

STUDIA I RAPORTY IUNG-PIB

ZESZYT 61(15): 89-99

2020

Karolina Smytkiewicz, Janusz Podleśny*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

METODY OCENY STANU ODŻYWIENIA ROŚLIN AZOTEM*

Słowa kluczowe: azot, ocena odżywienia azotem, testy roślinne, metody polowe, metody chemiczne

Wstęp

Azot jest jednym z ważniejszych pierwiastków warunkujących wielkość i jakość plonu roślin uprawnych. Jego głównym źródłem w produkcji roślinnej są nawozy naturalne i mineralne. Odpowiednio dostosowana dawka nawozu do potrzeb pokarmowych roślin korzystnie wpływa na ich wzrost i rozwój. Natomiast niedobór azotu przyczynia się do osłabienia przyrostu suchej masy roślin a w konsekwencji powoduje obniżenie wysokości i jakości ich plonu. Z kolei nadmiar tego pierwiastka negatywnie oddziałuje zarówno na rośliny, jak i jakość plonów oraz ekosystem, powodując eutrofizację środowiska wodnego. Prawidłowa dawka nawozu, optymalny termin oraz forma i sposób aplikacji pozwalają ograniczyć straty azotu ze środowiska (3). Dlatego też, istotne jest racjonalne nawożenie tym pierwiastkiem, które pozwala na osiągnięcie wysokich i dobrych jakościowo plonów z uwzględnieniem celu środowiskowego (17). Istotną rolę w optymalizacji nawożenia azotem pełni test azotu mineralnego (N_{min}). Pierwsze badania weryfikujące przydatność tej metody zostały przeprowadzone w IUNG w Puławach pod koniec lat osiemdziesiątych ubiegłego wieku (6). Pobrane próby gleby poddawane są analizie chemicznej w celu określenia zawartości azotu mineralnego tj. form $N-NO_3$ i $N-NH_4$ w warstwie gleby 0-90 cm (5, 21). Test N_{min} wykonywany jest najczęściej wczesną wiosną przed rozpoczęciem wegetacji, ponieważ jest on wykorzystywanymi między innymi w doradztwie nawozowym. Otrzymane wyniki pozwalają bowiem na uściślenie i odpowiednie dostosowanie pierwszej dawki azotu.

Do oceny aktualnego stanu odżywienia roślin azotem stosuje się roślinne testy azotowe wykorzystujące metody wizualne, analizy chemiczne oraz polowe metody

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.4 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

instrumentalne. Na podstawie wyników tych testów możliwe jest korygowanie dawek nawozów mineralnych.

Celem pracy był opis metod destrukcyjnych i niedestrukcyjnych służących do oceny stanu odżywienia roślin uprawnych azotem.

Metody wizualne

Metody wizualne należą do metod jakościowych, które pozwalają na subiektywną ocenę niedoboru lub nadmiaru składników pokarmowych w roślinach. Diagnostyka wizualna może być pomocna tylko w przypadku ostrych niedoborów makro i mikroelementów. Przeciętna zawartość azotu w suchej masie powinna wynosić od 0,1 do 6,0 %. Charakterystycznym objawem niedoboru tego pierwiastka jest chloroza liści prowadząca do całkowitego żółknięcia blaszek wraz z nerwami oraz ich opadanie (12). Często obserwowane jest również hamowanie wzrostu oraz małe krzewienie, a także łatwa reutilizacja, czyli transport azotu z organów starych do aktualnie najbardziej potrzebujących tego składnika. Dlatego niedobory azotu w postaci żółtych liści obserwowane są w dolnej części łodygi czy źdźbła (fot.1). W przypadku tej metody istotna jest wiedza na temat warunków pogodowych oraz zasobności gleby w dostępne formy składników pokarmowych i jej odczynu (20).



Fot. 1. Objawy niedoboru azotu

Źródło: Rosada i wsp., 2011 (15)

Test SPAD

Test SPAD (ang. *Soil Plant Analysis Development*) zwany również indeksem zielności liścia, służy do przyżyciowego pomiaru zawartości chlorofilu w liściach. W tej metodzie wykorzystywany jest specjalny przyrząd optyczny SPAD-502 (fot. 2), znany także jako N-tester, który został opracowany i wprowadzony na rynek przez firmę Minolta.



Fot. 2. Chlorofilometr SPAD-502

fot. Karolina Smytkiewicz

Indeks zieloności liścia pozwala wykryć nawet niewielkie niedobory azotu i służy do pomiaru różnicy między ilością światła absorbowanego (o długości fali 650 nm) oraz przepuszczalnego (o długości fali 940 nm); (13). Na podstawie poniższego wzoru wyznaczana jest wartość testu SPAD (19):

$$\text{SPAD} = (940 \text{ nm} - 650 \text{ nm}) / (650 \text{ nm} - 940 \text{ nm})$$

Ponieważ chlorofil nie absorbuje światła zielonego (470-620 nm), rośliny optymalnie odżywione azotem posiadają bardziej zielone liście, gdyż odbijają one więcej widma zielonego światła słonecznego. Żółty odcień liści może świadczyć o nieodpowiednim odżywieniu roślin azotem. Niedobory tego pierwiastka powodują chlorozy liści, a w konsekwencji ich obumieranie. Istotne jest, aby wyznaczyć krytyczne wartości dla testu SPAD. W przypadku uzyskania niższych wartości zaleca się zastosowanie uzupełniającej dawki azotu (17).

Badania mające na celu ocenę przydatności testu SPAD rozpoczęto w Polsce w 1993 roku. Wyniki doświadczeń wykazały, że istnieje zróżnicowanie odczytów między gatunkami roślin uprawnych a nawet ich odmianami (tab.1).

Tabela 1

Średnie wartości odczytów SPAD dla odmian pszenicy ozimej w zależności od nawożenia azotem

Odmiana	Liczebność	Odczyty SPAD dla dawek N (kg·ha ⁻¹)		Współczynnik zmienności odczytów	
		0	120 (125)*	0	120 (125)*
Almari	27	367	551	18,9	11,2
Wilga	216	447	630	15,3	7,4
Begra	216	415	591	15,3	9,3
Kobra	198	458	637	13,6	8,5

*120 kg N·ha⁻¹ dla odmian Wilga, Begra i Kobra, 125 kg N·ha⁻¹ dla odmiany Almari

Źródło: Fotyma i Fotyma, 2002 (8)

W związku z tym, w Zakładzie Żywienia Roślin i Nawożenia IUNG-PIB w Puławach dokonano kalibracji przyrządu optycznego dla różnych gatunków roślin uprawnych. Na wynik pomiaru testu SPAD wpływają również takie czynniki jak: dawka, termin i sposób aplikowanego nawozu mineralnego, stres abiotyczny i biotyczny, termin odczytów i sposób wykonywania pomiarów, zagęszczenie łanu oraz stosowany system produkcji (tab. 2, rys. 1).

Tabela 2

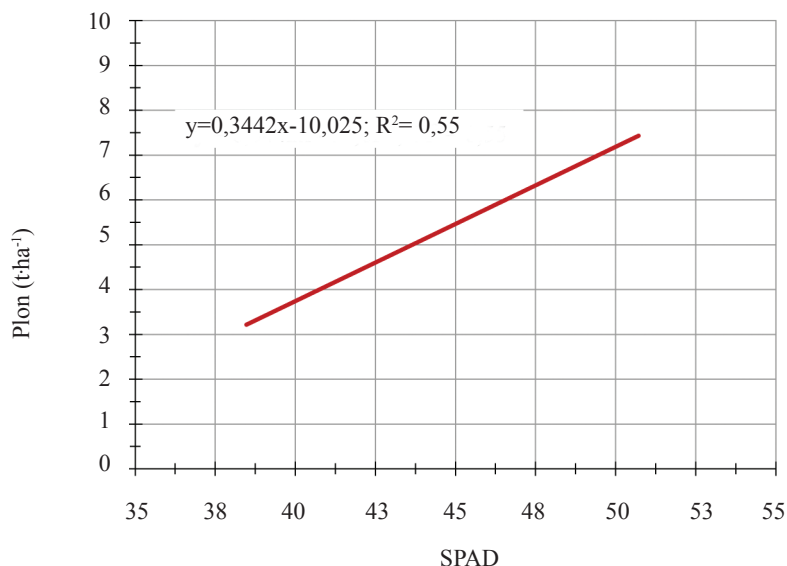
Wartości odczytów SPAD dla pszenicy ozimej uprawianej w systemach produkcji roślinnej

Termin pomiaru/faza rozwojowa pszenicy (wg Zadoksa)	System produkcji roślinnej			
	konwencjonalny	integrowany	ekologiczny	monokultura
I termin/strzelanie w źdźbło (31)	50,7 d*	48,3 c	38,5 a	44,3 b
II termin/kłoszenie (49)	52,4 d	49,1 b	42,1 a	50,8 c
III termin/kwitnienie (65)	53,1 b	52,6 b	44,6 a	52,3 b

*liczby w wierszach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie ($\alpha = 0,05$)

Źródło: Smytkiewicz, 2019 (18)

Test SPAD jest metodą niedestrukcyjną, która pozwala na szybkie otrzymanie wyniku bez konieczności wykonywania analiz chemicznych. Przyżyciowy pomiar zawartości chlorofilu wykonuje się w łanie roślin, bezpośrednio na rozwiniętym liście. Średnia z 30 odczytów jest wyrażana w niemiarowych jednostkach SPAD w skali od 0 do 800 (starsze urządzenia); (17) i od 0 do 200 (nowsze urządzenia); (2) . Wzrost wartości odczytów testu SPAD odnotowywany jest po 3 tygodniach od aplikacji pierwszej dawki azotu. Istotnym terminem pomiarów w przypadku zbóż jest faza strzelania w źdźbło (BBCH 30-31). Uzyskane wyniki pozwalają ocenić aktualne zapotrzebowanie roślin na azot oraz umożliwiają dostosowanie niezbędnej, brakującej dawki nawozu w okresie największego zapotrzebowania na ten składnik. Indeks zielności liścia jest istotny w ocenie stanu odżywienia azotem różnych gatunków roślin zbożowych (pszenica, jęczmień, żyto, owies, kukurydza i ryż), a także ziemniaka, pomidora czy tytoniu i znajduje zastosowanie w rolnictwie precyzyjnym.



Rys. 1. Zależność między plonem ziarna pszenicy ozimej a odczytami SPAD (faza strzelania w źdźbło)

Źródło: Smytkiewicz, 2019 (18)

Test NDVI

W rolnictwie precyzyjnym do stosowania zmiennej dawki azotu wykorzystuje się czujniki optyczne, które montowane są na ciągniku lub belce opryskiwacza. Urządzenie mierzy ilość światła odbitego od łąnu w zakresie bliskiej podczerwieni, która informuje o gęstości łąnu roślin. Z kolei o zawartości chlorofilu w liściach informuje ilość światła odbitego w zakresie czerwieni (o długości fali 650-720 nm). Uzyskane dane rejestrowane są w postaci wskaźników wegetacyjnych. Najczęściej stosowanym wskaźnikiem jest NDVI (ang. *Normalized Difference Vegetation Index*). Znormalizowany wskaźnik zieleni wyliczany jest z poniższego wzoru (16):

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$$

gdzie:

R – wartość odbicia promieniowania w paśmie czerwonym

NIR – wartość odbicia promieniowania w bliskiej podczerwieni

Wartość NDVI waha się od -1 do 1, w tym na przykład dla pszenicy ozimej uzyskuje wartości w przedziale od 0,3 do 0,9. Znormalizowany wskaźnik zieleni zależy od koloru łąnu. Im zieleniejszy i bujniejszy łąn, tym wartości NDVI są wyższe.

Dawka nawozu dobierana jest proporcjonalnie do uzyskanych wyników testu. Ważne jest, aby przed rozpoczęciem pracy wprowadzić do programu informacje na temat gatunku rośliny i aktualnego stadium jej rozwoju, wielkości średniej zalecanej dawki N oraz zakresu maksymalnej i minimalnej dawki nawozu. Dobrze odżywione rośliny odbijają około 50% promieniowania podczerwonego, a pochłaniają ponad 92% światła widzialnego. Jednak pod wpływem czynników niekorzystnych, tj. stres biotyczny i abiotyczny, wartości te ulegają zmianom. Rośliny odbijają wtedy około 40% światła w zakresie bliskiej podczerwieni, a ilość pochłoniętego przez nie światła spada do 70%. Na polskim rynku dostępne są następujące czujniki optyczne: CropSensor Isaria- Class, CropSpec-Topcon, GreenSeeker-Trimble, N-Sensor ALS – Yara. Urządzenie GreenSeeker (fot. 3) opracowane przez firmę NTech Industries Inc. jest wykorzystywane do pomiaru wskaźników wegetacyjnych, które opiera się na technologii pomiarów praktycznych. Pozwala to na dostosowanie odpowiedniej dawki azotu na podstawie aktualnej zawartości chlorofilu w liściach oraz wigoru roślin. Czujnik optyczny przekazuje informację do komputera zamontowanego na ciągniku lub opryskiwaczu. Następnie za pomocą wbudowanego do urządzenia algorytmu wyliczana jest dawka nawozu. Specjalne oprogramowanie urządzenia umożliwia tworzenie map rozkładu przestrzennego oraz posiada system doradztwa nawozowego. Czujnik GreenSeeker jest zaopatrzony we własne źródło światła, dzięki czemu dokonywanie pomiarów jest możliwe o każdej porze dnia, bez względu na panujące warunki atmosferyczne (22).



Fot. 3. Czujnik optyczny GreenSeeker RT 200 (NTech, USA) do pomiaru NDVI

Źródło: Niedźwiedzki i in., 2015 (14)

Metody chemiczne

Metody chemiczne pozwalają dokładnie określić aktualną zawartość danych pierwiastków w roślinie. Stosując je można oszacować całkowitą zawartość danego pierwiastka albo jego formy w częściach nadziemnych, liściach lub korzeniach. Ponieważ obecnie znane są średnie zawartości składników pokarmowych w roślinach więc za pomocą analiz chemicznych możliwa jest także precyzyjna, liczbowa ocena ich niedoboru lub nadmiaru. Metody chemiczne dzielą się na pośrednie oraz bezpośrednie. Szerokim zastosowaniem wyróżnia się test SPAD, jako pośrednia metoda chemiczna. Test NNI – Indeks Odżywienia Azotem należy do chemicznych metod bezpośrednich.

Test azotu ogólnego

Oceny stanu odżywienia roślin azotem można dokonać za pomocą testu azotu ogólnego. Jest to najstarsza metoda wykorzystywana w Polsce w celu oznaczenia zawartości tego pierwiastka w części nadziemnej rośliny lub jej liściach i źdźbłach. W okresie wegetacji ilość azotu w suchej masie jest zmienna w zależności od danej fazy rozwojowej (tab. 3), analizowanej części wskaźnikowej, dobranej odmiany oraz warunków agrotechnicznych (9). Z tego powodu analiza otrzymanych wyników testu azotu ogólnego może być trudna do interpretacji. Do przeprowadzenia testu najczęściej wykorzystuje się metodę Kiejdahla. Jednak poprawne określenie zawartości azotu w roślinie wymaga czasu potrzebnego do pobrania prób roślinnych w ściśle określonych fazach rozwojowych i ich suszenia a następnie wykonania analizy chemicznej dlatego też, test azotu ogólnego często zastępowany jest testem NNI.

Tabela 3

Przeciętne zawartości azotu w wybranych fazach rozwojowych pszenicy

Kod wg Zadoksa	Faza rozwojowa	Zawartość azotu ogólnego w suchej masie (%)
24/29	krzewienie	3,7-6,0
30	początek strzelania w źdźbło	3,2-5,1
31	stadium pierwszego kolanka	2,8-4,9
32/36	stadium drugiego/szóstego kolanka	2,3-3,8
37/38	widoczny liść flagowy	2,0-3,8
39/41	wykształcony jęczyczek liścia flagowego/ wydłużania pochwy liściowej	1,8-3,1
42/45	grubienie pochwy liściowej	1,6-2,8

Źródło: Bergman, 1992 (1)

Test NNI

Test NNI – indeks odżywienia azotem (*ang. Nitrogen Nutrition Index*) należy do bezpośrednich metod chemicznych, służących do określenia aktualnej zawartości azotu w danej fazie rozwojowej. Test ten wyliczany jest według poniższego wzoru (11):

$$NNI = N_{akt}/N_{kryt}$$

gdzie:

N_{akt} – aktualna zawartość azotu w roślinie,

N_{kryt} – krytyczna zawartość azotu w roślinie,

Krytyczna zawartość azotu to minimalna ilość pierwiastka, która jest w stanie zapewnić względny wzrost rośliny. Wyliczana jest ze wzoru:

$$N_{kryt} = a (SM)^{-b}$$

gdzie:

N_{kryt} – zawartość ogólnego azotu w suchej masie roślin optymalnie odżywionych azotem,

SM – plon suchej masy ($t \cdot ha^{-1}$),

a i b – współczynniki równania

Analiza wyniku ilorazu pozwala ocenić aktualny stan zapotrzebowania roślin na azot. Wynik bliski jedności świadczy o optymalnym odżywieniu roślin tym pierwiastkiem a poniżej 1 wskazuje na nieodpowiednie zaopatrzenie w azot. Natomiast jeżeli wartość stosunku aktualnej do krytycznej zawartości azotu osiągnie wynik powyżej 1, stwierdza się luksusowe odżywienie roślin. Wartości testu NNI zwiększają się wraz ze wzrostem aplikowanych dawek nawozu (tab. 4). W przypadku luksusowego odżywienia można zrezygnować z dawki nawozu lub opóźnić jej aplikację natomiast w sytuacji nieodpowiedniego zaopatrzenia w N zalecane jest zastosowanie uzupełniającej dawki nawozu. Wykorzystanie testu NNI jest możliwe po pobraniu prób w sposób ilościowy w celu oszacowania plonu suchej masy. Istotne jest również wykonanie testu azotu ogólnego z próby oraz dysponowanie krzywą krytyczną (11).

Tabela 4

Wartości wskaźników NNI dla zbóż w zależności od dawek azotu

Dawka N ($kg \cdot ha^{-1}$)	Pszenvica ozima		Pszenvyito ozime		Żyto		Pszenvica jara	
	średnia	odch.st.	średnia	odch.st.	średnia	odch.st.	średnia	odch.st.
0	0,58	0,09	0,51	0,12	0,52	0,13	0,58	0,13
25	0,65	0,10	0,64	0,15	0,65	0,19	0,64	0,19
50	0,78	0,10	0,68	0,15	0,73	0,10	0,79	0,19
75	0,87	0,14	0,79	0,14	0,81	0,21	0,92	0,21
100	0,96	0,16	0,84	0,14	0,89	0,20	1,00	0,20
125	1,01	0,14	0,90	0,14	0,98	0,20	1,11	0,20

Źródło: Fotyma i Bezdusznik, 2000 (7)

DRIS

Zintegrowany System Diagnozy i Zaleceń – DRIS (ang. *Diagnosis and Recommendation Integrated System*) należy do metod destrukcyjnych i polega na analizie stosunku procentowej zawartości poszczególnych, głównych pierwiastków w suchej masie rośliny, w tym stosunek azotu do fosforu, potasu, magnezu i wapnia (tab. 5). Przed rozpoczęciem analizy należy wykonać kalibrację. Podczas tego procesu całą grupę danych dzieli się na grupę plonów dużych oraz małych. Podczas oceny statystycznej dokonywana jest weryfikacja zawartości składników pokarmowych i ich wzajemnych zależności. Miarą nadmiaru lub niedoboru pierwiastków w ocenianej roślinie względem obowiązującej normy są indeksy DRIS.

Tabela 5

Normy DRIS dla pszenicy i żyta

Parametry analizy roślin	Normy DRIS w fazie strzelania w źdźbło			
	pszenica ozima		żyto	
	średnia	wariancja	średnia	wariancja
n/p*	7,72	2,455	6,90	1,221
n/k	0,89	0,032	0,98	0,038
n/ca	7,73	2,966	8,23	2,744
n/mg	28,12	72,44	27,87	32,692

*jest to stosunek procentowy zawartości N w s.m. do procentowej zawartości P w s.m.

Źródło: Faber i in., 1988 (4), zmodyfikowane

Celem Zintegrowanego Systemu Diagnozy i Zaleceń jest porównanie wyników stosunków między składnikami pokarmowymi do określonych stosunków w populacji wysokich plonów, dzięki czemu możliwa jest weryfikacja niedoboru lub nadmiaru danych pierwiastków odpowiedzialnych za nieprawidłową równowagę żywieniową rośliny. Zgodnie z założeniem metody DRIS suma indeksów powinna wynosić 0. W przypadku otrzymania wyniku powyżej 15 zakłada się, że roślina nie jest odpowiednio odżywna (23).

Metoda przedziałów krytycznych

Azot jest czynnikiem wpływającym na wielkość i jakość plonu. Pełni określone funkcje plonotwórcze w zależności od danej fazy rozwojowej, przyczyniając się do tworzenia podstaw struktury plonu i kształtowania jego elementów. Zakłada się, że u większości gatunków największe zapotrzebowanie na azot występuje na początku wegetacji i zmniejsza się wraz ze wzrostem roślin. U poszczególnych gatunków występują inne okresy krytyczne, w których rośliny wykazują największą wrażliwość na niedostateczną ilość azotu (tab. 6).

Do określenia zawartości tego pierwiastka w roślinie wykorzystuje się metodę przedziałów krytycznych, opartą na analizach chemicznych. Istotne znaczenie w tej metodzie ma zarówno badany organ jak i faza rozwojowa rośliny. Analiza pozwala oszacować zawartość pierwiastka, który wpływa na otrzymanie plonu lub wzrostu

rośliny na poziomie 95-100%. Przedział krytyczny danego gatunku wyznaczają dwa parametry: względnej szybkości wzrostu (RGR – *Relative Growth Rate*) oraz absolutnej szybkości wzrostu rośliny (ACGR – *Absolute Crop Growth Rate* lub GR – *Growth Rate*).

Tabela 6

Fazy krytyczne – okresy największej wrażliwości roślin uprawnych na odżywienie azotem

Roślina	Fazy krytyczne	Fazy w skali BBCH
Zboża	1) krzewienie 2) początek strzelania w źdźbło 3) koniec strzelania w źdźbło	25-29 31-32 37-51
Rzepak	1) pełnia budowy rozety/początek wzrostu wydłużeniowego 2) pąkowanie	30-31 50-51
Ziemniak	1) 20-30% zakrytych międzyrzędzi 2) początek tworzenia bulw	32-33 40-41
Burak cukrowy	1) 2-3 para liści 2) 60 dni od wschodów; początek lipca	14-15 41-43
Rośliny strączkowe, groch	1) początek wzrostu wydłużeniowego 2) początek kwitnienia	30-31 61-62

Źródło: Grzebisz, 2008 (10)

Podsumowanie

Nawożenie azotem należy do ważnych czynników plonotwórczych, ponieważ odpowiednia ilość tego składnika jest niezbędna do prawidłowego wzrostu i rozwoju roślin uprawnych. W trakcie wegetacji zapotrzebowanie roślin na ten pierwiastek jest zróżnicowane. Dlatego na podstawie oceny stanu odżywienia roślin azotem możliwe jest odpowiednie korygowanie i dostosowanie dawek tego składnika do potrzeb pokarmowych roślin w danej fazie rozwoju. Przedstawione w pracy metody pozwalają na proste i szybkie wykrycie pojawiających się niedoborów tego pierwiastka w warunkach polowej produkcji roślinnej. Na podstawie otrzymanych wyników, rolnicy mogą korygować dawki nawozu aby zapobiec spadkowi plonu, minimalizując przy tym jego straty do środowiska. Metody destrukcyjne i nidestrukcyjne wykorzystywane w ocenie odżywienia roślin azotem znajdują szerokie i praktyczne zastosowanie w rolnictwie, zwłaszcza zrównoważonym i precyzyjnym.

Literatura

1. Bergman W.: Nutritional Disorders of Plants – Development, Visual and Analytical Diagnosis, Fisher, Jenna, 1992.
2. Chlorofilomierz SPAD 502 Plus/502DL Plus. Miernik zawartości chlorofilu. <https://geomor.com.pl/produkt/chlorofilomierz-spad-502-plus-502dl-plus/> (data dostępu: 30.04.2020 r.).
3. Czyżyk F.: Ocena zużycia nawozów mineralnych w gospodarstwach rolnych w aspekcie ochrony środowiska. Probl. Inż. Rol., 2011, **19(3)**: 69-76.
4. Faber A., Filipiak K., Kryszkowska T.: Zalecenia Nawozowe. Cz. III Kontrola stanu odżywienia roślin metodą DRIS. IUNG, Puławy, 1988, **P(37)**: 1-35.
5. Fageria N. K.: The use of nutrients in crop plants. CRC Press Taylor & Francis Group, USA, Boca Raton, 2009, ss. 430.

6. Fotyma E.: Przydatność glebowego testu Nmin w nawożeniu zbóż ozimych. *Fragm. Agron.*, 1995, **3**: 59-78.
7. Fotyma E., Bezduśniak D.: Wykorzystanie testu NNI i testu SPAD do oceny stanu odżywienia zbóż azotem. *Nawozy i Nawożenie*, 2000, **4(5)**: 78-90.
8. Fotyma E., Fotyma M.: Kalibracja testu SPAD dla pszenicy ozimej. *Nawozy i Nawożenie*, 2002, **2(11)**: 14-32.
9. Fotyma E., Pecio A.: Zależność pomiędzy zawartością azotu a nagromadzeniem suchej masy przez zboża. *Pam. Puł.*, 1999, **114**, 93-100.
10. Grzebisz W.: Nawożenie roślin uprawnych. Cz. 2. PWRiL Poznań, 2008, ss. 355.
11. Lemaire G., Gastal F.: N uptake and distribution in plant canopies. In: *Diagnosis of the nitrogen status in crops*. Lemaire G. (ed.) Springer Verlag, 1997: 3-45.
12. Marska E., Nowak W.: Jak rozpoznać objawy niedoboru pierwiastków mineralnych niezbędnych dla roślin, wyd. Danad, Szczecin, 2001: 8-11.
13. Murdock L., Jones S., Bowley Ch., Needham P., James J., Howe P.: Using a chlorophyll meter to make nitrogen recommendations on wheat. University of Kentucky, Cooperative Extension Service, AGR 170, 1997.
14. Niedźwiecki J., Guillaume D., Pecio A.: Klasyczne i zaawansowane metody badania przestrzennego zróżnicowania żyzności gleb i łanu roślin. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2015, **42(16)**: 69-90.
15. Rosada J., Gaj R., Grzebisz W., Zachmann A., Korbas M.: Zboża – niedobór azotu. W: *Atlas chorób pochodzenia nieorganicznego*. W. Grzebisz, J. Rosada i R. Gaj (Red.), IOR-PIB w Poznaniu, 2011: 9.
16. Rouse J.W. Jr., Haas R. H., Schell J. A., Deering D.W.: Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. *Prog. Rep. RSC 1978-1*, Remote Sensing Center, Texas A&M Univ., College Station, nr E73-106393, 93 (NTIS No. E73- 106393), 1973.
17. Samborski S., Rozbicki J.: Kalibracja chlorofilometru do oceny odżywienia zbóż azotem. *Postępy Nauk Rol.*, 2004, **5**: 27-37.
18. Smytkiewicz K.: Praca magisterska. Ocena odżywienia azotem pszenicy ozimej uprawianej w systemie konwencjonalnym, integrowanym, ekologicznym oraz monokulturze, 2019, ss. 63.
19. Solomon E. P., Berg L. R., Martin D. W., Villee C. A.: *Biologia*. Oficyna Wydawnicza MULTICO, Warszawa, 1996, ss. 1302.
20. Starck Z.: Rola składników mineralnych w roślinie. W: *Fizjologia roślin*, J. Kopcewicz i S. Lewak (red.), Warszawa, 2002: 228-245.
21. Trawczyński C.: Ocena zawartości azotu mineralnego w glebie po zbiorze bulw ziemniaka. *Biul. IHAR*, 2013, **267**: 87-96.
22. Tucker C.J.: Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sens. Environ.*, 1979, **8**: 127-150.
23. Wach D.: Metody oceny stanu odżywienia roślin. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2015, **42(16)**: 53-68.

Adres do korespondencji:

mgr inż. Karolina Smytkiewicz
Zakład Uprawy Roślin Pastewnych
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel. 81 4786 793
e-mail: ksmtykiewicz@iung.pulawy.pl

AUTOR	ORCID
Janusz Podleśny	0000-0001-6757-8331
Karolina Smytkiewicz	0000-0001-8032-4969

