МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

ГОРЩАР ВЛАДИСЛАВ ІВАНОВИЧ

УДК 631.95:633.11:575.21:575.22:574.24

ЕКОЛОГО-ГЕНЕТИЧНІ ОСНОВИ САЙТ-СПЕЦИФІЧНОГО ФОРМОТВОРЧОГО ПРОЦЕСУ У ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ

03.00.16 «Екологія»

Реферат дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора сільськогосподарських наук

Київ – 2026

Дисертацією є кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису

Роботу виконано у Дніпровському державному аграрно-економічному університеті Міністерства освіти і науки України

Опоненти: доктор сільськогосподарських наук, професор
ВІНЮКОВ Олександр Олександрович,
Донецька державна сільськогосподарська
дослідна станція НААН,
директор

доктор сільськогосподарських наук, професор
МАРЧЕНКО Тетяна Юріївна,
Інститут кліматично орієнтованого
сільського господарства НААН,
завідувач відділу селекції сільськогосподарських культур

доктор сільськогосподарських наук, професор
ЛІСОВИЙ Микола Михайлович,
Національний університет біоресурсів
і природокористування України,
в. о. завідувача кафедри екобіотехнологій
та біорізноманіття

Захист відбудеться «06» листопада 2026 року о 10^{00} годині на засіданні докторської спеціалізованої вченої ради Д 26.004.02 у Національному університеті біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 15, навчальний корпус № 3, кімната 301

З дисертацією можна ознайомитися у науковій бібліотеці Національного університету біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 13, навчальний корпус № 4, кімната 41а

Вчений секретар докторської
спеціалізованої вченої ради Валерія БОНДАРЬ

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Згідно з класичним визначенням екологічна генетика є інтегративною дисципліною, яка поєднує екологічні та генетичні аспекти вивчення мінливості організмів. Цей підхід дає можливість глибше розуміти, як генетичні процеси взаємодіють з екологічними чинниками та формують відповіді організмів на зовнішні виклики, що особливо актуально в умовах глобальної зміни клімату (Conner, 2006; Cann et al., 2022).

Взаємодія генетичних та екологічних процесів дає змогу з'ясувати, як генетична структура популяцій змінюється під впливом екологічних чинників різної природи та генетичної активності (Nazarenko et al., 2018). Норма реакції та адаптації визначає генетично зумовлені особливості реакції організмів на екологічні виклики та їхні адаптивні можливості (Бурденюк-Тарасевич, 2017).

Генотоксикологія як складова екологічної генетики зосереджується на вивченні впливу генетично активних чинників середовища на організми, зокрема на ідентифікації та аналізі мутагенних агентів і наслідків їхньої дії для генетичного потенціалу рослин (Abaza et al., 2020; Ahumada-Flores et al., 2021). Екологічна генетика при цьому розглядає генетичні процеси у взаємодії з чинниками середовища як одну з основ формування мінливості живих організмів в агросфері (Conner, 2006).

Інтегрований еколого-генетичний підхід, у якому взаємодія між генотипом і середовищем має визначальне значення, відкриває можливості для аналізу адаптивних реакцій і мінливості популяцій культурних рослин. Використання мутагенів як контрольованих чинників дає змогу досліджувати генетичну мінливість, підвищувати керованість експериментального процесу та визначати модельні прогностичні змінні (Іжболдін та Лихолат, 2021; Моргун, 2012). Мутагени при цьому можуть розглядатися як стресори, дія яких спричиняє як негативні ефекти, зокрема мутагенну депресію, так і формування спадкових змін, частина яких може мати адаптивну або практичну цінність (Ahloowalia and Maluszynski, 2004; Lync, 2010).

Концептуально дисертацію виконано в межах еколого-генетичного напряму сучасної екології, пов'язаного з дослідженням закономірностей взаємодії генотипу з чинниками середовища, особливостей формування адаптивних реакцій організмів та прояву спадкової мінливості під впливом екологічних стресорів. У цьому дослідженні хімічні супермутагени використовуються не лише як засоби індукування спадкової мінливості, а й як модельні екогенетичні стресори, що забезпечують контрольований рівень впливу на рослинний організм. Використання таких модельних стресорів дало змогу дослідити закономірності взаємодії в системі «генотип – екогенетичний чинник – концентрація чинника», оцінити прояв екогенетичної токсичності, характер реакцій різних генотипів та особливості формування індукованої спадкової мінливості. У такому розумінні екологічний зміст роботи полягає у встановленні закономірностей взаємодії генотипу з модельними чинниками середовища, а селекційні результати є практичним наслідком виявлених еколого-генетичних закономірностей.

Комплексна оцінка таких ефектів передбачає дослідження показників продуктивності, якості, цитогенетичної та спадкової мінливості. Цитогенетичні й інші генетично опосередковані параметри дають можливість оцінювати характер впливу мутагенів та особливості реакції досліджуваного матеріалу (Feldman, 2001; Chaudhary et al., 2019). Інтегративний екогенетичний підхід, таким чином, забезпечує комплексний аналіз взаємодії екологічних і генетичних чинників та може бути використаний для вирішення прикладних завдань щодо формування й використання біорізноманіття агроекосистем (Gottschalk, 2012; Назаренко, 2018).

Відомо, що використання цих ефектів дає змогу створювати системи «генотип – чинник – концентрація чинника», здатні збільшити частоту одержання корисних форм на 60–80 %, однак конкретні закономірності взаємодії складових таких систем залишаються

недостатньо вивченими. Тому їх створення нині значною мірою ґрунтується на тривалому емпіричному доборі (van Harten, 1998; Spencer-Lopes et al., 2018; Bezie et al., 2020)

У зв'язку з цим актуальним є дослідження еколого-генетичних основ сайт-специфічного формотворчого процесу пшениці озимої для встановлення закономірностей взаємодії генотипу з екогенетичними чинниками, прогнозування характеру індукованої мінливості та підвищення ефективності добору господарсько цінних форм. Цьому й присвячені результати дисертації.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертацію виконано на кафедрі рослинництва Дніпровського державного аграрно-економічного університету в рамках наукових тем «Розширити різноманіття м'якої пшениці при використанні мутагенезу та інтрогресії; створити колекції генетично-цінних ліній» (номер державної реєстрації 0111U004217), «Розробити та науково обґрунтувати елементи екологічно-збалансованих технологій вирощування польових культур в умовах Степу України» (номер державної реєстрації 0120U104843), «Науково обґрунтувати і вдосконалити технології вирощування зернових, зернобобових та олійних культур в умовах Степу України» (номер державної реєстрації 0115U000713).

Мета та завдання дослідження. Мета дисертаційного дослідження – розробити еколого-генетичні основи створення систем на базі сайт-специфічної дії хімічних супермутагенів залежно від особливостей генотипів пшениці м'якої озимої.

Для досягнення цієї мети було поставлено такі завдання:

– дослідити спадкову мінливість та її параметри, рівень виходу корисних спадкових змін генотипів пшениці озимої з використанням позитивних ефектів для поліпшення генетично зумовлених ознак продуктивності та якості в агроценозах;

– оцінити особливості прояву ефектів у позитивному та негативному сенсах у мутантній популяції залежно від вихідного матеріалу, природи та концентрації сайт-специфічного чинника;

– встановити особливості цитогенетичної та фенотипічної активності кожного чинника, їх концентрацій та показати зв'язок з генетичними наслідками дії;

– встановити загальну частоту та спектр мутацій, закономірності їх індукції залежно від вихідного матеріалу, природи чинника, його окремих концентрацій;

– показати закономірності експресії позитивних варіацій на ценотичному рівні за ключовими ознаками генетичного поліпшення для пшениці озимої;

– встановити ефективність сайт-специфічних чинників, їх окремих концентрацій та вихідних форм для створення комплексів з високим виходом практично-цінного матеріалу;

– дослідити та відібрати методи математичної оцінки прогностичних ефектів для кращого скринінгу придатних генотипів для створення ефективних систем генетичного поліпшення;

– виявити базисні форми для функціонування високопродуктивних ценозів пшениці м'якої озимої з покращеним рівнем якості.

Об'єкт дослідження – взаємодія та вплив стресорів хімічної природи на зміни в генотипах пшениці м'якої озимої.

Предмет дослідження – агроекосистеми пшениці озимої на аут- та демекологічному рівнях прояву екогенетичної мінливості.

Для однозначного тлумачення термінології роботи основні поняття використовуються в такому значенні. Сайт-специфічність розглядається не в молекулярно-біологічному значенні взаємодії з конкретною нуклеотидною послідовністю, локусом чи молекулярним сайтом, а як закономірна вибірковість прояву ефектів у системі «генотип – екогенетичний чинник – рівень його дії». Сайт-специфічна дія – вибірковий характер реалізації ефектів конкретного екогенетичного чинника залежно від генотипу та рівня його дії. Екогенетичний чинник – фактор зовнішнього середовища, взаємодія якого з генотипом зумовлює прояв генетичних, цитогенетичних, фізіолого-біохімічних і фенотипових змін; у межах дослідження такими модельними чинниками є хімічні супермутагени. Екогенетична токсичність – інтегральна

характеристика негативних наслідків дії екогенетичного чинника, яку оцінювали за комплексом показників мутагенної депресії, життєздатності, цитогенетичної активності, продуктивності та індукованої мінливості залежно від системи «генотип – екогенетичний чинник – рівень його дії». У такому значенні зазначені поняття використовуються в дисертації.

Методи дослідження: обробка хімічними екогенетичними чинниками (водний розчин у різних концентраціях), визначення частоти й спектра змін та їх успадкування в поколіннях M_2–M_3; польовий дослід, біометричні аналізи (закладання дослідів, облік та структурний аналіз урожайності); визначення цитогенетичної активності (анафазний метод), фізіологічні (аналіз фотосинтетичної активності), біохімічні (аналіз вмісту білка та співвідношення компонентів запасних білків, вміст цінних мікроелементів) та статистичні (оцінка суттєвої різниці середніх значень вибірок за F-критерієм, кластерний, факторний та дискримінантний аналіз) методи.

Наукова новизна одержаних результатів. За результатами наукових досліджень на аутекологічному та ценотичному рівнях *вперше*:

– встановлено зв’язок між показниками ефектів екогенетичного впливу та мінливістю ознак на всіх рівнях організації з урахуванням характеру успадкування отриманих змін;

– виявлено ліміти генетичної та фізіологічної токсичності окремих чинників у програмах з генетичного поліпшення з огляду на отримання популяції для подальшого дослідження;

– встановлено варіацію адаптивної дії окремих генотипів залежно від концентрації та природи чинника, показано межі її варіативності для локального сортового матеріалу;

– визначено частоти виникнення нових мутантних форм у системі «генотип – концентрація – природа мутанта», здійснено класифікацію окремих концентрацій залежно від особливостей дії;

– виявлено прогностичні елементи в характері ефектів мутантної популяції, які можуть бути використані на ранніх етапах для часткового усунення несприятливих для створення комплексів «сорт – мутаген генотипи» залежно від генотипмутагенної взаємодії;

– показано особливості реалізації генетичної активності чинників (супермутагенів), їхніх окремих концентрацій у генерації загального рівня мінливості, частоті типів змінених ознак, можливості у варіації ймовірностей виникнення певних форм;

– запропоновано практичні варіанти комплексів з високим виходом потрібних типів змін на базі сайт-специфічної дії окремих чинників та особливостей генотипів сортів;

– показано можливість підвищення ймовірності створення форм пшениці з поліпшенням за експресією корисних ознак у комплексах «сорт – екогенетичний чинник»;

– встановлено закономірності формування деяких господарсько-цінних ознак залежно від генотипу в пшениці м’якої та особливості реалізації генетично зумовленого потенціалу продуктивності та якості;

удосконалено:

– методи оцінки цитогенетичної активності окремих чинників залежно від адаптивної відповіді;

– аналіз виникнення окремих цитогенетичних ефектів залежно від природи мутагена та генотипу вихідної форми;

– модельний підхід до визначення ефектів депресії за рахунок уведення нових показників;

– способи підвищення формотворчого процесу через використання сайт-специфічного ефекту;

набули подальшого розвитку:

– способи використання оптимальних концентрацій хімічних екогенетичних чинників для стабільного активного сайт-специфічного формотворчого процесу в генетичному поліпшенні пшениці м’якої;

– методики оцінки ефективності хімічних супермутагенів як екогенетичних чинників для отримання високої достовірності окремих типів змін залежно від особливостей суб'єкта дії.

Одержані результати розширюють сучасні уявлення про закономірності еколого-генетичної взаємодії генотипів пшениці озимої з модельними екогенетичними стресорами різної інтенсивності та механізми формування адаптивних реакцій і спадкової мінливості в умовах контрольованого стресового впливу.

Практичне значення одержаних результатів. Обґрунтовано практичну можливість створення комплексів на базі нітрозоетилсечовини (із сортом Полянка) та нітрозометил-сечовини (із сортами Полянка, Каланча та Почайна) як екогенетичних чинників у діапазоні помірних та оптимальних концентрацій: НЕС 0,01–0,025 %, НМС 0,0125–0,025 %, де вони проявляють відповідну сайт-специфічність щодо індукції цінних форм. Зважаючи на кількість корисних змін та невиявлення негативних наслідків у межах проведених досліджень, можливе створення комплексів із високим виходом цінних форм на базі азиду натрію в діапазоні концентрацій 0,01–0,05 % із сортами Балатон, Каланча, Полянка, Почайна та диметил-сульфату в концентрації 0,0125 % із сортами Каланча, Полянка.

На етапі дослідження першого покоління мутантної популяції на різних рівнях організації створюється можливість раннього прогнозування та вибракування неперспективних генотипів для сайт-специфічних чинників на основі встановлення характеру генотип-мутагенної взаємодії. Запропоновані підходи можуть бути використані не лише в селекційній практиці, а й для еколого-генетичного оцінювання реакції різних генотипів на дію модельних стресових чинників середовища та прогнозування ефективності застосування індукованого мутагенезу в селекційних програмах.

У запропонованих системах «сорт – екогенетичний чинник» створено перспективні лінії пшениці м'якої озимої, які є цінним вихідним матеріалом для генетичного поліпшення культури та формування продуктивних агроценозів.

Практичну цінність отриманих результатів додатково підтверджують акти їх впровадження у виробничу та наукову діяльність, наведені в додатках дисертації.

Особистий внесок здобувача. Дисертація є самостійним дослідженням здобувача. Визначення напряму, формулювання гіпотези, розроблення програми досліджень, планування схеми експерименту та вибір методик виконано автором особисто. Експериментальні польові та лабораторні дослідження, обробка даних, узагальнення та інтерпретація здобутих результатів здійснено самостійно здобувачем або за його безпосередньої участі спільно зі співробітниками Дніпровського державного аграрно-економічного університету (ДДАЕУ).

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертаційного дослідження обговорювалися на: Міжнародній науково-практичній конференції «Захист і карантин рослин у XXI столітті: проблеми і перспективи» (м. Харків, 2022 р.); IV Всеукраїнській науково-практичній конференції «Досягнення та концептуальні напрями розвитку сільськогосподарської науки в сучасному світі» (с. Олександрівка, Дніпропетровська область, 2022 р.); VI Міжнародній науково-практичній конференції «Стан і перспективи розробки та впровадження ресурсоощадних, енергозберігаючих технологій вирощування сільськогосподарських культур» (м. Дніпро, 2022 р.); XII Міжнародній науковій конференції «Селекційно-генетична наука і освіта (Парієві читання)» (м. Умань, 2023 р.); Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції молодих учених і спеціалістів (м. Дніпро, 2023 р.); IV Міжнародній науково-практичній конференції «Аграрна освіта і наука: досягнення та перспективи розвитку» (м. Біла Церква, 2023 р.), II International Scientific and Practical Conference «Selection of agrocrops in the conditions of climate change: directions and priorites» (м. Одеса, 2023 р.); I Всеукраїнській науково-практичній інтернет-конференції «Сучасні напрями та досягнення селекції і насінництва сільськогосподарських культур» (м. Полтава, 2023 р.); Всеукраїнській науковій конференції молодих учених і науково-педагогічних працівників (м. Умань, 2023 р.); VII Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Хімія, біотехнологія, екологія та освіта» (м. Полтава, 2023 р.); Agriculture for Life, Life

for Agriculture (м. Бухарест, Румунія, 2023 р.); Міжнародній науковій конференції з нагоди 100-річчя від дня народження доктора сільськогосподарських наук, професора, академіка НААН Валентина Сергійовича Цикова «Зернова галузь – проблеми та перспективи технологічного забезпечення» (м. Дніпро, 2023 р.).

Публікації. Результати дисертаційного дослідження опубліковано у 34 наукових працях, з яких 6 статей у періодичних наукових виданнях, включених до категорії «А» Переліку наукових фахових видань України та/або у закордонних виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, 15 статей у наукових виданнях, включених до Переліку наукових фахових видань України, 12 тез наукових доповідей.

Структура та обсяг дисертації. Загальний обсяг дисертації становить 519 сторінок. Робота ілюстрована 105 таблицями, 46 рисунками й складається з анотації, вступу, шести розділів, висновків, рекомендацій виробництву, списку використаних джерел, який налічує 416 найменувань (з них 356 – латиницею), та 5 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, визначено мету, завдання, об’єкт і предмет дослідження, розкрито наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, відображено їх апробацію та особистий внесок здобувача.

У першому розділі **«Використання формотворчої дії хімічних агентів за еколого-генетичного підходу»** проаналізовані літературні джерела свідчать про актуальність напряму дослідів та значущість можливих наслідків сайт-специфічної дії мутагенних чинників у вигляді ефектів у першому поколінні та мутаційного процесу й генотип-мутагенної взаємодії під час ідентифікації змінених форм, причому вони можуть бути як класичні для екогенетичного підходу, так і принципово нові, які раніше відзначали для досліджень з генетичного поліпшення пшениці озимої.

Сайт-специфічна активність екогенетичних чинників вивчена недостатньо, відзначалися численні ефекти переважно більш застарілих хімічних супермутагенів, порівняння за окремими групами чинників майже відсутнє, новий вихідний матеріал також потребує повторення циклів досліджень за стандартними протоколами випробування. Також здобуто новітні дані щодо механізмів генетичного контролю деяких ознак та можливостей сайт-специфічної дії в аспекті індукції деяких перспективних типів змін, насамперед, комплексних малих біохімічних мутацій, що мають вирішальний вплив на якість продукції.

Генотипи можуть бути дуже різноманітними, а їхні взаємодії з мутагенними чинниками – складними та важкодоступними для вивчення. Використання різних модельних організмів та ліній (сортів) може допомогти зрозуміти, як різні генотипи реагують на мутагенні чинники.

У другому розділі **«Методика та умови виконання досліджень»** висвітлено методичні підходи до оцінювання мутагенної дії хімічних агентів, охарактеризовано вихідний генетичний матеріал, умови проведення експериментів та методи визначення депресивних ефектів і спадкових змін у поколіннях M_1–M_5.

Об’єктами дослідження були мутантні рослини першого покоління (M_1) – для вивчення ефектів депресії, викликаних мутагенами; рослини другого–п’ятого поколінь (M_2–M_5) – для дослідження частоти та спектра спадкових змін у сортів Балатон, Боровиця, Зелений гай, Золото України, Каланча, Нива одеська, Полянка, Почайна.

Загальним принципом добору об’єктів для дослідження в аспекті вихідного матеріалу було максимально можливе в рамках дослідження (з урахуванням великих вибірок для дослідження з експериментального мутагенезу) еколого-географічне різноманіття залучених до дослідного процесу форм. Так, сорти Балатон та Золото України належать до лісостепового екотипу, Зелений гай – степового, сорти Каланча, Нива одеська, Боровиця, Полянка та Почайна репрезентовані оригінаторами як придатні до вирощування в будь-якому регіоні, їх відносять до універсального екотипу. Сорти також представляють біорізноманіття районованого матеріалу основних центрів генетичного поліпшення пшениці озимої.

Вихідний матеріал (сухе насіння пшениці) обробляли сайт-специфічними речовинами різної дії в концентраціях: ДАБ (1,4-бісдіазоацетилбутан) – 0,1 %, 0,2 % та 0,3 %; НЕС (нітрозоетилсечовина) – 0,01 %, 0,025 %; НМС (нітрозометилсечовина) – 0,0125 %, 0,025 %; АН (азид натрію) – 0,01 %, 0,025 %, 0,05 %, 0,1 %; ЕМС (етилметансульфонат) 0,025 %, 0,05 %, 0,1 %; ДМС (диметилсульфат) – 0,0125 %, 0,025 % та 0,05 %. Експозиція хімічних мутагенів становила 24 год, обробку водними розчинами виконували за загальновизнаною методикою. У межах проведеного дослідження віднесення застосованих концентрацій до низьких, помірних, оптимальних або високих здійснювали за результатами комплексної оцінки фактично встановлених біологічних ефектів, а не лише за абсолютним значенням концентрації мутагену. Під час класифікації враховували прояви мутагенної депресії, показники життєздатності та продуктивності рослин, цитогенетичної активності й подальшої спадкової мінливості. Показники LD_{50} і RD_{50} використовували як орієнтовні біологічні критерії рівня ушкоджувальної дії, без їх окремого розрахункового визначення за параметричними моделями залежності «доза – ефект».

Цитогенетичні препарати після обробки вивчали за збільшення у 600 разів на світловому мікроскопі Micromed XS-3330. Фотографування виконували камерою 5M, що входить до штатного устаткування. Обсяг дослідження становив не менше 500 клітин, за можливості не менш ніж 1000 клітин за кожним впливом екогенетичних чинників та контролем за варіантами.

У першому поколінні була отримана мутантна популяція, створена через вплив екогенетичної активності сайт-специфічних хімічних чинників. Вручну на 10-рядкових експериментальних ділянках (довжина рядка 1,5 м) було висіяно по 1000 замочених зернин кожного зразка. Контролем досліду було замочене у воді зерно вихідних форм, які висівали через кожен зразок. Ступінь стерильності пилку визначали за фарбуванням ацетокарміном та визначенням його інтенсивності у світловий мікроскоп. Загальний обсяг дослідів 20–25 зразків.

У другому поколінні отриманий матеріал висівали вручну (кожну отриману сім'ю окремо) теж у рядки 1,5 м завдовжки з шириною міжрядь 0,15 м. Сім'єю вважали висіяний один колос, ураховуючи стандартні протоколи експериментального мутагенезу культури. У разі ідентифікації в другому поколінні змінених форм надалі в третьому поколінні їх також висівали вручну на дворядкових ділянках (довжина рядка 1,5 м з шириною міжрядь 0,15 м). У першому поколінні мутантної популяції виконували обчислення схожості та виживання рослин у польових умовах після зимового періоду. Схожість у польових умовах підраховували через три тижні після посіву дослідних зразків, таким чином усувалася ймовірність появи додаткових сходів для замоченого зерна з деяким гальмуванням проростання як післядії мутагена або внаслідок фізіологічних особливостей. Використовували метод загального підрахунку рослин у кожній ділянці. Протягом онтогенезу першого покоління мутантних популяцій 2018–2019 років підраховували схожість та виживання рослин та здійснювали облік домінантних мутацій (наголосимо, дуже рідкісних у першому поколінні) у відповідні фази прояву. Також у першому поколінні вивчали ефекти мутагенної депресії, спричинені впливом мутагенів на основні елементи структури, які визначали продуктивність рослин згідно з існуючими протоколами (досліджували 50 типових рослин у кожному варіанті з урахуванням крайового ефекту). За дією кожного варіанта екогенетичного чинника намагалися добрати не менш ніж 500 колосків першого покоління мутантної популяції сортів пшениці для висівання за сім'ями в наступному поколінні. Візуальні мутації виділяли шляхом старанного огляду рослин усіх сімей під час проходження ними основних фаз росту й розвитку в поколіннях $M_{1–8}$. Основну частину мутацій виділяли в M_2 та перевіряли успадкування в таких поколіннях.

Рівень мінливості варіанта P_v обчислювався за формулою

$$P_v=\alpha\cdot\gamma,$$

де α – відношення кількості мутацій до загальної кількості сімей у варіанті; γ – кількість типів змінених ознак у варіанті.

Досліджували такі ключові ознаки структури продуктивності, які впливають на підсумкову врожайність: висота рослини пшениці, загальна та продуктивна кущистість, довжина головного колоса, кількість колосків у головному колосі, кількість зерна під час обмолоту головного колоса, маса зерна з головного колоса, маса зерна з рослини пшениці озимої, маса тисячі зерен.

Мутації візуально відрізняли через старанний огляд усіх рослин будь-якої сім'ї під час проходження ними відповідних стадій онтогенезу переважно в першому-четвертому поколіннях M_1–M_4 згідно зі стандартним протоколом випробування. Більшу частину візуальних макромутацій ідентифікували в другому поколінні та перевіряли успадкування змін переважно в третьому поколінні.

Під час збирання врожаю в другому поколінні всі сім'ї зі змінами добирали індивідуально за кожним варіантом дії чинника та окремо обмолочували кожен сніп або рослину (залежно від поширення ідентифікованої ознаки) у першому поколінні (колоса). Те саме виконували для наступного покоління, але там матеріали визначали як потенційні лінії. Дослідження четвертого та п'ятого поколінь мутантних ліній виконано з детальним описом мутантних параметрів. Для визначення змін за продуктивністю аналізували структуру врожайності відповідних зразків (25 рослин із зразка). Площа облікової ділянки – 2–10 $м^2$ залежно від періоду дослідження, повторність одно-двократна, стандарт та вихідна форма через десять зразків. Як стандарт для визначення продуктивних форм використовували кращу вихідну форму.

Технологічні якості зерна в контрольному випробуванні досліджували аналізом відсоткового вмісту білка та клейковини в четвертому-п'ятому поколіннях та протоколами рідинної хроматографії визначали вміст гліадинів і високо- та низькомолекулярних форм глютенінів у можливих господарсько-цінних форм та системних мутацій. Вміст білка в ліній пшениці визначали за аналогом методу Кейдаля протоколом CNS Model Flash EA 1112 серія Thermo Logiciel Eager 300. За протоколами методу рідинної хроматографії визначали гліадини та глютеніни RP-HPLS відповідно до методів екстракції MO-BIG-001 та MO-BIG-003.

Фотосинтетичну активність листкового апарату під час колосіння сортів пшениці озимої визначали приладом SPAD-502 з подальшим перерахунком на визначення концентрації хлорофілу (a+b) відповідно до загальновизнаної методики для зернових культур за формулою Chl=10M0,265, де M – реєстрація в одиницях вимірювання SPAD.

Здійснювали аналіз на вміст таких органогенних елементів: кальцію, фосфору, сірки, магнію, калію (в одиницях вимірювання грами на кілограм (г/кг)); цинку, міді, молібдену, кобальту, марганцю (у міліграмах на кілограм (мг/кг)). Досліди виконували в лабораторії науково-дослідного центру біобезпеки та екологічного контролю ресурсів АПК ДДАЕУ.

Наявність мінеральних речовин визначали аналізом із застосуванням атомно-емісійного спектрометра з індуктивно-зв'язаною плазмою Agilent 5110 через визначення інтенсивності емісії світла з фіксованими довжинами хвилі. За стандарт під час аналізу використовували мультиелементний розчин виробництва Agilent.

Математико-статистичний аналіз отриманих даних виконували за модулем факторного аналізу з попарним порівнянням за тестом Тьюкі, достовірність відмінності між варіантами в дослідженні, варіантами та контролем визначали за критерієм Фішера. Математико-статистично достовірність встановлювали також за масивом даних post hoc методами під час визначення однорідної мінливості за групами. Нормальність розподілу дат у сукупності визначали за критерієм Краскела-Воллеса та обчислювали за базовими статистиками коефіцієнти асиметрії (As) та ексцесу (Ex). Дискримінантий та кластерний аналіз виконували за загальновизнаними методиками. Обчислювали відповідні лімітні значення для визначення дискримінантних функцій та враховували такі умови.

У третьому розділі **«Використання сайт-специфічної дії агентів з екогенетичною токсичністю»** досліджено особливості прояву сайт-специфічної дії хімічних мутагенів залежно від їх концентрації та генотипу пшениці озимої, проаналізовано мінливість

морфометричних і продуктивних ознак, визначено інформативні показники реакції рослин на мутагенний вплив.

За результатами аналізу окремих концентрацій встановлено статистично достовірні відмінності між контролем і варіантом дії ДАБ у концентрації 0,3 %. Водночас спостерігалася тенденція до відсутності достовірних відмінностей між варіантами ДАБ 0,1 % та 0,2 %, хоча за результатами класифікації та оцінювання відстаней між центроїдами для більшості досліджуваних об'єктів очікувалася диференціація за низкою параметрів.

На основі аналізу факторних навантажень за канонічними функціями встановлено найбільшу значущість показників схожості, виживання, висоти рослин та маси тисячі зерен (МТЗ). В окремих випадках інформативними були маса зерна з головного колоса та маса зерна з рослини. Встановлено, що реакція на дію ДАБ істотно залежить від вихідного генетичного матеріалу (рис. 1).

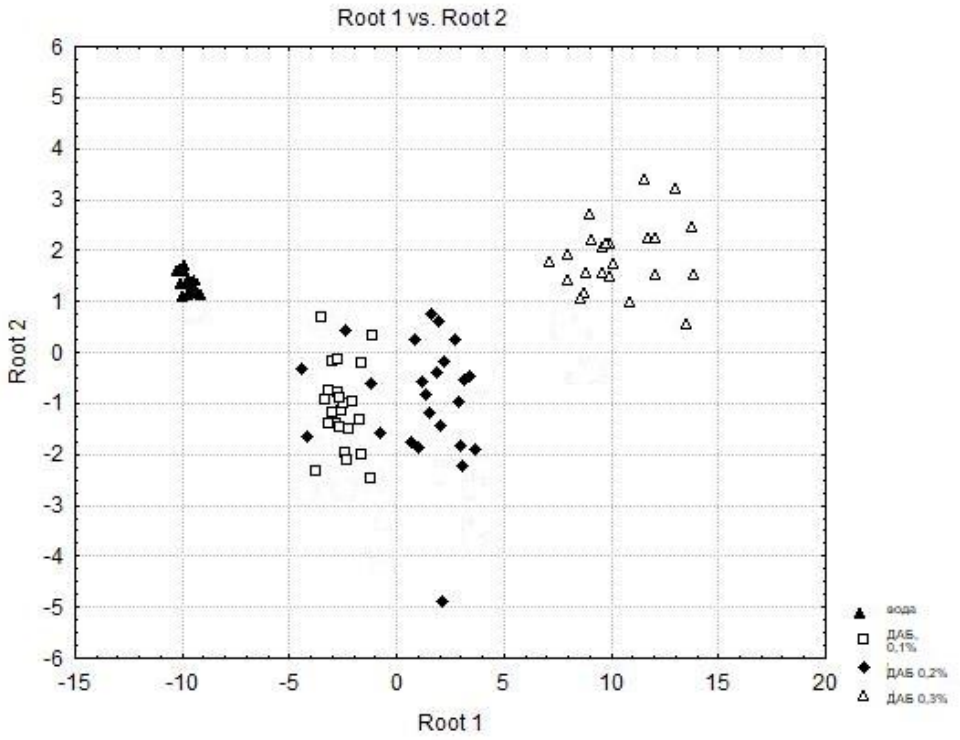


Рис 1. Результати класифікаційного аналізу канонічних функції за достовірними параметрами мінливості мутагенної депресії пшениці озимої, 2018–2019 рр.

ДАБ як екогенетичний чинник характеризувався відносно низькою ушкоджувальною активністю. Прояв ефектів мутагенної депресії навіть за найвищої дослідженої концентрації ДАБ 0,3 % не призводив до суттєвого обмеження матеріалу для наступних етапів дослідження. Найбільш інформативними для оцінювання негативних ефектів були показники схожості та виживання, фертильності пилку, висоти рослин і маси тисячі зерен. Для ДАБ був характерний високий ступінь генотип-мутагенної взаємодії та сайт-специфічності дії.

Для визначення ваги та остаточного вирішення впливовості окремих параметрів на рівень прояву ефектів мутагенної депресії в популяції першого покоління сортів після впливу НЕС, ураховуючи загальну мінливість матеріалу, було виконано дискримінантний аналіз за всіма параметрами, що аналізувалися в дослідженні (рис. 2). За результатами аналізу окремих концентрацій вирізняється повністю статистично достовірно контроль та дія різних концентрацій НЕС. Існує тенденція до наближення в дії НЕС 0,01 % та 0,025 %, хоча для більшості об'єктів у класифікації та відстані між центроїдами для більшості параметрів різниця достовірно наявна (що й підтверджено аналізом окремих параметрів). За дії НЕС віддалена загибель була менш ймовірною і для багатьох сортів за концентрації 0,01 % різниця не була статистично достовірною.

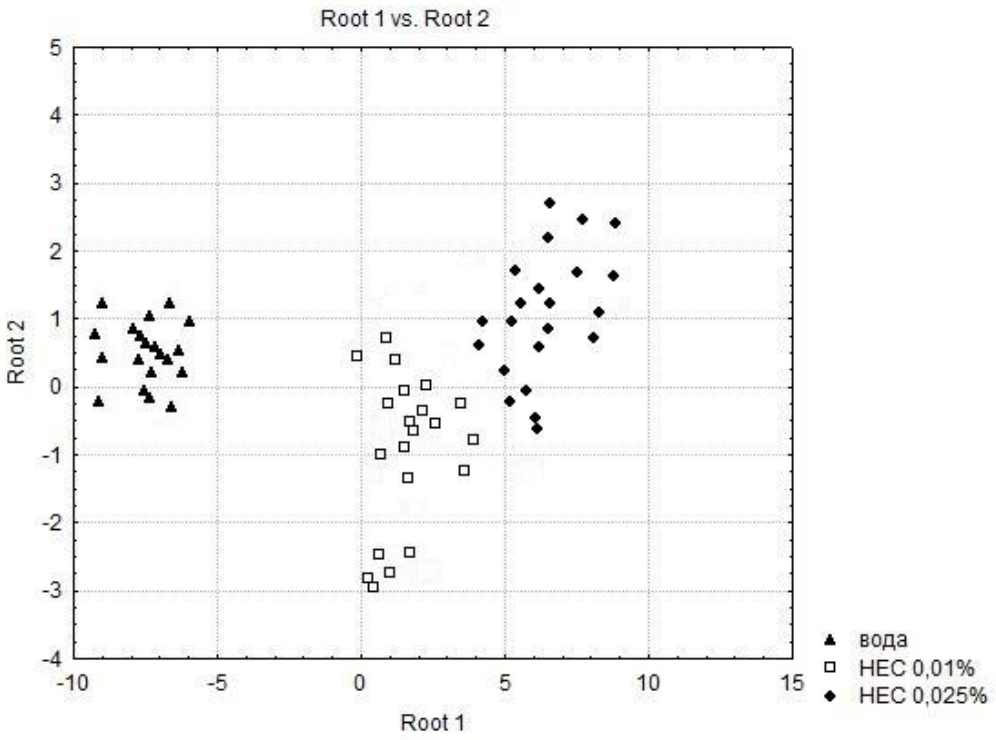


Рис 2. Результати класифікаційного аналізу канонічних функції за достовірними параметрами мінливості мутагенної депресії пшениці озимої, 2018–2019 рр.

Загалом показники схожості та виживання достовірно демонстрували депресивні наслідки дії НЕС зі зростанням концентрації для всіх генотипів, що дає підстави віднести ці ознаки до інформативних показників мутагенної дії досліджуваного чинника. Сорт Балатон був більш вразливим до дії НЕС, сорти Почайна, Нива одеська – більш толерантними з вагомим відривом за обсягом отриманого матеріалу, але в жодному випадку рівень отримання дослідного матеріалу не був нижчим за 70 %. НЕС 0,01 % можна віднести до помірної, а НЕС 0,025 % – до оптимальної концентрації.

НЕС як екогенетичний чинник показав відносно більш високу депресію за впливом на мутантну популяцію, ніж раніше досліджений ДАБ, але меншу генотип-мутагенну взаємодію. Модельними для виявлення ефектів впливу в мутантній популяції сортів, що отримали дію НЕС, подібно до впливу активності ДАБ як мутагена, виявилися показники схожості, виживання, фертильності пилку, висоти рослини та маси тисячі зерен, частково – маса зерна з головного колоса та рослини.

Існує тенденція до наближення в дії між контролем та НМС 0,0125 %, хоча для більшості об’єктів у класифікації та відстані між центроїдами для більшості параметрів різниця достовірно наявна (що й показано аналізом окремих параметрів) (рис. 3).

У результаті встановлено значущість параметрів схожості, виживання, висоти рослин та маси тисячі зерен. Частково значущими були маса зерна з головного колоса та маса зерна з рослини. Реакція на дію НМС частково залежала від вихідного матеріалу (сорту), хоча меншою мірою, ніж для ДАБ та НЕС. НМС як екогенетичний чинник характеризувався вищою віддаленою загибеллю під час несприятливих умов зимового періоду зі статистичною значущістю для дії обох концентрацій. За сукупністю встановлених біологічних ефектів НМС 0,0125 % класифіковано як оптимальну, а НМС 0,025 % – як високу концентрацію; за дії НМС 0,025 % можливе наближення до RD_{50} за окремими показниками структури врожайності.

Для визначення ваги та остаточного вирішення питання впливовості окремих параметрів на рівень прояву ефектів мутагенної депресії в популяції першого покоління сортів пшениці після впливу ЕМС, ураховуючи загальну мінливість матеріалу, було виконано дискримінантний аналіз за всіма параметрами, що аналізувалися в дослідженні (рис. 4).

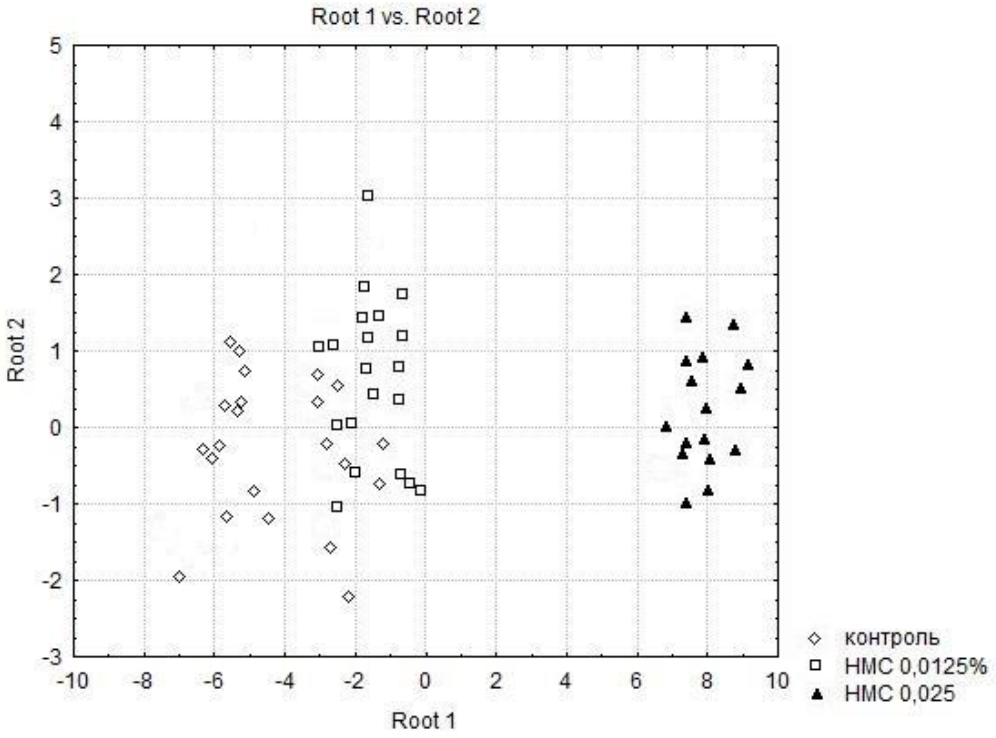


Рис. 3. Результати класифікаційного аналізу канонічних функцій за достовірними параметрами мінливості мутагенної депресії пшениці озимої, 2018–2019 рр.

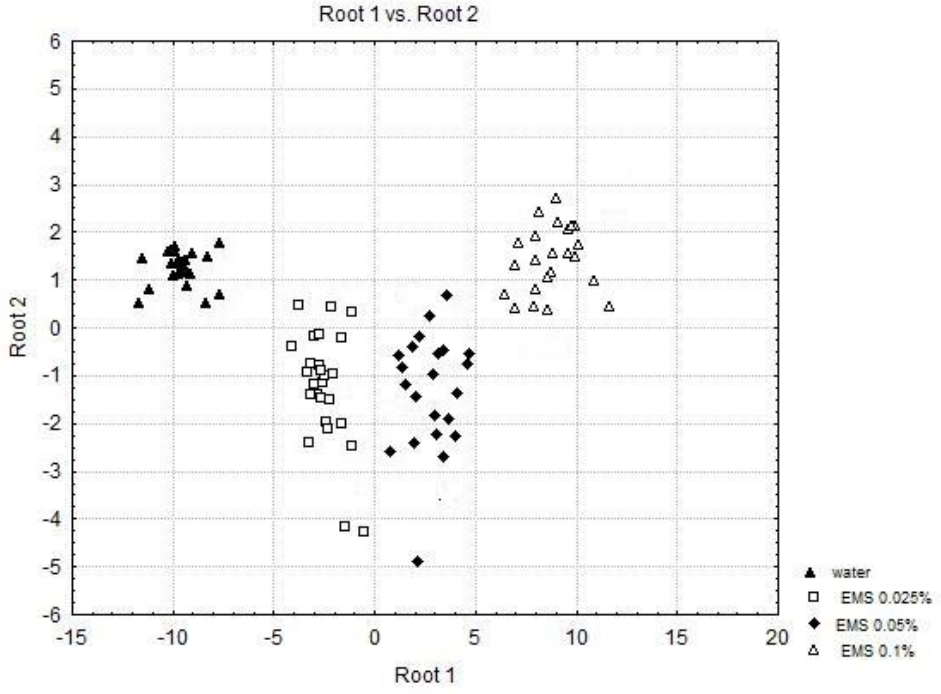


Рис 4. Результати класифікаційного аналізу канонічних функцій за достовірними параметрами мінливості мутагенної депресії пшениці озимої, 2018–2019 рр.

Відповідно до результатів аналізу за окремими концентраціями, повністю статистично достовірно вирізняється контроль та дія ЕМС 0,1 %. Існує тенденція до відсутності різниці в дії ЕМС 0,025 % та 0,05 %, хоча для більшості об’єктів у класифікації та за відстанню між центроїдами для більшості параметрів різниця повинна бути (що й показано аналізом окремих параметрів).

За окремими параметрами здійснено класифікацію ознак на основі аналізу достовірності факторного навантаження за канонічними функціями. У результаті підтверджена значущість параметрів схожості, виживання, висоти рослин та МТЗ. Вагомим є використання маси зерна з головного колоса, маси зерна з рослини. Реакція на дію ЕМС не залежить від вихідного матеріалу (сорту) для жодного з параметрів.

Показано класифікацію ознак на основі аналізу достовірності факторного навантаження за канонічними функціями. У результаті підтверджено значущість параметрів схожості, виживання, висоти рослин та МТЗ. Вагомим є використання параметрів маси зерна з головного колоса, маси зерна з рослини. Реакція на дію АН залежить від вихідного матеріалу (сорту) для більшості з параметрів (рис. 5).

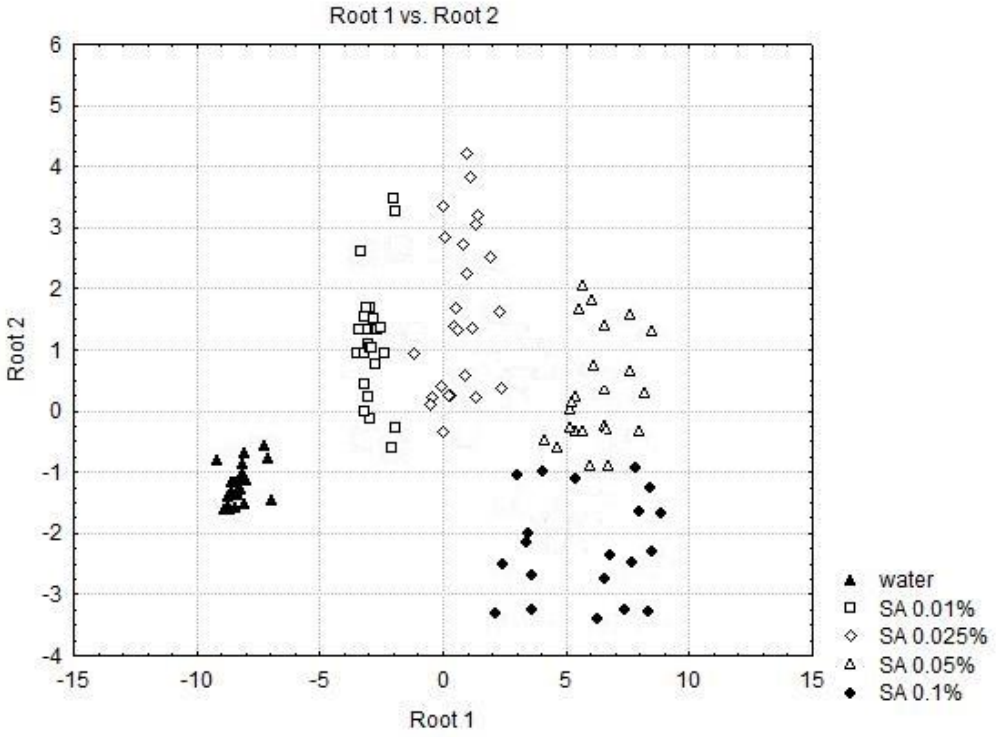


Рис 5. Результати класифікаційного аналізу канонічних функції за достовірними параметрами мінливості мутагенної депресії пшениці озимої, 2018–2019 рр. Активність АН (SA)

Можна зробити висновок, що достовірними показниками мутагенної депресії в мутантній популяції є параметри схожості та виживання за дії азиду натрію для усіх концентрацій. Параметри знижуються поступово, починаючи з АН 0,01 %.

Щодо показника фертильності для всіх сортів дія навіть найвищої концентрації не перетинала межу високої й не наближалася до напівлетальної. В усіх випадках для всіх сортів фертильність статистично значуще знижувалася за дії всіх концентрацій.

За окремими параметрами показано класифікацію ознак на основі аналізу достовірності факторного навантаження за канонічними функціями. У результаті досліджено значущість параметрів схожості, виживання, висоти рослин та МТЗ за дії ДМС (рис. 6). Вагомим є використання маси зерна з головного колоса та маси зерна з рослини. Реакція на дію ДМС не залежить від вихідного матеріалу (сорту) для жодного з параметрів. Таким чином щодо депресійних ефектів у мутантній популяції схожість статистично достовірно відрізнялася від виживання, тобто віддалена загибель у популяції як післядія екогенетичного чинника завжди була значущою. За показником схожості ДМС за дією активніше вплинула на сорт Нива одеська. Більш толерантними були сорти Почайна, Полянка, Балатон. Меншою толерантністю характеризувалися сорти Каланча, Зелений гай.

Таким чином, ознаки онтогенезу за схожістю та виживанням є надійними індикаторами депресійних ефектів у першому поколінні за дії ДМС. У діапазоні дії другої-третьої концентрацій спостерігалася напівлетальність дії, але межа сублетальності була відсутньою. За крайніми концентраціями існувала ймовірність низького отримання необхідного для подальшого дослідження матеріалу, особливо для сорту Нива одеська. За сукупністю встановлених біологічних ефектів ДМС 0,0125 % класифіковано як оптимальну, ДМС 0,025 % – як високу, а ДМС 0,05 % – як напівлетальну концентрацію.

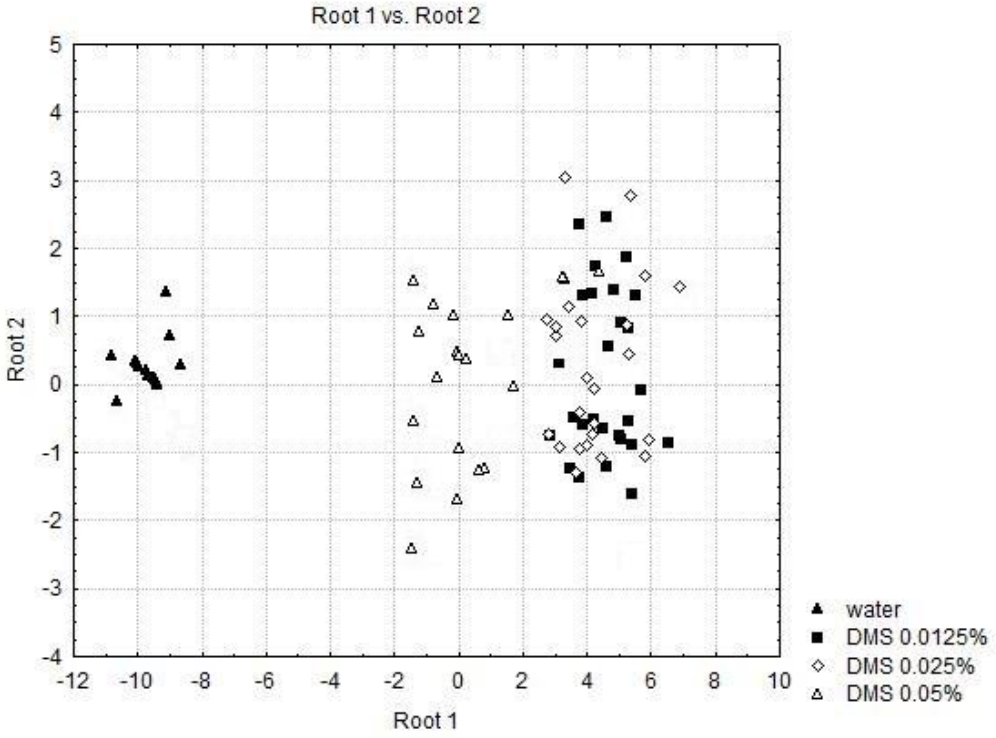


Рис 6. Результати класифікаційного аналізу канонічних функції за достовірними параметрами мінливості мутагенної депресії пшениці озимої, 2018–2019 рр. Активність ДМС

Перспективним показником для прояву ефектів дії екогенетичного чинника в мутантній популяції може бути асиміляційна активність рослини у першому поколінні в критичні фази розвитку (досліджували в період колосіння пшениці озимої, табл. 1).

Таблиця 1

Результати факторного та дискримінантного аналізу мутагенної депресії пшениці озимої, 2018–2019 рр.

Параметр	Концентрація	Генотип	Wilks' – Lambda	$F_{критичне}$ (4,11)	p
ЕМС	-0,912*	-0,543*	0,018	12,34	<0,01
АН	-0,889*	0,116	0,015	10,07	<0,01
ДМС	-0,987*	-0,671*	0,022	19,17	<0,01
Пояснена частина	3,543	3,311	–	–	–
Непояснена частина	0,789	1,788	–	–	–

Примітка. *Статистично достовірно при $P_{0,05}$

Показник фотосинтетичної активності є посереднім за надійністю параметром мутагенних ефектів у першому поколінні для дослідженої популяції сортів пшениці озимої, більш-менш достовірним для чинників з високою генетичною активністю, але посереднім для визначення сайт-специфічності дії.

У четвертому розділі **«Особливості сайт-специфічної цитогенетичної активності для гентоксичних речовин з ушкоджувальною здатністю»** досліджено особливості

цитогенетичної активності генотоксичних речовин залежно від їх концентрації та вихідного генотипу пшениці озимої, проаналізовано характер хромосомних порушень та оцінено ступінь ушкоджувальної дії досліджуваних агентів.

Встановлено, що навіть за найвищої досліджуваної концентрації не досягнуто порогового рівня цитогенетичної дії речовини, який супроводжується значною елімінацією хромосомного матеріалу. Масової елімінації хромосомного апарату не виявлено (табл. 2).

Таблиця 2

Загальна частота перебудов у клітинах пшениці озимої, що діляться (x±SD, n=1000)

Сорт	Варіант	Мітозів, шт.	Хромосомних аберацій	
			шт.	%
Балатон	Вода	1002	10	1,00±0,12[a]
Балатон	ДАБ 0,1	1008	51	5,06±0,17[b]
Балатон	ДАБ 0,2	1004	95	9,46±0,30[c]
Балатон	ДАБ 0,3	1007	104	10,33±0,15[d]
Зелений гай	Вода	1008	9	0,89±0,32[a]
Зелений гай	ДАБ 0,1	1002	56	3,99±0,21[b]
Зелений гай	ДАБ 0,2	1011	93	5,93±0,10[c]
Зелений гай	ДАБ 0,3	1009	99	9,81±0,10[d]
Золото України	Вода	1001	8	0,80±0,21[a]
Золото України	ДАБ 0,1	1005	57	5,67±0,11[b]
Золото України	ДАБ 0,2	1009	88	8,72±0,10[c]
Золото України	ДАБ 0,3	1002	99	9,88±0,10[d]
Нива одеська	Вода	1009	8	0,79±0,23[a]
Нива одеська	ДАБ 0,1	1000	53	5,30±0,15[b]
Нива одеська	ДАБ 0,2	1004	67	6,67±0,12[c]
Нива одеська	ДАБ 0,3	1009	104	10,31±0,06[d]
Боровиця	Вода	1001	7	0,70±0,20[a]
Боровиця	ДАБ 0,1	1010	56	5,54±0,16[b]
Боровиця	ДАБ 0,2	1003	77	7,68±0,21[c]
Боровиця	ДАБ 0,3	1000	114	11,40±0,10[d]
Каланча	Вода	1000	10	1,00±0,15[a]
Каланча	ДАБ 0,1	1009	50	4,96±0,15[b]
Каланча	ДАБ 0,2	1004	69	6,87±0,17[c]
Каланча	ДАБ 0,3	1004	96	9,56±0,10[d]
Полянка	Вода	1007	6	0,60±0,26[a]
Полянка	ДАБ 0,1	1005	67	6,67±0,36[b]
Полянка	ДАБ 0,2	1008	76	7,54±0,41[b]
Полянка	ДАБ 0,3	1000	109	10,90±0,35[c]
Почайна	Вода	1005	8	0,80±0,06[a]
Почайна	ДАБ 0,1	1001	49	4,90±0,06[b]
Почайна	ДАБ 0,2	1007	69	6,85±0,17[c]
Почайна	ДАБ 0,3	1001	105	10,49±0,13[d]

Примітка. *Різниця статистично достовірна за факторним аналізом ANOVA за концентраціями при $P_{0,05}$

Щодо спектра перебудов хромосомного апарату клітин досліджували такі показники, як частота фрагментів (одинарні та подвійні, які загалом більш характерні для дії хімічних супермутагенів), мостів (також одинарні – хроматидні – та подвійні – хромосомні, а також інших, більш рідкісних аберацій, таких як мікроядра, відстаючі хромосоми. Окремо враховувалися клітини з множинними хромосомними аберраціями.

Факторний аналіз показав (табл. 3), що значущими за збільшення концентрації ДАБ були всі досліджені параметри, крім кількості мостів. Генотип же вплинув лише на зміни кількості аберацій на кшталт кількості мікроядер та відстаючих хромосом.

Таблиця 3

Результати факторного аналізу для цитогенетичної мінливості пшениці озимої

Параметр	Концентрація	Сорт
Загальна частота	0,845*	-0,441
Фрагменти	0,788*	-0,314*
Мости	0,412	-0,117
Інші	-0,611*	0,655*
Дві та більше аберацій	0,779*	0,422
Пояснена мінливість	3,111	0,789
Непояснена мінливість	0,796	1,456

Примітка. *Різниця статистично достовірна за факторним аналізом ANOVA за концентраціями при $P_{0,05}$

У випадку впливу вихідного матеріалу дискримінантний аналіз показав значущість для генотипу лише одного параметра в моделі – дві та більше хромосомних перебудов у одній клітині, що цілком узгоджується з даними факторного аналізу. У разі концентрації картина характерна для дії хімічних супермутагенів (у модельні не увійшов параметр наявність мостів) та є деяка відмінність від факторного аналізу у вигляді зниження ролі в кількості модельних параметрів інших хромосомних перебудов, таких як мікроядра та відстаючі хромосоми. Таким чином, якщо роздільна здатність ознак у випадку збільшення концентрації для побудови моделі є достатньою, то для генотипів загалом є тільки одна вісь параметрів. Однак це не означає неможливість моделювання та класифікації випадків для окремих сортів.

Підраховані загальні частоти хромосомних перебудов за дії НЕС (табл. 4) показали, що загалом фактор вихідного матеріалу не вплинув статистично достовірно на загальну вибірку, у той час як поступове зростання кількості чинника статистично достовірно з дуже високою вірогідністю підвищило загальний рівень перебудов у клітинах у відповідних стадіях. Два сорти Боровиця та Зелений гай дещо відрізняються у загальній вибірці отриманого матеріалу за дією цього мутагену.

Комплексний факторний аналіз за окремими параметрами показав (табл. 5), що значущими для поступового зростання кількості екогенетичного чинника були всі параметри цитогенетичної активності, крім кількості мостів (що загалом є характерним для дії хімічних мутагенів), генотип ж вплинув лише на зміни в кількості інших аберацій (мікроядра, відстаючі хромосоми).

Кількість усіх типів аберацій вагомо зростала зі збільшенням концентрації, генотип вихідної форми мав значення лише для кількості мікроядер та відстаючих хромосом. Найбільш значущим показником за дії НЕС як мутагену була кількість фрагментів, яка вагомо перевищувала за часткою будь-який інший тип аберацій. Водночас у окремих форм за показниками кількості фрагментів та мостів, наявності інших типів аберацій можлива відсутність різниці в дії за збільшення концентрації, чого не відмічається для кількості клітин з подвійними аберраціями (але їх вагомість як показника поступово зростає з підвищенням концентрацій).

З аналізу даних у табл. 6 цікавить, наскільки цей параметр залежав, насамперед, від генотипу (сорту) суб'єкта впливу НМС та від концентрації мутагену. У результаті факторного аналізу встановлено, що загалом фактор генотипу не вплинув значно на загальну частоту аберацій, тоді як поступове послідовне збільшення концентрації статистично достовірно підвищило загальний рівень перебудов у хромосомному апараті клітини.

Загалом цитогенетична активність цього мутагену була більш високою, ніж інших типів (ДАБ та НЕС). Генотип-мутагенна взаємодія відсутня, мінливість за сортами також

відсутня. Можна зробити висновок, що зі зростанням шкодочинності дії мутагенів сайт-специфічність суттєво падає.

Таблиця 4

Частота хромосомних аберацій за дії НЕС (x±SD, n=25)

Сорт	Варіант	Мітозів, шт.	Хромосомних аберацій	
			шт.	%
Балатон	Вода	1002	10	1,00±0,12[a]
Балатон	НЕС 0,01 %	1001	67	6,69±0,21[b]
Балатон	НЕС 0,025 %	1000	101	10,10±0,34[c]
Зелений гай	Вода	1005	9	0,89±0,32[a]
Зелений гай	НЕС 0,01 %	1004	56	5,58±0,24[b]
Зелений гай	НЕС 0,025 %	1003	73	7,28±0,29[c]
Золото України	Вода	1001	8	0,80±0,21[a]
Золото України	НЕС 0,01 %	1004	75	7,47±0,21[b]
Золото України	НЕС 0,025 %	1008	93	9,23±0,30[c]
Нива одеська	Вода	1009	8	0,79±0,23[a]
Нива одеська	НЕС 0,01 %	1001	62	6,19±0,21[b]
Нива одеська	НЕС 0,025 %	1005	79	7,86±0,27[c]
Боровиця	Вода	1001	7	0,70±0,20[a]
Боровиця	НЕС 0,01 %	1008	80	7,94±0,26[b]
Боровиця	НЕС 0,025 %	1005	104	10,35±0,34[c]
Каланча	Вода	1000	10	1,00±0,15[a]
Каланча	НЕС 0,01 %	1004	69	6,87±0,25[b]
Каланча	НЕС 0,025 %	1005	84	8,36±0,37[c]
Полянка	Вода	1007	6	0,60±0,26[a]
Полянка	НЕС 0,01 %	1003	75	7,48±0,29[b]
Полянка	НЕС 0,025 %	1005	92	9,15±0,37[c]
Почайна	Вода	1005	8	0,80±0,06[a]
Почайна	НЕС 0,01 %	1002	65	6,49±0,20[b]
Почайна	НЕС 0,025 %	1003	90	8,97±0,27[c]

Примітка. Різниця статистично достовірна за факторним аналізом ANOVA за концентраціями при $P_{0,05}$

Таблиця 5

Результати факторного аналізу цитогенетичної мінливості пшениці озимої

Параметр	Концентрація	Сорт
Загальна частота	0,993167*	0,513157
Фрагменти	0,961450*	0,343113
Мости	0,506745	0,463154
Інші аберації	-0,811343*	0,712215*
Комплексні	0,967259*	0,263153
Варіативність пояснена	3,668541	1,634532
Варіативність не пояснена	0,917135	1,017930

Примітка. *Статистично достовірно за P<0,05

Факторний аналіз показав (табл. 7), що значущими за збільшення концентрації НМС були всі вивчені параметри, крім кількості мостів. Генотип вплинув лише на зміни кількості аберацій на кшталт кількості мікроядер та відстаючих хромосом. Як видно, процес зміни концентрації та змін у цитогенетичній активності, пов’язаних з цим, набагато більш придатний для моделювання мутаційного процесу. Загалом група вибраних для дослідження генотипів є досить однорідною. У цілому нині метод досить чутливий з урахуванням малої ушкоджувальної можливості мутагену.

Таблиця 6

Частота хромосомних аберацій за дії НМС (x±SD, n=25)

Сорт	Варіант	Мітозів, шт.	Хромосомних аберацій	
			шт.	%
Балатон	Вода	1002	10	1,00±0,12[a]
Балатон	НМС 0,0125 %	1003	80	7,98±0,24[b]
Балатон	НМС 0,025 %	1002	113	11,28±0,38[c]
Зелений гай	Вода	1005	9	0,89±0,32[a]
Зелений гай	НМС 0,0125 %	1000	69	6,90±0,26[b]
Зелений гай	НМС 0,025 %	1005	84	8,36±0,31[c]
Золото України	Вода	1001	8	0,80±0,21[a]
Золото України	НМС 0,0125 %	1006	91	9,05±0,25[b]
Золото України	НМС 0,025 %	1007	115	11,42±0,34[c]
Нива одеська	Вода	1009	8	0,79±0,23[a]
Нива одеська	НМС 0,0125 %	1003	88	8,77±0,22[b]
Нива одеська	НМС 0,025 %	1003	107	10,67±0,29[c]
Боровиця	Вода	1001	7	0,70±0,20[a]
Боровиця	НМС 0,0125 %	1006	100	9,94±0,29[b]
Боровиця	НМС 0,025 %	1001	129	12,89±0,38[c]
Каланча	Вода	1000	10	1,00±0,15[a]
Каланча	НМС 0,0125 %	1002	85	8,48±0,28[b]
Каланча	НМС 0,025 %	1001	112	11,19±0,39[c]
Полянка	Вода	1007	6	0,60±0,26[a]
Полянка	НМС 0,0125 %	1000	91	9,10±0,32[b]
Полянка	НМС 0,025 %	1009	114	11,30±0,35[c]
Почайна	Вода	1005	8	0,80±0,06[a]
Почайна	НМС 0,0125 %	1010	87	8,61±0,22[b]
Почайна	НМС 0,025 %	1005	110	10,95±0,25[c]

Примітка. Різниця статистично достовірна за факторним аналізом ANOVA за концентраціями при $P_{0,05}$

Таблиця 7

Результати факторного аналізу цитогенетичної мінливості пшениці озимої

Параметр	Концентрація	Генотип
Загальна частота	0,983347*	0,223177
Фрагменти	0,971009*	0,399062
Мости	-0,596799*	0,400050
Інші аберації	0,771993*	0,414415
Комплексні	0,897110*	0,569993*
Варіативність пояснена	3,148551	1,414514
Варіативність не пояснена	1,217225	1,119298

Примітка. *Статистично достовірно за P<0,05

Загальна частота та окремі показники спектра цитогенетичної активності вихідного матеріалу збільшувалися зі зростанням концентрації досліджених екогенетичних чинників. За цитогенетичною активністю їх приблизно можна розташувати в такій послідовності: ДАБ, НЕС → НМС → ЕМС → АН → ДМС.

Із показників спектра генотип суб'єкта дії переважно впливав на кількість аберацій типу «мікроядро» та «відстаюча хромосома», іноді – на кількість клітин із множинними змінами; менш вираженою була його роль у варіюванні кількості фрагментів та мостів. Співвідношення кількості фрагментів і мостів було інформативним показником впливу

та мало диференціювальну здатність між окремими групами вихідного матеріалу, особливо для НМС. Значення цього співвідношення було вищим за 1, однак із підвищенням концентрації різниця між кількістю мостів і фрагментів поступово знижувалася, а дія ставала менш сайт-специфічною.

У результаті факторного аналізу встановлено, що загалом фактор генотипу не вплинув значно на загальну частоту аберацій, тоді як поступове послідовне збільшення концентрації ЕМС статистично достовірно підвищило загальний рівень перебудов у хромосомному апараті клітини (табл. 8). У будь-яких випадках між контролем та концентрацією ЕМС 0,025 % спостерігали статистично значущу різницю для усіх сортів без винятку. Фактор сорт не був значущим, генотип-мутагенна взаємодія відсутня. Для дії ЕМС 0,05 % порівняно з контролем спостерігали статистично значущу різницю.

Таблиця 8

Загальна частота перебудов за дії ЕМС у клітинах, що діляться (x±SD, n=800–1000)

Сорт	Варіант	Мітозів, шт.	Хромосомних аберацій	
			шт.	%
Балатон	Вода	1002	9	1,00±0,12[a]
Балатон	ЕМС 0,025 %	1010	102	10,10±0,43[b]
Балатон	ЕМС 0,05 %	1006	161	17,99±0,25[c]
Балатон	ЕМС 0,1 %	871	211	24,23±0,10[d]
Зелений гай	Вода	1008	8	0,89±0,32[a]
Зелений гай	ЕМС 0,025 %	1009	108	10,70±0,30[b]
Зелений гай	ЕМС 0,05 %	1001	179	18,08±0,60[c]
Зелений гай	ЕМС 0,1 %	817	201	24,48±0,39[d]
Золото України	Вода	1001	8	0,80±0,21[a]
Золото України	ЕМС 0,025 %	1004	99	10,86±0,29[b]
Золото України	ЕМС 0,05 %	1010	158	17,62±0,30[c]
Золото України	ЕМС 0,1 %	908	209	23,02±0,60[d]
Нива одеська	Вода	1009	9	0,79±0,23[a]
Нива одеська	ЕМС 0,025 %	1002	101	10,08±0,12[b]
Нива одеська	ЕМС 0,05 %	1001	147	13,59±0,29[c]
Нива одеська	ЕМС 0,1 %	879	213	24,23±0,22[d]
Боровиця	Вода	1001	7	0,70±0,20[a]
Боровиця	ЕМС 0,025 %	1001	112	11,19±0,12[b]
Боровиця	ЕМС 0,05 %	1010	161	15,94±0,35[c]
Боровиця	ЕМС 0,1 %	911	234	25,69±0,39[d]
Каланча	Вода	1000	10	1,00±0,15[a]
Каланча	ЕМС 0,025 %	1005	98	9,75±0,21[b]
Каланча	ЕМС 0,05 %	1003	143	14,26±0,29[c]
Каланча	ЕМС 0,1 %	992	201	19,86±0,45[d]
Полянка	Вода	1007	6	0,60±0,26[a]
Полянка	ЕМС 0,025 %	1006	111	14,02±0,16[b]
Полянка	ЕМС 0,05 %	1001	153	15,28±0,36[b]
Полянка	ЕМС 0,1 %	912	221	24,23±0,44[c]
Почайна	Вода	1005	8	0,80±0,06[a]
Почайна	ЕМС 0,025 %	1009	105	10,14±0,30[b]
Почайна	ЕМС 0,05 %	1003	143	14,26±0,21[c]
Почайна	ЕМС 0,1 %	869	217	24,97±0,33[d]

Примітка. Різниця статистично достовірна за факторним аналізом ANOVA за концентраціями при $P_{0,05}$

За результатами факторного аналіз (табл. 9) зміна концентрації статистично вагомо вплинула на параметри частоти, кількості фрагментів, наявності інших типів аберацій та множинних змін. Для впливу генотипу були вагомі лише два останніх параметри.

Таблиця 9

Результати факторного аналізу для цитогенетичної мінливості пшениці озимої

Параметр	Концентрація	Сорт
Загальна частота	0,911*	-0,342
Фрагменти	0,817*	-0,414
Мости	0,317	-0,117
Інші	-0,799*	0,655*
Дві та більше	0,919*	0,615*
Пояснена мінливість	4,243	0,998
Непояснена мінливість	0,653	1,344

Примітка. Різниця статистично достовірна за факторним аналізом ANOVA за концентраціями при $P_{0,05}$

Статистично достовірно відрізняються за показниками спектра з урахуванням виконаного факторного аналізу лише сорти Каланча та Балатон (за наявністю показника дві та більше аберацій), які належать відповідно до першої та другої груп за чутливістю до депресійних ефектів. Таким чином, зі зростанням шкодочинності мутагену різко зростає достовірність впливу зміни концентрацій, але суттєво менше проявляється специфічність за окремими компонентами спектра, тобто дія стає більш суцільною, хоча загалом все ще відповідає характеристикам впливу хімічних агентів. Водночас толерантність окремих генотипів до дії чинника може бути більш суттєвою, хоча й значущої генотип-мутагенної взаємодії не зафіксовано.

Підраховані загальні частоти хромосомних перебудов за дії АН (табл. 10) показали, що фактор вихідного матеріалу статистично достовірно впливав на загальну вибірку, тоді як поступове зростання концентрації чинника статистично достовірно підвищувало загальний рівень перебудов у клітинах на відповідних стадіях. Генотип-мутагенна взаємодія була доволі вагомою.

Таблиця 10

Частота хромосомних аберацій за дії АН (x±SD, n=25)

Сорт	Варіант	Мітозів, шт.	Хромосомних аберацій	
			шт.	%
Балатон	Вода	1002	10	1,00±0,12[a]
Балатон	АН 0,01 %	1001	92	9,19±0,31[b]
Балатон	АН 0,025 %	1009	161	15,96±0,24[c]
Балатон	АН 0,05 %	912	215	23,57±0,39[d]
Балатон	АН 0,1 %	801	163	20,35±0,30[e]
Зелений гай	Вода	1008	9	0,89±0,32[a]
Зелений гай	АН 0,01 %	1007	97	9,63±0,27[b]
Зелений гай	АН 0,025 %	1004	168	16,73±0,36[c]
Зелений гай	АН 0,05 %	847	218	25,74±0,41[d]
Зелений гай	АН 0,1 %	798	176	22,06±0,32[e]
Золото України	Вода	1001	8	0,80±0,21[a]
Золото України	АН 0,01 %	1002	100	9,98±0,27[b]
Золото України	АН 0,025 %	1004	159	15,84±0,35[c]
Золото України	АН 0,05 %	889	201	22,61±0,43[d]
Золото України	АН 0,1 %	812	173	21,31±0,39 [d]
Нива одеська	Вода	1009	8	0,79±0,23[a]
Нива одеська	АН 0,01 %	1004	92	9,16±0,26[b]

Продовження табл. 10

Нива одеська	АН 0,025 %	1010	126	12,48±0,31[c]
Нива одеська	АН 0,05 %	920	198	21,52±0,42[d]
Нива одеська	АН 0,1 %	817	164	20,07±0,35[e]
Боровиця	Вода	1001	7	0,70±0,20[a]
Боровиця	АН 0,01 %	1007	104	10,33±0,21[b]
Боровиця	АН 0,025 %	1003	151	15,05±0,32[c]
Боровиця	АН 0,05 %	941	207	22,00±0,40[d]
Боровиця	АН 0,1 %	854	229	26,81±0,52[e]
Каланча	Вода	1000	10	1,00±0,15[a]
Каланча	АН 0,01 %	1010	90	8,91±0,20[b]
Каланча	АН 0,025 %	1004	139	13,84±0,28[c]
Каланча	АН 0,05 %	980	188	19,18±0,35[d]
Каланча	АН 0,1 %	893	199	22,28±0,42[e]
Полянка	Вода	1007	6	0,60±0,26[a]
Полянка	АН 0,01 %	1001	122	12,19±0,26[b]
Полянка	АН 0,025 %	1004	146	14,54±0,33[b]
Полянка	АН 0,05 %	968	198	20,45±0,41[c]
Полянка	АН 0,1 %	890	209	23,48±0,52[e]
Почайна	Вода	1005	8	0,80±0,06[a]
Почайна	АН 0,01 %	1010	93	9,21±0,19[b]
Почайна	АН 0,025 %	1005	122	12,14±0,22[c]
Почайна	АН 0,05 %	954	181	18,97±0,31[d]
Почайна	АН 0,1 %	901	203	22,53±0,42[e]

Примітка. Різниця статистично достовірна за факторним аналізом ANOVA за концентраціями при $P_{0,05}$

Комплексний факторний аналіз за окремими параметрами показав (табл. 11), що значущими для поступового зростання кількості екогенетичного чинника були всі параметри цитогенетичної активності, крім кількості мостів (що є характерним для дії хімічних мутагенів), генотип же вплинув на зміни в загальній частоті перебудов, кількості фрагментів, кількості інших аберацій (мікроядра, відстаючі хромосоми).

Таблиця 11

Результати факторного аналізу цитогенетичної мінливості пшениці озимої

Параметр	Концентрація	Сорт
Загальна частота	0,995677*	0,645557*
Фрагменти	0,965430*	0,340563
Мости	0,504545	0,478954
Інші аберації	-0.823343*	0,712195*
Комплексні	0,967009*	0,645153*
Варіативність пояснена	3,668519	1,456532
Варіативність не пояснена	0,834135	0,911730

Примітка. *Статистично достовірно за $P<0,05$

Також можна відзначити, що загалом контрастними за дією були концентрації АН 0,01 %, 0,025 %. Також значущою була відмінність між ними та останніми двома концентраціями 0,05 % та 0,1 %. Однак третя і четверта явно подаються змішаною групою, таким чином виникає питання в доцільності застосування цих обох концентрацій. Втім, очевидно, це виправдано для деякої частини генотипів, враховуючи попередній факторний аналіз, орієнтовно до чверті від загального числа.

На відміну від попередньо досліджених мутагенів за дії ДМС відмічається специфічність динаміки зміни частоти в різних генотипів. Так, частота поступово зростає у сортів Балатон, Полянка, залишається на одному рівні, а потім збільшується у сортів Зелений гай, Золото України, Боровиця, Каланча (табл. 12). Частота спочатку збільшується, а потім зменшується у сорту Нива одеська; збільшується, а потім залишається на тому самому рівні у сорту Почайна.

Таблиця 12

Частота хромосомних аберацій за дії ДМС (x±SD, n=500–1000)

Сорт	Варіант	Мітозів, шт.	Хромосомних аберацій	
			шт.	%
Балатон	Вода	1002	9	0,90±0,11[a]
Балатон	ДМС 0,0125 %	1007	179	17,78±0,51[b]
Балатон	ДМС 0,025 %	923	187	20,26±0,48[c]
Балатон	ДМС 0,05 %	640	153	23,91±0,37[d]
Зелений гай	Вода	1008	8	0,79±0,12[a]
Зелений гай	ДМС 0,0125 %	1001	175	17,48±0,39[b]
Зелений гай	ДМС 0,025 %	910	161	17,69±0,50[b]
Зелений гай	ДМС 0,05 %	610	123	20,16±0,69[c]
Золото України	Вода	1001	8	0,80±0,21[a]
Золото України	ДМС 0,0125 %	1008	174	17,26±0,39[b]
Золото України	ДМС 0,025 %	890	150	16,85±0,37[b]
Золото України	ДМС 0,05 %	610	117	19,18±0,43[c]
Нива одеська	Вода	1009	9	0,89±0,19[a]
Нива одеська	ДМС 0,0125 %	1010	136	13,47±0,40[b]
Нива одеська	ДМС 0,025 %	889	130	14,62±0,28[c]
Нива одеська	ДМС 0,05 %	670	87	12,99±0,47[b]
Боровиця	Вода	1001	7	0,70±0,20[a]
Боровиця	ДМС 0,0125 %	1009	157	15,56±0,32[b]
Боровиця	ДМС 0,025 %	930	148	15,91±0,33[b]
Боровиця	ДМС 0,05 %	578	106	18,34±0,41[c]
Каланча	Вода	1000	10	1,00±0,15[a]
Каланча	ДМС 0,0125 %	1003	139	13,86±0,34[b]
Каланча	ДМС 0,025 %	924	131	14,18±0,39[b]
Каланча	ДМС 0,05 %	619	97	15,67±0,41[c]
Полянка	Вода	1007	6	0,60±0,26[a]
Полянка	ДМС 0,0125 %	1005	148	14,73±0,36[b]
Полянка	ДМС 0,025 %	917	145	15,81±0,39[c]
Полянка	ДМС 0,05 %	734	129	17,57±0,51[d]
Почайна	Вода	1005	8	0,80±0,06[a]
Почайна	ДМС 0,0125 %	1002	139	13,87±0,35[b]
Почайна	ДМС 0,025 %	901	152	16,87±0,33[c]
Почайна	ДМС 0,05 %	712	118	16,57±0,37[c]

Примітка. Різниця статистично достовірна за факторним аналізом ANOVA за концентраціями при $P_{0,05}$

Аналіз з факторного навантаження окремих ознак цитогенетичної мінливості (табл. 13) показав, що для генотипу достовірно мінливими були такі параметри, як загальна частота, фрагменти, мости, рідкісні типи аберацій, наявність клітин з множинними перебудовами, хоча деякі й були на грані недостовірності.

Загальна частота та окремі показники спектра цитогенетичної активності вихідного матеріалу збільшувалися зі зростанням концентрації досліджених екогенетичних чинників.

Активність чинників за цитогенетичною мінливістю приблизно можна розташувати в такому порядку: ДАБ, НЕС → НМС → ЕМС → АН → ДМС.

Таблиця 13

Результати факторного аналізу цитогенетичної мінливості пшениці озимої

Параметр	Концентрація	Генотип
Загальна частота	0,817*	-0,934*
Фрагменти	0,816*	0,844*
Мости	0,790*	-0,749*
Інші аберації	-0,678*	0,436
Комплексні аберації	0,717*	0,501
Варіативність пояснена	2,983	2,114
Варіативність не пояснена	0,990	1,095

Примітка. *Статистично достовірно при P<0,05

Із показників спектра генотип суб'єкта дії переважно впливав на кількість аберацій типу «мікроядро» та «відстаюча хромосома», іноді – на кількість клітин із множинними змінами; менш вираженою була його роль у варіюванні кількості фрагментів та мостів. Співвідношення кількості фрагментів і мостів було інформативним показником впливу та мало диференціювальну здатність між окремими групами вихідного матеріалу, особливо для НМС. Значення цього співвідношення було вищим за 1, однак із підвищенням концентрації різниця між кількістю мостів і фрагментів поступово знижувалася, а дія ставала менш сайт-специфічною.

Більша диференціація спостерігалася в менш толерантних до дії чинників сортів за наслідками на рівні рослини відповідно до проявів депресивних ефектів – переважно Балатон, Зелений гай, Нива одеська, частково Золото України. Суттєво нижча цитогенетична активність була характерною для сортів Боровиця, Полянка та Почайна. Більш рівномірно на цитогенетичному рівні реагували сорти Зелений гай та Каланча.

За дії АН та частково ДМС спостерігалося формування плато між АН 0,05 % та АН 0,1 %, ДМС 0,025 % та ДМС 0,05 % відповідно, що вказує на обмежену доцільність використання високих концентрацій АН та ДМС для індукції штучного біорізноманіття.

У п'ятому розділі **«Частота та спектр спадкової мінливості в пшениці озимої для хімічних стресорів»** досліджено особливості формування спадкової мінливості пшениці озимої за дії хімічних стресорів, проаналізовано частоту та спектр індукованих мутацій як показники екогенетичної відповіді рослин на мутагенний вплив, охарактеризовано особливості прояву спадкових змін у наступних поколіннях та здійснено їх класифікацію за характером морфологічних і фізіологічних порушень.

Встановлено, що внаслідок дії ДАБ спектр змінених ознак був значно вужчим порівняно з іншими хімічними супермутагенами, що свідчить про специфічність його мутагенної дії. У спектрі змін за дії ДАБ ідентифіковано 33 ознаки, спадкові зміни яких зафіксовано під час фенологічних спостережень у другому-третьому поколіннях, структурного та біометричного аналізу окремих ознак.

За загальноприйнятою класифікацією виявлені мутаційні зміни розподілено на шість груп. До першої групи віднесено зміни архітектоніки пагона рослини, до другої – зміни форми та розміру зерна. Третя, найбільша група, охоплює мутаційні зміни структури та забарвлення колоса, за винятком системних мутацій, віднесених до п'ятої групи.

Четверта група включає три ознаки, пов'язані з фізіологічними процесами росту й розвитку рослин: стерильність, скоростиглість і пізньостиглість. П'яту групу становлять системні мутації (спельтоїди, сквергеди, субкомпактоїди та компактоїди), які мають обмежене безпосереднє практичне значення, проте становлять науковий інтерес для моделювання мутаційного процесу та дослідження його генетичного контролю. Регулярність і закономірність для окремих параметрів були встановлені за допомогою дискримінантного аналізу (табл. 14).

Таблиця 14

Результати дискримінантного аналізу за дії ДАБ мінливості пшениці озимої, 2019–2021 рр.

Змінні у моделі	Лямбда Вілкса λ	Часткова Лямбда	$F_{критична}$ (4,02)	p-level
Частота мутацій	0,13	0,84	18,12	0,01
Рівень мінливості	0,14	0,77	16,02	0,01
Перша група	0,19	0,65	6,17	0,02
Друга група	0,52	0,34	1,32	0,17
Третя група	0,30	0,50	3,99	0,06
Четверта група	0,09	0,82	19,24	0,01
П’ята група	0,39	0,21	1,99	0,15
Шоста група	0,14	0,75	8,87	0,03

При цьому в модель були включені частота мутацій, рівень мінливості, мутації першої, четвертої і, що особливо цікаво, шостої груп. Зазвичай, це нехарактерно для мутагенів.

Класифікація генотипів у факторному просторі показала, що найбільш значущою генотипмутагенною взаємодією виділявся сорт Нива одеська. Досить високою достовірністю взаємодії визначаються також сорти Балатон і Каланча. Інші сорти показали себе набагато слабше.

Для ДАБ як для екогенетичного чинника характерна помірна ушкоджувальна дія, але загальна частота спадкових змін та рівень мінливості достовірно залежать від зміни концентрації, та, переважно для сорту Нива одеська, частково Балатон (більш мінливі) та Каланча (найменш мінливий сорт), від взаємодії з генетично зумовленою структурою вихідного матеріалу. Цей чинник ефективний в індукції високо- та низькостеблових форм, деяких варіантів структури колоса (більш цікавих для дослідження генетичного контролю), зміни за строками стиглості та регулярно, але в невеликій кількості індукує практично-цінні форми. Названий чинник обмежено придатний до використання у процесі генетичного поліпшення через загальну невисоку активність, але можливе його використання у поєднанні з більш чутливими сортами. Незважаючи на нижчу варіативність при використанні рівня мінливості як параметру оцінки спадкових змін призводить до посилення класифікаційної здатності, особливо в разі застосування кластерного аналізу.

Щодо дії НЕС можна достовірно прогнозувати для цього екогенетичного чинника для дослідженого вихідного матеріалу вагому кількість (у порівнянні) мутантних форм з високим стеблом, рослин з довгим (можливо великим) озерненим колосом. Статистично достовірно ймовірність впливу факторів концентрації НЕС та вихідного матеріалу для обробки показує (табл. 15), що значно більша кількість показників уже залежить від фактора генотип. Таким чином, генотип-мутагенна взаємодія для мутаційного процесу з виникненням нових форм доволі висока.

Таблиця 15

Модельні параметри за дії НЕС мінливості пшениці озимої, 2019–2021 рр.

Параметр в моделі	Лямбда Вілкса λ	Часткова Лямбда	F-критичне (4,02)	p-рівень
Загальна частота	0,12	0,71	15,11	0,01
Рівень мінливості	0,05	0,95	34,22	0,01
Перша група	0,15	0,67	7,99	0,01
Друга група	0,61	0,28	1,85	0,15
Третя група	0,30	0,57	4,04	0,05
Четверта група	0,10	0,80	18,22	0,01
П’ята група	0,21	0,59	4,55	0,04
Шоста група	0,22	0,58	4,17	0,05

Що стосується концентрації мутагенів, то вона також значуще впливала на мінливість за загальною частотою мутаційних змін, рівнем мінливості, за першою, третьою, четвертою, п'ятою та шостою групами, не були вагомими лише зміни за структурою та кольором зерна, котрі мали нерегулярний характер.

Для НЕС як мутагену характерна помірна ушкоджувальна дія, але загальна частота спадкових змін та рівень мінливості достовірно залежать від зміни концентрації, та, переважно для сортів Полянка, Почайна (менш мінливі) та Нива одеська (більш мінливий сорт), від взаємодії з генетично зумовленою структурою вихідного матеріалу. Цей чинник ефективний в індукції високо- та низькостеблових форм, деяких варіантів структури колоса – як більш цікавих для дослідження генетичного контролю, так і практично-цінних (довгий та великий колос), змін за строками стиглості (переважно ранньостиглих форм). Він регулярно у більш високій кількості індукує практично-цінні форми.

Щодо особливостей мутаційного процесу у вихідного матеріалу за дії НМС в дослідженні за результатами дискримінантного аналізу встановлено, що в моделі виявлено фактично всі досліджені ознаки, крім другої (форма зерна) та третьої (структурні зміни колоса) груп змінених ознак (табл. 16).

Таблиця 16

Модельні параметри мутагенної активності

Параметр моделі	Лямбда Вілкса λ	Часткова лямбда	F-критичне (4,02)	p-рівень
Загальна частота	0,09	0,82	27,14	0,01
Рівень мінливості	0,09	0,84	30,19	0,01
Перша група	0,11	0,79	15,82	0,01
Друга група	0,55	0,32	1,97	0,12
Третя група	0,34	0,49	2,98	0,09
Четверта група	0,09	0,83	28,02	0,01
П'ята група	0,14	0,78	12,78	0,01
Шоста група	0,19	0,67	7,52	0,02

НМС як агент генетичної мінливості може викликати доволі високу кількість різних типів мутантних змін, більше спрямованих на виникнення малих, переважно практично-цінних спадкових змін, але підвищується також кількість негативних перебудов, переважно системних та за структурою колоса. Відносно вагомою є ймовірність отримання практично-цінних форм з довгим озерненим колосом, продуктивних та кущистих, ранньостиглих, низькостеблових мутантів. Водночас відчутно більша ймовірність індукції форм зі спельтоїдним, скверхедним колосом, високим стеблом, що є негативним моментом для дії НМС. Перспективним моментом є малоймовірне виникнення стерильних форм.

Рівень мінливості за класифікаційною здатністю щодо впливу вихідного матеріалу був більш надійним для ідентифікації особливостей мутаційного процесу, за впливом концентрацій достатньо було загальної частоти мутацій. Також рівень мінливості більш ефективний у показі генотип-мутагенної взаємодії. Активність чинників за спадковою мінливістю у другому-третьому поколіннях приблизно можна розташувати в такому спадному порядку: ДАБ → НЕС → НМС.

ДАБ як чинник ефективний в індукції низькостеблових форм, деяких варіантів структури колоса (більш цікавих для дослідження генетичного контролю), зміни за строками стиглості, він регулярно, але в невеликій кількості індукує практично-цінні форми. НЕС як чинник продуктивний в індукції низькостеблових форм, деяких варіантів структури колоса як більш цікавих для дослідження генетичного контролю, так і практично-цінних (довгий та крупний колос), зміни за строками стиглості (переважно ранньостиглі форми). Він регулярно і в більш високій кількості індукує практично-цінні форми. У НМС відносно більш вагома ймовірність отримання практично-цінних форм з довгим озерненим колосом, продуктивних та кущистих, ранньостиглих, особливо стійких до захворювань, низько-стеблових мутантів, але підвищується ймовірність наявності небажаних змін за структурою

колоса. Лише за дії НЕС та НМС виникають перспективні напівкарликові форми. Більш практично-цінними в індукції мутантних форм у разі застосування екогенетичних чинників були НЕС у концентрації 0,025 % та НМС у концентрації 0,025 %. Вища мінливість зумовлена вихідним матеріалом для ДАБ для сорту Нива одеська, частково Балатон (більш мінливий) та Каланча (найменш мінливий сорт); для НЕС – Полянка, Почайна (нижча мінливість) та Нива одеська (вища мінливість); для НМС – Полянка, Почайна (нижча мінливість), Нива одеська (вища мінливість), частково Каланча (знов нижча).

Регулярність і закономірність для окремих параметрів були встановлені за допомогою дискримінантного аналізу для дії ЕМС (табл. 17). При цьому в модель були включені частота мутацій, рівень мінливості, мутації першої, четвертої і п’ятої груп. Зазвичай, це характерно для супермутагенів. Дані вказують, що вона переважає за перспективністю ДАБ, але поступається нітрозоалкілсечовинам.

Таблиця 17

Результати дискримінантного аналізу за дії ЕМС мінливості пшениці озимої, 2019–2021 рр.

Змінні в моделі	Лямбда Вілкса λ	Часткова Лямбда	$F_{критична}$ (4,02)	p-level
Частота мутацій	0,11	0,79	17,23	0,01
Рівень мінливості	0,07	0,92	21,14	0,01
Перша група	0,14	0,70	8,92	0,01
Друга група	0,57	0,31	1,99	0,13
Третя група	0,32	0,55	3,69	0,06
Четверта група	0,11	0,78	16,17	0,01
П’ята група	0,19	0,61	5,14	0,03
Шоста група	0,39	0,47	2,93	0,09

Класифікація генотипів у факторному просторі показала, що найбільш значущою генотип-мутагенною взаємодією характеризувалися сорти Балатон, Золото України, Нива одеська, Зелений гай. Досить високою достовірністю взаємодії відзначалися також сорти Боровиця, Полянка та Почайна. Сорт Каланча характеризувався нижчим рівнем класифікації.

ЕМС як мутагенний чинник демонструє надзвичайно значну залежність від особливостей генотип-мутагенної взаємодії, тобто залежить від особливостей вихідного генотипу з чітким розподілом за генетично зумовленою реактивністю на дію цього мутагенного чинника. Він може бути ефективним в індукції низькорослих та напівкарликових, ранньостиглих форм з довгим колосом, але несприятливими є висока стерильність, регулярна поява сверхедів та спельтоїдів, висока різноманітність небажаних структурних та системних змін, високих форм. Водночас він більш ефективний в індукції прогностичного високого виходу цінних форм, ніж ДАБ, але менше, ніж НЕС та НМС. Найоптимальнішим є застосування діапазону концентрації ЕМС 0,025–0,05 % на сортах першої групи Балатон, Золото України, Нива одеська, Зелений гай. Показник рівня мінливості доволі чітко ідентифікує відповідні форми за кластерним аналізом.

За результатами дискримінантного аналізу мутаційного процесу встановлено модельність окремих параметрів за групами за дії АН (табл. 18). Суттєвими вони були за загальною частотою спадкових змін, рівнем мінливості, мутаціями першої, третьої та четвертої груп, тобто для АН статистично достовірний вплив встановлено на меншу кількість груп, ніж для інших мутагенів, що демонструє вищу специфічність цього чинника.

Оптимальніше використовувати цей мутаген як чинник для індукції низькорослих форм з довгим колосом, ранньостиглих ліній, які завдяки цій особливості можуть уникнути типової травнево-червневої посухи, характерної для нашого регіону.

Для мутаційного процесу за дії ДМС в процесі дискримінантного аналізу встановлено моделювання окремих параметрів за групами (табл. 19).

Таблиця 18

Модельні параметри за дії АН мінливості пшениці озимої, 2019–2021 рр.

Параметр у моделі	Лямбда Вілкса λ	Часткова Лямбда	F-критичне (4,34)	p-рівень
Загальна частота	0,09	0,57	5,66	0,02
Рівень мінливості	0,08	0,45	9,24	0,01
Перша група	0,06	0,40	11,02	0,01
Друга група	0,53	0,76	2,39	0,09
Третя група	0,11	0,56	6,49	0,01
Четверта група	0,07	0,42	10,07	0,01
П’ята група	0,18	0,62	4,04	0,06
Шоста група	0,25	0,68	2,03	0,11

Таблиця 19

Модельні параметри мутагенної активності ДМС мінливості пшениці озимої, 2019–2021 рр.

Параметр у моделі	Лямбда Вілкса λ	Часткова Лямбда	F-критичне (4,02)	p-рівень
Загальна частота	0,10	0,82	19,44	0,01
Рівень мінливості	0,06	0,93	20,67	0,01
Перша група	0,11	0,77	14,55	0,01
Друга група	0,61	0,34	2,21	0,13
Третя група	0,13	0,58	13,12	0,01
Четверта група	0,10	0,79	18,67	0,01
П’ята група	0,17	0,69	8,33	0,03
Шоста група	0,21	0,79	6,03	0,04

У моделі були частота мутаційних змін, рівень мінливості, мутації для першої, третьої, четвертої (тільки за концентраціями), п’ятої, шостої груп.

Таким чином, можна достовірно передбачити для цього екогенетичного чинника на цьому матеріалі отримання джерел для селекції на скоростиглість, висоту рослин, але складно знайти цінні форми в комплексі, без негативних змін. Суттєво, що як генотип вихідного матеріалу, так і концентрація мутагену впливають на частоту мутацій, рівень мінливості та частоти для першої та третьої-п’ятої груп мутацій, що дещо суперечить результатам дискримінантного аналізу, доповнюючи його новими значимими параметрами (третя група для мутаційних змін).

З досліджуваного вихідного матеріалу виявлено два генотипи, які можуть бути більш перспективними як майбутні компоненти композиції з підвищеним виходом змінених форм під дією досліджуваного мутагену (сорти Зелений гай та Каланча). Загалом, сайт-специфічність навіть агента з високою ушкоджувальною здатністю цілком достатня для ідентифікації найбільш чутливих різновидів, навіть у їх досить обмеженому наборі. У більшості випадків оптимальніше використовувати концентрацію в більш помірному діапазоні; досить часто для більшої частини вихідного матеріалу збільшення концентрації не призводить до позитивних зрушень і навіть може виявитися негативним щодо отриманого матеріалу як кількісно, так і якісно. Застосування цього фактора є перспективним з позиції отримання цінних форм, особливо низькорослих, з великим колосом, ранньостиглих, урожайних. Але негативним є висока ймовірність комплексу цих змін із високим ростом рослин, змінами в колосі, зокрема системними, високим рівнем стерильності, особливо через високу ймовірність комплексних змін при ДМС 0,0125 % – ДМС 0,025 %, які має сенс використовувати. Таким чином, застосування цього мутагену з практичного погляду дещо ускладнене. Підвищується різноманітність індукованих форм, але переважно за рахунок системних та несприятливих змін структури колосу. За активністю екогенетичні чинники можна розташувати таким чином (спадний порядок): ЕМС → АН → ДМС.

У шостому розділі **«Мінливість господарсько-цінних ознак у пшениці озимої»** досліджено особливості формування господарсько-цінних ознак пшениці озимої за дії хімічних мутагенів, проаналізовано специфічність індукованої мінливості як прояву екогенетичної відповіді вихідного матеріалу на мутагенний вплив та визначено ефективність окремих хімічних агентів щодо формування перспективних мутантних форм.

Встановлено, що ДАБ характеризувався нижчою ефективністю індукції господарсько-цінних змін у досліджуваного вихідного матеріалу порівняно з НЕС та НМС. Для дії НЕС найбільш характерним було виникнення короткостеблових, ранньостиглих, продуктивних форм із підвищеною кущистістю, збільшеним вмістом білка, позитивними змінами його компонентного складу та вмісту мікроелементів. За дії НМС спостерігали подібний спектр змін, зокрема формування короткостеблових, ранньостиглих, урожайних форм із підвищеною здатністю до кущення, поліпшеними показниками вмісту білка, його компонентного складу та вмісту мікроелементів.

Порівняльний аналіз засвідчив подібність спектрів індукованої мінливості за дії НЕС та НМС. Водночас ДАБ виявив специфічну ефективність щодо індукції мутантних форм із подовженим колосом. Обидва мутагени, НЕС та НМС, були ефективними для індукції низькорослості, ранньостиглості, підвищеної кущистості, позитивних змін компонентного складу білка та вмісту мікроелементів. НЕС характеризувався вищою ефективністю щодо отримання мутантів із підвищеним вмістом білка та продуктивних ліній.

Водночас серед досліджуваних хімічних агентів не встановлено мутагену зі стабільно високою ефективністю індукції товстостеблових, напівкарликових, карликових, великозернових форм та рослин з інтенсивним восковим нальотом. Отримані результати свідчать про специфічність формотворчої дії хімічних стресорів і доцільність використання НЕС та НМС у комплексі для генетичного поліпшення пшениці озимої (табл. 20).

Таблиця 20

Позитивні зміни ознак пшениці озимої.
Результати дискримінантного аналізу, 2021–2023 рр.

Ознака в моделі	Лямбда Вілкса λ	Мутаген у моделі	$F_{0.05}$	р-рівень
Товсте стебло	0,331	–	1,91	0,092
Коротке стебло	0,084	ДАБ, НМС, НЕС	17,34	0,001
Напівкарлик	0,221	–	3,98	0,084
Карлик	0,26	–	3,11	0,085
Велике зерно	0,223	–	3,88	0,084
Довге зерно	0,114	ДАБ	7,14	0,003
Великий колос	0,296	–	2,34	0,095
Ранньостиглий	0,123	ДАБ, НМС, НЕС	11,04	0,001
Продуктивні	0,159	НЕС	4,57	0,054
Кущисті	0,144	ДАБ, НМС, НЕС	4,90	0,042
Високий вміст білка	0,130	НЕС	5,01	0,044
Позитивні зміни за компонентами білка	0,154	НЕС, НМС	4,95	0,043
Позитивні зміни за вмістом мікроелементами	0,143	НЕС, НМС	7,68	0,002

Серед більш продуктивних ліній знаходимо всі сорти, крім Ниви Одеської як вихідного матеріалу. Сорти Балатон і Зелений гай представлені формами, що утворилися в результаті дії НЕС, тоді як для сорту Золото України продуктивна лінія була отримана за дії НМС. Чотири інші різновиди представлені переважно під дією НЕС, НМС двома-трьома лініями. Лише в одному випадку ДАБ був ефективним як фактор індукції продуктивних ліній і лише для сорту Каланча. Усі відібрані лінії в остаточному підсумку перевищили стандарт за результатами трирічного випробування, але не були рівні між собою в цьому перевищенні.

За результатами трирічних випробувань знову виділено три групи ліній: 17, 29, 213, 278, 311, 415, 442 склали групу найпродуктивніших ліній, форми 224, 401, 467 зайняли проміжне місце, лінії 345, 389 перевищували стандарт за врожайністю, значно поступалися першій групі, водночас лінії 278, 311, 415 є достовірними з позиції стабільності ознаки, решта можуть досить суттєво варіювати з року в рік.

За технологічними якостями за вмістом білка позитивно виділилися такі лінії, як 345, 401, 415, а за вмістом клейковини – 29, 345, 401, 415, 442, 467, що в цілому свідчить про те, що характеристики досить тісно пов'язані. Більше того, в цілому всі отримані форми, крім 311, можна віднести до сильних із гарною якістю зерна, у зв'язку з чим єдину продуктивну лінію, отриману під дією ДАБ, слід вважати малоперспективною. У цілому перша і друга ознаки мають досить низьку мінливість.

У спектрі отриманих перспективних змін дискримінантним аналізом були ідентифіковані ознаки, що достовірно показують значущу мінливість за дії певних речовин (табл. 21).

Таблиця 21

Ідентифікація значущих за мінливістю ознак пшениці озимої, 2021–2023 рр.

Ознака в моделі	Лямбда Вілкса λ	Мутаген в моделі	$F_{0.05}$	Р-рівень
Товсте стебло	0,234	ДМС	3,91	0,06
Короткостеблові	0,077	ЕМС, АН, ДМС	18,12	0,001
Напівкарлики	0,089	ЕМС, АН, ДМС	9,36	0,001
Карлики	0,157	АН, ДМС	6,14	0,005
Велике зерно	0,213	АН	3,58	0,079
Довгий колос	0,084	ЕМС, АН, ДМС	10,14	0,001
Великий колос	0,286	АН	2,14	0,099
Ранньостиглі	0,093	АН, ДМС	8,04	0,004
Врожайні	0,229	відсутні	2,77	0,087
Кущисті	0,214	АН	4,80	0,046
Вищий вміст білка	0,230	АН	4,43	0,039
Позитивні зміни за білковими компонентами	0,104	АН, ДМС	8,67	0,003
Позитивні зміни за вмістом мікроелементів	0,103	ЕМС, АН, ДМС	8,98	0,003

З групи стабільно високоврожайних генотипів лінія 415 показала найкраще поєднання з високою якістю зерна (високий білок, клейковина, високомолекулярні глютеніни), 311 вибуває через низьку якість зерна. На основі отриманого матеріалу можна зробити висновок, що для місцевого матеріалу доцільно використовувати переважно мутагени НЕС та НМС. Отримані дані свідчать про те, що використання цих чинників як мутагенних факторів може бути спрямоване, насамперед, на отримання форм для використання як компонентів для подальшого поліпшення існуючих ценозів.

Генетичний матеріал (три сорти) представлений досить сприятливими вихідними формами для створення високопродуктивних і високоякісних ліній з позитивними змінами структури рослин, перебігу критичних фаз розвитку рослин, вмісту та структури білково-мікроелементного комплексу. Результати виконаного за мутагенами дискримінантного аналізу показали, що ЕМС та ДМС мали більш подібну ефективність за впливом на всю групу генотипів, тоді як вплив АН був найбільш варіативним.

Також було виконано аналіз за індивідуальними особливостями мутаційного процесу. Так, встановлено, що більшу силу як мутаген з огляду на спектр індукованих ознак має АН (майже всі ознаки, крім товстого стебла та врожайності), на другому місті ДМС, що не був достовірно ефективним для індукції мутацій за інтенсивною восковою поволокою, великим зерном, великим колосом, врожайними кущистими формами, вищим вмістом білка в зерні

пшениці. Найменш вдалим з огляду на спектр була дія на представлений сортовий набір ЕМС, що значуще вплинув на частоти мутацій за короткостебловістю, індукцію напівкарликів, форм з довгим колосом, з позитивними змінами за вмістом мікроелементів.

Якщо здійснити аналіз з боку ознак, то для форм з товстим стеблом (стійкі до вилягання) варто застосувати лише ДМС, з інтенсивною восковою поволокою (потенційно стійкі до посухи) та з великим зерном та колосом – АН, кущисті форми та з вищим вмістом білка – теж АН. Таким чином, ураховуючи вищу ефективність ДМС в індукції карликів для цього набору генотипів ефективним є застосування АН та ДМС. Використання ЕМС недоцільне. Водночас виникнення врожайних форм не є модельним та не може бути прогнозоване за отриманими даними. Тому ці дані потребують доповнення за рахунок розширення різноманіття вихідних форм. За результатами трьох років знаходимо п’ять груп, з яких до найбільш врожайних віднесено кластер ліній 26, 423 та також цікавими є перехідні 334, 356, 412, 446.

Поєднують високу продуктивність та кращу якість лінії 26 (негативно для високого вмісту низькомолекулярних глютенинів), 423, 334, 356, 412, окремо форма 446 (поєднувала у собі комплекс високої врожайності та кращої якості за всіма параметрами). Можливо отримати за дії помірних концентрацій мутагенів з високим ушкоджувальним ефектом форми, що поєднують поліпшення за комплексом господарсько-цінних ознак.

За ефективністю в комплексах з високим виходом практично-цінних форм екогенетичні чинники можна ранжувати так (від найкращого): АН → НМС, НЕС → ДМС →ЕМС, ДАБ. Досліджені сорти відповідно: Почайна →Каланча → Полянка → Балатон → Золото України, Боровиця, Зелений гай → Нива одеська.

За результатами порівняльного та контрольного випробувань встановлено, що перспективними за поєднанням високої врожайності з задовільними технологічними якостями (загальний вміст білка, співвідношення компонентів білка) були лінії 17 (Балатон, НЕС 0,01 %), 26 (Балатон, АН 0,025 %), 29 (Золото України, НМС 0,0125 %), 213 (Зелений гай, НЕС 0,01 %), 278 (Боровиця, НМС 0,0125 %), 334 (Каланча, ДМС 0,0125 %), 356 (Каланча, АН 0,05 %), 412 (Полянка, ДМС 0,0125 %), 442 (Почайна, НЕС 0,01 %), 423 (Почайна, АН 0,025 %).

Лінії 415 (Полянка, НМС 0,0125 %) та 446 (Почайна, АН 0,05 %) характеризувалися високими показниками врожайності та якості й мають перспективу прямого використання без додаткових циклів поліпшення.

Лінії 345 (Каланча, НЕС 0,025 %) та 401 (Полянка, НЕС 0,025 %) доцільно використовувати як донори ознак якості.

ВИСНОВКИ

У дисертації на аут- та демекологічному рівнях прояву екогенетичної мінливості теоретично та експериментально обґрунтовано закономірності сайт-специфічної взаємодії генотипів пшениці м’якої озимої з екогенетичними чинниками різної природи та інтенсивності. На основі одержаних результатів запропоновано системи «сорт – чинник», спрямовані на підвищення керованості формотворчого процесу та виходу господарсько цінних форм.

1. Встановлено закономірності взаємодії генотипів пшениці озимої з хімічними супермутагенами як модельними екогенетичними стресорами різної інтенсивності, особливості прояву екогенетичної токсичності, адаптивних реакцій та формування спадкової мінливості залежно від генетичних особливостей рослин. Порівняльний аналіз досліджених екогенетичних чинників засвідчив відмінності між ними за рівнем токсичності, цитогенетичної та мутагенної активності, проявом сайт-специфічності й селекційною цінністю. Зі зростанням генетичної активності чинників загалом спостерігалося зниження сайт-специфічності їх дії та підвищення комплексності індукованих змін. Найбільшу практичну цінність для індукції господарсько цінних форм мали помірні та оптимальні концентрації НЕС, НМС, ЕМС, АН і ДМС. Одержані результати поглиблюють уявлення

про еколого-генетичну взаємодію в системі «генотип – чинник середовища» за умов контрольованого стресового впливу.

2. Ідентифіковано ефект значущої віддаленої загибелі для чинників із потенційно вищою сайт-специфічною здатністю (ДАБ, частково НЕС, АН). Встановлено, що з підвищенням активності чинника сайт-специфічність його дії знижується, тоді як кількість модельних параметрів зростає. За депресивними наслідками досліджені чинники загалом можна ранжувати від менш активних до більш активних таким чином: ДАБ, НЕС → НМС, ЕМС → АН → ДМС, із менш контрастними відмінностями між ЕМС та АН, а також ДАБ та НЕС за окремими параметрами.

3. Специфічну реакцію на дію досліджених чинників у негативному сенсі переважно демонстрували сорти Балатон, Нива одеська та частково Зелений гай. Найвищу стабільність прояву ефектів за підвищення концентрації зафіксовано у сорту Каланча, частково Почайна та Полянка. Отримані результати дають підстави розглядати ці генотипи як більш інформативні модельні об'єкти на ранніх етапах дослідження.

4. У межах проведеного дослідження найбільш інформативними моніторинговими показниками негативних ефектів у мутантної популяції першого покоління були показники онтогенезу (схожість та загибель унаслідок зимового періоду), стерильність пилкових зерен і параметри структури врожайності (висота рослин, маса тисячі зерен). Для дії ДМС та АН додатковим показником може бути фотосинтетична активність.

5. Загальна частота та окремі показники спектра цитогенетичної активності вихідного матеріалу зростали з підвищенням концентрації досліджених екогенетичних чинників. За цитогенетичною активністю їх приблизно можна розташувати в такій послідовності: ДАБ, НЕС → НМС → ЕМС → АН → ДМС. Загальна частота хромосомних аберацій, кількість фрагментів і перебудов типу «мікроядро» та «відстаюча хромосома» можуть бути використані як індикатори мутагенного впливу в межах проведеного дослідження. Їх прояв суттєво залежав від природи чинника, а для окремих показників – також від генотипу суб'єкта дії.

6. На цитогенетичному рівні специфічну реакцію в негативному сенсі переважно демонстрували сорти Балатон і Нива одеська. Вищу стабільність прояву цитогенетичних ефектів за підвищення концентрації встановлено для сортів Каланча, Почайна, частково Зелений гай та Полянка. Це підтверджує генотипову зумовленість реакції на дію досліджених екогенетичних чинників і можливість диференціації вихідного матеріалу за характером цитогенетичної відповіді.

7. Рівень мінливості за класифікаційною здатністю щодо впливу вихідного матеріалу був більш інформативним для ідентифікації особливостей трансформаційного процесу, тоді як для оцінювання впливу концентрацій достатньо було загальної кількості змін. Загальну генетичну активність чинників за трансформаційною здатністю у другому-третьому поколіннях приблизно можна розташувати в такій послідовності: ДАБ → НЕС → НМС → ЕМС → АН → ДМС.

8. Найбільшу практичну цінність для підвищення виходу цінних форм мали НЕС у концентрації 0,025 %, НМС – 0,025 %, ЕМС – 0,025–0,05 %, АН – 0,025–0,05 % та ДМС – 0,0125–0,025 %. Вищий вихід корисних трансформацій залежно від системи «мутаген – вихідний матеріал» встановлено для таких комплексів: ДАБ – Нива одеська, частково Балатон (більш мінливі) та Каланча; для НЕС Полянка, Почайна (позитивно) та Нива одеська (негативно); для НМС – Полянка, Почайна (позитивно), Нива одеська (негативно), частково Каланча (умовно-позитивна); для ЕМС – Балатон, Золото України, Нива одеська, Зелений гай, АН – всі сорти, особливо Каланча, Полянка та Почайна, ДМС – сорти Зелений гай та Каланча.

9. НЕС та НМС як екогенетичні чинники найбільш ефективними були у відповідних комплексах із сортами в діапазонах концентрацій НЕС 0,01–0,025 % та НМС 0,0125–0,025 %. Практично перспективними є комплекси НЕС із сортом Полянка та НМС із сортами Полянка, Каланча і Почайна. Для АН перспективним є діапазон концентрацій 0,01–0,05 %,

а для ДМС – концентрація 0,0125 %. Зважаючи на кількість корисних змін та невиявлення негативних наслідків у межах проведених досліджень, перспективними є комплекси АН із сортами Балатон, Каланча, Полянка, Почайна та ДМС із сортами Каланча і Полянка.

10. Нітрозоалкілсечовини були ефективними для одержання форм зі змінами за висотою рослин, строками стиглості, здатністю до кущення, білковими компонентами та вмістом мікроелементів. НЕС характеризувався вищою ефективністю щодо одержання мутантів із високим вмістом білка та продуктивних ліній. АН і ДМС доповнювали спектр індукованої мінливості за рахунок одержання напівкарликових, карликових і великозернових форм. АН був ефективним щодо більшості досліджених типів змін, крім форм із товстим стеблом та змін рівня врожайності, тоді як для ДМС характерним було додаткове підвищення частоти форм із товстим стеблом і короткостеблових форм.

11. За ефективністю комплексів щодо виходу практично цінних форм досліджені екогенетичні чинники можна ранжувати таким чином: АН → НМС, НЕС → ДМС → ЕМС, ДАБ; вихідні генотипи — Почайна, Каланча → Полянка → Балатон → Золото України, Боровиця, Зелений гай → Нива одеська. Встановлено, що загальний високий рівень мінливості не завжди є достатнім показником виходу практично цінних спадкових змін, тоді як характер сайт-специфічної взаємодії має істотне значення для їх одержання.

12. За результатами порівняльного та контрольного випробувань встановлено, що лінії 415 та 446 характеризуються високими показниками врожайності та якості й мають перспективу прямого використання без додаткових циклів поліпшення. Лінії 345 та 401 доцільно використовувати як донори ознак якості.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

1. Для генетичного поліпшення сортів пшениці озимої запропоновано використання ефекту сайт-специфічної формотворчої дії, отримання агроценозів з високою врожайністю та якістю шляхом створення оптимальних ліній з певними генотипами.

2. Для селекційних наукових центрів та оригінаторів сортів Національної академії аграрних наук України запропоновано використання супермутагенів НЕС у діапазоні 0,025–0,01 %, НМС – 0,0125–0,025 %, АН – 0,01–0,05 % для створення перспективних ліній пшениці м’якої озимої та отримання генетичного базису для поліпшення функціонування агроценозів.

3. Одержані в результаті сайт-специфічної формотворчої дії лінії 415 та 446 пшениці озимої рекомендовано селекціонерам до використання та створення перспективних сортів з високими показниками продуктивності та якості.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Розділ колективної монографії

1. **Horshchar V.**, Nazarenko M., Izhboldin O., Didenko V., Kryshyn R. Ecogenetic variability at the first generation after mutagen action. Modern trends in agricultural science: problems and solutions. Tallinn, 2023. P. 127–144. *(Здобувачем охарактеризовано особливості екогенетичної мінливості пшениці озимої у першому поколінні за мутагенного впливу, проаналізовано реакції рослин на дію хімічних стресорів та узагальнено закономірності прояву індукованих змін у вихідному генетичному матеріалі)*.

Статті у періодичних наукових виданнях,
включених до категорії «А» Переліку наукових фахових видань України
та/або у закордонних виданнях, проіндексованих у базах даних
Web of Science Core Collection та/або Scopus

2. **Horshchar V.**, Nazarenko M. Winter wheat cytogenetic variability under the action of a chemical supermutagen. Regulatory Mechanisms in Biosystems. 2022. Vol. 13. № 4. P. 373–378. *(Здобувачем досліджено особливості цитогенетичної мінливості пшениці озимої за дії*

хімічного супермутагену, встановлено характер цитогенетичної відповіді рослин на мутагенний стрес та визначено специфічність прояву хромосомних порушень за дії досліджуваного чинника).

3. **Horshchar V.**, Nazarenko M. Winter wheat variability under ethylmethansulfonate action. Scientific Papers. Series A. Agronomy. 2023. Vol. LXVI. № 2. P. 264–271. *(Здобувачем досліджено особливості мінливості пшениці озимої за дії етилметансульфонату, проаналізовано реакцію вихідного генетичного матеріалу на мутагенний вплив та охарактеризовано прояви індукованих змін як результат дії хімічного стресового чинника)*.

4. **Horshchar V.**, Nazarenko M. Winter wheat mutation variability under low-damage ability mutagen action. AgroLife Scientific Journal. 2023. Vol. 12. № 2. P. 87–94. *(Здобувачем визначено особливості формування мутаційної мінливості пшениці озимої за дії хімічного мутагену з низькою ушкоджувальною здатністю, охарактеризовано спектр індукованих спадкових змін та оцінено специфічність мутагенної дії)*.

5. **Horshchar V.**, Nazarenko M. Genotype-mutagenic interaction in the cytogenetic variability of winter wheat for a new ecogenetic factor. Regulatory Mechanisms in Biosystems. 2023. Vol. 14. № 3. P. 370–377. *(Здобувачем встановлено особливості взаємодії генотипу пшениці озимої з новим екогенетичним чинником, визначено специфічність цитогенетичної відповіді рослин на мутагенний вплив та проаналізовано генотипову зумовленість прояву цитогенетичної мінливості)*.

6. **Horshchar V.**, Nazarenko M. Cytogenetic activity of a mutagenic factor with high damaging capacity in winter wheat. Scientific Horizons. 2023. Vol. 26. № 9. P. 131–142. *(Здобувачем проведено експериментальні дослідження цитогенетичної активності хімічних мутагенів з високою ушкоджувальною здатністю у пшениці озимої, проаналізовано та узагальнено отримані результати, підготовлено й написано текст статті)*.

7. **Horshchar V.**, Nazarenko M. Heritable variability in winter wheat at the interaction of genotype with factors of high genetic activity. Scientific Horizons. 2024. Vol. 27. № 1. P. 80–93. *(Здобувачем охарактеризовано особливості спадкової мінливості пшениці озимої за взаємодії генотипів із чинниками високої генетичної активності, здійснено порівняльну оцінку генотипових реакцій на мутагенний вплив та визначено специфічність формування спадкових змін залежно від вихідного генетичного матеріалу)*.

Статті у наукових виданнях,
включених до Переліку наукових фахових видань України

8. Назаренко М. М., **Горщар В. І.** Мінливість за врожайністю та якістю зерна колекції сортів пшениці озимої. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2019. № 1 (24). С. 108–115. *(Здобувачем здійснено порівняльну оцінку сортів пшениці озимої за врожайністю та показниками якості зерна, проаналізовано характер сортової мінливості за господарсько-цінними ознаками та узагальнено результати оцінювання вихідного генетичного матеріалу)*.

9. **Горщар В. І.**, Назаренко М. М. Депресивні наслідки дії нітрозоалкілсечовин у першому поколінні пшениці озимої. Аграрні інновації. 2022. № 15. С. 34–39. *(Здобувачем встановлено особливості прояву мутагенної депресії у першому поколінні пшениці озимої за дії нітрозоалкілсечовин, оцінено реакцію рослин на хімічний стресовий вплив та охарактеризовано депресивні ефекти як показники чутливості рослин до мутагенних чинників)*.

10. **Горщар В. І.**, Назаренко М. М. Мутагенна депресія при дії хімічного чинника з низькою ушкоджувальною здатністю. Таврійський науковий вісник. 2022. Вип. 127. С. 33–40. *(Здобувачем визначено особливості прояву мутагенної депресії пшениці озимої за дії хімічного стресора з низькою ушкоджувальною здатністю, оцінено ступінь пригнічення росту й розвитку рослин та проаналізовано їхню чутливість до мутагенного навантаження)*.

11. **Horshchar V.**, Nazarenko M. Inhibition of mutagenic effect in winter wheat as a result of ethylmethansulfonat action. Agrology. 2022. Vol. 5. № 3. P. 75–80. *(Здобувачем проаналізовано*

особливості пригнічувальної дії етилметансульфонату на рослини пшениці озимої, охарактеризовано прояви мутагенної депресії та здійснено оцінювання реакції рослин на хімічний стресовий чинник).

12. **Горщар В. І.**, Назаренко М. М. Порушення показників онтогенезу у першому поколінні пшениці озимої при дії азиду натрію. Аграрні інновації. 2022. № 16. С. 110–116. *(Здобувачем виявлено особливості порушення онтогенетичних процесів у першому поколінні пшениці озимої за дії азиду натрію, оцінено характер змін показників росту й розвитку рослин та визначено прояви їхньої чутливості до хімічного стресового чинника)*.

13. **Горщар В. І.**, Назаренко М. М. Варіативність за депресивними наслідками за дії хімічним мутагеном у пшениці озимої. Таврійський науковий вісник. 2023. Вип. 129. С. 47–54. *(Здобувачем встановлено варіативність прояву мутагенної депресії у пшениці озимої за дії хімічного чинника, здійснено порівняльну оцінку депресивних реакцій рослин та охарактеризовано неоднорідність їхньої відповіді на мутагенний стрес)*.

14. **Горщар В. І.**, Назаренко М. М. Фотосинтетична активність як показник мутагенної депресії. Таврійський науковий вісник. 2023. Вип. 130. С. 42–50. *(Здобувачем обґрунтовано використання фотосинтетичної активності як показника мутагенної депресії пшениці озимої, проаналізовано зміни функціонального стану фотосинтетичного апарату за дії хімічного стресора та оцінено інформативність фотосинтетичних показників для характеристики пригнічувального впливу мутагенних чинників)*.

15. **Horshchar V.**, Nazarenko M. Cytogenetic effects of low-damaging chemical supermutagen action on winter wheat samples. Agrology. 2022. Vol. 5. № 4. P. 116–121. *(Здобувачем виявлено особливості цитогенетичної дії хімічного супермутагену з низькою ушкоджувальною здатністю на зразки пшениці озимої, здійснено оцінювання цитогенетичних порушень та охарактеризовано специфіку реакції рослин на мутагенний вплив)*.

16. **Горщар В. І.**, Назаренко М. М. Особливості індукції мутацій за дії нітрозоетилсечовини у пшениці озимої. Аграрні інновації. 2023. № 18. С. 163–168. *(Здобувачем визначено особливості індукції спадкових змін у пшениці озимої за дії нітрозоетилсечовини, охарактеризовано спектр індукованих мутацій та проаналізовано специфічність мутагенної активності хімічного чинника)*.

17. **Горщар В. І.**, Назаренко М. М. Цитогенетичні ефекти дії нітрозоетилсечовини у пшениці озимої. Таврійський науковий вісник. 2023. Вип. 131. С. 56–63. *(Здобувачем встановлено особливості цитогенетичної активності нітрозоетилсечовини у пшениці озимої, проаналізовано прояви хромосомних порушень та оцінено цитогенетичну відповідь рослин на дію хімічного стресора)*.

18. **Горщар В. І.**, Назаренко М. М. Особливості індукції мутацій за дії нітрозометилсечовини у пшениці озимої. Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка. 2023. Вип. 2 (39). С. 15–20. *(Здобувачем з'ясовано особливості формування спадкової мінливості пшениці озимої за дії нітрозометилсечовини, здійснено оцінювання індукованих мутацій та визначено характер мутагенної активності хімічного чинника)*.

19. **Horshchar V.**, Nazarenko M. Features of the action of a highly active chemical agent for new winter wheat genotypes. Agrology. 2023. Vol. 6. № 1. P. 15–20. *(Здобувачем встановлено особливості реакції нових генотипів пшениці озимої на дію високоактивного хімічного чинника та охарактеризовано специфічність його мутагенної дії)*.

20. **Горщар В. І.**, Назаренко М. М. Цитогенетична активність нітрозометилсечовини у пшениці озимої. Аграрні інновації. 2023. № 19. С. 134–139. *(Здобувачем оцінено цитогенетичну активність нітрозометилсечовини у пшениці озимої та визначено особливості прояву хромосомних порушень за дії цього хімічного чинника)*.

21. **Horshchar V.**, Nazarenko M. Induction of positive changes for winter wheat under the action of a group of ecogenetic factors with lower damaging ability. Agrology. 2023. Vol. 6. № 3. P. 60–66. *(Здобувачем визначено ефективність екогенетичних чинників із низькою*

ушкоджувальною здатністю щодо індукції позитивних спадкових змін у пшениці озимої та оцінено їхню практичну цінність).

22. **Горщар В. І.**, Назаренко М. М. Спадкові зміни при дії малопоширеного хімічного чинника у пшениці озимої. Таврійський науковий вісник. 2023. Вип. 134. С. 37–45. *(Здобувачем охарактеризовано спектр спадкових змін пшениці озимої за дії малопоширеного хімічного мутагену та визначено особливості його формотворчої активності)*.

Тези наукових доповідей

23. **Horshchar V.**, Nazarenko M. Productivity of winter wheat varieties under steppe climatic conditions. Захист і карантин рослин у XXI столітті: проблеми і перспективи: Міжнародна науково-практична конференція, присвячена ювілейним датам від дня народження видатних вчених-фітопатологів докторів біологічних наук, професорів В. К. Пантєлєєва та М. М. Родігіна, м. Харків, 20−21 жовтня 2022 року: тези доповіді. Харків, 2022. С. 232–234. (Здобувачем встановлено особливості реалізації продуктивного потенціалу сортів пшениці озимої за кліматичних умов Степу).

24. **Horshchar V.**, Nazarenko M. Mutagen depression under nitrosoalkylureas action at the first generation for winter wheat. Досягнення та концептуальні напрями розвитку сільськогосподарської науки в сучасному світі: IV Всеукраїнська науково-практична конференція, присвячена пам'яті вченого-селекціонера в галузі баштанництва І. І. Колесника, с. Олександрівка, Дніпропетровська область, 29 листопада 2022 року: тези доповіді. Дніпро, 2022. С. 88–91. *(Здобувачем визначено особливості депресивної реакції пшениці озимої першого покоління на хімічний стрес, спричинений нітрозоалкілсечовинами)*.

25. **Horshchar V.**, Nazarenko M. Winter wheat mutagen depression under DAB (1,4-bisdiazoacetylbutane) action. Стан і перспективи розробки та впровадження ресурсоощадних, енергозберігаючих технологій вирощування сільськогосподарських культур: VI Міжнародна науково-практична конференція, м. Дніпро, 16–17 листопада 2022 року: тези доповіді. Дніпро, 2022. С. 66–67. *(Здобувачем оцінено прояви мутагенної депресії пшениці озимої за стресової дії 1,4-бісдіазоацетилбутану)*.

26. **Horshchar V.**, Nazarenko M. Germination and survival under ethylmethansulfonate action at the first winter wheat plants generation. Селекційно-генетична наука і освіта (Парієві читання): XII Міжнародна наукова конференція, м. Умань, 20–22 березня 2023 року: тези доповіді. Умань, 2023. С. 56–58. *(Здобувачем визначено особливості проростання та виживання рослин пшениці озимої першого покоління за стресової дії етилметан-сульфонату)*.

27. **Horshchar V.**, Nazarenko M. Influence of sodium azide as mutagen factor on winter wheat ontogenesis at first generation. Міжнародна науково-практична інтернет-конференція молодих учених і спеціалістів, м. Дніпро, 16–17 березня 2023 року: тези доповіді. Дніпро, 2023. С. 12–14. *(Здобувачем встановлено особливості онтогенетичної реакції пшениці озимої першого покоління на стресову дію азиду натрію)*.

28. **Horshchar V.**, Nazarenko M. Variability by depressive effects under dimethylsulfate action for winter wheat. Аграрна освіта і наука: досягнення та перспективи розвитку: IV Міжнародна науково-практична конференція, м. Біла Церква, 30 березня 2023 року: тези доповіді. Біла Церква, 2023. С. 43–46. *(Здобувачем охарактеризовано мінливість депресивних реакцій пшениці озимої на стресову дію диметилсульфату)*.

29. **Horshchar V.**, Nazarenko M. Cytogenetic activity of ethylmethansulfonate on winter wheat varieties. Selection of agrocrops in the conditions of climate change: directions and priorities: II International Scientific and Practical Conf. Odesa, 2023. P. 32–35. *(Здобувачем виявлено генотипову специфічність цитогенетичної реакції сортів пшениці озимої на дію етилметан-сульфонату як екогенетичного чинника)*.

30. **Horshchar V.**, Nazarenko M. Ethylmethansulfonate action for winter wheat mutation breeding purposes. Сучасні напрями та досягнення селекції і насінництва сільсько-господарських культур: І Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція, присвячена

75-річчю заснування кафедри селекції, насінництва і генетики, м. Полтава, 15 травня 2023 року: тези доповіді. Полтава, 2023. С. 78–81. *(Здобувачем оцінено мутагенну активність етилметансульфонату та його придатність для індукції спадкової мінливості пшениці озимої)*.

31. **Horshchar V.**, Nazarenko M. Winter wheat photosynthetic activity as parameter of mutagen depression. Всеукраїнська наукова конференція молодих учених і науково-педагогічних працівників, м. Умань, 24 травня 2023 року: тези доповіді. Умань, 2023. С. 16–18. *(Здобувачем оцінено фотосинтетичну активність пшениці озимої як показник фізіологічної реакції на мутагенний стрес)*.

32. **Horshchar V.**, Nazarenko M. Cytogenetic activity of 1,4-bisdiazoacetylbutane (DAB) for winter wheat. Хімія, біотехнологія, екологія та освіта: VII Міжнародна науково-практична інтернет-конференція, м. Полтава, 17–18 травня 2023 року: теза доповіді. Полтава, 2023. С. 284–288. *(Здобувачем визначено особливості цитогенетичної реакції пшениці озимої на дію 1,4-бісдіазоацетилбутану як екогенетичного чинника)*.

33. **Horshchar V.**, Nazarenko M. Winter wheat variability under ethylmethansulfonate action. Agriculture for Life, Life for Agriculture: International Conference, Section 1: Agronomy. Bucharest, 2023. P. 100. *(Здобувачем встановлено особливості мінливості пшениці озимої за дії етилметансульфонату як екогенетичного чинника)*.

34. **Horshchar V.**, Nazarenko M. Influence of dimethylmethansulfate as mutagen factor on winter wheat variability. Зернова галузь – проблеми та перспективи технологічного забезпечення: Міжнародна наукова конференція з нагоди 100-річчя від дня народження доктора сільськогосподарських наук, професора, академіка НААН Валентина Сергійовича Цикова, м. Дніпро, 12–13 жовтня 2023 року: тези доповіді. Дніпро, 2023. С. 15–17. *(Здобувачем охарактеризовано мінливість пшениці озимої за мутагенної дії диметилметансульфату як екогенетичного чинника)*.

АНОТАЦІЯ

Горщар В. І. Еколого-генетичні основи сайт-специфічного формотворчого процесу у пшениці озимої. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора сільськогосподарських наук за науковою спеціальністю 03.00.16 «Екологія». Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ, 2026.

Встановлено закономірності взаємодії генотипів пшениці озимої з хімічними супермутагенами як модельними екогенетичними стресорами різної інтенсивності, особливості прояву екогенетичної токсичності, адаптивних реакцій та формування спадкової мінливості залежно від генетичних особливостей рослин. Одержані результати поглиблюють уявлення про еколого-генетичну взаємодію в системі «генотип – чинник середовища» за умов контрольованого стресового впливу.

Метою дисертації було розробити еколого-генетичні основи створення систем на базі сайт-специфічної дії хімічних супермутагенів залежно від особливостей генотипів пшениці м'якої озимої.

Встановлено відмінності в інтенсивності депресивної дії досліджених екогенетичних чинників. Концентрацію ДАБ 0,1 % класифіковано як низьку, ДАБ 0,2 % та НЕС 0,01 % – як помірні, ДАБ 0,3 %, НЕС 0,025 % і НМС 0,0125 % – як оптимальні, НМС 0,025 % – як високу. У межах досліджених концентрацій ДАБ, НЕС і НМС наближення до ЛД50 не реєстрували; лише за дії НМС 0,025 % за окремими показниками структури врожайності можливе наближення до РД50. Для АН оптимальними визначено концентрації 0,01 і 0,025 %, для ЕМС – 0,025 %, для ДМС – 0,0125 %; високими – АН 0,05 %, ЕМС 0,05 % і ДМС 0,025 %; напівлетальними – АН 0,1 %, ЕМС 0,1 % і ДМС 0,05 %. У більшості випадків, особливо для АН та ДМС, за підвищення концентрацій реєстрували наближення до ЛД50, а за окремими показниками структури врожайності – до РД50 вже за середніх концентрацій.

Переважно специфічну реакцію на дію досліджених чинників демонстрували сорти Балатон, Почайна, Полянка, частково Зелений гай та Нива одеська. Найвищу стабільність у прояві ефектів мутантної популяції спостерігали в сорту Каланча. Дія високих концентрацій, особливо АН та ДМС, суттєво обмежувала кількість матеріалу для подальшого вивчення мутаційної мінливості в наступних поколіннях.

Найбільш інформативними для оцінювання негативних ефектів у мутантній популяції першого покоління були показники онтогенезу (схожість і загибель унаслідок зимового періоду), стерильність пилкових зерен та показники структури врожайності (висота рослин, маса тисячі зерен). Для НМС, АН та ДМС додаткову інформативність мали маса зерна з головного колоса і маса зерна з рослини. Показник фотосинтетичної активності виявився менш інформативним загалом, хоча за дії АН та ДМС міг використовуватися як додатковий показник. Факторний аналіз підтвердив, що на ефекти мутагенної депресії, насамперед, впливало підвищення концентрації мутагену, а в більшості випадків вагомим був також генотип.

Загальна частота хромосомних аберацій та окремі показники спектра цитогенетичної активності збільшувалися зі зростанням концентрації досліджених екогенетичних чинників із низькою ушкоджувальною здатністю. Генотип переважно впливав на кількість аберацій типу «мікроядро» і «відстаюча хромосома», іноді – на частку клітин із множинними змінами; менш вираженою була його роль у варіюванні кількості фрагментів і мостів. Співвідношення фрагментів і мостів мало диференціювальну здатність, особливо за дії НМС: зі збільшенням концентрації різниця між їх кількістю зменшувалася, а дія ставала менш сайт-специфічною. Загальна частота хромосомних аберацій, кількість фрагментів та перебудов типу «мікроядро» і «відстаюча хромосома» були найбільш інформативними індикаторами мутагенного впливу. Статистично значущі відмінності від контролю давали змогу ідентифікувати мутагенну дію вже за мінімальних досліджених концентрацій.

Вагому генотип-мутагенну взаємодію зафіксовано переважно для низьких і середніх концентрацій АН (0,01–0,05 %) та ДМС (0,0125–0,025 %). За дії АН вплив генотипу найбільше проявлявся у сортів Боровиця та Полянка, а генотип-мутагенна взаємодія була більш вираженою у сорту Боровиця. Зі зростанням шкодочинності агента рівень генотип-мутагенної взаємодії знизився лише за дії ЕМС.

Прогностична цінність показників корисної мутаційної активності, на відміну від показників депресивних ефектів, зростала з підвищенням активності чинника. Для НЕС і НМС найбільшу практичну цінність щодо індукції мутантних форм мали концентрації 0,025 %. За дії ДАБ прогностична здатність моделі була обмеженою щодо впливу генотипу, але вищою при оцінюванні ефекту підвищення концентрації. Вагомість впливу генотипу зростала від НЕС до НМС, причому генотип-мутагенна взаємодія була найвиразнішою за дії НМС.

Нітрозоалкілсечовини були ефективними для індукції низькорослості, ранньої стиглості, здатності до кущення, позитивних змін білкових компонентів і вмісту мікроелементів. НМС була ефективнішою для індукції мутацій із підвищеною стійкістю до хвороб, НЕС – для одержання мутантів із високим умістом білка та продуктивних ліній. АН та частково ДМС були ефективними для індукції напівкарликових, карликових і великозернових форм; для ДМС додатково характерна активність щодо форм із товстим стеблом та короткостеблових форм.

Обґрунтовано практичну можливість створення комплексів на базі НЕС із сортом Полянка та НМС із сортами Полянка, Каланча і Почайна за концентрацій НЕС 0,01–0,025 % та НМС 0,0125–0,025 %. Зважаючи на кількість корисних змін і невиявлення негативних наслідків у межах проведених досліджень, перспективними є комплекси на базі АН у діапазоні 0,01–0,05 % із сортами Балатон, Каланча, Полянка, Почайна та ДМС 0,0125 % із сортами Каланча і Полянка. Встановлення характеру генотип-мутагенної взаємодії у першому поколінні мутантної популяції створює можливість раннього прогнозування та вибракування неперспективних генотипів.

За ефективністю комплексів щодо виходу практично цінних форм екогенетичні чинники ранжовано так: АН → НМС, НЕС → ДМС → ЕМС, ДАБ; вихідні генотипи — Почайна, Каланча → Полянка → Балатон → Золото України, Боровиця, Зелений гай → Нива одеська. У системах «сорт – екогенетичний чинник» створено перспективні лінії пшениці м'якої озимої як вихідний матеріал для генетичного поліпшення культури та формування продуктивних агроценозів.

За результатами порівняльного та контрольного випробувань перспективними за поєднанням високої врожайності із задовільними технологічними якостями були лінії 17 (Балатон, НЕС 0,01 %), 26 (Балатон, АН 0,025 %), 29 (Золото України, НМС 0,0125 %), 213 (Зелений гай, НЕС 0,01 %), 278 (Боровиця, НМС 0,0125 %), 334 (Каланча, ДМС 0,0125 %), 356 (Каланча, АН 0,05 %), 412 (Полянка, ДМС 0,0125 %), 442 (Почайна, НЕС 0,01 %) та 423 (Почайна, АН 0,025 %). Лінії 415 (Полянка, НМС 0,0125 %) та 446 (Почайна, АН 0,05 %) характеризувалися високими показниками врожайності та якості й мають перспективу прямого використання без додаткових циклів поліпшення. Лінії 345 (Каланча, НЕС 0,025 %) та 401 (Полянка, НЕС 0,025 %) доцільно використовувати як донори ознак якості.

Ключові слова: пшениця м'яка озима, екогенетичний чинник, агроценоз, сайт-специфічна дія, спадкова мінливість, супермутаген.

ANNOTATION

Horshchar V. I. Ecology-genetics foundations of site-specific form-creation process for winter wheat. A dissertation manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Agricultural Sciences in specialty 03.00.16 «Ecology». National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Kyiv, 2026.

The patterns of interaction between winter wheat genotypes and chemical supermutagens acting as model ecogenetic stressors of different intensities were established, along with the specific manifestations of ecogenetic toxicity, adaptive responses, and the formation of heritable variability depending on the genetic characteristics of plants. The results obtained deepen the understanding of ecogenetic interactions within the «genotype – environmental factor» system under controlled stress conditions.

The practical feasibility of developing complexes based on nitrosoethylurea with the cultivar Polyanka and nitrosomethylurea with the cultivars Polyanka, Kalancha, and Pochaina was substantiated within the concentration ranges of NEU 0.01–0.025 % and NMU 0.0125–0.025 %. Considering the number of beneficial changes and the absence of detected adverse effects within the scope of the conducted studies, promising complexes can be developed using sodium azide at concentrations of 0.01–0.05 % with the cultivars Balaton, Kalancha, Polyanka, and Pochaina, as well as dimethyl sulfate at a concentration of 0.0125 % with the cultivars Kalancha and Polyanka. At the stage of studying the first generation of the mutant population, early prediction and rejection of unpromising genotypes become possible on the basis of determining the nature of the genotype-mutagen interaction.

The aim of the dissertation was to develop the ecological and genetic foundations for creating systems based on the site-specific action of chemical supermutagens depending on the characteristics of winter bread wheat genotypes. Moderate and optimal concentrations of NEU, NMU, EMS, SA, and DMS had the greatest practical value for the induction of agronomically valuable forms. In terms of the effectiveness of complexes producing a high frequency of practically valuable forms, the studied ecogenetic factors were ranked as follows: SA → NMU, NEU → DMS → EMS, DAB; the source genotypes were ranked as follows: Pochaina, Kalancha → Polyanka → Balaton → Zoloto Ukrainy, Borovytsia, Zelenyi Hai → Nyva Odeska.

Comparative and control trials showed that lines 17 (Balaton, NEU 0.01 %), 26 (Balaton, SA 0.025 %), 29 (Zoloto Ukrainy, NMU 0.0125 %), 213 (Zelenyi Hai, NEU 0.01 %), 278 (Borovytsia, NMU 0.0125 %), 334 (Kalancha, DMS 0.0125 %), 356 (Kalancha, SA 0.05 %), 412 (Polyanka, DMS 0.0125 %), 442 (Pochaina, NEU 0.01 %), and 423 (Pochaina, SA 0.025 %) were promising in terms of combining high yield with satisfactory technological quality characteristics. Lines 415

(Polyanka, NMU 0.0125 %) and 446 (Pochaina, SA 0.05 %) were characterized by high yield and quality parameters and have potential for direct use without additional improvement cycles. Lines 345 (Kalancha, NEU 0.025 %) and 401 (Polyanka, NEU 0.025 %) are recommended as donors for improving quality traits.

Key words: winter bread wheat, ecogenetic factor, agrocenosis, site-specific action, heritable variability, supermutagen.