

Damian Wach

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

METODY OCENY STANU ODŻYWIENIA ROŚLIN*

Słowa kluczowe: stan odżywienia roślin, metody wizualne, polowe metody instrumentalne, metody chemicznej analizy roślin

Wstęp

W zrównoważonej gospodarce rolnej jednym z ważniejszych elementów jest racjonalne gospodarowanie nawozami. Odpowiednie zaopatrzenie roślin w makro- i mikroelementy jest nieodzowne do osiągnięcia dobrego plonu o wysokiej jakości. Należy jednak pamiętać, że zarówno dla roślin, jak i środowiska nadmiar wprowadzonych składników pokarmowych jest szkodliwy, a nawet toksyczny. W myśl zrównoważonej produkcji, roślinom należy dostarczyć taką ilość składników odżywczych, aby mogły w pełni się rozwinąć i wydać potencjalnie możliwy do osiągnięcia plon części użytkowych, a jednocześnie zminimalizować straty związane z rozpraszaniem składników pokarmowych do otoczenia.

W ciągu okresu wegetacyjnego zawartość substancji organicznych oraz skład mineralny roślin ulega ciągłym zmianom. Są one rezultatem wpływu czynników związanych z samymi roślinami, tj. gatunkiem, odmianą, fazą rozwojową i czynników zewnętrznych, tj. warunki klimatyczne i glebowe czy nawożenie. Optymalne zaopatrzenie roślin w niezbędne składniki pokarmowe jest szczególnie ważne w tzw. „fazach krytycznych” wzrostu i rozwoju. Niedobory pierwiastków w tych okresach wpływają znacząco na obniżenie wysokości i jakości plonu. Z diagnostycznego punktu widzenia istotne jest, aby w tych okresach określić aktualny stan odżywienia roślin niezbędnymi składnikami mineralnymi, a w przypadku stwierdzonych niedoborów wprowadzić korektę nawożenia. W tym celu opracowano szereg metod, w których poprzez obserwacje, użycie odpowiedniej aparatury czy analizy chemicz-

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 3.1 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

ne określa się aktualny stan odżywienia roślin. Metody te można podzielić na trzy grupy: metody wizualne, polowe metody instrumentalne oraz metody analizy chemicznej.

Metody wizualne

Metody wizualne są najstarszą metodą oceny niedoborów składników pokarmowych, niekiedy również ich nadmiaru. Ocena wizualna jest metodą jakościową i subiektywną, w dużym stopniu uzależnioną od obserwatora. Znajduje zastosowanie głównie przy ocenie ostrych niedoborów, ponieważ mniejsze nie powodują zmian w wyglądzie roślin i łanu. Diagnostyka wizualna jest dość trudna, a objawy często nie są jednoznaczne dla niedoboru konkretnego składnika. Zdarza się, że niedoborowi jednego pierwiastka towarzyszy niedobór innego. Podobne efekty w zmianie wyglądu roślin mogą dawać też porażenia przez patogeny. Ułatwieniem w tego typu ocenie mogą być wzorce lub atlasy z uwidocznionymi symptomami niedoboru czy nadmiaru danego pierwiastka. Objawy różnią się między gatunkami i odmianami roślin, uwidaczniają się w różnym stopniu w zależności od ostrości niedoboru konkretnego składnika, jak również mogą zależeć od uwarunkowań środowiskowych.

Istotną rolę w gospodarce mineralnej roślin odgrywają interakcje poszczególnych składników. Występowanie w nadmiarze któregoś z pierwiastków może hamować pobieranie innych. Dobrym przykładem jest konkurencja jonów dwuwartościowych – magnezu i wapnia. Magnez, którego duże nagromadzenie w podłożu zwiększa jego akumulację w roślinie, powoduje jednocześnie ograniczenie pobierania przez rośliny wapnia, co w konsekwencji prowadzi do jego niedoboru. Innym przykładem jest ograniczone pobieranie jonów fosforowych w warunkach nadmiaru jonów azotanowych szczególnie w warunkach wysokiego pH gleby, tj. powyżej 7. Należy o tym pamiętać w trakcie oceny objawów niedoborów składników (6, 12).

Zawartości poszczególnych składników mineralnych w roślinach mogą wahać się w różnych przedziałach, zależą one od warunków środowiskowych, nawożenia, gatunku i odmiany, wieku oraz części rośliny. Przy ustalaniu stanu odżywienia składnikami pokarmowymi metodą wizualną, dobrze jest posiadać dodatkowe informacje o warunkach glebowych, pogodowych czy stosunkach wodno-powietrznych gleby i pH gleby. Niskie temperatury czy susza mogą powodować gorsze pobieranie potasu lub fosforu. Mikroelementy takie jak: żelazo, mangan, miedź, cynk, bor czy kobalt są dobrze pobierane przy kwaśnym lub lekko kwaśnym odczynie gleby, wzrost pH powyżej 6 powoduje ograniczenie pobierania tych składników, nawet przy dostatecznej ich zawartości w glebie. Molibden natomiast zachowuje się odwrotnie – lepiej jest pobierany przy pH powyżej 7 (6, 12). W takich przypadkach zalecane jest uzupełnienie brakujących roślinom składników w formie nawożenia dolistnego.

W tabeli 1 i 2 podano przeciętne zawartości pierwiastków w roślinach oraz objawy ich niedoboru.

Tabela 1

Przeciętne zawartości makroelementów w roślinach oraz objawy ich niedoboru

Pierwiastek	Zawartość (% s.m.)	Objawy niedoboru
Azot (N)	0,1–6,0	hamowanie wzrostu, szczególnie liści, małe krzewienie, chloroza liści starszych, łatwa reutilizacja
Potas (K)	0,5–10,0	plamy chlorotyczne i nekrotyczne (od wierzchołka i brzegów blaszki) na liściach starszych (dolnych), wiotka łodyga, zahamowany wzrost, szczególnie organów spichrzowych i reprodukcyjnych, łatwa reutilizacja
Fosfor (P)	0,04–1,0	zahamowanie wzrostu, szczególnie pędu, w początkowych etapach stymulacja wzrostu korzeni; liście ciemnozielone, często od dolnej strony fioletowopurpurowe, łatwa reutilizacja
Wapń (Ca)	0,2–5,0	drastyczne zahamowanie wzrostu, zamieranie wierzchołków pędów, śluzowacenie pędów, nietypowe chlorozy; deformacja liści, zasychanie wierzchołków liści, szczególnie kapustnych; sucha zgnilizna owoców: pomidora i papryki, gorzka plamistość jabłek; słaba reutilizacja międzyorganowa
Magnez (Mg)	0,5–0,8	chlorozy przechodzące w nekrozy (na liściach dolnych pięter plamy między żyłkami), w skrajnych przypadkach nekroza brzegów liści; hamowanie wzrostu szczególnie korzeni, łatwa reutilizacja
Siarka (S)	0,05–0,8	chloroza całych liści, żyłki czerwone, czasem brak turgoru liści, słaba reutilizacja

Źródło: Starck, 2007 (12)

Tabela 2

Przeciętne zawartości mikroelementów w roślinach oraz objawy ich niedoboru

Pierwiastek	Zawartość (mg·kg ⁻¹)	Objawy niedoboru
Żelazo (Fe)	50–1000	chloroza całych liści młodych, bardzo mała reutilizacja
Miedź (Cu)	1–30	nekrotyczne plamy, niebieskozielona barwa liści, czasem brak turgoru; zaburzenia w formowaniu organów generatywnych, zahamowanie wypełniania ziarniaków zbóż („choroba nowin”) na glebach świeżo wziętych pod uprawę i torfowych
Bor (B)	1–115	nekroza wierzchołka pędu i korzeni; liście kruche, zamieranie kwiatów, brak zawiązywania owoców, owoce niewyrośnięte, skorkowaciałe, spękane; nekrozy floemu; wyjątkowo mało ruchliwy
Cynk (Zn)	20–1500	zahamowanie wydłużania międzywęźli (u drzew), redukcja powierzchni blaszek liściowych; jasnozielone przebarwienia liści starszych
Mangan (Mn)	20–500	mozaikowa chloroza, nekroza międzyżyłkowa, niekiedy smugowate plamy (u zbóż); zahamowanie wzrostu, opadanie liści; mała reutilizacja

Pierwiastek	Zawartość (mg·kg ⁻¹)	Objawy niedoboru
Molibden (Mo)	0,1–2	redukcja rozwoju blaszki liściowej, chloroza młodych liści; zahamowanie brodawkowania i rozwoju roślin motylkowatych, deformacja pędu
Nikiel (Ni)	0,1–1	nekroza wierzchołków liści
Chlor (Cl)	10–5500	chloroza i nekroza liści, redukcja wzrostu liści, nie występuje w warunkach naturalnych; łatwa reutilizacja

Źródło: Starck, 2007 (12)

Polowe metody instrumentalne

Opisane powyżej metody wizualne są metodami subiektywnymi, a przez to nieściśleymi. W praktyce dąży się do obiektywizacji i uniezależnienia wyników pomiarów od obserwatora. Dzięki postępowi technicznemu do oceny zawartości składników mineralnych (głównie azotu) w roślinach można zastosować aparaturę wykorzystującą zjawiska związane z charakterystyką światła (pochłanianie, odbicie). Naukowe podstawy tych metod opierają się o właściwości chlorofilu związane z jego zdolnością do pochłaniania światła tylko o określonych długościach fali i wykorzystywaniu w procesie fotosyntezy. W trakcie wieloletnich Wood i in. (14) wykazali, że zawartość azotu (jednego z głównych czynników plonotwórczych) jest ściśle powiązana z zawartością chlorofilu w liściach roślin. Do metod wykorzystujących tę zależność należą testy SPAD i NDVI.

Z praktycznego punktu widzenia istotną zaletą pomiarów SPAD i NDVI jest łatwość ich wykonania oraz brak konieczności pobierania prób roślinnych i przeprowadzania analiz chemicznych. Pomiaru te są wykonywane bezpośrednio w polu. Jedynym utrudnieniem jest konieczność nabycia aparatów pomiarowych, co generuje pewne koszty. Przyrządy te są jednak obecnie dość łatwo dostępne na rynku.

Test SPAD

Test SPAD (Soil Plant Analysis Development), tzw. indeks zieloności liści albo zawartości chlorofilu, służy do oceny stanu odżywienia roślin azotem. W metodzie tej pomiaru dokonuje się bezpośrednio w polu na liściach roślin bez potrzeby ich zrywania, przy użyciu instrumentu SPAD-502 nazywanego też chlorofilometrem lub N-testerem (rys. 1).

Test SPAD polega na pomiarze różnic pomiędzy ilością światła absorbowanego (o długości fali 650 nm) i przepuszczanego (o długości fali 940 nm) przez tkanę



Rys. 1. N-tester SPAD 502
(fot. D. Wach)

liścia. Iloraz tych różnic, zgodnie z poniższym wzorem, jest indeksem SPAD:

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

Wynik ten, obliczany przez wbudowany mikroprocesor na podstawie 30 prawidłowo wykonanych pomiarów, określa średnią zawartość chlorofilu i jest wyświetlany na ekranie aparatu w formie tzw. jednostek SPAD, w skali 0–800. Przy takim samym stanie odżywienia roślin azotem odczyty SPAD są jednak zróżnicowane pomiędzy gatunkami i odmianami roślin uprawnych. Różnice te są uwarunkowane genetycznie. Dlatego też test ten został skalibrowany w Zakładzie Żywienia Roślin i Nawożenia IUNG-PIB w Puławach. W tabeli 3 przedstawiono przykładowe zróżnicowanie zawartości chlorofilu w liściach odmian pszenicy (wartości SPAD), które podzielono na trzy grupy.

Tabela 3

Charakterystyka niektórych odmian pszenicy ozimej pod względem zawartości chlorofilu

Zawartość chlorofilu					
mała		średnia		duża	
odmiana	SPAD	odmiana	SPAD	odmiana	SPAD
Maltanka	540	Begra	580	Juma	625
Kamila	550	Elena	580	Mewa	628
Gama	557	Emika	595	Kobra	635
Almari	560	Mikon	595	Jawa	640
Liryka	570	Jubilatka	600	Tercja	645
		Rysa	613	Zorza	647
		Korweta	615	Zyta	710
		Mikulka	615		

Źródło: Fotyma, 2002 (4)

Test, aby mógł być wykorzystany do oceny stanu odżywienia roślin azotem, wymaga wyznaczenia krytycznych wartości indeksu odpowiadających optymalnemu stanowi odżywienia tym składnikiem. Jeżeli zmierzone wartości SPAD są niższe od krytycznych, wskazane jest nawożenie uzupełniające. Test SPAD znalazł szczególne zastosowanie w korekcie nawożenia pogłównego roślin uprawnych azotem, szczególnie w fazie strzelania w źdźbło zbóż (BBCH 30-31) (tab. 4).

Tabela 4

Wartości odczytów SPAD dla zbóż w zależności od dawek azotu

Dawka N (kg·ha ⁻¹)	Pszenica ozima		Pszenżyto		Żyto		Pszenica jara	
	SPAD	odch. st.	SPAD	odch. st.	SPAD	odch. st.	SPAD	odch. st.
strzelanie w źdźbło (BBCH 30-31)								
0	369	40	473	98	462	15	364	10
25	443	25	480	70	474	28	405	39
50	486	16	500	70	500	21	450	26
75	532	14	555	49	521	18	474	37
100	545	14	585	42	529	21	500	24
125	560	14	600	42	560	16	510	29
kłoszenie (BBCH 50-51)								
0	335	48	443	80	451	23	417	16
25	392	39	472	82	454	30	478	16
50	445	35	515	54	498	16	520	14
75	495	32	558	49	520	17	555	13
100	540	31	590	60	538	19	565	16
125	570	33	620	46	550	20	598	12

Źródło: Fotyma i Bezdusznik, 2000 (5)

Test NDVI

Test NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) jest podstawowym indeksem roślinnym stosowanym w teledetekcji. U podstaw funkcjonowania wskaźników wegetacji leżą właściwości występujących w każdej roślinie barwników asymilacyjnych oraz ich zdolności do absorpcji i odbicia promieniowania elektromagnetycznego. Rośliny mają zdolność do pochłaniania promieniowania w zakresie długości fali 400–700 nm, czyli w zakresie światła widzialnego. Maksimum absorpcji dla chlorofilu przypada w obrębie światła czerwonego (650–720), tzn. w obszarze aktywnym fotosyntetycznie. Wartość odbicia tego promieniowania przez rośliny dobrze zaopatrzone w substancje odżywcze wynosi tylko kilka procent. Każdy stres powodujący zmniejszenie zawartości chlorofilu w roślinie powoduje redukcję absorpcji światła, przy jednoczesnym zwiększeniu odbicia promieniowania czerwonego.

Znormalizowany Wskaźnik Wegetacji (NDVI) wyrażany jest wzorem:

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

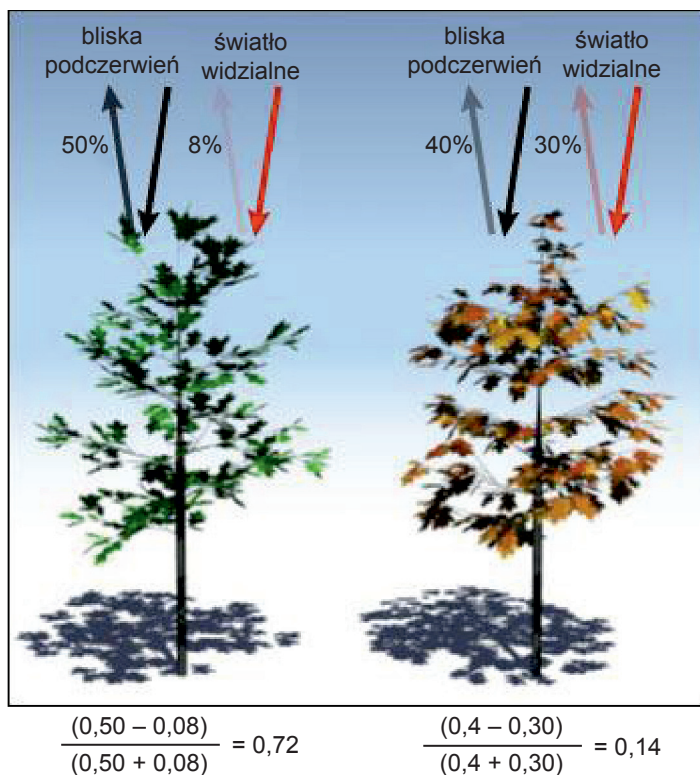
gdzie:

R – wartość odbicia promieniowania w paśmie czerwonym,

NIR – wartość odbicia promieniowania w bliskiej podczerwieni.

Wskaźnik NDVI przyjmuje wartości od –1 do 1. Typowy przedział wskaźnika dla roślin waha się od 0,4 do 0,9. Rysunek 2 przedstawia zasadę tworzenia wskaź-

nika NDVI. Rośliny w dobrej kondycji (odżywione, bez działających na nie stresów) pochłaniają ponad 92% światła widzialnego, a odbiją 50% promieniowania podczerwonego – NDVI = 0,72 (wg rys. 2). Gdy stan równowagi w roślinie zostaje zachwiany lub jest pod działaniem niekorzystnych czynników, relacje te zmieniają się. Fotosyntetycznie pochłonięte (promieniowanie widzialne) zostaje już tylko 70% i jednocześnie zmniejsza się do 40% (NDVI = 0,14) ilość światła odbitego w zakresie bliskiej podczerwieni.



Rys. 2. Zasada tworzenia wskaźnika zieleni NDVI

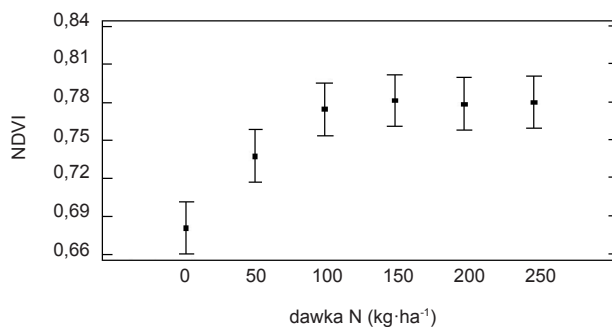
Źródło: Mikołowicz, 2008 (9)

Przykładem urządzenia wykorzystywanego do pomiaru wskaźników wegetacji jest GreenSeeker produkowany przez firmę NTech (rys. 3). Przyrząd emituje promieniowanie o długości fali 600 nm (czerwień) oraz 770 nm (bliska podczerwień). Detektor rejestruje promieniowanie odbite od roślin. Wartości te przeliczane są na wskaźniki zieleni i zapisywane w pamięci wewnętrznego komputera.



Rys. 3. Urządzenie do pomiaru wskaźników wegetacji (GreenSeeker, NTech Instruments Inc.)
Źródło: Mikołowicz, 2008 (9)

Test NDVI służy głównie do oceny stanu i kondycji łanu roślin, ale może być również używany do określenia stanu odżywienia azotem. Wyniki wielu badań mających na celu określenie relacji pomiędzy zawartością azotu w roślinach, zawartością chlorofilu a charakterystyką promieniowania odbitego od roślin wykazały zależności pomiędzy nawożeniem azotem a charakterystyką spektralną roślin zbożowych (13, 15). Stwierdzono również istotny wpływ dawki N na zawartość chlorofilu w roślinach (14) oraz istotną zależność pomiędzy zawartością chlorofilu w roślinach a ich wskaźnikami wegetacji (11, 15) (rys. 4).



Rys. 4. Wpływ dawki N na wskaźnik NDVI mierzony instrumentem GreenSeeker
Źródło: Mikołowicz, 2008 (9)

Wskaźnik NDVI znalazł szczególne zastosowanie w rolnictwie precyzyjnym. Urządzenia mierzące ten wskaźnik są montowane na ciągnikach i połączone z komputerem sterującym rozsiewaczem bądź opryskiwaczem. Pozwala to korygować dawkę nawozu lub środka ochrony roślin w trakcie zabiegu agrotechnicznego.

Metody chemicznej analizy roślin

Trzecią grupą metod oceny stanu odżywienia roślin są metody bezpośrednie, oparte na analizach chemicznych. Określają one dokładne zawartości poszczególnych składników pokarmowych w roślinach i pozwalają na wykrycie nawet nieznacznych niedoborów, których nie można zaobserwować za pomocą metod wizualnych.

Jak wspomniano wcześniej, zawartości poszczególnych pierwiastków w trakcie wzrostu i rozwoju roślin ulegają ciągłym zmianom. Wraz z wiekiem rośliny udział trzech głównych makroskładników: azotu, fosforu i potasu maleje, a zawartość makroskładników drugoplanowych, tj. wapnia, magnezu i siarki oraz mikroskładników – na ogół wzrasta. Również poszczególne części i organy roślin wykazują zróżnicowanie zawartości składników mineralnych. Dlatego należy pamiętać, że w metodach bezpośrednich istotnymi elementami w trakcie interpretacji wyników analiz są: wiek (faza rozwojowa) rośliny, część (organ), a nawet sposób pobrania prób roślinnych.

Analizy chemiczne na zawartość składników pokarmowych pozwalają określić całkowitą zawartość badanego składnika lub też jego formę w wybranych częściach wskaźnikowych roślin, np. w liściach czy korzeniach oraz w całych częściach nadziemnych roślin. Uzyskane wyniki podaje się w procentach zawartości (dla makroelementów) lub w $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (dla mikroelementów), najczęściej w odniesieniu do suchej masy. Analizy chemiczne zawartości pierwiastków wykonuje się w masie roślin oraz niekiedy w soku komórkowym.

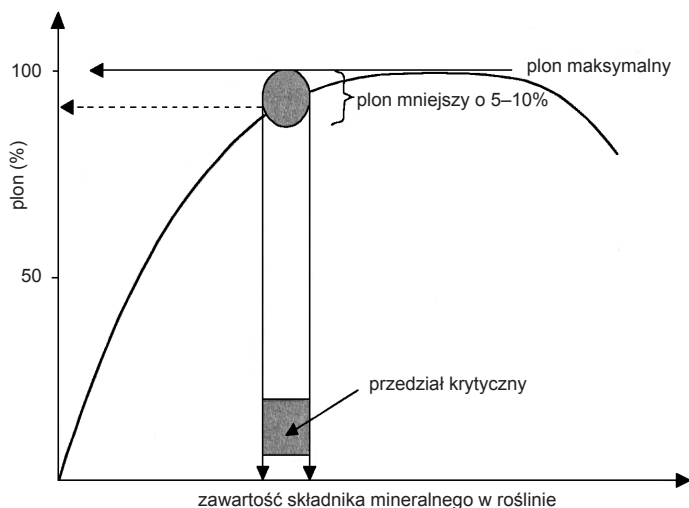
Pomiary w masie roślin

Metody te są najdokładniejszymi z omówionych metod, niestety posiadają kilka niedogodności. W celu poprawnego określenia zawartości składników pokarmowych i właściwej interpretacji wyników analiz należy zachować określone procedury pobierania (określona faza i część wskaźnikowa rośliny) i suszenia prób, gdyż w badaniach polowych trudne jest określanie zawartości pierwiastków w świeżej masie. Wśród tych metod można wymienić kilka najczęściej stosowanych w praktyce, tj.: metoda przedziałów krytycznych, test NNI, metoda DRIS.

Metoda przedziałów krytycznych

Przedział krytyczny określa w roślinie poziom zawartości składnika pokarmowego, który zapewnia uzyskanie plonu, lub szybkości wzrostu rośliny na poziomie 95–100% wartości maksymalnych. Koncepcja przedziału krytycznego zakłada istot-

ny wpływ fazy rozwojowej rośliny i określonego jej stanu odżywienia na realizację 95–100% plonu maksymalnego uprawianej odmiany, zgodnie ze schematem na rysunku 5.



Rys. 5. Graficzna ilustracja przedziału krytycznego składnika mineralnego w roślinie

Źródło: Grzebisz, 2008 (7)

Przedział krytyczny (przedział zawartości optymalnych) dla gatunku wyznaczany jest za pomocą dwóch parametrów oceny szybkości wzrostu rośliny: względnej szybkości wzrostu (RGR – relative growth rate) i absolutnej szybkości wzrostu łanu (ACGR – absolute crop growth rate). Wskaźniki te służą do wyznaczania dwóch faz krytycznych tej samej rośliny. Dla zbóż RGR osiąga największe wartości w końcu fazy krzewienia (BBCH 28-29), a ACGR w fazie od początku ukazywania się jęczyczka liścia flagowego (BBCH 37) do końca kłoszenia (BBCH 59). W obu tych fazach krytycznych azot pełni określone funkcje plonotwórcze. W pierwszej – koniec fazy krzewienia – azot buduje potencjał plonowania (wpływa na wzrost liczby źdźbeł na jednej roślinie i liczby kłosek w kłosie), w drugiej, tj. od końca fazy strzelania w źdźbło do początku kłoszenia, kiedy ustala się rzeczywista struktura plonu ziarna, azot kontroluje tempo redukcji liczby kłosek w kłosie oraz płodnych kwiatków w kłosie. Z praktycznego punktu widzenia, o ile podanie azotu w pierwszym terminie (gdy wynik analizy chemicznej jest poniżej przedziału krytycznego) istotnie wpłynie na tworzenie elementów struktury plonu, o tyle w drugim, już tylko skoryguje wcześniej ustalony poziom plonowania (7).

W tabeli 5 przedstawiono przedziały krytyczne zawartości różnych pierwiastków dla wybranych roślin uprawnych.

Tabela 5

Przedziały krytyczne zawartości składników pokarmowych w suchej masie dla niektórych roślin uprawnych

Faza rozwojowa, Termin	Makroelementy (% s.m.)					Mikroelementy (mg·kg ⁻¹)			
	N	P	K	Ca	Mg	B	Mo	Cu	Mn
pszenica ozima, wszystkie nadziemne części roślin powyżej 5–8 cm wysokości									
Strzelanie w źdźbło, liść flagowy (35-37 BBCH)	2,3–3,8	0,25–0,5	3,3–4,5	0,35–1,0	0,1–0,23	5–10	0,1–0,3	5–10	30–100
kukurydza, wszystkie liście w pełni rozwinięte									
Rośliny o wysokości 40–60 cm	3,5–5,0	0,35–0,6	3,0–4,5	0,3–1,0	0,25–0,5	7–15	0,2–0,5	7–15	40–100
ziemniak, wszystkie liście w pełni rozwinięte									
Początek kwitnienia	5,0–6,5	0,4–0,6	5,0–6,6	0,6–2,0	0,25–2,8	25–70	0,2–0,5	7–15	40–300

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Bergman, 1992 (1) oraz Reuter i Robinson, 1997 (10)

Test NNI

Test NNI – indeks odżywienia azotem (Nitrogen Nutrition Index), służy do oceny stanu odżywienia roślin azotem i stanowi uściślenie metody przedziałów krytycznych. Zgodnie z teoretyczną podstawą tego testu, według Lemaira (8) przyjmuje się, że w rozwoju ontogenetycznym roślin istnieje ścisła zależność pomiędzy zawartością azotu i nagromadzoną suchą masą.

Test NNI wyrażany jest jako iloraz aktualnej i krytycznej zawartości azotu w roślinach, przy określonym plonie ich suchej masy według następującego wzoru:

$$\text{NNI} = \text{N akt} / \text{N kryt}$$

gdzie:

N akt – aktualna zawartość N w roślinie,

N kryt – krytyczna zawartość N w roślinie,

Krytyczną zawartość azotu oblicza się ze wzoru:

$$\text{N kryt} = a(\text{SM})^b$$

gdzie:

N kryt – zawartość azotu ogólnego w suchej masie roślin optymalnie odżywionych azotem,

SM – plon suchej masy (t·ha⁻¹),

a i b – współczynniki równania.

Wartość ilorazu pomiędzy zawartością aktualną i krytyczną azotu bliska jedności świadczy o optymalnym odżywieniu roślin tym pierwiastkiem. Jeżeli zawartość azotu w pobranej próbce jest mniejsza od krytycznej (wartość NNI < 1), świadczy to o niedostatecznym stanie odżywienia roślin tym składnikiem. Trzeba wówczas zastosować uzupełniającą dawkę azotu.

Interpretacja testu NNI nie jest związana z fazą rozwojową zbóż, ale próbka roślinna musi być pobrana w sposób ilościowy, ponieważ konieczne jest oznaczenie aktualnego plonu suchej masy. W celu oceny stanu odżywienia roślin azotem należy również oznaczyć aktualną zawartość azotu ogólnego, a także dysponować odpowiednią krzywą krytyczną (tab. 6).

Tabela 6

Wartości wskaźników NNI dla zbóż w zależności od dawek azotu

Dawka N (kg·ha ⁻¹)	Pszenica ozima		Pszenżyto ozime		Żyto		Pszenica 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 (5)

Metoda DRIS

Istotą metody DRIS (Diagnosis and Recommendation Integrated System), określanej inaczej jako Zintegrowany System Diagnozy i Zaleceń, są relacje pomiędzy zawartościami poszczególnych pierwiastków występujących w roślinie. Procedura diagnostyczna składa się z dwóch etapów: obliczania indeksów oraz interpretacji uzyskanych norm DRIS. Indeksy DRIS są względną miarą niedoboru lub nadmiaru składników pokarmowych w badanej roślinie w stosunku do przyjętej normy. Normy DRIS są to stosunki składników pokarmowych dla populacji o wysokich plonach, uwzględniające gatunek i fazę rozwojową rośliny. Podaje się je w formie dwóch liczb: średniej arytmetycznej i współczynnika zmienności lub wariancji (tab. 7).

Podstawowym założeniem metody DRIS jest odniesienie uzyskanych wyników, przedstawiających rzeczywiste relacje zachodzące między pierwiastkami, do ściśle zdefiniowanych stosunków w grupie wysokich plonów. Prowadzona ocena sprowadza się do poszukiwania pierwiastka lub pierwiastków, które z powodu niedoboru lub nadmiaru zakłócają stan równowagi żywieniowej rośliny.

Metoda DRIS opiera się na założeniu, że suma indeksów z uwzględnieniem znaków zawsze równa się zero. Duża (powyżej 15) wartość bezwzględna sumy indek-

sów świadczy o niezrównoważonym stanie odżywienia rośliny. Metoda ta pozwala również uszeregować indeksy od najmniejszych (ujemnych) do największych (dodatnich), co odpowiada uszeregowaniu pierwiastków od największego niedoboru do największego nadmiaru.

Tabela 7

Normy DRIS dla pszenicy i żyta w warunkach Polski

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	72,440	27,87	32,692
p/k	0,12	0,000	0,14	0,000
p/ca	1,06	0,145	1,23	0,120
p/mg	3,82	2,264	4,08	6,655
k/ca	9,09	8,035	8,80	8,971
k/mg	31,76	45,825	29,08	46,76
ca/mg	3,68	0,687	3,48	0,682

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

Źródło: Faber i in., 1988 (3)

Pomiary w soku komórkowym roślin

Pomiary w soku komórkowym, w przeciwieństwie do pomiarów w masie rośliny, posiadają tę zaletę, że nie muszą być przeprowadzane w warunkach laboratoryjnych (pomimo istnienia metod analitycznych do tego typu analiz). Jest to możliwe dzięki rozwojowi techniki i dostępności na rynku przenośnych aparatów do pomiaru zawartości pierwiastków w soku komórkowym roślin.

Przykładem takiego urządzenia jest aparat Cardy K+ meter firmy Spectrum Technologies (rys. 6). Jest to przenośny aparat służący do pomiaru zawartości potasu w tkankach roślinnych, glebie, owocach (dostępne są również wersje do pomiaru jonów azotanowych, sodowych i wapniowych). Zaopatrzony jest on w wysoce selektywną płaską jonoelektrodę przepuszczalną tylko dla jonów potasowych. Pomiar przy użyciu tego aparatu jest prosty, szybki i dokładny; wymaga tylko niewielkiej ilości, tj. dwie, trzy krople badanej substancji w postaci płynnej. W celu wykonania poprawnego pomiaru należy przeprowadzić dwupunktową kalibrację aparatu przy użyciu roztworów standardowych (załączanych do urządzenia), zakropić badany roztwór, np. wyciśnięty sok z łodygi rośliny i odczytać wynik pomiaru na wyświetlaczu. Przykładowe zawartości potasu w soku komórkowym uzyskane przy użyciu aparatu Cardy K+ meter u wybranych roślin uprawnych przedstawia tabela 8.



Rys. 6. Cardy K+ meter, Spectrum Technologies
(fot. D. Wach)

Tabela 8

Zawartości K w soku komórkowym pobranym z ogonków liściowych wybranych roślin uprawnych

Uprawa	Faza rozwojowa	Zawartość K (ppm)
Papryka	pierwsze pąki kwiatowe	3200–3500
	pierwsze otwarte kwiaty	3000–3200
	połowa dojrzałości	3000–3200
	pierwszy zbiór	2400–3000
	drugi zbiór	2000–2400
Ziemniak	pęd o długości 20 cm	4500–5000
	pierwsze otwarte kwiaty	4500–5000
	50% otwartych kwiatów	4000–4500
	100% otwartych kwiatów	3500–4000
	opadanie łodyg	2500–3000
Arbuz	pęd o długości 15 cm	4000–5000
	owoc o długości 5cm	4000–5000
	połowa dojrzałości	3500–4000
	pierwszy zbiór	3000–3500

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z Cardy Potassium K+ meter Manual (2)

Podsumowanie

Ocena stanu odżywienia roślin składnikami mineralnymi w trakcie ich wegetacji ma na celu wykrywać nieprawidłowości w żywieniu uprawianych roślin. Dzięki dostępności różnych metod oceny, a zwłaszcza metod polowych, można szybko ocenić stan odżywienia roślin, ułatwiając rolnikowi podjęcie decyzji o zastosowaniu dawki korygującej nawożenia w celu uzyskania zadowalającego plonu części użytkowych. Niestety ze względu na naturę fosforu i potasu możliwości interwencyjne korekcji odżywienia tymi składnikami są znacznie mniejsze niż azotem i niektórymi mikroelementami (B, Cu, Mn, Zn). Nawożenie interwencyjne w trakcie wegetacji podaje się najczęściej dolistnie w formie płynnej. Zastosowanie mocznika i mikroelementów zwłaszcza w formie schelatowanej, w postaci dolistnego dokarmiania roślin, pozwala tym składnikom pokarmowym szybko wnikać do wnętrza rośliny i wykazać działanie nawozowe.

Literatura

1. B e r g m a n W.: Nutritional disorders of plants: development, visual and analytical diagnosis. Gustav Fisher Verlag Jena, Stuttgart, New York, 1992, ss. 741.
2. Cardy Potassium K+ meter Manual, Spectrum Technologies, Inc., ss. 9.
3. F a b e r A., F i l i p i a k K., K r y s z k o w s k a T.: Zalecenia Nawozowe. cz. III Kontrola stanu odżywienia roślin metodą DRIS. IUNG, Puławy 1988, **P(37)**: 1-35.
4. F o t y m a E.: Zróżnicowanie odmianowe zawartości chlorofilu w liściach zbóż ozimych. Pam. Puł., 2002, **130**: 171-178.
5. 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.
6. F o t y m a M., M e r c i k S.: Chemia rolna. Wyd PWN. Warszawa 1995, ss. 355.
7. G r z e b i s z W.: Nawożenie roślin uprawnych. Cz. 2. PWRiL Poznań, 2008, ss. 131-141.
8. L e m a i r e G., C r u z P., G o s s e G., C h a r t i e r M.: Study on the relationship between the nitrogen uptake dynamics and dry matter dynamics of alfalfa (*Medicago sativa* L.). Agronomy (In French), 1985, **5**: 685-692.
9. M i k o ł o w i c z P.: Porównanie trzech metod oznaczania indeksu NDVI w łanie roślin. Fragm. Agron., 2008, **98**: 3-107.
10. R e u t e r D.J., R o b i n s o n J.B.: Plant analysis an interpretation manual. CSIRO Australia, 1997, ss. 572.
11. S i m s D.A., G a m o n J.A.: Relationship between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. Remote Sensing of Environment, 2002, **81**: 337-354.
12. S t a r c k Z.: Rola składników mineralnych w roślinie. W: Fizjologia roślin, J. Kopcewicz i S. Lewak (red.), 2007, ss. 228-245.
13. W a l b u r g G., B a u e r M.E., D a u g h t r y C.S.T., H o u s l e y T.L.: Effect of nitrogen nutrition on the growth, yield and reflectance characteristic of corn canopies. Agron. J., 1982, **74**: 667-683.

14. Wood C.W., Reervers D.W., Himelrick D.G.: Relationship between chlorophyll meter readings and leaf chlorophyll concentration, N status and crop yield: a review. Proc. Agron. Soc New Zeland, 1993, **23**: 1-9.
 15. Yoder B.J., Pettigrew-Crosby R.E.: Predicting nitrogen and chlorophyll content and concentrations from reflectance spectra (400–2500 nm) at leaf and canopy scales. Remot. Sens. Environ., 1995, **53**: 199-211.
-

Adres do korespondencji:

mgr Damian Wach
Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel. (81) 886 34 21 w. 223
e-mail: dwach@iung.pulawy.pl