

## 4.7. Енергозаощадливі агротехнології у зрошуваному землеробстві

В.Х. Ківер, Д.М. Онопрієнко

### 4.7.1. Шляхи економії водних і енергетичних ресурсів в агротехнології кукурудзи

Зміни, що відбуваються в цінах на основні енергоносії (газ, нафту, паливо-мастильні матеріали, електроенергію тощо), перетворюють проблему ефективного використання енергії в одну з найактуальніших областей наукових досліджень (*Наукові основи...*, 2009).

У зрошуваному землеробстві кукурудза належить до найбільш енергоємних культур. Технологія виробництва зерна цієї культури разом з використанням сонячної енергії споживає значну кількість енергоносіїв у вигляді насіння, мінеральних добрив, засобів захисту рослин від шкідників, хвороб і бур'янів, машин, палива тощо (*Ківер* и др., 1988).

Оцінювати енергетичну ефективність технології вирощування будь-якої сільськогосподарської культури, окремі її складові потрібно на етапі їх розробки, для того щоб виробництву пропонувати найбільш енерго- і ресурсозберіжні варіанти. Одночасно потрібні єдині інтегральні біоенергетичні оцінки розроблюваних заходів, причому не у грошовому вимірі (гривні, долари, євро та ін.), а в єдиному енергетичному еквіваленті. Цим вимогам відповідають розроблені нами раніше рекомендації (*Ківер* и др., 1988; *Методические рекомендации...*, 1988; *Методические рекомендации...*, 1991).

У рекомендаціях наголошено, що для оцінки біоенергетичної ефективності технології вирощування кукурудзи необхідно використовувати такі показники:

- затрати сукупної енергії на 1 га;
- вихід з 1 га продукції в натуральному вимірі, валової і обмінної енергії;

- енергоємність виробництва одиниці споживчої вартості, енергетичний коефіцієнт, коефіцієнт енергетичної ефективності виробництва зерна;
- приріст валової енергії на 1 га.

Кількість енергії визначають у джоулях (Дж). Одиниці виміру енергії: Дж = 0,239 кал, Мега/Джоуль (МДж) = Дж · 10<sup>6</sup>; Гіга/Джоуль = Дж · 10<sup>9</sup>, Тера/Джоуль = Дж · 10<sup>12</sup>.

Основні енергетичні еквіваленти затрат енергії на паливо й інші ресурси становлять: дизельне паливо – 52,8 МДж/кг; бензин – 545; вугілля – 32,7; природний газ – 49,5 МДж/кг; електроенергія – 12 МДж/кВт-годин. Зерно кукурудзи на 1 кг сухої речовини містить: валової енергії – 18,6 МДж, обмінної енергії – 14 МДж.

На наш погляд, для збільшення виробництва зерна кукурудзи на поливних землях велику увагу потрібно приділяти правильному добору гібридів. Гібриди кукурудзи, що відрізняються підвищеною холодостійкістю в початковій фазі росту і розвитку, є перспективними не тільки для північних зон сівби кукурудзи, але і для умов зрошуваного землеробства на Півдні і в Степу України.

Використання у виробничих умовах продуктивних гібридів, що характеризуються високим генетичним потенціалом і адаптивністю до вирощування в різних ґрунтово-кліматичних зонах, є вагомим фактором стабільного виробництва зерна в Україні. Тому для них необхідно створювати відповідний режим вирощування з використанням сучасних агротехнічних заходів (*Пащенко* та ін., 2009).

Реакція на зрошення також є однією з важливих вимог до гібридів кукурудзи. В умовах глобального потепління клімату, що супроводжується підвищенням ефективних

температур у період вегетації, одночасно збільшується транспірація рослин і фізичне випаровування вологи ґрунтом.

Ресурси вологи в зоні вирощування кукурудзи визначаються, в основному, кількістю атмосферних опадів за рік. У Степу України, особливо під час вегетації рослин, нерідко спостерігаються різної тривалості бездощові періоди, у тому числі один раз на два роки тривалістю більше 40 днів. Сумарне водоспоживання гібридів кукурудзи у Степу України в різні за погодними умовами роки змінюється від 3700 до 6200 м<sup>3</sup>/га. За глибокого залягання рівня підґрунтових вод, залежно від умов природного зволоження, кукурудзу поливають від двох до шести разів за сезон (зрошувальна норма варіює від 1400 до 4200 м<sup>3</sup>/га).

Гібриди кукурудзи неоднаково реагують на зрошення. Вирощуючи кукурудзу за інтенсивною технологією, доводиться враховувати не тільки абсолютну врожайність гібридів, але і витрату зрошувальної води на формування однієї тонни зерна, тому що подача її та рівномірний розподіл по полю вважаються енергоємними процесами в технології вирощування цієї культури (Ківер, Онопрієнко, 1995, 2008).

Найвищі врожаї зерна отримують за умов, коли в період максимального водоспоживання вологість ґрунту перед поливом в активному шарі становить не нижче 70% НВ на легких і середніх, і 80% – на важких за гранулометричним складом ґрунтах. Однак рівень вологості ґрунту перед поливом не може бути критерієм ефективності зрошення того чи іншого гібрида. Більш повне відображення надає витрата зрошувальної води на одиницю врожаю. Було б доцільним за критерій районування гібридів на зрошуваних землях ввести коефіцієнт ефективності зрошення, що визначає витрату зрошувальної води на одиницю приросту врожаю від зрошення (Ківер, 1988). Його можна визначити за формулою:

$$KEZ = M_3 / (Y_3 - Y_6),$$

де  $M_3$  – зрошувальна норма, м<sup>3</sup>/га;  
 $Y_3$  і  $Y_6$  – урожайність на зрошенні й без нього відповідно ц/га.

При цьому вартість 1 м<sup>3</sup> зрошувальної води щороку має тенденцію до підвищення через систематичне дорожчання електричної енергії, яку використовують для подачі і розподілу води. В останні роки вартість 1 м<sup>3</sup> води для потреб зрошення збільшилася з 0,25–0,95 до 1,5–1,9 грн. Неважко підрахувати вартість тільки поливної води, поданої за сезон (у середньому 4,0–4,5 тис. м<sup>3</sup>/га), що сягає від 6 тис. до 8,5 тис. грн/га. Ось чому оцінка гібридів кукурудзи за окупністю додатковим урожаєм кожного кубометра поливної води є досить своєчасною і актуальною.

Виробництво зерна кукурудзи на зрошуваних землях для його сушіння потребує енергії більше, ніж для цієї операції інші сільськогосподарські культури (Моисеєнко і др., 2004). Тому першим заходом, що застосовують для зменшення енергоємності виробництва зерна кукурудзи, є вирощування гібридів, зерно яких висихає в полі до вологості, близької до кондиційної (13%).

Як показує практика, урожайність є важливим, але не єдиним критерієм оцінки гібридів, що створюють селекціонери в наукових установах.

Було б неправильним вважати, що збільшення і стабілізація виробництва зерна кукурудзи на зрошуваних землях України буде і в подальшому базуватися тільки на послідовному збільшенні застосування добрив, засобів захисту рослин, механізації виробничих процесів та інших техногенних факторів.

За результатами наукових досліджень, опублікованими в наукових виданнях з проблем економії енергетичних ресурсів, у системі агротехнології формування врожаїв зернової кукурудзи процеси інтенсифікації охоплюють не тільки окремі технологічні цикли або весь технологічний ланцюг, але і стосу-

ються таких аспектів, як використання біокліматичних ресурсів природно-кліматичної зони шляхом оптимізації структури посівів і підбирання енергозберігаючих гібридів.

Головним напрямом в інтенсифікаційному виробництві зерна кукурудзи на поливі є не кількісні фактори інтенсифікації, а якісні, тобто підвищення окупності вкладених засобів і праці.

Енергозаощадлива технологія виробництва зерна кукурудзи на зрошуваних землях порівняно з інтенсивною (енергозатратною) характеризується низкою характерних особливостей.

По-перше. Для повного використання сприятливих для кукурудзи біокліматичних ресурсів південного регіону, а у зв'язку з глобальним потеплінням клімату – центральних і північних областей України, у структурі зернової групи на зрошуваних землях кукурудза, як високоврожайна культура, повинна займати не менше 50–75% посівної площі. У спеціалізованих господарствах, де кукуру-

дзу вирощують на зерно, перевагу потрібно надавати сівозмінам з короткою ротацією. Перспективними є 4–7-пільні сівозміни з 3–4 полями кукурудзи на зерно. Вирощування її в беззмінних посівах необхідно обмежувати 3–4 роками. Створення гібридів, що мають імунітет до поширених хвороб, розробка надійних засобів хімічного захисту від хвороб, шкідників і бур'янів дозволять у майбутньому збільшити термін беззмінності посівів.

По-друге. Районовані гібриди на зрошуваних землях південних і центральних областей не дозволяють повною мірою використовувати багаті природні ресурси зони і технічні засоби інтенсифікації. Серед них значну питому частку займають середньопізні і пізньостиглі гібриди.

Агробіологічна і енергетична характеристика визріваючих у різний час гібридів свідчить про значні резерви економії енергоресурсів, особливо в разі досушування зерна після збирання врожаю (табл. 4.15).

Таблиця 4.15

**Агробіологічна і енергетична характеристики різновизріваючих гібридів кукурудзи в умовах зрошення**

Група стиглості гібрида	Сума ефективних температур до визрівання, °С	ФАО	Потенційна врожайність зерна 14%-ної вологості, т/га	Вологість зерна під час збирання, %	Вартість газу на сушіння зерна, грн/га*	Гібриди-стандарти
Ранньостиглі	900–1000	150–199	11,0	14–17	200–275	Дніпровський 181СВ
Середньоранні	1100	200–299	12,0	14–17	300–360	Хмельницький
Середньостиглі	1150	300–399	13,0	20–22	790–1040	Моніка 350МВ
Середньопізні	1200	400–499	14,0	22–30	1120–2240	Бистриця 400МВ
Пізньостиглі	1250–1300	500–599	15,0	30–35	2400–3750	-

\*Вартість природного газу прийнята в цінах 2011 року.

Тільки за рахунок правильного вибору гібридів можна зменшити енергоємність технології приблизно на 10–15 тис. МДж/га обмінної енергії, що еквівалентно врожаю зерна не менше 8–12 ц/га.

По-третє. У системі основного, передпосівного і міжрядного обробітку ґрунту є можливість знизити інтенсивність механічних розпушувань. На чорноземах звичайних замість глибокої оранки плугами на глибину 25–27 см доцільно застосовувати чизелю-

вання на таку саму глибину. Це дає можливість зекономити 7–8 л/га дизельного палива і надійно захищати ґрунт від водної (іригаційної) ерозії.

У зрошуваних сівозмінах після кукурудзи, під яку проводили оранку, протягом 2–3 років ефективніше вирощувати кормові культури суцільного посіву (жито озиме на зелений корм, люцерну тощо) за неглибокого (10–12 см) обробітку ґрунту. Це дозволяє економити від 60 до 80 л/га палива в сівозміні.

На каштанових ґрунтах позитивні результати в системі основного обробітку ґрунту забезпечує чередування звичайної оранки на глибину 20–22 см з глибокою (28–30 см). За високої забур'яненості зрошуваних полів, незважаючи на застосування ефективних гербіцидів, плоскорізний обробіток, як глибокий, так і неглибокий, себе не виправдовує.

У системі обробітку ґрунту перед сівбою використання потужних колісних тракторів призводить до надмірного переущільнення не тільки орного, але і більш глибоких шарів ґрунту, що в декілька разів знижує його водопроникність, і, як наслідок, по слідах ходових систем цих тракторів знижується врожайність зерна на 0,6–0,7 т/га. Таким чином, на обробіток ґрунту перед сівбою колісні трактори потрібно замінювати гусеничними.

За сприятливих ґрунтових режимів посівного шару, а на вирівняному з осені зябу навесні першу культивуацію варто замінити двома боронуваннями, що дозволить економити не менше 4 л/га рідкого палива. На важких за гранулометричним складом ґрунтах замість культивуації перед сівбою на 10–12 см ефективним є чизелювання на глибину 18–20 см з коткуванням.

Повне виключення міжрядного обробітку зрошеної кукурудзи спричиняє негативні наслідки, хоча можливості мінімалізації розпушування міжрядь все ж є. Найефективнішим прийомом догляду за міжряддями вважають нарізання поливних борозен на 16–18 або 18–20 см у фазу 8–10 листків, що дає можливість не обробляти міжряддя в інші строки. У результаті з'явля-

ються реальні можливості в системі основного, передпосівного і міжрядного обробітку ґрунту знизити витрати палива на 10–12 л/га.

По-четверте. Енергозберігаюча технологія вирощування кукурудзи на зерно в післяукісних і післяжнивних посівах базується на заміні звичайної і глибокої оранки неглибоким обробітком на 10–12 або 14–16 см, поверхневим обробітком до 8 см, а також прямою сівбою післяжнивної кукурудзи безпосередньо в стерню. Використання насіння високопродуктивних ранньостиглих і середньоранніх гібридів, оптимальна густина рослин (70–80 тис./га), підтримання раціонального водного режиму і принципу високої окупності внесених мінеральних добрив дозволяють додатково одержувати 6–8 т/га стиглого зерна.

По-п'яте. Внесення з поливною водою макро- і мікродобрив, меліорантів зводить до мінімуму або дозволяє повністю виключити проходи по полю енергонасичених тракторів з причепами, обприскувачами, розкидачами добрив та іншими технічними засобами, що деформують ґрунт (Ківер, Онопрієнко, 2008; 2012). Переваги і недоліки цього способу внесення мінеральних добрив розглянуто в монографії (Ківер, Онопрієнко, 2016) і в наших наукових роботах (Ківер, Сахаров, 2007; Ківер, Онопрієнко, 2010, 2011, 2014).

Строки і норми подачі поживних речовин за удобрювального зрошення залежать від біологічної потреби кукурудзи і запрограмованого рівня її врожайності.

Основою удобрювального зрошення є вегетаційні поливи, а строки проведення першого з них співпадають з критичним періодом по відношенню рослин кукурудзи до вологи, який співпадає і з максимальним споживанням елементів мінерального живлення (Абрамов, Ивашкин, 1988; Абрамов і др., 1988).

Для фертигації розроблено спеціальні дозуючі пристрої (гідропідживлювачі), що забезпечують внесення добрив у потік поливної води. Удобрювальне зрошення необхідно проводити на вирівняних полях без значних уклонів (не більше 0,05°). На схи-

лових землях або за сильного вітру можливі значні відхилення у розподілі добрив по площі ділянки. Для фертигації вибирають поля з глибиною підґрунтових вод не менше 1 м на суглинистих та 1,5 м – на піщаних ґрунтах. Це необхідно для попередження змикання поливних вод з підґрунтовими і забруднення навколишнього середовища (*Рекомендації...*, 1985).

Досліди і практика показали, що для проведення фертигації кращими є ранкові, вечірні і нічні години, оскільки за високої інтенсивності сонячної інсоляції і підвищеної температури вдень рослини можуть отримати опіки.

Високої економічної ефективності можна досягти і з використанням для фертигації рідких комплексних добрив і безводного аміаку. У дослідженнях, проведених на Генічеській дослідній станції, під впливом фертигації з використанням РКД зростала біологічна активність ґрунту, збільшувалася врожайність зерна, поліпшувалась окупність 1 кг добрив, підвищувався коефіцієнт енергетичної ефективності (*Аксенов, 1991*).

Внесення хімічних меліорантів з поливною водою (гіпсу, фосфогіпсу, залізного купоросу, сірчаної кислоти та ін.) сприяло збільшенню, порівняно з контролем, вмісту кальцію у ґрунтовому поглинальному комплексі на 2,1–4,7%, водовмісних агрегатів у ґрунті – на 1,6–19,7%, водопроникності – в 1,4–1,7 рази, загальної кількості мікроорганізмів – в 1,5–2 рази, за одночасного зниження вмісту обмінного натрію на 1,5–3%, об'ємної маси ґрунту з 1,40–1,41 до 1,25–1,28 г/см<sup>3</sup> (*Сахаров, 1991*).

У наших дослідженнях, результати яких наведено вище, доведено агрономічні і економічні переваги гербігації, що дає підстави рекомендувати її для застосування як невід'ємний елемент агротехнології кукурудзи на поливних землях.

По-шосте. Важливим елементом технології вирощування кукурудзи на зрошуваних землях є режим зрошення, під яким розуміють правильно і обґрунтовано розподілені в часі кількість, норми і строки поливів сільськогосподарської культури, що забезпечують оптимальний водний режим ґрунту протягом вегетаційного періоду. Одним із важливих резервів економії води є вдосконалення режимів зрошення. Проведеними численними дослідженнями встановлено, що вирішувати проблему економічного використання зрошувальної води можна різними методами. Серед основних можна зазначити такі методи: диференціація нижньої межі вологості перед поливом і глибини зволоження ґрунту по періодах росту і розвитку рослин з урахуванням біологічних особливостей кукурудзи; скорочення поливної норми на прогнозовану величину атмосферних опадів у міжполивний період; мобілізація біологічних ресурсів рослин; регулювання фітоклімату рослин.

У табл. 4.16 представлено результати польових досліджень В.А. Писаренка, Д.Р. Йокича, Є.Я. Григоренко з пізньостиглими гібридами кукурудзи в Південному Степу України (*Писаренко и др., 1988; Писаренко, 2004*).

Таблиця 4.16

**Вплив диференційованих режимів зрошення на продуктивність кукурудзи (середнє за 1973–1984 рр.) (*Писаренко и др., 1988*)**

Вологість ґрунту перед поливом, % НВ	Кількість поливів	Зрошувальна норма, м <sup>3</sup> /га	Врожайність зерна, ц/га	Окупність поливної води, кг/м <sup>3</sup>
Без зрошення	-	-	42,9	-
80–80–80	5,2	2170	91,6	2,2
70–80–70	3,7	1930	89,7	2,4
60–80–60	2,6	1470	89,4	3,2

Вегетаційний період розділяли на три частини. Перша: поява сходів – утворення 15-го листка до критичного періоду; друга: 15-й листок – формування зерна (критичний період); третя: формування зерна – молочна стиглість зерна. Розрахункова глибина зволоження відповідно становила 0,5; 0,7; 0,7 м.

У середньому за 12 років застосування перемінних рівнів вологості ґрунту за схемою 60–80–60% НВ забезпечувало, порівняно з постійною вологістю ґрунту перед поливом 80% НВ протягом вегетації, скорочення кількості поливів на 2,6 і зрошувальної норми на 700 м<sup>3</sup>/га, або на 32%, без суттєвого зниження врожаю зерна. При цьому окупність поливної води була на 1 кг більше, ніж за оптимального режиму зрошення (Писаренко *и др.*, 1988).

По-сьоме. Завершальний етап технологічного циклу виробництва зерна кукурудзи – збирання, зберігання і використання врожаю – також є резервом зниження енергоемності. Наприклад, двофазне збирання зернової кукурудзи дозволяє зекономити не менше 6 л/га рідкого палива, а в умовах консервування кожної тонни вологого зерна зберігається 30–40 л палива.

Можна зробити висновок, що сучасні агротехнології виробництва зерна кукурудзи на зрошуваних землях Степу України характеризуються високою енергоемністю через використання завищених доз добрив, дорогих засобів хімізації, великої кількості поливної води, енергонасичених посівних і збиральних засобів механізації виробничих процесів у рослинництві.

Постійно зростаючі ціни на основні види енергоносіїв (газ, нафту, електроенергію, паливно-мастильні матеріали тощо) перетворюють проблему ефективного використання енергії в агротехнології зернової кукурудзи у провідну галузь наукових досліджень.

Наявний науковий потенціал, сучасні методологічні підходи до поетапної оцінки всього технологічного циклу формуван-

ня врожаю зерна кукурудзи і практичний досвід свідчать про значні наявні резерви зниження енергоемності цієї культури. Оптимізація гібридного складу, в тому числі збільшення питомої частки у структурі посівів ранньостиглих і середньоранніх гібридів до 37–40%, мінімалізація обробітку ґрунту, внесення з поливною водою засобів хімізації (хімігація), застосування водозаощадливих режимів зрошення, використання енергоекономних посівних, поливних, збиральних і транспортних засобів механізації, дозволяють знизити енергозатрати на виробництво зерна кукурудзи на зрошенні мінімум на 35–40%, перетворивши в такий спосіб інтенсивну енергозатратну технологію вирощування в енергозаощадливу.

#### 4.7.2. Фертигація в агротехнології кукурудзи на зрошуваних землях

Система удобрення кукурудзи на поливних землях має свої особливості, що пов'язані насамперед з тим, що ця культура характеризується довготривалим періодом вегетації і споживанням великої кількості поживних речовин. Правильне поєднання удобрення і поливів є одним із найважливіших факторів інтенсифікації виробництва кукурудзи в зонах зрошеного 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 допускати дефіциту або надлишку елементів живлення, досягти не тільки високої продуктивності, але і поліпшення якісних показників.

Зважаючи на кількість наукових публікацій, головна роль у процесі розробки наукових основ живлення кукурудзи в умовах зрошення належить саме азоту (N). Велике значення при цьому приділяють з'ясуванню впливу живлення і зволоження на розвиток

рослин і формування врожаю (*Третьяков и др., 1990*).

Цікавими є питання вивчення наслідків дефіциту N-живлення, поєднання його з різним рівнем забезпечення вологою. За даними вегетаційних і польових дослідів, що були проведені в провінції Онтаріо на дослідній станції в Кембриджі (Канада), на агрономічній станції в Кальмарі (Франція), тимчасове азотне голодування здебільшого знижувало накопичення маси сухої речовини, ніж зростання рослин кукурудзи. Хоча потреба рослин у N в початковий період вегетації невелика, відсутність доступного N у цей час може призвести до затримки визрівання на 2–3 тижні та інших негативних наслідків. Наприклад, 10-денне азотне голодування через 18 днів після сівби викликало зниження врожаю зерна на 50%, а маси сухої речовини – на 25% відносно контролю, де рослини отримували достатню кількість N у водному поживному розчині. Дефіцит доступного N за 3–4 тижні до викидання волотей на качані, тобто в період максимальної потреби рослин в N, може компенсуватися за рахунок ремобілізації N із стебла або старого листа (*Сахаров, 1991*).

Найбільш поширеним способом внесення мінеральних добрив залишається поверхневий за допомогою причіпних або навісних відцентрових розкидачів з подальшим загортанням у ґрунт за допомогою оранки, культивування або боронування. У такий спосіб можна внести практично будь-яку кількість добрив. Це обумовлено його перевагами: високою продуктивністю, простотою обслуговування засобів механізації, можливістю застосування туків підвищеної вологості, широким діапазоном дозування добрив. Однак цей спосіб має й суттєві недоліки. Більшу частину добрив не вносять, а розкидають по поверхні поля, причому досить нерівномірно, що порушує збалансованість поживних речовин у ґрунті під рослинами (*Артюхов и др., 1973*). Нині більшість машин для поверхневого внесення мінеральних добрив обладна-

но тарілчастими і дисковими відцентровими механізмами, які нерівномірно розподіляють добрива за шириною захвату агрегату. У виробничих умовах нерівномірність внесення добрив нерідко досягає 60–80%, що знижує їх ефективність: азотних – на 45–50%, фосфорних – на 15–20, калійних і складних – на 36–40%. Лише за використання якісних добрив та кваліфікованої наладки механізмів нерівномірність внесення для машин з відцентровими робочими органами становить  $\pm 25\%$ , для машин точного внесення –  $\pm 15\%$ . Навіть використання різних способів обробки ґрунту не дає змоги виправити допущену нерівномірність внесення добрив і, як наслідок, забезпечити рослини елементами живлення (*Вырлев, 1986*).

Використання відцентрових розкидачів добрив супроводжується значним впливом вібрації частинок і розміру гранул на розподіл їх по поверхні ґрунту. Для забезпечення рівномірного розподілу гранул добрив важливо дотримуватися точних інтервалів між проходами розкидача, щоб смуга перекриття компенсувала нестачу добрив, що розподілилися під час проходження агрегату в одну сторону. Зазвичай розподіл норми внесення добрив по ширині захвату розкидача відбувається дуже нерівномірно, і добрива розподіляються смугами, інколи падають на поверхню ґрунту грудками, особливо якщо вони злежалися. У результаті одні рослини страждають від нестачі поживних речовин, а інші – від надлишку. Середнє відхилення за нерівномірністю розподілу для  $P_{cr}$  становило 38%, для  $N_{aa}$  – 33% і для калійної солі – 30%. Унаслідок цього врожайність зерна кукурудзи була на 10–15% нижче від того рівня, який зміг би забезпечити внесення добрив з мінімальною нерівномірністю (*Коваленко, 1992*).

За чутливістю до нерівномірності внесення добрив виділяють три групи рослин. Кукурудзу відносять до другої групи рослин з реакцією їх на нерівномірність внесення, розміщеною у проміжку між порівняно

високою і середньою чутливістю (Годунов, 1970; Методичні рекомендації..., 2005). Втрати врожаю зерна в посівах цієї культури через нерівномірність внесення добрив досягають 4–5 ц/га (Глухих, 2005). Відомо, що рівномірне розсіювання по поверхні поля є важливою умовою підвищення ефективності добрив. Під рівномірністю розуміють розміщення мінеральних добрив у горизонтальній площині (Унаняц, 1981).

Разом із нерівномірністю внесення добрив до втрат урожаю призводить і незадовільне загортання їх у ґрунт. Особливо це стосується загортання фосфорних добрив, оскільки фосфор у ґрунті майже не переміщується. Ці недоліки переважно усуваються при заміні розкидного способу внесення добрив локальним. Локальне внесення ґрунтується на використанні машин, обладнаних спеціальними пристроями для внесення добрив безпосередньо у ґрунт концентрованими осередками різної форми на певну глибину. За таких умов спостерігається навіть негативна дія добрив на рослини та ґрунт (нітратне забруднення, зафосфачування тощо) (Francis, 1980; Вырлев, 1986; Кивер, Сахаров, 1987; Сахаров, 1991).

У разі внесення добрив врозкид восени перед оранкою або навесні перед культивуванням відбувається перемішування їх з великим об'ємом ґрунту, що створює передумови для значного поглинання елементів живлення ґрунтом і робить їх важкодоступними для рослин.

Наведені приклади свідчать про зниження ефективності застосування мінеральних добрив за поверхневого розкидного способу їх внесення. До того ж у перші 3–4 тижні після внесення у ґрунт значна кількість азотних добрив (10–40%) втрачається у вигляді газоподібних з'єднань (Захарченко, Шилина, 1978).

Дослідження, проведені у США, показали, що в результаті нерівномірного внесення добрив урожайність зерна кукурудзи змінювалася від 52,1 до 106,8 ц/га за середнього

значення 78,5 ц/га. Цей факт підтверджує думку про те, що за рахунок рівномірного оптимального забезпечення рослин елементами живлення урожайність зерна можна підвищити на 28 ц/га (Thorup, 1983).

Нерівномірність внесення добрив (навіть з непорушеними властивостями) деякими розкидачами досягала 30%, що викликало значні недобори врожаю. У Німеччині задовільним вважають відхилення від норми не більше 10%, а максимальним – не більше 20% (Schunke, 1980).

За внесення підвищених норм добрив вимоги до їх рівномірності розподілу підвищуються, і за таких умов використання відцентрових розкидачів заборонено (Hellweg, 1979).

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 урожайність зерна кукурудзи і збільшує затрати на обробіток ґрунту. Як показали дослідження, за дворазового проходу по тому самому сліду тракторів Т-150К і ЮМЗ-6Л урожайність зерна кукурудзи зменшувалася на 4,5–9,3 ц/га (Кивер, 1988).

Мінеральні добрива виготовляють і реалізують досить ритмічно, тому ті з них, що надходять до споживачів у період вегетації кукурудзи, залишаються практично невикористаними. Це пов'язано з 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 у процесі вегетації, що не завжди враховується (Сахаров, 1991). 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 постачання рослин вологою і легкозасвоюваними формами поживних речовин практично протягом усього вегетаційного періоду (*Комплексное применение...*, 1988).

Внесення добрив з поливною водою дістало назву «фертигація» (від англ. – *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 (Балюк і др., 1988; Філіп'єв, Ісакова, 1992).

Фертигація із застосуванням сучасних широкозахватних дощувальних машин дозволяє відмовитися від тракторних розкидачів, зменшити кількість технологічних операцій, підвищити ефективність використання поливної техніки і добрив. При цьому створюються умови для економії праці, коштів і енергії (Сахаров, 1988; Іонова, 1990). Цей спосіб дає змогу поєднати такі

енергоємні операції, як внесення добрив, гербіцидів, мікроелементів, вегетаційний полив, виконувати операції за меншої кількості проходів по полю важких і потужних тракторів з причепами, розкидачами добрив, обприскувачами, іншими засобами механізації, що деформують ґрунт (Ківер, Галечко, 1994; Ківер та ін., 2001).

Поєднання в одному технологічному процесі удобрення і зрошення зумовлює явище синергізму. Два найбільш ефективні фактори врожаю кукурудзи – зрошення і добрива – взаємно підсилюють один одного, тобто з'являється додатковий фактор – їх взаємодія (Лысогоров, Ушкаренко, 1995).

Роздільне внесення добрив має ряд переваг перед одноразовим їх застосуванням за ступенем впливу на біологічну активність ґрунтів. Одноразове внесення повної дози добрив викликає посилене розмноження мікроорганізмів і, як наслідок, накопичення в кореневій зоні великої кількості продуктів їх життєдіяльності. Це негативно впливає на розвиток рослин, тому доцільно вносити добрива частинами. Ці процеси не будуть значно вираженими завдяки високій поглинальній і буферній здатності ґрунту. Продукти життєдіяльності бактерій, а також частина внесених добрив будуть закріплюватися ґрунтовими колоїдами (Пронин і др., 1969).

Мінеральне живлення кукурудзи в умовах зрошення має певні особливості, тому що ця культура відрізняється від інших культур розтягнутим періодом вегетації, відповідно зростає й споживання кількості елементів живлення (Горелик, 1981; Ківер і др., 1985).

За сприятливого сполучення мінералогічних факторів кукурудза добре реагує на удобрення, що сприяє утворенню потужного фотосинтетичного апарату і протягом усього вегетаційного періоду рослини засвоюють значну кількість мінеральних поживних речовин. Використанню поживних речовин і вологи сприяє потужна коренева система кукурудзи, що поглинає мінеральні добрива з великого об'єму ґрунту (Заруднев, 1985).

Мало впливаючи на процеси фотосинтезу безпосередньо, добрива посилюють ростові процеси і завдяки цьому сприяють збільшенню розмірів листової поверхні. А вже збільшення робочої поверхні листків, зрозуміло, збільшує накопичення рослинної маси, підвищує продукцію органічної речовини (Пронин *и др.*, 1969).

На процеси росту і розвитку кукурудзи впливають способи і строки внесення туків, а найвища ефективність добрив забезпечується поєднанням різних способів, строків і доз їх внесення (Смирнов, 1957). За традиційного внесення мінеральних добрив не враховується потреба рослин кукурудзи в елементах живлення по етапах розвитку рослин (Ківер, 1988; Ківер *та ін.*, 1990). У зв'язку з цим коефіцієнт використання добрив залишається надзвичайно низьким, а рослини споживають не більше 1/2–1/3 внесених добрив. Решта добрив залишається у ґрунті невикористаною. Причиною недостатнього використання добрив є те, що туки, перемішуючись з великим об'ємом ґрунту, вступають з ґрунтовими мінералами у важкодоступні, а то навіть і у недоступні сполуки. За разового внесення великих норм азоту створюється висока концентрація ґрунтового розчину і збільшується його осмотичний тиск. Рослини кукурудзи, особливо в початковий період розвитку, чутливі до надлишку азоту у ґрунті і високого осмотичного тиску ґрунтового розчину (Блюм, 1964).

Дослідження, проведені у штаті Міннесота (США), показали, що у разі внесення 180 кг/га азоту одноразово під зрошувану кукурудзу рослини засвоювали лише 30% азоту (Zerwing *et al.*, 1979). Результати інших досліджень свідчать про те, що за внесення мінеральних добрив одноразово під час сівби рослини використовують лише 22% добрив, а в три терміни – 64% (Subbiah, Sachdev, 1983). Отже, роздільне внесення мінеральних добрив в умовах зрошення сприяє більш рівномірному живленню рослин

протягом усього періоду вегетації (Ивашкин *и др.*, 1986).

Роздільне внесення туків з поливною водою оптимізує постачання рослинам поживних речовин у періоди їх максимального споживання (Amberger, 1988). Створення оптимального рівня живлення підвищує ефективність гібридів кукурудзи по відношенню до врожаю зерна в умовах зрошення з 29,5 до 70,5% (Йорданов, 1984).

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 (Угрюмов *и др.*, 1984; *Ресурсосберегающая технология...*, 1991). Для виготовлення концентрованих розчинів добрив використовують карбамід (сечовину), аміачну селітру, амофос та інші. Особливо цінними для фертигації є рідкі комплексні добрива (РКД), для внесення яких поки що відсутні надійні в роботі засоби механізації. За фертигації, добре розчиняючись у воді і маючи у своєму складі фосфор, вони характеризуються високою технологічністю (табл. 4.17).

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 повністю задовольнити рослини як вологою, так і елементами живлення. На сучасному етапі проведено багато досліджень з біологічного обґрунтування строків проведення фертигації кукурудзи (Болдырев *и др.*, 1986).

Ще у 1954 році Ф.М. Куперман виділила для зернових культур дванадцять етапів органогенезу. Найважливішими з них є: IV етап – закладання колоскових лопатей і колоскових бугорків; V – закладання квіток у колоску; VII – посилений ріст члеників

Таблиця 4.17

**Характеристика мінеральних добрив, що придатні для приготування удобрювальних розчинів**

Мінеральне добриво	Співвідношення діючої речовини, %, або співвідношення NPK			Розчинність за температури 20 °С, г/л	Об'єм насиченого розчину	Нерозчинний осад, г/л
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O			
Карбамід	46	0	0	1040	1,8	16
Аміачна селітра	34	0	0	1630	2,1	22
Амофос	11	46	0	400	1,2	41
Подвійний суперфосфат	0	42	0	460	1,2	133
Хлористий калій	0	0	60	330	1,2	12
Суміш амофос+ карбамід	1,7	1	0	380–550	1,6	39
Суміш амофос + карбамід + хлористий калій	1,7	1	0,02	380–550 + 5	1,6	39
Суміш амофос + хлористий калій	0,24	1	0,07	380 + 22	1,2	40
Суміш карбамід + хлористий калій	1	0	0,18	1000 + 140	2,0	17
Рідкі комплексні добрива (РКД)	10	34	0	1000	-	0

суцвіття; X – формування зародка і зернівки; XI – накопичення поживних речовин у зерні, збільшення розмірів насіння.

Дослідженнями Херсонського педагогічного інституту (нині – Херсонський державний університет) було встановлено, що найефективніше за інтенсивної технології вирощування кукурудзи азотні добрива використовувалися на початку IV етапу, на VII, VIII і XI етапах органогенезу. У середньому за 1982–1984 рр. під час внесення добрив у ці фази врожай зерна гібрида Краснодарський 229 становив 10,8 т/га, а в інші строки проведення фертигації дещо знижувався: 9,8–10,4 т/га на фоні N<sub>180</sub>K<sub>120</sub>. Внесення азотних добрив з поливною водою поліпшувало хімічний склад зерна, збільшувало вміст протеїну в зерні, вихід сирого протеїну, а також вихід кормових одиниць з 1 га. Особливо помітно підвищувався вміст протеїну в зерні кукурудзи із внесенням 80% азотних добрив на VII–XI етапах органогенезу.

У Всеросійському НДІ зрошуваного землеробства із внесенням азоту N<sub>60</sub> після сходів, N<sub>60</sub> – у фазу 3–5 листків і N<sub>80</sub> – викидання волотей отримали прибавку врожайності 10 ц/га порівняно з такою самою одноразовою дозою восени під оранку (*Болдырев и др., 1986*). У дослідках цієї самої наукової установи вивчали ефективність строків роздільного внесення азотних добрив. На фоні N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub> внесення азоту в дозі N<sub>120</sub> триразово у фази 4–5; 9–11 листків і викидання волоті дозволило отримати приріст врожаю 6,7 і 5,7 ц/га порівняно із внесенням такої самої дози одноразово у фазу 4–5 листків і дворазово – 4–5, 9–11 листків відповідно (*Пожилков, Попов, 1986*).

У дослідках було виявлено сталий зв'язок етапів органогенезу качанів з кількістю листків на рослині, що значно спрощує визначення термінів фертигації (табл. 4.18) (*Болдырев и др., 1986*).

Узагальнені результати польових дослідів, проведених декількома університетами і дослідними станціями США у 1980–1985 рр., підтвердили високу ефективність роздільного внесення азотних добрив під кукурудзу порівняно з одноразовим застосуванням їх перед сівбою за однакової норми внесення. Так, у польових дослідях Університету

Міннесота роздільне внесення дозою  $N_{167}$  за чотири рази ( $N_{85}$  – перед сівбою, решту – за появи 8–12 листків і викидання волотей) забезпечило середню врожайність зерна 12 т/га, тоді як за внесення такої самої кількості азоту одноразово перед сівбою отримали 9,6 т/га (*Ned Van Buren, 1982*).

Таблиця 4.18

**Кількість листків у гібридів кукурудзи на різних етапах органогенезу качана, шт.**

Група стиглості	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Середньоранні	8–10	9–10	10–13	12–13	13–14	14	14
Середньостиглі	9	9–10	10–13	13–14	14	14–15	15
Середньопізні	10–11	11–12	12–15	15–16	16	16–17	16–17
Пізньостиглі	11	12–13	13–15	15–16	16–17	17	17–18

Дослідження, проведені у Всеросійському науково-виробничому об'єднанні «Радуга» (*Ивашкин и др., 1986; Абрамов, Ивашкин, 1988*), показали, що за удобрювального зрошення гранично допустимі концентрації поживних речовин у поливній воді не повинні перевищувати для азотних добрив 0,5%, фосфорних – 2%, калійних – 3%. Використання складних розчинів потребує загального вмісту елементів живлення не більше 1%.

Необхідно також враховувати, що гранично допустимі значення концентрації здебільшого залежать від фаз розвитку рослин, погодних умов, видів добрив, а також періодичності їх подачі в поливний потік. За введення добрив у потік води протягом 10–20 хв. концентрація розчину допускається 1–5%. У разі подачі добрив протягом усього часу поливу концентрацію зменшують до 0,1–0,6%. Розчин карбаміду (сечовини) з концентрацією азоту близько 1% не пошкоджують кукурудзу, у той час як аміачна селітра може викликати опіки. Молоді рослини кукурудзи більш чутливі до ступеня концентрації розчину. У суху і спекотну погоду потрібно підтримувати меншу концентрацію поживних речовин, ніж у прохолодну і вологу.

Проведення удобрювальних поливів дощувальними машинами забезпечує рівномірний розподіл добрив по площі (коефіцієнт варіації становить близько 20%). Необхідно враховувати, що ефективність фертигації здебільшого визначається відповідністю між інтенсивністю водного, насиченого поживними речовинами, потоку і водопроникністю ґрунту. Інтенсивність дощування має бути меншою за поглинальну здатність ґрунту. Порушення цієї відповідності може призвести до утворення калюж і поверхневого стоку, ерозії ґрунту, нерівномірного промочування кореневмісного шару ґрунту і розподілу добрив.

Якість (рівномірність) внесення добрив під час дощування чимало залежить від правильності установки і розміщення поливних насадок, розмірів утворених крапель, часу і періодичності подачі удобрювальних речовин у поливний потік, постійності концентрації розчину, інтенсивності дощувального струменя, швидкості пересування дощувального агрегату, точності дозування, характеру промочування ґрунту і насичення його вологою, поливної норми, ступеня рухливості елементів живлення у ґрунті тощо.

Встановлено, що подача розчинів калійних і азотних туків на початку поливу може

посилити міграцію поживних речовин і забруднення підґрунтових вод. Щоб уникнути втрат поживних речовин, азотні й фосфорні добрива потрібно вносити наприкінці поливу з подальшим промиванням системи протягом 10–15 хв. Це дозволяє розподілити фосфати в шарі ґрунту товщиною 30–40 см. Змінюючи дози, склад удобрювальних речовин, час і періодичність їх введення у поливний потік, можна активно впливати на інтенсивність переміщення і розподіл елементів живлення у ґрунті, управляти процесами розвитку кукурудзи.

Удобрювальне зрошення, як правило, проводять на вирівняних і спланованих полях без помітних похилів поверхні (не більше 0,05). На схилових ґрунтах або за сильного вітру можливі значні відхилення в розподілі добрив по площі поля. Для фертигації вибирають поля з глибиною залягання підґрунтових вод не менше 1 м на суглинкових, 1,5 м – на піщаних ґрунтах. Це необхідно для запобігання змішуванню поливних вод з підґрунтовими і забрудненню доквілля.

Досліди і практика показали, 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 не більше 12 м/с.

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 м<sup>3</sup>/га на полях, де підґрунтові води залягають на глибині більше 3 м, і 400–500 м<sup>3</sup>/га – на глибині 1,0–2,5 м (*Ківер та ін., 1990*).

Науково-дослідна і виробнича перевірки показали високу ефективність фертигації – урожайність кукурудзи зросла на 5–10 ц/га і більше порівняно з традиційними способами внесення в ґрунт тієї самої норми туків.

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 (*Ківер, 1988; Сахаров, 1991*). Основні результати цих досліджень наведено в табл. 4.19.

Таблиця 4.19

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

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

Комбіноване застосування добрив (НРК – сухі туки під культивування 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).

У досліджах В.Х. Ківера і В.М. Куниці (1990 р.) показано, що під гібрид кукурудзи Дніпровський 758 на чорноземі звичайному середньосуглинковому внесення НРК з поливною водою виявилось кращим, ніж застосування сухих туків під культивування перед сівбою (табл. 4.20).

Таблиця 4.20

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

Спосіб і строк внесення добрив	Врожайність зерна, т/га	Приріст врожаю, т/га	Отримано зерна в розрахунку на 1 кг д.р. NPK, кг
NPK під культивування 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 листків, ½ дози у фазі викидання волотей	10,4	0,76	4,19
Те 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

У досліджах застосовували розрахункові дози мінеральних добрив для одержання планованого врожаю зерна кукурудзи 10 т/га: в 1986 р. –  $N_{168}P_{90}K_{28}$ , у 1987 р. –  $N_{192}P_{70}K_{27}$ , у 1988 р. –  $N_{136}P_{35}$ . 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).

Дослідження способів та строків внесення мінеральних добрив за інтенсивної технології вирощування кукурудзи на зерно зі зрошенням проводили протягом 1999–2001 рр. у навчально-дослідному господарстві «Самарський» Дніпровського державного аграрно-економічного університету (Ківер, Онопрієнко, 2011, 2014).

Грунтова відміна – чорнозем звичайний слабозмитий середньосуглинковий. Потужність гумусного шару становить 65–70 см, вміст гумусу в орному шарі ґрунту – 3,5–4,5%. Вміст азоту після 7 діб компостування (за Кравковим) у 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 досліджах висівали середньоранній гібрид кукурудзи Піонер 3978. Вивчали норми мінеральних добрив, розраховані на одержання врожаю зерна 8 і 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 у 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 м<sup>3</sup>/га. Посівна площа дослідних ділянок – 630, а облікова – 150 м<sup>2</sup>, 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 й калійні

добрива вносили у 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 вмісту основних елементів живлення в орному шарі ґрунту.

З метою вивчення ефективності внесення азотних добрив з поливною водою порівняно з традиційним розкидним способом і вивчення оптимальних параметрів фертигації було розроблено 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.

Ці дослідження засвідчили, що вміст у ґрунті азоту залежить від способу та строків унесення добрива. У разі застосування його врозкид восени під культивуацію нітрати мігрують із кореневого шару і, за одержаними даними, 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 (Онопрієнко, 2011).

Результати обліку показали, що в разі застосування сечовини з поливною водою кукурудза дає вищі врожаї, ніж врозкид (табл. 4.21).

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

Таблиця 4.21

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

Програмована врожайність кукурудзи, т/га	Схема внесення азотних добрив	Рік			У середньому	± 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 <sub>0,95</sub> т/га для схем		0,03	0,47	0,21			
НІР <sub>0,95</sub> т/га для доз		0,24	0,32	0,13			

За оцінювання будь-якого технологічного заходу важливо враховувати його вплив не тільки на величину врожаю, а й на його споживчі якості. Під час зрошення разом із збільшенням урожаїв часто спостерігається

погіршення якості зерна, зокрема зменшується в ньому вміст білка. Проведені дослідження показали, що в разі збільшення норм мінеральних добрив спостерігалася тенденція підвищення вмісту білка (табл. 4.22).

Таблиця 4.22

**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

Спосіб внесення азотних добрив також впливав на вміст білка в зерні. За фертигації вміст білка в зерні зростав. 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.

Біоенергетична оцінка внесення мінеральних добрив свідчить про те, що витрати сукупної енергії на 1 га посівів з підвищенням їхньої дози зростали. За 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 врожай 10,0 т/га – 32,5 ГДж (табл. 4.23). Це пов'язано з високим енергетичним еквівалентом добрив.

Таблиця 4.23

**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 на 1 га, ГДж
8,0	Без добрив	28,9	0,52	166
	1 (контроль)	44,7	0,58	226
	3	44,5	0,53	243
	5	44,6	0,53	245
10,0	1 (контроль)	61,2	0,59	268
	3	61,5	0,55	296
	5	61,6	0,54	300



Способи внесення азотних добрив мало змінювали величину витрат через те, що витрати на внесення добрив і додаткові витрати на збирання і транспортування додатково одержаного врожаю є незначними в загальних енерговитратах. Енергоємність виробництва 1 т зерна з підвищенням норми мінеральних добрив дещо збільшувалась (див. табл. 4.23).

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 (Ківер, 2014).

Короткий огляд наукових публікацій і проведених нами досліджень переконують у тому, що фертигація за програмування врожаїв зерна кукурудзи стає одним із головних факторів підвищення ефективності використання поливної води, 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 рази за рахунок оптимізації строків і способів внесення.

На нашу думку, у процесі вирощування високих і рекордних запрограмованих врожаїв 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 мінеральні добрива рекомендується в певних пропорціях і у такі визначені періоди: 40% всієї дози – у фазі 10–12 листків, 40% – у фазу викидання волотей і 20% – за молочної стиглості зерна. Це дозволить підвищити врожайність зерна кукурудзи на 2,5–4,5 т/га і забезпечити одержання умовно чистого прибутку (Ківер, Онопрієнко, 2010).

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 (Ківер, Онопрієнко, 2012).

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 у 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 трактори і сільськогосподарські машини для інших робіт, зменшує потребу у причіпних і самохідних розкидачах добрив, а економія дизельного пального за такої технології становить 4–5 кг/га (Ківер, Онопрієнко, 2008).

Ефективність фертигації підтверджується результатами польових досліджень, проведених з гібридами кукурудзи на темно-каштанових важкосуглинкових ґрунтах Присивашся у 1988–1990 рр. (Аксенов,

1991). За роздільного внесення добрив з поливною водою врожайність зерна обох гібридів кукурудзи на всіх варіантах була вищою, ніж за їх разового внесення поверхневим способом під культивуацію перед сівбою (табл. 4.24).

Найвищі врожаї отримали (10,47 т/га – для середньостиглого гібрида Дніпровський 310МВ і 10,70 т/га – для середньопізнього гібрида Дніпровський 126 ТВ), коли вносили NP добрива з поливною водою у два терміни:  $N_{90}P_{45}$  – у фазу 9–11 листків;  $N_{90}P_{45}$  – у фазу викидання волотей.

Гібриди неоднаково реагували на внесення повної дози добрив ( $N_{180}P_{90}$ ) у такі два

терміни:  $N_{60}P_{30}$  – після сівби й  $N_{120}P_{60}$  – у фазу 9–11 листків з поливною водою. При цьому приріст зерна в середньостиглого гібрида Дніпровський 310МВ становив 0,35 т/га, а в середньопізнього гібрида Дніпровський 126ТВ – 0,56 т/га порівняно з традиційним способом застосування аміачної селітри і амофосу. На інших двох варіантах термінів внесення добрив урожайність зерна кукурудзи була практично однаковою.

Роздільне внесення добрив з поливною водою суттєво підвищувало окупність зерном 1 кг діючої речовини туків: у гібрида Дніпровський 310МВ на 0,7–4,1 кг і на 2,2–4,7 кг у гібрида Дніпровський 126ТВ.

Таблиця 4.24

**Вплив термінів і способів унесення мінеральних добрив на врожайність гібридів кукурудзи в умовах Генічеської дослідної станції (середнє за 1988–1990 рр.)**

Схема внесення мінеральних добрив	Урожайність зерна кукурудзи 14%-ної вологості, т/га	
	середньостиглий гібрид Дніпровський 310МВ	середньопізній гібрид Дніпровський 126ТВ
Контроль I – без добрив	3,89	4,07
$N_{180}P_{90}$ ( $NH_4NO_3 + NH_4H_2PO_4$ ) під культивуацію перед сівбою – контроль II	9,27	9,52
$N_{180}P_{90}$ ( $NH_4NO_3 + РКД$ ) під культивуацію перед сівбою – контроль III	9,08	9,27
$N_{60}P_{30}$ – після сівби з поливною водою; $N_{120}P_{60}$ – у фазу 9–11 листків з поливною водою	9,62	10,08
З поливною водою $N_{45}P_{22,5}$ – після сівби; $N_{45}P_{22,5}$ – у фазу 9–11 листків; $N_{45}P_{22,5}$ – у фазу викидання волотей; $N_{45}P_{22,5}$ – у фазу молочної стиглості зерна	9,90	10,05
З поливною водою $N_{60}P_{30}$ – у фазу 9–11 листків; $N_{60}P_{30}$ – у фазу викидання волотей; $N_{60}P_{30}$ – у фазу молочної стиглості зерна	10,00	10,22
З поливною водою $N_{90}P_{45}$ – у фазу 9–11 листків; $N_{90}P_{45}$ – у фазу викидання волотей	10,47	10,70
НР <sub>0,95</sub> для способів і термінів унесення добрив – 0,203–0,302 т/га; НР <sub>0,95</sub> для гібридів – 0,100–0,221 т/га; НР <sub>0,95</sub> для взаємодії досліджуваних факторів – 0,200–0,505 т/га.		

Ефективність внесення азотних добрив з поливною водою за різних рівнів мінерального живлення у системі інтенсивної технології вирощування кукурудзи на зрошуваних землях Північного Степу України вивчали протягом 1990–1992 рр. в Дослідному господарстві Інституту зернових культур НААН України (Галечко, 1995).

Ґрунт зрошеної ділянки – чорнозем звичайний малогумусний середньопотужний середньосуглинковий. В роки досліджень вміст азоту після 7-денного компостування (за Кравковим) в 100 г сухого ґрунту становив 2,4–3,4 мг, рухомого фосфору (в оцетокислій витяжці за Чириковим) – 10,1–26,1; обмінного калію (за Масловою) – 8,0–9,1 мг. Для вивчення реакції гібридів кукурудзи різних груп стиглості в дослідах висівали середньоранній гібрид Піонер 3978 і середньопізній Дніпровський 472. Реакцію гібридів на способи та терміни внесення азотних добрив вивчали на трьох рівнях мінерального живлення, яке формували шляхом внесення норм мінеральних добрив, розрахованих балансовим методом на одержання програмованого врожаю зерна 8 т/га ( $N_{153}P_0K_{56}$ ), розрахованих на одержання 10 т/га ( $N_{245}P_{25}K_{126}$ ) і 12 т/га ( $N_{337}P_{55}K_{196}$ ).

Для вивчення ефективності внесення азотних добрив з поливною водою порівняно з традиційним розкидним способом і визначення оптимальних термінів було розроблено 5 схем їх внесення:

1) норма врозкид під культивуацію зябу (контроль);

2) роздрібно –  $\frac{1}{2}$  норми під культивуацію зябу,  $\frac{1}{2}$  з поливною водою рівними дозами у фази 10–12 листків, викидання волотей і початок молочної стиглості зерна;

3) роздрібно –  $\frac{1}{2}$  норми під культивуацію зябу,  $\frac{1}{2}$  з поливною водою рівними дозами у фази 10–12 листків, викидання волотей;

4) роздрібно –  $\frac{1}{2}$  норми під культивуацію зябу,  $\frac{1}{2}$  з поливною водою рівними дозами у фази викидання волотей і початок молочної стиглості зерна;

5) норма азоту роздрібно з поливною водою рівними дозами – після сівби, у фази 10–12 листків, викидання волотей і початок молочної стиглості зерна.

Значний вплив на врожайність зерна кукурудзи мав спосіб унесення азотних добрив. Роздрібне внесення азотних добрив з поливною водою дозволило одержати найвищий врожай (табл. 4.25).

Прибавки врожаю за цього способу порівняно з традиційним способом внесення під культивуацію зябу становили 0,23–1,41 т/га.

Ефективнішим було застосування фертигації на вирощуванні гібрида Дніпровський 472. Приріст урожайності гібрида Піонер 3978 за фертигації становив 0,23–1,18 т/га, а гібрида Дніпровський 472–0,47–1,41 т/га. З підвищенням норм мінеральних добрив ефективність удобрювального зрошення зростала (Ківер, Галечко, 1995).

Схеми внесення азотних добрив відрізнялися за показниками ефективності. Найефективнішою виявилася схема 5, за якою врожайність зростала порівняно з контролем на 0,63–1,41 т/га. Високоефективною була й схема 2, що забезпечувала приріст урожайності 0,59–1,11 т/га, за рівнем програмування врожаю 8,0 т/га ефективність схем 2 і 5 була однаковою. Схеми 3 і 4 визнані менш продуктивними, їх використання підвищувало врожайність зерна на 0,51–0,82 та 0,23–0,79 т/га відповідно.

Наразі ще недостатньо вивчено технологію внесення з поливною водою рідких комплексних добрив, 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

Таблиця 4.25

**Вплив термінів і способів унесення азотних добрив на врожайність гібридів кукурудзи за різних рівнів мінерального живлення (середнє за 1990–1992 рр.)**

Програмована врожайність зерна кукурудзи, т/га	Схема внесення мінеральних добрив	Урожайність зерна кукурудзи 14%-ної вологості, т/га	
		середньоранній гібрид Піонер 3978	середньопізній гібрид Дніпровський 472
Контроль – без добрив		5,41	6,03
8,0	1 (контроль)	7,75	8,19
	2	8,34	8,98
	3	8,26	8,82
	4	7,98	8,66
	5	8,38	9,06
	У середньому	8,14	8,74
10,0	1 (контроль)	9,24	9,82
	2	10,02	10,78
	3	9,86	10,56
	4	9,62	10,43
	5	10,17	10,96
	У середньому	97,8	10,51
12,0	1 (контроль)	10,55	11,48
	2	11,52	12,59
	3	11,28	12,30
	4	11,22	12,27
	5	11,73	12,89
	У середньому	11,24	12,31
НР <sub>0,95</sub> для схем – 0,20–0,46 т/га; НР <sub>0,95</sub> для гібридів – 0,12–0,31 т/га; НР <sub>0,95</sub> для норм – 0,19–0,77 т/га.			

під час транспортування РКД нижча, ніж у твердих туків. Крім цього, РКД не містять вільного аміаку, тому їх можна перевозити в негерметичних ємностях і зберігати пів року. Застосування РКД дозволяє механізувати всі технологічні процеси і знизити затрати праці.

Авторами було проведено 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» Дніпропетровського державного аграрного університету (Ківер, Онопрієнко, 2011).

У дослідях висівали середньоранній гібрид кукурудзи Піонер 3978, який добре реагує на зрошення і був об'єктом досліджень.

Строки і способи внесення мінеральних добрив вивчали за одної розрахованої дози для одержання врожаю зерна 10 т/га –  $N_{180}P_{90}$ . Передбачали також варіант без добрив. Технологія вирощування кукурудзи була загальноприйнятою 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 м<sup>3</sup>/га.

Із рідких мінеральних добрив застосовували азотно-фосфорний розчин 10:34 (N – 10%, P – 34%), який отримували шляхом нейтралізації поліфосфорних кислот аміаком. Дози мінеральних добрив для одержан-

ня запланованого врожаю зерна кукурудзи 10 т/га обчислювали балансовим методом з урахуванням вмісту 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 було розроблено такі технологічні схеми внесення мінеральних добрив:

1) під культивуацію перед сівбою (карбамід + амофос) врозкид 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.

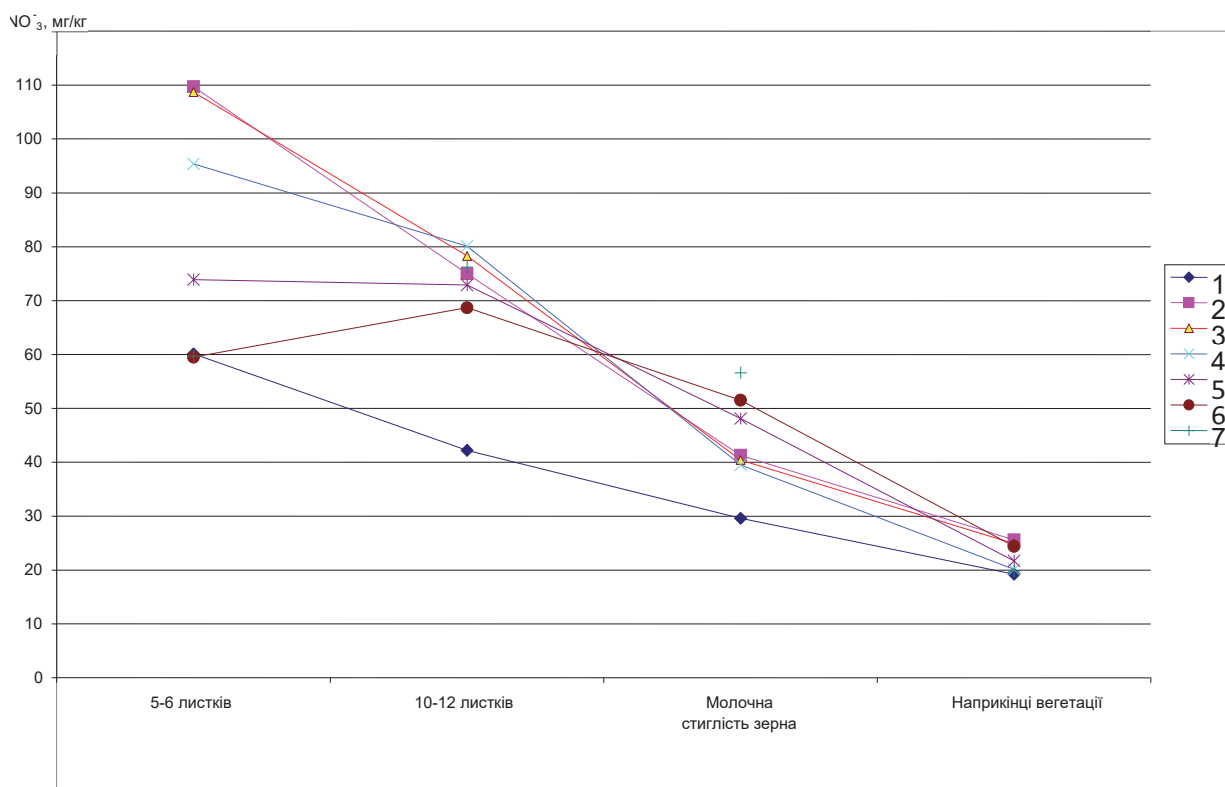
Норми і строки внесення рідких комплексних мінеральних добрив з поливною водою суттєво впливали на поживний режим ґрунту. Сприятливі умови зволоження і температури поліпшували азотний режим ґрунту за рахунок добрив і підвищення нітрифікаційної здатності. Спостерігалася максимальна кількість мінерального азоту у

ґрунті на початку вегетації у варіанті внесення туків під культивуацію, що свідчить про підвищення енергії нітрифікації (рис. 4.17).

Розглядаючи вміст мінерального азоту в динаміці, реєстрували зниження його у 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 у 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 низького споживання  $NO_3^-$  рослинами кукурудзи на початку вегетації. У той же час за неодноразового застосування добрив у дозі  $N_{180}P_{90}$  з поливною водою вміст нітратів у ґрунті за цей період змінювався менше, і 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  $N_{90}P_{45}$  забезпечувало максимальну кількість нітратного азоту у фазі молочної стиглості зерна (див. рис. 4.17).

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

Нітратний азот характеризується високою рухомістю за профілем ґрунту і навіть в умовах недостатнього природного зволоження в Північному Степу виявляється на глибині 0–200 см і нижче, а на зрошенні ця тенденція підсилюється, як показують проведені раніше дослідження (Балюк *и др.*, 1988; Філіп'єв, Ісакова, 1992; Ківер, Онопрієнко, 2008).



**Рис. 4.17.** 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 –  $N_{180}P_{90}$  врозкид під культивуацію (карбамід + амофос); 3 –  $N_{180}P_{90}$  під культивуацію перед сівбою (карбамід + РКД) з поливною водою; 4 – роздрібно  $N_{60}P_{30}$  після сівби і  $N_{120}P_{60}$  у фазі 10–12 листків (з поливною водою); 5 – роздрібно з поливною водою: після сівби  $N_{50}P_{25}$ , у фазі 10–12 листків  $N_{50}P_{25}$ , викидання волотей  $N_{40}P_{20}$ , молочної стиглості зерна  $N_{40}P_{20}$ ; 6 – роздрібно з поливною водою: у фазі 10–12 листків  $N_{60}P_{30}$ , викидання волотей  $N_{60}P_{30}$ , молочної стиглості зерна  $N_{60}P_{30}$ ; 7 – з поливною водою: у фазі 10–12 листків  $N_{90}P_{45}$  і у фазі викидання волотей  $N_{90}P_{45}$

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. 4.26). Значно більшою вона була за внесення добрив роздрібно з поливною водою.

Маса 1000 зернин була максимальною (335,8 г) на варіанті із внесенням  $N_{90}P_{45}$  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 –  $N_{60}P_{30}$  і  $N_{120}P_{60}$ ) порівняно з одноразовим їх внесенням.

Фертигація в різні строки створювала сприятливі умови для росту і розвитку рослин кукурудзи. Вона позитивно вплинула на збільшення маси 1000 зернин, середню масу качанів і вихід зерна кукурудзи.

Урожайність зерна гібрида Піонер 3978 за внесення мінеральних добрив з поливною водою була вищою, ніж за традиційної технології їх внесення (табл. 4.27).

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

За результатами цих досліджень можна зробити висновки, що внесення мінеральних добрив роздільно з поливною водою (фертигація) покращує поживний режим чорнозему звичайного. Внесення 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.

З огляду на традиційну технологію внесення 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  $N_{180}P_{90}$ , 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, виявилося логічним наслідком науково-технічного прогресу в удосконаленні конструкцій зрошувальних систем, дощувальної та іншої поливної техніки, нових способів поливу, створення спеціального обладнання для введення агрохімікатів у поливну воду, в розробці

нових 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. За 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, проходять 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.

Таблиця 4.26

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

Варіант	Кількість продуктивних качанів на 100 рослин	Маса одного качана, г	Вихід зерна, %	Маса 1000 зернин, г
1 – без добрив (контроль)	98	190	79,9	265,5
2 – $N_{180}P_{90}$ (карбамід + амофос) врозкид 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 4.27

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

Варіант	2002 р.	2003 р.	2004 р.	Середнє за три роки
1 – без добрив (контроль)	3,7	3,6	4,2	3,8
2 – $N_{180}P_{90}$ (карбамід + амофос) врозкид 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
НІР <sub>0,95</sub> т/га для способів і строків внесення мінеральних добрив – від 0,20 до 0,30				



#### 4.7.3. Гербігація в агротехнології кукурудзи на зрошуваних землях

Оптимізація водного і поживного режимів ґрунту на меліорованих землях створює сприятливе середовище для зростання не тільки культурних рослин, але і бур'янів. На жаль, більшістю аграрних формувань і підприємств технологія боротьби з бур'янами з неполивного землеробства була механічно перенесена і на зрошувані землі. Адже звичайно, що в умовах зрошення, особливо на землях, що поливали тривалий час, відбувається поступова закономірна зміна видового складу бур'янів – зникають або рідіють ксерофіти, стійкі до посухи, з'являються вологолюбні гігрофіти, а на підтоплених ділянках – гідрофіти. У польових сівозмінах переважають вологолюбні рослини, пристосовані до тимчасового перезволоження ґрунту: плоскуха звичайна, осот сірий, щириця звичайна, біла і жминоподібна, мишій сизий і зелений, лобода, вівсюг та ін. (Ушкаренко, 1994).

Останнім часом катастрофічно поширюються площі, заселені карантинними бур'янами: пасльоном дзьобатим (колючим), ценхрисом малоквітковим, амброзією полинолистою і повитицею польовою.

Бур'яни особливо розповсюджуються там, де боротьба з ними ведеться безсистемно, розрізненими короткочасними засобами, здебільшого без урахування біологічних особливостей диких рослин та їхніх економічних порогів шкодочинності. Забур'яненість посівів негативно впливає на врожайність усіх культурних рослин. У системі захисту сільськогосподарських культур від бур'янів застосовують агротехнічні, хімічні та інші заходи.

Сучасні зрошувальні системи, досконала дощувальна техніка, величезна кількість органічних і мінеральних добрив, високоврожайні сорти і гібриди рослин, інші досягнення науково-технічного прогресу в землеробстві й рослинництві не забезпечують

проектного рівня врожайності без ефективної системи боротьби з бур'янами безпосередньо на полях.

Бур'яни пригнічують посіви, стають конкурентами в боротьбі за вологу, світло, поживні речовини, ускладнюють проведення заходів щодо догляду за посівами і збирання врожаю без втрат, сприяють посиленню ураження рослин шкідниками і хворобами, погіршують якісні показники продукції.

За нашими спостереженнями, в умовах зрошення запаси насіння бур'янів і їх біомаса зростають у 5–15 разів і більше порівняно з неполивними полями. На кожному квадратному метрі навесні налічували 2,0–2,5 тис. сходів бур'янів, а проведення поливів і удобрення обумовлювали їх бурне проростання і розвиток. У результаті отримали «урожай» 70–80 т/га зеленої маси бур'янів (Кивер *и др.*, 1985).

Інші численні дослідження підтверджують, що в орному шарі ґрунту кількість насіння бур'янів збільшується від 50 млн до 3–4 млрд на гектар. Нескладно підрахувати, скільки їх буде на полі, якщо за поливний сезон у посушливий рік потрібно подати на кожен гектар 4–5 тис. м<sup>3</sup> води.

З використанням для удобрення рідкого гною з тваринницьких ферм на поле може потрапити до 1 тис. насіння на квадратний метр, у результаті чого за період вегетації в посівах кукурудзи може з'явитися 1,5–3,0 тис. сходів бур'янів на квадратному метрі, що створює реальну загрозу врожаю (Циков, Матюха, 2006).

Бур'яни, які швидко зростають і розмножуються на поливних землях, формують потужну, добре розвинену і глибоко проникну у ґрунт кореневу систему і завдяки їй поглинають велику кількість води і поживних речовин. Поглинаючи листям вуглекислий газ і притінюючи культурні рослини, бур'яни знижують продуктивність їх фотосинтезу. Переконливим доказом цього є підвищення транспіраційного коефіцієнта сільськогосподарських рослин, а також підвищення показ-

ників водоспоживання, що припадає на одиницю площі і на одиницю врожаю (*Наукові основи...*, 2009).

Так, максимальна глибина проникнення у ґрунт кореневої системи у мишію сизого може досягати 1,7 м, у лободи білої і щир-

ці – 2, амброзії полинолістої – 4, берізки польової – 6, гірчаку рожевого – 16 м (*Циков та ін.*, 2012). Маючи потужну кореневу систему, бур'яни забирають з ґрунту набагато більше поживних речовин, ніж культурні рослини (табл. 4.28).

Таблиця 4.28

**Величина виносу азоту, фосфору і калію з ґрунту культурними рослинами і бур'янами, за Г.І. Баздирєвим (2004), кг/га**

Рослина	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Всього
<i>Культурні рослини</i>				
Картопля	80	40	120	240
Пшениця озима	75	52	82	209
Пшениця яра	60	24	84	168
Льон	78	30	69	177
<i>Бур'яни</i>				
Амброзія	135	40	157	332
Пирій	46	32	69	147
Мати-й-мачуха	74	27	235	336
Осот	67	29	160	256
Щириця	190	14	286	490

У зв'язку з цією проблемою в нашій країні з'явилися перші матеріали, досвід, результати освоєння нової екологічно безпечної, енергозберігаючої технології застосування гербіцидів – гербігації, тобто внесення гербіцидів з поливною водою. Цей спосіб базується на розподілі гербіцидів у верхньому шарі ґрунту з невеликим об'ємом води без будь-яких подальших механічних операцій знищення бур'янів.

Критичний аналіз технологій вирощування кукурудзи без зрошення показує, що вони непридатні для застосування у зрошуваному землеробстві. Нині для боротьби з бур'янами використовують високоефективні ґрунтові гербіциди. Вони характеризуються високою леткістю і вимагають ретельного перемішування з верхнім (0–10 см) шаром ґрунту. Для виконання цієї операції використовують важкі дискові борони, лущильники, культиватори, що агрегатують з

потужними енергонасиченими тракторами, застосовують і для проведення передпосівного обробітку ґрунту комбінованими знаряддями.

Використання потужної техніки навесні викликає ущільнення ґрунту, погіршує його агрофізичні показники, що в результаті призводить до зниження врожаю зерна. Є ще низка недоліків, що знижують ефективність інтенсивної технології. Використання важких дискових знарядь для загортання у ґрунт гербіцидів, особливо за високих температур повітря, спричиняє висушування посівного шару і знижує токсичність гербіцидів. У результаті загортання гербіцидів у перезволожений ґрунт часто утворюються великі грудки, брили, гербіциди погано перемішуються з ґрунтом через налипання на робочі органи, що суттєво знижує ефективність препаратів у пригніченні бур'янів.

Необхідно зважати й на те, що існуючі типи обприскувачів мають недостатню ємність і ширину захвату, невисоку продуктивність, характеризуються нерівномірністю внесення гербіцидів, підвищеною залежністю від погодних умов, обмеженим періодом ефективного використання тощо. До того ж потреба в обприскувачах задовольняється неповністю, унаслідок чого гальмується обробка посівів, які нерідко залишаються в бур'янах і формують невисокий врожай.

Вади, притаманні індустріальній технології, в умовах природного зволоження поглиблюються специфічними особливостями зрошуваних земель – повільним і більш пізнім досяганням ґрунту навесні, підвищеним ступенем і, як правило, змішаним типом забур'яненості, погіршеними агрофізичними показниками орного і посівного шарів ґрунту. На зрошуваних землях потенційна забур'яненість може сягати 0,5–1 млрд насінин на одному гектарі, тобто зростає у 10–20 разів порівняно з неполивними посівами.

Бур'яни не тільки погіршують поживний, водний і світловий режими кукурудзи, поглинаючи значну частину поливної води і поживних речовин, але і знижують ефективність зрошення і удобрення, ускладнюють проведення заходів з обробки ґрунту і догляду за посівами, збільшують витрати матеріальних, грошових, енергетичних і трудових ресурсів. Підвищена забур'яненість може призвести до втрат 20–30% і більше врожаю культури (*Ківер, 1988*).

Тому проблема боротьби з бур'янами на поливних землях є актуальнішою, ніж на незрошуваних.

Натепер все популярнішим стає принципово новий спосіб боротьби з бур'янами – гербігація посівів, тобто внесення гербіцидів з поливною водою. І якщо у США і країнах західної Європи цей прогресивний спосіб боротьби з бур'янами вже широко

використовують у виробництві, то в нашій його застосування поки що обмежено.

Ураховуючи важливість і актуальність проблеми боротьби з бур'янами, НВО «Дніпро» у 1980–1986 рр. проводило спеціальні дослідження з вивчення ефективності гербігації на посівах кукурудзи (*Ківер, 1988*). Якщо за звичайного способу внесення і загортання ґрунтових гербіцидів ретельного і швидкого перемішування їх з посівним шаром досягали за допомогою ґрунтообробних знарядь, то із застосуванням гербігації – разом з поливною водою.

За таких умов найбільшої ефективності досягли тоді, коли ґрунт зволожували на глибину 7–10 см і весь препарат був сконцентрований у посівному шарі, де знаходиться основна маса насіння бур'янів. При цьому на важких за гранулометричним складом ґрунтах поливна норма становила 70–210 м<sup>3</sup>/га. Збільшення поливної норми до 500–600 м<sup>3</sup>/га призводить до зволоження більш глибоких шарів ґрунту, куди разом з водою потрапляють і гербіциди, тому ефективність дії препарату знижується.

З використанням дощувальних машин, що працюють по колу, гербіциди вносять перед сівбою або відразу після неї до появи сходів сільськогосподарської культури. Гербіциди краще вносити за допомогою дощувального агрегату ДДА-100МА або інших навісних дощувачів відразу після сівби кукурудзи, тобто препарат поєднати з післяпосівним освіжаючим поливом. Разом з цим не виключається можливість внесення гербіцидів до сівби.

У посівному шарі ґрунту гербіцид розподіляється разом з поливною водою. Якість внесення гербіцидів з поливною водою здебільшого визначається рівномірністю розподілу і поливною нормою, а також правильною встановлення насадок на дощувальній машині.

За внесення гербіцидів з поливною водою досягається найвища рівномірність їх розподілу по полю, ніж у разі внесення їх традиційним способом. По узагальнених даних, на легких за гранулометричним складом ґрунтах поливна норма має становити 150–200 м<sup>3</sup>/га, на середніх – 200–230 і важких – 250 м<sup>3</sup>/га. Така поливна норма зволожує ґрунт на глибину 10–15 см, і гербіциди концентруються в шарі, з якого зазвичай проростають бур'яни.

Фітотоксична дія гербіцидів на бур'яни залежить від вологості, температурних умов, агрофізичних показників ґрунту, вмісту в ньому гумусу та інших факторів, а вибір необхідного гербіциду визначається видовим складом бур'янів і ступенем забур'яненості. Важлива роль при цьому належить і формі препаратів. Більш сприятливі умови для підвищення точності дозування забезпечують водорозчинні препарати і концентровані емульсії.

Методичними рекомендаціями з вивчення ефективності застосування гербіцидів з поливною водою під час дощування в посівах сільськогосподарських культур (*Комплексное применение...*, 1988) були рекомендовані на той час препарати до застосування на посівах кукурудзи, але частина їх вже сьогодні знята з виробництва, а на зміну їм упроваджені нові аналоги. Рекомендаціями передбачалося внесення гербіцидів з поливною водою, але їх норми мали бути такими самими, як і за використання звичайних тракторних обприскувачів.

Дослідженнями НВО «Дніпро» було встановлено високу ефективність гербігації в боротьбі з бур'янами на посівах зернової і силосної кукурудзи (*Ківер, 1988; Ресурсосберегающая технология...*, 1991). У 1983 році в посівах кукурудзи на зерно перед першим міжрядковим обробітком на контролі (без гербіцидів) було 44 бур'яни на квадратному метрі, а з внесенням ерадикану

6Е в дозі 7 л/га з поливною водою – 15,9 шт./м<sup>2</sup>. За традиційної технології внесення цього гербіциду обприскувачем було зафіксовано 25,8 шт./м<sup>2</sup> бур'янів.

Ефективність гербігації перевіряли і у виробничих дослідах, проведених у дослідному господарстві НВО «Дніпро», і в Цюрупинському районі Херсонської області (табл. 4.29 і 4.30). На полях НВО «Дніпро», де гербіциди вносили спеціально розробленим устаткуванням (гербігатором), розміщеним на дощувальному агрегаті ДДА-100МА, було отримано високу економічну ефективність гербігації кукурудзи. Собівартість зерна і силосної маси порівняно з традиційним внесенням гербіцидів знижувалася на 3–10%, затрати праці зменшувалися на 30–40%, а приріст умовно чистого прибутку збільшувався.

Наведені результати експериментальних і виробничих даних свідчать про ефективність внесення гербіцидів з поливною водою. За традиційного способу внесення і загортання гербіцидів у ґрунт урожайність зерна кукурудзи зростала на 5,3–17,1%, а силосної маси – на 1–3,6% (*Ківер, 1988; Сахаров, 1991*).

Дослідне господарство НВО «Дніпро» отримало високу ефективність від гербігації і на вирощуванні кукурудзи в післяукісних посівах. У варіантах із внесенням гербіциду лассо/атразин дозою 7 л/га після сівби післяукісної кукурудзи, попередником якої було жито озиме, посіви були чистими від бур'янів, а врожайність зерна сягала 6–7 т/га. Важливо зазначити і те, що при вирощуванні кукурудзи із сівбою її у стерню без попереднього застосування ґрунтообробних знарядь гербігація виявилася єдиним доступним способом боротьби з бур'янами, оскільки використання звичайних тракторних обприскувачів і техніки для загортання гербіцидів у ґрунт було практично неможливим.

Таблиця 4.29

**Вплив гербігації на врожайність кукурудзи на зерно і силос  
(дослідне господарство НВО «Дніпро», 1983 р.), т/га**

Продукція	Контроль (без гербіцидів)	Ласо / атразин, 7 л/га		
		внесення і загортання, посадження ОШТ-1 + БДТ-7+ комбі-8,8	з поливною водою	% до традиційного способу внесення
Силосна маса	74,0	88,0	100,0	113,6
Зерно	8,74	10,04	10,63	105,9

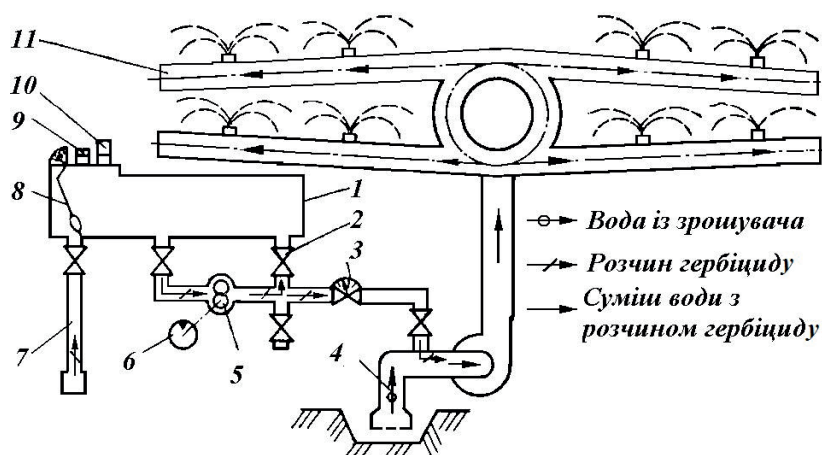
Таблиця 4.30

**Вплив гербігації на забур'яненість посівів і врожайність кукурудзи  
(Цюрупинський район Херсонської області, 1982–1983 рр.), т/га**

Гербіцид	Доза	Знищено бур'янів, %	Урожайність	
			т/га	% до традиційного способу внесення
<i>Кукурудза на зерно</i>				
Ерадикан 6Е, л/га	8	95	7,90	105,3
Ерадикан 6Е + зеазин, л/га	6+1,5	99,9	8,80	117,1
<i>Кукурудза на силос</i>				
Ерадикан 6Е, л/га	6	90,8	32,4	101,0

На ефективність гербігації дуже впливають технічні засоби, якими виконують операції з поливу та загортання препаратів. На базі дощувальної машини ДДА-100МА в НВО «Дніпро» був розроблений і в подальшому широко застосовувався спеціальний гербігатор, що складався з рами, бака, насоса і дозуючого пристрою (рис. 4.18). Насос, що запускається в дію гідромотором, переміщує постійно (або періодично) робочий розчин, запобігаючи його розшаруванню. Гідромотор працює від гідросистеми трактора. По трубах, через вентилі і дозуючий пристрій розчин подається у всмоктувальну лінію дощувальної машини ДДА-100МА і після додаткового перемішування в насосі дощувального агрегату надходить трубопроводами до насадок, звідки з поливною водою потрапляє у ґрунт (Ківер, 1988).

Відповідно до рекомендацій (*Ресурсосберегающая технология...*, 1991), технологічний процес гербігації включає такі операції: доставка препаратів до місця роботи, приготування робочого розчину, дозоване введення робочого розчину в поливний потік води дощувальної машини. Залежно від процесу приготування і норми витрати робочого розчину, форми препарату, засобів механізації, відстані від комплексного пункту хімізації до місця роботи дощувальної машини гербігацію рекомендують проводити за трьома схемами внесення норми гербіциду: розбавлення його водою 1:300 л/га; 1:25 л/га, а також у формі розчину або концентрату емульсії без розбавлення водою (табл. 4.31).



**Рис. 4.18. Технологічна схема гербігатора, встановленого на дощувальному агрегаті ДДА-100МА:**

1 – бак для робочого розчину; 2 – запірний вентиль; 3 – кран-дозатор; 4 – всмоктувальний колектор дощувального агрегату ДДА-100МА; 5 – насос; 6 – гідромотор; 7 – заправний рукав; 8 – рівнемір; 9 – запобіжний клапан; 10 – вакуумний пристрій; 11 – дощувальна ферма

Таблиця 4.31

**Технологічні схеми приготування і доставки робочих розчинів до дощувальних машин «Фрегат» за гербігації**

Технологічна схема гербігації	Схема внесення гербіцидів	Технічні засоби	
		для приготування і доставки маточних розчинів	для дозування
<b>Перша схема</b>			
Внесення норми гербіцидів на гектар з розбавленням водою 1:300 л/га	Механізоване приготування робочих розчинів на стаціонарному пункті хімізації з доставкою і зберіганням робочого розчину біля дощувальної машини в спеціальній транспортній ємкості.	СДС-10, ЕЖВ-1,8, РЖТ-4	Гідропідживлювач для «Фрегата» з витратою води 450 л/годину
	Механізоване приготування робочих розчинів на агрегаті АПЖ-12 для групи машин «Фрегат», що працюють одночасно на полі.	РЖТ-4, АПЖ-12	
<b>Друга схема</b>			
Внесення норми гербіцидів на гектар з розбавленням водою 1:25 л/га	Механізоване приготування робочих розчинів на стаціонарному пункті хімізації з доставкою і зберіганням робочого розчину до дощувальної машини у спеціальному транспорті. Те саме на пересувному пункті приготування на групу одночасно працюючих дощувальних машин.	СДС-10, ЕЖВ-1,8, Діжка (0,2–0,3 м <sup>3</sup> )	Модернізований гідропідживлювач для «Фрегата» з витратою води 25–100 л/годину
<b>Третя схема</b>			
Внесення гербіцидів без розбавлення	Внесення (дозування) гербіцидів у формі концентратів емульсій і суспензій		Насос-дозатор з витратою води 1–30 л/годину

Гербігація потребує дотримання заходів загальної та індивідуальної безпеки, що передбачені відповідними санітарними нормами, інструкціями та іншими нормативними документами з техніки безпеки під час зберігання, транспортування і використання пестицидів у сільському господарстві.

З метою охорони навколишнього середовища від забруднення гербігацію можна проводити на зрошувальних системах з глибиною залягання підґрунтових вод не менше 1,6–1,8 м від поверхні. Гербіциди в разі дощування вносять за швидкості вітру до 4 м/с. Після цього забороняється поливати ділянку протягом двох тижнів, щоб запобігти проникненню гербіцидів глибше у ґрунт.

Якщо дотримуватися заходів безпеки, гербігація не має негативного впливу ані на довкілля, ані на обслуговуючий персонал. За дощування концентрація розчинених у воді гербіцидів приблизно у 200–700 разів нижча, ніж для внесення їх тракторними обприскувачами. Традиційною технологією внесення гербіцидів передбачено дозу на один гектар препарату розчиняти в 300 л води, а із застосуванням гербігації – в 70–210 м<sup>3</sup>, наприклад, коли поливають дощувальним агрегатом ДДА-100МА.

У дослідному господарстві НВО «Дніпро» за гербігації дощувальною машиною ДДА-100МА спеціальними приладами в кабіні тракториста не було виявлено парів ептаму (діючої речовини гербіциду ерадикан БЕ), і майже запаху його не було відчутно (Ківер, 1988).

Коли гербіцид вносять тракторними обприскувачами з негайним загортанням у ґрунт дисковими знаряддями, за санітарно-гігієнічними умовами важко знайти в сільському господарстві більш шкідливий технологічний захід. І ще одна важлива обставина на користь гербігації – менше обслуговуючого персоналу контактує з гербіцидами.

Як приклад можна навести практичний досвід використання гербігації у 1980-х роках у Цюрупинському районі Херсонської

області, де використовували 10 дощувальних машин «Фрегат», обладнаних гідропідживлювачами і дозаторами для внесення гербіцидів. Кожна дощувальна машина «Фрегат», яка не була укомплектована гідропідживлювачем, працювала неефективно (Сахаров, 1991).

Залежно від умов приготування і витрати робочої суміші на гектар, форми препарату, засобів механізації, відстані від комплексного пункту хімізації до місця роботи дощувальних машин, технологію гербігації можна організувати за двома схемами:

1) розчин готують централізовано на механізованому комплексному пункті або розчинному вузлі, а потім спеціальним транспортом доставляють до робочої машини. Потім заправляють ємкість мобільного пристрою і дозують робочий розчин у поливний потік води;

2) за іншою схемою гербігація включає такі етапи: доставка пестицидів до мобільного пристрою, що агрегується з дощувальною машиною; заправка ємкості мобільного пристрою гербіцидом; приготування робочого розчину; дозування концентрованого робочого розчину в поливний потік дощувальної машини (Абрамов і др., 1985; Ківер та ін., 2001).

Під час приготування робочого розчину дозу гербіциду розбавляють водою до 10–30 л/га як за першою, так і за другою схемами. За наявності технічних засобів (насоса-дозатора з витратою від 0,5 до 20 л/год.) гербіцид можна вносити нерозбавленим.

У зв'язку з упровадженням інтенсивних технологій вирощування кукурудзи зростає й затрати на застосування гербіцидів у загальних витратах виробництва цієї культури. Так, використання базових і страхових гербіцидів призводить до збільшення виробничих затрат з урахуванням вартості препаратів. З підвищенням рівня хімізації питома частка цих затрат буде збільшуватися. Дослідження показали, що ефективність гербіцидів підвищується за одночасного їх внесення з по-

ливною водою відразу після сівби. Дозоване їх застосування з поливною водою широкогозахватними дощувальними установками забезпечує ефективне знищення бур'янів (Абрамов *и др.*, 1985а; 1985б). Це прискорює на 2–4 дні появу сходів, а також сприяє поліпшенню умов зростання і розвитку кукурудзи. За рахунок вивільнення ряду технологічних операцій (транспортування води або розчину до поля, безпосереднє внесення робочої рідини обприскувачами і загортання у ґрунт

механічними засобами) на кожному гектарі можна зекономити 2,1 кг рідкого палива, або 264 МДж затрат сукупної енергії. Дані НВО «Дніпро» (Кивер *и др.*, 1987) свідчать про те, що собівартість зерна кукурудзи за гербігації знизилася на 5,7%, біоенергетичний коефіцієнт окупності затрат сукупної енергії, що накопичилася у зерні врожаю, зріс за валовою енергією з 3,52 до 3,74, а за обмінною – з 2,65 до 2,82 (табл. 4.32).

Таблиця 4.32

#### Біоенергетична ефективність виробництва кукурудзи за гербігації (1983–1984 рр.)

Показник	Варіант		
	без гербіцидів і засобів механізованого догляду	внесення лассо/атразину, 7 л/га	
		під передпосівну культивуацію	з поливною водою після сівби
Накопичено енергії в зерновій частині врожаю, тис. МДж/га:			
• валової	138,4	166,7	178,9
• обмінної	104,1	125,4	134,6
Затрати сукупної енергії на вирощування і збирання, тис. МДж/га:			
• усього	78,7	83,0	83,9
• у тому числі на застосування гербіцидів		1,7	1,4
Енергоємність виробництва 1 ц зерна, МДж	518	454	428
ККД ефективності виробництва зерна за енергією:			
• валовою	3,09	3,52	3,74
• обмінною	2,32	2,65	2,82

Виконання комплексу весняних польових робіт в єдиному неперервному циклі (внесення і загортання гербіцидів, передпосівний обробіток ґрунту і сівба) обмежує строки їх проведення, а застосування важких тракторів і знарядь часто призводить до ущільнення ґрунту, погіршення його фізичних властивостей і зниження продуктивності кукурудзи. Негативний вплив ходових систем потужних тракторів на вологий ґрунт розповсюджується на глибину до 0,7–0,8 м і спостерігається протягом 2–3 років.

Декілька проходів по тому самому місцю під дією ходових систем тракторів знижували водопроникність чорнозему звичайного на початку вегетації у 90–100 разів, а наприкінці її – у 2–3 рази порівняно з контролем без ущільнення ґрунту (Кивер, 1988). Дані, отримані в наших дослідженнях, підтверджують, що за дворазового проходження по тому самому сліду тракторів ЮМЗ-6л відбувається зниження врожаю зерна кукурудзи на 0,40–0,77 т/га відносно контролю, де ґрунт не ущільнювався. До того ж у посушливих умовах Степу України викори-



стання дискових знарядь підвищує небезпеку висушування посівного шару ґрунту, а високі температури знижують токсичність гербіцидів. Використання наземного способу розпилювання гербіцидів спеціальними вентиляторними установками або авіації для розпилювання зносить краплі всіх фракцій на відстань 1 км і більше. За використання штангових обприскувачів фракції зносить менше – на відстань більше 200 м лише краплі, менші 50 мкм, однак і це є небажаним (Велецький, 1989).

Рівномірність розподілу води і гербіцидів по площі у дощувальних машин за якістю така сама, як і у звичайних тракторних обприскувачів, про що свідчать дослідження ефективності гербігації, проведені раніше (McMaster, 1977).

Згідно з даними закордонних дослідників, коефіцієнт рівномірності розподілу хімікатів з водою перевищував 90% (Frey, 1982).

У наших дослідженнях ефективності гербігації під час вирощування кукурудзи

проводили оцінку переміщення гербіцидів у ґрунті протягом вегетаційного періоду (Кивер і др., 1984, 1985). Разом з громіздким і затратним методом хроматографії в дослідах застосовували більш простий, дешевий і доступний біологічний спосіб. Закладали спеціальні майданчики розміром 2×2 і 1×1 м<sup>2</sup>; щоб запобігти переливанню води, використовували квадратні рамки з листового заліза заввишки 35–40 см. Наявність гербіцидів, внесених з поливною водою, встановлювали за допомогою рослин-тестерів (просо, огірок), що реагують на присутність препаратів у ґрунті зниженням схожості насіння і зменшенням інтенсивності процесів проростання. Із проб ґрунту, що відбирали буром, формували наважки по 60 г і перекладали в чашки Петрі, зволожували їх до стану густої маси і висівали по 30 насінин проса або по 20 – огірка. Розподіл гербіцидів встановлювали за кількістю насінин проса, що проросли, і довжиною паростків (табл. 4.33).

Таблиця 4.33

**Розподіл гербіциду ерадикан за гербігації посівів кукурудзи, 1982 р.**  
(Кивер і др., 1984, 1985)

Шар ґрунту, см	Контроль (без гербіцидів)		Гербігація			
	кількість насіння, що зійшло, шт.	довжина паростків, см	кількість насіння, що зійшло, шт.	% до контролю	довжина паростків, см	% до контролю
До вегетаційного поливу						
0–5	26	7,5	21	80,7	4,6	61,3
5–10	25	6,1	23	92,0	6,3	103,2
10–20	29	6,5	30	103,4	6,4	98,4
20–30	28	5,2	27	96,4	6,0	115,3
30–50	28	6,0	30	107,1	6,8	113,3
Після двох вегетаційних поливів						
0–5	21	6,7	16	76,2	3,1	46,3
10–20	23	6,1	14	60,9	4,2	58,9
20–30	23	5,5	13	56,5	5,3	96,3
30–50	27	5,9	25	96,2	5,9	100,0
50–70	26	6,2	17	65,4	4,0	64,5
70–90	29	5,7	24	82,8	6,3	110,5

Через три тижні після внесення гербіциду (7 л/га) з поливною водою було встановлено зниження схожості насіння проса в шарі ґрунту 0–5 см на 19,3%, а довжини паростків – на 38,7% порівняно з контролем. Спостерігали, що безпосередньо після гербітації препарат концентрувався переважно у верхньому шарі ґрунту (0–10 см), тобто там, де знаходиться основна маса насіння бур'янів. До проведення вегетаційних поливів гербіциди повільно переміщувалися у глибину ґрунту, тому протягом 1,5–2 місяців вони ефективно боролися з бур'янами. Після першого поливу або після сильного дощу гербіциди проникали у ґрунт на глибину 60–90 см, що знижувало їх токсичність у верхньому шарі.

У публікаціях деяких учених зазначено, що гербіциди, внесені з поливною водою, концентруються в зоні активного проростання більшості видів бур'янів, тобто в шарі ґрунту 0–15 см (Угрюмов и др., 1984; Кушков, 1988). За цих умов утворюється гербіцидний екран з однаковою концентрацією препарату по профілю ґрунту.

З метою забезпечення потрібної глибини розміщення гербіцидів і створення гербіцидного екрана необхідно враховувати здатність препаратів пересуватися по профілю ґрунту за різних поливних норм, гранулометричний склад і властивості ґрунту, його вологість у період внесення тощо (Dowler, 1984).

Виникає питання – наскільки гербітація є небезпечною у зв'язку з переміщенням поливної води по профілю ґрунту, оскільки відомо, що рекомендовані норми поливу для кукурудзи в умовах Степу становлять 500–600 м<sup>3</sup>/га. Вивченню цієї проблеми присвячено багато ґрунтовних досліджень (Абрамов и др., 1985; Абрамов, Ивашкин, 1988; Комплексное применение..., 1988; Кушков, 1988).

Дослідження показали, що ефективність препаратів залежить від встановлених поливних норм. Урожайність зерна кукурудзи досягала максимуму за внесення суміші

з емкостей ерадикану з симазиним (6 л/га + 1,5 кг/га) з нормою води 125–150 м<sup>3</sup>/га, примекстри – 175–200, лассо/ атразину – 150 м<sup>3</sup>/га. Було встановлено також, що за гербітації з нормою поливу 100 і 150 м<sup>3</sup>/га 90–100% гербіциду локалізувалося в шарі 0–10 см, а за поливної норми 200 м<sup>3</sup>/га 20% ерадикану виявили в шарі 20–30 см. Коли вносили препарат з поливною нормою 400 і 600 м<sup>3</sup>/га на супіщаних і 300 м<sup>3</sup>/га на середньосуглинкових ґрунтах, за межі шару ґрунту 0–30 см вимивалося 30–60% сумарної дози препарату (Кушков, 1988).

За узагальненими даними, внесення гербіцидів з водою дощуванням необхідно проводити поливними нормами, що забезпечують розміщення препарату на потрібну глибину без утворення стоку по поверхні: на легких за гранулометричним складом ґрунтах – 150–200, на середніх – 200–230, на важких – до 250 м<sup>3</sup>/га (Сахаров, 1991).

Під дією гербіцидів, внесених з поливною водою, розширюється спектр знищуваних бур'янів. Так, внесення з поливною водою суміші ерадикану із симазиним (6 л/га + 1,5 кг/га) із 27 видів бур'янів знищило 22, а за традиційного способу внесення – 17. У разі внесення з поливною водою ерадикану (6 л/га) пригнічувалося дев'ять видів, а коли збільшували дозу до 8 л/га – 15 видів бур'янів (Aldrich et al., 1982). Високу ефективність гербітації встановлено і рядом закордонних дослідників (Callihan, McMaster, 1977; Dowler et al., 1982; Banks, Dowler, 1984). Було виявлено, що багато гербіцидів, які є токсичними для кукурудзи у звичайних концентраціях, із внесенням їх з поливною водою ставали нешкідливими (Aldrich et al., 1982).

За результатами наших досліджень встановлено, що під дією гербітації підвищується ефективність гербіцидів. Якщо без гербіцидів і заходів механізованого догляду забур'яненість посівів кукурудзи варіювала в межах від 150 до 550 шт./м<sup>2</sup>, то в разі внесення і розподілу в поверхневому шарі

грунту з поливною водою гербіциди знищували 90–95 % бур'янів, і на момент збирання врожаю їх залишалось не більше 15–25 рослин на квадратному метрі (*Кивер, Сахаров, 1987*).

Порівняльна оцінка різних способів внесення гербіцидів показала переваги гербігації відносно традиційного обприскування (*Кивер и др., 1984, 1985; Сахаров, 1991*).

Дозоване внесення гербіцидів одночасно з дощуванням не тільки підвищувало їх ефективність, але і прискорювало появу сходів, поліпшувало умови росту і розвитку рослин на початку вегетації, сприяло підвищенню врожайності зерна різних гібридів. Без гербіцидів, але з механізованим обробітком міжрядь, урожайність зерна в середньому за 1984–1985 рр. становила 8,99–9,65 т/га. Внесення гербіцидів традиційним способом забезпечувало підвищення врожайності зерна на 0,24–0,90 т/га, а поєднання гербігації з механізованим доглядом – на 0,89–1,43 т/га (*Кивер, Сахаров, 1987*).

У дослідях УкрНДІ зрошуваного землеробства (1980–1983 рр.) випробування нових способів внесення гербіцидів проводили на темно-каштанових слабосолонцюватих ґрунтах, південних чорноземах і чорноземах осолоділих у Херсонській області. Гібрид кукурудзи Краснодарський 303ТВ вирощували із внесенням гербіцидів ерадикан, алірокс, примекстра і ласо/атразин нормою 4 і 6 л/га з поливною водою після сівби дощувальними машинами «Фрегат» і ДДА-100МА. Витрата робочого розчину при внесенні гербіцидів обприскувачем ПОУ становила 300–400 л/га, а з поливною водою – 150–200 м<sup>3</sup>/га (*Заверюхин и др., 1985*). У цих дослідженнях ефективність гербігації була така сама, як із використанням обприскувача ПОУ: 85–95%. На полях, засіяних кукурудзою, життєдіяльність ґрунтових мікроорганізмів не пригнічувалась, а чисельність корисних бактерій і грибів збільшувалась у червні вдвічі порівняно з травнем. Гербіциди не впливали ні на вміст поживних речовин у ґрунті, ні на біо-

хімічний склад зерна. Не було виявлено негативного впливу гербігації на чисельність і активність мікроорганізмів у ґрунті і в інших дослідженнях (*Угрюмов и др., 1984; Лысенко и др., 1986*).

У виробничих дослідях із застосування гербігації на вирощуванні кукурудзи, які проводили в Одеській області, гербіциди вносили за допомогою дощувальної машини «Волжанка» поливною нормою 180–200 м<sup>3</sup>/га. Використовували гербіциди ерадикан, ласо + атразин і зеазин. Приріст урожаю зерна кукурудзи в результаті захисту посівів від бур'янів за допомогою гербігації становив 240 кг/га порівняно з традиційним обприскуванням (*Топилин, Топилина, 1985*).

На дослідній станції прибережних рівнин у м. Тіфтон (штат Джорджія, США) оцінювали ефективність досходового і післясходового внесення з поливною водою 28 різних гербіцидів, вирощуючи польові і овочеві культури на піщаних і супіщаних ґрунтах. Встановлено, що за внесення гербіцидів з поливною водою до появи сходів бур'яни гинули так само, як і за внесення їх способом обприскування. Стійкість культурних рослин до гербіцидів, які вносили з поливною водою, була вищою, ніж за обприскування (*Herbigation tips..., 1984*).

Викликають інтерес результати, які отримали в дослідях (США, 1986 р.) з вивчення і порівняння ефективності традиційного способу внесення гербіцидів і гербігації під час вирощування кукурудзи (*Chemigating..., 1987*). Традиційним способом тут вносили гербіциди перед сівбою (дуал і атразин по 1,8 кг/га) і культивуацією (трефлан у дозі 2,5 кг/га), коли рослини кукурудзи досягали у висоту 25–30 см, а бур'яни – 10–13 см. Гербіциди з поливною водою вносили відразу після культивуації або до і після неї половинними дозами. За гербігації не тільки ефективніше знищувалися бур'яни, але й витрачалось менше часу і ресурсів. Проведення лише однієї культивуації виявилось значно дорожчим, ніж внесення гербіцидів. Зазначено також,

що гербігація запобігала проростанню нового покоління бур'янів.

У наших дослідженнях внесення гербіцидів традиційним способом і разом з поливною водою зумовлювало підвищення врожайності зерна на 11,1–11,7 ц/га порівняно з контролем (без гербіцидів) (Кивер та ін., 2001). При цьому вміст хімічних компонентів у зерні кукурудзи під дією гербіцидів суттєво не змінювався (табл. 4.34).

Таким чином, внесення гербіциду ласо/атразину нормою 7 л/га з поливною водою (гербігація) підвищувало врожайність зерна кукурудзи (табл. 4.34), не погіршувало

його енергетичної і протеїнової поживності, не змінювало вмісту хімічних компонентів, а також підвищувало вихід поживних речовин (Кивер та ін., 2001).

Аналіз численних літературних джерел свідчить про те, що за вивчення технологій гербігації велику увагу приділяють їх економічній оцінці і біоенергетичній ефективності.

У багатьох випадках показано, що внесення ґрунтових гербіцидів з поливною водою значною мірою підвищує ефективність використання зрошуваних земель.

Таблиця 4.34

**Урожайність і хімічний склад зерна гібрида Дніпровський 758 залежно від способів внесення гербіцидів на фоні азотних добрив (N<sub>200</sub>), (середнє за 1986–1992 рр.)**

Варіант	Урожайність зерна, ц/га	Вміст у сухій речовині, %				
		золи	протеїну	жиру	клітковини	БЕР
Без гербіцидів (контроль)	85,8	1,5	10,2	3,4	2,8	81,2
Внесення гербіцидів традиційним поверхневим способом	96,9	1,6	9,8	3,2	3,0	81,9
Внесення гербіцидів з поливною водою	97,5	1,5	10,6	3,8	3,0	81,6
НІР <sub>0,5</sub> –2,6 ц/га						

Фахівці із США вважають, що за рахунок відмови від прийомів механічного загорання хімікатів у ґрунт на кожному гектарі можна зекономити до \$20 (Herbigation, 1983).

За даними Рона Ларсена (1985), затрати на внесення засобів хімізації з поливною водою виявилися значно нижчими, ніж за традиційного способу їх внесення (табл. 4.35).

Результати проведених досліджень показують, що освоєння і впровадження гербігації при вирощуванні кукурудзи в умовах зрошення тільки у Степу України дозволить збільшити валовий збір зерна цієї культури на 140–150 тис. тонн і одержати значний економічний ефект (Кивер і др., 1987).

Виробнича перевірка внесення гербіцидів з поливною водою, яка проводилась у 1984–

1985 рр. у Херсонській, Дніпропетровській областях і в Суворовському районі Молдови на площі 10 тис. га, показала, що приріст урожайності зерна варіював від 5 до 12 ц/га, затрати праці скорочувались у 4–5 разів, на 5–9 кг/га знижувались витрати пального, забрудненість повітря зменшувалась у 10 разів, у 6 разів менше працівники контактували з гербіцидами (Ивашкин и др., 1987).

У наших дослідках на вирощуванні кукурудзи без гербіцидів і прийомів механізованого догляду, енергоємність виробництва 1 ц зерна становила 518 МДж, а за внесення гербіциду ласо/атразин у нормі 7 л/га під культивування перед сівбою і з поливною водою після сівби – 454 і 428 МДж відповідно (табл. 4.35) (Кивер і др., 1987).

Таблиця 4.35

## Затрати на хімігацію і внесення хімікатів традиційним способом, \$/га

Хімічний засіб	Традиційний спосіб внесення	Хімігація	Кількість використаної води, мм
Добрива	6,2	5,6	13
Гербициди	14,0	4,5	10
Інсектициди	5,6	1,7	4
Фунгіциди	5,6	1,7	4
Нематоциди	14,0	5,6	13

Висока енергетична ефективність гербігації була доведена і в повторних посівах кукурудзи (Кивер, Конопля, 1988; Конопля, 1990).

Агрономічні, агроекологічні і економічні переваги гербігації перед традиційними способами дозволяють рекомендувати її як невід'ємний прийом боротьби з бур'янами в посівах кукурудзи на зрошуваних землях (Кивер і др., 1984).

Вивчення технології внесення гербицидів з поливною водою в умовах науково-виробничих дослідів і широке впровадження її в різних країнах світу і в Україні в тому числі дозволяють зробити висновок, що комплексне внесення засобів хімізації з водою дощувальною технікою порівняно з традиційними технологічними прийомами значно збільшує вихід сільськогосподарської продукції і підвищує ефективність використання поливного гектара.

#### 4.7.4. Рідкі комплексні добрива, мікроелементи і меліоранти в агротехнології кукурудзи на поливі

В одержанні високих і сталих урожаїв кукурудзи на зрошуваних землях важлива роль належить рівню забезпеченості ґрунту макро- (N, P, K) і мікроелементами (Zn, Cu, Mn, Co, Mo, B) (Podlesak, Krähmer, 1985; Анспок, 1990). Достатня кількість для рослин основних елементів живлення збільшує винесення мікроелементів з ґрунту. Незабезпеченість рослин мікроелементами

призводить до порушення обміну речовин, зниження врожайності, а також погіршення якості продукції. За нестачі мікроелементів у ґрунті знижується на 10–15% ефективність використання азотних, фосфорних і калійних туків. Мікроелементи можна вносити безпосередньо у ґрунт, обробляти насіння перед сівбою розчинами і порошками, проводити позакореневе підживлення рослин.

Вносити мікроелементи у ґрунт найкраще з поливною водою, особливо за способу дощування, тому що забезпечується висока точність їх дозування і рівномірність розподілу, механізація і автоматизація керування процесом внесення.

Коли рослини повністю забезпечені мікроелементами, вони стають холодо-, посухо- і солестійкими, менш уразливими до хвороб і шкідників, більш стійкими до вилягання. Внесені з поливною водою мікроелементи міді, цинку, кобальту, молібдену прискорюють біохімічні реакції в рослинах і ґрунті, стимулюють біологічну активність ґрунту.

У польових дослідях, проведених на зрошуваній ділянці дослідного поля Інституту кукурудзи (нині – Інститут зернових культур НААН України), вивчали вплив способів застосування Zn і Mn (внесення у ґрунт нормою 6 і 10 кг/га; обробка насіння перед сівбою 0,1%-ним розчином) на інтенсивність росту, структуру і врожайність зерна гібрида кукурудзи Дніпровський 50 з густотою рослин 60 тис./га. На фоні внесення високих доз мінеральних добрив (N<sub>180</sub>P<sub>90</sub>) мікроелементи

сприяли посиленню інтенсивності ростових процесів, поліпшенню компонентів структури, підвищенню продуктивності зерна. У разі внесення у ґрунт Zn і Mn (дозою 10 кг/га кожного елемента) урожайність зерна зростала в середньому на 0,35–0,45 т/га порівняно з контролем, на якому врожайність становила 8,69 т/га. Застосування вказаних мікроелементів розглядалося нами як додатковий прийом підвищення продуктивності зерна кукурудзи і рекомендувалося для програмування її врожаїв в умовах зрошення разом із внесенням основних елементів живлення (N, P, K) (Кивер, Квятковський, 1984; Квятковський, 1988).

Підвищення продуктивності кукурудзи на зрошуваних землях значною мірою забезпечується збалансованим живленням рослин макро- і мікроелементами. У зв'язку з цим у польових умовах на фоні доз мінеральних добрив, розрахованих на врожай 10 т/га зерна, вивчали вплив різних за вмістом і способом використання мікроелементів на вміст хлорофілу і активність нітратредуктази в листках кукурудзи.

Дослідженнями встановлено позитивний вплив цинку, марганцю і особливо комплексного поєднання цинку, марганцю, молібдену на утворення хлорофілу і активність ні-

тратредуктази. Збалансоване мінеральне живлення кукурудзи макро- і мікроелементами в умовах зрошення має вагомое значення в життєдіяльності рослин, сприяє активізації ферментів, підвищенню вмісту хлорофілу в листках і врожаї зерна (Квятковський, Кивер, 1984).

Прогресивним напрямом стало внесення мікроелементів з поливною водою спеціальними пристроями (Рекомендації..., 1985; Абрамов і др., 1985). Передумовою для розробки і освоєння технології внесення мікроелементів з водою способом дощування стали багаторічні дослідження з кукурудзою (Абрамов, Івашкин, 1988; Комплексное применение..., 1988).

Внесення мікроелементів з поливною водою дощувальними машинами дає можливість точного дозування мікродобрив, забезпечує високу рівномірність їх розподілу по площі. При цьому поживні речовини можна вносити в ті періоди вегетації, коли рослини відчують у них максимальну потребу.

З поливною водою можна вносити практично всі мікродобрива, солі яких розчиняються частково у воді (табл. 4.36). Однак перевагу віддають повністю розчинним у воді сполукам: борній кислоті та молібдату амонію.

Таблиця 4.36

**Основні сполуки, рекомендовані для внесення як мікродобрива з поливною водою**  
(Абрамов, Івашкин, 1988)

Сполука	Вміст основного елемента, %	Сполука	Вміст основного елемента, %
Бору: бура борна кислота	B 11 17	Заліза: сульфат заліза хелати заліза	Fe 19–23 22
Молібдену: молібдат амонію молібдат натрію	Mo 54 37–39	Цинку: сульфат цинку сульфат цинку хелати цинку	Zn 25–55 9–51 9–51
Міді: сульфат міді закис міді окис міді хелати міді	Cu 25–35 89 75 13–19	Марганцю: сульфат марганцю окис марганцю хелати марганцю	Mn 26–28 10–12 17

У процесі вирощування кукурудзи рекомендують вносити суміші мікроелементів у дозі 10–15 г/га у фазі 8–10 листків і в період викидання і квітування волотей (Абрамов, Івашкин, 1988).

Мікроелементи, які вносили у ґрунт з добривами до сівби або з поливною водою в період вегетації, підвищували вміст білка в зерні, стеблах і в листі. Кращого ефекту досягли за внесення трьох мікроелементів – цинку, марганцю і молібдену. У результаті їх дії зростала врожайність зерна кукурудзи і вміст білка в ньому (Квятковский, 1990).

Науковцями різних установ були розроблені і рекомендовані до впровадження два технологічних варіанти забезпечення рослин мікроелементами під час дощування: перший – використання легкокорозчинних солей мікроелементів для внесення гідропідживлювачами, а другий варіант передбачає подачу мікроелементів у потік поливної води за допомогою спеціального пристрою-дозатора (*Комплексное применение...*, 1988). Внесення мікроелементів за другим варіантом є більш раціональним, оскільки забезпечується автономна система введення мікроелементів у дощувальну машину разом з макроелементами у вигляді розчинених мінеральних добрив. Спеціальний пристрій для забезпечення подачі мікроелементів і поливний потік дозволяє отримати електролізним способом мікроелементи цинку, міді, молібдену і кобальту (анодне розчинення металів). Пристрій можна встановити як на самій дощувальній машині, так і на будь-якій ділянці зрошувальної мережі. Продуктивність цього пристрою становить 1,0–1,5 г мікроелементів на одну годину роботи.

Для виробничих умов рекомендується продуктивність пристрою анодного розчинення металів у середньому 5 г/год., враховуючи співвідношення Zn, Cu, Mo, Co як 1:1:0,3:0,1 (*Комплексное применение...*, 1988).

Внесення необхідної норми мікроелементів за допомогою пристроїв анодного розчинення металів визначається рядом факторів: продуктивністю пристрою (г/год.), про-

дуктивністю дощувальної машини (га/год.), поливною нормою (м<sup>3</sup>/га), кількістю поливів з мікроелементами у відповідні фази розвитку рослин. За відомої годинної продуктивності можна вносити норму мікроелементів на гектар. Наприклад, дощувальними машинами «Фрегат», «Дніпро» 5 г мікроелементів з одним поливом нормою 300 м<sup>3</sup>/га, 10 г – з двома поливами нормою по 300 м<sup>3</sup>/га або з одним – нормою 600 м<sup>3</sup>/га. Електрифікована дощувальна машина фронтальної дії «Кубань», що обладнана одним пристроєм, 5 г вносить з одним поливом 600 м<sup>3</sup>/га або з двома поливами по 300 м<sup>3</sup>/га. За невеликих поливних норм (150–200 м<sup>3</sup>/га) рекомендовані дози мікроелементів вносять у необхідні фази розвитку рослин за декілька поливів. Оптимальний режим роботи установки з витратою металів 5–6 г/год. забезпечується силою струму 6–7,5 А з напругою 24–36 В. Вносять мікроелементи в  $2 \cdot 10^{-6}$  –  $8 \cdot 10^{-7}$ %-ному водному розчині, який нетоксичний для листової поверхні і кореневої системи рослин і не впливає на до-вкільля.

Значні площі кукурудзи, що розміщені в Україні на солонцевих ґрунтах, поливають різного ступеня мінералізованими водами. Широка практика показала, що зрошення мінералізованими водами завжди супроводжується осолонцюванням з погіршенням фізичних властивостей і різким зниженням родючості ґрунту. Застосування гіпсу під час поливів мінералізованими водами є достатньо відомим прийомом у практиці зрошувального землеробства (Можейко, 1946; Kelley, 1951).

Незважаючи на проведені роботи в Україні та за кордоном у галузі хімічної меліорації зрошуваних ґрунтів і вод, ця проблема й дотепер залишається недостатньо вивченою. Немає однозначного вирішення питання про доцільність та ефективність гіпсування чорноземів за слабого ступеня осолонцювання (Полупан, 1994), не визначено підходи до розрахунку доз меліорантів, недостатньо висвітлено кількісну взаємодію гіпсу з ґрунтом і водою, майже не відпрацьовано екологічні аспекти застосування меліо-

рантів, що обумовлює необхідність пошуку нових, ефективніших з позиції ресурсо- і енергозбереження та екологічної чистоти. Практично відсутній досвід хімічної меліорації зрошуваних чорноземів типових у разі використання для зрошення води різних класів придатності.

Необхідність проведення хімічної меліорації зрошуваних земель зумовлена осолонцюванням ґрунтів та їх агрофізичною деградацією – ущільненням, знеструктуренням, кіркоутворенням тощо.

Механізм дії меліорантів полягає у витісненні (або створенні перешкоди для надходження) натрію у ґрунтовий поглинальний комплекс (ГПК), завдяки чому змінюється цілий ряд властивостей ґрунту (водних, фізичних, повітряного й поживного режимів тощо) у напрямі, сприятливому для підвищення продуктивності культурних рослин. Унаслідок витіснення з ГПК натрію кальцієм або іншими дво- чи тризарядними катіонами знижується рухомість ґрунтових колоїдів, зменшується лужність, підвищується доступність для рослин азоту, фосфору, калію і

кальцію, активізуються мікробіологічні процеси у ґрунті (Гедройц, 1955; Онопрієнко, Макарова, 2013).

Для хімічної меліорації вод і ґрунтів використовують речовини або суміші речовин природного чи техногенного походження, діючим агентом яких є катіони  $\text{Ca}^{2+}$  (гіпс, фосфогіпс, крейда, вапняки, кальцієва селітра, хлорид кальцію, залізокальцієві шлами, породи тощо) (Зрошувани землі..., 2001).

Існуюча технологія внесення хімічних меліорантів заснована на розсіюванні їх у сухому вигляді по поверхні ґрунту з подальшим загортанням в орний шар (Абрамов, Івашкин, 1988). Найчастіше для хімічної меліорації застосовують фосфогіпс, який є побічним продуктом виробництва  $\text{H}_3\text{PO}_4$  з фосфоритного борошна із застосуванням  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . З цією метою застосовують також залізний купорос, гіпс перемелений та інші меліоранти. Висока ефективність фосфогіпсу була встановлена рядом досліджень, у тому числі і нашими багаторічними дослідженнями на чорноземах звичайних на зрошенні (табл. 4.37).

Таблиця 4.37

Вплив фосфогіпсу на врожайність зерна кукурудзи, т/га

Варіант	Рік досліджень					Середнє
	1981	1982	1983	1984	1985	
Без фосфогіпсу (контроль)	9,74	8,38	9,54	10,94	9,08	9,54
Фосфогіпс під культивування перед сівбою дозою 4 т/га	10,87	9,12	10,6	10,56	9,51	10,13

У досліджах на темно-каштанових слабосолонцюватих ґрунтах в умовах Херсонської області вивчали можливість застосування відходів промисловості як хімічних меліорантів. Внесення оптимальної дози білого шламу (3 т/га) забезпечувало підвищення врожайності зерна кукурудзи на 1,77 т/га, або на 28,1%, порівняно з контролем (без внесення меліоранта). Сірчанокисле залізо в дозі 6 т/га підвищувало врожайність на 1,11 т/га (21,8%), а фосфогіпс такою самою дозою – на 1,25 т/га (24,5%). Урожайність зерна кукурудзи за внесення білого шламу

в дозі 3 т/га становила 6,54, а фосфогіпсу в дозі 6 т/га – 6,3 т/га. Після внесення чорного шламу в дозах 100–200 кг/га продуктивність кукурудзи зростала на 1,12–1,15 т/га. Між цими хімічними засобами були встановлені різні ступені впливу на характер обмінних реакцій за контакту з ґрунтом. Було зроблено висновок, що використання білого і чорного шламу, сірчанокислового заліза на темно-каштанових слабосолонцюватих ґрунтах як хімічних меліорантів забезпечує утилізацію відходів промисловості і підвищення про-



дуктивності сільськогосподарських культур (Семенов, 1988).

З метою збереження і підвищення родючості зрошуваних земель все ширше застосовують спосіб внесення хімічних меліорантів з поливною водою (Ивашкин, Хайдарова, 1985; Абрамов, Ивашкин, 1988). Для цього використовують дощувальні машини «Фрегат», «Дніпро» та інші в поєднанні з гідромеліоративною установкою-дозатором типу ГУД-30 «Геничанка», що може працювати як на закритій, так і відкритій зрошувальній мережі (Ушкаренко, 1994).

Хімічні меліоранти (гіпс, фосфогіпс, залізний купорос, сірчана кислота та ін.) з поливною водою сприяють збільшенню вмісту кальцію в ГПК на 2,1–4,7%, водоутримувальних агрегатів – на 1,6–19,7%, водопроникності – в 1,4–1,7 рази, загальної кількості мікроорганізмів – у 1,5–2,0 рази за одночасного зниження вмісту обмінного натрію на 1,5–3,0%, дисперсності – на 1,0–2,7 абс.%, зменшення об'ємної маси з 1,40–1,41 до 1,25–1,28 г/см<sup>3</sup> (Сафонова, Лактионов, 1985).

Поліпшення властивостей ґрунту сприяє підвищенню його родючості і продуктивності сільськогосподарських культур. Внесення з поливною водою хімічних меліорантів на темно-каштанових вторинно осолонцюваних ґрунтах Інгулецького зрошуваного масиву обумовлювало підвищення прямою дією і післядією врожайності пшениці озимої на 3,5–4,6, кукурудзи на зелений корм – 21–100, сої – на 2,1–3,8 ц/га за врожайності на контролі відповідно 41–43, 450–480 і 24–29 ц/га (Сафонова, Лактионов, 1985).

У стаціонарному польовому досліді в Павлоградському районі Дніпропетровської області протягом 1983–1984 рр. вивчали вплив різних форм мінеральних добрив і фосфогіпсу на врожайність зерна кукурудзи, яку поливали мінералізованими водами (Заренцев и др., 1985). Норма азотних добрив становила 180, а фосфорних – 90 кг/га. Фосфогіпс вносили нормою 5 т/га восени по зораному полю. Внесення фосфогіпсу підви-

щувало врожайність зерна в середньому на 0,40–0,74 т/га порівняно з контролем (без добрив). Приріст врожаю, залежно від форм добрив, на фоні фосфогіпсу становив 1,09–2,18, а без нього – 1,09–1,84 т/га. Застосування N<sub>м</sub> і кальцієвої селітри з поливною водою за вегетаційних поливів підвищувало врожайність зерна на 1,41–1,53 т/га відносно варіанта, де не вносили ні добрив, ні фосфогіпсу. Сумісна дія добрив і фосфогіпсу забезпечувала підвищення врожайності на 1,49–2,58 т/га до контролю. Максимальної врожайності зерна (7,76–8,06 т/га) досягали за внесення N<sub>м</sub> і кальцієвої селітри в поєднанні із суперфосфатом і фосфогіпсом (Покутнев, 1988).

Дослідженнями, проведеними на Краснознам'янській зрошувальній системі в Херсонській області, встановлено, що на поливних темно-каштанових солонцюватих ґрунтах із середнім вмістом рухомого фосфору в комплексі із солонцевими плямами (10–30%) у рік внесення фосфогіпсу, з агрономічної і економічної точок зору, доцільно вносити під кукурудзу на силос рекомендованою нормою тільки азотні та калійні добрива (Заренцев и др., 1985).

Дози хімічних меліорантів під час зрошення дощуванням визначають різними методами і залежно від допустимої концентрації для рослин і поливної техніки. Для типових солонців їх розраховують за поглиненим Na, а для малонатрієвих солонців – за межею коагуляції водно-пептизованого мулу (Абрамов, Ивашкин, 1988).

Суміщення операцій поливу і внесення меліорантів не тільки обумовлює підвищення врожайності кукурудзи та інших культур, але і забезпечує підвищення продуктивності праці, дозволяє економити меліоранти (Комплексное применение..., 1988).

Ідея використання азотної кислоти – HNO<sub>3</sub> – як азотного добрива і засобів мобілізації основних елементів живлення у процесі вирощування кукурудзи на зрошуваних землях виникла в нас після наукових публікацій В.І. Бгатова (1985, 1986). Ідея полягає в тому, що разом з дощовою водою у ґрунт

надходить слабоконцентрована азотна кислота, яка здатна розчиняти практично всі матеріали літосфери і вивільняти потрібні рослинам поживні речовини. Кожен грам  $\text{HNO}_3$  може розкласти 4,4 г калієвих польових шпатів з утворенням 2 г каолініту, 1,9 г кремнезему і 1,6 г азотнокислого калію.

У дослідях Сибірського НДІ геології, геофізики і мінеральної сировини проводили поливи томату в період їх росту і розвитку розчином  $\text{HNO}_3$  такої самої концентрації, як і грозових злив на батьківщині томату в Перу, що підвищувало врожай продукції в 1,5 раза порівняно з контролем (Бгатов, 1985). Позитивні результати отримали в дослідях і з іншими культурами (Назаров, Самохвалова, 1987).

Пошук шляхів підвищення врожайності кукурудзи на зрошуваних землях обумовив постановку нами спеціальних дрібноділянкових дослідів з вивчення можливості використання розчину  $\text{HNO}_3$  різної концентрації як джерела живлення азотом і мобілізації недоступних рослинам фосфору і калію з чорноземних ґрунтів. З цією метою під час вегетаційних поливів разом з поливною водою вносили азотну кислоту різної концентрації: 0,01, 0,001 і 0,0001 % (норма  $\text{N}_{180}$ ,  $\text{N}_{18}$ ,  $\text{N}_{1,8}$ ). Дослідами доведено, що використання  $\text{HNO}_3$  з концентрацією 0,0001–0,01 % не викликає опіків рослин кукурудзи, а концентрацією  $\text{N}$  0,01 % сформувався врожай зерна, як і за рекомендованої для зрошуваної кукурудзи норми азотних добрив  $\text{N}_{180}\text{P}_{90}$ .

Зниження норми  $\text{N}$ , внесеної у вигляді розчину  $\text{HNO}_3$ , із  $\text{N}_{180}$  до  $\text{N}_{18}$  і  $\text{N}_{1,8}$  супроводжувалося зменшенням середньої врожайності зерна з 10,79 до 8,96 і 7,43 т/га відповідно. Внесення розчиненої  $\text{HNO}_3$  із поливною водою на фоні оптимального забезпечення мінеральними добривами не забезпечувало подальшого приросту врожаю. За найвищої норми  $\text{HNO}_3$  з концентрацією у поливній воді 0,01 % в поєднанні з нормою внесених мінеральних добрив  $\text{N}_{180}\text{P}_{90}$  спостерігали зниження рівня продуктивності зерна, що було обумовлено надлишком  $\text{N}_a$  у

ґрунтовому розчині і деяким пригніченням рослин кукурудзи.

Дослідами, проведеними у 1989 році, було встановлено, що за внесення  $\text{HNO}_3$  з поливною водою рН ґрунту змінювався на короткий термін і незначно. Розчин азотної кислоти впливав на динаміку вмісту у ґрунті основних елементів живлення.

Таким чином, можна зробити висновок, що слабоконцентрована азотна кислота є перспективним азотним добривом для кукурудзи на поливних землях. Штучний кислотний дощ з концентрацією  $\text{NO}_3$  0,6–9,06 г/л не тільки підвищує врожайність, але є ще й екологічно безпечним. Під впливом азотної кислоти поживні речовини вивільнюються з мінералів економно, у кількостях, потрібних рослині.

Однак складна логістика від концентрованої азотної кислоти в залізничній цистерні ємкістю 60 м<sup>3</sup> до дощувальної машини на зрошуваному полі ще потребує свого вирішення.

#### 4.7.5. Біоенергетична оцінка агротехнології кукурудзи на поливі

Метод економічної оцінки ефективності виробництва сільськогосподарських культур шляхом порівняння вартісних і трудових витрат за ринкових відносин не завжди дає об'єктивні показники. На практиці використовують такі вартісні форми, як валовий і чистий дохід, виробничі витрати, прибуток тощо, але на ці показники також суттєво впливають ціни. В умовах ринкової економіки співвідношення цін на енергоносії, сільськогосподарську і меліоративну техніку, добрива, пестициди і продукцію сільськогосподарства знаходиться в постійній динаміці. Причому економічні реформи в нашій країні призвели до диспаритету цін не на користь останніх. Наслідком цього є постійне коригування ефективності систем землеробства за існуючими методиками і неможливість об'єктивного зіставлення рівня рента-

бельності наукових досліджень, які імплементуються в аграрне виробництво нині, з тими, що досліджувалися раніше.

Грошові оцінки природних ресурсів неадекватно відображають їх реальну вартість, оскільки в них не враховано внесок накопичень відновлювальних джерел. Інтенсифікація сільського господарства призвела до створення складного виробництва, кожен технологічний елемент якого потребує значних енергетичних витрат. За постійно зростаючої енергоемності аграрного виробництва зменшується відносна величина створеного продукту (вихід продукції на одиницю витраченої енергії), незважаючи на зростання отриманої продукції (*Методические рекомендации...*, 1988, 1991; *Моисеенко и др.*, 2004). У зв'язку з цим у світовій практиці широкого розповсюдження набула біоенергетична оцінка технологій вирощування сільськогосподарської продукції, що відображає результативність споживання енергетичних ресурсів (*Energy and Agriculture*, 1976; *Aldrich et al.*, 1982).

Біоенергетична оцінка технологій виробництва сільськогосподарської продукції є необхідною і пояснюється певними особливостями:

- в аграрному виробництві поряд з технічною енергетикою використовують і елементи біоенергетики (земля, вода, рослини, тварини), тому методи оцінки енергосистем у сільському господарстві відрізняються від аналітичних методів у промисловості;
- неможливо отримати і порівняти результати оцінки сільськогосподарського продукту, який вироблений в різних природно-кліматичних умовах, з різним біоенергетичним потенціалом, питомими енергозатратами, що визначаються віддаленістю джерел постачання виробничих ресурсів, тощо. У зв'язку з цим потрібна диференційована біоенергетична оцінка технологій виробництва;

- порівнюючи повний енергобаланс сільськогосподарського об'єкта, як вхідні потоки розглядають енергозатрати технічної і біологічної енергетики, а на виході – енергоемність готового продукту з урахуванням втрат і перетворення енергії. Крім цього, враховують енергію, витрачену на забезпечення біологічного захисту системи (наприклад, пестициди, мінеральні добрива, меліоранти тощо) (*Кирюшин*, 1996).

Енергетична ефективність змінюється за законом А. Тюрго – Т. Мальтуса, який в агроєкології формулюють так: підвищення питомих вкладень енергії в агроєкосистему не дає адекватного, пропорційного збільшення її продуктивності (*Новиков*, 1983; *Володин*, 1989). Наприклад, у США підвищення урожайності кукурудзи в 2,61 раза з 1945 по 1970 рік за рахунок впровадження індустріальних методів виробництва вимагало десятиразового збільшення сукупних витрат енергії, при цьому біоенергетичний ККД понизився в 4,4 раза, витрата енергії на виготовлення засобів виробництва зросла за цей час на 964 %, а безпосередньо в сільському господарстві – на 318 % (*Созинов*, *Новиков*, 1985).

У США з 1950 по 1982 рік урожайність кукурудзи на зерно підвищилася з 23,8 до 68,6 ц/га, тобто на 44,5 ц/га, або у 2,9 раза. В отриманому прирості на частку добрив припадає 12,5 ц/га (28 %), пестицидів – 10,6 (23,8), гібридів першого покоління – 6,3 (14,2), удосконаленої агротехніки – 8,8 (19,8) і на частку загущених посівів – 6,3 ц/га (14,2 %). У цей період за рахунок додаткових вкладень в агроєкосистему кукурудзи невідновних ресурсів енергії у вигляді добрив, пестицидів, нових гібридів і удосконаленої технології обмежуючі фактори агроєкосистеми були компенсовані майже втричі. Із них частка біотичних взаємодій становить 52,2 % (нові гібриди, загущення посівів, боротьба з бур'янами, шкідниками і хворобами),

на здоляння екологічних обмежень – 47,8% (грунтово-кліматичних, погодних). Однак досягнутий рівень урожайності (68,6 ц/га) не є стабільним, а, скоріше, навпаки, тому що без застосування ефективних засобів інтенсифікації в технології вирощування кукурудзи її урожайність може знову знизитися (Масюк, 1998).

Метою енергетичного аналізу в аграрному виробництві є оптимізація енергетичних витрат на основі вивчення потоків енергії на «вході» і «виході» системи вирощування сільськогосподарських культур. Сукупна енергія, що витрачається на створення продукції рослинництва, не повинна перевищувати акумульовану у процесі фотосинтезу енергію отриманого врожаю (Орлянський, Орлянская, 2004).

Значення біоенергетичної оцінки особливо зростає у зв'язку з інтенсифікацією аграрного виробництва, оскільки зростає енергоємність вирощування сільськогосподарських культур, що потребує детального розрахунку енергозатрат усіх технологічних операцій. Цей метод дає можливість точно враховувати і в однаковому вигляді виражати як прямі витрати на технологічні процеси і операції, так і енергію, вкладену в засоби виробництва, а також отриманої продукції, через енергетичні еквіваленти (Методические рекомендации..., 1988, 1991; Моисеенко и др., 2004). Це дозволяє виявити і впровадити енергозаощадливі технології і підвищити енергетичний коефіцієнт вирощування культури (Филипьев и др., 1989).

Критерієм біоенергетичної оцінки ефективності вирощування будь-якої сільськогосподарської продукції є коефіцієнт енергетичної ефективності (Е), який показує відношення енергії, що міститься в одержаній господарсько цінній частині врожаю, до загальних енергетичних витрат, вкладених у виробництво цього врожаю, виражене у відносних одиницях:  $E = Q_p/Q$ , де  $Q_p$  – енергія, яка накопичена в господарсько цінній частині врожаю, МДж;  $Q$  – сукупна енергія, що

витрачена на вирощування конкретної культури, МДж.

Таким чином, у рослинництві сутність енергетичної ефективності означає отримання максимальної кількості вмісту енергії у продукції з кожного гектара за мінімальних витрат у формі добрив, пестицидів, зрошення, паливно-мастильних матеріалів, засобів механізації тощо.

Для підрахунків сукупних енергозатрат необхідно провести аналіз технологічних карт вирощування сільськогосподарської культури. Технологічні карти включають повний перелік комплексу робіт з вирощування і популяції гібридів кукурудзи, агротехнічні вимоги до них, засоби хімізації, нормативи і строки проведення робіт, раціональні склади агрегатів і обслуговуючий персонал, норми виробітку, витрати палива і електроенергії. Загальні енергетичні витрати на всю технологію вирощування кукурудзи визначаються сумою енергетичних витрат на виконання окремих технологічних операцій і енергетичного еквівалента витрачених матеріальних ресурсів. Енергія, накопичена в сільськогосподарській продукції, визначається з урожайності та енергетичної цінності продукції, тобто з енергетичного еквівалента одиниці основної продукції.

Для встановлення ефективності основних регулюючих найбільш енергоємних заходів, якими є зрошення та удобрення у процесі вирощування кукурудзи на зерно, нами були проведені спеціальні дослідження (Ківер та ін., 1998). Схемою дослідів передбачалося визначити біоенергетичну ефективність збільшення доз азотних туків від 150 до 346 кг д.р. на гектар і внесення  $P_{35}$  та  $K_{58-124}$ . Дози розраховували балансовим методом на запланований урожай за такими режимами зрошення: поливи за зниження вологості до 80–80–80% НВ у шарі ґрунту 0,5–0,7–0,7 м (контроль); поливи у разі диференційованого зниження вологості до 60–80–60 і 60–70–60% НВ у шарі ґрунту 0,5–0,7–0,7 м; поливи зі зниженою вологістю до 70–80–70% НВ

у шарі ґрунту 0,3 м протягом вегетації. При проведенні всіх режимів зрошення вегетацію поділяли на три періоди: перший – від сходів до утворення 13–14 листків; другий – від утворення 13–14 листків до початку формування зерна; третій – від початку формування зерна до молочної стиглості.

Досліди проводили протягом чотирьох років у навчально-дослідному господарстві «Самарський» ДДАЕУ. Ґрунт дослідної ділянки представлений чорноземом звичайним слабозмитим середньосуглинковим. Поливали дощувальним агрегатом ДДА-100МА. Щороку висівали середньоранній гібрид кукурудзи Піонер 3978 і вирощували його відповідно до рекомендованої для даної ґрунтово-кліматичної зони інтенсивної технології (*Кивер и др., 1985*).

У розрахунках штучної енергії, потрібної для виробництва зерна кукурудзи, використовували модель, в якій сумарна кількість енергетичних витрат (МДж) визначається за формулою (*Булаткин, 1986; Методические рекомендации..., 1988*):

$$E = \sum_{i=1}^M \left( \sum_{j=1}^{N_i} E_{ij} \right)$$

де  $E$  – енергетичні витрати;

$M$  – кількість етапів;

$N_i$  – кількість видів сільськогосподарських робіт на кожному етапі;

$j$  – енергетичні витрати на окремі види робіт на  $i$ -тому етапі.

У моделі враховано всі трудові процеси та операції виробництва, починаючи з підготовки посівного матеріалу й закінчуючи завантаженням качанів на транспортні засоби й вивезенням їх до місця зберігання. Дані обліку врожаю свідчать про те, що фактори, які вивчалися, – ефективний засіб для підвищення врожайності кукурудзи. Сумісна дія поливів і добрив значно ефективніша, ніж у разі роздільного їх застосування.

Встановлено, що максимальний збір зерна кукурудзи (11,8 т/га) із вмістом у ньо-

му 185,76 ГДж валової енергії і 139,82 ГДж обмінної енергії мали у варіанті, де поливи проводили за схемою 80–80–80% НВ у дозі добрив  $N_{346}P_{35}K_{124}$ . Однак для одержання такого врожаю потрібні були й додаткові вкладення техногенної енергії. Так, затрати сукупної енергії порівняно з варіантом 60–80–60% НВ і добрива дозою  $N_{150}$ , де врожайність становила 9,9 т/га, зростали на 56,38 ГДж, або на 40,4%. Порівняно з режимом зрошення за схемою 70–80–70% НВ у шарі ґрунту 0,3 м протягом вегетації на фоні добрив  $N_{150}$  затрати сукупної енергії збільшувалися на 57,05 ГДж (40,9%) із врожайністю 7,2 т/га. Тому вважаємо за доцільне розглянути деякі елементи технології вирощування зернової кукурудзи, а саме: зрошення та удобрення, бо ці фактори забезпечують максимальний приріст урожаю зерна кукурудзи в умовах Степу України.

Показником, який характеризує енергетичну ефективність, є енергетичний коефіцієнт. Він показує, у скільки разів кількість валової енергії, яка міститься в урожаї, перевищує витрати сукупної енергії на її одержання. У наших дослідженнях енергетичний коефіцієнт на зрошенні за схемою 80–80–80% НВ становив залежно від дози добрив 1,33–1,49. У процесі водозберігаючих режимів зрошення (60–80–60 і 70–80–70% НВ) енергетичний коефіцієнт залежно від дози добрив варіював від 1,45 до 1,34.

На енергетичну ефективність поливних режимів впливав рівень мінерального живлення. На фоні  $N_{242}K_{58}$  підвищення вологості ґрунту перед поливом з 60–70–60 до 80–80–80% НВ забезпечувало приріст валової енергії на 28,45, а обмінної – на 21,42 ГДж/га. Зазначимо, що з програмуванням врожаю на 10–12 т/га енергетична ефективність водозберігаючих режимів зрошення зростала. За режиму зрошення 80–80–80% НВ порівняно з поливами за схемою 60–70–60% НВ окупність 1 МДж додатково витрачених енергетичних засобів валової енергії зерна становила 2 МДж, за схемою 60–80–60 та

70–80–70% НВ – відповідно на 0,9 та 1,1 МДж більше.

Біоенергетична оцінка застосування мінеральних добрив на фоні водозберігаючих режимів зрошення показала, що із внесенням  $N_{242}K_{58}$  порівняно з варіантами, де вносили  $N_{150}$ , збільшення валової енергії становило: під час зрошення за схемами 60–80–60 та 70–80–70% НВ – 35,41 і 37,78 ГДж/га, а за норми  $N_{346}P_{35}K_{124}$  – відповідно 55,81 і 52,96 ГДж/га (табл. 4.38). Незважаючи на те, що з підвищенням дози добрив вихід валової енергії з гектара збільшувався, енергетичний коефіцієнт зменшувався.

Наведені дані показують, що технологія вирощування кукурудзи, за якої вологість

0,3–0,7-метрового шару ґрунту перед поливом підтримувалася протягом міжфазового періоду 13–14 листків – початок формування зерна на рівні 80% НВ, є найефективнішою у разі внесення добрив на запланований урожай, тому що не тільки компенсується додатково вкладена сукупна енергія, але й заміщуються додаткові затрати валової енергії врожаєм зерна.

Фактори, які вивчалися, істотно змінювали структуру окремих енергетичних статей у формуванні врожаю. Так, підвищення дози туків із  $N_{150}$  до  $N_{346}P_{35}K_{124}$  і поливи за схемою 80–80–80% НВ загальні енергетичні витрати збільшували на 39,52 ГДж/га.

Таблиця 4.38

**Біоенергетична ефективність вирощування кукурудзи залежно від режимів зрошення та мінеральних добрив  $N_{346}P_{35}K_{124}$  (Ківер та ін., 1998)**

Показник	Передполивна вологість ґрунту, % НВ			
	60–70–60	70–80–70	60–80–60	80–80–80
Фактичний урожай зерна, т/га	10,7	10,9	11,2	11,8
Витрати сукупної енергії на 1 га, ГДж,	128,88	129,80	131,44	139,48
• у тому числі додаткової	-	0,92	2,56	10,60
Вихід з 1 га:				
• сухої речовини, ц	91,1	92,7	94,8	99,9
• кормових одиниць	68,5	69,7	71,3	76,8
• перетравного протеїну, ц	6,7	6,8	6,9	7,3
• валової енергії, ГДж	169,48	172,49	176,28	185,77
у тому числі:				
• додаткової	-	3,01	6,8	16,29
• обмінної енергії, ГДж	127,57	129,83	132,69	139,83
На одиницю додаткової сукупної енергії одержано додатково енергії, МДж:				
• валової	-	3,27	2,65	1,54
• обмінної	-	2,46	3,72	1,16
Енергоємність 1 ц сухої речовини, МДж	1414,7	1400,2	1386,5	1396,2
Енергетичний коефіцієнт	1,31	1,33	1,34	1,33

Якщо в разі внесення  $N_{150}$  частка мінеральних добрив становила 22,6%, то з використанням  $N_{346}P_{35}K_{124}$  вона зростала до 35,5%. На аналогічних фонах добрив і поливах за схемою 60–80–60% НВ загальні енергозатрати збільшувалися на 39,95 ГДж/га, а

частка добрив в них становила 25,0–37,7%. Однак внесення підвищених норм азотних добрив значно збільшувало їх питому вагу в загальних енерговитратах, що призводило до зниження ефективності їх використання.

Результати енергетичного аналізу свідчать про те, що під час вирощування зернової кукурудзи в загальних витратах сукупної енергії на машини та устаткування припадало 15–17,3%, на мінеральні добрива – 22,6–37,7, на паливне й мастильні матеріали – 32,6–37,6, а на енерговитрати, пов'язані з поливами (дощувальна техніка, поливна вода, витрати на господарську зрошувальну мережу), – 5,9–12%. Характерно, що з підвищенням рівня мінерального живлення витрати поливної води у відсотковому відношенні до загальних енергозатрат зменшувалися.

Водозберігаючі режими зрошення (60–80–60 і 70–80–70% НВ) сприяли зменшенню зрошувальної норми на 30–40% залежно від дози добрив порівняно з оптимальним режимом (80–80–80% НВ).

Результати досліджень свідчать про можливість одержання в умовах зрошення запрограмованих урожаїв зерна та істотного зниження енергетичних витрат на вирощування кукурудзи за інтенсивною технологією, перетворивши її на енерго- і ресурсозощадливу.

## 4.8. Адаптивна селекція в умовах північної підзони Степу України

В.В. Ващенко, Н.І. Ковалевська, О.О. Шевченко,  
Т.К. Лобко, Л.А. Бережна

**С**еред найважливіших зернових культур пшениця озима за посівними площами займає в Україні перше місце (5–7 млн га) і є головною продовольчою культурою.

Значний резерв підвищення продуктивності цієї культури криється у використанні генетичного потенціалу нового покоління адаптованих сортів, в цілому по країні він реалізується лише на 40–45%. Тому перед селекціонерами ставиться вельми складне завдання – поєднати в одному сорті високий потенціал продуктивності, стабільну стійкість проти хвороб, шкідників та несприятливих факторів навколишнього середовища, якість продукції.

Урожайність зернових культур визначається генетичним потенціалом сортів та рівнем технології їх вирощування на фоні загальної культури землеробства. Щоб реалізувати їх потенційну продуктивність, технології вирощування повинні максимально задоволь-

няти вимогам рослин до живлення, вологозабезпечення, температури протягом вегетації.

Найбільшого значення набуло вивчення потреб зернових культур за фенологічними фазами та етапами органогенезу.

Зернові злаки протягом вегетації проходять відповідні фази розвитку, з якими пов'язано утворення окремих органів. В онтогенезі пшениці 12 етапів органогенезу і такі фенологічні фази: проростання насіння, сходи, кушіння, трубкування (стеблукання), колосіння, цвітіння, формування і наливу зернівки, молочна, воскова, повна стиглість. Проростання насіння, фаза сходів та частково кушіння відбуваються восени, під час першого та другого етапів органогенезу, решта фенофаз і етапів органогенезу – навесні та влітку наступного року.

У сприятливих умовах сходи з'являються за 7–9 діб після сівби. Через 13–15 діб, коли на рослині утвориться 3–4 листки і на глибині 2–3 см сформується вузол ку-