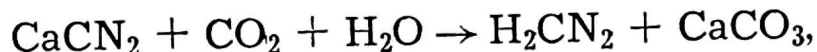


TADEUSZ LASOTA, KAZIMIERA DRZAS
Pracownia Nawożenia IUNG w Puławach

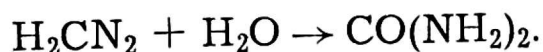
MOCZNIK JAKO NAWÓZ AZOTOWY

W najbliższych latach rozpocznie się na szerszą skalę produkcja mocznika do celów nawozowych. Zgodnie z założeniami udział jego w ogólnej ilości nawozów azotowych ma osiągnąć już w 1965 r. około 12% zaś w latach 1975—1980 w przybliżeniu 33%. W związku z tak dużą planowaną produkcją mocznika nasuwa się potrzeba zebrania najważniejszych danych o właściwościach tego związku i jego wartości nawozowej.

Mocznik zawiera 46% azotu i jest jednym z najbardziej skoncentrowanych nawozów azotowych w formie stałej. Na skalę techniczną otrzymywano go dawniej przeważnie z azotniaku. Metoda ta polegała na wprowadzaniu dwutlenku węgla do mieszaniny azotniaku z wodą. W wyniku reakcji powstaje cyjanamid według następującego równania:



który w kwaśnym środowisku ulega hydrolizie na mocznik



Według nowszych metod otrzymuje się mocznik przez bezpośrednie łączenie amoniaku z dwutlenkiem węgla na karbaminian amonowy — $\text{NH}_4\text{CO}_2\text{NH}_2$, który w temperaturze 140°C i pod ciśnieniem 120 atmosfer przechodzi w mocznik według wzoru: $\text{NH}_4\text{CO}_2\text{NH}_2 \rightarrow \text{NH}_2\text{CONH}_2 + \text{H}_2\text{O}$.

Właściwości fizyczne mocznika

Drobnokrystaliczna postać mocznika oraz stosunkowo niski ciężar właściwy w porównaniu z innymi nawozami azotowymi (1 m³ waży 0,65 tony, tj. 1 tona zajmuje 1,55 m³) umożliwiają równomierny jego wysiew w polu. Mocznik jest związkiem bardzo łatwo rozpuszczalnym (w 1 litrze wody o temperaturze 21°C rozpuszcza się około 1 kg). Higroskopijność mocznika jest tylko nieznacznie wyższa niż siarczanu amonu. Mocznik chłonie o wiele mniej wilgoci z powietrza w porównaniu do saletry amonowej, która, podobnie jak i saletra wapniowa, już nawet przy niskiej wilgotności względnej powietrza staje się mazista. Utrudnia to jej wysiew w polu, szczególnie przy stosowaniu siewu maszynowego. Mocznik w tych warunkach zachowuje właściwą mu sypkość,

TADEUSZ LASOTA, KAZIMIERA DRZAS
Pracownia Nawożenia IUNG w Puławach

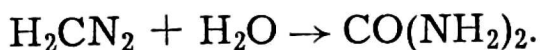
MOCZNIK JAKO NAWÓZ AZOTOWY

W najbliższych latach rozpocznie się na szerszą skalę produkcja mocznika do celów nawozowych. Zgodnie z założeniami udział jego w ogólnej ilości nawozów azotowych ma osiągnąć już w 1965 r. około 12% zaś w latach 1975—1980 w przybliżeniu 33%. W związku z tak dużą planowaną produkcją mocznika nasuwa się potrzeba zebrania najważniejszych danych o właściwościach tego związku i jego wartości nawozowej.

Mocznik zawiera 46% azotu i jest jednym z najbardziej skoncentrowanych nawozów azotowych w formie stałej. Na skalę techniczną otrzymywano go dawniej przeważnie z azotniaku. Metoda ta polegała na wprowadzaniu dwutlenku węgla do mieszaniny azotniaku z wodą. W wyniku reakcji powstaje cyjanamid według następującego równania:



który w kwaśnym środowisku ulega hydrolizie na mocznik



Według nowszych metod otrzymuje się mocznik przez bezpośrednie łączenie amoniaku z dwutlenkiem węgla na karbaminian amonowy — $\text{NH}_4\text{CO}_2\text{NH}_2$, który w temperaturze 140°C i pod ciśnieniem 120 atmosfer przechodzi w mocznik według wzoru: $\text{NH}_4\text{CO}_2\text{NH}_2 \rightarrow \text{NH}_2\text{CONH}_2 + \text{H}_2\text{O}$.

Właściwości fizyczne mocznika

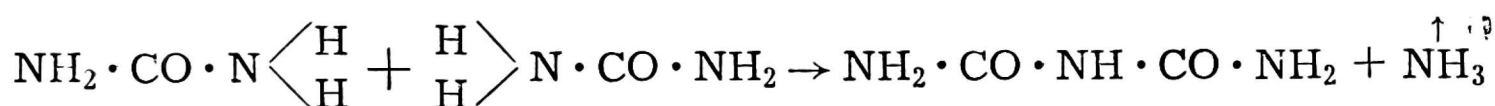
Drobnokrystaliczna postać mocznika oraz stosunkowo niski ciężar właściwy w porównaniu z innymi nawozami azotowymi (1 m³ waży 0,65 tony, tj. 1 tona zajmuje 1,55 m³) umożliwiają równomierny jego wysiew w polu. Mocznik jest związkiem bardzo łatwo rozpuszczalnym (w 1 litrze wody o temperaturze 21°C rozpuszcza się około 1 kg). Higroskopijność mocznika jest tylko nieznacznie wyższa niż siarczanu amonu. Mocznik chłonie o wiele mniej wilgoci z powietrza w porównaniu do saletry amonowej, która, podobnie jak i saletra wapniowa, już nawet przy niskiej wilgotności względnej powietrza staje się mazista. Utrudnia to jej wysiew w polu, szczególnie przy stosowaniu siewu maszynowego. Mocznik w tych warunkach zachowuje właściwą mu sypkość,

a staje się mazisty dopiero przy wysokiej wilgotności powietrza, przy której wymienione saletry przechodzą już w stan płynny (23, 49).

Zarówno wysoka zawartość azotu, jak też i znacznie niższa higroskopijność, oraz niższy, według orientacyjnej kalkulacji, koszt produkcji jednostki azotu w moczniku niż saetrze amonowej zaważyły na zaplanowaniu tak dużego udziału tego nawozu w asortymencie nawozów azotowych.

Własności chemiczne

Mocznik jako dwuamid kwasu węglowego ulega łatwo hydrolizie do amoniaku i dwutlenku węgla pod działaniem kwasów i zasad oraz pod wpływem enzymu — ureazy. Podczas ogrzewania mocznika do punktu jego topliwości (132,7°C) dwie jego cząsteczki kondensują, w rezultacie czego powstaje biuret z wydzieleniem się cząsteczki amoniaku według następującej reakcji:



Obecność biuretu w moczniku jest jedną z niekorzystnych cech tego nawozu.

Biuret i jego szkodliwość

Występujący w produkcie handlowym biuret powstaje jako nieunikniony produkt uboczny w procesie technologicznym mocznika. Zawartość jego może się wahać w dość szerokich granicach od 0,2 do 2 i więcej procent.

Toksyczny wpływ biuretu, przejawiający się w upośledzeniu kiełkowania nasion, a następnie wzrostu roślin, został udowodniony przez Gadeta (20), Ogatę (36) i Rotiniego (44), natomiast Webster (55) stwierdził, że biuret obniża silnie zawartość białka w liściach, co zewnętrznie przejawia się w ich żółknięciu. Autorzy ci (55) stwierdzili ponadto, że sam biuret nie jest tak szkodliwy dla roślin, jak w połączeniu z mocznikiem. Fakt ten świadczy o tym, że biuret powoduje jakieś zakłócenia w początkowej przemianie mocznika w roślinie.

Nie wszystkie gatunki roślin są jednakowo wrażliwe na koncentrację biuretu. Według danych Gadeta (20) najwrażliwsze są ziemniaki i buraki, dla których graniczną ilością nie powodującą jeszcze uszkodzeń jest dawka biuretu wynosząca 3—4 kg/ha, podczas gdy dla pszenicy — 6 kg. Najmniej wrażliwą okazała się kukurydza, która znosi nawet 15 kg biuretu na ha. Jak wynika z przytoczonych danych, umiarkowane nawożenie mocznikiem nie grozi zatruciem roślin przez biuret (z dawką 60 kg N w formie mocznika zawierającego 1—2% biuretu wnosimy tylko 1,3—

2,6 kg biuretu na ha). Szczególną ostrożność należy zachować przy do-
listnym stosowaniu mocznika, gdyż zawarty w nim biuret jest wtedy
bardziej szkodliwy niż przy stosowaniu poprzez glebę. Jak wynika z da-
nych Gadeta (20), do opryskiwania winorośli i drzew owocowych można
używać roztworów mocznika zawierającego nie więcej niż 0,5% biuretu.
W glebie biuret nie nagromadza się ulegając wymywaniu, hydrolizie
i następnie nitryfikacji. Hydroliza biuretu przebiega jednak bardzo wol-
no, gdyż trwa około 2—3 miesięcy, a może być przyspieszona tylko przez
obecność mocznika w glebie.

Pobieranie mocznika przez rośliny

Wielu autorów stwierdzało, że mocznik może być pobierany przez
korzenie roślin i w ten sposób stać się dla nich bezpośrednim źródłem
azotu. Klein (29) i Reifer (42) utrzymują, na podstawie przeprowadzonych
przez nich badań, że jest on nawet bardzo szybko pobierany przez roś-
liny. Istotnie autorzy ci stwierdzali wzrost zawartości w roślinach mocz-
nika pobranego z pożywki w różnych odstępach czasu po jego zastoso-
waniu. Nie określali oni jednak ogólnej ilości pobranego azotu z mocz-
nika, ani też nie porównywali szybkości jego pobierania z szybkością
pobierania innych nawozów azotowych. Ten brak metodyczny w doś-
wiadczeniach wymienionych autorów nie pozwala na dokładną ocenę
mocznika jako źródła azotu dla roślin. Dopiero porównawcze badania
Gouny (21) w kulturach piaskowo-przepływowych wykazały, że mocz-
nik jest znacznie gorszym źródłem azotu dla roślin niż saletra sodowa
i amonowa. Doświadczenia Lasoty (32) w kulturach wodnych potwier-
dziły wyniki uzyskane przez Gouny. Także Ostromecka (38) stwierdziła
dwukrotnie mniejsze pobieranie azotu z mocznika niż azotanu amonu.
Zostało więc udowodnione, że mocznik może być pobierany przez rośliny,
jednak wyraźnie gorzej niż jony amonowe i azotanowe.

Przemiany mocznika w roślinie

O ile gorsze pobieranie przez rośliny azotu mocznika w porównaniu
z innymi związkami azotowymi można uważać za udowodnione, to prze-
bieg przemian mocznika w roślinach nie jest dotychczas dostatecznie
wyjaśniony. Według Kleina (29) pobrany mocznik ulega w roślinach
rozpadowi pod wpływem występującej w nich ureazy do amoniaku, który
z kolei może być użyty do syntezy amidów, aminokwasów i białek.
Autor ten podaje również, że przy dłuższym żywieniu roślin dużymi
ilościami mocznika dochodzi często do wystąpienia objawów zatrucia
ich amoniakiem powstałym z mocznika w wyniku jego hydrolizy. Wy-

niki badań Pawłowa (40), przeprowadzone na opryskanej mocznikiem kukurydzy, wskazywałyby również na podobne zachowanie się mocznika w roślinie. Już po 45 minutach od oprysku autor ten stwierdził znaczny wzrost zawartości mocznika w kukurydzy, ale po 4,5 godzinach ilość mocznika zaczęła maleć, a amoniaku wzrastać. Także Hinsvark i współpracownicy (25), żywiąc rośliny mocznikiem znakowanym węglem C^{14} , stwierdzili wydzielanie się radioaktywnego dwutlenku węgla, co również wskazywałoby na to, że mocznik w roślinach ulega hydrolizie. Warto tu jednak wspomnieć, że autorzy ci, chcąc oznaczyć wydzielanie się radioaktywnego CO_2 , podawali mocznik roślinom trzymanym już uprzednio w ciemności, a więc w warunkach nienormalnych dla przebiegu wielu procesów biochemicznych, a zatem nie można mieć również dostatecznej pewności czy przemiana podanego roślinom mocznika przebiegała również normalnie. Reifer (42) oraz Lasota (32), żywiąc rośliny różnymi źródłami azotu, nie stwierdzili wyraźnie większego nagromadzenia amoniaku w roślinach zaopatrzonych w mocznik w stosunku do roślin żywionych azotanem lub siarczanem amonu. Obserwowali oni natomiast zwiększoną zawartość amidów w roślinach na pożywce mocznikowej. Ponadto Reifer w swej pracy stwierdził, że spośród amidów głównie wzrastała zawartość glutaminy. Podobnie Ziętecka (58) stwierdziła wzrost zawartości amidów na moczniku, wśród których przeważała również glutamina, natomiast zawartość amoniaku była nawet mniejsza na moczniku niż na siarczanie amonu.

Niestwierdzenie zwiększonych ilości amoniaku w roślinach żywionych mocznikiem nie świadczy jeszcze o tym, że przemiany mocznika odbywają się na innej drodze niż hydroliza. Amoniak bowiem może być produktem przejściowym w metabolizmie azotowym, a jego nagromadzenie się może następować tylko w niekorzystnym układzie warunków. Przytoczone wyniki badań odnośnie przemian mocznika w roślinach nie są całkowicie zgodne. Wyłania się zatem potrzeba podjęcia dalszych badań, które rozstrzygnęłyby to zagadnienie. Sprawa ta, oprócz znaczenia teoretycznego, nabiera coraz bardziej aspektu praktycznego, gdyż wiąże się z możliwością użycia mocznika do pogłównego nawożenia, kiedy to rośliny uprawne mogą go pobierać w stanie jeszcze nierozłożonym.

Przemiany mocznika w glebie

W glebie mocznik stosunkowo szybko ulega hydrolizie. W wyniku tego procesu powstaje z mocznika węglan amonu, który z kolei rozkłada się na amoniak i dwutlenek węgla. Przemiana mocznika do NH_3 i CO_2 zachodzi pod wpływem ureazy wydzielanej przez bakterie mocznikowe,

do których można zaliczyć: *Bacterium vulgare*, *Bacterium Coli*, *Bacillus mycoides*, *Sarcina urea*, *Urobacillus Pasteuri* oraz liczne grzyby (34). Hydroliza mocznika w glebie może odbywać się także i bez udziału mikroorganizmów, o ile ureaza została w niej uprzednio nagromadzona.

Szybkość hydrolizy zależy od szeregu czynników, jak temperatura, wilgotność gleby oraz jej odczyn i rodzaj. Według najnowszych badań (8, 19, 25, 39, 48) mocznik ulega rozkładowi w ciągu 4—10 dni, choć znane są przypadki, kiedy hydroliza trwała nawet krócej.

Najszybciej zachodzi hydroliza mocznika w glebie przy temperaturze 20—30°C. Podwyższenie lub obniżenie temperatury w stosunku do optymalnej wpływa hamująco na przebieg tego procesu. Według Kalinkiewicza (28) czas rozkładu mocznika w glebie przy temperaturze 12°C przedłuża się do 18—20 dni.

Susza oraz nadmierne uwilgotnienie gleby hamują rozkład mocznika, a w warunkach skrajnych proces ten przestaje zupełnie zachodzić (17, 26). Najszybciej przebiega hydroliza przy 50—60% całkowitej pojemności wodnej. W glebach próchnicznych i cięższych rozkład mocznika zachodzi na ogół szybciej niż w glebach lekkich i ubogich w próchnicę.

Jak wskazują badania Soubiesa (48), przeprowadzone na kilkudziesięciu glebach, odczyn gleby wywiera nieznaczny wpływ na proces rozkładu mocznika do amoniaku. Ponadto niejednokrotnie stwierdzano, że wywiązujący się w czasie hydrolizy amoniak podnosi przeciętnie pH o 0,5—0,7 jednostki. Alkalizujące działanie tego amoniaku jest jednak przemijające, ponieważ przy nitryfikacji amoniaku pH gleby obniża się ponownie.

W przeciwieństwie do hydrolizy, proces nitryfikacji jest bardziej zależny od odczynu gleby i temperatury. Najintensywniej przebiega on w glebach obojętnych i słabo alkalicznych, a więc w granicach 6,5—8 pH przy temperaturze 20—30°C. Tak więc nawożenie mocznikiem w warunkach odbiegających znacznie od warunków optymalnych dla przebiegu nitryfikacji będzie się sprowadzać do nawożenia roślin amoniakiem.

Oprócz czynników fizyko-chemicznych również i czynniki biotyczne wywierają znaczny wpływ na szybkość hydrolizy mocznika. Własiuk (56), badając aktywność ureazy w ryzosferze różnych roślin uprawnych, stwierdził, że poza ryzosferą jest ona znacznie mniejsza niż w samej ryzosferze. Spośród przebadanych przez niego roślin największą aktywnością ureazy odznaczała się ryzosfera łubinu, koniczyny, gryki i kukurydzy. Ponadto autor ten stwierdził, że w miarę starzenia się roślin aktywność ureazy w ryzosferze maleje.

Straty azotu przez ulatnianie się amoniaku

Według licznych badań (4, 33, 37, 48), podczas hydrolizy mocznika w glebie mogą zachodzić straty azotu na skutek ulatniania się amoniaku. Wielkość tych strat zależy od szeregu czynników: wysokości dawki mocznika, temperatury, wilgotności gleby oraz od głębokości przykrycia nawozu. Przy powierzchniowym stosowaniu nawozów azotowych Volk (52) stwierdził największe straty na moczniku. I tak na glebie wapnowanej dochodziły one do 25% ilości zastosowanego azotu, podczas gdy w przypadku saletry amonowej były znikome. Ponadto autor ten stwierdził, że ulatnianiu się amoniaku skutecznie zapobiega głębsze umieszczenie mocznika w glebie, przynajmniej na głębokość 4—5 cm.

Wywiązujący się podczas hydrolizy mocznika amoniak może w niektórych wypadkach wywierać szkodliwy wpływ na kiełkowanie nasion niektórych roślin uprawnych. Asłanian (1), stosując różne nawozy azotowe rzędowo na głębokości 1—2 cm pod nasionami, stwierdził, że bawełna na moczniku nie weszła zupełnie, a buraki cukrowe tylko w 40%. U owsa natomiast większe uszkodzenie wschodów wystąpiło na saletrze sodowej. W przypadku mieszania nawozów z glebą wschody wszystkich roślin były normalne. Podobnie Górski (22) zaobserwował ujemny wpływ mocznika na kiełkowanie nasion gorczycy w kulturach piaszkowych, natomiast w doświadczeniach glebowych uzyskiwał on wschody normalne.

Przytoczone wyżej obserwacje wskazywałyby na konieczność przestrzegania ostrożności przy stosowaniu mocznika rzędowo w pobliżu nasion, jak również większych dawek na glebach piaszczystych, ze względu na możliwość uszkodzenia wschodów. Na glebach zwięzłych natomiast, a również i na zasobniejszych w próchnicę — zwłaszcza przy rzutowym stosowaniu mocznika i dostatecznym wymieszaniu go z glebą — niebezpieczeństwo uszkodzenia wschodów jest mało prawdopodobne.

Ocena wartości nawozowej mocznika

Ocenę wartości nawozowej mocznika w stosunku do innych nawozów azotowych prowadzono w doświadczeniach wazonowych, mikropoletkowych i polowych. W większości z nich badano efektywność tego nawozu przy przedsięwnym, a tylko w nielicznych wypadkach przy pogłównym jego stosowaniu.

W doświadczeniach wazonowych, w warunkach kultur glebowych, mocznik okazał się tak samo dobrym nawozem, jak saletra sodowa w zastosowaniu pod jęczmień (23), pomidory i kapustę (13) oraz tak samo dobrym, jak saletra amonowa pod owies (32) i gorczycę (22). Gorsze natomiast działanie mocznika w stosunku do wyżej wymienionych nawo-

zów stwierdził Boratyński (6) w doświadczeniach na piasku z małą domieszką gleby na plony gorzycy i prosa japońskiego.

Wyniki doświadczeń na mikropoletkach wykonanych w Pracowni Nawożenia IUNG w Gorzowie (2) wykazały, że działanie mocznika na plon gorzycy, pszenicy jarej oraz kukurydzy było zbliżone do działania saletry amonowej i nieco lepsze od wody amoniakalnej. Jedynie w jednym doświadczeniu z gorzycą mocznik ustępował nieco saletrze amonowej przy wyższych jego dawkach.

Do niedawna wykonano w Polsce w różnych placówkach naukowych nieliczne tylko doświadczenia polowe z porównaniem wartości nawozowej mocznika z innymi nawozami azotowymi. Rezultaty tych doświadczeń zestawiono w tabeli 1. Wynika z nich, że wartość nawozowa mocznika jest zbliżona do wartości saletraku i nieco wyższa od wartości nawozowej wody amoniakalnej.

Tabela 1

Plony roślin uprawnych na różnych nawozach azotowych (doświadczenia polowe wykonane w Polsce do roku 1958)

Roślina	Autorzy	Plony ziarna, kłębów, korzeni w kwintalach z ha						
		bez azotu	mocz- nik	sale- trzak	woda amo- nia- kalna	sal. amo- nowa	azot- niak	siar- czan amo- nu
Pszenica jara	Birecka i współprac.*	20,8	24,9	25,6	21,9	—	—	—
Jęczmień	Birecka i współprac.*	22,3	26,4	26,9	25,1	—	—	—
Buraki cukrowe	Świętochowski i współ.	317	373	358	337	—	—	—
	Wondrausch i współprac.	306	335	—	332	340	—	—
Ziemniaki	Świętochowski i współ.	71	91	—	85	—	—	90
	Czerwiński	208	253	258	256	—	260	—
Marchew	Boratyński	295	336	333	330	—	—	—
Rzepak	Birecka i współprac.*	8,2	10,3	10,8	11,1	—	—	—
Gorzycza	Birecka i współprac.*	10,0	14,1	13,9	12,4	—	—	—
	Świętochowski i współ.	5,1	6,4	—	4,4	—	—	5,4

* Podano przeciętne plony uzyskane na 3 dawkach.

Od 1959 r. Doświadczalnictwo Terenowe IUNG prowadzi bardzo liczną serię doświadczeń polowych pod kierownictwem Zakładu Nawożenia IUNG w Bydgoszczy. Badania te są w toku. Z ogłoszonych wyników pierwszej serii 43 doświadczeń z owsem oraz kilku z burakami cukrowymi (5) można już wnioskować, że przeciętne działanie mocznika nie ustępuje działaniu saletry amonowej.

Rezultaty niemieckich badań są mniej pomyślne dla mocznika. Z zestawienia Buchnera (10), podanego w tabeli 2, a obejmującego wyniki 259 doświadczeń polowych wynika, że dla większości roślin uprawnych wartość nawozowa mocznika jest w przybliżeniu o około 10% niższa od wartości nawozów saletrzanych (jeśli nie brać pod uwagę jedyne zresztą doświadczenia z marchwią). W zastosowaniu pod jęczmień i buraki cukrowe mocznik był zdecydowanie lepszy niż siarczan amonu. Gorsze działanie tego ostatniego nawozu na plony jęczmienia i buraków cukrowych mogło być spowodowane zbyt silnym zakwaszeniem gleby, na co rośliny te są szczególnie wrażliwe. Natomiast pod ziemniaki mocznik okazał się wyraźnie gorszym nawozem niż siarczan amonu, a podobne wyniki z tą rośliną otrzymywali również w swych doświadczeniach Kottmeier (30) i Niczik (35).

Tabela 2

Działanie mocznika w porównaniu do innych nawozów azotowych (wg Buchnera i Kradela — mocznik = 100)

Ilość dośw.	Roślina	Przeciętna dawka N kg/ha	Plony względne			
			siarczan amonu	mieszana $\text{NH}_4\text{NO}_3 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	saletrzak	saletra wapniowa
10	Pszenica ozima	50	107	107	—	—
16	Żyto	45	107	132	—	—
20	Owies	40	—	108	—	—
17	Jęczmień	45	52	105	—	—
81	Ziemniaki	40	111	—	—	—
38	Buraki cukrowe	75	90	119	—	108
22	Buraki pastewne	75	—	108	—	—
46	Łąki	55	—	105	115	—
3	Pastwiska	160	—	116	—	138
5	Kapusta	120	101	107	—	—
1	Marchew	80	87	91	82	80

Jak wynika z badań zreferowanych poprzednio, pogłówne stosowanie mocznika może nasuwać szereg zastrzeżeń. Jako bezpośrednie źródło

azotu jest on wyraźnie gorzej wykorzystywany od szeregu innych nawozów azotowych, co może mieć miejsce w warunkach niekorzystnych dla przebiegu hydrolizy oraz nitryfikacji. Należy również liczyć się z tym, że w wypadku pogłównego stosowania mocznika, kiedy to nie można wymieszać go dostatecznie z glebą, mogą zachodzić pewne straty azotu przez ulatnianie się amoniaku. Jednakże dotychczasowe próby pogłównego stosowania mocznika do nawożenia roślin są raczej zachęcające. Mocznik zostosowany pogłównie w doświadczeniu Świętochowskiego (51) na buraki cukrowe oraz w doświadczeniu Selke (47) na pszenicę ozimą i jęczmień jary działał tak samo, jak inne nawozy azotowe stosowane pogłównie. Należy przypuszczać, że wobec szybkiego w większości wypadków przebiegu hydrolizy, będzie można w zasadzie stosować mocznik pogłównie, z tym jednak, że zakres warunków odpowiednich dla pogłównego stosowania tego nawozu jest ograniczony, podobnie zresztą, jak ograniczone są możliwości stosowania soli amonowych. Zakończenie prowadzonych przez IUNG badań przyczyni się niewątpliwie do uściślenia tego zagadnienia.

Dolistne dokarmianie roślin mocznikiem

W praktyce rolniczej mocznik może służyć także do dokarmiania roślin w postaci roztworów. Azot mocznika, podany w formie oprysku, przenika stosunkowo łatwo do roślin. Przy stosowaniu oprysków roztworem mocznika obawa uszkodzenia roślin jest znacznie mniejsza niż przy innych związkach azotowych. Mocznik jest również wygodniejszy do tego celu, gdyż do stosowania tej samej ilości azotu trzeba go użyć znacznie mniej niż innych związków azotowych. Ponadto mocznik nie ulega w roztworze dysocjacji, a więc jego ciśnienie osmotyczne jest mniejsze niż ciśnienie elektrolitów o tym samym stężeniu molarnym.

Stosunkowo dobrze poznano korzystny wpływ opryskiwania mocznikiem drzew owocowych, szczególnie jabłoni, natomiast dokarmianie innych roślin uprawnych zaczyna być dopiero stosowane w Stanach Zjednoczonych oraz w Związku Radzieckim (14).

Wzrost plonu nasion i słomy u pszenicy pod wpływem oprysków roztworem mocznika uzyskał Finney (18), u kukurydzy Kalinkiewicz (27) oraz u owsa Krzych (31). Zwykle dokarmianie azotem w okresie kwitnienia podnosi zawartość białka zbóż, natomiast opryski w okresie wykształcania nasion nie podnoszą już zawartości białek lecz tylko silny wzrost rozpuszczalnych form azotu, co pogarsza tylko jakość ziarna (18). Podobnie opryski ziemniaków wykonane po zakończeniu kwitnienia (11, 12) wpływają na opóźnienie dojrzewania oraz na pogorszenie jakości bulw.

Działanie nawozowe mocznika przy dolistnym dokarmianiu roślin uprawnych jest według Krzycha (31) w większości wypadków lepsze od azotanu amonu. Jeśli nawet w niektórych wypadkach opryskiwanie mocznikiem nie podnosiło plonów, to jednak przynajmniej nie powodowało ich obniżki, co niejednokrotnie stwierdzano w przypadku użycia azotanu lub siarczanu amonu. Podobną przewagę mocznika nad innymi związkami azotu pod tym względem podaje również Buchner (9).

Z ekonomicznego punktu widzenia dolistne dokarmianie roślin jest zabiegiem dość kosztownym, ponieważ oprócz odpowiedniej aparatury potrzebna jest znaczna ilość robocizny do przeprowadzenia kilkakrotnych oprysków. Na mniejszą skalę może ten zabieg znajdować zastosowanie przy uprawie cenniejszych kultur na stosunkowo niewielkich powierzchniach, jak np. warzywa w szklarniach lub drzewa i krzewy owocowe w sadach. Połączenie dolistnego dokarmiania roślin azotem ze stosowaniem środków ochrony roślin lub preparatów chwastobójczych (10, 43) nie pociąga za sobą dodatkowych kosztów ani na robocizną ani też na aparaturę.

Mocznik jako składnik innych nawozów azotowych

Mocznik może być używany do nawożenia w stanie czystym, bądź też do sporządzania mieszanek z innymi nawozami. Może on być mieszany tylko z tymi nawozami, które nie wpływają na pogorszenie jego własności fizycznych. Jedną z takich mieszanek był wapno-mocznik, który otrzymywano przez zmieszanie mocznika z mielonym węglanem wapnia. Przeprowadzone badania nad wartością tego nawozu (13) wykazały, że w działaniu swym na plony różnych roślin uprawnych jest zbliżony do działania mocznika, saletry amonowej i saletrzaku, a lepszy od azotniaku.

Saletromocznik jest nawozem, który otrzymuje się przez zmieszanie w odpowiednim stosunku mocznika z saletrą wapniową, a któremu przypisuje się wzór następujący: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{CO}(\text{NH}_2)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Próbną partią tej mieszanki otrzymana u nas w Tarnowie zawierała ogółem 20% azotu, z czego azot amidowy i saletrzany stanowią równe ilości (24). Podobna mieszanka produkowana jest również w Stanach Zjednoczonych; występuje na rynku pod nazwą „Calurea”. Produkt ten zawiera znacznie większe ilości azotu, bo aż 34%, z czego azotu saletrzanego 7% zaś w formie amidowej 27%. Zarówno produkt polski, jak i amerykański, jest mniej higroskopijny niż saletra wapniowa i wobec tego jest znacznie łatwiejszy w stosowaniu.

Z aldehydami mocznik tworzy związki kompleksowe. Dzięki ich zdolności do polimeryzacji w długie łańcuchy wykorzystuje się je do pro-

dukcji mas plastycznych i bakelitów. Kondensaty mocznika z formaliną mogą również znajdować zastosowanie w rolnictwie do celów nawozowych. Związki te są nierozpuszczalne w wodzie. W glebie podlegają one powolnemu rozkładowi i w ten sposób mogą dostarczać roślinom powoli zawarty w nich azot. Główną zaletą tego rodzaju nawozów jest możliwość ich stosowania w dużych dawkach bez obawy wypłukania do głębszych warstw gleby (24, 46). Kondensaty mocznika z formaliną są znane dotychczas pod ogólną nazwą „ureaform”. W Stanach Zjednoczonych oraz Francji są one już wykorzystywane do celów nawozowych w praktyce rolniczej, zaś w pozostałych krajach są prowadzone badania nad przydatnością tego produktu dla celów nawozowych.

Niezależnie od stałej formy, mocznik może być także stosowany w formie płynnej bądź jako roztwór w amoniaku bezwodnym, bądź też w wodzie amoniakalnej. Dodatek mocznika do płynnego amoniaku lub wody amoniakalnej obniża ciśnienie pary amoniaku, co znacznie ułatwia stosowanie tych nawozów oraz zapobiega stratom azotu przez ulatnianie.

W przyszłości będzie można używać do celów nawozowych mieszaniny poreakcyjnej z konwertera (41). Taka mieszanina poreakcyjna może zawierać różną ilość azotu w zależności od zawartej w niej wody. Zwykle około 25% zawartego w niej azotu stanowi mocznik, zaś pozostała ilość w postaci węglanu amonu i wolnego amoniaku. W Stanach Zjednoczonych mieszaninę poreakcyjną z konwertera stosuje się do celów nawozowych w bardzo dużych ilościach, a tylko niewielkie ilości mocznika w formie stałej. Możliwość stosowania tego rodzaju nawozu płynnego jest korzystna i dla przemysłu, bowiem odpada wtedy dość skomplikowany i kosztowny proces zagęszczania, odparowywania i osuszania produktu syntezy do postaci stałej, rolnictwo natomiast może otrzymać stosunkowo tani nawóz azotowy. Stosowanie tego rodzaju płynnej mieszaniny, powstającej we wstępnej fazie syntezy mocznika, wymaga jednak rozwiązania jej transportu, składowania oraz zaopatrzenia rolnictwa w odpowiednie ilości przystosowanych do tego celu rozlewaczy.

LITERATURA

1. A s ł a n i a n Sz. (1937): Moczewina i jej proizwodnyje kak udobrenija. Azotnyje i słożnyje udobrenija. Tr. Naucz. Inst. po Udobr. i Insektofungicid., t. 136, s. 165—173.
2. B i r e c k a H., B o g u s z e w s k i W., M y ś k ó w W. (1952): Z Pracowni Nawożenia IUNG w Gorzowie. (Materiały nie publikowane).
3. B i r e c k a H., B o g u s z e w s k i W., T u c h o ł k a Z., C z e k a ł s k i A. (1954): Doświadczenia polowe nad działaniem mocznika w porównaniu z saletrazkiem i wodą amoniakalną. RNR, t. 68-A-4, s. 663—665.
4. B l u e W. G., E n o C. F. (1957): The effect of lime on plant growth and recovery of nitrogen from anhydrous ammonia urea and ammonium sulfate in acid sandy soil. Soil Crop Sci. Soc. Fla, Proc., t. 17, s. 255—261.

5. Boguszewski W., Boratyński K., Byczkowski A. (1962): Materiały do oceny efektywności nawożenia mineralnego ważniejszych roślin uprawnych w Polsce na podstawie wyników doświadczeń polowych. *Post. Nauk Roln.*, nr 1 (73), s. 1—25.
6. Boratyński K. (1951): Doświadczenia wstępne nad wartością nawozową amoniaku i mocznika. *RNR*, t. 56, s. 145—166.
7. Boratyński K., Małysowa E., Turyna Z. (1954): Wartość nawozowa amoniaku i mocznika. *RNR*, t. 69-A-1, s. 33.
8. Broadbent F. E., Hill G. N., Tyler K. B. (1958): Transformation and movement of urea in soils. *Soil. Sci. Soc. Am. Proc.*, t. 22, s. 303—307.
9. Buchner A. (1956): Zur Blattdüngung des Getreides mit Stickstoff. *Mitt. deutsch. Landw. Ges.*, t. 71, s. 154—155.
10. Buchner A., Kradel J. (1961): Die Anwendung von Harnstoff als Düngemittel. *Ztschr. f. Acker u. Pflanzenbau.*, t. 114, z. 1, s. 1—22.
11. Button E. F., Hawkins A. (1957): The foliar application of urea to potatoes. *Amer. Potato Jour.*, t. 34, s. 56.
12. Button E. F., Hawkins A. (1958): Foliar application of urea to potatoes. *Amer. Potato Jour.*, t. 35, s. 559—572.
13. Byczkowski A., Batalin M. (1952): Wapnomocznik jako nawóz. *RNR*, t. 62, s. 61.
14. Collings G. H. (1955): Commercial fertilizers, their sources and use. *Wyd. V. New York. McGraw-Hill Book Comp.*
15. Czerwiński E. (1951): Amoniak jako nawóz w doświadczeniach polowych. *RNR*, t. 56, s. 257—267.
16. Diels O. (1948): Wstęp do chemii nieorganicznej. *Poznań*, 168—191.
17. Ernst J. W., Massey H. F. (1960): The effect of several factors on volatilization of ammonia formed from urea in the soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, t. 24, s. 87—90.
18. Finney K. F., Meyer J. W., Smith F. W. (1957): Effect of foliar spraying of Pawnee wheat with urea solution on yield, protein content and protein quality. *Agron. J.*, t. 49, s. 341—347.
19. Fisher W. B., Parks W. L. (1958): Influence of soil temperature on urea hydrolysis and subsequent nitrification. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, t. 22, s. 247—248.
20. Gadet R., Soubies L., Fourcasie F. (1959): Recherches sur les effets toxiques du biuret et sur l'évolution de compose dans les sols. *Ann. agron. Paris*, t. 10, s. 609—660.
21. Gouny P. (1957): Incidences de la nutrition azotée uréique sur la biochimie du vegetal. *Ann. agron. Paris*, t. 8, s. 155—166.
22. Górski M., Krzysztofowicz J. (1951): Działanie amoniaku pod gorczycę. *RNR*, t. 56, s. 197—208.
23. Górski M. (1961): Nawozy mineralne. *Oprac. zbiorowe. PWRiL, Warszawa*, s. 87—89.
24. Górski M. (1961): Nierozpuszczalne w wodzie nawozy azotowe. *Roczn. Gleb.*, t. 10, s. 335.
25. Hinsvark O. N., Wittwer S. H., Tukey H. B. (1953): The metabolism of foliar applied urea. I. Relative rates of $C^{14}O_2$ production by certain vegetable plants treated with labelled urea. *Plant Physiology*, t. 28, s. 70—76.
26. Jones H. W. (1932): Some transformations of urea and their resultant effect on the soil. *Soil Sci.*, t. 34, s. 281—299.

27. Kalinkiewicz A. F. (1954): Formy azotnych udobrenii pri wniekorniewom pitanii rastienij. Ziemielielje, nr 6, s. 45—49.
28. Kalinkiewicz A. F. (1961): O prewraszczenii moczewiny w poczwie. Poczwowiedienije, nr 4, s. 114—117.
29. Klein G. (1930): Der Wandel des Harnstoffes in der Pflanze. Forschung u. Fortschritte, t. 6, s. 449.
30. Kottmeier F. (1927): Ertrag und Pflanzengutwert der Kartoffel unter Berücksichtigung des Einflusses von Stickstoffdüngemitteln und verschiedenen Boden Arten. Kühn-Archiv Arb. aus d. Landw. Inst. Univ Halle, t. 15.
31. Krzych G., Eberhardt W. (1960): Zur Blattdüngung des Hafers mit Stickstoff. Ztschr. f. Pflanzenern. Düngung und Bdkunde, t. 89, z. 2/3, s. 97—102.
32. Lasota T. (1951): Działanie nawozowe mocznika w porównaniu do innych nawozów azotowych. Praca dyplomowa w Zakł. Chemii Rolnej SGGW.
33. Meyer R. D., Olson R. A., Rhoades H. F. (1961): Ammonia losses from fertilized Nebraska Soils. Agron. J., t. 53, s. 241—244.
34. Musierowicz A. (1949): Organizmy glebowe. Warszawa, s. 26.
35. Niczik M. (1938): Diejstwije razlicznych form azotnych udobrenij pri ich sistematiczeskom primienienii w siewooborotie. Chim. Soc. Ziemi., nr 8—9.
36. Ogata T., Aibera H. (1960): Effects of biuret on the metabolism of the germinating plant. II. Relationship between seedling growth and time of biuret supply in the germination period. J. Sci. Soil. Tokyo. t. 31, s. 193—196.
37. Okuda A., Takahashi E., Yoshida M. (1960): The volatilization of ammonia transformed from urea applied under upland and waterlogged conditions. J. Sci. Soil, Tokyo, t. 31, s. 273—278.
38. Ostromecka M. (1961): Pobieranie azotu z mocznika i azotanu amonu przez owies w kulturach wodnych. RNR, t. 82-A-2, s. 473.
39. Ostromecka M. (1962): Własności nawozowe mocznika w porównaniu z innymi nawozami azotowymi. Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej, cz. I, s. 81—91.
40. Pawłow A. N. (1960). O niekotorych osobiennostiach postuplenija azota czerez listia kukuruzy pri niekorniewych podkormkach moczewinoj. D. A. N. SSR, t. 134, z. 2, s. 475—477.
41. Praca zbiorowa (1951): Nawozy i Nawożenie, t. I. Technologia nawozów mineralnych. PWRiL, s. 57—65.
42. Reifer I. (1949): Źródła amoniaku w ekstraktach roślinnych. Warszawa, nakładem autora.
43. Rola J. (1962): Przewodnik stosowania herbicydów w kompleksowej walce z chwastami. PWRiL. Warszawa.
44. Rotini O. T. (1956): Urea, biuret and cyanic acid in the fertilizing at agricultural crops. Ann. Fac. Agric. Pisa, t. 17, s. 1—25.
45. Scarsbook C. E. (1958), Urea-formaldehyde fertilizer as a source of nitrogen for cotton and corn. Soli Sci. Soc. Amer. Proc., t. 22, s. 442—445.
46. Schmalfluss K., Michael G. (1956): Kondensationsprodukte von Harnstoff und Formaldehyd als Stickstoff für die Ehrnährung der Pflanzen. Ztschr. f. Pflanzenehrn. Düng. u. Bdkunde., t. 72 (117), s. 193.
47. Selke W. (1941): Die Wirkung zusätzlicher später Stickstoffgaben auf Ertrag und Qualität der Ernteprodukte. Bodenkunde u. Pflanzenehrn, t. 20, z. 1/2, s. 1.

48. Soubies L., Gadet R., Lenain M. (1955): Reserches sur l'evolution de l'uree dans les sols et sur son utilization comme engrais azote. Ann. agron. Paris, t. 6, s. 997—1033.
49. Sprawocznik agronoma po udobreniam. Moskwa 1948, s. 271, 278, 284.
50. Stolzmann Z. (1951): Podręcznik do ćwiczeń z chemii fizjologicznej. PZWL. Warszawa, s. 41, 46, 248.
51. Świętochowski B., Studziński A. (1951): Doświadczenia polowe nad wartością amoniaku i mocznika na glebie aluwialnej. RNR, t. 56, s. 219—229.
52. Volk G. M. (1961): Gaseous loss of ammonia from surface applied nitrogenous fertilizers. J. Agric. Food Chem., t. 9, s. 280—283.
53. Wahhab A., Khan M., Ishaq M. (1960): Nitrification of urea and its loss through volatilization of ammonia under different soil conditions. J. Agric. Sci., t. 55, s. 47—51.
54. Walker D. R., Fischer E. G. (1955): Foliar sprays urea sour cherry trees. Proc. amer. Soc. Hort. Sci., t. 66, s. 21.
55. Webster G. C., Berner R. A., Gansa A. N. (1957): The effect of biuret on protein synthesis in plants. Pl. Physiology, t. 32, s. 61.
56. Własiuk P. (1956): Aktywnost ureazy w rizoferie sielskochoziajstwiennych kultur. Dokł. Ak. Sielchoz. Nauk, nr 8, s. 28—31.
57. Wondrausch A., Myszk A., Orzechowska K. (1954): Wstępne doświadczenia ze stosowaniem amoniaku pod buraki cukrowe i proso. RNR, t. 68-A-4, s. 675—677.
58. Ziętecka M. (1961): Frakcje azotu w roślinie a formy nawożenia azotowego. Roczn. Gleb. Dod. do t. X, s. 664—665.