

MOŻLIWOŚCI PLONOWANIA KUKURYDZY UPRAWIANEJ NA ZIARNO
W WIELKOPOLSCE Z UWZGLĘDNIENIEM SPODZIEWANYCH ZMIAN
KLIMATU

Ewa Dragańska, Zbigniew Szwejkowski, Monika Panfil

Katedra Meteorologii i Klimatologii, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski
Pl. Łódzki 1, 10-720 Olsztyn
e-mail: ewad@uwm.edu.pl

Streszczenie. W pracy wykorzystano dane obejmujące lata 1991-2005, dotyczące plonowania oraz wzrostu i rozwoju tzw. wzorca średniowiecznych odmian kukurydzy uprawianej na ziarno. Wartości temperatury średniej dobowej, temperatury minimalnej, sum opadów oraz sum promieniowania całkowitego, każdego z okresów agrofizjologicznych stanowiły zmienne niezależne w poszukiwaniu relacji pogoda – plon kukurydzy z wykorzystaniem regresji wielokrotnej. Uzyskano dwa równania regresji, które pozytywnie przeszły procedurę weryfikacyjną testem CV. Równanie zbudowane z wykorzystaniem zmiennych etapu pojawienia znamion ($R^2_{pred} = 0,4$) pokazało, że temperatury minimalne i sumy promieniowania okresu wschody-pojawienie znamion istotnie oddziaływały na wysokość plonu. Kolejne równanie ($R^2_{pred} = 0,8$) wyjaśniało poziom plonów szacowany na etapie dojrzałości pełnej jak i zbioru. W tym przypadku wzrost opadów atmosferycznych w międzyfazie pojawienia znamion – dojrzałość, oraz promieniowanie całkowite w okresie siew-wschody miało istotny, dodatni wpływ na wysokość plonu. Wyselekcjonowane równania wykorzystano do oszacowania możliwych wartości plonowania kukurydzy w warunkach klimatycznych określonych zgodnie ze scenariuszem zmian klimatu GISS model E. Uwzględniono 300 możliwych wariantów przebiegu warunków pogodowych, zgodnych z założeniami przyjętego scenariusza, wygenerowanych z udziałem modelu WGENK. Symulowane dane pokazały, że przy korzystnym układzie warunków pogodowych możliwy jest wzrost plonów w granicach 28% a nawet 50% (szacunki na etapie pojawu znamion). W sytuacji niekorzystnego przebiegu pogody należy liczyć się ze stratami w granicach 37-39%.

Słowa kluczowe: plonowanie kukurydzy, modele pogoda-plon, zmiany klimatu

WSTĘP

Uprawa kukurydzy stanowi w gospodarce światowej niezwykle ważną gałąź produkcji roślinnej (Michalski 1997, 2004). W Polsce jej uprawa staje się coraz bardziej powszechna i opłacalna, ze względu na pojawienie się nowych odmian

przystosowanych do krajowych warunków klimatycznych (Machul 2002, Michalski 2004). Plonowanie kukurydzy zależy od wielu czynników, wśród których ważną rolę odgrywają warunki pogodowe w czasie uprawy. Temperatura powietrza, opady atmosferyczne i nasłonecznienie w poszczególnych fazach rozwoju roślin są czynnikami, które istotnie wpływają na wzrost i plonowanie (Sulewska 2004).

Prognozowanie zmian w produkcji rolniczej związanych ze spodziewanymi zmianami klimatu mimo, że nie jest zadaniem łatwym to należy do jednych z najważniejszych w agrometeorologii (Górski 2004). Trudności te spowodowane są między innymi złożonością procesów zachodzących w środowisku przyrodniczym jak i brakiem pewności co do skali spodziewanych zmian (Kozuchowski 1996, Kozuchowski i in. 1999). Świadczą o tym rozbieżności między scenariuszami zmian klimatu jak i wyniki symulacji uzyskane przy pomocy różnych modeli klimatycznych (Climate Change 2007, Liszewska i Osuch 1999). Mimo braku pewności uzyskanych wyników, które tak naprawdę zweryfikuje przyszłość, tego typu zadania są podejmowane, ponieważ dostarczają orientacyjnych informacji o możliwych kierunkach zmian. Szczęólnego znaczenia nabiera opracowanie modeli i próba ich odniesienia do nowych warunków klimatycznych, co może ułatwić ocenę możliwości produkcyjnych roślin w przyszłości z uwzględnieniem zachodzących zmian klimatu (Aleksandrov i Eitzinger 2005, 2000, Anapalli i in. 2005, Bis i in. 1993, Demidowicz i in. 1999, Górski 2002, Faber 2002, Sadowski, Tomaszewska 1995, Tsvetinskaya in. 2003). Prognozowanie plonowania roślin bardzo często opiera się na modelach matematycznych, ujmujących ich produktywność w zależności od czynników agrotechnicznych i klimatycznych. Najbardziej przydatne są modele matematyczne, opracowane w układach lokalnych do których mogą być adaptowane (Faber 1998).

Celem pracy była próba określenia możliwości plonowania średniowczesnych odmian kukurydzy uprawianej na ziarno w nowych warunkach klimatycznych zgodnych z założonym scenariuszem zmian.

MATERIAŁ I METODA

W pracy wykorzystano dane obejmujące lata 1991-2005, dotyczące plonowania oraz wzrostu i rozwoju średniowczesnych odmian kukurydzy uprawianej na ziarno. Dane dotyczyły tzw. wzorca odmian dla wybranej grupy wczesności i pochodziły ze ścisłych doświadczeń odmianowych prowadzonych w stacji COBORU w Śremie. Należały do nich informacje o plonach kukurydzy w poszczególnych latach, dane o terminach siewu i zbioru oraz dat wystąpienia podstawowych faz fenologicznych. Charakterystyka towarzyszących wegetacji kukurydzy warunków pogodowych została wykonana na podstawie danych meteorologicznych pochodzących z odpowiadającej lokalizacją stacji IMGW w Lesznie.

Dla każdego z okresów agrofenologicznych wyliczono wartości temperatury średniej dobowej, temperatury minimalnej, sum opadów oraz sum promieniowania całkowitego. Ze względu na brak notowań dotyczących promieniowania słonecznego oszacowano je na podstawie usłonecznienia z wykorzystaniem wzoru Blacka (Kuczmarska i Paszyński 1964).

Analiza regresji wielokrotnej, z użyciem funkcji liniowej z krokowym wyborem zmiennych, posłużyła do oszacowania zaistniałych relacji pogoda – plon kukurydzy. Zestaw zmiennych niezależnych stanowiły wartości parametrów meteorologicznych mających wpływ na rozwój i plonowanie kukurydzy. Były to temperatury średnie dobowe (T), temperatury minimalne (T_{min}), sumy opadów atmosferycznych (P) oraz sumy promieniowania całkowitego (SR) w następujących okresach rozwojowych: 1 – od siewu do wschodów, 2 – od wschodów do pojawu znamion, 3 – od pojawu znamion do dojrzałości pełnej, 4 – od dojrzałości pełnej do zbiorów. Analiza danych wskazała, że w analizowanym okresie wystąpiła tendencja wzrostowa plonów kukurydzy, najprawdopodobniej związana zarówno z postępem hodowlanym jak i poziomem agrotechniki. W celu oceny wpływu warunków pogodowych na plon konieczne było więc uwzględnienie tej tendencji i uzyskanie wartości resztowych jako różnicy pomiędzy plonami rzeczywistymi i wyliczonymi z równania funkcji trendu. Ostatecznie, jako zmienną zależną w rozpatrywanych układach analizowano wartości resztowe z funkcji trendu. Wartość predykcyjną zbudowanych modeli oceniono za pomocą współczynnika determinacji (R^2) oraz współczynnika determinacji R^2_{pred} wyznaczonego z użyciem testu Cross Validation. Test CV został użyty w celu wyeliminowania tzw. przeparametryzowania modelu (Dragańska i in. 2004, Kuchar 2001). Równania, które pozytywnie ukończyły procedurę weryfikacyjną wykorzystano do oszacowania możliwych wartości plonowania kukurydzy w nowych warunkach klimatycznych, określonych zgodnie z przyjętym scenariuszem zmian klimatu GISS model E zakładającego podwojenie koncentracji CO_2 w atmosferze (The NASA...) Do generowania danych meteorologicznych wykorzystano model WGENK (Kuchar 2004, Kuchar 2005). Wygenerowano 300 możliwych wariantów przebiegu warunków pogodowych zgodnych z założeniami przyjętego scenariusza zmian klimatu. Uwzględniając wygenerowane dane, dla każdego możliwego przebiegu warunków pogodowych w układzie rocznym, wyliczono wartości zmiennych niezależnych wchodzących do modelu regresji zbudowanego na bazie danych doświadczalnych. Tak wyznaczone wartości zmiennych podstawiono do równań regresji, co umożliwiło wyliczenie ewentualnych wartości reszt plonów i jednocześnie pozwoliło ocenić prawdopodobne wpływy symulowanych na rok 2050 warunków pogodowych na plonowanie kukurydzy.

WYNIKI

Wartości plonów doświadczalnych kukurydzy, plonów wyznaczonych z trendu oraz wartości resztowe przedstawiono w tabeli 1. Przewidywane plony wyliczono z funkcji trendu w postaci:

$$y = 2,99x + 59,45 \quad \text{przy } R^2 = 0,43$$

gdzie: y – plon ; x – kolejne lata.

Tabela 1. Wartości plonów (dt·ha⁻¹) doświadczalnych, przewidywanych i reszt plonów kukurydzy
Table 1. Values of corn yields received, forecasted, and yield residue

Lata Years	Plon obserwowany Received yield	Plon przewidywany Forecasted yield	Reszta plonu Residue of yield
1991	58,3	62,4	-4,1
1993	52,0	65,4	-13,4
1994	63,4	68,4	-5,0
1995	65,6	71,4	-5,8
1996	87,9	74,4	13,5
1997	95,6	77,4	18,2
1998	81,5	80,4	1,1
1999	73,9	83,4	-9,5
2000	105,6	86,4	19,2
2001	116,2	89,4	26,8
2002	78,4	92,4	-14,0
2003	77,3	95,3	-18,0
2004	83,5	98,3	-14,8
2005	107,2	101,3	5,9
Minimum	52,0	62,4	-18,0
Maksimum	116,2	101,3	26,8
Średnia – Mean	81,9	81,9	0,0
Mediana – Median	80,0	81,9	-4,6

Plony doświadczalne kukurydzy wahały się od 52 do 116,2 dt·ha⁻¹ – średnio 81,9 dt·ha⁻¹ – a więc były porównywalne z wydajnością kukurydzy uzyskiwaną na Węgrzech, Słowacji czy we Francji. Jak pokazują plony doświadczalne kukurydzy możliwe jest, przy zachowaniu prawidłowej agrotechniki, osiągnięcie prawie dwukrotnie wyższych plonów od szacunkowych plonów GUS. Średni plon ziarna kukurydzy szacowany jest w granicach 60 dt·ha⁻¹, chociaż w warunkach produk-

cyjnych osiągane plony również systematycznie rosną i tak na przykład w dziesięcioleciu 1992-2002 wzrosły z 36,7 do 61,6 dt z 1 ha (www.kukurydza.org.pl).

W analizowanym okresie aż dziewięciokrotnie plony kukurydzy były niższe od możliwych, wyznaczonych z trendu. Należy przypuszczać, że to właśnie czynniki pogodowe powodowały zmniejszenie plonu (Jakacka 1998, Michalski i in. 1996). W warunkach korzystnego układu elementów pogodowych plony były wyższe o ponad 25 dt·ha⁻¹ od tych wyznaczonych z trendu.

Tabela 2. Statystyki opisowe parametrów meteorologicznych w poszczególnych okresach rozwoju kukurydzy

Table 2. Descriptive statistics of meteorological parameters in particular growing periods of corn

Okresy rozwojowe Growing period	Parametry meteorologiczne Meteorological parametr	X_{sr}	Max	Min	SD	CV
1	T	12,9	16,8	10,1	2,3	17,8
	T_{min}	6,9	9,6	3,3	2,1	0,3
	P	17,3	51,1	0,0	14,8	86,0
	SR	212,8	277,5	154,0	43,3	20,3
2	T	16,2	17,9	15,1	0,8	4,8
	T_{min}	10,1	11,0	9,2	0,6	0,1
	P	116,7	176,9	17,7	40,7	34,8
	SR	1180,1	1477,1	1012,4	143,4	12,1
3	T	18,2	20,5	15,3	1,7	9,2
	T_{min}	12,2	14,4	10,3	1,2	0,1
	P	127,2	249,4	37,3	70,6	55,5
	SR	1027,3	1186,6	819,3	93,0	9,0
4	T	13,8	19,2	10,7	2,5	18,1
	T_{min}	8,8	12,4	4,8	2,1	0,2
	P	26,9	85,0	0,0	25,5	94,9
	SR	182,8	278,3	87,3	60,6	33,1

Objaśnienia – Explanations: X_{sr} – wartość średnia – mean value, Max – wartość maksymalna – maximum value, Min – wartość minimalna – minimum value, SD – odchylenie standardowe – standard deviation, CV – współczynnik zmienności – variability coefficient (%), T – temperatura średnia powietrza – mean air temperature (°C), T_{min} – temperatura minimalna – minimal temperature, P – opady atmosferyczne – precipitation (mm), SR – promieniowanie całkowite – global radiation (MJ·m⁻²) Okres – Period: 1 – siew-wschody sowing-germination, 2 – wschody – pojawienie znamion – germination – sprouting of stigma 3 – pojawienie znamion – dojrzałość pełna – sprouting of stigma – full ripeness, 4 – dojrzałość pełna-zbiór – full ripeness-harvest.

Okres wegetacji kukurydzy był bardzo zróżnicowany pod względem przebiegu warunków pogodowych w poszczególnych latach (tab. 2). Średnia temperatura okresu siew-wchody wynosiła 12,9°C, przy średniej minimalnej w wysokości 6,9°C, co pozwala wnioskować o zaspokojeniu wymagań termicznych rośliny w tym okresie (Sowiński 2000 a,b, Sulewska 2004). Średnio spadło w tym czasie 17,3 mm opadu, chociaż współczynnik zmienności tego elementu był dość wysoki i wyniósł 86%.

W fenofazie wschody-pojawienie znamion średnia temperatura wynosiła 16,2°C, temperatura minimalna przekraczała 10°C. Parametrem meteorologicznym wykazującym największą zmienność były opady atmosferyczne. W tym czasie odnotowano największą średnią wartość sumy promieniowania całkowitego. Lipiec i sierpień uważany jest za okres krytyczny pod względem opadowym dla kukurydzy (Sulewska 2004). W tym niemal czasie trwała faza od pojawienia znamion do dojrzałości pełnej, która średnio rozpoczynała się 12 lipca i kończyła 11 września. Średnia suma opadów tej międzyfazy wynosiła blisko 130 mm, co jest nieco niższą wartością od optymalnej (150 mm). Współczynnik zmienności opadów wynosił ponad 55%. Średnia temperatura tej fazy ukształtowała się na poziomie 18,2°C. W okresie od dojrzałości pełnej do zbiorów opady atmosferyczne wykazały największą zmienność, średnia temperatura tego okresu wynosiła niespełna 14°C.

Wzajemne powiązania i interakcje oraz kompleksowość oddziaływania elementów pogodowych na wzrost i rozwój roślin bardzo utrudniają poszukiwania zależności pomiędzy tymi elementami a plonowaniem. Na podstawie rozpatrywanych danych dotyczących plonowania kukurydzy i wartości wybranych parametrów meteorologicznych zbudowano tylko dwa równania regresji, które pozytywnie przeszły procedurę weryfikacyjną testem CV (tab. 3).

Na podstawie równania, zbudowanego na etapie fazy wschody-pojawienie znamion (równanie 2 w tab. 3), można stwierdzić, że temperatury minimalne i sumy promieniowania tego okresu istotnie oddziaływały na wysokość plonu, pomimo, że na tym etapie rozwoju rośliny równanie to tylko w 40% objaśniało wyznaczone zależności. Zarówno na etapie dojrzałości pełnej jak i zbioru zależności między plonem a warunkami pogodowymi opisywało równanie, które w obu okresach przyjęło tę samą postać (równania 3 i 4 w tab. 3) i w 80% tłumaczyło osiągnięte plony. W tym przypadku wzrost opadów atmosferycznych w międzyfazie pojawienie znamion – dojrzałość, a więc w okresie krytycznym, w istotny sposób wpływał na wzrost plonowania kukurydzy. Istotny, dodatni wpływ na wysokość plonu miało także promieniowanie całkowite w okresie siew-wschody.

Dokładne oszacowanie wielkości spodziewanych plonów jako reakcji na zmiany klimatyczne jest zadaniem trudnym i raczej niemożliwym do wykonania ze względu na złożoność wzajemnych relacji między czynnikami wpływającymi na plonowanie roślin, w tym i działań człowieka. Trudnym do przewidzenia jest jak długo i na jakim poziomie utrzyma się tendencja wzrostowa plonu wynikająca z postępu naukowo-technicznego. Dlatego też w opracowaniu ograniczono się do

analizy wartości uzyskanych reszt plonów wyznaczonych na podstawie symulowanych danych co w pewnym stopniu umożliwi dokonanie oceny wpływu na plon czynników pogodowych w przyszłości. Podstawowe statystyki zmiennych niezależnych wyliczone na podstawie danych wygenerowanych, uwzględnionych w wyselekcjonowanych równaniach regresji przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 3. Uzyskane równania regresji pogoda – plon kukurydzy

Table 3. Selected regression equations of weather conditions – yield of maize

Okres rozwojowy Growing period	Równanie regresji – Regression equation	R ²	R ² adj	R ² pred
1	brak równań – lack of equations			
2	$y = 254,6^{**} - 17,8^{**}T_{min2} - 0,063^{**}SR2$	0,44	0,33	0,40
3	$y = -38,15^{*} + 0,224^{****}P3 + 0,113^{**}SR1 - 1,116T1$	0,86	0,82	0,80
4	$y = -38,15^{*} + 0,224^{****}P3 + 0,113^{**}SR1 - 1,116T1$	0,86	0,82	0,80

Objaśnienia – Explanations: *, **, **** istotność odpowiednio na poziomie 0,1; 0,05; 0,001 – denote significance levels 0.1; 0.05; 0.01; 0.001; Zmienne – Variable: *T* – temperatura średnia powietrza – mean air temperature (°C), *T_{min}* – temperatura minimalna – minimal temperature, *P* – opady atmosferyczne – precipitation (mm), *SR* – promieniowanie całkowite – global radiation (MJ·m⁻²); Okres – Period: 1 – siew-wschody sowing-germination, 2 – wschody-pojawienie znamion – germination-sprouting of stigma, 3 – pojawienie znamion-dojrzałość pełna – sprouting of stigma-full ripeness, 4 – dojrzałość pełna-zbiór – full ripeness-harvest

Tabela 4. Statystyki opisowe zmiennych niezależnych wyliczonych z danych wygenerowanych

Table 4. Descriptive statistics of independent variables calculated from generated data

Wielkości statystyczne Statistical	Zmienne niezależne – Independent variables				
	SR1	<i>T</i> 1	SR2	<i>T_{min}</i> 2	P3
Średnia – Mean	169,2	12,5	1037,5	10,5	123,8
Maksymalna – Maximal	346,8	18,2	1382,1	13,1	258,8
Minimalna – Minimal	34,0	8,9	813,3	7,9	44,4
SD	87,6	2,1	138,2	1,2	57,7
CV	51,8	17,1	13,3	11,0	46,6

Objaśnienia – Explanations: SD – odchylenie standardowe – standard deviation, CV – współczynnik zmienności – variability coefficient (%), SR1 – promieniowanie całkowite (MJ·m⁻²) w okresie siew-wschody – global radiation in period sowing – germination, SR2 – promieniowanie całkowite (MJ·m⁻²) w okresie wschody-pojawienie znamion – global radiation in period germination-sprouting of stigma, *T*1 – temperatura średnia powietrza (°C) w okresie siew-wschody – mean air temperature in period sowing-germination, *T_{min}*2 – temperatura minimalna (°C) w okresie wschody-pojawienie znamion – minimal temperature in period germination-sprouting of stigma, P3 – opady atmosferyczne (mm) w okresie pojawienie znamion-dojrzałość pełna – precipitation (mm) in period sprouting of stigma-full ripeness.

Wykorzystując wartości zmiennych niezależnych, wyliczone na bazie danych symulowanych wyznaczono reszty plonów, dla możliwych wariantów przebiegu warunków pogodowych. W przypadku równania opisującego zależności między warunkami pogodowymi a plonowaniem kukurydzy na etapie pojawienia znamion (równanie 2 w tab. 3) ($R^2_{pred} 0,40$), okazało się, że aż w 62% przypadków wyliczone reszty plonów były dodatnie co świadczy, że na tym etapie rozwoju prawdopodobnie częściej mogą występować korzystne sytuacje pogodowe powodujące wzrost plonów w przyszłości nawet do $40 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$, a więc o niemal 50% w stosunku do obecnego plonu średniego. Możliwe wzrosty plonów w tym przypadku byłyby nieco wyższe od szacunków podanych przez Demidowicza i in. (1996). Niekorzystne układy zmiennych mogłyby powodować straty w plonach w granicach do $30 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ czyli w granicach 37%. Wartości reszt plonów wyznaczone na podstawie tego równania wahały się od $40,5$ do $-30,6 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Prawdopodobne reszty plonów wyznaczone za pomocą drugiego rozpatrywanego równania ($R^2_{pred} 0,80$) służące do prognozowania plonów na etapie dojrzałości pełnej i zbioru, aż w 60% przypadków przyjmowały wartości ujemne. Można się spodziewać, że straty plonu ziarna z tytułu niesprzyjającego układu warunków pogodowych mogłyby sięgać nawet $32,2 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ czyli 39%. Wydaje się, że przyczyny takiego stanu należałoby upatrywać w tym, iż zmienną w tym równaniu, mającą najbardziej istotny wpływ na wielkość plonu, były opady atmosferyczne w okresie bardzo wrażliwym na ten właśnie element meteorologiczny czyli od pojawienia znamion do dojrzałości pełnej. Średnia wartość symulowanych sum opadów tej międzyfazy wynosiła $123,8 \text{ mm}$ i była tylko o $3,4 \text{ mm}$ niższa od wartości w okresie 1991-2005. Bardziej szczegółowa analiza tego elementu pokazała, że aż w 55% symulowanych wariantów pogodowych sumy opadów były niższe od średniej z tego okresu, a aż w 43% przypadków sumy opadów wynosiły poniżej 100 mm . W przypadku korzystnego przebiegu pogody możliwy byłby wzrost plonu o około 28% czyli $23,2 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$. Demidowicz i in (1999) możliwy wzrost plonu kukurydzy szacują na powyżej 30%. Wartości reszt plonów wyznaczone na podstawie równania służącego do prognozowania plonów na etapie dojrzałości pełnej i zbioru (równania 3 i 4 w tab. 3), wahały się od $23,2$ do $-32,2 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Skala wielkości ewentualnych wzrostów plonów kukurydzy, spowodowanych spodziewanymi zmianami klimatu jest obiecująca i niemal zgodna z wcześniejszymi doniesieniami na ten temat (Demidowicz i in. 1999). Należy jednak pamiętać o ryzyku ewentualnych strat, z którymi trzeba się liczyć, gdy warunki pogodowe ułożą się niezbyt korzystnie.

WNIOSKI

1. Wykorzystywane do oceny relacji pogoda – plon kukurydzy dane pozwoliły na uzyskanie tylko dwóch równań regresji, które pozytywnie przeszły procedurę weryfikacyjną testem CV. Równanie z uwzględnieniem danych etapu rozwojowego kukurydzy pojawienia się znamion ($R^2_{pred} = 0,4$) pokazało, że temperatury minimalne i sumy promieniowania okresu wschody-pojawienie znamion istotnie oddziaływały na wysokość plonu. Kolejne równanie ($R^2_{pred} = 0,8$) wyjaśniało osiągnięte plony na etapie zarówno dojrzałości pełnej jak i zbioru. W tym przypadku wzrost opadów atmosferycznych w międzyfazie pojawienie znamion – dojrzałość, oraz promieniowanie całkowite w okresie siew-wschody miało istotny, dodatni wpływ na wysokość plonu.

2. Obliczenia wykonane na bazie 300 wariantów symulowanych danych pogodowych dla roku 2050, z wykorzystaniem wyselekcjonowanych równań regresji, wykorzystane do oszacowania możliwych wartości plonowania kukurydzy w nowych warunkach klimatycznych pokazały, że przy korzystnym układzie warunków pogodowych możliwy jest wzrost plonów w granicach 28% (szacunki na etapie dojrzałości pełnej), a nawet 50% (szacunki na etapie pojawu znamion). W sytuacji niekorzystnego przebiegu pogody, które mogą się ujawnić jako efekt globalnych zmian klimatu, należy liczyć się ze stratami plonów rzędu 37-39% w relacji do możliwej średniej.

PIŚMIENNICTWO

- Alexandrov V.A., Eitzinger, J., 2005. The potential effect of climate change and elevated air carbon dioxide on agricultural crop production in central and southeastern Europe, *Journal of Crop Improvement*, 13 (1-2), 291-331.
- Aleksandrov V.A., Hoogenboom G., 2000. The impact of climate variability and change on crop yield in Bulgaria. *Agric Forest Meteorol.*, 104, 315-327.
- Anapalli, S.S., Ma, L., Nielsen, D.C., Vigil, M.F., Ahuja, L.R., 2005, Simulating planting date effects on corn production using RZWQM and CERES-maize models, *Agronomy Journal*, 97(1), 58-71.
- Bis K., Demidowicz G., Deputat T., Górski T., Harasim A., Krasowicz S., 1993. Ekonomiczne konsekwencje zmian klimatu w rolnictwie polskim (ocena wstępna). *Problemy Agrofizyki* 68, Instytut Agrofizyki PAN Lublin.
- Climate Change, 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Geneva. <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1chapter11.pdf>.
- Demidowicz G., Deputat T., Górski T., Krasowicz S., Kuś J., 1999. Prawdopodobne zmiany w produkcji roślinnej w związku ze spodziewanymi zmianami klimatu Polski. W: *Zmiany i zmienność klimatu Polski. Materiały ogólnopolskiej konferencji naukowej UŁ, Łódź*, 43-48.
- Dragańska E., Kuchar L., Szwejkowski Z., 2004. Zastosowanie testu Cross Validation do weryfikacji modeli regresyjnych pogoda-plon na przykładzie pszenicy ozimej uprawianej w północno-wschodniej Polsce. *Acta Sci. Pol., Agricult.*, 3(1), 29-36.

- Faber A., 1998. Naukowa i użytkowa przydatność modeli wzrostu i rozwoju roślin. *Fragm. Agromom.*, XV, 4, 5-12.
- Faber A., 2002. Środowiskowe uwarunkowania produkcji roślinnej w Polsce i Europie według symulacji CGMS. *Pam. Puł. 130, Mat. Konf.*, 137-151.
- Górski T., 2002. Współczesne zmiany agroklimatu Polski. *Pam. Puławski, Mat. Konf.*, Z.130, 241-250.
- Górski T., 2004. Stan obecny i perspektywy agrometeorologii. *Acta Agrophysica*, 3(2), 257-262.
- Jakacka M., 1998. Reakcja kukurydzy na chłody i przymrozki w Puławach w latach 1971-1991, *Pam. Puławski – Prace IUNG*, 113, 25-37.
- Kożuchowski K., 1996. Współczesne zmiany klimatu w Polsce na tle zmian globalnych. *Prz. Geograf. T. LXVIII*, z. 1-2, 79-97.
- Kożuchowski K., Degirmendzić J., Fortuniak K., Wibig J., 1999. Tendencje zmian sezonowych aspektów klimatu w Polsce. W: *Zmiany i zmienność klimatu Polski. Materiały ogólnopolskiej konferencji naukowej UŁ, Łódź*, 129-142.
- Kuchar L., 2001. Ocena modeli matematycznych na podstawie testu typu Cross Validation. *Prz. Nauk. Wydz. Inż. Kszt. Środ.*, SGGW, 21, 165-170.
- Kuchar L., 2004. Using WGENK to generate synthetic daily weather data for modelling of agriculture processes. *Math. Comp. Simul.*, 65, 69-75.
- Kuchar L., 2005. Zmodyfikowany model WGENK generowania danych meteorologicznych na potrzeby modelowania agrometeorologicznego. *Woda – Środowisko-Obszary Wiejskie*, 5, z. spec. (14), 185-196.
- Kuczmarska L., Paszyński J. 1964. Rozkład promieniowania całkowitego na obszarze Polski. *Prz. Geograf. t. XXXVI*, 4. 691-702.
- Liszewska M., Osuch M., 1999. Analiza wyników globalnych modeli klimatu dla Europy Środkowej i Polski. W: *Zmiany i zmienność klimatu Polski. Materiały ogólnopolskiej konferencji naukowej UŁ, Łódź*, 129-142.
- Machul M., 2002. Postęp w hodowli mieszańców kukurydzy uprawianej w Polsce w latach 1976-2000, *Pam. Puław., Mat. Konfer.*, Z. 130, 479-486.
- Michalski T., 2004. Kierunki uprawy i wykorzystania kukurydzy w świecie i w Polsce. W: *Technologia produkcji kukurydzy* red. A. Dubas, 7-15, Wyd. „Wieś Jutra”.
- Michalski T., 1997. Kukurydza jako surowiec dla przemysłu, *Zesz. Problem. Post. Nauk Roln.*, 450, 201-217.
- Michalski T., H. Sulewska, H. Waligóra, A. Dubas, 1996, Reakcja odmian kukurydzy uprawianej na ziarno na zmienne warunki pogodowe, *Rocz. Nauk Roln., Seria A T*, 112, Z.1-2, 103-111.
- Sadowski M., Tomaszewska T., 1995. Ocieplenie klimatu a rolnictwo w dorzeczu Noteci. *Rocz. AR Pozn., CCLXXI, Melior. Inż. Środ.*, 16, 89-101.
- Sowiński P., 2000a. Wrażliwość kukurydzy na chłód Cz. I. Wzrost, rozwój, fotosynteza. *Biul. IHAR*, 214, 17-29.
- Sowiński P., 2000b. Wrażliwość kukurydzy na chłód Cz.II. System korzeniowy, regulacja funkcjonowania rośliny, perspektywy hodowli. *Biul. IHAR*, 214, 17-29.
- Sulewska H., 2004. Wymagania środowiskowe kukurydzy i możliwości jej uprawy w Polsce. W: *Technologia produkcji kukurydzy* red. A. Dubas, 16-23, Wyd. „Wieś Jutra”.
- The NASA Goddard Institute for Space Studies (GISS), at Columbia University in New York City <http://www.giss.nasa.gov/>.

Tsvetsinskaya, E.A., Mearns, L.O., Mavromatis, T., Gao, W., McDaniel, L., Downton, M.W., 2003, The effect of spatial scale of climatic change scenarios on simulated maize, winter wheat, and rice production in the Southeastern United States, *Climatic Change*, 60(1-2), 37-71.
www.kukurydza.org.pl

YIELD OF CORN CULTIVATED FOR GRAIN IN WIELKOPOLSKA REGION PREDICTED IN REGARD TO EXPECTED CLIMATE CHANGES

Ewa Dragańska, Zbigniew Szwejkowski, Monika Panfil

Department of Meteorology and Climatology, Warmia and Mazury University
Pl. Łódzki 1, 10-720 Olsztyn
e-mail: ewad@uwm.edu.pl

Abstract. The data concerning yielding, growth and development of standard semi-early corn cultivated for grain which were used in the work came from the period of 1991-2005. The independent variables in the investigation of the relationship between weather and yield were determined by values of 24 hour mean temperature, minimum temperature, totals of precipitations as well as totals of total radiation, in every agrophenological period. Only two equations which passed the verifying procedure by the CV test were build. The equation build on the level of sprouting of stigma ($R^2_{pred} = 0.4$) showed that minimum temperatures and totals of solar radiations in the time of sprouting of stigma had significant influence on the quantity of yield. The next equation ($R^2_{pred} = 0.8$) explained the received yield on the time of full ripeness as well as harvest. Increase in totals of precipitations in the period from sprouting of stigma to full ripeness as well as totals of global solar radiation in the period of sowing-germination had a favourable influence on the quantity of yield. Sorted equations were used to estimate possible values of corn yielding with new weather conditions predicted according to the GISS scenario of climate changes, the E model. Also, 300 possible variants of the course weather conditions were generated using the WGENK model. Simulated data showed that the increases of yield from 28% to 50% (estimation made at the time of sprouting of stigma) will be possible if the weather conditions are favourable. If weather conditions are unfavourable, a decrease of yield in the range of 37-39% can be expected.

Keywords: corn yielding, yield-weather model, climate change