

WACŁAW BOGUSZEWSKI
Pracownia Nawożenia IUNG — Puławy

NAWOŻENIE ZBÓŻ WYSOKIMI PODZIELONYMI DAWKAMI AZOTU

Nawożenie azotem zbóż do niedawna, przy ograniczeniu do dawek rzędu około 30 kg N na ha, stosowano przeważnie jednorazowo przed siewem zbóż jarych i przy ruszaniu wegetacji ozimych. W przypadkach podziału nawożenia na 2 terminy drugi termin następował stosunkowo szybko w 2—3 tygodnie po pierwszym. Podział nawożenia w tym ujęciu albo nie dawał efektu pozytywnego, albo efekt ten był na tyle słaby, że nie usprawiedliwiał stosowania dodatkowego zabiegu (5). W miarę wzrostu intensywności nawożenia azotowego nasuwało się jednakże pytanie, czy słuszny jest przyjęty system nawożenia i czy nie należy przesunąć dodatkowych dawek azotu na okres późniejszy. Odpowiednia rewizja poglądów rozpoczęła się w latach trzydziestych (47), a po wojnie zagadnienie późnych dawek azotu budzi coraz szersze zainteresowanie.

Racjonalne nawożenie powinno zależeć z jednej strony od zapotrzebowania roślin na składniki pokarmowe i zdolności ich przyswajania, z drugiej strony od zawartości tych składników w glebie w stanie przyswajalnym. Rozpatrzmy obydwie strony zagadnienia w odniesieniu do nawożenia zbóż azotem.

POBIERANIE AZOTU

Poszczególni badacze przedstawiają przebieg pobierania azotu przez rośliny zbożowe w wariantach znacznie różniących się między sobą (21, 22, 25, 38, 50); jednak wszyscy są zgodni, że pobieranie tego składnika rozpoczyna się niemal bezpośrednio po wzejściu roślin, intensywnie wzrasta w czasie krzewienia i trwa aż do mleczej dojrzałości, czyli trwa dłużej niż pobieranie fosforu i potasu. Po wykłoszeniu rośliny pobierają jeszcze 30%, a według niektórych badaczy 40% ilości azotu przyswajanego w ciągu całego okresu wegetacji.

Zaopatrzenie w azot powinno harmonizować nie tylko ze wzrostem rośliny i ściśle związanym z nim ilościowym zapotrzebowaniem na ten składnik, ale również z jej rozwojem. Powinny być uwzględnione okresy krytyczne, w których dostateczne zaopatrzenie jest szczególnie ważne.

Różnicowanie się organów generatywnych następuje u zbóż bardzo wcześnie, już w fazie trzeciego liścia, co się zbiega w przybliżeniu z początkiem krzewienia. W tym czasie następuje tzw. „double ridge stadium” — początek formowania kłosa (8, 9, 10, 26, 28, 46). Niedostatek składników pokarmowych w tej fazie odbija się na ilości kłosków, a więc na późniejszym wykształceniu kłosa. Heyland (23) stwierdził w kulturach wodnych jęczmienia, że w późniejszych fazach wzrostu wstrzymanie przez krótki okres zaopatrzenia roślin w składniki pokarmowe może nawet wpłynąć dodatnio na plon, natomiast w fazie 2—3 liści powodowało obniżenie plonu ziarna o 39—100%.

Zaczątki kwiatków formują się w 2—3 tygodnie po zróżnicowaniu kłosków, ilość ich osiąga maksimum już po wystrzeleniu w źdźbło, podczas silnego wydłużania kłosa. Potem w czasie kłoszenia następuje raptowna ich redukcja; odpowiednie nawożenie w tym czasie może wpływać na liczbę owocujących kwiatków, a więc i na liczbę ziarn w kłosie (46). Przy dalszym opóźnianiu, aż do kwitnienia, nawożenie wywiera coraz mniejszy wpływ na liczbę ziarn w kłosie, może natomiast wywoływać niewielki wzrost plonu wskutek zwiększenia wagi 1000 ziarn oraz poprawienie jakości plonu wskutek zwiększenia zawartości białka. Coic wyróżnia trzy okresy zapotrzebowania rośliny na nawożenie azotowe związane z fazami rozwojowymi: 1) faza krzewienia — nawożenie wpływa na zwiększenie powierzchni asymilacyjnej, ilość źdźbeł, a więc i kłosów, a w pewnej mierze i na wielkość kłosa; 2) faza strzelania w źdźbło — nawożenie jeszcze wpływa na ilość kłosów i w większej mierze na liczbę ziarn w kłosie i 3) początek kwitnienia — nawożenie wpływa już mniej na plon, ale w dużej mierze na jakość plonu (16, 27).

Zdolność rośliny przyswajania składników pokarmowych jest przed krzewieniem mała, gdyż system korzeniowy jest wtedy jeszcze słaby i obejmuje tylko niewielką część masy gleby. Chociaż rośliny pobierają wówczas niewiele składników pokarmowych, potrzebują stosunkowo wysokiej ich koncentracji w roztworze glebowym. Na tym właśnie polega dodatnie działanie rzędowego umieszczenia nawozów, przede wszystkim fosforowych, a w niektórych okolicznościach i azotowych (5), że w pobliżu korzeni wytwarza się większa koncentracja odpowiednich składników. Po rozkrzewieniu powierzchnia korzeni silnie wzrasta i roślina zadowala się niższą koncentracją składników pokarmowych w glebie.

DYNAMIKA PRZYSWAJALNEGO AZOTU W GLEBIE

Przejdźmy do drugiej strony zagadnienia — do dynamiki mineralnych związków azotu w glebie. Azot występuje w glebie w zasadzie w związkach organicznych. Według Demolon'a w glebach Francji podlega rocznie mineralizacji około 1% azotu (17). Przy zawartości próchni-

cy 1—2%, stanowiłyby to w przeliczeniu na warstwę rodzajną gleby o miąższości 20 cm 15—30 kg N na ha. Są to liczby tylko orientacyjne, prawdopodobnie nieco zaniżone, dające pojęcie o rzędzie wielkości. Oczywiście przy intensywnym poprzednim nawożeniu, po zastosowaniu obornika lub po roślinach motylkowych, ilość azotu mineralizującego się wzrasta bardzo silnie. W wyniku mineralizacji występuje w glebie azot amonowy, potem wskutek procesów nitryfikacyjnych azot azotanów. Równoległe do mineralizacji zachodzi w glebie przeciwstawny proces syntezy biologicznej. Te dwa procesy przebiegają z różnym nasileniem w zależności od pory roku, sposobu użytkowania roli i stosowanych upraw (3, 53).

Zawartość azotu amonowego ulega według niektórych autorów stosunkowo małym wahaniom (45), przeważnie jednak są stwierdzane znaczne różnice w zależności od pory roku (19,52). Zawartość azotanów jest z reguły bardzo zmienna i po ustąpieniu zimy bywa niska, co wynika z sorpcji biologicznej azotu w jesieni, przesuwania się azotanów do podglebia lub bezpowrotnego wypłukiwania w okresach dużej wilgotności i zahamowania nitryfikacji w chłodnej porze roku (3, 19, 24, 52). Później zawartość azotanów w glebie ugorującej stopniowo wzrasta, osiągając maksimum w drugiej połowie lata w związku z energicznym przebiegiem mineralizacji materii organicznej i nitryfikacji. Wzrost zawartości $N - NO_3$ w miarę ocieplenia jest intensywny także pod roślinami okopowymi i jeszcze dość wyraźny, tylko z wcześniejszym maksimum, pod jarymi zbożowymi, mało wyraźny jest natomiast pod oziminami (3, 24, 56). Przyczyną małej ilości azotanów w glebie pod oziminami jest, obok zahamowania procesów nitryfikacyjnych, wynikającego z braku przewietrzenia zleżalej i okrytej roślinnością roli, także szybkie wykorzystanie powstających azotanów przez rośliny, które zaczynają intensywnie pobierać azot już wczesną wiosną. Podczas ostrzejszych zim gleba zamarza głęboko i ogrzewa się na wiosnę wolno. Procesy mineralizacji i nitryfikacji związków azotowych następują późno, podczas gdy powietrze już jest ogrzane i wegetacja roślin staje się intensywna.

Poglądy na rolę azotu amonowego i azotanowego w żywieniu roślin nie są zupełnie zgodne. Po długich sporach na przełomie XIX i XX stulecia Prjanisznikow ostatecznie dowiódł, że w zasadzie te dwa źródła azotu są dla roślin równorzędne. Zakres warunków sprzyjających dobremu wykorzystaniu azotu amonowego jest jednak znacznie węższy, przede wszystkim azot amonowy jest pobierany i wykorzystywany gorzej w warunkach kwaśnego odczynu. Poza tym równorzędność tych dwóch źródeł azotu ma miejsce raczej w warunkach sztucznych kultur wodnych albo wazonowych. W polu sorpcja jonu amonowego przez koloidy glebowe obniża jego ruchliwość i szybkość pobierania przez rośliny

(2, 17, 52). W nowszych badaniach stwierdzono, że poza sorpcją wymienną jony amonowe ulegają częściowo sorpcji niewymiennej i są wtedy prawie niedostępne dla roślin (51). Wydaje się, iż jest to główny powód obserwowanego w praktyce i w badaniach, a nie zawsze słusznie tłumaczonego wolniejszego działania soli amonowych w porównaniu z saletrami.

Sokołow (52) cytuje doświadczenie Bołotnej, w którym z jednej z dwóch sąsiednich parcel, jednakowo uprawionych i obsianych, usunięto rośliny. Po pewnym odstępie czasu stwierdzono jednakowe przyrosty ilości azotu w roślinach na jednej parceli i ilości azotu azotanowego w glebie drugiej parceli, z której usunięto rośliny. Obserwacja ta nasuwa wniosek, że rośliny żywiły się niemal wyłącznie azotem azotanów. Wozbuckaja (57) przeprowadziła doświadczenie na 2 parcelach o dobrej, w przybliżeniu jednakowej zasobności w azot amonowy i o różnej, przy tym znacznie mniejszej, zawartości azotu azotanowego. Pobranie azotu przez rośliny na glebie z większą zawartością $N - NO_3$ było znacznie wyższe. Wynik ten również przemawia za tym, że rośliny przede wszystkim korzystają z azotanów. Przyjmując te poglądy, łatwo można wytłumaczyć, dlaczego wczesną wiosną rośliny odczuwają głód azotowy. Niską zawartość azotanów w późniejszym okresie w glebie zajętej roślinami można tłumaczyć szybkim pobieraniem przez rośliny azotanów w miarę ich wytwarzania.

CELE I ZASADY DODATKOWEGO PÓZNEGO NAWOŻENIA ZBÓŻ AZOTEM

Na początku wegetacji zbóż jarych oraz przy wznowieniu wegetacji zbóż ozimych na wiosnę zawartość azotanów w glebie jest niska i procesy nitryfikacji w związku z niską jeszcze temperaturą gleby są mało intensywne. System korzeniowy zbóż jarych, a niekiedy i zbóż ozimych, jest jeszcze słaby i rośliny potrzebują stosunkowo wysokiej koncentracji związków azotowych w glebie. Poprzednio wyjaśniliśmy, że dobre zaopatrzenie roślin zbożowych w azot we wczesnych fazach wzrostu jest ważne także z powodu wpływu na wytworzenie organów generatywnych. Tłumaczy to dlaczego wczesne nawożenie azotem zbóż jarych i dokarmianie wczesną wiosną zbóż ozimych ma podstawowe znaczenie.

Przy stosowaniu w tym okresie umiarkowanego nawożenia do 40 kg azotu na ha zabezpieczamy potrzeby roślin na początku wegetacji wiosennej. W okresie późniejszym rosnące zapotrzebowanie roślin na azot zostaje pokryte wskutek uruchomienia związków azotowych gleby (mineralizacja i nitryfikacja). To źródło azotu było wystarczające do osiągnięcia średniego poziomu plonów. Przy dalszym podnoszeniu poziomu plonów zapotrzebowanie roślin zbożowych na azot w okresie intensy-

wnego wzrostu staje się na tyle duże, iż uruchomienie azotu zawartego w glebie nie wystarcza i zachodzi konieczność dodatkowego nawożenia. Z przytoczonych danych wynika, że dodatkową dawkę azotu należałoby stosować w okresie późniejszym, przynajmniej w fazie strzelania w źdźbło, kiedy pobieranie tego składnika jest intensywne, a wiosenne nawożenie zostało już wykorzystane. Za późniejszym dokarmianiem zbóż azotem przemawiają i inne okoliczności. Wczesne dawki azotu, pobudzając roślinę do dodatkowego krzewienia, wywołują nadmierne zagęszczenie, w znacznej części nieproduktywne (źdźbła płone), co znów powoduje wyleganie zbóż. Poza tym w miarę wzrostu intensywnego nawożenia rolnictwo coraz bardziej interesuje się wpływem nawożenia na jakość plonu. Już podawaliśmy, że późne dawki azotu mogą okazać się mniej efektywne we wpływie na plon roślin, ale wpływają istotnie na zwiększenie zawartości tego składnika w ziarnie.

Systematyczne badania nad efektem stosowania późnych dawek azotu rozpoczął Selke w 1934 r. w Lauchstädt (Niemcy) i kontynuował je do ostatnich lat z 4 gatunkami zbóż (47, 48 49). Podczas drugiej wojny światowej i po wojnie badania nad tym zagadnieniem zostały podjęte w większości krajów Europy Zachodniej: w Austrii przez Linsera i Primosta z różnymi odmianami pszenicy ozimej i w mniejszym zakresie z odmianami żyta (29—31, 41—44), we Francji przez Coic'a z pszenicą ozimą (11—15), w Holandii przez Dobrena z pszenicą i żytem (18), w Niemczech poza Selke'm przez Ansorge (1), Vettera (55), Buchnera i innych (40). W Polsce pierwsze prace nad tym zagadnieniem przeprowadził Terlikowski (54), potem Listowski (34) i Boguszewski (6, 7).

Selke stosował w pierwszych pracach dawki 20 kg N i 40 kg N przed kwitnieniem i bezpośrednio po kwitnieniu pszenicy, owsa i jęczmienia jarego, osiągając istotny wzrost plonu ziarna o 1—2 q na ha tylko w części doświadczeń i istotny wzrost zawartości białka w większości wypadków. Efektywność późnego dokarmiania azotem zależała od przebiegu pogody (47). W ten sposób została stwierdzona skuteczność nawet bardzo późnych dawek azotu jeżeli nie w plonie zbóż, to w zawartości białka. Nasuwało się jednak do zbadania szereg zagadnień: stosunek nawożenia dodatkowego do podstawowego, terminy nawożenia dodatkowego, wysokość dawek, wpływ na strukturę plonu i wyleganie zbóż itd.

Należy podkreślić, że późne dawki azotu mają być dawkami dodatkowymi, uzupełniającymi nawożenie podstawowe, a nie zamieniającymi to ostatnie. Jako nawożenie podstawowe należy traktować wczesną wiosenną dawkę azotu podczas ruszania zbóż ozimych, względnie przed siewem jarych. Zasada ta wyraźnie wynika z dwóch przykładów z badań Coic'a (11, 15) nad nawożeniem pszenicy (tabela 1).

Tabela 1

Nawożenie w terminach		Doświadczenie wazonowe		Doświadczenie polowe	
wczesnym	późnym	plon w g	efekt późnej dawki	plon w q	efekt późnej dawki
—	—	33,7		17,7	
N	—	44,0		29,6	
—	N	36,3	2,6	19,4	1,7
N	N	51,7	7,7	32,8	3,2

W jednym i drugim wypadku efekt późnej dawki był znacznie wyższy na tle nawożenia zastosowanego w terminie wczesnym. Podobne wyniki otrzymano także w innych badaniach (18, 48).

Wczesne podstawowe nawożenie wpływa na zwiększenie zagęszczenia roślin, a więc i liczby kłosów, na wykształcenie większej liczby kłosek oraz na wytworzenie odpowiednio dużej powierzchni asymilacyjnej. Daje to roślinom potencjalne możliwości wydania wysokiego plonu ziarna. Warunkiem wykorzystania tych możliwości jest jednak dostateczne zaopatrzenie roślin w azot w okresie późniejszym. Dlatego właśnie w tych warunkach można oczekiwać dobrego efektu późnego dokarmiania azotem. I odwrotnie — rośliny, które miały niedostateczne zaopatrzenie w azot na początku wegetacji, mają obniżone zapotrzebowanie w późniejszych fazach wzrostu i mogą nie wykazać wysokiej reakcji na późne dawki azotu.

Rzecz oczywista, późne dokarmianie azotem nie daje dobrego efektu w warunkach intensywnej mobilizacji azotu w glebie. Ma to miejsce na glebach żyznych w dobrej kulturze, albo też po przedplonie zostawiającym resztki poźniwne zasobne w azot. Np. w doświadczeniu Linsera i Primosta przy stosowaniu nawożenia azotowego w 3 terminach osiągnięto plony pszenicy podane w tabeli 2 (31).

Tabela 2

	Po kukurydzy	Po lucernie
Bez N	20,4	24,3
80 kg N	33,2	30,2
120 „ „	35,4	31,0
160 „ „	36,5	29,5

W doświadczeniach tych samych badaczy plon pszenicy odmiany Hubertus wskutek nawożenia 40 kg N wzrósł na glebie ciężkiej z 31,2 q do

34,4 q, dodatkowe nawożenie pozostało bez efektu lub przy wyższych dawkach dało efekt ujemny. Tymczasem na glebie lekkiej były skuteczne podzielone dawki azotu aż do łącznej wysokości 160 kg na ha; plon pszenicy wzrósł z 13,1 q do 33,4 q (44). Do podobnych wyników dochodzi Ansorge (1).

WPLYW TERMINU DODATKOWYCH DAWEK AZOTU NA PLON ZIARNA

Późne dokarmianie azotem stosowano w doświadczeniach podczas strzelania w źdźbło, kłoszenia i kwitnienia zbóż. Badano również wpływ dwukrotnego dokarmiania. Porównanie skuteczności dodatkowego nawożenia azotowego, stosowanego w różnych terminach, przeprowadzono jednak tylko w części doświadczeń. Najpełniejsze wyniki badań nad tym zagadnieniem przedstawili Selke i Görlitz w zestawieniu 76 doświadczeń z 4 gatunkami zbóż, które podajemy w tabeli 3 z wyłączeniem jęczmienia ozimego ze względu na małą liczbę doświadczeń (49).

Z tabeli 3 wynika, że efekt dodatkowego nawożenia azotowego w plonie ziarna obniża się w miarę jego opóźniania, poczynając od fazy strzelania w źdźbło. Najdobitniej przedstawia się to w doświadczeniach z żytem, które są właśnie najbardziej miarodajne ze względu na ich dużą liczbę.

Tabela 3

Rośliny	Liczba doświadczeń	Wzrost plonu ziarna q/ha wskutek dokarmiania 40 kg N w okresie			Wzrost procentowej zawartości białka wskutek dokarmiania w okresie		
		strzelania w źdźbło	kłoszenia	kwitnienia	strzelania w źdźbło	kłoszenia	kwitnienia
Żyto	32	3,5	2,4	1,3	1,0	1,7	2,5
Pszenica ozima	11	2,9	2,5	2,1	0,1	1,0	1,5
Owies	20	1,9	1,9	0,5	0,7	1,2	1,4
Jęczmień jary	18	0,4	0,3	-0,2	0,7	1,6	1,0

Ansorge (1) stosował nawożenie azotowe 120 kg N podzielone na 12 dawek od siewu do kłoszenia, względnie na 3 dawki (50 kg przed siewem, 30 kg podczas strzelania w źdźbło i 40 kg na początku kłoszenia). Te dwa sposoby podziału dawek azotu dały przeciętnie z 35 doświadczeń przeprowadzonych na glebach lekkich, średnich i ciężkich jednakowe wyniki: wzrost plonu ziarna o 9—10% i wzrost plonu białka surowego o 29% w stosunku do obiektu z dawką przedsiewną 50 kg N. Na glebach lekkich i średnich skuteczność dodatkowego nawożenia azotowego była znacznie wyższa.

Badania Coica (11—16) wykazują, że dokarmianie pszenicy ozimej azotem podczas kwitnienia bardzo silnie ustępuje w swym działaniu dokarmianiu podczas strzelania w źdźbło, może jednak być skutecznym uzupełnieniem tego ostatniego.

W badaniach Terlikowskiego nad stosowaniem dodatkowych dawek azotu podczas kwitnienia pszenicy, owsa i jęczmienia osiągnięto pozytywny efekt w plonach zaledwie w połowie doświadczeń.

Z licznych badań Linsera i Primosta (29—31, 41—44) nie można dokładnie wnioskować o różnicach w skuteczności dawek azotu stosowanych w poszczególnych terminach. W badaniach tych było porównywane wczesne nawożenie jednorazowe z nawożeniem w 3 dawkach: wczesną wiosną, przed strzelaniem w źdźbło i przed kłoszeniem. W sumie stosowano od 40 kg N do 160 kg N, a w części doświadczeń do 200 kg N. Podzielone nawożenie dawało z reguły wyższy efekt; różnice na korzyść podzielonych dawek wzrastały przy wyższym poziomie nawożenia azotowego. Próba podziału nawożenia na więcej niż 3 terminy nie dała pozytywnego wyniku.

Tabela 4

Przeciętne wyniki doświadczeń Primosta z pszenicą ozimą (44)

L. p.	Nawożenie N kg na ha w okresie				Plon ziarna q z ha	% białka surowego
	razem	krzewienia	strzelania w źdźbło	kłoszenia		
1	—	—	—	—	30,0	13,0
2	40	16	24		34,5	13,5
3	80	30	30	20	37,0	15,0
4	120	30	60	30	38,0	16,5
5	160	40	70	50	35,5	17,0
3a	80	80			33,5	13,5
4a	120	120			32,0	14,0
5a	160	160			31,0	14,5

W NRF podkreśla się konieczność zachowania dużej ostrożności we wczesnym stosowaniu dodatkowych dawek azotu. Petersen (40) zaleca stosować je w warunkach gorszych podczas strzelania w źdźbło, a w warunkach większej zawartości azotu w glebie — dopiero podczas kłoszenia. Podczas kłoszenia należy ograniczać dawki do 25 kg N na ha. Według zestawień Buchnera przeciętna efektywność 25 kg N wynosi przy zastosowaniu podczas strzelania w źdźbło 2,7 q ziarna, przy zastosowaniu podczas kłoszenia 2,5 q (40).

W badaniach Listowskiego (34) osiągnięto dobry efekt dokarmiania azotem żyta przed samym kłoszeniem lub na początku kłoszenia. Prze-

ciętnie z 21 doświadczeń łanowych wykonanych w jednym roku dodatkowa dawka 20—30 kg N spowodowała wzrost plonu ziarna o 2,9 q.

Boguszewski (6, 7) stosował dodatkowe nawożenie azotem żyta w 3 terminach: w 2 tygodnie po ruszeniu, podczas strzelania w źdźbło i na początku kłoszenia. Nawożenie w drugim i trzecim terminie dało przeciętnie jednakowy wynik, lepszy niż nawożenie w pierwszym terminie, z tym że w warunkach suchszych było skuteczniejsze dokarmianie podczas strzelania w źdźbło, a w warunkach wilgotnych, kiedy wchodziło w grę wyleganie — dokarmianie na początku kłoszenia.

W doświadczeniach wazonowych skuteczność późnego dokarmiania zbóż azotem jest pewniejsza (47). Wynika to stąd, że w kulturach wazonowych pobieranie dodatkowej dawki azotu rozpoczyna się w dniu jej zastosowania, a w uprawie polowej z mniejszym lub większym opóźnieniem, zależnym od przebiegu pogody i zawartości wody w glebie. W razie suszy zastosowany nawóz, pozostając na powierzchni gleby, jest niedostępny dla roślin. Udostępnienie azotu wskutek zmiany warunków wilgotnościowych może nastąpić zbyt późno i rośliny nie zdążą już go wykorzystać. Np. w doświadczeniu Dobrena 1955 r. (18) późne dokarmianie azotem dało bardzo dobry efekt w plonach żyta i znikomy w plonach pszenicy. Pszenica kłosi się o parę tygodni później, odpowiednio później stosowano również dodatkowe nawożenie. W tym okresie był brak opadów, a zimowe zapasy wilgoci w glebie uległy już wyczerpaniu, nie było więc warunków do wykorzystania azotu. Inni badacze także podkreślają zgodnie zależność skuteczności późnych dawek azotu od przebiegu pogody (6, 27, 47). Coic zaleca różne systemy nawożenia azotem pszenicy w zależności od klimatu: w warunkach, w jakich woda jest czynnikiem ograniczającym plon, dodatkowe dawki azotu należy stosować najpóźniej podczas strzelania w źdźbło, w warunkach wilgotnych wskazane są ponadto dawki azotu podczas kłoszenia lub nawet kwitnienia (16).

Reasumując, można stwierdzić, że przy wzroście intensywności nawożenia azotowego zbóż podział nawożenia z przesunięciem dodatkowej dawki azotu na okres późniejszy do fazy strzelania w źdźbło wykazuje pozytywne działanie na plon ziarna. Dalsze opóźnianie do fazy kłoszenia daje dobre wyniki w warunkach wilgotnych. Wpływ na plon ziarna nawożenia stosowanego podczas kwitnienia jest już zawodny.

Powyższe wnioski są oparte głównie na doświadczeniach ze zbożami ozimymi — pszenicą i żytem. Odpowiednich badań ze zbożami jarymi przeprowadzono stosunkowo mało. Okres od kłoszenia do dojrzewania trwa u zbóż jarych krócej, w związku z tym można się spodziewać u zbóż jarych gorszego efektu dokarmiania podczas kłoszenia. Nie bez znaczenia jest także odmiana.

TERMINY NAWOŻENIA A STRUKTURA PLONU I WYLEGANIE

W licznych doświadczeniach badano wpływ intensywności i terminów nawożenia azotowego na strukturę plonu: plon z jednostki powierzchni = liczba kłosów na danej powierzchni \times przeciętna liczba ziarn w kłosie \times waga 1 ziarna. Powyżej podaliśmy poglądy Coic'a na wpływ nawożenia azotowego zastosowanego w różnych fazach wzrostu na poszczególne elementy plonu. Badacz ten stwierdzał w szeregu doświadczeń wpływ nawożenia podczas kwitnienia na wzrost wagi 1000 ziarn (13, 14, 15). W badaniach Primosta (41, 42) waga 1000 ziarn mało się zmieniała w zależności od terminów nawożenia, większym zmianom ulegały dwa pozostałe elementy plonu. Podzielone nawożenie azotowe (częściowo opóźnione) wpływało mniej od jednorazowego na zagęszczenie zbóż, a tym samym i na liczbę kłosów, a bardziej na liczbę ziarn w kłosie. Przy opóźnieniu dodatkowej dawki azotu tylko do fazy strzelania w źdźbło wymieniona zależność nie występuje jednak jako stała reguła. Nawożenie podczas tej fazy wzrostu nie wpływa już wprawdzie na powstawanie bocznych pędów, ale może wpłynąć istotnie na liczbę źdźbeł kłosonośnych; w warunkach niedoboru azotu w tym okresie pozostaje więcej źdźbeł płonnych. Dokarmianie podczas kłoszenia oczywiście nie wywołuje już zmian w liczbie kłosów i źdźbeł; poza wymienionym poprzednio wpływem na wielkość kłosa, może jednak oddziaływać na długość źdźbeł. Plony słomy przy dokarmianiu azotem podczas kłoszenia w każdym razie są niższe niż przy dokarmianiu podczas strzelania w źdźbło (6, 47). Dokarmianie podczas kwitnienia nie działa już na plon słomy.

Z wpływem dokarmiania azotem, stosowanego w różnych terminach, na zagęszczenie zbóż i wzrost organów wegetatywnych wiąże się również wpływ na wyleganie. Już zaznaczaliśmy, że dążenie do zmniejszenia wylegania zbóż było jednym z głównych bodźców podjęcia badań nad późnym dokarmianiem azotem. W doświadczeniach Selke'go (49) przeprowadzono punktową ocenę sztywności słomy zbóż i stwierdzono wzrost sztywności w miarę opóźniania dodatkowych dawek azotu od strzelania w źdźbło do kwitnienia, różnice były jednak nieduże. Linser i Primost (29, 44) podkreślają, że podział nawożenia azotowego z przesunięciem części jego na okres późniejszy prowadzi do znacznego zmniejszenia stopnia wylegania i umożliwia stosowanie dawek do 150 kg N, podczas gdy przy jednorazowym nawożeniu przekroczenie dawek 80 kg N powodowało obniżenie plonu właśnie wskutek wylegania. Vetter i Assadolahi (55) przeprowadzają szczegółową analizę wpływu dawek azotu stosowanych w różnych terminach na pszenicę jarą i jęczmień. Dawki azotu zastosowane na początku strzelania w źdźbło i w 2 tygodnie

później zwiększają wprawdzie skłonność zbóż do wylegania, ale w stopniu dwa razy mniejszym niż takie same zwiększenie nawożenia podstawowego. Obfite wczesne nawożenie azotowe wywołuje równoległe do zagęszczenia zbóż silne wydłużanie się dolnego międzywęzła i osłabienie tkanek szkieletowych. W badaniach Boguszewskiego (6) nad nawożeniem żyta dodatkowe dawki azotu podczas strzelania w źdźbło wpływały na zwiększenie wylegania prawie w tym samym stopniu, co dawki zastosowane wkrótce po ruszeniu żyta, natomiast nawożenie azotem na początku kłoszenia oddziaływało na wyleganie znacznie słabiej.

Reasumując, można stwierdzić, że dodatkowe nawożenie azotem podczas strzelania w źdźbło wpływa na zwiększenie wylegania w tym samym stopniu co nawożenie wczesne, albo słabiej, w zależności od przebiegu pogody. Przy dalszym opóźnieniu nawożenia wpływ jego na wyleganie istotnie maleje.

WPLYW DOKARMIANIA AZOTEM NA ZAWARTOŚĆ BIAŁKA W ZIARNIE

W miarę opóźniania nawożenia azotowego wzrasta wpływ nawożenia na zwiększenie procentowej zawartości azotu w ziarnie. Zjawisko to można tłumaczyć bardziej bezpośrednim oddziaływaniem opóźnionych dodatkowych dawek azotu na kształtowanie ziarna. Poza tym przy dużym opóźnieniu dokarmiania azotem, gdy wpływ jego na wzrost plonu już maleje, zostaje ono bardziej wykorzystane do podniesienia zawartości związków azotowych. Odwrotnie, podstawowe dawki azotu o wysokiej produktywności w plonie nie tylko nie wywołują wzrostu procentowej zawartości białka w ziarnie, lecz mogą nawet powodować jej spadek (35).

W pierwszych badaniach Selke'go dokarmianie azotem podczas kwitnienia wywoływało wzrost zawartości surowego białka u jęczmienia o 1—1,5% i u pszenicy (bez wpływu na plon) o 2—3% (47). W ostatniej serii badań (49) procentowa zawartość surowego białka w ziarnie żyta systematycznie wzrastała w miarę opóźnienia dodatkowego nawożenia (patrz tabela 3). Podobne zjawisko notowano u innych zbóż, chociaż wpływ opóźnienia terminów nawożenia na zawartość białka był nieco mniejszy. Efekt nawożenia azotowego w procentowej zawartości białka w doświadczeniach Primosta podaliśmy w tabeli 4.

Coic osiągnął w jednym z doświadczeń w wyniku późnej dawki 30 kg N wzrost zawartości białka w ziarnie pszenicy z 10,1% do 14,7% (16). W badaniach Terlikowskiego (54) dokarmianie podczas kwitnienia pszenicy, owsa i jęczmienia 40 kg N przy słabym i nieregularnym wpływie na plon powodowało wzrost zawartości białka w ziarnie przeważnie o ca 3%. W badaniach Listowskiego (34) dokarmianie żyta pod-

czas kłoszenia, dając dobry efekt w plonie, spowodowało wzrost zawartości białka tylko o 0,7%. W badaniach Boguszewskiego (6) zawartość białka surowego w ziarnie żyta po dokarmianiu 30 kg N w czasie strzelania w źdźbło wzrastała o 0,3%, w czasie kłoszenia — o 0,9%. Wyniki osiągnięte przez poszczególnych badaczy znacznie różnią się między sobą, zależą one od wysokości stosowanych dawek, od warunków klimatycznych, odmian zbóż i produktywności nawożenia w plonach. W każdym razie nawożenie azotowe podczas kłoszenia zbóż wywołuje istotny wzrost zawartości azotu, a nawożenie podczas kwitnienia jeszcze większy.

Selke (49) zwrócił także uwagę na zawartość azotu w słomie, co nie jest bez znaczenia, zwłaszcza dla słomy zbóż jarych, zużywanej głównie na paszę. Zawartość surowego białka w słomie żytniej wzrosła w wyniku dokarmiania 40 kg N w czasie strzelania w źdźbło z 2,4% do 3,0%, w słomie owsianej z 3,0% do 3,9%. Dokarmianie w terminach późniejszych działa podobnie.

Nasuwa się pytanie, w jakim stopniu w miarę wzrostu zawartości azotu, osiąganego na drodze późnego dokarmiania zbóż tym składnikiem, wzrasta wartość użytkowa ziarna. Według Michaela i współpracowników (36, 37) przy wypełnianiu i dojrzewaniu ziarna wzrasta spośród różnych substancji białkowych przede wszystkim zawartość gluteliny i prolaminy. Późne dokarmianie azotem wpływa na zwiększenie udziału właśnie tych 2 substancji, szczególnie prolaminy. Obserwacje te znajdują potwierdzenie w pracach innych badaczy (4, 39). Prolamina zawiera stosunkowo mało lizyny, z czym jest związana niższa wartość biologiczna. Glutelina i prolamina wchodzi głównie w skład endospermu, podczas gdy pełnowartościowe białka znajdują się przede wszystkim w zarodku i warstwie aleuronowej i ilość ich jest mniej podatna na wpływ późnego dokarmiania. Nehring (39) notował przy wzroście zawartości azotu niewielkie zmniejszenie wartości białka pszenicy wskutek zmniejszenia udziału lizyny i tryptofanu, nie stwierdził natomiast pogorszenia biologicznej wartości białka jęczmienia. Notowane niekorzystne zmiany w składzie aminokwasów są jednak niewielkie, a w każdym razie zbiór pełnowartościowego białka z jednostki powierzchni przy zwiększeniu zbioru białka surowego zwiększa się, chociaż w nieco mniejszym stopniu.

Należy nadmienić, że glutelina i prolamina, pomimo że są to rodzaje białka niepełnowartościowe, stanowią o zawartości glutenu, od którego zależy wartość wypiekowa mąki i przydatność jej do wyrobów mącznych (38). Gdy zaś chodzi o wartość pastewną ziarna zbożowego, to w żywieniu przeżuwaczy skład aminokwasów nie powinien mieć istotnego znaczenia, skoro można zwierzęta zaopatrywać w azot w postaci amidów lub nawet soli amonowych.

TECHNIKA PÓŹNEGO DOKARMIANIA ZBÓŻ

Wykorzystanie w praktyce dodatnich wyników późnego nawożenia zbóż, otrzymanych w doświadczeniach, nasuwa duże trudności techniczne. W NRF są stosowane do tego celu specjalne siewniki nawozowe o wysokim ustawieniu. Jednakże już same ugniatanie roślin kołami ciągnika i siewnika nawozowego może spowodować istotne szkody. Linser i Primost (32) przeprowadzali w ciągu 4 lat specjalne doświadczenia nad możliwością późnego dokarmiania pszenicy i żyta za pomocą siewnika o pociągu traktorowym. Autorzy wprawdzie stwierdzają, że zboże się podnosi i w niektórych latach uszkodzenia są nieistotne, ale w innych latach obniżenie plonu wynikające z tych uszkodzeń wynosi około 10%, a czasami dochodzi do 20%, czyli przekreśla zysk otrzymywany wskutek późnego nawożenia. Selke (48) stwierdził, że przy wysokości roślin 40 cm (wkrótce po wystrzeleniu w źdźbło) szkody nie są istotne, natomiast przy wysokości roślin 60 cm (przed wykłoszeniem) zetknięcie z nimi podwozi siewnika i ciągnika nie wywołuje uszkodzeń, ale po śladach kół źdźbła częściowo już się nie podnoszą i na tej powierzchni następuje znaczne obniżenie plonu. Należy nadmienić, że ręczny wysiew nawozów w tych niewielkich ilościach, jakie wchodzi w grę przy późniejszym dokarmianiu zbóż, może być szeroko stosowany nie tylko w gospodarstwach drobnych, ale i dużych. W gospodarstwach bardzo dużych trzeba mieć na względzie nawożenie z samolotu. Linser i współpracownicy (33) przeprowadzili badania nad dokarmianiem azotem za pomocą polskiego samolotu PZ 1 — 101/91. Osiągnięto lepszą równomierność, ale gorszą zgodność z zaplanowaną ilością wysiewu niż przy użyciu lądowego siewnika nawozowego. W Związku Radzieckim samoloty są stosowane do głównego nawożenia azotem ozim (20). Wydajność samolotu An-2 dochodzi do 300 ha dziennie. Oczywiście tak dużą wydajność można osiągnąć jedynie na odpowiednio wielkich obszarach jednolicie nawożonych.

LITERATURA

1. An s o r g e H.: Z. Landw. Versuch-Untersuchw. 7, 1, 1961.
2. A t a n a s i u N.: Z. Pflernähr. Düng. Bkunde 84, 1959.
3. B a u m a n n H., M a a s G.: Z. Pflernähr. Düng. Bkunde 79, 1957.
4. B o d o G.: Wg ref. w Z. Pflernähr. Düng. Bkunde 91, 70, 1960.
5. B o g u s z e w s k i W., W a p n i a r z T.: Roczn. Nauk Roln. 82-A-3, 1961.
6. B o g u s z e w s k i W.: Nowe Roln. 8, 1962.
7. B o g u s z e w s k i W., P e n t k o w s k i A.: Komunikat na Międzynar. Konf. Podn. Żyzn. Gleb Lekkich, 1963.
8. B r o u w e r W., S c h r i m p f C., T a h e t i T.: Z. Acker Pflbau, 113, 21, 1961.
9. B r o u w e r W., G ö t z A., H e y l a n d K. U.: Z. Acker Pflbau, 113, 117, 1961.
10. C e r l i n g W. W.: Roboty po Agrochimii, 33, 250, 1950.

11. Coïc M. I.: C. R. Acad. Agric. 2, 1949.
12. Coïc M. I.: C. R. Acad. Agric. 5, 1949.
13. Coïc M. I., Coppenet M., Helias N.: C. R. Acad. Agric. 6, 1950.
14. Coïc M. I., Alexinsky W.: C. R. Acad. Agric. 17, 1953.
15. Coïc M. I.: C. R. Acad. Agric. 2, 1954.
16. Coïc M. I.: Progressive Wheat Production. Geneve, 1960.
17. Demolon A.: Croissance des vegetaux cultives. Paris, 1956.
18. Dobren W. H.: Stikstof 2, 1958.
19. Glimeroth G.: Z. Acker Pflbau, 107, 1958.
20. Graždanskaja awiacija w sielskom choziajstwie. Sielchozgiz. Moskwa, 1955.
21. Hahne F.: Der Wintergerstenbau. Berlin, 1937.
22. Handbuch der Landwirtschaft II. Berlin, 1953.
23. Heyland K. U.: Z. Acker Pflbau, 113, 41, 1961.
24. Harmsen G. W.: Z. Pflernähr. Düng. Bkunde, 84, 1959.
25. Iwanow P. K.: Jarowaja pszenica. Moskwa, 1948.
26. Jackowska I.: Hodowla Roślin, Aklimatyzacja i Nasiennictwo, 4, 6, 1960.
27. Kopetz L. M.: Progressive Wheat Production. Geneve, 1960.
28. Kuperman P. M.: Biologiczeskije osnovy kultury pszenicy. Moskwa, 1950.
29. Linser H.: Z. Pflernähr. Düng. Bkunde, 58, 1952.
30. Lisner H., Primost E.: Z. Pflernähr. Düng. Bkunde, 63.
31. Linser H., Primost E.: Die Bodenkultur, 10, 1958.
32. Linser H., Primost E.: Z. Acker Pflbau, 110, 1960.
33. Linser H., Mayr H., Primost E., Rittmeyer G.: Z. Acker Pflbau, 112, 1961.
34. Listowski A.: Biul. Dośw. Teren. IUNG, 9, 1960.
35. Mc Neal F. H., Davis D. J.: Agron. Journ. 46, 1954.
36. Michael G., Blume B.: Z. Pflernähr. Düng. Bkunde, 88, 1960.
37. Michael G., Faust H., Blume B.: Z. Pflernähr. Düng. Bkunde, 91, 1961.
38. Nosatowski A. I.: Pszenica. Moskwa, 1950.
39. Nehring: Dtsch. Landwirtsch. 5, 1960.
40. Petersen W.: Dtsch. Landw. Presse, 13, 1962.
41. Primost E.: Z. Acker Pflbau, 107, 99, 1958.
42. Primost E.: Z. Acker Pflbau, 107, 180, 1958.
43. Primost E.: Bodenkultur, 6, 1952.
44. Primost E., Rittmeyer G.: Bodenkultur A, 13, 1961.
45. Russel E. J.: Soil Conditions and Plant Growth. London, 1950.
46. Schrimpf C.: Dtsch. Landw. Presse, 3, 1962.
47. Selke W.: Bodenkunde Pflernähr., 9/10, 1938.
48. Selke W.: Die Düngung. Berlin, 1955.
49. Selke W., Görlitz H.: Z. Landw. Versuch. Untersuchw., 8, 1962.
50. Skladal V. i inni: Sladownický ječmen. Praha, 1959.
51. Smirnow P. M., Fruktowa N. I.: Poczwowied., 3, 1963.
52. Sokołow A. W.: Problemy Poczwowiedienija. Moskwa, 1962.
53. Szmuk A. A.: Dinamika režima pitatielnych wieszczestw w poczwie. Moskwa, 1950.
54. Terlikowski F. K.: Roczn. Nauk Roln., 49, 1947.
55. Vetter H., Assadolahi A.: Z. Acker Pflbau, 115, 1962.
56. Wondrausch A., Bartuzi J.: Ann. Univ. M. Curie-Skłodowska E, XIV, 5. Lublin, 1959.
57. Wozbuckaja A. E.: Poczwowied., 2, 1960.