

УДК 633.15:632.954:631.8
© 2016

В.Х. КІВЕР,
доктор сільськогосподарських наук,
член-кореспондент НААН України

Д.М. ОНОПРІЄНКО,
кандидат сільськогосподарських наук

Дніпропетровський державний
аграрно-економічний університет,
Україна

E-mail: info@dsau.dp.ua

м. Дніпропетровськ, вул. Ворошилова, 25

ЕФЕКТИВНІСТЬ
ВИКОРИСТАННЯ
АЗОТНОЇ КИСЛОТИ
РОЗБАВЛЕНОЇ
З ПОЛИВНОЮ ВОДОЮ
В АГРОТЕХНОЛОГІЇ
ВИРОБНИЦТВА КУКУРУДЗИ

Обґрунтовано перспективи використання розчинів азотної кислоти для фертигації кукурудзи в північному Степу України. Встановлено, що використання HNO_3 з концентрацією 0,0001–0,01 % не викликає опіків рослин кукурудзи, а з концентрацією азоту 0,01 % сформувався такий самий врожай зерна, як і за рекомендованої для зрошуваної кукурудзи норми мінеральних добрив $N_{180}P_{90}$. Фертигація кукурудзи азотною кислотою на різних агрофонах підвищувала мікробіологічну активність ґрунту в шарі 0–40 см.

Ключові слова: кукурудза, ґрунт, азотна кислота, фертигація, концентрація, урожай, мікробіологічна активність ґрунту, мінеральні добрива.

Постановка проблеми. У комплексі заходів щодо підтримання родючості зрошуваних земель на рівні, необхідному для формування сільськогосподарськими культурами запрограмованих урожаїв високої якості, велике значення має система удобрення, тобто план застосування мінеральних і органічних добрив у сівостані зі зазначенням їхніх доз, часу та способів внесення [1].

В умовах зрошення, враховуючи агрохімічний стан ґрунтів, використання добрив в оптимальних дозах є одним з вирішальних факторів стабілізації землеробства, бо добрива забезпечують 70–75 % загального приросту врожаїв сільськогосподарських культур [2].

До шляхів інтенсифікації зрошуваного землеробства належить й сполучення поливів із застосуванням засобів хімізації, зокрема з внесенням мінеральних добрив (фертигація), гербіцидів (гербігація), меліорантів і мікроелементів [3].

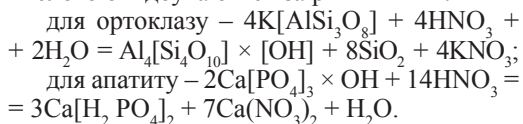
Сумісне внесення добрив і поливної води отримало назву фертигація, або удобрювальне зрошення. Застосування такого способу внесення добрив докорінно вирішує проблему рівномірного розподілу їх в активному шарі ґрунту до рівня рівномірності розподілу поливної води. Крім того, важливо, що за цього способу з'являється можливість подачі добрив невеликими дозами протягом вегетаційного періоду без пошкодження рослин як механічно, так і через хімічні опіки [4].

Фертигація дозволяє поєднати енергоємні операції, зокрема внесення добрив, гербіцидів, мікроелементів, вегетаційних поливів, виконання операцій за меншої кількості проходів по полю енергонасичених тракторів з причепами, розкидачами добрив, обприскувачами, іншими засобами механізації, що деформують ґрунт [5].

Зростання масштабів хімізації у світовому зрошуваному землеробстві є логічним

наслідком науково-технічного прогресу в удосконаленні конструкцій зрошувальних систем, дощувальної та іншої поливної техніки, створенні спеціального обладнання для введення агрохімікатів у поливну воду, в розробці нових мінеральних добрив і засобів захисту рослин, а також сучасної комплексної теорії живлення рослин [4].

Ідея використання азотної кислоти – HNO_3 , як азотного добрива і засобів мобілізації основних елементів живлення, в процесі вирощування кукурудзи на зрошуваних землях виникла в нас після наукових публікацій В.І. Бгатово [6, 7]. Ідея полягає в тому, що разом з дощовою водою в ґрунт надходить слабкоконцентрована азотна кислота, яка здатна розчиняти практично всі матеріали літосфери і вивільняти потрібні рослинам поживні речовини. Практично всі ґрунти і гірські породи містять необхідні для рослин поживні елементи. Калій, наприклад, міститься в таких мінералах, як калієві польові шпати, слюди, гідрослюди, тощо. Фосфор і кальцій входять до складу мінералів апатитової групи. Реакції взаємодії їх з азотною кислотою відбуваються за рівняннями:



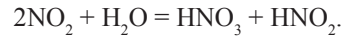
Утворені за таких реакцій азотнокислий калій, азотнокислий кальцій і монокальцій-фосфат по суті є тими поживними речовинами для рослин, які виробляє сучасна хімічна промисловість як добрива.

Кожний грам HNO_3 спроможний розкласти 4,4 г калієвих польових шпатів з утворенням 2 г каолініту, 1,9 г кремнезему і 1,6 г азотнокислого калію.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У науковій літературі аналізуються питання про шляхи залучення азоту в біогенний кругообіг. Ряд дослідників виділяють актуальність абіогенної фіксації азоту, пов'язаної фізичними і хімічними процесами в атмосфері, утворення оксидів азоту, що відбувається за рахунок електричних розрядів під час грози, або в результаті фотохімічного окиснення



В атмосфері оксиди азоту з'єднуються з дощовою водою, утворюючи азотну і азотисту кислоти



Крім цього, встановлено, що з дощем і снігом на кожний гектар землі потрапляє близько 6700 г азоту. Досягаючи ґрунту, вони переходять в нітрити і нітрати, які використовують рослини для утворення амінокислот. За даними спостережень, у результаті цих процесів щороку зв'язується до 10 млн тонн азоту [12].

У досліджах Сибірського НДІ геології, геофізики і мінеральної сировини виявлено, що поливи рослин томату в період їх розвитку розчином HNO_3 такої ж концентрації, як і за грозових злив на батьківщині томату (в Перу), підвищувало врожай продукції в 1,5 раза порівняно з контролем [6]. Позитивні результати отримані в досліджах і з іншими культурами [8, 9].

Однак складна логістика від концентрованої азотної кислоти в залізничній цистерні ємкістю 60 м³ до дощувальної машини на зрошуваному полі ще потребує свого з'ясування [4, 10].

Сьогодні добре вивченими вважаються способи вирощування кукурудзи, коли мінеральні добрива вносять у ґрунт до сівби, використовуючи різні засоби механізації виробничих процесів [1, 2]. Однак такий варіант не дозволяє рослинам використовувати запаси поживних речовин, що знаходяться в ґрунті у вигляді природних мінеральних сполук, нерозчинних у воді.

Відомим є спосіб вирощування рослин, коли вносять як добриво 15–20%-вий водний розчин азотної кислоти до сівби сільськогосподарських культур. Але застосування такого способу розчину концентрованої азотної кислоти призводить до загибелі багатьох видів ґрунтових мікроорганізмів, порушує екологічну рівновагу і пригнічує рослини. Перелічені способи удобрення потребують розробки екологічно безпечних способів підтримання і збереження родючості ґрунту, не допускаючи зниження продуктивності сільськогосподарських культур. Останнім часом розроблені технології поповнення ґрунтового фонду азотними сполуками за допомогою

обробки ґрунту електророзрядним удобрювачем, що створює високовольтний розряд за аналогією з розрядом блискавки [11]. Впровадження викладеного способу потребує додаткового устаткування і використання електроенергії, що спричиняє збільшення енергетичних затрат.

За внесення в ґрунт мінеральних добрив різними способами чимала кількість азоту не включається в урожай, посилюючи процеси вивільнення азоту з гумусу, а його надлишки, як відомо, викликають забруднення окремих екосистем і біосфери в цілому, що зумовлює негативні наслідки.

Оптимізація накопичення азоту в агро-екосистемах потребує розробки заходів зі зниження енергозатрат на використання мінеральних добрив. Обмаль інформації щодо впливу азотної кислоти на ріст і розвиток рослин кукурудзи в північному Степу, а також суперечливе відношення різних дослідників до того чи іншого способу внесення мінеральних добрив на поливних землях, створили необхідність у продовженні досліджень у даному напрямі з метою збереження екологічної рівноваги, виключення пригнічення рослин кукурудзи і підвищення врожайності зерна шляхом переведення водонерозчинних підґрунтових і ґрунтових мінеральних мас у форми, доступні для живлення рослин. Саме це й стало **метою наших досліджень**.

Пошук шляхів підвищення врожайності кукурудзи на зрошуваних землях обумовив постановку нами спеціальних дрібноділян-

кових дослідів з вивчення можливості використання розчину HNO_3 різної концентрації як джерела живлення азотом і мобілізації недоступних рослинам фосфору і калію з чорноземних ґрунтів.

Методика проведення експерименту. Експериментальну частину досліджень проводили в Дослідному господарстві Інституту зернових культур НААН України у 1987–1989 рр. Середньоранній гібрид кукурудзи Піонер 3978, що добре відкликається на зрошення, і був об'єктом досліджень. Ґрунт дослідної ділянки – чорнозем звичайний малогумусний середньосуглинковий з умістом в орному шарі: гумусу 3,6 %, нітратного азоту (за Кравковим) – 2,5 мг/100 г, фосфору (за Чіриковим) – 10,5, обмінного калію (за Масловою) – 8,5 мг/100 г.

Реакція ґрунтового розчину в гумусовому горизонті близька до нейтральної (рН водної суспензії – 6,7).

Результати дослідження та їх обговорення. З метою вивчення можливості застосування азотної кислоти як підживлювального розчину під час вегетаційних поливів разом з поливною водою вносили азотну кислоту різної концентрації: 0,01, 0,001 і 0,0001 %, що відповідає нормі азотних добрив N_{180} , N_{18} , $\text{N}_{1,8}$. Дослідами встановлено, що використання HNO_3 з концентрацією 0,0001–0,01 % не викликає опіків рослин кукурудзи, а концентрацією азоту 0,01 % сформувався такий врожай зерна, як і за рекомендованої для зрошуваної кукурудзи норми азотних добрив $\text{N}_{180}\text{P}_{90}$ (табл. 1).

1. Вплив азотної кислоти і мінеральних добрив на врожайність зерна кукурудзи при зрошенні

Варіант досліді	Концентрація в поливній воді HNO_3 , %	Урожайність зерна, т/га			
		1987 р.	1988 р.	1989 р.	середнє
Без добрив	-	-	7,65	7,86	7,75
$\text{N}_{1,8}$ (HNO_3)	0,0001	7,12	7,74	7,78	7,54
N_{18} (HNO_3)	0,001	9,39	8,53	8,65	8,85
N_{180} (HNO_3)	0,01	12,32	9,25	10,93	10,83
$\text{N}_{180}\text{P}_{90}$	-	-	9,21	9,42	9,31
$\text{N}_{180}\text{P}_{90} + \text{N}_{1,8}$ (HNO_3)	0,0001	11,45	9,80	10,37	10,54
$\text{N}_{180}\text{P}_{90} + \text{N}_{18}$ (HNO_3)	0,001	11,09	10,12	10,18	10,46
$\text{N}_{180}\text{P}_{90} + \text{N}_{180}$ (HNO_3)	0,01	10,03	9,89	9,68	9,86

Зменшення норми N, внесеної у вигляді розчину HNO_3 , із N_{180} до N_{18} і $N_{1,8}$ супроводжувалося зниженням середньої врожайності зерна з 10,83 до 8,85 і 7,54 т/га відповідно. Внесення розчиненої HNO_3 із поливною водою на фоні оптимального забезпечення мінеральними добривами не забезпечувало подальшого приросту врожаю. За найвищої норми HNO_3 з концентрацією в поливній воді 0,01 % в поєднанні з нормою внесених мінеральних добрив $N_{180}P_{90}$ відмічали зниження рівня продуктивності зерна, що було обумовлено надлишком Na в ґрунтовому розчині і деяким пригніченням рослин кукурудзи.

Досліди також підтвердили, що в разі внесення HNO_3 з поливною водою рН ґрунту змінюється на короткий термін, і незначно. Розчин азотної кислоти заданої концентрації, яким поливали рослини кукурудзи, мав рН від 5 до 2 і впливав на динаміку вмісту в ґрунті основних елементів живлення.

Тому в наших дослідженнях велика увага приділялася вивченню впливу мінеральних добрив і азотної кислоти, внесених з поливною водою, на біологічну активність ґрунту. У сучасній агрономічній науці біологічну активність ґрунту прийнято визначати за діяльністю мікроорганізмів у ґрунті. Показником загальної біологічної активності ґрунту безпосередньо в природному середовищі є діяльність мікроорганізмів, що руйнують целюлозу. Її визначають за ступенем розкладання і зменшення маси тканини з льону, яку витримують у ґрунті певний період часу (аплікаційний метод). Швидкість розкладання клітковини в ґрунті залежить від наявності в ньому легкодоступного азоту, тому цей метод дозволяє оцінити енергію мобілізації ґрунтових процесів у цілому [13].

Целюлоза (клітковина) є найбільш поширеним полісахаридом у рослинному світі, а вищі рослини на 15–50 % складаються з целюлози. До складу целюлози входить понад 50 % усього органічного вуглецю біосфери, розщеплення якого відіграє важливу роль у кругообігу вуглецю в природі. Вона легко розкладається мікроорганізмами з виділенням вуглецю, який у формі різних сполук бере участь у формуванні родючості ґрунту. Целюлозу розкладають аеробні мікроорганізми, а також

анаеробні мезофільні й термофільні бактерії. Для більшості мікроорганізмів, що розкладають целюлозу, характерною є висока специфічність по відношенню до цієї речовини.

Особливістю мікроорганізмів, які розкладають целюлозу, є їх висока вимогливість до джерел азотного живлення. Ці мікроорганізми є важливими постачальниками органічних речовин для різних груп мікроорганізмів (у тому числі азотфіксуювальних), що пов'язані загальним харчовим ланцюгом. Оскільки активність мікроорганізмів, які розкладають целюлозу, залежить також від наявності в ґрунті доступного фосфору та інших елементів, то ступінь розпаду клітковини відображає спрямованість ходу мікробіологічних процесів у цілому.

Відсоток розкладання целюлози визначали в три терміни: 1-й – після сівби (час експозиції 30 днів), 2-й – під час вегетації кукурудзи (час експозиції 60 днів), 3-й – перед збиранням кукурудзи на зерно (час експозиції 90 днів).

Інтенсивна мікробіологічна активність ґрунту зростала від сівби до збирання врожаю зерна, тобто протягом всього вегетаційного періоду кукурудзи (табл. 2).

Активність мікроорганізмів, які розкладають целюлозу, за отриманими даними знижується з глибиною, тому найвищий відсоток розкладання полотно на всіх варіантах дослідів зареєстрований у шарі ґрунту 0–10 см. Це пояснюється тим, що основна маса органічної речовини знаходиться в шарі, який характеризується кращою аерацією, сприятливою для аеробної мікрофлори.

У варіантах без добрив у шарі ґрунту 0–10 см біологічна активність ґрунту була на 2–5 % вищою, ніж у такому самому шарі за другої експозиції (60 днів), тобто різниці майже не відмічали. Із внесенням добрив поверхневим розкидним способом нормою $N_{180}P_{90}$ ця закономірність зберігається в першій експозиції. У другій експозиції (табл. 2) найбільшу різницю між цими шарами ґрунту відмічали в разі внесення розчиненої у воді азотної кислоти – 12,9 % проти 6 і 4,8 %, де розчини азотної кислоти різної концентрації вносили на фоні мінеральних добрив $N_{180}P_{90}$. Перед збиранням кукурудзи (90-денна ек-

2. Мікробіологічна активність ґрунту за різних видів і способів удобрення кукурудзи, %

Глибина шару, см	Відсоток розкладання лляного полотна в середньому за три роки					
	без добрив	N ₁₈₀ P ₉₀ врозкид по поверхні ґрунту	Концентрація розчину азотної кислоти		мінеральні добрива і розчин азотної кислоти	
			N _{1,8} (HNO ₃), 0,0001 %	N ₁₈₀ (HNO ₃), 0,01 %	N ₁₈₀ P ₉₀ + N _{1,8} (HNO ₃)	N ₁₈₀ P ₉₀ + N ₁₈₀ (HNO ₃)
Час експозиції 30 днів						
0–10	23,67	34,2	44,5	44,7	24,8	24,6
10–20	18,4	30,2	31,6	31,8	18,8	19,8
20–30	16,0	22,8	24,0	27,4	16,6	16,4
30–40	15,9	19,6	21,3	20,5	14,7	15,8
0–40	18,5	26,7	30,4	31,1	18,7	19,1
Час експозиції 60 днів						
0–10	39,3	49,7	57,9	57,8	55,5	55,7
10–20	39,2	48,8	49,0	49,5	49,9	49,3
20–30	38,5	44,6	49,9	49,0	46,2	46,9
30–40	37,8	40,5	44,7	43,9	43,7	44,6
0–40	38,7	45,9	50,4	50,0	48,8	49,1
Час експозиції 90 днів						
0–10	44,9	66,5	72,8	72,7	73,8	74,0
10–20	42,8	65,9	72,8	72,5	73,3	72,6
20–30	42,4	62,1	70,0	68,9	68,8	69,0
30–40	41,4	58,7	58,5	60,2	58,2	58,5
0–40	42,9	63,3	68,5	68,5	68,5	68,5

позиція) мінімальна різниця була в усіх варіантах удобрення, тільки у варіанті зі застосуванням N₁₈₀P₉₀ + N₁₈₀ (HNO₃) ця різниця дорівнювала 1,4 %. У шарах ґрунту 20–30 і 30–40 см інтенсивність розкладання лляної тканини продовжувала знижуватися на всіх варіантах дослідів.

На мікробіологічну активність ґрунту також впливають різні схеми внесення мінеральних добрив і азотної кислоти. Так, у шарі ґрунту 0–10 см за першої експозиції (табл. 2) у варіанті без добрив цей показник становив 23,67 %, а за внесення азотної кислоти концентрацією від 0,01 до 0,0001 % показник збільшувався до 44,5–44,7 %. За другої експозиції у період вегетації кукурудзи також найбільший відсоток розкладання лляної тканини відмічали за внесення азотної кислоти з водою, а перед збиранням урожаю найвищим відсоток розкладання полотна виявився у варіантах з розчином азотної кисло-

ти і мінеральними добривами – 73,8–74,0 %.

У шарі ґрунту 0–40 см після сівби і за вегетації найвищий відсоток розкладання целюлози встановили від внесення азотної кислоти з поливною водою концентрацією 0,01–0,0001 % – 30,4–50,4 %. Перед збиранням врожаю зерна (час експозиції 90 днів) спостерігали збільшення мікробіологічної активності ґрунту в шарі 0–40 см. Найвище значення відмічали за внесення азотної кислоти і мінеральних добрив з поливною водою – 68,5 %, що на 5,2 % більше, ніж у варіанті, де мінеральні добрива вносили по поверхні ґрунту під передпосівну культивування.

Таким чином, максимальна активність мікрофлори, що руйнує целюлозу, спостерігається в шарі ґрунту 0–10 см, причому за внесення азотної кислоти з поливною водою і з розчиненими у воді мінеральними добривами від сівби і до збирання врожаю мікробіологічна активність ґрунту зростає від 24,6 до 74 %.

Висновки

1) В умовах північного Степу України проведені дослідження показали, що слабоконцентрована азотна кислота є перспективним азотним добривом для кукурудзи на поливних землях (для проведення фертигації).

2) Штучний кислий дощ з концентрацією NO_3 0,6–9,06 г/л не тільки підвищував урожайність на 1,23–1,52 т/га, порівняно з варіантами, де добрива вносили поверхневим способом під передпосівну культивування ґрунту, але виявився ще й екологічно безпечним. Під впливом азотної кислоти поживні речо-

вини вивільняються з мінералів економно, у кількостях, потрібних рослинам кукурудзи.

3) Найбільш інтенсивною мікробіологічною активністю ґрунту зареєстрована перед збиранням врожаю зерна кукурудзи в шарі 0–10 см. До глибини ґрунту 0–40 см біологічна активність його зменшувалася в усіх варіантах дослідів. Внесення розчину азотної кислоти з поливною водою підвищувало мікробіологічну активність ґрунту, що свідчить про перспективність проведення досліджень у цьому напрямі.

Бібліографія

1. Шляхи підвищення родючості ґрунтів у сучасних умовах сільськогосподарського виробництва / За ред. Б.С. Носка. – К.: Аграрна наука, 1999. – 112 с.
2. Наукові основи агропромислового виробництва в зоні Степу України / Редкол.: М.В. Зубець (голова) та ін. – К.: Аграрна наука, 2010. – 986 с.
3. Наукові основи охорони та раціонального використання зрошуваних земель України / За ред. С.А. Балюка, М.І. Ромащенко, В.А. Сташук. – К.: Аграрна наука, 2009. – 624 с.
4. Сахаров В.Д. Химизация в культуре кукурузы: итоги науки и техники / В.Д. Сахаров // Растениеводство. – М.: ВИНТИ. – 1991. – Т. 8. – 156 с.
5. Ківер В.Х. Вплив способів, строків і видів застосування мінеральних добрив на поживний режим ґрунту та продуктивність кукурудзи / В.Х. Ківер, Д.М. Онопрієнко // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. – 2011. – № 1 – С.76–80.
6. Бгатов В.И. Азотная кислота в выветривании горных пород и минеральном питании растений / В.И. Бгатов // Проблемы агрохимического сырья Западной Сибири. – Новосибирск, 1985. – С. 117–118.
7. Бгатов В.И. Гроза и урожай / В.И. Бгатов // Наука в СССР; изд. АН СССР. – 1986. – № 2. – С. 33–35.
8. Назаров Н.Н. Обоснование технологической схемы внесения азотной кислоты в почву в качестве азотного удобрения / Н.Н. Назаров, Л.М. Самохвалова // Научно-технический бюллетень ВАСХНИЛ; Сиб. отделение. – 1987. – № 45. – С. 6–10.
9. Самохвалова Л.М. Влияние концентрации азотной кислоты на продуктивность зерновых, азотный режим и биологические свойства чернозема выщелоченного / Л.М. Самохвалова, Г.В. Корвал // Управление плодородием почв в интенсивных системах земледелия. – Новосибирск, 1988. – С. 102–110.
10. Ківер В.Х. Фертигація і гербігація в зрошуваному землеробстві України: монографія / В.Х. Ківер, Д.М. Онопрієнко. – Херсон: Грінь Д.С., 2016. – 148 с.
11. Михина О.Н. Агроэкологическая оценка влияния электроразрядного удобрения на почвенно-биотический комплекс черноземов южных в условиях Южного Приуралья: дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08 – Экология (биология) / О.Н. Михина. – Оренбург, 2016. – 115 с.
12. Назарюк В.М. Баланс и трансформация азота в агроэкосистемах / В.М. Назарюк. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. – 257 с.
13. Мишустин Е.Н. Микроорганизмы и продуктивность земледелия / Е.Н. Мишустин. – М.: Наука, 1972. – 343 с.

Рецензент – доктор сільськогосподарських наук, професор О.О. Якунін