

UDC 631.527:635.262:632.4

BIOCHEMICAL METHOD OF EVALUATION OF PRE-SELECTION INITIAL FORMS AND CULTIVARS OF GARLIC FOR RESISTANCE TO FUNGAL DISEASES**Yatsenko V.V., Ulianych O.I.**

Uman National University of Horticulture

Instytutska Str., 1, Uman, Cherkasy region, 20301, Ukraine

E-mail: slaviksklavin16@gmail.com

<https://doi.org/10.32717/0131-0062-2021-69-43-54>

Abstract. The main direction in the selection of garlic is the creation of high-yielding varieties that are resistant to common pests and diseases, frost-resistant and precocious and suitable for long-term storage in uncontrolled conditions. **The purpose.** Selection work primarily with garlic is aimed at expanding and improving methods of creating and evaluating the source material experimentally. The paper presents the results related to methodological approaches to the biochemical method of evaluation of cultivars and collection samples of winter garlic on a natural infectious background for resistance to fungal diseases. **Methods.** Field, laboratory, statistical and calculation-analytical methods were used for research. **Results.** As a result of visual diagnostics of winter garlic crops, it was found that the standard Sofiyivsky and promising samples № 1 and № 13 were characterized as the most resistant to rust and fusarium rot, where the rate of rust-affected plants ranged from 1.2 to 2.5% with the intensity of the disease on the leaves on average over the years of research 0.5–1 point. In terms of the number of plants affected by fusarium rot, the Sofiyivsky and samples № 1 and 13 had 0.5–1.0% of affected plants. Depending on the reproduction in terms of the intensity of damage to garlic plants by diseases, the most significant difference was observed within one variety between reproductions. Thus, garlic plants, regardless of variety, in I–III reproductions were marked by minimal manifestation of disease, or no signs of disease at all, while in IV–V reproductions observed a higher intensity of damage and development of fungal diseases, due to reduced enzymatic activity and deterioration of physiological parameters of plants. **Conclusion.** In the course of statistical data processing, a linear relationship between the activity of antioxidant enzymes and the intensity of damage to garlic plants was revealed, where the inverse correlation index $r = 0.51–0.90$, and the index of approximation $r^2 = 0.56–0.81$. As a result of the conducted researches, on the basis of results of a method of visual diagnostics, the method of enzymatic diagnostics is developed. The method is based on the dependence of the activity of antioxidant enzymes with the intensity of plant damage by rots and spots (the higher the enzymatic activity, the lower the level of damage intensity). The presented results, based on the data of the field experiment, are significant because the models presented in the materials can be used to model the selection process and/or its scheme.

Key words: diseases, garlic, cultivar, reproduction, activity of antioxidant enzymes, selection of garlic

БІОХІМІЧНИЙ МЕТОД ОЦІНКИ ПЕРЕДСЕЛЕКЦІЙНИХ ВИХІДНИХ ФОРМ І СОРТІВ ЧАСНИКУ ЗА СТІЙКІСТЮ ДО УРАЖЕННЯ ГРИБКОВИМИ ХВОРОБАМИ**Яценко В.В., Улянич О.І.**

Уманський національний університет садівництва

вул. Інститутська, 1, м. Умань Черкаська обл., 20301

E-mail: slaviksklavin16@gmail.com

Анотація. Головний напрямок в селекції часнику – створення високоврожайних сортів, стійких проти розповсюджених шкідників та хвороб, морозостійких і скоростиглих та придатних до тривалого зберігання у неконтрольованих умовах. **Мета.** Селекційна робота з часником в першу чергу спрямована на розширення і вдосконалення методів створення та оцінювання вихідного матеріалу експериментальним шляхом. У роботі представлені результати пов'язані з методологічними підходами до біохімічного методу оцінювання сортів і колекційних зразків часнику озимого на природному інфекційному фоні за стійкістю до збудників грибкових захворювань. **Методи.** Для досліджень використовували польові, лабораторні, статистичні і розрахунково-аналітичні методи. **Результати.** У результаті проведення візуальної діагностики посівів часнику

озимого, виявлено, що сорт-стандарт Софіївський та перспективні зразки № 1 і № 13 характеризувалися, як найбільш стійкі до іржі та фузаріозної гнилі, де показник уражених рослин іржею коливався в межах 1,2–2,5 % з інтенсивністю розвитку хвороби на листках у середньому за роки досліджень 0,5–1 бал. За показником кількості уражених рослин фузаріозною гниллю сорт Софіївський та зразки № 1 і 13 мали 0,5–1,0 % уражених рослин. Залежно від репродукції за показниками інтенсивності ураження рослин часнику хворобами найбільш істотна різниця спостерігалася у межах одного сорту між репродукціями. Так, рослини часнику незалежно від сорту у I–III репродукціях були взагалі без ознак захворювань або з мінімальним проявом ураження, тоді як у IV–V репродукціях спостерігали більш високу інтенсивність ураження і розвитку грибкових захворювань, що можна пояснити зниженням ферментативної активності та погіршенням фізіологічних показників рослин. **Висновок.** У ході статистичної обробки даних, виявлено лінійну залежність між активністю антиоксидантних ферментів та інтенсивністю ураження рослин часнику, де показник зворотної кореляції $r = -0,51-0,90$, а коефіцієнт апроксимації $r^2 = 0,56-0,81$. У результаті проведених досліджень, на основі результатів методу візуальної діагностики, розроблено метод ферментативної діагностики. Метод ґрунтується на залежності активності антиоксидантних ферментів з інтенсивністю ураження рослин гнилями і плямистостями (чим вища ферментативна активність – тим нижчий рівень інтенсивності ураження). Представлені результати, базуючись на даних польового експерименту значущі, оскільки подані в матеріалах моделі можуть бути використані для моделювання селекційного процесу та/або його схеми.

Ключові слова: ураження хворобами, часник, сорт, репродукція, активність антиоксидантних ферментів, селекція часнику

Вступ. Селекційна робота з часником у першу чергу спрямована на розширення і вдосконалення методів створення вихідного матеріалу експериментальним шляхом.

Комплекс ознак і властивостей, якими повинен характеризуватися новий сорт, визначається виходячи з ґрунтово-кліматичних умов, для яких призначається майбутній сорт; рівня агротехніки (використання високих доз добрив, зрошення та ін.); орієнтації використання культури (столове або технічне).

Селекція на стійкість до хвороб здійснюється за безперервною програмою, оскільки патогени еволюціонують разом з господарем. Різноманіття сортів з різною генетичною основою стійкості та часта сортозаміна дозволяють випереджати еволюцію патогена в часі, а ареали господаря і паразита обмежити і розділити в просторі. Фітосанітарній оптимізації стану посівів сприяють територіальні «маневри» генетичними факторами стійкості, фітопатологічні заборони для сприйнятливих сортів, відсутність сорту-лідера стосовно займаної площі і т.д. Таким чином, дослідження, спрямовані на підвищення адаптивного потенціалу культури і стабілізацію фітосанітарної ситуації в агроєкосистемах селекційно-імунологічними методами, є актуальними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій з досліджуваної теми. Основні напрямки в

селекції часнику включають поліпшення місцевих і створення нових сортів, що володіють заздалегідь певною ознакою або групою ознак.

Стійкість рослин до хвороб і шкідників, визначається в період вегетації рослин і зберігання цибулин. Особливо цінними є сорти, стійкі до ушкоджень нематодою, цибулевим кореневим кліщем, вірусних захворювань. У роки з підвищеною вологістю або за вирощування на зрошенні, проводять відбір на стійкість до ураження гнилями і плямистостями (Etoh T. & Simon P.W., 2002; Rochecouste J. 1984, Hayat S. et al., 2016).

Створення сортів часнику, стійких до вірусних і збудників грибкових захворювань, є однією з основних задач в селекції цибулевих культур, які розмножуються вегетативно.

Розроблено багато методів діагностики стійкості часнику до вірусних захворювань: візуальний метод діагностики захворювання, електронно-мікроскопічний, індикаторний, серологічний і імуноферментний (Avato P. et al., 2000; Block E. 2010; Khar A. et al., 2020; Bhusal H. et al., 2021; Benke A. et al., 2020). За допомогою методу електронної мікроскопії визначається відносна концентрація вірусних частинок в соку або препараті, підраховується їх кількість на одиниці площі листка або в одиниці маси досліджуваної тканини. Використовується метод електронної мікроскопії в основному для ідентифікації

вірусів при вивченні хвороб невідомої етіології або в тих випадках, коли інші методи не дають однозначної відповіді. Переваги даного методу: використання невеликої кількості клітинного соку або рослинної тканини, висока чутливість (можливість виявлення вірусів, що знаходяться в невеликих концентраціях). Широко цей метод в селекції рослин не використовується, так як необхідна наявність дороговартісного й складного устаткування, неможливе виконання масових аналізів (Kartel N.A. & Kilchevsky A.V., 2005; Fan B. et al., 2017; Marodin J. et al., 2020). Проте для діагностики ураження збудниками грибкових захворювань здебільшого використовують візуальний метод, який базується на спостереженні інтенсивності розвитку захворювання упродовж вегетації на природному або штучному інфекційному фоні (Al-Safadi B. & Faoury H., 2004).

Мета досліджень полягала у виявленні і вивченні тісноти кореляційних зв'язків між активністю антиоксидантних ферментів та інтенсивністю розвитку й ураження рослин часнику озимого збудниками грибкових захворювань залежно від сортових особливостей та репродукції.

Подальші дослідження полягають у розширенні сортименту та об'єктів для вивчення даного методу оцінювання вихідного матеріалу на природньому і штучному інфекційному фоні.

Матеріали й методи досліджень. Упродовж 2017–2020 рр. у ґрунтово-кліматичних умовах Правобережного Лісостепу України на дослідному полі НВВ Уманського НУС проведено дослідження з вивчення зміни продукційних процесів та стійкості селекційних форм часнику озимого залежно від сорту і репродукції.

Для досліджень впливу репродукції (I (однозубка), II, III, IV і V репродукції) на продуктивність і стійкість використовували сорти часнику озимого Софіївський (Standart), Прометей, Любаша.

Для виявлення стійкості перспективних колекційних зразків у порівнянні з селекційними сортами часнику озимого (Софіївський, Прометей, Любаша), використовували стрілкуючі зразки за номерами: 5, 6 і 13 та нестрілкуючі I і 16.

Ґрунт дослідного поля – чорнозем опідзолений важкосуглинковий.

У дослідженнях застосовували загальноприйняті методики (Bondarenko H. L. & Yakovenko K. I., 2001; Volkodav V.V., 2001).

Загальна площа досліду 1000 м², ділянки 12 м², облікова 10 м². Ділянки розташовували у систематизованому порядку з чотириразовою повторністю.

Попередник – картопля рання. Часник озимий висаджували на початку другої декади жовтня за рядковою схемою 45×6 см.

Визначення активності антиоксидантних ферментів проводили з використанням спектрофотометра СФ-2000. Аналізували активність супероксиддисмутази (СОД), каталази (КАТ), гваяколпероксидази (ГвПО). Для екстракції ензимів листки, попередньо заморожені в рідкому азоті, гомогенізували в 50 мМ калій-фосфатному буфері (рН 7,2), який містив 0,1 мМ ЕДТА, 0,1 % фенілметилсульфонілфториду і 2 % полівінілпіролідону. Гомогенат центрифугували при 15 000 g протягом 15 хв.

Загальну активність СОД (супероксиддисмутаза) визначали за здатністю ферменту інгібувати фотохімічні відновлення нітросинім тетразолієм до формазану відповідно до методики (Beauchamp Ch. & Fridovich I., 1971; Dhindsa R. S., 1981). Реакційне середовище (2 мл) містило 0,1 МК, Na-фосфатний буфер (рН 7,8), 9,3 мМ L-метіонін, 152,3 мкМ нітросиній тетразолій, 1,1 мкМ трилон Б, 2,4 % Тритон Х-100 і 100 мкл ферментативного препарату. Реакцію запускали додаванням 50 мкл 111,3 мкМ розчину рибофлавіну і проводили на світлі (освітленість ФАР 180 мкмоль/м²·с) протягом 30 хв. Темновим контролем слугувало повне реакційне середовище, інкубована в темряві, а світловим – повне реакційне середовище, інкубоване на світлі, без додавання ферментативного екстракту, замість нього використовували 100 мкл 0,1 К–Na-фосфатного буфера (рН 7,8). Реакцію зупиняли, поміщаючи проби в темряву. Оптичну щільність визначали за довжини хвилі 560 нм на спектрофотометрі. Активність СОД виражали в ум. од./мг білка.

Активність КАТ (каталаза) в супернатанті визначали за ферментативним розкладанням Н₂О₂ при 240 нм (Aebi H., 1984; Upadhyaya A., 1985). Реакційне середовище містило 2 мл 0,1 МК, Na-фосфатного буфера (рН 7,0), 50 мкл 19,4 мМ Н₂О₂. До отриманої суміші додавали 60 мкл ферментативного препарату і фіксували динаміку зміни оптичної щільності на

спектрофотометрі протягом 1 хв. Активність КАТ виражали в мкмоль H_2O_2 /хв/1 мг білка

Активність ГвПО визначали, виходячи зі збільшення оптичної щільності при 470 нм в результаті окислення гваяколу ($\varepsilon = 26,6 \text{ мМ}^{-1} \text{ см}^{-1}$) за наявності H_2O_2 (Sun J., 2011). Реакційне середовище містило 3 мл 0,1 К–Na-фосфатного буфера (рН 6,2), 30 мкл 9,5 мМ H_2O_2 , 30 мкл 9 мМ гваяколу. До отриманої суміші додавали 50 мкл ферментативного препарату і визначали динаміку зміни оптичної щільності на спектрофотометрі протягом 1 хв. Активність ГвПО виражали в мкмоль тетрагваяколу/хв/1 мг білка.

Ступінь ураження хворобами визначали за наступною методикою:

Обстеження посівів часнику на ураженість хворобами проводили по двох діагоналях поля в 10 місцях однаково віддалених одне від одного. У кожній точці оглядали 10 рослин (усього 200). Для візуальної оцінки, що відображає кількісну і якісну сторону ураження рослини, використовували імунологічну шкалу в балах:

0 – перо здорове; 1 бал – уражено до 10% листкової поверхні; 2 бали – уражено від 10 до 35 % листкової поверхні; 3 бали – уражено від 36 до 60% листкової поверхні; 4 бали – уражено від 61 до 85% листкової поверхні; 5 балів – рослина гине, уражено більше 85% листкової поверхні.

Одержані результати обліків ступеня ураженості і поширення хвороб овочевих і баштанних культур використовують для визначення розвитку хвороби (Ahmed I., 2017).

Результати обліку інтенсивності ураження по кожній рослині (або органу) були виражені у балах, для визначення розвитку хвороби використовували таку формулу:

$$R = \Sigma \frac{ab \times 100}{Nk}$$

R – розвиток хвороби, %; Σ ав – сума добутків, кількості хворих рослин (а) на відповідний їм бал ураження (в); N – загальна кількість облікованих рослин у пробі (здорових і хворих); k – число балів у шкалі обліку.

Статистичний аналіз. Для аналізу експериментальних даних використано методи кореляційного, та дисперсійного аналізів. Статистичну обробку даних виконували з використанням ліцензійних комп'ютерних програм Microsoft Office Exel і Statistica 10.0. Результати розраховували на рівні значущості 0,01 і 0,05.

Результати досліджень. Біохімічні реакції та ураженість рослин часнику збудниками грибкових захворювань залежно від сорту і репродукції. Від належного функціонування ферментативної системи залежать стреспротекторні функції рослинного організму. Істотна роль у захисті клітин від окислювальної деструкції належить, зокрема, супероксиддисмутазі, яка каталізує реакцію супероксидних радикалів (O^\cdot). Швидкість взаємодії СОД і O^\cdot залежить від ступеня гідратації клітин (Asada K. 2006; Wills E.D., 1956). Рівень антиоксидантів та активність антиоксидантних ферментів, таких як СОД, КАТ, АПО, гваяколпероксидаза (ГвПО) та ферменти, пов'язані з глутатионом (глутатіонредуктаза, ГР та глутатіон S-трансфераза, GST), як правило, підвищуються у рослин під впливом стресового фактора, а в ряді випадків їх активність добре корелює з підвищеною стійкістю (Prasad T.K. et al., 1994; Foyer C.H. et al., 1997).

Результати дослідження активності антиоксидантних ферментів показали, що лише один сортозразок (№ 1) характеризувався підвищеною активністю комплексу ферментів відносно стандарту (рисунок 1). Близькими показниками до стандарту, але в той же час дещо нижчими володіли сортозразок № 13, де активність комплексу ферментів була нижчою на 36,6; 26,5 і 3,1 %. Усі інші досліджувані сорти і зразки мали нижчі показники активності антиоксидантних ферментів відносно стандарту на 27,5–58,4 % залежно від сорту і ферменту.

У результаті проведення візуальної діагностики посівів часнику озимого, виявлено, що сорт-стандарт Софіївський не мав ознак ураження іржею. Виділені перспективні зразки № 1 і № 13 з низьким балом та відсотком ураження іржею та фузаріозною гниллю, де показник уражених рослин іржею коливався у межах 1,2–2,5 % з інтенсивністю розвитку іржі на листках у середньому за роки досліджень 0,5 і 1 бал. За показником кількості уражених рослин фузаріозною гниллю (з урахуванням фітопрочищення у період вегетації), у середньому за роки сорт Софіївський та зразки № 1 і 13 мали 0,5–1,0 % уражених рослин.

Найменш стійкими до ураження були сорт Прометей і зразки № 5 і 6, де кількість уражених рослин іржею була у межах 5,0–6,2 % з інтенсивністю розвитку хвороби на листках 2,0–2,5 %.

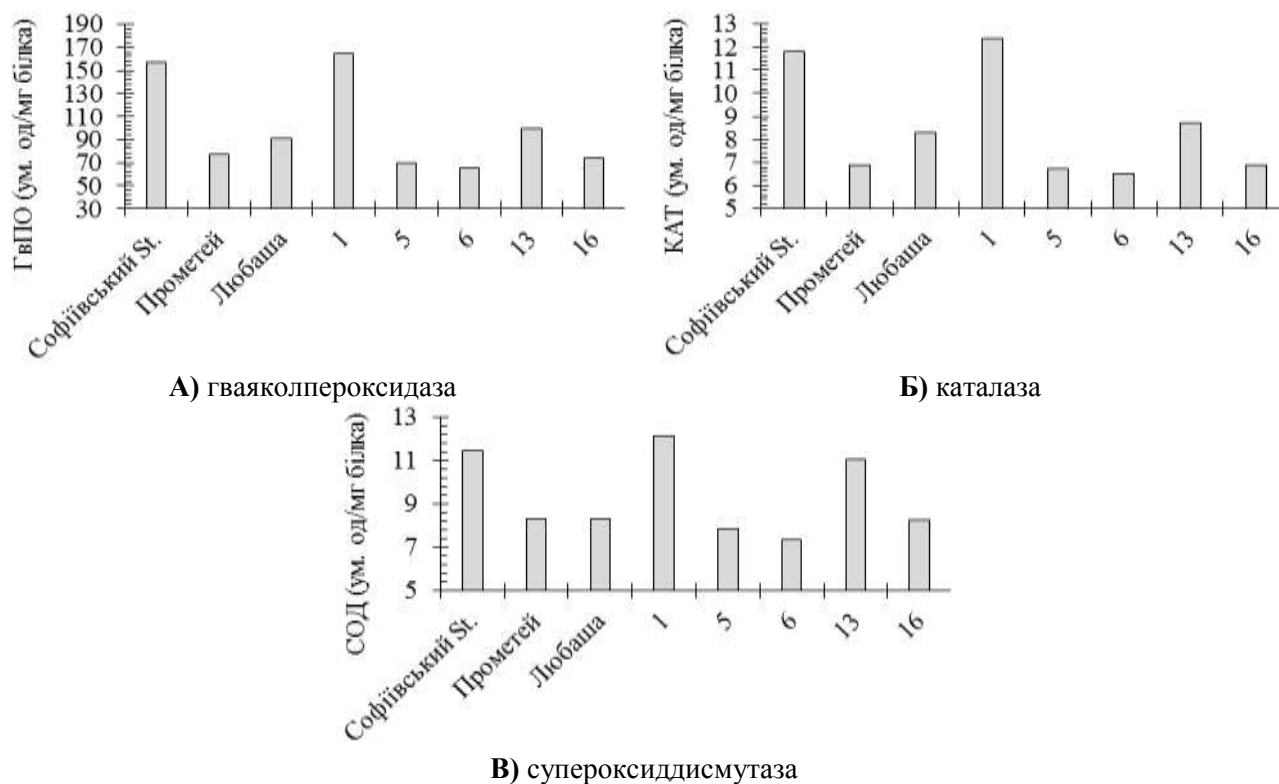


Рисунок 1. Активність антиоксидантних ферментів у листках часнику озимого залежно від сорту/зразка (2017–2020)

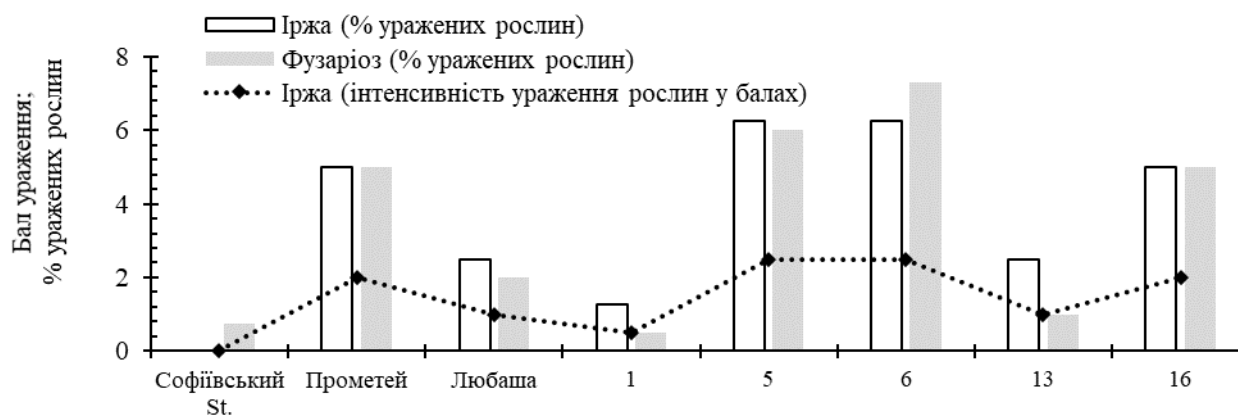


Рисунок 2. Інтенсивність ураження посівів часнику видами іржі (*Puccinia prri* Wint., *Puccinia alli* Rud., *Melampsora alli – populina* Kleb) та фузаріозною гниллю (*Fusarium sp*) на момент збору врожаю залежно від сорту/зразка (2017–2020)

Дослідженнями впливу сортових особливостей і репродукцій часнику виявлено, що активність гваяколпероксидази (ГвПО) істотно знижувалася у всіх сортів зі збільшенням репродукції. Активність ГвПО у сорту Софіївський від II до V репродукцій

знижувалася на 9,1–39,6 %; сорту Прометей – 13,9–48,5 %; сорту Любаша – 10,4–54,2 %. Активність каталази мала подібну динаміку по репродукціях, але сорт Софіївський характеризувався більш істотним зниженням даного ферменту (-22,6–53,0 %). Сорти

Прометей і Любаша зменшували активність КАТ на 9,6–49,3 %. За показником активності супероксиддисмутази (СОД) сорт Софіївський показав найменшу стійкість (-18,2–57,8 % до I репродукції). Сорт Любаша знизив активність КАТ на 17,9–44,8 %, а сорт Прометей володіючи найнижчою ферментативною

активністю, знижував її на 12,4–38,7 % відносно I репродукції. Виявлено, що сорт Софіївський є більш стійким, адже активність антиоксидантних ферментів є найвищою відносно сортів Прометей і Любаша (рис. 3).

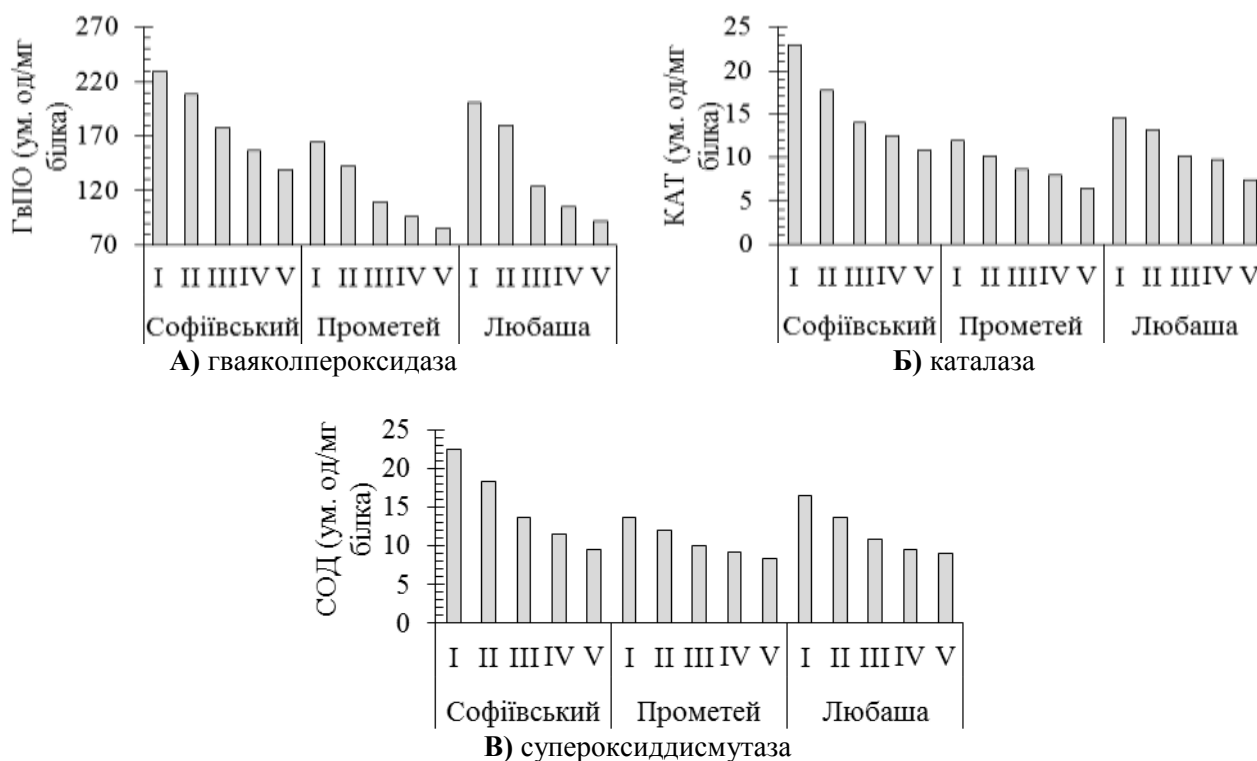


Рисунок 3. Активність антиоксидантних ферментів у листках часнику озимого залежно від сорту і репродукції (2017–2020)

Зниження активності ферментів свідчить про стан антиоксидантних систем, які знижують активність у зв'язку з погіршеним синтезом АФК (активних форм кисню), що зумовлюється старінням організму, або як у нашому випадку, виродженням часнику у пізніх етапах репродукування. Очевидно, накопичення інфекцій упродовж репродукування сприяло дестабілізації проходження ПОЛ (пероксидного окиснення ліпідів) процесів.

За показниками інтенсивності ураження рослин часнику хворобами найбільш істотна різниця спостерігалася у межах одного сорту між репродукціями. Так, у посівах сорту Софіївський I–III репродукцій ураження рослин

іржастими хворобами впродовж 4-х років не виявлено взагалі, тоді як у IV–V репродукціях кількість уражених рослин була на рівні 2 %, а інтенсивність ураження 1–2 бали. Сорт Прометей у I–II репродукціях мав 2 % уражених рослин з інтенсивністю розвитку хвороби 1–1,5 бали. Рослини III–V репродукцій уражувалися істотно більше (9–10 %), а інтенсивність розвитку хвороби була на рівні 2 бали. Сорт Любаша мав схожу динаміку: I–II репродукція мала 1 % уражених рослин з інтенсивністю розвитку іржі на листках 1–2 бали; рослини III–V репродукцій уражувалися суттєвіше – 4–4,5 % з розвитком хвороби 2 бали (рис. 4).

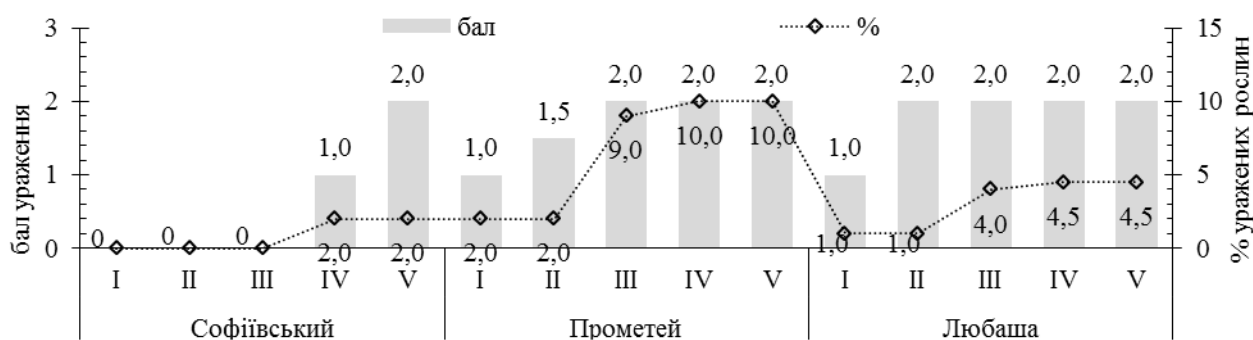


Рисунок 4. Інтенсивність ураження посівів часнику видами іржі (*Puccinia porri* Wint., *Puccinia alli* Rud., *Melampsora alli* – *populina* Kleb.) залежно від сорту і репродукції (2017–2020)

Ураженість часнику фузаріозною гниллю відзначали лише у період збору врожаю. Так, на рослинах I репродукції незалежно від сорту не виявлено ознак фузаріозної гнилі. Однак у наступних репродукціях вона зростала від 1 до 3,5 % цибулин з ознаками у сорту Софіївський; від 3,5 до 13,0 % у сорту Прометей, де у IV–V репродукціях спостерігали ураження цибулини гниллю на 90–95 %. У сорту Любаша в рослин

I–III відзначали ознаки гниття, однак відсоток уражених рослин був низьким – 1–2 %, що вказує на вищий рівень стійкості даного сорту до збудників хвороб, проте IV–V репродукціях дані показники істотно погіршувалися, відсоток уражених рослин становив 6,5% і 11,5 %, де у V репродукції уражені цибулини були на 80–90 % згнилі (рис. 5).

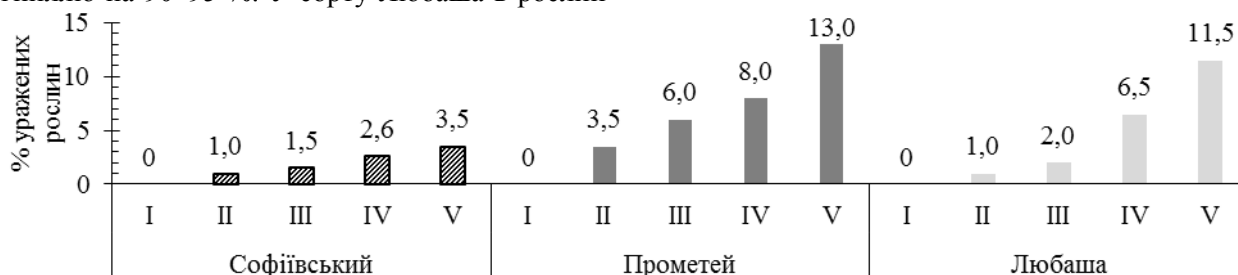


Рисунок 5. Ураженість посівів часнику фузаріозною гниллю (*Fusarium* sp) на момент збору врожаю залежно від сорту і репродукції (2017–2020)

Створення моделей лінійної залежності і визначення тісноти кореляційних зв'язків між біохімічними реакціями рослин і ступенем розвитку хвороб. У ході статистичної обробки даних та створення лінійних моделей залежності, виявлено зв'язок між активністю антиоксидантних ферментів та інтенсивністю ураження рослин часнику грибковими хворобами, де показник зворотної кореляції r коливався у межах $-0,51$ – $0,90$, а показник апроксимації $r^2 = 0,56$ – $0,81$ (рис. 6 і 7), що вказує на помітний і високий зв'язок за шкалою Чеддока.

За отриманими результатами моделювання, можна зробити висновок про істотні взаємозв'язки активності антиоксидантних ферментів і рівнем стійкості (толерантності) рослин часнику як до стресових чинників

загалом, так і до збудників грибкових захворювань зокрема, а даний принцип оцінювання передселекційного матеріалу можна включати у селекційний процес на початкових етапах для швидкого виявлення імунних форм.

Ще Шестаковою К. С. (Shestakova K.S., 2009) встановлено, що між ступенем ураження цибулини і листків часнику існує позитивна кореляція ($r = 0,86$). Створені нами математичні моделі залежності на рис. 8, підтверджують тісний взаємозв'язок між інтенсивністю ураження іржею та фузаріозом ($r = 0,60$ – $0,98$; $r^2 = 0,37$ – $0,97$) і вказують на тісну залежність між ступенем ураження рослин хворобами та їх продуктивністю (А, Б, В).

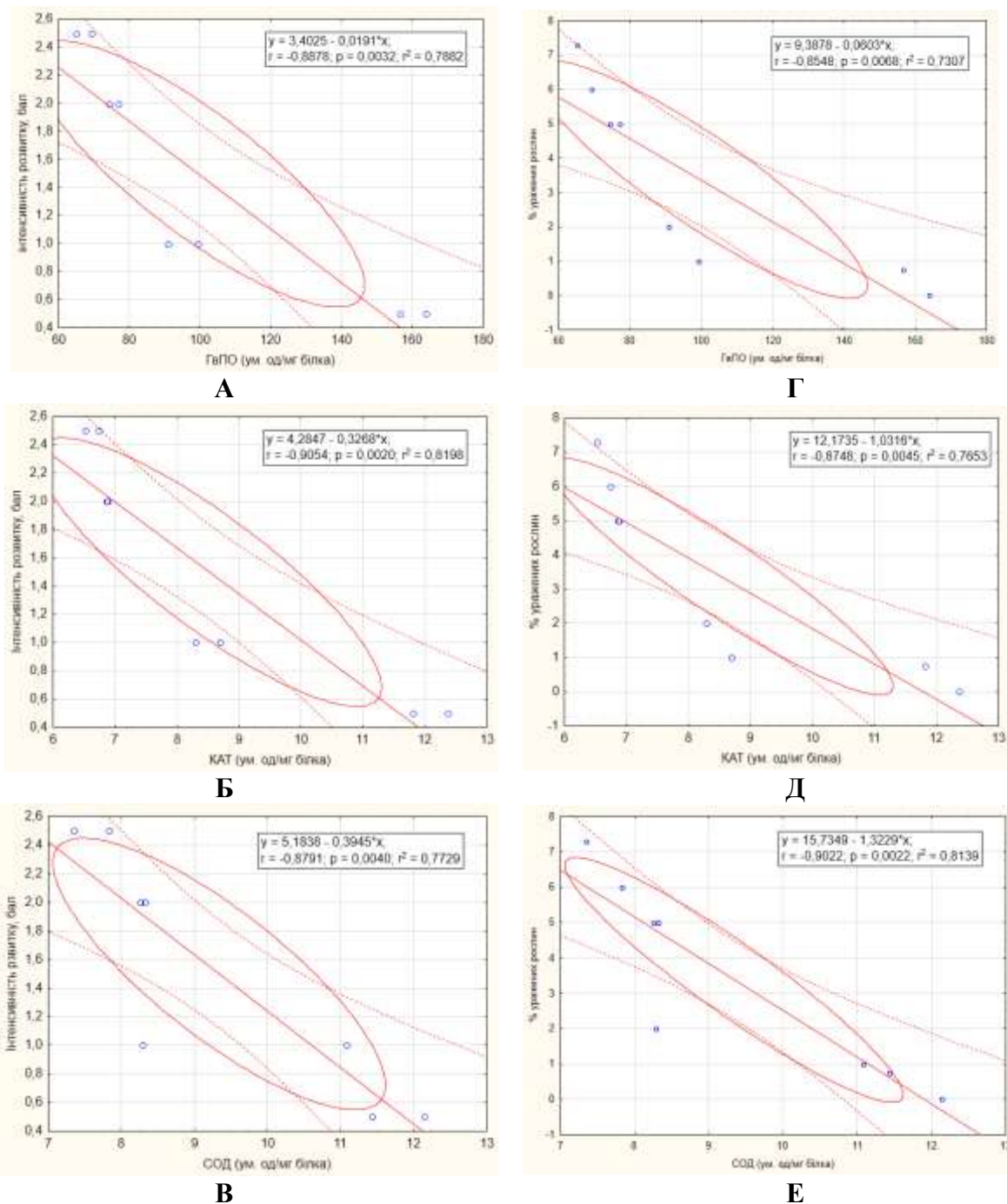


Рисунок 6. Статистичні моделі залежності між активністю антиоксидантних ферментів і інтенсивністю розвитку іржі на листках (А, Б, В) та кількістю уражених рослин фузаріозом на момент збору врожаю (Г, Д, Е) залежно від сорту/зразка (2017–2020)

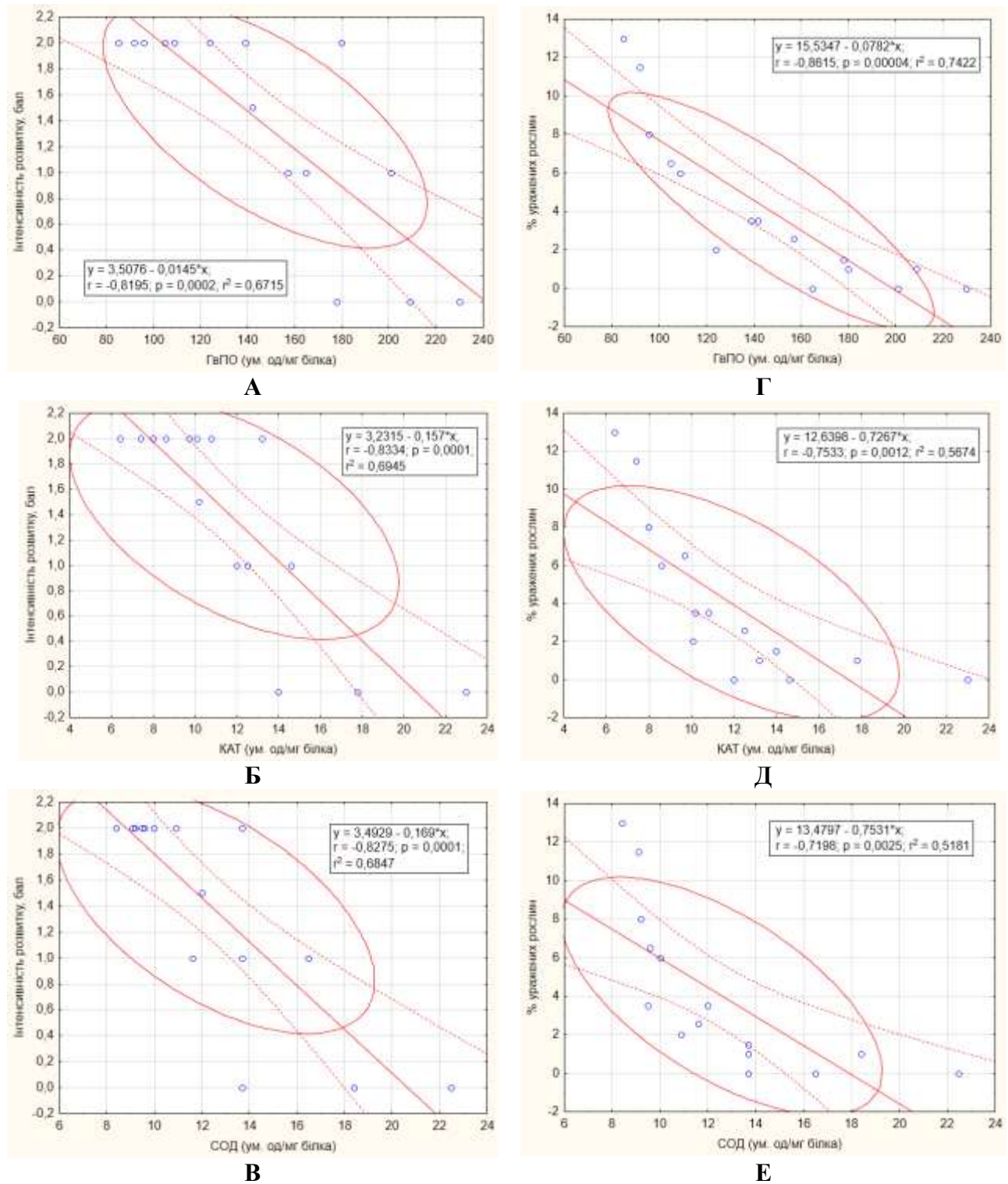
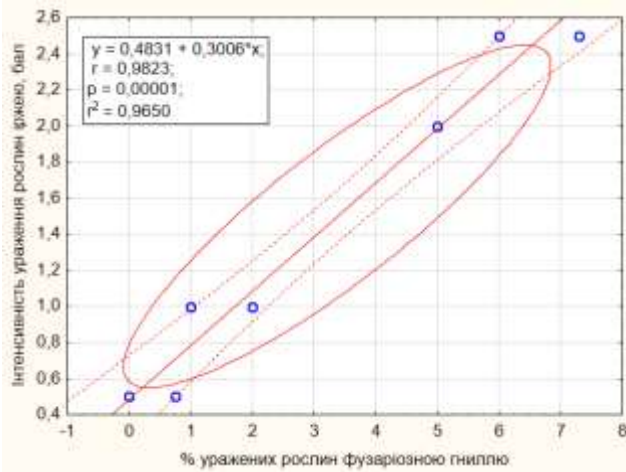
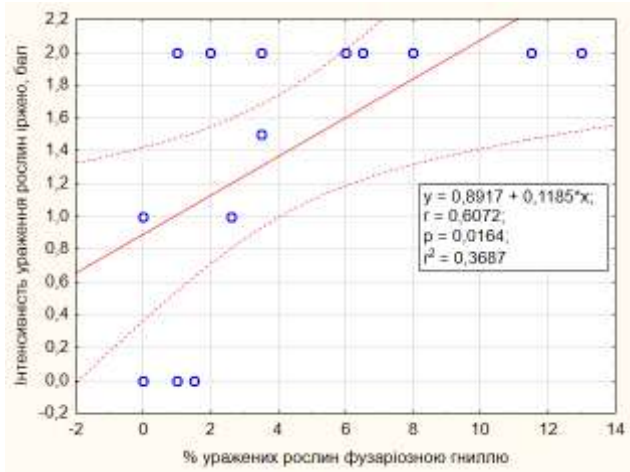


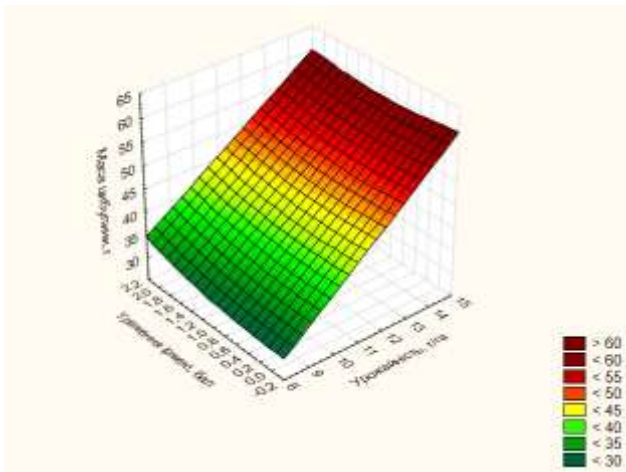
Рисунок 7. Статистичні моделі залежності між активністю антиоксидантних ферментів і інтенсивністю розвитку іржі на листках (А, Б, В) та кількістю уражених рослин фузаріозом на момент збору врожаю (Г, Д, Е) залежно від сорту і репродукції (2017–2020)



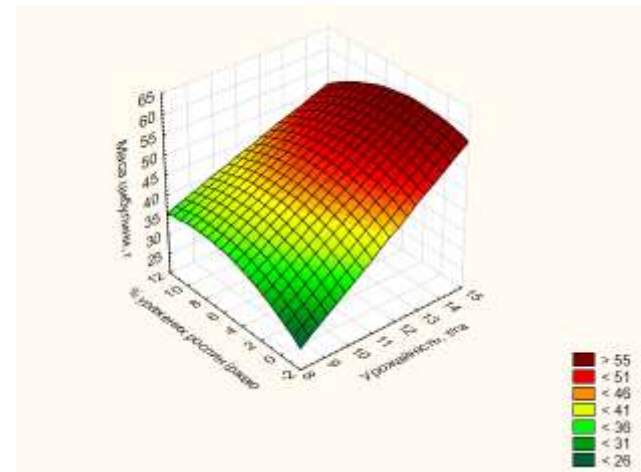
Залежність між інтенсивністю ураження рослин іржею та фузаріозом, залежно від сорту/зразка



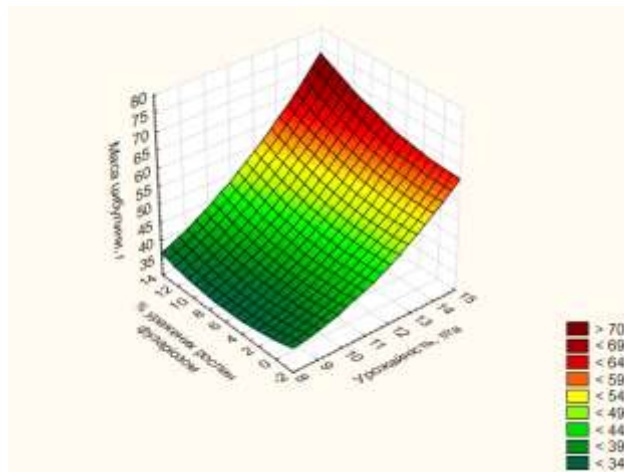
Залежність між інтенсивністю ураження рослин іржею та фузаріозом, залежно від сорту і репродукції



А



Б



В

Рисунок 8. Статистичні моделі залежності між ступенем ураження рослин іржею (А, Б) і фузаріозною гниллю (В) та продуктивністю залежно від сорту/зразка і репродукції

Висновки. Одержані результати, базуючись на даних польового експерименту і лабораторно-статистичних аналізів значущі, оскільки представлені в матеріалах моделі можуть бути використані для розробки схеми селекційного процесу; прогнозів виробництва та його економічного ефекту.

Розроблені науково обґрунтовані положення дозволяють не тільки скоротити тривалість і вартість селекційних досліджень, але і підвищити ефективність селекційного процесу за рахунок якості інтерпретації результатів досліджень, надійності й достовірності висновків.

Виявлено біологічні (фізіологічні) причини зниження стійкості рослин часнику до збудників фузаріозу та іржі, які пояснюються зниженням ферментативної активності та погіршенням фізіологічного стану рослинного організму. Виявлено тісні кореляційні зв'язки між активністю антиоксидантних ферментів у листках і ступенем ураження рослин часнику грибковими хворобами.

На основі одержаних результатів візуальної діагностики та біохімічних аналізів розроблено ферментативний експрес-метод оцінки часнику озимого на стійкість до іржі та фузаріозної гнилі, яка дозволяє оцінити матеріал у великому об'ємі як на етапах селекційної роботи, так і під час вирощування на продовольчі цілі.

Експрес-метод оцінки часнику озимого на стійкість до іржі та фузаріозної гнилі ґрунтується на залежності активності антиоксидантних ферментів з інтенсивністю ураження рослин захворюваннями (чим вища ферментативна активність – тим нижчий рівень інтенсивності ураження).

Для більш швидкого виділення імунних сортів/зразків на початковому етапі селекційних досліджень на природному інфекційному фоні, можна використовувати даний метод.

References

Aebi, H. (1984). Catalase in vitro. *Methods in Enzymol.*, 105, 122 [in English].

Ahmed, I., Khan, M.A., Khan, N., Ahmed, N., Waheed, A., Saleem, F.Y., Khan, S. and Aslam, S. (2017). Impact of plant spacing on garlic rust (*Puccinia allii*), bulb yield and yield component of garlic (*Allium sativum*). *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 30(4): 380-385.

<http://dx.doi.org/10.17582/journal.pjar/2017/30.4.380.385> [in English].

Al-Safadi, B., Faoury, H. (2004). Evaluation of salt tolerance in Garlic (*Allium sativum* L.) cultivars using in vitro techniques. *Advances in Horticultural Science*, 18(3), 115-120 [in English].

Asada, K. (2006). Production and scavenging of reactive oxygen species in chloroplasts and their functions. *Plant Physiol.* № 141(2). P. 395 [in English].

Avato, P., Tursi, F., Vitali, C., Miccolis, V., Candido, V. (2000). Allylsulfide constituents of garlic volatile oil as antimicrobial agents. *Phytomedicine*, 7 239–243. 10.1016/S0944-7113(00)80010-0 [in English].

Beauchamp, Ch., Fridovich, I. (1971). Superoxide dismutase improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. *Analytical Biochemistry*, № 44 (1), 278 [in English].

Benke, A., Nair, A., Krishna, R., Anandhan, S., Mahajan, V., Singh, M. (2020). Molecular screening of Indian garlic genotypes (*Allium sativum* L.) for bolting using DNA based Bltm markers. *Project: Evaluation and maintenance of Indian garlic germplasm* [in English].

Bhusal, H., Shemesh-Mayer, E., Forer, I., Kryukov, L., Peters, R., Kamenetsky, R. (2021). Bulbils in garlic inflorescence: development and virus translocation. *Scientia Horticulturae*, 285. 110146. 10.1016/j.scienta.2021.110146 [in English].

Block E. (2010). Garlic and Other *Alliums*. *The Lore and the Science*. RSC Publishing, London, UK., pp. 72–85 [in English].

Bondarenko, H.L., Yakovenko, K.I. (2001). *Metodyka doslidnoi spravy v ovochivnytstvi i bashtannytstvi; Za red. H.L Bondarenka i Yakovenka K.I. [Methodology of experimental work in vegetable and melon]*. Kharkiv: Osnova, 2001. 369 p. [in Ukrainian].

Dhindsa, R.S., Plumb-Dhindsa P., Thorpe T. A. (1981). Leaf senescence: correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. *Journal of Experimental Botany*, № 32, 94 [in English].

Etoh, T., Simon, P.W. (2002). Diversity, fertility and seed production in garlic. In: Rabinowitch, H.D., Currah, L (eds). *Allium crop science: Recent advances. ind. (edn)*, pp. 101-118. CABI.

UK. <https://doi.org/10.1079/9780851995106.0101> [in English].

- Fan, B., He, R., Shang, Y., Xu, L., Wang, N., Gao, H., Liu, X., Wang, Z. (2017). System construction of virus-free and rapid-propagation technology of Baodi garlic (*Allium sativum* L.). *Scientia Horticulturae*. 225. 498-504. 10.1016/j.scienta.2017.07.042. [in English].
- Foyer, C.H., Lopez-Delgado, H., Da,t J.F., Scott, I.M. (1997). Hydrogen peroxide- and glutathione-associated mechanisms of acclimatory stress tolerance and signalling. *Physiol. Plant.*, 100: 241–254 [in English].
- Hayat, S., Cheng, Z., Ahmad, H., Ali, M., Chen, X., Wang, M. (2016). Garlic, from Remedy to Stimulant: Evaluation of Antifungal Potential Reveals Diversity in Phytoalexin Allicin Content among Garlic Cultivars; Allicin Containing Aqueous Garlic Extracts Trigger Antioxidants in Cucumber. *Frontiers in plant science*, 7, 1235. URL: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01235> [in English].
- Kartel N.A., Kilchevskiy A.V. (2005). *Biotechnologiya v rasteniyevodstve: uchebnik / Pod red. Ya. Martinovich. [Biotechnology in plant growing: textbook / Ed. J. Martinovich]. Minsk. 310 p. [in Russian].*
- Khar, A., Sho, H., Abdelrahman, M., Shigyo, M., Singh, H. (2020). Breeding and Genomic Approaches for *Climate-Resilient Garlic*. 10.1007/978-3-319-97415-6_8. [in English].
- Marodin, J., Resende, F., Resende J., Constantino, L., Sanzov,o A., Zeist, A. (2020). Virus-free garlic yield and commercial classification as a function of plant spacing and seed size. *Horticultura Brasileira*. 38. 295-300. 10.1590/S0102-053620200309. [in English].
- Prasad T.K., Anderson, M.D., Martin, B.A., Stewart, C.R. (1994). Evidence for chilling-induced oxidative stress in maize seedlings and a regulatory role for hydrogen peroxide. *Plant Cell*, 6: 65–74 [in English].
- Rochecouste, J. (1984). Chemical control of garlic rust. *J. Plant Pathol.* 47-48. URL: <https://doi.ossrg/10.1071/APP9840047> [in English].
- Shestakova, K.S. (2009). *Selektsionno-immunologicheskaya kharakteristika ustoychivosti chesnoka ozimogo (Allium sativum L.) k fuzarioznoy gnili. Dissertatsiya ... kandidata selskokhozyaistvennykh nauk: 06.01.05, 06.01.06 Vseros. nauch.-issled. in-t selektsii i semenovodstva ovoshchnykh kultur. [Selection and immunological characteristics of the resistance of winter garlic (Allium sativum L.) to fusarium rot. Dissertation ... Candidate of Agricultural Sciences: 06.01.05, 06.01.06 Russian Research Institute for Selection and Seed Production of Vegetable Crops.]Moscow.118 p. [in Russian].*
- Sun, J., You, X.R., Li, L., Peng, H.X., Su, W.Q., Li, C.B., He, Q.G., Liao, F. (2011). Effects of a phospholipase D inhibitor on postharvest enzymatic browning and oxidative stress of litchi fruit. *Postharvest Biol. Technol.* № 62, pp. 288–290 [in English].
- Upadhyaya, A., Sankhla, D., Davis, T.D., Sankhla, N., Smith, B.N. (1985). Effect of paclobutrazol on the activities of some enzymes of activated oxygen metabolism and lipid peroxidation in senescing soybean leaves. *Journal of Plant Physiology*, 121, 455 [in English].
- Volkodav, V.V. (2001). *Metodyka derzhavnoho sortovyprobuvannia silskohospodarskykh kultur (kartoplia, ovochi ta bashtanni kultury) [Method of state sorting of agricultural crops (potatoes, vegetables and melons)] Kyiv, 101 p. [in English].*
- Wills, E.D. (1956). Enzyme inhibition by allicin, the active principle of garlic. *Biochem. J.*, 63: 514–520 [in English].