

WARUNKI TERMICZNO-OPADOWE W OKRESIE WEGETACYJNYM
(1951-2010) NA OBSZARZE WOJEWÓDZTWA PODKARPACKIEGO
W ŚWIETLE GLOBALNEGO OCIEPLENIA*

Agnieszka Ziarnicka-Wojtaszek, Zbigniew Zuśka, Joanna Krużel

Katedra Ekologii, Klimatologii i Ochrony Powietrza, Uniwersytet Rolniczy
al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków
e-mail: aziarnik@poczta.fm

Streszczenie. Celem pracy było porównanie ekologiczno-rolniczych skutków zmian klimatu – meteorologicznych warunków wegetacji ważniejszych roślin uprawnych w warunkach produkcyjnych na obszarze dzisiejszego województwa podkarpackiego. Okres badań obejmował dwa trzdziestolecia – 1951-1980 sprzed wyraźnego ocieplenia i 1981-2010 – wyraźnego ocieplenia klimatu. Ten ostatni okres stanowił jednocześnie aktualną normę klimatyczną. Materiałami wykorzystanymi w opracowaniu były relacje korespondentów rolnych o stanie upraw ważniejszych roślin uprawnych pod koniec każdego miesiąca od kwietnia do października. W porównywanych trzydziestoleciach stwierdzono istotne ($\alpha = 0,1\%$) różnice w częstości sprzyjających i z różnego względu niesprzyjających warunków pluwiotermicznych wegetacji. Liczebność miesięcy o korzystnych warunkach meteorologicznych wegetacji zwiększyła się z 49 do 57%, a chłodnych także w interakcji z niedostatecznymi i nadmiernymi opadami zmniejszyła się z 17,6 do 7,6%. Wzrosła liczebność miesięcy suchych z ekstremalnie wysokimi wartościami temperatury powietrza z 1,4 do 5,2%.

Słowa kluczowe: warunki termiczno-opadowe, globalne ocieplenie, województwo podkarpackie

WSTĘP

Współczesne zmiany klimatu, w tym klimatu Polski, od dwudziestu kilku lat stały się tematem licznych opracowań. Porównanie wyników odnośnie tempa zachodzących zmian daje zróżnicowane rezultaty z uwagi na różny okres badań. Przykładowo, porównanie tylko miesięcy, w których zmiany są największe z okresu 1951-2004

*Badania zrealizowano w ramach tematu DS 3337/KEKiOP/2015 sfinansowanego z dotacji na naukę przyznanej przez MNiSW.

(Michalska 2011) i 1971-2010 (Krużel 2014) wykazuje, że w pierwszym dłuższym okresie największy przyrost temperatury występował w lutym, marcu, maju i sierpniu. Natomiast w późniejszym czterdziestoletnim okresie były to już kwiecień, lipiec, sierpień i czerwiec.

W stosowanych podejściach metodycznych, oprócz analizy trendów zjawiska, pojawia się problem odpowiednich okresów badawczych do porównań zwłaszcza ekologicznych i gospodarczych skutków zachodzących zmian klimatu. Ocieplenie globalne nasila się z upływem czasu – za 100 lat (od 1906 do 2005 r.), mierzone trendem liniowym wynosiło $0,074^{\circ}\text{C}$ na dekadę, za 50 lat (od 1956 do 2005 r.) zwiększyło się do wartości $0,128^{\circ}\text{C}$ i za 25 lat (od 1981 do 2005 r.) do $0,177^{\circ}\text{C}$ (Kundzewicz 2011).

Dobrymi przykładami podejścia do problemu jest analiza zmian temperatury w pięćdziesięcioleciu 1951-2000, w której wyeksponowano graficznie ocieplenie ostatniego dwudziestolecia (1981-2000), obliczając odchylenia średnich rocznych wartości temperatury od średniej 1951-1980 i wyrównując ich przebieg 5 punktowym filtrem dwumianowym (Kozuchowski i Żmudzka 2001). Potwierdzeniem tych spostrzeżeń jest analiza dekadowych wartości rocznej obszarowej temperatury powietrza, która w kolejnych dekadach okresu 1951-2000 wynosi odpowiednio 7,7; 7,5; 7,7; 8,0 i 8,3 (Żmudzka 2004). Widoczne ocieplenie zaznacza się wyraźnie w dwu ostatnich dekadach XX w. Analiza analogicznych wartości temperatury z dekady 2001-2010, która wynosi $8,6^{\circ}\text{C}$, potwierdza dalszy jej wzrost w tempie $0,3^{\circ}\text{C}$ (Krużel 2014).

Przytoczone wyniki doskonale korespondują z tempem globalnego ocieplenia ocenianego na nieco mniejszą wartość $0,2^{\circ}\text{C}$ na dekadę, które wyraźnie rozpoczęło się od dziewiątej dekady XX w. Odpowiednie wartości zaokrąglone do $0,1^{\circ}\text{C}$ wynoszą w poszczególnych dekadach okresu 1941-1980 po $13,9^{\circ}\text{C}$, natomiast w kolejnych dekadach trzydziestolecia 1981-2010 $14,1$; $14,3$ i $14,5^{\circ}\text{C}$ (World Meteorological Organization Report 2013). Na koniec lat siedemdziesiątych XX w. przypada też wyraźny wpływ czynnika antropogenicznego w procesie globalnego ocieplenia. Symulacje, które zawierają antropogeniczne i naturalne wymuszenie radiacyjne, zapewniają spójne wyjaśnienie obserwowanego przebiegu temperatury w ciągu ostatnich trzech dekad, natomiast symulacje z naturalnym wymuszeniem radiacyjnym nie symulują tego przebiegu (Solomon i in. 2007).

Okres 1981-2010 stał się od kilku lat według zaleceń WMO nową normą klimatyczną zastępującą dotychczasową 1971-2000 (Arguez i Vose 2011). Obejmuje on trzy pierwsze pełne dekady wyraźnego ocieplenia, doskonale nadaje się do porównywania zarówno zaszłych zmian klimatu oraz skutków tych zmian, zwłaszcza w odniesieniu do okresu poprzedzającego. Dobrym okresem poprzedzającym wydaje się być 30-lecie 1951-1980, zwłaszcza, że w latach 1984-1993 stanowiło ono obowiązujący okres normowy.

Celem pracy było porównanie ekologiczno-rolniczych skutków zmian klimatu – meteorologicznych warunków wegetacji ważniejszych roślin uprawnych w warunkach produkcyjnych na obszarze dzisiejszego województwa podkarpackiego w trzydziestoleciach 1951-1980, czyli okresie sprzed wyraźnego współczesnego ocieplenia klimatu i 1981-2010 o wyraźnym ociepleniu, stanowiącym jednocześnie nową normę klimatyczną.

MATERIAŁ I METODA

Materiałami wykorzystanymi w opracowaniu były relacje korespondentów rolnych o stanie upraw ważniejszych roślin uprawnych z terenu obecnego województwa podkarpackiego. W zależności od zmian podziału administracyjnego Polski było to powojenne województwo rzeszowskie, a w okresie reformy 1975-1999 kilka województw z istniejących 49, które w całości lub w części wchodziły w skład badanego obszaru. Były to województwa: rzeszowskie w całości, przemyskie w całości, większość obszaru województwa krośnieńskiego, oprócz gmin Biecz i Lipniki leżących w zachodniej jego części, południowa część województwa tarnobrzeckiego, wschodni fragment województwa tarnowskiego obejmujący powiat dębicki i gminy Radomyśl Wielki i Wadowice Górne. Na podstawie informacji o stanie upraw pod koniec miesiąca publikowanych w ogólnopolskich i regionalnych wydawnictwach statystycznych, agrometeorologicznych i rolniczych wyszczególnionych w spisie literatury zakwalifikowano warunki termiczno-opadowe każdego miesiąca okresu wegetacyjnego (IV-X) wg dychotomicznego, wzajemnie wykluczającego się podziału na sprzyjające lub niesprzyjające wegetacji.

Z warunków niesprzyjających w dwuwymiarowym układzie współrzędnych kartezyjskich średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza i opadów atmosferycznych wyróżniono: pogorszenie warunków meteorologicznych wegetacji z powodu: zbyt niskiej temperatury powietrza, niedostatecznych lub nadmiernych opadów, niedostatecznych opadów w połączeniu ze zbyt niskimi lub zbyt wysokimi wartościami temperatury, a także nadmiernych opadów w połączeniu ze zbyt niską temperaturą powietrza. Prowadząc bieżący monitoring warunków pluwiotermicznych w postaci średnich obszarowych miesięcznych wartości temperatury powietrza i miesięcznych sum opadów atmosferycznych na terenie obecnego województwa podkarpackiego, nie kierowano się jednak wartościami tych elementów, ich odchyleniami od normy, ani też wartościami podawanymi w Atlasie klimatycznym elementów i zjawisk szkodliwych dla rolnictwa w Polsce (Koźmiński i in. 1987), lecz jedynie sygnalizowaną przez korespondentów rolnych reakcją roślin uprawnych na zmienne warunki meteorologiczne.

Okres badań obejmował 60-lecie 1951-2010, w którym wydzielono dla porównania dwa okresy 30-letnie 1951-1980 i 1981-2010. Pierwszy z nich obejmo-

wał warunki wegetacji sprzed wyraźnej fazy ocieplenia klimatu. Okres 1981-2010 stanowiący najnowszą normę klimatyczną obejmował jednocześnie fazę wyraźnego wzrostu temperatury, uzasadnioną i wydzieloną w rozdziale wstępnym. Naczelną zasadą metodyczną była dokumentacja zmian w warunkach pluwiotermicznych wegetacji ważniejszych roślin uprawnych pod wpływem zachodzących zmian klimatu.

Dla podkreślenia wiodącej roli zmian klimatu warunki meteorologiczne wegetacji przedstawiono jako uśredniony stan podstawowych upraw – zbóż ozimych, zbóż jarych, roślin okopowych, a także warunki wegetacji roślinności łąkowej i pastwiskowej, biorąc pod uwagę odmienne nieco wymagania tych grup roślin uprawnych i zmienność potrzeb w poszczególnych miesiącach czy fazach okresu wegetacyjnego. Wykorzystano publikowane badania w postaci „Kalendarza warunków meteorologicznych wegetacji roślin uprawnych w południowo-wschodniej Polsce” (Zawora 1993), z którego to wykorzystano badania dla okresu 1951-1990, natomiast okres 1991-2010 wymagał zebrania i opracowania od podstaw niezbędnych materiałów meteorologicznych i agrometeorologicznych. Do najważniejszych czynności należy tu zaliczyć obliczenie średnich miesięcznych obszarowych wartości temperatury powietrza i średnich obszarowych sum opadów w poszczególnych miesiącach okresu wegetacyjnego. Nie były to wartości średnie arytmetyczne, a średnie ważone z uwzględnieniem powierzchni, jaką reprezentuje na terenie województwa dana stacja meteorologiczna. Sformalizowaniu – na wzór objaśnień do tabeli 1 musiały ulec opisowe teksty komunikatów rolniczometeorologicznych o stanie upraw w poszczególnych miesiącach.

Wyniki badań porównania dwu trydziestolecia przedstawiono w postaci częstości sprzyjających i z różnego względu niesprzyjających warunków meteorologicznych wegetacji, a więc wysokiej temperatury w połączeniu z niedostatecznymi opadami, niedostatecznych opadów, niskiej temperatury powietrza w połączeniu z niedostatecznymi opadami, niskiej temperatury powietrza, niskiej temperatury powietrza w połączeniu z nadmiernymi opadami i nadmiernych opadów (tab. 1).

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Znaczne ocieplenie w okresie 1981-2010 wyraźnie poprawiło warunki meteorologiczne wegetacji roślin uprawnych. Jeśli w trydziestoleciu 1951-1980 częstość miesięcy w okresie wegetacyjnym (IV-X), określanych przez korespondentów rolnych jako sprzyjające, wynosiła 102 przypadki, to w trydziestoleciu następnym 119 przypadków. W przeliczeniu na procent czasu trwania okresu wegetacyjnego stanowi to wzrost z 49 do 57% (tab. 1).

Największe zmiany w polepszeniu się meteorologicznych warunków wegetacji zanotowano w miesiącach wiosennych: w kwietniu i w maju. W dostatecznym

przybliżeniu można stwierdzić, że w miesiącach tych, w pierwszym trzydziestoleciu sprzyjające warunki meteorologiczne miały miejsce tylko w 40-43% miesięcy, a w drugiej dekadzie wzrosły do 67% miesięcy.

Tabela 1. Porównanie liczebności miesięcy sprzyjających wegetacji i z różnych względów niesprzyjających na obszarze obecnego województwa podkarpackiego w latach 1951-1980 i 1981-2010
Table 1. Comparison of the number of months with favourable and unfavourable pluvio-thermal conditions in the Subcarpathian Voivodeship in the periods of 1951-1980 and 1981-2010

| Okres – Period | | Warunki pluwiotermiczne wegetacji Pluvio-thermal conditions | | | | | | |
|--------------------------|-----------|--|----|----|----|----|----|----|
| | | s | To | o | to | t | tO | O |
| Kwiecień | 1951-1980 | 12 | 1 | 2 | 1 | 5 | 5 | 4 |
| April | 1981-2010 | 20 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| Maj | 1951-1980 | 13 | 1 | 4 | 3 | 2 | 6 | 1 |
| May | 1981-2010 | 20 | 1 | 4 | – | 1 | 2 | 2 |
| Czerwiec | 1951-1980 | 17 | 1 | 5 | 2 | 1 | 4 | – |
| June | 1981-2010 | 18 | 2 | 4 | – | 2 | 2 | 2 |
| Lipiec | 1951-1980 | 16 | – | 4 | – | 2 | 4 | 4 |
| July | 1981-2010 | 15 | 3 | 4 | – | – | 1 | 7 |
| Sierpień | 1951-1980 | 15 | – | 7 | 1 | – | 1 | 6 |
| August | 1981-2010 | 16 | 3 | 7 | – | – | – | 4 |
| Wrzesień | 1951-1980 | 16 | – | 7 | – | – | – | 7 |
| September | 1981-2010 | 15 | 1 | 5 | – | – | 1 | 8 |
| Październik | 1951-1980 | 13 | – | 9 | – | – | – | 8 |
| October | 1981-2010 | 15 | – | 9 | – | – | 2 | 4 |
| Kwiecień- Październik | 1951-1980 | 102 | 3 | 38 | 7 | 10 | 20 | 30 |
| April-October | 1981-2010 | 119 | 11 | 36 | 2 | 5 | 9 | 28 |

Objaśnienia – Legend:

s – warunki pluwiotermiczne wegetacji sprzyjające – s – favourable pluvio-thermal conditions, pozostałe niesprzyjające z powodu – unfavourable pluvio-thermal conditions:

To – wysokiej temperatury w połączeniu z niedostatecznymi opadami – To – high temperature and insufficient precipitation,

o – niedostatecznych opadów – o – insufficient precipitation,

to – niskiej temperatury powietrza i niedostatecznych opadów – to – low temperature and insufficient precipitation,

t – niskiej temperatury powietrza – t – low temperature,

tO – niskiej temperatury powietrza w połączeniu z nadmiernymi opadami – tO – low temperature and excessive precipitation,

O – nadmiernych opadów – O – excessive precipitation.

Poprawa warunków meteorologicznych wegetacji nastąpiła na skutek lepszych warunków termicznych, a właściwie zmniejszenia się częstości przypadków zbyt niskiej temperatury powietrza – 10 przypadków w trzydziestoleciu 1951-1980 do 5 w okresie 1981-2010. Jeśli jednak wziąć pod uwagę także przypadki niskiej temperatury powietrza w połączeniu z niedostatecznymi lub nadmiernymi opadami, to zmniejszenie to jest widoczne od 37 do 16 przypadków, co stanowi odpowiednio 18 i 8 ogółu miesięcy okresu wegetacyjnego. Poprawa warunków termicznych następuje głównie w pierwszych miesiącach wegetacji (tab. 1).

Charakterystyczne jest to, że w pierwszym 30-leciu zanotowano tylko 3 miesiące z niedostatkiem opadów połączonym z nadmiernie wysoką temperaturą powietrza, a w następnym trzydziestoleciu, takich miesięcy zanotowano prawie 4 razy więcej – 11 przypadków. Liczebność miesięcy suchych z wyraźnymi niedoborami opadów również w połączeniu z ilością miesięcy z niedoborami opadów z nadmiernie wysoką temperaturą powietrza oraz z niedoborami opadów w połączeniu ze zbyt niską temperaturą powietrza praktycznie się nie zmieniła. Opisane różnice częstości warunków meteorologicznych wegetacji dla okresu wegetacyjnego (IV-X) są statystycznie istotne na poziomie $\alpha = 0,1\%$.

Opisane powyżej zmiany warunków meteorologicznych wegetacji odbywały się w przypadkach wzrostu temperatury, największego w miesiącach - maj, lipiec, kwiecień i sierpień odpowiednio 1,3; 1,2; 1,1 i 1,0°C. Tylko we wrześniu temperatura nie wzrosła. W czerwcu i październiku wzrost ten wynosił 0,3°C, a w okresie wegetacyjnym (IV-X) średnio 0,7°C. Jednocześnie nieznacznie w obu badanych okresach wzrosła suma opadów atmosferycznych z 509 do 515 mm w okresie wegetacyjnym (IV-X). Największe przyrosty opadów zaznaczyły się we wrześniu i w maju (tab. 2).

Zgodnie z wynikami badań zebranymi przez Międzyrządową Komisję ds. Zmian Klimatu – IPCC (Solomon i in. 2007), ocieplenie klimatu jest faktem bezdyskusyjnym, chociaż interpretacja mechanizmów nie będąca przedmiotem niniejszego opracowania budziła i budzi nadal kontrowersje. Porównywanie wyników badań utrudnia fakt intensyfikacji, nasilania się efektu szklarniowego. W latach 1981-2005 tempo ocieplenia było ponad 2,4 razy szybsze niż średnia za lata 1906-2005. Temperatura globalna rośnie od 40 lat, choć nieregularnie w czasie i w przestrzeni (Kundzewicz 2011). Wnioski zależą więc od tego, w którym roku zaczynamy i, w którym kończymy analizę wyników.

Dla obszaru Polski trendy temperatury powietrza w kolejnych 10-leciach okresu 1951-2005 wskazują na stopniowy jej wzrost od lat 80., co potwierdzają kumulowane wartości odchylenia średniej rocznej temperatury powietrza od wartości wieloletniej (Michalska 2011, Żmudzka 2012). Okres ten też przyjęto jako okres intensywnego wzrostu temperatury powietrza i porównano z trzydziestoleciem poprzedzającym. Przedstawione wyniki z założenia miały ilustrować nie tylko powszech-

nie analizowany wzrost temperatury w postaci jej trendu, a uzupełnić badania nad zachodzącymi zmianami klimatu przez szukanie wyraźniejszych okresów intensyfikacji ocieplenia. Okresy takie można zaobserwować na diagramie klasyfikacji termicznej miesięcy i roku (Lorenc 2014), na którym widoczne są cieplejsze dwie ostatnie dekady XX w. i wyraźnie cieplejszy początek XXI w.

Tabela 2. Wartości temperatury powietrza i opadów atmosferycznych na obszarze dzisiejszego województwa podkarpackiego w okresie 1951-1980 i 1981-2010

Table 2. Values of air temperature and precipitation in the Subcarpathian Voivodeship in the periods of 1951-1980 and 1981-2010

| Element Element | Okres Period | Kwiecień April | Maj May | Czerwiec June | Lipiec July | Sierpień August | Wrzesień September | Październik October | Rok Year |
|----------------------------|-----------------|-------------------|------------|------------------|----------------|--------------------|-----------------------|------------------------|-------------|
| Temperatura Temperature | 1951-1980 | 7,3 | 12,3 | 16,0 | 17,2 | 16,7 | 13,0 | 8,2 | 13,0 |
| | 1981-2010 | 8,4 | 13,6 | 16,3 | 18,4 | 17,7 | 13,0 | 8,5 | 13,7 |
| Opady Precipitation | 1951-1980 | 50 | 74 | 96 | 104 | 83 | 56 | 47 | 509 |
| | 1981-2010 | 51 | 83 | 92 | 99 | 73 | 72 | 45 | 515 |

Prezentowany artykuł jest przyczynkiem do dokumentacji agroekologicznych skutków współczesnych zmian klimatu, na małym wprawdzie obszarze Polski, ale posiadającym rejestr warunków meteorologicznych wegetacji od początku XX w. (Zawora 1993). Ze względu na brak stosownych materiałów, których zbierania i publikowania zaprzestano od przełomu wieków, nie uwzględniono różnic w wymaganiach termicznych i opadowych poszczególnych grup roślin uprawnych, tj. zbóż ozimych, zbóż jarych, roślin okopowych i użytków zielonych. Oceniając w dyskusji badań stan ważniejszych upraw, należy sobie zdawać sprawę z faktu, że zależy on nie tylko od przebiegu pogody, ale także od agrotechniki, poziomu nawożenia, środków ochrony roślin, a idąc jeszcze dalej od gleby, przedplonu czy odmiany. Z tego względu przytoczone wyniki należy traktować jako orientacyjne. Z powyższych też względów poprzestano na najprostszym podziale dychotomicznym warunków meteorologicznych wegetacji: dobre i złe z różnych względów, a kształtowane przez bardzo zmienne warunki meteorologiczne.

Przedstawione opracowanie nie jest też w założeniu oparte na scenariuszach zmian klimatu dla przyszłych horyzontów czasowych, jakich pojawiło się wiele,

a jedynie dokumentacją wybranych skutków ocieplenia klimatu południowo-wschodniej części Polski w okresie drugiej połowy XX w. i w pierwszej dekadzie wieku XXI.

Niezależnie od przedstawionych wyników i dywagacji na temat regionalnych postępów i skutków globalnego ocieplenia zaprezentowane rozważania traktujące o dużym zróżnicowaniu warunków meteorologicznych wegetacji zwracają uwagę na konieczność oceny reprezentatywności meteorologicznej kilkuletnich zazwyczaj eksperymentów polowych związanych z efektywnością nawożenia czy nawadniania, uprawowych, odmianowych, związanych z natężeniem erozji, czy odpornością na wyleganie. W latach o przebiegu pogody odbiegającym od warunków przeciętnych użyteczność wniosków i zaleceń dla praktyki rolniczej w tego rodzaju doświadczeniach może być problematyczna.

WNIOSKI

1. W porównywanych 30-leciach 1951-1980 i 1981-2010 nastąpiła poprawa warunków meteorologicznych wegetacji roślin uprawnych w warunkach produkcyjnych. Warunki meteorologiczne sprzyjające wegetacji w pierwszym okresie panowały przez 49% okresu wegetacyjnego (IV-X), zwiększając się w następnym 30-leciu do 57%.

2. Największe zmiany dotyczyły zmniejszenia się przypadków zbyt niskiej temperatury dla rozwoju roślin uprawnych. Biorąc pod uwagę liczbę przypadków niskiej temperatury i niskiej temperatury w interakcji ze zbyt niskimi i zbyt wysokimi opadami można szacować, że w porównywanych okresach zmniejszyły się one z 18 do 8% czasu trwania meteorologicznego okresu wegetacyjnego

3. Z niekorzystnych warunków meteorologicznych wegetacji roślin uprawnych ilość miesięcy z niedostatkami opadów w interakcji z przypadkami zbyt wysokiej temperatury nastąpił ich czterokrotny wzrost, chociaż ogólna liczba przypadków miesięcy o niedostatecznych opadach i niedostatecznych opadach w interakcji ze zbyt niskimi i zbyt wysokimi wartościami temperatury powietrza pozostała taka sama

4. Ewentualna adaptacja w rolnictwie obejmować może dostosowanie upraw do zmieniających się warunków termicznych przez wprowadzanie upraw ciepłolubnych i odpornych na suszę powodowaną nie przez zmniejszenie sumy opadów, a przez wzrost ewapotranspiracji powodowany wzrostem temperatury powietrza.

PIŚMIENNICTWO

Arguez A., Vose R.S., 2011. The Definition of the Standard WMO Climate Normal: The key to deriving alternative climate normals. Bull. Amer. Meteor. Soc., 92, 699-704.

- Biuletyn Agrometeorologiczny, R. 1967-1972, PIHM, Warszawa.
- Biuletyn Agrometeorologiczny, R. 1973-1999, IMGW, Warszawa.
- Biuletyn Doświadczalnictwa Terenowego IUNG w woj. rzeszowskim 1958-67, IUNG, Rzeszów.
- Biuletyn Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, R. 2003-2010, IMGW, Warszawa.
- Dekadowy Biuletyn Agrometeorologiczny, R. 2000-2002, IMGW, Warszawa.
- Koźmiński Cz., Michalska B., Górski T., 1987. Atlas klimatyczny elementów i zjawisk atmosferycznych szkodliwych dla rolnictwa w Polsce. IUNG Puławy, AR Szczecin, 63.
- Kożuchowski K., Żmudzka E., 2001. Ocieplenie w Polsce: Skala i rozkład sezonowy zmian temperatury powietrza w drugiej połowie XX wieku. *Prz. Geofiz.*, 46, 1-2, 81-90.
- Krużel J., 2014. Ekologiczne i gospodarcze skutki współczesnych zmian termicznych cech klimatu Polski (1971-2010). Praca magisterska wykonana w katedrze Ekologii, Klimatologii i Ochrony Powietrza. Promotor: A. Ziarnicka-Wojtaszek.
- Kundzewicz Z.W., 2011. Zmiany klimatu, ich przyczyny i skutki – obserwacje i projekcje. *Landform Analysis*, 15, 39-49.
- Lorenc H., 2014. Klasyfikacja termiczna miesięcy i roku. www.imgw.pl.
- Michalska B., 2011. Tendencje zmian temperatury powietrza w Polsce. *Pr. i Studia Geogr.*, 47, 67-75.
- Miesięczny Przegląd Agrometeorologiczny PIHM, R. 1967-1999, Warszawa.
- Miesięczny Przegląd Agrometeorologiczny, R. 1973-1999, IMGW, Warszawa.
- Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M., Miller H.L. (eds.), 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and NY, USA, 1-996.
- Statystyka regionalna, R. 1956-67, GUS, Warszawa.
- Wiadomości Korespondenta Rolnego GUS, R. 1951, Warszawa.
- WMO Report, 2013. The global climate 2001-2010: A decade of climate extremes, July 6.
- Wyniki doświadczeń terenowych w woj. rzeszowskim. R. 1951-1955, GUS, Warszawa.
- Zawora T., 1993. Calendar of meteorological conditions affecting vegetation of the cultivated plants in south-east Poland over 1901-1990. *Zesz. Nauk. UJ, Pr. Geogr.*, 95, 223-227.
- Żmudzka E., 2004. Tło klimatyczne produkcji rolniczej w Polsce w drugiej połowie XX. *Acta Agrophysica*, 3(2), 399-408.
- Żmudzka E., 2012. Wieloletnie zmiany zasobów termicznych w okresie wegetacyjnym i aktywnego wzrostu roślin w Polsce. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 12, 2 (38), 377-389.

PLUVIO-THERMAL CONDITIONS OF THE VEGETATION PERIOD
(1951-2010) IN THE SUBCARPATHIAN VOIVODESHIP
IN THE LIGHT OF GLOBAL WARMING

Agnieszka Ziarnicka-Wojtaszek, Zbigniew Zuśka, Joanna Krużel

Department of Ecology, Climatology and Air Protection, University of Agriculture
al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków
e-mail: aziarnik@poczta.fm

Abstract. The aim of this article is the comparison of the ecological and agricultural causes of climate change. This pertains to the meteorological conditions of the vegetation of key crops in the Subcarpathian Voivodeship. Two different periods are analysed: 1951-1980 (before evident

global warming) and 1981-2010 (a period of rapid warming which constitutes a new climate normal). The materials used in this study consisted of agricultural correspondent reports on the status of key crops at the end of each month (April through October). The comparison of both 30-year periods indicates statistically significant differences in the frequency of both favourable and unfavourable pluvio-thermal conditions ($\alpha = 0.1\%$). The number of months with favourable meteorological conditions increased from 49 to 57%, while the number of cool months (including excessive precipitation totals) decreased from 17.6 to 7.6%. In addition, an increase in dry months with extremely high temperature values was noted (from 1.4 to 5.2%).

Key words: pluvio-thermal conditions, global warming, Subcarpathian Voivodeship