

¹MARIAN MACHUL, ²TAMARA JADCZYSZYN

¹Zakład Uprawy Roślin Pastewnych

²Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Puławy

PRZYDATNOŚĆ WSKAŹNIKA WZGLĘDNEJ ZAWARTOŚCI CHLOROFILU DO OCENY STANU ODŻYWIENIA KUKURYDZY AZOTEM

Suitability of relative chlorophyll content index to assess maize nitrogen nutrition status

ABSTRAKT: W pracy przedstawiono wyniki badań nad zastosowaniem odczytów SPAD do oceny stanu odżywienia kukurydzy azotem. W badaniach uwzględniono dwa sposoby wysiewu nawozu azotowego: rzutowy i zlokalizowany oraz pięć dawek azotu: 25, 55, 85, 115 i 145 N kg·ha⁻¹. Począwszy od fazy wykształconego szóstego liścia do ukazywania się znamion w odstępach 7–10-dniowych dokonywano pomiarów wartości SPAD, plonu suchej masy i zawartości azotu w suchej masie. Wyznaczono krytyczne zawartości azotu w suchej masie kukurydzy oraz obliczono wskaźnik stanu odżywienia roślin azotem (NNI). Kalibracji testu SPAD dla kukurydzy odmiany Costella dokonano z zastosowaniem wskaźnika stanu odżywienia azotem (NNI).

słowa kluczowe: key words:

kukurydza – maize, nawożenie azotem – nitrogen fertilization, test SPAD – SPAD test, wskaźnik stanu odżywienia azotem – nitrogen nutrition index

WSTĘP

Laboratoryjne metody oceny stanu odżywienia roślin azotem polegające na oznaczeniu zawartości azotanów w soku roślinnym lub azotu ogólnego w suchej masie roślin nie są powszechnie stosowane w praktyce rolniczej ze względu na ich czasochłonność. Z kolei przydatność diagnostyczną szybkiego testu barwnego ogranicza mała precyzja. Pośrednią metodą oceny stanu odżywienia roślin azotem jest test oparty na dodatniej zależności między zawartością azotu a ilością chlorofilu w liściach. Zawartość chlorofilu można określać laboratoryjnie – za pomocą analiz chemicznych lub szybciej – za pomocą aparatu optycznego Hydro N-tester, który jest stosowany w polu i nie powoduje uszkodzenia roślin. Aparat ten nie mierzy bezpośrednio zawartości chlorofilu w liściach roślin, lecz określa wskaźnik zieloności liści, który jest ilorazem absorpcji światła przy dwóch długościach fal – 650 i 940 nm. Światło o długości fali 650 nm jest absorbowane przez chlorofil, natomiast o długości 940 nm

jest zatrzymywane przez tkankę liściową. Wynik jest liczbą niemianowaną określaną jako jednostki SPAD.

Marquard i Tipton (cyt. za 11) przetestowali tym aparatem 12 gatunków roślin ogrodniczych i stwierdzili wysoką korelację między wskazaniami aparatu a ekstrahowaną ilością chlorofilu. Współczynnik determinacji R^2 w zależności od gatunku wynosił od 83 do 97%. Z kolei C a s t e l l i i in. (2) stwierdzili, że odczyty SPAD są odmienne dla takiej samej ilości chlorofilu oznaczonej metodą *in vitro* u różnych gatunków roślin. Według tych autorów konieczna jest kalibracja chlorofilometru dla poszczególnych gatunków.

Aparat SPAD ma zastosowanie w monitorowaniu stanu odżywienia roślin azotem i jest przydatny w doradztwie nawozowym dotyczącym ryżu, kukurydzy i zbóż (1, 3, 4, 13, 14).

Celem przeprowadzonych badań było określenie możliwości zastosowania odczytów SPAD do oceny stanu odżywienia kukurydzy azotem oraz wykonanie kalibracji testu SPAD za pomocą wskaźnika odżywienia roślin azotem (NNI).

MATERIAŁ I METODY

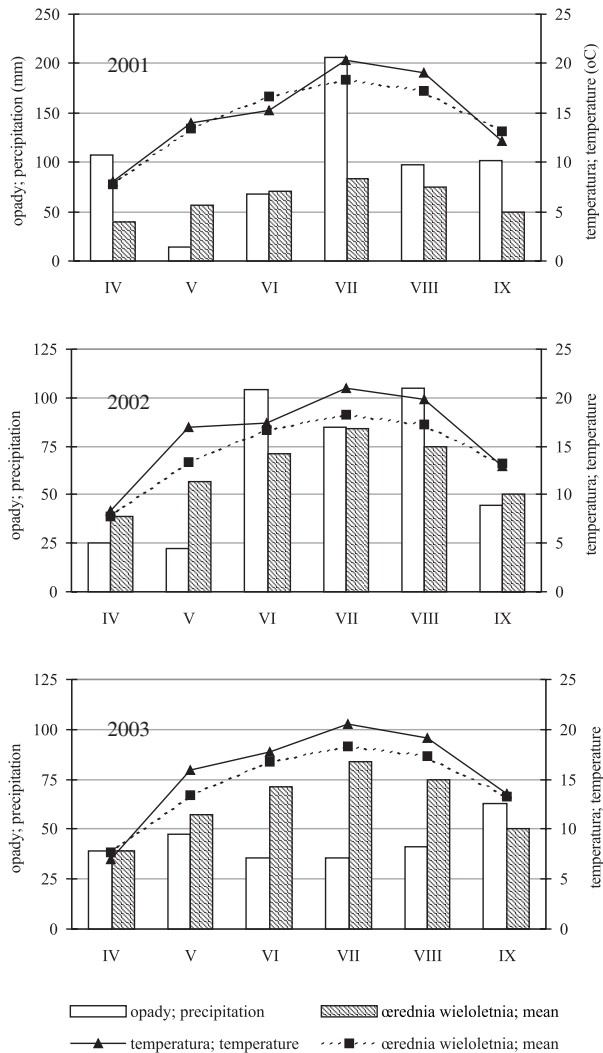
Podstawę opracowania stanowiły wyniki doświadczenia polowego przeprowadzonego w latach 2001–2003 w Rolniczym Zakładzie Doświadczalnym IUNG Grabów (woj. mazowieckie). Doświadczenie dwuczynnikowe założono metodą równoważnych podbloków, w czterech powtórzeniach, na glebie płowej wytworzonej z gliny lekkiej zaliczonej do kompleksu żytniego bardzo dobrego. Gleba charakteryzująca się odczynem lekko kwaśnym (pH 5,8) oraz średnią zasobnością w fosfor i potas. W doświadczeniu wysiewano kukurydzę odmiany Costella i uwzględniono dwa sposoby wysiewu nawozu azotowego; rzutowy i zlokalizowany oraz pięć poziomów nawożenia azotem: 25, 55, 85, 115 i 145 kg N·ha⁻¹. Azot wysiewano w dwóch terminach – przedsięwnie i pogłównie w fazie 6 liści kukurydzy. Pierwsza dawka azotu w postaci saletrzaku wynosiła odpowiednio 0, 30, 60, 90 i 120 kg N·ha⁻¹. W obiekcie ze zlokalizowanym wysiewem nawozu saletrzak wysiano równocześnie z nasionami kukurydzy za pomocą siewnika zaopatrzonego w urządzenie do wysiewu nawozów. Nawóz wysiewany był rzędowo w odległości 5 cm od rzędów kukurydzy i 5 cm głębiej niż nasiona. Pogłównie zastosowano na całym doświadczeniu 25 kg N·ha⁻¹ w postaci saletry amonowej.

W okresie wegetacji kukurydzy, poczynając od fazy wykształconych 6 liści do fazy zasychania znamion, w odstępach 7–10-dniowych dokonywano odczytów SPAD liści kukurydzy aparatem Hydro N-Tester. Pomiary wykonywano na 30 roślinach z każdego poletka, na najmłodszym rozwiniętym liściu w środkowej jego części i w odległości 1,5 cm od brzegu. Poczynając od fazy ukazywania się wiech zawartość chlorofilu mierzono na liściu kolbowym. W terminach pomiaru SPAD pobierano po 2 rośliny z każdego poletka i określano plon suchej masy kukurydzy oraz zawartość azotu ogólnego. Zawartość azotu oznaczano metodą spektrofotometrii przepływowej w Głównym Laboratorium Analiz Chemicznych IUNG w Puławach.

Wyniki dotyczące plonu ziarna, odczytów SPAD, plonu suchej masy i zawartości N opracowano statystycznie z zastosowaniem analizy wariancji i rachunku regresji, za pomocą komputerowego programu Statgraphics Plus 4,1.

WARUNKI METEOROLOGICZNE

Przebieg pogody w latach 2001–2003 był silnie zróżnicowany (rys. 1). Znalazło to odbicie w wielkości odczytów SPAD oraz w uzyskanych plonach ziarna kukurydzy.



Rys. 1. Średnie temperatury powietrza (°C) i sumy opadów w okresie wegetacji kukurydzy w RZD Grabów
 Mean air temperature (°C) and precipitation sums in the period vegetation of maais in Grabów

Rok 2001 – w pierwszej części okresu wegetacji, od wschodów do wiechowania kukurydzy układ warunków pogodowych był niekorzystny dla wzrostu i rozwoju roślin. W maju wystąpiła susza, a miesięczna suma opadów stanowiła zaledwie jedną czwartą średniej z wielolecia. Niedobór opadów wystąpił także w pierwszej dekadzie lipca, mimo iż opad w lipcu był bardzo wysoki (206,4 mm) w porównaniu ze średnią z wielolecia (84 mm). Czerwiec był chłodny. Pozostały okres wegetacji odznaczający się dużymi jak na nasze warunki opadami i wysokimi temperaturami powietrza w lipcu i sierpniu sprzyjał wegetacji kukurydzy. W sumie przebieg pogody był dość korzystny i uzyskano w tym roku dobre plony ziarna kukurydzy.

Rok 2002 – odznaczał się suchą wiosną, niedobór opadów wystąpił w kwietniu i maju. W maju opady stanowiły zaledwie 40% średniej z wielolecia. Lato było dość wilgotne; w czerwcu i sierpniu odnotowano większe opady w porównaniu ze średnią. Średnie miesięczne temperatury powietrza w okresie wegetacji były wyższe od średnich wieloletnich. Przebieg pogody w tym roku był korzystny dla wzrostu, rozwoju i plonowania kukurydzy.

Rok 2003 był bardzo suchy. Duży niedobór opadów wystąpił w okresie od maja do sierpnia, przy wyższych (w porównaniu ze średnimi) temperaturach powietrza. W czerwcu opad stanowił tylko połowę średniej wieloletniej, zaś w lipcu – zaledwie 42% średniej. W ciągu całego okresu wegetacji kukurydza wykazywała bardzo wyraźny niedobór wody. Był to rok niekorzystny dla wegetacji i plonowania kukurydzy, a uzyskane plony ziarna były bardzo niskie.

WYNIKI BADAŃ

Wartości SPAD

Stwierdzono istotne różnice w odczytach SPAD w latach. Największe wartości wskaźnika (tab. 1) odnotowano w 2001 r. W latach 2002 i 2003 zawartość chlorofilu kształtowała się na podobnym poziomie i była mniejsza średnio o 228 jednostek niż w 2001 r.

Względna zawartość chlorofilu w liściach kukurydzy była zróżnicowana w zależności od terminu pomiaru, sposobu wysiewu nawozów i dawki azotu. Średnie wartości odczytów SPAD w latach badań były większe z obiektów ze zlokalizowanym stosowaniem nawozu azotowego niż z obiektów z wysiewem rzutowym (tab. 1). Obserwowano także wzrost odczytów SPAD ze zwiększaniem dawek nawożenia azotem. Nie stwierdzono współdziałania sposobu wysiewu nawozu i dawki azotu a wartości SPAD przedstawiono jako średnie w latach dla sposobu wysiewu nawozu i poziomów nawożenia azotem.

Odczyty SPAD mogą służyć do oceny stanu zaopatrzenia roślin w azot w warunkach, gdy nie występują inne czynniki ograniczające plonowanie kukurydzy. Ponieważ w 2003 roku wystąpiła silna susza, przydatność pomiarów SPAD była niewielka.

Tabela 1

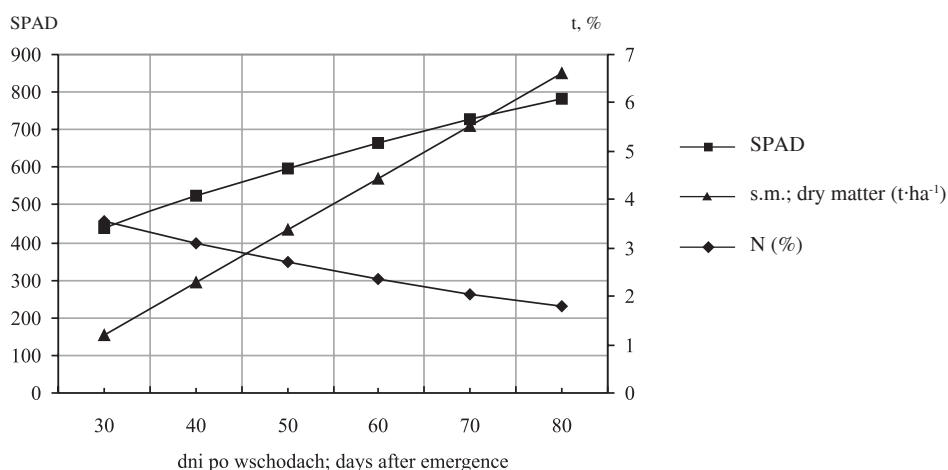
Średnie odczyty SPAD w latach w zależności od sposobu wysiewu nawozu i dawek azotu
Average values of SPAD readings in the years as affected by fertilization method and nitrogen rates

Czynnik Factor	Lata; Years		
	2001	2002	2003
Sposób nawożenia; Fertilization method			
rzutowy; broadcasting	705,2 a	477,0 a	470,9 a
zlokalizowany; placed	711,9 b	483,1 b	491,5 b
Dawka N; N rate (kg·ha ⁻¹)			
25	696,9 a	466,3 b	436,3 a
55	693,9 a	443,0 a	467,7 b
85	719,8 b	501,1 d	488,9 c
115	702,8 a	499,4 d	497,6 c
145	729,2 b	490,6 c	515,3 d
Średnio dla lat; Average for years	708,5	480,1	481,2

Liczby w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie; Numbers in columns followed by the same letters do not differ significantly

Dlatego w opracowaniu wykorzystano tylko wyniki uzyskane w latach 2001 i 2002. W pracy zamieszczono wprowadzić wartości odczytów SPAD (tab. 1) i plony ziarna (tab. 5) z 2003 roku, lecz pominięto je w dalszych obliczeniach.

Wartości SPAD w liściach kukurydzy wzrastały w miarę rozwoju roślin. Zależność pomiędzy SPAD a liczbą dni po wschodach kukurydzy dla wszystkich odczytów (z lat 2001–2002) była dobrze opisana regresją o postaci $y = -104,59 + 99,41 \cdot \sqrt{x}$ $R^2 = 88,8\%$, gdzie y – oznacza wartość SPAD, a x – liczbę dni po wschodach (rys. 2).



Rys. 2. Zmiany odczytów SPAD, plonu suchej masy i zawartości azotu w czasie wegetacji kukurydzy
Modification of SPAD readings, dry matter yield and nitrogen content in the period of maize vegetation

Największy udział w zmienności całkowitej odczytów SPAD (tab. 2) miał termin pomiaru; w latach 2001 i 2002 decydował o niej w ponad 90%, zaś w 2003 r. – w 57%. Zdecydowanie mniejszy udział w zmienności całkowitej miała dawka nawożenia azotem, a najmniejszy wpływ – sposób wysiewu nawozu azotowego.

Tabela 2

Udział (%) czynników w zmienności całkowitej odczytów SPAD kukurydzy
Share (%) of factors in total variation of SPAD readings for maize

Czynnik Factor	Lata; Years		
	2001	2002	2003
Termin pomiaru; Measurement date	90,4	94,4	57,1
Sposób nawożenia; Fertilization method	0,1	0,0	2,7
Dawka N; N rate	5,9	4,3	31,0
Błąd; Error	3,6	1,3	9,2

Plon suchej masy i zawartość azotu w suchej masie

Nie wystąpiły istotne różnice w plonach suchej masy (średnie z wszystkich terminów pomiaru) w zależności od sposobu wysiewu nawozu i poziomu nawożenia azotem. Obserwowano jednak tendencję do wzrostu średnich plonów suchej masy pod wpływem zlokalizowanego wysiewu nawozu i w warunkach zwiększonego nawożenia azotem (tab. 3). Dynamikę nagromadzania suchej masy w czasie dobrze opisuje ($R^2 = 66,8\%$) równanie regresji prostej (rys. 2), w postaci: $y = -2,038 + 0,108 \cdot x$ gdzie: y – plon s.m. ($t \cdot ha^{-1}$), x – liczba dni po wschodach kukurydzy.

Procentowa zawartość azotu w suchej masie (tab. 3) wykazywała tendencję wzrostu pod wpływem zwiększonego nawożenia azotem i przy stosowaniu zlokalizowanego wysiewu nawozu. Zawartość N% w suchej masie kukurydzy ulegała zmniejszeniu w miarę upływu czasu i przyrostu suchej masy roślin. Zależność między zawartością azotu a plonem suchej masy była najlepiej opisana równaniem funkcji wykładniczej $y = \exp(1,32 - 0,0736 \cdot x)$ $R^2 = 61,5\%$, gdzie: y – oznacza zawartość N% w suchej masie, x – plon suchej masy kukurydzy ($t \cdot ha^{-1}$). Ponieważ największy plon ziarna (w latach 2001–2002) uzyskano w obiekcie z nawożeniem $115 \text{ kg N} \cdot ha^{-1}$, przyjęto, że rośliny nawożone taką dawką były optymalnie odżywione azotem i dla tej dawki wyznaczono krzywą rozcieńczenia azotu. Znając plon suchej masy nadziemnej części kukurydzy w określonym terminie można, na podstawie równania krzywej, wyliczyć krytyczną zawartość azotu, czyli taką, jaką powinna mieć kukurydza dobrze odżywiona tym składnikiem.

Krytyczne wartości wyliczono dla trzech faz rozwojowych kukurydzy (tab. 4), dla fazy 6 liści, 10 liści i pełni kwitnienia wiech. Wyliczenia przeprowadzono z wykorzystaniem równania wyznaczonego w badaniach własnych, a także według równania Pleneta. Wyznaczone wartości krytyczne dla fazy 6 liści i 10 liści w oparciu o funk-

Tabela 3

Plon suchej masy i zawartość N w suchej masie kukurydzy w latach 2001–2002
 Dry matter yield and N content in dry matter of maize in years 2001–2002

Czynnik Factor	Plon suchej masy; Dry matter yield (t·ha ⁻¹)				Zawartość N; N content (%)			
	średnio means	SD	min.	max.	średnio means	SD	min.	max.
Sposób nawożenia Fertilization method								
S 1	2,74	2,74	0,025	9,26	2,95	0,81	1,39	4,50
S 2	3,15	3,05	0,033	10,51	3,01	0,94	1,35	5,00
N kg·ha ⁻¹								
25	2,92	2,97	0,033	9,27	2,83	0,89	1,39	4,38
55	2,58	2,54	0,033	8,47	2,86	0,83	1,35	4,38
85	3,09	3,12	0,027	10,51	3,08	0,92	1,73	5,00
115	3,15	3,10	0,025	9,17	3,09	0,86	1,80	4,98
145	2,97	2,90	0,028	9,87	3,03	0,90	1,46	4,91

S 1 – wysiew rzutowy; broadcasting

S 2 – wysiew zlokalizowany; placed

SD – odchylenie standardowe; standard deviation

Tabela 4

Wyznaczone i rzeczywiste zawartości krytyczne azotu ogólnego w kukurydzy (%)
 Calculated and real total nitrogen content in maize (%)

Metoda obliczania Calculation method	Faza rozwojowa kukurydzy Development stage of maize		
	6 liści 6-leaf stage	10 liści 10-leaf stage	kwitnienie wiech tasseling
$N_c = \exp(1,32 - 0,0736 \cdot x)$	3,67	3,28	2,65
$N_c = 3,4 \cdot x^{-0,37}$	5,47	2,74	1,92
Dane rzeczywiste; Real data	3,58	3,36	1,90

cję własną były zbliżone do rzeczywistej zawartości azotu. Natomiast wartości określone w oparciu o równanie Pleneta dla fazy 6 liści były znacznie wyższe od rzeczywistej zawartości N.

Przyrost plonu suchej masy, zawartość azotu w suchej masie kukurydzy i wartości SPAD zmieniały się w czasie (rys. 2). W okresie od fazy 6 rozwiniętych liści do fazy znamionowania (między 30 a 80 dniem po wschodach kukurydzy) wartość odczytów SPAD zwiększała się z 440 do 785 jednostek. W tym samym czasie plony suchej masy wzrosły od 1,2 do 6,6 t·ha⁻¹, a zawartość azotu ogólnego obniżyła się z 3,55 do 1,78%.

Plony ziarna

Analiza średnich plonów ziarna z lat 2001–2003 wykazała istotną interakcję badanych czynników z latami. Dlatego plony ziarna przedstawiono oddzielnie w latach (tab. 5). Nie stwierdzono współdziałania pomiędzy sposobem wysiewu nawozu i dawką azotu. Plony ziarna kukurydzy były silnie zróżnicowane w latach. W latach 2001 i 2002 uzyskano duże plony i większą efektywność nawożenia kukurydzy azotem. W 2001 r. największe plony stwierdzono w obiektach z największą dawką azotu – 145 kg N·ha⁻¹, jednak wpływ nawożenia na wielkość plonów pozostawał na granicy istotności. Nie stwierdzono istotnych różnic w plonach ziarna w zależności od sposobu stosowania nawozu. Plon ziarna w obiekcie ze zlokalizowanym wysiewem nawozu był wyższy w porównaniu z wysiewem rzutowym o 0,48 t·ha⁻¹. Z kolei w 2002 r. plony ziarna wzrastały wraz ze zwiększaniem dawki N. Największy plon otrzymano po zastosowaniu 115 N kg·ha⁻¹. Istotnie większy plon (o 0,63 t·ha⁻¹) uzyskano w obiekcie z rzutowym stosowaniem azotu. Natomiast w niekorzystnych warunkach pogodowych, w suchym i upalnym 2003 roku większy o 0,42 t·ha⁻¹ plon ziarna stwierdzono w obiekcie ze zlokalizowanym wysiewem nawozu azotowego. Nie wystąpiło istotne zróżnicowanie w plonach ziarna w zależności od zastosowanej dawki azotu, a plony kukurydzy w tym roku były bardzo małe i wahały się od 2,53 do 2,90 t·ha⁻¹. Obserwowana we wszystkich latach istotnie wyższa zawartość chlorofilu w liściach kukurydzy z obiektów ze zlokalizowanym wysiewem nawozu azotowego nie znalazła wyraźnego odzwierciedlenia w plonach ziarna.

Tabela 5

Wpływ sposobu nawożenia i dawki azotu na plon ziarna kukurydzy (t·ha⁻¹)
Effects of fertilization method and nitrogen rate on grain yield of maize (t·ha⁻¹)

Czynnik Factor	Lata; Years		
	2001	2002	2003
Sposób nawożenia; Fertilization method			
rzutowy; broadcasting	7,92	10,47	2,46
zlokalizowany; placed	8,40	9,84	2,88
NIR; LSD ($\alpha = 0,05$)	r.n.	0,362	0,314
Dawka N; N rate (kg·ha ⁻¹)			
25	7,80	9,40	2,74
55	7,82	10,17	2,56
85	8,45	10,33	2,90
115	7,98	10,97	2,63
145	8,76	9,90	2,53
NIR; LSD ($\alpha = 0,05$)	1,013	0,760	r.n.

r.n. – różnice nieistotne; differences not significant

Kalibracja testu SPAD

Kalibracji testu SPAD dokonano za pomocą wskaźnika odżywienia azotem NNI (nitrogen nutrition index). Wartości NNI oznaczono jako iloraz aktualnej i krytycznej zawartości azotu. W badaniach własnych aktualną zawartość azotu w suchej masie kukurydzy stanowiły wyniki analizy chemicznej materiału roślinnego. Natomiast krytyczną zawartość azotu wyliczono za pomocą równania Pleneta opisującego zależność pomiędzy zawartością azotu i plonem suchej masy. Wartości NNI wzrastały wraz ze zwiększaniem poziomu nawożenia do $115 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ (tab. 6). Było to wynikiem polepszania się stanu odżywienia kukurydzy azotem ze wzrostem dawki tego składnika.

Tabela 6

Średnie wartości wskaźników NNI dla kukurydzy w zależności od dawki azotu
Average values of NNI for maize depending on nitrogen rate

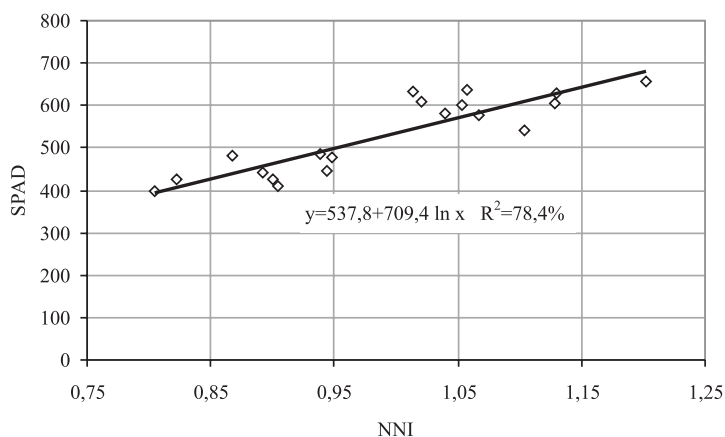
N ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Plon ziarna; Grain yield 2001–2002 ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)	NNI	SD
25	8,60	0,89	0,16
55	9,00	0,88	0,16
85	9,39	0,99	0,18
115	9,48	1,00	0,18
145	9,33	0,96	0,16
NIR; LSD ($\alpha = 0,05$)		r.n.	-

SD – odchylenie standardowe; standard deviation

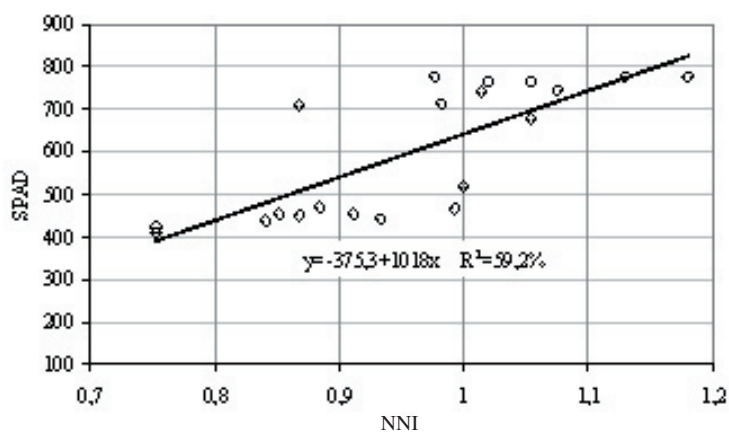
r.n. – różnice nieistotne; differences not significant

Ponieważ wartości odczytów SPAD były zróżnicowane w czasie i wyraźnie związane z fazą rozwojową roślin i terminem pomiaru, zależności pomiędzy NNI i SPAD wyznaczono dla trzech faz rozwojowych kukurydzy. W fazie 6 liści nie stwierdzono istotnej korelacji. W fazie 10 liści i pełni kwitnienia wiech wystąpiły istotne zależności regresyjne, które przedstawiono na rysunkach 3 i 4.

Z wyznaczonych równań opisujących zależność pomiędzy NNI i SPAD określono krytyczne wartości SPAD dla poszczególnych faz rozwojowych kukurydzy, przy $\text{NNI} = 1$. Zgodnie z definicją wartość NNI równa 1 oznacza prawidłowy stan odżywienia roślin azotem, $\text{NNI} < 1$ – niedożywienie azotem, a $\text{NNI} > 1$ wskazuje na nadmierne pobranie azotu przez rośliny. Tak wyznaczone wartości SPAD dla kukurydzy odmiany Costella wynosiły; w fazie 10 liści 538, zaś w fazie kwitnienia wiech 643 jednostki.



Rys. 3. Zależność pomiędzy odczytami SPAD i wartościami NNI w fazie 10 liści kukurydzy
Relation between SPAD and NNI in 10-leaf stage of maize



Rys. 4. Zależność pomiędzy odczytami SPAD i wartościami NNI w fazie kwitnienia wiech kukurydzy
Relation between SPAD and NNI in tasseling stage of maize

DYSKUSJA

Na zawartość chlorofilu istotny wpływ wywierają takie czynniki jak suma opadów i warunki termiczne oraz natężenie światła, a także zasobność gleby w składniki pokarmowe, przede wszystkim w azot i siarkę, a w dalszej kolejności w magnez i potas (10). Zawartość chlorofilu jest cechą odmianową, na co wskazują w swoich pracach Castillon (3), Piekielek i in. (11), Schepers i in. (13), Sutherland i Pontius (14) oraz Waskom i in. (15). Zróżnicowanie wielko-

ści wskaźnika zieloności liści w latach – mniejsze ilości chlorofilu u tej samej odmiany w warunkach dużego uwilgotnienia i wysokich temperatur w okresie letnim (2002 r.) i przy głębokim niedoborze opadów i wysokich temperaturach (2003 r.) – świadczy, iż genetycznie uwarunkowana zawartość chlorofilu jest modyfikowana przez warunki środowiska. W piśmiennictwie znany jest wpływ zaopatrzenia roślin w wodę na wielkość odczytów SPAD. W badaniach podejmowano też próby eliminacji wpływu stresu wodnego na wartości SPAD. Zdaniem Wollring i in. (cyt. za 12) chlorofilometr SPAD-502 nie powinien być używany w warunkach stresu wodnego i niedoborów siarki. Z kolei Barraclough i Kyte (cyt. za 12) oceniając wpływ stresu wodnego na odczyty SPAD w pszenicy ozimej stwierdzili, że uniwersalną kalibrację aparatu SPAD-502, niezależnie od zaopatrzenia roślin w wodę, można przeprowadzić wyrażając ilość azotu w przeliczeniu na powierzchnię liścia lub jego świeżą masę.

Wraz z upływem czasu wzrastał plon suchej masy i zmniejszała się procentowa zawartość N w suchej masie. Od fazy 6 rozwiniętych liści do fazy znamionowania (między 30 a 80 dniem wegetacji kukurydzy) plony suchej masy wzrosły od 1,2 do 6,6 t·ha⁻¹, a zawartość azotu ogólnego obniżyła się z 3,55 do 1,78%.

Greenwood i in. (5) wskazują, że optymalna zawartość azotu w roślinie zmniejsza się wraz ze wzrostem masy rośliny. Relacja między zawartością azotu i plonem suchej masy roślin określona przez Greenwooda i in. (6) dla ziemniaka, a sprawdzona dla zbóż i roślin warzywnych ma charakter uniwersalnego „prawa biologicznego”, którym można się posługiwać przy ocenie stanu odżywienia roślin azotem.

Z kolei Pleneta (cyt. za 8) uważa, że krytyczną zawartość azotu dla kukurydzy uprawianej w strefie umiarkowanej można wyliczyć z równania $N\% = 3,4 (DM)^{-0,37}$. Równanie to jest odpowiednie także dla sorga (3, 8), które podobnie jak kukurydza jest rośliną typu C₄. Kruczek (7) podaje, że zależność między zawartością N i plonem suchej masy może być dobrze opisana także przez równanie regresji – liniowej, logarytmicznej i wykładniczej (w postaci zbliżonej do propozycji Greenwooda), a nieznacznie gorzej – przez równanie funkcji potęgowej.

Krytyczne wartości wyliczono dla fazy 6 liści, 10 liści i pełni kwitnienia wiech kukurydzy. Wyliczenia przeprowadzono z wykorzystaniem równania wyznaczonego w badaniach własnych, a także przy zastosowaniu równania Pleneta. Wyznaczone wartości krytyczne, dla fazy 6 liści i 10 liści w oparciu o funkcję własną były zbliżone do rzeczywistej zawartości azotu. Natomiast wartości określone w oparciu o równanie Pleneta dla fazy 6 liści były znacznie wyższe od rzeczywistej zawartości N. Ta różnica wynika stąd, że równanie wyznaczone przez Pleneta (cyt. za 8) jest odpowiednie dla kukurydzy dającej plony suchej masy od 1 do 22 t·ha⁻¹. Natomiast w fazie 6 liści plony suchej masy kukurydzy były mniejsze niż 1 t·ha⁻¹.

Kalibracji testu SPAD dokonano za pomocą wskaźnika odżywienia azotem NNI (nitrogen nutrition index). W badaniach indeksu stanu odżywienia roślin azotem NNI stosowano do kalibracji testu SPAD u roślin zbożowych i kukurydzy (3, 9).

W fazie 6 liści nie stwierdzono istotnej korelacji pomiędzy SPAD i NNI. Istotna zależność regresyjna wystąpiła w fazie 10 liści i kwitnienia wiech. Uzyskane wyniki są zgodne z danymi z innych prac (3, 9), z których wynika, że we wczesnych fazach rozwojowych kukurydzy nie ma korelacji lub występuje słaba zależność między NNI a odczytami SPAD.

C a s t i l l o n (3) stwierdził, że w fazie 12 liści wartości SPAD i NNI były dobrze skorelowane ze sobą, ale słabo objaśniały zmienność plonu ziarna. Natomiast w fazie 15 liści i znamionowania odczyty chlorofilometru i NNI wykazywały dobrą korelację ze sobą i z indeksem produkcji ziarna kukurydzy. Również W a s k o m i in. (15) podają, że wskaźnik zawartości chlorofilu w stadium 6 liści nie był skorelowany z plonem ziarna kukurydzy, zaś za właściwy czas wykonywania pomiarów uważają fazę 10 liści i wiechowania. Także B l a c k m e r i S c h e p e r s (1) wskazują, że niedobory azotu ogólnego określane wartościami SPAD w późniejszych fazach rozwojowych były silnie skorelowane z plonem ziarna kukurydzy niż w stadium 6 liści.

WNIOSKI

1. Największy wpływ na zróżnicowanie odczytów SPAD w liściach kukurydzy miał termin pomiaru (liczba dni po wschodach kukurydzy). Zdecydowanie słabszy wpływ miał poziom nawożenia azotem, a najslabszy – sposób wysiewu nawozów azotowych.

2. Zależność pomiędzy zawartością azotu ogólnego i plonem suchej masy kukurydzy (w obiekcie $115 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$) opisana była równaniem funkcji wykładniczej w postaci: $N\% = \exp(1,32 - 0,0736 \cdot x)$; $R^2 = 61,5\%$.

3. Test SPAD jest przydatny do wyznaczenia optymalnego zaopatrzenia kukurydzy w azot w stadium 10 liści i kwitnienia wiech. W fazie 6 liści nie stwierdzono istotnej korelacji pomiędzy NNI i SPAD. Krytyczna wartość SPAD dla odmiany Costella w fazie 10 liści wynosiła 538, zaś w pełni kwitnienia wiech – 643 jednostki.

LITERATURA

1. B l a c k m e r T. M., S c h e p e r s J. S.: Use of chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertigation for corn. *J. Prod. Agric.*, 1995, 8: 56-60.
2. C a s t e l l i F., C o n t i l l o R., M i c e l i F.: Non-destructive determination of leaf chlorophyll content in four crop species. *J. Agron. Crop Sci.*, 1996, 177: 275-283.
3. C a s t i l l o n P.: Using a chlorophyll meter to assess the nitrogen nutrition status of maize. *Short communications Fifth Congress ESA*, 1998, II: 334-335.
4. F o t y m a E., B e z d u s z n i a k D.: Wykorzystanie testu NNI i testu SPAD do oceny stanu odżywienia zbóż azotem. *Nawozy i Nawożenie*, 2000, 4(5): 78-90.
5. G r e e n w o o d D., L e m a i r e G., G o s s e G., C r u z P., D r a y c o t t A., N e e t e s o n J. J.: Decline in percentage N of C_3 and C_4 crops with increasing plant mass. *Ann. Bot.*, 1990, 66: 425-436.

6. Greenwood D. J., Neeteson J. J., Draycott A.: Quantitative relationship for the dependence of growth rate of arable crops on their nitrogen content, dry weight and aerial environment. *Plant Soil*, 1986, 91: 281-301.
7. Kruczek A.: Ilościowe zależności pomiędzy produkcją suchej masy kukurydzy a zawartością azotu ogólnego. *Fragm. Agron.*, 1996, 4(52): 92-99.
8. Lemaire G., Charrier X., Hebert Y.: Nitrogen uptake capacities of maize and sorghum crops in different nitrogen and water supply conditions. *Agronomie*, 1996, 16: 231-246.
9. Machul M.: Zastosowanie testu chlorofilowego (SPAD) do oceny stanu odżywienia kukurydzy azotem. *Nawozy i Nawożenie*, 2002, 2(11): 67-88.
10. Neukirchen D., Lamel J.: The chlorophyll content as an indicator for nutrient and quality management. *Nawozy i Nawożenie*, 2002, 2(11): 89-105.
11. Piekielek W. P., Fox R. H.: Use of a chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize. *Agron. J.*, 1992, 84: 59-65.
12. Samborski S., Rozbicki J.: Przegląd badań nad wykorzystaniem chlorofilometru SPAD-502 do oceny stanu odżywienia roślin azotem. *Nawozy i Nawożenie*, 2002, 2(11): 123-136.
13. Schepers J. S., Francis D. D., Vigil M., Below F. E.: Comparison of corn nitrogen concentration and chlorophyll meter readings. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 1992, 23(17-20): 2173-2187.
14. Suderman H. D., Pontius J. S.: Variability in leaf chlorophyll concentration among fully-fertilized corn hybrids. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 1997, 28: 1793-1803.
15. Waskom R. M., Westfall D. G., Spellman D. E., Soltanpour P. N.: Monitoring nitrogen status of corn with a portable chlorophyll meter. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 1996, 27(3/4): 545-560.

SUITABILITY OF RELATIVE CHLOROPHYLL CONTENT INDEX TO ASSESS MAIZE NITROGEN NUTRITION STATUS

Summary

The results of the investigation on the use of SPAD test for assessment of maize nitrogen nutrition status are presented in the paper. Two systems of nitrogen fertilizer application: broadcasting and localized placement and five nitrogen fertilization levels – 25, 55, 85, 115 and 145 kg·ha⁻¹ were tested. SPAD readings, dry matter yield and nitrogen content in dry matter of maize were evaluated in 7–10 day intervals from 6th expanded leaf to tassel emergence. Nitrogen critical content in dry matter and nitrogen nutrition index (NNI) were calculated. The SPAD test was calibrated against the NNI for maize variety Costella.

Praca wpłynęła do Redakcji 11 I 2005 r.