



ZMIENNOŚĆ CZASOWA I PRZESTRZENNA SUSZ W REGIONIE POMORZA I KUJAW W OKRESIE WZMOŻONYCH POTRZEB WODNYCH KUKURYDZY

Jacek Żarski, Renata Kuśmierek-Tomaszewska, Stanisław Dudek
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy

SPATIAL AND TEMPORAL VARIABILITY OF DROUGHTS IN THE REGION OF POMORZE AND KUJAWY DURING THE PERIOD OF HIGH WATER NEEDS OF CORN

Streszczenie

Podstawowym celem pracy, wykonanej w ramach strategii badawczej dotyczącej aktualnie zachodzących zmian klimatu regionalnego Pomorza i Kujaw było zaprzeczenie hipotezie o zwiększającej się częstości i intensywności występowania susz w okresie wzmożonych potrzeb wodnych kukurydzy, obejmującym miesiące czerwiec i lipiec, w latach 1981-2010. Praca miała także na celu potwierdzenie istotnej zależności między wskaźnikami charakteryzującymi suszę meteorologiczną i rolniczą. Materiał do badań stanowiły dane z pięciu meteorologicznych punktów pomiarowych zlokalizowanych w regionie. Zastosowano metody statystyczne stosowane w opracowaniach klimatologicznych, między innymi metodę trendów z zastosowaniem równań regresji liniowej. Średnie wieloletnie 1981-2010 wysokości opadów w okresie wzmożonych potrzeb wodnych kukurydzy (VI-VII) w miejscowościach regionu Pomorza i Kujaw cechowała zmienność przestrzenna wynosząca 22,6%. Częstość występowania susz meteorologicznych w okresie czerwca i lipca wyniosła 26,7–33,3%. Nie stwierdzono istotnych zmian częstości i intensywności występowania tych susz wraz upływem lat od 1981 do

2010. Produkcja kukurydzy w regionie Pomorza i Kujaw jest prowadzona w warunkach częstego występowania niedoborów opadów atmosferycznych w okresie wzmożonych potrzeb wodnych, które maksymalnie wynoszą od -91 do -124 mm, w zależności od miejscowości. Niedobory te nie wykazały istotnych, ukierunkowanych zmian w latach 1981-2010.

Słowa kluczowe: susza meteorologiczna i rolnicza, wskaźnik SPI, opady atmosferyczne, kukurydza

Abstract

The objective of the work, carried out as part of research programme on current change of the regional climate, was to confirm the hypothesis about the increasing frequency and intensity of droughts occurring during the high water needs of corn, during the period of June and July, in the region of Pomorze and Kujawy in the years 1981-2010. Furthermore, the aim was to confirm a significant relationship between indicators characterizing meteorological and agricultural droughts. Material for the research was data from five meteorological measuring points located in the region. Statistical methods used in climatological studies were applied, particularly the method of trends. The average multi-annual totals (1981-2010) of rainfall in the period of high water needs of corn (June-July) in the region of the Pomorze and Kujawy were characterized by spatial variability amounts to 22.6%. The frequency of meteorological drought in June through July is 26.7–33.3%. In the analyzed period there were no significant changes in the frequency and intensity of these droughts with the passage of years. Rainfall shortages in corn production extend to maximum of – 91 to – 124 mm, depended on the locality. The shortages did not show any significant changes in the years of the study.

Keywords: meteorological and agricultural drought, SPI, atmospheric precipitation, corn

WSTĘP

Region Pomorza i Kujaw położony jest w północnej części centralnej Polski, stanowiącej główny obszar gospodarowania rolniczego. Użytki rolne zajmują w regionie ponad 1 mln ha, na około 150 tys. ha uprawia się kukurydzę (GUS 2018). Produkcja kukurydzy związana jest z klimatycznym ryzykiem, wynikającym z częstego występowania susz w okresie wzmożonych potrzeb wodnych roślin. Według najnowszych badań okres ten obejmuje miesiące czerwiec i lipiec. Świadczą o tym istotne zależności wysokości plonu od sumy opadów

atmosferycznych, wykazane zarówno w skali doświadczalnej (Żarski i in. 2018), jak i w warunkach produkcyjnych województwa kujawsko-pomorskiego (Żarski i in. 2017).

Podstawową cechą susz jest ich nieregularność, wynikająca z dużej zmienności czasowej występowania opadów atmosferycznych. Zmienność ta, polegająca na występowaniu diametralnie różnych warunków opadowych w tych samych okresach kalendarzowych poszczególnych lat, powodowana jest głównie przez czynniki cyrkulacyjne (Bąk, Maszewski 2012; Marsz i in. 2016).

Zgodnie z teorią zmian klimatycznych, których podstawowym przejawem jest wzrost temperatury powietrza, częstość występowania susz w umiarkowanych szerokościach geograficznych ma wzrastać (Kundzewicz 2011; Kuchar, Iwański 2013; IPCC 2014). Wyniki niektórych badań potwierdzają, że zmiany te zachodzą już aktualnie (Somorowska 2009; Kaca i in. 2011). Według Wibig (2012) w Polsce występuje tendencja do nasilenia susz w okresie letnim, szczególnie w rejonach, w których woda stanowi czynnik ograniczający wielkość plonów. Jednak są także wyniki badań, w których nie stwierdza się wzrostu częstości występowania susz (Kuśmierek-Tomaszewska i in. 2018) lub powiększania się wariacji opadów (Czarnecka, Nidzgorska-Lencewicz 2012; Żarski i in. 2014).

Podstawowym celem pracy, wykonanej w ramach strategii badawczej dotyczącej aktualnie zachodzących zmian klimatu regionalnego Pomorza i Kujaw było zaprzeczenie hipotezie o zwiększającej się częstości i intensywności występowania susz w okresie wzmożonych potrzeb wodnych kukurydzy, obejmującym miesiące czerwiec i lipiec, w latach 1981-2010. Praca miała także na celu potwierdzenie istotnej zależności między wskaźnikami charakteryzującymi suszę meteorologiczną i rolniczą.

MATERIAŁ I METODY

Materiał stanowiły wyniki standardowych pomiarów dobowych sum opadów atmosferycznych i średniej temperatury powietrza w okresie wzmożonego zapotrzebowania na wodę kukurydzy, obejmującego miesiące czerwiec i lipiec. Dane meteorologiczne pozyskano z placówek Centralnego Ośrodka Badania Odmian Roślin Uprawnych: Stacji Doświadczalnej Oceny Odmian w Chrzastowie i z dwóch Zakładów Doświadczalnych Oceny Odmian w Głębokiem i Głodowie. Wykorzystano także własne wyniki pomiarów meteorologicznych, prowadzonych w Stacji Badawczej UTP w Bydgoszczy, zlokalizowanej w Mochełku. W celu sprawdzenia reprezentatywności wyników pomiarów, dane opadowe z tych punktów odniesiono do jedynej w regionie stacji referencyjnej, działającej w sieci państwowej IMGW, zlokalizowanej w Toruniu. Wszystkie punkty pomiarowe znajdują się w regionie Pomorza i Kujaw. SDOO Chrzastowo oraz

Mochelek położone są w północnej części regionu na Pojezierzu Krajeńskim. Dwie pozostałe miejscowości leżą w południowej części województwa: ZDOO w Głębokiem na Pojezierzu Gnieźnieńskim (Równina Inowrocławska), a ZDOO w Głodowie na Pojezierzu Dobrzyńskim (Wysoczyzna Płońska). Położenie geograficzne wymienionych placówek przedstawiono w tabeli 2. Ich cechą wspólną jest położenie na obszarach słabo zurbanizowanych i uprzemysłowionych, co sprawia, że wpływ miejskich czynników antropogenicznych jest niewielki. W trosce o jednorodność serii pomiarowej, działając w zgodzie z zaleceniami WMO, w pracy analizowano tylko sumy opadów atmosferycznych w okresie 30-letnim normatywnym (1981-2010). Oprócz reprezentatywności danych, chodziło także o zachowanie ważnej w tego typu badaniach zasady porównywalności wyników pomiarów i obserwacji meteorologicznych.

Identyfikacji suszy dokonano na podstawie wskaźnika standaryzowanego opadu (SPI). Wskaźnik standaryzowanego opadu SPI obliczono odrębnie dla każdej miejscowości, poddając 30-letnie ciągi dwumiesięcznych sum opadów atmosferycznych normalizacji za pomocą funkcji przekształcającej $f(P) = (P)^{1/3}$. Na podstawie obliczonych wielkości wskaźnika SPI określono klasę suszy (Tab. 1), według skali obowiązującej w monitoringu warunków opadowych w Polsce, prowadzonym przez Instytut Technologiczno-Przyrodniczy (Łąbedzki, Bąk 2013).

Tabela 1. Klasy suszy według wskaźnika standaryzowanego opadu (SPI)
(Łąbedzki i Bąk 2013)

Table 1. Drought classes according to the standardized precipitation index (SPI)
(Łąbedzki i Bąk 2013)

Rodzaj okresu	SPI	Oznaczenie graficzne
Susza ekstremalna	$\leq -2,00$	
Susza silna	od $-1,99$ do $-1,50$	
Susza umiarkowana	od $-1,49$ do $-1,00$	
Susza słaba	od $-0,99$ do $-0,50$	

Wskaźnik SPI charakteryzuje suszę meteorologiczną tylko na podstawie danych opadowych. W celu określenia suszy rolniczej zastosowano wskaźnik niedoboru rzeczywistych opadów atmosferycznych, w stosunku do opadów optymalnych Klatta dla gleb o średniej żyzności. Opady te dla kukurydzy wynoszą w czerwcu 60 mm przy średniej temperaturze powietrza 16°C, a w lipcu 70 mm przy średniej temperaturze 18°C. Różnica temperatury w stosunku do podanych powoduje zwiększenie lub zmniejszenie opadów optymalnych o 5 mm na każdy 1°C tej różnicy.

Zastosowano metody statystyczne powszechnie stosowane w opracowaniach klimatologicznych (Garnier 1996). Przydatna była szczególnie metoda trendów z zastosowaniem równań regresji liniowej w odniesieniu do 30-letniego okresu pomiarowego.

WYNIKI I DYSKUSJA

Średnie wieloletnie 1981-2010 wysokości opadów atmosferycznych w okresie wzmożonych potrzeb wodnych kukurydzy (czerwiec-lipiec) w analizowanych miejscowościach regionu Pomorza i Kujaw cechowała zmienność przestrzenna wynosząca 22,6%. Najniższe opady notowano w północnej części regionu na Pojezierzu Krajeńskim (Mochle, Chrzastowo), a najwyższe w położonym na Wysoczyźnie Płońskiej (100 m n.p.m) Głodowie. Sumy opadów okazały się ogólnie zgodne z podawanymi w publikacjach syntetyzujących klimat całej Polski (Lorenc 2005) lub o charakterze regionalnym (Żarski, Dudek 2000). Średnia wieloletnia suma opadów w okresie czerwiec-lipiec, kształtująca się średnio dla wszystkich miejscowości na poziomie 135,4 mm (tab. 2), pozwala zaliczyć rejon Pomorza i Kujaw do obszarów o najniższych opadach atmosferycznych w Polsce.

Tabela 2. Średnie wieloletnie (1981-2010) sumy opadów atmosferycznych w miesiącach czerwiec – lipiec w regionie Pomorza i Kujaw wraz ze statystykami określającymi ich zmienność czasową

Table 2. Average multi-annual totals (1981-2010) of rainfall during the period of June – July in the region of Pomorze and Kujawy and statistics defining their temporal variability

Miejscowość	Szerokość geograficzna	Długość geograficzna	Opady (mm)			Współczynnik zmienności (%)
			średnie	maksymalne (rok)	minimalne (rok)	
Mochle	53° 13 '	17° 51 '	122,6	226,6 (2001)	34,5 (1983)	42,8
Chrzastowo	53° 11 '	17° 35 '	124,2	206,1 (1984)	43,1 (2006)	41,5
Toruń	53° 03 '	18° 36 '	142,0	260,0 (2001)	44,0 (2006)	43,1
Głodowo	52° 50 '	19° 15 '	150,3	251,4 (2001)	59,5 (1994)	37,5
Głębokie	52° 39 '	18° 27 '	137,9	250,4 (1981)	37,0 (2006)	41,1

Dużo większa od zmienności przestrzennej opadów w analizowanym okresie, była ich zmienność czasowa, charakterystyczna dla klimatu Polski Centralnej. Świadczą o tym zarówno sumy ekstremalne, jak i wysokie współczynniki zmienności, wynoszące 37,5 – 43,1%, w zależności od miejscowości. Różnica między opadami maksymalnymi, a minimalnymi czerwca i lipca w wieloletniu 1981-2010 wynosiła średnio ok. 195 mm, a więc nie tylko wielokrotnie przewyższała różnicę wynikającą ze zmienności przestrzennej, ale również była znacząco wyższa od opadów optymalnych dla kukurydzy w fazie wzmożonych potrzeb wodnych roślin.

Duża zmienność czasowa i mniejsza od niej zmienność przestrzenna dotyczyła także częstości pojawiania się susz meteorologicznych w okresie wzmożonych potrzeb wodnych kukurydzy (rys. 1). W analizowanym okresie wieloletnim w poszczególnych miejscowościach regionu Pomorza i Kujaw wystąpiło od 8 do 10 susz meteorologicznych, co oznacza częstość występowania 26,7 do 33,3%. Wynik ten jest w pełni zgodny z badaniami Łabędzkiego (2007), wykonanymi dla centralnej Polski. Zwraca uwagę bardzo duża zgodność występowania susz w analizowanych miejscowościach. Cały region objęty był suszą VI-VII w latach 1983, 1994, 2005, 2006 i 2008. W czterech miejscowościach wystąpiła ona w latach 1989 i 1992, a w trzech miejscowościach w roku 1986. Skutkiem wystąpienia okresów posusznych jest zmniejszenie wysokości plonów i pogorszenie ich jakości (Żarski i in. 2013; Łabędzki 2006; Łabędzki, Bąk 2017). Według opracowania Żarskiego i in. (2017) regionalne straty w plonowaniu i zbiorach kukurydzy na ziarno spowodowane wystąpieniem suszy w okresie czerwca i lipca wynosiły przeciętnie 13, a maksymalnie 27%. W skali doświadczalnej wpływ suszy na plonowanie kukurydzy był znacznie większy. Przy średnim plonie ziarna w latach 2005-2016 wynoszącym $9,10 \text{ t ha}^{-1}$, w czterech sezonach posusznych kukurydza uprawiana na ziarno plonowała na poziomie około $3,90 \text{ t ha}^{-1}$ (Żarski i in. 2018).

Minimalizowanie skutków występowania susz rolniczych związane jest z rozwojem nawadniania roślin. Jak wynika z wielu badań dotyczących roślin rolniczych i ogrodniczych, przyczynia się ono do prawidłowego rytmu wzrostu i rozwoju roślin oraz intensyfikacji procesów fizjologicznych. W rezultacie powoduje wzrost plonów i ich stabilizację w latach, a także korzystnie wpływa na cechy jakościowe plonu (Żarski i in. 2013). Według badań Żarskiego i in. (2018) średni w latach 2005-2016 efekt produkcyjny nawadniania kukurydzy wyniósł $4,63 \text{ t ha}^{-1}$, co stanowiło przyrost plonu ziarna 51%. 1 mm wody z nawadniania powodował przeciętną zwwyżkę plonu na poziomie $41,7 \text{ kg mm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$. W poszczególnych sezonach efekty produkcyjne nawadniania zależały istotnie od sumy opadów w okresie czerwca i lipca.

Rok	Mochle	Chrzastowo	Toruń	Głódowo	Głębokie
1981					
1982					
1983					
1984					
1985					
1986					
1987					
1988					
1989					
1990					
1991					
1992					
1993					
1994					
1995					
1996					
1997					
1998					
1999					
2000					
2001					
2002					
2003					
2004					
2005					
2006					
2007					
2008					
2009					
2010					
	1	0	0	0	1
	2	4	3	3	2
	4	1	4	4	2
	2	3	3	1	4

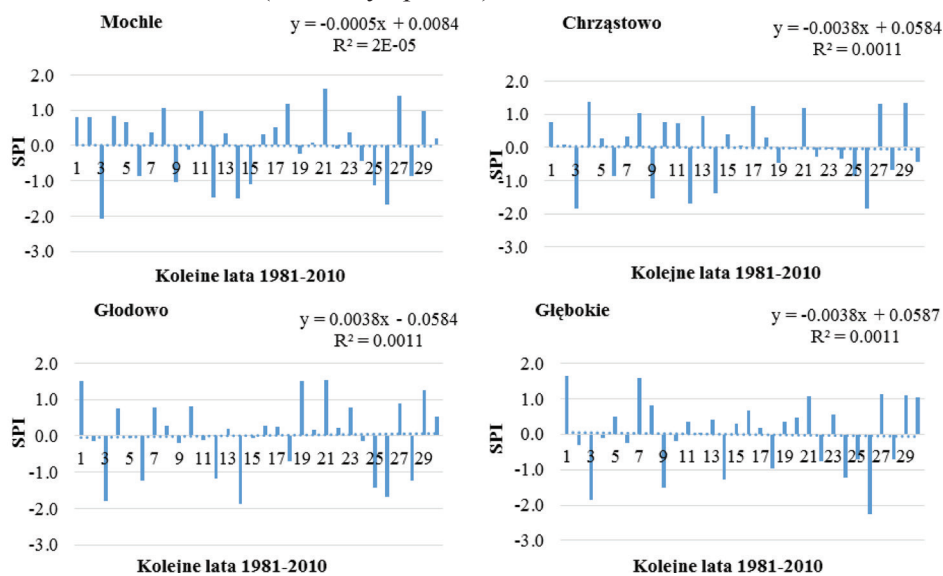
Rysunek 1. Występowanie susz meteorologicznych określonych na podstawie wskaźnika SPI w regionie Pomorza i Kujaw w okresie wzmożonych potrzeb wodnych kukurydzy (VI-VII)

Figure 1. The occurrence of meteorological droughts determined on the basis of SPI in the region of Pomorze and Kujawy in the period of high water needs of corn (VI-VII)

W latach 1981-2010 nie stwierdzono zwiększającej się częstości i intensywności występowania susz meteorologicznych w okresie obejmującym czerwiec i lipiec w wybranych miejscowościach regionu Pomorza i Kujaw (rys. 2).

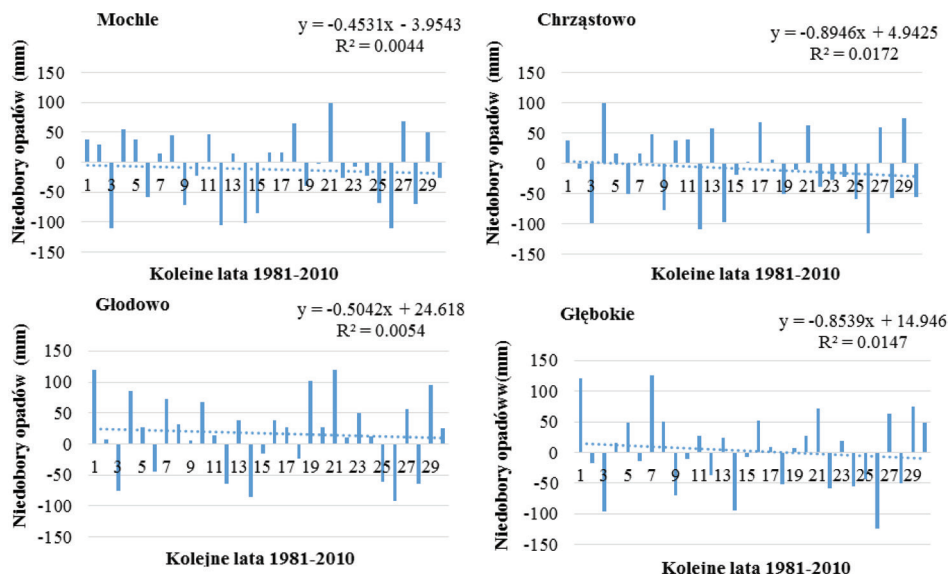
Nie wystąpiły istotne zmiany wskaźników SPI wraz z upływem czasu. Współczynniki determinacji, charakteryzujące te zależności, były bardzo niskie, więc trudno mówić nawet o jakichkolwiek tendencjach. Wskaźniki SPI cechowała bardzo duża zmienność czasowa, charakterystyczna dla klimatu centralnej Polski.

Podobny brak istotnych trendów, przy niewielkiej tendencji do pogarszania się warunków opadowych, dotyczył także wskaźników suszy rolniczej. Wskaźniki te wyrażały niedobory opadów rzeczywistych, obliczone w stosunku do opadów optymalnych dla kukurydzy, uprawianej na glebach o średniej żyzności (rys. 3). Niedobory te, podobnie jak wskaźniki SPI, cechowała bardzo duża zmienność czasowa. Maksymalne niedobory opadów w czerwcu i w lipcu kształtowały się na poziomie od – 91,2 mm w Głodowie, – 111,0 mm w Mochlu, – 115,9 mm w Chrzastowie do – 124,5 w miejscowości Głębokie. W przypadkach wystąpienia tak wysokich niedoborów mamy do czynienia ze stratami w regionalnej produkcji roślinnej. Jednak w układzie średnim wieloletnim opady rzeczywiste i optymalne dla kukurydzy w okresie czerwca i lipca były w miarę zrównoważone i wynosiły od – 11 mm w Mochlu (niedobory opadów) do +17 mm w Głodowie (nadmiary opadów).



Rysunek2. Zmienność czasowa wskaźnika suszy meteorologicznej SPI w miejscowościach regionu Pomorza i Kujaw w okresie wzmożonych potrzeb wodnych kukurydzy (VI-VII) w latach 1981-2010

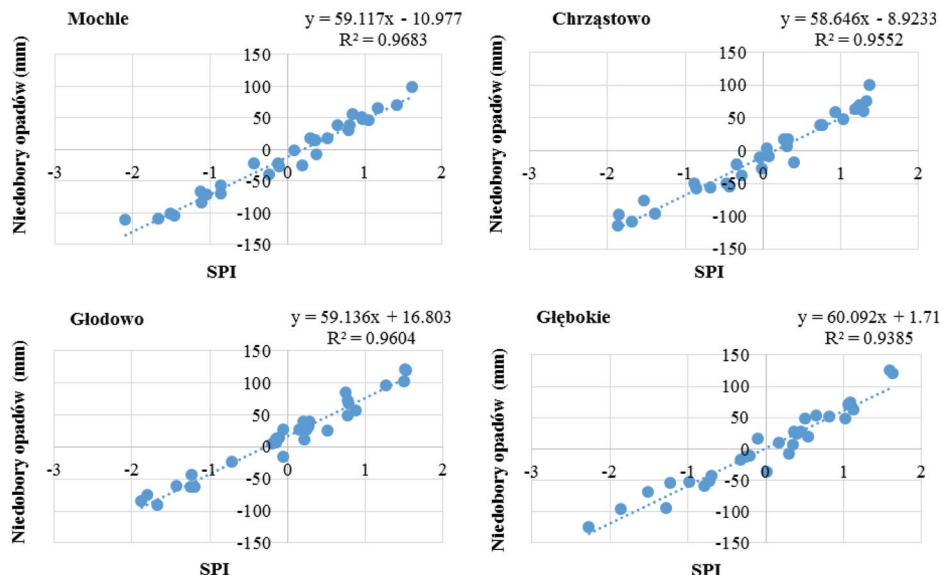
Figure 2. Temporal variation of the meteorological drought index (SPI) in the period of high water needs of corn (June-July) in the locations of Pomorze and Kujawy in the years 1981-2010



Rysunek 3. Zmienność czasowa wskaźnika suszy rolniczej w wybranych miejscowościach regionu Pomorza i Kujaw w okresie wzmożonych potrzeb wodnych kukurydzy (VI-VII) w latach 1981-2010

Figure 3. Temporal variation of the agricultural drought index in the period of high water needs of corn (June-July) in the locations of Pomorze and Kujawy in the years 1981-2010

Wskaźników do oceny ilościowej i monitorowania susz meteorologicznych i rolniczych jest bardzo dużo (Łabędzki 2006; Łabędzki, Bąk, 2014; Tokarczyk, Szalińska 2013), jednak z reguły cechuje je duża zgodność przebiegu, mimo identyfikowania i wyrażania natężenia suszy w różnych jednostkach (Żarski i in. 2017). Potwierdzeniem tej tezy są wysokie współczynniki determinacji charakteryzujące zależności między wskaźnikami SPI, a niedoborami opadów atmosferycznych dla kukurydzy (rys. 4). Współczynniki te kształtowały się na poziomie przekraczającym 93%. Równania regresji pozwalają na ocenę niedoborów opadowych roślin na podstawie wskaźnika SPI, a więc tylko na podstawie danych opadowych. Niedobory te określają jednocześnie potrzeby nawadniania kukurydzy w analizowanym regionie.



Rysunek 4. Zależność między wskaźnikiem suszy meteorologicznej i rolniczej w miejscowościach regionu Pomorza i Kujaw w okresie wzmożonych potrzeb wodnych kukurydzy (VI-VII) w latach 1981-2010

Figure 4. Relationship between meteorological and agricultural drought indices in the period of high water needs of corn (June-July) in the locations of Pomorze and Kujawy in the years 1981-2010

WNIOSKI

1. Średnie wieloletnie 1981-2010 sumy opadów atmosferycznych w okresie czerwca i lipca w poszczególnych miejscowościach, pozwalają zaliczyć region Pomorza i Kujaw do obszarów o najniższych opadach w Polsce.
2. Częstość występowania susz meteorologicznych w okresie czerwca i lipca wynosi w regionie Pomorza i Kujaw 26,7–33,3%. Nie stwierdzono istotnych zmian częstości i intensywności występowania tych susz wraz upływem lat od 1981 do 2010.
3. Występowanie susz w analizowanych miejscowościach cechowała bardzo duża zgodność przestrzenna – wystąpiło od 8 do 10 susz meteorologicznych, co oznacza częstość występowania w przedziale od 26,7 do 33,3%.
4. Produkcja kukurydzy w regionie Pomorza i Kujaw jest prowadzona w warunkach częstego występowania niedoborów opadów atmosferycznych.

rycznych w okresie wzmożonych potrzeb wodnych, które maksymalnie wynoszą od -91 do -124 mm, w zależności od miejscowości. Niedobory te nie wykazały istotnych, ukierunkowanych zmian w latach 1981-2010.

5. Istotna zależność między wskaźnikami suszy meteorologicznej i rolniczej pozwala na wyznaczenie niedoborów opadowych kukurydzy na podstawie wskaźnika standaryzowanego opadu SPI.

LITERATURA

Bąk, B., Maszewski, R. (2012). Typy cyrkulacji atmosfery w regionie bydgosko-toruńskim podczas długotrwałej suszy meteorologicznej w latach 1989-1998. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie* 12, 4(40): 17-29.

Czarnecka, M., Nidzgorska-Lencewicz, M. (2012). *Wieloletnia zmienność sezonowych opadów w Polsce*. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie* 12, 2(38):45-60.

Garnier, B.J. (1996). *Podstawy klimatologii*. Warszawa: IMGW, 97-114.

GUS, www.gov.stat.pl, dostęp 18.04.2018.

IPCC (2014). *Climate Change 2014 – Synthesis Report 2014. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf, dostęp: 18.04.2018.

Kaca, E., Łabędzki L., Lubbe I. (2011). *Gospodarowanie wodą w rolnictwie w obliczu ekstremalnych zjawisk pogodowych*. *Postępy Nauk Rolniczych* 1: 37-49.

Kuchar, L., Iwański, S. (2013). *Ocena opadów atmosferycznych dla potrzeb produkcji roślinnej w perspektywie lat 2050-2060 i wybranych scenariuszy zmian klimatu w północno centralnej Polsce*. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 2(I): 187-200.

Kundzewicz, Z.W. (2011). *Zmiany klimatu, ich przyczyny i skutki – obserwacje i projekcje*. *Landform Analysis*, 15: 39-49.

Kuśmierek-Tomaszewska, Dudek, S., Żarski, J. (2018). *Detection of change in drought frequency in Bydgoszcz region, central Poland*. *Proceedings of the 8th International Scientific Conference Rural Development 2017*: 652-656.

Lorenc, H. (2005) (red.). *Atlas klimatu Polski*. Warszawa: IMGW.

Łabędzki, L. (2006). *Susze rolnicze. Zarys problematyki oraz metody monitorowania i klasyfikacji*. Falenty: Wydawnictwo IMUZ, 107.

Łabędzki, L. (2007). *Estimation of local drought frequency in Central Poland using the standardized precipitation index SPI*. *Irrigation and Drainage*, 56: 67-77.

Łabędzki, L., Bąk, B. (2013). Monitoring and forecasting the course and impact of water deficit in rural areas. *Infrastructure and Ecology of Rural Areas*, II(1): 65-76 (in Polish).

Łabędzki, L., Bąk, B. (2014). *Meteorological and agricultural drought indices used in drought monitoring in Poland: a review*. *Meteorology, Hydrology and Water Management*, 2(2): 3-14.

Łabędzki, L., Bąk, B. (2017). *Impact of meteorological drought on crop water deficit and crop yield reduction in Polish agriculture*. *Journal of Water and Land Development*, 34: 181-190.

Marsz, A.A., Styszyńska, A., Krawczyk, W.E. (2016). *Długookresowe wahania przepływów rocznych głównych rzek w Polsce i ich związek z cyrkulacją termohalinową Atlantyku Północnego*. *Przegląd Geograficzny*, 88(3): 295-316.

Somorowska, U. (2009). *Wzrost zagrożenia suszą hydrologiczną w różnych regionach geograficznych Polski w XX wieku*. *Prace i Studia Geograficzne*, 43: 97-114.

Tokarczyk, T., Szalińska, W. (2013). *The operational drought hazard assessment scheme-performance and preliminary results*. *Archives of Environmental Protection*, 39(3): 61-77.

Wibig, J. (2012). *Warunki wilgotnościowe w Polsce w świetle wskaźnika standaryzowanego klimatycznego bilansu wodnego*. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie* 12, 2(38): 329-340.

Żarski, J., Dudek, S. (2000). *Charakterystyka warunków termicznych i opadowych województwa kujawsko-pomorskiego w aspekcie potrzeb ochrony środowiska*. *Zesz. Nauk. WSHE we Włocławku*, VI: 85-98.

Żarski, J., Dudek, S., Kuśmierek-Tomaszewska, R., Rolbiecki, R., Rolbiecki, S. (2013). *Prognozowanie efektów nawadniania roślin na podstawie wybranych wskaźników suszy meteorologicznej i rolniczej*. *Annual Set The Environment Protection*, 15: 2185-2203.

Żarski, J., Dudek, S., Kuśmierek-Tomaszewska, R., Bojar, W., Knopik, L., Żarski, W. (2014). *Agroklimatologiczna ocena opadów atmosferycznych okresu wegetacyjnego w rejonie Bydgoszczy*. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, II(3): 643-656.

Żarski, J., Dudek, S., Kuśmierek-Tomaszewska, R., Żarski, W. (2017). *Effects of agricultural droughts in the province of Kujawsko-Pomorskie and possibilities of minimizing their impact*. *Infrastructure and Ecology of Rural Areas*, II(2): 813-824.

Żarski, J., Dudek, S., Kuśmierek-Tomaszewska, R. (2018). *Drip irrigation as a factor mitigating drought impact in corn cultivation in central Poland*. *Proceedings of the 8th International Scientific Conference Rural Development 2017*, 182-186.

Autor do korespondencji: prof. dr hab. Jacek Żarski
dr inż. Renata Kuśmerek-Tomaszewska
dr inż. Stanisław Dudek
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy
Katedra Melioracji i Meteorologii
ul. Bernardyńska 6
85-029 Bydgoszcz
E-mail: zarski@utp.edu.pl

Wpłynęło: 12.04.2018

Akceptowano do druku: 09.05.2018