

WACŁAW BOGUSZEWSKI, ANDRZEJ PENTKOWSKI
Zakład Nawożenia IUNG — Puławy

WOLNO DZIAŁAJĄCE NAWOZY AZOTOWE

Znaczenie wolno działających nawozów azotowych

Szybko wzrastająca intensywność nawożenia mineralnego oraz zmiany organizacyjne i technologiczne w gospodarstwach rolnych skłaniają do poszukiwania nowych form nawozów i nowych sposobów ich stosowania. Rolnictwo zużywa coraz więcej nawozów, jednocześnie jednak dąży do ograniczenia ilości zabiegów nawozowych celem zaoszczędzenia pracy. W krajach o wysokim poziomie nawożenia często już można spotkać nawożenie fosforem i potasem raz na dwa lub trzy lata w odpowiednio zwiększonych dawkach.

Przy nawożeniu azotowym zwiększenie jednorazowych dawek nawozów kosztem zmniejszenia ich częstotliwości jest jednak bardzo ograniczone: azot wszystkich stosowanych dotychczas nawozów mineralnych albo w związku z ich rozpuszczalnością jest od razu łatwo przyswajalny dla roślin, albo staje się przyswajalny wskutek przemian chemicznych nawozów, następujących szybko po wprowadzeniu ich do gleby. Ta w zasadzie dodatnia właściwość nawozów azotowych w pewnych warunkach może się stawać właściwością ujemną:

1. Rośliny szybko pobierają azot nawozów i przy wysokich dawkach pobierają go w nadmiarze. Nieduży nadmiar prowadzi do niekorzystnego zakłócenia równowagi we wzroście, np. do silnego a nieproduktywnego krzewienia zbóż, duży nadmiar może wywołać zahamowanie wzrostu i zatrucie roślin.

2. Pomimo wysokiej dawki azotu przed siewem, w późniejszych fazach wzrostu roślin może nastąpić jego niedobór w wyniku „luksusowego” pobrania na początku wegetacji jak też biologicznego unieruchomienia w glebie.

3. Niebezpieczeństwo wymywania azotu z gleby podczas wegetacji roślin uprawnych jest wprawdzie w warunkach klimatycznych Polski niewielkie, zawsze jednak w przypadku obfitych opadów trzeba z nim się liczyć. Przy wysokich dawkach azotu niebezpieczeństwo to wzrasta.

Z wymienionych względów byłoby bardzo cenne dla rolnictwa wyprodukowanie nawozu azotowego trudno dostępnego roślinom w swej

pierwotnej postaci i tylko stopniowo przechodzącego w postać przyswajalną. Szczególną wartość miałby taki nawóz przy nawożeniu użytków zielonych, sadów i winorośli oraz niektórych warzyw i kwiatów o długim okresie wegetacyjnym. Naturalne wolno działające nawozy organiczne, jak mączka rogowa i odpady wełny, od dawna cieszą się uznaniem ogrodników, zwłaszcza przy nawadnianiu. Nawozy te nie mogą jednak oczywiście zadowolić rosnących potrzeb rolnictwa.

Szkic historyczny

Blanck i Giesecke w 1923 r., przeprowadzając próby konserwacji gnojówki za pomocą dodatku formaliny, stwierdzili, że w gnojówce przefermentowanej wytwarza się z amoniaku i formaldehydu sześciometylenoczteroamina, a w gnojówce świeżej mogą powstawać w wyniku reakcji mocznika z formaldehydem jedno- i dwumetylolumocznik. Autorzy przeprowadzili doświadczenia nawozowe z tymi produktami, stwierdzając szybki ich rozkład w glebie i dobre działanie nawozowe (6). Doświadczenia te można uważać za pierwszy przyczynek do badań nad zastosowaniem w rolnictwie związków mocznika z formaldehydem.

Za wolno działające nawozy azotowe należy uważać dopiero spolimeryzowane związki mocznika z formaldehydem o niskiej przyswajalności. Badania nad syntezą tych związków i ich zastosowaniem nawozowym rozpoczęli w latach 1940—1941 Yee i Love w USA (35) oraz Kappen w Niemczech (18), otrzymały one nazwę ureaformów. W przemyśle chemicznym związki tego typu znano już wcześniej, ale były to substancje o stosunku molowym mocznik : formaldehyd < 1 , wykorzystywane do produkcji mas plastycznych i nieprzydatne do celów nawozowych ze względu na swoją trwałość.

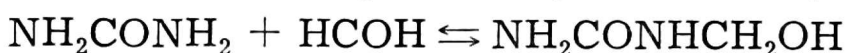
Badania nad zastosowaniem ureaformów do nawożenia rozszerzyły się po drugiej wojnie światowej przede wszystkim w USA (20, 23, 25, 26, 33, 35), potem w Niemczech (3—5, 18, 28) i Francji (11,31), a w ostatnich latach także w Polsce (7, 8, 13, 14, 21, 22, 29), w Związku Radzieckim (36), na Węgrzech (10), w Japonii (32) i w Izraelu (9, 15). Poza związkami mocznika z formaldehydem badania te obejmowały także, chociaż w znacznie mniejszym zakresie, związki mocznika z aldehydami octowym i krotonowym.

Niektóre ureaformy weszły na rynek nawozowy jako nawozy wolno działające do nawożenia sadów i trawników, np. Uranit w USA i Azorgan we Francji.

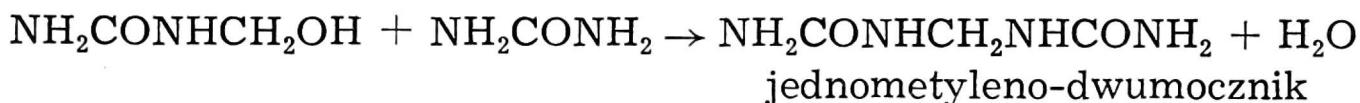
Chemiczne oblicze ureaformów

Ureaformy są to polimetylenomoczniki. Prawdopodobnie wszystkie otrzymywane ureaformy są nie ściśle określonymi związkami chemicz-

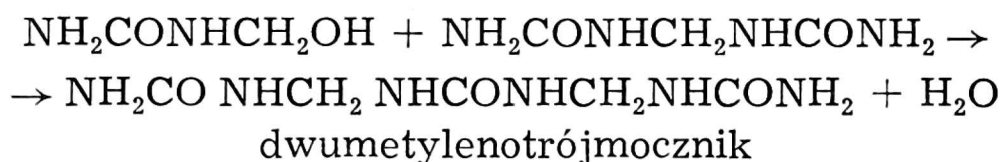
nymi a mieszaniną związków o różnym stopniu spolimeryzowania. Najprostszy produkt reakcji mocznika z formaldehydem — jednometylolmocznik otrzymano w formie krystalicznej w 1908 r. (33):



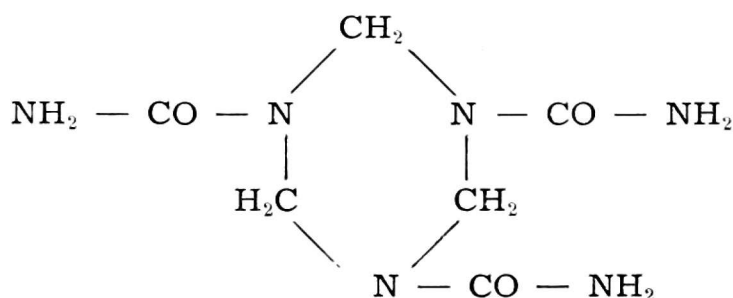
Przy odczynie kwaśnym następuje polimeryzacja powstających związków z wydzieleniem wody i wytworzeniem metylenomoczników:



i dalej



Wysuwa się różne przypuszczenia na temat budowy tych polimerów, między innymi, że są to związki o strukturze pierścieniowej (24) np.:



Inni badacze jednak podają dowody, że produkty uzyskane w warunkach kwaśnych mają strukturę łańcuchową (33).

W miarę polimeryzacji szybkość mineralizacji ureaformów i przyswajalność zawartego w nich azotu gwałtownie maleje. Poniżej podajemy charakterystykę kilku najprostszych związków tego typu (23, 33):

	Zawartość N w %		Mineralizacja w ciągu 2 tygodni w %
	ogólnego	nierozpuszczalnego	
Jednometylenodwumocznik	41,9	0,6	92
Dwumetylenotrójmocznik	40,2	8,3	53
Trójmetylenoczwieromocznik	39,4	38,2	—
Czterometylenopięciomocznik	—	—	3

Do podjęcia produkcji ureaformów było konieczne przebadanie wpływu warunków reakcji na charakter otrzymywanych polimerów. Najbardziej istotny jest stosunek molowy produktów wyjściowych. Jak już podawaliśmy, przy stosunku M : F (mocznika do formaldehydu) mniejszym od jedności są otrzymywane trwałe produkty o charakterze żywic. Do nawożenia nadają się w zasadzie produkty o stosunku M : F > 1,0.

Rozpuszczalność i szybkość mineralizacji szybko zwiększają się przy rozszerzeniu tego stosunku. W badaniach zwiększano go do 3,0, jednakże przy tak szerokim stosunku końcowy produkt zawiera dużo wolnego mocznika i rozpuszczalnych frakcji ureaformu (2, 24); w tym przypadku zatracą się cel produkcji — wytworzenie nawozu azotowego o wolnym działaniu.

Ansorge (1) podaje rozpuszczalność azotu ureaformów otrzymywanych przy $\text{pH} = 3,6$ i różnym stosunku M : F:

Stosunek M : F	Rozpuszczalność w % w wodzie	
	zimnej	gorącej
1,50	14	22
1,75	24	36
2,00	34	53
2,50	44	55

Jony H^+ katalizują proces polimeryzacji, dlatego w warunkach kwaśnej reakcji powstają produkty bardziej spolimeryzowane a tym samym mniej rozpuszczalne i trudniej ulegające mineralizacji. Winsor i Long (33) uzyskiwali następującą szybkość mineralizacji produktów otrzymywanych w różnych warunkach:

Stosunek molowy M : F	pH podczas reakcji	% N ulegającego mineralizacji	
		po 18 dniach	po 74 dniach
1,6	4,5	61	72
1,6	2,5	49	55
1,2	4,5	28	36
1,2	2,5	20	21

Również Ansorge (2) stwierdził, że produkty otrzymane przy $\text{pH} = 2,0$ rozkładają się wolniej niż otrzymane przy $\text{pH} = 3,6$ i $5,0$.

Dużo mniejszy i mniej regularny wpływ na charakter powstających produktów wywierają inne czynniki: koncentracja roztworów, temperatura, czas trwania reakcji itd. (2, 24, 33).

W zależności od warunków wytwarzania, otrzymywane są produkty o zawartości 37—39% azotu, mniej lub bardziej trudno rozpuszczalne w wodzie, łatwo rozpuszczalne w kwasach przy równoczesnym rozkładzie. Są to produkty białe, pyliste, nie wykazujące żrących własności, niehigroskopijne (24).

Najważniejszą właściwością ureaformów jest oczywiście wolne działanie nawozowe związane z niską rozpuszczalnością i stosunkowo małą

szybkością uruchamiania się zawartego w nich azotu. Mówiąc o rozpuszczalności ureaformów trzeba mieć na względzie, że, jak już podawaliśmy, są one mieszaniną związków o różnym stopniu spolimeryzowania, a tym samym o różnej rozpuszczalności. Dlatego poszczególne produkty o stosunku molarnym $M : F > 1,2$ można podzielić na trzy frakcje: 1) rozpuszczalna w zimnej wodzie; 2) silniej spolimeryzowana, rozpuszczalna w gorącej wodzie; 3) najsilniej spolimeryzowana, nierozpuszczalna (16). Pierwsza frakcja działa jak rozpuszczalne nawozy azotowe, druga działa wolno i najbardziej odpowiada poszukiwanej formie nawozu wolno działającego, rozkład i działanie nawozowe trzeciej frakcji są na tyle wolne, że nie dają się stwierdzić w krótkotrwałych doświadczeniach.

Wobec niejednakowej rozpuszczalności poszczególnych frakcji ureaformów stosowano dla charakterystyki nawozów tego typu różne specjalne kryteria, np. przyjmowano jako pierwszą rozpuszczalność w wodzie o temperaturze 30° w ciągu 24 godzin przy stosunku 1 g produktu na 400 ml wody i jako drugą rozpuszczalność przy pięciokrotnym traktowaniu wodą pozostałości w tych samych warunkach (33). Oznaczano także rozpuszczalność przy gotowaniu w wodzie w ciągu godziny (36). Ze stosunku rozpuszczalności uzyskiwanej w różnych warunkach próbowano wyliczyć wskaźnik przyswajalności mający charakteryzować zdolność produktu do mineralizacji. Kralovec i Morgan (20) ustalili tą drogą wskaźnik przyswajalności mający w przybliżeniu odpowiadać zawartości tej części nierozpuszczalnego azotu ureaformu, który w ciągu około 6 miesięcy ulega nitryfikacji w glebie.

Szybkość mineralizacji ureaformu w glebie zależy od jej odczynu. Przeważnie jest stwierdzana szybsza mineralizacja przy odczynie kwaśnym; np. w badaniach Windsora i Longa (33) nitryfikacja następowała przy $\text{pH} = 5,3$ szybciej niż przy $\text{pH} = 7,5$. Jednak dane różnych autorów na ten temat nie zawsze są zgodne. Wydaje się, że przyczyną niezgodności jest posługiwanie się jako testem mineralizacji szybkością nitryfikacji. Tymczasem powstawanie N-NO_3 z ureaformu składa się z dwóch etapów — właściwej mineralizacji związków organicznych azotu do N-NH_4 i właściwej nitryfikacji. Pierwszy etap w przypadku ureaformu odbywa się szybciej przy niskim pH , drugi, jak wiadomo, przy wysokim. W przemianach ureaformu o dużej zawartości frakcji rozpuszczalnych pierwszy etap przebiega łatwo i szybki przebieg całego procesu ma miejsce przy odczynie sprzyjającym intensywnej nitryfikacji. W ureaformach o niskiej zawartości frakcji rozpuszczalnej o szybkości całego procesu decyduje przebieg pierwszego etapu i szybsze powstawanie azotanów stwierdzamy przy niskim pH . Znamienne są pod tym względem wyniki badań Longa i Volka (23): produkty zawierające frakcję rozpuszczalną ulegały łatwiej nitryfikacji w glebie zwapnowanej ($\text{pH} = 6,2\text{—}6,9$), natomiast

po wyekstrahowaniu z takich samych produktów frakcji rozpuszczalnej stwierdzono więcej azotanów w glebie kwaśnej ($\text{pH} = 4,4\text{--}4,7$).

Szybkość mineralizacji zależy także od temperatury. W termostacie przy optymalnej temperaturze 28°C ulegają mineralizacji nawet bardzo trwałe postaci ureaformów (11, 15, 28), natomiast w doświadczeniach wegetacyjnych przeprowadzanych z reguły w warunkach niższej temperatury działanie tych samych produktów bywa bardzo słabe. Dalej cytujemy wyniki badań przeprowadzonych w Izraelu, osiągnięto tam stosunkowo dobry efekt nawozowy ureaformu o wąskim stosunku M:F, co prawdopodobnie należy przypisać między innymi wysokiej temperaturze tego kraju (15).

Szybkość mineralizacji ureaformu zależy także od aktywności mikrobiologicznej gleby, np. w doświadczeniach na piasku rośliny nie były w stanie wykorzystać azotu ureaformu (28). Obserwowano także zależność mineralizacji ureaformu od składu flory bakteryjnej w ryzosferze roślin (10).

Z ureaformów zawierających więcej frakcji rozpuszczalnej łatwiej uruchamia się również azot frakcji nierozpuszczalnej (2, 8, 31, 33). W badaniach Ansorge (2) frakcja nierozpuszczalna ureaformu o stosunku molowym $\text{M:F} > 2$ ulegała prawie całkowitemu uruchomieniu w ciągu 14 dni. Interesujące są wyniki badań Byczkowskiego i Seidlerowej (8):

Stosunek molowy M:F	% N rozpuszczalnego w zimnej wodzie	Ilość N w mg pobranego przez owies	
		z ureaformu w postaci wyjściowej	z ureaformu po odmyciu frakcji rozpuszczalnej
1,5	15,5	391	253
2,0	17,0	477	438

Rozszerzenie stosunku molowego M:F wpłynęło stosunkowo mało na zawartość azotu rozpuszczalnego w zimnej wodzie lecz wykorzystanie przez rośliny azotu, a zwłaszcza azotu frakcji nierozpuszczalnej, wzrosło bardzo znacznie wskutek jego szybszego uruchomienia.

Działanie nawozowe

Ureaformy o szerokim stosunku $\text{M:F} = 2$ i wyżej często wykazują działanie na plony roślin na równi z rozpuszczalnymi nawozami azotowymi, jak NH_4NO_3 i $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (1, 8, 21, 22, 29), w niektórych doświadczeniach ureaform działał lepiej od mocznika (21, 22). Wykorzystanie azotu z ureaformu bywa jednak z reguły niższe. Gdy więc chodzi o uzyskanie plonu o większej zawartości azotu, to przydatność ureaformu jest

mniejsza. Ureaformy o szerokim stosunku M:F, a tym samym o dużej zawartości azotu rozpuszczalnego, jednak tracą zalety nawozów wolno działających. Stosowanie ich w bardzo wysokich dawkach może wywołać ujemny skutek, podobnie jak wysokie dawki nawozów rozpuszczalnych (7).

Przy stosunku M:F=1,5—1,75 ureaformy odpowiadają bardziej pojęciu nawozów wolno działających. Z reguły w jednorocznych doświadczeniach skuteczność ich jest znacznie niższa od skuteczności nawozów rozpuszczalnych stosowanych w równoważnych dawkach (1, 3, 7, 21, 22, 28, 30). W doświadczeniach wazonowych Zołotariewa (36) ureaform działał gorzej od mocznika nawet przy jednorazowym zastosowaniu na 3 sezony wegetacyjne.

Ureaform wykazuje tę wyższość nad rozpuszczalnymi nawozami azotowymi, że można go stosować w bardzo wysokich dawkach (kilka g N na wazon), w jakich nawozy rozpuszczalne działają na rośliny ujemnie, a mocznik może spowodować zupełne zniszczenie roślin (3,7). Jednakże ten sam lub wyższy efekt w plonie daje się zwykle osiągnąć za pomocą mniejszej ilości rozpuszczalnego nawozu podzielonej na kilka dawek (3, 17).

Wydaje się jednak, że niekorzystne dla ureaformu wyniki niektórych badań były z góry do przewidzenia. Gdy mianowicie badania są prowadzone przez jeden sezon z rośliną o niezbyt długim okresie wegetacyjnym, zwłaszcza gdy są prowadzone w kulturach wazonowych, zagadnienie przydatności ureaformu nie może być właściwie wyświetlone. Ureaform jest nawozem azotowym działającym na tyle wolno, że pełne jego wykorzystanie nie następuje w ciągu okresu wegetacyjnego rośliny jednorocznej. Ponadto w doświadczeniach wazonowych nie następują straty azotu przez wypłukanie, a więc nie może się ujawnić przewaga, jaką mają w tym zakresie ureaformy nad rozpuszczalnymi nawozami.

W cytowanych już badaniach Zołotariewa (36) w polowych doświadczeniach z kukurydzą następującą po sobie w ciągu trzech lat ureaform stosowany co rok działał podobnie do mocznika. Przy zastosowaniu jednokrotnym tych nawozów w potrójnej dawce uzyskano na ureaformie wyższą sumę zwyżek plonów za 3 lata. Przy jednorazowym nawożeniu wielokośnych użytków zielonych nawóz rozpuszczalny wykazuje przewagę w plonie pierwszego pokosu, ureaform — w plonach późniejszych pokosów. Zamiana jednorazowego stosowania nawozu rozpuszczalnego kilkukrotnym w odpowiednio zmniejszonych dawkach jest kłopotliwa i nie zawsze daje dobre rezultaty (1). Na tym polega przydatność ureaformu do nawożenia trawników stwierdzana w licznych badaniach (12, 15, 26).

Francuski ureaform Azorgan dał przy nawożeniu bananów lepszy efekt od saletry amonowej (11).

Ureaformy o jeszcze niższej przyswajalności N (stosunek molowy M:F < 1,5) są już zupełnie nieporównywalne z rozpuszczalnymi nawozami azotowymi przy stosowaniu równoważnych dawek. W pewnym stopniu wyjątkowo pomyślne dla ureaformu wyniki otrzymali Hagin i współpracownicy w Izraelu (15). Wymienieni badacze stosowali ureaform o stosunku M:F = 0,5 w postaci niezestalonej (o zawartości części stałej 25%) jednorazowo pod dwa zbiory w ciągu jednego roku — kukurydzę i pszenicę. Uzyskano plony w q z ha:

(NH ₄) ₂ SO ₄	UF	Kukurydza	Pszenica
—	—	32,9	11,9
40	60	40,5	21,3
200	—	44,1	18,5
—	200	45,5	18,6
—	400	41,5	23,3
200	200	47,1	26,4

Bardzo wysoka dawka ureaformu (400 kg N) działała gorzej na pierwszy plon. Najlepsze wyniki uzyskano przy kombinowanym nawożeniu siarczanem amonu i ureaformem. Schemat doświadczenia nie daje jednak możliwości stwierdzenia, czy zastosowanie samego siarczanu amonu w dwóch dawkach — pod kukurydzę i pod pszenicę nie wywołałoby lepszego efektu. Względnie dobre działanie ureaformu o niskim stosunku M:F należy prawdopodobnie tłumaczyć, poza wysoką temperaturą panującą w Izraelu, również stosowaniem nawodnienia. Trzeba ponadto mieć na względzie, że o przyswajalności ureaformów decyduje stopień ich polimeryzacji. Wąski stosunek M:F jest warunkiem koniecznym osiągnięcia daleko idącej polimeryzacji, ale niewystarczającym. Znane są związki o wąskim stosunku M:F i względnie niskim stopniu spolimerowania. Jako przykład może służyć trójmetylenoczwieromocznik. Pomimo wąskiego stosunku M:F = 1,33 związek ten działał w badaniach Longa i Volka (23) nie gorzej od nawozów rozpuszczalnych.

Przeprowadzono szereg prób z zastosowaniem bardzo wysokich dawek ureaformów o wyjściowej niskiej zawartości azotu rozpuszczalnego, względnie pozbawionego frakcji rozpuszczalnej przez wymywanie. Long i Volk (23), stosując dziesięciokrotną dawkę ureaformu pozbawionego frakcji rozpuszczalnej, osiągnęli w dwóch kolejnych plonach pięciokrotnie wyższy efekt niż na pojedynczej dawce nawozu rozpuszczalnego. Jednakże w innych badaniach sześciokrotne dawki ureaformu o niskiej przyswajalności nie dorównywały w swym działaniu pojedynczej dawce

nawozu rozpuszczalnego (3). Wysokie dawki ureaformu wykazują przeważnie dobre działanie następcze w drugim roku (3, 4, 28), ale, jak już wymieniliśmy, ten sam efekt można osiągnąć za pomocą mniejszych dawek nawozów rozpuszczalnych stosowanych co rok.

Działanie mieszanek ureaformów z rozpuszczalnymi nawozami azotowymi

Ureaformy o wąskim stosunku M:F nie zabezpieczają roślin w dostateczną ilość przyswajalnego azotu na początku ich wzrostu. Z drugiej strony działanie rozpuszczalnych nawozów azotowych może być krótkotrwałe i stosowanie ich w jednorazowych dużych dawkach nie zawsze jest wskazane. Można więc się spodziewać dobrego rezultatu stosując jednocześnie ureaform o niskiej zawartości azotu przyswajalnego i rozpuszczalny nawóz azotowy.

W badaniach Kiliana (19) stwierdzono wykorzystanie azotu nawozów w ciągu 3 lat doświadczenia:

23% z samego ureaformu

38% z nawozu mieszanego (53% N w postaci ureaformu)

57% z NH_4NO_3 .

Uzyskano w tym doświadczeniu zbliżone plony na nawozie mieszanym i samym rozpuszczalnym. Szereg badaczy otrzymało najlepsze wyniki na kombinacji tych dwóch typów nawozów azotowych w doświadczeniach z jedną rośliną (3), z dwiema kolejnymi roślinami (15) i na trawnikach (12, 34).

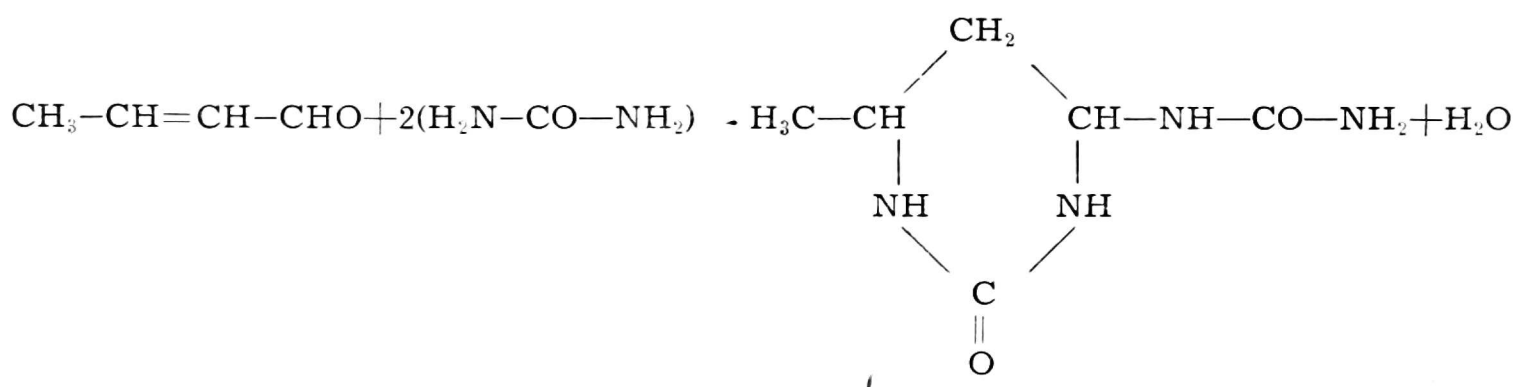
W USA czynione są próby wykorzystania ureaformów obok rozpuszczalnych związków azotowych do produkcji nawozów złożonych. W badaniach Longa i Volka (23) komponentami nawozów złożonych były ureaform handlowy produkowany dla rolnictwa i N-dure — produkt o przeznaczeniu nienawozowym, o stosunku molarnym M:F = 0,23. Stwierdzono szybszą nitryfikację i większe pobranie przez rośliny azotu z produktów spreparowanych z udziałem N-dure i mocznika niż z udziałem ureaformu handlowego. Badania te wskazują na nowe możliwości produkcji i wykorzystania nawozów wolno działających.

Związki mocznika z innymi aldehydami

Mocznik tworzy z aldehydem octowym związki łatwiej przyswajalne niż z formaldehydem. Znacznie lepszą skuteczność tych związków w porównaniu z formaldehydem stwierdzono wielokrotnie w badaniach niemieckich (2, 18, 27). W badaniach Górskiego (13, 14) produkt z Zakładów Azotowych Kędzierzyn uzyskany drogą kondensacji mocznika z aldehydem octowym działał na plon owsa w przybliżeniu na równi z saletrą amonową, podczas gdy działanie produktu otrzymanego z mocznika i formaldehydu było kilkakrotnie słabsze.

Jednakże przy zbyt dobrej rozpuszczalności łatwo się zatracą istotny cel produkowania nawozów wolno działających. Według Matuszewskiego i Stobieckiego (24), o ile przy wytwarzaniu właściwych ureaformów poszukujemy dróg prowadzących do otrzymania produktów o łatwiejszej przyswajalności, to przy produkcji kondensatów mocznika z aldehydem octowym otrzymuje się w zasadzie związki łatwo przyswajalne i trzeba stwarzać warunki sprzyjające powstawaniu produktów o trudniejszej przyswajalności.

Jung (16) badał działanie produktu reakcji mocznika z aldehydem krotonowym. Przypuszczalnie przebieg reakcji był następujący:



W doświadczeniach wazonowych z rajgrasem związek ten działał na pierwszy pokos słabiej od saletry amonowej, na drugi jednakowo i na trzeci lepiej; działanie ureaformu było natomiast dwa razy słabsze od saletry. Przy zastosowaniu przemywania gleby działanie omawianego związku było znacznie lepsze niż saletry amonowej. Nawet bardzo wysokie dawki tego związku nie okazywały szkodliwego wpływu na rośliny. Jednakże we wcześniejszych badaniach Kappena (18) związek mocznika z aldehydem krotonowym działał na równi z ureaformem a znacznie gorzej od związku mocznika z aldehydem octowym.

Postać fizyczna ureaformu

Francuski Azorgan jest produkowany w postaci granulowanej. Boguszewski i Pentkowski (7) badali działanie ureaformów próbnej produkcji Zakładów Azotowych w Kędzierzynie w postaci sproszkowanej i granulowanej o średnicy granuł poniżej 2 mm i nie stwierdzili różnic w rozpuszczalności i w działaniu nawozowym w doświadczeniach wegetacyjnych. Można jednak spodziewać się, że dla nawozu o tak niskiej przyswajalności postać fizyczna przy większej średnicy granuł nie jest bez znaczenia. Istotnie badania Scheffera (27) wykazały, że przy rozpuszczalnych nawozach azotowych granulacja do 3—4 mm średnicy nie wpływa na stopień ich wykorzystania, podczas gdy wykorzystanie ureaformu przy tej wielkości granuł już się obniża.

Wpływ ureaformu na strukturę gleby

Niektóre syntetyczne polielektrolity wywierają wpływ na zwiększenie stabilizacji agregatów glebowych. Działanie ich tłumaczy się polarnym wiązaniem cząstek ilastych gleby za pomocą grup NH_2 , COOH , OH przynależnych do długich łańcuchów tych związków. Substancje te są bardziej odporne na rozkład biologiczny niż naturalne związki organiczne. Wpływ ich na strukturę gleby ujawnia się już przy stosunkowo niewielkiej ilości.

Budowa ureaformu ze względu na długie łańcuchy z licznymi grupami NH_2 i CO wskazuje na możliwość takiego wpływu. Dasberg i współpracownicy badali w Izraelu wpływ na strukturę gleby smoły ureaformowej przygotowanej według specjalnego patentu, o stosunku molarnym $\text{M} : \text{F} = 0,5$ i zawartości 10% N (9). W wyniku zastosowania 4000 kg tego związku na powierzchni 1 ha ilość agregatów glebowych $> 0,25$ mm wzrosła z 17,4 do 20,6%. Efekt ten trzeba ocenić jako słaby, skoro w tych samych badaniach ilość agregatów tej samej wielkości wzrosła pod wpływem Rohagitu (polimeru soli kwasu metakrylowego) do 39%. Wydaje się więc, że do omawianej właściwości ureaformu nie należy przywiązywać większego znaczenia, zwłaszcza że działanie nawozowe ureaformu następuje w miarę jego rozkładu, działanie koagulujące musi więc jednocześnie zanikać.

* * *

Dotychczasowe badania nad wartością nawozową ureaformów są raczej mało zachęcające. Uruchomienie frakcji nierozpuszczalnej tych nawozów odbywa się na tyle wolno, że na pełne ich wykorzystanie można liczyć dopiero po szeregu latach.

Francuscy producenci Azorganu zakładają uruchomienie azotu tego nawozu w glebach czynnych w pierwszym roku — 50% (frakcja przyswajalna) i w dalszych latach po 10% (frakcja nierozpuszczalna). Według tego założenia przy stosowaniu co rok po 100 kg N w Azorganie uruchamiają się z kolejnych dawek następujące ilości azotu:

1 rok: 50	= 50 kg
2 rok: 10 + 50	= 60 kg
3 rok: 10 + 10 + 50	= 70 kg
4 rok: 10 + 10 + 10 + 50	= 80 kg
5 rok: 10 + 10 + 10 + 10 + 50	= 90 kg
6 rok: 10 + 10 + 10 + 10 + 10 + 50	= 100 kg
7 rok: — 10 + 10 + 10 + 10 + 10 + 50	= 100 kg.

Przy tym systemie nawożenia w pierwszych pięciu latach trzeba

byłoby wprowadzić uzupełnienie w nawozach rozpuszczalnych celem dostarczenia roślinom 100 kg azotu przyswajalnego. Poczynając od szóstego roku ilość azotu uruchamiającego się z ureaformu ma się zrównać z ilością wprowadzaną co rok z tym nawozem. Oczywiście, dla odmian ureaformu o słabszej przyswajalności i dla gleb mniej czynnych okres sześcioletni byłby za mały do osiągnięcia tej równowagi.

Trzeba mieć na względzie, że uruchomienie azotu wolno działającego częściowo odbywa się w okresach, kiedy on nie jest wykorzystywany przez rośliny i z tym związane są straty azotu, podobnie jak ma to miejsce przy rozkładzie naturalnych nawozów organicznych.

Mając do dyspozycji tani nawóz wolno działający można by nawozić na zapas, godząc się z wykorzystaniem jego dopiero po kilku latach i z większymi stratami azotu niż te, jakie następują z nawozów rozpuszczalnych. Ale ureaform nie może być nawozem tanim. Skoro jest produktem reakcji mocznika z formaldehydem, jednostka azotu musi w nim kosztować znacznie drożej niż w moczniku.

Wydaje się jednak, że nie należy traktować badań nad wyprodukowaniem i zastosowaniem wolno działających nawozów azotowych za sprawę zakończoną. Tendencje do uproszczeń w gospodarstwie rolnym i jak najdalszego obniżenia jego pracochłonności są tak silne, że potrzeba wolno działających nawozów będzie prawdopodobnie stawać się coraz bardziej aktualna. Wyprodukowanie nawozów zabezpieczających nieco szybszy obieg azotu w glebie niż ureaformy i perspektywy ewentualnych zmian w stosunku cen nawozów do cen płodów rolnych na korzyść rolnictwa mogą stworzyć sytuację, w której wolno działające nawozy azotowe znajdą szerokie zastosowanie.

LITERATURA

1. An s o r g e H.: Z. landw. Untersuchw., 1961, 7, s. 26—40.
2. An s o r g e H.: Z. landw. Untersuchw. 1962, 8, s. 297—306.
3. A t a n a s i u N.: Landw. Forsch. 1956, Sonderheft 7, s. 108.
4. A t a n a s i u N.: Landw. Forsch. 1957, Sonderheft 9, s. 57—60.
5. A t a n a s i u N.: Z. Pfl. Ernähr. Düng., 1959, 84, s. 103—110.
6. B l a n c k E., G i e s e c k e F.: Z. Pfl. Ernähr. Düng. 1923, 2, s. 393.
7. B o g u s z e w s k i W., P e n t k o w s k i A.: w przygotowaniu do druku.
8. B y c z k o w s k i A., S e i d l e r M.: Pamiętnik Puławski 1964, 14, s. 245—265.
9. D a s b e r g S., M o r i n J., H a g i n J.: The Israel Journ of Agric. Research 1962, 12, 4, s. 145—152.
10. D e r i m o w a T., P á n t o s G.: Agrokémia és Talajtan. 1959, 8, 4, 313—320.
11. G a d e t R.: Wykorzystanie szczególnych właściwości metyleno-moczników (Azorgan) jako nawozu azotowego dla drzew owocowych. Komunikat wygłoszony na zjeździe pomologicznym Francji w Tuluzie 3—5. X. 1959 r.
12. G i l b e r t F. A., B o w e r s A. H., S a n d e r s M. D.: Agron. J. 1958, 50, s. 320—323.

13. Górski M.: Roczn. Gleb. 1961, 10, 2, s. 335—339.
14. Górski M.: Post. Nauk Roln. 1961, 2, s. 3—11.
15. Hagin J., Morin J., Dasberg S.: The Israel Journ of Agric. Research. 1962, 12, 4, s. 141—144.
16. Jung J.: Z. Pfl. Ernähr. Düng. 1961, 94, s. 39.
17. Kaltofen H.: Thaer - Archiv. 1962, 6, s. 527—544.
18. Kappen H., Lichtenberg P.: Z. Pfl. Ernähr. Düng. 1941, 24.
19. Kilian K. C.: Diss. Abstr. 1964, 24, s. 3485.
20. Kralovec R. D., Morgan W. A.: J. Agricult. Food Chemistry 1954, 2, s. 92.
21. Lityński T.: Urea-formaldehyde preparations as slow-acting nitrogen fertilizers (referat). V Congres mondial des Fertilisants — Zurych, 1964.
22. Lityński T., Mazurek K.: Preparaty formaldehydowo-mocznikowe jako wolno działające nawozy azotowe. Roczn. Gleb. 1963, 13 (dodatek), s. 277.
23. Leslie Long T., Volk G. M.: Agron, J., 1963, 55, 2, s. 155.
24. Matuszewski Z. Stobiecki T.: Przemysł chemiczny, 1959, 38, s. 484—486.
25. Mruk C. K., Wiśniewski A. J., De France J. A.: Agric. Chemic. 1957, 12, 9, s. 49—50, 145—146.
26. Musser H. B., Duich J. M.: Agron. J. 1958, 50, s. 381—384.
27. Scheffer F., Kloke A., Grümmer J. H.: Z. Pfl. Ernähr. Düng. 1957, 78, s. 97—107.
28. Schmalfuss K., Michael G.: Z. Pfl. Ernähr. Düng. 1956 72 (117), s. 193—200.
29. Seidler M.: Pamiętnik Puławski 1964, 14, s. 179—186.
30. Skarsbook C. E. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 1958, 22, 11, 442—445.
31. Soubies L., Gadet R.: Fruits 1957, 12, 11, s. 83—97.
32. Takagishi H., Ushioda T.: J. Sci. Soil. Tokyo. 1961, 32, s. 125—129.
33. Winsor G. W., Long M. I. E.: Journ. Sci. Food Agricult. 1958, 9, 4, s. 185.
34. Wiśniewski A. J., De France J. A., Kollett J. R.: Agron. J. 1958, 50, 10, s. 575.
35. Yee J. Y. Love K. S.: Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 1947, 11, s. 389.
36. Zołotariew W. P.: Agrochimija, 1965, 1, s. 42.