBORU (●) stations conducting experiments on mid-early and mid-late potato varieties in years 1973–2002

wewnątrzgatunkowe nie zaciemniają poszukiwanych dla gatunku ogólnych prawidłowości. Wykorzystano wyniki doświadczeń polowych dotyczące terminów sadzenia, wschodów, kwitnienia), zasychania łętów i zbioru dla wzorca, którym były najbardziej rozpowszechnione w uprawie średnio wczesne i średnio późne odmiany ziemniaka w danym roku. Średnią miesięczną temperaturę powietrza w okresie wegetacji ziemniaka (kwiecień–październik) zebrano ze wszystkich posterunków meteorologicznych funkcjonujących przy stacjach doświadczalnych COBORU lub z najbliższej położonych stacji IMGW. Ze względu na małą ilość stacji i jednocześnie dużą mikroklimatyczną zmienność warunków pogodowych, z opracowania wyeliminowano obszary górskie położone w granicach administracyjnych 5 byłych województw: jeleniogórskiego, wałbrzyskiego, bielsko-bialskiego, nowosądeckiego i krośnieńskiego.

Zależność pomiędzy terminami fenofaz a średnią temperaturą powietrza, trend temperatury oraz wielkość zmian w okresie wieloletnim zostały określone na podstawie analizy regresji liniowej. Parametry funkcji regresji wyznaczono metodą najmniejszych kwadratów. Istotność całego równania regresji zbadano testem *F*-Snedecora, natomiast istotność jego parametrów – testem *t*-Studenta, przy poziomie istotności $P < 0,01$, $P < 0,05$, $P < 0,1$. Jako miarę dopasowania funkcji regresji do danych empirycznych zastosowano współczynnik korelacji *r*-Pearsona. Jest to miara zależności liniowej, która przyjmuje wartości od -1 do 1 ; jeśli wartość *r* wynosi 1 , to cechy są ściśle zależne, a ich wartości równocześnie rosną lub maleją; jeśli wartość *r* wynosi -1 , to cechy są ściśle zależne, a wzrostowi wartości jednej cechy odpowiada zmniejszenie wartości drugiej; jeśli wartość *r* wynosi 0 , to cechy są niezależne (liniowo) – żadna funkcja liniowa nie opisuje jakiegokolwiek związku między obiema cechami [Jendrzejczak 1992, Draper i Smith 1973]. Wystąpienie liniowości zależności między plonem a elementami meteorologicznymi wynika z ograniczenia zakresu wartości elementów meteorologicznych tylko do tych, które wystąpiły w latach 1973–2002. Obliczono także współczynnik determinacji ($100 R^2$, %), który informuje, jak część zmienności jednej cechy może być wyjaśniona zmiennością cechy drugiej. Wszystkie obliczenia statystyczne były wykonywane w programie Statistica 8,0.

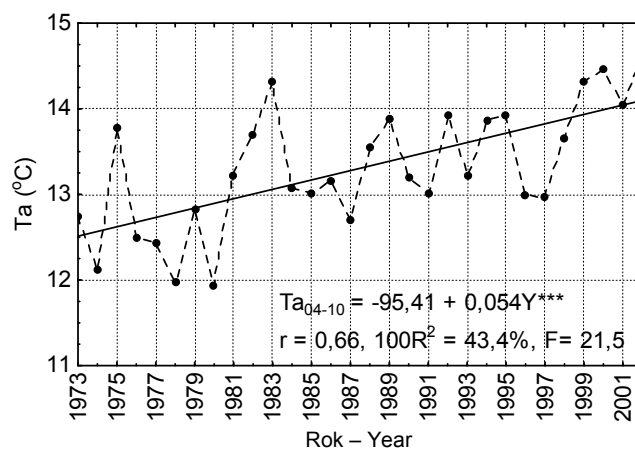
WYNIKI I DYSKUSJA

Średnia miesięczna temperatura powietrza w okresie od kwietnia do października w Polsce w latach 1973–2002 wyniosła $13,3^{\circ}\text{C}$ (tab. 1). W kolejnych latach można było obserwować wzrost temperatury. O ile średnia temperatura pierwszej dekady badanego wielolecia wyniosła $12,7^{\circ}\text{C}$, średnia temperatura w latach 1983–1992 wyniosła $13,5^{\circ}\text{C}$, to w ostatniej dekadzie już $13,8^{\circ}\text{C}$. Szczególnie duży wzrost temperatury można zauważyć od końca lat 90., po roku 1998 we wszystkich kolejnych latach średnia temperatura była wyższa od średniej wieloletniej (rys. 2). Wyznaczony trend liniowy wykazał wzrost temperatury w okresie kwiecień–październik średnio o $+0,54^{\circ}\text{C}/10$ lat przy $P < 0,01$, co w ciągu trzydziestu lat dałoby zwiększenie temperatury średnio o $1,62^{\circ}\text{C}$. Dodatnie trendy temperatury powietrza w Polsce zostały potwierdzone przez wielu autorów [Fortuniak i in. 2001, Boryczka i Stopa-Boryczka 2004, Degirmendzić i in. 2004, Kozuchowski i Żmudzka 2004, Michalska i Kalbarczyk 2005, Żmudzka 2009], podobne zmiany obserwowane były również w innych państwach Europy [Brázdil i in. 1995, Chmielewski i in. 2004, Parey 2008]; można więc uznać ich wystąpienie w okresie wegetacji ziemniaka za potwierdzenie tendencji charakterystycznych dla tej części Europy.

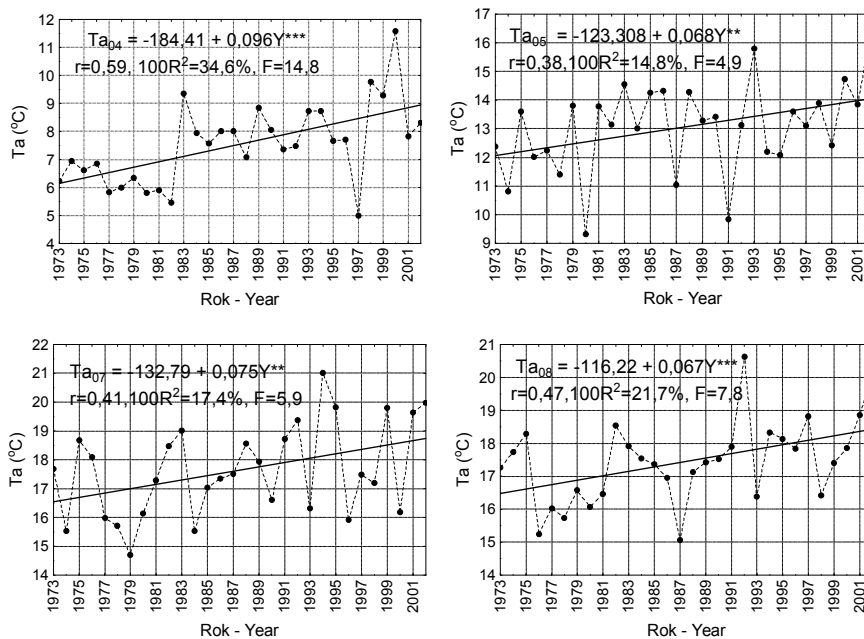
Tabela 1. Charakterystyka statystyczna średniej miesięcznej i sezonowej temperatury powietrza (w °C) w Polsce jako zmiennej niezależnej (y) oraz jej trend liniowy, (lata 1973–2002)
 Table 1. Statistical parameters of average monthly and season air temperature (in °C) as an independent variable (y) and linear trend, in Poland, 1973–2002

Sezon/miesiąc Season/month	X	S	Min	Max	Trend (°C/10 lat) / test t-Studenta (°C per decade) / t-Student test
Kwiecień–październik April–October	13,3	0,7	11,9	14,6	0,54*** / -4,1
Kwiecień–April	7,5	1,4	5,0	11,6	0,96*** / -3,7
Maj–May	13,1	1,6	10,3	16,3	0,68** / -2,1
Czerwiec–June	15,9	1,1	14,0	18,5	n.s. / -1,2
Lipiec–July	17,6	1,6	14,7	21,0	0,76* / -2,2
Sierpień–August	17,5	1,3	15,1	20,6	0,67*** / -2,4
Wrzesień–September	13,1	1,4	10,3	16,0	n.s. / 0,5
Październik–October	8,5	1,4	6,1	11,8	n.s. / -1,5

X – średnia (średnia z 50 stacji IMGW) – mean (average of 50 stations from the Institute of Meteorology and Water Management), S – odchylenie standardowe – standard deviation, Min – absolutne minimum – extreme minimum, Max – absolutne maksimum – extreme maximum, * – trend istotny przy $P < 0,10$ – trend significant with $P < 0,10$, ** – istotny przy $P < 0,05$ – significant with $P < 0,05$, *** – istotny przy $P < 0,01$ – significant with $P < 0,01$, n.s. – nieistotny statystycznie – non significant

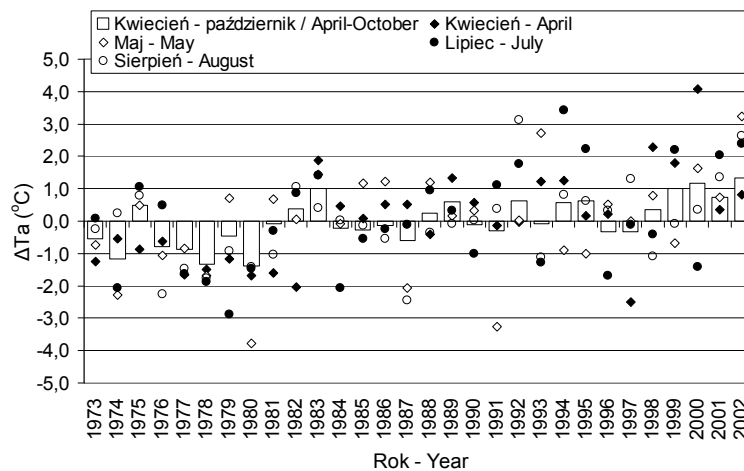


Rys. 2. Średnia sezonowa (Ta_{04-10}) temperatura powietrza w Polsce w latach 1973–2002. Trend istotny przy *** $P < 0,01$. Y – trend liniowy (kolejne lata wielolecia 1973–2002)
 Fig. 2. Average season (Ta_{04-10}) air temperature for Poland, 1973–2002. Trend is significant with *** $P < 0,01$. Y – linear trend (successive year of multi-year 1973–2002)



Rys. 3. Średnia miesięczna (Ta_{04} , Ta_{05} , Ta_{07} , Ta_{08}) temperatura powietrza w Polsce w latach 1973–2002. Trendy istotne przy * $P < 0,10$, ** $P < 0,05$, *** $P < 0,01$. Y – trend liniowy (kolejne lata wielolecia 1973–2002)

Fig. 3. Average monthly (Ta_{04} , Ta_{05} , Ta_{07} , Ta_{08}) air temperature for Poland, 1973–2002. Trends are significant with * $P < 0.10$, ** $P < 0.05$, *** $P < 0.01$. Y – linear trend (successive year of multi-year 1973–2002)



Rys. 4. Odchylenia od średniej wieloletniej temperatury powietrza w okresie kwiecień–październik oraz w wybranych miesiącach: w kwietniu, maju, lipcu i sierpniu w Polsce, 1973–2002
 Fig. 4. Anomalies from the norm (average in 1973–2002) for the mean air temperature from April to October, and in some months of the examined season – those with the observed significant trend – in April, May, July and August

W okresie wegetacji ziemniaka średnia miesięczna temperatura powietrza zmieniała się od 7,5°C w kwietniu do 17,6°C w lipcu, a odchylenie standardowe wahało się od 1,1°C w czerwcu do 1,6°C w maju i lipcu (tab. 1). Różnice średniej temperatury w pierwszej i ostatniej dekadzie wielolecia w poszczególnych miesiącach wyniosły od -0,2°C we wrześniu i 0,4°C w czerwcu do 2,3°C w kwietniu oraz 1,5°C w maju i lipcu. Dodatni trend średniej miesięcznej temperatury powietrza w latach 1963–2002 potwierdzono statystycznie co najmniej przy $P < 0,05$ dla czterech miesięcy: kwietnia, maja, lipca i sierpnia (rys. 3). Wyznaczony na podstawie linii trendu wzrost temperatury w poszczególnych miesiącach był większy niż w przypadku temperatury średniej z całego okresu kwiecień–październik. Największy wzrost temperatury wystąpił w kwietniu (średnio +0,96°C/10 lat, $P < 0,01$) i lipcu (średnio +0,75°C/10 lat, $P < 0,05$), a następnie maju (średnio +0,68°C/10 lat, $P < 0,05$) i sierpniu (średnio +0,67°C/10 lat, $P < 0,01$).

W kwietniu dodatnie odchylenia temperatury od średniej wieloletniej wystąpiły już od roku 1983, po którym temperatury niższe od średniej wystąpiły do roku 2002 tylko 3 razy i jedynie w roku 1997 były niższe od średniej o -2,5°C, podczas gdy w dwóch pozostałych przypadkach różnice nie przekroczyły -0,5°C (rys. 4). W innych rozpatrywanych miesiącach przewaga dodatnich odchyleń temperatury nie była już tak wyraźna jak w kwietniu.

W wieloleciu 1973–2002 ziemniak był sadzony przeciętnie 25–26 kwietnia, wschody odmian średnio wczesnych przypadły na 27 maja, a kwitnienie następowało przeciętnie 5 lipca, natomiast odmiany średnio późne wschodziły i kwitły przeciętnie o 1 dzień później po tych terminach (tab. 2). Większe różnice pomiędzy obiema grupami wczesności wystąpiły dopiero w przypadku zasychania łętów; u odmian średnio wczesnych faza ta występowała przeciętnie 20 sierpnia, u odmian średnio późnych – 3 września. Odpowiednio różniły się także daty zbiorów, które przypadały na około 19 września i 5 października. Wszystkie rozpatrywane fenofazy ziemniaka, jak i terminy agrotechniczne, występowały w kolejnych latach analizowanego wielolecia przeciętnie coraz wcześniej (tab. 2). Zmiany w przebiegu rozpatrywanych terminów ziemniaka średnio wczesnego, jak i ziemniaka średnio późnego były zróżnicowane, od odpowiednio średnio -3,6 dnia/10 lat i -3,9 dnia/10 lat w przypadku kwitnienia oraz średnio -3,5 dnia/10 lat w przypadku terminu wschodów ziemniaka średnio wczesnego do odpowiednio, średnio -1,4 dnia/10 lat i średnio -0,9 dnia/10 lat w przypadku terminu zasychania łętów. Wyznaczony dodatni trend liniowy terminów fenofaz był istotny na poziomie $P < 0,01$ dla sadzenia, wschodów, kwitnienia i zbioru (tylko ziemniaka średnio wczesnego) oraz $P < 0,1$ dla zasychania łętów i zbioru ziemniaka średnio późnego. Przyspieszenie faz fenologicznych roślin uprawnych po koniec XX w. potwierdziły statystycznie badania m.in. Chmielewskiego i in. [2004], Wanga i in. [2008] oraz Kalbarczyka [2009]. Jak wykazano w niniejszych badaniach, podobną dodatnią tendencję w terminach fenofaz, mimo zachodzących fluktuacji w poszczególnych latach, można zaobserwować w przypadku odmian ziemniaka uprawianego na obszarze Polski.

W konsekwencji zmian terminów fenofaz zmianie uległa również długość okresów rozwojowych. W wieloleciu 1973–2002 najkrótszy spośród wydzielonych okresów był, trwający przeciętnie 30–33 dni, okres od zasychania łętów do zbiorów. Najdłużej, przeciętnie 46 dni u odmian średnio wczesnych i 59 dni u odmian średnio późnych, trwał okres od kwitnienia do usychania łętów (tab. 3). Podobnie, okres od zasychania łętów do zbiorów charakteryzował się najmniejszym zróżnicowaniem, odchylenie standardowe w zależności od grupy wczesności wyniosło 2,1–2,6 dnia. Okres od kwitnienia do zasychania łętów cechowało największe odchylenie standardowe, od 5,2 do 6,1 dnia i był to najbardziej zmienny pod względem długości okres rozwojowy ziemniaka. Długość tego

okresu podlegała największym zmianom w latach badań. Na podstawie wyznaczonej linii trendu można oszacować, że w latach 1963–2002 w jego przypadku nastąpiło wydłużenie o średnio 2,2 dnia/10 lat przy $P < 0,05$ dla odmian średnio wczesnych i o średnio 3,2 dnia/10, przy $P < 0,01$ lat dla odmian średnio późnych (tab. 3). Długość okresu wschody–kwitnienie ziemniaka średnio późnego i okresu zasychanie łętów–zbiór ziemniaka średnio wczesnego w tym samym wieloleciu podlegała przeciętnie skróceniu. W przypadku pierwszego z wymienionych okresów wyznaczone na podstawie linii trendu skrócenie wyniosło średnio 0,8 dnia/10 lat, przy $P < 0,1$, w drugim przypadku skrócenie wyniosło średnio 1,7 dnia/10 lat, przy $P < 0,01$.

Tabela 2. Charakterystyka statystyczna terminów agrotechnicznych i faz fenologicznych ziemniaka jako zmiennych zależnych (x), w zależności od grupy wczesności odmian, lata 1973–2002
Table 2. Statistical indexes of agrotechnical dates and phenological phases of potato as dependent variables, according to groups of potato earliness, 1973–2002

Agrofaza Agrophase	Odmiany Varieties	X (DOY)	Data Date	S (dzień – day)	Min (DOY)	Max (DOY)	Trend (dzień/10 lat) / test t-studenta (day/10 years) / t-Student test
P	ME	115,1	25-04	4,3	107	123	-2,8*** / 4,8
	ML	115,9	26-04	3,8	109	124	-2,0*** / 3,7
E	ME	147,2	27-05	5,3	138	160	-3,5*** / 5,1
	ML	148,7	28-05	4,0	143	159	-2,1*** / 4,1
F	ME	186,0	5-07	5,7	175	198	-3,6*** / 5,2
	ML	186,7	6-07	5,8	176	197	-3,9*** / 5,3
HD	ME	232,0	20-08	3,7	225	241	-1,4* / 3,8
	ML	245,8	3-09	3,8	240	258	-0,9* / 2,2
H	ME	262,1	19-09	4,2	256	272	-2,2*** / 4,3
	ML	278,5	5-10	3,1	274	287	-1,1* / 3,3

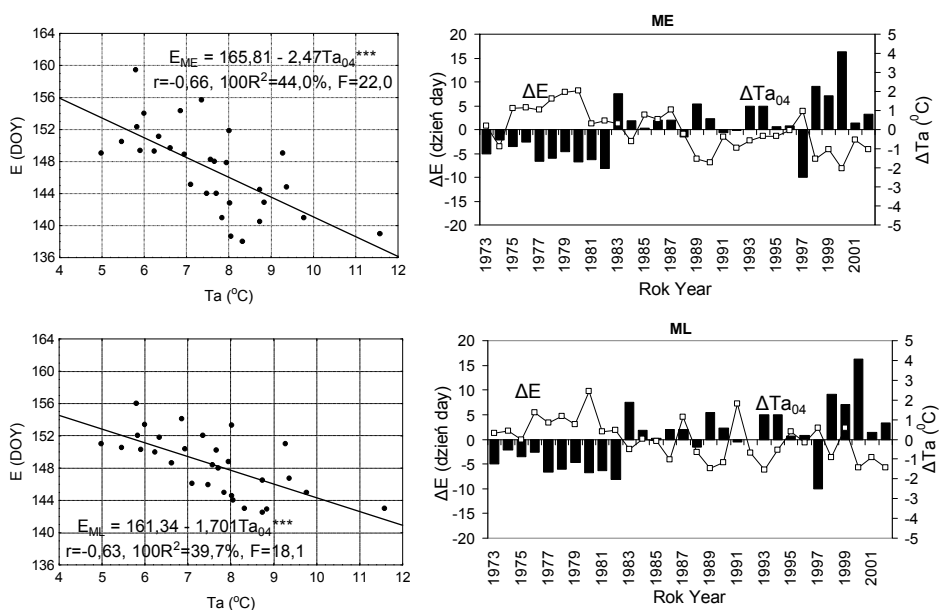
X – średnia – mean (średnia z 30 stacji COBORU – average of 30 stations from the Research Centre for Cultivar Testing), P – sadzenie – planting, E – wschody – emergence, F – kwitnienie – flowering, HD – zasychanie łętów – haulm drying, H – zbiór – harvesting, ME – średnio wczesne – mid-early, ML – średnio późne – mid-late, DOY – kolejny dzień roku – day of the year

Tabela 3. Charakterystyki statystyczne okresów rozwojowych ziemniaka jako zmiennych zależnych (x), w zależności od grupy wczesności odmian, lata 1973–2002
Table 3. Statistical indexes of potato development stages as dependent variables (x), according to groups of potato earliness, 1973–2002

Długość okresu Duration of agrophase	Odmiany Varieties	X (dzień – day)	S (dzień – day)	Min (dzień – day)	Max (dzień – day)	Trend (dzień/10 lat) / test t-Studenta (day/10years) / t-Student test
P-E	ME	32,1	3,5	26	42	n.s. / 0,5
	ML	32,8	3,5	27	43	n.s. / 1,3
E-F	ME	38,8	2,7	32	44	n.s. / 0,7
	ML	38,0	3,3	29	45	-1,7*** / 3,3
F-HD	ME	46,0	5,2	36	56	2,2** / -2,5
	ML	59,1	6,1	47	71	3,2*** / -2,9
HD-H	ME	30,1	2,1	23	34	-0,8* / 2,1
	ML	32,7	2,6	29	38	n.s. / 1,7

Objaśnienia – patrz tab. 1 i 2

Explanations, see Tables 1 and 2



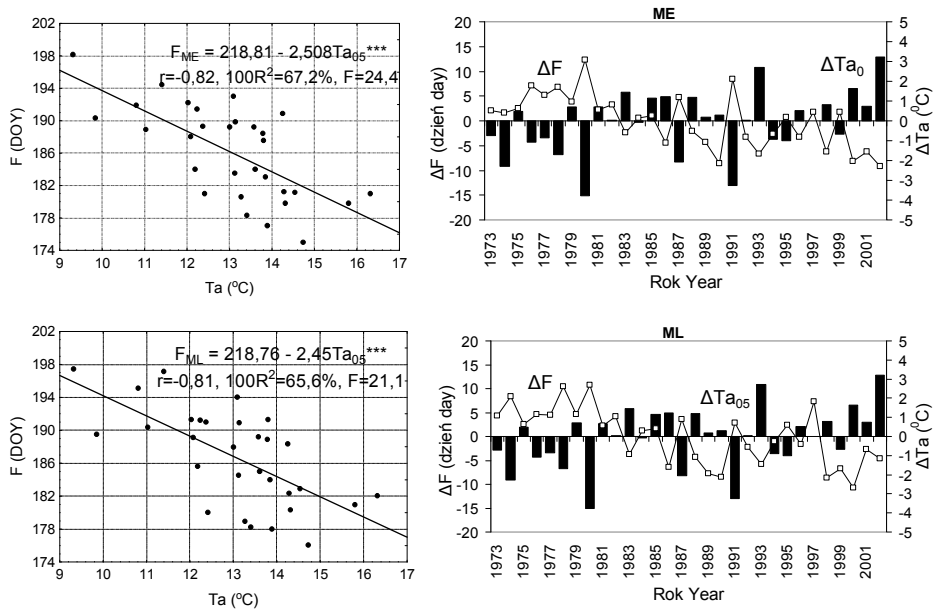
Rys. 5. Po lewej: zależność pomiędzy terminem wschodów ziemniaka (E) a średnią temperaturą powietrza (Ta_{04}) w Polsce, lata 1973–2002. Po prawej: odchylenia terminu wschodów (ΔE) i średniej temperatury powietrza (ΔTa_{04}) od średniej wieloletniej z lat 1973–2002. Trendy istotne przy $***P < 0,01$, ME – odmiany średnio wczesne, ML – odmiany średnio późne, DOY – kolejny dzień w roku

Fig. 5. Left: relation between emergence of potato (E) and average air temperature (Ta_{04}) in Poland, 1973–2002 and right: deviations of the dates of emergence (ΔE) and average air temperature (ΔTa_{04}) from the average over 1973–2002. Trends are significant with $***P < 0,01$, ME – mid-early varieties, ML – mid-late varieties, DOY – day of the year

We wszystkich opisanych przykładach zmian zachodzących zarówno w terminach, jak i długości okresów rozwojowych ziemniaka, można mówić o obserwowanych tendencjach w latach 1963–2002, ze względu na stosunkowo niskie wartości współczynników determinacji, opisujących rozpatrywane zależności.

Przeprowadzona analiza związków pomiędzy terminami fenologicznymi ziemniaka a średnią temperaturą powietrza potwierdziła statystycznie przy $P < 0,01$ wpływ temperatury na terminy wschodów oraz kwitnienia. Terminy wschodów obydwu grup wczesności ziemniaka były ujemnie skorelowane ze średnią temperaturą powietrza w kwietniu ($r = -0,66$ i $r = -0,63$) (rys. 5), terminy kwitnienia były istotnie statystycznie skorelowane ze średnią temperaturą powietrza w maju ($r = -0,82$ i $r = -0,81$) (rys. 6). Wzrostowi średniej temperatury w kwietniu o 1°C odpowiada przyspieszenie terminu wschodów o 2,5 dnia (ziemniak średnio wczesny) lub 1,7 dnia (średnio późny), takiemu samemu wzrostowi średniej temperatury w maju odpowiada przyspieszenie kwitnienia u obu grup wczesności o około 2,5 dnia.

Temperatura powietrza uznawana jest za jeden z najważniejszych czynników oddziałujących na przebieg fenofaz roślin [Weikai i Wallace 1998, Porter i Gawith 1999, Chmielewski i in. 2004, Kołodziej i in. 2006]. W przypadku terminów wschodów i kwitnienia ziemniaka wpływ temperatury na ich zmienność wyniósł od 40 do 67% (rys. 5, 6).



Rys. 6. Po lewej: zależność pomiędzy terminem kwitnienia ziemniaka (F) a średnią temperaturą powietrza (Ta_{05}) w Polsce, lata 1973–2002. Po prawej: odchylenia terminów kwitnienia (ΔF) i średniej temperatury powietrza (ΔTa_{05}) od średniej wieloletniej z lat 1973–2002. Trendy istotne przy $***P < 0,01$, ME – odmiany średnio wczesne, ML – odmiany średnio późne, DOY – kolejny dzień w roku

Fig. 6. Left: relation between flowering of potato (F) and average air temperature (Ta_{05}) in Poland, 1973–2002 and right: deviations of the dates of flowering (ΔF) and average air temperature (ΔTa_{05}) from the average over 1973–2002. Trends are significant with $***P < 0.01$, ME – mid-early varieties, ML – mid-late varieties, DOY – day of the year

Uzyskane wyniki potwierdziły wpływ zmian zachodzących w temperaturze powietrza pod koniec XX w. na przebieg rozwoju ziemniaka średnio wczesnego i średnio późnego. Przeprowadzone badania powinny być kontynuowane w celu sprawdzenia, czy przewidywane zmiany w przebiegu terminów fenofaz i okresów rozwojowych ziemniaka mogą prowadzić do obniżenia poziomu plonu tej rośliny w Polsce.

WNIOSKI

1. W wieloleciu 1973–2002 następował wzrost średniej temperatury powietrza w całym okresie wegetacji ziemniaka w Polsce oraz w czterech z siedmiu miesięcy tego okresu: w kwietniu, maju, lipcu i sierpniu.

2. W analizowanym wieloleciu obserwowano przyspieszenie średnich terminów fenologicznych ziemniaka, jak również zmianę średniej długości jego okresów rozwojowych, przede wszystkim wydłużenie okresu kwitnienie–zasychanie łątów oraz skrócenie

okresów wschody–kwitnienie ziemniaka średnio późnego i zasychanie lętołów–zbiór ziemniaka średnio wczesnego.

3. Zmienność terminów kwitnienia, a w mniejszym stopniu także wschodów obydwu grup wczesności ziemniaka była determinowana przebiegiem temperatury powietrza.

PIŚMIENNICTWO

- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 2004. Cykliczne wahania temperatury i opadów w Polsce w XIX–XXI wieku. *Acta Agrophysica* 3(1), 21–33.
- Brázdil K., Budíková M., Fasko P., Lapin M., 1995. Fluctuation of maximum and minimum air temperature in the Czech and the Slovak republics. *Atmosph. Res.* 37, 53–65.
- Chmielewski F.-M., Müller A., Bruns K., 2004. Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961–2000. *Agric. Forest Meteorol.* 112, 69–78.
- Chowdhury S.I., Wardlaw I.F. 1978. The effect of temperature on kernel development in cereals. *Aust. J. Agric. Res.* 29, 205–223.
- Degirmendźić J., Kożuchowski K., Żmudzka E., 2004. Changes of air temperature and precipitation in Poland in the period 1951–2000 and their relationship to atmospheric circulation. *Int. J. Climat.* 24, 3, 291–310.
- Deputat T., 1977. Wpływ temperatury, długości dnia i usłonecznienia na rozwój zbóż jarych. *Zesz. Nauk. ART Olszt., Ser. Rolnictwo* 21, 53–57.
- Draper N.R., Smith H., 1973. *Analiza regresji stosowana*. PWN, Warszawa, 459.
- Fortuniak K., Kożuchowski K., Żmudzka E., 2001. Trendy i okresowość zmian temperatury powietrza w Polsce w drugiej połowie XX w. *Przeł. Geofiz.* 46, 4, 283–303.
- Gao S.H., Guo J.P., Wang C.Y., 1995. The impacts of climatic change on production of drought land crops. *Appl. Meteorol.* 6, 83–88.
- GUS, 2008. *Badanie produkcji roślinnej. Przedwinykowy szacunek głównych ziemiopłodów rolnych i ogrodnich*. Warszawa.
- GUS, 2010. *Rocznik Statystyczny 2009*. Warszawa.
- Jendrzeczak E. 1992. *Statystyczne opracowanie wyników doświadczeń [w:] Doświadczalnictwo rolnicze*. red. F. Rudnicki, Bydgoszcz, ATR, 99–194.
- Kalbarczyk E., 2006. Agrofenozy a plony pszenżyta jarego w północno-zachodniej Polsce. *Folia Univ. Agric. Stetin, Agricultura* 247(100), 75–82.
- Kalbarczyk R., 2009. Air temperature changes and phenological phases of field cucumber (*Cucumis sativus* L.) in Poland 1966–2005. *Hort. Sci.* 36, 2, 75–83.
- Kołodziej J., Bednarek H., Liniewicz K., Samborski A., 2006. Dynamika zmienności średniej dekadowej temperatury powietrza w okolicy Lublina w pięćdziesięcioleciu 1951–2000. *Acta Agrophysica* 8(2), 405–414.
- Kożuchowski K., Żmudzka E., 2002. The warming in Poland: the range and the seasonality of changes in air temperature during the second half of the 20th century. *Miscellanea Geogr.* 10, 103–111.
- Michalska B., Kalbarczyk E., 2005. Longterm changes in air temperature and precipitation on Szczecińska Lowland. *EJPAU, Ser. Environmental Development*, 8, 1, www.media.ejpau.pl.
- Parey S., 2008. Extremely high temperatures in France at the end of the century. *Clim. Dyn.* 30, 99–112.

- Porter J.R., Gawith M., 1999. Temperatures and the growth and development of wheat: a review. *Eur. J. Agron.*, 10, 23–36.
- Tao F., Yokozawa M., Xu Y., Hayashi Y., Zhang Z., 2006. Climate changes and trends in phenology and yields of field crops in China, 1981–2000. *Agric. Forest Meteorol.* 138, 1–4, 82–92.
- Wang H.L., Gan Y.Y., Wang R.Y., Niu J.Y., Zhao H., Yang Q.G., Li G.C., 2008. Phenological trends in winter wheat and spring cotton in response to climate changes in northwest China. *Agric. Forest Meteorol.* 148, 8–9, 1242–1251.
- Weikai Y., Wallace D.H., 1998. Simulation and Prediction of Plant Phenology for Five Crops Based on Photoperiod \times Temperature Interaction. *Ann. Bot.* 81, 705–716.
- Wheeler T.R., Hong T.D., Ellis R.H., Batts G.R., Morison J.I.L., Hadley P., 1996. The duration and rate of grain growth, and harvest index, of wheat (*Triticum aestivum* L.) in response to temperature and CO₂. *J. Exp. Bot.* 47, 623–630.
- Xiao G., Zhang Q., Yao Y., Zhao H., Wang R., Bai H., Zhang F., 2008. Impact of recent climatic change on the yield of winter wheat at low and high altitudes in semi-arid northwestern China. *Agric., Ecosyst. Environ.* 127, 1–2, 37–42.
- Żmudzka E., 2004. The climatic background of agricultural production in Poland (1951–2000). *Miscell. Geogr.* 11, 126–137.
- Żmudzka E., 2009. Współczesne zmiany klimatu Polski. *Acta Agrophysica* 13(2), 555–568.

Summary. The aim of the work was to determine the influence of multi-annual air temperature changes on the course of dates of phenophases and duration of development stages of potato in Poland. The results of experiments of COBORU 30 stations from the years 1973–2002, concerning the dates of phenophases of standards of medium-early and medium-late potato, constituted material for the research. Average monthly air temperatures in the period from April to October were collected from meteorological stations at the COBORU or from the stations of IMGW. There occurred an increase in average air temperature in the whole growing season of potato in Poland, on average by +0.54°C/10 years, and in April, May, July and August, on average by +0.67°C/10 years, and +0.96°C/10 years. A acceleration of phenological dates of potato was observed, from about 1 to 4 days/10 years, and lengthening, by about 2–3 days/10 years, of the period from haulm drying to harvesting, and shortening, by about 1–2 days/10 years, of the periods from emergence to flowering of medium-late potato and from haulm drying to harvesting of medium-early potato. Changes of the dates of the flowering and emergence, too, were correlated with the course of air temperature.

Key words: potato, cultivars, air temperature, linear trend, phases, phenology