

УДК 631.527.5.048:631.811.98:633.17(477.7)

Якість зерна гібридів сорго зернового залежно від густоти рослин та регулятора росту в умовах Північного Степу України

 Д. В. Сухіна*,  Н. В. Новицька

Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна, *e-mail: sukhina.denis@gmail.com

Мета. Установити вплив гібридів, густоти рослин та застосування регулятора росту рослин на вміст білка й крохмалю в зерні та натуру зерна сорго в умовах Північного Степу України. **Методи.** Дослідження проводили в умовах недостатнього зволоження Північного Степу України протягом 2022–2024 рр. Під час досліджень застосовували такі методи: польовий – спостереження за фенологічними фазами росту й розвитку культури, оцінювання впливу досліджуваних елементів на врожайність сорго зернового; табличний – для систематизації, впорядкування й подання отриманих даних; графічний – для візуалізації результатів дослідження. Наукова програма передбачала вивчення впливу технологічних елементів на фенологічні, біометричні, структурно-морфологічні показники та врожайність сорго зернового. Відповідно до поставленої мети було розроблено схему трифакторного дослідження, у якій першим фактором були гібриди сорго зернового різних груп стиглості: ‘Калатур’, ‘ЕС Алізе’, ‘ЕС Фоен’, ‘Албанус’ та ‘ЕС Муссон’. Другим фактором була густина рослин – 170, 200 та 230 тис. шт./га. Третім – застосування регулятора росту Аппетайзер у фазах 4–5 та 7–8 листків із нормою витрати препарату 0,5 л/га та робочого розчину – 150 л/га. **Результати.** Упродовж років досліджень найвищий середній вміст білка в зерні відзначено в середньораннього гібрида ‘ЕС Фоен’ за густоти стояння рослин 170 та 200 тис. шт./га із застосуванням регулятора росту Аппетайзер – 11,4 %, а також у ранньостиглого ‘Албанус’ за аналогічних умов – 12,0 %. Найвищий вміст крохмалю серед досліджуваних гібридів зафіксовано в середньораннього гібрида ‘ЕС Муссон’ – 72 % за густоти рослин 170 тис. шт./га та внесення регулятора росту. Найвищу натуру зерна мав середньоранній гібрид ‘ЕС Фоен’ – 750 г/л за густоти 170 тис. шт./га за використання Аппетайзер. Загалом, формування густоти рослин у межах 170–200 тис. шт./га є ефективним агротехнічним заходом, що забезпечує високі показники якості зерна сорго. **Висновки.** Формування густоти рослин у межах 170–200 тис. шт./га є ефективним агротехнічним заходом, що забезпечує високі якісні показники зерна сорго. Натомість загущення посівів до 230 тис. шт./га призводить до їх зниження. Регулятор росту Аппетайзер має незначний вплив на вміст крохмалю та натуру зерна, однак може розглядатися як сучасний адаптивний елемент технології вирощування, спрямований на підвищення вмісту білка, а також поліпшення біометричних та структурно-морфологічних характеристик рослин.

Ключові слова: продуктивність; реалізація генетичного потенціалу; гібрид; густина рослин; регулятор росту рослин; технологія вирощування; екстракт морських водоростей.

Вступ

Сорго зернове вирізняється низкою переваг серед інших зернових культур. Воно широко використовується як у харчовій промисловості (для виробництва крохмалю, сиропів, круп, спирту тощо), так і в енергетичній галузі (для виготовлення біоетанолу, брикетів та пелетів). Зерно цієї культури містить 70–75 % крохмалю, 12–15 % білка та 2,4–4,8 % жиру, що за хімічним складом наближає його до кукурудзи. Завдяки цьому сорго є важливим джерелом поживних речовин для годівлі худоби, особливо у південних областях України. Якість зерна залежить від низки чинників, зокрема погодних умов у період вегетації, площі живлення та забезпеченості рослин поживними речовинами, рівня доступної вологи, а також генетичних особливостей сортів або гібридів [1].

Завдяки притаманним сорго зерновому невибагливості, посухостійкості та здатності адаптуватися до несприятливих умов, цю культуру вважають стратегічно важливою для України [2]. До ключових

переваг, що зумовлюють вибір сорго, належать низькі норми висіву, тривалий строк збереження схожості насіння [3], а також можливість проведення пізньої сівби навесні. Останнє забезпечується завдяки низькому транспіраційному коефіцієнту, який становить у середньому 300 одиниць води на одиницю врожаю. Це на 11,3 % менше, ніж у кукурудзи (338), на 41,5% менше, ніж у пшениці (513), і на 59 % порівняно з горохом (730). Таким чином, зернове сорго є перспективною культурою для пересіву загиблих озимих і ярих культур у разі виникнення аномальних посушливих умов [4].

Згідно з [5], ефективне управління якістю зерна можливе лише за умови правильного добору комплексу агротехнічних заходів та елементів технології вирощування, адаптованих до ґрунтово-кліматичних умов конкретного регіону. У сучасних умовах стрімкого зростання вартості традиційних енергоресурсів (паливно-мастильних матеріалів, засобів захисту рослин, добрив тощо), особливої актуальності набувають дослідження, спрямовані на пошук альтернативних і сучасних адаптивних підходів для підвищення продуктивності сільськогосподарських культур та поліпшення якісних показників їх урожаю.

Одним із адаптивних елементів сучасних технологій вирощування є застосування регуляторів росту рослин. Ці препарати сприяють підвищенню ефективності поглинання та засвоєння поживних речовин, стимулюють продуктивність рослин і водночас є економічно вигідними [6]. Регулятори росту рослин розглядають як сучасний інструмент впливу на фізіологічні процеси в рослинах: вони здатні активізувати вегетативний ріст, пришвидшити цвітіння та досягання, підвищити стійкість рослин до стресових чинників і зрештою – урожайність [7].

Сьогодні цей клас речовин охоплює як синтетичні, так і природні сполуки, що регулюють життєдіяльність рослин через активацію синтезу білків і РНК або зміну матричної доступності ДНК, водночас не виступаючи джерелом живлення. Більшість представлених на ринку регуляторів росту рослин мають у своєму складі комплекс біологічно активних компонентів, зокрема: гібереліни, ауксини, цитокініни, гумінові та фульвокислоти, амінокислоти, а також екстракти грибів і морських водоростей [8].

Особливу увагу в сучасному рослинництві приділяють бурим водоростям, як-от *Fucus* spp., *Laminaria* spp., *Sargassum* spp., *Ecklonia* spp., *Durvillaea* spp. та *Turbinaria* spp., які характеризуються високим рівнем біомаси та широким ареалом поширення [9]. У дослідженні було обрано регулятор росту рослин Аппетайзер через високий вміст екстракту бурих водоростей *Ascophyllum nodosum* GA-142 (95,2 %), який містить широкий спектр біоактивних сполук: полі- та олігосахариди (ламінаран, фукан, альгінат), бетаїни, стероли, амінокислоти, макро- й мікроелементи, а також фітогормони (абсцизинова кислота, цитокініни та ауксини) [10]. Застосування цього препарату дало змогу всебічно оцінити вплив екстракту морських водоростей на продуктивність сорго зернового в умовах посухи.

Саме це стало підґрунтям для дослідження якісних показників зерна гібридів сорго залежно від густоти стояння рослин та застосування регулятора росту Аппетайзер.

На сьогодні вже проведено оцінювання та аналіз кореляційних зв'язків між показниками якості зерна сорго – зокрема вмістом білка й крохмалю, натури тощо – у багатьох комерційних гібридів, а також виявлено взаємозв'язки між деякими з них [11, 12]. Крім того, встановлено, що якісні характеристики зерна залежать не лише від виду сорго, а й від ґрунтово-кліматичних умов вирощування [13].

Упродовж останнього десятиріччя селекційні дослідження були зосереджені не тільки на підвищенні зернової продуктивності гібридів сорго, а й на збільшенні вмісту крохмалю в зерні [14]. За даними Гамаюнової та ін. [15], вміст крохмалю є одним із ключових показників, що визначає значущість сорго зернового як енергетичної культури, зокрема для виробництва біоетанолу. Порівняно з кукурудзяним, крохмаль із зерна сорго вважається технологічно привабливішим завдяки вищому вмісту білка та харчових волокон [16].

В. В. Любич зі співавторами дослідили важливість правильного вибору гібрида сорго зернового відповідно до умов зони вирощування як ключового чинника, що впливає на вміст білка в зерні [17].

Комплексний вплив мікродобрив та регуляторів росту на якість зерна гібридів сорго вивчала О. С. Тітаренко [18]. У результаті досліджень було визначено частки впливу факторів на основні показники якості. Зокрема, на вміст білка в зерні найбільший вплив мав гібрид – 46 %, тоді як мікродобрива забезпечували 27 %, а регуляторів росту – 16 %. Щодо вмісту крохмалю, вплив гібрида становив 53 %, мікродобрив – 27 %, регуляторів росту – 13 %.

Вплив різних доз мінеральних добрив на якісні показники зерна сорго досліджував І. П. Гринюк [19], який установив кореляційну залежність між умістом крохмалю та рівнем мінерального удобрення, а також виявив обернено-пропорційний характер цього зв'язку.

Білковий склад злаків порівнював М. О. Бойко [20] дійшовши висновку, що сорго вирізняється підвищеним умістом білків із високою біологічною цінністю. Білковий профіль сорго включає значну кількість незамінних амінокислот, зокрема лізину, метіоніну та триптофану, що робить його важливим компонентом у раціонах харчування. Основним білком сорго є кафірин – представник проламінів, подібно до глютену в пшениці, гордеїну в ячменю та секаліну в жита.

Водночас сьогодні бракує наукових досліджень щодо впливу густоти рослин і застосування регуляторів росту на якісні показники зерна сорго – зокрема натуру, вміст білка та крохмалю. Тому вивчення ефективності сучасних агротехнічних заходів залишається актуальним напрямом наукових пошуків.

Мета дослідження – установити вплив гібридів, густоти рослин та застосування регулятора росту рослин на вміст білка й крохмалю в зерні та натуру зерна сорго в умовах Північного Степу України.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження виконували протягом 2022–2024 рр. на полях ТОВ «Зоря» (с. Гаврилівка, Синельниківський р-н, Дніпропетровська обл.). Згідно із зональним розподілом, район належить до північної частини степової зони України з недостатнім і нестійким зволоженням та посушливими погодними умовами.

Урожайність сорго зернового характеризувалася мінливістю за роками, зумовленою передусім погодними умовами, зокрема кількістю опадів (рис. 1), середньомісячними температурами (рис. 2) та сумою активних температур за вегетаційний період (табл. 1).

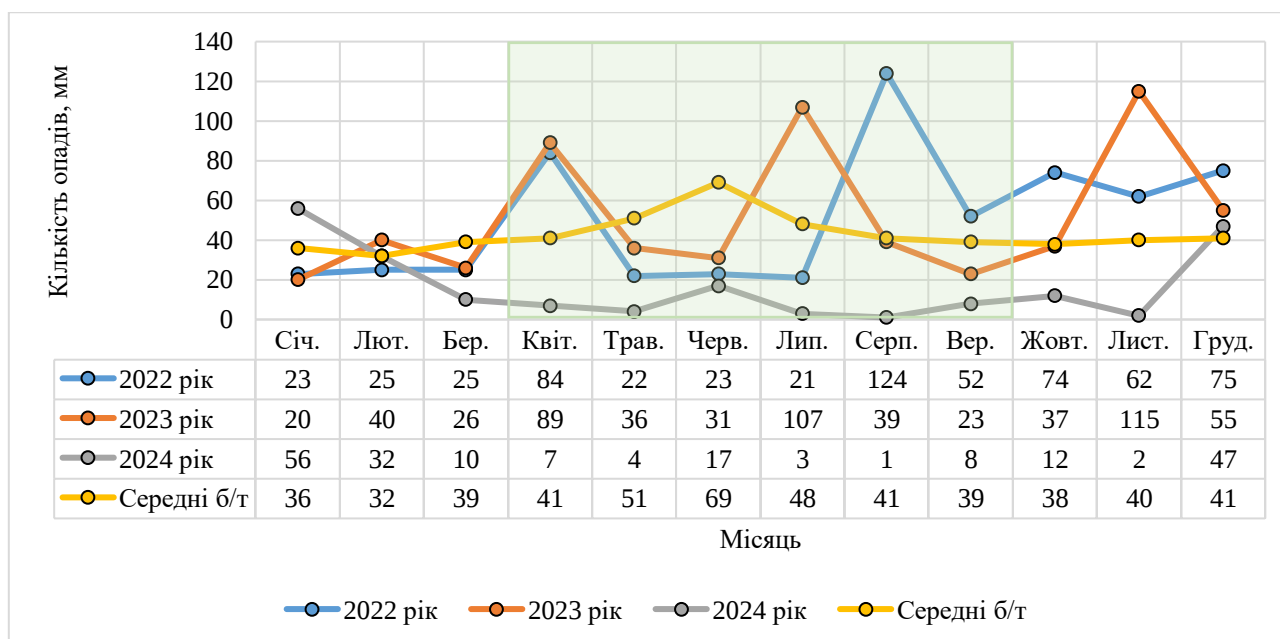


Рис. 1. Метеорологічні показники середньомісячної кількості опадів за період досліджень та середні багаторічні показники (1991–2020 рр.) за даними спостережень метеостанції Синельникове, мм

Згідно із зафіксованими даними, 2022 та 2023 роки були більш вологозабезпеченими порівняно із середніми багаторічними показниками, переважаючи їх на 12,4–12,8 %. Проте за гідротермічним коефіцієнтом вони вважалися середньо- та сильнопосушливими. Однак велика кількість опадів у серпні 2022 року та липні 2023-го сприяла розвитку рослин і формуванню структурно-морфологічних показників під час проходження фенологічних фаз від викидання волоті до молочно-воскової стиглості. При цьому сума активних температур у 2022 році співпадала із середньою багаторічною, а показник 2023 року перевищував її на 13,9 %. Фактична сума ефективних температур 2022 року була меншою за середню багаторічну на 4,7 %, а 2023-го – більшою на 6,8 %.

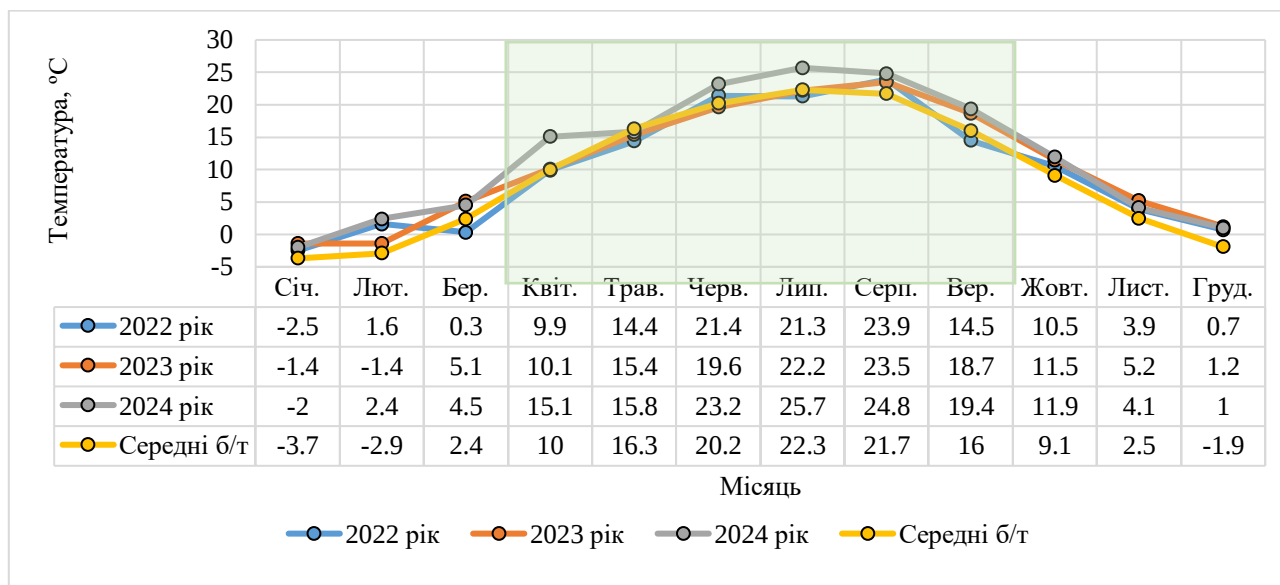


Рис. 2. Метеорологічні показники середньомісячної температури повітря за період досліджень та середні багаторічні показники (1991–2020 рр.) за даними спостережень метеостанції Синельникове, °C

Натомість 2024 рік характеризувався відсутністю продуктивних опадів, які є лімітуючим фактором при формуванні продуктивності сільськогосподарських культур у зоні Степу України. Сума опадів за весняно-літній період становила 40 мм, що становило 13,8 % від середніх багаторічних показників. Водночас 2024 рік виявився найбільш теплозабезпеченим, перевищуючи середній багаторічний показник на 17,9 % за сумою активних та на 14,5 % за сумою ефективних температур.

Таблиця 1

Середні багаторічні (1991–2020 рр.) та фактичні суми активних і ефективних температур повітря понад 10 °C за даними спостережень метеостанції Синельникове, °C

Показники	2022 р.	2023 р.	2024 р.	Середня багаторічна $\sum t^{\circ}\text{C} > 10$
Фактична сума активних температур	3250	3702	3832	3250
Фактична сума ефективних температур	1451	1625	1742	1521

Ґрунти місця проведення дослідів – чорноземи звичайні з високим умістом гумусу. Ґрунтові запаси елементів живлення становили 260–270 кг/га мінерального азоту, 240–260 кг/га фосфору та 860–880 кг/га калію. Уміст гумусу за роки досліджень коливався в межах 4,48–4,55 %.

Агротехніка в досліді була загальноприйнята для зони Степу України, за винятком способу сівби (ширина міжряддя – 45 см) та досліджуваних елементів. Попередник – пшениця озима. У досліді вивчали гібриди сорго зернового французької селекції від компанії Lidea різних груп стиглості (табл. 2): ранньостиглий – ‘Албанус’, середньо-ранній – ‘Калатур’, ‘ЕС Фоен’ та ‘ЕС Муссон’, пізньостиглий – ‘ЕС Алізе’.

Таблиця 2

Характеристика досліджуваних гібридів сорго зернового

Гібрид	Група стиглості	Тривалість вегетації, діб	Висота рослин, см	Колір зернівки	Уміст, %	
					білка	крохмалю
‘Калатур’	Сер.-ранній	108–109	114–120	білий	12,4–12,8	74,0–74,8
‘ЕС Алізе’	Пізньостиглий	117–120	107–120	червоний	10,2–11,6	74,6–76,4
‘ЕС Фоен’	Сер.-ранній	108–111	107–120	червоний	12,0–12,8	73,8–74,3
‘Албанус’	Ранньостиглий	92–100	115–116	білий	12,6–13,0	74,3–74,8
‘ЕС Муссон’	Сер.-ранній	103–108	105–114	білий	11,4–12,8	71,8–73,9

Другим досліджуваним фактором була густота рослин, яка становила 170, 200 та 230 тис. шт./га.

Третім досліджуваним фактором було двократне застосування регулятора росту рослин Аппетайзер, який стимулює фізіологічні процеси та поліпшує живлення рослин у стресових умовах. Препаративна форма – водний розчин (ВР). Діюча речовина – екстракт морських водоростей (GA-142) – 952 г/л, солі цинку (1 %) та марганцю (1 %).

Перше внесення регулятора росту у варіантах дослідів проводили у фазі 4–5 листків, друге – 7–8 листків з нормою витрати 0,5 л/га за витрати робочого розчину 150 л/га. Для забезпечення якісного внесення препарату відповідно до рекомендацій виробника, використовували інжекторні двофакельні форсунки IDKT 04 з розміром крапель 350–480 МОД μm . Обробляли посіви у вечірній час за температури повітря в межах +15–20 °С, відносної вологості повітря 20–30 % та швидкості вітру 3–4 м/с.

Загальна площа дослідної ділянки становила 8 га. Облікова площа ділянки варіанту – 600 м² (6 × 100 м. п.), а загальна – 673,2 м² (6,6 × 102 м. п.). Розміщення варіантів – систематичне у три яруси (30 варіантів). Повторність дослідів чотириразова.

Урожай збирали прямим комбайнуванням за допомогою комбайна NewHolland CX 5040 із зерновою жаткою. При збиранні врожаю із тари відібрали проби зерна та формували об'єднані проби за варіантами для визначення якісних показників зерна. Уміст білка визначали за методом К'ельдаля.

Статистичну обробку результатів досліджень проводили за методикою дисперсійного аналізу даних багаточинних дослідів з використанням комп'ютерного програмного забезпечення Microsoft Excel.

Результати дослідження

У результаті польових досліджень, проведених протягом 2022–2024 рр., було отримано дані щодо якісних показників зерна сорго зернового залежно від досліджуваних факторів. Показники згруповано за густотою рослин за роками, а також усереднено за три роки для оцінювання гібридів залежно від застосування регулятора росту.

Результати лабораторних аналізів щодо вмісту білка в зерні гібридів сорго, залежно від густоти стояння рослин (ГСР) і застосування регулятора росту рослин (PPP), наведено на рисунку 3.

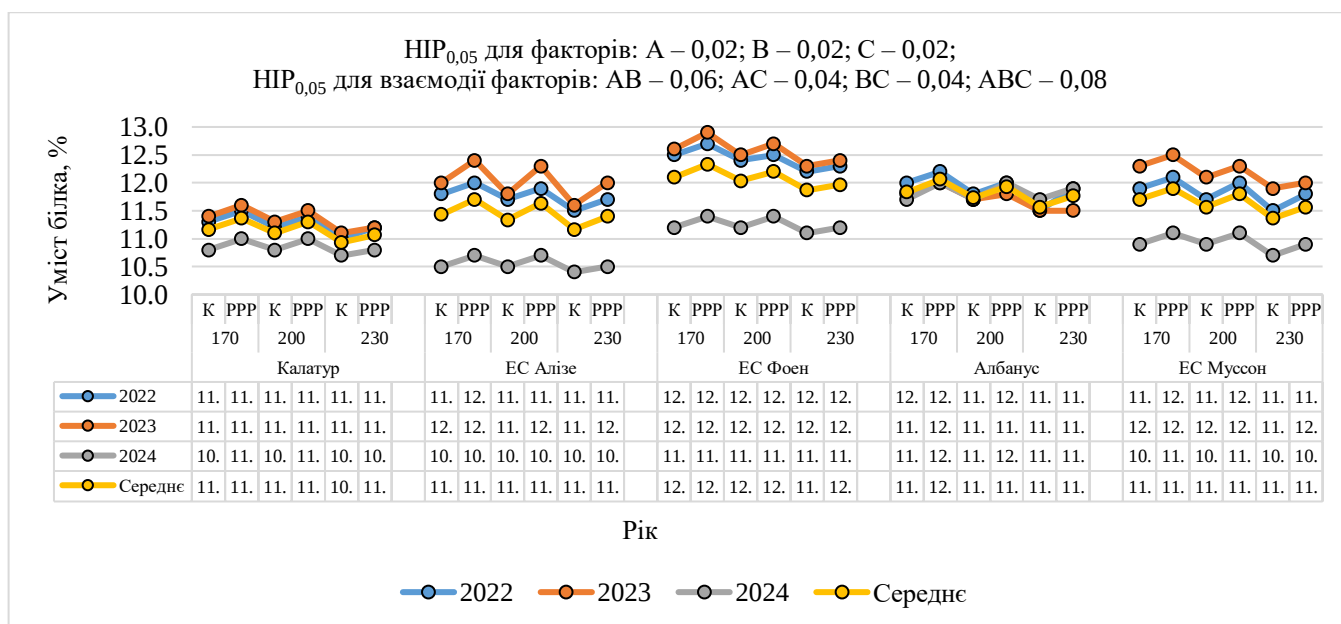


Рис. 3. Уміст білка в зерні сорго (%) залежно від досліджуваних факторів

Установлено, що вміст білка в зерні насамперед залежить від гібрида, оскільки найбільша варіативність показників спостерігалася між різними гібридами. Зі збільшенням густоти рослин зі 170 до 200 тис. шт./га вміст білка залишався стабільним, однак за густоти 230 тис. шт./га показники знижувалися. Застосування регулятора росту рослин сприяло підвищенню вмісту білка у всіх досліджуваних варіантах: у гібридів 'Калатур', 'ЕС Алізе', 'ЕС Фоен' – на 2 % за ГСР 170 та 200 тис. шт./га і на 1 % у разі 230 тис. шт./га; в 'Албанус' – на 3 % за ГСР 170 та 200 тис. шт./га і на 2 % у варіанті 230 тис. шт./га; у 'ЕС Муссон' – на 2 % незалежно від ГСР.

Найвищий уміст білка в зерні був зафіксований у гібридів 'Албанус' (12,0 %) та 'ЕС Фоен' (11,4 %) за ГСР 170 та 200 тис. шт./га із застосуванням регулятора росту Аппетайзер. Найнижчі показники відзначено в гібрида 'ЕС Алізе' у контрольному варіанті за ГСР 230 тис. шт./га.

Уміст крохмалю в зерні визначали поляриметричним методом (за Еверсом) шляхом розчинення зразків у гарячому розчині соляної кислоти з подальшим вимірюванням на поляриметрі «СУ-2». За умов, коли вміст крохмалю перевищує 55–60 %, використання зерна як сировини для перероблення на крохмаль вважається доцільним. Отримані результати наведено на рисунку 4.

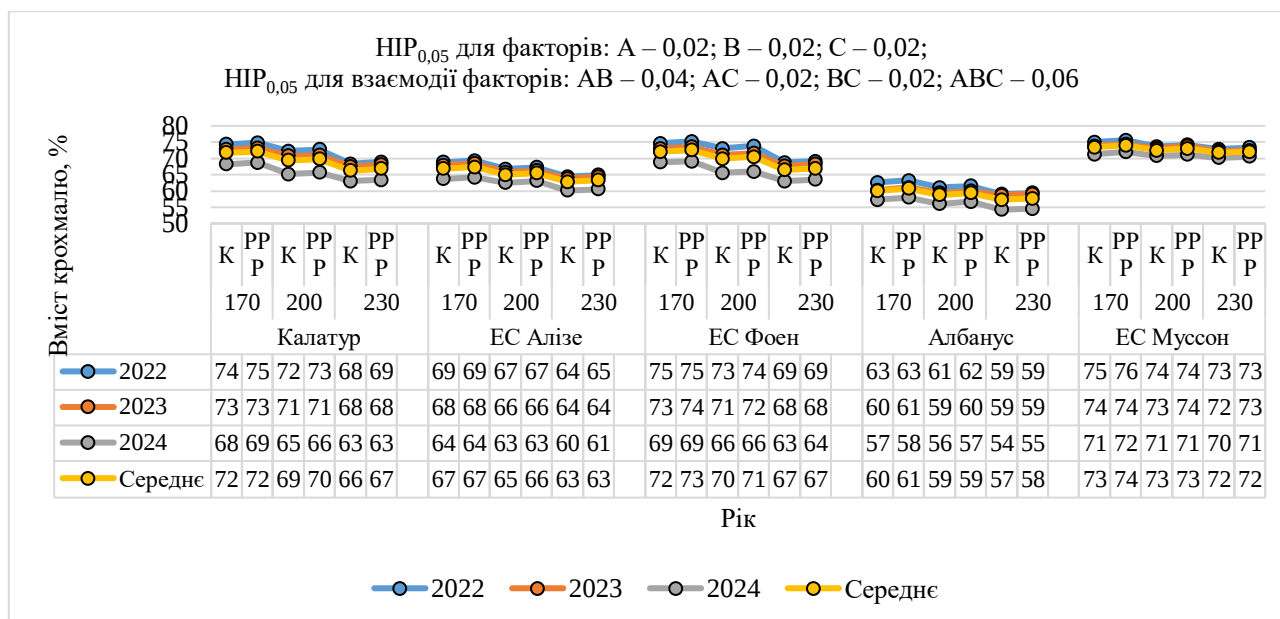


Рис. 4. Уміст крохмалю в зерні сорго (%) залежно від досліджуваних факторів

Уміст крохмалю в зерні гібридів сорго варіював залежно як від сортименту, густоти рослин та застосування регулятора росту. Найвищі показники спостерігалися у гібридів 'ЕС Муссон', 'ЕС Фоен' та 'Калатур'; дещо нижчі – у 'ЕС Алізе', а найменші – в 'Албанус' (за густоти рослин 170 тис. шт./га). Застосування регулятора росту Аппетайзер забезпечило зростання вмісту крохмалю на 1 % в усіх досліджуваних гібридах.

Зі збільшенням густоти рослин до 200 тис. шт./га на контрольних варіантах уміст крохмалю зменшився на 4 % у гібрида 'Калатур', на 2 % – у 'ЕС Алізе', на 5 % – у 'ЕС Фоен', на 2 % – в 'Албанус', на 1 % – у 'ЕС Муссон'. Аналогічно до варіантів із густотою 170 тис. шт./га, застосування регулятора росту забезпечувало підвищення вмісту крохмалю на 1 %.

Подальше збільшення густоти рослин до 230 тис. шт./га призвело до зменшення вмісту крохмалю на 3 % у гібридів 'Калатур' та 'Албанус', на 4 % – у 'ЕС Алізе' та 'ЕС Фоен', на 1 % – у 'ЕС Муссон' порівняно з контрольними варіантами за густоти рослин 200 тис. шт./га. З огляду на це, можна зробити висновок, що за цим показником найбільш пластичним до загущення є гібрид 'ЕС Муссон'. Застосування Аппетайзер також забезпечувало підвищення вмісту крохмалю на 1 %.

Найвищим умістом крохмалю характеризувалися варіанти з гібридами 'ЕС Муссон' (72,0 %) та 'ЕС Фоен' (69,1 %) за густоти рослин 170 тис. шт./га із застосуванням регулятора росту, а найнижчим – гібрид 'Албанус' у контрольному варіанті за густоти рослин 230 тис. шт./га.

Натуру зерна визначали за допомогою літрової пурки ПХ-1 з трикратним повторенням та точністю до 1,0 г відповідно до методики, передбаченої ДСТУ 10840:2019. Результати наведено на рисунку 5.

Результати вимірювання свідчать, що натура зерна більшою мірою залежала від гібрида. Зокрема, на контрольних варіантах за густоти рослин 170 тис. шт./га спостерігалася найвищі показники: 740 г/л – у 'ЕС Фоен', 680 г/л – у 'ЕС Алізе', 615 г/л – у 'Калатур' та 'ЕС Муссон', 610 г/л – в 'Албанус'. Застосування регулятора росту забезпечило підвищення показника у середньому на 13 г/л.

Збільшення густоти до 200 тис. шт./га призвело до зменшення натури зерна на всіх варіантах на 1 %, окрім гібрида 'Калатур' (–2 %). При цьому із застосуванням РРР значення показників відповідали контрольним варіантам за густоти 170 тис. шт./га або навіть перевищували їх.

Контрольні варіанти зі збільшенням густоти до 230 тис. шт./га характеризувалися зменшенням натури зерна у більшості гібридів на 1%, за винятком 'Албануса', у якого цей показник знизився на 2 % (порівняно з контролем за ГСР 200 тис. шт./га). Застосування регулятора росту за зазначеної

густоти рослин забезпечило підвищення натури зерна на 1 % у гібридів 'ЕС Алізе' та 'ЕС Фоен', і на 2 % – у гібридів 'Калатур', 'Албанус' та 'ЕС Муссон'.

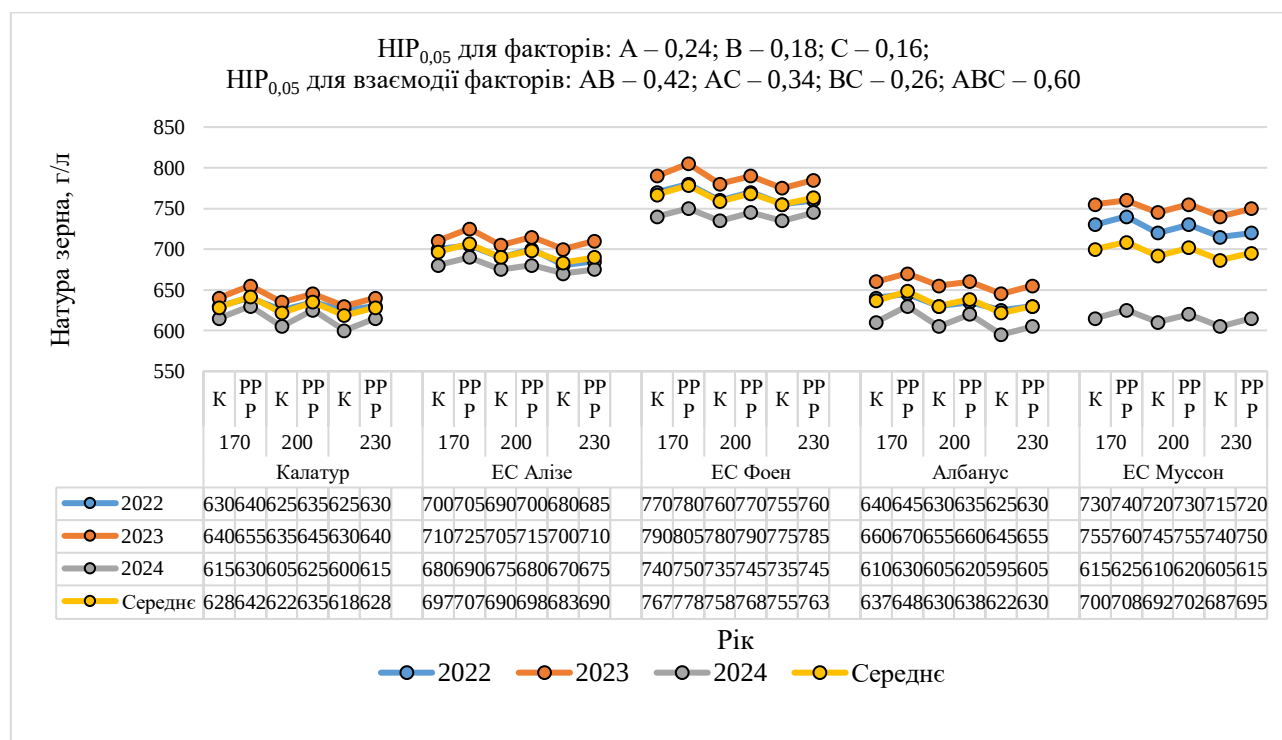


Рис. 5. Натура зерна сорго (г/л) залежно від досліджуваних факторів

Крім того, було визначено коефіцієнти суттєвості відхилень (K_c) кількості опадів та середньомісячних температур від середніх багаторічних значень (табл. 3). Аналіз отриманих даних свідчить, що погодні умови весняно-літнього періоду 2022, 2023 та 2024 років суттєво відрізнялися від середніх багаторічних, що дає підстави вважати їх супутнім фактором впливу на якісні показники зерна сорго.

Таблиця 4

Коефіцієнти суттєвості відхилень кількості опадів та середньомісячних температур за вегетаційний період 2022–2024 рр. від середніх багаторічних показників

Місяць	Опади, мм			K_c		
	Середнє багаторічне	Середнє квадратичне відхилення	Середнє за місяцями	Рік		
				2022	2023	2024
Квітень	41	38	60	1,1	1,3	-0,9
Травень	51	13	21	-2,2	-1,1	-3,6
Червень	69	6	24	-8,0	-6,6	-9,1
Липень	48	45	44	-0,6	1,3	-1,0
Серпень	41	51	55	1,6	0,0	-0,8
Вересень	39	18	28	0,7	-0,9	-1,7
Місяць	Температура, °C			K_c		
	Середнє багаторічне	Середнє квадратичне відхилення	Середнє за місяцями	Рік		
				2022	2023	2024
Квітень	10,0	2,4	11,7	0,0	0,0	2,1
Травень	16,3	0,6	15,2	-3,2	-1,5	-0,8
Червень	20,2	1,5	21,4	0,8	-0,4	2,0
Липень	22,3	1,9	23,1	-0,5	-0,1	1,8
Серпень	21,7	0,5	24,1	4,0	3,3	5,7
Вересень	16,3	2,2	17,5	-0,8	1,1	1,4

Рівень коефіцієнтів суттєвості відхилень відповідає градації:

$K_c = 0-1$ – умови, близькі до звичайних;

$K_c = 1-2$ – умови, що значно відрізняються від середніх багаторічних;

$K_c > 2$ – умови, наближені до рідкісних.

Установлено, що 2023 рік був найбільш вологозабезпеченим, проте загалом мав кризову нестачу вологи в червні ($K_c = -6,6$). Найбільшим дефіцитом вологи характеризувалися травень (K_c від $-1,1$ до $-3,6$) та червень (K_c від $-6,6$ до $-9,1$) досліджуваних років. Більш вологозабезпеченими порівняно із середніми багаторічними показниками виявилися квітень 2022 та 2023 років.

Крім того, у результаті дисперсійного аналізу отриманих результатів було розраховано частку впливу окремих факторів та їхньої взаємодії (рис. 6).

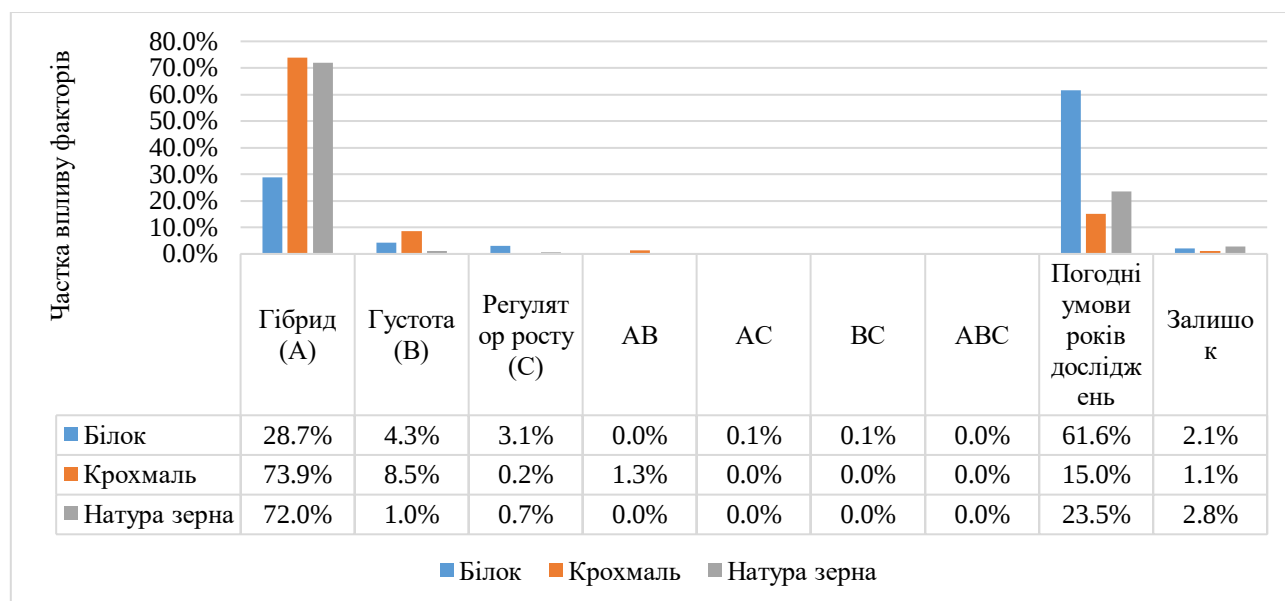


Рис. 6. Частки впливу досліджуваних факторів у загальній сумі квадратів

Вищенаведені розрахунки свідчать, що основну частку впливу на вміст білка в зерні сорго серед досліджуваних факторів мав гібрид (28,7 %). Друге місце посідає густота рослин (4,3 %), третє – застосування регулятора росту рослин (3,1 %). Водночас вагомий вплив мали погодні умови, які не входили до переліку досліджуваних факторів (частка впливу – 61,6 %). Взаємодії між досліджуваними факторами не виявлено.

Уміст крохмалю переважно залежав від гібрида (73,9 %) та густоти (8,5 %), а також їх взаємодії (1,3 %). Регулятор росту мав незначний вплив (0,2%), тоді як погодні умови забезпечили 15,0 % варіації ознаки.

Найбільшу частку впливу на натуру зерна також мав гібрид (72,0 %). При цьому густота рослин (1,0 %) і регулятор росту (0,7 %) мали незначний вплив, а погодні умови в роки досліджень забезпечили 23,5 % варіації показника.

Висновки

Результати лабораторних досліджень свідчать про суттєвий вплив елементів технології вирощування сорго зернового, таких як гібридний склад і густота стояння рослин, на якісні показники зерна. Важливу роль також відіграли погодні умови років досліджень.

У середньому за період досліджень найвищий уміст білка був зафіксований у середньораннього гібрида 'ЕС Фоен' – 11,4 % за густоти стояння рослин 170 та 200 тис. шт./га із застосуванням регулятора росту Аппетайзер, а також у ранньостиглого гібрида 'Албанус' – 12,0 % за аналогічних умов.

За вмістом крохмалю серед досліджуваних гібридів відзначився середньоранній гібрид 'ЕС Муссон' – з показником 72 % за густоти стояння рослин 170 тис. шт./га із застосуванням регулятора росту. Найбільшу натуру зерна мав середньоранній гібрид 'ЕС Фоен' – 750 г/л за аналогічної густоти рослин та застосування регулятора росту Аппетайзер. На вміст крохмалю суттєвий вплив мали генетичні особливості гібридів, що підтверджує важливу роль правильного добору гібридного складу зернового сорго відповідно до екологічних умов зони вирощування.

Отже, на підставі наведених вище даних можна зробити висновок, що оптимальним варіантом за якісними показниками зерна є вирощування гібридів 'Албанус' (для виробництва круп, макаронних виробів, борошна та на кормові цілі) та 'ЕС Фоен' (для харчової промисловості, а також виробництва крохмалю та біоетанолу) за густоти стояння рослин 170 та 200 тис. шт./га із застосуванням

регулятора росту Аппетайзер. Зазначений препарат можна вважати сучасним адаптивним елементом технології вирощування, здатним позитивно впливати на якісні характеристики зерна сорго в умовах Північного Степу України.

На підставі аналізу якісних показників зерна можна зробити висновок, що формування густоти рослин у межах 170–200 тис. шт./га є ефективним агротехнічним заходом, що забезпечує високі якісні показники зерна сорго. Натомість загущення посівів до 230 тис. шт./га призводить до зниження цих показників. Регулятор росту Аппетайзер має незначний вплив на вміст крохмалю та натуру зерна, однак може розглядатися як сучасний адаптивний елемент технології вирощування, спрямований на підвищення вмісту білка, а також поліпшення біометричних та структурно-морфологічних характеристик рослин.

Використана література

1. Aruna C., Cheruku D. Genetic Improvement of Grain Sorghum. *Breeding sorghum for diverse end uses* / C. Aruna, K. B. R. S. Visarada, B. V. Bhat (Eds.). Woodhead Publishing, 2019. P. 157–173. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101879-8.00010-3>
2. Chadalavada K., Guna K., Ranjitha Kumari B. D. Drought stress in sorghum: impact on grain quality. *Climate change and crop stress* / A. K. Shanker, C. Shanker, A. Anand (Eds.). Academic Press, 2022. P. 113–134. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816091-6.00003-1>
3. Квашук О. В., Сучек М. М., Хоміна В. Я., Пастух О. Д. Круп'яні культури. Кам'янець-Подільський : Медобори-2006, 2013. 248 с.
4. Chadalavada K., Kumari B. D. R., Kumar T. S. Sorghum mitigates climate variability and change on crop yield and quality. *Planta*. 2021. Vol. 253, Iss. 5. Article 113. <https://doi.org/10.1007/s00425-021-03631-2>
5. Audilakshmi S., Aruna C., Solunke R. B. et al. Approaches to grain quality improvement in rainy season sorghum in India. *Crop Protection*. 2006. Vol. 26, Iss. 4. P. 630–641. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2006.05.015>
6. Zahida R., Agarwal R. K., Naveen K. et al. Optimizing sorghum yield and quality: a study on the role of plant growth regulators and micronutrient management strategies. *Journal of Scientific Research and Reports*. 2024. Vol. 30, Iss. 11. P. 208–222. <https://doi.org/10.9734/jsrr/2024/v30i112548>
7. Yakhin O. I., Lubyantov A. A., Yakhin I. A., Brown P. H. Biostimulants in plant science: a global perspective. *Frontiers in Plant Science*. 2017. Vol. 7. Article 2049. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049>
8. Філіпова Л. Огляд українського ринку препаратів рістстимулювальної дії. *Theoretical and practical aspects of modern scientific research: Collection of scientific papers «ΛΟΓΟΣ» with Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference (Seoul, April 28, 2023)*. Seoul, 2023. P. 101–106. <https://doi.org/10.36074/logos-28.04.2023.32>
9. De Saeger J., Van Praet S., Vereecke D. et al. Toward the molecular understanding of the action mechanism of *Ascochylla nodosum* extracts on plants. *Journal of Applied Phycology*. 2020. Vol. 32, Iss. 1. P. 573–597. <https://doi.org/10.1007/s10811-019-01903-9>
10. Al-Uburi R., Al-Lami O. A. J. Effect of planting date and spraying with the physiological stimulant (Appetizer) on the growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 1158, Iss. 6. Article 062021. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1158/6/062021>
11. Рибалка О. І., Червоніс М. В., Моргун Б. В. та ін. Генетичні та селекційні критерії створення сортів зернових культур спирто-дистильного напрямку технологічного використання зерна. *Фізіологія та біохімія культурних рослин*. 2013. Т. 45, № 1. С. 3–19.
12. Buffo R. A., Weller C. L., Parkhurst A. M. Relationships among grain sorghum quality factors. *Cereal Chemistry*. 1998. Vol. 75, Iss. 1. P. 100–104. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.1998.75.1.100>
13. Sukumaran S., Xiang W., Bean S. R. et al. Association mapping for grain quality in a diverse sorghum collection. *The Plant Genome*. 2012. Vol. 5, Iss. 3. P. 126–135 <https://doi.org/10.3835/plantgenome2012.07.0016>
14. Яланський О. В., Остапенко С. М., Середа В. І. та ін. Селекція гібридів сорго зернового в умовах Генічеської дослідної станції. *Зернові культури*. 2017. Т. 1, № 1. С. 31–35.
15. Гамаюнова В. В., Федорчук М. І., Хоненко Л. Г. Соргові культури та доцільність їх поширення на Півдні України. *The IX th International scientific and practical conference «Science and practice of today»* (November 16–19, 2020, Ankara, Turkey). Ankara, 2020. P. 30.
16. Войтовська В. І., Любич В. В., Третьякова С. О., Приходько В. О. Технологічна якість крохмалю різних гібридів кукурудзи і сортів сорго зернового за його біохімічною складовою. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2022. № 1. С. 77–81. <https://doi.org/10.31395/2310-0478-2022-1-77-81>
17. Liubych V. V., Storozhyk L. I., Voitovska V. I. et al. Agrobiological parameters of various varieties and hybrids of sweet sorghum. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2021. Т. 17, № 3. С. 193–198. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.17.3.2021.242966>

18. Тітаренко О. С. Розробка елементів технології вирощування сорго зернового в умовах Лісостепу України: дис. ... д-ра філософії: 201 – Агрономія. Біла Церква: БНАУ, 2023. 157 с. URL: <http://rep.btsau.edu.ua/handle/BNAU/8983>
19. Гринюк І. П. Вплив доз мінеральних добрив на врожайність зерна та вихід крохмалю із зерна сорго в умовах Правобережного Лісостепу України. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2020. Вип. 176. С. 96–101.
20. Бойко М. О. Сорго як харчовий продукт: перспективи та нові можливості. *Таврійський науковий вісник*. 2024. № 138. С. 15–21. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.138.2>

References

1. Aruna, C., & Cheruku, D. (2019). Genetic improvement of grain sorghum. In C. Aruna, K. B. R. S. Visarada, & B. V. Bhat (Eds.), *Breeding sorghum for diverse end uses* (pp. 157–173). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101879-8.00010-3>
2. Chadalavada, K., Guna, K., & Ranjitha Kumari, B. D. (2022). Drought stress in sorghum: Impact on grain quality. In A. K. Shanker, C. Shanker, & A. Anand (Eds.), *Climate change and crop stress* (pp. 113–134). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816091-6.00003-1>
3. Kvaschuk, O. V., Suchek, M. M., Khomina, V. Ya., & Pastukh, O. D. (2013). *Cereal crops*. Medobory-2006. [In Ukrainian]
4. Chadalavada, K., Kumari, B. D. R., & Kumar, T. S. (2021). Sorghum mitigates climate variability and change on crop yield and quality. *Planta*, 253(5), Article 113. <https://doi.org/10.1007/s00425-021-03631-2>
5. Audilakshmi, S., Aruna, C., Solunke, R. B., Kamatar, M. Y., Kandalkar, H. G., Gaikwad, P., Murthy, K. G., Jayaraj, K., Ratnavathi, C. V., Kannababu, N., Indira, S., & Seetharama, N. (2006). Approaches to grain quality improvement in rainy season sorghum in India. *Crop Protection*, 26(4), 630–641. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2006.05.015>
6. Zahida, R., Agarwal, R. K., Naveen, K., Shekara, B. G., Prasad, S., Sabina, N., Shabeena, M., Bahar, F. A., Khuroo, N. S., Iqbal, S., Ahnger, T., Bhat, R. A., Rakshanda, A., Dar, Z. A., & Bashir, S. (2024). Optimizing sorghum yield and quality: A study on the role of plant growth regulators and micronutrient management strategies. *Journal of Scientific Research and Reports*, 30(11), 208–222. <https://doi.org/10.9734/jsrr/2024/v30i112548>
7. Yakhin, O. I., Lubyantsev, A. A., Yakhin, I. A., & Brown, P. H. (2017). Biostimulants in plant science: A global perspective. *Frontiers in Plant Science*, 7, Article 2049. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049>
8. Filipova, L. (2023). Overview of the Ukrainian market of plant growth-stimulating products. In *Theoretical and Practical Aspects of Modern Scientific Research: Collection of Scientific Papers “ΛΟΓΟΣ” with Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference* (pp. 101–106). Seoul. doi: 10.36074/logos-28.04.2023.32
9. De Saeger, J., Van Praet, S., Vereecke, D., Park, J., Jacques, S., Han, T., & Depuydt, S. (2020). Toward the molecular understanding of the action mechanism of *Ascophyllum nodosum* extracts on plants. *Journal of Applied Phycology*, 32(1), 573–597. <https://doi.org/10.1007/s10811-019-01903-9>
10. Al-Ubory, R., & Al-Lami, O. A. J. (2021). Effect of planting date and spraying with the physiological stimulant (Appetizer) on the growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1158(6), Article 062021. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1158/6/062021>
11. Rybalka, O. I., Chervonis, M. V., Morgun, B. V., Pochynok, V. M., & Polishchuk, S. S. (2013). Genetic and breeding criteria of crop cultivars production for ethanol distilling end-use. *Physiology and Biochemistry of Cultivated Plants*, 45(1), 3–19. [In Ukrainian]
12. Buffo, R. A., Weller, C. L., & Parkhurst, A. M. (1998). Relationships among grain sorghum quality factors. *Cereal Chemistry*, 75(1), 100–104. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.1998.75.1.100>
13. Sukumaran, S., Xiang, W., Bean, S. R., Pedersen, J. F., Kresovich, S., Tuinstra, M. R., Tesso, T. T., Hamblin, M. T., & Yu, J. (2012). Association mapping for grain quality in a diverse sorghum collection. *The Plant Genome*, 5(3), 126–135. <https://doi.org/10.3835/plantgenome2012.07.0016>
14. Yalanskyi, O. V., Ostapenko, S. M., Sereda, V. I., Bondarenko, N. S., Isaeva, N. M., Baysa, I. P., & Tagantsova, M. M. (2017). Selection of grain sorghum hybrids under the conditions of Henichesk experimental station. *Grain Crops*, 1(1), 31–35. [In Ukrainian]
15. Hamaiunova, V. V., Fedorchuk, M. I., & Khonenko, L. H. (2020). Sorghum crops and the feasibility of their expansion in the South of Ukraine. In *Science and practice of today: Proceedings of the IXth International Scientific and Practical Conference* (Ankara, Turkey, November 16–19, 2020) (p. 30). Ankara. [In Ukrainian]
16. Voitovska, V. I., Liubych, V. V., Tretiakova, S. O., & Prykhodko, V. O. (2022). Technological quality of starch of different hybrids of corn and varieties of grain sorghum by its biochemical component. *Bulletin of Uman National University of Horticulture*, 1, 77–81. <https://doi.org/10.31395/2310-0478-2022-1-77-81>
17. Liubych, V. V., Storozhyk, L. I., Voitovska, V. I., Tereshchenko, I. S., & Losieva, A. I. (2021). Agrobiological parameters of various varieties and hybrids of sweet sorghum. *Plant Varieties Studying and Protection*, 17(3), 193–198. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.17.3.2021.242966>

18. Tytarenko, O. S. (2023). *Development of elements of grain sorghum cultivation technology in the Forest-Steppe zone of Ukraine* (PhD dissertation, Bila Tserkva National Agrarian University). Bila Tserkva NAU. <http://rep.btsau.edu.ua/handle/BNAU/8983>

19. Hrynyuk, I. P. (2020). Influence of mineral fertilizer doses on grain yield and starch output from sorghum grain in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Scientific Bulletin of the National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine*, 176, 96–101.

20. Boyko, M. O. (2024). Sorghum as a food product: Prospects and new opportunities. *Taurian Scientific Herald*, 138, 15–21. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.138.2>

UDC 631.527.5.048:631.811.98:633.17(477.7)

Sukhina, D. V.*, & **Novytska, N. V.** (2025). Grain quality of grain sorghum hybrids as affected by plant density and growth regulator application in the Northern Steppe of Ukraine. *Advanced Agritechnologies*, 13(1). <https://doi.org/10.47414/na.13.1.2025.327465> [In Ukrainian]

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oborony St., Kyiv, 03041, Ukraine,
e-mail: sukhina.denis@gmail.com

Purpose. To determine the influence of hybrid factor, plant density, and plant growth regulator application on protein and starch content and grain weight per liter in the Northern Steppe of Ukraine. **Methods.** The study was conducted under the conditions of insufficient moisture in the Northern Steppe of Ukraine from 2022 to 2024. The research methods included: field observations to monitor phenological stages and assess the impact of studied factors on grain sorghum yield; tabular method for data systematization, arrangement, and presentation; graphical method for visualizing research results. The scientific program aimed to study the influence of technological elements on phenological, biometric, structural-morphological indicators, and grain sorghum yield. To achieve the objective, a three-factor experiment was designed: hybrid (different maturity groups of grain sorghum hybrids – ‘Kalatur’, ‘ES Alize’, ‘ES Foehn’, ‘Albanus’, and ‘ES Musson’; plant density (170, 200, and 230 thousand plants per hectare); growth regulator (growth regulator ‘Appetizer’ applied at the 4–5 and 7–8 leaf stages at a rate of 0.5 l/ha with a working solution of 150 l/ha). **Results.** Over years of research, the highest average protein content in grain was observed in the mid-early hybrid ‘ES Foehn’ (11.4%) at plant densities of 170,000 and 200,000 plants/ha with the application of the growth regulator Appetizer and in the early-maturing ‘Albanus’ (12.0%) under similar conditions. The highest starch content (72%) among the studied hybrids was recorded in the mid-early hybrid ‘ES Musson’ at a plant density of 170,000 plants/ha with the application of the growth regulator. The highest grain weight per litre (750 g/l) was found in the mid-early hybrid ‘ES Foehn’ at a density of 170,000 plants/ha with the use of Appetizer. Overall, plant densities within the range of 170,000–200,000 plants/ha ensure high-quality sorghum grain. **Conclusions.** Plant densities within the range of 170,000–200,000 plants/ha ensure high-quality sorghum grain. Conversely, increasing plant density to 230,000 plants/ha leads to a decline in grain quality. The growth regulator Appetizer has a minor impact on starch content and grain weight per litre but can be considered as an adaptive element of cultivation technology aimed at increasing protein content and improving biometric and structural-morphological characteristics of plants.

Keywords: yield; genetic potential realization; hybrid; plant quantity; plant growth regulator; cultivation technology; seaweed extract.

Надійшла / Received 05.03.2025
Погоджено до друку / Accepted 14.04.2025