

ANALIZA STATYSTYCZNA WPLYWU CZYNNIKÓW METEOROLOGICZNYCH I GLEBOWYCH NA WARTOŚĆ TEMPERATURY RADIACYJNEJ POWIERZCHNI ROŚLIN

W. Mazurek, R.T. Walczak, P. Baranowski

Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN
20-290 Lublin 27, ul. Doświadczalna 4
e-mail: wmazurek@demeter.ipan.lublin.pl

Streszczenie. W pracy dokonano analizy statystycznej metodą regresji wielokrotnej wpływu czynników meteorologicznych i glebowych na wartości temperatury radiacyjnej pokrywy roślinnej. Stwierdzono, iż wprowadzenie do modelu regresji wielokrotnej potencjału wody glebowej jako zmiennej niezależnej poprawia dokładność predykcyjną modelu w przypadku, gdy zmienną zależną jest różnica temperatury pokrywy roślinnej w sytuacji stresu wodnego i przy nieograniczonej dostępności wody glebowej. Przedstawiono zależność temperatury powierzchni roślin od temperatury powietrza, prędkości wiatru, radiacji słonecznej i potencjału wody glebowej.

Słowa kluczowe: temperatura radiacyjna pokrywy roślinnej, regresja wielokrotna, parametry meteorologiczne.

WSTĘP

Aktualna wartość temperatury radiacyjnej roślin zależy przede wszystkim od intensywności transpiracji warunkowanej dostępnością wody glebowej do strefy korzeniowej oraz od czynników meteorologicznych. Te dwie grupy czynników, a w znacznie mniejszym stopniu warunki termiczne w glebie determinują przebieg procesów fizjologicznych w roślinie a ich niekorzystny układ odpowiada za wchodzenie rośliny w stan stresu.

We wcześniejszych pracach [1, 2, 3] poddawano analizie statystycznej metodą regresji wielokrotnej jedynie wpływ czynników meteorologicznych, tzn. temperatury powietrza, wilgotności względnej powietrza, salda promieniowania oraz prędkości wiatru na temperaturę radiacyjną roślin. Stwierdzono, że współczynniki

korelacji wielokrotnej dla większości modeli, w których zmienną zależną była temperatura radiacyjna roślin (w warunkach nieograniczonej dostępności wody glebowej lub warunkach stresu wodnego) były stosunkowo wysokie $R > 0,92$. Natomiast modele różnicy temperatury roślin w stresie i komforcie wodnym miały w większości przypadków niskie wartości współczynnika korelacji wielokrotnej R . Aby potwierdzić hipotezę, że zespół zewnętrznych parametrów meteorologicznych nie decyduje o różnicy temperatury radiacyjnej roślin lecz mają na nią głównie wpływ warunki glebowe limitujące transpirację, dokonano ponownej analizy statystycznej danych pomiarowych, wprowadzając dodatkowo do modeli regresji wielokrotnej jako zmienną niezależną potencjał wody glebowej.

MATERIAŁ I METODY

Do modeli regresji wielokrotnej wprowadzono następujące zmienne niezależne X_p : temperatura powietrza na wysokości 2 m nad powierzchnią czynną T_a , wilgotność względna powietrza W_a , saldo promieniowania R_n , oraz prędkość wiatru na wysokości 2 m v_{2m} , potencjał wody glebowej Ψ_s dla warunków stresu wodnego oraz Ψ_c dla komfortu wodnego. Zmienna zależna Y to dla poszczególnych modeli: temperatura radiacyjna pokrywy roślinnej w lizymetrach z ograniczoną dostępnością wody glebowej T_s , temperatura radiacyjna pokrywy roślinnej w lizymetrach o komfortowych warunkach wodnych T_c , oraz różnice temperatury radiacyjnej $T_s - T_c$. W analizie statystycznej uwzględniono pomiary z godzin od 11 do 18.

Wykorzystano model liniowej regresji wielokrotnej, w którym dla zadeklarowanej zmiennej zależnej Y , oraz zmiennych niezależnych X_1, \dots, X_p współczynniki regresji wielokrotnej określa się z równania:

$$Y = B_0 + B_1 \cdot X_1 + \dots + B_p \cdot X_p + u \quad (1)$$

gdzie: B_0, B_1, \dots, B_p – współczynniki regresji wielokrotnej, u – błąd doświadczenia.

Odchylenie standardowe całkowite obliczonych wartości zmiennej zależnej Y obliczano ze wzoru:

$$sc = \sqrt{\frac{ZC}{n-1}} \quad (2)$$

gdzie: n jest ilością prób, ZC – zmienność całkowita wyrażona jako suma kwadratów odchyłeń poszczególnych zaobserwowanych wartości zmiennej Y od jej wartości średniej \bar{Y} . Zmienność resztowa wyrażona jest wzorem:

$$ZR = \sum_{i=1}^n \left(Y_i - \hat{B}_0 - \hat{B}_1 \cdot X_{i1} - \dots - \hat{B}_p \cdot X_{ip} \right)^2 \quad (3)$$

gdzie: $\hat{B}_0, \hat{B}_1, \dots, \hat{B}_p$ – rozwiązania układu równań normalnych:

$$S \hat{B} = X'Y \quad (4)$$

w którym S jest macierzą kowariancji zmiennych X_1, X_2, \dots, X_p , natomiast $X'Y$ jest wektorem kowariancji zmiennej Y ze zmiennymi X_1, X_2, \dots, X_p . Za miarę dopasowania regresji przyjęto różnice między zmiennością całkowitą ZC zaobserwowanej wartości zmiennej Y a zmiennością resztową ZR uzyskaną po wyeliminowaniu ze zmiennej Y jej najlepszej oceny przy pomocy liniowej funkcji zmiennych X_1, X_2, \dots, X_p .

Błąd aproksymacji obliczano jako standardowy błąd oszacowania SBE wyrażony wzorem:

$$SBE = \sqrt{\frac{ZR}{n-p-1}} \quad (5)$$

Kwadrat współczynnika korelacji wielokrotnej obliczano wg wzoru:

$$R^2 Y(1, \dots, p) = \frac{ZC - ZR}{ZC} \quad (6)$$

Istotność współczynnika korelacji wielokrotnej sprawdzano za pomocą testu F Snedecora. Istotność współczynników regresji wielokrotnej B_0, B_1, \dots, B_p określano przy pomocy testu t Studenta.

We wszystkich modelach regresji wielokrotnej przyjmowano graniczną wartość F dla dodania pojedynczej zmiennej niezależnej do modelu równą 0,0001.

WYNIKI I DYSKUSJA

W Tabeli 1 przedstawiono wyniki regresji wielokrotnej dla poszczególnych modeli zawierające współczynniki regresji dla zmiennych niezależnych. Stwierdzono, że potencjał wody glebowej został uwzględniony w większości utworzonych modeli oraz stwierdzono nieznaczny wzrost współczynnika korelacji w

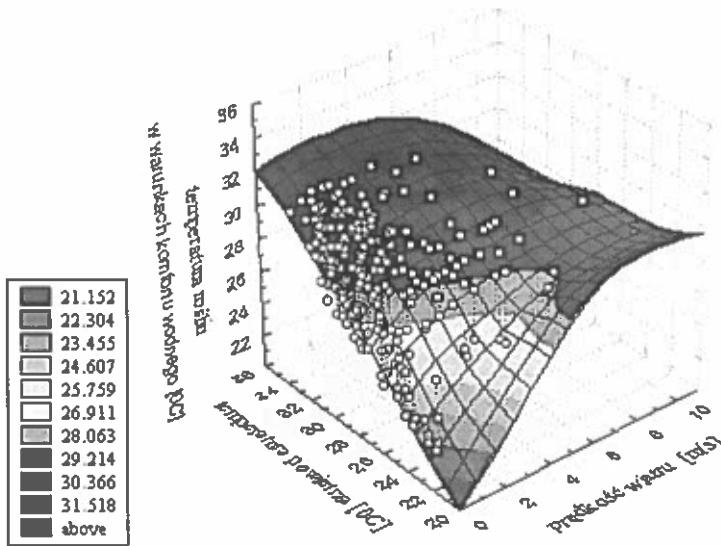
przypadkach, gdy zmienną zależną była temperatura radiacyjna pokrywy roślinnej. W modelach, w których zmienną zależną była różnica temperatury radiacyjnej roślin w warunkach stresu wodnego i komfortu, parametry glebowe odgrywały istotną rolę.

Tabela 1. Modele regresji wielokrotnej temperatury pokrywy roślinnej w warunkach komfortu wodnego T_c , stresu wodnego T_s oraz różnicy $T_s - T_c$. Zmienne niezależne modelu to: temperatura powietrza T_a , wilgotność względna powietrza W_a , saldo promieniowania R_n , promieniowanie krótkofalowe dochodzące R_s , prędkość wiatru na wysokości 2 m V_{2m} , potencjał wody glebowej Ψ_s , Ψ_c (odpowiednio stres i komfort wodny)

Table 1. The multiple regression models of plant cover temperature for water comfort T_c , water stress T_s and $T_s - T_c$ difference. The independent variables of the model are: air temperature T_a , relative air humidity W_a , net radiation R_n , incoming short-wave radiation R_s , wind speed on 2 m level V_{2m} , soil water potentials Ψ_s , Ψ_c (for water stress and water comfort respectively)

Zmienna zależna	Zmienne niezależne modelu	Współczynniki regresji	t- Studenta	Poziom p	Podsumowanie modelu regresji
T_c	T_a	0.3267	6.8479	0.000000	
	W_a	-0.0122	-1.1056	0.269910	
	R_n	0.0011	0.3505	0.726281	$n=268$
	R_s	0.0040	1.7333	0.084223	$R=0.89$
	V_{2m}	0.2669	5.5322	0.000000	$F=170.40$
	Ψ_c	-0.0003	-3.9675	0.000094	$SBE=1.0405$
	B_0	17.2866	10.3218	0.000000	
T_s	T_a	0.4337	7.0733	0.000000	
	W_a	-0.0246	-1.7415	0.082774	
	R_n	-0.0031	-0.7657	0.444524	$n=268$
	R_s	0.0104	3.4914	0.000564	$R=0.92$
	V_{2m}	-0.0228	-0.3661	0.714565	$F=249.28$
	Ψ_s	-0.1124	-10.1033	0.000000	$SBE=1.3356$
	B_0	11.6089	5.3746	0.000000	
$T_s - T_c$	T_a	0.1162	2.9426	0.003549	
	W_a	-0.0092	-1.0006	0.317939	
	R_n	0.0007	0.2757	0.782983	
	R_s	0.0026	1.3188	0.188388	$n=268$
	V_{2m}	-0.2093	-5.2197	0.000000	$R=0.83$
	Ψ_c	-0.0007	-10.6677	0.000000	$F=80.385$
	Ψ_s	0.0000	2.8601	0.004579	$SBE=0.8596$
B_0	-2.1871	-1.5751	0.116438		

W modelu ze zmienną zależną T_c wartości statystyki t-Studenta prowadzą na poziomie istotności 0,05 do odrzucenia hipotezy o tym, że temperatura powietrza, prędkość wiatru i potencjał wody glebowej nie mają wpływu na mierzoną wartość temperatury roślin w komforcie wodnym. Jednocześnie w tym modelu stwierdza się brak istotności wpływu wilgotności względnej powietrza ($p = 0,270 > 0,05$), salda promieniowania ($p = 0,726$), oraz promieniowania krótkofalowego dochodzącego ($p = 0,084$). Przy liczbie prób 268 model ten ma stosunkowo wysoką wartość współczynnika determinacji R, małą wartość współczynnika F-Snedecora i błąd standardowego estymacji.



Rys. 1. Wykres rozrzutu danych temperatury roślin w warunkach komfortu wodnego jako funkcji temperatury powietrza oraz prędkości wiatru.

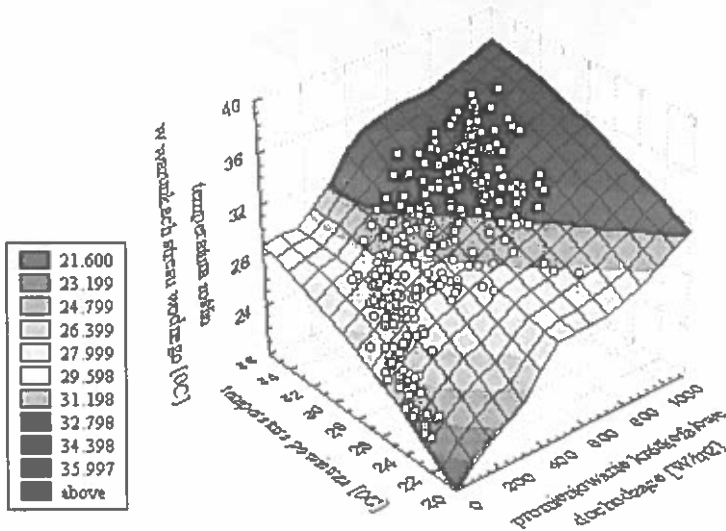
Fig. 1. A plot of scatter of non stressed plant temperature as a function of air temperature and wind speed.

W modelu temperatury roślin znajdujących się w stresie wodnym stwierdzono istotny wpływ temperatury powietrza, promieniowania krótkofalowego dochodzącego i potencjału wody glebowej na wartości analizowanego parametru. W

tym przypadku uzyskano jeszcze wyższą wartość współczynnika determinacji $R = 0,92$.

Dla różnicy $T_s - T_c$ przeprowadzona analiza statystyczna wykazuje, że oprócz prędkości wiatru i temperatury powietrza istotną rolę w modelu odgrywa potencjał wody glebowej dla roślin zarówno w stresie jak i w komforcie wodnym. Model, w którym uwzględniono potencjał wody glebowej ma stosunkowo wysoki współczynnik determinacji $R = 0,83$.

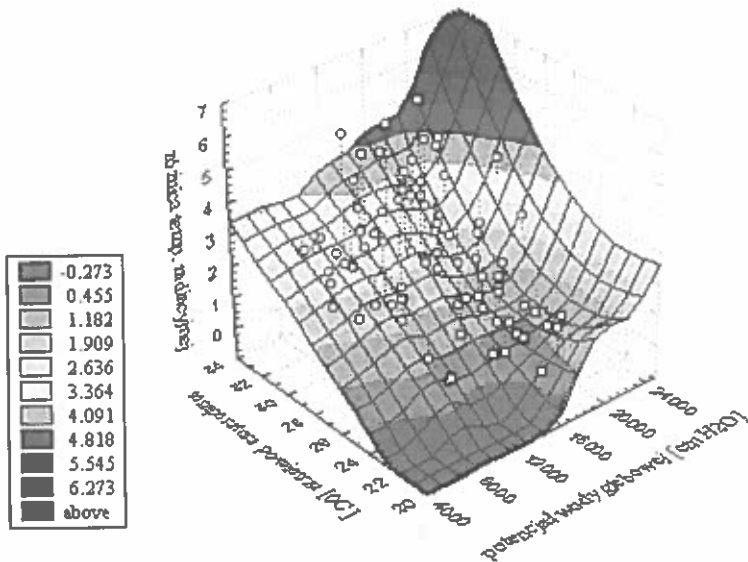
Analizując wpływ różnych czynników na wartość temperatury radiacyjnej pokrywy roślinnej wykonano trójwymiarowe wykresy rozrzutu wraz z dopasowaną metodą najmniejszych kwadratów płaszczyzną. Jak wynika z Rys. 1 temperatura roślin w warunkach komfortu wodnego jest silnie skorelowana z temperaturą powietrza i prędkością wiatru. Wraz ze wzrostem temperatury powietrza wzrasta temperatura roślin, ale w przypadku dużych wartości prędkości wiatru efekt ogrzewania roślin jest osłabiony.



Rys. 2. Wykres rozrzutu danych temperatury roślin w warunkach stresu wodnego jako funkcji temperatury powietrza oraz promieniowania krótkofalowego.

Fig. 2. A plot of scatter of non stressed plant temperature as a function of air temperature and short-wave radiation.

W modelu temperatury roślin w warunkach stresu wodnego istotnymi statystycznie zmiennymi niezależnymi okazały się temperatura powietrza i promieniowanie krótkofalowe dochodzące. Wykres zależności zmierzonych wartości temperatury roślin w stresie wodnym od temperatury powietrza i promieniowania krótkofalowego przedstawiono na Rys. 2.



Rys. 3. Wykres rozrzutu danych różnicy temperatur $T_s - T_e$ jako funkcji temperatury powietrza oraz potencjału wody glebowej.

Fig. 3. A plot of scatter of temperature differences $T_s - T_e$ as a function of air temperature and soil water potential.

Wykres zależności różnicy temperatury radiacyjnej roślin w stresowych i komfortowych warunkach jeśli chodzi o dostępność wody glebowej od temperatury powietrza i potencjału wody glebowej (Rys.3) pokazuje, że największe wartości tej różnicy występują dla wartości temperatury powietrza powyżej ok. 25 °C i wartości potencjału wody glebowej powyżej 15 000 cm H₂O.

WNIOSKI

Uwzględnienie czynnika glebowego, w tym przypadku potencjału wody glebowej, w powiązaniu z parametrami meteorologicznymi poprawia zdolność pre-

dykcyjną modeli temperatury radiacyjnej powierzchni roślin utworzonych metodą regresji wielokrotnej.

Przeprowadzona analiza statystyczna umożliwi określenie potrzeb doboru parametrów meteorologicznych i glebowych zarówno w modelowaniu ewapotranspiracji aktualnej jak i planowanych pomiarów temperatury radiacyjnej pola uprawnego.

LITERATURA

1. Walczak R.T., Baranowski P., Mazurek W.: The impact of meteorological conditions on radiation temperature (range 8–13 μm) of plant cover under different water conditions. 5th International Conference on Physics of Agricultural Materials, Bonn, Germany 1993.
2. Baranowski P., Mazurek W., Walczak R.T.: Zastosowanie termografii do badania stresu wodnego roślin i ewapotranspiracji rzeczywistej. Monografia. Acta Agrophysica 21, 1999.
3. Baranowski P., Mazurek W.: Optymalizacja pomiaru temperatury roślin poprzez uwzględnienie parametrów meteorologicznych. Modelowanie i monitorowanie procesów agrofizycznych w środowisku glebowym. PTA 1999.

THE STATISTICAL ANALYSIS OF METEOROLOGICAL AND SOIL PARAMETERS IMPACT ON PLANT COVER RADIATION TEMPERATURE

W. Mazurek, R.T. Walczak, P. Baranowski

The Institute of Agrophysics PAS
20-290 Lublin 27, ul. Doświadczalna 4

Summary. In this study the statistical analysis was performed, using the multiple regression, of the impact of meteorological and soil parameters on radiation temperature of plant cover. It was stated that including into the model soil water potential as an independent variable of multiple regression, improves its predictive precision in case when the dependent variable is the difference of crop temperature in the conditions of water stress and under unlimited availability of soil water. The relation between crop temperature and air temperature, wind speed, solar radiation and soil water potential is presented.

Keywords. radiation temperature of plant cover, multiple regression, meteorological parameters.