

Urszula Wojcieszka

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach

## Fizjologiczna rola azotu w kształtowaniu plonu roślin

Część I.

### Oddziaływanie azotu na wielkość plonu roślin

#### Reakcje roślin na zasilanie azotem

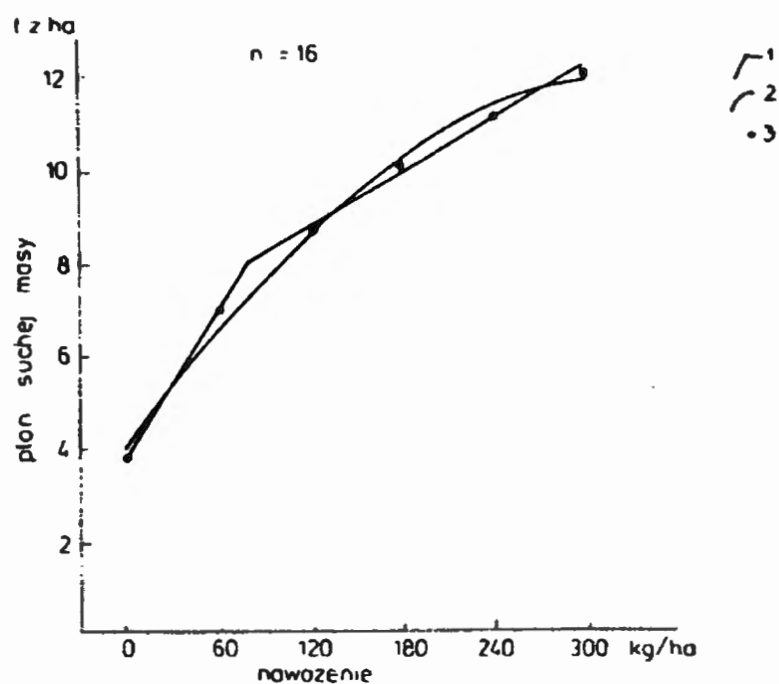
Azot jest najbardziej efektywnym czynnikiem plonotwórczym spośród wszystkich mineralnych składników pokarmowych. Prawidłowość ta odnosi się do bardzo licznych gatunków roślin, uprawianych nawet w krańcowo odmiennych warunkach środowiskowych. Wyniki ogromnej liczby doświadczeń wykazały, że na większości gleb azot jest najważniejszym czynnikiem ograniczającym wielkość plonów.

Rozpatrując reakcję poszczególnych gatunków roślin na żywienie azotem, można wydzielić określone ich grupy.

Rośliny motylkowate korzystają głównie z azotu cząsteczkowego ( $N_2$ ), znajdującego się w powietrzu, dzięki symbiozie z bakteriami brodawkowymi z rodzaju *Rhizobium* i *Bradyrhizobium*. Ilość zasymilowanego w ten sposób azotu zaspokaja na ogół zapotrzebowanie roślin na ten składnik. Zaleca się jednak stosowanie niewielkich ilości azotu (15–30 kg/ha) na początku okresu wegetacji, gdy korzenie nie mają jeszcze wykształconych brodawek, a gleby są mało zasobne w azot. W ostatnich jednakże latach, w związku z wprowadzeniem do uprawy nowych, wysokopięnych odmian roślin motylkowatych, zwłaszcza strączkowych (bobiku, grochu, łubinów), okazuje się celowe ich zasilanie azotem mineralnym. Korzystny efekt nawożenia

Tabela 1. Wpływ nawożenia N na plonowanie bobiku [1]

Dawka N [kg/ha]	Plony nasion [t z ha]	Efektywność 1 kg składnika w kg nasion
0	2,61	—
30	2,87	8,7
60	3,01	6,7
90	3,11	5,6

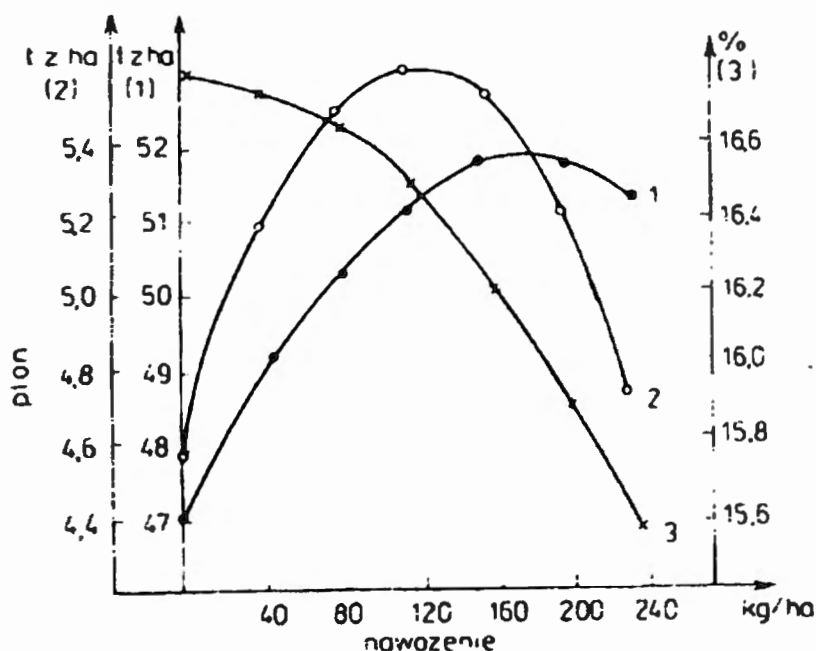


**Rysunek 1.** Krzywe reakcji życicy wielokwiatowej na nawożenie azotem [3]: 1 — funkcja nieciągła, 2 — funkcja wielomianowa 2°, 3 — plony rzeczywiste

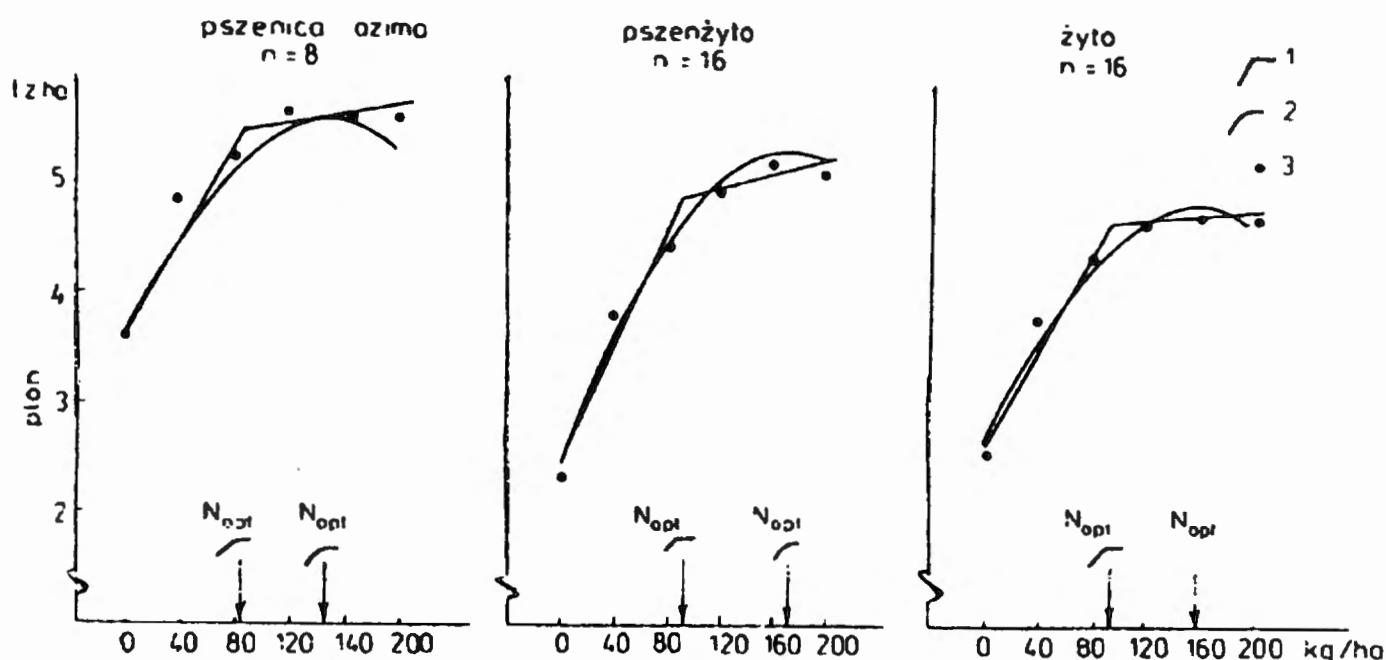
bobiku wykazał m.in. Bochniarz [1] (tab. 1). W naszych doświadczeniach azot korzystnie wpływał na plon zwiększając liczbę zawiązanych strąków i liczbę ziarn w strąkach bobiku i grochu (wyniki nie opublikowane). Według dotychczasowego rozeznania, spośród uprawianych u nas roślin strączkowych, najefektywniej azot mineralny wykorzystuje bobik, a najgorzej łubin żółty. W doświadczeniach Ruszkowskiej i in. [7] dodatek azotu mineralnego korzystnie wpływał na plon nasion lucerny.

Intensywnie nawożone azotem mogą być rośliny pastewne niemotyłkowate o długim okresie wegetacji lub rośliny wielokośne i wieloletnie oraz roślinność łąk i pastwisk. Reakcję życicy wielokwiatowej na nawożenie azotem przedstawia Fotyma [3] (rys. 1). Podobnie silną reakcję na azot wykazuje rzepak.

Stosunkowo duże zapotrzebowanie na azot, choć mniejsze niż rośliny wyżej wymienionych grup, charakteryzuje rośliny okopowe (rys. 2). Zboża mają mniejsze



**Rysunek 2.** Plon korzeni buraków cukrowych (1), plon cukru (2), procentowa zawartość cukru w korzeniach buraków cukrowych (3) w zależności od dawek azotu [3]



Rysunek 3. Krzywe reakcji zbóż ozimych na nawożenie azotem [3]: 1 — funkcja nieciągła, 2 — funkcja wielomianowa 2°, 3 — plony rzeczywiste

niż inne rośliny wymagania pokarmowe względem azotu. Na rysunku 3 Fotyma [3] przedstawił krzywe reakcji 3 gatunków zbóż na nawożenie azotem. Doświadczenie prowadzono w cyklach 2-letnich, stosując dawki azotu co drugi rok i traktując rok następny jako wrównawczy. Wyznaczono w ten sposób "czysty" efekt działania nawozów azotowych bez skutków następczych składnika z roku poprzedniego.

Azot w istotny sposób oddziałuje na strukturę plonu roślin, co na przykładzie owsa pokazuje tabela 2. Składnik ten u zbóż stymuluje przyrost suchej masy pędu głównego, jak i jego ziarna tylko w zakresie bardzo niskich dawek, a przy bardzo wysokich dawkach nawet jego zmniejszenie. Intensywnie natomiast w miarę polepszania zapotrzebowania w N przyrasa masa całych pędów bocznych, w tym pędów bocznych kłosośnych. Plon ziarna pędów bocznych również przyrasta pod wpływem wzrastających dawek azotu, ale przy obfitych jego ilościach mniej intensywnie niż plon masy całych pędów, co prowadzi do pogorszenia się stosunku plonu ziarna do plonu

Tabela 2. Wpływ nawożenia azotem na plon owsa [g/roślinę]; średnie z 2 lat [9]

Pęd	Dawka N [g/wazon]					NIR $P = 0,05$
	0,8	1,6	2,4	3,2	4,0	
Pęd główny	6,16	7,78	7,80	7,16	5,88	0,74
w tym ziarno	3,29	4,34	4,35	3,91	3,03	0,50
Pędy boczne kłosośne	3,03	5,61	7,04	7,87	8,67	1,61
w tym ziarno	1,56	2,96	3,75	4,01	4,04	0,95
Pędy boczne płone	0,24	0,34	0,42	0,33	0,30	0,17
Razem część nadziemna	9,43	13,73	15,26	15,36	14,85	1,52
w tym ziarno	4,85	7,30	8,10	7,92	7,07	1,01

Tabela 3. Wpływ dawki N na liczbę pędów bocznych 1 rośliny [szt.]; średnie z 3 lat [9]

Pędy boczne	Dawka N — g/wazon				
	0,8	1,6	2,4	3,2	4,0
Kłosonośne	1,4	2,0	2,6	3,0	3,6
Niekłosowe	1,6	1,9	1,9	2,7	2,6

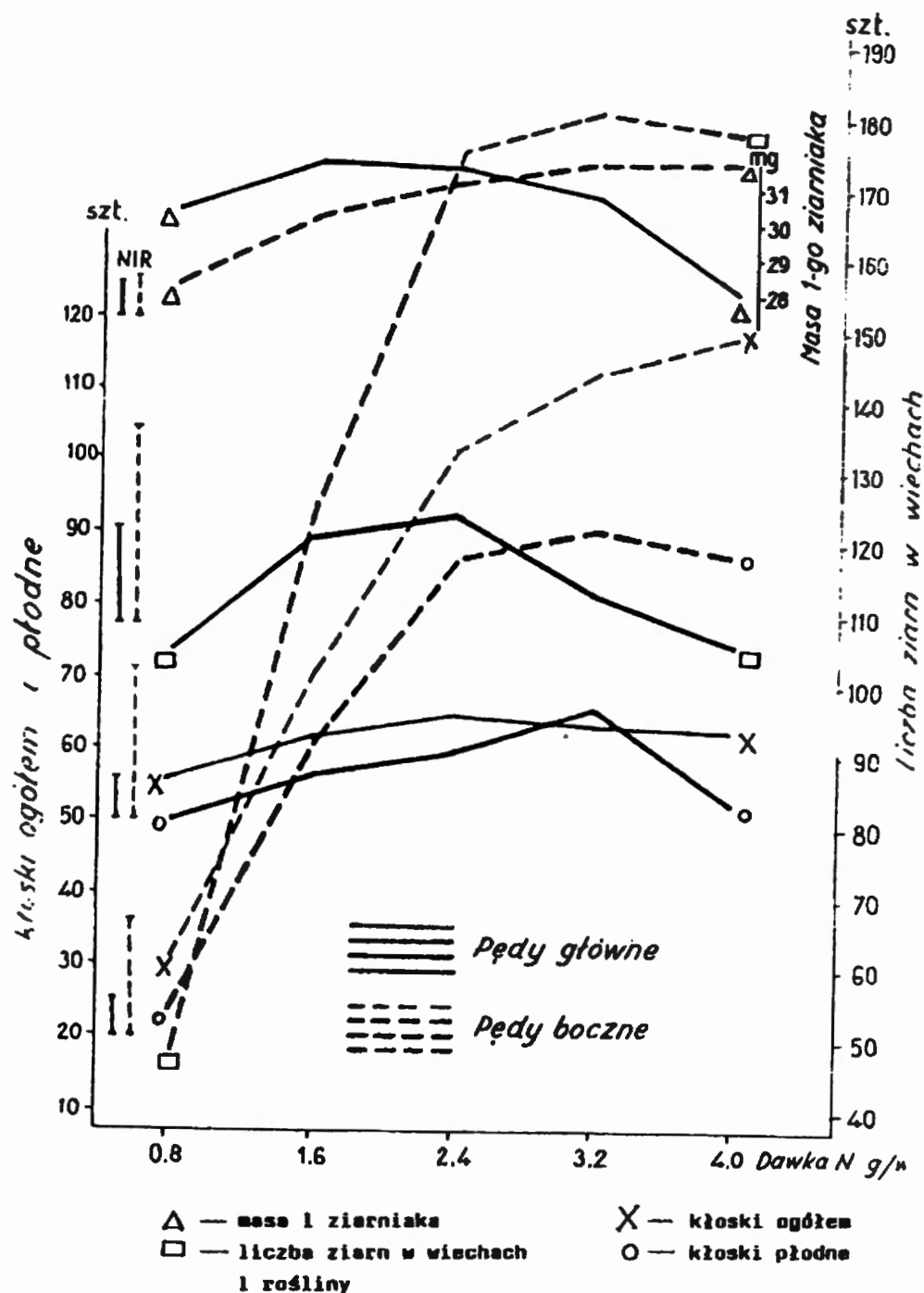
słomy. Wyniki wyżej przedstawione, jak i wyniki wielu innych badań [5, 9, 10] wskazują, że wzrost plonu roślin zbożowych pod wpływem wzrastających dawek azotu jest w głównej mierze rezultatem korzystnego wpływu tego składnika na krzewienie (tab. 3) i w rezultacie na przyrost biomasy i ziarna pędów bocznych.

Stan zaopatrzenia roślin w azot ma wyraźny wpływ na rozwój kwiatostanów zbóż. Jak widać z rysunku 4, dawki pośrednie (1,6–2,4 g N/wazon) oddziaływały korzystnie na całkowitą liczbę kłosków i liczbę kłosków płodnych oraz na liczbę i wielkość ziarn w wieszce. Dawki zbyt niskie (0,8 g/wazon) i wysokie (3,2–4,0 g/wazon) wpływały ujemnie na wymienione cechy. Wzrost płodności w miarę zwiększania dawki azotu był w głównej mierze wynikiem wzrostu całkowitej liczby kłosków i liczby kłosków płodnych, natomiast płodność pojedynczych kłosków miała mniejsze znaczenie.

Jak wskazują dane przedstawione wyżej, efektem zaopatrzenia roślin w azot, jego pobrania i asymilacji jest wzrost plonu roślin. Wzrost plonu następuje już po zastosowaniu bardzo małych dawek azotu, a w miarę ich zwiększania przyrosty wielkości plonu są coraz mniejsze. Maleje efektywność nawożenia. W pewnym momencie osiąga się poziom, przy którym dalsze zwiększanie ilości azotu nie powoduje już podwyższenia plonu, a przy nadmiernej podaży wyraźny jego spadek. W miarę jak pod wpływem zwiększania dawek N maleją przyrosty masy, wzrasta znacznie zawar-

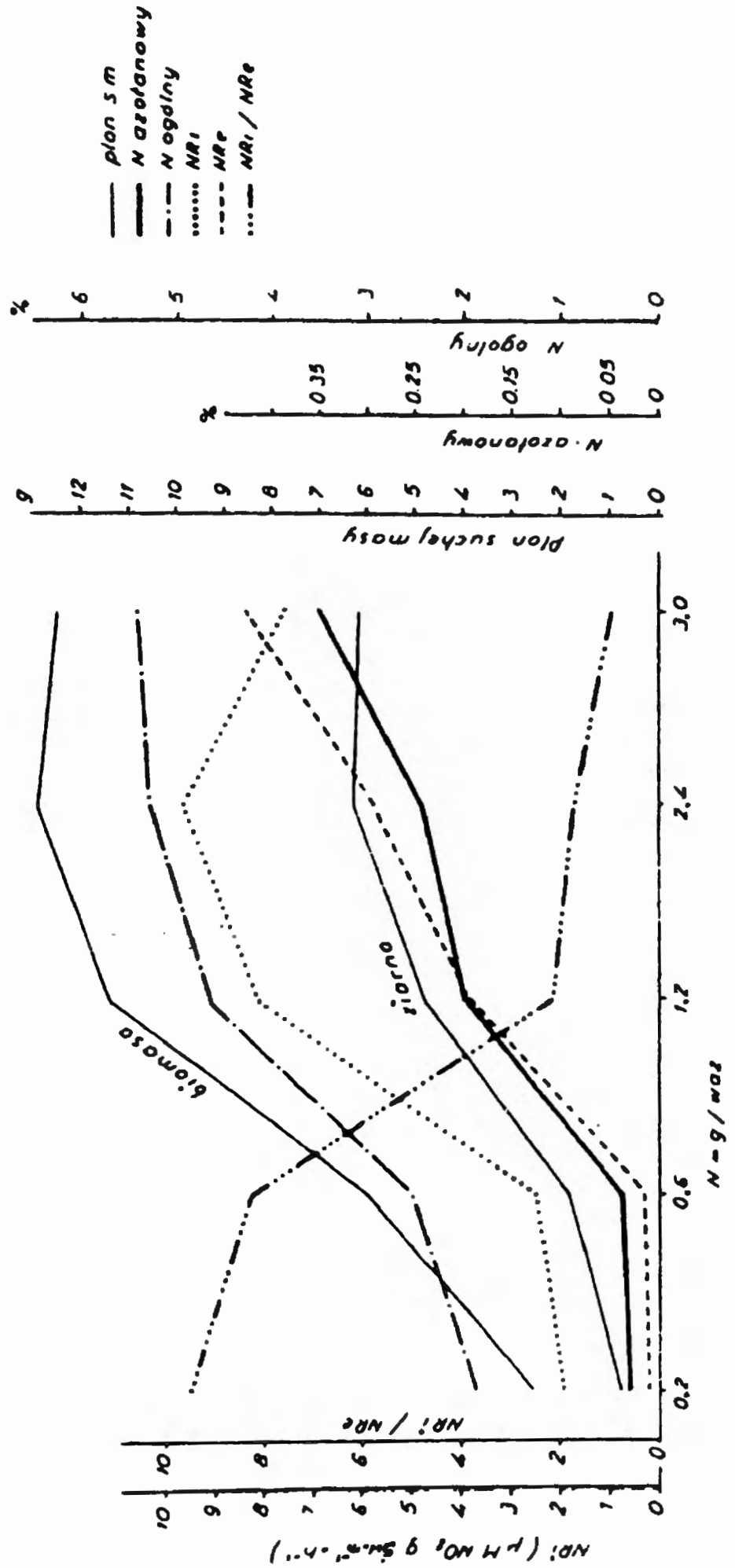
Tabela 4. Wpływ nawożenia N na zawartość N [% s.m.] w roślinach dojrzałych [11]

Pęd	Dawka N — g/wazon				
	0,8	1,6	2,6	3,2	4,0
<b>Pęd główny</b>					
Liście	0,61	0,79	1,17	1,59	2,26
Międzywęźle 1	0,15	0,29	0,30	0,49	0,97
Międzywęźla pozostałe	0,12	0,24	0,35	0,66	1,16
Ziarno	1,44	1,60	2,14	2,20	2,59
Plewy + osadka	0,42	0,50	0,61	0,67	1,22
<b>Pędy boczne kłosonośne</b>					
Liście	0,49	0,75	1,24	1,49	2,19
Żdźbło	0,17	0,32	0,42	0,64	1,14
Ziarno	1,69	1,63	2,11	2,14	2,70
Plewy + osadka	0,43	0,67	0,72	0,90	1,54
<b>Pędy boczne niekłosowe</b>					
	0,61	1,08	1,29	1,69	2,10



Rysunek 4. Wpływ dawki azotu na strukturę wiechy owsa [12]

tość azotu ogólnego i azotanowego (tab. 4, rys. 5). Z tabeli 5 wynika, że w lata wilgotne rośliny lepiej wykorzystują azot dając większe plony i dlatego stężenie azotanów w suchej masie jest mniejsze niż w lata suche. Tak się dzieje przede wszystkim w organach wegetatywnych. W ziarnie zbóż oraz w wegetatywnych organach zapasowych (bulwy, korzenie) zwiększanie nawożenia azotem powoduje na początku tylko niewielki wzrost, bądź nawet zmniejszenie zawartości azotu, przy jednoczesnym wzroście plonu (tab. 2 i 4). Wynika to z faktu, że umiarkowane dawki nawozów azotowych stymulują wzrost liści, zwiększając produkcję fotosyntetyczną. Roślina w tych warunkach wytwarza więcej nasion lub większe bulwy czy korzenie spichlerzowe, jednak ta ilość azotu jest zbyt mała, aby wyraźniej zwiększyć koncentrację



Rysunek 5. Wpływ zaopatrzenia w azot na plon biomasy i ziarna, zawartość N ogólnego i N azotanowego oraz na aktywność reduktazy azotanowej i stosunek NRE/NRe u pszenicy ozimej w fazie strzelania w źdźbło [12]

**Tabela 5.** Efektywność nawożenia azotem łąki i jego wpływ na zawartość azotu azotanowego w sianie [4]

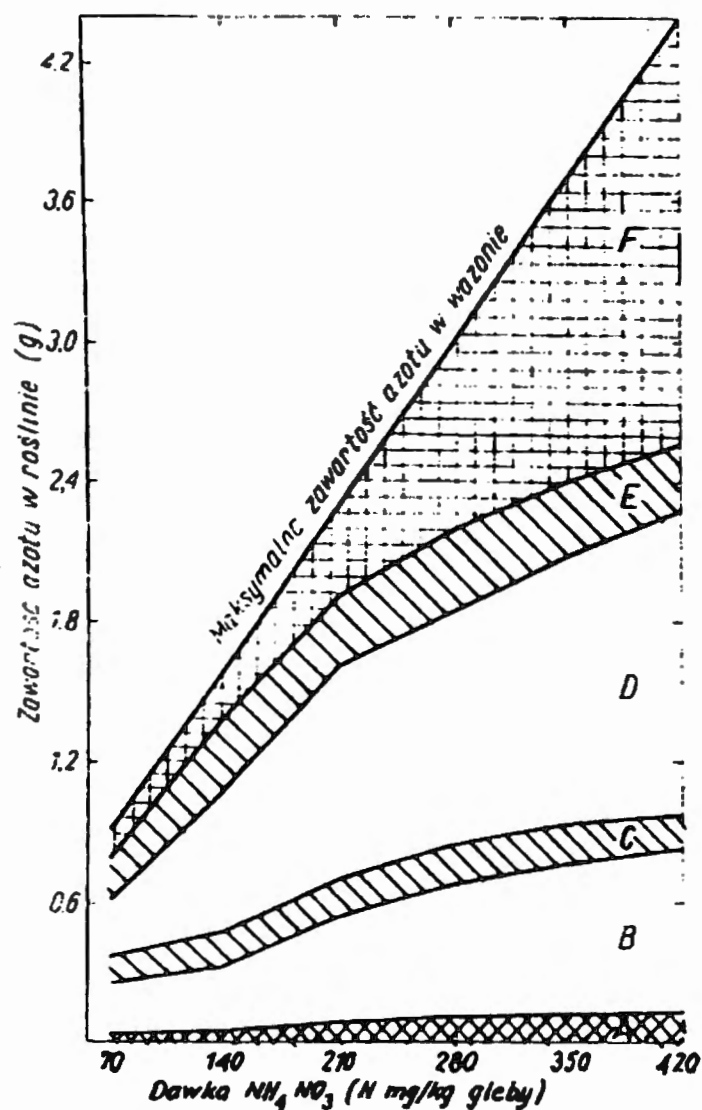
Nawożenie	Średni plon suchej masy [t/ha]	Efektywność 1 kg N w kg suchej masy	Zawartość N-NO <sub>3</sub> [% suchej masy]					
			lata suche			lata mokre		
			pokosy			pokosy		
			I	II	III	I	II	III
PK (bez azotu)	5,53	—	—	—	—	—	—	—
PK + 60 kg N	6,72	0,20	0,016	0,013	0,046	—	—	—
PK + 120 kg N	8,08	0,23	0,023	0,022	0,022	0,004	0,004	0,008
PK + 180 kg N	8,94	0,07	0,115	0,097	0,073	0,070	0,049	0,057
PK + 360 kg N	9,32	0,03	0,213	0,153	0,148	0,145	0,104	0,088
PK + 480 kg N	9,63	0,03	0,324	0,186	0,128	0,125	0,108	0,123

związków azotowych w powiększonym plonie, zwłaszcza w nasionach — następuje tzw. "rozcieńczenie" składnika. Po przekroczeniu określonego poziomu nawożenia wzrasta znacznie zawartość azotu w ziarnie i innych organach spichlerzowych, a wielkość plonu utrzymuje się na dotychczasowym poziomie lub maleje.

Zwiększenie dawek nawozów mineralnych stosunkowo szybko prowadzi do granicy, od której zawartość azotu w glebie nie zostaje w pełni wykorzystana przez roślinę nawet wtedy, gdy stosunek azotu do pozostałych składników pokarmowych jest prawidłowy. Częściowo może to być rezultatem oddziaływania czynników środowiskowych, ale w głównej mierze jest chyba wynikiem uwarunkowań genetycznych. Wykorzystanie azotu przez dobrze krzewiącą się odmianę pszenicy ozimej w doświadczeniu wazonowym, a więc w warunkach, w których całość podanej dawki była dostępna dla roślin, przedstawia rys. 6. Najwięcej azotu znajduje się w słomie i ziarnie pędów bocznych, co zgodne jest z przyrostem masy tych pędów (tab. 6) i

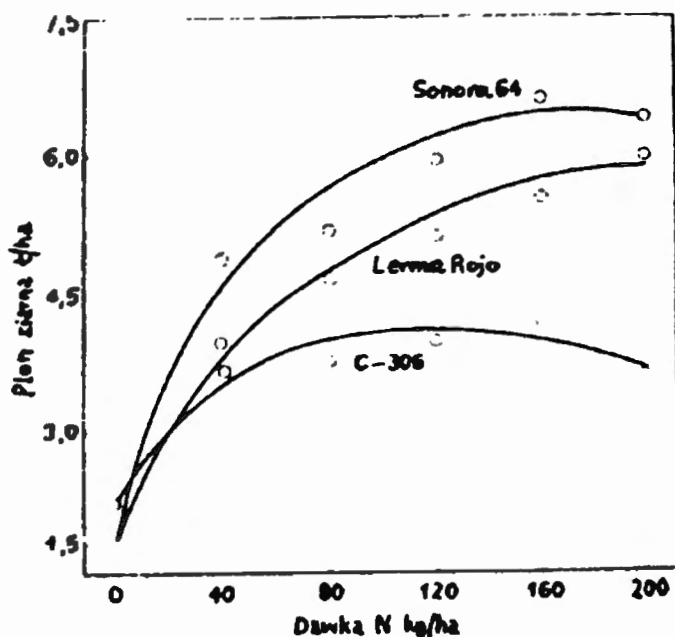
**Tabela 6.** Wpływ nawożenia azotem na plon ziarna [g/wazon] pędu głównego i pędów bocznych [doświadczenie wazonowe IUNG Puławy — 5]

NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> [g N/kg gleby]	Pszenica ozima		Owies	
	pędy główne	pędy boczne	pędy główne	pędy boczne
0,07	11,0	12,9	22,1	11,8
0,14	14,6	27,1	27,4	26,9
0,21	14,4	34,6	28,3	37,1
0,28	14,9	39,6	31,2	41,1
0,35	13,5	41,0	31,9	42,0
0,42	13,7	47,1	31,0	44,0
0,49	14,1	54,3	32,1	46,5
0,56	13,8	63,8	31,6	48,3



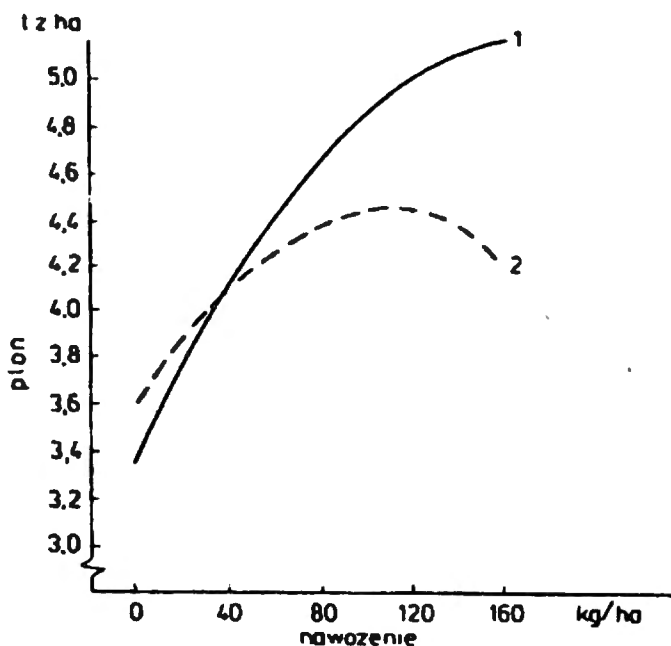
**Rysunek 6.** Wykorzystanie zwiększających się dawek azotu przez poszczególne części roślin pszenicy ozimej: A — pędy nie wykłoszone, B — słoma pędów bocznych, C — słoma pędów głównych, D — ziarno pędów bocznych, E — ziarno pędów głównych [5]

zależne od możliwości krzewienia się rośliny. Ilość nagromadzonego azotu w słomie i ziarnie pędu głównego świadczy o tym, że tylko pierwsze zwiększone dawki azotu powodują intensywniejszą jego akumulację, a następnie nie wywołują już ani przyrostu masy ani azotu, co przemawiałoby raczej za uwarunkowaniami genetycznymi.

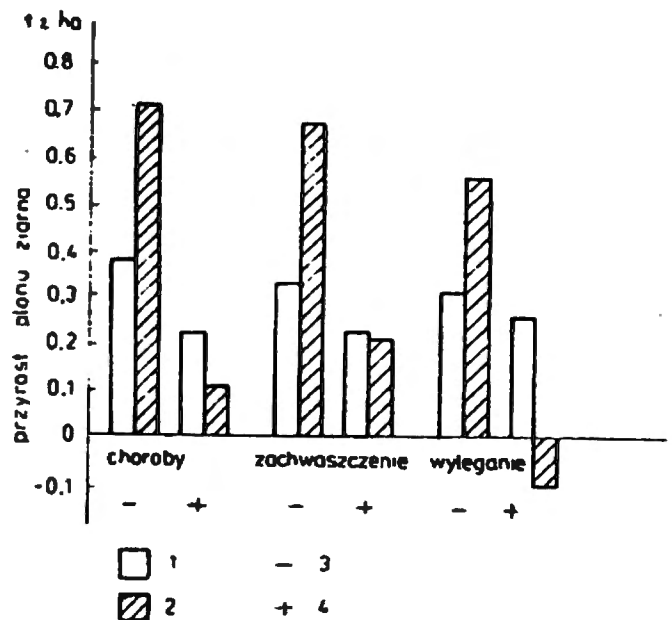


**Rysunek 7.** Reakcja na nawożenie N starej i dwóch nowych odmian pszenicy [2]





Rysunek 8. Wpływ nawożenia azotem i opadów zimowych na plony ziarna pszenicy ozimej [6]: 1 — opady powyżej średniej wieloletniej, 2 — opady poniżej średniej wieloletniej



Rysunek 9. Wpływ niektórych czynników na efektywność nawożenia azotem pszenicy ozimej [8]: 1 — przyrost plonów w przedziale dawek 60–90 kg N, 2 — przyrost plonów w przedziale dawek 60–120 kg N, 3 — brak czynnika, 4 — wystąpienie czynnika

Rośliny różnią się znacznie pod względem tempa przyrostu masy i akumulacji azotu, zwłaszcza przy obfitym nawożeniu tym składnikiem. U pewnych gatunków zachodzi intensywne gromadzenie azotu przy stosunkowo wolnym przyroście masy. Są to głównie rozpowszechnione w naszym klimacie zboża i trawy, u których pierwszymi produktami fotosyntezy są związki o 3 atomach węgla (wg szlaku Calvina) — określane w skrócie C3. U innych roślin azot wywołuje równoczesny i szybki przyrost tak suchej masy, jak i azotu. Rośliny tej grupy to kukurydza, sorgo i inne rośliny rejonów o ciepłym i suchym klimacie, które charakteryzuje fotosynteza wg Kortschaka, Hatcha i Slacka, gdzie pierwszymi produktami są związki o 4 atomach węgla — określane w skrócie C4.

Przedstawione w niniejszym opracowaniu wyniki ugruntowują opinię, że zapotrzebowanie roślin na azot jest w pewnym sensie wypadkową ich genetycznie zdeterminowanej potencjalnej produktywności, co pokazano również na rysunku 7, oraz składu chemicznego. Przy zbliżonych plonach większe ilości tego składnika będą akumulować wysokobiałkowe rośliny motylkowate niż rośliny zbożowe. Realizacja genetycznie zaprogramowanej produktywności roślin zależy jednak w dużym stopniu od warunków środowiska (rys. 8, 9). One też w dużej mierze decydują o reakcji roślin na zastosowany azot.

Wyniki przedstawione w tabeli 7 wskazują, że reakcja owsa uprawianego na zielonkę na nawożenie azotem najsilniej ujawniała się na glebach kompleksów żyznych, mniej żyznych — na tych glebach efektywność nawożenia azotowego była największa.

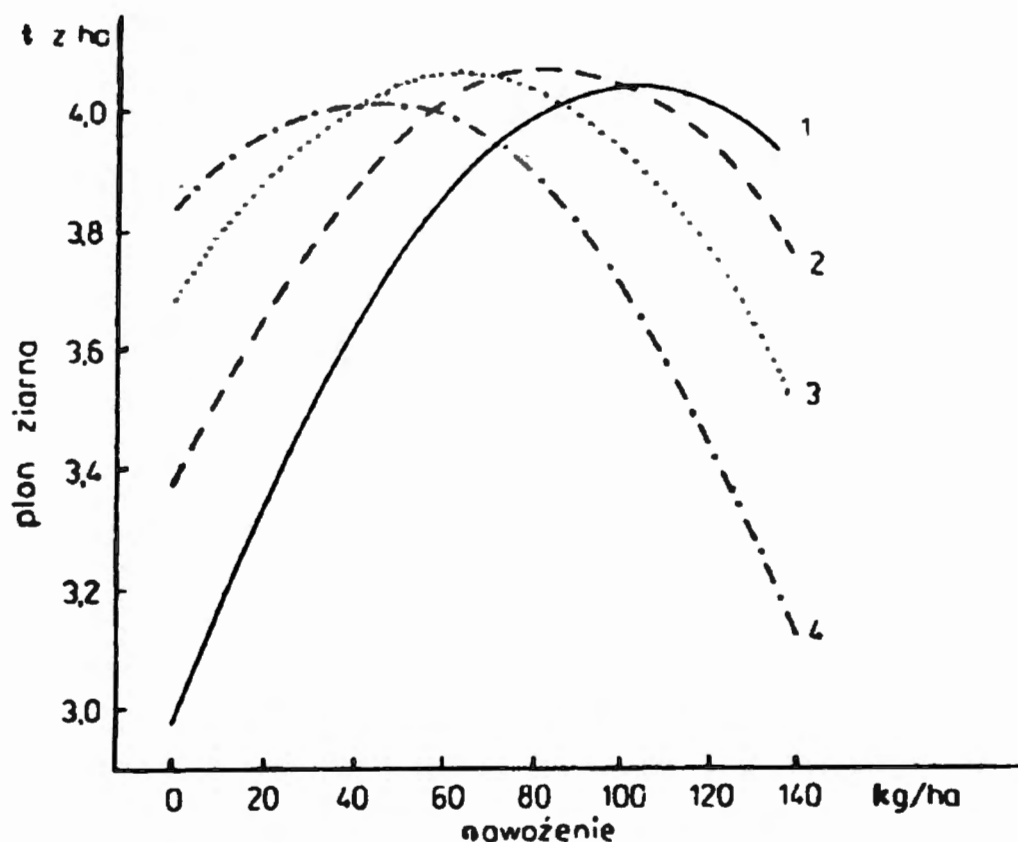
Plony jęczmienia w zależności od dawki nawozów azotowych i zawartości azotu mineralnego w glebie w warstwie 0–80 cm przedstawia rysunek 10. Reakcja na azot była tym silniejsza, im gleba była uboższa w ten składnik.

**Tabela 7.** Reakcja owsa uprawianego na zielonkę na nawożenie azotem w różnych warunkach siedliskowych; plony w t/ha; średnie z lat 1972–1974 [4]

Warunki siedliska	Liczba doświadczeń	Dawki azotu [kg/ha]					Plon średni
		60	120	180	240	300	
<b>Gleby kompleksów pszennych</b>							
zielona masa	20	41,8	42,8	44,3	34,4	45,4	43,7
sucha masa	18	7,5	7,8	7,8	7,9	7,9	7,9
<b>Gleby kompleksów żytnich</b>							
zielona masa	33	33,7	36,8	39,4	40,1	40,6	38,1
sucha masa	28	6,4	6,8	6,9	7,1	7,1	6,9

Duży wpływ na efektywność żywienia azotem ma również zaopatrzenie w wodę (rys. 8). W miarę zwiększania ilości opadów do poziomu optymalnego, rośnie efektywność nawożenia zbóż azotem. Dobre uwodnienie pobudza bowiem procesy wzrostu, zwiększając tym samym krzewienie i powierzchnię asymilacyjną, a w efekcie produkcję fotosyntetyczną.

Na rysunku 9 Ruszkowski [8] przedstawił przyrosty plonów pszenicy w przedziałach dawek azotu od 60 do 90 i od 90 do 120 kg N na ha, w zależności od występowania



**Rysunek 10.** Plony jęczmienia w zależności od dawki nawozów azotowych i zawartości azotu mineralnego w glebie w warstwie 0–80 cm [3]: 1 — 50 kg, 2 — 100 kg, 3 — 150 kg, 4 — 200 kg N w glebie

lub braku chorób, chwastów i wylegania roślin. Dawka 120 kg N na ha okazała się efektywna tylko przy skutecznej ochronie roślin przed wymienionymi czynnikami wpływającymi niekorzystnie na wzrost i rozwój roślin.

Duży wpływ na efektywność nawożenia azotem mają światło i temperatura, silnie oddziałujące na wzrost roślin i na produkcję fotosyntetyczną. Istotną rolę w ujawnieniu się korzystnego wpływu N na plonowanie roślin ma też dobre zaopatrzenie w inne niż azot składniki pokarmowe. Synteza związków organicznych azotu jest bowiem uzależniona od szeregu jonów nieorganicznych. Tak na przykład: a) magnez jest potrzebny do tworzenia chlorofilu i jest aktywatorem karboksylazy 1,5 bisfosforanu rybulozy katalizującej asymilację CO<sub>2</sub>, b) fosforany są niezbędne do syntezy kwasów nukleinowych i związków wysokoenergetycznych, c) potas wpływa korzystnie na pobieranie azotanów, a także na syntezę białek, odgrywa też dużą rolę w fotosyntezie. Równie ważną rolę odgrywają inne nie wymienione tu jony.

Przedstawione dane uwidaczniają, że dodatnia reakcja roślin na żywienie azotem ujawnia się tym bardziej, im warunki, w jakich rosną rośliny, bardziej sprzyjają procesom wzrostu i dużej aktywności fotosyntetycznej. Można zatem powiedzieć, że w warunkach dużej intensywności światła, optymalnej temperatury, dobrego zaopatrzenia w wodę oraz w inne niż azot składniki pokarmowe poziom żywienia azotem może być wysoki i nie będzie wywierał ujemnego wpływu zarówno na wielkość plonu, jak i na jego jakość.

## **Dlaczego azot jest tak efektywnym czynnikiem plonotwórczym?**

---

Azot stanowi zaledwie 0,5–4% suchej masy roślin (zależnie od gatunku, wieku i organu), jest on jednak podstawowym składnikiem białka, które tworzy główny zrąb protoplazmy żywych komórek, a więc siedliska wszystkich zjawisk życiowych. Białkami są enzymy, które kierują procesami biochemicznymi. Azot potrzebny jest również do syntezy wielu ważnych związków niebiałkowych — chlorofilu, zasad purynowych i pirymidynowych (wchodzących w skład kwasów nukleinowych), licznych nukleotydów, fosfolipidów, witamin, fitohormonów. Związki te są bezpośrednio zaangażowane w metabolizm roślin, w przebieg podstawowych procesów biochemicznych i fizjologicznych, jak wzrost, fotosynteza, oddychanie i inne. Rola azotu nie ogranicza się do tworzenia wymienionych związków. Polega ona również na stymulowaniu syntezy i obiegu w roślinie fitohormonów (auksyn, cytokinin, kwasu abscysynowego), które to związki sterują rozwojem roślin. Dlatego też rola azotu wykracza daleko poza jego funkcje konstytucyjne i enzymatyczne.

Jak już podkreślono wcześniej, zachodzi ścisły związek między reakcją roślin na żywienie azotem a akumulacją biomasy. Ponieważ produkty fotosyntezy stanowią

ponad 90% suchej masy roślin, stąd też oddziaływanie azotu na przebieg tego procesu i jego wydajność mają podstawowe znaczenie w kształtowaniu plonu. Zagadnienia te zostaną omówione w drugiej części tej publikacji.

## Literatura

---

- [1] Bochniarz J. 1989. Materiały Konferencji "Przyrodnicze i agrotechniczne uwarunkowania produkcji nasion roślin strączkowych". Wyd. IUNG, Puławy, K (1), cz. I: 19.
- [2] Chandler 1970. Cyt. Mengel K., Kirkby E.A. 1983. PWRiL, Warszawa.
- [3] Fotyma M., Mercik S. 1992. Chemia rolna. PWN, Warszawa.
- [4] Gonet Z. 1980. Nawożenie azotem w intensyfikacji roślinnej W: "Gospodarka azotowa roślin uprawnych". PWRiL, Warszawa.
- [5] Jackowska I. 1980. Wpływ nawożenia azotem na gospodarkę wodną W: "Gospodarka azotowa roślin uprawnych". PWRiL, Warszawa,
- [6] Pentkowski, cyt. Fotyma M., Mercik S. 1992. Chemia rolna. PWN, Warszawa.
- [7] Ruszkowska M., Zinkiewicz E., Wojcieszka U., Giza A. 1992. *Pam. Puł.* 101: 71.
- [8] Ruszkowski M. cyt. Fotyma M., Mercik S. 1992. Chemia rolna. PWN, Warszawa.
- [9] Wojcieszka U., Wolska E. 1985. *Pam. Puł.* 86: 61.
- [10] Wojcieszka U., Wolska E., Giza A. 1991. *Pam. Puł.* 98: 23.
- [11] Wolska E., Wojcieszka U. 1986. *Pam. Puł.* 87: 109.
- [12] Wojcieszka U., Wolska E. 1991. *Pam. Puł.* 99: 107.
- [13] Wojcieszka U., Wolska E. 1992. *Pam. Puł.* 101: 51.