

Katedra Agrometeorologii i Klimatologii, Akademia Rolnicza w Szczecinie,
ul. Papieża Pawła VI 3, 71-469 Szczecin, Poland

Robert Kalbarczyk

Warunki termiczno-opadowe a plonowanie ziemniaka w Polsce

Thermal and precipitation conditions in relation to the yielding of potato in Poland

ABSTRACT. This study is based upon 10-day air temperature and precipitation totals from April to September, registered at 56 meteorological stations of the Institute of Meteorology and Water Management, and the mean potato yield published in the Statistical Yearbook of the Republic of Poland for the years 1961–1995. In June and July a curvilinear statistically significant influence of the thermal-precipitation conditions on the potato yield in Poland was found. It was shown that potato yield was higher than the average if the Sielianinov index in June was 0.8 to 1.8, and in July 0.9 to 2.4. If the Sielianinov index in June was below 0.8 and 0.9 in July, the yield of potato was by 9% lower than the average. If the Sielianinov index in June was above 1.8, and in July above 2.1, the yield decrease reached 7%. The lowest indexes for June and July were found mostly in the western part of Poland, the highest – in the southern part of Malopolska Upland.

KEY WORDS: potato, production, Sielianinov index, air temperature, rainfall, decrease of yield, Poland

Powierzchnia uprawy ziemniaka zmniejsza się w Polsce systematycznie o około 50 tys. ha rocznie [R. Kalbarczyk. Agroklimatyczne warunki uprawy ziemniaka w Polsce. Rozprawa doktorska, 2001], przy czym podobnie jak w przypadku zbóż udział ziemniaka w strukturze zasiewów zmniejsza się w miarę polepszenia warunków glebowych [Szwejkowski i in. 1992]. Pomimo tego ziemniak ciągle jeszcze jest gatunkiem znajdującym się w grupie głównych roślin uprawnych w naszym kraju. Spadek uprawy ziemniaka zaznacza się także w wielu krajach Europy Zachodniej (Niemcy, Francja), które w przeszłości miały

bardzo duże arealy tej rośliny [Streil 1997]. Jednak w Polsce w przeciwieństwie do tych krajów zmniejszeniu powierzchni uprawy ziemniaka nie towarzyszy satysfakcjonujący wzrost plonów z jednostki powierzchni [Roztropowicz 1995].

Rozwój i plonowanie ziemniaka są w dużym stopniu zdeterminowane przebiegiem warunków termicznych i opadowych. W początkowym okresie wegetacji lepsze warunki wzrostu panują przy temperaturach dobowych wyższych od wieloletnich, natomiast od kwitnienia do usychania łątów korzystniejsze są temperatury powietrza niższe od przeciętnych [Nowicka 1993]. Ujemny wpływ zbyt wysokiej temperatury łagodzą częściowo opady. Ziemniaki w pierwszych fazach rozwoju korzystają z pozimowych zapasów wody w glebie, stąd duże opady w okresie od marca do maja oddziałują na plony ujemnie [Kalbarczyk 2001]. Natomiast w okresie krytycznym, przypadającym na ogół między zawiązywaniem się pąków kwiatowych a końcem kwitnienia, rosnące bulwy potrzebują dużej ilości wody. Dopiero w końcowej fazie wegetacji, co przypada w okresie usychanie łątów–zbiór, zapotrzebowanie na wodę ponownie maleje [Koźmiński, Górka 1983].

W piśmiennictwie odczuwa się brak opracowań dotyczących jednoczesnego współdziałania temperatury powietrza i opadów na plonowanie ziemniaka. Liczne są natomiast opracowania, których tematem jest analiza oddziaływania głównych elementów meteorologicznych na plon ziemniaka [Górski, Doroszewski 1986; Głuska 1994; Chmura 1997; Grabowska i in. 1997; Grabowski 2001]. Dlatego w pracy podjęto próbę kompleksowej oceny warunków termicznych i opadowych przy zastosowaniu powszechnie znanego wskaźnika hydrotermicznego Sielianinowa.

METODY

Podstawę opracowania stanowiły materiały meteorologiczne i szacunkowe dane GUS za lata 1961–1995. Wyniki dotyczące średniego krajowego poziomu plonowania ziemniaka w warunkach produkcyjnych w Polsce zebrano z lat 1961–1995 [Rocznik Statystyczny GUS, Warszawa]. Z kolei średnie dekadowe temperatury powietrza i dekadowe sumy opadów atmosferycznych spisano w latach 1961–1995 dla 56 stacji meteorologicznych, równomiernie rozłożonych w całej Polsce [Biuletyn Agrometeorologiczny IMGW, Warszawa]. Na tej podstawie obliczono średnie dla kraju dekadowe wartości temperatury powietrza i sumy opadów dla kolejnych lat uwzględnionych w pracy.

Wskaźnik hydrotermiczny Sielianinowa obliczono według wzoru [Mołga 1958]: $K = \frac{P}{\sum T_p \cdot 0,1}$ gdzie: P – suma opadów atmosferycznych dla danej dekady w mm, $\sum T_p$ – suma temperatur powietrza dla danej dekady w °C. Na podstawie dekadowych wartości wskaźnika Sielianinowa obliczono wartości miesięczne, które wykorzystano do analizy danych.

Do wyznaczenia statystycznych zależności średniego krajowego plonu ziemniaka w warunkach produkcyjnych ze wskaźnikiem hydrotermicznym Sielianinowa w okresie od kwietnia do września posłużyła analiza regresji liniowej i krzywoliniowej, której parametry zostały wyznaczone metodą najmniejszych kwadratów. Istotność współczynników regresji zweryfikowano testem t-Studenta, natomiast hipotezę o istotności równania zbadano testem F-Snedecora, przy poziomie $\alpha=0,05$. Za miarę dopasowania funkcji regresji do danych empirycznych posłużyły współczynnik determinacji oraz błąd standardowy estymacji równania regresji. Wszystkie analizy statystyczne wykonano przy użyciu pakietu Statistica 5.

WYNIKI

Charakterystykę przeciętnych warunków termiczno-opadowych od kwietnia do września, opisanych wskaźnikiem hydrotermicznym Sielianinowa w skali całego kraju, przedstawiono w tabeli 1. Jak wynika z tej tabeli, średnia krajowa wartość wskaźnika hydrotermicznego w okresie wegetacyjnym ziemniaka od kwietnia do września waha się od 1,29 do 1,67, przy czym przeciętnie najniższe wartości wskaźnika występują we wrześniu, a najwyższe w kwietniu. Największą różnicę między maksymalną a minimalną wartością wskaźnika Sielianinowa zanotowano w kwietniu, natomiast najmniejszą w sierpniu. Większą zmiennością warunków termiczno-opadowych z roku na rok odznaczał się lipiec, natomiast mniejszą sierpień. Statystycznie istotny trend wskaźnika hydrotermicznego Sielianinowa w wieloleciu 1965–1995 udowodniono tylko w dwóch miesiącach, przy czym w maju był on ujemny, natomiast we wrześniu dodatni.

Analiza regresji liniowej nie ujawniła statystycznie istotnego związku między średnim krajowym plonem ziemniaka w warunkach produkcyjnych a wskaźnikiem hydrotermicznym Sielianinowa. Istotna zależność została wykazana dopiero po zastosowaniu funkcji wielomianowej drugiego stopnia z ujemnym kwadratowym współczynnikiem regresji, co przedstawiono na rycinie 1. Jak z niej widać, obniżenie plonu ziemniaka w Polsce obserwuje się zarówno przy małych, jak i dużych wartościach wskaźnika hydrotermicznego. Uzyskane wyniki dotyczące krzywoliniowego związku plonu ziemniaka z analizowanym wskaźnikiem są zbieżne z

prezentowanymi przez Prawdzica i Koźmińskiego [1972]. Istotny wpływ na wielkość plonu ziemniaka miała tylko wartość wskaźnika Sielianinowa w czerwcu i w lipcu, a więc w okresie największego zapotrzebowania rośliny na zasoby termiczne i wodne. Jak wynika z tabeli 2, warunki termiczno-opadowe w czerwcu wyjaśniały około 17%, a w lipcu około 36% zmienności plonu ziemniaka. Błędy standardowe estymacji równań regresji wyniosły $1,74 \text{ t ha}^{-1}$ w czerwcu i $1,48 \text{ t ha}^{-1}$ w lipcu, co stanowi poniżej 10% średniego plonu ziemniaka w Polsce. Gdy w równaniu regresji wielokrotnej uwzględniono rozpatrywany wskaźnik jednocześnie z czerwca i z lipca, opis zmienności średniego krajowego plonu ziemniaka został poprawiony do około 55%. Natomiast przy uwzględnieniu w równaniu regresji tylko jednej zmiennej niezależnej w postaci wskaźnika Sielianinowa, ujmującego warunki termiczno-opadowe łącznie dla okresu od czerwca do lipca, współczynnik determinacji wyniósł tylko 29%.

Tabela 1. Charakterystyka statystyczna wskaźnika Sielianinowa w Polsce od kwietnia do września w latach 1961–1995

Table 1. Statistical characteristics of the Sielianinov index in Poland from April to September in the years 1961–1995

Miesiąc Month	Średnio Mean	Najmniejszy Minimum	Największy Maximum	Trend czasowy Trend	Współczynnik zmienności % Coefficient of variation %
Kwiecień April	1,67	0,68	3,71	ni ns	41,8
Maj May	1,51	0,80	3,36	- (21,9%)*	36,1
Czerwiec June	1,41	0,60	2,42	ni ns	35,3
Lipiec July	1,32	0,19	2,77	ni ns	44,9
Sierpień August	1,30	0,53	2,30	ni ns	34,7
Wrzesień September	1,29	0,33	2,54	+ (7,7%)*	41,2

Objaśnienia Explanations:

-/+ – Kierunek zależności między wskaźnikiem Sielianinowa a funkcją czasu Direction of the relationship between Sielianinov index and time function

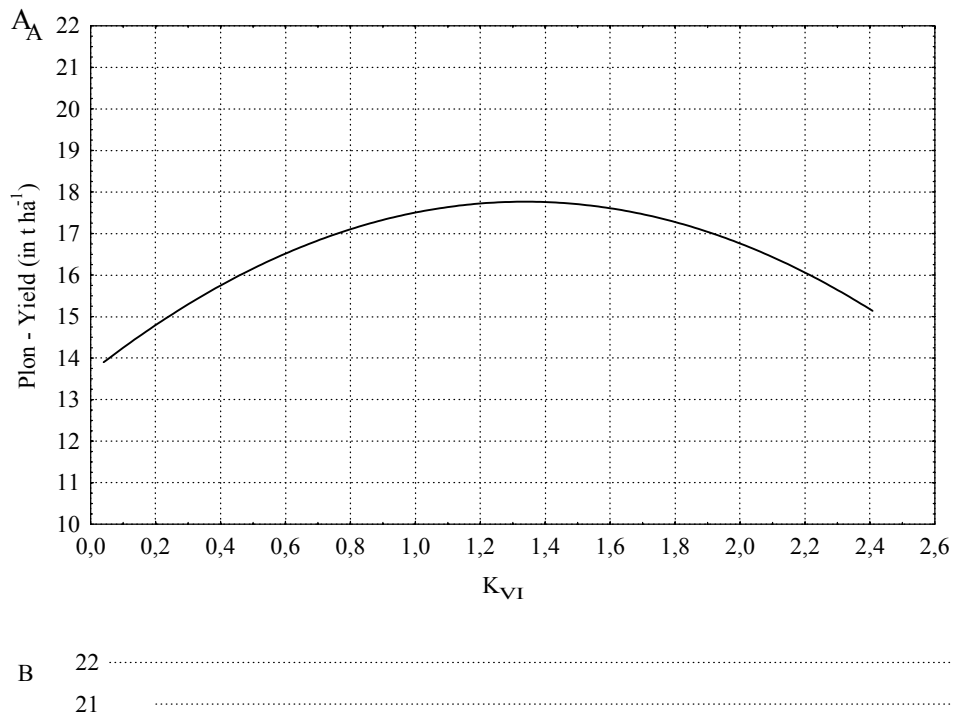
*** Zależność istotna przy $\alpha = 0,01$ Relationship significant at $\alpha = 0.01$

* Zależność istotna przy $\alpha = 0,1$ Relationship significant at $\alpha = 0.1$

ni – Nieistotne przy $\alpha = 0,1$

ns – Not significant at $\alpha = 0.1$

W nawiasie podano wartości współczynnika determinacji In the bracket values of coefficient of determination are provided



Rycina 1. Zależność między średnim krajowym plonem ziemniaka w produkcji a wskaźnikiem Selianinowa w czerwcu (A) i w lipcu (B) w latach 1961–1995
Figure 1. Relationship between the mean potato yield in Poland and the Selianinov index in June (A) and in July (B) in the years 1961–1995

Tabela 2. Równania regresji kwadratowej dla zależności plonu ziemniaka w warunkach produkcyjnych od wskaźnika Sielianinowa w czerwcu i w lipcu w latach 1961–1995
Table 2. Quadratic regression equations for the relationship of potato yield on the Sielianinov index in June and July in the years 1961–1995

Miesiąc Month	Równanie regresji Regression equation	R ² %	F	Sy t ha ⁻¹	S t ha ⁻¹
VI	$y = 13,658 + 6,141K_{VI}^{**} - 2,295^2K_{VI}^{**}$	16,9	6,7	1,74	2,24
VII	$y = 11,6075 + 8,872K_{VII}^{***} - 2,924^2K_{VII}^{***}$	36,4	7,1	1,48	
VI + VII	$y = 9,855 + 8,314K_{VII}^{***} + 3,9207K_{VI}^{**} - 2,8062^2K_{VII}^{***} + 0,2208K_{VI}K_{VII}^{*} - 1,595^2K_{VI}^{**}$	54,8	10,1	1,29	

Objaśnienia Explanations:

R² – Współczynnik determinacji Coefficient of determination

F – Test Snedecora Test of Snedecor

Sy – Błąd równania regresji Regression equation error (in t ha⁻¹)

S – Odchylenie standardowe Standard deviation

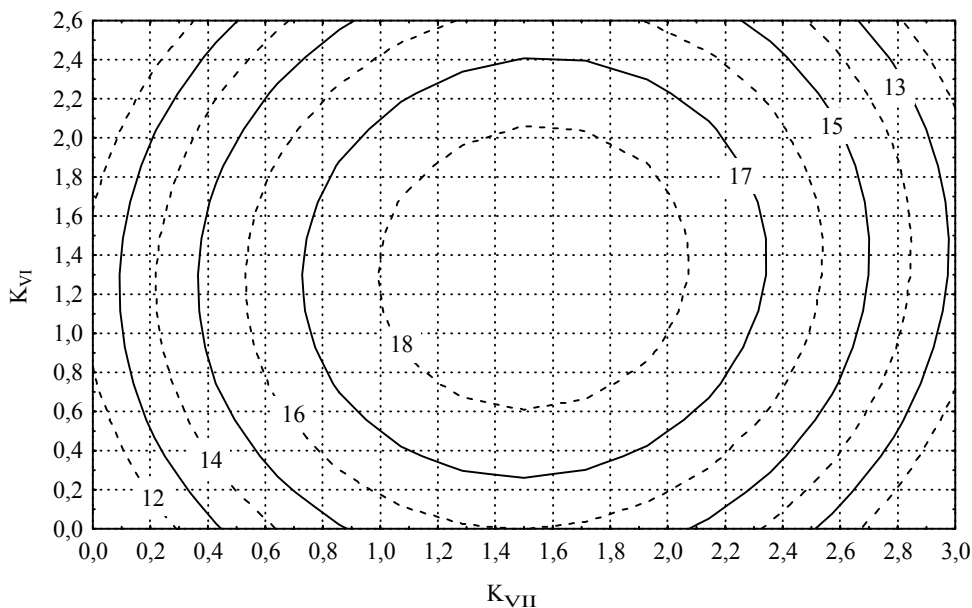
*** Współczynnik regresji istotny przy $\alpha = 0,01$ Regression coefficient significant at $\alpha = 0.01$

** Współczynnik regresji istotny przy $\alpha = 0,05$ Regression coefficient significant at $\alpha = 0.05$

* Współczynnik regresji istotny przy $\alpha = 0,1$ Regression coefficient significant at $\alpha = 0.1$

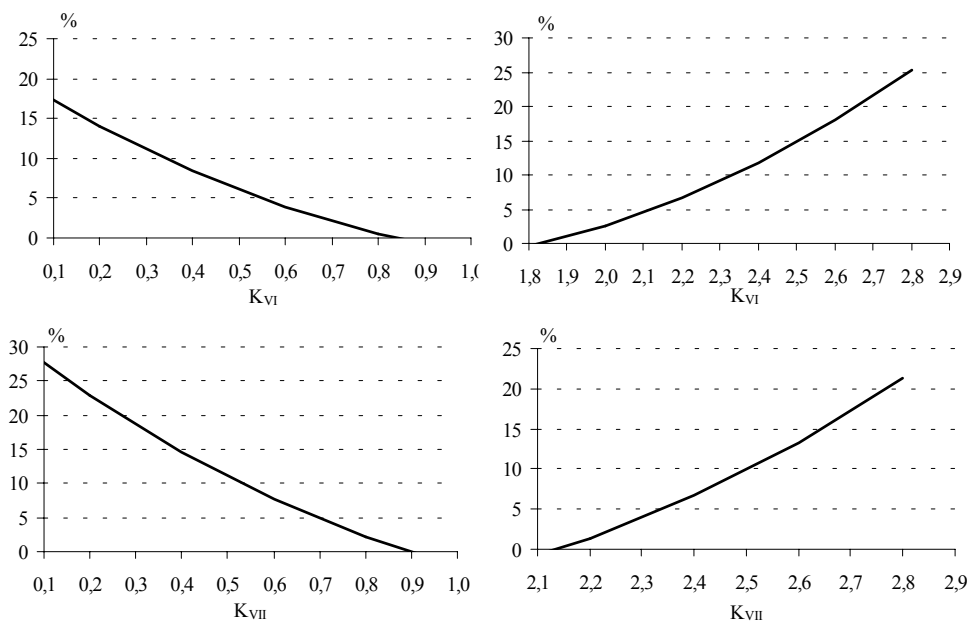
K_{VI} – Wskaźnik Sielianinowa w czerwcu Sielianinov index in June

K_{VII} – Wskaźnik Sielianinowa w lipcu Sielianinov index in July



Rycina 2. Diagram potencjalnego plonu ziemniaka (w t ha⁻¹) w produkcji na terenie Polski w zależności od wskaźnika Sielianinowa w czerwcu (K_{VI}) i w lipcu (K_{VII})

Figure 2. Diagram of potential potato yield (in t ha⁻¹) in Poland as related to the Sielianinov index in June (K_{VI}) and in July (K_{VII})

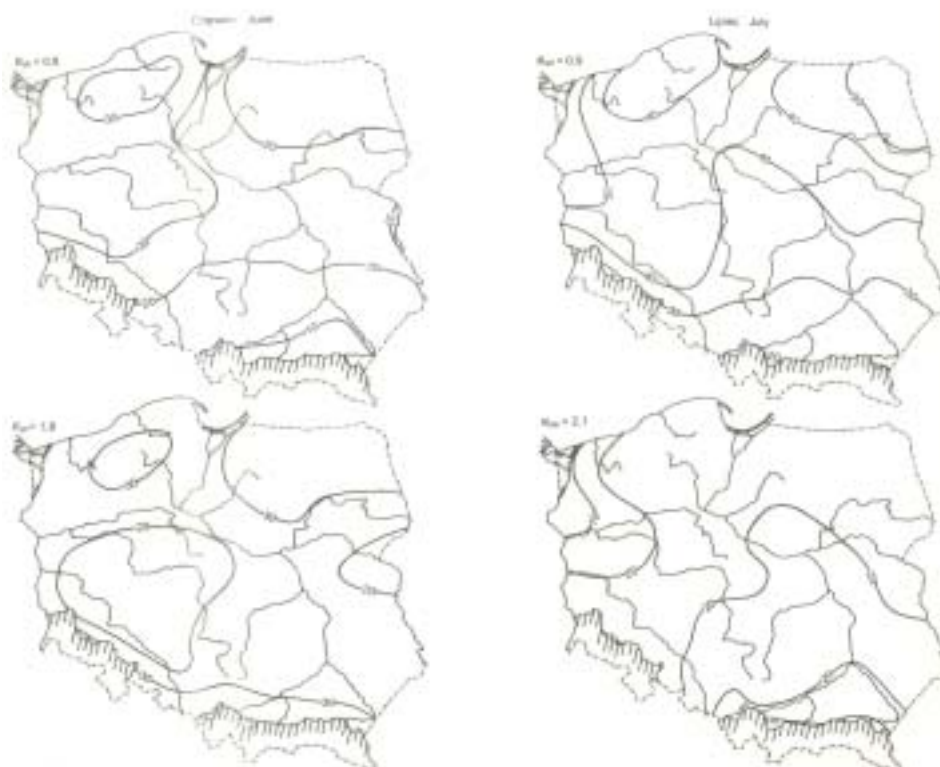


Rycina 3. Potencjalne zmniejszenie plonu ziemniaka w produkcji na terenie Polski spowodowane niekorzystnymi warunkami termiczno-opadowymi, opisanymi wskaźnikiem Sielianinowa w czerwcu i w lipcu w latach 1961–1995

Figure 3. Prospective decrease of potato yield in Poland caused by unfavorable thermal-precipitation conditions in June and July described by Sielianinow index in the years 1961–1995

Uzyskane wyniki zależności plonu ziemniaka od wskaźnika Sielianinowa, równocześnie dla czerwca i lipca, przedstawione na rycinie 2, wykorzystano do budowy nomogramu, pozwalającego określić wielkość średniego krajowego plonu tej rośliny w warunkach produkcyjnych. Dla przykładu: z nomogramu można odczytać, że przy wielkościach wskaźnika 2,0 w czerwcu i 0,2 w lipcu krajowy plon bulw ziemniaka w warunkach produkcyjnych wyniesie tylko 13 t ha^{-1} , ale przy tej samej wartości w czerwcu 2,0, a przy wartości 1,4 w lipcu plon wzrośnie do 18 t ha^{-1} .

Wykresy regresji kwadratowej, przedstawione na rycinie 1, pozwoliły odczytać po dwie progowe wartości wskaźnika hydrotermicznego, oddzielnie dla czerwca i lipca, które mogą być przyczyną spadku plonu ziemniaka poniżej średniego wieloletniego. Najniższe średnie krajowe plony ziemniaka występowały zarówno wówczas, gdy wskaźnik Sielianinowa w czerwcu był mniejszy od 0,8 lub większy od 1,8, jak przy wartościach w lipcu – poniżej 0,9 albo ponad 2,1. Przy wymienionych progowych wartościach wskaźnika hydrotermicznego Sielianinowa w czerwcu i w lipcu plony ziemniaka były przeciętnie o 8% mniejsze od średniego wieloletniego.



Rycina 4. Częstość występowania, w %, wartości wskaźnika Sielianinowa w czerwcu ($K < 0,8$ i $K > 1,8$) i lipcu ($K < 0,9$ i $K > 2,1$) w latach 1961–1995
 Figure 4. Frequency of appearance in %, values of Sielianinov index in June ($K < 0,8$ and $K > 1,8$) and July ($K < 0,9$ and $K > 2,1$) in the years 1961–1995

W celu dokładnego określenia potencjalnego zmniejszenia plonu ziemniaka ze strony niekorzystnego układu warunków termiczno-opadowych, opisanych wskaźnikiem Sielianinowa, skonstruowano cztery diagramy (po dwa dla każdego miesiąca), osobno dla dwóch przeciwstawnych sytuacji pogodowych, a mianowicie: 1) dla małych wartości wskaźnika Sielianinowa, które są skutkiem niższych od przeciętnych sum opadów, a jednocześnie większych temperatur powietrza, czyli dla wyznaczonych wcześniej dolnych wartości progowych: $K_{VI} < 0,8$ i $K_{VII} < 0,9$ oraz 2) dla dużych wartości wskaźnika Sielianinowa, które z reguły występują w warunkach wyższych od przeciętnych sum opadów, a jednocześnie mniejszych temperatur powietrza, czyli dla górnych wartości progowych $K_{VI} > 1,8$ i $K_{VII} > 2,1$.

Podstawą konstrukcji wykresów, przedstawionych na rycinie 3, była procentowa ocena różnicy pomiędzy wieloletnimi rzeczywistymi plonami krajowymi a plonami obliczonymi z równania regresji krzywoliniowej, ale tylko dla takich pro-

gowych wartości wskaźnika Sielianinowa, przy których następuje zmniejszenie plonu. Przykładowo, przy wartości wskaźnika Sielianinowa 0,4 w czerwcu potencjalne obniżenie średniego krajowego plonu produkcyjnego ziemniaka wyniesie około 8%, natomiast w lipcu – około 14%. Z kolei zbyt duże wartości wskaźnika stanowią dwa razy większe zagrożenie plonu, gdy występują w czerwcu. Bowiem przy wartości wskaźnika np. 2,4 w czerwcu plon ziemniaka w warunkach produkcyjnych będzie mniejszy od wieloletniego prawie o 12%, podczas gdy przy tej samej wartości w lipcu – tylko o 7%.

Dla określenia zagrożenia uprawy ziemniaka z tytułu zarówno zbyt małych, jak i zbyt dużych wartości wskaźnika Sielianinowa obliczono częstości ich występowania na terenie całego kraju, co przedstawia rycina 4. Jak z niej wynika, średnia częstość wskaźnika hydrotermicznego, poniżej 0,8, w czerwcu waha się od 10 do 30%. Tak małe wartości wskaźnika występują najczęściej w Wielkopolsce oraz na Kujawach i Nizinie Szczecińskiej, najrzadziej zaś – w południowo-wschodniej części kraju. W lipcu niekorzystnie małe wartości wskaźnika, poniżej 0,9, zdarzają się z częstością od 20% na południowym wschodzie do ponad 50% na Nizinie Szczecińskiej i Pojezierzach Myśliborskim i Lubuskim. Natomiast częstość przekroczenia wskaźnika hydrotermicznego, powyżej 1,8, w czerwcu wynosi w Polsce od 20% do nawet 40%. Największe zagrożenie powodowane niekorzystnym przebiegiem warunków termiczno-opadowych występuje na obszarze południowo-wschodnim, a najmniejsze zagrożenie – na obszarze środkowo-zachodniej Polski i na Polesiu Lubelskim. W lipcu częstość przewyższenia $K > 2,1$ kształtuje się od około 10 do ponad 30%. Tak duże wartości wskaźnika Sielianinowa, niekorzystne dla plonowania ziemniaka, najrzadziej występują na Nizinie Szczecińskiej.

WNIOSKI

1. Statystycznie istotny wpływ warunków termiczno-opadowych, opisanych wskaźnikiem Sielianinowa, na średni krajowy plon ziemniaka w warunkach produkcyjnych Polski stwierdzono jedynie w czerwcu i w lipcu, przy zależności o charakterze krzywej wielomianowej drugiego stopnia z ujemnym kwadratowym współczynnikiem regresji.

2. Plonom ziemniaka powyżej średniej wieloletniej sprzyjają warunki termiczno-opadowe, odzwierciedlone wartościami wskaźnika hydrotermicznego Sielianinowa w czerwcu w przedziale od 0,8 do 1,8, a w lipcu – w przedziale od 0,9 do 2,1.

3. Przy wartościach wskaźnika Sielianinowa poniżej 0,8 w czerwcu i 0,9 w lipcu zaznacza się 9% spadek plonowania ziemniaka w stosunku do wieloletnie-

go. Z kolei przy wartościach wskaźnika ponad 1,8 w czerwcu i 2,1 w lipcu spadek plonów wynosi około 7%.

4. W klimatycznych warunkach Polski niekorzystne oddziaływanie warunków termiczno-opadowych na plon ziemniaka odzwierciedlają małe wartości wskaźnika Sielianinowa w lipcu, natomiast duże – w czerwcu.

5. W czerwcu i w lipcu małe wartości wskaźnika Sielianinowa występują najczęściej w zachodniej części Polski, zaś duże – w południowej części Wyżyny Małopolskiej.

PIŚMIENNICTWO

- Chmura K. 1997. Wpływ sum i rozkładu opadów w okresie wegetacji na plonowanie ziemniaka. Zesz. Nauk. AR Wrocław, 313, 37–42.
- Głuska A. 1994. Wpływ ilości i rozkładu opadów w głównych miesiącach wegetacji (VI–IX) na plon ziemniaka w zależności od terminu sadzenia i wczesności odmiany. Biul. Inst. Ziemn. 44, 65–82.
- Górski T., Doroszewski A. 1986. Wpływ opadów atmosferycznych na plonowanie ziemniaków w Polsce. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 284, 369–375.
- Grabowska K., Nowicka A., Szwejkowski Z. 1997. Działanie i współdziałanie temperatur ekstremalnych powietrza na plonowanie ziemniaków w różnych rejonach kraju. Cz. II. Odmiany późne. *Fragm. Agron.* 54, 55–62.
- Grabowski J. 2001. Meteorologiczne warunki plonowania ziemniaka w Polsce północno-wschodniej, UWM w Olsztynie 45, *Rozprawy i Monografie*, 28–35.
- Koźmiński C., Górka W. 1983. Ocena klimatycznych warunków termicznych i opadowych województw koszalińskiego i słupskiego dla uprawy ziemniaków średnio późnych i późnych. *Biul. Inst. Ziemn.* 29, 101–115.
- Molga M. 1958. *Meteorologia rolnicza*. Warszawa, 550–556.
- Nowicka A. 1993. Temperatura. W: Czynniki plonotwórcze – plonowanie roślin. Red. J. Dzieżyc, PWN, Warszawa–Wrocław, 116–121.
- Roztropowicz S. 1995. Aktualna sytuacja w dziedzinie produkcji ziemniaka w Polsce na tle przemian zachodzących w Europie. *Biul. Inst. Ziemn.* 45, 21–37.
- Prawdź K., Koźmiński C. 1972. *Agroklimat województwa zielonogórskiego*. Redakcja Poradnika Gospodarczego w Poznaniu, 134–149.
- Streil W. 1997. Tendenzen am Kartoffelmarkt aus bayerischer Sicht. *Kartoffelbau* 48, 338–340.
- Szwejkowski Z., Nowicki J., Wanic M. 1992. Struktura zasiewów głównych ziemniaków a jakość gruntów ornych gmin Polski. Cz. II. Rośliny okopowe. *Fragm. Agron.*, 36, 19–25.