

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

КРАСНОШТАН ВАСИЛЬ ІГОРОВИЧ

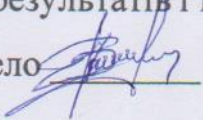
УДК 581.1:[633.174:632.954:631.811.97]

ДИСЕРТАЦІЯ
НАУКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ХІМІЧНИХ І
БІОЛОГІЧНИХ ПРЕПАРАТІВ У ПОСІВАХ СОРГО ЗЕРНОВОГО В
ПРАВОБЕРЕЖНОМУ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

201 – Агрономія

20 – Аграрні науки та продовольство

Подається на здобуття ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне
джерело  В. І. Красноштан

Науковий керівник – Мостов'як Іван Іванович, доктор
сільськогосподарських наук, доцент

Умань – 2023

АНОТАЦІЯ

Красноштан В. І. Наукове обґрунтування застосування хімічних і біологічних препаратів у посівах сорго зернового в Правобережному Лісостепу України. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 201 Агрономія (20 Аграрні науки та продовольство). Уманський національний університет садівництва, Умань, 2022 р.

У вступній частині дисертаційної роботи обґрунтовано актуальність теми дослідження, сформульовано мету і завдання, висвітлено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів.

У першому розділі проаналізовано результати досліджень вітчизняних і зарубіжних вчених стосовно роздільного та інтегрованого застосування гербіцидів, регуляторів росту рослин і біологічних препаратів у посівах зернових культур, та їх вплив на фізіолого-біохімічні й анатомо-морфологічні показники рослин, мікробіологічні зміни у ґрунті, а також на формування якісних і кількісних показників урожайності. Встановлено, що хоча питання сумісного застосування хімічних і біологічних препаратів у посівах зернових культур вивчалось досить широко, інтегрована дія гербіцидів, регуляторів росту рослин і біопрепаратів у посівах сорго зернового й досі залишається маловивченою, що актуалізує дослідження в даному напрямку.

Дослідження виконували впродовж 2019–2021 років в польових умовах сівозміни кафедри біології Уманського національного університету садівництва.

Метеорологічні умови у роки досліджень були здебільшого сприятливими для вирощування сорго зернового з певними відхиленнями від кліматичної норми, що відповідним чином відобразилось на проходженні у рослинах основних фізіолого-біохімічних та анатомо-морфологічних процесів.

Для досліджень було використано: сорго зернове (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) гібриду Майло В (*Milo W*), гербіцид Цитадель 25 OD, регулятор росту рослин Ендофіт L1 та біопрепарат Біоарсенал.

В ході досліджень вивчалась дія різних норм гербіциду класу триазолпіримідинів Цитадель 25 OD, внесених окремо і в сумішах з регулятором росту рослин Ендофіт L1 на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал, та без неї. Схема польового дослідження передбачала 18 дослідних варіантів, на яких проводилися польові й лабораторні дослідження. Окремі фізіолого-біохімічні процеси у рослинах сорго зернового досліджувалися у суворо контрольованих умовах з дотриманням вимог вегетаційного методу.

За результатами вегетаційних досліджень встановлено вплив різних норм гербіциду Цитадель 25 OD (0,6–1,0 л/га), регулятора росту рослин Ендофіт L1 (30 мл/га) і біопрепарату Біоарсенал (800 г/100 кг) на проходження у рослинах сорго зернового реакцій пероксидного окиснення ліпідів. Так, найбільший вміст малонового діальдегіду – одного з продуктів пероксидного окиснення ліпідів, було відмічено у варіантах самостійного застосування гербіциду, де за норм препарату 0,6; 0,8 і 1,0 л/га він перевищував контроль на 33,6; 58,2 і 93,2% – на третю добу після внесення і на 26,2; 38,4 і 57,8% – на десятю добу. Відмічено, що зі збільшенням норми гербіциду інтенсивність проходження процесів ліпопероксидації зростала, що могло слугувати індикатором підвищення рівня окисдативного стресу в рослинах. Водночас, комплексне застосування досліджуваних препаратів дозволяло знизити у рослинах рівень малонового діальдегіду відносно варіантів самостійного застосування гербіциду на 23,1; 19,0; 14,5% – на третю добу і на 19,1; 18,6 та 15,8% – на десятю добу.

Найвищі показники активності ферменту глутатіон-S-трансферази було відмічено у варіантах, де гербіцид Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га вносили в сумішах з регулятором росту рослин Ендофіт L1 (30 мл/га) на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал (800 г/100 кг). Приріст відносно контролю у таких варіантах складав 1,23; 1,46 і 1,81 мкМоль/г сирової речовини – на третю добу і 0,69; 0,91 і 1,19 мкМоль/г сирової речовини – на десятю добу, що свідчить про активізацію детоксикаційних процесів у рослинах сорго зернового за таких умов.

Активність ферменту супероксиддисмутази була максимальною за інтегрованого використання гербіциду Цитадель 25 OD (0,6–1,0), регулятора росту рослин Ендофіт L1 (30 мл/га) і біопрепарату Біоарсенал (800г/100 кг). На третю й десятю добу активність цього ферменту перевищувала контроль на 0,92; 1,44; 1,94 і 1,26; 1,95 та 2,67 ум. од./г сирої маси відповідно, що було більшим за показники варіантів, де застосовувався лише гербіцид в середньому на 30,3–38,5% і 22,1–29,7%.

У варіантах інтегрованого застосування досліджуваних препаратів також було відмічено найвищу активність окремих ферментів класу оксидоредуктаз, що знешкоджують активні форми кисню та слугують своєрідними маркерами оксидативного стресу. За внесення гербіциду Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га сумісно з регулятором росту рослин Ендофіт L1 (30 мл/га) і біопрепаратом Біоарсенал (800 г/100 кг) в середньому за роки досліджень активність каталази у фазу кущення культури зростала на 28,7; 39,4 і 59,7 мкМоль розкладеного H_2O_2 відносно контролю, пероксидази і поліфенолоксидази – на 39,3; 49,2; 62,5 і 5,7; 7,7; 10,7 мкМоль окисненого гваяколу та аскорбінової кислоти за 1 хвилину відповідно, що на 13,9–20,0; 14,9–16,5 і 19,3–29,4% більше, ніж у тотожних варіантах, де регулятор росту рослин і біопрепарат не застосовувались.

В ході досліджень встановлено, що вміст хлорофілів a , b , їх суми $(a+b)$ і каротиноїдів у листках сорго зернового залежали від норм застосування гербіциду та від способів його комбінування з регулятором росту рослин і біопрепаратом. Зростання норми гербіциду призводило до зниження вмісту пігментів в умовах вегетаційного досліді, проте, в польових умовах, позитивний вплив видалення сегетальної рослинності нівелював цей ефект, що проявлялося у підвищенні показників вмісту хлорофілів і каротиноїдів порівняно з контролем. Так, у фазу викидання волоті культури, за внесення гербіциду Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га сумісно з регулятором росту рослин Ендофіт L1 (30 мл/га) на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал (800 г/100 кг) вміст хлорофілу a в листках сорго зернового зростав

відносно контролю в середньому за роки досліджень на 19,8%, вміст хлорофілу *b* – на 42,9%, а їх сума ($a+b$) – на 24,9%.

Окрім хлорофілів важливим компонентом фотосинтетичного апарату є каротиноїди. Серед важливих функцій, які вони виконують, виділяють їх здатність нейтралізувати активні форми кисню, що утворюються в процесі фотосинтезу та внаслідок впливу шкочочинних агентів на рослину. Вміст каротиноїдів у листках сорго зернового, як і хлорофілів, був найвищим за інтегрованого застосування досліджуваних препаратів і перевищував контроль у фазу викидання волоті культури в середньому за роки досліджень на 34,0–38,4%.

Важливим показником, що характеризує ефективність агротехнічних заходів є фотосинтетична продуктивність посівів. Саме вона вказує на загальну інтенсивність процесів фотосинтезу, від яких найбільшою мірою залежить накопичення органічних сполук у тканинах рослин, а отже, і врожайність. Результати проведених досліджень свідчать про те, що на показник чистої продуктивності фотосинтезу сорго зернового мали суттєвий вплив як погодні умови, так і характер використання досліджуваних препаратів. Застосування у посівах гербіциду Цитадель 25 OD (0,6–1,0 л/га) дозволило значно підвищити чисту продуктивність фотосинтезу, яка, у свою чергу залежала й від норми даного препарату. Поєднання гербіцидної обробки посівів із використанням регулятора росту рослин Ендофіт L1 (30 мл/га) та передпосівною обробкою насіння біопрепаратом Біоарсенал (800 г/100 кг) забезпечувало найвищі показники чистої продуктивності фотосинтезу, що перевищували контроль у середньому за роки досліджень на 15,8%.

Вочевидь, такий результат обумовлений інтенсифікацією фізіолого-біохімічних процесів у рослинах сорго зернового та оптимізацією його анатомо-морфологічної структури внаслідок зниження рівня конкуренції з боку сегетальної рослинності, стимуляції ростових процесів завдяки регулятору росту рослин і покращенню режиму живлення завдяки біопрепарату.

Дослідження анатомічної структури епідермісу листків сорго зернового виявили, що найменше число клітин епідермісу на 1 мм² листків при найбільшій

їх площі формувалося за внесення гербіциду Цитадель 25 OD (0,6; 0,8 і 1,0 л/га) сумісно з регулятором росту рослин Ендофіт L1 (30 мл/га) на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал (800 г/100 кг). У таких варіантах кількість клітин була нижчою порівняно з аналогічним показником у варіантах без застосування регулятора росту рослин і біопрепарату в середньому на 10%, що на 34, 44 і 52 шт./мм² менше, ніж у контролі. Розмір клітин при цьому істотно перевищував контроль – на 278, 363 і 435 мкм², що було в середньому на 35% більше, ніж у варіантах самостійного застосування гербіциду.

Одним із важливих показників, що дозволяє оцінити рівень впливу того чи іншого чинника (в тому числі й гербіциду) на структуру епідермісу листків є коефіцієнт їхньої морфоструктури (Км). Згідно з результатами обрахунків, найвищим даний показник був у варіантах, де гербіцид вносили самостійно без застосування регулятора росту рослин і біопрепарату – 0,91–0,98, що в цілому є свідченням покращення умов зростання. Проте, застосування гербіциду Цитадель 25 OD в сумішах з регулятором росту рослин Ендофіт L1 на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал призводило до зниження коефіцієнта морфоструктури до 0,82–0,88, що є свідченням формування мезоморфної структури листків сорго зернового, яка є характерною ознакою високопродуктивних посівів.

Найбільша площа листя у всі роки досліджень формувалась за комплексного використання препаратів. Так, за обробки посівів сорго зернового гербіцидом Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га сумісно з регулятором росту рослин Ендофіт L1 (30 мл/га) та на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал (800 г/100 кг) даний показник у фазу кущення перевищував показники аналогічних варіантів без застосування регулятора росту рослин і біопрепарату на 13,7; 13,4 і 11,9%, що свідчить про підвищення за даних умов здатності рослин асимілювати сонячне випромінювання і формувати високу продуктивність. Окрім того, між показниками площі листя та площі клітин епідермісу листків сорго зернового виявлено тісний кореляційний зв'язок ($r = 0,93$), що свідчить про тісну взаємозалежність.

Одним із важливих показників, що відображають загальний стан посівів та характер впливу на них пестицидів, є висота рослин і їхня вегетативна маса. Найвищі показники висоти рослин сорго зернового було виявлено у варіантах, де гербіцид Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га вносили сумісно з регулятором росту рослин Ендофіт L1 (30 мл/га) на фоні передпосівної обробки насіння Біоарсеналом (800 г/100 кг). За такого поєднання препаратів, даний показник у фазу кущення культури перевищував контроль на 25,1; 28,5 і 31,1%, у фазу викидання волоті – на 19,9; 23,4; 24,6%, у фазу молочно-воскової стиглості насіння – на 6,2; 6,8 і 7,3%. У цих же варіантах досліді формувалася найбільша біомаса рослин сорго зернового – у фазу кущення, викидання волоті й молочно-воскової стиглості приріст відносно контролю становив 16,8–22,9%; 19,5–26,4% і 18,5–25,3% відповідно.

Встановлено, що застосування досліджуваних препаратів виявляло значний вплив на чисельність окремих еколого-трофічних груп мікроорганізмів у ризосфері сорго зернового. Використання у посівах гербіциду Цитадель 25 OD дозволяло сформувати істотно вищі показники загальної чисельності ризосферної мікробіоти порівняно з контрольним варіантом, де не використовувались жодні препарати. Проте, даний показник виявляв тенденцію до зниження зі збільшенням норми препарату, що може бути свідченням його прямої чи опосередкованої негативної дії на мікроорганізми у ризосфері сорго зернового. Так, за норм гербіциду Цитадель 25 OD 0,6; 0,8 і 1,0 л/га загальна чисельність ризосферної мікробіоти перевищувала показник у контролі на 17,5; 12,9 і 5,7%. Найвищі показники чисельності ризосферної мікробіоти було виявлено у варіантах із комплексним застосуванням препаратів, де гербіцид Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га було внесено сумісно з регулятором росту рослин Ендофіт L1 (30 мл/га) на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал (800 г/100 кг). За таких умов цей показник перевищував контроль на 35,3; 30,5 і 22,1%, що в середньому на 15,4% більше ніж в аналогічних варіантах без застосування регулятора росту рослин і біопрепарату, що свідчить про формування максимально сприятливих умов для

життя і розвитку рослин і ризосферних мікроорганізмів за такого поєднання препаратів.

Найвища чисельність мікроміцетів в середньому за роки досліджень була виявлена у варіантах із сумісним застосуванням гербіциду Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га та регулятора росту рослин Ендофіт L1 (30 мл/га) на фоні передпосівної обробки насіння Біоарсеналом (800 г/100 кг). Даний показник у таких варіантах перевищував контроль на 98, 122 і 109 тис. КУО в 1 г ґрунту, що на 22,2; 20,9 і 19,8% більше, ніж у тотожних варіантах без застосування регулятора росту рослин і біопрепарату. За таких же умов виявлено найвищу чисельність целюлозолітичних і нітрифікувальних бактерій у ризосфері сорго зернового, що перевищувала показник у контролі на 100,9; 82,4 і 62,6 та 23,3; 17,9 і 14,0 тис. клітин в 1 г ґрунту. Кількісний показник азотобактеру також був максимальним за інтегрованого застосування досліджуваних препаратів і перевищував контроль на 3 шт. оброслих грудочок ґрунту, що на 2, 5 і 8 шт. оброслих грудочок ґрунту більше, ніж в аналогічних варіантах досліду без застосування регулятора росту рослин і біопрепарату.

Результати обліку забур'яненості посівів сорго зернового показали, що рівень забур'яненості у посівах залежав від погодних умов і застосування різних норм гербіциду Цитадель 25 OD, регулятора росту рослин Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал. Найбільшу ефективність знищення бур'янів на 30 добу після внесення препаратів, як кількісно, так і за масою, було відмічено за внесення гербіциду Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га сумісно з регулятором росту рослин Ендофіт L1 (30 мл/га) на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал (800 г/100 кг). Кількість та маса бур'янів при цьому знижувались відносно контролю на 78, 88 і 93% та 79, 92 і 95% відповідно, що в середньому на 52 і 56% нижче, ніж відповідні показники у варіантах без застосування регулятора росту рослин і біопрепарату.

Ключовими показниками, що визначають ефективність будь-яких агрономічних заходів, є продуктивність посівів та якість отриманої продукції. Найвищу врожайність сорго зернового, в середньому за роки досліджень,

демонстрували варіанти, де гербіцид Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га застосовувався в сумішах з регулятором росту рослин Ендофіт L1 (30 мл/га) та на фоні біопрепарату Біоарсенал (800 г/100 кг). За такого способу поєднання препаратів показник врожайності зростав відносно контролю на 30,0; 33,8 і 37,2%, що в середньому на 7,7% перевищувало показники варіантів, де гербіцид застосовувався без регулятора росту рослин і біопрепарату. За цих же умов формувалися найвищі показники якості врожаю: маса 1000 зерен зростала відносно контролю на 16,0; 17,7 і 18,5%, натура – на 1,9; 2,3 і 2,5%, вміст білка – на 0,9; 1,1 і 1,2%.

Встановлено, що найвищі показники економічної ефективності вирощування сорго зернового формувалися у варіанті комплексного застосування гербіциду Цитадель 25 OD у нормі 1,0 л/га, регулятора росту рослин Ендофіт L1 (30 мл/га) на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал (800 г/100 кг), що забезпечило додатковий чистий прибуток на рівні 4559 грн. за рівня рентабельності 67% і коефіцієнта енергетичної ефективності 4,3.

Для ефективного контролювання бур'янів та активізації проходження низки фізіолого-біохімічних процесів у рослинах, за яких досягається висока продуктивність посівів сорго зернового, доцільно застосовувати гербіцид Цитадель 25 OD (0,6–1,0 л/га) у нормі 1,0 л/га сумісно з регулятором росту рослин Ендофіт L1 (30 мл/га) на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал (800 г/100 кг).

СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Карпенко В. П., Красноштан В. І. Вміст пігментів у листках сорго зернового у листках сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD, регулятора росту рослин Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2020. № 2, С. 14–18. DOI: 10.31395/2310-0478-2020-2-14-18

2. Карпенко В. П., Красноштан В. І., Притуляк Р. М., Мостов'як І. І., Гнатюк М. Г. Активність антиоксидантних ферментів у рослинах сорго зернового за дії гербіциду, регулятора росту рослин і біопрепарату. *Збалансоване природокористування*. 2020. № 4. С. 178–185. DOI: 10.33730/2310-4678.4.2020.226655
3. Karpenko V., Krasnoshtan V., Mostoviak I., Prytuliak R. Microorganisms number in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) rhizosphere after herbicide, plant growth regulator, and a biopreparation use. *Agronomy Science*. 2021. Vol. 76, № 2. P. 17–26. DOI: 10.24326/as.2021.2.2
4. Krasnoshtan V., Karpenko V., Prytuliak R., Leontiuk I., Datsenko I. Lipoperoxidation in grain sorghum under the influence of herbicides, phytohormones, and biopreparation. *Scientific Horizons*. 2021. Vol. 24, № 9. P. 36–43. DOI: 10.48077/scihor.24(9).2021.36-43
5. Красноштан В. І. Анатомо-морфологічні зміни листків сорго зернового за дії гербіциду, регулятора росту рослин і біопрепарату. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. 2022. № 101. С. 155–163. DOI: 10.32782/2415-8240-2022-101-1-155-163.

Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

6. Красноштан В., Карпенко В. Активність ферментів класу оксидоредуктаз у проростаючому насінні сорго зернового за використання регулятора росту рослин. Молодь і поступ біології : XV Міжнародна наукова конференція студентів і аспірантів, присвячена 135 річниці від дня народження Я. Парнаса (м. Львів, 9–11 квітня 2019 р.): збірник тез. Львів, 2019. С. 178–179.
7. Карпенко В.П., Красноштан В.І., Посівні якості насіння сорго зернового за передпосівної обробки регулятором росту рослин. Перспективні шляхи розвитку наукових знань (частина 1) : матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції м. Київ, 26-27 січня 2019 року. Київ, 2019. С. 51–52.
8. Красноштан В. І., Карпенко В. П. Забур'яненість посівів сорго зернового за використання хімічних і біологічних препаратів. Динаміка розвитку

сучасної науки : матеріали міжнародної наукової конференції (Т. 2), 15 листопада. 2019 рік. Чернігів, 2019. Т. 2. С. 95–97.

9. Карпенко В. П., Красноштан В. І. Вміст пігментів у листках сорго зернового за дії гербіциду, регулятора росту рослин і біопрепарату. Theory and practice of modern science : III international scientific and theoretical conference, 1 квітня 2022 рік. Краків, 2022. Т. 1. С. 69–70.

ABSTRACT

Krasnoshtan V. Scientific substantiation of chemical and biologic preparates use in grain sorghum crops in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. – qualification scientific work entitled as a manuscript. A dissertation for getting a scientific degree of a doctor of philosophy in the field of study 201 Agronomy (20 Agrarian sciences and foodstuffs). Uman national university of horticulture, Uman, 2022.

In the introductory part of the dissertation, the relevance of the research topic is substantiated, the goal and task are formulated, the scientific novelty and practical significance of the obtained results are highlighted.

The first chapter is an analysis of the results of researches made by scientists regarding the separate and integrated use of herbicides, plant growth regulators, and biological preparations in grain crops, and their impact on the physiological-biochemical and anatomical-morphological indicators of plants, microbiological changes in soil, as well as on formation of qualitative and quantitative productivity indicators. It has been established that although the issue of the combined use of chemical and biological preparations in grain crops has been studied quite widely, the integrated effect of herbicides, plant growth regulators and biological preparations in grain sorghum crops is still poorly studied, which actualizes researches in this direction.

The researches were conducted during 2019–2021 in the field conditions of the crop rotation of the Department of Biology of the Uman National University of Horticulture.

Meteorological conditions during the years of researches were mostly favorable for the cultivation of grain sorghum with certain deviations from the climatic norm, which was correspondingly reflected in the passage of the main physiological-biochemical and anatomical-morphological processes in plants.

The following were used for the research: grain sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) hybrid Milo W, herbicide Cytadel 25 OD, plant growth regulator Endophit L1 and biological preparation Bioarsenal.

In the course of the research, the effect of different doses of the triazolpyrimidine class herbicide Cytadel 25 OD, applied separately and in mixtures with the plant growth regulator Endophit L1 on the background of pre-sowing seed treatment with Bioarsenal, and without it, was studied. The scheme of the field experiment included 18 experimental variants, on which field and laboratory studies were carried out. Individual physiological and biochemical processes in grain sorghum plants were studied under strictly controlled conditions in compliance with the requirements of the vegetation method.

According to the results of vegetation studies, the influence of different doses of the herbicide Cytadel 25 OD (0,6–1,0 l/ha), the plant growth regulator Endophit L1 (30 ml/ha), and the biological preparation Bioarsenal (800 g/100 kg) on the passage of lipid peroxidation reactions in grain sorghum plants was established. Thus, the highest content of malondialdehyde – one of the products of lipid peroxidation, was noted in variants of self-application of the herbicide, where at the rates of the herbicide 0.6; 0.8 and 1.0 l/ha it exceeded control variant by 33.6; 58.2 and 93.2% – on the third day after application and on 26.2%; 38.4 and 57.8% – on the tenth day. It was noted that with an increase of the herbicide rate, the intensity of lipoperoxidation processes increased as well, which could serve as an indicator of an increase in the level of oxidative stress in plants. At the same time, the complex use of the researched preparates allowed to reduce the level of malondialdehyde in plants compared to the variants of self-application of the herbicide by 23.1; 19.0 14.5% – on the third day and on 19.1; 18.6 and 15.8% – on the tenth day.

The highest levels of glutathione-s-transferase enzyme activity were noted in variants where the Cytadel 25 OD herbicide was used at rates of 0.6; 0.8 and 1.0 l/ha were applied in mixtures with the plant growth regulator Endophit L1 (30 ml/ha) on the background of pre-sowing seed treatment with Bioarsenal (800 g/100 kg). The increase compared to the control in such variants was 1.23; 1.46 and 1.81 $\mu\text{Mol/g}$ of raw substance - on the third day and 0.69; 0.91 and 1.19 $\mu\text{Mol/g}$ of raw substance - on the tenth day, which indicates the activation of detoxification processes in grain sorghum plants under such conditions.

The activity of the superoxide dismutase enzyme was maximal with the integrated use of the herbicide Cytadel 25 OD (0.6–1.0 l/ha), the plant growth regulator Endophit L1 (30 ml/ha) and the biological preparation Bioarsenal (800 g/100 kg). On the third and tenth days, the activity of this enzyme exceeded the control by 0.92; 1.44; 1.94 and 1.26; 1.95 and 2.67 cond. units/g of raw mass, respectively, which was higher than the indicators of variants where only herbicide was used by an average of 30.3–38.5% and 22.1–29.7%.

The highest activity of individual enzymes of oxidoreductases, which neutralize reactive oxygen species and serve as unique markers of oxidative stress, was also noted in variants of integrated use of the studied preparations. At the use of herbicide Citadel 25 OD in rates of 0.6; 0.8 and 1.0 l/ha in combinations with the plant growth regulator Endophit L1 (30 ml/ha) and the biological preparation Bioarsenal (800 g/100 kg), on average over the years of research, catalase activity in the tillering stage of the culture increased by 28.7; 39.4 and 59.7 μmol of decomposed H_2O_2 relative to the control, peroxidase and polyphenol oxidase – by 39.3; 49.2; 62.5 and 5.7; 7.7; 10.7 μmol of oxidized guaiacol and ascorbic acid in 1 minute, respectively, which is 13.9–20.0; 14.9–16.5 and 19.3–29.4% more than in the same variants, where the plant growth regulator and biological preparation were not used.

In the course of research, it was established that the content of chlorophylls *a*, *b*, their sum (*a+b*) and carotenoids in the leaves of grain sorghum depended on the rates of the herbicide application and on the methods of combining it with the plant growth regulator and the biological preparation. An increase in the rate of herbicide led

to a decrease in the content of pigments in the vegetation experiment, however, in field conditions, the positive effect of weeds removing neutralized this effect, which was manifested in an increase in the content of chlorophylls and carotenoids compared to the control. Thus, in the phase of panicle ejection, at the use of the herbicide Cytadel 25 OD at the rates of 0.6; 0.8 and 1.0 l/ha compatibly with the plant growth regulator Endophit L1 (30 ml/ha) on the background of pre-sowing seed treatment with Bioarsenal (800 g/100 kg), the content of chlorophyll *a* in leaves of grain sorghum increased comparably to the control by an average of 19.8% over the years of research, the content of chlorophyll *b* – by 42.9%, and their sum (*a+b*) – by 24.9%.

In addition to chlorophylls, carotenoids are an important component of the photosynthetic apparatus. Among the important functions which they perform is their ability to neutralize reactive oxygen species, which are produced in the process of photosynthesis and as a result of the impact of harmful agents on a plant. The content of carotenoids in the leaves of grain sorghum, as well as chlorophylls, was the highest at the integrated use of the studied preparations and exceeded the control in the stage of panicle ejection of the culture by 34.0–38.4% on average over the years of research.

An important indicator that characterizes the effectiveness of agrotechnical measures is the net photosynthetic productivity of crops. It indicates the general intensity of the processes of photosynthesis, on which the accumulation of organic compounds in plant tissues, and therefore the yield, depends to the greatest extent. The results of the conducted research indicate that the indicator of the net photosynthetic productivity of grain sorghum was significantly influenced by both, weather conditions and methods of use of the studied preparations. The use of the herbicide Cytadel 25 OD (0.6–1.0 l/ha) in crops made it possible to significantly increase the net productivity of photosynthesis, which, in turn, depended on the rate of this preparation. Combining the herbicide treatment of crops with the use of plant growth regulator Endophit L1 (30 ml/ha) and pre-sowing seed treatment with biological preparation Bioarsenal (800 g/100 kg) provided the highest rates of net photosynthetic productivity in the crops that exceeded control variant by 15.8% on average over the years of research.

Obviously, this result is due to the intensification of physiological and biochemical processes in grain sorghum plants and the optimization of its anatomical and morphological structure caused by reduction of the level of competition from weeds, stimulation of growth processes by the plant growth regulator and the improvement of the nutritional regime due to the biological preparation.

The study of the anatomical structure of the epidermis of grain sorghum leaves revealed that the lowest number of epidermal cells per 1 mm² of leaves with the largest area was formed when the herbicide Cytadel 25 OD (0.6, 0.8 and 1.0 l/ha) was applied in combinations with the plant growth regulator Endophit L1 (30 ml/ha) on the background of pre-sowing seed treatment with biological preparation Bioarsenal (800 g/100 kg). In such variants, the number of cells was lower compared to the similar indicator in the variants without the use of the plant growth regulator and biological preparation by an average of 10%, which is 34, 44 and 52 cells/mm² less than in the control. At the same time, the size of cells significantly exceeded the control – by 278, 363 and 435 µm², which was on average 35% more than in the variants of self-application of the herbicide.

One of the important indicators that allows to assess the level of influence of one or another factor (including a herbicide) on the structure of the epidermis of leaves is the coefficient of their morphostructure (Km). According to the analysis, this indicator was the highest in the variants where the herbicide was applied independently without the use of the plant growth regulator and biopreparation – 0.91–0.98, which in general is evidence of improved growth conditions. However, the use of the herbicide Cytadel 25 OD in mixtures with the plant growth regulator Endophit L1 on the background of pre-sowing seed treatment with the biological preparation Bioarsenal led to decrease in the morphostructure coefficient to 0.82–0.88, which is evidence of the formation of a mesomorphic structure of grain sorghum leaves, which is a characteristic feature high-yielding crops.

The largest leaf area in all years of research was formed at the complex use of studied preparations. Thus, at the treating of grain sorghum crops with the herbicide Cytadel 25 OD at rates of 0.6; 0.8 and 1.0 l/ha in combinations with the plant growth

regulator Endophit L1 (30 ml/ha) and at the background of pre-sowing seed treatment with the biological preparation Bioarsenal (800 g/100 kg), this indicator in the tillering stage exceeded the indicators of similar variants without the use of plant growth regulator and biological preparation by 13.7; 13.4 and 11.9%, which indicates an increase of the ability of plants to assimilate solar radiation and form high productivity under these conditions. In addition, a close correlation ($r = 0.93$) was found between the indicators of leaf area and the area of epidermal cells of grain sorghum leaves, which indicates a close interdependence.

One of the important indicators that reflect the general state of crops and the nature of the effect of pesticides on them is the height of plants and their aboveground biomass. The highest indicators of the height of grain sorghum plants were found in variants where the herbicide Cytadel 25 OD was applied at rates of 0.6; 0.8 and 1.0 l/ha jointly with the plant growth regulator Endophit L1 (30 ml/ha) on the background of pre-sowing seed treatment with Bioarsenal (800 g/100 kg). At this combination of preparations, this indicator in the tillering stage of the culture exceeded the control by 25.1; 28.5 and 31.1%, in the panicle ejection stage – by 19.9%; 23.4; 24.6%, in the stage of milky-wax seed ripeness – by 6.2%; 6.8 and 7.3%. The largest biomass of grain sorghum plants was formed in the same variants of the experiment – in the stage of tillering, panicle ejection and milk-wax ripeness the increase relative to the control was 16.8–22.9%; 19.5–26.4% and 18.5–25.3%, respectively.

It was established that the use of the studied preparations had a significant effect on the abundance of certain ecological-trophic groups of microorganisms in the rhizosphere of grain sorghum. The use of the herbicide Cytadel 25 OD (0.6–1.0 l/ha) in crops made it possible to form significantly higher indicators of the total number of rhizospheric microbiota compared to the control variant, where no preparations were used. However, this indicator showed a tendency to decrease with an increase in the rate of the herbicide, which may be evidence of its direct or indirect negative effect on microorganisms in the rhizosphere of grain sorghum. Thus, at the rates of the herbicide Cytadel 25 OD 0.6; 0.8 and 1.0 l/ha, the total number of rhizosphere microbiota exceeded the indicator in the control by 17.5; 12.9 and 5.7%. The highest indicators of

the number of rhizosphere microbiota were found in variants with complex application of the studied preparations, where the herbicide Cytadel 25 OD at rates of 0.6; 0.8 and 1.0 l/ha was applied compatibly with the plant growth regulator Endophit L1 (30 ml/ha) on the background of pre-sowing seed treatment with Bioarsenal (800 g/100 kg). In these conditions, this indicator exceeded the control by 35.3; 30.5 and 22.1%, which is on average by 15.4% more than in similar variants without the use of the plant growth regulator and the biological preparation. It indicates the formation of the most favorable conditions for the life and development of the plants and rhizospheric microorganisms at such a combination of preparations.

The highest number of micromycetes on average over the years of research was found in variants with the complex use of the herbicide Cytadel 25 OD in rates of 0.6; 0.8 and 1.0 l/ha and plant growth regulator Endophit L1 (30 ml/ha) on the background of pre-sowing seed treatment with Bioarsenal (800 g/100 kg). This indicator in such variants exceeded the control by 98, 122 and 109 thousand CFU in 1 g of soil, which is by 22.2; 20.9 and 19.8% more than in the similar variants without the use of the plant growth regulator and biological preparation. The highest number of cellulolytic and nitrifying bacteria was found in the rhizosphere of grain sorghum under the same conditions. Those indicators exceeded the control by 100.9; 82.4 and 62.6 and 23.3; 17.9 and 14.0 thousand cells in 1 g of soil. The quantitative indicator of *Azotobacter* was also maximal at the integrated use of the studied preparations and exceeded the control by 3 pcs. of overgrown lumps of soil, which was on 2, 5 and 8 pcs. of overgrown lumps of soil more than in similar variants of the experiment without the use of the plant growth regulator and biological preparation.

The results of weeds accounting in grain sorghum crops showed that the level of weeding in the crops depended on weather conditions and the use of different rates of the herbicide Cytadel 25 OD, the plant growth regulator Endophit L1 and the biological preparation Bioarsenal. The highest effectiveness of weed elimination at the 30th day after the application of preparations, by both, amount and weight, was noted at the application of the herbicide Cytadel 25 OD at rates of 0.6; 0.8 and 1.0 l/ha compatibly with the plant growth regulator Endophit L1 (30 ml/ha) on the background

of pre-sowing seed treatment with the biological preparation Bioarsenal (800 g/100 kg). The number and mass of weeds at this composition of preparations reduced by 78, 88 and 93% and 79, 92 and 95% compared to the control, respectively, which is on average 52 and 56% lower than the corresponding indicators in the variants without the use of the plant growth regulator and biological preparation.

The key indicators that determine the effectiveness of any agronomic measures are the productivity of crops and the quality of the obtained yield. The highest yield of grain sorghum, on average over the years of research, was demonstrated by variants where the herbicide Cytadel 25 OD at rates of 0.6; 0.8 and 1.0 l/ha was used in mixtures with the plant growth regulator Endophit L1 (30 ml/ha) and on the background of pre-sowing seed treatment with the biological preparation Bioarsenal (800 g/100 kg). At this method of combining the preparations, the yield indicator increased compared to the control by 30.0; 33.8 and 37.2%, which was on average by 7.7% higher than the indicators of variants where the herbicide was used without the plant growth regulator and biological preparation. The highest yield quality indicators were formed at the same conditions: the mass of 1000 grains increased by 16.0; 17.7 and 18.5% compared to the control; grain unit – by 1.9; 2.3 and 2.5%, protein content – by 0.9; 1.1 and 1.2%.

It was established that the highest indicators of the economic efficiency of cultivating the grain sorghum were formed in the variant of complex application of the herbicide Cytadel 25 OD at the rate of 1.0 l/ha, the plant growth regulator Endophit L1 (30 ml/ha) on the background of pre-sowing seed treatment with the biological preparation Bioarsenal (800 g/ 100 kg), which provided an additional net profit at the level of UAH 4,559 at a profitability level of 67% and an energy efficiency ratio of 4.3.

For effective control of weeds and activation of a number of physiological and biochemical processes in plants, which allow to achieve high productivity, it is advisable to use the herbicide Cytadel 25 OD (0.6–1.0 l/ha) at the rate of 1.0 l/ha compatibly with the plant growth regulator Endophit L1 (30 ml/ha) on the background of pre-sowing seed treatment with Bioarsenal (800 g/100 kg).

References

The works in which the major scientific dissertation results were published:

1. Karpenko V. P., Krasnoshtan V. I. Pigments content in leaves of grain sorghum under the influence of the herbicide Cytadel 25 OD, plant growth regulator Endofit L1 and biopreparation Bioarsenal. *Bulletin of Uman national university of horticulture*. 2020. № 2. P. 14–18. DOI: 10.31395/2310-0478-2020-2-14-18
2. Karpenko V. P., Krasnoshtan V. I., Prytuliak R. M., Mostoviak I. I., Hnatiuk M. H. Antioxidant enzymes activity in grain sorghum plants under the action of herbicide, a plant growth regulator and a biopreparation. *Balanced nature using*. 2020. № 4. P. 178–185. DOI: 10.33730/2310-4678.4.2020.226655
3. Karpenko V., Krasnoshtan V., Mostoviak I., Prytuliak R. Microorganisms number in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) rhizosphere after herbicide, plant growth regulator, and a biopreparation use. *Agronomy Science*. 2021. Vol. 76, № 2. P. 17–26. DOI: 10.24326/as.2021.2.2
4. Krasnoshtan V., Karpenko V., Prytuliak R., Leontiuk I., Datsenko I. Lipoperoxidation in grain sorghum under the influence of herbicides, phytohormones, and biopreparation. *Scientific Horizons*. 2021. Vol. 24, № 9. P. 36–43. DOI: 10.48077/scihor.24(9).2021.36-43
5. Krasnoshtan V. Anatomical and morphological changes in leaves of grain sorghum at the use of a herbicide, plant growth regulator and a biopreparation. *Collected Works of Uman National University of Horticulture*. 2022. Vol. 101. P. 155–163. DOI: 10.32782/2415-8240-2022-101-1-155-163.

The works which certify the approbation of the dissertation materials:

6. Krasnoshtan V., Karpenko V. Oxidoreductase enzymes activity in grain sorghum germinating seeds after application of a plant growth regulator. Youth and the progress of biology: XV International scientific conference of students and postgraduate students, dedicated to the 135th anniversary from the birth of Ya. Parnas (Lviv, 9–11th of April 2019). Lviv. 2019. P. 178–179.

7. Karpenko V. P., Krasnoshtan V. I. Sowing properties of the grain sorghum at the pre-sowing seed treatment with a plant growth regulator. Perspective ways of scientific knowledge development (part 1): materials of the II International scientific-practice conference. Kyiv. 2019. P. 51–52.
8. Krasnoshtan V. I., Karpenko V. P. Weeds in the grain sorghum crops at the use of chemical and biological preparates. Dynamic of the modern science development : materials of an international scientific conference. Chernihiv, 2019. Vol. 2. P. 95–97.
9. Karpenko V. P., Krasnoshtan V. I. Pigments content in the grain sorghum leaves at the use of a herbicide, plant growth regulator and a biopreparation. Theory and practice of modern science : III international scientific and theoretical conference. Krakiv, 2022. Vol. 1. P. 69–70.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	24
РОЗДІЛ 1. СВІТОВИЙ ДОСВІД ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ ХІМІЧНИХ І БІОЛОГІЧНИХ ПРЕПАРАТІВ НА ФУНКЦІОНУВАННЯ АГРОЦЕНОЗІВ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ).....	31
1.1. Біологічні зміни у рослинах за дії гербіцидів, регуляторів росту рослин і мікробних препаратів.....	31
1.2. Мікробіоценотичні зміни у ґрунті.....	38
1.3. Продуктивність посівів зернових культур, у тому числі й просових, за використання хімічних і біологічних препаратів	42
РОЗДІЛ 2. УМОВИ, ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	46
2.1. Ґрунтово-кліматичні умови території проведення досліджень.....	46
2.2. Схема та методика виконання досліджень.....	50
РОЗДІЛ 3. БІОЛОГІЧНІ ЗМІНИ У РОСЛИНАХ СОРГО ЗЕРНОВОГО ЗА ДІЇ ГЕРБІЦИДУ ЦИТАДЕЛЬ 25 OD, РЕГУЛЯТОРА РОСТУ РОСЛИН ЕНДОФІТ L1 І БІОПРЕПАРАТУ БІОАРСЕНАЛ	60
3.1. Ферментативна активність антиоксидантних систем	60
3.2. Анатомо-морфологічні зміни листкового апарату та його площа ...	71
3.3. Ростові процеси.....	78
3.4. Вміст пігментів і продуктивність фотосинтезу	84
РОЗДІЛ 4. МІКРОБІОЦЕНОТИЧНІ ЗМІНИ РИЗОСФЕРИ СОРГО ЗЕРНОВОГО	102
РОЗДІЛ 5. АГРОБІОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ГЕРБІЦИДУ ЦИТАДЕЛЬ 25 OD, РЕГУЛЯТОРА РОСТУ РОСЛИН ЕНДОФІТ L1 І БІОПРЕПАРАТУ БІОАРСЕНАЛ У ПОСІВАХ СОРГО ЗЕРНОВОГО	115

	22
5.1. Забур'яненість посівів	115
5.2. Урожай і якість зерна.....	119
5.3. Економічна й енергетична ефективність	124
ВИСНОВКИ	130
РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ	132
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	133
ДОДАТКИ.....	173

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

СОД – супероксиддисмутаза

ПОЛ – пероксидне окиснення ліпідів

АФК – активні форми кисню

РРР – регулятор росту рослин

МДА – малоновий диальдегід

АЛС – ацетолактатсинтаза

BBCH – Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie (шкала фенологічних фаз розвитку рослин)

МПА – м'ясо-пептонний агар

КУО – колонієутворюючі одиниці

GST – глутатіон-S-трансфераза

Км – коефіцієнт морфоструктури

ЧПФ – чиста продуктивність фотосинтезу

д.р. – діюча речовина

ВСТУП

Упродовж багатьох століть однією з ключових проблем у сільському господарстві була забур'яненість посівів. Винайдення і початок широкого впровадження гербіцидів у XX столітті ознаменувало собою новий виток у розвитку інтенсивних технологій вирощування зернових культур [1]. Проте, нераціональне і часто необґрунтоване застосування гербіцидів у посівах призвело до надмірної хімізації агровиробництва, внаслідок чого перед ученими постали нові виклики та проблеми. Однією із таких проблем стала здатність гербіцидів поширюватись далеко за межі агроценозів, забруднюючи при цьому довкілля, що й донині викликає занепокоєння багатьох дослідників [2–4].

У відповідь на це, в останні десятиліття почали стрімко розвиватися ідеї поступового переходу сільського господарства до органічних технологій виробництва та відмови від низки хімічних препаратів [5]. Однак, повна відмова від інтенсивних технологій вирощування на сучасному науково-технологічному рівні розвитку практично неможлива, оскільки органічне виробництво поки що не здатне належним чином забезпечити продовольчі потреби людства. У зв'язку з цим, почали виникати біологізовані технології вирощування зернових культур, що поєднують інтенсивні технології із елементами біологізації, наприклад, застосуванням регуляторів росту рослин природного походження або мікробних препаратів [6].

Включення таких препаратів у технологію вирощування тої чи іншої культури призводить до посилення ростових процесів у рослинах, покращує поглинання ними поживних речовин із ґрунту, підвищує опірну здатність організму до впливу патогенів і несприятливих умов тощо [7, 8]. У комплексі це все призводить до підвищення конкурентоспроможності рослин в умовах агроценозу, що дозволяє застосовувати менші норми добрив і засобів захисту рослин [4]. Таким чином, відбувається зниження хімічного навантаження на посіви та довкілля при одночасному збереженні чи навіть підвищенні показників урожайності тої чи іншої культури. Проте, ефективність поєднання хімічних і біологічних препаратів у посівах може варіювати залежно від їх природи, норм

застосування і способів комбінування, що створює необхідність проведення додаткових досліджень у даному напрямку.

Актуальність теми. Стрімке збільшення населення та зміни клімату (зростання середніх температур та погіршення структури опадів) ставлять перед світовим і вітчизняним сільським господарством низку викликів, які потребують якомога швидшого вирішення [9]. Це створює підґрунтя для пошуків нових перспективних культур, які б за таких умов демонстрували високу продуктивність. Сорго зернове, завдяки своїй відмінній посухостійкості та невибагливості до умов вирощування, безперечно підходить на роль такої культури. Проте, як і у випадку інших сільськогосподарських культур, продуктивність сорго зернового значною мірою залежить від рівня забур'яненості посівів. Не зважаючи на можливість вирішення цієї проблеми механічними способами, використання гербіцидів і донині залишається найбільш ефективним методом боротьби [10]. Водночас, застосування гербіцидів пов'язане із низкою ризиків, серед яких – формування резистентних популяцій бур'янової рослинності, забруднення довкілля метаболітами, потенційний негативний вплив хімічних сполук на культурні рослини та мікробіоту ґрунту [11, 12]. Дослідження останніх років [13, 14] свідчать, що прояв негативного впливу гербіцидів можна послабити за окремого або інтегрованого застосування у посівах зернових культур регуляторів росту рослин та мікробних препаратів.

Вивченням даної проблематики займалися вітчизняні й зарубіжні вчені: З. М. Грицаєнко, В. П. Карпенко, О. І. Терек, Ю. І. Ткаліч, S. Jan, M. D. Timergalin та багато інших. Проте серед літературного експериментального матеріалу практично відсутні дані стосовно поєднаного використання гербіцидів, регуляторів росту рослин і біопрепаратів у посівах сорго зернового, що й обумовило актуальність подальших досліджень у даному напрямку.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація є результатом виконання автором наукової роботи упродовж 2018–2022 років, що була складовою тематик досліджень кафедр захисту і карантину

рослин та біології Уманського національного університету садівництва «Розробка новітніх технологій виробництва зернових культур у сівозміні при застосуванні гербіцидів, рістрегулюючих речовин і мікробіологічних препаратів» (номер державної реєстрації 0105U00560), що входить у Програму наукових досліджень університету «Оптимізація використання природного і ресурсного потенціалу агроєкосистем Правобережного Лісостепу України» (номер державної реєстрації 0116U003207).

Мета і завдання дослідження. Метою роботи було обґрунтування дії різних норм гербіциду Цитадель 25 OD, внесених окремо і в сумішах з регулятором росту рослин Ендофіт L1 на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал та без неї, на фізіолого-біохімічні, анатомо-морфологічні та мікробіологічні зміни в посівах культури і розробка на цій основі науково обґрунтованих заходів з використання досліджуваних препаратів, що забезпечували б формування високої продуктивності посівів.

Відповідно до поставленої мети передбачалося вирішити наступні завдання:

- дослідити проходження фізіолого-біохімічних процесів у рослинах сорго зернового за композиційного впливу досліджуваних препаратів: активність окремих антиоксидантних ферментів, ліпопероксидаційні процеси, пігментний комплекс;
- встановити характер анатомо-морфологічних змін листкового апарату сорго зернового;
- з’ясувати формування чистої продуктивності фотосинтезу в посівах сорго зернового за різних способів поєднання гербіциду, регулятора росту рослин і біопрепарату;
- визначити характер впливу досліджуваних препаратів на мікробіоту ризосфери сорго зернового;
- дослідити фітосанітарний стан посівів сорго зернового за використання досліджуваних препаратів;

- проаналізувати якісні і кількісні показники врожайності сорго зернового за роздільного та інтегрованого застосування препаратів;
- обґрунтувати ефективність роздільного та інтегрованого застосування гербіциду, регулятора росту рослин і біопрепарату у посівах сорго зернового з економічної та енергетичної точки зору;
- сформулювати на основі отриманих результатів досліджень рекомендації виробництву щодо застосування у посівах сорго зернового гербіциду Цитадель 25 OD, регулятора росту рослин Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал.

Об'єкт досліджень – сорго зернове гібриду Майло В, гербіцид Цитадель 25 OD, регулятор росту рослин Ендофіт L1 і біопрепарат Біоарсенал.

Предмет дослідження – фізіолого-біохімічні, анатомо-морфологічні та мікробіологічні зміни в посівах сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD, регулятора росту рослин Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал.

Методи дослідження: польовий – проведення досліджень у польових умовах з метою визначення ефективності застосування гербіциду окремо і в поєднанні з регулятором росту рослин і біопрепаратом; вегетаційний – проведення дослідів у суворо контрольованих вегетаційних умовах для встановлення характеру впливу досліджуваних препаратів на фізіолого-біохімічні процеси в рослинах сорго зернового; лабораторний – безпосереднє виконання фізіолого-біохімічних, анатомо-морфологічних та мікробіологічних аналізів у лабораторних умовах; математично-статистичний метод – оцінка достовірності отриманих результатів досліджень на основі дисперсійного та кореляційного аналізів; економіко-математичний – визначення економічної ефективності використання препаратів.

Наукова новизна одержаних результатів. Уперше в умовах Правобережного Лісостепу України досліджено дію гербіциду Цитадель 25 OD, внесеного окремо і в сумішах з регулятором росту рослин Ендофіт L1 на фоні

передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал та без неї, на низку біологічних та продуктивних показників сорго зернового.

Доведено, що активність пероксидного окиснення ліпідів за використання у посівах сорго зернового гербіциду Цитадель 25 OD у сумішах з регулятором росту рослин Ендофіт L1 на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал знижується на 26,7% відносно варіантів, де гербіцид застосовували самотійно. Водночас, спостерігається зростання активності ферменту глутатіон-S-трансферази в середньому на 12,5% і ферментів класу оксидоредуктаз, зокрема, каталази – на 14,1%, пероксидази – на 13,4%, поліфенолоксидази – на 20,2% та супероксиддисмутази – на 28,5%.

Встановлено, що інтегроване застосування досліджуваних препаратів дозволяє сформувати на 22,6–28,2% більшу висоту рослин, ніж у контролі, при зростанні біомаси в середньому на 19,9–23,1%. Дані ростові процеси супроводжуються позитивною динамікою морфологічної структури листків, що набувають ознак мезоморфності, та зростанням їх площі в середньому на 21,8–30,9%.

Виявлено зміни вмісту пігментів у листках сорго зернового та характеру перебігу фотосинтетичних процесів. Зокрема, за спільного використання гербіциду, регулятора росту рослин і біопрепарату, вміст хлорофілу *a*, *b*, а також їх сума (*a+b*) зростають на 15,5–19,8; 37,4–42,8 і 20,4–24,9% відповідно. Вміст каротиноїдів, при цьому зростає на 33,5–38,4%. Встановлено, що фотосинтетична продуктивність посівів за комплексного використання препаратів зростає на 15,8%.

Доведено позитивний вплив комплексного застосування досліджуваних препаратів на чисельність окремих еколого-трофічних груп мікроорганізмів у ризосфері сорго зернового. Так, загальна чисельність ризосферної мікробіоти зростає на 29,3%, мікрومیцетів – на 43,2%, целюлозолітичних мікроорганізмів – на 35,2%, нітрифікаторів – на 82,1%, *Azotobacter* – на 6,4%.

З'ясовано параметри забур'яненості посівів сорго зернового, якості та кількості врожаю, а також економічну та енергетичну ефективність вирощування

сорго зернового за інтегрованого застосування гербіциду, регулятора росту рослин і біопрепарату. Використання досліджуваних препаратів дозволяє знизити кількість та масу бур'янів на 84,1 і 86,3%. За таких умов кількість врожаю зростає на 33,6%, а маса 1000 зерен, натура та вміст білка у зерні перевищують контроль на 17,3; 2,2 і 1,1%.

Відповідно до результатів досліджень розроблено рекомендації з впровадження елементів біологізації у технологію вирощування сорго зернового, що передбачає інтегроване застосування гербіциду Цитадель 25 OD, регулятора росту рослин Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал.

Розроблена модель інтегрованого застосування гербіциду, регулятора росту рослин і біопрепарату може використовуватись для створення нових та оптимізації існуючих технологій вирощування соргових культур з метою зниження хімічного навантаження на посіви та довкілля.

Практичне значення одержаних результатів. У результаті проведених досліджень доведено ефективність інтегрованого застосування гербіциду Цитадель 25 OD, регулятора росту рослин Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал у посівах сорго зернового для підвищення кількісних і якісних показників врожайності.

Науково обґрунтовані результати досліджень було апробовано у виробничих умовах господарств ФГ «Агрофірма «Базис» (акт впровадження від 03.10.2022 року, додаток Р) і ТОВ «Агрофірма «Оксанина» (акт впровадження від 05.10.2022 року, додаток С) Уманського району Черкаської області на загальній площі 53 га, де забезпечили одержання високого економічного прибутку.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є авторською працею. Здобувачем розроблено схему проведення досліджень, проведено аналіз літературних джерел відповідно до тематики роботи, виконано польові, вегетаційні та лабораторні досліді згідно з актуальними методиками, здійснено статистичну обробку отриманих результатів та їх узагальнення, підготовлено до

друку наукові праці та здійснено впровадження у виробництво основних результатів роботи.

Апробація результатів досліджень. Основні положення, що викладені в дисертації, регулярно доповідались і обговорювались на засіданнях кафедри карантину і захисту рослин Уманського національного університету садівництва, а також наукових конференціях: II Міжнародній науково-практичній конференції «Перспективні шляхи розвитку наукових знань» (Київ, 2019); XV Міжнародній науковій конференції студентів і аспірантів, присвяченій 135 річниці від дня народження Я. Парнаса «Молодь і поступ біології» (Львів, 2019); Міжнародній науковій конференції «Динаміка розвитку сучасної науки» (Чернігів, 2019); III Міжнародній науковій і теоретичній конференції «Theory and practice of modern science» (Краків, 2022).

Публікації. Матеріали дисертації висвітлено у 9 наукових працях, серед яких: 3 статті у фахових виданнях України, 1 стаття у закордонному виданні та 1 стаття у виданні, що індексується у наукометричній базі Scopus, 4 тези доповідей на конференціях.

Структура дисертації. Дисертаційну роботу викладено на 215 сторінках машинописного тексту, в т. ч. 132 – основного тексту, включаючи 15 таблиць і 14 рисунків. Вона складається з анотації, вступу, п'яти розділів, висновків, рекомендацій виробництву, списку використаних джерел, що нараховує 352 позиції, з яких 175 – латиницею.

РОЗДІЛ 1. СВІТОВИЙ ДОСВІД ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ ХІМІЧНИХ І БІОЛОГІЧНИХ ПРЕПАРАТІВ НА ФУНКЦІОНУВАННЯ АГРОЦЕНОЗІВ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)

1.1. Біологічні зміни у рослинах за дії гербіцидів, регуляторів росту рослин і мікробних препаратів

Розвиток сільського господарства від моменту його зародження й до наших днів, був нерозривно пов'язаний із технологіями вирощування сільськогосподарських культур. Значним кроком уперед свого часу стало винайдення гербіцидів – фізіологічно активних речовин, здатних нейтралізувати небажану рослинність на полі. Це дозволило суттєво підвищити продуктивність більшості посівів, оскільки саме забур'яненість є ключовим чинником, що впливає на врожайність сільськогосподарських культур [15, 16]. Проте, як зазначають вчені [17–19], нераціональне використання гербіцидів тісно пов'язане з низкою ризиків, серед яких здатність гербіцидів та продуктів їх розпаду накопичуватись у ґрунті, проникати в ґрунтові води та водойми, потрапляти в готову продукцію тощо. Поширюючись за межі агроценозів, вони призводять до деструктивних процесів у екосистемах, що приносить шкоду довкіллю і, як наслідок, здоров'ю людей [20, 21].

Існує багато механізмів впливу гербіцидів на рослини. Залежно від своєї хімічної природи вони можуть пригнічувати біосинтез амінокислот, ліпідів, каротиноїдів, інгібувати процеси фотосинтезу тощо [22]. Одним із наслідків таких порушень є зростання кількості активних форм кисню у клітинах, які вступають у реакції з ліпідами, білками, нуклеїновими кислотами та пігментами, спричиняють пероксидне окиснення ліпідів, руйнування мембран, інактивацію ферментів і, зрештою, знижують життєздатність клітин [23, 24]. Саме така виражена пригнічуюча дія гербіцидів дозволяє ефективно застосовувати їх для боротьби з бур'янами. Проте, не зважаючи на високу селективність сучасних препаратів, існує низка свідчень [25–27] щодо їх фітотоксичності у відношенні й до культурних рослин. Так, за даними Г. С. Россихіної [28] гербіциди Харнес (2,5

л/га, Фронт'єр (1,5 л/га) та Мерлін (125 г/га) істотно впливають на показники активності антиоксидантних ферментів у рослинах кукурудзи: супероксиддисмутаза та пероксидаза істотно активізувалися порівняно з контролем, що пояснюється захисною реакцією рослин та проявом компенсаторних антиоксидантних механізмів, спрямованих на нейтралізацію активних форм кисню й окисного ушкодження тканин; водночас, каталаза зазнавала пригнічення відносно контролю, що пов'язано з розвитком оксидативного стресу.

A. S. Lukatkin et al. [29] виявили, що за використання гербіциду Топік (800 мг/л) у посівах пшениці озимої, жита й кукурудзи, в першу добу після обробки, відбувається зростання активності ліпопероксидаційних процесів на 16–56% залежно від культури. Проте, за нижчих концентрацій гербіциду (8 та 80 мг/л) такий ефект не спостерігався. На другу добу після внесення гербіциду рівень пероксидного окиснення ліпідів у листках пшениці озимої зростав відносно контролю в середньому по варіантах на 90%, проте рослини жита й кукурудзи не виявляли такої тенденції. На третю добу досліджень усі варіанти дослідів виявили зростання рівня пероксидного окиснення ліпідів, особливо за концентрації гербіциду 800 мг/л.

У дослідженнях R. Fakhari et al. [30] із вивчення впливу гербіциду Імазетапіру на рослини пшениці було доведено, що активність антиоксидантних ферментів у тканинах рослин істотно змінюється залежно від норми препарату. Так, за обробки рослин пшениці Імазетапіром у нормах 0,011; 0,022; 0,033 і 0,044 мкг/л, активність каталази в тканинах знижувалась у середньому на 3–64%, пероксидази – на 4–52%, поліфенолоксидази – на 13–46%.

Істотні зміни активності антиоксидантних ферментів спостерігалися й на прикладі бобів і гороху за їх обробки Паракватом, Метолахлором і Алахлором у дослідженнях D. Štajner et al. [31]. Так, активність супероксиддисмутази і каталази у зазначених рослинах знижувалась зі збільшенням норми Параквату від 0,1 до 2,0 мкмоль у середньому на 23–71% і 28–81% відповідно. За обробки ж рослин Алахлором і Метолахлором активність антиоксидантних ферментів

змінювалась неоднаково. У варіантах з низькою концентрацією гербіцидів (0,2; 1,0; 2,0 і 20 мкмоль) супероксиддисмутаза і каталаза виявляли тенденцію до зростання активності, проте за підвищених норм препаратів (100 і 200 мкмоль) спостерігалось пригнічення досліджуваних показників.

Z. Li-juan et al. [32] відмічали зниження вмісту хлорофілів у листках проростків кукурудзи за дії гербіциду Хлорсульфурону (0,001 мг/кг ґрунту) на 49% відносно контролю. Разом з тим спостерігались істотні зміни активності антиоксидантних ферментів у тканинах рослин, зокрема активність супероксиддисмутази зростала на 14%, у той час як пероксидаза й глутатіон-S-трансфераза зазнавали пригнічення на 13 і 43% відносно контролю. На фоні цих змін автори відмічали й зниження біометричних показників рослин. Так, за дії хлорсульфурону довжина пагонів, коренів, а також маса рослин були істотно меншими ніж у контролі.

Зростання активності утворення активних форм кисню призводить не лише до активізації антиоксидантних систем та інтенсифікації процесів пероксидного окиснення ліпідів, а й прямо чи опосередковано впливає на пігментний комплекс рослин. Відомо, що кисень, який утворюється в процесі фотосинтезу, може приєднувати наявні у фотосистемі електрони, продукуючи при цьому супероксид. Таким чином, хлоропласти є вагомим природнім джерелом активних форм кисню у рослинах. Абіотичний стрес, наприклад посуха, сольовий стрес, вплив пестицидів тощо, може посилювати інтенсивність синтезу активних форм кисню хлоропластами [33]. Разом з тим, існує низка свідчень [34–36], що каротиноїди у складі фотосистем здатні нейтралізувати утворені в процесі фотосинтезу вільні радикали. Гербіциди ж, залежно від інтенсивності свого впливу, здатні вносити дисбаланс у прооксидантно-антиоксидантні процеси в хлоропластах, призводячи, таким чином, до інтенсифікації пероксидного окиснення ліпідів та загального зниження продуктивності фотосинтезу [37].

Дослідженнями R. Pechova et al. [38] встановлено, що гербіцид Амітроль за вмісту його в субстраті у концентраціях 20, 60 і 120 мкмоль/л істотно впливає

на вміст пігментів у листках кукурудзи. Так, за норми гербіциду 20 мкМоль/л вміст каротиноїдів знижувався відносно контролю без використання препарату на 7%, в той час як за вищих норм 60 і 120 мкМоль цей показник знижувався на 77 і 99,3%. Вміст у листках хлорофілів за цих же норм гербіциду знижувався відносно контролю на 10, 51 і 99,3% відповідно

Х. L.Yin et al. [39] у своїх дослідженнях із впливу гербіциду Ізопротурону (2–20 мг/кг ґрунту) на рослини пшениці встановили, що вміст хлорофілів у листках культури знижувався за дії препарату пропорційно до його концентрації у ґрунті. Подібний вплив гербіцидів на вміст хлорофілів у листках пшениці відмічають також інші вчені [40–42].

Пригнічуючий вплив гербіцидів на функціонування пігментного комплексу культурних рослин спостерігали також А. С. Langaro et al. [43]. Так, за впливу Оксифлуорфену (960 г д.р./га), Оксадіазону (1000 г д.р./га) і Пендіметаліну (1600 г д.р./га) чиста продуктивність фотосинтезу в листках рису знижувалась відносно контролю на 37; 16 і 34 % відповідно.

М. Younesabadi et al. [44] відмічали неоднаковий вплив різних гербіцидів та їх комбінацій на вміст хлорофілів *a* і *b* в листках сої. За сумісного використання гербіцидів Пендіметалін (0,5–0,75 кг/га), Імазетапір (0,075 кг/га) та Хлорімурон-р-етил (0,009 кг/га) вміст хлорофілів *a* і *b* не зазнавав істотних змін. Проте, обробка рослин сумішами Метрибузин (0,3 кг/га) + Імазетапір (0,075 кг/га) та Метрибузин (0,3 кг/га) + Хлорімурон-р-етил (0,009 кг/га) призводила до зниження вмісту пігментів на 11 і 19% – хлорофіл *a* й на 14% – хлорофіл *b*.

Низкою досліджень [45–47] доведено, що використання у посівах зернових культур гербіцидів може також істотно впливати на характер формування листової поверхні та анатомічної структури листків. Так, за даними О. І. Заболотного та ін. [48], використання в посівах кукурудзи гербіциду Бату, в. г (15–30 г/га), призводило до зростання литкового індексу рослин зі збільшенням норми гербіциду. При цьому, за максимальної норми препарату дана тенденція припинялася і спостерігалось подальше зниження цього показника відносно попередньої норми гербіциду. Це пояснюється

фітотоксичною дією препарату на рослини, що проявлялась у сповільненні формування листової поверхні [49].

У зв'язку з потенційною загрозою, що несуть гербіциди для людини та довкілля, а також з метою зниження негативного їх впливу на культурні рослини в останні десятиліття досить активно розвиваються технології біологізації сільського господарства [50, 51]. Біологізація передбачає впровадження науково обґрунтованих схем сівозмін, використання органічних добрив, мікроорганізмів та продуктів їх життєдіяльності для боротьби із шкідниками й хворобами тощо [52]. Одним із найбільш поширених елементів біологізації технологій вирощування сільськогосподарських культур на сьогоднішній день є використання регуляторів росту рослин природного походження та мікробних препаратів. Відомо, що використання таких заходів дозволяє зменшити пестицидне навантаження на агробіоценози та підвищити екологічну безпеку довкілля. З точки зору впливу на рослини застосування регуляторів росту і мікробних препаратів дозволяє більш повно розкрити генетичний потенціал культури та досягти вищих показників продуктивності посівів [53–57].

Вплив регуляторів росту рослин гіберелінової кислоти, Паклобутразолу та 6-Бензиламінопурину на антиоксидантну активність рослин рису досліджували S. Pan et al. [58]. За даними досліджень, регулятори росту рослин мають різну інтенсивність впливу на рослини, проте у всіх варіантах досліджень вони призводили до істотного зростання активності супероксиддисмутази і пероксидази у листках. Разом з тим відбувалося зниження вмісту малонового діальдегіду в тканинах, що свідчить про високу ефективність нейтралізації активних форм кисню рослинами за таких умов.

N. Khan et al. [59] виявили, що застосування як регуляторів росту рослин (саліцилова кислота і Путресцин), так і мікробних препаратів у посівах нуту призводило до посилення здатності рослин протистояти стресовим чинникам. Так, інокуляція насіння мікробними препаратами на основі *Bacillus Subtilis*, *Bacillus thuringiensis* і *Pseudomonas fluorescens* у комбінації з обробкою рослин саліциловою кислотою (150 мг/л) і Путресцином (150 мг/л) призводила до

зниження активності каталази в середньому на 34–40% відносно контролю. Активність пероксидази, і супероксиддисмутази при цьому знижувалась на 39 і 56,5% відповідно. Інтенсивність перебігу пероксидного окиснення ліпідів при цьому також була нижчою відносно контролю в середньому на 71–74%. Обробка насіння мікробними препаратами та регуляторами росту рослин також впливала й на інші показники. Так, у варіанті комбінованого застосування досліджуваних препаратів площа листя на 56 % перевищувала контроль, а сума хлорофілів у листках – на 42%.

I. Panfili et al. [60] у своїх дослідженнях зазначає, що обробка рослин кукурудзи гербіцидом Метолахлор у нормах 0,5; 1,0; 2,0; 4,0 і 8,0 мг/л призводила до зростання активності каталази і пероксидази відносно варіантів без внесення гербіциду. В той же час, за сумісного внесення гербіциду з регулятором росту рослин природного походження Мегафол, показники активності обох ферментів були істотно вищими від показників тотожних варіантів, де даний препарат не застосовувався.

За даними З. М. Грицаєнко та ін. [61], застосування мікробного препарату Діазобактерин, у нормах 150, 175 і 200 мл/т для передпосівної обробки насіння гречки призводило до зростання активності каталази, пероксидази і поліфенолоксидази порівняно з контролем на 13,6 %, 4,9 % і 9,3 %. Поєднання ж передпосівної обробки насіння Діазобактерином із подальшою обробкою вегетуючих рослин регулятором росту рослин Радостим призводило до зростання активності каталази на 33,3 %, пероксидази – на 15,0 %, і поліфенолоксидази – на 19,9 %.

В. П. Карпенко та ін. [62–64] у своїх працях виявили істотний вплив гербіцидів, регуляторів росту рослин і мікробних препаратів на анатомо-морфологічні характеристики листків, їх площу та продуктивність фотосинтезу. Так, за використання у посівах ячменю ярого гербіциду Калібр 75, в.г. у нормах 30, 40, 50 і 60 г/га у поєднанні з регулятором росту рослин Агростимулін та біопрепаратом Агат-25К відбувалося збільшення площі клітин листя на 276,3; 730,7; 40,3; 536,2 і 37,1 мкм² порівняно з аналогічними варіантами без

регуляторів росту рослин та біологічного препарату [65]. Водночас спостерігалось зростання площі листків у варіантах з біологічними препаратами на 17,2; 17,3; 1,1; 10,3 й 4,7% відповідно. Такий результат, імовірно, пояснюється послабленням негативної дії ксенобіотика внаслідок посилення антиоксидантного статусу рослин за дії біопрепаратів [66]. Окрім того, формування більш продуктивної анатомічної структури листя є наслідком зниження конкуренції з боку бур'янів [67].

Дослідженнями В. В. Калитки та М. В. Капіноса [68] встановлено, що інокуляція насіння гороху і застосування регулятора росту (Ризобофіт, Гумаксид та АКМ) призводило до активізації фотосинтетичної діяльності рослин. Зокрема, за використання Ризобофіту відбувалось зростання показника чистої продуктивності фотосинтезу на 12,7%, Гумаксиду – на 23,5%, АКМ – на 40,1%. Аналогічних результатів досягли й інші вчені [69, 70] за використання регуляторів росту рослин Стимпо, Азотофіт, Ризогумін і Регоплант. Окрім того, дані дослідження виявили й інші зміни у формуванні й функціонуванні асиміляційного апарату рослин гороху за використання РРР, що проявились у зростанні площі листків і загального вмісту хлорофілів порівняно з контролем.

За даними Yu. I. Tkalic et al. [71] використання регулятора росту рослин позитивно впливало на процеси формування висоти та площі листків рослин кукурудзи. Так, гербіцид Таск Екстра (440 г/га) в поєднанні з регулятором росту рослин Вимпел (500 г/га) зумовлював зростання висоти рослин в середньому по фазах на 2–6 см порівняно з контролем (самостійне внесення гербіциду). Площа листків при цьому зростала на 5–6%.

Н. М. Буняк та ін. [72] виявили, що передпосівна обробка насіння тритикале озимого мікробними препаратами Альбобактерином і Діазобактерином призводила до збільшення висоти рослин на 9,1 і 5,1%, а також на 15,8 і 29,9% накопичення сухої маси. Такий результат автори пояснюють покращенням азотного та фосфорного живлення інокульованих рослин.

Отже, гербіциди здатні істотно впливати на біологічні процеси культурних рослин, створюючи дисбаланс фізіологічно активних сполук в їх

організмі. Одним із найбільш виражених наслідків такого впливу є підвищена кількість активних форм кисню у тканинах, які можуть призводити до подальших пошкоджень і відхилень у розвитку рослин. Водночас, включення в технології вирощування сільськогосподарських культур мікробних препаратів та регуляторів росту рослин дозволяє підвищити стійкість рослин до стресових чинників, у тому числі й до дії гербіцидів, хоча ефективність таких заходів залежить від складу й норм препаратів [73–75], характеру їх комбінування [76–78], виду й сорту рослин [79–81] тощо. Проте, не зважаючи на наявність окремих досліджень в даному напрямку, фізіолого-біохімічні зміни у рослинах, в тому числі й сорго зерновому, за комплексного застосування гербіцидів, регуляторів росту рослин і мікробних препаратів вивчені недостатньо.

1.2. Мікробіоценотичні зміни у ґрунті

Ґрунт – надзвичайно складна, багатокомпонентна система, важливою складовою якої є мікроорганізми. Саме мікробіота відіграє вирішальне значення у мінералізації органічних речовин і створенні родючості ґрунту [82-85]. Біорізноманіття цих організмів і досі залишається до кінця не розкритим [86], що обумовлено їх здатністю легко обмінюватися генетичною інформацією та швидко диверсифікуватися у природному середовищі [87]. Існує низка свідчень [88–92], які доводять, що чисельність та видовий склад ґрунтових мікроорганізмів великою мірою залежать від умов їхнього існування. Такі умови в агроценозах характеризуються неоднорідністю [93–95], оскільки коренева система більшості рослин утворює з прилеглим до неї шаром ґрунту і ґрунтовою біотою особливу формацію – ризосферу [96, 97].

У межах ризосфери коренева система рослин забезпечує мікробіоту ексудатами (карбогідрати, амінокислоти, органічні кислоти, флаваноїди, глюкозинолати, ауксини тощо), а також – змертвілими рештками клітин [98–100]. Мікроорганізми, у свою чергу, продукують низку фітогормонів та інших

біологічно-активних речовин, що слугують чинником пригнічення ґрунтових патогенів та підвищують доступність для рослин поживних речовин [101–104].

Численними науковими дослідженнями доведено [105–110], що використання гербіцидів у посівах зернових культур може впливати на склад корневих ексудатів рослин і, відповідно, призводити до якісних і кількісних змін ризосферної мікробіоти. Тому, розвиток ризосферних мікроорганізмів може слугувати індикатором, що відображає характер впливу ксенобіотиків на рослини [111–115].

У дослідженнях R. S. Kutuzova et al. [116] гербіцид Прометрин (0,3–0,9 г д.р./кг ґрунту) мав неоднаковий вплив на різні групи мікроорганізмів у ризосфері пшениці. З одного боку, він пригнічував життєдіяльність рослин, що призводило до зменшення кількості корневих ексудатів і, відповідно, до зниження чисельності мікробіоти, що ними живиться. З іншого боку, препарат сприяв омертвінню тканин кореня з їх подальшим розкладанням за участі швидкозростаючих гетеротрофів і целюлозолітичних бактерій.

Y. He et al. [117] у своїх дослідженнях виявили, що гербіцид Метсульфурон-метил (2 мкг/г ґрунту) істотно пригнічував розвиток низки грам-негативних бактерій (*Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Flavobacterium*, *Alcaligenes*, *Agrobacterium*, *Enterobacteriaceae* та *Bacillus*) у ризосфері пшениці. Аналогічного пригнічення зазнавали й інші мікроорганізми, в числі яких нітрифікуючі, денітрифікуючі та сульфатредуючі бактерії, а також бактерії, що окиснюють сірку.

O. S. Bezuglova et al. [118] встановили, що гербіцид класу сульфонілсечовин Гранстар Про у нормах 10–25 г/га по різному впливав на чисельність окремих груп мікроорганізмів у ризосфері пшениці озимої. Чисельність бактерій, що поглинають органічні форми азоту знижувалась у варіантах із підвищеними нормами препарату. Аналогічний ефект спостерігався й відносно бактерій, що поглинають мінеральні форми азоту. В той же час, відбувалося зростання чисельності мікроміцетів, що автори пояснюють зниженням конкуренції з боку інгібованих бактерій.

Відносно маловивченим як у зарубіжній, так і вітчизняній науці залишається питання впливу регуляторів росту рослин і біопрепаратів на мікробіологічний комплекс ризосфери культурних рослин. Окремі вчені [119, 120] стверджують, що застосування таких препаратів у посівах дозволяє знизити рівень опосередкованого впливу ксенобіотиків на мікробіоту ризосфери, оскільки це сприяє формуванню більш сприятливих умов для життєдіяльності корисних мікроорганізмів. Зокрема, дослідження В. П. Карпенка та С. В. Павлишина [121] доводять, що чисельність ризосферної мікробіоти пшениці полби звичайної значно залежить від норм внесення гербіциду Пріма Форте 195 (0,5–0,7 л/га) та способів застосування регулятора росту рослин Вуксал БІО Vita (1,0 л/т для передпосівної обробки насіння і 1,0 л/га для обробки посівів). Найсприятливіші умови для розвитку ризосферної мікробіоти формувалися за сумісного внесення гербіциду та регулятора росту рослин на фоні передпосівної обробки насіння цим же регулятором росту. Показники загальної чисельності мікроорганізмів, мікроміцетів і азотобактера при цьому зростали на 33–38, 33–39 і 2–5% відповідно. Водночас, найменш сприятливими умови були за підвищених норм гербіциду, що призводило до істотного зниження чисельності вказаних груп мікроорганізмів у ризосфері рослин.

Р. М. Притуляк та ін. [122] встановили, що гербіцид Град і Зерновій, внесені окремо та в сумішах з регулятором росту рослин Біолан у посівах тритикале озимого, створюють сприятливі умови для життєдіяльності ризосферної мікробіоти. При цьому найбільша кількість мікроорганізмів спостерігається за внесення Граду в нормі 25 г/га і Зерновію – 0,9 л/га в бакових сумішах з Біоланом (20 мл/га).

Існує також низка інших свідчень про позитивний вплив на мікробіологічну активність ризосфери передпосівної обробки насіння мікробними препаратами [123–128]. Так, А. А. Даценко [129] відзначає, що за обробки насіння гречки мікробним препаратом Діазобактерин (150, 175 і 200 мл/га) в суміші з регулятором росту рослин Радостим (250 мл/т) та подальшого оприскування вегетуючих рослин цим же регулятором росту в нормі 50 мл/га

відбувалося збільшення загальної чисельності мікроорганізмів у ризосфері в середньому на 30%.

Ю. І. Івасюк із співавторами [130] виявили, що обробка рослин сої гербіцидом Фабіан (90–110 г/га) в суміші з регулятором росту рослин Регоплант (50 мл/га) по фоні передпосівної обробки насіння мікробним препаратом Ризобофіт (100 мл/т) призводить до збільшення загальної чисельності бактерій, мікроміцетів та актиноміцетів у ризосфері на 59, 55 і 35% порівняно з контролем, що в середньому на 29, 26 і 30% перевищує відповідні показники у варіантах самотійного застосування гербіциду.

Дослідженнями З. М. Грицаєнко та С. А. Оратівської [131] встановлено, що за передпосівної обробки насіння гороху посівного сумішшю регулятора росту рослин Біолан (20 мл/т) та Поліміксобактерину (50 мл/т) з подальшим оприскуванням посівів гербіцидом Пульсар 40 (0,5–1,0 л/га) загальна чисельність бактерій, мікроміцетів та актиноміцетів зростала в середньому відносно контролю на 69, 87 і 121%. Такий результат автори пов'язують зі зниженням негативного впливу ксенобіотики на посіви гороху за рахунок стимулюючого впливу регулятора росту рослин та біопрепарату.

Отже, наявні наукові дані доводять, що ризосферна мікробіота відіграє важливе значення у життєдіяльності культурних рослин. Проте, застосування у посівах гербіцидів, особливо у високих нормах, може призводити до пригнічення та дисбалансу мікроорганізмів у ризосфері, що веде до зниження їх корисного значення у формуванні продуктивності культур. Застосування ж регуляторів росту рослин та мікробних препаратів дозволяє знизити негативний вплив ксенобіотиків за рахунок інтенсифікації фізіологічних процесів у рослинах та заселення ризосфери високопродуктивними культурами мікроорганізмів, що ефективно нейтралізують метаболіти діючих речовин гербіцидів та інгібують розвиток патогенної мікробіоти. Із наявних наукових даних слідує, що ризосферна мікробіота відіграє важливе значення у життєдіяльності культурних рослин і може зазнавати як прямого, так і опосередкованого впливу з боку хімічних і біологічних препаратів. Проте, розвиток мікроорганізмів у ризосфері

сорго зернового, за дії гербіцидів, регуляторів росту рослин і біопрепаратів вивчався недостатньо.

1.3. Продуктивність посівів зернових культур, у тому числі й просових, за використання хімічних і біологічних препаратів

Безумовно, кінцевою метою будь-яких агротехнічних заходів є отримання максимально високого врожаю культури, що характеризувався б відмінними якісними показниками. Одним із найпоширеніших таких заходів у наш час можна вважати застосування гербіцидів. Достеменно відомо, що контроль небажаної рослинності в агроценозах відіграє ключову роль у формуванні врожайності культур, оскільки близько 34% обсягу світових втрат сільськогосподарської продукції спричинені саме бур'янами [132]. Водночас, відсоток потенційного впливу забур'яненості посівів на їх продуктивність залежить від низки чинників у числі яких конкурентна здатність культивованих рослин та видовий склад бур'янів [133]. Так, врожайність культур, які можуть ефективно боротися за світло, воду й поживні речовини з іншими рослинами в агроценозі зазнає меншого пригнічення порівняно з посівами культур, що розвиваються повільно і є менш конкурентоздатними. Негативний вплив бур'янів на продуктивність посівів зернових неодноразово демонструвався на прикладі кукурудзи [134], сої [135], пшениці [136], рису [137], проса [138], сорго [139] тощо, що робить боротьбу з небажаною рослинністю одним із найважливіших завдань в агрономічній практиці.

Застосування гербіцидів показало високу ефективність у зниженні забур'яненості та підвищенні на 109% продуктивності посівів кукурудзи у дослідженнях О. Г. Міленка та співавторів [140]. При цьому результат залежав від норм застосовуваних гербіцидів – врожайність зростала при їх збільшенні.

Аналогічних результатів досягнули С. В. Тараненко [141] на прикладі пшениці озимої, Ю. І. Ткаліч та ін. [142] на прикладі соняшнику, Р. А. Гутянський [143] на прикладі сої та низка інших дослідників [144–146].

Дослідження врожайності сорго зернового залежно від способів боротьби із бур'янами були описані у праці Л. А. Герасименко та Ю. П. Дубового [147], де зазначається, що хімічний спосіб зниження забур'яненості у посівах є найбільш ефективним і дозволяє досягнути найвищих показників урожайності порівняно з іншими заходами.

Не зважаючи на очевидні переваги, застосування гербіцидів несе в собі й потенційні загрози. Зокрема, нераціональне, надмірне або невчасне їх використання може призводити до негативних наслідків для культур, що веде до зниження їх продуктивності [148, 149]. Так, у дослідженнях О. І. Заболотного [150] із вивчення впливу гербіциду Трофі 90 (1,5–3,0 л/га) на забур'яненість і врожайність кукурудзи було встановлено, що за підвищених норм препарату рослини зазнають пригнічення і їх врожайність стрімко знижується. Подібні спостереження були зроблені й S. Taylor-Lovell et al. [151] за обробки посівів сої різними нормами гербіцидів Сульфентразон (112–896 г д.р./га) і Флуміоксазин (53–420 г д.р./га). Збільшення норм даних препаратів призводило до поступового зниження показників урожайності культури, вираженість якого залежала в тому числі й від сорту рослин.

Іншим, потенційно негативним чинником застосування гербіцидів (особливо у високих нормах), є можливість накопичення у ґрунті їх діючих речовин та метаболітів, які не лише забруднюють довкілля, а й можуть спричиняти фітотоксичний ефект та знижувати врожайність наступних культур у сівозміні [152–154].

Як зазначають окремі автори [155, 156], існує можливість зниження надмірної хімізації посівів зі збереженням, та навіть збільшенням рівня їх продуктивності шляхом включення в технології вирощування сільськогосподарських рослин елементів біологізації. Так, Ю. І. Івасюк [157], досліджуючи продуктивність посівів сої за роздільного та інтегрованого застосування мікробного препарату Ризобофіт, регулятора росту рослин Регоплант та гербіциду Фабіан, встановила, що самостійне внесення гербіциду призводить до зростання рівня врожайності в середньому на 43,5–51,1%

відносно контролю. При цьому, зі збільшенням норми препарату від 90 г/га до 110 г/га спостерігається зниження показників урожайності. Застосування ж гербіциду сумісно з регулятором росту рослин та на фоні передпосівної обробки насіння мікробним препаратом дозволяло підвищити врожайність культури в середньому на 13% відносно варіантів самостійного застосування гербіциду. Також, у таких варіантах відмічалось покращення якості врожаю – зростав вміст олії та білків.

М. Г. Василенко та ін. [158] у своїх дослідженнях встановили, що низка вітчизняних регуляторів росту рослин природного походження (Емістим, Ендофіт, Неофіт, Гарт, Ноостим, Вегестим, Агростим та Екостим) за використання їх у посівах пшениці ярої, кукурудзи та сої призводять до істотного збільшення врожайності цих культур, а також до покращення показників якості отриманого врожаю, зокрема, вмісту білка, клейковини та жиру в зерні.

Схожого результату досягли й S. Sarig et al. [159], досліджуючи вплив інокуляції насіння сорго зернового бактеріями *Azospirillum brasilensei*. Впродовж трьох років досліджень урожайність інокульованих рослин була в середньому на 15,4% вищою ніж у контролі. При цьому простежувалось збільшення маси 1000 зерен – у середньому на 0,4 г.

М. Г. Василенко та ін. [160] констатують, що регулятори росту рослин природного походження Емістим, Екостим та Ендофіт мали позитивний вплив на кількісні та якісні показники врожаю пшениці ярої. Так, за обробки посівів вказаними препаратами їх урожайність зростала в середньому на 22,0–39,8% відносно контролю. При цьому відбувалося зростання вмісту білка та клейковини у зерні – в середньому на 2,6–14,4% і 9,8–11,8% відповідно. Такий приріст автори пов'язують із прискореним наростанням надземної маси рослин, збільшенням маси кореневої системи, більш активним використанням поживних речовин у ґрунті та посиленням процесів фотосинтезу.

З. М. Грицаєнко та ін. [161] доводять, що врожайність ячменю ярого суттєво залежить від норм застосування гербіциду Калібр 75 та поєднання його з використанням біопрепарату Агат-25 і РРР Агростимулін. Хоча самостійне

внесення гербіциду й призводило до підвищення продуктивності посівів відносно контролю, зростання норми його застосування провокувало зворотну тенденцію, що проявлялося в усіх варіантах досліду. При поєднанні ж гербіцидної обробки рослин із внесенням регулятора росту рослин та біопрепарату відбувалося підвищення показників урожайності в середньому на 2,4–6,1 ц/га відносно варіантів, де Калібр 75 вносився самотійно.

Отже, врожайність сільськогосподарських культур залежить від низки чинників, серед яких погодні умови, вид та сорт рослин, тип та норми застосовуваних гербіцидів, використання у посівах регуляторів росту рослин, мікробних препаратів тощо. Літературні джерела свідчать, що застосування гербіцидів, хоча й дозволяє ефективно боротися з сегетальною рослинністю в агроценозах, може спричиняти пригнічення культивованих рослин, особливо у високих нормах, що негативно відображається на їх продуктивності. Проте, комбінування застосування гербіцидів із використанням регуляторів росту рослин і мікробних препаратів дозволяє частково нівелювати вплив гербіцидів на рослини та істотно підвищити їх урожайність. Не зважаючи на деяку представленість у вітчизняній та світовій науковій літературі тематики інтегрованого впливу гербіцидів, регуляторів росту рослин та мікробних препаратів на продуктивність посівів сільськогосподарських культур, досі залишається нерозкритим питання врожайності за таких умов сорго зернового, що й актуалізує подальші дослідження в даному напрямку.

Узагальнюючи дані опрацьованих наукових джерел, можна констатувати, що інтегрований вплив гербіцидів, регуляторів росту рослин та біопрепаратів на рослини сорго зернового практично не вивчався. Зокрема, відсутня інформація щодо впливу таких препаратів на ферментативну активність сорго зернового, характер функціонування фотосинтетичного апарату, формування біометричних показників, накопичення сухих речовин тощо. Відповідно, невивченим залишається вплив композицій таких препаратів на кількісні і якісні показники врожайності даної культури. Не з'ясованим також є й розвиток ґрунтової мікробіоти в агроценозах сорго зернового за таких умов. Зважаючи на це,

дослідження впливу хімічних і біологічних препаратів на посіви сорго зернового є досить актуальним, оскільки це дозволить поглибити розуміння процесів формування високих показників урожайності цієї культури та створити на цьому ґрунті біологізовану й енергоефективну технологію його вирощування.

РОЗДІЛ 2. УМОВИ, ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Ґрунтово-кліматичні умови території проведення досліджень

Дослідження гербіциду Цитадель 25 OD, регулятора росту рослин Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал на фізіолого-біохімічні й анатомо-морфологічні зміни рослин сорго зернового, а також мікробіологічні – у ґрунті, виконували в умовах дослідного поля Уманського національного університету садівництва. Це місце локалізується у Маньківському природно-сільськогосподарському районі, Бузько-Середньодніпрянського округу, Лісостепової Правобережної провінції, Лісостепової природно-сільськогосподарської зони [162].

Ґрунт досліджу – чорнозем опідзолений малогумусний важкосуглинковий на лесі з вмістом в орному шарі гумусу 3,5 %, рухомих сполук фосфору і калію (за методом Чирикова) – 88 і 132 мг/кг відповідно, азоту легкогідролізованих сполук (за методом Корнфілда) – 103 мг/кг, рНсол – 6,2, гідролітична кислотність – 2,26 смоль/кг ґрунту [163].

Клімат території – помірно-континентальний із м'якою зимою та теплим літом. Середньорічна температура повітря становить +8,5 °С, проте бувають відхилення як у бік посух влітку, так і в бік сильних заморозків взимку. Найтепліший місяць – липень, із середньорічною температурою +20,5 °С (абсолютний максимум – +37,6 °С). Найнижчі температури спостерігаються у січні – в середньому -3,8 °С (абсолютний мінімум – -31,1 °С) [164]. Період середньодобових позитивних температур (+5 °С і вище) триває 201 добу на рік, у той час як температури, прийнятні для вегетації сільськогосподарських

культур (+10 °C і вище), спостерігаються 159 діб, період температур +15 °C і вище триває 109 діб на рік.

Сонячна радіація – один із найважливіших природних ресурсів, що впливає на формування високої продуктивності посівів. Упродовж року на територію досліджень надходить близько 90–94 ккал/см² (3838,5–4051,8 Мдж/м²) сумарної сонячної радіації. При цьому, частка фотосинтетично активної радіації складає 39 ккал/см² (1663,4 Мдж/м²) у період, коли середньодобова температура перевищує +5 °C.

Рівень зволоження в умовах дослідного поля є нестійким (ГТК–1,2). Середня кількість опадів за рік становить 586 мм, хоча інколи можливі коливання в межах 300–750 мм. У період з квітня по жовтень випадає в середньому 412 мм опадів, що становить 65,1% від загальнорічної суми. Найбільше опадів випадає у червні та липні – в середньому по 87 мм.

За даними Уманської метеостанції (рис. 2.1, 2.2) в роки досліджень відмічалися значні коливання температури та кількості опадів у період вегетації культури (Додаток А, табл. А.1).

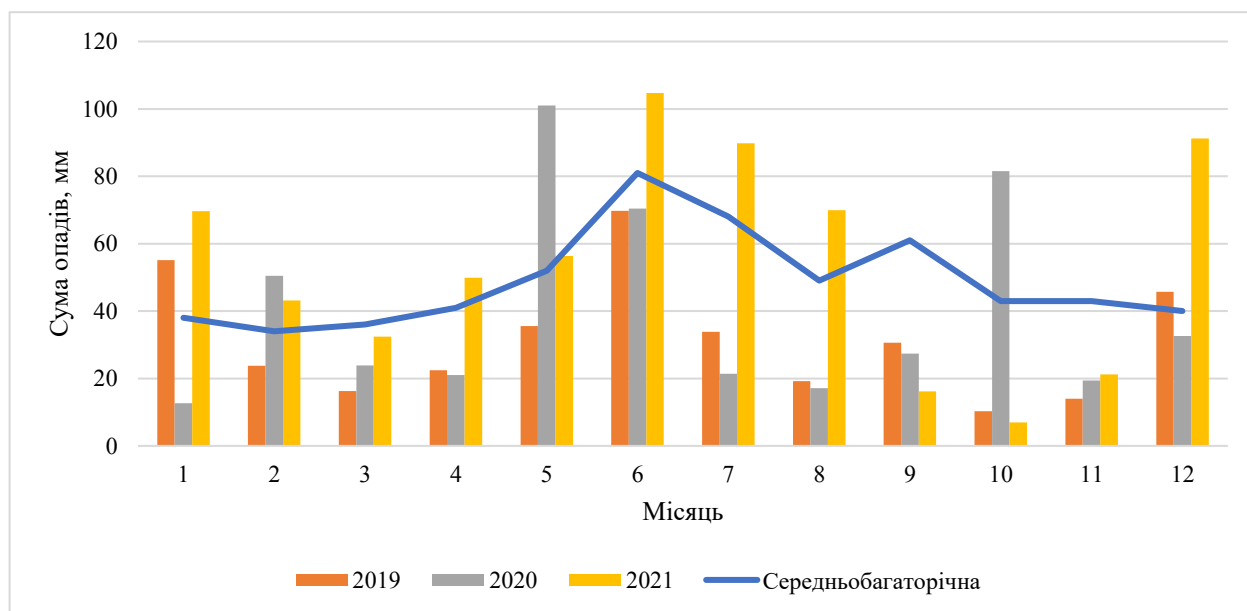


Рис. 2.1. Середні суми опадів за місяцями у 2019–2021 роках

Весна 2019 року характеризувалася дещо нижчим рівнем зволоження порівняно з середньорічними показниками (35,6 мм у травні при кліматичній

нормі 52 мм) на фоні підвищених температур повітря (в середньому 17 °С при нормальному показникові 15,4 °С), що, не зважаючи на певні девіації від норми, було сприятливим для початкових етапів вегетації сорго зернового. Подальші умови склалися для цієї культури наступним чином – у червні, липні та серпні сума опадів становила 69,8; 33,8 і 19,2 мм, що на 11,2; 34,2 і 29,8 мм менше від середньорічного показника. Середня температура повітря у червні (23,4 °С) була суттєво вищою від типової (19 °С), хоча в липні та серпні практично не відрізнялася від середньобагаторічної. Загалом, умови в цей рік були сприятливими для росту й розвитку сорго зернового, оскільки характерною його рисою є невибагливість до умов зволоження та стійкість до високих температур.

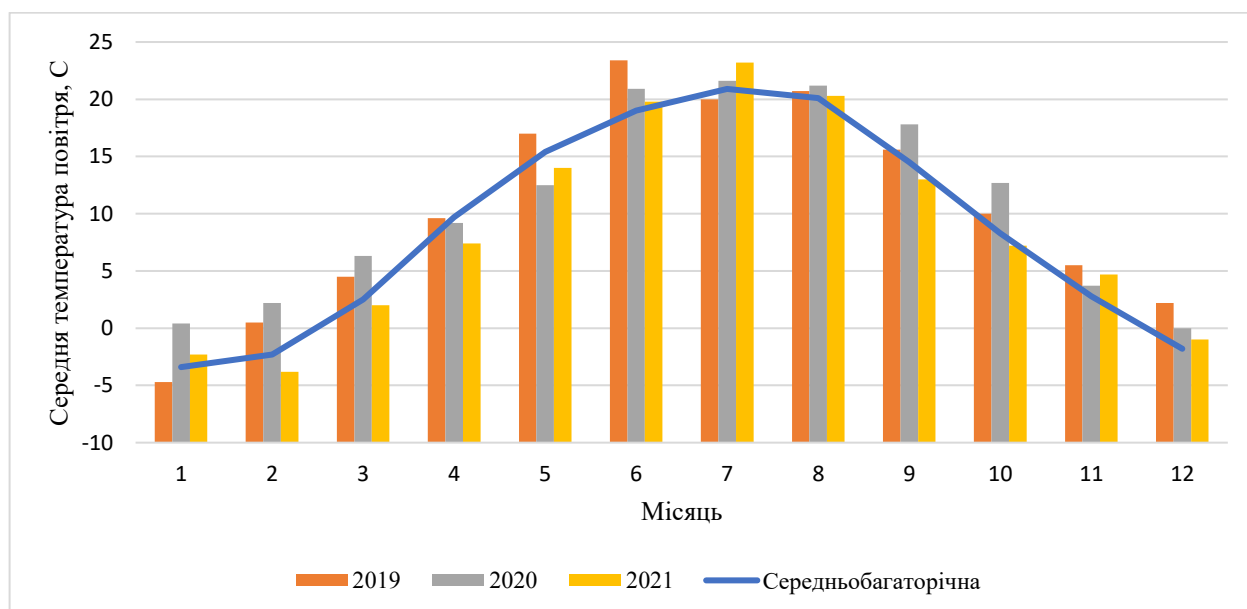


Рис. 2.2. Середня температура повітря за місяцями у 2019–2021 рр.

Умови вегетації 2020 року вирізнялися більшою кількістю опадів та досить низькими температурами в кінці весни та на початку літа. Зокрема, сума опадів у травні вдвічі перевищувала середньобагаторічний показник (101 мм при нормі 52 мм), а середня температура повітря була нижчою від середньобагаторічного показника на 2,9 °С і становила 12,5 °С. Високий рівень зволоження й низькі температури є не досить сприятливими для росту й розвитку сорго зернового [165]. Влітку ж, натомість, кількість опадів була значно нижчою від норми: в червні, липні та серпні цей показник становив 70,4; 21,4 і 17,1 мм,

що на 10,6; 46,6 і 31,9 мм менше від середньобагаторічних значень. Середня температура повітря при цьому становила 20,9; 21,6 і 21,2 °C, що на 1,9; 0,7 і 1,1 °C перевищує кліматичну норму. За період досліджень умови вегетації 2020 року були найменш сприятливими для розвитку сорго зернового, що мало своє відображення на характері перебігу фізіолого-біохімічних процесів, формуванні анатомо-морфологічної структури й врожайності даної культури.

Агрокліматичні умови 2021 року відрізнялися достатнім зволоженням та температурами на рівні середньобагаторічних. Так, у травні сума опадів становила 56,4 мм при середній температурі 19,8 °C, що відповідає кліматичній нормі. В червні, липні та серпні рівень опадів перевищував середній показник на 23,7; 21,8 і 20,9 мм на фоні дещо підвищеної середньої температури повітря (на 0,8; 2,3 і 0,2 °C відносно кліматичної норми). Такі умови для сорго зернового були більш сприятливими порівняно з 2020 роком, проте менш сприятливими порівняно з 2019 роком досліджень.

Важливим показником, що впливає на врожайність сільськогосподарських культур є відносна вологість повітря. За роки досліджень (рис. 2.3) у травні цей показник перевищував середньобагаторічний рівень у середньому на 8,7%, у червні – на 4,7%. У липні та серпні відбувалося зниження відносної вологості повітря порівняно із вказаним рівнем як у 2019, так і в 2020 році, проте, у 2021 році дана тенденція була інакшою, що проявлялося у перевищенні середньобагаторічного показника на 4 і 3%.

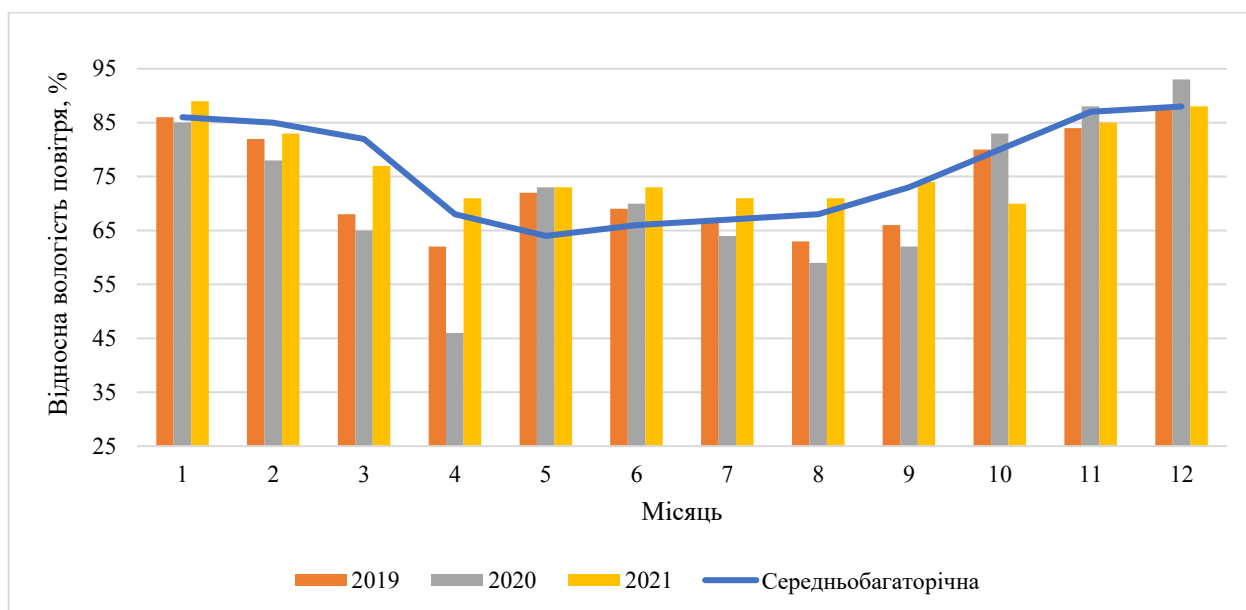


Рис. 2.3. Відносна вологість повітря за місяцями у 2019–2021 рр.

Висока вологість у комбінації з підвищеною температурою можуть створювати дещо несприятливі умови для розвитку сорго зернового [166].

Отже, агрокліматичні умови території проведення досліджень є типовими для центральної частини Правобережного Лісостепу України і характеризуються нестабільним вологозабезпеченням, що створює передумови для включення до сівозміни посухостійких культур, в числі яких і сорго зернове. Не зважаючи на певні відхилення погодних умов у роки досліджень від кліматичної норми, умови для вирощування сорго зернового були здебільшого сприятливими, що відповідним чином відобразилось на біологічних показниках і продуктивності посівів.

2.2. Схема та методика виконання досліджень

Дослідження виконували в польових та суворо контрольованих вегетаційних умовах на базі матеріально-технічного забезпечення кафедри захисту і карантину рослин Уманського національного університету садівництва та навчально-наукової лабораторії «Екологічного моніторингу в агросфері».

В якості об'єктів дослідження слугували: сорго зернове (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) гібриду Майло В (*Milo W*) [167], гербіцид Цитадель 25 OD,

МД (діюча речовина – пенноксулам 25 г/л), регулятор росту рослин (PPP) Ендофіт L1 (ауксини, гібереліни, цитокініни – 0,26 – 0,52%) і біопрепарат Біоарсенал (гриби *Beauveria Bassiana*, штам MG 301 (GHA), КУО 2×10^{10} ; *Beauveria Bassiana*, штам MG 302 (DB-1), КУО 2×10^{10} ; бактерії *Azospirillum spp.* – MG 401, КУО $1,5 \times 10^{10}$ та *Azotobacter spp.* – MG 402, КУО $1,5 \times 10^{10}$ на 100 г препарату) [168].

Гібрид сорго зернового Майло В створено американською компанією S&W Seed Company та імпортовано українською компанією ДП Рейлін. Гібрид сертифіковано міжнародною організацією екологічного співробітництва та розвитку (The Organisation for Economic Co-operation and Development) [169]. Він вирізняється середньоранніми термінами визрівання (вегетаційний період 100-115 діб), має високу поживність зерна (вміст крохмалю та білку – 74 і 14% відповідно) та може використовуватись у їжу [170, 171]. Окрім того, даний гібрид характеризується високою стійкістю до посух, полягання й хвороб, а також стійкістю до попелиці біотипів «А» та «С».

PPP Ендофіт L1 – біостимулятор росту рослин широкого спектру дії, продукт біотехнологічного вирощування ендофітних грибів коренів женьшеню, що містить продукти їх метаболізму: ауксини, гібереліни, цитокініни, ненасичені жирні кислоти, вітаміни (переважно групи В), амінокислоти, ліпіди та інші фізіологічно активні речовини. Даний препарат збільшує енергію проростання і польову схожість насіння, стійкість рослин до хвороб, підвищує стійкість рослин до стресових чинників (високих і низьких температур, посухи, фітотоксичної дії пестицидів тощо), підвищує врожай і його якість [172].

Біопрепарат Біоарсенал – комплексний мікробний препарат американського виробництва компанії MycoGold. До його складу входять вільноживучі азотфіксувальні бактерії роду *Azotobacter* та *Azospirillum*, які збагачують ґрунт азотом, фіксуючи його з атмосферного повітря, гриб *Beauveria Bassiana*, який, живучи у ґрунті, вражає і знищує окремі види членистоногих (попелиці, білокрилки, трипси тощо) [173], а також низка біостимуляторів, амінокислот та мікроелементів (Fe – 0,4%, Mn – 0,4%, MgO – 0,9%, B – 0,05%,

Со – 0,03%, Cu – 0,15%, Mo – 0,01% та Zn – 0,15%). Дія даного препарату полягає у стимуляції та збільшенні кореневої системи, що значно посилює рослини. Це, у свою чергу, покращує поглинання рослинами вологи та поживних речовин, що підвищує їхню стійкість до несприятливих умов [174].

Гербіцид Цитадель 25 OD – післясходовий гербіцид системної дії для боротьби зі злаковими бур'янами на посівах рису та сорго [175]. Діючою речовиною даного препарату є пеноксулам – інгібітор ацетолактатсинтази (АЛС) у рослинних клітинах. Пригнічення синтезу АЛС, у свою чергу, зумовлює порушення процесів синтезу амінокислот, зокрема, таких як валін, лейцин та ізолейцин. Як наслідок, порушуються процеси поділу клітин, припиняється ріст та розвиток бур'янів і вони поступово відмирають. Препарат проникає в рослини через поверхню листків та частково через кореневу систему. Перші ознаки дії препарату помітні через 3-5 днів після оприскування. Остаточного знищення бур'янів можна очікувати через 3-4 тижні після внесення, в залежності від видового складу та стадії розвитку бур'янів під час оприскування, густоти стояння культури, умов навколишнього середовища до, під час і після внесення препарату тощо.

Гербіцид Цитадель 25 OD контролює сходи чутливих видів бур'янів, а також має ґрунтову дію по відношенню до окремих видів рослин, що проявляється протягом 4 тижнів після внесення. При цьому, під час проростання сходи чутливих видів бур'янів піддаються контакту з гербіцидом у ґрунті або воді, накопичуючи летальну дозу препарату та відмирають у фазу 1-2 справжніх листків.

Польові дослід з вивчення впливу гербіциду Цитадель 25 OD, PPP Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал на рослини сорго зернового проводили за наступною схемою:

1. Без використання препаратів (контроль I)
2. Без використання препаратів + ручні прополовання впродовж вегетації (контроль II)
3. Цитадель 25 OD 0,6 л/га

4. Цитадель 25 OD 0,8 л/га
5. Цитадель 25 OD 1,0 л/га
6. Ендофіт L1 30 мл/га
7. Цитадель 25 OD 0,6 л/га + Ендофіт L1 30 мл/га
8. Цитадель 25 OD 0,8 л/га + Ендофіт L1 30 мл/га
9. Цитадель 25 OD 1,0 л/га + Ендофіт L1 30 мл/га
10. Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)
11. Фон + ручні прополювання
12. Фон + Цитадель 25 OD 0,6 л/га
13. Фон + Цитадель 25 OD 0,8 л/га
14. Фон + Цитадель 25 OD 1,0 л/га
15. Фон + Ендофіт L1 30 мл/га
16. Фон + Цитадель 25 OD 0,6 л/га + Ендофіт L1 30 мл/га
17. Фон + Цитадель 25 OD 0,8 л/га + Ендофіт L1 30 мл/га
18. Фон + Цитадель 25 OD 1,0 л/га + Ендофіт L1 30 мл/га

Дослід закладали систематичним методом з послідовним розміщенням варіантів. Повторність досліду – триразова. Площа дослідних ділянок становила 90 м², площа облікових ділянок – 72 м².

Внесення гербіциду, а також сумішей гербіциду з PPP, виконували у фазу 2-6 листків культури (ВВСН 13–16) ранцевим оприскувачем Forte CL-16A з нормою витрати робочого розчину 200 л/га. Обробку насіння Біоарсеналом виконували безпосередньо перед сівбою (ВВСН 0) шляхом рівномірного перемішування насіння з розрахунковою кількістю препарату. Технологія вирощування сорго зернового була загальноприйнятою для регіону [176]. Насіння висівали сівалкою «Клен 2,8» з шириною міжрядь 0,7 м та нормою висіву 180 тис. насінин/га у період, коли температура ґрунту на глибині загортання досягала 12 °С, що календарно відповідало другій-третьій декаді травня.

Дослідження фізіолого-біохімічних змін у рослинах сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD, PPP Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал

виконували також у суворо контрольованих умовах з дотриманням вимог вегетаційного методу [177] за наступною схемою:

1. Без використання препаратів (контроль)
2. Цитадель 25 OD 0,6 л/га
3. Цитадель 25 OD 0,8 л/га
4. Цитадель 25 OD 1,0 л/га
5. Ендофіт L1 30 мл/га
6. Цитадель 25 OD 0,6 л/га + Ендофіт L1 30 мл/га
7. Цитадель 25 OD 0,8 л/га + Ендофіт L1 30 мл/га
8. Цитадель 25 OD 1,0 л/га + Ендофіт L1 30 мл/га
9. Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)
10. Фон + Цитадель 25 OD 0,6 л/га
11. Фон + Цитадель 25 OD 0,8 л/га
12. Фон + Цитадель 25 OD 1,0 л/га
13. Фон + Ендофіт L1 30 мл/га
14. Фон + Цитадель 25 OD 0,6 л/га + Ендофіт L1 30 мл/га
15. Фон + Цитадель 25 OD 0,8 л/га + Ендофіт L1 30 мл/га
16. Фон + Цитадель 25 OD 1,0 л/га + Ендофіт L1 30 мл/га

Рослини вирощували в пластикових контейнерах місткістю 12 кг абсолютно сухого ґрунту типового для польових дослідів. Вологість ґрунту підтримувалась гравіметричним методом на рівні 60%. Додаткове освітлення забезпечувалось за рахунок використання флуоресцентних ламп 800 лк (14–16 годин на добу). Температура підтримувалась на рівні 25 °С. Відносна вологість повітря – 60%. Передпосівну обробку насіння здійснювали відповідною нормою біопрепарату з розрахунку на масу насіння. Внесення РРР і гербіциду виконували на площу по відношенню до норм внесення в польових умовах. Насіння перед сівбою пророщували в термостаті протягом однієї доби за температури 26 °С у чашках Петрі на зволоженому фільтрувальному папері. Після посіву та досягнення рослинами фази 2–6 листків (ВВСН 13–16) виконували внесення гербіциду та РРР з використанням ручного лабораторного

оприскувача. Контейнери з рослинами міняли місцями з інтервалом у дві доби для забезпечення однорідності умов освітлення і температурного режиму. Кількість рослин в одному контейнері – 20 штук, повторність досліду – триразова.

У польовому та вегетаційному досліді вивчали:

1. Активність ферменту супероксиддисмутази (КФ 1.15.1.1) – за його здатністю конкурувати з нітросинім тетразолієм за супероксидні аніони, що утворюються в результаті взаємодії відновленої форми нікотинамідаденіндинуклеотиду і феназинметасульфату [178]. В результаті цієї реакції нітросиній тетразолій відновлюється з утворенням гідразинтетразолію. В присутності СОД відсоток відновлення нітросинього тетразолію зменшується, що відображається на оптичній густині реакційної суміші. Супернатант готували шляхом гомогенізації досліджуваного матеріалу з 0,05 М розчином фосфату калію рН 7,8 та подальшим центрифугуванням при 20000g впродовж 10 хвилин [179]. Після перемішування компонентів реакційної суміші встановлювали її початкову екстинкцію з використанням спектрофотометра за довжини хвилі 540 нм і товщини шару 10 мм. Через 10 хвилин вимірювання повторювали, фіксуючи наростання оптичної густини суміші. Подальший розрахунок виконували за формулою:

$$\% \text{ блокування} = \frac{E_0 - E_{\text{пр}}}{E_0} * 100 ,$$

де E_0 – екстинкція реакційної суміші за відсутності СОД (нульова проба); $E_{\text{пр}}$ – екстинкція реакційної суміші у стані рівноваги.

На основі калібрувальної кривої за розрахунковим відсотком гальмування ступеня відновлення нітросинього тетразолію визначали вміст СОД (в умовних одиницях /г сирової речовини) у досліджуваних пробах.

2. Активність глутатіон-S-трансферази (КФ. 2.5.1.18) визначали за методикою W. H. Nabis та ін. [180] у модифікації В. Н. Гришка і Д. В. Сищикова [181] шляхом оцінки зростання оптичної щільності кон'югантів глутатіон-S-

трансферази та 1-хлор-2,4-динітробензолу за довжини хвилі 340 нм і товщини шару 10 мм.

3. Активність пероксидного окислення ліпідів оцінювали за кількістю утвореного у тканинах рослин малонового діальдегіду (МДА) [182]. У пробірку з рослинним матеріалом (супернатантом) послідовно додавали розчин тритону X-100, хлоридну і тіобарбітурову кислоту (ТБК). Суміш нагрівали на киплячій водяній бані впродовж 10 хвилин. Охолодження проводили за температури 15 °С впродовж 30 хвилин. Для стабілізації забарвлення реакційної суміші до неї додавали розчин трилону Б і етанолу. Контролем слугувала проба, до якої додавали всі ті ж розчини, крім ТБК. Отримані розчини аналізували на спектрофотометрі за довжини хвилі 532 нм з наступним розрахунком величини ПОЛ (в мкмоль/г) за формулою:

$$\text{ПОЛ} = \frac{D * V_1 * V_3}{156 * P * V_2},$$

де D – світлопоглинання зразка, ум. од.; V_1 – загальний об'єм гомогенату тканини, мл; V_2 – об'єм супернатанту, що вносився в пробірку, мл; V_3 – кінцевий об'єм проби в пробірці, мл; 156 – коефіцієнт мікромольного світлопоглинання; P – наважка рослинного матеріалу, г.

4. Активність ферментів класу оксидоредуктаз: каталази (КФ. 1.11.1.6), пероксидази (КФ. 1.11.1.7) і поліфенолоксидази (КФ. 1.14.18.1) – згідно методики Х. М. Починка [183] у відповідні фази розвитку рослин.
5. Вміст у листках сорго зернового хлорофілів a , b , їх суми ($a+b$) та каротиноїдів – за методикою описаною З. М. Грицаєнко [184]. Витяжку пігментів готували шляхом екстракції 100 мг подрібнених листків у 10 мл 100% ацетону. Визначення оптичної густини екстрактів проводили в кюветах з товщиною шару 10 мм на спектрофотометрі Visible Spectrophotometer 721G. Обрахунки проводили відповідно до загальноприйнятої методики для 100% ацетону [185]:

$$C_{xl.a} = 9,784 * D_{662} - 0,990 * D_{644}$$

$$C_{\text{хл.}b} = 21,426 * D_{644} - 4,650 * D_{662}$$

$$C_{\text{хл.}a+\text{хл.}b} = 5,134 * D_{662} + 20,436 * D_{644}$$

$$C_{\text{кар.}} = 4,695 * D_{440,5} - 0,268 * C_{\text{хл.}a+\text{хл.}b},$$

де $C_{\text{хл.}a}$, $C_{\text{хл.}b}$, $C_{\text{хл.}a} + C_{\text{хл.}b}$, $C_{\text{кар.}}$ – відповідно концентрації хлорофілів a , b , їх суми та каротиноїдів, мг/л.

D – оптична щільність розчинів при відповідних довжинах хвиль.

Перерахунок отриманих результатів у мг/г сирової речовини проводили за формулою:

$$A = \frac{C * V}{H * 1000},$$

де: C – концентрація пігментів, мг/л; V – об'єм витяжки, мл; H – наважка рослинного матеріалу, г.

6. Чисту продуктивність фотосинтезу визначали за методикою А. О. Ничипоровича [186]:

$$\Phi_{\text{ч.пр.}} = \frac{B_2 - B_1}{\frac{L_1 + L_2}{2} * T},$$

де: $\Phi_{\text{ч.пр.}}$ – чиста продуктивність фотосинтезу, г/м² за добу;

B_1 , B_2 – маса сухої речовини рослин з 1 м² на початку та в кінці облікового періоду, г

L_1 , L_2 – площа листової поверхні з 1 м² на початку та в кінці облікового періоду, м²

T – кількість діб між першим та другим визначенням.

7. Анатомо-морфологічні зміни листового апарату сорго зернового вивчали за методикою З. М. Грицаєнко [184] з використанням мікроскопу Micromed XS-5520. Листки для досліджень відбирали у відповідну фазу розвитку рослин із середнього ярусу та фіксували їх у 70% етиловому спирті. Показник коефіцієнту морфоструктури обраховували відповідно до рекомендацій В. П. Карпенка [187].

8. Площу листового апарату визначали гравіметричним методом [184].
9. Чисельність мікроорганізмів у ризосфері сорго зернового визначали згідно методик, описаних В. В. Волкогон [188]. Відбір зразків ґрунту здійснювали по діагоналі дослідних ділянок з ризосфери. Окремо відбирали зразки ризосферного ґрунту для визначення вмісту в ньому вологи. Даний показник встановлювали гравіметричним методом, висушуючи ризосферний ґрунт в сушильній шафі за температури 105 °С до сталої маси [184].

Загальну чисельність мікроорганізмів, що використовують як джерело живлення переважно органічні форми азоту досліджували шляхом глибинного посіву ґрунтової суспензії відповідного розведення на агаризоване середовище м'ясо-пептонний агар (МПА) з подальшим обліком чисельності утворених колоній, число яких виражали в колонієутворюючих одиницях (КУО) в 1 г абсолютно сухого ґрунту.

Кількісний облік нітрифікувальних і целюлозолітичних бактерій здійснювали методом граничних розведень шляхом висіву ґрунтових суспензій на рідкі живильні середовища. Кількість мікроорганізмів в 1 г вихідного субстрату встановлювали з використанням таблиць Мак-Креді.

Чисельність нітрифікувальних бактерій визначали на елективному середовищі С. М. Виноградського (дистильована вода – 1 л; глюкоза – 20,0 г; K_2HPO_4 – 0,5 г; $MgSO_4$ – 0,5 г; $NaCl$ – 0,5 г), целюлозолітичних – на середовищі О.О. Імшенецького, Л. І. Солнцевої (дистильована вода, $NaNH_4HPO_4$ – 1,0 г/л; KH_2PO_4 – 0,5 г/л; $MgSO_4$ – 0,4 г/л; $NaCl$ – 0,1 г/л; $MnSO_4$ і $FeSO_4$ – 1 краплина 1% розчину/л; пептон – 5 г/л; $CaCO_3$ – 2,0 г/л; фільтрувальний папір – 15,0 г/л; рН 7,0 – 7,4) [189]. Чисельність азотобактера визначали на живильному середовищі Ешбі шляхом висіву ґрунтових грудочок [184].

10. Облік забур'яненості посівів сорго зернового виконували кількісно-ваговим методом через 30 діб після внесення препаратів і перед збиранням урожаю [190].

11. Облік урожайності сорго зернового здійснювали поділянково методом прямого комбайнування комбайном «Сампо» зі зменшенням обертів барабана до 500 за хвилину.
12. Якість зерна оцінювали згідно вимог ДСТУ 4962:2008 [170], використовуючи для визначення маси 1000 зерен ДСТУ ISO 520:2015 [191], для визначення вмісту білка – ГОСТ 10846-74 [192].
13. Економічну ефективність використання досліджуваних препаратів встановлювали розрахунковим методом з використанням технологічних карт.
14. Аналіз енергетичної ефективності здійснювали відповідно до рекомендацій О. К. Медведовського та ін. [193].

Статистичний аналіз одержаних результатів виконували згідно загальноприйнятих методик [194] з використанням дисперсійного та кореляційного аналізів.

РОЗДІЛ 3. БІОЛОГІЧНІ ЗМІНИ У РОСЛИНАХ СОРГО ЗЕРНОВОГО ЗА ДІЇ ГЕРБІЦИДУ ЦИТАДЕЛЬ 25 OD, РЕГУЛЯТОРА РОСТУ РОСЛИН ЕНДОФІТ L1 І БІОПРЕПАРАТУ БІОАРСЕНАЛ

3.1. Ферментативна активність антиоксидантних систем

Окисно-відновні процеси є природньою складовою метаболізму рослин. У ході фотосинтезу, дихання та інших фізіологічних процесів у клітинних органелах (мітохондріях, пероксисомах, хлоропластах) утворюються активні форми кисню [195–198], що за надмірного їх накопичення в рослинах можуть призводити до розвитку оксидативного стресу [199]. Окрім природніх ендогенних чинників утворення АФК існують також екзогенні, наприклад – вплив на рослини гербіцидів [200]. Відомо, що ксенобіотики, проникаючи в рослинний організм, порушують перебіг низки фізіологічних процесів, результатом чого стає інтенсифікація продукування АФК [201, 202]. У відповідь на таку загрозу в рослинах активізуються антиоксидантні системи, основним завданням яких є нейтралізація токсичних вільнорадикальних сполук, іонів кисню та перекисів [203]. Діяльність таких систем реалізується, перш за все, за рахунок специфічних ферментів – антиоксидантів, одним із яких є супероксиддисмутаза (СОД) (КФ 1.15.1.1). Саме цей фермент відіграє важливу роль на початкових етапах нейтралізації активних радикалів, каталізуючи дисмутацію супероксиду (O_2^-) на кисень та перекис водню [204].

Як показали результати наших досліджень (рис. 3.1), активність СОД зазнавала істотних змін за впливу на рослини сорго зернового гербіциду Цитадель 25 OD. Так, за норм препарату 0,6; 0,8 і 1,0 л/га активність цього ферменту зростала на 25,8; 58,9 і 96,8% – на третю добу і на 18,2; 46,2 і 74,5% – на десяту добу досліджень, що, імовірно, зумовлено зростанням концентрації АФК у тканинах рослин на фоні дії ксенобіотика. Подібний ефект описано й у працях інших вчених [204, 205], які досліджували активність даного ферменту в рослинах за дії гербіцидів. Проте, внесення гербіциду в зазначених нормах

сумісно з РРР Ендофіт L1 призводило до зростання активності СОД на 13,9–23,7% (третя доба) і 11,6–19,3% (десята доба) відносно варіантів із самостійним застосуванням гербіциду.

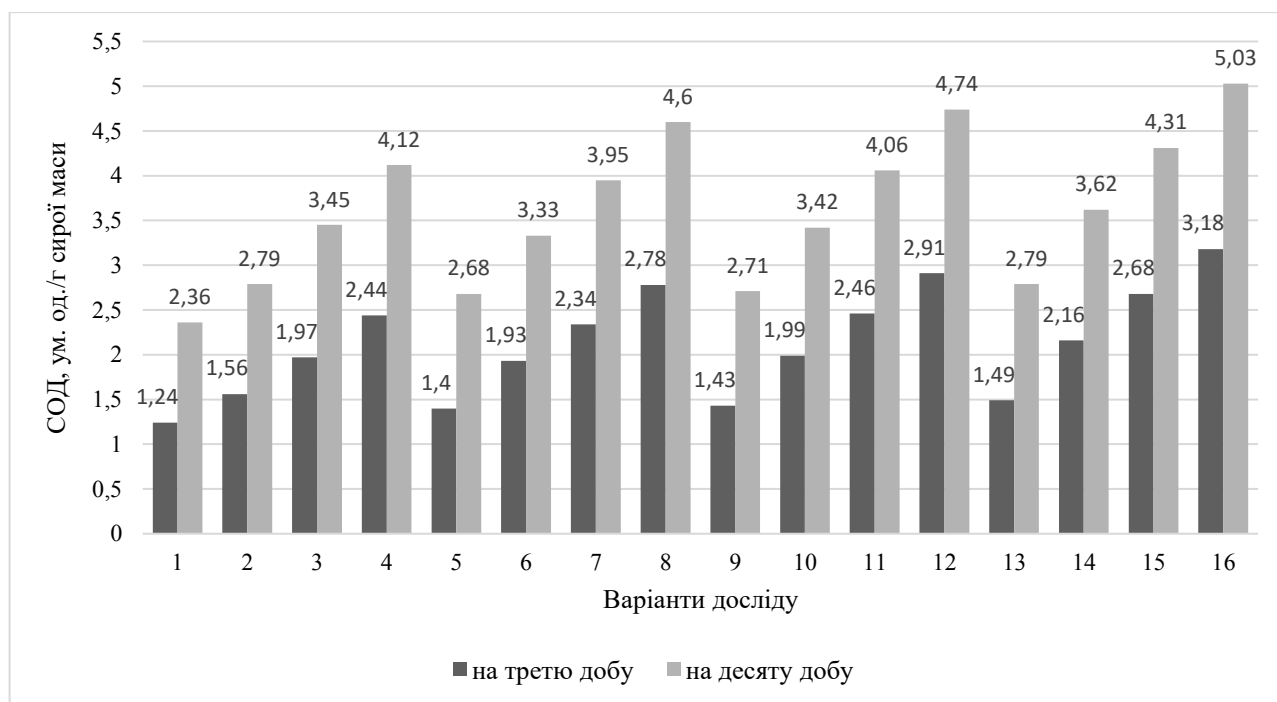


Рис. 3.1. Активність СОД у листках сорго зернового за дії гербіциду

Цитадель 25 OD, РРР Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал (вегетаційний дослід, 2019 р., НІР₀₁ 0,14 – на третю добу, 0,17 – на десяту добу)

1 – Без використання препаратів (контроль); 2, 3, 4 – Цитадель 0,6; 0,8 і 1,0 л/га; 5 – Ендофіт L1 30 мл/га; 6, 7, 8 – Цитадель 0,6; 0,8 і 1,0 л/га + Ендофіт L1 30 мл/га; 9 – Біоарсенал (фон) 8,7 кг/т; 10, 11, 12 – фон + Цитадель 0,6; 0,8 і 1,0 л/га; 13 – фон + Ендофіт L1 30 мл/га; 14, 15, 16 – фон + Цитадель 0,6; 0,8 і 1,0 л/га + Ендофіт L1 30 мл/га

Інтенсифікацію антиоксидантних процесів, зокрема й активності СОД, за впливу на рослини екзогенних РРР науковці [206–208] пов'язують з посиленням проходження у рослинах обмінних процесів. Подібну тенденцію було виявлено й у варіантах дослідів, де гербіцид вносили по фоні передпосівної обробки насіння Біоарсеналом, де активність СОД на третю й десяту добу зростала на

19,3–27,6% і 15,0–22,6% відповідно. Найвищими ж показники активності СОД були за поєднаного внесення гербіциду й РРР по фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом. На третю й десятю добу активність цього ферменту перевищувала контроль на 0,92; 1,44; 1,94 і 1,26; 1,95 та 2,67 ум. од./г сирової маси відповідно, що було більшим за показники варіантів, де застосовувався лише гербіцид на 30,3–38,5% і 22,1–29,7%.

Іншим важливим ферментом, що відіграє ключову роль в захисті рослин від дії ксенобіотиків є глутатіон-S-трансфераза (GST). GST каталізує кон'югацію трипептидного глутатіону з ендogenousними електрофільними компонентами (вторинні метаболіти, гідропероксиди) та ксенобіотиками, наприклад, гербіцидами, призводячи до їхньої клітинної детоксикації [209]. Ця реакція забезпечує секрецію ксенобіотиків з цитоплазми та їх компартментацію у вакуолях спеціалізованими АТФ-зв'язуючими касетними білками-переносниками [210–212]. Таким чином, глутатіон-кон'юговані молекули ксенобіотиків стають безповоротно детоксифікованими і можуть бути в подальшому доступними для інших метаболітичних процесів [213, 214].

Дослідження активності GST (рис. 3.2) за дії гербіциду Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га показало, що за таких умов даний показник зростає відносно контролю на 0,77; 0,95 і 1,23 мкМоль/г сирової речовини – на третю добу і на 0,81; 1,09 і 1,47 мкМоль/г сирової речовини – на десятю добу. Таке зростання активності GST відмічалось й іншими вченими [215, 216], які пов'язують це із захисною реакцією рослинного організму на потрапляння ксенобіотика в ендogenousне середовище та посиленням продукування АФК.

Застосування гербіциду сумісно з РРР Ендофіт L1 призводило до більш вираженої активізації GST у рослинах сорго зернового – на третю добу перевищення до контролю становило 0,93; 1,20 і 1,44 мкМоль/г сирової речовини. На десятю добу цей показник перевищував контроль на 0,46; 0,71 і 0,92 мкМоль/г сирової речовини. Дещо вищими на третю добу були показники активності GST у варіантах, де гербіцид вносили по фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал – перевищення до контролю склало 1,03; 1,25 і 1,51

мкМоль/г сирової речовини. На десяту ж добу цей показник перевищував контроль на 0,54; 0,75 і 0,97 мкМоль/г сирової речовини. Зростання активності GST за поєднання гербіциду з РРР або з біопрепаратом може свідчити про активізацію метаболічних процесів у рослинах сорго зернового. Внаслідок цього посилюються детоксикаційні процеси та прискорюється нейтралізація ксенобіотика, що призводить до поступового зниження активності ферменту на десяту добу досліджень.

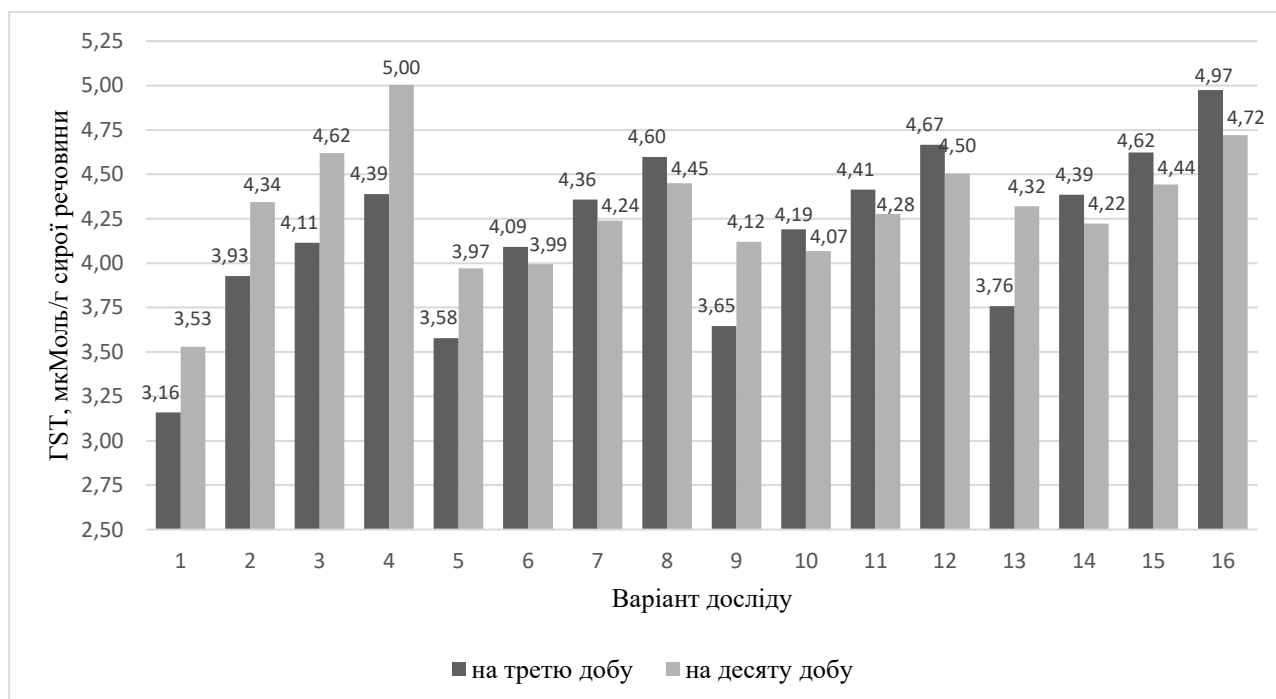


Рис. 3.2. Активність GST у рослинах сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD, РРР Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал (вегетаційний дослід, 2019 р. НІР₀₁ 0,14 – на третю добу, 0,20 – на десяту добу)

1 – Без використання препаратів (контроль); 2, 3, 4 – Цитадель 0,6; 0,8 і 1,0 л/га; 5 – Ендофіт L1 30 мл/га; 6, 7, 8 – Цитадель 0,6; 0,8 і 1,0 л/га + Ендофіт L1 30 мл/га; 9 – Біоарсенал (фон) 8,7 кг/т; 10, 11, 12 – фон + Цитадель 0,6; 0,8 і 1,0 л/га; 13 – фон + Ендофіт L1 30 мл/га; 14, 15, 16 – фон + Цитадель 0,6; 0,8 і 1,0 л/га + Ендофіт L1 30 мл/га

Найбільш активним GST виявився у варіантах із сумісним внесенням гербіциду Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га з PPP Ендофіт L1 на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал. На третю добу досліджень цей показник був на 1,23; 1,46 і 1,81 мкМоль/г сирової речовини більшим від контролю, що в середньому на 12,5% перевищувало варіанти самотійного внесення гербіциду. На десяту ж добу активність GST перевищувала контроль на 0,69; 0,91 і 1,19 мкМоль/г сирової речовини, проте, відносно варіантів самотійного внесення гербіциду спостерігалось зниження даного показника в середньому на 4,1%, що може свідчити про ефективність процесів детоксикації за вказаних умов.

Як відомо, АФК руйнують поліненасичені жирні кислоти, внаслідок чого, утворюються активні альдегіди, що порушують структуру ДНК та амінокислот у клітинах [217]. Тому, важливим показником ефективності антиоксидантних систем є інтенсивність проходження у рослинах ліпопероксидаційних процесів.

Як показали наші дослідження (рис. 3.3), інтенсивність ПОЛ у рослинах сорго зернового змінювалась за дії гербіциду і залежала від його норми. Так, на третю добу досліджень даний показник зростав на 33,6; 58,2 і 93,2% відносно контролю відповідно за норм Цитадель 25 OD 0,6; 0,8 і 1,0 л/га. На десяту добу активність ПОЛ знижувалась, хоча загальна тенденція залишалася незмінною – перевищення до контролю становило 26,2; 38,4 і 57,8% відповідно. Вочевидь, така інтенсифікація ПОЛ є наслідком посиленого утворення активних форм кисню у процесі детоксикації ксенобіотика рослинами, зокрема за участі комплексу цитохрому P₄₅₀, який каталізує процес нейтралізації пеноксуламу – діючої речовини гербіциду Цитадель 25 OD [218, 219].

Проте, за внесення тих же норм гербіциду сумісно з PPP Ендофіт L1 активність ПОЛ у рослинах сорго зернового знижувалась на 11,8; 9,1 та 6,7% – на третю добу і на 10,7; 7,9 та 7,5% – на десяту добу відносно варіантів, де застосовувався лише гербіцид. Це узгоджується з результатами досліджень інших вчених [220], що також відмічали істотне зниження інтенсивності перебігу процесів ПОЛ у рослинах за дії PPP.

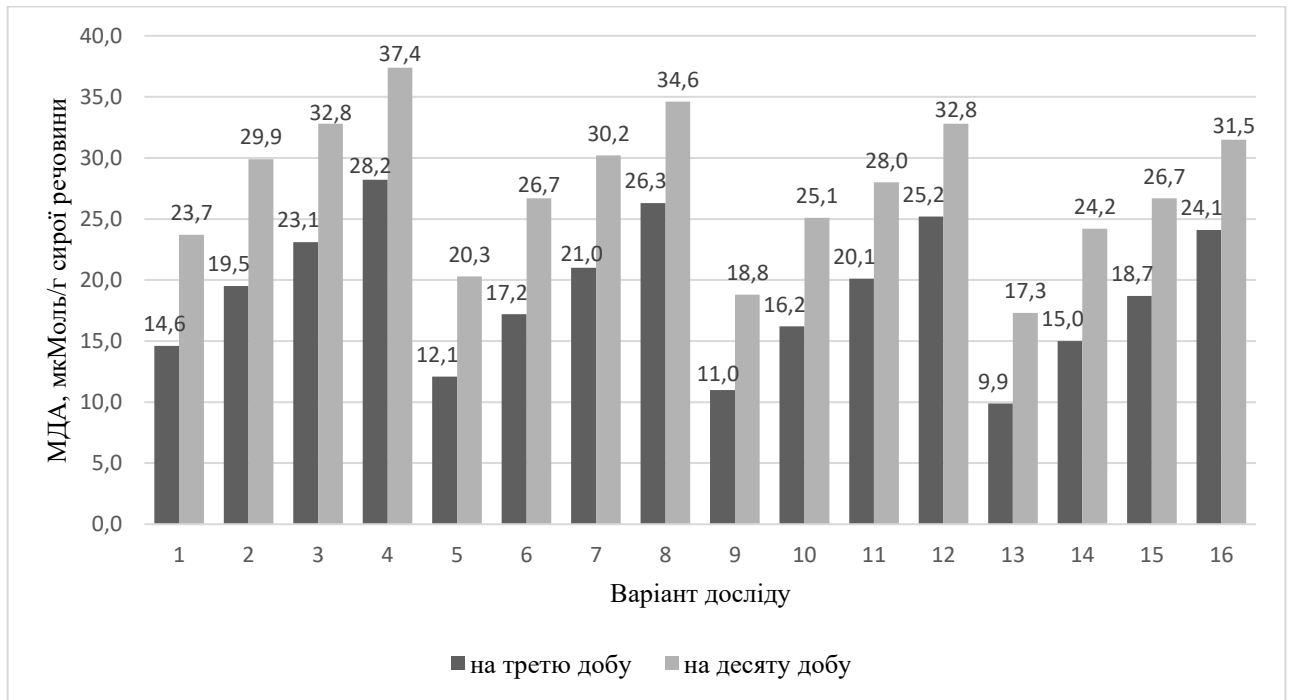


Рис. 3.3. Активність процесів ПОЛ у листках сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD, PPP Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал (вегетаційний дослід, 2019 р., НІР₀₁ 0,7 – на третю добу, 0,9 – на десяту добу)
 1 – Без використання препаратів (контроль); 2, 3, 4 – Цитадель 0,6; 0,8 і 1,0 л/га; 5 – Ендофіт L1 30 мл/га; 6, 7, 8 – Цитадель 0,6; 0,8 і 1,0 л/га + Ендофіт L1 30 мл/га; 9 – Біоарсенал (фон) 8,7 кг/т; 10, 11, 12 – фон + Цитадель 0,6; 0,8 і 1,0 л/га; 13 – фон + Ендофіт L1 30 мл/га; 14, 15, 16 – фон + Цитадель 0,6; 0,8 і 1,0 л/га + Ендофіт L1 30 мл/га

Дещо вираженішим послаблення процесів ПОЛ було у варіантах дослід, де гербіцид вносили по фоні передпосівної обробки насіння Біоарсеналом. Так, на третю добу після внесення гербіциду активність ПОЛ знижувалась на 16,9; 13,0 і 10,6% відносно варіантів самостійного застосування гербіциду. На десяту добу цей показник знижувався на 16,1; 14,6 і 12,3% відповідно.

Найнижчі показники ПОЛ було виявлено у варіантах дослід де гербіцид Цитадель 25 OD вносили сумісно з PPP Ендофіт L1 на фоні передпосівної обробки насіння Біоарсеналом. За таких умов інтенсивність ліпопероксидаційних процесів, на третю й десяту добу була на 23,1; 19,0; 14,5 і

19,1; 18,6 та 15,8% нижчою стосовно варіантів із самостійним застосуванням гербіциду, хоча все ж залишалася вищою від контролю на 2,7–65,1 і 2,1–32,9% відповідно. Очевидно, що за комплексного використання досліджуваних препаратів рівень стресу, якого зазнавали рослини сорго, був нижчим, ніж у варіантах, де застосовувався лише гербіцид.

Окрім згаданих ферментів, протидію наслідкам впливу ксенобіотиків у рослинах складають й інші ферменти. Серед них важливе значення відіграють ферменти класу оксидоредуктаз, які також нейтралізують АФК до менш токсичних, або й зовсім нетоксичних сполук. До типових представників цього класу належать: каталаза (КФ. 1.11.1.6) — розкладає пероксид водню на воду й кисень [221], пероксидаза (КФ. 1.11.1.7) — виступає посередником у реакції окиснення фенольних сполук пероксидом водню з утворенням феноксирадикалів і води [222] та поліфенолоксидаза (КФ. 1.14.18.1) — каталізує реакцію між дифенольним субстратом і киснем [223].

Результати наших досліджень (Додаток Б, табл. Б.1, Б.3, Б.5; табл. 3.1) виявили значні зміни у ферментативній активності листків сорго зернового за дії різних норм та комбінацій досліджуваних препаратів у фазу кущення. Так, за норм внесення гербіциду Цитадель 25 OD 0,6; 0,8 і 1,0 л/га активність каталази перевищувала контроль I на 12,9; 19,3 і 32,9 мкМоль розкладеного H_2O_2 /г сирої речовини, пероксидази – на 17,7; 25,1 і 35,5 мкМоль окисненого гваяколу, поліфенолоксидази – на 2,3; 3,4 і 4,8 мкМоль окисненої аскорбінової кислоти/г сирої речовини. Така активізація ферментативної системи, очевидно, є наслідком ініціації детоксикаційних процесів у тканинах сорго зернового, інтенсивність яких, у свою чергу, залежить від концентрації ксенобіотика. Однак, за тих же норм гербіциду, внесених сумісно з РРР Ендофіт L1, активність каталази, пероксидази і поліфенолоксидази перевищувала відповідні показники у варіантах із самостійним внесенням гербіциду на 8,3–13,4; 5,0–8,8 і 6,8–15,4% відповідно. Подібний ефект спостерігався і за внесення гербіциду у вказаних нормах на фоні передпосівної обробки насіння Біоарсеналом. Активність ферментів у таких варіантах зростала на 7,8–12,7; 5,3–8,6 і 8,0–14,9% відносно

варіантів із самостійним внесенням гербіциду, відповідно для каталази, пероксидази і поліфенолоксидази. Імовірно, зростання активності досліджуваних ферментів у варіантах досліду з використанням РРР і біопрепарату пояснюється здатністю даних препаратів стимулювати фізіолого-біохімічні процеси у рослинах, у числі яких і нейтралізація активних форм кисню антиоксидантними системами. Аналогічних результатів у своїх дослідженнях досягли й інші вчені [224, 225]. Наприклад, В. П. Карпенко і С. С. Шутко [226] зазначають, що за обробки рослин соризу гербіцидом Пік 75 WG відбувалося зростання активності ферментів класу оксидоредуктаз порівняно з контролем. Водночас, активізація була істотно більшою за сумісного застосування гербіциду з РРР Регоплант, а також за його внесення на фоні передпосівної обробки насіння цим же РРР.

Найвищу активність досліджуваних ферментів було виявлено за внесення гербіциду Цитадель 25 OD у сумішах з РРР Ендофіт L1 по фону передпосівної обробки насіння Біоарсеналом. Активність каталази при цьому зростала на 28,7; 39,4 і 59,7 мкМоль розкладеного H_2O_2 відносно контролю I, пероксидази і поліфенолоксидази – на 39,3; 49,2; 62,5 і 5,7; 7,7; 10,7 мкМоль окисненого гваяколу та аскорбінової кислоти за 1 хвилину відповідно, що на 13,9–20,0; 14,9–16,5 і 19,3–29,4% більше, ніж у тотожних варіантах, де РРР і біопрепарат не застосовувались.

Примітним є деяке зростання ферментативної активності у варіанті ручних прополювань впродовж вегетації та у варіантах окремого й сумісного застосування РРР і біопрепарату. Очевидно, що причиною цьому слугувало покращення умов зростання культури шляхом видалення сегетальної рослинності та стимулювання обмінних процесів РРР і біопрепаратом. За таких умов відбувалася активізація ростових процесів, унаслідок якої посилювалось природнє продукування АФК, що супроводжувалось відповідною реакцією антиоксидантних систем [227].

Таблиця 3.1

**Активність ферментів класу оксидоредуктаз у листках сорго
зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD, PPP Ендофіт L1 і біопрепарату
Біоарсенал, фаза кущення (середнє за 2019–2021 рр.)**

Варіант досліджу	Каталаза, мкМоль розкладеного H ₂ O ₂ /г сирії речовини за 1 хв.	Пероксидаза, мкМоль окисненого гваяколу/г сирії речовини за 1 хв.	Поліфенолоксидаза, мкМоль окисненої аскорбінової кислоти/г сирії речовини за 1 хв.
Без застосування препаратів (контроль I)	101,1	127,7	15,3
Без використання препаратів + ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	105,1	133,9	16,3
Цитадель 0,6 л/га	114,0	145,4	17,6
Цитадель 0,8 л/га	120,4	152,8	18,7
Цитадель 1,0 л/га	134,0	163,2	20,1
Ендофіт L1 30 мл/га	107,7	138,0	16,7
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	123,5	152,7	18,8
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	133,6	163,2	20,9
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	152,0	177,5	23,2
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	106,3	139,5	16,7
Фон + ручні прополювання	109,0	144,3	17,1
Фон + Цитадель 0,6 л/га	122,9	153,1	19,0
Фон + Цитадель 0,8 л/га	132,3	162,5	20,9
Фон + Цитадель 1,0 л/га	151,0	177,3	23,1
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	114,6	148,4	17,5
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	129,8	167,0	21,0
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	140,5	176,9	23,0
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	160,8	190,2	26,0
<i>НІР₀₅</i>	3,9–6,1*	4,7–8,1	0,8–0,9

*Примітка:** – наведено мінімальні і максимальні значення за роки досліджень

Подальші дослідження ферментативної активності у фазу викидання волоті культури виявили, що характер впливу гербіциду Цитадель 25 OD, PPP Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал на ферментативну активність сорго зернового залишався подібним, хоча й спостерігалася тенденція до стабілізації

та зниження досліджуваних показників (додаток Б, табл. Б.2, Б.4, Б.6; табл. 3.2). Так, у варіантах де гербіцид вносили у нормах 0,6–1,0 л/га активність каталази була нижчою відносно показників у фазу кущення на 3,8; 3,3 і 2,8%, пероксидази – на 5,6; 4,6 і 3,7%, поліфенолоксидази – на 14,2; 11,8 і 10,0%. Важливо зазначити, що хоча активність оксидоредуктаз була загалом нижчою порівняно з фазою кущення, вона все одно зберігала тенденцію до зростання зі збільшенням норми гербіциду. Це є свідченням того, що для нейтралізації більших норм ксенобіотика рослинам необхідна більша кількість часу, чим і обумовлена підвищена ферментативна активність.

Водночас, за обробки рослин сорго зернового гербіцидом Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га сумісно з PPP Ендофіт L1 активність каталази, пероксидази і поліфенолоксидази знижувалась відносно попередньої фази досліджень на 4,7–6,8; 4,5–6,4 і 13,4–14,4% відповідно.

Такий результат є свідченням підвищеної активності та ефективності детоксикаційних процесів у рослинах сорго зернового внаслідок їх стимуляції регулятором росту рослин. Аналогічний ефект спостерігався і за внесення гербіциду по фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал. За таких умов активність каталази знижувалась на 5,0–6,5%, пероксидази – на 5,1–6,5%, поліфенолоксидази – на 12,6–15,8%.

Досить високою залишалася активність ферментів у варіантах із внесенням гербіциду Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га сумісно з PPP Ендофіт L1 на фоні передпосівної обробки насіння Біоарсеналом. При цьому активність каталази, порівняно з варіантами самотійного внесення гербіциду, була вищою на 8,5; 12,8 і 19,0 мкМоль розкладеного H_2O_2 . Активність пероксидази і поліфенолоксидази – на 12,9; 15,9; 20,3 мкМоль окисненого гваяколу і 1,8; 2,3; 3,8 мкМоль окисненої аскорбінової кислоти відповідно. У цих же варіантах дослідів спостерігалось найбільше зниження активності ферментів порівняно з фазою кущення: активність каталази знижувалась на 7,2–8,9%, пероксидази – на 6,7–10,1%, поліфенолоксидази – на 15,8–19,5%.

Таблиця 3.2

Активність ферментів класу оксидоредуктаз у листках сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD, PPP Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал, фаза викидання волоті (середнє за 2019–2021 рр.)

Варіант досліджу	Каталаза, мкМоль розкладеного H ₂ O ₂ /г сирії речовини за 1 хв.	Пероксидаза, мкМоль окисненого гваяколу/г сирії речовини за 1 хв.	Поліфенолоксидаза, мкМоль окисненої аскорбінової кислоти/г сирії речовини за 1 хв.
Без застосування препаратів (контроль I)	105,2	125,7	13,8
Без використання препаратів + ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	101,6	118,9	14,0
Цитадель 0,6 л/га	109,7	137,3	15,1
Цитадель 0,8 л/га	116,4	145,7	16,5
Цитадель 1,0 л/га	130,3	157,2	18,1
Ендофіт L1 30 мл/га	102,9	120,9	14,0
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	115,1	142,9	16,1
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	126,5	154,1	18,0
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	144,8	169,6	20,1
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	101,8	121,6	15,7
Фон + ручні прополювання	97,6	119,1	13,7
Фон + Цитадель 0,6 л/га	114,9	143,2	16,0
Фон + Цитадель 0,8 л/га	125,2	153,2	17,9
Фон + Цитадель 1,0 л/га	143,5	168,3	20,2
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	103,6	123,5	14,2
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	118,2	150,2	16,9
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	129,2	161,6	18,8
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	149,3	177,5	21,9
<i>НІР₀₅</i>	3,7–5,5*	4,6–7,1	0,7–0,8

*Примітка:** – наведено мінімальні і максимальні значення за роки досліджень

Таким чином, результати проведених досліджень свідчать про те, що застосування гербіциду Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га у посівах сорго зернового призводить до посиленого утворення АФК, що призводить до інтенсифікації проходження процесів ПОЛ. Унаслідок цього в рослинах активізуються антиоксидантні системи, зокрема, такі ферменти як СОД, GST,

каталаза, пероксидаза і поліфенолоксидаза, чия активність залежала як від норми гербіциду, так і від використання PPP і біопрепарату.

Застосування гербіциду Цитадель 25 OD сумісно з PPP Ендофіт L1, а також внесення гербіциду по фоні передпосівної обробки насіння Біоарсеналом створювало більш сприятливі умови для детоксикації ксенобіотика рослинами сорго зернового порівняно з варіантами самостійного внесення гербіциду.

Найвища інтенсивність детоксикаційних процесів була виявлена у рослинах сорго зернового, які обробляли сумішами гербіциду Цитадель 25 OD (0,6–1,0 л/га) та PPP Ендофіт L1 по фоні передпосівної обробки насіння Біоарсеналом. Ферментативна активність у таких варіантах дослідів зростала в середньому на 11,7–13,2% за зниження рівня ПОЛ на 14,5–23,1% відносно варіантів самостійного застосування гербіциду.

3.2. Анатомо-морфологічні зміни листкового апарату та його площа

У процесі онтогенезу всі рослини піддаються впливу тих чи інших чинників, що впливають на характер їхнього розвитку. Залежно від умов зростання змінюються морфологічні ознаки рослин та формується характерна епідермальна структура їхніх листків [228]. Як свідчать окремі автори [229, 230], аналізуючи ці зміни можливо охарактеризувати умови зростання певної культури і оцінити ступінь впливу на неї конкретного чинника, що в подальшому може використовуватись для розробки більш ефективних технологій вирощування.

У контексті інтенсивного сільського господарства важливим чинником, що суттєво впливає на розвиток культурних рослин є застосування гербіцидів. Більшість із них мають системну дію і, перш ніж проникнути через листя й розповсюдитись рослинним організмом [231], вони мусять подолати низку анатомічних структур, серед яких епікутикулярний віск, кутикула, трихоми, клітинні мембрани, продихи тощо [232]. Потрапивши всередину, ксенобіотики здатні змінювати баланс ендогенних фітогормонів у рослині та порушувати

динаміку обмінних процесів [233], що потенційно може мати вплив на характер формування нових тканин та вже сформованих [234, 235].

Дослідження на прикладі кукурудзи [236] показали, що за впливу гербіциду Бату у нормах 15, 20, 25 і 30 г/га відбувається зниження кількості клітин епідермісу листків відносно контролю при одночасному збільшенні їх площі. Кількість продихів також зростає, хоча за максимальної норми гербіциду (30 г/га) дана тенденція змінюється на протилежну.

Подібні дослідження були проведені й на прикладі пшениці озимої [237] за дії гербіциду Гранстар Голд 75, в. г. та РРР Регоплант. У результаті було встановлено, що за норм гербіциду 15–30 г/га відбувається збільшення кількості клітин епідермісу від 134 до 178 шт/мм². Проте, за внесення тих же норм препарату сумісно з РРР простежується зменшення кількості клітин відносно варіантів де РРР не застосовувався. Площа клітин також залежала від умов досліду й істотно зростала зі збільшенням норми гербіциду від 15 до 25 г/га. За сумісного ж застосування Гранстару Голд 75, в. г. із РРР Регоплант площа клітин була істотно більшою порівняно з варіантами, де гербіцид вносили окремо, що свідчить про протекторну дію регулятора росту рослин на рослини пшениці.

В. П. Карпенко [238] у своїх дослідженнях виявив залежність анатомічної структури листя ячменю ярого від застосування гербіциду й біологічних препаратів. Так, за використання у посівах гербіциду Калібр 75 у сумішах із біопрепаратом Агат-25К і РРР Агростимулін відбувалося зменшення числа клітин епідермісу на поверхні листка з одночасним збільшенням їх площі, що є свідченням формування комплексу мезоморфних ознак характерних для рослин мезофітного типу.

Не зважаючи на певну представленість у літературі тематики досліджень анатомічної структури листків культурних рослин залежно від використання хімічних і біологічних препаратів, подібні зміни в рослин сорго зернового донині не вивчалися, що й актуалізувало дослідження в цьому напрямку.

Відповідно до отриманих результатів (Додаток В, табл. В.1–В.3; табл. 3.3) гербіцид Цитадель 25 OD, РРР Ендофіт L1 та біопрепарат Біоарсенал мали

істотний вплив на анатомічну структуру епідермісу листків сорго зернового. Так, за норм гербіциду 0,6; 0,8 і 1,0 л/га відбувалося зменшення кількості клітин на одиниці площі листка на 6, 17 і 26 шт. відносно контролю І. Водночас, за поєднання гербіцидної обробки із внесенням РРР Ендофіт L1, а також внесення гербіциду в зазначених нормах на фоні передпосівної обробки насіння Біоарсеналом призводило до подальшого зменшення кількості клітин на 14, 26, 35 шт. і 18, 31 і 40 шт. відповідно. Такі зміни, вірогідно, пояснюються зниженням інтенсивності впливу сегетальної рослинності на сорго зернове, а також інтенсифікацією проходження фізіологічних процесів у рослинах внаслідок впливу РРР і біопрепарату, що в загальному покращує умови росту й розвитку культури.

Стосовно площі клітин епідермісу – вона зростала при зниженні впливу бур'янового компоненту на посіви зі збільшенням норми гербіциду. Так, за обробки рослин сорго зернового гербіцидом Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га площа клітин епідермісу листка зростала на 63, 116 і 164 мкм² порівняно з контролем І.

Проте, за внесення тих же норм гербіциду сумісно з РРР Ендофіт L1 відбувалося зростання площі клітин на 166, 251 і 312 мкм² порівняно з контролем І. Аналогічні зміни відбувалися й за внесення гербіциду на фоні передпосівної обробки насіння Біоарсеналом – площа клітин зростала до контролю на 207, 290 і 349 мкм².

Найменше число клітин епідермісу на 1 мм² листків при найбільшій їх площі було виявлено у варіантах, де гербіцид Цитадель 25 OD (0,6–1,0 л/га) вносили сумісно з РРР Ендофіт L1 на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал. У таких варіантах кількість клітин була нижчою порівняно з аналогічним показником у варіантах без застосування РРР і біопрепарату в середньому на 10%, що на 34, 44 і 52 шт./мм² менше, ніж у контролі І. Розмір клітин при цьому істотно перевищував контроль І – на 278, 363 і 435 мкм², що було в середньому на 35% більше, ніж у варіантах самостійного застосування гербіциду.

Таблиця 3.3

**Анатомічна структура епідермісу листків сорго зернового за дії
гербіциду Цитадель 25 OD, PPP Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал
(фаза викидання волоті, середнє за 2019–2021 рр.)**

Варіант досліджу	Кількість клітин на 1 мм ² , шт	Розміри однієї клітини, мкм		Площа однієї клітини, мкм ²	K _м
		Довжина	Ширина		
Без застосування препаратів (контроль I)	285	51,7	11,5	595	1,00
Без використання препаратів + ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	231	64,6	15,8	1021	0,81
Цитадель 0,6 л/га	279	54,4	12,1	658	0,98
Цитадель 0,8 л/га	268	56,0	12,7	711	0,94
Цитадель 1,0 л/га	259	57,5	13,2	759	0,91
Ендофіт L1 30 мл/га	257	54,6	12,1	661	0,90
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	271	57,2	13,3	761	0,95
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	259	59,6	14,2	846	0,91
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	250	61,3	14,8	907	0,88
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	255	56,5	12,8	723	0,89
Фон + ручні прополювання	223	66,8	16,7	1116	0,78
Фон + Цитадель 0,6 л/га	267	58,1	13,8	802	0,94
Фон + Цитадель 0,8 л/га	254	60,2	14,7	885	0,89
Фон + Цитадель 1,0 л/га	245	62,1	15,2	944	0,86
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	231	57,4	13,4	769	0,81
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	251	59,8	14,6	873	0,88
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	241	61,8	15,5	958	0,85
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	233	64,0	16,1	1030	0,82
<i>НІР₀₅</i>	7,1–8,2*	1,6–1,9	0,4–0,5	52–75	

*Примітка:** – наведено мінімальні і максимальні значення за роки досліджень

Важливо зазначити, що суттєве зниження чисельності клітин спостерігалось й у варіанті контроль II та за ручних прополювань впродовж вегетації на фоні передпосівної обробки насіння сорго зернового Біоарсеналом. У цих варіантах даний показник був нижчим від контролю I на 54 і 62 шт.

відповідно. Площа ж клітин при цьому збільшувалась на 426 і 521 мкм², що свідчить про істотний позитивний вплив боротьби з бур'янами на характер формування анатомічної структури листків даної культури.

Одним із важливих показників, що дозволяє оцінити рівень впливу того чи іншого чинника (в тому числі й гербіциду) на структуру епідермісу листків є коефіцієнт їхньої морфоструктури (Км). Згідно з результатами обрахунків, найвищим даний показник був у варіантах, де гербіцид вносили самостійно без застосування РРР і біопрепарату – 0,91–0,98, що в цілому є свідченням покращення умов зростання. Проте, застосування гербіциду Цитадель 25 OD в сумішах з РРР Ендофіт L1 на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал призводило до зниження коефіцієнта морфоструктури до 0,82–0,88, що є свідченням формування мезоморфної структури листків сорго зернового, яка є характерною ознакою високопродуктивних посівів [239].

Достеменно відомо, що одним із важливих показників, від якого залежить урожайність сільськогосподарських культур, є площа асиміляційного апарату [240, 241]. Вона напряму впливає на кількість сонячного випромінювання, яке здатна засвоїти рослина, а, отже, на загальну продуктивність посівів. Площа листків будь-якої культури може залежати від низки чинників, зокрема, від погодних умов, агротехнічних заходів, дії різних препаратів, що застосовуються тощо [242, 243]. Тому, важливим є з'ясування характеру змін даного показника в посівах сорго зернового за комплексної дії гербіциду, РРР і біопрепарату.

Результати проведених досліджень (Додаток Г, табл. Г.1–Г.2; рис. 3.4) вказують на те, що площа асиміляційного апарату сорго у фазу кущення була істотно вищою за умов використання гербіциду Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га порівняно з контролем I – приріст становив 13,0; 15,4 і 19,1% відповідно. Такий результат пов'язаний зі зниженням конкурентного впливу з боку бур'янів, що створює більш сприятливі умови для розвитку культурних рослин, у тому числі й для формування більшої площі листового апарату.

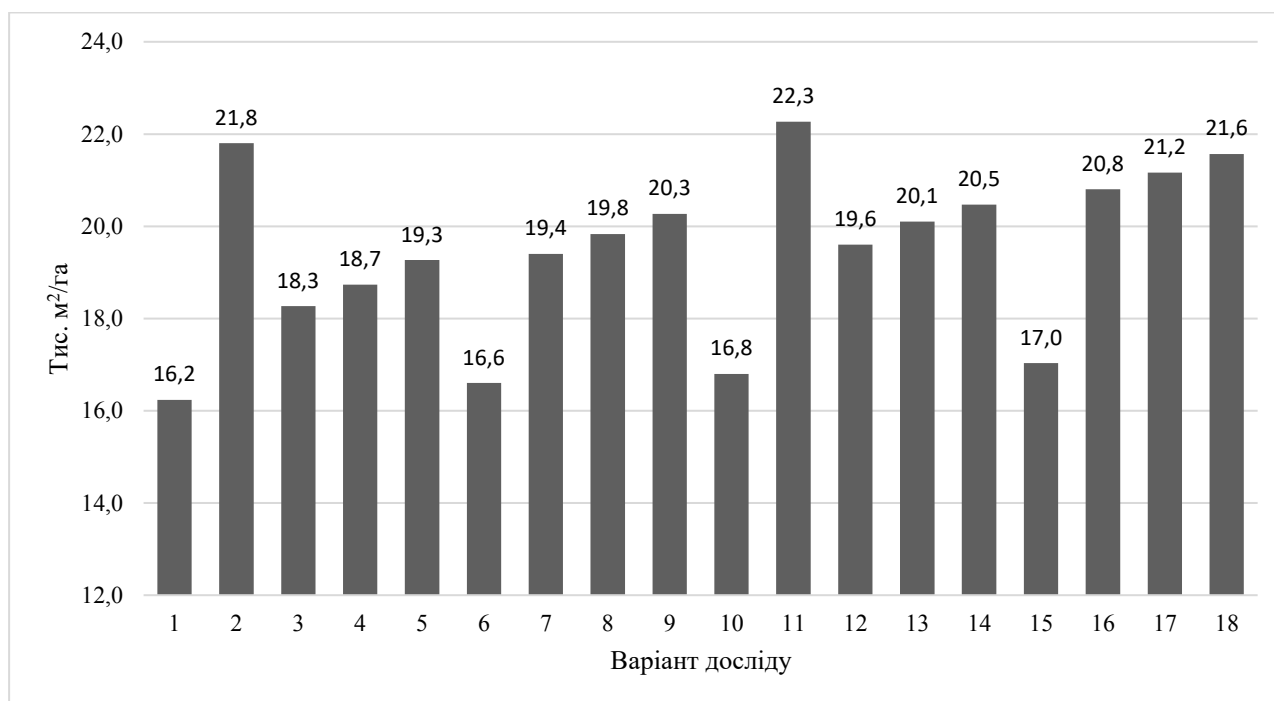


Рис. 3.4. Площа листя сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD, РРР Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал (фаза кушення, середнє за 2019–2021 рр.; НІР₀₅ – 0,8–1,2)

1 – Без використання препаратів (контроль І); 2 – без використання препаратів + ручні прополювання впродовж вегетації (контроль ІІ); 3, 4, 5 – Цитадель 0,6; 0,8 і 1,0 л/га; 6 – Ендофіт L1 30 мл/га; 7, 8, 9 – Цитадель 0,6; 0,8 і 1,0 л/га + Ендофіт L1 30 мл/га; 10 – Біоарсенал (фон) 8,7 кг/т; 11 – фон + ручні прополювання; 12, 13, 14 – фон + Цитадель 0,6; 0,8 і 1,0 л/га; 15 – фон + Ендофіт L1 30 мл/га; 16, 17, 18 – фон + Цитадель 0,6; 0,8 і 1,0 л/га + Ендофіт L1 30 мл/га

Поєднання внесення гербіциду із використанням РРР Ендофіт L1, а також внесення гербіциду окремо по фоні передпосівної обробки насіння Біоарсеналом призводило до підвищення даного показника відносно варіантів, де гербіцид вносили окремо на 6,0; 5,9; 5,2 та 7,1; 7,5 і 6,2% відповідно.

Найбільшою площею листя у всі роки дослідження була за комплексного використання препаратів. Так, за обробки посівів сорго зернового гербіцидом Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га сумісно з РРР Ендофіт L1 та на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал даний показник у фазу

кущення перевищував показники аналогічних варіантів без застосування РРР і біопрепарату на 13,7; 13,4 і 11,9%.

У фазу викидання волоті (рис. 3.5) площа листя значно збільшувалась порівняно з попередньою фазою спостережень, проте, загальні тенденції між варіантами залишались незмінними.

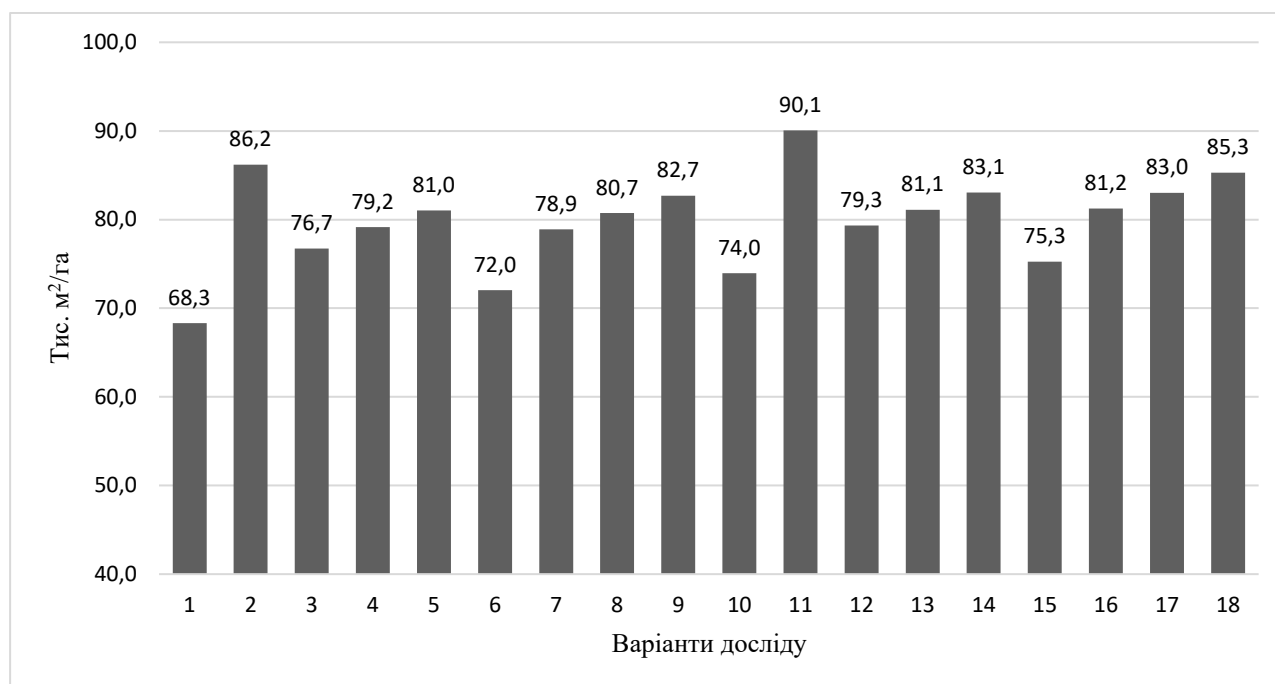


Рис. 3.5. Площа листя сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD, РРР Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал (фаза викидання волоті, середнє за 2019–2021 рр.; НІР₀₅ – 1,4–1,8)

1 – Без використання препаратів (контроль I); 2 – без використання препаратів + ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II); 3, 4, 5 – Цитадель 0,6; 0,8 і 1,0 л/га; 6 – Ендофіт L1 30 мл/га; 7, 8, 9 – Цитадель 0,6; 0,8 і 1,0 л/га + Ендофіт L1 30 мл/га; 10 – Біоарсенал (фон) 8,7 кг/т; 11 – фон + ручні прополювання; 12, 13, 14 – фон + Цитадель 0,6; 0,8 і 1,0 л/га; 15 – фон + Ендофіт L1 30 мл/га; 16, 17, 18 – фон + Цитадель 0,6; 0,8 і 1,0 л/га + Ендофіт L1 30 мл/га

У варіантах із застосуванням гербіциду Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га площа листя перевищувала контроль I на 8,4; 10,9 і 12,7 тис. м²/га, що у відсотковому співвідношенні складало 12,2; 15,9 і 18,5%. За внесення гербіциду сумісно з РРР Ендофіт L1 приріст даного показника становив 2,9; 1,9 і 2,1%

відносно варіантів окремого застосування гербіциду; за внесення ж його по фоні передпосівної обробки насіння Біоарсеналом площа листя зростала на 3,4; 2,4 і 2,6%.

Найвищі показники площі листя, як і у фазу кущення, було виявлено у варіантах, де досліджувані препарати застосовувались комплексно. За таких умов даний показник зростав відносно тотожних варіантів без застосування РРР і біопрепарату на 4,5; 3,8 і 4,3 тис. м²/га, що у відсотковому вираженні становить 4,8–5,9%.

Між показниками площі клітин епідермісу та площі листя сорго зернового виявлено тісний кореляційний зв'язок ($r = 0,93$), що свідчить про тісну взаємозалежність.

Таким чином, анатомо-морфологічні показники епідермісу листків сорго зернового зазнають значних змін за дії досліджуваних препаратів. Самостійне застосування гербіциду зумовлює наближення ознак анатомічної структури епідермісу листків до ксерофітного типу, що є ознакою пристосування рослин до несприятливих умов довкілля. Водночас, за поєднаного використання гербіциду з РРР Ендофіт L1 та біопрепаратом Біоарсенал відбувається формування структури епідермісу листків, яка наближається до мезофітного типу, характерної для високопродуктивних культур.

Зміни площі клітин епідермісу тісно пов'язані із площею листків, яка була найбільшою за використання гербіциду Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га сумісно з РРР Ендофіт L1 на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал, що свідчить про підвищення за даних умов здатності рослин асимілювати сонячне випромінювання і формувати високу продуктивність.

3.3. Ростові процеси

Одним із важливих показників, що відображають загальний стан посівів та характер впливу на них пестицидів, є висота рослин і їхня вегетативна маса

[244]. Відомо, що висота рослин є господарсько-цінною ознакою, яка тісно пов'язана зі стійкістю культур до вилягання, рівнем засвоєння поживних речовин, кількістю та якістю продукції тощо [245, 246]. У зв'язку з цим, дослідження даного показника дозволяє оцінити вплив того чи іншого чинника на життєві процеси вирощуваних культур [247].

Встановлено, що застосування біологічного препарату Біокомплекс-БТУ в посівах сорго цукрового призводило до зростання висоти рослин досліджуваних гібридів у середньому на 6,7% [248].

Дослідження на кукурудзі [249] показали, що застосування гербіциду Еталон позитивно впливало на висоту рослин внаслідок елімінації сегетальної рослинності в посівах. Так, за норм препарату 1,5; 2,0; 2,5 і 3,0 л/га висота рослин кукурудзи зростала відносно контролю в середньому на 7,5; 13; 17 і 9,5% – у фазу 8-10 листків і на 11,5; 13,5; 17,5 і 12,0% – у фазу викидання волоті.

S. Kaczmarek [250], досліджуючи вплив бакових сумішей гербіцидів на висоту рослин сорго, виявила залежність даного показника від природи діючих речовин у складі сумішей. Так, за обробки посівів сумішшю гербіцидів Тербутилазин (187,5 г/л) + Мезотріон (37,5 г/л) + S-метолахлор (312,5 г/л) з розрахунку 1,0 л/га висота рослин перевищувала контроль на 49,8%. Подібний результат спостерігався й за використання суміші Мезотріон (70 г/л) + Тербутилазин (330 г/л) з розрахунку 0,75 л/га та Мезотріон (60 г/л) + S-метолахлор (500 г/л) з розрахунку 1,0 л/га, де приріст до контролю становив 46,3 і 45,7% відповідно. Проте, за обробки посівів сумішшю Дикамба (500 г/л) + Просульфурон (50 г/л) з розрахунку 0,15 л/га, висота рослин зростала лише на 22,6%, що, на думку автора, свідчить про пригнічуючий вплив даної суміші препаратів на рослини сорго.

У той же час, існують свідчення про позитивний вплив РРР та мікробних препаратів на культурні рослини. Так, на прикладі нуту було виявлено [251], що за застосування гербіциду Панда сумісно з РРР Стимпо та мікробним препаратом Ризобофит висота рослин порівняно із варіантами досліду, де РРР та мікробний препарат не застосовували перевищувала контроль в середньому на 11–19%.

З огляду на представлені літературні дані нами було проведено дослідження із встановлення змін висоти рослин сорго зернового залежно від використання у посівах хімічного і біологічних препаратів.

Аналіз отриманих експериментальних даних (Додаток Д, табл. Д.1–Д.3; табл. 3.4) виявив, що у варіантах із застосуванням гербіциду Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га висота рослин сорго зернового у фазу кущення перевищувала даний показник у контролі І на 11,5; 15,7 і 17,9%.

У наступні фази розвитку (викидання волоті та молочно-воскової стиглості) спостерігалась аналогічна тенденція, хоча збільшення висоти рослин ставало менш вираженим. Так, у фазу викидання волоті даний показник перевищував контроль І на 6,3; 10,5 і 12,2%, у фазу молочно-воскової стиглості – на 2,1; 2,6 і 3,2%. Очевидно, що причиною такого приросту є менша, порівняно з контролем, конкуренція з боку бур'янів у варіантах, де застосовувався гербіцид, що й дозволило рослинам сорго зернового розвиватися більш активно.

Дещо більшою була висота рослин за внесення гербіциду в бакових сумішах з РРР Ендофіт L1. У фазу кущення цей показник перевищував контроль І на 17,4; 21,3 і 23,4%, а у фази викидання волоті й молочно-воскової стиглості – на 11,9; 16,2; 18,0% та 4,3; 4,8 і 5,4% відповідно.

Подібний результат було отримано й за внесення гербіциду по фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал, проте, важливо зазначити, що за такого поєднання препаратів висота рослин виявляла тенденцію до більших показників порівняно з варіантами сумісного застосування гербіциду з РРР Ендофіт L1. За таких умов рослини сорго зернового перевищували контроль І на 18,7; 22,5 і 25,9% – у фазу кущення, 12,9; 16,5 і 20,5% – у фазу викидання волоті й 4,5; 4,8 і 5,5% – у фазу молочно-воскової стиглості.

Таблиця 3.4

**Висота рослин сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD, PPP
Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал (середнє за 2019–2021 рр., см)**

Варіант досліджу	Фаза кущення	Фаза викидання волоті	Фаза молочно- воскової стиглості
Без застосування препаратів (контроль I)	23,5	64,9	89,3
Без використання препаратів + ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	31,4	80,2	98,5
Цитадель 0,6 л/га	26,2	69,0	91,2
Цитадель 0,8 л/га	27,2	71,7	91,6
Цитадель 1,0 л/га	27,7	72,8	92,2
Ендофіт L1 30 мл/га	24,5	65,7	90,0
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	27,6	72,6	93,1
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	28,5	75,4	93,6
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	29,0	76,6	94,1
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	25,0	67,0	90,3
Фон + ручні прополювання	32,6	82,6	100,6
Фон + Цитадель 0,6 л/га	27,9	73,3	93,3
Фон + Цитадель 0,8 л/га	28,8	75,6	93,6
Фон + Цитадель 1,0 л/га	29,6	78,2	94,2
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	25,2	67,2	90,6
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	29,4	77,8	94,8
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	30,2	80,1	95,4
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	30,8	80,9	95,8
<i>НІР₀₅</i>	1,0–1,2*	2,2–2,7	4,1–4,7

*Примітка: * – наведено мінімальні і максимальні значення за роки досліджень*

Збільшення показників висоти рослин за поєднання гербіцидної обробки посівів з використанням рістстимулювальних препаратів найімовірніше пов'язано із синергічним ефектом від застосування декількох препаратів. Зокрема, гербіцид знижував вплив сегетальної рослинності на культуру, PPP

стимулював перебіг фізіологічних процесів, а мікробний препарат – поліпшував умови живлення рослин.

Водночас, найвищі показники висоти рослин сорго зернового було виявлено у варіантах, де гербіцид Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га вносили сумісно з РРР Ендофіт L1 на фоні передпосівної обробки насіння Біоарсеналом. За такого поєднання препаратів, даний показник у фазу кущення перевищував контроль I на 25,1; 28,5 і 31,1%, що в абсолютній величині складало 5,9; 6,7 і 7,3 см. У фазу викидання волоті й молочно-воскової стиглості приріст становив 19,9; 23,4; 24,6% та 6,2; 6,8 і 7,3% відповідно, що перевищувало контроль I в середньому на 14,7 і 6,0 см.

У процесі свого розвитку кожна рослина, в тому числі й сорго зернове, формує надземні вегетативні та генеративні органи, які, залежно від умов зростання, характеризуються певними розмірами, щільністю клітинної структури, вмістом мінеральних речовин тощо [252]. Всі ці ознаки сукупно відображаються на вегетативній масі рослин, величина якої може використовуватись для оцінки ефективності тих чи інших агрономічних заходів у сільському господарстві.

В. П. Карпенко та Р. М. Притуляк [253], досліджуючи вплив біологічно активних речовин на фізіологічні зміни в рослинах ячменю ярого, встановили, що застосування у посівах гербіциду Калібр 75 призводить до зростання показника біомаси рослин на 18,5–57,4% відносно контролю. При цьому поєднання гербіцидної обробки з використанням біопрепарату Агат-25К і РРР Агростимулін дозволяло підвищити цей показник в середньому на 30,6–70,9%.

Позитивний вплив рістстимулювальних препаратів на надземну біомасу рослин було також виявлено на прикладі вівса голозерного [254]. За передпосівної обробки насіння мікробним препаратом Меланоріз і РРР Агролайт з подальшим оприскуванням посівів Агролайтом надземна біомаса рослин зростала відносно контролю на 1,44; 1,70 і 2,11 г.

У ході досліджень було виявлено (Додаток Ж, табл. Ж.1–Ж.3; табл. 3.5), що за обробки посівів гербіцидом Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га

надземна біомаса рослин сорго зернового зростала у фазу кущення відносно контролю I на 7,0; 11,0 і 14,8%. В подальшому спостерігалась аналогічна тенденція: у фазу викидання волоті біомаса рослин сорго зернового перевищувала контроль на 9,5; 13,8 і 17,3%, а у фазу молочно-воскової стиглості – на 8,3; 12,8 і 16,2%.

Таблиця 3.5

Надземна біомаса рослин сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD, РРР Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал (середнє за 2019–2021 рр., г)

Варіант досліджу	Фаза кущення	Фаза викидання волоті	Фаза молочно-воскової стиглості
Без застосування препаратів (контроль I)	34,5	116,0	147,8
Без використання препаратів + ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	42,8	147,8	186,9
Цитадель 0,6 л/га	36,9	127,0	160,1
Цитадель 0,8 л/га	38,3	132,0	166,7
Цитадель 1,0 л/га	39,6	136,1	171,8
Ендофіт L1 30 мл/га	35,1	121,0	152,5
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	38,5	132,5	167,3
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	39,7	136,6	172,6
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	40,5	139,4	176,2
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	35,9	123,5	155,7
Фон + ручні прополювання	44,1	151,5	191,5
Фон + Цитадель 0,6 л/га	38,7	133,3	168,4
Фон + Цитадель 0,8 л/га	40,0	137,8	174,2
Фон + Цитадель 1,0 л/га	40,8	141,8	179,2
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	36,5	125,7	158,5
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	40,3	138,6	175,2
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	41,4	143,3	180,9
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	42,4	146,6	185,2
<i>НІР₀₅</i>	1,1–1,7*	4,2–4,4	5,5–5,7

Примітка: * – наведено мінімальні і максимальні значення за роки досліджень

Динаміка формування вегетативної маси рослинами за внесення гербіциду в зазначених нормах сумісно з РРР Ендофіт L1 була більш вираженою порівняно з варіантами, де РРР не застосовувався. За таких умов цей показник перевищував значення контролю I у фазу кущення на 11,6; 15,1 і 17,4%, а у фазу викидання волоті й молочно-воскової стиглості – на 14,2; 17,8; 20,2 та 13,2; 16,8 і 19,2% відповідно.

Аналогічний ефект спостерігався й за внесення гербіциду на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал – біомаса рослин сорго зернового у фазу кущення зростала відносно контролю I на 12,2; 15,9 і 18,3%. У наступні ж фази розвитку приріст становив 14,9; 18,8; 22,2% – викидання волоті і 13,9; 17,9 та 21,2% – молочно-воскової стиглості.

Найбільшу біомасу формували рослини сорго зернового у варіантах, де гербіцид Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га вносили сумісно з РРР Ендофіт L1 на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал. У фазу кущення, викидання волоті й молочно-воскової стиглості цей показник перевищував контроль на 16,8–22,9%; 19,5–26,4% і 18,5–25,3% відповідно.

Таким чином, аналізуючи результати досліджень висоти та вегетативної маси сорго зернового, можна констатувати, що найбільш інтенсивно ростові процеси у рослинах протікають за максимального знищення бур'янів, стимулювального впливу на рослини РРР та покращення умов живлення посівів за рахунок передпосівної обробки насіння мікробним препаратом, що відповідає варіанту досліді із комплексним застосуванням препаратів – Цитадель 25 OD + РРР Ендофіт L1 + біопрепарат Біоарсенал.

3.4. Вміст пігментів і продуктивність фотосинтезу

Фототрофічність є важливою ознакою царства рослин. Саме завдяки фотосинтезу відбувається утворення й накопичення поживних речовин в рослинному організмі, що робить цей процес одним із ключових при формуванні високих показників урожайності сільськогосподарських культур [255, 256].

Відомо, що фотосинтетичний апарат рослин містить низку пігментів, які беруть активну участь у процесах перетворення енергії сонячного випромінювання в енергію хімічних зв'язків, зокрема, хлорофіли *a* і *b* [257]. Саме від їх вмісту найбільшою мірою залежить продуктивність фотосинтезу [258].

Окрім хлорофілів важливим компонентом фотосинтетичного апарату є каротиноїди. Серед важливих функцій, які вони виконують, виділяють їх здатність нейтралізувати активні форми кисню, що утворюються в процесі фотосинтезу та внаслідок впливу шкодочинних агентів на рослину [259].

Вміст хлорофілів та каротиноїдів у клітинах рослин може залежати від низки чинників: погодні умови, вид та сорт рослин, застосування фізіологічно активних речовин тощо, а отже, будь які зміни вмісту пігментів є відображенням фізіологічного стану, в якому перебуває рослина, що дозволяє використовувати ці показники для оцінки впливу на неї хімічних і біологічних препаратів [258, 259].

У ході наших дослідженнях (табл. 3.6) було встановлено, що зі збільшенням норми гербіциду на третю добу після внесення відбувалося зниження вмісту хлорофілів *a*, *b* та їх суми у листках сорго зернового. Так, за норм внесення гербіциду 0,6; 0,8 і 1,0 л/га вміст хлорофілу *a* знижувався на 0,022; 0,067 і 0,119 мг/г, хлорофілу *b* – 0,011; 0,029; 0,051 мг/г, а суми хлорофілів *a+b* – 0,033; 0,096 і 0,170 мг/г сирової речовини відповідно до показників у контролі.

За внесення цих же норм гербіциду в суміші з РРР Ендофіт L1 вміст хлорофілів *a* і *b*, а також їх сума перевищували відповідні показники у варіантах без застосування РРР на 0,066; 0,064 і 0,054 мг/г – для хлорофілу *a*, 0,031; 0,023; 0,018 мг/г – хлорофілу *b* і 0,097; 0,87; 0,72 мг/г сирової речовини – суми хлорофілів *a+b*.

За передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал вміст пігментів у листках сорго був дещо вищим, ніж у варіантах, де гербіцид вносили сумісно з РРР Ендофіт L1. Так, у варіантах із внесенням гербіциду на фоні передпосівної обробки насіння Біоарсеналом вміст хлорофілів *a*, *b*, а також їх суми перевищував показники аналогічних варіантів без передпосівної обробки

на 0,108; 0,102; 0,095 мг/г – для хлорофілу *a*, 0,055; 0,042; 0,038 мг/г – для хлорофілу *b* і 0,163; 0,144 і 0,133 мг/г сирої речовини – для суми хлорофілів *a+b*.

Таблиця 3.6

**Вміст пігментів у листках сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD,
PPP Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал
(третя доба після внесення, вегетаційний дослід, 2019 р., мг/г сирої
речовини)**

Варіант дослідів	Хлорофіл <i>a</i>	Хлорофіл <i>b</i>	Хлорофіл (<i>a+b</i>)	Сума кароти- ноїдів
Без застосування препаратів (контроль)	0,932	0,282	1,214	0,183
Цитадель 0,6 л/га	0,910	0,271	1,181	0,226
Цитадель 0,8 л/га	0,865	0,253	1,118	0,213
Цитадель 1,0 л/га	0,813	0,231	1,044	0,198
Ендофіт 30 мл/га	0,998	0,344	1,342	0,197
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт 30 мл/га	0,976	0,302	1,278	0,245
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт 30 мл/га	0,929	0,276	1,205	0,229
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт 30 мл/га	0,867	0,249	1,116	0,212
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	1,041	0,359	1,400	0,198
Фон + Цитадель 0,6 л/га	1,018	0,326	1,344	0,250
Фон + Цитадель 0,8 л/га	0,967	0,295	1,262	0,234
Фон + Цитадель 1,0 л/га	0,908	0,269	1,177	0,216
Фон + Ендофіт 30 мл/га	1,076	0,384	1,460	0,213
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт 30 мл/га	1,053	0,363	1,416	0,265
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт 30 мл/га	1,004	0,329	1,333	0,248
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт 30 мл/га	0,946	0,289	1,235	0,231
<i>НІР₀₁</i>	0,021	0,010	0,031	0,012

Найвищі показники вмісту хлорофілів було виявлено у варіантах із сумісною обробкою рослин гербіцидом Цитадель 25 OD і PPP Ендофіт L1 на фоні передпосівної обробки насіння Біоарсеналом. За таких умов перевищення кількості хлорофілів відносно варіантів із обробкою рослин лише гербіцидом складало 0,143; 0,139 і 0,133 мг/г – для хлорофілу *a*, 0,092; 0,076; 0,058 мг/г – для хлорофілу *b* та 0,235; 0,215 і 0,191 мг/г сирової речовини – для суми хлорофілів *a+b*.

На шосту добу після внесення препаратів (табл. 3.7) простежувалось загальне зростання вмісту пігментів у листках сорго в порівнянні до третьої доби визначення, хоча тенденція розподілу їх вмісту у варіантах залишалася подібною. Так, у варіантах, де вносились лише гербіцид спостерігалось зниження вмісту пігментів відносно контролю: хлорофілу *a* – на 0,033; 0,061; 0,106 мг/г, хлорофілу *b* – 0,018; 0,032; 0,050 мг/г та суми хлорофілів – 0,051; 0,093 і 0,156 мг/г сирової речовини. У варіантах із сумісним внесенням гербіциду й PPP показники кількості хлорофілів були вищими, ніж у варіантах без застосування PPP, на 0,074; 0,071; 0,064 мг/г – для хлорофілу *a*, 0,039; 0,031; 0,027 мг/г – для хлорофілу *b* та 0,113; 0,102 і 0,091 мг/г сирової речовини – для суми хлорофілів *a+b*. За внесення гербіциду на фоні передпосівної обробки насіння Біоарсеналом вміст хлорофілів перевищував відповідні показники тотожних варіантів без передпосівної обробки насіння на 0,115; 0,112; 0,102 мг/г – для хлорофілу *a*, 0,062; 0,051; 0,047 мг/г – для хлорофілу *b* і на 0,177; 0,163 і 0,149 мг/г сирової речовини – для суми хлорофілів *a+b*.

Найвищий вміст хлорофілів як на шосту добу, так і на третю, було відмічено у варіантах із комплексним використанням гербіциду й PPP на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом. У даних варіантах досліджу вміст хлорофілу *a* був на 0,156; 0,153 і 0,150 мг/г сирової речовини вищим, ніж у варіантах, де застосовувався лише гербіцид, вміст хлорофілу *b* – на 0,101; 0,089; 0,068 мг/г, а суми хлорофілів *a+b* – на 0,257; 0,242 і 0,218 мг/г сирової речовини.

Вміст каротиноїдів у листках сорго зернового також змінювався залежно від варіанту досліджу (табл. 3.6; 3.7).

Таблиця 3.7

**Вміст пігментів у листках сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD,
PPP Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал
(шоста доба після внесення, вегетаційний дослід, 2019 р., мг/г сирії
речовини)**

Варіант дослідів	Хлорофіл <i>a</i>	Хлорофіл <i>b</i>	Хлорофіл (<i>a+b</i>)	Сума кароти- ноїдів
Без застосування препаратів (контроль)	0,946	0,287	1,233	0,189
Цитадель 0,6 л/га	0,913	0,269	1,182	0,241
Цитадель 0,8 л/га	0,885	0,255	1,140	0,223
Цитадель 1,0 л/га	0,840	0,237	1,077	0,206
Ендофіт 30 мл/га	1,023	0,351	1,374	0,205
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт 30 мл/га	0,987	0,308	1,295	0,263
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт 30 мл/га	0,956	0,286	1,242	0,242
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт 30 мл/га	0,904	0,264	1,168	0,223
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	1,062	0,375	1,437	0,208
Фон + Цитадель 0,6 л/га	1,028	0,331	1,359	0,271
Фон + Цитадель 0,8 л/га	0,997	0,306	1,303	0,248
Фон + Цитадель 1,0 л/га	0,942	0,284	1,226	0,225
Фон + Ендофіт 30 мл/га	1,104	0,393	1,497	0,224
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт 30 мл/га	1,069	0,370	1,439	0,287
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт 30 мл/га	1,038	0,344	1,382	0,265
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт 30 мл/га	0,990	0,305	1,295	0,243
<i>HIP₀₁</i>	0,028	0,016	0,039	0,015

Так, за норм гербіциду Цитадель 25 OD 0,6; 0,8 і 1,0 л/га вміст каротиноїдів збільшувався відносно контролю на третю й шосту добу на 0,043; 0,030; 0,015 мг/г і 0,052; 0,034; 0,017 мг/г сирії речовини відповідно. Імовірно,

таку реакцію можна пояснити процесом адаптації рослин до дії ксенобіотика, оскільки каротиноїди беруть участь у процесах нейтралізації активних форм кисню [260, 261]. Проте, варто зазначити, що хоча вміст каротиноїдів був дещо вищим у варіантах із внесенням гербіциду, спостерігалася тенденція до зниження їх вмісту зі зростанням норми препарату.

Варіанти досліду, в яких обробка гербіцидом комбінувалася із внесенням PPP Ендофіт L1 або передпосівною обробкою насіння біопрепаратом Біоарсенал, виявили істотне зростання вмісту каротиноїдів порівняно із варіантами, де вносили лише гербіцид. Так, за використання Цитадель 25 OD 0,6; 0,8 і 1,0 л/га + Ендофіт L1 їх вміст був вищим, ніж у варіантах без PPP, на 0,019; 0,016 і 0,014 мг/г – на третю добу та на 0,022; 0,019 і 0,017 мг/г сирої речовини – на шосту добу. У варіантах, де гербіцид в зазначених нормах вносили на фоні передпосівної обробки насіння Біоарсеналом вміст каротиноїдів був вищим на 0,024; 0,021 і 0,018 мг/г – на третю добу й 0,030; 0,025 та 0,019 мг/г сирої речовини – на шосту добу відносно варіантів без фону.

Найвищий же вміст каротиноїдів було виявлено у варіантах досліду, де гербіцид Цитадель 25 OD вносили сумісно з PPP Ендофіт L1 на фоні передпосівної обробки насіння Біоарсеналом, де приріст відносно варіантів без PPP та фону становив 0,039; 0,035 і 0,033 мг/г – на третю добу й 0,046; 0,042 і 0,037 мг/г сирої речовини – на шосту добу.

Отже, за дії гербіциду Цитадель 25 OD пігментний комплекс сорго зернового зазнавав впливу, що супроводжувався зниженням вмісту хлорофілів *a*, *b* та каротиноїдів із наростанням норми препарату. Подібний ефект узгоджується з результатами дослідів інших вчених [258, 262] і, очевидно, пояснюється інтенсифікацією пероксидного окиснення ліпідів в організмі рослин внаслідок дії ксенобіотика [260]. Крім того, зниження вмісту хлорофілів *a* і *b* може бути опосередковано пов'язаним зі зниженням вмісту каротиноїдів, оскільки однією з їх функцій є захист пігментного комплексу від руйнівної дії активних форм кисню, що утворюються як внаслідок фотосинтезу, так і за дії гербіциду [260–262]. Варто зазначити, що обробка рослин PPP Ендофіт L1 та

передпосівна обробка насіння Біоарсеналом, а також поєднане використання цих заходів, призводило до зниження негативної дії гербіциду на вміст пігментів у листках сорго зернового, що, можливо, пояснюється стимулювальним впливом зазначених препаратів на перебіг фізіолого-біохімічних процесів, пов'язаних із нейтралізацією ксенобіотика в рослинному організмі [262].

Для більш детального вивчення дії композицій досліджуваних препаратів на вміст пігментів у листках сорго зернового нами було проведено відповідні дослідження у польових умовах. Відповідно до отриманих результатів (Додаток К. табл. К.1–К.3; табл. 3.8), у фазу кущення вміст хлорофілів a , b та їх суми ($a+b$) у листках зростав відносно контролю в середньому за роки досліджень на 0,055–0,109; 0,036–0,057 і 0,091–0,161 мг/г сирової речовини відповідно.

При цьому, на відміну від вегетаційного дослідження, спостерігалась тенденція до збільшення вмісту хлорофілів зі збільшенням норми гербіциду, що може бути пов'язано з більш ефективним знищенням бур'янів за таких умов.

Обробка посівів баковими сумішами гербіциду Цитадель 25 OD та PPP Ендофіт L1 сприяла формуванню істотно вищого вмісту пігментів у листках сорго зернового ніж у варіантах самостійного застосування гербіциду. За таких умов у фазу кущення дані показники зростали у середньому за роки досліджень на 0,034–0,044 мг/г сирової речовини – хлорофіл a , 0,034–0,038 мг/г сирової речовини – хлорофіл b , та 0,068–0,079 мг/г сирової речовини – сума хлорофілів $a+b$.

Передпосівна обробка насіння біопрепаратом Біоарсенал також мала позитивний вплив на кількісні показники пігментів у листках: за внесення гербіциду на такому фоні вміст хлорофілу a у фазу кущення зростав відносно варіантів самостійного внесення гербіциду в середньому за роки досліджень на 0,042–0,048 мг/г сирової речовини, хлорофілу b – на 0,036–0,049 мг/г сирової речовини, а суми хлорофілів $a+b$ – на 0,078–0,097 мг/г сирової речовини.

Таблиця 3.8

Вміст пігментів у листках сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD, PPP Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал (фаза кущення, середнє за 2019–2021 рр., мг/г сирії речовини)

Варіант досліджу	Хлорофіл <i>a</i>	Хлорофіл <i>b</i>	Хлорофіл (<i>a+b</i>)	Сума кароти- ноїдів
Без застосування препаратів (контроль I)	1,062	0,303	1,365	0,208
Ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	1,280	0,457	1,737	0,298
Цитадель 0,6 л/га	1,117	0,339	1,456	0,233
Цитадель 0,8 л/га	1,152	0,360	1,512	0,245
Цитадель 1,0 л/га	1,171	0,355	1,526	0,255
Ендофіт L1 30 мл/га	1,101	0,324	1,425	0,220
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	1,161	0,374	1,535	0,258
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	1,194	0,398	1,592	0,265
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	1,205	0,389	1,594	0,274
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	1,107	0,325	1,432	0,221
Фон + ручні прополювання	1,363	0,487	1,849	0,317
Фон + Цитадель 0,6 л/га	1,165	0,388	1,553	0,259
Фон + Цитадель 0,8 л/га	1,198	0,399	1,597	0,266
Фон + Цитадель 1,0 л/га	1,213	0,391	1,604	0,270
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	1,127	0,341	1,468	0,230
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	1,205	0,416	1,621	0,274
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	1,239	0,427	1,667	0,282
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	1,255	0,418	1,674	0,285
<i>HIP</i> ₀₅	0,031- 0,041*	0,014- 0,024	0,052- 0,071	0,012- 0,016

Примітка: * – наведено мінімальні і максимальні значення за роки досліджень

Найвищий вміст фотосинтезуючих пігментів у фазу кущення було відмічено у варіантах досліджу, де гербіцид Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га вносили сумісно з PPP Ендофіт L1 на фоні передпосівної обробки насіння

біопрепаратом Біоарсенал. За такого поєднання препаратів вміст хлорофілу a , b та їх суми ($a+b$) у листках сорго зернового був в середньому за роки досліджень на 16,1; 38,7 і 21,2% вищим ніж у контролі I, що, відповідно, на 0,084–0,088; 0,063–0,077 і 0,148–0,165 мг/г сирової речовини більше ніж у варіантах, де гербіцид застосовувався без використання РРР і біопрепарату.

Аналогічні тенденції формування показників вмісту пігментів у листках сорго зернового було відмічено й у подальші фази розвитку культури (Додаток К, табл. К.4–К.9; табл 3.9; 3.10). Так, за обробки посівів гербіцидом Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га у фазу викидання волоті й молочно-воскової стиглості зерна вміст хлорофілу a зростав відносно контролю I в середньому за роки досліджень на 0,095–0,167 і 0,053–0,114 мг/г сирової речовини, вміст хлорофілу b при цьому зростав на 0,051–0,086 і 0,033–0,062 мг/г сирової речовини, а сума хлорофілів ($a+b$) – на 0,146–0,253 і 0,086–0,175 мг/г сирової речовини відповідно.

За внесення гербіциду сумісно з РРР Ендофіт L1 вміст пігментів у листках сорго зернового був вищим в середньому за роки досліджень порівняно з варіантами самостійного використання гербіциду. Кількість хлорофілу a при цьому зростала на 0,053–0,060 і 0,037–0,044 мг/г сирової речовини у фазі викидання волоті й молочно-воскової стиглості відповідно, вміст у листках хлорофілу b та суми хлорофілів ($a+b$) також зростали відносно варіантів досліді без застосування РРР у середньому на 0,046–0,048 і 0,101–0,106 мг/г сирової речовини – у фазу викидання волоті й на 0,034–0,036 і 0,073–0,078 мг/г сирової речовини – у фазу молочно-воскової стиглості зерна.

Зростання вмісту хлорофілів спостерігалось й за внесення гербіциду по фону передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал. У фазу викидання волоті й молочно-воскової стиглості цей показник для хлорофілу a і b перевищував показники аналогічних варіантів без застосування біопрепарату в середньому за роки досліджень на 0,067–0,072 і 0,039–0,050 та 0,052–0,065 і 0,036–0,051 мг/г сирової речовини відповідно. Сума хлорофілів ($a+b$) за таких умов

зростала на 0,120–0,137 мг/г сирії речовини – у фазу викидання волоті й на 0,076–0,098 мг/г сирії речовини – у фазу молочно-воскової стиглості зерна.

Таблиця 3.9

Вміст пігментів у листках сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD, PPP Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал (фаза викидання волоті, середнє за 2019–2021 рр., мг/г сирії речовини)

Варіант досліджу	Хлорофіл <i>a</i>	Хлорофіл <i>b</i>	Хлорофіл (<i>a+b</i>)	Сума кароти- ноїдів
Без застосування препаратів (контроль I)	1,273	0,364	1,637	0,250
Ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	1,570	0,561	2,130	0,365
Цитадель 0,6 л/га	1,368	0,415	1,783	0,285
Цитадель 0,8 л/га	1,416	0,442	1,858	0,301
Цитадель 1,0 л/га	1,440	0,450	1,890	0,313
Ендофіт L1 30 мл/га	1,318	0,388	1,705	0,264
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	1,428	0,461	1,889	0,317
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	1,473	0,491	1,964	0,327
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	1,493	0,498	1,991	0,339
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	1,333	0,392	1,725	0,267
Фон + ручні прополювання	1,649	0,589	2,237	0,383
Фон + Цитадель 0,6 л/га	1,440	0,480	1,920	0,320
Фон + Цитадель 0,8 л/га	1,483	0,511	1,994	0,330
Фон + Цитадель 1,0 л/га	1,507	0,502	2,010	0,335
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	1,353	0,410	1,763	0,276
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	1,492	0,514	2,006	0,339
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	1,533	0,529	2,061	0,348
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	1,551	0,517	2,067	0,352
<i>HIP</i> ₀₅	0,052- 0,061*	0,030- 0,052	0,084- 0,0113	0,018- 0,022

Примітка: * – наведено мінімальні і максимальні значення за роки досліджень

Найвищі показники вмісту хлорофілів, як і у фазу кущення, спостерігались у варіантах досліду, де гербіцид Цитадель 25 OD, у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га вносили сумісно з PPP Ендофіт L1 на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал. Вміст у листках сорго зернового хлорофілів a і b при цьому зростав відносно контролю I у середньому за роки досліджень на 19,8 і 42,9% – у фазу викидання волоті, й на 15,5 і 37,5% – у фазу молочно-воскової стиглості зерна, а суми хлорофілів ($a+b$) – на 24,9 і 20,4% відповідно. Порівняно з варіантами досліду, де застосовувався лише гербіцид, вміст хлорофілу a , за таких умов, був вищим на 0,111–0,124 мг/г сирової речовини – у фазу викидання волоті й на 0,056–0,079 мг/г сирової речовини – у фазу молочно-воскової стиглості зерна. Вміст хлорофілу b також зростав на 0,067–0,099 і 0,041–0,070 мг/г сирової речовини у відповідні фази розвитку культури. Приріст же суми хлорофілів ($a+b$) становив 0,177–0,223 мг/г сирової речовини – у фазу викидання волоті та 0,098–0,149 мг/г сирової речовини – у фазу молочно-воскової стиглості зерна.

Аналізуючи зміни вмісту в листках сорго зернового каротиноїдів (табл. 3.7–3.10), важливо зазначити, що даний показник залежав як від норм гербіциду, так і від його поєднання з PPP та біопрепаратом.

За обробки рослин гербіцидом Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га вміст каротиноїдів у листках зростав відносно контролю I в середньому за роки досліджень на 12,0; 17,8 і 22,6% – у фазу кущення, 14,0; 20,4 і 25,2% – у фазу викидання волоті й на 11,9; 18,6 і 23,7% – у фазу молочно-воскової стиглості.

Більш високий вміст каротиноїдів спостерігався за обробки посівів гербіцидом в сумішах з PPP Ендофіт L1: у фазу кущення, викидання волоті й молочно-воскової стиглості цей показник зростав відносно аналогічних варіантів без PPP в середньому за роки досліджень на 10,7; 8,2 і 7,5%, 11,2; 8,6 і 8,3% та 11,1; 8,3 і 7,9% відповідно. За внесення ж гербіциду на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал вміст каротиноїдів зростав відносно варіантів самостійного застосування гербіциду в середньому за роки досліджень

на 11,2; 8,6 і 5,9% – у фазу кущення, 12,3; 9,6 і 7,0% – у фазу викидання волоті та на 12,0; 8,7 і 5,8% – у фазу молочно-воскової стиглості.

Таблиця 3.10

Вміст пігментів у листках сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD, PPP Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал (фаза молочно-воскової стиглості, середнє за 2019–2021 рр., мг/г сирої речовини)

Варіант досліджу	Хлорофіл <i>a</i>	Хлорофіл <i>b</i>	Хлорофіл (<i>a+b</i>)	Сума кароти- ноїдів
Без застосування препаратів (контроль I)	0,989	0,283	1,272	0,194
Ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	1,175	0,420	1,595	0,273
Цитадель 0,6 л/га	1,042	0,316	1,358	0,217
Цитадель 0,8 л/га	1,079	0,337	1,416	0,230
Цитадель 1,0 л/га	1,103	0,345	1,447	0,240
Ендофіт L1 30 мл/га	1,024	0,301	1,325	0,205
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	1,086	0,350	1,436	0,241
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	1,120	0,373	1,493	0,249
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	1,140	0,380	1,520	0,259
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	1,028	0,302	1,330	0,206
Фон + ручні прополювання	1,206	0,431	1,636	0,280
Фон + Цитадель 0,6 л/га	1,092	0,364	1,456	0,243
Фон + Цитадель 0,8 л/га	1,124	0,388	1,512	0,250
Фон + Цитадель 1,0 л/га	1,142	0,381	1,523	0,254
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	1,051	0,319	1,370	0,215
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	1,121	0,386	1,507	0,255
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	1,146	0,395	1,542	0,261
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	1,159	0,386	1,545	0,263
<i>HIP</i> ₀₅	0,036- 0,041*	0,021- 0,031	0,059- 0,075	0,013- 0,019

Примітка: * – наведено мінімальні і максимальні значення за роки досліджень

Найвищі показники вмісту каротиноїдів у листках сорго зернового формувалися за комплексного використання досліджуваних препаратів. При цьому їх вміст зростав відносно контролю I в середньому за роки досліджень на 34,6; 38,4 і 34,0% відповідно у фазу кущення, викидання волоті й молочно-воскової стиглості насіння. Порівняно з варіантами, де застосовувався лише гербіцид даний показник виявляв зростання в середньому на 11,8–17,6% – у фазу кущення, 12,5–18,9% – у фазу викидання волоті і 9,6–17,5% – у фазу молочно-воскової стиглості.

Таким чином, вміст хлорофілів *a*, *b* і каротиноїдів у листках сорго зернового залежали від норм застосування гербіциду та від способів його комбінування з РРР і біопрепаратом. Хоча зростання норми гербіциду й призводило до зниження вмісту пігментів у вегетаційних умовах, проте, в польових умовах, позитивний вплив видалення сегетальної рослинності нівелював цей ефект, що проявлялося у підвищенні показників вмісту хлорофілів і каротиноїдів порівняно з контролем.

Поєднання гербіциду з РРР Ендофіт L1 і біопрепаратом Біоарсенал дозволило рослинам сформувати вищі показники вмісту пігментів порівняно з варіантами, де застосовувався лише гербіцид, що свідчить про високу активність обмінних процесів у рослинах за такої схеми використання даних препаратів і потенційно вищу продуктивність посівів.

Важливим показником, що характеризує ефективність агротехнічних заходів є фотосинтетична продуктивність посівів. Саме вона вказує на загальну інтенсивність процесів фотосинтезу, від яких найбільшою мірою залежить накопичення органічних сполук у тканинах рослин, а отже, і врожайність [263].

Окремі вегетаційні дослідження [264, 265] свідчать, що за дії гербіцидів на рослини зернових культур можливе пригнічення їх фотосинтетичної активності. Проте, в умовах агроценозу за впливу на рослини низки інших чинників (рівня інсоляції, зволоження, живлення, конкуренції з боку бур'янів тощо) дія гербіцидів може проявлятися по іншому, що підтверджується дослідженнями в польових умовах [266–268]. Так, наприклад, за обробки посівів

кукурудзи гербіцидом Стеллар [269] спостерігалось зростання чистої продуктивності фотосинтезу (ЧПФ) на 6–18% у фазу 8–10 листків культури і на 5–20% у фазу викидання волоті.

Дослідженнями на прикладі пшениці озимої [270] було доведено, що використання у посівах гербіцидів Гранстар Про (20 г/га), Логран (10 г/га), ПІК (20 г/га) і Хармоні (20 г/га) призводить до зростання показника ЧПФ у середньому на 8,7; 8,1; 6,7 і 8,4% відповідно.

Існують також дослідження, що доводять ефективність включення до систем вирощування зернових культур РРР та мікробних препаратів, які, в комплексі з гербіцидами, дозволяють досягнути істотно вищих показників ЧПФ. Зокрема, З. М. Грицаєнко та А. В. Заболотна [271], досліджуючи вплив гербіциду Лінтур (120–180 г/га) і РРР Емістим С (10 мл/га) на рослини пшениці ярої встановили, що за дії гербіциду ЧПФ рослин зростає відносно контролю в середньому на 26,5%. При цьому, завдяки застосуванню гербіциду Лінтур (120–180 г/га) сумісно з РРР Емістим С (10 мл/га) приріст даного показника відносно контролю становив у середньому 46,4%.

В. П. Карпенко та С. С. Шутко [272] встановили, що ЧПФ рослин соризу суттєво залежала від обробки посівів гербіцидом Пік 75 в. г. та від його поєднання з РРР Регоплант. Найвищі показники ЧПФ було відмічено у варіантах досліду, де гербіцид вносили у нормах 15–20 г/га сумісно з РРР (50 мл/га) на фоні передпосівної обробки насіння цим же РРР (250 мл/т): приріст відносно контролю становив у середньому 0,66 г/м² за добу і залежав від норми гербіциду.

Отже, показник ЧПФ культурних рослин залежить від низки чинників, серед яких погодні умови, забезпеченість поживними речовинами, вид і сорт рослини, наявність конкуренції з боку бур'янів, вплив гербіцидів, РРР, біопрепаратів тощо. Літературні дані стосовно ЧПФ зернових культур також свідчать, що поєднання гербіциду із застосуванням РРР та біопрепаратів може мати позитивний вплив на цей показник, але серед наявних досліджень практично відсутня інформація щодо вивчення динаміки ЧПФ рослин сорго

зернового за таких умов, що й актуалізувало наші дослідження в даному напрямку.

Провівши відповідні спостереження у 2019–2021 роках (Додаток Л, табл. К.1) нами було встановлено, що ЧПФ рослин сорго зернового істотно змінювалась залежно від норми гербіциду, його поєднання з РРР і біопрепаратом, а також від погодних умов, що формувалися впродовж вегетації культури. Так, у 2019 році, обробка рослин гербіцидом Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га призводила до зростання показника ЧПФ відносно контролю І на 0,20; 0,32 і 0,37 г/м² за добу за НІР₀₅ – 0,18. У 2020 і 2021 роках даний показник був дещо нижчим порівняно з 2019 роком, що, імовірно, пов'язано з менш сприятливими погодними умовами в ці роки. За використання гербіциду в посівах сорго зернового у 2020 році ЧПФ перевищувала контроль на 0,12; 0,20 і 0,23 г/м² за добу, а у 2021 році – на 0,12; 0,23 і 0,26 г/м² за добу при НІР₀₅ – 0,11 і 0,12 відповідно. Причиною такого зростання даного показника можна вважати зниження конкуренції з боку сегетальної рослинності за використання гербіциду, що підтверджується дослідженнями інших вчених [273].

За обробки посівів сумішами гербіциду й РРР Ендофіт L1 спостерігалось зростання ЧПФ відносно варіантів самостійного внесення гербіциду. У 2019 році цей приріст становив 0,19; 0,23 і 0,28 г/м² за добу, у 2020 і 2021 році – 0,15; 0,17 і 0,21 та 0,13; 0,18 і 0,23 г/м² за добу відповідно. Очевидно, що додавання РРР до бакових сумішей з гербіцидом мало стимулювальний вплив на рослини сорго зернового, що в сумі з позитивним впливом від видалення бур'янів викликало подібний ефект [274].

До подібного результату призводило й внесення гербіциду на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал. За таких умов показник ЧПФ у 2019 році зростав відносно варіантів самостійного застосування гербіциду на 0,27; 0,30 і 0,32 г/м² за добу. Приріст у 2020 і 2021 роках при цьому становив 0,16; 0,19 і 0,24 та 0,22; 0,22 і 0,24 г/м² за добу відповідно.

Найвищі ж показники ЧПФ у всі роки досліджень було виявлено у варіантах досліду, де гербіцид Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га вносили

сумісно з РРР Ендофіт L1 на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал. За такого поєднання препаратів ЧПФ рослин сорго зернового зростала у 2019 році на 0,46; 0,54 і 0,59 г/м² за добу порівняно з аналогічними варіантами дослідження, де РРР і біопрепарат не застосовувались. У наступні роки спостерігалась подібна тенденція динаміки даного показника: у 2020 році ЧПФ зростала на 0,33; 0,39 і 0,44 г/м² за добу, а в 2021 – на 0,35; 0,40 і 0,45 г/м² за добу.

Аналізуючи середні показники ЧПФ за три роки досліджень (рис. 3.6) можна констатувати, що за використання у посівах гербіциду Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га цей показник зростав відносно контролю на 3,5; 5,9 і 6,9%. Водночас, за внесення гербіциду сумісно з РРР Ендофіт L1 ЧПФ істотно перевищувала показники аналогічних варіантів без застосування РРР у середньому на 3,4–5,3%. За внесення ж гербіциду на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал перевищення варіантів самостійного застосування гербіциду склало 4,8–5,8%.

Найвищі показники ЧПФ у середньому за роки досліджень були виявлені у варіантах, де гербіцид Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га вносили сумісно з РРР Ендофіт L1 на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал. Показники ЧПФ сорго зернового, встановлені за використання таких композицій досліджуваних препаратів, перевищували показники тотожних варіантів без застосування РРР і біопрепарату на 8,7; 9,8 і 10,8%.

Відомо, що ЧПФ тісно пов'язана з іншими показниками рослин. Так, кореляційний аналіз виявив тісний прямий взаємозв'язок між середнім показником ЧПФ та сумою хлорофілів ($a+b$) у листках сорго зернового у фазу викидання волоті: $r = 0,98$.

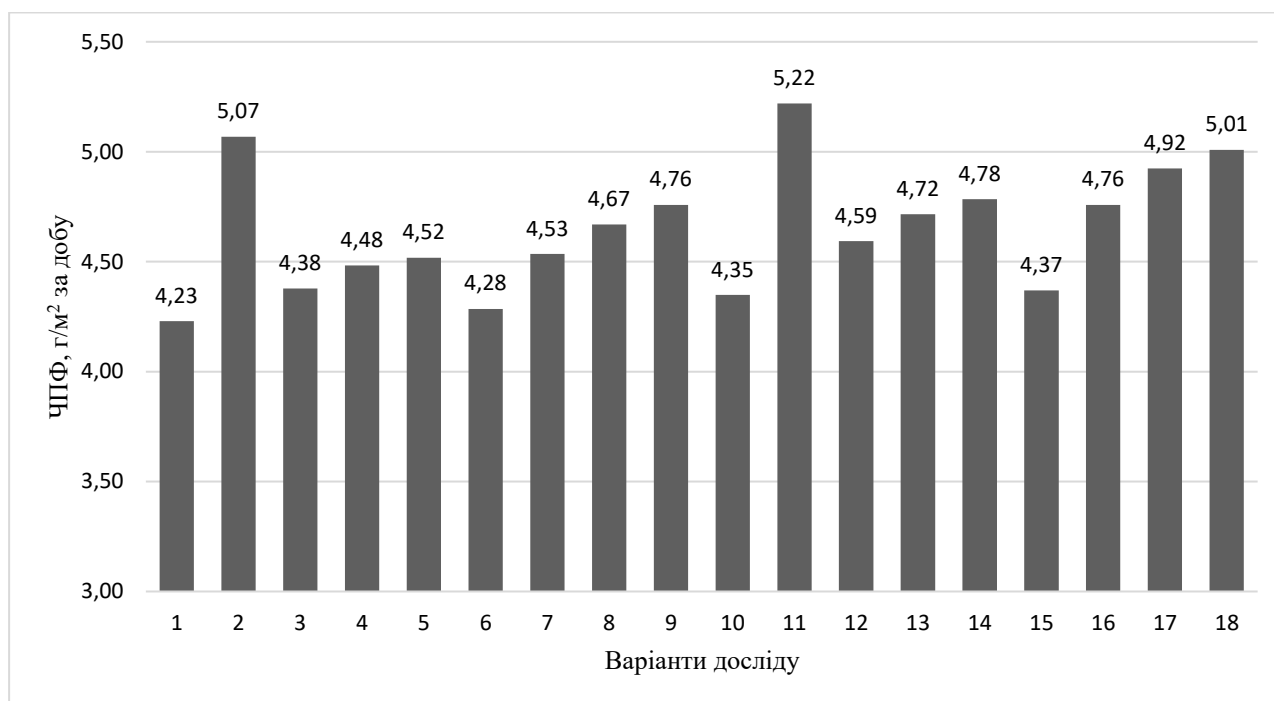


Рис. 3.6. Чиста продуктивність фотосинтезу рослин сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD, PPP Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал, г/м² за добу (фаза кущення – викидання волоті, середнє за 2019–2021 рр. НІР₀₅ 0,11–0,18)

1 – Без використання препаратів (контроль I); 2 – без використання препаратів + ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II); 3, 4, 5 – Цитадель 0,6; 0,8 і 1,0 л/га; 6 – Ендофіт L1 30 мл/га; 7, 8, 9 – Цитадель 0,6; 0,8 і 1,0 л/га + Ендофіт L1 30 мл/га; 10 – Біоарсенал (фон) 8,7 кг/т; 11 – фон + ручні прополювання; 12, 13, 14 – фон + Цитадель 0,6; 0,8 і 1,0 л/га; 15 – фон + Ендофіт L1 30 мл/га; 16, 17, 18 – фон + Цитадель 0,6; 0,8 і 1,0 л/га + Ендофіт L1 30 мл/га

Таким чином, результати проведених досліджень свідчать про те, що на показник ЧПФ сорго зернового мали суттєвий вплив як погодні умови, так і характер використання досліджуваних препаратів. Застосування у посівах гербіциду Цитадель 25 OD дозволило значно підвищити ЧПФ, яка, у свою чергу залежала й від норми даного препарату. Поєднання гербіцидної обробки посівів із використанням PPP Ендофіт L1 та передпосівною обробкою насіння

біопрепаратом Біоарсенал забезпечувало найвищі показники ЧПФ, що перевищували контроль І у середньому за роки досліджень на 15,8%.

Вочевидь, такий результат обумовлений інтенсифікацією фізіолого-біохімічних процесів у рослинах сорго зернового та оптимізацією його анатомо-морфологічної структури внаслідок зниження рівня конкуренції з боку сегетальної рослинності, стимуляції ростових процесів завдяки РРР і покращенню режиму живлення завдяки біопрепарату.

Матеріали розділу 3 опубліковано та апробовано в працях [345–349].

1. Карпенко В. П., Красноштан В. І. Вміст пігментів у листках сорго зернового у листках сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD, регулятора росту рослин Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2020. № 2, С. 14–18. DOI: 10.31395/2310-0478-2020-2-14-18

2. Карпенко В. П., Красноштан В. І., Притуляк Р. М., Мостов'як І. І., Гнатюк М. Г. Активність антиоксидантних ферментів у рослинах сорго зернового за дії гербіциду, регулятора росту рослин і біопрепарату. *Збалансоване природокористування*. 2020. № 4. С. 178–185. DOI: 10.33730/2310-4678.4.2020.226655

3. Krasnoshtan V., Karpenko V., Prytuliak R., Leontiuk I., Datsenko I. Lipoperoxidation in grain sorghum under the influence of herbicides, phytohormones, and biopreparation. *Scientific Horizons*. 2021. Vol. 24, № 9. P. 36–43. DOI: 10.48077/scihor.24(9).2021.36-43

4. Красноштан В., Карпенко В. Активність ферментів класу оксидоредуктаз у проростаючому насінні сорго зернового за використання регулятора росту рослин. *Молодь і поступ біології : XV Міжнародна наукова конференція студентів і аспірантів, присвячена 135 річниці від дня народження Я. Парнаса (м. Львів, 9–11 квітня 2019 р.)*. Львів, 2019. С. 178–179.

5. Красноштан В. І. Анатомо-морфологічні зміни листків сорго зернового за дії гербіциду, регулятора росту рослин і біопрепарату. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. 2022. № 101. С. 155–163. DOI: 10.32782/2415-8240-2022-101-1-155-163.

РОЗДІЛ 4. МІКРОБІОЦЕНОТИЧНІ ЗМІНИ РИЗОСФЕРИ СОРГО ЗЕРНОВОГО

Застосування гербіцидів та інших фізіологічно активних речовин у посівах зернових культур є неодмінною складовою інтенсивних технологій їх вирощування. Загальновідомо, що такі препарати, впливаючи на рослини в межах агроценозів, здійснюють прямий та опосередкований вплив на мікробіоту ґрунту [275–279]. Ризосферні мікроорганізми в значній мірі реагують на внесення у посівах таких препаратів, оскільки знаходяться у залежності не лише від умов ґрунту, а й від біологічної активності самих рослин [280, 281]. Будь-які зміни у складі та кількості кореневих ексудатів, інтенсивності дихання, чи зміни кількості змертвілих рослинних решток у прикореневому шарі ґрунту, неодмінно відображаються на розвитку популяцій еколого-трофічних груп ризосферних мікроорганізмів. Таким чином, ризосферна мікробіота може виступати своєрідним біоіндикатором стану рослин в агроценозі, що відображає їх фізіологічний стан та може використовуватись для оцінки впливу на рослини агротехнічних заходів.

Одним із показників, що дозволяє дати узагальнену оцінку стану ризосферної мікробіоти, є загальна чисельність мікроорганізмів. У результаті проведених досліджень було встановлено, що цей показник у посівах сорго зернового залежав від низки чинників, зокрема, від норми гербіциду, використання РРР та біопрепарату, а також від погодних умов, що формувалися у роки досліджень. Так, найвищі показники загальної чисельності ризосферних мікроорганізмів відмічалися у 2019 році, в той час як у 2020 році цей показник був найменшим. Такий результат пов'язаний із рівнем вологозабезпечення в ключові фази розвитку культури та відносно низькими температурами на початку вегетації сорго зернового у 2020 році.

У 2019 році (рис. 4.1) застосування гербіциду Цитадель 25 ОД у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га призводило до збільшення чисельності ризосферної мікробіоти порівняно з контролем І на 18,7; 13,4 і 5,9%. У 2020 і 2021 роках приріст у таких варіантах складав 5,5–17,8 і 5,8–15,8% відповідно.

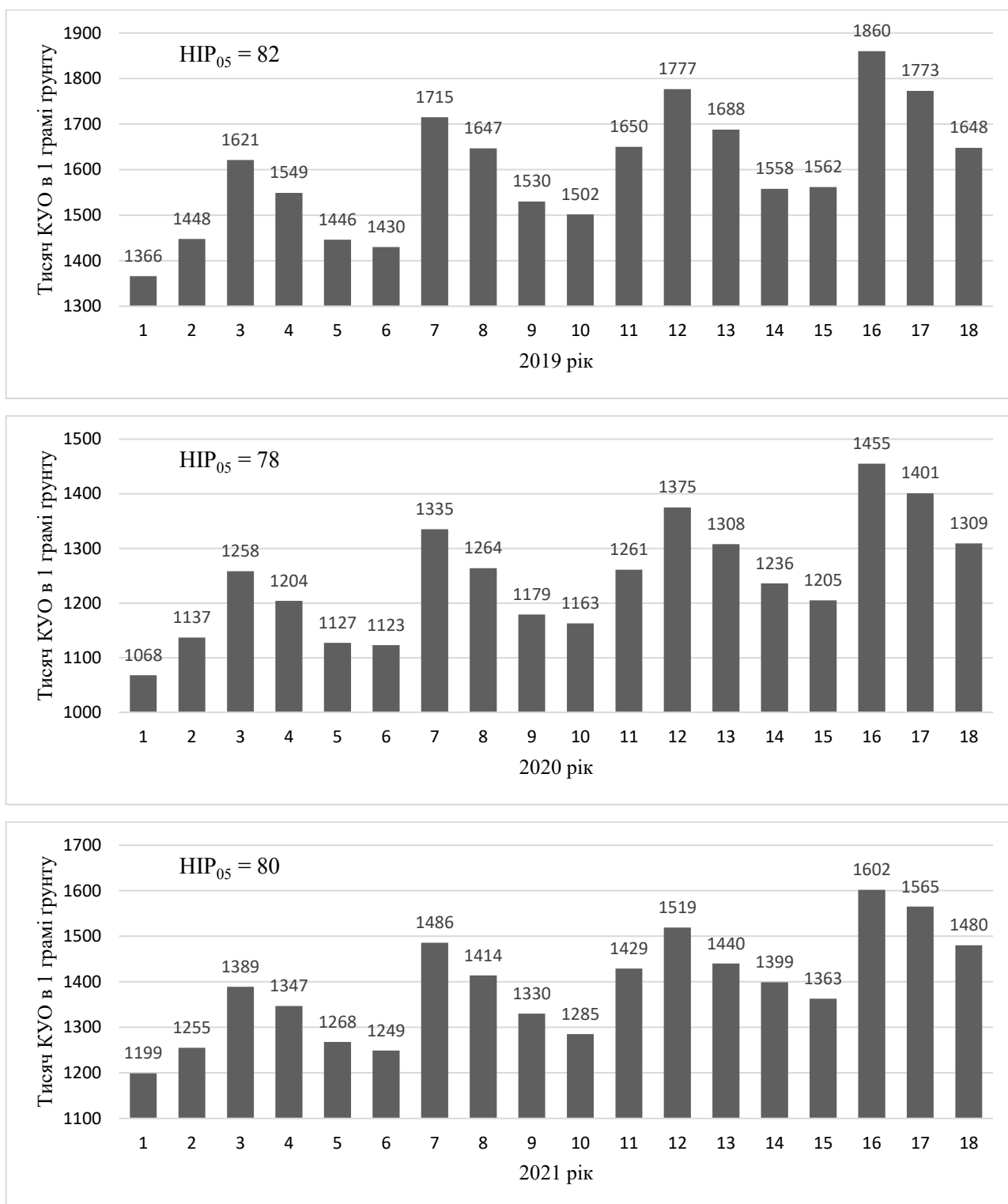


Рис. 4.1. Загальна чисельність мікроорганізмів у ризосфері сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD, PPP Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал (фаза цвітіння)

1 – Без використання препаратів (контроль I); 2 – Без використання препаратів + ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II); 3, 4, 5 – Цитадель 0,6; 0,8 і 1,0 л/га; 6 – Ендофіт L1 30 мл/га; 7, 8, 9 – Цитадель 0,6; 0,8 і 1,0 л/га + Ендофіт

L1 30 мл/га; 10 – Біоарсенал (фон) 8,7 кг/т; 11 – фон + ручні прополювання; 12, 13, 14 – фон + Цитадель 0,6; 0,8 і 1,0 л/га; 15 – фон + Ендофіт L1 30 мл/га; 16, 17, 18 – фон + Цитадель 0,6; 0,8 і 1,0 л/га + Ендофіт L1 30 мл/га

Використання у посівах гербіциду Цитадель 25 OD в сумішах із PPP Ендофіт L1 забезпечувало зростання загальної чисельності мікроорганізмів у ризосфері сорго зернового відносно контролю I на 12,0–25,5% – у 2019 році, на 10,4–25,0% – у 2020 році та на 10,9–23,9% – у 2021 році.

Подібний результат спостерігався й за внесення гербіциду на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал: досліджуваний показник перевищував контроль I у середньому на 14,1–30,1; 15,7–28,7 і 16,7–26,7% відповідно у 2019, 2020 і 2021 році.

Найбільшу загальну чисельність мікроорганізмів у ризосфері сорго зернового було виявлено у варіантах, де гербіцид Цитадель 25 OD вносили в сумішах із PPP Ендофіт L1 на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал. За таких умов у 2019 році даний показник перевищував контроль I на 20,6–36,2%, у 2020 і 2021 роках – на 22,6–36,2 і 23,4–33,6% відповідно.

Аналізуючи отримані дані у середньому за три роки (рис. 4.2), варто зазначити, що гербіцид Цитадель 25 OD дозволяв сформувати істотно вищі показники загальної чисельності ризосферної мікробіоти порівняно з контрольним варіантом, де не використовувались жодні препарати. Проте, даний показник виявляв тенденцію до зниження зі збільшенням норми гербіциду, що може бути свідченням його прямої чи опосередкованої негативної дії на мікроорганізми у ризосфері сорго зернового. Так, за норм гербіциду Цитадель 25 OD 0,6; 0,8 і 1,0 л/га загальна чисельність ризосферної мікробіоти перевищувала показник у контролі I на 17,5; 12,9 і 5,7%. Такий результат узгоджується і з дослідженнями інших вчених, що також займалися вивченням даного питання [282, 283].

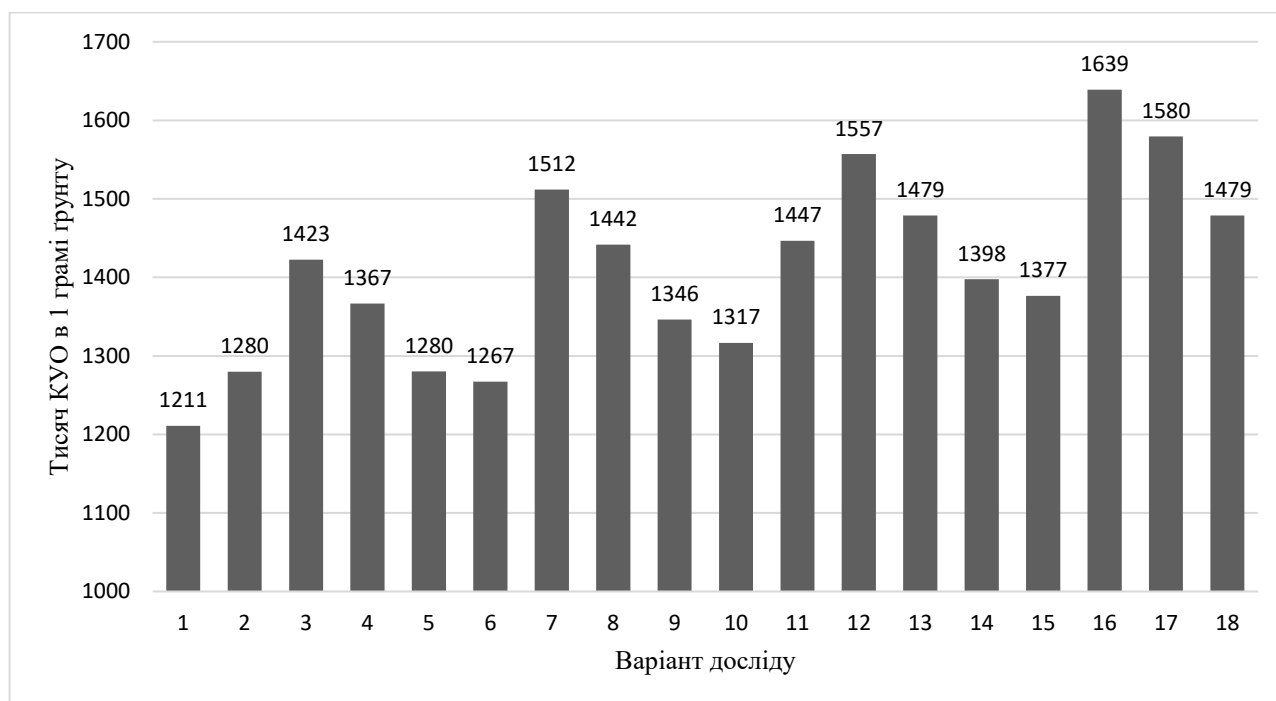


Рис. 4.2. Загальна чисельність мікроорганізмів у ризосфері сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD, РРР Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал (фаза цвітіння, середнє за роки досліджень)

1 – Без використання препаратів (контроль I); 2 – без використання препаратів + ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II); 3, 4, 5 – Цитадель 0,6; 0,8 і 1,0 л/га; 6 – Ендофіт L1 30 мл/га; 7, 8, 9 – Цитадель 0,6; 0,8 і 1,0 л/га + Ендофіт L1 30 мл/га; 10 – Біоарсенал (фон) 8,7 кг/т; 11 – фон + ручні прополювання; 12, 13, 14 – фон + Цитадель 0,6; 0,8 і 1,0 л/га; 15 – фон + Ендофіт L1 30 мл/га; 16, 17, 18 – фон + Цитадель 0,6; 0,8 і 1,0 л/га + Ендофіт L1 30 мл/га

Застосування гербіциду в сумішах з РРР Ендофіт L1 призводило до зростання чисельності ризосферної мікробіоти на 24,9; 19,1 і 11,1% відносно контролю, що в середньому на 5,6% більше, ніж у варіантах, де гербіцид було внесено без РРР. Очевидно, що такий результат пов'язаний із підвищенням фотосинтетичної активності посівів за впливу РРР. Це зумовлює посилення циркуляції продуктів фотосинтезу судинною системою рослин, в тому числі й до коренів, що призводить до збільшення кількості продукованих ексудатів, а також

до інтенсифікації ростових процесів кореневої системи? від площі якої залежить і чисельність ризосферної мікробіоти [284].

За внесення гербіциду на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал відмічався подібний ефект: зростання загальної чисельності мікроорганізмів у ризосфері сорго зернового відносно контролю I становило 28,6; 22,1 і 15,4%, що перевищувало тотожні варіанти, де біопрепарат Біоарсенал не застосовувався у середньому на 8,9%. Подібний результат застосування у посівах мікробних препаратів описано й у працях інших вчених [285, 286], які пов'язують зростання загальної чисельності ризосферних мікроорганізмів із покращенням забезпечення рослин поживними речовинами внаслідок життєдіяльності інокуляційних мікроорганізмів. В результаті цього зростає інтенсивність ростових процесів, зокрема і кореневої системи, що забезпечує додаткову площу існування ризобіоти.

Найвищі показники чисельності ризосферної мікробіоти було виявлено у варіантах із комплексним застосуванням препаратів, де гербіцид Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га було внесено сумісно з PPP Ендофіт L1 на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал. За таких умов цей показник перевищував контроль на 35,3; 30,5 і 22,1%, що в середньому на 15,4% більше ніж в аналогічних варіантах без застосування PPP і біопрепарату. Відповідні результати сумісної дії гербіцидів, PPP та біопрепаратів на загальну чисельність ризосферної мікробіоти спостерігали й на інших культурах [287, 288], що свідчить про формування максимально сприятливих умов для життя і розвитку рослин і ризосферних мікроорганізмів за такого поєднання препаратів.

Не зважаючи на те, що загальна чисельність мікроорганізмів у ризосфері є доволі ілюстративним показником, що демонструє характер впливу на неї тих чи інших чинників, вона дозволяє зробити лиш узагальнену оцінку стану ризобіоти, не розкриваючи при цьому суті її структурних змін. У зв'язку з цим, окрім загальної чисельності мікроорганізмів, доцільним було вивчення й чисельності окремих еколого-трофічних груп, серед яких ключовими є

мікроміцети, целюлозолітичні, нітрифікувальні бактерії, а також бактерії роду *Azotobacter*.

Мікроміцети – це парафілетична група ґрунтових грибів [289, 290], що є менш вивченою порівняно з бактеріями, проте існує очевидний паралелізм у рістстимулювальних властивостях і тих і інших. Зокрема, мікроміцети здатні підвищувати біодоступність окремих мінералів для рослин і відіграють важливе значення в біологічному контролі [291-293].

В ході проведених досліджень (Додаток М, табл. М.1) було встановлено, що чисельність мікроміцетів у ризосфері сорго зернового істотно змінювалась упродовж років спостережень та залежала від норм застосування гербіциду, біологічних препаратів та від погодних умов.

Відповідно до результатів досліджень (рис. 4.3), застосування гербіциду Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га призводило до зростання чисельності мікроміцетів у ризосфері сорго зернового відносно контролю І на 34, 57 і 49 тис. КУО в 1 г ґрунту відповідно.

Водночас, за внесення тих же норм гербіциду в сумішах із РРР Ендофіт L1 приріст відносно контролю І становив 55, 76 і 64 тис. КУО в 1 г ґрунту, що на 7,3; 6,1 і 5,0% більше ніж у варіантах, де РРР не застосовувався.

Дещо більш вираженим приріст загальної чисельності мікроміцетів був у варіантах, де обробку гербіцидом здійснювали на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал. За таких умов даний показник зростав відносно контролю І на 63, 87 і 77 тис. КУО в 1 г ґрунту та на 10,1; 9,6 і 9,2% відносно варіантів, де гербіцид вносився самостійно.

Найвища чисельність мікроміцетів у всі роки досліджень була виявлена у варіантах із сумісним застосуванням гербіциду Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га та РРР Ендофіт L1 на фоні передпосівної обробки насіння Біоарсеналом. Даний показник у таких варіантах перевищував контроль І на 98, 122 і 109 тис. КУО в 1 г ґрунту, що на 22,2; 20,9 і 19,8% більше, ніж у тотожних варіантах без застосування РРР і біопрепарату.

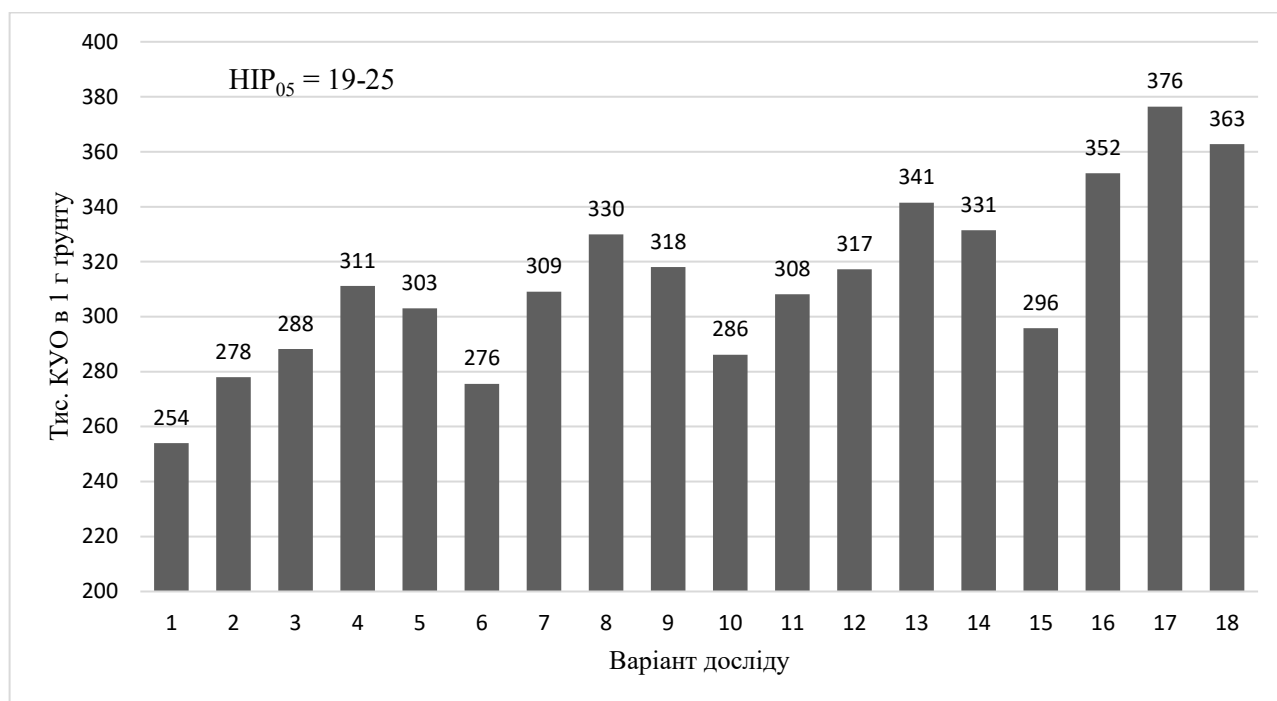


Рис. 4.3. Загальна чисельність мікроміцетів у ризосфері сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD, PPP Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал (фаза цвітіння, середнє за роки досліджень)

1 – Без використання препаратів (контроль I); 2 – без використання препаратів + ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II); 3, 4, 5 – Цитадель 0,6; 0,8 і 1,0 л/га; 6 – Ендофіт L1 30 мл/га; 7, 8, 9 – Цитадель 0,6; 0,8 і 1,0 л/га + Ендофіт L1 30 мл/га; 10 – Біоарсенал (фон) 8,7 кг/т; 11 – фон + ручні прополювання; 12, 13, 14 – фон + Цитадель 0,6; 0,8 і 1,0 л/га; 15 – фон + Ендофіт L1 30 мл/га; 16, 17, 18 – фон + Цитадель 0,6; 0,8 і 1,0 л/га + Ендофіт L1 30 мл/га

Не менш важливим при встановленні впливу різних препаратів на ризосферну мікробіоту культурних рослин є визначення чисельності окремих еколого-трофічних груп мікроорганізмів. Однією із таких груп є целюлозолітичні бактерії [294]. Існують свідчення про неоднакову реакцію таких бактерій на внесення різних гербіцидів, яка залежить від норм препаратів та від природи діючих речовин у їх складі [295]. Як демонструють результати наших досліджень (Додаток М, табл. М.2; рис. 4.4), дана група мікроорганізмів у

ризосфері сорго зернового зазнавала істотних змін за різних варіантів застосування гербіциду й біологічних препаратів.

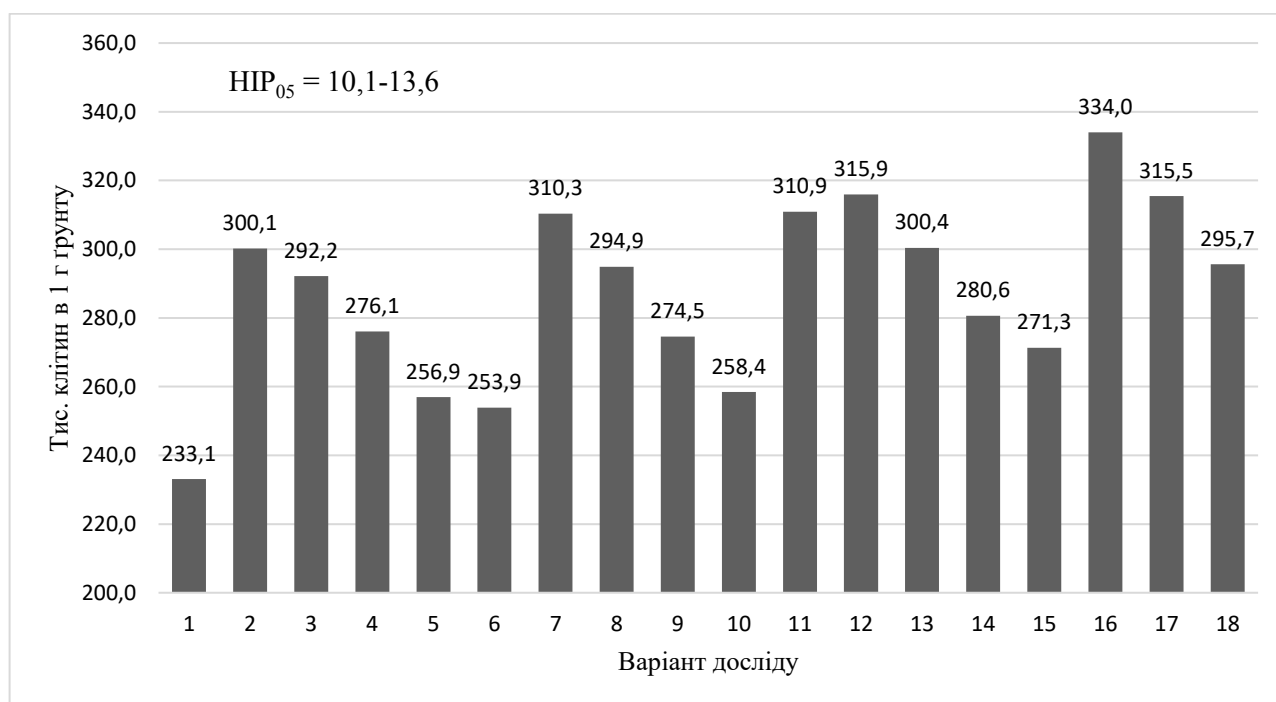


Рис. 4.4. Чисельність целюлозолітичних бактерій у ризосфері сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD, РРР Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал (фаза цвітіння, середнє за роки досліджень)

1 – Без використання препаратів (контроль I); 2 – без використання препаратів + ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II); 3, 4, 5 – Цитадель 0,6; 0,8 і 1,0 л/га; 6 – Ендофіт L1 30 мл/га; 7, 8, 9 – Цитадель 0,6; 0,8 і 1,0 л/га + Ендофіт L1 30 мл/га; 10 – Біоарсенал (фон) 8,7 кг/т; 11 – фон + ручні прополювання; 12, 13, 14 – фон + Цитадель 0,6; 0,8 і 1,0 л/га; 15 – фон + Ендофіт L1 30 мл/га; 16, 17, 18 – фон + Цитадель 0,6; 0,8 і 1,0 л/га + Ендофіт L1 30 мл/га

Так, у разі внесення гербіциду Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га чисельність целюлозолітичних бактерій зростала відносно контролю I на 59,1; 43,0 і 23,8 тис. клітин в 1 г ґрунту. Проте, важливо зазначити, що хоча кількість даних бактерій і перевищувала контроль в усіх варіантах застосування гербіциду, спостерігалась тенденція до зниження цього показника із

наростанням норми препарату. Зокрема, чисельність целюлозолітичних бактерій у ризосфері за норми гербіциду 1,0 л/га була на 12,1% нижчою порівняно з варіантом, де використовувалась норма 0,6 л/га.

За внесення гербіциду в сумішах з PPP Ендофіт L1 цей показник зростав більш істотно – на 77,2; 61,8 і 41,4 тис. клітин в 1 г ґрунту, що в середньому на 6,6% перевищувало показники у варіантах, де гербіцид вносився без PPP. Подібний ефект спостерігався й за обробки посівів гербіцидом Цитадель 25 OD на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал – чисельність целюлозолітичних бактерій зростала відносно контролю I на 82,8; 67,3 в 47,5 тис. клітин в 1 г ґрунту, що перевищувало варіанти де застосовувався лише гербіцид у середньому на 8,7%. При цьому, хоча PPP і біопрепарат мали стимулювальну дію на целюлозолітичні мікроорганізми, як і раніше спостерігалась тенденція до зниження їх чисельності за підвищення норми гербіциду.

Найвищі показники чисельності целюлозолітичних бактерій у ризосфері сорго зернового було виявлено за сумісного застосування гербіциду Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га з PPP Ендофіт L1 на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал. За такого поєднання препаратів даний показник перевищував контроль I на 100,9; 82,4 і 62,6 тис. клітин в 1 г ґрунту, та в середньому був на 14,5% вищим порівняно з аналогічними варіантами без застосування PPP і біопрепарату.

Важливою складовою мікробіоти ґрунту, зокрема й ризосфери рослин, є бактерії, здатні до фіксації атмосферного азоту та метаболізму його сполук. До найбільш поширених та вивчених мікроорганізмів, що беруть участь у кругообігу азоту в ґрунті відносять бактерії роду *Azotobacter* та нітрифікувальні бактерії. Представники роду *Azotobacter* відомі своєю здатністю фіксувати атмосферний азот, перетворюючи його на аміак з допомогою специфічного нітрогеназного комплексу [296]. Солі аміаку в подальшому трансформуються в солі нітратів у процесі діяльності нітрифікувальних бактерій [297]. Зафіксований таким чином азот асимілюється рослинами, частково чи повністю, задовольняючи їхні потреби в цьому елементі живлення [298].

Окрім здатності фіксувати атмосферний азот бактерії роду *Azotobacter* стимулюють ростові процеси у рослинах, покращують розвиток кореневої системи та відігравають роль антагоністів у відношенні до патогенних бактерій. *Azotobacter* синтезує та виділяє значні кількості біологічно активних речовин, наприклад: вітаміни групи Б, нікотинову та пантотенову кислоти, біотин, гетероксини та гібереліни, які посилюють ростові процеси коренів [299, 300]. Водночас, окремі вчені також виділяють здатність представників роду *Azotobacter* розчиняти органічний і неорганічний фосфор у ґрунті, що полегшує його засвоєння рослинами [301, 302].

Як показали наші дослідження (Додаток М, табл. М.3–М.4), чисельність азотобактеру і нітрифікувальних бактерій у ризосфері сорго зернового варіювала за роками досліджень, що може бути пов'язано із відмінностями погодних умов. Найвищу чисельність вказаних груп мікроорганізмів було відмічено у 2019 році, а найнижчу у 2020. За умов 2021 року чисельність азотобактеру й нітрифікаторів перевищувала показники попереднього року, проте залишалась нижчою порівняно з 2019 роком.

Суттєвого впливу чисельність вказаних ризосферних мікроорганізмів зазнавала з боку досліджуваних препаратів (рис. 4.5). Так, за використання у посівах гербіциду Цитадель 25 ОД у нормі 0,6 л/га кількість оброслих азотобактером грудочок ґрунту в середньому за роки досліджень перевищувала показник контролю І на 1 шт. За подальшого зростання норми гербіциду відбувалося зменшення чисельності даної групи мікроорганізмів: за норм 0,8 і 1,0 л/га кількість оброслих грудочок була на 2 і 5 шт. меншою порівняно з контролем І. Такий результат може свідчити про інгібуючу дію гербіцидів на представників роду *Azotobacter*, на що вказують і інші вчені [303, 304]. Чисельність нітрифікувальних бактерій за аналогічних умов перевищувала контроль І на 8,1; 5,1 і 3,3 тис. клітин в 1 г ґрунту, проте, як і у випадку азотобактера, з наростанням норми гербіциду відбувалося пригнічення розвитку даних мікроорганізмів.

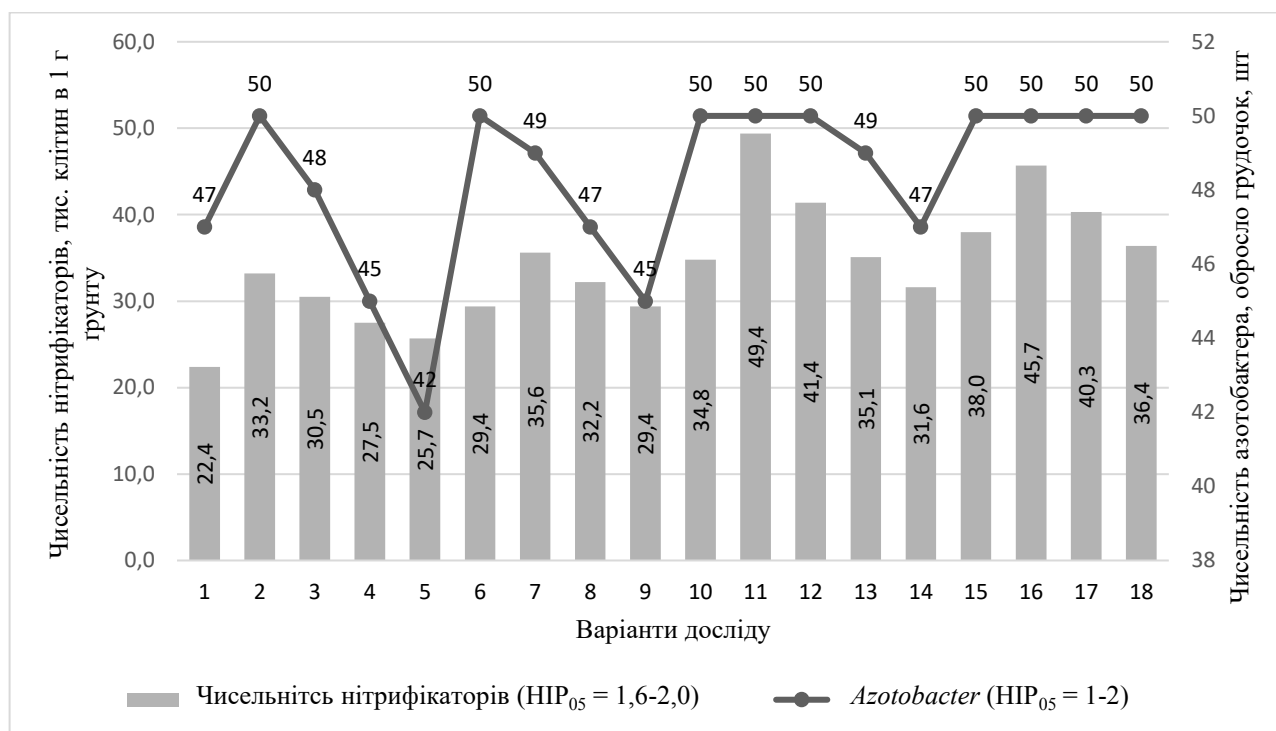


Рис. 4.5. Чисельність нітрифікувальних бактерій та представників роду *Azotobacter* у ризосфері сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD, РРР Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал (фаза цвітіння, середнє за роки досліджень)

1 – Без використання препаратів (контроль I); 2 – без використання препаратів + ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II); 3, 4, 5 – Цитадель 0,6; 0,8 і 1,0 л/га; 6 – Ендофіт L1 30 мл/га; 7, 8, 9 – Цитадель 0,6; 0,8 і 1,0 л/га + Ендофіт L1 30 мл/га; 10 – Біоарсенал (фон) 8,7 кг/т; 11 – фон + ручні прополювання; 12, 13, 14 – фон + Цитадель 0,6; 0,8 і 1,0 л/га; 15 – фон + Ендофіт L1 30 мл/га; 16, 17, 18 – фон + Цитадель 0,6; 0,8 і 1,0 л/га + Ендофіт L1 30 мл/га

Застосування у посівах гербіциду сумісно з РРР Ендофіт L1 позитивно впливало на розвиток досліджуваних груп ризосферних мікроорганізмів. Зокрема, за норми гербіциду 0,6 л/га кількість оброслих азотобактером грудочок ґрунту була на 2 шт. більшою, ніж у контролі I й на 1 шт. порівняно з аналогічним варіантом без застосування РРР. За норми 0,8 л/га цей показник не мав істотної різниці з контролем I, хоча й перевищував відповідний варіант досліду без РРР на дві оброслих грудочки ґрунту. Внесення ж гербіциду у нормі 1,0 л/га сумісно

з РРР призводило до формування показника чисельності азотобактера нижче від контролю I на дві оброслих грудочки ґрунту. Чисельність нітрифікувальних бактерій у вказаних умовах змінювалась за аналогічною тенденцією – за норм гербіциду 0,6; 0,8 і 1,0 л/га цей показник перевищував контроль I на 13,2; 9,8 і 7,0 тис. клітин в 1 г ґрунту, що в середньому на 16,1% більше, ніж у варіантах самостійного застосування гербіциду.

Дещо більш істотний приріст чисельності азотобактера й нітрифікувальних бактерій спостерігався за внесення гербіциду Цитадель 25 OD на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал. Так, за норм гербіциду 0,6 і 0,8 л/га чисельність представників роду *Azotobacter* у ризосфері перевищувала контроль I на 3 і 2 шт. оброслих грудочок ґрунту відповідно, що на 2 й 4 шт. оброслих грудочок ґрунту більше, ніж у тотожних варіантах без передпосівної обробки насіння. За максимальної норми гербіциду 1,0 л/га чисельність азотобактера знаходилась на рівні контролю I, проте, порівняно з варіантом, де Біоарсенал не застосовувався, цей показник зростав на 5 шт. оброслих грудочок ґрунту. Чисельність нітрифікувальних бактерій при цьому також істотно збільшувалась – на 19,0; 12,7 і 9,2 тис. клітин в 1 г ґрунту відносно контролю I, що в середньому на 29,0% перевищувало показники варіантів без застосування Біоарсеналу. Такий результат, вірогідно, пояснюється наявністю серед компонентів Біоарсеналу різних штамів *Azotobacter* та *Azospirillum*, що з ранніх етапів розвитку рослин інокують ризосферу. Окрім того, покращення умов живлення рослин призводить до загальної інтенсифікації їх внутрішніх фізіолого-біохімічних процесів, унаслідок чого відбувається посилення секреції корневих ексудатів та покращення умов існування у ризосфері [305].

Найвищу чисельність вказаних груп мікроорганізмів було виявлено за сумісного застосування гербіциду Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га та РРР Ендофіт L1 на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал. Кількісний показник азотобактеру при цьому був максимальним і перевищував контроль I на 3 шт. оброслих грудочок ґрунту, що на 2, 5 і 8 шт. оброслих грудочок ґрунту більше, ніж в аналогічних варіантах дослідів без

застосування РРР і біопрепарату. Чисельність нітрифікувальних бактерій при цьому перевищувала показник контрольного варіанту на 23,3; 17,9 і 14,0 тис. клітин в 1 г ґрунту, що в середньому на 46,2% перевищувало показники варіантів, де застосовувався лише гербіцид.

Таким чином, загальна чисельність мікроорганізмів у ризосфері сорго зернового залежить від низки чинників, серед яких погодні умови, що варіювалися за роками досліджень, норма гербіциду, а також використання РРР і біопрепарату.

Обробка посівів гербіцидом Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га здебільшого призводила до зростання чисельності мікроорганізмів у ризосфері, хоча й спостерігалася тенденція до зниження відповідних показників із наростанням норми препарату.

Поєднання гербіциду з РРР Ендофіт L1, а також внесення гербіциду на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал, зумовлювало зростання чисельності ризосферної мікробіоти сорго зернового порівняно з варіантами досліду, де гербіцид застосовувався окремо.

Найвищу чисельність мікробіоти та окремих її груп було відмічено за комплексного застосування досліджуваних препаратів, що доводить формування у таких варіантах досліду найбільш сприятливих умов для її розвитку.

Матеріали розділу 4 опубліковано та апробовано в праці [350].

Karpenko V., Krasnoshtan V., Mostoviak I., Prytuliak R. Microorganisms number in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) rhizosphere after herbicide, plant growth regulator, and a biopreparation use. *Agronomy Science*. 2021. Vol. 76, № 2. P. 17–26. DOI: 10.24326/as.2021.2.2

РОЗДІЛ 5. АГРОБІОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ГЕРБІЦИДУ ЦИТАДЕЛЬ 25 OD, РЕГУЛЯТОРА РОСТУ РОСЛИН ЕНДОФІТ L1 І БІОПРЕПАРАТУ БІОАРСЕНАЛ У ПОСІВАХ СОРГО ЗЕРНОВОГО

5.1. Забур'яненість посівів

З-поміж низки чинників, що впливають на продуктивність сільськогосподарських культур, надзвичайно високої шкоди посівам завдає забур'яненість [306, 307]. Культурні рослини часто неспроможні ефективно конкурувати з бур'янами за вологу, світло та поживні речовини, що призводить до зменшення площі асиміляційного апарату, кореневої системи, зниження продуктивності фотосинтезу і, як наслідок, зниження продуктивності посівів [308–310]. Нині, найбільш широко застосовуваним методом боротьби із сегетальною рослинністю в посівах є застосування гербіцидів. Проте, як свідчить низка досліджень [311–314], повсюдне й часто нераціональне застосування таких препаратів може призводити до негативних наслідків для довкілля та людини. З огляду на це, в останні десятиліття активно розвивається напрямок біологізації сільського господарства, в основі якого лежить ідея зниження хімічного навантаження на агроценози шляхом оптимізації використання пестицидів та включення в технології вирощування тих чи інших культур препаратів біологічного походження [315].

Дослідженнями доведено, що поєднання гербіцидів із РРР дозволяє досягнути більшої ефективності в боротьбі з бур'янами порівняно із застосуванням гербіцидів без РРР. Так, наприклад, дослідження впливу гербіциду Панда (3–6 л/га) і біологічних препаратів на забур'яненість посівів нуту [316] виявило, що найвища ефективність знищення бур'янів досягалася за комплексного використання гербіциду, РРР Стимпо (0,025 л/т) і мікробіологічного препарату Ризобофит (1,0 л/т). Аналогічні результати спостерігалися й у посівах кукурудзи за внесення гербіцидів Лаудіс (0,5 кг/га) та Стеллар (1,1 л/га) у сумішах з РРР Зеастимулін (10 мл/га) [317]. Ю. І. Ткаліч та

ін. [318], на прикладі пшениці озимої, довели, що найнижчі показники сухої маси бур'янів формуються за використання у посівах гербіциду Естерон (0,8 л/га) у сумішах з РРР Оксикарбам (150 г/га) і Вимпел (500 г/га).

Отже, застосування гербіцидів сумісно з РРР може позитивно впливати на динаміку забур'яненості посівів сільськогосподарських культур. Проте, дані стосовно забур'яненості посівів сорго зернового за поєднаного застосування гербіцидів і РРР відсутні, що й обумовило актуальність наших подальших досліджень.

Дослідженнями, проведеними в 2019–2021 роках було виявлено, що у посівах сорго зернового домінував змішаний характер забур'яненості. Серед дводольних бур'янів найбільш представленими були: щириця звичайна (*Amaranthus retroflexus* L.), лобода біла (*Chenopodium album* L.), осот жовтий польовий (*Sonchus arvensis* L.) та ін. Однодольні (злакові) бур'яни були представлені переважно такими видами: мишій сизий (*Setaria pumila* L.), мишій зелений (*Setaria viridis* L.), вівсюг звичайний (*Avena fatua* L.) та куряче просо (*Echinochloa crus-galli* L.).

Рівень забур'яненості у посівах залежав від погодних умов і змінювався залежно від року (Додаток Н, табл. 3.1–3.3). Так, найбільша маса бур'янів у варіанті контролю I відмічалась у 2019 році, що, імовірно, пов'язано із оптимальними агрокліматичними умовами в цей період. У 2020 році даний показник був найнижчим за роки досліджень, а вже у 2021 році дещо зростав порівняно з попереднім роком.

У ході проведених спостережень було виявлено, що забур'яненість посівів сорго зернового істотно залежала від умов досліду (табл. 5.1). Так, на 30 добу після обробки посівів гербіцидом Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га кількість бур'янів знижувалась відносно контролю I на 55, 65 і 72 шт/м², а їх маса була меншою на 65, 76 і 83%.

Разом з тим, застосування гербіциду сумісно з РРР Ендофіт L1 призводило до підвищення ефективності знищення бур'янів. На 30 добу після застосування препаратів кількість бур'янів знижувалась відносно контролю I на

62, 69 і 77 шт/м², що в середньому на 20% перевищує результат варіантів, де гербіцид застосовувався самотійно.

Таблиця 5.1

**Забур'яненість посівів сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD,
PPP Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал (середнє за 2019–2021 рр.)**

Варіант досліджу	На 30 добу після внесення препаратів		Перед збиранням урожаю	
	кількість бур'янів, шт./м ²	маса бур'янів, г/м ²	кількість бур'янів, шт./м ²	маса бур'янів, г/м ²
Без застосування препаратів (контроль I)	89	462	149	2736
Ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	0	0	0	0
Цитадель 0,6 л/га	34	162	61	1040
Цитадель 0,8 л/га	24	111	43	711
Цитадель 1,0 л/га	17	79	33	547
Ендофіт L1 30 мл/га	84	425	143	2599
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	27	129	49	848
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	20	102	37	657
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	12	55	25	410
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	78	388	136	2408
Фон + ручні прополювання	0	0	0	0
Фон + Цитадель 0,6 л/га	24	116	43	766
Фон + Цитадель 0,8 л/га	16	79	31	520
Фон + Цитадель 1,0 л/га	10	42	21	328
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	75	365	128	2298
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	20	97	36	629
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	11	37	22	301
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	6	23	13	192
<i>НІР₀₅</i>	2–4*	7–11	4–9	41–61

Примітка: * – наведено мінімальні і максимальні значення за роки досліджень

Маса бур'янів за такого поєднання препаратів також зазнавала змін і була нижчою від контролю I на 72, 78 і 88%, що в середньому на 19% менше ніж у варіантах без PPP.

Дещо меншими були показники забур'яненості за обробки посівів гербіцидом на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал. Кількість бур'янів при цьому знижувалась відносно контролю I на 65, 73 і 79 шт./м², що в середньому було на 32% менше ніж у варіантах, де гербіцид вносився без фону. Показники маси бур'янів також істотно знижувались відносно контролю I – на 75, 83 і 91%, що в середньому на 32% менше ніж у тотожних варіантах без передпосівної обробки насіння.

Найбільшу ефективність знищення бур'янів як кількісно, так і за масою було відмічено за внесення гербіциду Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га сумісно з PPP Ендофіт L1 на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал. Кількість та маса бур'янів при цьому знижувались відносно контролю I на 78, 88 і 93% та 79, 92 і 95% відповідно, що в середньому на 52 і 56% нижче, ніж відповідні показники у варіантах без застосування PPP і біопрепарату.

У момент перед збиранням врожаю рівень розвитку сегетальної рослинності дещо зростав порівняно з 30 добою після внесення препаратів, хоча характер залежності відповідних показників від умов дослідів залишався незмінним. Так, за використання гербіциду Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га кількість бур'янів була на 88, 106 і 116 шт./м² нижчою ніж у контролі I, а їх маса була нижчою від контролю I на 62, 74 і 80% відповідно.

Застосування гербіциду сумісно з PPP Ендофіт L1 мало істотний вплив на забур'яненість і перед збиранням врожаю – кількість та маса бур'янів знижувались відносно контролю на 100, 112 і 124 шт./м² та 69, 76 і 85% відповідно. Аналогічний результат простежувався й за внесення гербіциду на фоні передпосівної обробки насіння Біоарсеналом – кількість та маса бур'янів були нижчими від показників у контролі I на 106, 118 і 128 шт./м² та 72, 81 і 88% відповідно.

Найбільш ефективним у знищенні бур'янів виявилось застосування гербіциду Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га у сумішах із PPP Ендофіт L1 на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал. За таких

умов кількість бур'янів знижувалась відносно контролю I на 113, 127 і 136 шт./м², а їх маса була нижчою на 77, 89 і 93%, що в середньому на 48 і 51% нижче, ніж відповідні показники у варіантах, де гербіцид було використано без PPP та біопрепарату.

Таким чином, гербіцид Цитадель 25 OD ефективно контролює сегетальну рослинність у посівах сорго зернового. Проте, використання даного гербіциду в комплексі з PPP Ендофіт L1 та біопрепаратом Біоарсенал дозволяє досягнути більшої ефективності у зниженні забур'яненості посівів порівняно із самотійним застосуванням гербіциду, що, очевидно, пов'язано з посиленням ростових процесів сорго, а звідти – конкурентної здатності рослин.

5.2. Урожай і якість зерна

Ключовими показниками, що визначають ефективність будь-яких агрономічних заходів, є продуктивність посівів та якість отриманої продукції. Загальновідомо, що гербіциди, усуваючи основну перешкоду на шляху до високої врожайності культур – бур'яни, здатні істотно підвищувати кількісні та якісні показники продуктивності посівів [319, 320]. Проте, нераціональне використання таких препаратів, несвоєчасне їх внесення чи у невідповідній нормі може негативно відображатись на врожайності, оскільки за таких умов може знижуватись ефективність боротьби із бур'янами [321]. За даними окремих вчених [322–324], бур'яни зумовлюють до 50% втрат врожаю у посівах зернових культур, що пояснюється прямою залежністю між урожайністю та забур'яненістю посівів [325].

За період спостережень було виявлено, що врожайність сорго зернового істотно залежала від погодних умов, які формувалися в окремі роки досліджень. Так, найвищі показники врожайності спостерігалися у 2019 році й дещо нижчі у 2021. Водночас, у 2020 році врожайність сорго зернового була найнижчою, що, ймовірно, пояснюється несприятливими умовами на початку вегетації культури.

У середньому за роки досліджень було виявлено чітку залежність продуктивності посівів від норми гербіциду та застосування РРР і біопрепарату (табл. 5.2).

Таблиця 5.2

Урожайність сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD, РРР Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал

Варіант досліду	2019	2020	2021	Середнє за роки досліджень
Без застосування препаратів (контроль I)	4,16	3,55	3,99	3,90
Ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	5,40	4,69	5,20	5,10
Цитадель 0,6 л/га	4,99	4,36	4,81	4,72
Цитадель 0,8 л/га	5,12	4,47	4,95	4,85
Цитадель 1,0 л/га	5,24	4,56	5,08	4,96
Ендофіт L1 30 мл/га	4,50	3,96	4,37	4,27
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	5,12	4,47	4,96	4,85
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	5,28	4,59	5,08	4,98
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	5,42	4,71	5,22	5,12
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	4,59	4,04	4,46	4,36
Фон + ручні прополювання	5,68	4,93	5,46	5,36
Фон + Цитадель 0,6 л/га	5,18	4,52	4,98	4,89
Фон + Цитадель 0,8 л/га	5,36	4,67	5,16	5,06
Фон + Цитадель 1,0 л/га	5,50	4,79	5,31	5,20
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	4,66	4,09	4,51	4,42
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	5,37	4,66	5,17	5,07
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	5,52	4,80	5,34	5,22
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	5,66	4,91	5,48	5,35
<i>НІР₀₅</i>	0,14	0,10	0,13	

Застосування у посівах гербіциду Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га забезпечувало зростання врожайності культури відносно контролю I на 20,0; 23,1 і 26,0% – у 2019 році, 22,8; 25,9 і 28,5% – у 2020 році та на 20,6; 24,1 і 27,3% – у 2021 році. Водночас, за внесення тих же норм гербіциду сумісно з РРР Ендофіт L1 урожайність перевищувала показник у контролі I в середньому на 26,8, 29,3 і 27,5% відповідно у 2019–2021 роках.

Внесення гербіциду на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал також призводило до істотного зростання рівня врожайності: у 2019 році приріст відносно контролю I становив у середньому 28,5%, у 2020 році – 31,3%, а в 2021 році – 29,1%.

Найвищу врожайність в усі роки досліджень було відмічено у варіантах, де гербіцид Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га вносили сумісно з PPP Ендофіт L1 на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал. Середній приріст відносно контролю I у таких варіантах досліджу становив 32,6% – у 2019 році, 34,9% – у 2020 році та 33,6% у 2021 році.

У середньому за роки досліджень відмічалось зростання урожайності сорго зернового відносно контролю I на 21,0; 24,4 і 27,2% за використання у посівах гербіциду Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га. Подібні результати отримали J. S. Mishra et al. [326] за використання гербіциду на основі пеноксуламу у посівах сорго зернового. В їх дослідженнях гербіцид у максимальній нормі (25 г/га) призводив до зростання зернової врожайності культури відносно контролю (без застосування гербіцидів) на 17,6 %.

Водночас, застосування гербіциду в сумішах з PPP Ендофіт L1 призводило до зростання рівня врожайності відносно контролю I на 24,4; 27,7 і 31,3%, а за внесення гербіциду на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал – на 25,4; 29,7 і 33,3%.

Аналогічне зростання врожайності за інтегрованого застосування гербіцидів і біологічних препаратів було також відмічено іншими дослідниками [327, 328], які пов'язують це із загальним покращенням низки показників рослин: збільшення площі листків, вмісту пігментів, фотосинтетичної продуктивності, зниження оксидативного стресу тощо, що в цілому покращує продуктивність посівів.

Найвищу врожайність сорго зернового, в середньому за роки досліджень, демонстрували варіанти, де гербіцид Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га застосовувався в сумішах з PPP Ендофіт L1 та на фоні біопрепарату Біоарсенал. За такого способу поєднання препаратів показник врожайності зростав відносно

контролю I на 30,0; 33,8 і 37,2%, що в середньому на 7,7% перевищувало показники варіантів, де гербіцид застосовувався без РРР і біопрепарату.

Величина врожаю це важливий показник, що досить точно демонструє ефективність агрономічних заходів, проте, подальша економічна ефективність вирощування культури залежить також і від якісних показників отриманого врожаю[329, 330]. Важливими якісними показниками зернової продукції є маса 1000 зерен, натура зерна та вміст у ньому білка [331, 332].

У результаті проведених досліджень було встановлено, що формування якісних показників врожаю сорго зернового істотно залежало як від застосування досліджуваних препаратів, так і від погодних умов у роки досліджень (Додаток П, табл. П.1–П.3; табл. 5.3).

У середньому за три роки, використання гербіциду Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га призводило до підвищення маси 1000 зерен відносно контролю I на 13,2; 14,4 і 15,2% при одночасному зростанні натури на 0,6; 0,9 і 1,2% відповідно.

Обробка посівів гербіцидом у зазначених нормах у сумішах з РРР Ендофіт L1 призводила до більш істотного зростання зазначених показників: маса 1000 зерен при цьому зростала відносно контролю I на 14,0; 15,2 і 16,5%, а натура зерна – на 1,2; 1,6 і 1,9%. Подібний результат спостерігався й за внесення гербіциду на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал: маса 1000 зерен перевищувала показник у контролі I на 14,8; 16,0 і 16,9%, в той час як натура зерна зростала на 1,4; 1,8 і 2,1%.

Найвищі показники якості зерна сорго зернового формувалися за комплексного застосування гербіциду Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га та РРР Ендофіт L1 на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал. Маса 1000 зерен при цьому зростала відносно контролю I на 16,0; 17,7 і 18,5%, а натури – на 1,9; 2,3 і 2,5%, що у середньому на 2,8 і 1,3% перевищувало відповідні показники у варіантах, де гербіцид вносили без РРР і біопрепарату.

Таблиця 5.3

Якісні показники врожаю сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD, PPP Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал (середнє за 2019–2021 рр.)

Варіант досліджу	Маса 1000 зерен, г	Натура, г/л	Вміст білка, %
Без застосування препаратів (контроль I)	24,3	840,2	10,8
Ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	28,0	859,7	11,8
Цитадель 0,6 л/га	27,5	845,4	11,3
Цитадель 0,8 л/га	27,8	848,0	11,5
Цитадель 1,0 л/га	28,0	850,6	11,6
Ендофіт L1 30 мл/га	25,3	842,8	11,0
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	27,7	850,7	11,4
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	28,0	854,0	11,7
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	28,3	855,8	11,8
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	25,7	844,0	11,1
Фон + ручні прополювання	28,8	861,3	12,2
Фон + Цитадель 0,6 л/га	27,9	852,2	11,5
Фон + Цитадель 0,8 л/га	28,2	855,4	11,7
Фон + Цитадель 1,0 л/га	28,4	857,5	11,8
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	25,8	845,2	11,3
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	28,2	855,8	11,7
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	28,6	859,9	11,9
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	28,8	861,1	12,0
<i>НІР₀₅</i>	0,3–0,4*	3,3–4,0	0,1–0,2

Примітка: * – наведено мінімальні і максимальні значення за роки досліджень

Істотних змін за дії досліджуваних препаратів зазнавав і вміст білка у зерні. Застосування гербіциду Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га призводило до зростання даного показника відносно контролю I на 0,5; 0,7 і 0,8%.

Водночас, використання у посівах гербіциду в сумішах з PPP Ендофіт L1 призводило до більш істотного зростання вмісту білка у зерні – на 0,6; 0,9 і 1,0%.

Аналогічний ефект створювало внесення гербіциду на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал – зростання відносно контролю I становило 0,7; 0,9 і 1,0%.

Як і у випадку з іншими якісними показниками зерна сорго зернового, вміст білка був найвищим за комплексного застосування гербіциду Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га та PPP Ендофіт L1 на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал: приріст даного показника відносно контролю I становив 0,9; 1,1 і 1,2%, що в середньому на 0,4% перевищує вміст білка у варіантах де застосовувався лише гербіцид.

Таким чином, комплексне застосування гербіциду Цитадель 25 OD, PPP Ендофіт L1 та біопрепарату Біоарсенал дозволяє досягнути найвищих кількісних та якісних показників урожайності сорго зернового. Найбільш продуктивним, у середньому за три роки, виявилось застосування гербіциду в нормі 1,0 л/га в комплексі з PPP Ендофіт L1 на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал. Таке поєднання препаратів забезпечило приріст урожайності на 1,45 т/га при одночасному підвищенні маси 1000 зерен на 19%, натурі – на 3% і вмісту білка в зерні – на 1,2%.

5.3. Економічна й енергетична ефективність

Отримання високоякісного є однією з головних цілей агрономічної практики, проте, доцільність багатьох заходів при вирощуванні культури визначається не лише показниками врожайності, а й економічною вигодою, що слідує за прибавкою зернової продуктивності [333–335].

Сорго зернове вирізняється з-поміж інших рослин здатністю формувати високу продуктивність посівів в умовах, коли ефективність вирощування інших зернових культур різко знижується [336].

Однією з основних перешкод на шляху досягнення високих показників врожайності та рентабельності посівів є їх забур'яненість [337, 338], для боротьби з якою, найефективнішим заходом є застосування гербіцидів [339].

Окрім того, сучасні дослідження [340] свідчать про те, що раціональне застосування у посівах елементів біологізації дозволяє отримати додаткову економічну вигоду, знизивши при цьому хімічне навантаження на довкілля. Так, наприклад, аналіз економічної ефективності застосування гербіциду Трофі 90 (1,5–3,5 л/га) у посівах кукурудзи [341] виявив зростання рентабельності вирощування даної культури відносно контролю на 22% за використання гербіциду в нормі 2,5 л/га.

Дослідженнями в посівах нуту [342] встановлено, що найвищий рівень рентабельності (130%) досягається за умов застосування гербіциду Фабіан, в.д.г. у нормі 0,1 кг/га.

С. О. Заєць і К. С. Фундират [343] виявили зростання рентабельності вирощування пшениці озимої відносно контролю на 15–22% за використання у посівах гербіциду Гроділ Максї 375 OD, МД (0,11 л/га) біологічних препаратів Псевдобактерін 2 (1 л/га), Бактофіт (2,5 л/га) і Бітоксикацилін-БТУ (10 л/га).

Д. В. Сухіна і С. М. Каленська [344] констатують, що застосування РРР біологічного походження Фітоспектр для передпосівної обробки насіння пшениці озимої з подальшою обробкою рослин по вегетації цим же РРР та на фоні застосування гербіцидів Грізний, ВГ (15 г/га) і Декабрист 480 (0,25 л/га) дозволяє підвищити рентабельність вирощування культури до 58,8%.

У ході аналізу економічної ефективності застосування досліджуваних препаратів (табл. 5.4) було виявлено, що використання гербіциду Цитадель 25 OD у нормі 0,6 л/га забезпечувало 2851 грн./га додаткового чистого прибутку за рівня рентабельності 162% і окупності додаткових витрат у 6,6 разів.

При подальшому збільшенні норми гербіциду до 0,8 і 1,0 л/га відбувалося підвищення рівня додаткового чистого прибутку до 3091 і 3251 грн./га за рівня рентабельності 159 і 155% та окупності додаткових витрат у 4,4 і 3,3 рази.

Таблиця 5.4

Економічна ефективність застосування гербіциду Цитадель 25 OD, PPP Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал у посівах сорго зернового, (2019–2021 рр.)

Варіант досліджу	Урожайність, т/га	Прибавка врожаю, т/га	Загальні витрати на вирощування, грн./га	У т. ч. додаткові, грн./га	Вартість валової продукції, грн./га	У т. ч. додаткової, грн./га	Чистий прибуток з 1 га, грн.	Собівартість 1 т продукції, грн.	Рентабельність, %	Додатковий чистий прибуток, грн./га
Без застосування препаратів (контроль I)	3,90	0	6779	0	15600	0	8821	1738	130	0
Ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	5,10	1,20	11635	4856	20400	4800	8765	2281	75	-56
Цитадель 0,6 л/га	4,72	0,82	7208	429	18880	3280	11672	1527	162	2851
Цитадель 0,8 л/га	4,85	0,95	7488	709	19400	3800	11912	1544	159	3091
Цитадель 1,0 л/га	4,96	1,06	7768	989	19840	4240	12072	1566	155	3251
Ендофіт L1 30 мл/га	4,27	0,37	7426	647	17080	1480	9654	1739	130	833
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	4,85	0,95	7266	487	19400	3800	12134	1498	167	3313
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	4,98	1,08	7546	767	19920	4320	12374	1515	164	3553
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	5,12	1,22	7826	1047	20480	4880	12654	1529	162	3833
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	4,36	0,46	8150	1371	17440	1840	9290	1869	114	469
Фон + ручні прополювання	5,36	1,46	11828	5049	21440	5840	9612	2207	81	791
Фон + Цитадель 0,6 л/га	4,89	0,99	7401	622	19560	3960	12159	1513	164	3338
Фон + Цитадель 0,8 л/га	5,06	1,16	7681	902	20240	4640	12559	1518	164	3738
Фон + Цитадель 1,0 л/га	5,20	1,30	7961	1182	20800	5200	12839	1531	161	4018
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	4,42	0,52	7620	841	17680	2080	10060	1724	132	1239
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	5,07	1,17	7460	681	20280	4680	12820	1471	172	3999
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	5,22	1,32	7740	961	20880	5280	13140	1483	170	4319
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	5,35	1,45	8020	1241	21400	5800	13380	1499	167	4559

Дещо вищою була економічна ефективність вирощування сорго зернового за сумісного застосування гербіциду Цитадель 25 OD і PPP Ендофіт L1. Таке поєднання препаратів дозволяло забезпечити 3313, 3553 і 3833 грн./га додаткового чистого прибутку відповідно за норм гербіциду 0,6; 0,8 і 1,0 л/га. Рентабельність при цьому знаходилась на рівні 167, 164 і 162% при окупності додаткових витрат у 6,8; 4,6 і 3,7 рази, що пояснюється істотним підвищенням врожайності при відносно невеликих додаткових затратах на PPP.

Подібний результат спостерігався й за внесення гербіциду на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал. Таке поєднання препаратів, підвищувало додатковий чистий прибуток до 3338, 3738 і 4018 грн./га за рівня рентабельності 164, 164 і 161% та окупності додаткових витрат у 5,4; 4,1 і 3,4 рази.

Найбільш економічно виправданим виявилось внесення гербіциду Цитадель 25 OD у сумішах з PPP Ендофіт L1 на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал. Таке комбінування препаратів забезпечувало 3999, 4319 і 4559 грн./га додаткового чистого прибутку за рівнів рентабельності 172, 170 і 167% та окупності додаткових витрат у 5,9; 4,5 і 3,7 рази.

Аналіз енергетичної ефективності вирощування сорго зернового за використання досліджуваних препаратів (табл. 5.5) виявив тісну залежність між виробничими енергозатратами та застосуванням різних норм гербіциду окремо і в сумішах з PPP Ендофіт L1 та на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал.

Найбільшу частку енергії було затрачено на обробіток ґрунту, паливно-мастильні матеріали для сільгосптехніки, людські ресурси, затрати на збирання врожаю та внесення засобів захисту рослин, зокрема, гербіциду.

Так, за обробки посівів гербіцидом Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га рівень валових затрат енергії знаходився на рівні 9404–9409 мДж/га, а за внесення тих же норм гербіциду сумісно з PPP Ендофіт L1 – 9409–9413 мДж/га.

За внесення ж гербіциду на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал енергетичні затрати знаходились на рівні 9412–9416 мДж/га.

Таблиця 5.5

**Енергетична ефективність застосування гербіциду Цитадель 25 OD,
PPP Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал у посівах сорго зернового
(середнє за 2019-2021 рр.)**

Варіант досліджу	Валові затрати енергії, мДж/1 га	Валова енергія врожаю мДж/1 га	Коефіцієнт енергетичної ефективності
Без застосування препаратів (контроль I)	8659	29448	3,4
Ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	16418	38509	2,3
Цитадель 0,6 л/га	9404	35640	3,8
Цитадель 0,8 л/га	9406	36621	3,9
Цитадель 1,0 л/га	9409	37452	4,0
Ендофіт L1 30 мл/га	9398	32242	3,4
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	9409	36621	3,9
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	9411	37603	4,0
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	9413	38660	4,1
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	8666	32921	3,8
Фон + ручні прополювання	16425	40472	2,5
Фон + Цитадель 0,6 л/га	9412	36923	3,9
Фон + Цитадель 0,8 л/га	9414	38207	4,1
Фон + Цитадель 1,0 л/га	9416	39264	4,2
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	9410	33375	3,5
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	9417	38283	4,1
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	9419	39415	4,2
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	9421	40397	4,3

Найвищі показники валових затрат енергії (9417–9421 мДж/га) було виявлено у варіантах, де гербіцид Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га вносили сумісно з PPP Ендофіт L1 та на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал. Окрім того, у даних варіантах формувались найвищі, з-поміж інших, показники валової енергії врожаю, що знаходились на рівні

38283–40397 мДж/га. Така енергетична конфігурація характерним чином впливала на формування коефіцієнта енергетичної ефективності, що за таких умов знаходився на рівні 4,1–4,3 при показнику 3,4 у контролі й 3,8–4,0 у варіантах де гербіцид застосовувався самостійно. Такі результати свідчать про високу енергетичну ефективність вирощування сорго зернового за поєднаного використання гербіциду Цитадель 25 OD, PPP Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал.

У підсумку проведеного економічного та енергетичного аналізів можна констатувати, що найбільш продуктивним є вирощування сорго зернового за використання гербіциду Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га сумісно з PPP Ендофіт L1 на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал, де рівень рентабельності складав 167–172%, а додатковий чистий прибуток знаходився на рівні 3999–4559 грн./га. Використання препаратів у таких поєднаннях є також виправданим з точки зору енергоефективності, оскільки це забезпечувало найвищі показники виходу валової енергії з 1 га.

Матеріали розділу 5 опубліковано та апробовано в праці [351, 352]

1. Карпенко В.П., Красноштан В.І., Посівні якості насіння сорго зернового за передпосівної обробки регулятором росту рослин. Перспективні шляхи розвитку наукових знань (частина 1) : матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції м. Київ, 26-27 січня 2019 року. Київ, 2019. С. 51–52.

2. Красноштан В. І., Карпенко В. П. Забур'яненість посівів сорго зернового за використання хімічних і біологічних препаратів. Динаміка розвитку сучасної науки : матеріали міжнародної наукової конференції (Т. 2), 15 листопада. 2019 рік. Чернігів, 2019. Т. 2. С. 95–97.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведено нове вирішення наукового завдання, що полягає у науковому обґрунтуванні застосування у посівах сорго зернового різних норм гербіциду Цитадель 25 OD окремо і в комплексі з препаратами біологічного походження – регулятором росту рослин Ендофіт L1 і біопрепаратом Біоарсенал.

1. Встановлено, що гербіцид Цитадель 25 OD, регулятор росту рослин Ендофіт L1 і біопрепарат Біоарсенал зумовлюють істотні зміни в проходженні процесів пероксидного окиснення ліпідів та ферментативній активності рослин сорго зернового, проте максимальне зниження рівня оксидативного стресу відбувається за сумісного застосування гербіциду в нормах 0,6–1,0 л/га з регулятором росту рослин Ендофіт L1 (30 мл/га) на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал (800 г/100 кг), за якого активність ліпопероксидаційних процесів знижується в середньому на 17,9% порівняно з варіантами самостійного застосування гербіциду, водночас, активність ферменту глутатіон-S-трансферази зростає в середньому на 3,6%, супероксиддисмутази – на 28,7%, каталази – на 7,0%, пероксидази – на 15,7%, поліфенолоксидази – на 23,9%, що свідчить про підвищення антиоксидантного статусу рослин.

2. Доведено, що комплексне застосування гербіциду Цитадель 25 OD (0,6–1,0 л/га), регулятора росту рослин Ендофіт L1 (30 мл/га) і біопрепарату Біоарсенал (800 г/100 кг) забезпечує оптимальні умови для формування найвищих показників вмісту пігментів у листках сорго зернового: вміст хлорофілу *a* перевищував відповідні показники у варіантах самостійного внесення гербіциду в середньому за роками досліджень і фазами розвитку культури на 6,2–8,3%, хлорофілу *b* – на 16,8–19,7%, суми хлорофілів *a+b* – на 8,8–10,9 каротиноїдів – на 13,5–15,3%.

3. Виявлено, що гербіцид Цитадель 25 OD, регулятор росту рослин Ендофіт L1 і біопрепарат Біоарсенал за комплексного їх застосування сприяють зростанню площі клітин епідермісу листків сорго зернового і формуванню у рослин ознак мезоморфності за коефіцієнту морфоструктури

0,82–0,88. Між показниками площі клітин епідермісу та площі листків сорго зернового встановлено тісний кореляційний зв'язок ($r=0,93$).

4. Досліджено, що за комплексного застосування гербіциду Цитадель 25 OD (0,6–1,0 л/га), регулятора росту рослин Ендофіт L1 (30 мл/га) і біопрепарату Біоарсенал (800 г/100 кг) чиста продуктивність фотосинтезу посівів сорго зернового відносно варіантів самостійного застосування гербіциду в середньому зростає на 8,7–10,8%.

5. Встановлено, що найоптимальніші умови для розвитку ризосферної мікробіоти сорго зернового формуються за внесення гербіциду Цитадель 25 OD (0,6–1,0 л/га) у сумішах з регулятором росту рослин Ендофіт L1 (30 мл/га) та на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал (800 г/100 кг). Загальна чисельність мікроорганізмів у ризосфері за таких умов зростала відносно варіантів самостійного внесення гербіциду в середньому на 15%, чисельність мікроміцетів – на 21%, целюлозолітичних мікроорганізмів – на 15%, нітрифікувальних бактерій – на 46%, азотобактеру – на 11%.

6. Доведено ефективність комбінованого застосування гербіциду, регулятора росту рослин і біопрепарату у боротьбі із забур'яненістю посівів сорго зернового: маса та кількість бур'янів знижувались відносно контролю (без застосування препаратів) у середньому на 89 і 86% – на 30 добу після застосування препаратів і на 86 та 84% – на момент перед збиранням урожаю.

7. Виявлено, що найвищі показники кількості та якості врожаю сорго зернового формувалися за умов комплексного використання гербіциду Цитадель 25 OD (0,6–1,0 л/га) з регулятором росту рослин Ендофіт L1 (30 мл/га) та на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал (800 г/100 кг), де середня прибавка врожаю склала 1,31 т/га за одночасного зростання маси 1000 зерен на 17%, натури зерна – на 2% та вмісту білка у зерні – на 1,1%.

8. З'ясовано, що найвищий чистий прибуток від вирощування сорго зернового формується за інтегрованого використання гербіциду Цитадель 25 OD у нормі 1,0 л/га сумісно з регулятором росту рослин Ендофіт L1 та на фоні

передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал – 13380 грн./га за коефіцієнта енергетичної ефективності 4,3.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

Для ефективного контролювання бур'янів та активізації проходження низки фізіолого-біохімічних процесів у рослинах, за яких досягається висока продуктивність, у посівах сорго зернового доцільно застосовувати гербіцид Цитадель 25 OD у нормі 1,0 л/га сумісно з регулятором росту рослин Ендофіт L1 (30 мл/га) на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал (800 г/100 кг).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. The Triazine Herbicides : 50 years Revolutionizing Agriculture / edited by H. M. LeBaron, E. J. McFarland, O. C. Burnside. Amsterdam : Elsevier, 2008. 584 p.
2. Splid N. H., Koeppen B. Occurrence of pesticides in Danish shallow ground water. *Chemosphere*. 1998. Vol. 37. P. 1307–1316.
3. Lode O., Eklo O. M., Holen B., Svensen A., Jo H. A. Pesticides in precipitation in Norway. *Science of the Total Environment*. 1995. Vol. 160/161. P. 421–431.
4. Kudsk P., Streibig J. C. Herbicides – a two-edged sword. *Weed research*. 2003. Vol. 43, № 2. P. 90–102.
5. Миколайко В. П., Мізюк В. П. Біологізація землеробства та її застосування в сільськогосподарському виробництві. *Природничі науки і освіта*. Збірник наукових праць природничо-географічного факультету. Умань : Візаві, 2020. С. 101–105
6. Буга Н., Кулик Н., Зуякова Л. Розвиток біологічного землеробства та забезпечення органічного виробництва сільськогосподарської продукції. *Економіст*. 2014. № 2. С. 27–30.
7. Трибель С. О., Стригун О. О., Гаманова О. М. Сучасний стан хімічного методу захисту рослин. *Карантин і захист рослин*. 2014. № 1. С. 1–4.
8. Грицаєнко З. М., Карпенко В. П., Притуляк Р. М. Забур'яненість посівів тритикале озимого за дії гербіциду Пріма в суміші з регулятором росту рослин Біолан. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. 2012. Вип. 79. С. 47–51.
9. Онопрієнко В. П. Агровиробництво в умовах глобального потепління клімату. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. 2016. Вип. 9, т. 32. С. 73–80.
10. Технологія вирощування сорго на зерно. Сорго зернове. *Пропозиція* : веб-сайт. URL: <https://propozitsiya.com/ua/zahist-posiviv-sorgo> (дата звернення 03.06.2022).

11. Іващенко О. О. Екологічне контролювання бур'янів у широкорядних посівах. *Карантин і захист рослин*. 2014. № 3. С. 6–9.
12. Mithila J., Godar A. Understanding genetics of herbicide resistance in weeds: Implications for Weed Management. *Adv. Crop Sci. Tech.* 2013. Vol. 1, № 4. P. 1–3.
13. Calvo P., Nelson L., Kloepper J. W. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*. 2014. – Vol. 383. P. 3–41.
14. Швартау В. В., Михальська Л. М. Роль фітогормонів у життєдіяльності рослин. *Пропозиція*. 2016. № 3. С. 70–72.
15. Sharad V. Herbicides: history, classification and genetic manipulation of plants for herbicide resistance. *Sustainable agriculture reviews* / Ed. E. Lichtfouse. Cham, 2015. P. 153–192. DOI: 10.1007/978-3-319-09132-7_3
16. Oerke E. C. Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science*. 2006. Vol. 144, № 1. P. 31–43. DOI: 10.1017/S0021859605005708
17. Villeneuve A., Larroudé S., Humbert J. F. Herbicide contamination of fresh-water ecosystems: impact on microbial communities. *In Pesticides – Formulations, Effects, Fate* / Ed. M. Stoytcheva. InTech Open, 2011. P. 285–312.
18. Guzzella, L., Pozzoni, F., & Giuliano, G. Herbicide contamination of surficial groundwater in Northern Italy. *Environmental Pollution*. 2006. Vol. 142, № 2. P. 344–353. DOI: 10.1016/j.envpol.2005.10.037
19. Ortiz-Hernández L., Sánchez-Salinas E., Olvera-Velona A., Folch-Mallol J. L. Pesticides in the Environment: Impacts and its Biodegradation as a Strategy for Residues Treatment. *In Pesticides – Formulations, Effects, Fate* / Ed. M. Stoytcheva. InTech Open, 2011. P. 551–574.
20. Sondhia S. Herbicides residues in soil, water, plants and non-targeted organisms and human health implications: an Indian perspective. *Indian Journal of Weed Science*. 2014. Vol. 46, № 1. P. 66–85.
21. Marin-Morales M. A., Ventura-Camargo B. C., Hoshina M. M. Toxicity of Herbicides: Impact on Aquatic and Soil Biota and Human Health. *Herbicides -*

Current Research and Case Studies in Use / Eds. A. J. Price and A. J. Kelton. IntechOpen, 2013. DOI: 10.5772/55851

22. Duke S. O. Overview of Herbicide Mechanism of Action. *Environmental Health Perspectives*. 1990. Vol. 87. P. 263–271.

23. Hassan N. M., Nemat Alla M. M. Oxidative stress in herbicide-treated broad bean and maize plants. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2005. Vol. 27, № 4A. P. 429–438.

24. Romero-Puertas M. C., McCarthy I., Gomez M., Sandalio L. M., Corpas F. J., Del Rio L. A., Palma J. M. Reactive oxygen species-mediated enzymatic systems involved in the oxidative action of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid. *Plant, Cell and Environment*. 2004. Vol. 27. P. 1135–1148. DOI: 10.1111/j.1365-3040.2004.01219.x

25. Сорокіна С. І., Родзевич О. П., Мордерер Є. Ю. Ефективність контролювання бур'янів і селективність щодо рослин сої за комплексного застосування гербіцидів метрибузину, метолахлору трифлураліну. *Фізіологія і біохімія культурних рослин*. 2011. Т. 43, № 4. С. 287–296.

26. Тохтарь К. І., Гаврилюк Ю. В. Чи можливе безпечне використання гербіцидів? *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2020. Вип. 90. С. 76–85. DOI: 10.31073/acss90

27. Дикун О. В., Жеребко В. М., Дикун М. О. Вплив ґрунтових і післясходових гербіцидів на вміст пластидних пігментів та продуктивність фотосинтетичного потенціалу сої. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2020. № 1. С. 81–89. DOI: 10.31210/visnyk2020.01.09

28. Россихіна Г. С. Стан антиокисдантної системи *Zea Mays* під впливом гербіцидів. *Biosystems Diversity*. 2006. № 1. С. 149–154.

29. Treatment with the herbicide TOPIK induces oxidative stress in cereal leaves / A. S. Lukatkin et al. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 2013. Vol. 105, № 1. P. 44–49. DOI: 10.1016/j.pestbp.2012.11.006

30. Fakhari R., Tobeh A., Alebrahim M. T., Mehdizadeh M., Khiavi H. K. Study of Changes in Activity of Wheat Antioxidant Enzymes under Stress Residue of

Imazethapyr Herbicide. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*. 2020. Vol. 8, № 2. P. 165–179. DOI: 10.33945/SAMI/IJABBR.2020.2.7

31. Štajner D., Popović M., Štajner M. Herbicide induced oxidative stress in lettuce, beans, pea seeds and leaves. *Biologia plantarum*. 2003. Vol. 47, № 4. P. 575–579.

32. Li-juan Z., Jing-fang X., Hong Z., Zhen-tao W., Hong-jin J., Shao-long G. Enzymatic activity and chlorophyll fluorescence imaging of maize seedlings (*Zea mays* L.) after exposure to low doses of chlorsulfuron and cadmium. *Journal of Integrative Agriculture*. 2018. Vol. 17, № 4. P. 826–836. DOI: 10.1016/S2095-3119(17)61717-9

33. Gill S. S., Tuteja N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2010. Vol. 48. P. 909–930. DOI: 10.1016/j.plaphy.2010.08.016

34. Collins A. R. Carotenoids and genomic stability. *Mutation research*. 2001. Vol. 475, № 1-2. P. 21–28. DOI: 10.1016/S0027-5107(01)00071-9

35. Peñuelas J., Munné-Bosch S.. Isoprenoids: an evolutionary pool for photoprotection. *Trends in plant science*. 2005. Vol. 10, № 4. P. 166–169. DOI: 10.1016/j.tplants.2005.02.005

36. Loreto F., Pinelli P., Manes F., Kollist H. Impact of ozone on monoterpene emissions and evidence for an isoprene-like antioxidant action of monoterpenes emitted by *Quercus ilex* leaves. *Tree physiology*. 2004. Vol. 24, № 4, P. 361–367. DOI: 10.1093/treephys/24.4.361

37. Rutherford A. W., Krieger-Liszkay A. Herbicide-induced oxidative stress in photosystem II. *Trends in biochemical sciences*. 2001. Vol. 26, № 11. P. 648–653. DOI: 10.1016/S0968-0004(01)01953-3

38. Pechová R., Kutík J., Holá D., Kočová M., Haisel D., Vičánková A. The Ultrastructure of Chloroplasts, Content of Photosynthetic Pigments, and Photochemical Activity of Maize (*Zea mays* L.) as Influenced by Different Concentrations of the Herbicide Amitrole. *Photosynthetica*. 2003. Vol. 41. P. 127–136. DOI: 10.1023/A:1025841313902

39. Yin X. L., Jiang L., Song N. H., Yang H. Toxic Reactivity of Wheat (*Triticum aestivum*) Plants to Herbicide Isoproturon. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2008. Vol. 56, № 12. P. 4825–4831. DOI: 10.1021/jf800795v
40. Qu B., Zhao H., Zhou J. Toxic effects of perfluorooctane sulfonate (PFOS) on wheat (*Triticum aestivum* L.) plant. *Chemosphere*. 2010. Vol. 79, № 5. P. 555–560. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2010.02.012
41. Jiang L., Yang Y., Jia L. X., Lin J. L., Liu Y., Pan B., Lin Y. Biological responses of wheat (*Triticum aestivum*) plants to the herbicide simetryne in soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2016. Vol. 127. P. 87–94. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2016.01.012
42. Reduced phytotoxicity of propazine by salicylic acid / J. J. Zhang et al. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2018. Vol. 162. P. 42–50. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2018.06.068
43. Langaro A. C., Agostinetto D., Ruchel Q., Garcia J. R., Perboni L. T. Oxidative stress caused by the use of preemergent herbicides in rice crops. *Revista Ciência Agronômica*. 2017. Vol. 48, № 2. P. 358–364. DOI: 10.5935/1806-6690.20170041
44. Younesabadi M., Das T.K., Pandey R. Effect of herbicide tank-mixes on weed control, yield and physiological parameters of soybean (*Glycine max*) under tilled and no-tilled conditions. *Indian Journal of Plant Physiology*. 2013. Vol. 18. P. 290–294. DOI: 10.1007/s40502-013-0037-8
45. Грицаенко З. М. Сравнительная эффективность гербицидов Примэкстры и Агелона в посевах кукурузы, выращиваемой в полевом севообороте по индустриальной технологии при разной влажности почвы. *Плодородие почвы и продуктивность севооборотов: сборник научных трудов*. Киев, 1985. С. 94–102.
46. Грицаєнко З. М. Залежність дії гербіцидів від умов їх застосування в посівах зернових колосових культур. *Збірник наукових праць Уманської сільськогосподарської академії*. Київ : Нора-прінт, 1997. С. 75–78.

47. Effect of Sethoxydim herbicide in the leaf anatomy and physiology of Brachiaria grass under water stress / M. R. R. Pereira et al. *Planta Daninha*. 2017. Vol. 35. DOI: 10.1590/S0100-83582017350100048

48. Розміри листкової поверхні та особливості анатомічної структури епідермісу кукурудзи за умов застосування гербіциду БАТУ, в. г. / О. І. Заболотний та ін. *Таврійський науковий вісник*. 2019. № 107. С. 45–51. DOI: 10.32851/2226-0099.2019.107.6

49. Воронцова Н. Влияние гербицидов и ретарданта роста на урожайность ячменя в условиях Северо-Запада. *Интенсификация кормопроизводства: сборник научных трудов*. Ленинград, 1987. С. 79–83.

50. Кунділовська Т. А., Зеленьянська Н. М. Біологізація виробництва як чинник перспективного розвитку агробізнесу в Україні. *Економіка та управління національним господарством: стан, тенденції та перспективи* : матеріали III міжнародної науково-практичної конференції 23-24 червня 2016 р. Одеса : ОНЕУ, 2016. С. 131–132.

51. Буга Н., Кулик Н., Зуякова Л. Розвиток біологічного землеробства та забезпечення органічного виробництва сільськогосподарської продукції. *Економіст*. 2014. № 2. С. 27–30.

52. Аверчев О. В., Нікітенко М. П. Впровадження елементів біологізації в рослинництві. *Інтеграція наукових досліджень та розробок у практичну діяльність* : III Всеукраїнська мультидисциплінарна науково-практична Інтернет-конференція 30 червня 2021, Україна, Харків. Київ : Яро́чєнко Я. В., 2021. С. 7–9.

53. Елементи біологізації в рослинництві : рекомендації виробництву (монографія) / В. П. Карпенко та ін. ; за редакцією В. П. Карпенка. Умань, 2017. 112 с.

54. Терек О., Величко О., Яворська Н. Механізми адаптації проростків сої до стресових умов за дії регуляторів росту Емістиму С та Агrostимуліну. *Вісник Львівського університету*. 2006. № 41. С. 132–136.

55. Григорюк І. П., Жук О. І. Вплив синтетичних цитокинінів і ауксинів на проростання насіння озимої пшениці за умов високотемпературного стресу. *Физиология и биохимия растений*. 1998. № 4, т. 30. С. 274–252.
56. Терек К., Головач О., Терек О. Ростові процеси у рослин кукурудзи та зміни у фітогормональному комплексі за несприятливих температур. *Вісник Львівського університету*. 2000. Вип. 26. С. 147–152.
57. Климчук М. Сучасні технології підвищення генетичної експресії рослин для зняття абіотичних стресів під час вегетації сільськогосподарських культур. *Актуальні питання сучасних технологій вирощування сільськогосподарських культур в умовах змін клімату* : зб. наук. праць Всеукр. наук.-практ. конф. Кам'янець-Подільський, 2017. 94–96.
58. Roles of plant growth regulators on yield, grain qualities and antioxidant enzyme activities in super hybrid rice (*Oryza sativa* L.) / S. Pan et al. *Rice*. 2013. Vol. 6, № 9. DOI: 10.1186/1939-8433-6-9
59. Khan N., Bano A., Zandi P. Effects of exogenously applied plant growth regulators in combination with PGPR on the physiology and root growth of chickpea (*Cicer arietinum*) and their role in drought tolerance. *Journal of Plant Interactions*. 2018. Vol. 13, № 1. P. 239–247. DOI: 10.1080/17429145.2018.1471527
60. Application of a plant biostimulant to improve maize (*Zea mays*) tolerance to Metolachlor / I. Panfili et al. *Journal of agricultural and food chemistry*. 2019. Vol. 67, № 44. P. 12164–12171. DOI: 10.1021/acs.jafc.9b04949.
61. Грицаєнко З. М., Даценко А. А. Активність антиоксидантних ферментів у рослинах гречки за дії біологічних препаратів. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. 2014. № 84. С. 38–44.
62. Карпенко В. П., Притуляк Р. М., Мостов'як І. І. Анатомічна структура епідермісу листків тритикале озимого за дії гербіцидів Пріма і Пума супер та їх бакових сумішей з регулятором росту рослин Біолан. Сучасні проблеми біології, екології та хімії: *Сучасні проблеми біології, екології та хімії* :

збірка матеріалів III Міжнародної конференції, присвяченої 25-річчю біологічного факультету ЗНУ. Запоріжжя, 2012. С. 21–22.

63. Karpenko V., Boiko Y., Prytuliak R., Datsenko A., Shutko S., Novikova T. Anatomical changes in the epidermis of winter pea stipules and their area under usage of herbicide, stimulator of plant growth and microbial preparation. *Agronomy Research*. 2021. Vol. 19, № 2. P. 472–483.

64. Карпенко В. П., Шутко С. С., Гнатюк М. Г. Анатомо-морфологічні зміни листкової поверхні соризу за використання біологічно активних речовин. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. 2018. № 94. С. 264–274. DOI: 10.31395/2415-8240-2019-94-1-264-274

65. Карпенко В. П. Структурна організація і функціональна активність листкового апарату ячменю ярого за дії гербіциду і біологічних препаратів. *Вісник Львівського національного аграрного університету*. 2011. № 15(1). С. 163–171.

66. Грицаєнко З. М., Карпенко В. П. Вплив гербіциду Калібру 75 і біологічно активних речовин на активність антиоксидантних ферментних систем ячменю ярого. *Екологія – шляхи гармонізації відносин природи та суспільства* : зб. тез Міжн. наук. конф., 23–24 квітня 2009 р. Умань, 2009. С. 12–14.

67. Грицаєнко З. М., Карпенко В. П. Анатомічні зміни в будові фотосинтетичного апарату рослин ярого ячменю під впливом сумісного застосування гербіциду Гранстару й біостимулятора росту Емістима С. *Збірник наукових праць Уманського ДАУ*. 2006. Вип. 62, ч. 1. С. 9–15.

68. Калитка В. В., Капінос М. В. Вплив регуляторів росту рослин і біопрепаратів на продуктивність гороху посівного (*Pisum sativum* L.) в умовах Південного Степу України. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2015. № 210, ч. 1. С. 38–46.

69. Овечко К. О., Пащенко Ю. П. Розміри листкового апарату та фотосинтетична продуктивність *Pisum Sativum* L. за дії біостимуляторів (Стимпо і Регоплант) та Ризогуміну. *Інноваційні аспекти виробництва плодоовочевої продукції* : матеріали Міжвузівської студентської науково-практичної

конференції. Мелітополь : Видавничо-поліграфічний центр «Лух», 2019. С. 94–97.

70. Калінін О. В., Колесніков М. О. Сумісний вплив біостимуляторів та мікробіологічного препарату Азотофіт на формування фотоасиміляційного апарату *Pisum Sativum* L. *Інноваційні аспекти виробництва плодоовочевої продукції* : матеріали Міжвузівської студентської науково-практичної конференції. Мелітополь : Видавничо-поліграфічний центр «Лух», 2019. С. 90–93.

71. Tkalicz Yu. I., Tsyliuryk A. I., Masliiov S. V., Kozechko V. I. Interactive effect of tank-mixed post emergent herbicides and plant growth regulators on corn yield. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2018. Vol. 8, № 1. P. 961–965. DOI: 10.15421/2018_299

72. Буняк Н. М., Москалець В. В., Москалець Т. З., Москалець В. І. Реакція сортів тритикале озимого на передпосівну бактеризацію насіння. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2011. № 14. С. 32–40.

73. Грицаєнко З. М., Притуляк Р. М. Вміст хлорофілу в листках тритикале озимого при різних способах застосування гербіцидів Пріми і Пуми супер та біостимулятора Біолан. *Вісник аграрної науки причорномор'я*. 2011. Вип. 1(58). С. 133–143.

74. Білоножко В. Я., Карпенко В. П., Полторецький С. П., Притуляк Р. М. Фізіолого-біохімічні процеси в рослинах ячменю ярого за роздільного та інтегрованого застосування гербіцидів і регуляторів росту рослин. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2012. № 2. С. 7–13.

75. Шутко С. С. Вплив різних норм гербіциду Пік 75 WG і різних способів застосування PPP Регоплант на реакції пероксидного окиснення ліпідів у рослинах соризу. *COVID-19 – challenges in modern science* : Abstracts of XX International Scientific and Practical Conference. Warsaw : Myśl Naukowa, 2021. С. 177–181.

76. Паланиця М. П., Трач В. В., Мордерер Є. Ю. Генерування активних форм кисню за дії грамініцидів і модифікаторів їх активності. *Фізіологія і біохімія рослин*. 2009. № 4. С. 328–334.

77. Карпенко В. П., Івасюк Ю. І., Притуляк Р. М. Формування листкової поверхні рослин сої і суми хлорофілів за інтегрованої дії гербіциду та біологічних препаратів. *Агробіологія*. 2018. № 1. С. 43–50.

78. Голодрига О. В. Формування якості насіння сої за умов комплексного застосування гербіцидів і Емістиу С. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. 2011. С. 103–107.

79. Скиба Г. В., Руденко Л. Г. Екологічна оцінка впливу гербіцидів на ріст та розвиток сільськогосподарських рослин. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. 2011. Вип. 6(71), ч. 1. С. 138–142.

80. Толошна А. А., Білик І. І. Токсикологічне оцінювання впливу пестициду «Бар'єр» на різні види рослин. *Вісник НАУ*. 2009. № 2. С. 88–89. DOI: 10.18372/2306-1472.39.1716

81. Soumya P. R., Kumar P., Pal M. Paclobutrazol: a novel plant growth regulator and multi-stress ameliorant. *Indian Journal of Plant physiology*. 2017. Vol. 22, № 3. P. 267–278. DOI: 10.1007/s40502-017-0316-x

82. Патыка Н. В., Круглов Ю. В., Шейн Е. Н., Патыка В. Ф. Микроорганизмы почвы: структура и функциональное разнообразие. *Агрохімія і ґрунтознавство* : Спец. випуск до IX з'їзду Укр. товариства ґрунтознавців та агрохіміків: Охорона ґрунтів – основа сталого розвитку. Книга третя. Охорона ґрунтів від ерозії і техногенного забруднення, рекультивація, агрохімія, біологія ґрунтів. Харків : Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського», 2014. С. 312–313.

83. Asadu C. L. A., Nwafor I. A., Chibuike G. U. Contributions of Microorganisms to Soil Fertility in Adjacent Forest, Fallow and Cultivated Land Use Types in Nsukka, Nigeria. *International Journal of Agriculture and Forestry*. 2015. Vol. 5, № 3. P. 199–204. DOI: 10.5923/j.ijaf.20150503.04

84. Kooch Y., Mehr M. A., Hosseini S. M. Soil biota and fertility along a gradient of forest degradation in a temperate ecosystem. *Catena*. 2021. Vol. 204. DOI: 10.1016/j.catena.2021.105428
85. Rajendhran J., Gunasekaran P. Strategies for accessing soil metagenome for desired applications. *Biotechnology advances*. 2008. Vol. 26, № 6. P. 576–590. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2008.08.002
86. Simon C., Daniel R. Metagenomic analyses: past and future trends. *Applied and environmental microbiology*. 2011. Vol. 77, № 4. P. 1153–1161. DOI: 10.1128/AEM.02345-10
87. Monier J. M., Demanèche S., Delmont T. O., Mathieu A., Vogel T. M., Simonet P. Metagenomic exploration of antibiotic resistance in soil. *Current opinion in microbiology*. 2011. Vol. 14, № 3. P. 229–235. DOI: 10.1016/j.mib.2011.04.010
88. Рєзнїк С. В., Фїрсов М. С., Фїрсов О. С., Гавва Д. В. Еколого-трофїчні групи мїкроорганїзмїв у чорноземних ґрунтах за рїзних систем землеробства. *Збїрник наукових праць з актуальних проблем економічних наук* : Науково-практична конференція. Запорїжжя, 2019. С. 123–126.
89. Bulyhin S., Tonkha O. Biological evaluation of the rationality of soil usage in agriculture. *Agricultural Science and Practice*. 2018. Vol. 5, № 1. P. 23–29. DOI: 10.15407/agrisp5.01.023
90. Цигїчко Г. О. Змїни функціональної структури мїкробних угруповань чорнозему типового залежно вїд системи удобрень. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2013. Вип. 79. С. 102–106.
91. Малиновська І. М. Вплив агротехнічних заходїв на чисельнїсть та фізіолого-біохїмічну активнїсть мїкроорганїзмїв сїрого лїсового ґрунту. *сїльськогосподарська мїкробїологія*. 2018. Вип. 27. С. 45–51.
92. Функціонування мїкробних ценозїв ґрунту в умовах антропогенного навантаження / Андреюк К. І., Іутинська Г. О., Антипчук А. Ф., Валагурова О. В. Київ : Обереги, 2001. 240 с.

93. Wang Z., Shan X., Zhang S. Comparison between fractionation and bioavailability of trace elements in rhizosphere and bulk soil. *Chemosphere*. 2002. Vol. 46. P. 1163–1171.
94. Youssef R. A., Chino M. Root-induced changes in the rhizosphere of plants. I. pH changes in relation to the bulk soil. *Soil Science and Plant Nutrition*. 1989. Vol. 35, № 3. P. 461–468. DOI: 10.1080/00380768.1989.10434779
95. Katznelson H., Lochhead A. G., Timonin M. I. Soil microorganisms and the rhizosphere. *The Botanical Review*. 1948. Vol. 14, № 9. P. 543–586. DOI: 10.1007/bf02861843
96. Lynch J. M., Brimecombe M. J., De Leij F. A. Rhizosphere. *Encyclopedia of Life Sciences*. 2001. DOI: 10.1038/npg.els.0000403
97. Curl E. A., Truelove B. The Rhizosphere : Advanced Series in Agricultural Sciences 15. Giessen, 2012. 281 p. DOI: 10.1007/978-3-642-70722-3
98. Hartmann A., Schmid M., Tuinen D. Berg G. Plant-driven selection of microbes. *Plant and soil*. 2008. Vol. 321. P. 235–257. DOI: 10.1007/s11104-008-9814-y
99. Badri D., Vivanco J. Regulation and function of root exudates. *Plant, cell & environment*. 2009. Vol. 32, № 6. P. 666–681. DOI: 10.1111/j.1365-3040.2009.01926.x
100. Dynamic root exudate chemistry and microbial substrate preferences drive patterns in rhizosphere microbial community assembly / Zhalnina K. et al. *Nature microbiology*. 2018. Vol. 3, № 4. P. 470–480. DOI: 10.1038/s41564-018-0129-3
101. Treesubuntorn C., Dhurakit P., Khaksar G., Thiravetyan P. Effect of microorganisms on reducing cadmium uptake and toxicity in rice (*Oryza sativa L.*). *Environmental Science and Pollution Research*. 2018. Vol. 25. P. 25690–25701. DOI: 10.1007/s11356-017-9058-6
102. Henis, Y. Soil microorganisms, soil organic matter and soil fertility. *The Role Of Organic Matter In Modern Agriculture* / Y. Chen, Y. Avnimelech (Eds.). Dordrecht, 1986. P. 159–168.

103. Tomashow L. S., Weller D. M. Role of phenazine antibiotic from *Pseudomonas fluorescens* in biological control of *Gaeumannomyces graminis* var *tritici*. *Journal of Bacteriology*. 1988. Vol. 170. P. 3499–3508.

104. The role of siderophores in potato tuber yield increase by *Pseudomonas putida* in short rotation of potato / Bakker P. A. H. M. et al. *Netherlands Journal of Plant Pathology*. Vol. 92. P. 249–256.

105. Kremer R. J., Means N. E., Kim S. Glyphosate affects soybean root exudation and rhizosphere microorganisms. *International Journal of Analytical Environmental Chemistry*. 2005. Vol. 85, № 15. P. 1165–1174.

106. Effects of S-metolachlor on wheat (*Triticum aestivum* L.) seedling root exudates and the rhizosphere microbiome / Q. Qu et al. *Journal of Hazardous Materials*. 2021. Vol. 441. DOI: doi:10.1016/j.jhazmat.2021.125137

107. Diclofop-methyl affects microbial rhizosphere community and induces systemic acquired resistance in rice / S. Chen et al. *Journal of Environmental Sciences*. 2017. Vol. 51. P. 352–360. DOI: 10.1016/j.jes.2016.06.027

108. Enantioselective effects of imazethapyr on *Arabidopsis thaliana* root exudates and rhizosphere microbes / W. Liu et al. *Science of The Total Environment*. 2020. Vol. 716. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.137121

109. Sasse J., Martinoia E., Northen T. Feed your friends: do plant exudates shape the root microbiome?. *Trends in Plant Science*. 2018. Vol. 23, № 1. P. 25–41. DOI: 10.1016/j.tplants.2017.09.003

110. Baetz U., Martinoia E. Root exudates: the hidden part of plant defence. *Trends in Plant Science*. 2014. Vol. 19, № 2. P. 90–98. DOI: 10.1016/j.tplants.2013.11.006

111. Efficacy of herbicides on weed control, rhizospheric micro-organisms, soil properties and leaf qualities in tea plantation / R. Kundu et al. *Indian Journal of Weed Science*. 2020. Vol. 52, № 2. P. 160–268. DOI: 10.5958/0974-8164.2020.00029.5

112. Schmalenberger A., Tebbe C. C. Bacterial community composition in the rhizosphere of a transgenic, herbicide-resistant maize (*Zea mays*) and comparison to

its non-transgenic cultivar Bosphore. *FEMS Microbiology Ecology*. 2002. Vol. 40, № 1. P. 29–37. DOI: 10.1111/j.1574-6941.2002.tb00933.x

113. Edwards C. A., Pimentel D. Impact of herbicides on soil ecosystems. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 1989. Vol. 8, № 3. P. 221–257. DOI: 10.1080/07352688909382276

114. Johnsen K., Jacobsen C. S., Torsvik V., & Sørensen J. Pesticide effects on bacterial diversity in agricultural soils – a review. *Biology and Fertility of Soils*. 2001. Vol. 33, № 6. P. 443–453.

115. Santos J. B., Jakelaitis A., Silva A. A. Costa M. D., Manabe A., Silva M. C. S. Action of two herbicides on the microbial activity of soil cultivated with common bean (*Phaseolus vulgaris*) in conventional-till and no-till systems. *Weed research*. 2006. Vol. 46, № 4. P. 284–289.

116. Kutuzova R. S., Vorob'ev N. I., Kruglov Yu. V. Structure of the Microbial Complex in Wheat Rhizosphere under Herbicide Stress. *Eurasian Soil Science*. 2006. Vol. 39, № 2. P. 195–202. DOI: 10.1134/S1064229306020104

117. He. Y. H., Shen D. S., Fang C. R., He R., Zhu Y. M. Effects of Metsulfuron-Methyl on the Microbial Population and Enzyme Activities in Wheat Rhizosphere Soil. *Journal of Environmental Science and Health Part B*. 2006. Vol. 41. P. 269–284. DOI: 10.1080/03601230500357298

118. Effect of humic preparation on winter wheat productivity and rhizosphere microbial community under herbicide-induced stress / O. S. Bezuglova et al. *Journal of Soils and Sediments*. 2019. Vol. 19. P. 2665–2675. DOI: 10.1007/s11368-018-02240-z

119. Биорегуляція мікробно-растительних систем / Иутинская Г. А. и др. ; под ред. Г. А. Иутинской и С. П. Пономаренко. Киев, 2010. 464 с.

120. Карпенко В. П. Залежність розвитку ризосферної мікробіоти ячменю ярого від комплексної дії гербіцидів класів сульфонілсечовини, феноксикарбоксилових кислот і біологічних препаратів. *Мікробіологія в сучасному сільськогосподарському виробництві* : мат. сьомої наук. конф. молодих вчених, 21 вересня 2010 р. Чернігів : ЧЦНТІ, 2010. С. 14–17.

121. Карпенко В. П., Павлишин С. В. Мікробіологічна активність ризосфери пшениці полби звичайної за роздільного та інтегрованого застосування гербіциду Пріма Форте 195 і регулятора росту рослин Вуксал БІО Vita. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2018. № 6, т. 76. URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/dopovidi2018.06.012/10648> (дата звернення 06.02.2022).

122. Притуляк Р., Кутний В., Лазарук О., Майструк С., Чорний В. Мікробіологічна активність ґрунту в посівах тритикале озимого за дії біологічно активних речовин. *Вітчизняна наука на зламі епох: проблеми і перспективи розвитку* : Матеріали XXVIII Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції. Переяслав-Хмельницький, 2016. 371 с.

123. Reduction of heavy metals bioaccumulation in sorghum and its rhizosphere by heavy metals-tolerant bacterial consortium / H. E. Abou-Aly et al. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2021. Vol. 31. DOI: 10.1016/j.bcab.2021.101911

124. Dhavi F., Datta R., Ramakrishna W. Mycorrhiza and PGPB modulate maize biomass, nutrient uptake and metabolic pathways in maize grown in mining-impacted soil. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2015. Vol. 97. P. 390–399. DOI: 10.1016/j.plaphy.2015.10.028

125. Vimal S. R., Singh J. S., Arora N. K., Singh S. Soil-plant-microbiome interactions in stressed agriculture management: a review. *Pedosphere*. 2017. Vol. 27, № 2. P. 177–192. DOI: 10.1016/S1002-0160(17)60309-6

126. Kuppardt A., Fester T., Härtig C., Chatzinotas A. Rhizosphere Protist Change Metabolite Profiles in *Zea mays*. *Frontiers in Microbiology*. 2018. Vol. 9. DOI: 10.3389/fmicb.2018.00857

127. Khanghahi M. Y., Crecchio C. Verbruggen E. Shifts in the Rhizosphere and Endosphere Colonizing Bacteria Communities Under Drought and Salinity Stress as Affected by a Biofertilizer Consortium. *Microbial Ecology*. 2021. DOI: 10.1007/s00248-021-01856-y

128. Plant growth-promoting bacteria *Bacillus amyloliquefaciens* NBRISN13 modulates gene expression profile of leaf and rhizosphere community in rice during salt stress / C. S. Nautiyal et al. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2013. Vol. 66. P. 1–9. DOI: 10.1016/j.plaphy.2013.01.020

129. Даценко А. А. Мікробіологічна активність ризосфери гречки за дії бактеріального препарату Діазобактерин і регулятора росту рослин Радостим. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. 2014. Вип. 86, № 1. С. 215–220.

130. Івасюк Ю. І., Карпенко В. П., Притуляк Р. М. Біологічна активність ґрунту в агроценозі сої за роздільного та інтегрованого застосування гербіциду і біологічних препаратів. *Наукові доповіді НУБіП*. 2016. № 2. URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/7227/7006> (дата звернення: 07.02.2022).

131. Грицаєнко З. М., Оратівська С. А. Активність ризосферної мікробіоти за дії гербіциду та біологічних препаратів у посівах гороху. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2015. Вип. 1. С. 27–31.

132. Oerke E. C. Crop losses to pests. *Journal of Agricultural Science*. 2006. Vol. 144. P. 31–43. DOI: 10.1017/S0021859605005708

133. Zhang Z. P. Development of chemical weed control and integrated weed management in China. *Weed Biology and Management*. 2003. Vol. 3, № 4. P. 197–203. DOI: 10.1046/j.1444-6162.2003.00105.x

134. Rajcan I., Swanton C. J. Understanding maize-weed competition: resource competition, light quality and the whole plant. *Field crops research*. 2001. Vol. 71, № 2. P. 139–150.

135. Vollmann J., Wagentristsl H., Hartl W. The effects of simulated weed pressure on early maturity soybeans. *European Journal of Agronomy*. 2010. Vol. 32. P. 243–248. DOI: 10.1016/j.eja.2010.01.001

136. Weed growth and crop yield loss in wheat as influenced by row spacing and weed emergence times / S. Fahad et al. *Crop protection*. 2015. Vol. 71. P. 101–108. DOI: 10.1016/j.cropro.2015.02.005

137. Rodenburg J., Meinke H., Johnson D. E. Challenges for weed management in African rice systems in a changing climate. *The Journal of Agricultural Science*. 2011. Vol. 149, № 4. P. 427–435. DOI: 10.1017/S0021859611000207

138. Pradhan A., Rajput A. S., Thakur A. Effect of weed management on growth and yield of finger millet. *Indian Journal of Weed Science*. 2010. Vol. 42, № 1-2. P. 53–56.

139. Thompson C. R., Dille J. A., Peterson D. E. Weed competition and management in sorghum. *Sorghum: A State of the Art and Future Perspectives* / I. A. Ciampitti, P. V. V. Prasad (Eds.). Madison, 2019. P. 347–360.

140. Міленко О. Г., Горячун В. В., Звягольський Р. А., Козинко С. О., Карпінська С. О. Ефективність застосування ґрунтових гербіцидів у посівах кукурудзи на зерно. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2020. Вип. 2. С. 72–78. DOI: 10.31210/visnyk2020.02.09

141. Тараненко С. В. Урожайність пшениці озимої залежно від застосування гербіциду та бакової суміші з карбамідом. *Науково-практична конференція професорсько-викладацького складу 17–18 травня 2017 р. : 3б. наук. праць наук.-практ. конф. проф.-викл. складу Полтавської державної аграрної академії за підсумками науково-дослідної роботи в 2016 році*. Полтава : РВВ ПДАА, 2017. С. 213–215.

142. Ткаліч Ю. І., Шевченко О. М., Матюха В. Л. Забур'яненість та врожайність соняшнику при різних способах обробітку ґрунту і внесенні гербіцидів. *Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України*. 2013. Вип. 4. С. 29–33.

143. Гутянський Р. А. Вплив ацетохлору й імзетапіру на бульбочки, забур'яненість і врожайність сої. *Вісник Центру наукового забезпечення АПВ Харківської області*. 2014. Вип. 16. С. 46–53.

144. Шкатула Ю. М., Паламарчук А. В. Вплив гербіцидів на забур'яненість та урожайність насіння гороху. *Сільське господарство та лісівництво*. 2015. Вип. 2. С. 102–110.

145. Рудник-Іващенко О. І. Забур'яненість посівів проса за використання різних видів гербіцидів та їх бакових сумішей. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. 2013. Вип. 82. С. 37–46.
146. Шувар І. А., Корпіта Г. М. Вплив елементів технології вирощування на забур'яненість та продуктивність ячменю ярого і картоплі. *Збірник наукових праць ННЦ Інститут землеробства НААН*. 2016. Вип. 3-4. С. 71–81.
147. Герасименко Л. А., Дубовий Ю. П. Захист посівів сорго зернового від бур'янів у правобережному лісостепу України. *Карантин і захист рослин*. 2018. № 3, вип. 247. С. 31–32.
148. Окрушко Є. С. Вплив контролю бур'янів та мікродобрива на урожайність гороху овочевого. *Сільське господарство та лісівництво*. 2022. № 25. С. 152–166. DOI: 10.37128/2707-5826-2022-2-12
149. Сторчоус І. М., Іващенко О. О., Тищук О. П. Вплив різних норм витрати гербіциду Базис 75, ВГ на рівень стресу у рослин кукурудзи. *Захист і карантин рослин*. 2021. Вип. 67. С. 270–290. DOI: 10.36495/1606-9773.2021.67.270-290
150. Заболотний О. І. Вплив гербіциду Трофі 90 на забур'яненість і врожайність посівів кукурудзи. *Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України*. 2013. Вип. 4. С. 81–84.
151. Taylor-Lovell S., Wax L. M., Nelson R. Phytotoxic Response and Yield of Soybean (*Glycine max*) Varieties Treated with Sulfentrazone or Flumioxazin. *Weed Technology*. 2001. Vol. 15, № 1. P. 95–102.
152. Fink R. J. Phytotoxicity of Herbicide Residues in Soils. *Agronomy Journal*. 1972. Vol. 64, № 6. P. 804–805
153. Barnes C. J., Lavy T. L. Injury and Yield Response of Selected Crops to Imazaquin and Norflurazon Residues. *Weed Technology*. 1991. Vol. 5, № 3. P. 598–606. DOI: 10.1017/s0890037x00027408
154. Sheets T. J., Harris C. I. Herbicide residues in soil and their phytotoxicities to crops grown in rotations. *Residues Reviews/Rückstandsberichte* / F. A. Gunter (ed.). New York, 1965. P. 119–140. DOI: 10.1007/978-1-4615-8401-8_4

155. Біологічні основи інтегрованої дії гербіцидів і регуляторів росту рослин / Карпенко В. П. та ін. ; за ред. В. П. Карпенка. Умань, 2012. 357 с.
156. Мостов'як І. І. Біологічний метод як складова інтегрованого захисту рослин у сучасних умовах. *Agrology*. 2020. Вип. 3, № 1. С. 46–51. DOI: 10.32819/020007
157. Івасюк Ю. І. Продуктивність посівів сої за роздільного та інтегрованого застосування мікробіологічного препарату, регулятора росту рослин і гербіциду. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2016. Вип. 3, № 91. С. 89–95.
158. Василенко М. Г., Стадник А. П., Душко П. М., Драга М. В., Кічігіна О. О., Зацарінна Ю. О., Перець С. В. Урожайність і якість насіння сільськогосподарських культур за дії регуляторів росту рослин. *Агроекологічний журнал*. 2018. № 1. С. 96–101. DOI: 10.33730/2077-4893.1.2018.161350
159. Sarig S., Blum A., Okon Y. Improvement of the water status and yield of field-grown grain sorghum (*Sorghum bicolor*) by inoculation with *Azospirillum brasilense*. *The Journal of Agricultural Science*. 1988. Vol. 110, № 2. P. 271–277.
160. Василенко М. Г., Драга М. В., Зацаринная Ю. А., Бакай И. Д. Регуляторы роста растений природного происхождения на посевах пшеницы яровой в условиях северной лесостепи Украины. *Агроекологічний журнал*. 2014. № 4. С. 64–69.
161. Грицаєнко З. М., Карпенко В. П., Мостов'як І. І. Фотосинтетична продуктивність і врожайність ячменю ярого за дії гербіциду і біологічних препаратів. *Карантин і захист рослин*. 2011. № 1. С. 22–24.
162. Мартин А. Г., Осипчук С. О., Чумаченко О. М. Природно-сільськогосподарське районування України : монографія. Київ : ЦП «Компринт», 2015. 328 с.
163. Poltoretskyi S. P. Formation of density of seed sowing of millet (*Panicum miliaceum* L.) depending on the term and method of sowing. *Bulletin of Uman NUH*. 2017. Vol. 1. P. 59–64.

164. Кліматичні дані по м. Умань за період з 1899 року. *Український гідрометеорологічний центр* : веб-сайт. URL: https://meteo.gov.ua/ua/33587/climate/climate_stations/80/12/ (дата звернення 14.02.2022).

165. Свиридов А. М., Свиридов А. А. Формування сходів сорго зернового залежно від погодних умов Східного Лісостепу. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2019. Вип. 2. С. 62–68. DOI: 10.31521/2313-092X/2019-2(102)-9

166. Агропрогноз: як впливає вологість повітря на сільське господарство? *Куркуль – онлайн асистент фермера* : веб-сайт. URL: <https://kurkul.com/blog/680-agroprognoz-chim-zagrojuye-nizka-i-visoka-vologist-povitrya> (дата звернення 06.03.2022).

167. Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні на 2020 рік / Міністерство аграрної політики та продовольства України. URL: <https://sops.gov.ua/reestr-sortiv-roslin>. (дата звернення 20.02.2020)

168. Перелік пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні / Міністерство екології та природних ресурсів України : Київ, 2018. 1040 с.

169. OECD schemes for the varietal certification or the control of seed moving in international trade : list of varieties eligible for seed certification. *Organisation for economic co-operation and development*. URL: <https://www.oecd.org/agriculture/seeds/documents/codes-and-schemes-list-of-varieties-eligible-for-seed-certification.pdf> (дата звернення 07.03.2022).

170. ДСТУ 4962:2008. Сорго. Технічні умови. [чинний від 2010-07-01]. Київ, 2010. 10 с.

171. Майло В / Milo W : веб-сайт. URL: <http://raelin.com.ua/show-product/maylo-v-milo-w> (дата звернення 07.03.2022).

172. Стимулятор росту рослин «Ендофит — L1», тара — 0,1 л : веб-сайт. URL: <https://imptorgservis.uaprom.net/ua/pl378854-stimulyator-rosta-rastenij.html> (дата звернення 08.03.2022).

173. Mascarin G. M., Jaronski S. T. The production and uses of *Beauveria bassiana* as a microbial insecticide. *World journal of microbiology and biotechnology*. 2016. Vol. 32, № 11. DOI: 10.1007/s11274-016-2131-3

174. Bioarsenal for Export : веб-сайт. URL: <https://www.mycogold.com/bioarsenal> (дата звернення 08.03.2022).

175. Цитадель® : веб-сайт. URL: <https://www.corteva.com.ua/products-and-solutions/crop-protection/cytadel.html> (дата звернення 08.03.2022).

176. Технологія вирощування сорго. Поради фахівців. *Головне управління Держспоживслужби в Черкаській області* : веб-сайт. URL: <https://www.cherk-consumer.gov.ua/novyny/2524-tekhnohiiia-vyroshchuvannia-sorho-porady-fakhivtsiv> (дата звернення 09.03.2022).

177. Журбицкий З. И. Методика и практика вегетационного метода. Москва, 1968. 260 с.

178. Чевари С., Чаба И., Секей Й. Роль супероксиддисмутазы в окислительных процессах клетки и метод определения её в биологических материалах. *Лабораторное дело*. 1985. № 11. С. 578–681.

179. Beauchamp, C. & Fridovich I. (1971). Superoxide Dismutase: Improved Assays and an Assay Applicable to Acrylamide Gels. *Analytical biochemistry*. Vol. 44, no. 1, pp. 276–287.

180. Habig W. H., Pabst M. J., Jakoby W. B. Glutathione S-transferase. The first step in mercapturic acid formation. *Journal Biol. Chem.* 1974. № 249 (22). P. 7130–7139.

181. Гришко В. Н., Сыщиков Д. В. Пероксидное окисление липидов и функционирование некоторых антиокислительных ферментных систем у кукурузы и овса при остром поражении фтористым водородом. *Український біохімічний журнал*. 1999. № 71 (3). С. 51–57.

182. Рогожин В. В., Рогожина Т. В. Практикум по биохимии сельскохозяйственной продукции : Санкт-Петербург : ГИОРД, 2016. 480 с.

183. Починок Х. Н. Методы биохимического анализа растений. Киев : Наукова думка, 1976. С. 165–178.

184. Грицаєнко З. М., Грицаєнко А. О., Карпенко В. П. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів. Київ, 2003. 320 с.
185. Von Wettstein D. Chlorophyll-letale und der submikroskopische Formwechsel der Plastiden. *Experimental cell research*. 1957. Vol. 65, № 3. P. 427–506.
186. Ничипорович А. А. Фотосинтез и вопросы продуктивности растений. Москва : Наука. 1963. С. 5–36.
187. Карпенко В. П. Значення анатомічної будови рослин у вивченні механізму дії гербіцидів. Матеріали Всеукраїнської конференції молодих учених. Ч. 1. Умань, 2008. С. 17–19. URL: <http://lib.udau.edu.ua/handle/123456789/1863> (дата звернення: 02.02.2022).
188. Волкогон В. В. Експериментальна ґрунтова мікробіологія : монографія. Київ : Аграрна наука, 2010. 464 с.
189. Звягинцев Д. Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии. Москва : Издательство МГУ, 1991. 304 с.
190. Методики випробування і застосування пестицидів / Трибель С. О. та ін. ; за ред. С. О. Трибеля. Київ, 2001. 448 с.
191. ДСТУ ISO 520:2015. Зернові і бобові. Визначення маси 1000 зерен. Київ. 2015. 10 с.
192. ГОСТ 10846-91. Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка. М.: Издательство стандартов. 1992. 8 с.
193. Медведовський О. К., Іваненко П. І. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві. Київ, 1988. 208 с.
194. Єщенко В. О., Копитко П. Г., Опришко В. П., Костогриз П. В. Основи наукових досліджень в агрономії; За ред. В. О. Єщенка. К.: Дія. 2005. 288 с.
195. Edreva A. Generation and scavenging of reactive oxygen species in chloroplasts: a submolecular approach. *Agriculture, Ecosystem & Environment*. 2005. Vol. 106, № 2–3. P. 119–133. DOI: 10.1016/j.agee.2004.10.022

196. Dietz K. J. Thiol-Based Peroxidases and Ascorbate Peroxidases: Why Plants Rely on Multiple Peroxidase Systems in the Photosynthesizing Chloroplast? *Molecules and Cells*. 2016. Vol. 39, № 1. P. 20–25. DOI: 10.14348/molcells.2016.2324
197. Muller F. The nature and mechanisms of superoxide production by the electron transport chain: its relevance to aging. *Journal of the American Aging Association*. 2000. Vol. 23, № 4. P. 227–253. DOI: 10.1007/s11357-000-0022-9
198. Han D., Williams E., Cadenas E. Mitochondrial respiratory chain-dependent generation of superoxide anion and its release into the intermembrane space. *The Biochemical Journal*. 2001. Vol. 353. P. 411–416. DOI: 10.1042/bj3530411
199. Oxidative Stress in Plants / D. Inzé, M. V. Montagu (Eds). London: Taylor & Francis Inc., 2002. 381 p.
200. Tripathy B. C., Oelmüller R. Reactive oxygen species generation and signaling in plants. *Plant Signaling & Behavior*. 2012. Vol. 7, № 12. P. 1621–1633. DOI: 10.4161/psb.22455
201. Caverzan A., Piasecki C. Chavarria G., Stewart C. N., Vargas L. Defenses against ROS in crops and weeds: The effects of interference and herbicides. *International journal of molecular sciences*. 2019. Vol. 20, № 5. DOI: 10.3390/ijms20051086
202. Glyphosate-induced oxidative stress in rice leaves revealed by proteomic approach / N. Ahsan et al. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2008. Vol. 46. P. 1062–1070. DOI: 10.1016/j.plaphy.2008.07.002
203. Halliwell B. Antioxidant defence mechanisms: from the beginning to the end (of the beginning). *Free radical research*. 1999. Vol. 31, № 4. P. 261–272.
204. Arora A., Sairam R. K., Srivastava G. C. Oxidative stress and antioxidative system in plants. *Current Science*. 2002. Vol. 82, № 10. P. 1227–1238.
205. Лихолат Ю. В., Россихіна-Галича Г. С. Редокс-реакція насіння кукурудзи Оржиця 237МВ на дію гербіцидів. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2015. № 3. С. 50–53.

206. Карпенко В. П., Притуляк Р. М., Даценко А. А., Івасюк Ю. І. Фізіолого-біохімічні механізми інтегрованої дії гербіцидів і регуляторів росту рослин. *Вісник Уманського НУС*. 2016. № 1. С. 72–75.

207. Герасько Т. В., Покопцева Л. А., Тодорова Л. В. Активність антиоксидантних ферментів зернівок пшениці озимої і сім'янок соняшнику за передпосівної обробки насіння дистинолом. *Наукові доповіді НУБіП*. 2011. № 7, т. 23. URL: <http://nd.nubip.edu.ua/2011-1/11gtvpsd.pdf> (дата звернення 30.07.2021).

208. Россихіна-Галича Г. Компоненти прооксидантно-антиоксидантної системи вегетативних органів рослин кукурудзи як показники їх реакції на дію гербіцидів. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*. 2013. Вип. 62. С. 315–324.

209. Plant Glutathione Transferases in Abiotic Stress Response and Herbicide Resistance / E. Chronopoulou et al. *Glutathione in Plant Growth, Development, and Stress Tolerance*. 2017. P. 215–233. DOI: 10.1007/978-3-319-66682-2_10.

210. Rea P. A. Plant ATP-binding cassette transporters. *Annual review of plant biology*. 2007. Vol. 58. P. 347–375. DOI: 10.1146/annurev.arplant.57.032905.105406

211. Schröder P., Scheer C. E., Diekmann F., Stampfl A. How plants cope with foreign compounds. Translocation of xenobiotic glutathione conjugates in roots of barley (*Hordeum vulgare*). *Environmental science and pollution research international*. 2007. Vol. 14, № 2. P. 114–122. DOI: 10.1065/espr2006.10.352

212. Pang S., Duan L., Liu Z., Song X., Li X., Wang C. Co-Induction of a Glutathione-S-transferase, a Glutathione Transporter and an ABC Transporter in Maize by Xenobiotics. *PLoS ONE*. 2012. Vol. 7, № 7. DOI: 10.1371/journal.pone.0040712

213. Duhoux A., Carrère S., Gouzy J., Bonin L., Délye C. RNA-Seq analysis of rye-grass transcriptomic response to an herbicide inhibiting acetolactate-synthase identifies transcripts linked to non-target-site-based resistance. *Plant molecular biology*. 2015. Vol. 87, № 4-5. P. 473–487. DOI: 10.1007/s11103-015-0292-3

214. Duhoux A., Carrère S., Duhoux A., Délye C. Transcriptional markers enable identification of rye-grass (*Lolium* sp.) plants with non-target-site-based

resistance to herbicides inhibiting acetolactate-synthase. *Plant science : an international journal of experimental plant biology*. 2017. Vol. 257. P. 22–36. DOI: 10.1016/j.plantsci.2017.01.009

215. Jiang L., Yang H. Prometryne-induced oxidative stress and impact on antioxidant enzymes in wheat. *Ecotoxicology and environmental safety*. 2009. Vol. 72, № 6. P. 1687–1693. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2009.04.025

216. Dixon D., Cole D. J., Edwards R. Characterisation of Multiple Glutathione Transferases Containing the GST I Subunit with Activities toward Herbicide Substrates in Maize (*Zea mays*). *Pesticide Science*. 1999. Vol. 50, № 1. P. 72–82. DOI: 10.1002/(SICI)1096-9063(199705)50:1<72::AID-PS553>3.0.CO;2-Z

217. Alché J. D. A concise appraisal of lipid oxidation and lipoxidation in higher plants. *Redox Biology*. 2019. Vol. 23. DOI: 10.1016/j.redox.2019.101136

218. Johanson T., Mann R., Schmitzer P. Triazolopyrimidines. *Modern Crop Protection Compounds* / W. Krämer & U. Schirmer (Eds.). Weinheim, 2007. P. 93–114.

219. Werck-Reichhart D., Hehn A., Didierjean L. Cytochromes P450 for engineering herbicide tolerance. *Trends in plant science*. 2000. Vol. 5, № 3. P. 116–123.

220. Гришко В. М., Демура Т. А. Вплив регуляторів росту на стійкість проростків кукурудзи, розвиток процесів пероксидного окиснення ліпідів і вміст аскорбінової кислоти за сумісної дії кадмію і нікелю. *Физиология и биохимия культурных растений*. 2009. т. 41, № 4. С. 335–343.

221. KEGG ENZYME: 1.11.1.6. URL: https://www.genome.jp/dbget-bin/www_bget?ec:1.11.1.6 (дата звернення 18.02.2022).

222. KEGG ENZYME: 1.11.1.7. URL: https://www.genome.jp/dbget-bin/www_bget?enzyme+1.11.1.7 (дата звернення 18.02.2022).

223. KEGG ENZYME: 1.14.18.1. URL: https://www.genome.jp/dbget-bin/www_bget?ec:1.14.18.1 (дата звернення 18.02.2022).

224. Леонтьюк І. Б., Голодрига О. В., Заболотний О. І. Вплив інокуляції насіння на активність антиоксидантних ферментів класу оксидоредуктаз

пшениці озимої та сої. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2014. № 2. С. 90–95.

225. Грицаєнко З. М., Заболотна А. В. Активність ферментів антиоксидантних систем в рослинах пшениці ярої при застосуванні гербіциду Лінтуру та стимулятора росту Емістиму С. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. 2010. Вип. 73, ч. 1. С. 24–29.

226. Карпенко В. П., Шутко С. С. Ферментативна активність рослин соризу за використання гербіциду і регулятора росту рослин. *Вісник Уманського НУС*. 2018. № 2. С. 68–72. DOI: 10.31395/2310-0478-2018-21-68-72

227. Карпенко В. П. Біологічне обґрунтування інтегрованого застосування гербіцидів і рістрегуляторів на ячмені ярому : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. с.-г. наук : 03.00.12. Умань, 2011. 44 с.

228. Arus J. L., Tapia L., Alegre L. The effect of Changing Sowing Date on Leaf Structure and Gas Exchange Characteristics of Wheat Flag Leaves Grown under Mediterranean Climate Conditions. *Journal of Experimental Botany*. 1989. Vol. 40, № 6. P. 639–646. DOI: 10.1093/jxb/40.6.639

229. Physiological and Anatomical Mechanisms in Wheat to Cope with Salt Stress Induced by Seawater / R. M. A. Nassar et al. *Plants*. 2020. Vol. 9, № 2. DOI: 10.3390/plants9020237

230. Dawood M. G., Taie H. A. A., Nassar R. M. A., Abdelhamid M. T., Schmidhalter U. The changes induced in the physiological, biochemical and anatomical structure of *Vicia faba* by the exogenous application of proline under seawater stress. *South African Journal of Botany*. 2014. Vol. 93. P. 54–63. DOI: 10.1016/j.sajb.2014.03.002

231. DiTomaso J. M. Barriers to Foliar Penetration and Uptake of Herbicides. *Proceedings of the California Weed Science Society*. 1999. Vol. 51. P. 150–155.

232. Currier H., Dybing C. Foliar Penetration of Herbicides: Review and Present Status. *Weeds*. 1959. Vol. 7. P. 195–213.

233. Ludwig-Müller J., Rattunde R., Rößler S., Liedel K., Benade F., Rost A., Becker J. Two auxinic herbicides affect *Brassica napus* plant hormone levels and

induce molecular changes in transcription. *Biomolecules*. 2021. № 11. DOI: 10.3390/biom11081153

234. Vranješ F., Božić D., Rančić D., Anđelković A., Vrbničanin S. Study of the anatomical structure of *Chenopodium album* leaves in relation to susceptibility to herbicides. *Acta herbologica*. 2017. Vol. 26, № 1. P. 31–39. DOI: 10.5937/ActaHerb1701031V

235. Yilmaz G., Dane F. Phytotoxicity Induced by Herbicide and Sufractant on stomata and epicuticular wax of Wheat. *Romanian Biotechnological Letters*. 2012. Vol. 17, № 6. P. 7757–7765. DOI:

236. Заболотний О. І., Заболотна А. В., Голодрига О. В., Розборська Л. В., Леонтюк І. Б. Розміри листкової поверхні та особливості анатомічної структури епідермісу кукурудзи за умов застосування гербіциду Бату, в. г. *Таврійський науковий вісник*. 2019. Вип. 107. С. 45–51. DOI: 10.32851/2226-0099.2019.107.6

237. Заболотний О. І. Особливості формування анатомічної структури епідермісу листків пшениці озимої за дії фізіологічно активних речовин. *Nowoczesna nauka: teoria i praktyka : Mater. V Międz. Konf. Nauk.-Prakt. Poznań : Nowa nauka*, 2021. S. 124–125. URL: <http://dSPACE.pdaa.edu.ua:8080/bitstream/123456789/10445/1/MATERIA%C5%81Y-20.03.21.pdf> (дата звернення 20.02.2022).

238. Карпенко В. П., Притуляк Р. М. Анатомо-морфологічна будова листкового апарату ячменю ярого за дії гербіциду і рістрегуляторів. *Сучасна фітоморфологія : матеріали 1-ї міжнародної наукової конференції з морфології рослин (24–26 квітня 2012 р., Львів. Україна) Ч. 2. Львів : Сучасна Фітоморфологія*, 2012. С. 253–255.

239. Грицаєнко З. М., Даценко А. А. Анатомічна структура епідермісу листкового апарату гречки за дії біологічних препаратів. *Вісник Уманського НУС*. 2014. № 1. С. 65–68.

240. Король Л. В. Формування фотосинтетичного апарату гороху залежно від впливу добрив та регуляторів росту в умовах Лісостепу України. *Агробіологія*. 2017. № 1. 121–127.

241. Онуфран Л. І., Нетіс В. І. Поглинання та використання сонячної енергії посівами сої за різних умов вирощування. *Вісник аграрної науки причорномор'я*. 2017. Вип. 2, № 94. С. 107–115.

242. Рожков А. О., Гутянський Р. А. Динаміка формування площі листя рослин ячменю ярого залежно від впливу норми висіву та позакореневих підживлень. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2017. № 4. С. 32–37.

243. Міхеєва О. О., Рожков А. О., Міхеєв В. Г. Кореляційна залежність між площею листової поверхні та погодними умовами. *Сучасний стан науки в сільському господарстві та природокористуванні: теорія і практика* : Міжнародна наукова інтернет-конференція (20 листопада 2020 р.). Тернопіль, 2020. С. 112–115.

244. Роль біометричних показників сільгоспкультур в екологічно-гігієнічній оцінці та експертизі технології застосування пестицидів / В. А. Закордонець та ін. *Современные проблемы токсикологии*. 2008. № 1. С. 46–52.

245. Уліч Л. І., Уліч О. Л. Вплив висоти рослин сортів пшениці озимої на стійкість до вилягання і продуктивність посівів. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2006. № 4. С. 55–64. DOI: 10.21498/2518-1017.4.2006.68029.

246. Орлюк А. П., Гончар О. М., Усик Л. О. Генетичні маркери пшениці. Київ : Алефа, 2006. 144 с.

247. Шкатула Ю. М., Вотик В. О. Вплив гербіцидів і біологічних препаратів на ростові процеси та зернову продуктивність нуту. *Сільське господарство та лісівництво*. 2022. № 25. С. 184–197. DOI: 10.37128/2707-5826-2022-2-14

248. Ковалено О. А., Чернова А. В. Вплив норм висіву насіння, біопрепаратів і мікродобрива на формування висоти рослин сортів і гібридів сорго цукрового в умовах півдня України. *Таврійський науковий вісник*. 2018. № 101. С. 54–62.

249. Заболотний О. І., Заболотна А. В., Леонтьук І. Б., Розборська Л. В., Голодрига О. В. Рівень забур'яненості та висота рослин кукурудзи при

застосуванні гербіциду Еталон. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. 2017. Вип. 90. С. 179–188.

250. Kaczmarek S. A study on *Sorghum bicolor* (L.) Moench response to split application of herbicides. *Journal of Plant Protection Research*. 2017. Vol. 57, № 2. P. 152–157. DOI: 10.1515/jppr-2017-0021

251. Карпенко В. П., Коробко О. О. Вплив біологічно активних речовин на ростові процеси рослин нуту в умовах Правобережного Лісостепу України. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2018. Вип. 29. С. 17–24.

252. Грицаєнко З. М., Притуляк Р. М. Вплив гербіцидів і регулятора росту Біолану на ростові процеси озимого тритикале. *Таврійський науковий вісник*. 2007. Вип. 52, ч. 2. С. 16–21.

253. Карпенко В. П., Притуляк Р. М. Фізіологічні зміни в рослинах ячменю ярого за дії біологічно активних речовин. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2014. № 1. С. 60–65.

254. Karpenko V., Kateryna M. Productivity of hullless oats under the effect of microbiological preparation and a plant growth regulator. *Acta Scientiarum Polonorum. Agricultura*. 2021. Vol. 20, № 3. P. 113–122. DOI: 10.37660/aspagr.2021.20.3.3

255. Береза Б. В. Фотосинтез і продуктивність рослин. *Актуальні проблеми охорони рослинного світу та відновлення біорізномайття* : зб. наук. праць Всеук. студ. наук.-практ. інтернет конф. 15 травня 2020 р. Кам'янець-Подільський : ПДАТУ, 2020. URL: <http://188.190.33.55:7980/jspui/handle/123456789/8189> (дата звернення: 30.03.2022)

256. Zelitch I. The close relation between net photosynthesis and crop yield. *BioScience*. 1982. Vol. 32, № 10. P. 796–802. DOI: 10.2307/1308973

257. Roca M., Chen K., Pérez-Gálvez A. Chlorophylls. *Handbook on Natural Pigments in Food and Beverages*. 2016. P. 125–158. DOI: 10.1016/b978-0-08-100371-8.00006-3

258. Kutasy E., Csajbók J., Hunyadi Borbély E. Relations Between Yield and Photosynthetic Activity of Winter Wheat Varieties. *Cereal Research Communications*. 2005. Vol. 33, № 1. P. 173–176.

259. Langaro A. C., Agostinetto D., Oliveira C., Silva J. D. G., Bruno M. S. Biochemical and physiological changes in rice plants due to the application of herbicides. *Planta Daninha*. 2016. Vol. 34, №2. P. 277–289.

260. Devlin R. M., Saras C. N., Kisiel M. J., Kostusiak A. S. Influence of fluridone on chlorophyll content of wheat (*Triticum aestivum*) and corn (*Zea mays*). *Weed Science*. 1978. Vol. 26, № 5, P. 432–433. DOI: 10.1017/S0043174500050268

261. He H., Zhiting X., Minjing L., Shuanglian X., Shenglan L., Mba F. O. Effect of Cadmium and Herbicides on the Growth, Chlorophyll and Soluble Sugar Content in Rice Seedlings. *Wuhan University Journal of Natural Sciences*. 2006. Vol. 11, № 3, P. 742–748. DOI: 10.1007/BF02836701

262. Hirasawa T., Hsiao T. C. Some characteristics of reduced leaf photosynthesis at midday in maize growing in the field. *Field Crops Research*. 1999. Vol. 62, №1. P. 53–62.

263. Фототсинтез та врожайність зернових культур. *Пропозиція* : веб-сайт. URL: <https://propozitsiya.com/ua/fotosintez-ta-vrozhaynist-zernovih-kultur> (дата звернення 28.03.2022).

264. Singh G., Wright D. Effects of herbicides on nodulation, symbiotic nitrogen fixation, growth and yield of pea (*Pisum sativum*). *The journal of agricultural science*. 1999. Vol. 133, № 1. P. 21–30. DOI: 10.1017/S0021859699006735

265. Todorova D., Aleksandrov V., Anev S., Sergiev I. Photosynthesis Alternations in Wheat Plants Induced by Herbicide, Soil Drought or Flooding. *Agronomy*. 2022. Vol. 12, № 2. DOI: 10.3390/agronomy12020390

266. Ткаліч Ю. І., Бокун О. І. Ефективність використання вологи, поживних речовин та світла посівами кукурудзи залежно від хімічних та механічних засобів знищення бур'янів. *Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2013. № 4. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nd_2013_4_7 (дата звернення: 10.03.2022).

267. Розборська Л. В., Заболотний О. І., Леонтюк І. Б., Парубок М. І., Даценко А. А. Особливості хімічного захисту посівів пшениці озимої з метою підвищення її продуктивності в умовах екологізації. *Таврійський науковий вісник*. 2021. № 118. С. 359–368. DOI: 10.32851/2226-0099.2021.118.46

268. Щербаков В. Я., Грицев Д. А. Продуктивність гібридів соняшника залежно від комбінацій внесення гербіцидів. *Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН*. 2014. № 20. С. 210–217.

269. Заболотна А. В., Заболотний О. І., Даценко А. А. Чиста продуктивність фотосинтезу та врожайність кукурудзи за умов використання гербіциду Стеллар. *Зрошуване землеробство. Збірник наукових праць*. 2021. Вип. 75. С. 29–33. DOI: 10.32848/0135-2369.2021.75.5

270. Черняк М. О. Формування фотосинтетичних параметрів посівів пшениці озимої за застосування позакореневого підживлення та гербіцидів. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2021. Вип. 29. С. 194–202. DOI: 10.47414/np.29.2021.249231

271. Грицаєнко З. М., Заболотна А. В. Інтенсивність дихання рослин і продуктивність фотосинтезу пшениці ярої залежно від дії гербіциду і рістрегулятора. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2010. № 2. С. 21–23.

272. Карпенко В. П., Шутко С. С. Фотосинтетична продуктивність рослин соризу за використання гербіциду і регулятора росту рослин. *Тернопільські біологічні читання - Ternopil Bioscience – 2018* : матеріали Всеукр. наук.-практ. конф., присвяч. 20-річчю заснування Голицького біостаніонару ТНПУ ім. В. Гнатюка, 19–21 квіт. 2018 р. Тернопіль : Вектор, 2018. С. 104–107.

273. Заболотний О. І., Леонтюк І. Б., Голодрига О. В., Заболотна А. В. Фотосинтетична продуктивність кукурудзи при застосуванні гербіциду Трофі 90. *Вісник Уманського НУС*. 2014. № 2. С. 85–89.

274. Грицаєнко З. М., Даценко А. А. Фотосинтетична продуктивність посівів гречки за дії біологічних препаратів. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2015. Вип. 3, т. 86. С. 100–106.

275. Lantha P. C., Gopal H. Effect of Herbicides on Soil Microorganisms. *Indian Journal of Weed Science*. 2010. Vol. 42, № 3 & 4. P. 217–222.
276. Gigliotti C., Allievi L., Salardi C., Ferrari F., Farini A. Microbial ecotoxicity and persistence in the soil of the herbicide bensulfuron methyl. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*. 1998. Vol. 33. P. 381–398.
277. Domsch K. H., Jagnow G., Anderson K. H. An ecological concept for the assessment of side effects of agrochemicals on soil microflora. *Residue Reviews*. 1983. Vol. 86. P. 65–105. DOI: 10.1007/978-1-4612-5473-7_2
278. Milošević N. A., Govedarica M. M. Effects of herbicides on microbiological properties of soil. *Matica Srpska Proceedings for Natural Sciences*. 2002. Vol. 102. P. 5–21. DOI: 10.2298/ZMSPN0201005M
279. Impact of Agrichemicals on Soil Microbiota and Management: A Review / R. S. Meena et al. *Land*. 2020. Vol. 9, № 34. DOI: 10.3390/land9020034
280. Gregory P. J. Roots, rhizosphere and soil: the route to a better understanding of soil science? *European Journal of Soil Science*. 2006. Vol. 57. P. 2–12. DOI: 10.1111/j.1365-2389.2005.00778.x
281. Singh S., Gupta R., Sharma S. Effects of chemical and biological pesticides on plant growth parameters and rhizospheric bacterial community structure in *Vigna radiata*. *Journal of Hazardous Materials*. 2015. Vol. 291. P. 102–110. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2015.02.053
282. Заболотний О. І., Заболотна А. В. Загальна чисельність ризосферної мікробіоти рослин кукурудзи при застосуванні гербіциду Мерлін. *Развитие науки в XXI веке: сборник докладов международных конференций*. Донецк, 2013. С. 39–43.
283. Грицаєнко З. М., Заболотний О. І. Вплив різних норм гербіциду Майстер на загальну чисельність мікробіоти у ризосфері рослин кукурудзи. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2013. № 1-2. С. 35–39.

284. Карпенко В. П., Притуляк Р. М. Чисельність ризосферних бактерій ячменю ярого за дії гербіциду і рістрегуляторів. *Агробіологія*. 2012. Вип. 7, № 91. С. 49–52.

285. Биологическая фиксация азота: асоциативная азотфиксация : в 4 томах / С. Я. Коць и др. Киев : Логос, 2011. Т. 3. 404 с.

286. Основи біологізації вирощування сої : рекомендації (монографія) / за ред. В. П. Карпенка. Умань : Видавець «Сочінський», 2017. 148 с.

287. Грицаєнко З. М., Прудивус Л. А. Вплив гербіциду Лонтрел Гранд і біологічних препаратів за різних способів застосування на чисельність фосфатмобілізуючих мікроорганізмів у ризосфері ріпаку ярого. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва «Основи біологічного рослинництва в сучасному землеробстві»*. 2011. С. 98–102. URL: <http://lib.udau.edu.ua/handle/123456789/1446> (дата звернення 08.05.2022).

288. Карпенко В. П., Бойко Я. О., Шутко С. С., Притуляк Р. М. Активність ризосферної мікробіоти гороху озимого за комбінованої дії гербіциду і біологічних препаратів. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2020. № 2. С. 52–55. DOI: 10.31395/2310-0478-2020-2-52-55

289. Мікроміцети. *Вікіпедія* : веб-сайт. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Мікроміцети> (дата звернення 09.05.2022).

290. Cannon P. F., Sutton B. C. Microfungi on Wood and Plant Debris. *Biodiversity of Fungi*. 2004. P. 217–239. DOI: 10.1016/B978-012509551-8/50014-3.

291. Voronina E., Sidorova I. Rhizosphere, Mycorrhizosphere and Hyphosphere as Unique Niches for Soil-Inhabiting Bacteria and Micromycetes. *Advances in PGPR Research*. / Edited by H. B. Singh, B. K. Sarma, C. Keswani. London, 2017. P. 165–186.

292. The role of fungi in weathering / E. Hoffland et al. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2004. Vol. 2. P. 258–264.

293. Whitelaw M. A. Growth promotion of plants inoculated with phosphate-solubilizing fungi. *Advances in Agronomy*. 2000. Vol. 69. P. 99–151.

294. Основи біологізації в технологіях вирощування сої / Карпенко В. П. та ін. ; за ред. В. П. Карпенка. Умань : Видавець Сочінський М. М., 2017. 148 с.
295. Latha P. C., Gopal H. Influence of herbicides on cellulolytic, proteolytic and phosphate solubilizing bacteria. *International Journal of Plant Protection*. 2010. Vol. 3, № 1. P. 83–88.
296. Hoffman B. M., Lukoyanov D., Yang, Z. Y., Dean D. R., Seefeldt L. C. Mechanism on Nitrogen Fixation by Nitrogenase: The Next Stage. *Chemical Reviews*. 2014. Vol. 114. P. 4041–4062. DOI: 10.1021/cr400641x
297. Mancinelli R. L. The nature of nitrogen: an overview. *Life support & biosphere science: international journal of earth space*. 1996. Vol. 3, № 1-2. P. 17–24.
298. Nitrogen Fixing Azotobacter Species as Potential Soil Biological Enhancers for Crop Nutrition and Yield Stability / A. Aasfar et al. *Frontiers in Microbiology*. 2021. Vol. 12. DOI: 10.3389/fmicb.2021.628379
299. Azcón R., Barea J. M. Synthesis of auxins, gibberellins and cytokinins by *Azotobacter vinelandii* and *Azotobacter beijerinckii* related to effects produced on tomato plants. *Plant soil*. 1975. Vol. 43. P. 609–619. DOI: 10.1007/BF01928522
300. Patil S. V., Mohite B. V., Patil C. D., Koli S. H., Borase H. P., Patil V. S. *Azotobacter*. *Beneficial Microbes in Agro-Ecology: Bacteria and Fungi* / eds. N. Amaresan, M. S. Kumar, K. Annapurna, K. Kumar, A. Sankaranarayanan. Berlin : Springer, 2020. P. 397–426. DOI: B978-0-12-823414-3.00019-8
301. Nosrati R., Owlia P., Saderi H., Rasooli I., Malboobi A. M. Phosphate solubilizing characteristics of efficient nitrogen fixing soil *Azotobacter* strains. *Iranian Journal of Microbiology*. 2014. Vol. 6, № 4. P. 285–295.
302. El-Badry M. A., Elbarbary T. A., Ibrahim I. A., Abdel-Fatah Y. M. *Azotobacter vinelandii* evaluation and optimization of Abu Tartur Egyptian phosphate ore dissolution. *Saudi Journal of Pathology and Microbiology*. 2016. Vol. 1, № 3. P. 80–93. DOI: 10.21276/sjpm.2016.1.3.2
303. Грицаєнко З. М., Оратівська С. А. Ріст асоціативних азотфіксаторів у ризосфері гороху залежно від різних способів застосування гербіциду Пульсар

40 і регулятора росту Біолан. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. 2011. С. 111–116. URL: <http://lib.udau.edu.ua/handle/123456789/1447> (дата звернення: 10.05.2022).

304. Костюченко Н. І., Лях В. О. Вплив гербіциду імідазолінонової групи на стан ґрунтової мікробіоти при вирощуванні соняшника на богарі. *Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН*. 2018. № 25. С. 116–124.

305. Plant growth promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. *Genetics and Molecular Biology*. 2015. Vol. 38, № 4. P. 401–419. DOI: 10.1590/S1415-475738420150053

306. Aldrich R. Predicting Crop Yield Reductions from Weeds. *Weed Technology*. 1987. Vol. 1, № 3. P. 199–206. DOI: 10.1017/S0890037X00029535

307. Khaliq A., Matloob A. Weed crop competition period in three fine rice cultivars under direct seeded rice culture. *Pakistan Journal of Science*. 2011. Vol. 17, № 3. P. 229–243.

308. Modelling Crop-Weed Interactions / Edited by M. J. Kropff, H. H. van Laar. Exeter : BPCC Wheatons Ltd, 1993. 271 p.

309. Petit S., Boursault A., Le Guilloux M., Munier-Jolain N., Reboud X. Weeds in agricultural landscapes. *Agronomy for sustainable development*. 2011. Vol. 31. P. 309–317. DOI: 10.1051/agro/2010020

310. Swanton C. J., Harker K. N., Anderson R. L. Crop Losses Due to Weeds in Canada. *Weed Technology*. 1993. Vol. 7, № 2. P. 537–542.

311. Olszyk D. M., Burdick C. A., Pfleege T. G., Lee E. H., Watrud L. S. Assessing the Risks to Non-Target Terrestrial Plants from Herbicides. *Journal of Agricultural Meteorology*. 2004. Vol. 60, № 4. P. 221–242.

312. dos Santos Araújo R., Bernardes R. C., Martins G. F. A mixture containing the herbicides Mesotrione and Atrazine imposes toxicological risks on workers of Partamona helleri. *Science of The Total Environment*. 2021. Vol. 763. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.142980

313. Brock T. C. M., Lahr J., Van den Brink P. J. Ecological risks of pesticides in freshwater ecosystems, part 1: herbicides. Utrecht, 2000. 124 p.

314. Herbicides and Cancer / H. I. Morrison et al. *Journal of the National Cancer Institute*. 1992. Vol. 84, № 24. P. 1866–1874. DOI: 10.1093/jnci/84.24.1866
315. Іващенко О. О. Біологізація аграрного виробництва. *Вісник аграрної науки*. 2016. Т. 94, № 12. С. 58–62. DOI: 10.31073/agrovisnyk201612-13
316. Карпенко В. П., Коробко О. О. Вплив гербіциду і біологічних препаратів на забур'яненість і густоту посівів нуту. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2018. № 4. С. 51–56.
317. Окрушко С. Є. Оцінка впливу гербіцидів та PPP Зеастимуліну на забур'яненість та урожайність кукурудзи. *Використання інноваційних технологій в агрономії* : мат. міжн. наук.-практ. конф. Вінниця : ВНАУ, 2020. URL: <http://socrates.vsau.org/repository/getfile.php/25218.pdf> (дата звернення 15.05.2022).
318. Tkalic Yu. I., Tsilyurik A.I., Kozachenko V.I. Effectiveness of herbicides and plant growth regulators towards winter wheat crops based on trash cover in the steppe of Ukraine. *Vladimir agricolist*. 2019. Vol. 1, № 87. P. 25–30. DOI: 10.24411/2225-2584-2019-10050.
319. Задорожний В. С., Карасевич В. В., Свитко С. М., Задорожний А. В., Сокульський М. А. Ефективність гербіцидів у системі захисту посівів кукурудзи від бур'янів. *Корми і кормовиробництво*. 2019. Вип. 88. С. 63–70. DOI: 10.31073/kormovyrobnytstvo201988-09
320. Матюха В. Л., Хромих Н. О., Россихіна-Галича Г. С., Лашко В. В. Зміни структури врожаю та якості зерна пшениці озимої за гербіцидної обробки. *Карантин і захист рослин*. 2012. № 12. С. 11–12.
321. Бур'яни та заходи боротьби з ними / Манько Ю. П., Веселовський І. В., Орел Л. В., Танчик С. П. Київ : Учбово-методичний центр Мінагропрому України, 1988. 240 с.
322. Milberg P., Hallgren E. Yield loss due to weeds in cereals and its large-scale variability in sweden. *Field Cro. Res.* 2004. № 86. P. 199–209.

323. Zand E., Baghestani M. A., Soufizadeh S., Eskandari A., Azar R. P., Veysi M. Evaluation of some newly registered herbicides for weed control in wheat (*Triticum aestivum* L.) in Iran. *Crop Protection*. 2007. № 26. P. 1349–1358.
324. Rao A. N., Chauhan B. S. Weeds and Weed Management in India – A Review. Chapter 4. *Weed Science in the Asian-Pacific Region*. 2015. P. 87–118.
325. Weiner J., Griepentrog H. W., Kristensen L. Suppression of weeds by spring wheat (*Triticum aestivum*) increases with crop density and spatial uniformity. *J. App. Ecol.* 2001. 38(4). P. 784–790.
326. Mishra J. S., Singh V. P., Rao S. S. Bioefficacy and phytotoxicity of pre- and post-emergence herbicides in grain sorghum. *Indian Journal of Weed Science*. 2016. Vol. 48, № 1. P. 70–73. DOI: 10.5958/0974-8164.2016.00016.2
327. Карпенко В. П., Коробко О. О. Вплив гербіциду і біологічних препаратів на фотосинтетичну продуктивність і врожайність нуту. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2018. Вип. 4. С. 48–54. DOI: 10.31521/2313-092X/2018-4(100)-7
328. Грицаєнко З. М., Притуляк Р. М. Вплив гербіцидів різних хімічних класів і регулятора росту рослин на врожайність та якість зерна тритикале озимого. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. 2011. С. 248–252.
329. Корхова М.М. Урожайність та якість зерна пшениці озимої за вирощування в умовах Південного Степу України. *Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин*. 2014. № 4. С.82–86.
330. Герман М. М., Маренич М. М. Якість зерна пшениці м'якої озимої та шляхи її підвищення. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2013. № 4. С. 19–22.
331. Khan I., Hassan G., Khan M. I. Effect of interaction between herbicides and oat genotypes on yield and yield components of wheat. *Sarhad J. Agric.* 2007. 24(1). P. 93–99.
332. Кір'ян В. М. Оцінка вихідного матеріалу пшениці озимої м'якої за ознаками якості зерна. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2010. № 2. С. 35–40.

333. Технології вирощування малопоширених перспективних культур комплексного використання (Науково-практичні рекомендації щодо комплексу технологічних заходів) / Каленська С. М. та ін. Київ : ЦП «Компринт», 2017. 82 с.

334. Базалій В. В., Бойко М. О., Алмашова В. С., Онищенко С. О. Рослинницькі аспекти та агроекологічні засади вирощування сорго зернового на Півдні України. *Таврійський науковий вісник*. 2015. Вип. 91. С. 3–6.

335. Материнська О. А. Економічна ефективність виробництва зернових культур в сільськогосподарських підприємствах. *Ефективна економіка*. 2013. № 11. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=2521> (дата звернення: 01.06.2022).

336. Сорго – надійна альтернатива зерновим культурам в умовах Степу. *Агрономія сьогодні – практичні поради аграріям* : веб-сайт. URL: <https://agronomy.com.ua/statti/nishevi-kultury/288-sorho-nadiina-alternatyva-zernovym-kulturam-v-umovakh-stepu.html> (дата звернення 01.06.2022).

337. Іващенко О. О. Гербологія – погляд у майбутнє. *Рослини-бур'яни: особливості біології та раціональні системи їх контролювання в посівах сільськогосподарських культур* : мат. 7-ї науково-теоретичної конф. Укр. наук. тов. гербологів. Київ : Колобіг, 2010. С. 3–10.

338. Вплив забур'яненості посівів на продуктивність і врожайність кукурудзи / Л. П. Матюха та ін. *Бюлетень Інституту зернового господарства*. 2010. № 39. С. 131–136.

339. Зуза В. С., Гутянський Р. А. Ефективність гербіцидів у посівах кукурудзи на зерно за коренепаростково-злаковооднорічного типу забур'яненості. *Вісник ЦНЗ АПВ Харківської області*. 2016. Вип. 20. С. 25–32.

340. Нікітенко М. П., Аверчев О. В. Вирощування проса в умовах півдня України. *Таврійський науковий вісник*. 2020. Вип. 116, ч. 2. С. 47–55. DOI: 10.32851/2226-0099.2020.116.2.7

341. Заболотний О. Економічна ефективність застосування гербіциду Трофі 90 у посівах кукурудзи. *Формування стратегії науково-технічного,*

екологічного і соціального економічного розвитку суспільства : Матеріали Міжнародної наукової-практичної інтернет конференції. Тернопіль, 2012. С. 35–37. URL: <https://lib.udau.edu.ua/handle/123456789/2718> (дата звернення: 03.06.2022).

342. Сміх В. М. Особливості захисту посівів нуту від бур'янів та економічна ефективність його вирощування. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2018. № 26. С. 169–176. DOI: 10.47414/nr.26.2018.211220

343. Заєць С. О., Фундират К. С. Економічна ефективність застосування біологічних препаратів в системі захисту пшениці озимої. *Перспективні напрями та інноваційні досягнення аграрної науки : мат. Всеук. наук.-практ. інтернет-конференції, присв. 145-річчю від заснування кафедри ботаніки та захисту рослин*. Херсон : ДВНЗ «ХДАУ», 2019. С. 73–76.

344. Сухіна Д. В., Каленська С. М. Вплив біостимулятора росту рослин «Фітоспектр» на процеси формування врожайності сортів пшениці озимої. *Тенденції та виклики сучасної аграрної науки: теорія і практика : III міжнародна наукова інтернет-конференція*. Київ, 2021. С. 277–279.

345. Карпенко В. П., Красноштан В. І. Вміст пігментів у листках сорго зернового у листках сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD, регулятора росту рослин Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2020. № 2, С. 14–18. DOI: 10.31395/2310-0478-2020-2-14-18

346. Карпенко В. П., Красноштан В. І., Притуляк Р. М., Мостов'як І. І., Гнатюк М. Г. Активність антиоксидантних ферментів у рослинах сорго зернового за дії гербіциду, регулятора росту рослин і біопрепарату. *Збалансоване природокористування*. 2020. № 4. С. 178–185. DOI: 10.33730/2310-4678.4.2020.226655

347. Krasnoshtan V., Karpenko. V., Prytuliak R., Leontiuk I., Datsenko I. Lipoperoxidation in grain sorghum under the influence of herbicides, phytohormones,

and biopreparation. *Scientific Horizons*. 2021. Vol. 24, № 9. P. 36—43. DOI: 10.48077/scihor.24(9).2021.36-43

348. Красноштан В., Карпенко В. Активність ферментів класу оксидоредуктаз у проростаючому насінні сорго зернового за використання регулятора росту рослин. *Молодь і поступ біології* : XV Міжнародна наукова конференція студентів і аспірантів, присвячена 135 річниці від дня народження Я. Парнаса (м. Львів, 9–11 квітня 2019 р.). Львів, 2019. С. 178–179.

349. Красноштан В. І. Анатомо-морфологічні зміни листків сорго зернового за дії гербіциду, регулятора росту рослин і біопрепарату. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. 2022. № 101. С. 155–163. DOI: 10.32782/2415-8240-2022-101-1-155-163.

350. Karpenko V., Krasnoshtan V., Mostoviak I., Prytuliak R. Microorganisms number in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) rhizosphere after herbicide, plant growth regulator, and a biopreparation use. *Agronomy Science*. 2021. Vol. 76, № 2. P. 17–26. DOI: 10.24326/as.2021.2.2

351. Карпенко В.П., Красноштан В.І., Посівні якості насіння сорго зернового за передпосівної обробки регулятором росту рослин. Перспективні шляхи розвитку наукових знань (частина 1) : матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції м. Київ, 26-27 січня 2019 року. Київ, 2019. С. 51–52.

352. Красноштан В. І., Карпенко В. П. Забур'яненість посівів сорго зернового за використання хімічних і біологічних препаратів. Динаміка розвитку сучасної науки : матеріали міжнародної наукової конференції (Т. 2), 15 листопада. 2019 рік. Чернігів, 2019. Т. 2. С. 95–97.

ДОДАТКИ

Додаток А

Таблиця А.1

Метеорологічні умови в роки проведення досліджень (за даними метеостанції Умань)

Рік	За рік	Місяць											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Сума опадів, мм													
Середньобагаторічна	586,0	38,0	34,0	36,0	41,0	52,0	81,0	68,0	49,0	61,0	43,0	43,0	40,0
2019	376,6	55,1	23,8	16,3	22,4	35,6	69,8	33,8	19,2	30,6	10,3	14,0	45,7
2020	479,0	12,7	50,5	23,9	21,0	101,0	70,4	21,4	17,1	27,4	81,5	19,4	32,6
2021	641,6	69,7	43,2	32,4	49,9	56,4	104,7	89,8	69,9	16,2	7,0	21,2	91,2
Середня температура повітря, °С													
Середньобагаторічна	8,8	-3,4	-2,3	2,5	9,7	15,4	19,0	20,9	20,1	14,5	8,3	2,8	-1,8
2019	10,4	-4,7	0,5	4,5	9,6	17,0	23,4	20,0	20,7	15,6	10,0	5,5	2,2
2020	10,7	0,4	2,2	6,3	9,2	12,5	20,9	21,6	21,2	17,8	12,7	3,7	0,0
2021	8,7	-2,3	-3,8	2,0	7,4	14,0	19,8	23,2	20,3	13,0	7,2	4,7	-1,0
Відносна вологість повітря, %													
Середньобагаторічна	76,0	86,0	85,0	82,0	68,0	64,0	66,0	67,0	68,0	73,0	80,0	87,0	88,0
2019	73,9	86,0	82,0	68,0	62,0	72,0	69,0	67,0	63,0	66,0	80,0	84,0	88,0
2020	72,2	85,0	78,0	65,0	46,0	73,0	70,0	64,0	59,0	62,0	83,0	88,0	93,0
2021	77,0	89,0	83,0	77,0	71,0	73,0	73,0	71,0	71,0	74,0	70,0	85,0	88,0

Додаток Б

Таблиця Б.1

Активність каталази у листках сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD, PPP Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал (фаза кущення, мкМоль розкладеного H_2O_2 /г сирової речовини за 1 хвилину)

Варіант досліджу	Роки досліджень			
	2019	2020	2021	Середнє за три роки
Без застосування препаратів (контроль I)	119,3	76,5	107,4	101,1
Ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	125,6	80,5	109,2	105,1
Цитадель 0,6 л/га	133,9	89,7	118,5	114,0
Цитадель 0,8 л/га	143,3	94,8	123,2	120,4
Цитадель 1,0 л/га	163,9	105,7	132,3	134,0
Ендофіт L1 30 мл/га	129,2	83,5	110,5	107,7
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	144,6	99,1	126,7	123,5
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	155,7	110,4	134,8	133,6
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	178,3	129,4	148,2	152,0
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	127,9	82,3	108,7	106,3
Фон + ручні прополювання	131,3	85,3	110,4	109,0
Фон + Цитадель 0,6 л/га	144,0	96,7	127,9	122,9
Фон + Цитадель 0,8 л/га	153,2	108,3	135,5	132,3
Фон + Цитадель 1,0 л/га	177,8	128,5	146,7	151,0
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	136,1	86,6	121,1	114,6
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	151,6	105,5	132,4	129,8
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	163,5	116,2	141,8	140,5
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	189,3	135,6	157,6	160,8
<i>HIP₀₅</i>	6,1	3,9	4,7	—

Таблиця Б.2

Активність каталази у листках сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD, PPP Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал (фаза викидання волоті, мкМоль розкладеного H_2O_2 /г сирієї речовини за 1 хвилину)

Варіант досліджу	Роки досліджень			
	2019	2020	2021	Середнє за три роки
Без застосування препаратів (контроль I)	122,5	82,6	110,4	105,2
Ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	119,9	76,7	108,3	101,6
Цитадель 0,6 л/га	128,1	86,6	114,5	109,7
Цитадель 0,8 л/га	137,4	92,1	119,6	116,4
Цитадель 1,0 л/га	158,2	103,2	129,7	130,3
Ендофіт L1 30 мл/га	121,6	77,8	109,2	102,9
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	133,9	92,3	119,1	115,1
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	146,2	103,4	129,8	126,5
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	169,7	122,0	142,6	144,8
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	121,0	77,5	106,9	101,8
Фон + ручні прополювання	112,2	72,1	108,5	97,6
Фон + Цитадель 0,6 л/га	133,8	90,6	120,3	114,9
Фон + Цитадель 0,8 л/га	143,4	102,6	129,5	125,2
Фон + Цитадель 1,0 л/га	167,7	122,2	140,7	143,5
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	117,5	74,2	119,2	103,6
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	136,0	94,3	124,2	118,2
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	149,3	105,4	132,9	129,2
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	175,3	124,3	148,3	149,3
<i>HIP₀₅</i>	5,5	3,7	3,9	—

Таблиця Б.3

**Активність пероксидази у листках сорго зернового за дії гербіциду
Цитадель 25 OD, PPP Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал (фаза кущення,
мкМоль окисненого гваяколу/г сирової речовини за 1 хвилину)**

Варіант досліджу	Роки досліджень			
	2019	2020	2021	Середнє за три роки
Без застосування препаратів (контроль I)	159,4	91,4	132,3	127,7
Ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	167,7	96,6	137,5	133,9
Цитадель 0,6 л/га	178,4	102,6	155,2	145,4
Цитадель 0,8 л/га	188,3	108,2	161,9	152,8
Цитадель 1,0 л/га	204,8	116,8	167,9	163,2
Ендофіт L1 30 мл/га	171,4	99,1	143,4	138,0
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	188,1	109,4	160,7	152,7
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	200,5	117,5	171,6	163,2
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	218,7	132,4	181,5	177,5
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	170,4	98,0	150,0	139,5
Фон + ручні прополювання	174,9	100,7	157,4	144,3
Фон + Цитадель 0,6 л/га	187,8	109,2	162,4	153,1
Фон + Цитадель 0,8 л/га	199,3	115,8	172,5	162,5
Фон + Цитадель 1,0 л/га	218,5	127,6	185,8	177,3
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	180,0	103,9	161,2	148,4
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	198,5	129,3	173,2	167,0
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	209,8	138,5	182,4	176,9
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	227,9	152,3	190,3	190,2
<i>HIP₀₅</i>	8,1	4,7	7,8	—

Таблиця Б.4

**Активність пероксидази у листках сорго зернового за дії гербіциду
Цитадель 25 OD, PPP Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал (фаза
викидання волоті, мкМоль окисненого гваяколу/г сирої речовини за 1
хвилину)**

Варіант досліджу	Роки досліджень			
	2019	2020	2021	Середнє за три роки
Без застосування препаратів (контроль I)	155,3	86,6	135,1	125,7
Ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	141,1	81,2	134,5	118,9
Цитадель 0,6 л/га	170,0	98,2	143,8	137,3
Цитадель 0,8 л/га	181,5	104,9	150,7	145,7
Цитадель 1,0 л/га	199,1	113,8	158,9	157,2
Ендофіт L1 30 мл/га	142,6	81,9	138,3	120,9
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	176,6	102,9	149,2	142,9
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	189,9	111,3	161,3	154,1
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	209,5	126,3	173,1	169,6
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	142,3	80,8	141,8	121,6
Фон + ручні прополювання	132,1	76,6	148,5	119,1
Фон + Цитадель 0,6 л/га	177,3	103,0	149,2	143,2
Фон + Цитадель 0,8 л/га	189,5	109,8	160,3	153,2
Фон + Цитадель 1,0 л/га	209,8	121,8	173,2	168,3
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	138,4	78,5	153,7	123,5
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	181,4	114,0	155,1	150,2
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	194,7	124,2	165,8	161,6
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	214,0	139,2	179,4	177,5
<i>HIP₀₅</i>	7,1	4,6	5,3	—

Таблиця Б.5

Активність поліфенолоксидази у листках сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD, PPP Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал (фаза кушення, мкМоль окисненої аскорбінової кислоти/г сирової речовини за 1 хвилину)

Варіант досліджу	Роки досліджень			
	2019	2020	2021	Середнє за три роки
Без застосування препаратів (контроль I)	17,2	14,2	14,6	15,3
Ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	18,4	15,3	15,1	16,3
Цитадель 0,6 л/га	19,5	16,2	17,0	17,6
Цитадель 0,8 л/га	20,6	17,2	18,2	18,7
Цитадель 1,0 л/га	22,4	18,4	19,4	20,1
Ендофіт L1 30 мл/га	18,6	15,6	15,8	16,7
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	20,5	17,8	18,2	18,8
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	23,2	19,7	19,9	20,9
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	26,2	20,9	22,5	23,2
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	18,5	15,4	16,1	16,7
Фон + ручні прополювання	18,9	15,7	16,8	17,1
Фон + Цитадель 0,6 л/га	20,6	17,2	19,1	19,0
Фон + Цитадель 0,8 л/га	22,9	18,5	21,4	20,9
Фон + Цитадель 1,0 л/га	25,9	19,8	23,7	23,1
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	19,4	15,9	17,3	17,5
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	21,7	19,9	21,3	21,0
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	24,1	21,4	23,6	23,0
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	26,8	23,4	27,9	26,0
<i>НІР₀₅</i>	0,9	0,8	0,9	—

Таблиця Б.6

**Активність поліфенолоксидази у листках сорго зернового за дії гербіциду
Цитадель 25 OD, PPP Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал (фаза
викидання волоті, мкМоль окисненої аскорбінової кислоти/г сирої
речовини за 1 хвилину)**

Варіант досліджу	Роки досліджень			
	2019	2020	2021	Середнє за три роки
Без застосування препаратів (контроль I)	15,4	13,0	13,1	13,8
Ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	14,9	12,2	14,8	14,0
Цитадель 0,6 л/га	16,6	13,8	14,8	15,1
Цитадель 0,8 л/га	18,0	15,2	16,3	16,5
Цитадель 1,0 л/га	20,1	16,7	17,5	18,1
Ендофіт L1 30 мл/га	14,8	12,1	15,2	14,0
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	17,4	15,1	15,7	16,1
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	19,9	16,9	17,3	18,0
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	23,1	18,5	18,7	20,1
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	14,8	12,1	20,1	15,7
Фон + ручні прополювання	13,7	11,4	15,9	13,7
Фон + Цитадель 0,6 л/га	17,6	14,7	15,8	16,0
Фон + Цитадель 0,8 л/га	19,7	16,1	17,9	17,9
Фон + Цитадель 1,0 л/га	22,9	17,9	19,9	20,2
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	14,4	11,7	16,6	14,2
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	17,5	16,1	16,9	16,9
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	19,7	17,9	18,8	18,8
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	22,3	20,8	22,5	21,9
<i>НІР₀₅</i>	0,8	0,7	0,8	—

Додаток В

Таблиця В.1

**Анатомічна структура епідермісу листків сорго зернового за дії гербіциду
Цитадель 25 OD, PPP Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал (фаза
викидання волоті, 2019 р.)**

Варіант досліджу	Кількість клітин на 1 мм ² , шт	Розміри однієї клітини, мкм		Площа однієї клітини, мкм ²	K _м
		Довжина	Ширина		
Без застосування препаратів (контроль I)	315	57,4	12,7	729	1,00
Ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	255	71,6	17,4	1246	0,81
Цитадель 0,6 л/га	307	60,0	13,4	804	0,97
Цитадель 0,8 л/га	295	61,7	14,1	870	0,94
Цитадель 1,0 л/га	286	63,3	14,5	918	0,91
Ендофіт L1 30 мл/га	283	60,4	13,4	809	0,90
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	300	63,4	14,7	932	0,95
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	287	65,6	15,6	1023	0,91
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	276	67,9	16,4	1114	0,88
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	282	62,7	14,2	890	0,90
Фон + ручні прополювання	247	73,5	18,4	1352	0,78
Фон + Цитадель 0,6 л/га	296	64,2	15,2	976	0,94
Фон + Цитадель 0,8 л/га	280	66,2	16,2	1072	0,89
Фон + Цитадель 1,0 л/га	272	68,6	16,7	1146	0,86
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	254	63,5	14,8	940	0,81
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	278	66,1	16,1	1064	0,88
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	267	68,0	17,2	1170	0,85
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	258	70,5	17,8	1255	0,82
<i>HIP₀₅</i>	8,2	1,9	0,5	75	

Таблиця В.2

**Анатомічна структура епідермісу листків сорго зернового за дії гербіциду
Цитадель 25 OD, PPP Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал (фаза
викидання волоті, 2020 р.)**

Варіант досліджу	Кількість клітин на 1 мм ² , шт	Розміри однієї клітини, мкм		Площа однієї клітини, мкм ²	K _м
		Довжина	Ширина		
Без застосування препаратів (контроль I)	259	46,8	10,5	491	1,00
Ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	210	58,7	14,3	839	0,81
Цитадель 0,6 л/га	255	49,7	11,0	547	0,98
Цитадель 0,8 л/га	244	51,2	11,5	589	0,94
Цитадель 1,0 л/га	235	52,2	12,0	626	0,91
Ендофіт L1 30 мл/га	234	50,0	11,0	550	0,90
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	246	51,8	12,1	627	0,95
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	236	54,4	12,9	702	0,91
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	228	56,0	13,5	756	0,88
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	233	51,6	11,7	604	0,90
Фон + ручні прополювання	203	60,5	15,2	920	0,78
Фон + Цитадель 0,6 л/га	242	53,1	12,6	669	0,93
Фон + Цитадель 0,8 л/га	231	54,7	13,4	733	0,89
Фон + Цитадель 1,0 л/га	224	56,2	13,9	781	0,86
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	210	52,0	12,3	640	0,81
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	227	54,5	13,3	725	0,88
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	219	56,1	14,1	791	0,85
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	211	58,4	14,6	853	0,81
<i>HIP₀₅</i>	7,1	1,6	0,4	52	0,02

Таблиця В.3

**Анатомічна структура епідермісу листків сорго зернового за дії гербіциду
Цитадель 25 OD, PPP Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал (фаза
викидання волоті, 2021 р.)**

Варіант досліджу	Кількість клітин на 1 мм ² , шт	Розміри однієї клітини, мкм		Площа однієї клітини, мкм ²	K _м
		Довжина	Ширина		
Без застосування препаратів (контроль I)	281	50,9	11,3	575	1,00
Ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	228	63,5	15,7	997	0,81
Цитадель 0,6 л/га	275	53,5	11,9	637	0,98
Цитадель 0,8 л/га	265	55,1	12,5	689	0,94
Цитадель 1,0 л/га	256	57	13,1	747	0,91
Ендофіт L1 30 мл/га	254	53,4	11,9	635	0,90
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	267	56,4	13,1	739	0,95
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	254	58,8	14,1	829	0,90
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	246	60	14,5	870	0,88
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	250	55,2	12,5	690	0,89
Фон + ручні прополювання	219	66,4	16,5	1096	0,78
Фон + Цитадель 0,6 л/га	263	57	13,6	775	0,94
Фон + Цитадель 0,8 л/га	251	59,7	14,5	866	0,89
Фон + Цитадель 1,0 л/га	239	61,5	15	923	0,85
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	229	56,7	13,1	743	0,81
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	248	58,8	14,4	847	0,88
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	237	61,3	15,2	932	0,84
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	230	63,1	15,9	1003	0,82
<i>HIP₀₅</i>	7,9	1,7	0,5	58	

Додаток Г

Таблиця Г.1

Площа листя сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD, PPP

Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал (фаза кушення, тис. м²/га)

Варіант досліджу	Роки досліджень			
	2019	2020	2021	Середнє за три роки
Без застосування препаратів (контроль I)	18,1	14,4	16,2	16,2
Ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	24,3	19,3	21,8	21,8
Цитадель 0,6 л/га	20,3	16,2	18,3	18,3
Цитадель 0,8 л/га	20,8	16,6	18,8	18,7
Цитадель 1,0 л/га	21,3	17,1	19,4	19,3
Ендофіт L1 30 мл/га	18,5	14,7	16,6	16,6
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	21,7	17,0	19,5	19,4
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	22,1	17,5	19,9	19,8
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	22,5	17,9	20,4	20,3
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	18,7	14,9	16,8	16,8
Фон + ручні прополювання	24,8	19,7	22,3	22,3
Фон + Цитадель 0,6 л/га	21,9	17,2	19,7	19,6
Фон + Цитадель 0,8 л/га	22,4	17,8	20,1	20,1
Фон + Цитадель 1,0 л/га	22,7	18,2	20,5	20,5
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	19,0	15,1	17,0	17,0
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	23,3	18,2	20,9	20,8
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	23,6	18,6	21,3	21,2
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	24,1	19,1	21,5	21,6
<i>НІР₀₅</i>	1,2	0,8	1,0	—

Таблиця Г.2

**Площа листя сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD, PPP
Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал (фаза викидання волоті, тис. м²/га)**

Варіант досліджу	Роки досліджень			
	2019	2020	2021	Середнє за три роки
Без застосування препаратів (контроль I)	71,3	65,5	68,2	68,3
Ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	88,5	83,6	86,5	86,2
Цитадель 0,6 л/га	79,7	73,5	77,0	76,7
Цитадель 0,8 л/га	82,0	75,8	79,6	79,2
Цитадель 1,0 л/га	84,0	77,6	81,5	81,0
Ендофіт L1 30 мл/га	75,0	69,0	72,1	72,0
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	81,7	75,6	79,4	78,9
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	83,9	77,2	81,2	80,7
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	85,8	79,1	83,2	82,7
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	76,8	70,9	74,2	74,0
Фон + ручні прополювання	93,0	86,2	91,0	90,1
Фон + Цитадель 0,6 л/га	82,2	76,0	79,8	79,3
Фон + Цитадель 0,8 л/га	84,1	77,6	81,6	81,1
Фон + Цитадель 1,0 л/га	85,9	79,8	83,5	83,1
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	78,2	72,1	75,5	75,3
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	84,3	77,7	81,8	81,2
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	85,9	79,5	83,7	83,0
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	87,8	82,4	85,6	85,3
<i>НІР₀₅</i>	1,8	1,4	1,6	—

Додаток Д

Таблиця Д.1

Висота рослин сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD, PPP

Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал, см (2019 р.)

Варіант досліджу	Фаза кущення	Фаза викидання волоті	Фаза молочно- воскової стиглості
Без застосування препаратів (контроль I)	25,6	68,7	95,6
Ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	33,6	84,4	105,7
Цитадель 0,6 л/га	28,3	72,9	97,7
Цитадель 0,8 л/га	29,4	75,7	98,0
Цитадель 1,0 л/га	29,8	76,8	98,7
Ендофіт L1 30 мл/га	26,6	69,6	96,4
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	29,7	76,7	99,7
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	30,7	79,6	100,1
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	31,1	80,8	100,8
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	27,1	70,9	96,6
Фон + ручні прополювання	35,0	86,8	107,6
Фон + Цитадель 0,6 л/га	30,1	77,4	100,0
Фон + Цитадель 0,8 л/га	31,0	79,7	100,2
Фон + Цитадель 1,0 л/га	31,9	82,4	101,0
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	27,4	71,0	97,1
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	31,5	82,1	101,4
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	32,4	84,4	102,1
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	33,2	85,2	102,7
<i>НІР₀₅</i>	1,2	2,7	4,7

Таблиця Д.2

Висота рослин сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD, PPP**Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал, см (2020 р.)**

Варіант досліджу	Фаза кущання	Фаза викидання волоті	Фаза молочно- воскової стиглості
Без застосування препаратів (контроль I)	20,1	56,2	83,4
Ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	27,1	69,8	91,6
Цитадель 0,6 л/га	22,5	59,8	85,2
Цитадель 0,8 л/га	23,4	62,2	85,5
Цитадель 1,0 л/га	23,9	63,1	86,2
Ендофіт L1 30 мл/га	21,0	57,0	84,0
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	23,8	63,0	87,1
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	24,5	65,5	87,3
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	24,9	66,5	87,7
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	21,4	58,0	84,3
Фон + ручні прополювання	28,4	71,9	93,6
Фон + Цитадель 0,6 л/га	24,0	63,7	87,3
Фон + Цитадель 0,8 л/га	24,8	65,8	87,4
Фон + Цитадель 1,0 л/га	25,5	68,0	87,8
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	21,7	58,2	84,7
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	25,3	67,8	88,7
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	26,2	69,6	89,1
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	26,7	70,5	89,5
<i>HIP₀₅</i>	1,0	2,2	4,1

Таблиця Д.3

Висота рослин сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD, PPP**Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал, см (2021 р.)**

Варіант досліджу	Фаза кущення	Фаза викидання волоті	Фаза молочно- воскової стиглості
Без застосування препаратів (контроль I)	24,8	69,8	88,9
Ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	33,5	86,3	98,1
Цитадель 0,6 л/га	27,6	74,3	90,7
Цитадель 0,8 л/га	28,8	77,2	91,4
Цитадель 1,0 л/га	29,3	78,3	91,6
Ендофіт L1 30 мл/га	25,9	70,7	89,6
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	29,3	78,1	92,6
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	30,3	81,1	93,3
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	30,9	82,4	93,8
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	26,4	72,0	89,9
Фон + ручні прополювання	34,5	88,9	100,7
Фон + Цитадель 0,6 л/га	29,5	79,0	92,7
Фон + Цитадель 0,8 л/га	30,6	81,3	93,2
Фон + Цитадель 1,0 л/га	31,3	84,2	93,9
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	26,7	72,3	90,2
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	31,4	83,6	94,4
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	32,1	86,3	94,9
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	32,6	86,8	95,3
<i>НІР₀₅</i>	1,1	2,5	4,4

Додаток Ж

Таблиця Ж.1

**Надземна біомаса рослин сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD,
PPP Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал, г (2019 р.)**

Варіант досліджу	Фаза кущення	Фаза викидання волоті	Фаза молочно- воскової стиглості
Без застосування препаратів (контроль I)	39,6	127,1	151,8
Ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	48,9	160,8	190,4
Цитадель 0,6 л/га	42,1	138,8	164,1
Цитадель 0,8 л/га	43,7	144,1	170,5
Цитадель 1,0 л/га	45,3	148,5	175,6
Ендофіт L1 30 мл/га	40,1	132,4	156,5
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	43,9	144,6	171,1
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	45,2	149,0	176,2
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	46,3	152,1	180,0
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	40,9	135,1	159,7
Фон + ручні прополювання	50,2	165,0	195,4
Фон + Цитадель 0,6 л/га	44,1	145,5	172,1
Фон + Цитадель 0,8 л/га	45,7	150,4	177,9
Фон + Цитадель 1,0 л/га	46,6	154,6	182,9
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	41,5	137,4	162,4
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	45,9	151,1	178,8
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	47,0	156,0	184,6
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	48,2	159,6	189,0
<i>НІР₀₅</i>	1,7	4,4	5,7

Таблиця Ж.2

**Надземна біомаса рослин сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD,
PPP Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал, г (2020 р.)**

Варіант дослідів	Фаза кущання	Фаза викидання волоті	Фаза молочно- воскової стиглості
Без застосування препаратів (контроль I)	29,8	108,6	143,6
Ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	37,2	139,3	182,6
Цитадель 0,6 л/га	31,8	119,3	155,8
Цитадель 0,8 л/га	33,1	123,9	162,5
Цитадель 1,0 л/га	34,1	128,3	167,4
Ендофіт L1 30 мл/га	30,2	113,5	148,3
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	33,2	124,7	162,9
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	34,3	128,8	168,2
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	35,1	131,1	171,8
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	30,8	115,9	151,4
Фон + ручні прополювання	38,3	142,8	186,9
Фон + Цитадель 0,6 л/га	33,4	125,3	164,1
Фон + Цитадель 0,8 л/га	34,7	129,8	169,9
Фон + Цитадель 1,0 л/га	35,4	133,3	174,7
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	31,4	117,9	154,2
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	34,8	130,5	170,9
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	35,7	135,2	176,5
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	36,6	138,3	180,6
<i>НІР₀₅</i>	1,1	4,2	5,5

Таблиця Ж.3

**Надземна біомаса рослин сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD,
PPP Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал, г (2021 р.)**

Варіант дослідів	Фаза кущання	Фаза викидання волоті	Фаза молочно- воскової стиглості
Без застосування препаратів (контроль I)	34,1	112,3	147,9
Ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	42,4	143,2	187,9
Цитадель 0,6 л/га	36,9	123,0	160,5
Цитадель 0,8 л/га	38,2	127,9	167,3
Цитадель 1,0 л/га	39,3	131,5	172,3
Ендофіт L1 30 мл/га	35,2	117,1	152,7
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	38,4	128,2	167,8
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	39,5	132,1	173,2
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	40,2	134,9	176,8
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	35,9	119,6	155,9
Фон + ручні прополювання	43,7	146,7	192,3
Фон + Цитадель 0,6 л/га	38,6	129,0	169,0
Фон + Цитадель 0,8 л/га	39,7	133,3	174,9
Фон + Цитадель 1,0 л/га	40,5	137,5	179,9
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	36,5	121,7	158,8
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	40,2	134,2	176,0
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	41,5	138,8	181,7
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	42,4	141,9	185,9
<i>HIP₀₅</i>	1,6	4,3	5,6

Додаток К

Таблиця К.1

**Вміст пігментів у листках сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD,
PPP Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал, мг/г сирової речовини (фаза
кущення, 2019 р.)**

Варіант досліджу	Хлорофіл <i>a</i>	Хлорофіл <i>b</i>	Хлорофіл (<i>a+b</i>)	Сума кароти- ноїдів
Без застосування препаратів (контроль I)	1,154	0,321	1,475	0,226
Ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	1,393	0,497	1,890	0,324
Цитадель 0,6 л/га	1,216	0,358	1,574	0,253
Цитадель 0,8 л/га	1,257	0,381	1,638	0,267
Цитадель 1,0 л/га	1,275	0,386	1,662	0,277
Ендофіт L1 30 мл/га	1,198	0,342	1,540	0,240
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	1,266	0,408	1,674	0,281
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	1,303	0,420	1,723	0,290
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	1,317	0,411	1,728	0,299
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	1,205	0,354	1,559	0,241
Фон + ручні прополювання	1,478	0,528	2,006	0,344
Фон + Цитадель 0,6 л/га	1,272	0,424	1,696	0,283
Фон + Цитадель 0,8 л/га	1,310	0,437	1,746	0,291
Фон + Цитадель 1,0 л/га	1,326	0,428	1,754	0,295
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	1,226	0,371	1,597	0,250
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	1,317	0,454	1,771	0,299
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	1,355	0,467	1,822	0,308
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	1,370	0,457	1,826	0,311
<i>НІР₀₅</i>	0,041	0,024	0,065	0,016

Таблиця К.2

Вміст пігментів у листках сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD, РРР Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал, мг/г сирової речовини (фаза кущення, 2020 р.)

Варіант досліджу	Хлорофіл <i>a</i>	Хлорофіл <i>b</i>	Хлорофіл (<i>a+b</i>)	Сума кароти- ноїдів
Без застосування препаратів (контроль I)	0,987	0,274	1,261	0,194
Ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	1,196	0,427	1,623	0,278
Цитадель 0,6 л/га	1,037	0,305	1,342	0,216
Цитадель 0,8 л/га	1,072	0,325	1,397	0,228
Цитадель 1,0 л/га	1,088	0,330	1,417	0,236
Ендофіт L1 30 мл/га	1,022	0,292	1,313	0,204
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	1,079	0,348	1,427	0,240
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	1,110	0,358	1,469	0,247
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	1,122	0,351	1,473	0,255
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	1,027	0,302	1,330	0,205
Фон + ручні прополювання	1,262	0,451	1,713	0,294
Фон + Цитадель 0,6 л/га	1,083	0,361	1,444	0,241
Фон + Цитадель 0,8 л/га	1,115	0,372	1,487	0,248
Фон + Цитадель 1,0 л/га	1,129	0,364	1,493	0,251
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	1,045	0,317	1,362	0,213
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	1,122	0,387	1,509	0,255
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	1,154	0,398	1,552	0,262
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	1,168	0,389	1,557	0,265
<i>НІР₀₅</i>	0,039	0,019	0,071	0,013

Таблиця К.3

**Вміст пігментів у листках сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD,
PPP Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал, мг/г сирової речовини (фаза
кущення, 2021 р.)**

Варіант досліджу	Хлорофіл <i>a</i>	Хлорофіл <i>b</i>	Хлорофіл (<i>a+b</i>)	Сума кароти- ноїдів
Без застосування препаратів (контроль I)	1,045	0,316	1,361	0,205
Ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	1,250	0,446	1,696	0,291
Цитадель 0,6 л/га	1,098	0,353	1,451	0,229
Цитадель 0,8 л/га	1,128	0,375	1,503	0,240
Цитадель 1,0 л/га	1,151	0,349	1,500	0,250
Ендофіт L1 30 мл/га	1,084	0,338	1,422	0,217
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	1,138	0,367	1,505	0,253
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	1,168	0,415	1,583	0,260
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	1,177	0,404	1,581	0,268
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	1,088	0,320	1,407	0,218
Фон + ручні прополювання	1,347	0,481	1,828	0,313
Фон + Цитадель 0,6 л/га	1,141	0,380	1,521	0,253
Фон + Цитадель 0,8 л/га	1,169	0,390	1,558	0,260
Фон + Цитадель 1,0 л/га	1,183	0,382	1,565	0,263
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	1,110	0,336	1,446	0,226
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	1,177	0,406	1,583	0,268
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	1,209	0,417	1,627	0,275
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	1,228	0,409	1,638	0,279
<i>HIP₀₅</i>	0,031	0,014	0,052	0,012

Таблиця К.4

**Вміст пігментів у листках сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD,
PPP Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал, мг/г сирової речовини (фаза
викидання волоті, 2019 р.)**

Варіант досліджу	Хлорофіл <i>a</i>	Хлорофіл <i>b</i>	Хлорофіл (<i>a+b</i>)	Сума кароти- ноїдів
Без застосування препаратів (контроль I)	1,355	0,387	1,742	0,266
Ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	1,669	0,596	2,266	0,388
Цитадель 0,6 л/га	1,455	0,441	1,896	0,303
Цитадель 0,8 л/га	1,505	0,470	1,976	0,320
Цитадель 1,0 л/га	1,530	0,478	2,008	0,333
Ендофіт L1 30 мл/га	1,402	0,412	1,815	0,280
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	1,520	0,490	2,011	0,338
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	1,569	0,523	2,092	0,349
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	1,592	0,531	2,123	0,362
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	1,419	0,417	1,836	0,284
Фон + ручні прополювання	1,757	0,628	2,385	0,409
Фон + Цитадель 0,6 л/га	1,535	0,512	2,047	0,341
Фон + Цитадель 0,8 л/га	1,581	0,527	2,108	0,351
Фон + Цитадель 1,0 л/га	1,602	0,534	2,135	0,356
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	1,438	0,436	1,873	0,293
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	1,591	0,549	2,139	0,362
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	1,634	0,563	2,198	0,371
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	1,646	0,568	2,214	0,374
<i>HIP₀₅</i>	0,061	0,052	0,113	0,021

Таблиця К.5

**Вміст пігментів у листках сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD,
PPP Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал, мг/г сирової речовини (фаза
викидання волоті, 2020 р.)**

Варіант досліджу	Хлорофіл <i>a</i>	Хлорофіл <i>b</i>	Хлорофіл (<i>a+b</i>)	Сума кароти- ноїдів
Без застосування препаратів (контроль I)	1,138	0,325	1,463	0,223
Ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	1,405	0,502	1,907	0,327
Цитадель 0,6 л/га	1,226	0,383	1,609	0,255
Цитадель 0,8 л/га	1,268	0,409	1,677	0,270
Цитадель 1,0 л/га	1,288	0,403	1,691	0,280
Ендофіт L1 30 мл/га	1,181	0,347	1,529	0,236
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	1,280	0,427	1,707	0,285
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	1,321	0,440	1,762	0,294
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	1,337	0,446	1,783	0,304
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	1,194	0,351	1,545	0,239
Фон + ручні прополювання	1,478	0,528	2,006	0,344
Фон + Цитадель 0,6 л/га	1,287	0,429	1,716	0,286
Фон + Цитадель 0,8 л/га	1,328	0,458	1,786	0,295
Фон + Цитадель 1,0 л/га	1,346	0,464	1,810	0,299
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	1,213	0,368	1,581	0,248
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	1,339	0,462	1,801	0,304
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	1,376	0,474	1,850	0,313
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	1,389	0,479	1,869	0,316
<i>HIP₀₅</i>	0,052	0,030	0,084	0,018

Таблиця К.6

**Вміст пігментів у листках сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD,
PPP Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал, мг/г сирової речовини (фаза
викидання волоті, 2021 р.)**

Варіант досліджу	Хлорофіл <i>a</i>	Хлорофіл <i>b</i>	Хлорофіл (<i>a+b</i>)	Сума кароти- ноїдів
Без застосування препаратів (контроль I)	1,326	0,379	1,705	0,260
Ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	1,634	0,584	2,218	0,380
Цитадель 0,6 л/га	1,425	0,420	1,845	0,297
Цитадель 0,8 л/га	1,474	0,448	1,921	0,314
Цитадель 1,0 л/га	1,501	0,469	1,970	0,326
Ендофіт L1 30 мл/га	1,369	0,403	1,772	0,274
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	1,484	0,465	1,949	0,330
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	1,528	0,509	2,038	0,340
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	1,550	0,517	2,067	0,352
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	1,386	0,408	1,794	0,277
Фон + ручні прополювання	1,710	0,611	2,321	0,398
Фон + Цитадель 0,6 л/га	1,497	0,499	1,996	0,333
Фон + Цитадель 0,8 л/га	1,540	0,549	2,089	0,342
Фон + Цитадель 1,0 л/га	1,574	0,509	2,083	0,350
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	1,409	0,427	1,836	0,288
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	1,546	0,533	2,079	0,351
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	1,588	0,548	2,136	0,361
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	1,616	0,504	2,119	0,367
<i>HIP₀₅</i>	0,055	0,043	0,095	0,022

Таблиця К.7

**Вміст пігментів у листках сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD,
PPP Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал, мг/г сирі речовини (фаза
молочно-воскової стиглості, 2019 р.)**

Варіант досліджу	Хлорофіл <i>a</i>	Хлорофіл <i>b</i>	Хлорофіл (<i>a+b</i>)	Сума кароти- ноїдів
Без застосування препаратів (контроль I)	1,032	0,295	1,327	0,202
Ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	1,222	0,436	1,658	0,284
Цитадель 0,6 л/га	1,084	0,328	1,412	0,226
Цитадель 0,8 л/га	1,122	0,351	1,472	0,239
Цитадель 1,0 л/га	1,147	0,358	1,505	0,249
Ендофіт L1 30 мл/га	1,064	0,313	1,377	0,213
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	1,129	0,364	1,493	0,251
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	1,164	0,388	1,552	0,259
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	1,186	0,395	1,581	0,269
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	1,068	0,314	1,382	0,214
Фон + ручні прополювання	1,254	0,448	1,702	0,292
Фон + Цитадель 0,6 л/га	1,135	0,378	1,514	0,252
Фон + Цитадель 0,8 л/га	1,169	0,390	1,559	0,260
Фон + Цитадель 1,0 л/га	1,188	0,396	1,584	0,264
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	1,093	0,331	1,424	0,223
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	1,165	0,402	1,567	0,265
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	1,192	0,411	1,603	0,271
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	1,205	0,416	1,621	0,274
<i>HIP</i> ₀₅	0,041	0,031	0,075	0,019

Таблиця К.8

**Вміст пігментів у листках сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD,
PPP Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал, мг/г сирі речовини (фаза
молочно-воскової стиглості, 2020 р.)**

Варіант досліджу	Хлорофіл <i>a</i>	Хлорофіл <i>b</i>	Хлорофіл (<i>a+b</i>)	Сума кароти- ноїдів
Без застосування препаратів (контроль I)	0,942	0,269	1,211	0,185
Ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	1,122	0,401	1,523	0,261
Цитадель 0,6 л/га	0,995	0,311	1,306	0,207
Цитадель 0,8 л/га	1,031	0,333	1,364	0,219
Цитадель 1,0 л/га	1,052	0,329	1,381	0,229
Ендофіт L1 30 мл/га	0,978	0,288	1,265	0,196
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	1,037	0,346	1,383	0,230
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	1,069	0,356	1,426	0,238
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	1,089	0,363	1,452	0,247
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	0,982	0,289	1,270	0,196
Фон + ручні прополювання	1,151	0,411	1,562	0,268
Фон + Цитадель 0,6 л/га	1,043	0,348	1,390	0,232
Фон + Цитадель 0,8 л/га	1,074	0,370	1,444	0,239
Фон + Цитадель 1,0 л/га	1,091	0,376	1,467	0,242
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	1,004	0,304	1,308	0,205
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	1,070	0,369	1,439	0,243
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	1,095	0,377	1,472	0,249
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	1,107	0,382	1,489	0,252
<i>HIP</i> ₀₅	0,036	0,021	0,059	0,013

Таблиця К.9

**Вміст пігментів у листках сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD,
PPP Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал, мг/г сирі речовини (фаза
молочно-воскової стиглості, 2021 р.)**

Варіант досліджу	Хлорофіл <i>a</i>	Хлорофіл <i>b</i>	Хлорофіл (<i>a+b</i>)	Сума кароти- ноїдів
Без застосування препаратів (контроль I)	0,993	0,284	1,277	0,195
Ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	1,181	0,422	1,603	0,275
Цитадель 0,6 л/га	1,049	0,308	1,357	0,219
Цитадель 0,8 л/га	1,084	0,328	1,412	0,231
Цитадель 1,0 л/га	1,109	0,347	1,456	0,241
Ендофіт L1 30 мл/га	1,029	0,303	1,332	0,206
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	1,092	0,341	1,433	0,243
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	1,125	0,375	1,501	0,250
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	1,146	0,382	1,528	0,261
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	1,033	0,304	1,337	0,207
Фон + ручні прополювання	1,212	0,433	1,645	0,282
Фон + Цитадель 0,6 л/га	1,098	0,366	1,463	0,244
Фон + Цитадель 0,8 л/га	1,130	0,403	1,534	0,251
Фон + Цитадель 1,0 л/га	1,148	0,370	1,518	0,255
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	1,057	0,320	1,377	0,216
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	1,126	0,388	1,515	0,256
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	1,152	0,397	1,549	0,262
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	1,165	0,362	1,527	0,265
<i>HIP</i> ₀₅	0,038	0,023	0,071	0,013

Додаток Л

Таблиця Л.1

Чиста продуктивність фотосинтезу рослин сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD, PPP Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал, г/м² за добу (фаза кущення – фаза викидання волоті)

Варіант дослідів	Роки досліджень			
	2019	2020	2021	Середнє за три роки
Без застосування препаратів (контроль I)	5,10	3,62	3,97	4,23
Ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	6,19	4,30	4,71	5,07
Цитадель 0,6 л/га	5,30	3,74	4,09	4,38
Цитадель 0,8 л/га	5,42	3,82	4,20	4,48
Цитадель 1,0 л/га	5,47	3,85	4,23	4,52
Ендофіт L1 30 мл/га	5,17	3,67	4,02	4,28
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	5,49	3,89	4,22	4,53
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	5,65	3,99	4,38	4,67
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	5,75	4,06	4,46	4,76
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	5,76	3,72	3,56	4,35
Фон + ручні прополювання	6,38	4,47	4,81	5,22
Фон + Цитадель 0,6 л/га	5,57	3,90	4,31	4,59
Фон + Цитадель 0,8 л/га	5,72	4,01	4,42	4,72
Фон + Цитадель 1,0 л/га	5,79	4,09	4,47	4,78
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	5,28	3,74	4,09	4,37
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	5,76	4,07	4,44	4,76
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	5,96	4,21	4,60	4,92
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	6,06	4,29	4,68	5,01
<i>НІР₀₅</i>	0,18	0,11	0,12	—

Додаток М

Таблиця М.1

Загальна чисельність мікроміцетів у ризосфері сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD, PPP Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал, тис. КУО в 1 г ґрунту (фаза цвітіння)

Варіант дослідів	Роки досліджень			
	2019	2020	2021	Середнє за три роки
Без застосування препаратів (контроль I)	283	228	251	254
Ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	309	248	276	278
Цитадель 0,6 л/га	318	262	284	288
Цитадель 0,8 л/га	341	283	310	311
Цитадель 1,0 л/га	333	272	303	303
Ендофіт L1 30 мл/га	307	249	270	276
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	348	283	296	309
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	369	304	316	330
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	361	289	305	318
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	318	258	282	286
Фон + ручні прополювання	345	283	296	308
Фон + Цитадель 0,6 л/га	354	288	310	317
Фон + Цитадель 0,8 л/га	381	312	332	341
Фон + Цитадель 1,0 л/га	371	302	321	331
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	326	271	290	296
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	392	326	338	352
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	423	347	359	376
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	406	334	348	363
<i>НІР₀₅</i>	25	19	20	—

Таблиця М.2

**Загальна чисельність целюлозолітичних бактерій у ризосфері сорго
зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD, РРР Ендофіт L1 і біопрепарату
Біоарсенал, тис. КУО в 1 г ґрунту (фаза цвітіння)**

Варіант досліджу	Роки досліджень			
	2019	2020	2021	Середнє за три роки
Без застосування препаратів (контроль I)	261,8	201,4	236	233,1
Ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	335,4	259,4	305,6	300,1
Цитадель 0,6 л/га	328,6	247,2	300,8	292,2
Цитадель 0,8 л/га	310,2	234,6	283,4	276,1
Цитадель 1,0 л/га	288,2	220,4	262,2	256,9
Ендофіт L1 30 мл/га	285,1	218,3	258,2	253,9
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	346,9	271,5	312,6	310,3
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	328	256	300,6	294,9
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	308,1	237,1	278,4	274,5
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	289,8	222	263,5	258,4
Фон + ручні прополювання	347,9	266,3	318,6	310,9
Фон + Цитадель 0,6 л/га	352,1	275,9	319,8	315,9
Фон + Цитадель 0,8 л/га	337,2	256,6	307,4	300,4
Фон + Цитадель 1,0 л/га	315,5	238,9	287,4	280,6
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	303,9	234,9	275,0	271,3
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	374,9	286,1	341,0	334,0
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	353,7	273,5	319,2	315,5
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	330,9	255,9	300,2	295,7
<i>HIP₀₅</i>	13,6	10,1	11,7	—

Таблиця М.3

**Загальна чисельність нітрифікувальних бактерій у ризосфері сорго
зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD, РРР Ендофіт L1 і біопрепарату
Біоарсенал, тис. КУО в 1 г ґрунту (фаза цвітіння)**

Варіант досліджу	Роки досліджень			
	2019	2020	2021	Середнє за три роки
Без застосування препаратів (контроль I)	25,4	19,2	22,7	22,4
Ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	37,4	27,8	34,4	33,2
Цитадель 0,6 л/га	34,6	25,8	31,0	30,5
Цитадель 0,8 л/га	31,1	23,7	27,8	27,5
Цитадель 1,0 л/га	29,1	21,9	26,0	25,7
Ендофіт L1 30 мл/га	33,3	24,5	30,4	29,4
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	39,5	30,7	36,5	35,6
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	36,4	27,2	33,1	32,2
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	33,6	24,6	30,0	29,4
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	39,3	29,3	35,9	34,8
Фон + ручні прополювання	56,0	41,8	50,3	49,4
Фон + Цитадель 0,6 л/га	46,9	35,5	41,7	41,4
Фон + Цитадель 0,8 л/га	39,5	29,7	36,0	35,1
Фон + Цитадель 1,0 л/га	35,6	26,6	32,6	31,6
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	42,9	31,5	39,7	38,0
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	51,6	38,4	47,0	45,7
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	44,9	34,3	41,8	40,3
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	40,9	31,5	36,7	36,4
<i>НІР₀₅</i>	2,0	1,6	1,8	—

Таблиця М.4

**Чисельність азотобактера у ризосфері сорго зернового за дії гербіциду
Цитадель 25 OD, PPP Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал, тис. КУО в 1 г
грунту (фаза цвітіння)**

Варіант досліджу	Роки досліджень			
	2019	2020	2021	Середнє за три роки
Без застосування препаратів (контроль I)	48	46	47	47
Ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	50	50	50	50
Цитадель 0,6 л/га	48	47	48	48
Цитадель 0,8 л/га	45	45	46	45
Цитадель 1,0 л/га	43	41	43	42
Ендофіт L1 30 мл/га	50,0	50	50	50
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	49	49	49	49
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	48	47	47	47
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	46	45	45	45
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	50	50	50	50
Фон + ручні прополювання	50	50	50	50
Фон + Цитадель 0,6 л/га	50	50	50	50
Фон + Цитадель 0,8 л/га	49	49	49	49
Фон + Цитадель 1,0 л/га	48	47	47	47
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	50,0	50	50	50
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	50	50	50	50
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	50	50	50	50
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	50	49	50	50
<i>НІР₀₅</i>	2	1	2	—

Додаток Н

Таблиця Н.1

**Забур'яненість посівів сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD,
РРР Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал (2019 р.)**

Варіант досліджу	На 30 добу після внесення препаратів		Перед збиранням урожаю	
	кількість бур'янів, шт./м ²	маса бур'янів, г/м ²	кількість бур'янів, шт./м ²	маса бур'янів, г/м ²
Без застосування препаратів (контроль I)	101	521	178	2962
Ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	0	0	0	0
Цитадель 0,6 л/га	39	189	74	1159
Цитадель 0,8 л/га	29	134	54	794
Цитадель 1,0 л/га	21	93	42	635
Ендофіт L1 30 мл/га	95	480	171	2816
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	31	154	61	953
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	23	123	47	760
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	16	73	32	475
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	89	439	162	2615
Фон + ручні прополювання	0	0	0	0
Фон + Цитадель 0,6 л/га	29	137	54	878
Фон + Цитадель 0,8 л/га	20	94	39	601
Фон + Цитадель 1,0 л/га	13	54	27	408
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	85	414	154	2493
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	24	117	45	718
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	13	49	29	355
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	9	37	19	254
<i>НІР₀₅</i>	4	11	9	61

Таблиця Н.2

**Забур'яненість посівів сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD,
РРР Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал (2020 р.)**

Варіант досліджу	На 30 добу після внесення препаратів		Перед збиранням урожаю	
	кількість бур'янів, шт./м ²	маса бур'янів, г/м ²	кількість бур'янів, шт./м ²	маса бур'янів, г/м ²
Без застосування препаратів (контроль I)	71	389	106	2434
Ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	0	0	0	0
Цитадель 0,6 л/га	25	128	42	884
Цитадель 0,8 л/га	17	84	28	586
Цитадель 1,0 л/га	11	57	20	407
Ендофіт L1 30 мл/га	67	357	102	2307
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	19	102	33	711
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	14	77	24	506
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	8	36	15	305
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	62	324	96	2134
Фон + ручні прополювання	0	0	0	0
Фон + Цитадель 0,6 л/га	18	88	29	624
Фон + Цитадель 0,8 л/га	10	55	18	399
Фон + Цитадель 1,0 л/га	7	25	10	204
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	59	304	90	2030
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	15	71	23	511
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	7	17	14	243
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	5	10	6	146
<i>НІР₀₅</i>	2	7	4	41

Таблиця Н.3

**Забур'яненість посівів сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD,
РРР Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал (2021 р.)**

Варіант досліджу	На 30 добу після внесення препаратів		Перед збиранням урожаю	
	кількість бур'янів, шт./м ²	маса бур'янів, г/м ²	кількість бур'янів, шт./м ²	маса бур'янів, г/м ²
Без застосування препаратів (контроль I)	95	476	163	2812
Ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	0	0	0	0
Цитадель 0,6 л/га	37	169	67	1076
Цитадель 0,8 л/га	26	114	48	754
Цитадель 1,0 л/га	19	86	36	600
Ендофіт L1 30 мл/га	89	439	157	2674
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	30	132	53	881
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	21	105	41	703
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	13	57	29	452
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	84	401	148	2474
Фон + ручні прополювання	0	0	0	0
Фон + Цитадель 0,6 л/га	26	122	46	796
Фон + Цитадель 0,8 л/га	18	87	36	559
Фон + Цитадель 1,0 л/га	9	45	26	373
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	80	376	140	2371
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	22	103	39	659
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	12	44	24	305
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	5	23	15	174
<i>НІР₀₅</i>	4	9	7	50

Додаток П

Таблиця П.1

**Якісні показники врожаю сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD,
РРР Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал (2019 р.)**

Варіант досліджу	Маса 1000 зерен, г	Натура, г/л	Вміст білка, %
Без застосування препаратів (контроль I)	26,2	853,4	11,2
Ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	29,9	872,0	12,2
Цитадель 0,6 л/га	29,4	858,3	11,7
Цитадель 0,8 л/га	29,7	860,7	11,9
Цитадель 1,0 л/га	29,9	863,3	12,0
Ендофіт L1 30 мл/га	27,2	855,9	11,4
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	29,6	863,2	11,8
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	29,9	866,7	12,0
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	30,4	868,1	12,1
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	27,6	857,0	11,4
Фон + ручні прополювання	30,8	873,6	12,6
Фон + Цитадель 0,6 л/га	29,8	864,8	11,9
Фон + Цитадель 0,8 л/га	30,0	867,8	12,1
Фон + Цитадель 1,0 л/га	30,3	869,5	12,2
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	27,7	858,2	11,7
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	30,2	868,2	12,1
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	30,5	872,4	12,3
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	30,7	872,8	12,4
<i>НІР₀₅</i>	0,4	3,3	0,2

Таблиця П.2

**Якісні показники врожаю сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD,
РРР Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал (2020 р.)**

Варіант досліджу	Маса 1000 зерен, г	Натура, г/л	Вміст білка, %
Без застосування препаратів (контроль I)	22,5	826,4	10,3
Ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	26,1	846,5	11,3
Цитадель 0,6 л/га	25,6	831,8	10,8
Цитадель 0,8 л/га	25,9	834,3	11,0
Цитадель 1,0 л/га	26,1	837,0	11,1
Ендофіт L1 30 мл/га	23,5	829,1	10,5
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	25,9	837,1	10,9
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	26,1	840,6	11,2
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	26,4	842,5	11,3
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	23,8	830,3	10,6
Фон + ручні прополювання	26,9	848,0	11,7
Фон + Цитадель 0,6 л/га	26,0	838,6	11,0
Фон + Цитадель 0,8 л/га	26,2	842,2	11,2
Фон + Цитадель 1,0 л/га	26,5	844,2	11,3
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	23,9	831,5	10,8
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	26,3	842,3	11,2
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	26,6	846,3	11,4
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	26,8	847,8	11,5
<i>НІР₀₅</i>	0,3	3,6	0,2

Таблиця П.3

**Якісні показники врожаю сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD,
РРР Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал (2021 р.)**

Варіант досліджу	Маса 1000 зерен, г	Натура, г/л	Вміст білка, %
Без застосування препаратів (контроль I)	24,2	840,8	10,9
Ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	28,0	860,6	12,0
Цитадель 0,6 л/га	27,5	846,2	11,4
Цитадель 0,8 л/га	27,9	849,0	11,7
Цитадель 1,0 л/га	28,0	851,5	11,7
Ендофіт L1 30 мл/га	25,2	843,5	11,1
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	27,6	851,7	11,5
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	28,1	854,6	11,8
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	28,2	856,9	11,9
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	25,6	844,7	11,2
Фон + ручні прополювання	28,7	862,3	12,4
Фон + Цитадель 0,6 л/га	27,9	853,2	11,6
Фон + Цитадель 0,8 л/га	28,3	856,3	11,9
Фон + Цитадель 1,0 л/га	28,5	858,8	12,0
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	25,7	845,7	11,4
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	28,2	856,9	11,8
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	28,8	860,8	12,0
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	28,8	862,8	12,2
<i>НІР₀₅</i>	0,3	4,0	0,1

Додаток Р

«Затверджую»
 ФГ «Агрофірма «Базис»
 Голова ФГ В. О. Осадчий
 «03» «БАЗИС» 2022 р.
 КОД
 00857048
 * * * * *

«Затверджую»
 Т.в.о. ректора Уманського НУС
 Т. І. Мостов'як
 «10» 2022 р.
 * * * * *

Акт

впровадження науково-дослідної роботи у виробництво

«03» 10 2022 р.

Аспірант кафедри захисту і карантину рослин Уманського НУС Красноштан В. І. та голова ФГ «Агрофірма «Базис» Осадчий В. О. (с. Кочубіївка, Уманського району Черкаської області) склали даний акт про те, що в ФГ «Агрофірма «Базис» виконувалось впровадження результатів науково-дослідної роботи з вивчення хімічних і біологічних препаратів у технології вирощування сорго зернового.

Вид впровадження – площа сорго зернового 28 га, обробка насіння перед сівбою мікробним препаратом Біоарсенал у нормі 800 г/100 кг. По даному фону посіви у фазі 2–6 листків культури обприскували гербіцидом Цитадель 25 OD у нормі 1,0 л/га сумісно з регулятором росту рослин Ендофіт L1 у норму 30 мл/га.

Економічний ефект – прибавка врожаю сорго зернового 135 ц/га та одержання додаткового прибутку на рівні 4190 грн./га.

Соціальний і науково-технічний ефект – підвищення врожайності посівів сорго зернового та економічних показників.

Аспірант кафедри

захисту і карантину рослин



В. І. Красноштан

Додаток С

«Затверджую»
 ТОВ «Агрофірма «Оксанина»
 Трапезнікова
 «05» 10 2022 р.
 код 33830650

«Затверджую»
 Т.в.о. ректора Уманського НУС
 Т.І. Мосов'як
 «10» 10 2022 р.

Акт

впровадження науково-дослідної роботи у виробництво

«05» 10 2022 р.

Аспірант кафедри захисту і карантину рослин Уманського НУС Красноштан В. І. та голова ФГ «Агрофірма «Оксанина» Трапезнікова І. Л. (с. Оксанина, Уманського району, Черкаської області) склали даний акт про те, що в ТОВ «Агрофірма «Оксанина» виконувалось впровадження результатів науково-дослідної роботи з вивчення хімічних і біологічних препаратів у технології вирощування сорго зернового.

Вид впровадження – площа сорго зернового 25 га, обробка насіння перед сівбою мікробним препаратом Біоарсенал у нормі 800 г/100 кг. По даному фону посіви у фазі 2–6 листків культури обприскували гербіцидом Цитадель 25 OD у нормі 1,0 л/га сумісно з регулятором росту рослин Ендофіт L1 у норму 30 мл/га.

Економічний ефект – за використання даної композиції препаратів прибавка врожаю сорго зернового склала 129 ц/га, що забезпечило формування додаткового прибутку в розмірі 4055 грн./га.

Соціальний і науково-технічний ефект – підвищення врожайності посівів сорго зернового, покращення якості зерна за рахунок комплексного використання у технології вирощування культури біологічних препаратів.

Аспірант кафедри
 захисту і карантину рослин



В. І. Красноштан

Додаток Т

СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Карпенко В. П., Красноштан В. І. Вміст пігментів у листках сорго зернового у листках сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD, регулятора росту рослин Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2020. № 2, С. 14–18. DOI: 10.31395/2310-0478-2020-2-14-18
2. Карпенко В. П., Красноштан В. І., Притуляк Р. М., Мостов'як І. І., Гнатюк М. Г. Активність антиоксидантних ферментів у рослинах сорго зернового за дії гербіциду, регулятора росту рослин і біопрепарату. *Збалансоване природокористування*. 2020. № 4. С. 178–185. DOI: 10.33730/2310-4678.4.2020.226655
3. Karpenko V., Krasnoshtan V., Mostoviak I., Prytuliak R. Microorganisms number in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) rhizosphere after herbicide, plant growth regulator, and a biopreparation use. *Agronomy Science*. 2021. Vol. 76, № 2. P. 17–26. DOI: 10.24326/as.2021.2.2
4. Krasnoshtan V., Karpenko V., Prytuliak R., Leontiuk I., Datsenko I. Lipoperoxidation in grain sorghum under the influence of herbicides, phytohormones, and biopreparation. *Scientific Horizons*. 2021. Vol. 24, № 9. P. 36—43. DOI: 10.48077/scihor.24(9).2021.36-43
5. Красноштан В. І. Анатомо-морфологічні зміни листків сорго зернового за дії гербіциду, регулятора росту рослин і біопрепарату. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. 2022. № 101. С. 155–163. DOI: 10.32782/2415-8240-2022-101-1-155-163.

Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

6. Красноштан В., Карпенко В. Активність ферментів класу оксидоредуктаз у проростаючому насінні сорго зернового за використання регулятора росту рослин. Молодь і поступ біології : XV Міжнародна наукова

конференція студентів і аспірантів, присвячена 135 річниці від дня народження Я. Парнаса (м. Львів, 9–11 квітня 2019 р.): збірник тез. Львів, 2019. С. 178–179.

7. Карпенко В.П., Красноштан В.І., Посівні якості насіння сорго зернового за передпосівної обробки регулятором росту рослин. Перспективні шляхи розвитку наукових знань (частина 1) : матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції м. Київ, 26-27 січня 2019 року. Київ, 2019. С. 51–52.

8. Красноштан В. І., Карпенко В. П. Забур'яненість посівів сорго зернового за використання хімічних і біологічних препаратів. Динаміка розвитку сучасної науки : матеріали міжнародної наукової конференції (Т. 2), 15 листопада. 2019 рік. Чернігів, 2019. Т. 2. С. 95–97.

9. Карпенко В. П., Красноштан В. І. Вміст пігментів у листках сорго зернового за дії гербіциду, регулятора росту рослин і біопрепарату. Theory and practice of modern science : III international scientific and theoretical conference, 1 квітня 2022 рік. Краків, 2022. Т. 1. С. 69–70.