

УДК 663.63:631.5/9

Ефективність фотосинтезу сорго залежно від впливу елементів технології вирощування

О. С. Тітаренко , Л. М. Карпук* 

Білоцерківський національний аграрний університет, пл. Соборна, 8/1, м. Біла Церква, Київська обл., 09100, Україна, *e-mail: lesya_karpuk@ukr.net

Мета. Виявлення ефективності фотосинтезу гібридів сорго зернового залежно від позакореневого застосування мікродобрив та регуляторів росту рослин. **Методи.** Дослідження проводили протягом 2019–2021 рр. в умовах дослідної ділянки НВЦ Білоцерківського національного аграрного університету (Київська обл.). Висівали гібриди сорго зернового 'Брігга' та 'Ютамі', посіви яких у період вегетації обробляли мікродобривами Альфа-Гроу-Екстра, 2 л/га (1-ша обробка у фазі 5 листків, 2-га – 9 листків, 3-тя – викидання волоті) та Інтермаг-Кукурудза, 2 л/га (1-ша обробка у фазі 5 листків, 2-га та 3-тя – з інтервалом у 7 діб) та регуляторами росту рослин Регоплант, 50 мл/га та Стимпо, 20 мл/га у фазі 5 листків культури. **Результати.** Установлено, що у фазі викидання волоті кращі показники площі листків у гібрида 'Брігга' були за позакореневого удобрення мікродобривом Інтермаг – Кукурудза в поєднанні з регулятором росту Регоплант – 49,1 тис. м²/га, у 'Ютамі' – за внесення Інтермаг – Кукурудза в композиції з Регоплант або Стимпо – 52,9 тис. м²/га, тоді як на чистому контролі цей показник становив 48,1 тис. м²/га. На час повної стиглості зерна в гібридів 'Брігга' та 'Ютамі' у варіанті використання Альфа-Гроу-Екстра з регулятором росту Стимпо формувалось 14,49 і 16,68 т/га сухої речовини відповідно. У міжфазний період від викидання волоті до цвітіння фотосинтетичний потенціал у гібрида 'Брігга' становив в середньому по досліді 0,44 тис. м²/га × діб, у 'Ютамі' – 0,52 тис. м²/га × діб. У міжфазний період «цвітіння – повна стиглість» у гібрида 'Брігга' за обробки мікродобривом Альфа-Гроу-Екстра в комбінації з регулятором росту Стимпо чиста продуктивність фотосинтезу становила 3,33 г/м² за добу сухої речовини, а в разі застосування мікродобрива Інтермаг – Кукурудза в поєднанні з регулятором росту Стимпо – 3,14 г/м² за добу. У разі вирощування гібрида 'Ютамі' за позакореневого підживлення Альфа-Гроу-Екстра або Інтермаг – Кукурудза найкращі показники чистої продуктивності фотосинтезу було отримано у варіантах поєднання з регулятором росту Стимпо – 3,19 та 3,19 г/м² за добу сухої речовини відповідно. **Висновки.** Досліджувані елементи технології, особливо варіанти позакореневого підживлення мікродобривами, ефективно впливали на перебіг процесів фотосинтезу та відповідно забезпечували формування вищого рівня структурних показників урожайності рослин сорго зернового.

Ключові слова: сорго зернове; гібрид; площа листової поверхні; фотосинтетичний потенціал; чиста продуктивність фотосинтезу.

Вступ

Сорго зернове на відміну від традиційних сільськогосподарських культур поширених в Україні має С₄-тип фотосинтезу, а звідси і ряд обмежень та особливостей росту й розвитку рослин [1, 2].

Перш за все – рослини стійкі до високих температур повітря, раціонально витрачають вологу. Однак потребують високого рівня чистоти посівів для створення умов гарного забезпечення сонячною енергією та власне мають початкові періоди уповільненого росту, які є критичними для накопичення в агроценозі небажаного бур'янового компоненту [3–5].

Попри те, що культура досить нова, вона за останні 20 років набула широкого поширення в Україні не тільки в умовах Степу а й Лісостепоного регіону завдяки невибагливості до умов вирощування, а зокрема стійкості до умов водного дефіциту та високих температур повітря. Адже такі умови все частіше зустрічаються в Лісостепу України.

Тітаренко О. С., Карпук Л. М. Ефективність фотосинтезу сорго залежно від впливу елементів технології вирощування. *Новітні агротехнології*. 2022. Т. 10, № 3. <https://doi.org/10.47414/na.10.3.2022.287179>

Також сорго зернове в першій половині вегетаційного періоду формує досить об'ємну кореневу систему, здатну проникати в глибокі шари ґрунту в пошуках вологи та елементів живлення. А ось до початку цвітіння поглинає вже приблизно 70 % усіх необхідних для повноцінного росту й розвитку елементів. Тобто якщо створюються умови нестачі елементів живлення в першій половині вегетації, то додаткове застосування їх після цвітіння культури нездатне виправити ситуацію і поліпшити врожайність та якість сорго [6–8].

Отже, оптимізація умов живлення, зокрема й позакореневе застосування різних видів добрив у першій половині вегетації культури, є надійним способом забезпечити рослини та стимулювати сприятливі умови формування ними високого рівня врожайності.

Фотосинтетичні показники посівів є досить важливою складовою визначення ефективності застосування елементів технології вирощування сорго зернового, так як у культурних рослин ефективність формування врожаю напряму залежить від швидкості та якості проходження процесів фотосинтезу [9–11].

А отже, для отримання високого рівня ефективності фотосинтезу рослини мають сформувати оптимальну кількість та площу листкової поверхні на одиницю посіву, що у свою чергу залежить від густоти посівів, кущення, фізіологічного стану рослин. А тому всі елементи технології вирощування рослин, здатні впливати на площу листкової поверхні, фотосинтетичний потенціал (ФП) та чисту продуктивність фотосинтезу (ЧПФ) зумовлюють в кінцевому підсумку й ефективність роботи фотосинтезу. Серед усіх вищезазначених показників саме площа асиміляційного апарату рослин є головною ініціюючою ознакою, адже власне від фізіологічного стану посівів і залежить можливість їх формувати високу площу листків здатну брати участь у процесах інтенсивного синтезу органічної речовини [12].

Мета досліджень – виявити ефективність фотосинтезу гібридів сорго зернового залежно від позакореневого застосування мікродобрив та регуляторів росту рослин.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження виконували протягом вегетаційного періоду 2019–2021 рр. на території дослідного поля, що належить НВЦ Білоцерківського національного аграрного університету, і розташованому в області Лісостепу правобережного з нестійким зволоженням.

Схему дослідження впливу мікродобрив та регуляторів росту на врожайність гібридів сорго зернового відображено у таблиці 1.

Таблиця 1

Схема вивчення впливу мікродобрив та регуляторів росту на продуктивність гібридів сорго зернового

Гібрид	Мікродобрива	Регулятори росту
'Брігга'	Без мікродобрив	Без регулятора росту Регоплант, 50 мл/га у фазі 5 листків Стимпо, 20 мл/га у фазі 5 листків
	Альфа-Гроу-Екстра, 2 л/га (1-ша обробка у фазі 5 листків, 2-га – 9 листків, 3-тя – викидання волоті)	Без регулятора росту Регоплант, 50 мл/га у фазі 5 листків Стимпо, 20 мл/га у фазі 5 листків
	Інтермаг-Кукурудза, 2 л/га (1-ша обробка у фазі 5 листків, 2-га та 3-тя – з інтервалом 7 діб)	Без регулятора росту Регоплант, 50 мл/га у фазі 5 листків Стимпо, 20 мл/га у фазі 5 листків
	Без мікродобрив	Без регулятора росту Регоплант, 50 мл/га у фазі 5 листків Стимпо, 20 мл/га у фазі 5 листків
	Альфа-Гроу-Екстра, 2 л/га (1-ша обробка у фазі 5 листків, 2-га – 9 листків, 3-тя – викидання волоті)	Без регулятора росту Регоплант, 50 мл/га у фазі 5 листків Стимпо, 20 мл/га у фазі 5 листків
	Інтермаг-Кукурудза, 2 л/га (1-ша обробка у фазі 5 листків, 2-га та 3-тя – з інтервалом 7 діб)	Без регулятора росту Регоплант, 50 мл/га у фазі 5 листків Стимпо, 20 мл/га у фазі 5 листків
'Ютамі'	Без мікродобрив	Без регулятора росту Регоплант, 50 мл/га у фазі 5 листків Стимпо, 20 мл/га у фазі 5 листків
	Альфа-Гроу-Екстра, 2 л/га (1-ша обробка у фазі 5 листків, 2-га – 9 листків, 3-тя – викидання волоті)	Без регулятора росту Регоплант, 50 мл/га у фазі 5 листків Стимпо, 20 мл/га у фазі 5 листків
	Інтермаг-Кукурудза, 2 л/га (1-ша обробка у фазі 5 листків, 2-га та 3-тя – з інтервалом 7 діб)	Без регулятора росту Регоплант, 50 мл/га у фазі 5 листків Стимпо, 20 мл/га у фазі 5 листків

Ґрунт, на якому проводили досліді, представлений типовим вилугуванням чорноземом, середньоглибоким із низьким вмістом органічної речовини, який характеризується грубопилувато-легкосуглинковою структурою на карбонатному лесі. Орний шар ґрунту складається з крупного піску (від 48,9 до 52,8 %), фізичної глини (від 30,4 до 33,8 %), мулу (від 18,1 до 24,0 %) і піску (від 10,1 до 18,9 %).

Агрометеорологічні умови в роки проведення досліджень відрізнялися від середньобагаторічних даних, але загалом були сприятливими для росту й розвитку сорго зернового.

Площа посівної ділянки 45 м², а облікової – 35 м²; повторність – чотириразова.

Фотосинтетичну діяльність рослин визначали за показниками: площу листкової поверхні – за методом «висічок», фотосинтетичний потенціал посіву (ФП) і чисту продуктивність фотосинтезу (ЧПФ) – за методикою А. О. Ничипоровича [13].

Експериментальні дослідження проводили згідно з методиками польового досліді та методики Державного сортовипробування сільськогосподарських культур.

Результати досліджень.

Закономірності формування площі листкової поверхні сорго зернового залежно від факторів впливу, представлених у нашому досліді, знайшли відображення в таблиці 2

На початковому етапі росту у фазі повних сходів рослини сорго зернового формували здебільшого незначну площу листкової поверхні, яка в гібрида 'Брігга' становила 1,8–2,0 тис. м²/га, а в гібрида 'Ютамі' – 1,9–2,0 тис. м²/га.

Також незначні відмінності в середньобагаторічних показниках площі листкової поверхні були отримані у фазі кущення сорго зернового. Це пов'язано з повільною реакцією досліджуваних гібридів на застосування факторів досліді. Зокрема, в середньому, у гібрида 'Брігга' площа листкової поверхні становила 11,8–12,3 тис. м²/га, а в 'Ютамі' – 12,0–12,5 тис. м²/га.

Таблиця 2

Закономірності формування площі листкової поверхні сорго зернового, тис. м²/га (середнє за 2019–2021 рр.)

Гібрид	Мікродобриво	Регулятор росту	Фаза розвитку					
			повні сходи	кущення	вихід у трубку	викидання волоті	цвітіння	повна стиглість зерна
'Брігга'	Без мікродобрив	Без регулятора	1,9	12,1	34,9	44,5	56,5	32,0
		Регоплант	1,8	12,0	35,6	45,9	57,0	32,2
		Стимпо	1,8	11,8	36,0	45,7	56,8	31,4
	Альфа-Гроу-Екстра	Без регулятора	2,0	12,3	36,6	46,7	59,3	33,6
		Регоплант	1,9	12,2	37,3	48,2	59,9	33,8
		Стимпо	1,9	12,0	37,8	48,0	59,5	32,9
	Інтермаг	Без регулятора	2,0	12,3	37,3	47,6	60,5	34,2
		Регоплант	1,9	12,2	38,1	49,1	60,9	34,4
		Стимпо	1,9	12,0	38,5	48,9	60,7	33,6
'Ютамі'	Без мікродобрив	Без регулятора	2,0	12,3	37,7	48,1	61,0	34,6
		Регоплант	1,9	12,2	38,4	49,5	61,5	34,8
		Стимпо	1,9	12,0	38,9	49,4	61,4	33,9
	Альфа-Гроу-Екстра	Без регулятора	2,0	12,5	39,5	50,5	64,1	36,3
		Регоплант	1,9	12,4	40,3	52,0	64,7	36,5
		Стимпо	1,9	12,2	40,9	51,9	64,3	35,5
	Інтермаг	Без регулятора	2,0	12,5	40,3	51,5	65,3	37,0
		Регоплант	1,9	12,4	41,2	52,9	65,7	37,2
		Стимпо	1,9	12,2	41,6	52,9	65,6	36,2
НІР _{0,05}			0,2	0,7	1,5	2,3	3,0	2,6

У фазі виходу в трубку вищі показники площі листкової поверхні у гібрида 'Брігга' були отримані за комбінованого застосування позакореневого підживлення мікродобривом Інтермаг – Кукурудза, 2 л/га (1-ша обробка у фазі 5 листків, 2-га та 3-тя – з інтервалом у 7 діб) та регулятора росту Стимпо, 20 мл/га у фазі 5 листків – 38,5 тис. м²/га. Проте поєднання позакореневого

удобрення Альфа-Гроу-Екстра, 2 л/га (1-ша обробка у фазі 5 листків, 2-га – 9 листків, 3-тя – викидання волоті) з регулятором росту Стимпо, 20 мл/га у фазі 5 листків сприяло формуванню площі листків на рівні 37,8 тис. м²/га.

Аналогічно для гібрида 'Ютамі' кращим щодо формування вищої площі листкової поверхні в рослин виявилось застосування позакореневого удобрення Альфа-Гроу-Екстра, 2 л/га (1-ша обробка 5 листків, 2-га – 9 листків, 3-тя – викидання волоті) в поєднанні з Стимпо, 20 мл/га у фазі 5 листків, що забезпечувало формування площі листків – 41,6 тис. м²/га.

У фазі викидання волоті вищі показники площі листків для гібрида 'Брігга' забезпечувало позакореневе удобрення мікродобрином Інтермаг – Кукурудза, 2 л/га (1-ша обробка у фазі 5 листків, 2-га та 3-тя – з інтервалом у 7 діб) у поєднанні з регулятором росту Регоплант, 50 мл/га у фазі 5 листків – 49,1 тис. м²/га. А ось для гібрида 'Ютамі' ефективним агрозаходом було внесення Інтермаг – Кукурудза, 2 л/га (1-ша обробка у фазі 5 листків, 2-га та 3-тя – з інтервалом у 7 діб) у композиції з Регоплант, 50 мл/га у фазі 5 листків або Стимпо, 20 мл/га у фазі 5 листків. Такі агрозаходи забезпечили розвиток площі листків у рослин на рівні 52,9 тис. м²/га, тоді як на контролі всього 48,1 тис. м²/га.

У фазі цвітіння спостерігали максимальну площу листкової поверхні сорго зернового, яка в середньому по досліді становила 61,4 тис. м²/га. Вищі значення площі листків обох досліджуваних гібридів були отримані за позакореневої обробки мікродобрином Інтермаг – Кукурудза, 2 л/га (1-ша обробка у фазі 5 листків, 2-га та 3-тя – з інтервалом у 7 діб). Причому відмінності в площі у разі застосування регуляторів росту або їх відсутності на цьому варіанті досліді були мінімальними.

Для визначення особливостей досліджуваних гібридів сорго зернового проаналізуємо дані середньої площі листків (рис.).

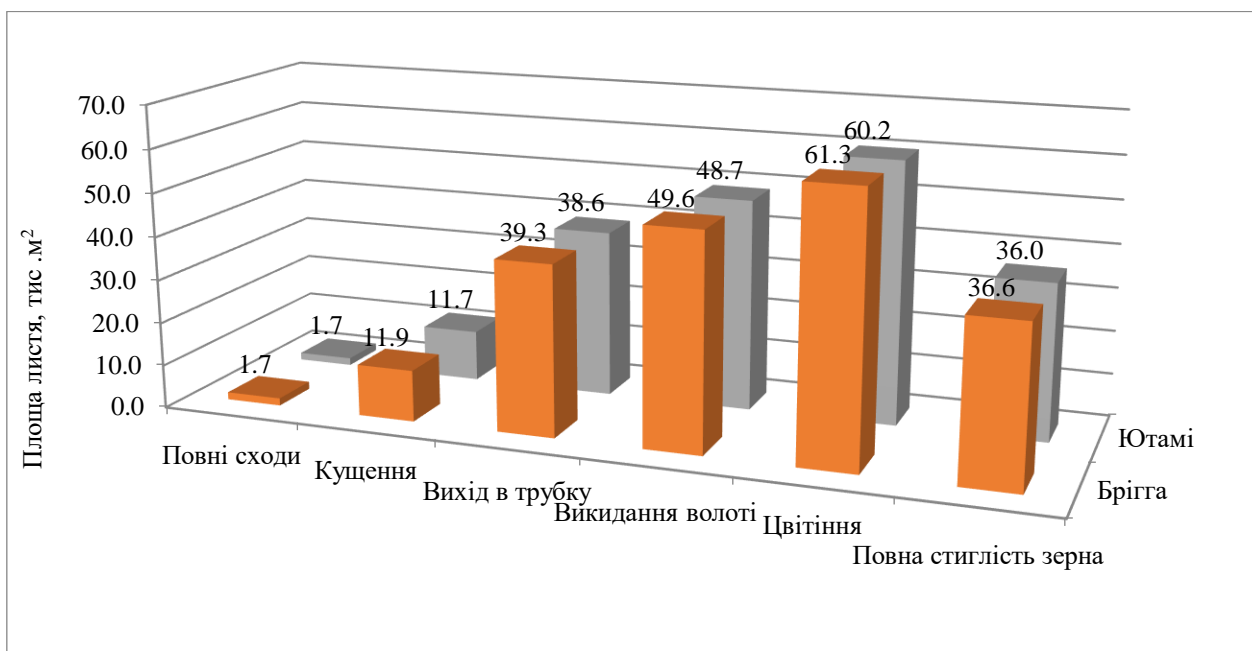


Рис. Середнє значення площі листків сорго зернового в міжсортівному порівнянні (середнє за 2019–2021 рр.)

У початковому періоді росту й розвитку не спостерігали відмінностей у площі наростання листкової поверхні, і в середньому рослини формували площу листків на рівні 1,7 тис. м²/га. А у фазі кущення гібрид 'Брігга' перевищував показники гібрида 'Ютамі' за площею листкової поверхні на 0,2 тис. м²/га, тоді як у фазі виходу в трубку вже на 0,7 тис. м²/га.

У період активного росту й розвитку рослин, починаючи з фази викидання волоті, площа листкової поверхні в гібрида 'Брігга' була на 0,9 тис. м²/га вищою, порівняно з 'Ютамі', а у фазі цвітіння – на 1,1 тис. м²/га.

У результаті проходження рослинами процесів фотосинтезу синтезується суха речовина, яка накопичується, перш за все, у листково-стебловій масі, а в другій половині вегетації формується зерно. Причому якраз сорго належить до культур здатних досить ефективно трансформувати запасні поживні речовини з інших частин рослини та залучати їх для формування і наливу зерна.

Отже, динаміка накопичення сухої речовини посівами сорго зернового може свідчити про ефективність перебігу процесів фотосинтезу за впливу елементів технології вирощування культури (табл. 3).

Таблиця 3

**Особливості накопичення сухої речовини посівами сорго зернового, т/га
(середнє за 2019–2021 рр.)**

Гібрид	Мікродобриво	Регулятор росту	Фаза розвитку						
			повні сходи	кущення	вихід у трубку	викидання волоті	цвітіння	повна стиглість зерна	
'Брігга'	Без мікродобрив	Без регулятора	0,06	1,61	4,09	5,78	6,42	12,28	
		Реоплант	0,06	1,67	4,23	5,97	6,65	12,58	
		Стимпо	0,06	1,70	4,24	6,06	6,73	12,65	
	Альфа-Гроу-Екстра	Без регулятора	0,06	1,79	4,50	6,42	7,13	13,62	
		Реоплант	0,07	1,85	4,71	6,64	7,37	13,96	
		Стимпо	0,07	1,93	4,90	6,93	7,71	14,49	
	Інтермаг	Без регулятора	0,06	1,78	4,51	6,36	7,06	13,50	
		Реоплант	0,07	1,85	4,59	6,57	7,31	13,83	
		Стимпо	0,07	1,87	4,69	6,66	7,40	13,91	
	'Ютамі'	Без мікродобрив	Без регулятора	0,07	1,91	4,87	6,85	7,61	14,54
			Реоплант	0,07	1,98	4,96	7,07	7,86	14,88
			Стимпо	0,07	2,02	4,98	7,16	7,95	14,96
Альфа-Гроу-Екстра		Без регулятора	0,07	2,14	5,39	7,62	8,47	16,19	
		Реоплант	0,08	2,21	5,61	7,89	8,76	16,59	
		Стимпо	0,08	2,23	5,57	8,01	8,87	16,68	
Інтермаг		Без регулятора	0,08	2,12	5,35	7,60	8,45	16,15	
		Реоплант	0,08	2,20	5,55	7,87	8,74	16,54	
		Стимпо	0,08	2,24	5,45	7,96	8,84	16,63	
НІР _{0,05}			0,01	0,12	0,32	0,56	0,78	1,23	

На початкових етапах вегетаційного періоду, а зокрема у фазі повних сходів, накопичення рослинами зернового сорго сухої речовини було мінімальним, і по суті залежало лише від умов вирощування, передусім наскільки швидко проростки змогли знайти доступ до елементів живлення задля ефективного розвитку рослини.

У фазі кущення рослини сорго зернового гібрида 'Брігга' формували 1,8 т/га сухої речовини, а гібрида 'Ютамі', як більш скоростиглий – забезпечував накопичення 2,1 т/га сухої речовини на одиницю площі посівів.

У фазі виходу в трубку застосування регуляторів росту позитивно позначилось на накопиченні посівами сорго зернового сухої речовини, і за застосування на посівах гібрида 'Брігга', препарату Реоплант, 50 мл/га у фазі 5 листків або Стимпо, 20 мл/га у фазі 5 листків посіви накопили на 0,14 та 0,15 т/га більше сухої речовини, порівняно з контролем. А в гібрида 'Ютамі' ця різниця складала 0,09 та 0,11 т/га відповідно.

У фазі викидання волоті у середньому в гібридів спостерігались наступні відмінності, а саме посіви гібрида 'Брігга' накопичували 6,4 т/га сухої речовини, тоді як посіви гібрида 'Ютамі' – 7,6 т/га.

Серед кращих елементів впливу за вирощування гібрида 'Брігга' можна виділити позакореневе удобрення Альфа-Гроу-Екстра, 2 л/га (1-ша обробка у фазі 5 листків, 2-га – 9 листків, 3-тя – викидання волоті) у поєднанні з регулятором росту Стимпо, 20 мл/га у фазі 5 листків. Такий варіант досліду забезпечив накопичення 6,93 т/га сухої речовини.

За вирощування гібрида 'Ютамі', аналогічно, кращим варіантом була позакоренева обробка рослин сорго Альфа-Гроу-Екстра, 2 л/га (1-ша обробка у фазі 5 листків, 2-га – 9 листків, 3-тя – викидання волоті) у поєднанні з регулятором росту Стимпо, 20 мл/га у фазі 5 листків. Такий варіант досліду забезпечив накопичення 8,01 т/га сухої речовини.

У фазі цвітіння сорго зернового відмічені закономірності розвитку посівів та накопичення ними сухої речовини, які збереглися в повному обсязі. У середньому посіви гібрида 'Брігга' накопили 7,1 т/га сухої речовини, тоді як гібрида 'Ютамі' – 8,4 т/га.

На момент повної стиглості зерна сорго в гібрида 'Брігга' кращим варіантом застосування позакореневого удобрення за впливу його на інтенсивність накопичення сухої речовини виявилось внесення Альфа-Гроу-Екстра, 2 л/га (1-ша обробка фази 5 листків, 2-га – 9 листків, 3-тя – викидання волоті). Поєднання мікродобрива з регулятором росту Стимпо, 20 мл/га у фазі 5 листків створювало умови для формування 14,49 т/га сухої речовини.

За вирощування гібрида сорго 'Ютамі' застосування позакореневого підживлення Альфа-Гроу-Екстра, 2 л/га (1-ша обробка у фазі 5 листків, 2-га – 9 листків, 3-тя – викидання волоті) у поєднанні з мікродобривом Стимпо, 20 мл/га у фазі 5 листків сформувало кращі умови для розвитку рослин. Відповідно посіви накопичили 16,68 т/га сухої речовини.

Фотосинтетичний потенціал є інтегральною ознакою, яка вказує на ефективність роботи фотосинтетичного апарату рослин та може засвідчити наскільки ефективно досліджувані елементи технології дають змогу отримати високий рівень реалізації генетичного потенціалу гібридів сорго (табл. 4).

Таблиця 4

**Фотосинтетичний потенціал посівів сорго зернового, тис. м²/га × діб
(у середньому за 2019–2021 рр.)**

Гібрид	Мікродобриво	Регулятор росту	Міжфазний період				
			повні сходи – кущення	кущення – вихід у трубку	вихід у трубку – викидання волоті	викидання волоті – цвітіння	цвітіння – повна стиглість
'Брігга'	Без мікродобрив	Без регулятора	0,15	0,45	0,44	0,51	1,99
		Регоплант	0,14	0,48	0,45	0,46	2,01
		Стимпо	0,14	0,45	0,53	0,46	1,98
	Альфа-Гроу-Екстра	Без регулятора	0,15	0,51	0,38	0,42	2,09
		Регоплант	0,15	0,54	0,39	0,43	2,06
		Стимпо	0,15	0,55	0,43	0,43	2,03
	Інтермаг	Без регулятора	0,15	0,52	0,42	0,38	2,13
		Регоплант	0,15	0,55	0,44	0,38	2,10
		Стимпо	0,15	0,53	0,48	0,44	2,07
'Ютамі'	Без мікродобрив	Без регулятора	0,16	0,47	0,60	0,55	2,34
		Регоплант	0,16	0,51	0,62	0,50	2,36
		Стимпо	0,16	0,51	0,66	0,50	2,29
	Альфа-Гроу-Екстра	Без регулятора	0,17	0,57	0,45	0,52	2,51
		Регоплант	0,16	0,61	0,46	0,53	2,53
		Стимпо	0,16	0,61	0,51	0,52	2,45
	Інтермаг	Без регулятора	0,17	0,55	0,50	0,53	2,61
		Регоплант	0,16	0,59	0,52	0,53	2,52
		Стимпо	0,16	0,62	0,52	0,53	2,44

На початку вегетації, в міжфазний період від повних сходів до кущення сорго зернового, фотосинтетичний потенціал рослин був мінімальним, і в гібрида 'Брігга' становив у середньому 0,15 тис. м²/га × діб, а в 'Ютамі' – 0,16 тис. м²/га × діб.

У міру зростання й розвитку рослин збільшувався і їх рівень фотосинтетичного потенціалу. Так, у міжфазний період від кущення до виходу в трубку кращі показники фотосинтетичного потенціалу в гібрида 'Брігга' були за позакореневого підживлення мікродобривом Альфа-Гроу-Екстра, 2 л/га (1-ша обробка у фазі 5 листків, 2-га – 9 листків, 3-тя – викидання волоті) у поєднанні зі Стимпо, 20 мл/га у фазі 5 листків, а на варіанті з внесенням Інтермаг – Кукурудза, 2 л/га (1-ша обробка у фазі 5 листків, 2-га та 3-тя – з інтервалом у 7 діб) кращий рівень фотосинтетичного потенціалу спостерігався у поєднанні з регулятором росту Регоплант, 50 мл/га у фазі 5 листків.

За вирощування гібрида 'Ютамі' за позакореневого підживлення рослин мікродобривом Альфа-Гроу-Екстра, 2 л/га (1-ша обробка у фазі 5 листків, 2-га – 9 листків, 3-тя – викидання волоті) цілком ефективним було поєднання з внесенням обох регуляторів росту. А за застосування Інтермаг – Кукурудза, 2 л/га (1-ша обробка у фазі 5 листків, 2-га та 3-тя – з інтервалом у 7 діб) кращим виявилось поєднання обробки з регулятором росту Стимпо, 20 мл/га у фазі 5 листків.

У міжфазний період від виходу в трубку до викидання волоті сорго зернового фотосинтетичний потенціал рослин дещо зменшився, порівняно з попереднім періодом, і в гібрида 'Брігга' становив у середньому 0,44 тис. м²/га × діб, а в гібрида 'Ютамі' – 0,54 тис. м²/га × діб.

Щодо ефективності впливу факторів досліду на формування фотосинтетичного потенціалу, то в гібрида 'Брігга' застосування регулятора росту Стимпо, 20 мл/га у фазі 5 листків сприяло формуванню 0,53 тис. м²/га × діб, а в гібрида 'Ютамі' цей регулятор росту теж забезпечував високий рівень фотосинтетичного потенціалу – 0,66 тис. м²/га × діб.

Такі зміни пов'язані передусім з ефективною дією регулятора росту в забезпеченні підсилення ростових процесів рослин. Адже період від виходу в трубку до викидання волоті сорго зернового вважається найбільш активним часом росту й розвитку рослин.

У міжфазний період від викидання волоті до цвітіння фотосинтетичний потенціал у гібрида 'Брігга' становив у середньому 0,44 тис. м²/га × діб, а в гібрида 'Ютамі' – 0,52 тис. м²/га × діб.

За вирощування гібрида 'Брігга' кращим варіантом впливу на рівень фотосинтетичного потенціалу було позакореневе підживлення мікродобривом Альфа-Гроу-Екстра, 2 л/га (1-ша обробка у фазі 5 листків, 2-га – 9 листків, 3-тя – викидання волоті) у поєднанні з Регоплант, 50 мл/га у фазі 5 листків, або Стимпо, 20 мл/га у фазі 5 листків. Також ефективним було застосування Інтермаг – Кукурудза, 2 л/га (1-ша обробка у фазі 5 листків, 2-га та 3-тя – з інтервалом у 7 діб) у поєднанні з регулятором росту Стимпо, 20 мл/га у фазі 5 листків.

А в гібрида 'Ютамі' ефективним виявились обидва варіанти позакореневого підживлення рослин мікродобривом у поєднанні з обробкою у фазі 5 листків з регулятором росту Регоплант, 50 мл/га або Стимпо, 20 мл/га.

У міжфазний період від цвітіння до повної стиглості зерна фотосинтетичний потенціал у гібрида 'Брігга' складав у середньому 2,05 тис. м²/га × діб, а в гібрида 'Ютамі' – 2,45 тис. м²/га × діб.

У цей проміжок часу вплив регуляторів росту та мікродобрив був нівельований іншими чинниками технології та взаємодії рослин з навколишнім середовищем, а тому яскраво вираженого впливу саме досліджуваних факторів ми не спостерігали.

Чиста продуктивність фотосинтезу показує наскільки ефективно рослини накопичують суху речовину одиницею площі листової поверхні, й відповідно за застосування заходів догляду показники її мають тенденцію до зміни (табл. 5).

Якщо аналізувати чисту продуктивність фотосинтезу, то у міжфазний період рослин сорго від повних сходів до кущення посіви накопичували в середньому 1,2 г/м² за добу сухої речовини, а чітко виражених сортових відмінностей не спостерігали.

Таблиця 5

**Чиста продуктивність фотосинтезу посівів сорго зернового, г/м² за добу
(у середньому за 2019–2021 рр.)**

Гібрид	Мікродобриво	Регулятор росту	Міжфазний період				
			повні сходи – кущення	кущення – вихід у трубку	вихід у трубку – викидання волоті	викидання волоті – цвітіння	цвітіння – повна стиглість
'Брігга'	Без мікродобрив	Без регулятора	1,05	5,56	3,87	1,27	2,94
		Регоплант	1,11	5,38	3,88	1,46	2,96
		Стимпо	1,15	5,60	3,43	1,44	2,98
	Альфа-Гроу-Екстра	Без регулятора	1,16	5,28	5,10	1,67	3,11
		Регоплант	1,21	5,25	5,00	1,70	3,19
		Стимпо	1,28	5,42	4,73	1,80	3,33
	Інтермаг	Без регулятора	1,15	5,25	4,34	1,87	3,02
		Регоплант	1,21	4,95	4,55	1,90	3,11
		Стимпо	1,24	5,32	4,10	1,68	3,14
'Ютамі'	Без мікродобрив	Без регулятора	1,12	6,25	3,29	1,39	2,96
		Регоплант	1,18	5,89	3,43	1,59	2,97
		Стимпо	1,22	5,83	3,30	1,59	3,06
	Альфа-Гроу-Екстра	Без регулятора	1,24	5,69	4,96	1,64	3,08
		Регоплант	1,30	5,62	4,94	1,66	3,09
		Стимпо	1,33	5,46	4,77	1,66	3,19
	Інтермаг	Без регулятора	1,22	5,83	4,46	1,61	2,95
		Регоплант	1,29	5,69	4,48	1,63	3,09
		Стимпо	1,33	5,20	4,82	1,66	3,19

У міжфазний період «кущення – вихід у трубку» в гібрида сорго зернового 'Брігга' чиста продуктивність фотосинтезу становила 5,3 г/м², а в гібрида 'Ютамі' – 5,7 г/м² за добу сухої речовини. Причому застосування як мікродобрив, так і регуляторів росту неоднозначно впливало на накопичення рослинами сорго зернового сухої речовини. Адже ці препарати в основному сприяли лінійному росту, в тому числі і приросту листкової поверхні рослин, що найбільш яскраво проявлялось саме в період до виходу в трубку, коли ростові процеси в рослин сорго максимально активовані.

У міжфазний період «вихід у трубку – викидання волоті» в гібрида 'Брігга' чиста продуктивність фотосинтезу становила 4,33 г/м², а в гібрида 'Ютамі' – 4,27 г/м² за добу сухої речовини.

У цей період за вирощування гібрида сорго 'Брігга' кращим варіантом досліду за впливу на чисту продуктивність фотосинтезу виявилось позакореневое удобрення рослин Альфа-Гроу-Екстра, 2 л/га (1-ша обробка у фазі 5 листків, 2-га – 9 листків, 3-тя – викидання волоті). Аналогічно для гібрида 'Ютамі' отримано максимальні значення саме на цьому варіанті досліду.

Якщо аналізувати міжфазний період викидання волоті – цвітіння, то в гібрида сорго зернового 'Брігга' чиста продуктивність фотосинтезу становила 1,64 г/м², а в гібрида 'Ютамі' – 1,60 г/м² за добу сухої речовини.

За вирощування гібрида 'Брігга' при застосуванні Альфа-Гроу-Екстра, 2 л/га (1-ша обробка у фазі 5 листків, 2-га – 9 листків, 3-тя – викидання волоті) у комбінації з мікродобривом Стимпо, 20 мл/га у фазі 5 листків ЧПФ становив 1,80 г/м² за добу сухої речовини, а за застосування мікродобрива Інтермаг – Кукурудза, 2 л/га (1-ша обробка у фазі 5 листків, 2-га та 3-тя – з інтервалом у 7 діб) у поєднанні з регулятором росту Регоплант, 50 мл/га у фазі 5 листків отримано 1,90 г/м² за добу сухої речовини.

У гібрида 'Ютамі' за внесення позакореневого підживлення Альфа-Гроу-Екстра, 2 л/га (1-ша обробка у фазі 5 листків, 2-га – 9 листків, 3-тя – викидання волоті) однаково ефективними виявилось застосування обох регуляторів росту. А за використання Інтермаг – Кукурудза, 2 л/га (1-ша обробка у фазі 5 листків, 2-га та 3-тя – з інтервалом у 7 діб) кращі значення ЧПФ – 1,66 г/м² за добу сухої речовини отримано на варіанті у поєднанні з регулятором росту Стимпо, 20 мл/га у фазі 5 листків.

В останній міжфазний період «цвітіння – повна стиглість» у гібрида сорго 'Брігга' чиста продуктивність фотосинтезу склала відповідно 3,09 г/м², а в гібрида 'Ютамі' – 3,07 г/м² за добу сухої речовини.

Досліджено, що в гібрида 'Брігга' за позакореневої обробки рослин мікродобривом Альфа-Гроу-Екстра, 2 л/га (1-ша обробка у фазі 5 листків, 2-га – 9 листків, 3-тя – викидання волоті) у комбінації зі Стимпо, 20 мл/га у фазі 5 листків, чиста продуктивність фотосинтезу становила 3,33 г/м² за добу сухої речовини, а за застосування мікродобрива Інтермаг – Кукурудза, 2 л/га (1-ша обробка у фазі 5 листків, 2-га та 3-тя – з інтервалом у 7 діб) в поєднанні з регулятором росту Стимпо, 20 мл/га у фазі 5 листків отримано 3,14 г/м² за добу сухої речовини.

За вирощування гібрида 'Ютамі' за позакореневого підживлення Альфа-Гроу-Екстра, 2 л/га (1-ша обробка у фазі 5 листків, 2-га – 9 листків, 3-тя – викидання волоті) або Інтермаг – Кукурудза, 2 л/га (1-ша обробка у фазі 5 листків, 2-га та 3-тя – з інтервалом у 7 діб) кращі значення чистої продуктивності фотосинтезу отримано у варіантах у поєднанні з регулятором росту Стимпо, 20 мл/га у фазі 5 листків – 3,19 та 3,19 г/м² за добу сухої речовини відповідно.

Висновки

Отже, досліджувані елементи технології, особливо варіанти позакореневого підживлення мікродобривами, впливали на перебіг процесів фотосинтезу та відповідно забезпечували формування кращого рівня структурних показників урожайності рослин сорго зернового.

За результатами експерименту встановлено, що під час фази викидання волотів у гібрида 'Брігга' найкращі показники площі листків були зафіксовані за використання позакореневого мікродобрива Інтермаг – Кукурудза в поєднанні з регулятором росту Регоплант, досягаючи значення 49,1 тис. м²/га. Щодо гібрида 'Ютамі', то найвищий показник площі листків, 52,9 тис. м²/га, спостерігався за внесення Інтермаг – Кукурудза разом із Регоплант або Стимпо, порівняно із чистим контролем, де ця площа становила всього 48,1 тис. м²/га.

Щодо накопичення сухої речовини, то у фазі повної стиглості зерна гібрида 'Брігга', за використання Альфа-Гроу-Екстра у дозі 2 л/га разом з регулятором росту Стимпо було

зафіксовано найвище значення формування сухої речовини – 14,49 т/га. У випадку гібрида ‘Ютамі’, накопичення сухої речовини становило 16,68 т/га в разі застосування позакореневого підживлення Альфа-Гроу-Екстра у дозі 2 л/га з мікродобрином Стимпо.

Визначено, що фотосинтетичний потенціал у міжфазний період від викидання волотів до цвітіння становив у середньому 0,44 тис. м²/га × діб для гібрида ‘Брігга’ та 0,52 тис. м²/га × діб для гібрида ‘Ютамі’.

Використана література

1. Togawa-Urakoshi, Y., Ueno O. Photosynthetic nitrogen- and water-use efficiencies in C₃ and C₄ subtype grasses grown under two nitrogen supply levels. *Plant Production Science*. 2022. Vol. 25, Iss. 2. P. 183–194. doi: 10.1080/1343943X.2021.2006069
2. Ueno O., Fuchikami Y. Structure and photosynthetic metabolism in green prop roots of C₄ sorghum. *Plant Production Science*. 2020. Vol. 23, Iss. 2. P. 182–190. doi: 10.1080/1343943X.2019.1683456
3. Науменко В. С. Рослинництво. Київ : Аграр Медіа Груп, 2009. 432 с.
4. Шевченко В. Г., Гайда Ю. О. Вплив густоти посіву на урожайність та якість зернового сорго в умовах Степу України. *Вісник Дніпропетровського аграрного університету*. 2017. № 4. С. 106–110.
5. Бабенко В. М. Вплив густоти рослин на врожайність та якість зернового сорго в умовах Степу України. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2018. № 3. С. 37–43.
6. Jayaraj D., Subramanian P. Effect of micronutrients on growth and yield of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) under rainfed condition. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2020. Vol. 9, Iss. 10. P. 2571–2576.
7. Ramu G., Reddy M. S., Ramaya M. S. Influence of nutrient management on growth, yield and quality of sorghum. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2019. Vol. 8, Iss. 5. P. 121–125.
8. Калініченко В. В., Кондратенко І. І., Кондратенко Ю. І. Сорго зернове: ботанічна характеристика, сортові особливості, вирощування та використання. *Вісник Харківського національного аграрного університету*. 2015. № 6. С. 195–203.
9. Каражбей Г. М., Шпак П. І., Козловська М. С. та ін. Формування продуктивності залежно від стабільності та пластичності сортів сорго зернового. *Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин*. 2017. Т. 13, № 2. С. 150–154. doi: 10.21498/2518-1017.13.2.2017.105396
10. Jones J. B., Eck H. V., Voss R. Plant analysis as an aid in fertilizing corn and grain sorghum. *Soil Testing and Plant Analysis* / R. L. Westerman (Ed.). 3rd ed. Madison, WI : Soil Science Society of America, 1990. P. 521–527. doi: 10.2136/sssabookser3.3ed.c20
11. Бойко М. О. Обґрунтування агротехнічних прийомів вирощування сорго зернового в умовах Півдня України. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Агронімія*. 2016. Вип. 235. С. 33–39.
12. Бойко М. О. Формування асиміляційного апарату гібридів сорго зернового в залежності від строків сівби та густоти посівів. *Таврійський науковий вісник*. 2017. Вип. 97. С. 18–22.
13. Ничипорович А. О. Физиология фотосинтеза и продуктивность растений. *Физиология растений*. Москва : Наука, 1982. С. 7–33.

References

1. Togawa-Urakoshi, Y., & Ueno, O. (2021). Photosynthetic nitrogen- and water-use efficiencies in C₃ and C₄ subtype grasses grown under two nitrogen supply levels. *Plant Production Science*, 25(2), 183–194. doi: 10.1080/1343943x.2021.2006069
2. Ueno, O., & Fuchikami, Y. (2020). Structure and photosynthetic metabolism in green prop roots of C₄ sorghum. *Plant Production Science*, 23(2), 182–190. doi: 10.1080/1343943X.2019.1683456
3. Naumenko, V. S. (2009). *Plant Production*. Kyiv: Agrar Media Group. [In Ukrainian]
4. Shevchenko, V. G., & Hayda, Yu. O. (2017). The influence of sowing density on the yield and quality of grain sorghum in the conditions of the Steppe of Ukraine. *Bulletin of the Dnipropetrovsk Agrarian University*, 4, 106–110. [In Ukrainian]
5. Babenko, V. M. (2018). The influence of plant density on the yield and quality of grain sorghum in the conditions of the Steppe of Ukraine. *Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy*, 3, 37–43. [In Ukrainian]
6. Jayaraj, D., & Subramanian, P. (2020). Effect of micronutrients on growth and yield of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) under rainfed condition. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(10), 2571–2576.
7. Ramu, G., Reddy, M. S., & Ramaya, M. S. (2019). Influence of nutrient management on growth, yield and quality of sorghum. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(5), 121–125.

8. Kalinichenko, V. V., Kondratenko, I. I., Kondratenko, Yu. I. (2015). Grain sorghum: botanical characteristics, varietal features, cultivation and use. *Bulletin of Kharkiv National Agrarian University*, 6, 195–203. [In Ukrainian]
9. Karazhbei, H. M., Shpak, P. I., Kozlovska, M. S., Melnychenko, T. P., & Karpych, M. K. (2017). Formation of productivity depending on the stability and plasticity of grain sorghum varieties. *Plant Varieties Studying and Protection*, 13(2), 150–154. doi: 10.21498/2518-1017.13.2.2017.105396 [In Ukrainian]
10. Jones, J. B., Eck, H. V., & Voss, R. (1990). Plant analysis as an aid in fertilizing corn and grain sorghum. In R. L. Westerman (Ed.), *Soil Testing and Plant Analysis* (3rd ed., pp. 521–527). Madison, WI: Soil Science Society of America. doi: 10.2136/sssabookser3.3ed.c20
11. Boiko, M. O. (2016). Justification of agrotechnical methods of growing grain sorghum in the conditions of Southern Ukraine. *Scientific Bulletin of the NULES of Ukraine. Series: Agronomy*, 235, 33–39. [In Ukrainian]
12. Boiko, M. O. (2017). Formation of the assimilation apparatus of grain sorghum hybrids depending on the timing of sowing and sowing density. *Taurian Scientific Herald*, 97, 18–22. [In Ukrainian]
13. Nichiporovich, A. O. (1982). Physiology of photosynthesis and plant productivity. In *Physiology of plants* (pp. 7–33). Moscow: Nauka.

UDC 663.63:631.5/9

Titarenko, O. S., & Karpuk, L. M.* (2022). Photosynthetic efficiency of sorghum (*Sorghum bicolor*) under the effect of elements of cultivation technology. *Advanced Agritechnologies*, 10(3). <https://doi.org/10.47414/na.10.3.2022.287179> [In Ukrainian]

*Bila Tserkva National Agrarian University, 8/1 Soborna square, Bila Tserkva, Kyiv region, 09100, Ukraine, *e-mail: lesya_karpuk@ukr.net*

Purpose. To determine photosynthetic efficiency of *Sorghum bicolor* hybrids under the foliar application of microfertilizers and plant growth regulators. **Methods.** The research was carried out in 2019–2021 in the experimental site of the Scientific Research Center of the Bila Tserkva National Agrarian University (Kyiv region). Sorghum hybrids 'Brigga' and 'Yutami' were used in the study. The sowings were treated during the growing season with microfertilizers Alfa-Grow-Extra, 2 l/ha (1st treatment in the 5-leaf stage, 2nd treatment in the 9-leaf stage, 3rd treatment in the emergence of panicle stage) and Intermag-Corn, 2 l/ha (1st treatment in the 5-leaf stage, 2nd and 3rd treatments with an interval of 7 days) and plant growth regulators Regoplant, 50 ml/ha and Stimpo, 20 ml/ha in the 5-leaf stage. **Results.** It was established that in the panicle emergence stage, the best indicators of the leaf area in the hybrid 'Brigga' were obtained with foliar application of the microfertilizer Intermag-Corn in combination with the growth regulator Regoplant – 49.1 thousand m²/ha, in 'Yutami' – with the application of Intermag-Corn in the composition with Regoplant or Stimpo – 52.9 thousand m²/ha, while in the control this figure was 48.1 thousand m²/ha. At the time of full grain maturity, 14.49 and 16.68 t/ha of dry matter were formed by the hybrids 'Brigga' and 'Yutami' in the treatment with Alpha-Grow-Extra with Stimpo growth regulator. In the interstage period from panicle emergence to flowering, the photosynthetic potential of the hybrid 'Brigga' was on average 0.44 thousand m²/ha × days, in 'Yutami' – 0.52 thousand m²/ha × days. In the interstage period from flowering to full maturity, in the hybrid 'Brigga' when treated with microfertilizer Alpha-Grow-Extra in combination with growth regulator Stimpo, the net productivity of photosynthesis was 3.33 g/m² of dry matter per day, and in the case of using microfertilizer Intermag-Corn in combination with Stimpo growth regulator – 3.14 g/m² per day. In the case of growing the 'Yutami' hybrid under foliar application of Alpha-Grow-Extra or Intermag-Corn, the best indicators of net photosynthesis productivity were obtained in the combination with Stimpo growth regulator – 3.19 and 3.19 g/m² per day of dry matter, respectively. **Conclusions.** The studied elements of the technology, especially foliar application of microfertilizers, effectively influenced the course of photosynthesis processes and, accordingly, ensured the formation better indicators of sorghum productivity.

Keywords: *Sorghum bicolor*; hybrid; leaf area; photosynthetic potential; net photosynthetic productivity.

Надійшла / Received 15.11.2022
Погоджено до друку / Accepted 28.11.2022