

Онопрієнко Д. М.

*кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
перший проректор, проректор з навчальної роботи
Дніпровський державний аграрно-економічний університет
м. Дніпро*

**ІННОВАЦІЙНІ АГРОТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА
ЗЕРНА КУКУРУДЗИ НА ЗРОШУВАНИХ ЗЕМЛЯХ**

Анотація. *Наведено результати багаторічних досліджень з фертигації кукурудзи в мовах північного Степу України на зрошуваних землях. Обґрунтовано біологічні і агротехнологічні особливості застосування фертигації. Запропоновано шляхи економії води, мінеральних добрив і енергоресурсів у зрошуваному землеробстві. Автор узагальнив набутий досвід досліджень з фертигації кукурудзи колективами вчених Інституту зернових культур НААН України та Дніпровського державного аграрно-економічного університету, як свідчення значимості, важливості досліджуваного наукового напрямку та запровадження результатів його у виробництво кукурудзи на зрошуваних землях. Усі розробки запатентовані авторами. Матеріали будуть корисними для студентів і науковців з агрономічних спеціальностей, а також для виробничників, які вирощують сільськогосподарську продукцію на зрошуваних землях.*

Вступ

Мінеральне живлення кукурудзи в умовах зрошення має певні особливості, тому що за поливів ця культура відрізняється від інших культур розтягнутим періодом вегетації, відповідно зростає й споживання кількості елементів живлення [1, с. 127]. Відповідне поєднання удобрення і поливів є одним із найважливіших факторів інтенсифікації виробництва кукурудзи в зонах зрошуваного землеробства. Управління мінеральним живленням рослин є фундаментом інтенсивних технологій вирощування і має відбуватися тільки на науковій основі. Правильно використовуючи добрива, можна забезпечити збалансоване живлення рослин, не допустити дефіциту або надлишку елементів живлення, досягти не

тільки високої продуктивності, але й поліпшення якісних показників.

Нерівномірне розкидання, особливо надмірної кількості добрив, призводить до нераціонального їх використання, негативних наслідків не тільки для рослин, але і для ґрунту (надлишок поживних речовин в одних і відсутність в інших місцях, нітратне забруднення тощо), які часто не вдається виправити.

Застосування важких і потужних машинно-тракторних агрегатів для поверхневого внесення добрив викликає переущільнення верхніх шарів ґрунту, погіршує його фізичні властивості, знижує врожайність зерна кукурудзи і збільшує затрати на обробіток ґрунту. Як показали дослідження, за дворазового проходу по тому самому сліду тракторів різної потужності і маси (типу Т-150 і ЮМЗ-6) врожайність зерна кукурудзи зменшувалася на 4,5–9,3 ц/га [2, с. 81].

Мінеральні добрива виготовляють і реалізують досить ритмічно, тому ті з них, що надходять до споживачів у період вегетації кукурудзи, залишаються практично невикористаними. Це пояснюється тим, що застосування просапних культиваторів для підживлення обмежується від настання періоду змикання рослин кукурудзи в рядках. До того ж, часті заправки невеликих ємностей для добрив на культиваторах пов'язані з додатковими затратами праці. Використання авіації для підживлення рослин не отримало широкого застосування. Крім цього, за поверхневого способу внесення і розкидання по поверхні поля значна частина туків залишається поза зоною діяльності кореневої системи кукурудзи. І в цілому цей традиційний спосіб внесення добрив орієнтований скоріше на удобрення ґрунту, а не рослин, оскільки їх потреба в поживних речовинах значно змінюється в процесі вегетації, що не завжди враховується [3, с. 29].

Саме з цих причин у системі інтенсивної технології вирощування кукурудзи все більше застосовують прогресивний спосіб внесення мінеральних добрив разом з поливною водою. Внесення добрив одночасно з поливом створює можливість оптимізації забезпечення рослин вологою і легкозасвоюваними формами поживних речовин практично протягом усього вегетаційного періоду. Внесення добрив з поливною водою дістало назву «фертигація» (від англ. слів *irrigation* та *fertilizer*), або удобрювальне зрошення. Воно докорінно вирішує проблему рівномірного розподілу по площі добрив в активному шарі ґрунту до рівня рівномірності розподілу поливної води, що оцінюється коефіцієнтом

варіації не вище 20 %. Крім того, важливою перевагою цього способу є можливість подачі добрив невеликими дозами протягом вегетаційного періоду, коли рослини їх найбільше потребують, без пошкодження листя як механічно, так і через хімічні опіки [4, с. 19].

Дослідженнями вітчизняних та закордонних наукових установ встановлено, що для фертигації придатні як рідкі, у тому числі й комплексні, так і тверді, добре розчинні у воді мінеральні добрива, що утворюють незначну кількість шламів і не викликають корозію металів. Для виготовлення концентрованих розчинів добрив використовують карбамід (сечовину), аміачну селітру, амофос та інші [3, с. 31].

Вносити добрива з поливною водою можна і до сівби, з вологозарядковими поливами, а в роки з посушливою весною – із поливами, що провокують сходи рослин. Основою удобрювального зрошення кукурудзи є вегетаційні поливи, якими необхідно прагнути цілком задовольнити рослини як вологою, так і елементами живлення. На сучасному етапі проведено багато досліджень з біологічного обґрунтування строків проведення фертигації кукурудзи [4, с. 21; 5, с. 212; 6, с. 288].

Досліди і практика довели, що поливати за фертигації краще вранці, увечері та вночі, оскільки за високої інтенсивності сонячної інсоляції і підвищених температур удень рослини можуть отримати опіки. Завантажувати ємності сипкими мінеральними добривами дозволяється під час швидкості вітру до 12 м/с [3, с. 39].

Вирощування запрограмованих урожаїв потребує підтримки вологості активного шару ґрунту в період вегетації на рівні 60 або 65 % НВ на легких, 70–75 на середніх, 80 % – на важких за гранулометричним складом ґрунтах. Поливні норми становлять 500–700 м³/га на полях, де підґрунтові води залягають на глибині більше 3 м, і 400–500 м³/га – на глибині 1,0–2,5 м [7, с. 152].

Науково-дослідна і виробнича перевірка підтвердила високу ефективність фертигації – урожайність кукурудзи зростає на 5–10 ц/га і більше порівняно з традиційними способами внесення в ґрунт тієї самої норми туків [8, с. 29].

Метою проведених автором досліджень було вивчення оптимальних норм, способів та строків внесення різних форм мінеральних добрив при інтенсивній технології вирощування кукурудзи на зерно в умовах зрошення дощуванням.

1. Ефективність фертигації твердимі мінеральними добривами

За даними досліджень, проведених в Інституті зернових культур НААН України, найвищого ефекту досягли шляхом поєднання традиційного способу внесення добрив і фертигації, за розрахункових норм добрив на запланований врожай зерна 10 т/га (табл. 1). Комбіноване застосування добрив (NPK – сухі туки під культивуацію перед сівбою + РКД з поливною водою після сівби) за ефективністю виявилось навіть краще за фертигацію (приріст урожаю зерна кукурудзи становив 0,39–0,55 т/га) [9, с. 76].

Таблиця 1

Урожайність зерна кукурудзи залежно від способу внесення мінеральних добрив, т/га

Спосіб внесення мінеральних добрив*	Гібрид Дніпровський 758		Гібрид Піонер 3978	
	1984 р.	1985 р.	1984 р.	1985 р.
NPK під культивуацію перед сівбою	10,7	9,2	10,7	9,6
NPK + РКД** з поливною водою після сівби	10,9	9,7	10,7	10,4
NPK під культивуацію перед сівбою + РКД з поливною водою після сівби	11,3	10,1	11,4	10,8

* За всіх способів дози добрив розраховані на 10 т зерна з гектара

** Рідкі комплексні добрива

У дослідях В.Х. Ківера і В.М. Куниці (1990) виявилось ефективнішим внесення під гібрид кукурудзи Дніпровський 758 на чорноземі звичайному середньо суглинковому NPK з поливною водою, ніж застосування сухих туків під культивуацію перед сівбою (табл. 2).

Для одержання планованого врожаю зерна кукурудзи 10 т/га були використані розрахункові дози мінеральних добрив: в 1986 р. – N₁₆₈P₉₀K₂₈; 1987 р. – N₁₉₂P₇₀K₂₇; 1988 р. – N₁₃₆P₃₅. Максимальний врожай зерна кукурудзи отримали на фоні внесення після сівби фосфорних і калійних добрив; азотні добрива

використовували разом з поливною водою рівними частинами після сівби, у фазі 10–12 листків і у фазі викидання волотей (10,6 т/га) [10, с. 19].

Таблиця 2

**Вплив на урожайність гібрида кукурудзи Дніпровський 758
строків і способів внесення добрив з поливною водою
(1986–1988 рр.)**

Спосіб і строки внесення добрив	Урожай- ність зерна, т/га	Приріст врожаю, т/га	Отримано зерна в розрахунку на 1 кг д.р. NPK, кг
NPK під культивуацію поверхнево сухі туки, контроль	9,64	–	3,89
NPK з поливною водою після сівби	9,95	0,31	4,01
P і K після сівби повною дозою, N – у фазі 10–12 листків	10,0	0,44	4,0
P і K після сівби повною дозою, N – ½ дози у фазі 10–12 листоків, ½ дози у фазі викидання волотей	10,4	0,76	4,19
Те ж саме, але N – 1/3 дози після сівби, 1/3 дози у фазі 10–12 листків, 1/3 дози – у фазі викидання волотей	10,62	0,98	4,31
Те саме, але N – повною дозою у фазі викидання волотей	10,19	0,55	4,11

Дослідження способів та строків внесення мінеральних добрив за інтенсивної технології вирощування кукурудзи на зерно зі зрошенням автор проводив протягом 1999–2001 рр. у навчально-дослідному господарстві «Самарський» Дніпровського державного аграрно-економічного університету [11, с. 60].

Грунтова відміна – чорнозем звичайний слабозмитий середньо суглинковий. Потужність гумусного шару становить 65–70 см, уміст гумусу в орному шарі ґрунту – 3,5–4,5 %. Уміст азоту після 7 діб компостування (за Кравковим) в 100 г сухого ґрунту – 1,4–3,8,

фосфору (за Чириковим) – 11,9–15,5; обмінного калію (за Масловою) – 10,0–14,4 мг/100 г сухого ґрунту. Підґрунтові води залягають на глибині більше 15 м.

У дослідях висівали середньоранній гібрид кукурудзи Піонер 3978. Вивчали норми мінеральних добрив, розраховані на одержання врожаю зерна 8 та 10 т/га. Передбачали також варіант без добрив. Технологія вирощування була загальноприйнятою для кукурудзи в зоні північного Степу України. Поливи проводили дощувальним агрегатом ДДА-100МА. Мінеральні добрива дозували в поливну воду спеціальним гідропідживлювачем, виготовленим в лабораторії Інституту зернових культур НААН України. Поливний режим передбачав підтримання вологості ґрунту в активному шарі не нижче 70–80 % НВ. Зрошувальна норма становила 1800–2100 м³/га. Посівна площа дослідних ділянок – 630, а облікова 150 м², повторність чотириразова. Статистичну обробку одержаних результатів проводили методом дисперсійного аналізу за відомою методикою.

Із мінеральних добрив застосовували сечовину (карбамід), гранульований суперфосфат і калійну сіль. Фосфорні і калійні добрива вносили в розрахункових дозах по ділянках під культивуацію, азотні – відповідно до програми досліджень під культивуацію і з поливною водою. Дози мінеральних добрив для одержання запланованого врожаю зерна кукурудзи обчислювали балансовим методом з урахуванням умісту основних елементів живлення в орному шарі ґрунту.

З метою вивчення ефективності внесення азотних добрив з поливною водою, порівняно з традиційним розкидним способом, і оптимальних параметрів фертигації були розроблені такі технологічні схеми внесення азотних добрив:

1) під культивуацію врозкид поверхнево повною нормою (контроль);

2) роздрібно: 40 % норми врозкид під культивуацію, а з поливною водою дозами по 20 % у фазі 10–12 листків, викидання волотей і молочної стиглості зерна;

3) роздрібно: 40 % норми врозкид під культивуацію, а з поливною водою 40 % у фазу 10–12 листків і 20 % – у фазу викидання волотей;

4) повна норма азоту з поливною водою: роздрібно дозами по 20 % у фазах 10–12 листків, викидання волотей і молочної стиглості зерна, а у фазу квітування волоті – 40 %;

5) повна норма азоту з поливною водою: роздрібно дозами 40 % після сівби до фази 10–12 листків, 40 % у фазу викидання волотей і 20 % – у фазу молочної стиглості зерна.

Результати засвідчили, що вміст у ґрунті азоту залежить від способу та строків внесення добрива. У разі застосування його врозкид восени під культивуацію нітрати мігрують із кореневого шару і він поступово збіднюється. До періоду інтенсивної потреби рослин кукурудзи в азоті (10–12 листків) нітратів у ґрунті було менше, ніж у період 5–6 листків, на 15,3 %, а у фазу молочної стиглості зерна – на 50,3 %. Водночас за кількарязового застосування азотного добрива з поливною водою вміст нітратів у ґрунті на цей період змінювався менше, й до того ж їх містилося (особливо у фазу молочної стиглості зерна) значно більше, що позитивно вплинуло на врожайність [12, с. 85].

Результати обліку врожаю показали, що в разі застосування твердих мінеральних добрив (карбаміду) розведених до певної концентрації з поливною водою кукурудза дає вищі врожаї зерна, ніж за розкидання їх по поверхні ґрунту (табл. 3).

Із підвищенням дози мінеральних добрив підвищувалась і урожайність зерна кукурудзи в середньому на 2,72–4,36 т/га порівняно з контрольним варіантом, де добрива не вносили зовсім.

За оцінювання будь-якого агротехнологічного заходу важливо враховувати його вплив не тільки на величину врожаю, а й на його споживчі якості. Під час зрощення разом із збільшенням урожаїв часто спостерігається погіршення якості зерна, зокрема зменшується в ньому вміст білка.

У разі збільшення норм мінеральних добрив спостерігається тенденція до підвищення вмісту білка (табл. 4).

Спосіб внесення азотних добрив також впливав на вміст білка в зерні кукурудзи. За фертигації вміст білка в зерні зростав, порівняно з поверхневим внесенням розкидним способом. Спосіб внесення азотних добрив суттєво не впливав на вміст крохмалю, жиру і клітковини в зерні.

На всіх агрофонах, що вивчалися, вміст нітратів був нижчим за гранично допустиму концентрацію (ГДК нітратів у зерні кукурудзи – 300 мг/кг). Високі норми мінеральних добрив, а також способи внесення азотних добрив з поливною водою не підвищували вмісту нітратів у зерні кукурудзи.

Таблиця 3

**Урожайність зерна кукурудзи залежно від дози
та способу внесення мінеральних добрив, т/га**

Програмована врожайність кукурудзи, т/га	Схема внесення азотних добрив	Урожайність по роках т/га			у серед- ньому	± до контролю	
		1999	2000	2001		т/га	%
Без добрив		5,16	5,96	5,48	5,53	-	-
8,0	1 (контроль)	7,86	7,75	8,01	7,87	-	-
	3	8,14	8,46	8,54	8,38	0,51	6,6
	5	8,28	8,65	8,58	8,51	0,63	8,1
	У середньому	8,09	8,28	8,37	8,25	-	-
10,0	1 (контроль)	9,28	9,34	9,46	9,36	-	-
	3	9,87	10,20	10,06	10,04	0,62	6,7
	5	10,14	10,32	10,42	10,29	0,93	10,0
	У середньому	9,76	9,95	9,98	9,89	-	-
НІР _{0,95} т/га для схем		0,03	0,47	0,21	-	-	-
НІР _{0,95} т/га для доз		0,24	0,32	0,13	-	-	-

Таблиця 4

**Якість зерна кукурудзи залежно від способів і термінів
унесення азотних добрив (середнє за 1999–2001 рр.)**

Програмована врожайність кукурудзи, т/га	Схема внесення азотних добрив	Вміст у зерні, %			
		сирий білок	жир	крохмаль	клітковина
Без добрив		8,9	4,9	61,8	2,9
8,0	1 (контроль)	9,1	4,9	62,2	3,1
	3	9,5	4,8	64,3	2,9
	5	9,4	5,0	63,1	3,0
	у середньому	9,3	4,9	63,2	3,0
10,0	1 (контроль)	9,4	4,9	62,9	2,9
	3	9,4	5,0	63,1	3,0
	5	9,6	5,0	61,8	3,0
	у середньому	9,4	4,9	62,6	2,9

Біоенергетична оцінка внесення мінеральних добрив свідчить про те, що витрати сукупної енергії на 1 га посівів з підвищенням

їхньої дози зростали. У дослідях вирощування кукурудзи без добрив витрати сукупної енергії були меншими за норми мінеральних добрив, розраховані на 8,0 т/га на 15,7 ГДж, а на врожайність 10,0 т/га – 32,5 ГДж (табл. 5). Це пов'язано з високим енергетичним еквівалентом твердих форм мінеральних добрив.

Способи внесення азотних добрив мало змінювали величину витрат через те, що витрати на внесення мінеральних добрив і додаткові витрати на збирання й транспортування додатково одержаного врожаю є незначними в загальних енерговитратах. Енергоємність виробництва 1 т зерна кукурудзи з підвищенням норми мінеральних добрив дещо підвищувалася.

У разі внесення азотних добрив з поливною водою витрати сукупної енергії на 1 т зерна зменшувалися на 0,38–0,59 ГДж, а біоенергетичний коефіцієнт зростав. Величина додатково одержаної енергії з одного гектара становила 15,8–36,8 ГДж.

Зазначимо, що використання фертигації заощаджує 0,5–0,6 кг/га пального, а витрата його на 1 т врожаю зерна кукурудзи знижується на 8,5 %, порівняно з традиційним поверхневим розкидним способом внесення мінеральних добрив [13, с. 53].

Таблиця 5

**Біоенергетична ефективність технологічних схем
внесення азотних добрив**

Програмована врожайність зерна кукурудзи, т/га	Схема внесення азотних добрив	Витрати сукупної енергії, ГДж/га	Енергоємність виробництва 1 ц зерна, ГДж	Приріст валової енергії ГДж/га
8,0	Без добрив 1 (контроль) 3 5	28,9 44,7	0,52 0,58 0,53	166
		44,5 44,6	0,53	226
				243
				245
10,0	1 (контроль) 3 5	61,2	0,59	268
		61,5	0,55	296
		61,6	0,54	300

Короткий огляд наукових публікацій і результати проведених нами досліджень переконують в тому, що фертигація за програмування врожаїв зерна кукурудзи стає одним із головних факторів підвищення ефективності використання поливної води,

мінеральних добрив, зрошуваних земель і дощувальної техніки. На сучасному етапі розвитку поливного землеробства необхідно впроваджувати новітні ефективні агротехнології, які передбачають зниження доз мінеральних добрив та підвищення їх окупності в 1,5–2,0 рази за рахунок оптимізації строків і способів внесення.

На нашу думку, у процесі вирощування високих і рекордних запрограмованих урожаїв зерна кукурудзи на зрошуваних землях у Степу України замість традиційних способів внесення азотних добрив доцільно використовувати роздрібне їх внесення з поливною водою, враховуючи біологічні особливості гібридів. Визначальним критерієм ефективності таких технологій повинна бути окупність приростом урожаю кожного кілограма туків.

Вносити з поливною водою розчинні мінеральні добрива (наприклад карбамід) рекомендується в певних пропорціях і у визначені періоди: 40 % всієї дози у фазу 10–12 листків, 40 % – у фазу викидання волотей і 20 % – за молочної стиглості зерна. Це дозволить підвищити урожайність зерна кукурудзи на 2,5–4,5 т/га і забезпечити одержання умовно чистого прибутку У наших дослідженнях вищу окупність мінеральних добрив урожаєм зерна одержали у разі норм, розрахованих на одержання 8 т/га зерна. Підвищення норм туків на рівень запрограмованого врожаю 10 т/га, незалежно від способів внесення добрив, знижувало їх ефективність [15, с. 45].

Принципи енергозаощадливої технології вирощування кукурудзи найкраще проявилися за програмою одержання зерна кукурудзи на рівні 8–10 т/га. Великі норми добрив у дослідях забезпечували врожайність зерна на рівні 12,3–13,8 т/га, але більш високою ціною, тому що окупність добрив знижувалася, а конкурентоспроможність отриманої продукції в умовах ринкових відносин зменшувалася.

За фертигації відчутно зменшуються негативні наслідки, пов'язані з ущільненням і деформацією ґрунту, оскільки зникає необхідність у застосуванні механічних засобів для поверхневого розкидання і загортання в ґрунт мінеральних добрив. Скорочення механічних обробок ґрунту зберігає його структуру від руйнування, поліпшує екологічні умови під час вирощування кукурудзи. Внесення добрив з поливною водою звільняє сільськогосподарські машини для інших робіт, зменшує потребу в причіпних і самохідних розкидачах добрив, а економія дизельного пального за такої технології становить 4–5 кг/га [11, с. 60].

2. Ефективність фертигації рідкими комплексними добривами

Наразі ще недостатньо вивчена технологія внесення з поливною водою рідких комплексних добрив (РКД), що отримують нейтралізацією орто- і поліфосфорної кислот аміаком з додаванням азотовмісних розчинів (сечовини, аміачної селітри) і хлориду або сульфату калію. У РКД відсутні недоліки, що притаманні твердим мінеральним добривам. За удобрювальних поливів немає потреби попередньо розчиняти їх у воді, вони не утворюють пилу, не злежуються, волога погода і дощі на них не впливають. Вартість технологічних операцій щодо зберігання, внесення у ґрунт і завантаження під час транспортування РКД нижча, ніж у твердих туків. Крім цього, РКД не містять вільного аміаку, тому їх можна перевозити в негерметичних ємкостях і зберігати півроку. Застосування РКД дозволяє механізувати всі технологічні процеси і знизити затрати праці [4, с. 37].

Автором були проведені дослідження з порівняння способів внесення, строків і видів мінеральних добрив, включаючи і рідкі комплексні добрива, за інтенсивної технології вирощування кукурудзи на зерно в умовах зрошення протягом 2002–2004 рр. у навчально-дослідному господарстві “Самарський” Дніпровського державного аграрного університету [16, с. 77].

У дослідах висівали середньоранній гібрид кукурудзи Піонер 3978, який добре реагує на зрошення і був об'єктом досліджень. Строки і способи внесення мінеральних добрив вивчали за однієї розрахованої дози для одержання врожаю зерна 10 т/га – N₁₈₀P₉₀. Передбачали також варіант без добрив. Технологія вирощування кукурудзи була загальноприйнятною для цієї культури в зоні північного Степу України. Поливи проводили дощувальним агрегатом ДДА-100МА. Мінеральні добрива дозували в поливну воду спеціальним гідропідживлювачем. Поливний режим передбачав підтримання вологості ґрунту в активному шарі не нижче 70–80 % НВ. Зрошувальна норма становила 1500–2000 м³/га.

Із рідких мінеральних добрив застосовували азотно-фосфорний розчин 10:34 (N–10 %, P–34 %), який отримують шляхом нейтралізації поліфосфорних кислот аміаком. Дози мінеральних добрив для одержання запланованого врожаю зерна кукурудзи 10 т/га обчислювали балансовим методом з урахуванням умісту основних елементів живлення в орному шарі ґрунту.

З метою вивчення ефективності внесення рідких комплексних добрив з поливною водою, порівняно з традиційним розкидним

способом, і визначення оптимальних параметрів фертигації у варіантах вирощування кукурудзи на зерно були розроблені технологічні схеми внесення мінеральних добрив:

1) під культивуацію перед сівбою (карбамід + амофос) уроzkид повною нормою $N_{180}P_{90}$ (контроль);

2) під культивуацію перед сівбою (карбамід + РКД) нормою $N_{180}P_{90}$ з поливною водою (контроль);

3) роздрібно з поливною водою $N_{60}P_{30}$ після сівби та $N_{120}P_{60}$ у фазі 10–12 листків;

4) роздрібно з поливною водою: після сівби $N_{50}P_{25}$; у фазі 10–12 листків $N_{50}P_{25}$, у фазі викидання волотей $N_{40}P_{20}$, у фазі молочної стиглості зерна $N_{40}P_{20}$;

5) роздрібно з поливною водою: у фазі 10–12 листків $N_{60}P_{30}$, у фазі викидання волотей $N_{60}P_{30}$, у фазі молочної стиглості зерна $N_{60}P_{30}$;

6) роздрібно з поливною водою: у фазі 10–12 листків $N_{90}P_{45}$ і у фазі викидання волотей $N_{90}P_{45}$.

У дослідах передбачали також контрольний варіант без добрив. За першою схемою карбамід і амофос вносили перед культивуацією, за другою та всіма іншими (з поливною водою), щоб зрівняти вміст азоту і фосфору, до розрахункової дози рідких комплексних добрив додавали карбамід.

Норми і строки внесення рідких комплексних мінеральних добрив з поливною водою суттєво впливали на поживний режим ґрунту. Сприятливі умови зволоження і температури поліпшували азотний режим ґрунту за рахунок добрив і підвищення нітрифікаційної здатності. Відзначена максимальна кількість мінерального азоту в ґрунті на початку вегетації у варіанті внесення туків під культивуацію, що свідчить про підвищення енергії нітрифікації (рис. 1).

Аналізуючи вміст мінерального азоту в динаміці, реєстрували зниження його в ґрунті від фази 5–6 листків до молочної стиглості зерна, що підтверджує чимале споживання азоту кукурудзою в основні фази онтогенезу. До періоду інтенсивної потреби рослин кукурудзи в азоті (10–12 листків) NO_3^- у ґрунті було менше, ніж у фазі 5–6 листків, на 32,0 %, а у фазі молочної стиглості зерна – на 62,4 %. У варіанті без добрив спостерігалася така сама тенденція до зниження нітратного азоту в ґрунті (на 29,8 та 50,8 %, відповідно). Це обумовлювалось інтенсивним зростанням нітрифікаційних процесів у ґрунті за рахунок створення оптимальних умов (вологість ґрунту 70–80 % НВ, температура повітря 20–25 °С, добра

аерація) і низьким споживанням NO_3^- рослинами кукурудзи на початку вегетації. Того ж часу за неодноразового застосування добрив у дозі $\text{N}_{180}\text{P}_{90}$ з поливною водою вміст нітратів у ґрунті за цей період змінювався менше, їх містилося значно більше, особливо у фазі молочної стиглості зерна, що позитивно вплинуло на врожайність. Внесення мінеральних добрив з поливною водою у два строки у фазах 10–12 листків та викидання волотей дозою $\text{N}_{90}\text{P}_{45}$ забезпечувало максимальну кількість нітратного азоту у фазі молочної стиглості зерна (рис. 1).

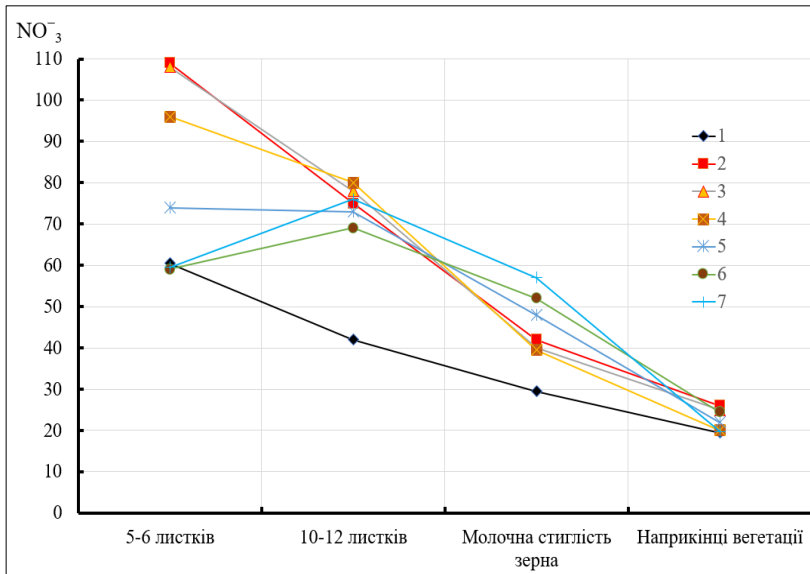


Рис. 1. Вплив способів і строків внесення мінеральних добрив на вміст нітратного азоту в шарі ґрунту 0–40 см (середнє за 2002–2004 рр.):

1 – без добрив (контроль); 2 – $\text{N}_{180}\text{P}_{90}$ врозкид під культивування (карбамід + амофос); 3 – $\text{N}_{180}\text{P}_{90}$ під культивування перед сівбою (карбамід + РКД) з поливною водою; 4 – роздрібно $\text{N}_{60}\text{P}_{30}$ після сівби і $\text{N}_{120}\text{P}_{60}$ у фазі 10–12 листків (з поливною водою); 5 – роздрібно з поливною водою: після сівби $\text{N}_{50}\text{P}_{25}$, у фазі 10–12 листків $\text{N}_{50}\text{P}_{25}$, викидання волотей $\text{N}_{40}\text{P}_{20}$, молочної стиглості зерна $\text{N}_{40}\text{P}_{20}$; 6 – роздрібно з поливною водою: у фазі 10–12 листків $\text{N}_{60}\text{P}_{30}$, викидання волотей $\text{N}_{60}\text{P}_{30}$, молочної стиглості зерна $\text{N}_{60}\text{P}_{30}$; 7 – з поливною водою: у фазі 10–12 листків $\text{N}_{90}\text{P}_{45}$ і у фазі викидання волотей $\text{N}_{90}\text{P}_{45}$

У фазі повної стиглості зерна кукурудзи, як за удобрювального зрошення, так і без добрив, кількість мінерального азоту в ґрунті виявилася майже однаковою.

Протягом вегетаційного періоду кукурудзи вміст NO_3^- – у шарі ґрунту 0–20 см був вищим, ніж у шарі 20–40 см, що пояснюється переміщенням азоту з нижніх шарів у верхні внаслідок інтенсивного випаровування вологи з поверхні ґрунту, а також ущільненням підорного шару і зниженням інтенсивності процесів мінералізації.

На всіх удобрених фонах кількість продуктивних качанів зареєстрована майже однаковою, але абсолютна маса зернин різною (табл. 6). Значно більшою вона була в досліді внесення добрив роздрібно з поливною водою.

Маса 1000 зернин зареєстрована максимальною (335,8 г) у варіанті з внесенням $\text{N}_{90}\text{P}_{45}$ у два строки (у фазі 10–12 листків і викидання волотей) і мінімальною на ділянках без добрив.

Внесення туків роздрібно з поливною водою підвищувало вихід зерна на 1,9–2,9 % (за винятком внесення туків у два строки – $\text{N}_{60}\text{P}_{30}$ та $\text{N}_{120}\text{P}_{60}$) порівняно з одноразовим їх внесенням.

Фертигація в різні строки створювала сприятливі умови для росту і розвитку рослин кукурудзи. Її позитивний вплив відзначали на збільшенні маси 1000 зернин, середньої маси качанів і виходу зерна кукурудзи.

Урожайність зерна гібрида Піонер 3978 за внесення рідких комплексних мінеральних добрив з поливною водою була вищою, ніж за традиційної технології їх внесення (табл. 7).

Максимальну врожайність зерна кукурудзи в середньому за три роки одержали за внесення $\text{N}_{90}\text{P}_{45}$ з поливною водою у фазах 10–12 листків і викидання волотей – 10,4 т/га. Доза добрив $\text{N}_{180}\text{P}_{90}$ найкраще окупалася приростом урожайності за внесення її у два строки рівними частинами у фазах 10–12 листків і викидання волотей (по $\text{N}_{90}\text{P}_{45}$).

За результатами цих досліджень можна зробити висновки, що внесення рідких комплексних мінеральних добрив роздрібно з поливною водою (фертигація) покращує поживний режим чорнозему звичайного. Використання туків у фазі 10–12 листків підвищує вміст нітратного азоту у шарі ґрунту 0–40 см на 4,9–24,6 мг/кг ґрунту, а у фазі молочної стиглості зерна – на 6,8–21,4 мг/кг ґрунту, ніж за традиційної технології внесення туків

Таблиця 6

**Продуктивність гібрида кукурудзи Піонер 3978
залежно від способів і строків унесення мінеральних добрив
(середнє за 2002–2004 рр.)**

Варіант	Кількість продуктивних качанів на 100 рослин, шт	Маса одного качана, г	Вихід зерна, %	Маса 1000 зерен, г
1 – без добрив (контроль)	98	190	79,9	265,5
2 – N ₁₈₀ P ₉₀ (карбамід + амофос) урозкид навесні під культивуацію (контроль)	102	225	79,4	286,6
3 – N ₁₈₀ P ₉₀ під культивуацію перед сівбою (карбамід + РКД) з поливною водою	103	225	80,6	282,6
4 – роздрібно з поливною водою: N ₆₀ P ₃₀ після сівби і N ₁₂₀ P ₆₀ у фазі 10–12 листків	102	230	79,6	298,4
5 – роздрібно з поливною водою: після сівби N ₅₀ P ₂₅ ; у фазах 10–12 листків N ₅₀ P ₂₅ , викидання волотей N ₄₀ P ₂₀ , молочної стиглості зерна N ₄₀ P ₂₀	104	250	82,5	305,6
6 – роздрібно з поливною водою: у фазах 10–12 листків N ₆₀ P ₃₀ , викидання волотей N ₆₀ P ₃₀ , молочної стиглості зерна N ₆₀ P ₃₀	103	240	83,5	318,4
7 – з поливною водою: у фазах 10–12 листків N ₉₀ P ₄₅ і викидання волотей N ₉₀ P ₄₅	103	270	82,8	335,8

Таблиця 7

Вплив способів і строків внесення мінеральних добрив на урожайність зерна гібрида кукурудзи Піонер 3978, т/га

Варіант	Урожайність зерна, т/га			Середнє за три роки
	2002 р.	2003 р.	2004 р.	
1 – без добрив (контроль)	3,7	3,6	4,2	3,8
2 – N ₁₈₀ P ₉₀ (карбамід + амофос) у розкид навесні під культивуацію (контроль)	9,9	8,2	9,7	9,3
3 – N ₁₈₀ P ₉₀ під культивуацію перед сівбою (карбамід + РКД) з поливною водою	9,6	8,4	9,8	9,3
4 – роздрібно з поливною водою: N ₆₀ P ₃₀ після сівби і N ₁₂₀ P ₆₀ у фазі 10–12 листків	10,0	8,7	10,1	9,6
5 – роздрібно з поливною водою: після сівби N ₅₀ P ₂₅ ; у фазах 10–12 листків N ₅₀ P ₂₅ , викидання волотей N ₄₀ P ₂₀ , молочної стиглості зерна N ₄₀ P ₂₀	10,9	8,7	10,1	9,9
6 – роздрібно з поливною водою: у фазах 10–12 листків N ₆₀ P ₃₀ , викидання волотей N ₆₀ P ₃₀ , молочної стиглості зерна N ₆₀ P ₃₀	11,0	8,7	10,3	10,0
7 – з поливною водою у фазах 10–12 листків N ₉₀ P ₄₅ і викидання волотей N ₉₀ P ₄₅	11,6	9,2	10,5	10,4
NIP _{0,95} т/га для способів і строків унесення добрив – від 0,20 до 0,30.				

З огляду на традиційну технологію внесення рідких комплексних мінеральних добрив, за фертигації збільшувалися маса одного качана, абсолютна маса зернин у качані, а також вихід зерна кукурудзи. Максимальну врожайність зерна кукурудзи одержали в разі внесення дози добрив N₁₈₀P₉₀, розділивши її на дві частини, з поливною водою у фазах 10–12 листків і викидання волотей.

Вивчення ефективності застосування рідких комплексних добрив у системі інтенсивної технології вирощування кукурудзи на зерно в умовах зрошення доцільно продовжити.

Таким чином, зростання масштабів хімізації, що ми спостерігаємо сьогодні, виявилось логічним наслідком новітніх технологій в удосконаленні конструкцій зрошувальних систем, дощувальної та іншої поливної техніки, нових способів поливу, створення спеціального обладнання для введення агрохімікатів у поливну воду, в розробці сучасних мінеральних добрив, а також комплексної теорії живлення рослин.

Науковою основою технології удобрювального зрошення є загальна теорія морфогенезу рослин, планування врожаю (в контексті взаємодії факторів, що обумовлюють формування запрограмованого врожаю сільськогосподарських культур) і теорії мінерального живлення рослин.

Фертигація базується на теоретичних і прикладних дослідженнях із вивчення потреб рослин у воді й поживних речовинах протягом усього періоду вегетації, періодичності та інтенсивності їх поглинання у процесі формування запрограмованих урожаїв. Під час внесення добрив одночасно з поливом реалізується унікальна можливість синхронної оптимізації водного режиму рослин і забезпечення їх легкодоступними формами поживних елементів практично на всіх стадіях органогенезу. Всі стадії органогенезу, як і фенологічні фази розвитку рослин, настають у відповідній послідовності, біологічно обумовлюючи основні закономірності споживання елементів живлення і формування врожаю сільськогосподарських культур.

За допомогою фертигації можна успішно і науково обґрунтовано задовольняти потреби рослин протягом онтогенезу в будь-яких елементах живлення. Працюючи за біологічно обумовленою схемою застосування добрив і контролюючи її ефективність з використанням новітнього обладнання, апробованих сучасних методів діагностики ґрунту і рослин, можна своєчасно забезпечувати сільськогосподарські культури необхідними поживними речовинами в необхідних кількостях і співвідношеннях для формування запрограмованих урожаїв.

3. Ефективність фертигації з використанням рідких і твердих форм мінеральних добрив

Метою проведених нами досліджень було вивчення впливу різних способів внесення твердих і рідких мінеральних добрив на ефективність агротехнології виробництва зерна кукурудзи в умовах зрошення північного Степу України.

Польові досліді з вивчення впливу різних способів внесення мінеральних добрив на урожайність зерна кукурудзи проводили на полях у селянському фермерському господарстві «AIST» Синельниківського району Дніпропетровської області протягом 2016–2018 років [17, с. 140].

На дослідних ділянках вивчали чорноземи звичайні малогумусні важкосуглинкові з такими основними характеристиками: об'ємна маса шару ґрунту 0–70 см складає 1,96 г/см³, найменша вологоємність (НВ) – 24,1 %, діапазон активної вологи в гумусованій частині профілю ґрунтів складає 25,79–30,41 %, запаси продуктивної вологи в шарі 0–50 та 0–70 см відповідно – 2420 та 3550 м³/га (за найменшої вологоємності ґрунту). Потужність гумусованого шару становить 70–75 см, а вміст органічної речовини в орному шарі ґрунту за Тюріним – 2,6–3,0 %. Нітратного азоту N-NO₃ (за Кравковим) в 1 кг сухого ґрунту містилось 8,2–20,6, рухомого фосфору P₂O₅ (за Чириковим) – 134–145, обмінного калію K₂O (за Чириковим) – 175–188 мг/кг ґрунту. Підґрунтові води залягають на глибині більше 15 м. Загальна площа поля 120 га, посівна площа дослідних ділянок 16,2 га, а облікова площа 12,5 га, повторність – чотириразова.

Погодні умови за роки досліджень були в цілому сприятливими для вирощування кукурудзи в умовах зрошення. За вегетаційний період (травень – вересень) 2016 року випало 373 мм дощів, у 2017 р. – 177 мм, а у 2018 році – 157 мм.

У дослідях висівали середньостиглий гібрид кукурудзи ДКС 4351 (ФАО 350) густотою 80 тис. рослин на гектарі. Вивчали норми мінеральних добрив, розраховані для одержання врожаю зерна 12 т/га. Передбачали також варіант без добрив і без поливу. Технологія вирощування кукурудзи була загальноприйнятою для цієї культури в зоні північного Степу України. Поливи проводили широкозахватною дощувальною машиною фронтальної дії виробництва фірми Reinke (USA, Sistem Serial No: 1212-54432-2065/2060 MAXI). Ширина поливу машиною 375,2 м, з витратою води 113 л/с. Розчин мінеральних добрив дозували в поливну воду спеціальним гідропідживлювачем фірми MILTON ROY (USA, Manual No: 53873) з максимальною продуктивністю 110 галонів за годину, або 416 літрів за годину. Поливний режим передбачав підтримання вологості ґрунту в активному шарі не нижче 70–80 % НВ. Зрошувальна норма становила у 2016 р. – 2100 м³/га, у 2017 р. – 2400, а у 2018 р. – 2500 м³/га.

Із твердих мінеральних добрив застосовували сечовину (карбамід), амофос і калійні добрива (компанія Kalium Makosh, Польща). Із рідких азотних добрив використовували КАС-32. Амофос вносили у розрахункових дозах по ділянках під оранку восени, азотні – відповідно до програми досліджень під культивуацію і з поливною водою, а калійні добрива під культивуацію навесні.

Дози мінеральних добрив для одержання запланованого врожаю зерна кукурудзи 12 т/га обчислювали балансовим методом з урахуванням вмісту основних елементів живлення в орному шарі ґрунту. Розрахункові дози становили $N_{200}P_{90}K_{60}$.

На всіх варіантах дослідів щороку у фазу 3–4 листків вносили добрива «Паверфол Цинкат» оприскувачем дозою 150 мл на 100 л води для попередження хлорозу і коригування дефіциту цинку в рослинах. У фазу 9–10 листків вносили гербіцид «Елюміс 105 ОД» оприскувачем нормою 1,7 л/га для захисту посівів від однорічних та багаторічних злакових та дводольних бур'янів. У фазу викидання волотей вносили інсектицид «Кораген Du Pont» самохідним оприскувачем нормою 150 мл/га для контролю кукурудзяного стеблового метелика.

З метою вивчення ефективності внесення твердих і рідких форм мінеральних добрив з поливною водою, в порівнянні з традиційним розкидним способом і визначення оптимальних параметрів фертигації при вирощуванні кукурудзи на зерно були розроблені різні варіанти.

Технологічні схеми внесення мінеральних добрив були такими:

1) під культивуацію перед сівбою (карбамід) врозкид повною нормою N_{200} і під осінню оранку (амофос) нормою P_{90} при зрошенні;

2) під культивуацію перед сівбою (КАС-32) нормою N_{200} самохідним оприскувачем і під осінню оранку (амофос) нормою P_{90} при зрошенні;

3) роздрібно з поливною водою повною нормою N_{200} (карбамід) під час проведення вегетаційних поливів (фертигація);

4) роздрібно з поливною водою повною нормою N_{200} (КАС-32) під час проведення вегетаційних поливів (фертигація).

Також в дослідях передбачали контрольний варіант без добрив. За всіма наведеними технологічними схемами рідкі калійні добрива нормою K_{60} вносили самохідним оприскувачем під передпосівну культивуацію.

У таблиці 8 наведені дані з визначення вмісту нітратів (NO_3^-) у 0–60-сантиметровому шарі ґрунту в залежності від способів

внесення азотних добрив при програмуванні врожаю на 12 т/га зерна кукурудзи. Наведені дані вказують на те, що вміст азоту, який відіграє важливу роль у продуктивності рослин в умовах зрошення залежить від способів та строків внесення добрив (табл. 8). При розкиданні карбаміду по поверхні ґрунту навесні перед культивацією нітрати мігрують із кореневого шару і він поступово збіднюється. До періоду інтенсивної потреби рослин кукурудзи в азоті (10–12 листків) нітратів у ґрунті було менше, ніж у період 5–6 листків, на 15,3 %, а у фазі молочної стиглості зерна – на 50,3 %. При внесенні розчину КАС-32 оприскувачем по поверхні ґрунту відмічали зменшення його в ґрунті від фази 5–6 листків до молочної стиглості зерна, що свідчить про значне споживання азоту кукурудзою в основні фази онтогенезу. До періоду інтенсивної потреби рослин кукурудзи в азоті (10–12 листків) NO_3^- у ґрунті було менше, ніж у період 5–6 листків на 19,6 %, а у фазі молочної стиглості зерна – на 37,7 %. У варіанті без добрив спостерігали таку ж саму тенденцію до зменшення нітратного азоту в ґрунті (на 29,8 % та 50,8 %, відповідно).

Таблиця 8

Вміст нітратів у ґрунті в залежності від способів внесення азотних добрив (середнє за 2016–2018 рр.), мг/кг ґрунту

Спосіб внесення мінеральних добрив	Фаза розвитку кукурудзи		
	5–6 листків	10–12 листків	молочна стиглість зерна
1 – норма N_{200} карбамід врозкид по поверхні ґрунту під культивацію навесні	30,8	26,1	15,3
2 – норма N_{200} карбамід роздрібно з поливною водою	20,5	25,8	23,8
3 – норма N_{200} КАС-32 оприскувачем по поверхні ґрунту під культивацію навесні	31,6	25,4	19,1
4 – норма N_{200} КАС-32 роздрібно з поливною водою	23,3	26,3	24,7
Без добрив (контроль)	8,2	5,76	4,04

Способи і строки внесення азотних добрив (карбамід і КАС-32) з поливною водою значно впливали на поживний режим ґрунту. Сприятливі умови зволоження і температура повітря значно поліпшували азотний режим ґрунту за рахунок добрив і підвищення нітрифікаційної здатності. Відмічена максимальна кількість мінерального азоту в ґрунті на початку вегетації при внесенні туків під культивуацію, що говорить про підвищення енергії нітрифікації.

Це обумовлювалось інтенсивним зростанням нітрифікаційних процесів у ґрунті за рахунок створення оптимальних умов (вологість ґрунту була не нижче 70–80 % НВ, температура повітря протягом вегетації 20–25° С, добра аерація) і низьким споживанням NO₃⁻ рослинами кукурудзи на початку вегетації. У той же час при застосуванні добрив дозою N₂₀₀ разом з поливною водою коливання нітратів у ґрунті на цей період були меншими і до того ж містилося їх, особливо у фазі молочної стиглості зерна, значно більше, що позитивно вплинуло на врожай.

Внесення мінеральних добрив КАС-32 з поливною водою роздрібно під час вегетаційних поливів забезпечувало максимальну кількість нітратного азоту в фазу молочної стиглості зерна (24,7 мг/кг ґрунту, табл. 8). У фазі повної стиглості зерна кукурудзи як за удобрювального зрошення, так і без добрив кількість мінерального азоту в ґрунті виявилась майже однаковою.

На всіх удобрених фонах кількість продуктивних качанів кукурудзи виявилася майже однаковою, але абсолютна маса зернин в них відрізнялася (табл. 9). Значно більшою вона була за внесення мінеральних добрив разом з поливною водою.

Результати обліку врожаю показали, що маса 1000 зернин була максимальною (370,1 г) при внесенні карбаміду дозою N₂₀₀ роздрібно разом з поливною водою (фертигація), а мінімальною вона була на ділянках, де добрива не застосовували (268,3 г).

Були встановлені відмінності в середній масі качана (табл. 9). Найбільша маса качана (238 г) відмічена при внесенні КАС-32 дозою N₂₀₀ роздрібно разом з поливною водою, а мінімальною вона була на ділянках без добрив (161 г).

В порівнянні з традиційною технологією внесення мінеральних добрив поверхнево в розкид, або оприскувачем за фертигації з карбамідом, збільшувалась маса одного качана на 34 г, а за фертигації з КАС-32 – на 35 г.

Таблиця 9

Продуктивність гібрида кукурудзи ДКС 4351 в залежності від способів внесення мінеральних добрив (середнє за три роки)

Спосіб внесення мінеральних добрив	Кількість продуктивних качанів на 100 рослин	Маса одного качана, г	Вихід зерна, %	Маса 1000 зернин, г
Без добрив (контроль)	97	161	80	268,3
норма N ₂₀₀ карбамід врозкид по поверхні ґрунту під культивуацію навесні	101	202	87	332,1
норма N ₂₀₀ КАС-32 оприскувачем по поверхні ґрунту під культивуацію навесні	101	203	88	334,0
норма N ₂₀₀ карбамід роздрібно з поливною водою	101	236	87	370,1
норма N ₂₀₀ КАС-32 роздрібно з поливною водою	101	238	89	366,1

Внесення КАС-32 роздрібно з поливною водою в порівнянні з одноразовим внесенням оприскувачем збільшувало вихід зерна на 1 %, а за різних способів внесення карбаміду вихід зерна не змінювався.

Фертигація карбамідом і КАС-32 створювала сприятливі умови для росту і розвитку рослин кукурудзи. Її позитивний вплив відмічали на збільшенні маси 1000 зернин, середньої маси качанів і виході зерна.

Наведені в таблиці 10 дані однозначно вказують на те, що фактична урожайність зерна гібрида кукурудзи ДКС 4351 за внесення мінеральних добрив з поливною водою була вищою, ніж за традиційної технології їх внесення.

Максимальну урожайність зерна кукурудзи, в середньому за три роки, одержали за внесення карбаміду нормою N₂₀₀ з поливною водою під час вегетаційних поливів – 12,9 т/га, а за внесення КАС-32 нормою N₂₀₀ з поливною водою під час вегетаційних поливів урожайність зерна була меншою всього на 0,2 т/га (табл. 10).

Таблиця 10

Вплив способів внесення мінеральних добрив на урожайність зерна гібрида кукурудзи ДКС 4351, т/га

Спосіб внесення мінеральних добрив	2016 р.	2017 р.	2018 р.	Середнє за три роки
Без добрив (контроль)	4,8	5,2	5,7	5,3
норма N ₂₀₀ карбамід врозкид по поверхні ґрунту під культивуацію навесні	12,3	12,4	12,7	12,4
норма N ₂₀₀ КАС-32 оприскувачем по поверхні ґрунту під культивуацію навесні	12,4	12,5	12,7	12,5
норма N ₂₀₀ карбамід роздрібно з поливною водою	12,8	12,9	13,0	12,9
норма N ₂₀₀ КАС-32 роздрібно з поливною водою	12,8	12,7	12,8	12,7

НІР₀₅ для способів і термінів внесення добрив – 0,24 т/га

При оцінюванні будь-якого технологічного заходу важливо враховувати його вплив не тільки на величину врожаю, але і на його споживчі якості. При зрошенні разом із збільшенням урожаїв, часто спостерігається погіршення якості зерна, а саме зменшення білка. У таблиці 11 наводяться результати визначення білка, жирів, крохмалю і клітковини які показали, що при внесенні різними способами розрахункових доз мінеральних добрив вміст білка у зерні кукурудзи зростав, але суттєво не впливав на вміст крохмалю, жиру і клітковини в зерні. При фертигації карбамідом вміст білка в зерні зростав на 0,54 % порівняно з варіантом, де його вносили врозкид поверхнево, а фертигація КАС-32 забезпечила зростання білка в зерні на на 0,12 % порівняно з варіантом, де його вносили оприскувачем одноразово.

За результатами проведених трирічних досліджень було встановлено високу ефективність удобрювального зрошення (фертигація) на чорноземах звичайних при виробництві зерна гібрида кукурудзи ДКС 4351, взамін традиційних способів унесення мінеральних добрив.

Доведено, що внесення мінеральних добрив вроздріб з поливною водою (фертигація) покращувало поживний режим чорнозему звичайного. При розкиданні карбаміду по поверхні ґрунту навесні перед культивуацією і внесенні розчину КАС-32 оприскувачем по

поверхні ґрунту одноразово нітрати мігрують із кореневого шару і він поступово збіднюється. У фазі молочної стиглості зерна вміст нітратів у ґрунті при внесенні карбаміду з поливною водою був вищим на 64,3 %, а за внесення розчину КАС-32 з поливною водою вищим на 77,3 % в порівнянні з традиційним способом їх внесення.

Таблиця 11
Якість зерна гібрида кукурудзи ДКС 4351 залежно від способів внесення азотних добрив (середнє за 2016–2018 рр.)

Спосіб внесення азотних добрив і доза	Вміст у зерні, %			
	сирий білок	жир	крохмаль	клітковина
Без добрив (контроль)	7,11	3,28	61,8	2,9
норма N ₂₀₀ карбамід врозкид під культивуацію навесні	7,61	3,52	62,9	2,9
норма N ₂₀₀ КАС-32 оприскувачем під культивуацію навесні	7,83	3,58	62,7	2,9
норма N ₂₀₀ карбамід роздрібно з поливною водою	8,15	3,12	63,1	3,0
норма N ₂₀₀ КАС-32 роздрібно з поливною водою	7,95	3,47	63,2	3,0

Встановлено, що за фертигації, порівняно з традиційною технологією внесення карбаміду збільшувалась маса одного качана на 34 г, а за фертигації з КАС-32 – на 35 г, абсолютна маса зернин у качані, а також вихід зерна кукурудзи. За фертигації карбамідом і КАС-32 відмічена тенденція до зростання білка в зерні кукурудзи. Роздрібне внесення з поливною водою цих добрив сприяло також зростанню кількості білка з одиниці площі.

Максимальну урожайність зерна кукурудзи за три роки досліджень одержали за внесення карбаміду нормою N₂₀₀ з поливною водою під час вегетаційних поливів (12,9 т/га), а за внесення КАС-32 тією ж нормою з поливною водою урожайність зерна була дещо меншою і становила 12,7 т/га, тобто приріст урожаю порівняно з контролем становив 7,4–7,6 т/га. На ділянках де добрива не вносили (контроль) урожайність зерна становила всього 5,3 т/га.

Висновки

Дослідженнями, які автор проводив на протязі 1999–2001 рр. в навчально-дослідному господарстві „Самарський» Дніпровського державного аграрного університету на чорноземах звичайних середньосуглинкових були встановлені оптимальні норми, способи та строки внесення мінеральних добрив при інтенсивній технології вирощування кукурудзи на зерно.

На сучасному етапі розвитку зрошеного землеробства необхідно впроваджувати нові ефективні агротехнології, які передбачають зниження доз мінеральних добрив та підвищення їх окупності в 1,5–2 рази за рахунок оптимізації строків і способів внесення. При вирощуванні кукурудзи за інтенсивною технологією на зрошуваних землях в північному Степу України азотні добрива (карбамід) доцільно вносити роздільно з поливною водою в таких пропорціях: 40 % всією дози в період 10–12 листків, 40 % у фазу викидання волотей і 20 % у фазу молочної стиглості зерна. За такого застосування мінеральних добрив урожайність зерна кукурудзи збільшувалась на 2,72–4,36 т/га, ніж у варіантах без добрив.

Застосування високих норм мінеральних добрив і внесення азотних добрив з поливною водою в роздільно не впливало на вміст нітратів у зерні що, тим самим, не погіршувало його якісних показників.

За результатами проведених досліджень у 2002–2004 рр. в умовах північного Степу України, встановлено високу ефективність удобрювального зрошення (фертигація) рідкими комплексними добривами на чорноземах звичайних при виробництві зерна кукурудзи на зрошуваних землях. Внесення туків в роздільно з поливною водою в порівнянні з одноразовим їх внесенням збільшувало вихід зерна на 1,9–2,9 % (за виключенням внесення туків у два строки – по $N_{60}P_{30}$ і $N_{120}P_{60}$).

Фертигація в різні строки створювала сприятливі умови для росту і розвитку рослин кукурудзи. Її позитивний вплив відмічали на збільшенні маси 1000 зернин, середньої маси качанів і виході зерна кукурудзи.

Максимальну урожайність зерна кукурудзи (10,56 т/га) одержали за внесення $N_{90}P_{45}$ з поливною водою у фазу 10–12 листків, і у фазу викидання волотей, тобто доза добрив $N_{180}P_{90}$ найкраще себе окуплювала приростом урожайності за внесення її в два строки рівними частинами (по $N_{90}P_{45}$).

Внесення з поливною водою засобів хімізації, використання ресурсоощадних та екологічно безпечних посівних, поливних, збиральних і транспортних засобів механізації дозволять знизити енергозатрати на виробництво зерна кукурудзи при зрошенні мінімум на 35–40 %, перетворивши в такий спосіб інтенсивну енергозатратну технологію вирощування в енергоощадливу.

Застосування запропонованої агротехнології дозволить отримати високі врожаї зерна кукурудзи в умовах зрошення за оптимального поєднання агротехнічних прийомів при раціональному використанні поливної води, мінеральних добрив, енергетичних та матеріальних ресурсів.

За результатами проведених автором досліджень у 2016–2018 рр. в умовах північного Степу України, встановлено високу ефективність фертигації з використанням різних форм мінеральних добрив на чорноземах звичайних. Сучасні методологічні підходи до поетапної оцінки всього технологічного циклу формування врожаю зерна кукурудзи і практичний досвід свідчать про значні наявні резерви зниження енергоємності цієї культури.

Максимальну урожайність зерна кукурудзи за три роки досліджень одержали за внесення карбаміду нормою N_{200} з поливною водою під час вегетаційних поливів (12,9 т/га), а за внесення КАС-32 тією ж нормою з поливною водою урожайність зерна була дещо меншою і становила 12,7 т/га. На ділянках де добрива не вносили (контроль) урожайність зерна становила всього 5,3 т/га.

Економічні розрахунки показали, що за фертигації виробничі витрати на 1 га при однакових дозах мінеральних добрив і однакових поливних нормах зменшилися, повна собівартість 1 ц продукції та собівартість вирощеної продукції на 1 га також зменшилися, а умовно чистий дохід з 1 га зростав порівняно із внесенням твердих мінеральних туків традиційним поверхневим способом розкидачами.

Результати проведених автором багаторічних досліджень та іншими дослідниками свідчать, що поєднання вегетаційних поливів із внесенням різних форм мінеральних добрив (фертигація) є ефективним шляхом заощадження енергетичних і матеріальних ресурсів, підвищення врожайності і якості врожаю зерна кукурудзи, охорони ґрунту від деградації

Список використаних джерел:

1. Vozhehova R.A., Maliarchuk M.P., Biliaieva I.M., Markovska O.Y., Maliarchuk A.S., Tomnytskyi A.V., Lykhovyd P.V., Kozyrev V.V. The effect of tillage system and fertilization on corn yield and water use efficiency in irrigated conditions of the South of Ukraine. *Biosystems Diversity*. 2019. Vol. 27, p. 125–130.
2. Ківер В.Ф. Энергосберегающая технология возделывания кукурузы на орошаемых землях. Київ : Урожай, 1988. 119 с.
3. Сахаров В.Д. Химигация в культуре кукурузы: итоги науки и техники. *Растениеводство*, 1991. Т. 8. 156 с.
4. Ківер В.Х. Онопрієнко Д.М. Фертигація і гербігація в зрошуваному землеробстві України : монографія. Херсон : Гринь Д.С., 2016. 148 с.
5. Lamm F.R., Schlergel A.J., Clark G.A. Development of a best management practice for nitrogen fertigation of corn using SDI. *Applied engineering in agriculture. American society of agricultural engineers*. 2004. Vol. 20. P. 211–220.
6. Наукові основи охорони та раціонального використання зрошуваних земель України / за ред. С.А Балюка, М.І. Ромащенко, В.А. Сташука. Київ : Аграрна наука, 2009. 624 с.
7. Писаренко В.А. Ефективність водозберігаючих режимів зрошення сільськогосподарських культур. *Таврійський науковий вісник*. 2004. Вип. 32. С. 150–154.
8. Програмування врожаїв кукурудзи та озимої пшениці на зрошуваних землях / Ківер В.Х., Пікуш Г.Р., Куниця В.М., Демішев Л.Ф. Київ : Урожай, 1990. 136 с.
9. Ківер В.Х., Онопрієнко Д.М. Енергозаощадлива агротехнологія виробництва зерна кукурудзи на зрошуваних землях. *Вісник аграрної науки*. 2019. № 4. с. 74–81.
10. Ківер В.Х., Куниця В.М. Зниження витрат енергоресурсів при вирощуванні запрограмованих урожаїв кукурудзи за інтенсивною технологією в умовах зрошення. *Вісник аграрної науки*. 1993. № 9. С. 14–20.
11. Ківер В.Х., Онопрієнко Д.М. Ефективність застосування мінеральних добрив з поливною водою при вирощуванні кукурудзи на зерно в Степу України. *Бюлетень Інституту зернового господарства*. 2008. № 35. С. 59–62.
12. Онопрієнко Д.М. Агроекологічні основи застосування фертигації в північному Степу України. *Екологія та ноосферологія*. 2011. Т. 22, № 1–2. С. 83–89.

13. Ківер В.Х., Онопрієнко Д.М. Фертигація на кукурудзі. *The Ukrainian Farmer*. 2014. № 8. С. 52–54.

14. Ківер В.Х., Онопрієнко Д.М. Вплив фертигації на продуктивність рослин і якість зерна кукурудзи. *Вісник аграрної науки*. 2010. № 8. С. 56–59.

15. Ківер В.Х., Онопрієнко Д.М. Ефективність фертигації при програмуванні врожаїв зерна кукурудзи в Степу України. *Таврійський науковий вісник*. 2012. Вип. 79. С. 44–49.

16. Ківер В.Х., Онопрієнко Д.М. Вплив способів, строків і видів застосування мінеральних добрив на поживний режим ґрунту та продуктивність кукурудзи. *Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету*. 2011. № 1. С. 76–80.

17. Onopriienko D. Efficient use of solid and water-soluble fertilizers for corn production in the northern part of the steppe zone of the Ukraine. *Bulletin of the Transilvania University of Braşov. Series II: Forestry. Wood Industry. Agricultural Food Engineering*. 2020. Vol. 13. № 2. P. 139–148.