

ВПЛИВ МІНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕННЯ НА РОЗВИТОК ТА ПРОДУКТИВНІСТЬ СОРГО ЗЕРНОВОГО В УМОВАХ ПІВНІЧНО-СХІДНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Коваленко Марина Олександрівна

аспірантка

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0002-3678-5220

marinavlad0050@gmail.com

Сорго зернове є цінною та перспективною культурою, яку можна вирощувати в широкому діапазоні агрокліматичних умов. Обмежуючим фактором розширення посівних площ за межі традиційних зон вирощування є сума ефективних температур впродовж вегетації, а також недосконалість технологій вирощування культури. Удосконалення окремих елементів технологій з урахуванням генетично-біологічних особливостей сучасних сортів та гібридів сприятиме вирішенню проблеми та реалізації продуктивного потенціалу рослин. Незважаючи на відносну невибагливість до родючості ґрунту і здатність добувати елементи живлення, сорго зернове позитивно реагує на внесення мінеральних добрив. Нині існує багато думок щодо норм і строків внесення добрив. Правильний, науково обґрунтований вибір рівня мінерального живлення, спосіб сівби і норми висіву є одним із основних чинників отримання сталих врожаїв зерна сорго залежно від морфобіологічних особливостей сорту або гібриду та ґрунтовокліматичних умов зони вирощування. Дослідження були спрямовані на вивчення особливостей формування структури врожаю сорго зернового залежно від удобрення та сортових особливостей в зоні північно-східного Лісостепу України. Вивчення впливу удобрення ($N_{35}P_{35}K_{35}$ та $N_{70}P_{70}K_{70}$) на формування врожаю сорго (гібрид Янки, сорти Краєвид, Самаран 6, Дніпровський 39) проводили в умовах навчально-наукового полігону кафедри агротехнологій та ґрунтознавства Сумського національного аграрного університету (2020–2023). Внесення мінеральних добрив впливає на формування зернової продуктивності сорго, на врожайність сортів та гібридів сорго зернового, а також на тривалість вегетації. За всіма варіантами врожайність зерна сорго, отримана за внесення $N_{70}P_{70}K_{70}$ була вищою, ніж у фоновому варіанті без застосування підживлення. Під час наших досліджень було відмічено позитивний вплив мінеральних добрив на якість насіння сорго. На підставі аналізу маси 1000 насінин видно, що внесення добрив підвищувало масу 1000 насінин порівняно до фону. Довжина суцвіття під впливом добрив не змінювалася. Загальна тривалість вегетації збільшувалася у всіх сортів, порівняно до вирощування на природному фоні. Найбільш чутливою до впливу добрив виявилася фаза «цвітіння-стиглість», дозрівання рослин при застосуванні норми добрив $N_{70}P_{70}K_{70}$ наставало на 8–10 днів пізніше. Спостерігали тенденцію до підвищення продуктивної куцистості зі збільшенням норми мінерального живлення.

Ключові слова: сорго зернове, ріст та розвиток, елементи структури продуктивності, врожай, мінеральне живлення.

DOI <https://doi.org/10.32782/agrobio.2023.3.3>

Вступ. Сорго зернове є п'ятою культурою за обсягом виробництва зерном у світі. Сорго можна культивувати в різних кліматичних умовах завдяки адаптаційним особливостям та потужній фотосинтетичній ефективності. Короткий термін дозрівання, висока продуктивність на одиницю витраченої енергії, досить високий адаптивний потенціал, позитивний біоценотичний вплив на родючість ґрунту роблять сорго привабливою культурою сучасних агроценозів (Mundia et al., 2019; Bezuhla, 2021).

Одним з лімітуючих факторів розширення площі посівів сорго в інші регіони нашої країни з зони Степу, є недостатня сума ефективних температур впродовж вегетаційного періоду (Rudnyk-Ivashchenko&Storozhuk, 2011). Поширення сорго зернового в регіонах України, зокрема в зоні північно-східного Лісостепу стримується також недосконалістю зональних технологій вирощування цієї культури. Існуючі нині технології не враховують біолого-генетичних особливостей сучасних сортів й гібридів, тому реалізація їх продуктивного потенціалу є проблематичною (Макаров, 2006; Cherenkov et al., 2011). Проте врожайність сорго визначається не тільки специфікою того чи іншого регіону, але й сортовими осо-

бливостями. У різних регіонах світу врожайність цієї перспективної культури все ще залишається нижче свого потенціалу (Bezruchko & Dzhulai, 2012; Fedorchuk et al, 2017; Bezuhla, 2021).

Удосконалення окремих елементів технології вирощування зернового сорго може сприяти вирішенню цієї проблеми, і створити оптимальні умови для формування елементів врожайності рослин та реалізації їх продуктивного потенціалу.

Будь-яка сучасна технологія, орієнтована на отримання високого рівня врожайності неможлива без застосування добрив: на їх частку може припадати до 40% підвищення продуктивності рослин (Kovac & Gyuricza, 2012; Moosavi et al., 2013). Для сталого виробництва культур в певній зоні та певному агроценозі конкретні види добрив та норми їх застосування є вирішальними, оскільки виробництво будь-яких культур залежить, на додаток до генетичних факторів, від наявності та стану поживних речовин у ґрунті. Переважна більшість ґрунтів тих регіонів, де висівають сорго, можуть забезпечити не більше половини необхідних елементів живлення. Іншу кількість необхідно поповнювати за рахунок внесення

добрив (Turgut et al., 2005; Buah & Mwinkaara, 2009; Karazhbei & Tehun, 2012; Azrag & Dagash, 2015; Alemnewet et al., 2015).

Незважаючи на цінні господарські та біологічні характеристики, технологія вирощування сорго зернового на сьогодні не адаптована до умов північно-східного Лісостепу. Зокрема відсутня інформація про вплив таких чинників як норми добрив на процеси розвитку та формування врожайності культури. Кожна агрокліматична зона характеризується своєрідними абіотичними умовами, тому індикатором екологічної відповідності сорту цим умовам є вивчення параметрів структури врожаю культури. Реалізація біологічного потенціалу рослин щодо формування продуктивності пов'язана з особливостями формування генеративних органів, елементами структури врожаю. У рослин сорго це кількість волотей на рослину, довжина волоті, кількість та маса насіння з волоті, маса 1000 насінин (Soleymani et al., 2011; Moosavi et al., 2013; Gebremariam & Assefa, 2015).

Мета роботи полягала в дослідженні особливостей формування структури врожаю сорго зернового залежно від удобрення та сортових особливостей в зоні північно-східного Лісостепу України.

Матеріали і методи досліджень. Вивчення впливу удобрення на формування врожаю сорго проводили в умовах навчально-наукового полігону кафедри агротехнологій та ґрунтознавства Сумського національного аграрного університету (2020–2023). Польові досліді було закладено рандомізованим методом.

Фактор А – сорти та гібриди сорго зернового: Янкі (гібрид, ранньостиглий), Краєвид (сорт, середньостиглий), Дніпровський 39 (сорт, ранньостиглий) та сорт рисозернового сорго Самаран 6 (середньоранній).

Фактор В – норма внесення добрив. Варіант без внесення добрив (фон), Нітроамофос ($N_{15}P_{15}K_{15}$) та ($N_{70}P_{70}K_{70}$) вносили відповідно до схеми досліді під передпосівну культивування (табл. 1). Розмір облікової ділянки $1,5 \times 10 = 15,0 \text{ м}^2$. Повторність триразова.

Попередник – пшениця озима. Агротехніка вирощування сорго зернового була загальноприйнята для зони північно-східного Лісостепу України.

Закладення та проведення дослідів, відбір ґрунтових і рослинних зразків, підготовку їх до аналізу проводили відповідно до методичних вказівок та Державних стандартів України. Фенологічні спостереження впродовж вегетації рослин сорго проводили за методикою державного сортопробування сільськогосподарських культур. Початок кожної фази росту й розвитку визначали після переходу до неї у 10 % рослин, а повну – 75 % рослин (Yeshchenko et al., 2005; Methodology of state variety testing of agricultural crops. Issue 2: Cereal, cereal and leguminous crops, 2001; Pravdyva et al., 2021).

Облік врожаю сорго проводили у фазу повної стиглості більшості волотей сорту методом відібраних снопів. За аналізом відібраного снопа визначали кущистість, кількість волотей на одну рослину, середню масу однієї волоті та відсоток виходу насіння.

Статистична обробка даних здійснювалась шляхом дисперсійного аналізу за допомогою комп'ютерних програм «MSTAT» та «Agrobase».

Таблиця 1

Схема досліді (2021–2023 рр.)

Фактор А сорт/гібрид	Фактор В (норма добрив)		
Янкі	Без добрив (фон)	$N_{35}P_{35}K_{35}$	$N_{70}P_{70}K_{70}$
Краєвид			
Дніпровський 39			
Самаран 6			

Оптимальні показники температурного режиму та вологості для вегетації сорго в зоні досліджень складаються з травня по вересень. Погодні умови 2021 р. характеризувалися нижчими температурами повітря та ґрунту в травні за середні багаторічні і обумовили більш пізні строки висіву та строкатість сходів. Оптимальна температура для розвитку кореневої системи та ростових процесів рослин спостерігалася в другій декаді червня ($> +16^\circ\text{C}$). В другій половині вегетації склалися посушливі умови та спостерігалася перевищення значень добових температур. Загальна кількість опадів вегетаційного періоду 2021 р. склала 230 мм, сума температур 2592°C .

Веgetаційний період 2022 в цілому проходив в умовах, сприятливих для проростання насіння і проходження основних фаз вегетації рослин сорго. Сума температур склала 2602°C , загальна кількість опадів становила 267 мм.

За період вегетації 2023 року середньодобова температура повітря становила $18,6^\circ\text{C}$. Погодні умови були сприятливими за температурним режимом (сума активних температур становила 2804°C) та кількості опадів 269 мм.

Результати. Онтогенетичний розвиток сорго зернового обумовлений метаболічними процесами в рослинному організмі. Візуальними ознаками внутрішніх змін є перехід особин до певних етапів розвитку, зміна їх морфологічних характеристик (Rao et al., 2004; Prysiazhniuk, 2020). На реалізацію генетичної програми щодо утворення врожаю впливають елементи агротехнологій, особливості дії абіотичних факторів (температура, вологість, едафічні умови). Вивчення особливостей проходження етапів органогенезу рослин дає можливість визначити ефективність впливу певних факторів умов вирощування та можливі критичні періоди росту й розвитку рослин сорго. Тривалість фенологічних фаз розвитку рослин та швидкість їх проходження можливо корегувати зміною окремих елементів агротехнологій.

Було визначено особливості онтогенетичного розвитку рослин на дію удобрення (табл. 2).

За винятком сорту Самаран 6 всі інші сортозразки належали до ранньостиглої групи. Проте їх реакція на рівень мінерального живлення була подібною. Загальна тривалість вегетації збільшувалася порівняно до вирощування на природному фоні: у гібрида Янкі на 17 днів, сортів Краєвид – на 20 днів, Дніпровський 39 – на 10 днів, Самаран 6 – на 33 дні. Фон мінерального живлення не позначався на термінах появи сходів. Проте фаза «сходи–цвітіння» подовжувалася при застосуванні добрив від 5 (Самаран 6) до 9 днів (Краєвид). Найбільш

Тривалість фаз розвитку рослин сорго зернового залежно від удобрення в умовах північно-східного Лісостепу України (2023 р.)

Варіанти	Сорти	Сівба-сходи, дн.	Сходи-цвітіння, дн.	Цвітіння-стиглість, дн.	Тривалість вегетації, дн.
Без добрив (фон)	Янкі	10	45	55	110
	Краєвид	11	48	54	113
	Дніпровський 39	13	53	65	131
	Самаран 6	15	57	60	132
$N_{35}P_{35}K_{35}$	Янкі	10	45	59	114
	Краєвид	12	44	56	112
	Дніпровський 39	14	55	68	137
	Самаран 6	16	58	66	140
$N_{70}P_{70}K_{70}$	Янкі	11	53	63	127
	Краєвид	12	57	64	133
	Дніпровський 39	14	58	69	141
	Самаран 6	16	62	69	147

чутливою до впливу добрив виявилася фаза «цвітіння-стиглість», дозрівання рослин при застосуванні норми добрив $N_{70}P_{70}K_{70}$ наставало на 8–10 днів пізніше.

Варто відмітити специфічність сортової реакції в досліді: найбільш чутливим був сорт Краєвид, у сорт Дніпровський 39 відмічено найменше подовження тривалості вегетації при застосуванні мінеральних добрив.

Про подовження вегетаційного періоду сорго зернового при застосуванні добрив повідомляють також групи вчених (Pravdyva, 2022; Kalenska & Hryniuk, 2013).

Здатність рослини формувати високий рівень врожайності залежить від швидкості накопичення біомаси та тривалості наливу зерна. Умови високої вологості після цвітіння призводять до пліснявіння зерна та спричиняють втрату маси та погіршення якості насіння. Хмарна погода з тривалими вологими періодами дощу на цій стадії спричиняє зміну кольору та втрату маси зерна і також призводить до появи плісеневої мікрофлори.

Обліки показали залежність продуктивної куцистості як від умов вирощування, так і від генотипових особливостей сортозразків (табл. 3). Значення цього показника змінювалося в досліді від 1,6 (сорт Дніпровський 39, фон) до 2,9 (Краєвид, варіант $N_{70}P_{70}K_{70}$). Загалом спостерігали тенденцію до підвищення продуктивної куцистості зі збільшенням норми мінерального живлення. Найбільше зростав цей показник у сорту Краєвид – на 1,1, Самаран 6 – на 0,8, гібрид Янкі – на 0,7 і найменше – у сорту Дніпровський 26 – на 0,4 зі збільшенням норми добрив.

Дози мінерального живлення практично не впливали на довжину суцвіття, невеликі коливання були в межах статистичної похибки.

Кількість насіння з однієї рослини збільшувалася у всіх сортів при внесенні добрив: у гібриду Янкі – на 99 шт. (12,4%), Краєвид – на 86 шт. (13,2%), Дніпровський 39 – на 89 шт. (15%), Самаран 6 – на 50 шт. (6,9%).

Встановлено, що маса насіння, яке утворилося в одній волоті рослин, залежала від умов мінерального живлення та сортових особливостей. Максимальну масу насіння на волоть 31,3 г отримали у гібрида Янкі з застосуванням

добрив нормою $N_{70}P_{70}K_{70}$. У сорту Краєвид також фіксували виразну позитивну реакцію на збільшення рівня удобрення: маса насіння з однієї рослини зростала від 22,3 до 27,4 г (5,1 г). Сорт Дніпровський 39 відзначався меншими значеннями показника від 15,3–19,1 г (3,8 г), а у сорту Самаран 6 зростання показника було найменшим: від 18 г (фон) до 19,2 г ($N_{70}P_{70}K_{70}$) (1,2 г).

Було відмічено позитивний вплив мінеральних добрив на якість насіння сорго – розміри та виповненість – на підставі аналізу маси 1000 насінин. З таблиці 3 видно, що внесення добрив підвищувало масу 1000 насінин порівняно до фону на 16,7% (гібрид Янкі), 8,6% (Краєвид), 3,8% (Дніпровський 39), 4% (Самаран 6).

В досліді Sujathamma et al. (2015) було виявлено, що врожайність і компоненти врожайності врожаю сорго реагують на вплив поживних речовин неорганічного N-P добрива. Такі параметри як вилягання рослин, біомаса та врожайність зерна, статистично суттєво відрізнялися залежно від різних норм внесення азоту та фосфору (Soleymani et al., 2011; Usufzadeh et al., 2013; Zand & Shakiba, 2013).

Аналіз вище наведених даних дозволяє зробити висновок, що внесення добрив впливає на формування зернової продуктивності сорго (табл. 4). Так, середній показник врожайності за три роки в гібриду Янкі найвищий був на варіанті з нормою $N_{70}P_{70}K_{70}$ – 5,9 т/га, а найнижчий на варіанті без внесення добрив – 2,9 т/га. У сорту Краєвид найвищий рівень врожаю був в варіанті з застосуванням $N_{35}P_{35}K_{35}$ і склав 3,5 т/га, а найменший показник у варіанті без добрив – 2,7 т/га. Така тенденція спостерігається і у сортів Дніпровський 39 та Самаран 6 з найвищим показником на варіанті із застосуванням $N_{70}P_{70}K_{70}$ – 3,1 і 2,3 т/га відповідно, в порівнянні з варіантом без добрив, що складає 2,3 і 1,4 т/га відповідно. Робимо висновки з наведених вище даних, що врожайність зерна зросла на 81,6% у гібрида Янкі, у сорту Краєвид на 29,6%, у сорту Дніпровський 39 показник врожайності при застосуванні мінеральних добрив став більшим на 34,8%, а у сорту Самаран 6 врожайність збільшилась на 64,3%.

Таблиця 3

Параметри продуктивності сорго в умовах північно-східного Лісостепу України (2023 р.)

Варіанти	Сорти	Продуктивна куцистість	Довжина волоті, см	Маса насіння на волоть, г	К-ть насіння на волоть, шт.	Маса 1000 насінин, г
Без добрив (фон)	Янкі	1,7	26	23,9	797	30
	Краєвид	1,8	28	22,3	636	35
	Дніпровський 39	1,6	24	15,3	592	26
	Самаран 6	2,0	26	18,0	720	25
N ₃₅ P ₃₅ K ₃₅	Янкі	1,9	26	29,4	892	33
	Краєвид	2,4	28	24,1	672	36
	Дніпровський 39	1,8	23	17,7	657	27
	Самаран 6	2,7	26	18,2	767	25
N ₇₀ P ₇₀ K ₇₀	Янкі	2,4	26	31,3	896	35
	Краєвид	2,9	28	27,4	722	38
	Дніпровський 39	2,0	24	19,1	681	28
	Самаран 6	2,8	28	19,2	780	26
НІР₀₅		0,44	1,69	5,00	93,63	4,68

Таблиця 4

Врожайність сортів та гібриду сорго зернового залежно від впливу добрив в умовах північно-східного Лісостепу України (2021-2023 рр.)

Дози	Сорти	Врожай, т/га			
		2021	2022	2023	Середнє
Без добрив (фон)	Янкі	2,9	3,7	4,8	3,8
	Краєвид	1,7	2,6	3,9	2,7
	Дніпровський 39	2,3	1,9	2,8	2,3
	Самаран 6	1,6	1,0	1,6	1,4
N ₃₅ P ₃₅ K ₃₅	Янкі	3,4	3,8	4,8	4,0
	Краєвид	1,7	3,6	5,3	3,5
	Дніпровський 39	1,8	2,4	3,4	2,5
	Самаран 6	1,5	1,4	2,7	1,9
N ₇₀ P ₇₀ K ₇₀	Янкі	5,9	6,4	8,3	6,9
	Краєвид	1,0	3,2	4,8	3,0
	Дніпровський 39	2,6	2,7	3,9	3,1
	Самаран 6	1,2	2,6	3,1	2,3
НІР₀₅		1,01			

Обговорення. Високоврожайна культура сорго вимагає належного живлення, і якщо виявляється нестача поживних речовин, необхідно вносити відповідні добрива. На думку багатьох вчених, ефективно застосування добрив здатне підвищити резистентність сорго зернового до несприятливих зовнішніх чинників, підвищити енергію проростання, забезпечити інтенсивний ріст на початкових етапах органогенезу та високу продуктивність генеративних органів (Bazalii et al., 2015; Hospodarenko & Klimovych, 2006).

За результатами досліджень групи вчених (Ivanina et al., 2019), було виявлено, що застосування добрив у посівах сорго зернового посилює ріст і розвиток листової поверхні. Застосування мінеральних добрив під сорго зернове в умовах достатнього зволоження істотно підвищило врожайність зерна. Застосування добрив істотно покращило якість зерна сорго зернового. За вне-

сення добрив вміст білка в зерні сорго підвищився – на 0,5–1,8%, жиру – на 0,08–0,20% на суху речовину, маса 1000 зерен зростає – на 1,6–4,9 г.

Висновки. За результатами проведених досліджень можемо зробити висновок, що внесення мінеральних добрив впливає на формування зернової продуктивності та врожайності сортів та гібридів сорго зернового, а також на тривалість вегетації в умовах північно-східного Лісостепу України. У всіх сортозразків врожайність зерна сорго, отримана за внесення N₇₀P₇₀K₇₀, була вищою, ніж у фоновому варіанті без додаткового підживлення. Загальна тривалість вегетації з застосуванням добрив збільшувалася порівняно до вирощування на природному фоні. Під час наших досліджень було відмічено позитивний вплив мінеральних добрив на якість насіння сорго. На підставі аналізу маси 1000 насінин видно, що внесення добрив підвищувало масу 1000 насінин порівняно до фону на

16,7% (гібрид Янкі), 8,6% (Краєвид), 3,8% (Дніпровський 39), 4% (Самаран 6). Врожайність зерна зросла на 81,6% у гібрида Янкі, у сорту Краєвид на 29,6%, у сорту Дніпровський 39 показник врожайності при застосуванні мінеральних добрив став більшим на 34,8%, а у сорту Самаран 6 врожайність збільшилась на 64,3%.

Нині існує багато думок щодо норм і строків внесення добрив. Немає єдності щодо окремих елементів системи удобрення сорго зернового, що свідчить про необхідність продовження вивчення цього питання. Майбутні дослідження повинні сфокусуватися на вивченні різних агроecологічних умов та норм внесення мінеральних добрив за різних методів управління.

Бібліографічні посилання:

1. Aleminew, A., Legas, A., Misganaw, M. & Mamo, M. (2015). Yield response of sorghum to timing of urea fertilizer application in Eastern Amhara Region, Ethiopia. *World Journal of Agricultural Science*, 11(3), 144–150. doi: 10.5829/idosi.wjas.2015.11.3.94284
2. Azrag, A. A. D & Dagash, Y. M.I. (2015). Effect of sowing date and nitrogen rate on growth, yield components of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) and nitrogen use efficiency, *Journal of Progressive Research in Biology* (JPRB ISSN 2454-1672).
3. Bazalii, V.V., Boiko, M.O., Almashova, V.S. & Onyshchenko, S.O. (2015). Roslynnnytski aspekty ta ahroecologichni zasady vyroshchuvannya sorho zernovoho na Pivdni Ukrainy [Plant aspects and agroecological principles of grain sorghum cultivation in the South of Ukraine]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk*, 91, 3–6. (in Ukrainian).
4. Bezruchko, O. I. & Dzhalai, N. P. (2012). Popovnennia rynku sortiv roslyn Ukrainy: sorho zvychaine (dvokolorove) (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) [Market of varieties in Ukraine: sorghum vulgaris, bicolor (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.)]. *Plant Varieties Studying and Protection*, 3, 45–51. doi: 10.21498/2518–1017.3(17).2012.58830 (in Ukrainian).
5. Bezuhla, L. (2021). Economic aspect of territorial production of amaranth, hemp and sorgho in Ukraine. *Economy and Society*, 25. doi: 10.32782/2524-0072/2021-25-79
6. Buah, S.S.J. & Mwinkaara, S. (2009). Response of sorghum to nitrogen fertilizer and plant density in the guinea savanna zone. *Journal of Agronomy*, 8(4), 124–130. doi: 10.3923/ja.2009.124.130
7. Bykin, A.V., Antal, T.V. & Naidenko, V.M. (2019). Fenologichni osoblyvosti sorho zernovoho zalezho vid vplyvu elementiv tekhnolohii vyroshchuvannya [Phenological features of grain sorghum depending on the influence of elements of cultivation technology]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk*, 107, 12–21. doi: 10.32851/2226-0099.2019.107.2 (in Ukrainian).
8. Cherenkov, M. S. Shevchenko, B.V. & Dziubetskyi A.V (2011) Sorhovi kultury: tekhnolohiia, vykorystannia, hibrydy ta sorty. [Sorghum crops: technology, use, hybrids and varieties] Dnipropetrovsk.: Tsentru naukovoho zabezpechennia ahropromysloвого виробництва Dnipropetrovskoi oblasti, 63 (in Ukrainian).
9. Ivanina V. V., Pashyn'ska K. L., Kostashchuk M. V. (2019). Vplyv dobrov na vrozhaunist' ta yakist' zerna sorho zernovoho. *Novitni ahrotekhnolohiyi*, 7. Access mode: <http://jna.bio.gov.ua/article/view/204801> (in Ukrainian).
10. Fedorchuk, M. I., Kokovikhin, S. V., Kalenska, S. M., Rakhmetov, D. B., Fedorchuk, V. H., Filipova, I. N., & Panfilova, A. V. (2017). Naukovo-teoretychni zasady ta praktychni aspekty formuvannia ekoloho-bezpechnykh tekhnolohii vyroshchuvannia ta pererobky sorho v stepovii zoni Ukrainy [Scientific-theoretical foundations and practical aspects of formation of ecologically safe technologies of cultivation and processing of sorghum in the steppe zone of Ukraine]. *Kherson, N.p.* (in Ukrainian).
11. Gebremariam, G., & Assefa, D. (2015). Nitrogen fertilization effect on grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) yield, yield components and witchweed (*Striga hermonthica* (Del.) Benth) infestation in Northern Ethiopia. *International Journal of Agricultural Research*, 10(1), 14–23.
12. Hailu, G. & Kedir, M. (2022). Effect of nitrogen and phosphorus fertilizer rates on yield and yield components sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) at Kersa Woreda of Oromia Region. *International Journal of Bioorganic Chemistry*, 7(1), 23–29. doi: 10.11648/j.ijbc.20220701.14
13. Hrabovskyi, M. B. (2018) Formuvannia produktyvnosti sorho tsukrovoho yak bioenerhetychnoi kultury zalezho vid rivnia mineralnogo zhyvlennia. [Formation of the productivity of sugar sorghum as a bioenergy crop depending on the level of mineral nutrition]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Zemlerobstvo, roslynnnystvo, ovochivnystvo ta bashtannystvo*, 99, 31–39 (in Ukrainian).
14. Hospodarenko, H. M., & Klimovych, P. V. (2006). The response of grain sorghum to fertilizer on podzol chernozem. *Zbirnyk naukovykh prats Luganskogo NAU* [Collection of scientific works of Luhansk NAU], 69, 20–25 (in Ukrainian).
15. Hryshchenko, R. Ie., Liubchych, O. H. & Hliieva, O.V. (2021). Formuvannia vrozhaunisti zerna sorho zernovoho riznyimi systemami pahoniv zalezho vid udobrennia kultury [Formation of grain sorghum grain yield by different systems of shoots depending on crop fertilizer]. *Zemlerobstvo ta roslynnnystvo: teoriia ta praktyka*, 2(2), 55–60. doi: 10.54651/agri.2021.02.07 (in Ukrainian).
16. Kalenska, S. M. & Hryniuk, I. P. (2013). Osoblyvosti rostu i rozvytku roslyn sorho zalezho vid vydovykh, sortovykh osoblyvostei ta udobrennia kultury v umovakh Pravoberezhnogo Lisostepu Ukrainy [Features of growth and development of sorghum plants depending on species, varietal characteristics and fertilizers in the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine]. *Naukovi pratsi In-tu bioenerhetychnykh kultur i tsukrovyykh buriakiv*, 17, 359–363 (in Ukrainian).
17. Kalenska, S.M. & Naidenko, V.M. (2018). Urozhaunist sorho zernovoho zalezho vid shyryny mizhriad ta systemy udobrennia [Yield of grain sorghum depending on the width between rows and fertilizer system]. *Naukovi pratsi In-tu bioenerhetychnykh kultur i tsukrovyykh buriakiv buriakiv*, 26, 67–75 (in Ukrainian).
18. Karazhbei, H. M. & Tehun, S. V. (2012) Produktyvnist sorho zvychainoho dvokolorovoho (*Sorghum bicolor* L.) zalezho vid rivnia mineralnogo zhyvlennia ta hustoty stoiannia [Productivity of ordinary two-color sorghum (*Sorghum bicolor* L.) depending on the level of mineral nutrition and stands density]. *Zbirnyk naukovykh prats Instytutu bioenerhetychnykh kultur i tsukrovyykh buriakiv NAA*, 14, 67–70 (in Ukrainian).

19. Kovac, G. P. & Gyuricza, C. (2012) The impact of different tillage systems and nutrient levels on the biomass and Brix values of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *African Journal of Agricultural Research*, 7(26), 3800–3805. doi: 10.5897/AJAR12.448
20. Makarov, L. Kh. (2006). Sorhovi kultury [Sorghum crops]. Kherson: Ailant (in Ukrainian).
21. Melaku, N. D., Bayu., W., Ziadat, F., Strohmeier, S., Zucca, C., Tefera, M. L., Ayalew, B. & Klik, A. (2017). Effect of nitrogen fertilizer rate and timing on sorghum productivity in Ethiopian highland Vertisols. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 64(4), 480–491. doi: 10.1080/03650340.2017.1362558
22. Metodyka derzhavnogo sortovyprobuvannia silskohospodarskykh kultur. Vypusk 2: Zernovi, krupiani ta zernobobovi kultury / za red. V. V. Volkodava. [Methodology of state variety testing of agricultural crops. Issue 2: Cereal, cereal and leguminous crops]. Kyiv: Alefa, 2001. 65 (in Ukrainian).
23. Moosavi, S. G., Seghatoleslami, J. M., & Arefi, R. (2013). Effect of N fertilization and plant density on yield and yield components of grain sorghum under climatic conditions. *Scientia Agriculturae*, 3(1), 1–8.
24. Mundia, C.W., Secchi, S., Akamani, K. & Wang, G. A. (2019) Regional comparison of factors affecting global sorghum production: The Case of North America, Asia and Africa's Sahel. *Sustainability*, 11, 2135. doi: 10.3390/su1107213521.
25. Pravdyva, L.A., Hanzhenko, O.M. & Doronin, V.A. (2021). Metodichni rekomendatsii z provedennia sposterezhen, oblikiv ta vyznachennia yakisnykh pokaznykiv u doslidzhenniakh sorho zernovoho [Methodical recommendations for conducting observations, accounting and determination of quality indicators in studies of grain sorghum]. *FOP Yamchynskiy O.V.*, Kyiv, 34 (in Ukrainian).
26. Pravdyva, L. A. (2022) Vplyv mineralnogo zhyvlennia roslin na formuvannia biometrychnykh pokaznykiv sorho zernovoho. [Influence of crops mineral nutrition on the biometric indicators of grain sorghum formation]. *Zbirnyk naukovykh prats. Ahrobiolohiia*, 1, 43–52 (in Ukrainian).
27. Prysiazhniuk, O. I. (2020). Osoblyvosti identyfikatsii etapiv rostu sorho zernovoho [Peculiarities of identification of grain sorghum growth stages]. *Naukovi pratsi Instytutu bioenerhetychnykh kultur i tsukrovyykh buriakiv*, 28, 102–112 (in Ukrainian).
28. Rao, S. S., Seetharama, N., Kiran Kumar, K.A. & Vanderlip, R. L. (2004). Characterization of sorghum growth stages. *NRCS Bulletin Series*, 14. National Research Centre for Sorghum, Rajendranagar, Hyderabad 500 030, (AP), India. 20.
29. Rudnyk-Ivashchenko O. I. & Storozhyk L. I. (2011). Stan i perspektyvy sorhovykh kultur v Ukraini. [State and prospects of sorghum crops in Ukraine] *Visnyk TsNZ APV Kharkivskoi oblasti*, 10, 198–206 (in Ukrainian).
30. Sujathamma, P., Kavitha, K. & Suneetha, V. (2015). Response of grain sorghum (*Sorghum bicolor* L.) cultivars to different fertilizer levels under rainfed condition. *International Journal of Agricultural Sciences*, 5(1), 381–385.
31. Soleymani, A., Shahrajabian, M. H. & Naranjani, L. (2011). The effect of plant density and nitrogen fertilization on yield, yield components and grain protein of grain sorghum. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 9(3–4), 244–246.
32. Turgut, I., Bilgili, U., Duman, A. & Acikgoz, E. (2005). Production of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) increases with increased plant densities and nitrogen fertilizer levels. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B: Soil and Plant Science*, 55(3), 236–240. doi:10.1080/09064710510029051
33. Usufzadeh, M., Daneshvar, M., Almodares, A. & Eisvand, H. R. (2013). Effects of nitrogen fertilizer and plant growth regulator on stalk yield and bioethanol in sweet sorghum. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 3, 711–716.
34. Yeshchenko, V. O., Kopytko, P. H., Opryshko, V. P. & Kostohryz, P. V. (2005). Osnovy naukovykh doslidzhen v ahronomii [Basic research in agronomy]. Diia, Kyiv, 288 (in Ukrainian).
35. Zand, N. & Shakiba, M. R. (2013). Effect of plant density and nitrogen fertilizer on some attribute of grain sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *International journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 1(12), 1577–1582.

Kovalenko M.O. PhD student, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

The effect of mineral fertilizer on the development and productivity of grain sorghum in the conditions of the northeastern Forest-Steppe of Ukraine

Grain sorghum is a valuable and promising crop that can be grown in a wide range of agro-climatic conditions. The limiting factor for the expansion of cultivated areas beyond traditional cultivation zones is the sum of effective temperatures during the growing season, as well as the imperfection of culture cultivation technologies. The improvement of certain elements of technology, taking into account the genetic and biological features of modern varieties and hybrids, will contribute to solving the problem and realizing the productive potential of plants. Despite the relative unpretentiousness to soil fertility and the ability to extract nutrients, grain sorghum responds positively to the application of mineral fertilizers. With sufficient supply of nutrients to plants during the period of growth and development and optimal spatial placement, sorghum is able to form high and constant yields of green mass and grain. Currently, there are many opinions regarding the norms and terms of applying fertilizers. There is no unity regarding individual elements of the grain sorghum fertilization system, which indicates the need to continue studying this issue. The correct, scientifically based choice of the level of mineral nutrition, the method of sowing and the rate of sowing is one of the main factors of obtaining stable yields of sorghum grain depending on the morphobiological features of the variety or hybrid and the soil and climatic conditions of the growing area. The research was aimed at studying the features of grain sorghum yield structure formation depending on fertilizer and varietal characteristics in the northeastern forest-steppe zone of Ukraine. The study of the effect of fertilizer ($N_{35}P_{35}K_{35}$ and $N_{70}P_{70}K_{70}$) on the formation of the sorghum crop (Yanki hydride, varieties Kraevyd, Samaran 6, Dniprovskiy 39) was carried out in the conditions of the educational and scientific training ground of the Department of Agricultural Technologies and Soil Science of the Sumy National Agrarian University (2020–2023). The application of mineral fertilizers affects the formation of grain productivity of sorghum, the yield of varieties and hybrids of grain sorghum, as well as the duration

of vegetation. According to all options, the yield of sorghum grain obtained with the application of $N_{70}P_{70}K_{70}$ was higher than in the background option without the application of fertilization. During our research, a positive effect of mineral fertilizers on the quality of sorghum seeds was noted. Based on the analysis of the mass of 1000 seeds, it can be seen that the application of fertilizers increased the mass of 1000 seeds compared to the background. The length of the inflorescence did not change under the influence of fertilizers. The total duration of vegetation increased in all varieties, compared to growing on a natural background. The "blooming-maturity" phase was the most sensitive to the influence of fertilizers, the ripening of plants with the application of the $N_{70}P_{70}K_{70}$ fertilizer rate starts 8–10 days later. A tendency to increase productive bushiness with an increase in the rate of mineral nutrition was observed.

Key words: grain sorghum, growth and development, elements of the productivity structure, yield, mineral nutrition.