

MARIAN MACHUL

Zakład Uprawy Roślin Pastewnych  
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Puławy

## ZASTOSOWANIE TESTU SPAD DO USTALENIA UZUPEŁNIAJĄCEJ DAWKI AZOTU DLA KUKURYDZY

Use of the SPAD test to determine a supplementary nitrogen rate for maize

**ABSTRACT:** Przedstawiono wyniki pięcioletnich badań nad przydatnością testu SPAD do określenia pogłównej dawki azotu dla kukurydzy. Stwierdzono zróżnicowanie odczytów SPAD w zależności od terminu pomiaru, nawożenia azotem i odmiany. Wskaźnik względnej zawartości chlorofilu wzrastał wraz z przebiegiem wegetacji i zwiększaniem dawki azotu. Uzyskano różne wartości SPAD w latach badań i miejscowościach co uniemożliwia dokonanie uniwersalnej kalibracji testu. W celu eliminacji zmienności odczytów dokonano standaryzacji wartości SPAD w stosunku do obiektu kontrolnego (N 0). Standaryzacja eliminowała zmienność odmianową, nie ograniczała zmienności dla lat i miejscowości oraz fazy rozwojowej kukurydzy. Względne wartości SPAD mogą być przydatne dla warunków, w jakich zostały wyznaczone. Krytyczne wartości standaryzowanego SPAD wyznaczono dla względnego plonu ziarna 0,9. Określono wzrost względnej wartości SPAD pod wpływem zwiększenia nawożenia o  $10 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ , to umożliwia wyliczenie dawki azotu potrzebnej do zastosowania w celu uzyskania optymalnego stanu odżywienia roślin.

słowa kluczowe: key words:

kukurydza – maize, odmiany – varieties, nawożenie azotem – nitrogen fertilization, test SPAD – SPAD test

### WSTĘP

Diagnozowanie stanu odżywienia roślin azotem i wyznaczanie optymalnych dawek tego składnika ma istotne znaczenie ze względu na aspekt ekonomiczny produkcji i konieczność ochrony środowiska rolniczego przed zanieczyszczeniem azotem. W praktyce rolniczej do określenia potrzeb roślin w stosunku do azotu coraz częściej wykorzystuje się szybkie i niedestrukcyjne metody. Jedną z nich jest test oparty na istnieniu ściślej zależności pomiędzy zawartością azotu a ilością chlorofilu w liściach. Metoda ta opiera się na określeniu zieloności liści za pomocą aparatu optycznego znanego w Stanach Zjednoczonych jako SPAD-502 (Soil and Plant Analysis Deve-

lopment) zaś w Europie jako Hydro N-Tester. Przyrząd ten posiada dwie fotodiody, umieszczone w górnym ramieniu głowicy, emitujące światło o dwóch długościach fali, 650 i 940 nm. Pochłanianie światła przy 650 nm jest związane z chlorofilem, zaś absorpcja światła przy 940 nm wynika głównie z obecności elementów strukturalnych w liściu (światło jest zatrzymywane przez tkankę liścia). Iloraz absorpcji światła przy dwóch długościach fal jest wyrażany w jednostkach niemianowanych nazywanych wartościami lub odczytami SPAD. Aparat nie mierzy bezpośrednio zawartości chlorofilu w liściach, lecz określa wskaźnik zieloności liścia, który pozostaje w ściślejszej korelacji ze stanem odżywienia roślin azotem.

Liczne prace (1, 5, 8, 10-14) wskazują, że chlorofilometr SPAD-502 znalazł dotychczas zastosowanie w monitorowaniu stanu odżywienia azotem wielu gatunków roślin: kukurydzy, ryżu, zbóż ozimych i jarych, soi, sorga, bawełny, ziemniaka, pomidora, tytoniu, jabłoni, winorośli, orzeszków ziemnych i pieprzu. Dość istotnym zagadnieniem jest nie tylko określenie stanu odżywienia roślin azotem, ale i ustalenie wielkości uzupełniającej dawki azotu dla kukurydzy. S i n g h i in. (14) stwierdzili, że formułowanie zaleceń nawożenia N dla ryżu na podstawie wskazań chlorofilometru SPAD-502 zmniejszyło zużycie tego składnika o 12,5–25% bez zniżki plonu. W o l l r i n g i in. (17) podają, że zalecenia nawożenia zbóż azotem oparte na wykorzystaniu chlorofilometru zostały wprowadzone w Niemczech, Francji, Czechach, Szwecji, Szwajcarii, Wielkiej Brytanii, a także przez IUNG w Polsce.

Celem pracy było określenie wartości SPAD dla wybranych odmian kukurydzy w warunkach zróżnicowanego nawożenia azotem oraz wykonanie kalibracji testu SPAD w stosunku do względnego plonu ziarna kukurydzy.

## MATERIAŁ I METODY

Badania polowe z kukurydzą przeprowadzono w latach 1999–2003 w Stacji Doświadczalnej IUNG Baborówko (woj. wielkopolskie) i Rolniczym Zakładzie Doświadczalnym IUNG Grabów (woj. mazowieckie). W SD Baborówko doświadczenie było zlokalizowane na glebie płowej o składzie piasku gliniastego mocnego, zaliczonej do kompleksu żyniego dobrego, a w RZD Grabów na glebie płowej wytworzonej z gliny lekkiej, zaliczonej do kompleksu żyniego bardzo dobrego. Były to doświadczenia statyczne prowadzone w czteropolowym zmianowaniu: rzepak ozimy, pszenica ozima + poplon, kukurydza na ziarno i pszenica jara. Obiekty nawozowe utrzymywano w niezmienionym układzie (w tym samym miejscu) od wielu lat. W badaniach uwzględniono sześć poziomów nawożenia azotem: 0, 40, 80, 120, 160 i 200 kg N·ha<sup>-1</sup> oraz pięć odmian kukurydzy. W I serii (1999–2001) były to odmiany – Janna, Dragon, Mieszko, LG 2244 i Costella oraz w II serii (2002–2003) – Bzura, Matilda, Grom, Costella i Anjou 258. Doświadczenia zakładano metodą równoważnych podbloków, w dwóch powtórzeniach. Powierzchnia poletka do zbioru wynosiła 20,25 m<sup>2</sup>. Siew kukurydzy w zagęszczeniu 80 tys. ziarn·ha<sup>-1</sup> wykonywano w końcu kwietnia lub na początku maja punktowym siewnikiem pneumatycznym.

W czasie wegetacji kukurydzy, począwszy od fazy 6 wykształconych liści do stadium zasychania znamion, w odstępach 10-dniowych określano wartości SPAD za pomocą aparatu optycznego Hydro N-Tester. Pomiary wykonano na 30 roślinach z każdego poletka, na najmłodszym rozwiniętym liściu, w odległości 1,5 cm od brzegu w środkowej części liścia.

Z uwagi na dużą zmienność bezwzględnych odczytów SPAD dokonano ich standaryzacji w stosunku do odczytu w obiekcie kontrolnym, bez nawożenia azotem. Wartości standaryzowane stanowią ilorazy odczytów z obiektów nawożonych i odczytu z obiektu porównawczego.

W czasie zbioru określano plon ziarna kukurydzy. Plony względne obliczono w stosunku do plonów maksymalnych. Jako względny plon ziarna z danego obiektu nawozowego przyjęto iloraz plonu z tego obiektu i największego plonu w obrębie badanych dawek azotu.

Uzyskane wyniki opracowano statystycznie z zastosowaniem analizy wariancji i rachunku regresji za pomocą programu Statgraphics Plus 4,1.

## WYNIKI

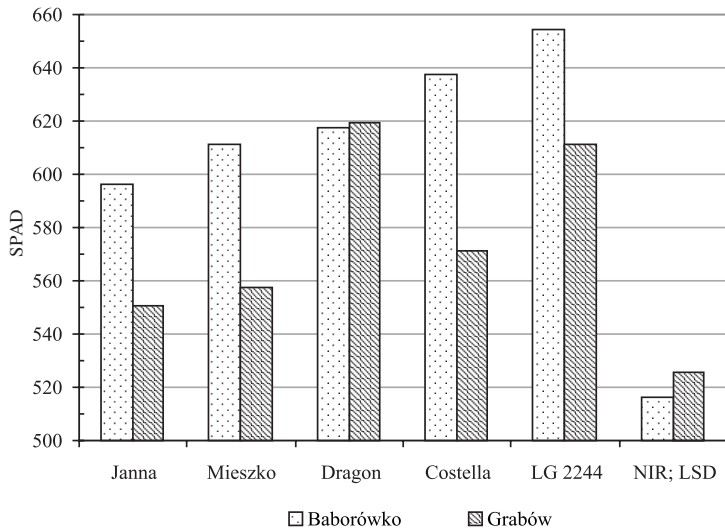
### Zmienność odczytów SPAD

Względna zawartość chlorofilu w liściach kukurydzy była istotnie zróżnicowana w zależności od odmiany, nawożenia azotem i terminu pomiaru. Nie stwierdzono współdziałania odmian z dawkami azotu, wartości SPAD przedstawiono jako średnie dla odmian i dawek azotu w dwóch miejscowościach.

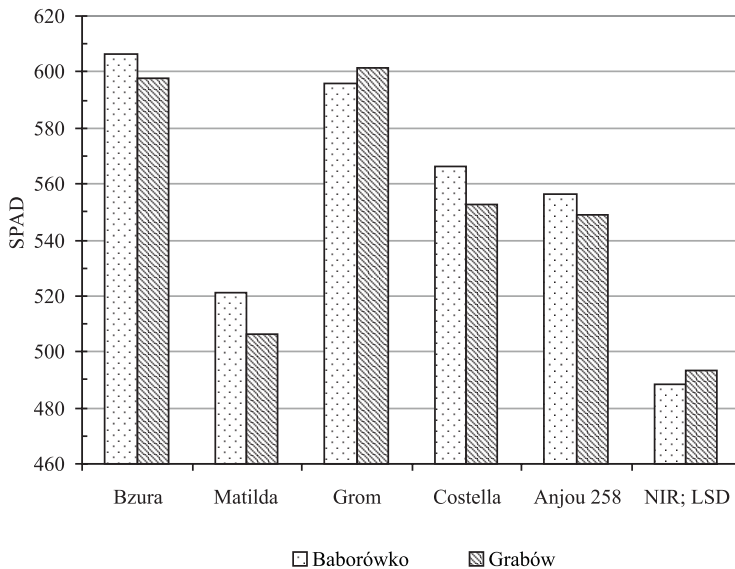
W I serii badań w SD Baborówko najwyższymi wartościami SPAD odznaczały się odmiany LG 2244 i Costella, a najniższym wskaźnikiem zieloności liści charakteryzowały się odmiany Janna i Mieszko (rys. 1). W RZD Grabów największe odczyty SPAD miały odmiany Dragon i LG 2244, zaś istotnie mniejsze – odmiany Janna, Mieszko i Costella.

W II serii badań (rys. 2) w obu miejscowościach najwyższe wartości SPAD stwierdzono u odmian Bzura i Grom, zaś najniższe – u odmiany Matilda. Pośrednim co do wielkości wskaźnikiem zieloności liścia charakteryzowały się odmiany Anjou 258 i Costella. Układ odmian pod względem wielkości odczytów SPAD w Baborówku i Grabowie był bardzo podobny.

Wraz ze wzrostem nawożenia kukurydzy azotem zwiększały się odczyty SPAD (tab. 1). W I serii badań wskaźnik zawartości chlorofilu w SD Baborówko istotnie zwiększał się ze wzrostem dawki N do 120 kg, zaś w RZD Grabów tylko do 80 kg·ha<sup>-1</sup>. Natomiast w II serii, w obu miejscowościach, wartości SPAD wzrastały ze zwiększaniem dawki N do 80 kg·ha<sup>-1</sup>. Przy dalszym zwiększaniu poziomu nawożenia azotem do 200 N kg·ha<sup>-1</sup> utrzymywała się tendencja wzrostu wartości SPAD. Największe przyrosty wartości SPAD przy zwiększaniu dawki azotu wystąpiły między dawkami 40



Rys. 1. Średnie odczyty SPAD odmian kukurydzy (1999–2001)  
Average SPAD readings for maize varieties (1999–2001)



Rys. 2. Średnie wartości odczytów SPAD odmian kukurydzy (2002–2003)  
Average SPAD readings for maize varieties (2002–2003)

a 0 kg N·ha<sup>-1</sup> (tab. 1). W miarę wzrostu dawek nawożenia azotem różnice te zmniejszały się i obniżał się współczynnik zmienności, co świadczy o postępującej stabilizacji odczytów SPAD.

Tabela 1

Średnie odczyty SPAD w miejscowościach w zależności od dawek azotu  
Average SPAD readings in locations as affected by nitrogen rates

Zakład Doświadczalny Experimental Sta- tion	Dawka N N rate (kg·ha <sup>-1</sup> )	I seria			II seria		
		średnia average	CV (%)	przyrost increase	średnia average	CV (%)	przyrost increase
Baborówko	0	511,4 a	8,8	-	487,9 a	11,6	-
	40	590,3 b	7,2	78,9	533,7 b	10,1	45,8
	80	637,3 c	4,8	47,0	577,8 c	9,5	44,1
	120	657,0 cd	4,7	19,7	584,1 c	6,7	6,3
	160	667,9 d	4,9	10,9	610,3 c	6,6	26,2
	200	676,2 d	4,8	8,3	621,0 c	7,4	10,7
Grabów	0	407,8 a	14,9	-	481,0 a	10,4	-
	40	524,7 b	9,2	116,9	538,2 b	7,1	57,2
	80	616,6 c	9,4	91,9	575,4 bc	9,6	37,2
	120	645,4 c	9,2	28,8	586,4 bc	10,6	11,0
	160	646,6 c	7,5	1,2	589,6 bc	10,5	3,2
	200	650,7 c	8,8	4,1	597,6 c	10,9	8,0

CV – współczynnik zmienności; variation coefficient

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

Ponadto dla tych samych odmian uzyskano różne wartości odczytów SPAD w latach i miejscowościach (tab. 2). W I serii badań, w latach 1999 i 2000, wyższe wartości odczytów SPAD odnotowano w Baborówku niż w Grabowie średnio o 66

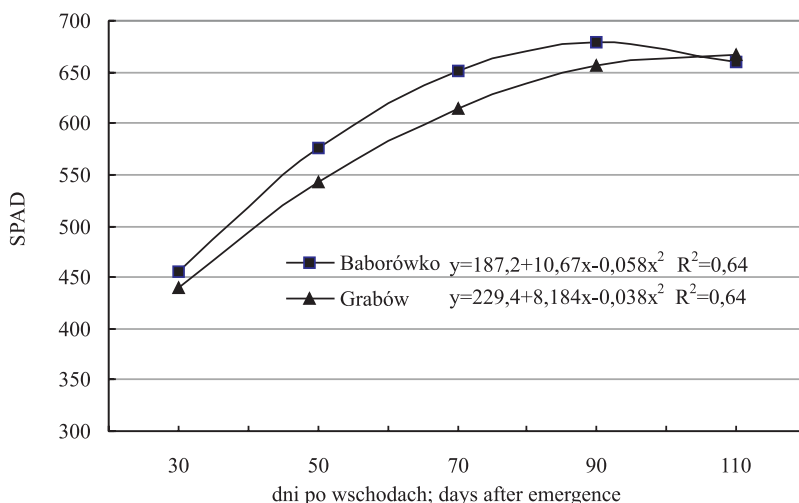
Tabela 2

Średnie wartości odczytów SPAD kukurydzy w latach i miejscowościach  
Average values of SPAD readings for maize in years and locations

Seria Series	Lata Years	Zakład Doświadczalny; Experimental Station	
		Baborówko	Grabów
I	1999	650	570
	2000	600	548
	2001	620	629
II	2002	600	586
	2003	538	537

jednostek SPAD. Z kolei w 2001 roku względna zawartość chlorofilu w liściach kukurydzy w Baborówku i Grabowie kształtowała się na podobnym poziomie (620 i 629). W II serii doświadczeń, w 2002 roku większe wartości SPAD notowano także w Baborówku. Natomiast w 2003 roku w obu miejscowościach stwierdzono podobną względną zawartość chlorofilu.

Odczyty SPAD były istotnie zróżnicowane w zależności od terminu pomiaru (fazy rozwojowej roślin). Wraz z upływem czasu i rozwojem roślin wzrastała względna zawartość chlorofilu. W obu miejscowościach dobrze tę zależność opisywały równania regresji wielomianowej 2<sup>o</sup> (rys. 3).



Rys. 3. Zależność między odczytami SPAD i liczbą dni po wschodach kukurydzy  
Relation between SPAD readings and number of days after emergence of maize

Największy udział w zmienności całkowitej odczytów SPAD miały nawożenie azotem i termin pomiaru (tab. 3), jednak udział tych czynników był różny w latach i miejscowościach. W obu punktach doświadczalnych najmniejszy udział w zmienności odczytów SPAD miała odmiana. W I serii badań udział nawożenia azotem w Baborówku, w latach 1999 i 2000 był największy i wynosił ponad 60%, zaś największy udział terminu pomiaru (w zmienności całkowitej) stwierdzono w 2001 roku i wynosił 65,3%. Natomiast w RZD Grabów w I serii badań we wszystkich latach największy wpływ na zróżnicowanie wartości wskaźnika zieloności liści miało nawożenie azotem i udział ten wynosił od 55,2 do 96%. Z kolei w II serii, przy zmienionym zestawie odmian, termin pomiaru i nawożenie N miały bardziej wyrównany wpływ na zmienność odczytów SPAD. Jedynie w Grabowie w 2003 roku, w warunkach sil-

Tabela 3

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

Czynnik Factor	I seria			II seria	
	1999	2000	2001	2002	2003
SD Baborówko					
Termin pomiaru; Measurement date	31,0	35,3	65,3	51,5	37,4
Odmiana; Variety	7,2	0,0	0,9	10,2	19,6
Nawożenie N; N fertilization	61,8	64,7	33,8	38,3	43,0
RZD Grabów					
Termin pomiaru; Measurement date	4,0	17,4	44,0	49,0	60,3
Odmiana; Variety	0,0	5,9	0,8	0,0	33,5
Nawożenie N; N fertilization	96,0	76,7	55,2	51,0	6,2

nej suszy, udział nawożenia był niewielki – 6,2%, a wpływ terminu pomiaru wysoki – 60,3%, zaś udział odmiany był wyraźny i wynosił 33,5%.

#### STANDARYZACJA WARTOŚCI SPAD

Fakt uzyskiwania różnych wartości SPAD dla tych samych odmian i tej samej fazy rozwojowej rośliny w poszczególnych miejscowościach stanowi istotne utrudnienie w zastosowaniu testu SPAD i wymusza wykonanie standaryzacji odczytów oraz podawania ich w wartościach względnych.

Standaryzacji SPAD dokonano w stosunku do obiektu kontrolnego – bez nawożenia N. Nie stwierdzono istotnego zróżnicowania odmian we względnych odczytach SPAD (tab. 4) co jest zrozumiałe, gdyż standaryzacji dokonano w stosunku do obiektu N-0, a współdziałanie odmian z dawkami nawozów było nieistotne. Standaryzacja pozwoliła na eliminację zmienności odmianowej. Nie ograniczyła ona zmienności wskaźnika SPAD w latach i miejscowościach. Stwierdzono istotne zróżnicowa-

Tabela 4

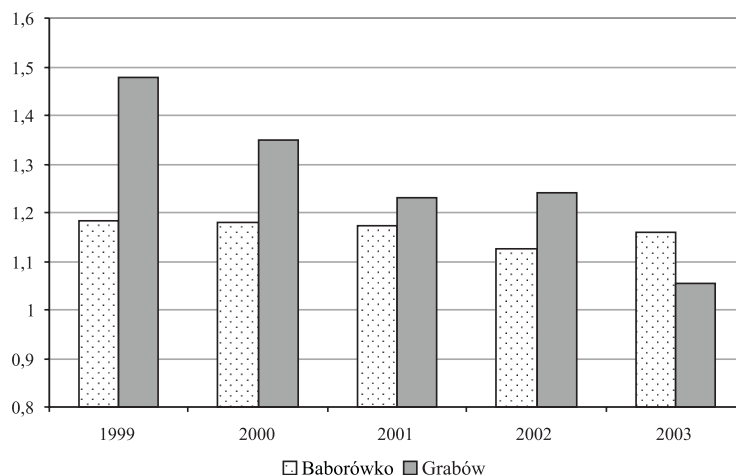
Średnie wartości SPADstd odmian kukurydzy w dwóch miejscowościach  
Average values of SPADstd for maize variety at two locations

Seria; Series I (1999–2001)			Seria; Series II (2002–2003)		
Odmiana; Variety	Baborówko	Grabów	Odmiana; Variety	Baborówko	Grabów
Janna	1,18	1,34	Bzura	1,12	1,17
Mieszko	1,16	1,33	Matilda	1,16	1,14
Dragon	1,19	1,33	Grom	1,15	1,14
Costella	1,17	1,37	Costella	1,13	1,14
LG 2244	1,19	1,40	Anjou 258	1,16	1,16
NIR; LSD ( $\alpha = 0,05$ )	r.n.	r.n.	NIR; LSD ( $\alpha = 0,05$ )	r.n.	r.n.

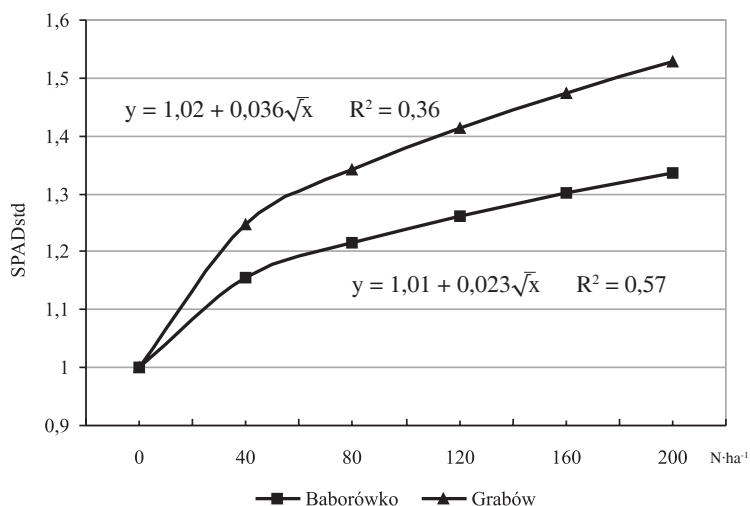
r.n. – różnice nieistotne; not significant differences

nie w układzie wartości SPADstd w miejscowościach (rys. 4). W Baborówku standaryzowane odczyty SPAD w kolejnych latach były podobne, natomiast w Grabowie – zróżnicowane.

Wartości SPADstd wzrastały istotnie ze zwiększeniem dawki azotu. Zależność między względnymi wartościami SPAD a dawkami azotu była opisana równaniem regresji pierwiastkowej w postaci  $y = a + b\sqrt{x}$  (rys. 5). W przedziale dawek 50–100  $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  wykresem tej zależności jest linia prosta, a zwiększenie nawożenia o 10  $\text{kg}$



Rys. 4. Średnie standaryzowane wartości SPAD kukurydzy w latach i miejscowościach  
Average standardized values of SPAD for maize in years and locations



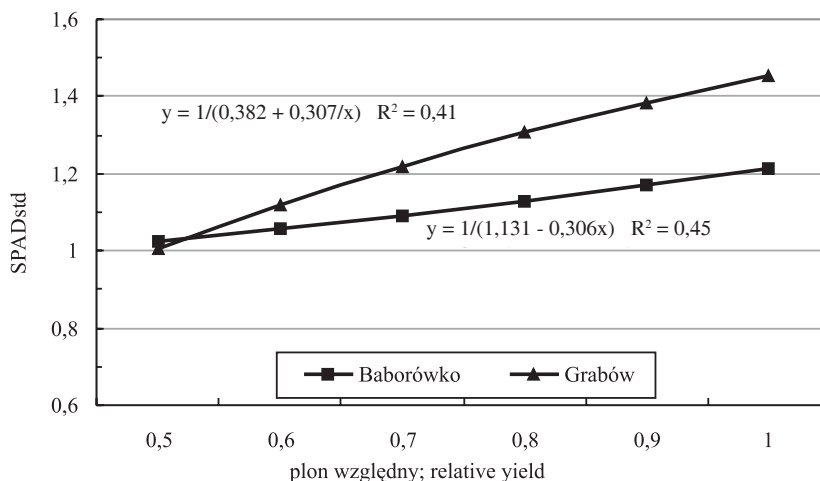
Rys. 5. Zależność pomiędzy wartościami SPADstd i dawkami azotu  
Relation between SPADstd values and nitrogen rates



$N \cdot ha^{-1}$  powoduje wzrost SPADstd o 0,013 w Baborówku, zaś o 0,021 jednostki w Grabowie.

### KALIBRACJA TESTU SPAD

Wyznaczone wartości liczbowe mogą mieć zastosowanie do ustalenia dawek nawozów azotowych do pogłównego zastosowania w kukurydzy. Konieczne jest jednak wykonanie kalibracji testu i wyznaczenie krytycznych wartości SPADstd. Kalibracji testu dla standaryzowanych wartości SPAD dokonano w stosunku do względnych plonów ziarna kukurydzy. Zależność między SPADstd i względnymi plonami ziarna była w Baborówku opisana równaniem funkcji odwrotności  $y$  w postaci  $y = 1/(a+b \cdot x)$ , zaś w Grabowie modelem funkcji podwójnej odwrotności  $y = 1/(a+b/x)$ ; (rys. 6).



Rys. 6. Zależność pomiędzy standaryzowanymi wartościami SPAD i względnym plonem ziarna kukurydzy  
Relation between standardized values of SPAD and relative grain yield of maize

Z równań regresji opisujących zależność między SPADstd i względnym plonem ziarna wyznaczono dla dwóch faz rozwojowych kukurydzy krytyczne wartości SPADstd (tab. 5), dla plonu względnego równego 0,9 – jest to wielkość powszechnie przyjmowana przy kalibracji testów roślinnych. Znając krytyczne wartości SPADstd i przyrost tego wskaźnika pod wpływem nawożenia azotem można wyliczyć dawkę N potrzebną do zastosowania w celu uzyskania wymaganej wartości SPADstd.

Tabela 5

Współczynniki równań regresji dla zależności pomiędzy wartościami SPADstd i względnym plonem ziarna  
Coefficients of regression equation for relationship between values of SPADstd and relative grain yield of maize

Faza rozwojowa kukurydzy Development stage of maize	Współczynniki równania Equation coefficients		R <sup>2</sup>	SPADstd optymalny optimal SPADstd
	a	b		
SD Baborówko $y = 1/(a+bx)$				
10 liści; 10-leaf stage	1,208	-0,373	0,58	1,15
Pojawianie się znamion; Silking	1,343	-0,641	0,70	1,30
RZD Grabów $y = 1/(a+b/x)$				
10 liści; 10-leaf stage	0,320	0,338	0,59	1,44
Pojawianie się znamion; Silking	0,122	0,438	0,76	1,64

## DYSKUSJA

Badane odmiany kukurydzy wykazywały zróżnicowanie względnej zawartości chlorofilu, gdyż, jak wskazują liczne prace (2, 7, 8, 12, 15, 16), zawartość ta jest cechą odmianową u kukurydzy, uwarunkowaną genetycznie. Jednak dla tych samych odmian uzyskano różne wartości odczytów SPAD w latach i miejscowościach. W 1999, 2000 i 2002 roku wyższe wartości odczytów SPAD odnotowano w Baborówku niż w Grabowie. Z kolei w 2001 i 2003 roku w obu miejscowościach stwierdzono podobną zawartość chlorofilu. Prawdopodobnie różnice te wynikały z odmiennego przebiegu warunków pogodowych w latach i miejscowościach oraz różnej zawartości składników mineralnych w glebie.

Również inne prace (2, 11, 12, 16) wskazują na występowanie różnic w wielkości odczytów SPAD między miejscowościami. P i e k i e l e k i n. (12) podają, że odczyty SPAD u kukurydzy w zależności od lokalizacji doświadczeń i liścia wybranego do pomiarów wahały się od 11,5 do 59,6 jednostek. W badaniach W a s k o m i n. (16) przeprowadzonych w dwóch miejscowościach u dziesięciu odmian kukurydzy w stadium sześciu liści i na tych samych poziomach nawożenia azotem stwierdzono różną zawartość chlorofilu zależnie od punktu doświadczalnego.

Zmienność wskaźnika SPAD u tych samych odmian w latach i miejscowościach świadczy, iż genetycznie uwarunkowana zawartość chlorofilu (odczyty SPAD) jest modyfikowana przez warunki środowiska. Istotny wpływ na względną zawartość chlorofilu mają opady, warunki termiczne i natężenie światła. Zawartość chlorofilu jest także uzależniona od stanu zaopatrzenia roślin w składniki pokarmowe, przede wszystkim w azot i siarkę, a w dalszej kolejności w magnez i potas (9). Według Bar-

beri i in. (cyt. za 2) różnice w odczytach SPAD między miejscowościami są związane z odmiennymi warunkami wzrostu i uprawy kukurydzy, wpływającymi na grubość i strukturę liści, a w konsekwencji na absorpcję światła. Natomiast Monje i Bugbee (cyt. za 13) podają, że absorbancja jest nie tylko zależna od ilości barwnika, ale również od ugięcia światła wewnątrz mezofilu, odbicia światła na powierzchni liścia i przestrzennego rozmieszczenia chlorofilu w liściu.

Pod wpływem wzrostu nawożenia azotem zwiększały się odczyty SPAD w liściach kukurydzy. Największe przyrosty SPAD wystąpiły przy najniższym poziomie nawożenia azotem (0–40 kg N·ha<sup>-1</sup>), w miarę wzrostu poziomu nawożenia różnice wartości SPAD zmniejszały się. Wzrost odczytów SPAD u kukurydzy pod wpływem zwiększonego nawożenia azotem i zmniejszanie się różnic odczytów przy stosowaniu wyższych dawek azotu wykazali także C o s t a i in. (3) oraz M a c h u l (7, 8). Fakt malejącej zmienności odczytów SPAD u zbóż wraz z poprawą stanu odżywienia roślin azotem stwierdzili F o t y m a i B e z d u s z n i a k (4). Uzyskane wyniki korespondują z rezultatami otrzymanymi przez Dwyera i in. (cyt. za 13), którzy wykazali, że czułość chlorofilometru SPAD-502 obniża się wraz ze wzrostem ilości azotu w liściu.

Na fakt zróżnicowania odmian kukurydzy pod względem wartości SPAD i jego następstwa zwracają uwagę autorzy wielu prac (2, 11, 15). P i e k i e l e k i in. (11) oraz S u n d e r m a n i in. (15) uważają, że odczyty SPAD powinny być standaryzowane i podawane w wartościach względnych. Zdaniem C a s t i l l o n (2) zastosowanie testu SPAD do oceny stanu odżywienia kukurydzy w praktyce wymaga wcześniejszej jego kalibracji dla każdej odmiany.

Autorzy prac (4, 5) dotyczących SPAD u zbóż proponują wprowadzenie dla tej grupy roślin tzw. współczynników korekcyjnych, dla uniknięcia kalibracji testu SPAD dla każdej odmiany. Według F o t y m y (4) współczynnik korekcyjny ze znakiem „+” lub „-” jest różnicą odczytu SPAD danej odmiany i tej odmiany, dla której wykonano kalibrację przy założeniu, że obydwie odmiany w momencie odczytu były jednakowo odżywione azotem. W przypadku pszenicy ozimej F o t y m a i F o t y m a (6) także proponują standaryzację odczytów SPAD i wyrażanie ich w jednostkach względnych z uwagi na rozbieżności w piśmiennictwie w zakresie krytycznych bezwzględnych wartości SPAD.

W badaniach własnych standaryzacji odczytów SPAD dokonano w stosunku do obiektu kontrolnego – bez nawożenia N. Standaryzacja nie ograniczyła zmienności dla lat i miejscowości. Umożliwiła jednak eliminację zmienności odmianowej. Oznacza to, że wartości SPAD<sub>std</sub> mogą być przydatne w danym roku i w warunkach, dla jakich zostały wyznaczone. Standaryzowane wartości SPAD wzrastały istotnie ze zwiększeniem dawki azotu. Na podstawie uzyskanych równań opisujących zależność między względnymi wartościami SPAD a dawkami azotu wyliczono wzrost SPAD<sub>std</sub> (w przedziale dawek 50–100 kg N·ha<sup>-1</sup>) pod wpływem zwiększenia nawożenia o 10 kg N·ha<sup>-1</sup>.

Kalibracji testu dla względnych wartości wskaźnika zawartości chlorofilu dokonano w stosunku do względnych plonów ziarna kukurydzy. Wyznaczono krytyczne wartości SPADstd dla dwóch faz rozwojowych kukurydzy: stadium 10 liści i ukazywania się znamion. Znając krytyczne standaryzowane wartości SPAD kukurydzy i przyrost tego wskaźnika pod wpływem nawożenia azotem można wyliczyć uzupełniającą dawkę N umożliwiającą uzyskanie wymaganej wartości SPADstd.

W podobny sposób kalibracji odczytów SPAD w stosunku do względnych plonów ziarna pszenicy ozimej dokonali F o t y m a i F o t y m a (6) i wykazali, że zwiększenie dawki nawozów o  $10 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  zapewnia wzrost standaryzowanej wartości odczytów o 0,05 jednostki. Uważają oni, że należy możliwie często dokonywać odczytów SPADstd i w celu doprowadzenia ich do wartości optymalnej stosować niewielkie jednorazowe dawki nawozów ( $20\text{--}30 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ ).

Nieco inny sposób podejścia do zagadnienia zastosowania względnych odczytów SPAD w doradztwie nawozowym prezentują B l a c k m e r i S c h e p e r s (1). Proponują oni dla uniknięcia zmienności odczytów wynikających z fazy rozwojowej roślin wprowadzenie poletek porównawczych, na których należy zastosować całą dawkę azotu wyznaczoną za pomocą testów glebowych, co pozwoli na wyliczenie względnych wartości SPAD, tzw. wskaźnika poprawnego odżywienia roślin azotem (NSI – Nitrogen Sufficiency Index). NSI jest ilorazem odczytu SPAD z pola poddawanego ocenie i z poletka porównawczego. Wartość NSI równa 0,95 jest według nich zadawalająca i gdy  $\text{NSI} \geq 0,95$  dodatkowe nawożenie N jest zbędne, natomiast gdy  $\text{NSI} < 0,95$  potrzebne jest zastosowanie uzupełniającej dawki azotu. Podobnie P e t e r - s o n i in. (10) zakładają eliminację zmienności odczytów SPAD przez wprowadzenie NSI, a korektę nawożenia w wysokości 20 do 40 funtów N na akr zalecają stosować, jeśli wyznaczony indeks ma wartość mniejszą niż 95%.

## WNIOSKI

1. Badane odmiany kukurydzy różnią się względną zawartością chlorofilu. Największymi wartościami SPAD odznaczają się odmiany LG 2244 oraz Bzura i Grom, a najmniejszymi Janna, Mieszko i Matilda.

2. Największy wpływ na zróżnicowanie względnej zawartości chlorofilu (wartości SPAD) w liściach kukurydzy miał poziom nawożenia azotem i termin pomiaru (liczba dni po wschodach kukurydzy). Zdecydowanie najmniejszy udział w zmienności odczytów SPAD miała odmiana.

3. Standaryzacja wartości SPAD eliminuje zmienność odmianową, nie ogranicza zmienności dla lat i miejscowości oraz fazy rozwojowej kukurydzy. Oznacza to, że wartości SPADstd mogą być przydatne w danym roku i dla warunków, dla jakich zostały wyznaczone.

4. Zwiększenie dawki azotu o  $10 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  powodowało wzrost standaryzowanej wartości SPAD średnio w Baborówku o 0,013, a w Grabowie o 0,021 jednostki.

## LITERATURA

1. Blackmer T. M., Schepers J. S.: Techniques for monitoring crop nitrogen status in corn. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 1994, 25: 1791-1800.
2. Castillon P.: Using a chlorophyll meter to assess the nitrogen nutrition status of maize. *Short communications Fifth Congress ESA*, 1998, II: 334-335.
3. Costa C., Dwyer L. M., Dutilleul P., Stewart D. W., Ma B. L., Smith D. L.: Inter-relationships of applied nitrogen, SPAD, and yield of leafy and non-leafy maize genotypes. *J. Plant Nutr.*, 2001, 24: 1173-1194.
4. Foty ma E., Bezdu szni ak D.: Wykorzystanie testu NNI i testu SPAD do oceny stanu odżywienia zbóż azotem. *Nawozy i Nawożenie*, 2000, 4(5): 78-90.
5. Foty ma E., Foty ma M., Bezdu szni ak D.: Chlorophyll meter (SPAD-502, Minolta) a new tool for evaluating the nitrogen nutritional status of cereals. *Short communications Fifth Congress ESA*, 1998, II: 304-305.
6. Foty ma E., Foty ma M.: Kalibracja testu SPAD dla pszenicy ozimej. *Nawozy i Nawożenie*, 2002, 2(11): 14-32.
7. Machul M.: Wyznaczenie optymalnego zaopatrzenia kukurydzy w azot za pomocą testu SPAD. *Pam. Puł.*, 2003, 133: 97-113.
8. Machul M.: Zastosowanie testu chlorofilowego (SPAD) do oceny stanu odżywienia kukurydzy azotem. *Nawozy i Nawożenie*, 2002, 2(11): 67-88.
9. Neukirchen D., Lamme l J.: The chlorophyll content as an indicator for nutrient and quality management. *Nawozy i Nawożenie*, 2002, 2(11): 89-105.
10. Peterson T.A., Blackmer T.M., Francis D. D., Schepers J. S.: Using a chlorophyll meter to improve N management. *NebGuide. G93-1171-A*. Published by Cooperative Extension, Institute of Agriculture and Natural Resources, University of Nebraska-Lincoln, 1993.
11. Piekielek W. P., Fox R. H., Toth J. D., Macneal K. E.: Use of a chlorophyll meter at the early dent stage of corn to evaluate nitrogen sufficiency. *Agron. J.*, 1995, 87: 403-408.
12. Piekielek W. P., Fox R. H.: Use of a chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize. *Agron. J.*, 1992, 84: 59-65.
13. 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.
14. Singh B., Singh Y., Ladha J. K., Bronson K. F., Balasubramanian V., Singh J., Khind C. S.: Chlorophyll meter-and leaf color chart-based nitrogen management for rice and wheat in Northwestern India. *Agron. J.*, 2002, 94: 821-829.
15. Sunderman H. D., Pontius J. S., Lawless J. R.: Variability in leaf chlorophyll concentration among fully-fertilized corn hybrids. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 1997, 28: 1793-1803.
16. 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.
17. Wollring J., Reusch S., Karlsson C.: Variable nitrogen application based on crop sensing. *Proceedings of the International Fertiliser Society*, 1998, 423.

## USE OF THE SPAD TEST TO DETERMINE A SUPPLEMENTARY NITROGEN RATE FOR MAIZE

## Summary

The paper presents results of studies on the usability of the SPAD test to determine a supplementary nitrogen rate in cultivation of maize. Five-year studies were carried out in two sites and two experimen-

tal series. The SPAD readings varied depending on the measurement date, nitrogen fertilization and variety. The relative chlorophyll content was rising during the vegetation and as the nitrogen rate increased. There were different SPAD values obtained in particular years and sites. It was impossible to carry out an universal calibration of the test. To exclude the variability of readings the SPAD values were standardized in relation to the control plots (N 0). Although standardization tended to eliminate varietal variability, it did not limit the variability for the years, sites and maize development stages. It was concluded that the relative SPAD values might be useful for the conditions under which they had been determined in the given year. Critical values for the standardized SPAD were assessed for a relative grain yield – 0.9. Trend of a relative SPAD value as affected by increasing a nitrogen rate by 10 N kg·ha<sup>-1</sup> was determined in order to define a N rate necessary to achieve an optimum plant nutrition status.

Praca wpłynęła do Redakcji 11 I 2005 r.