

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет агробіологічний

Кафедра генетики, селекції і насінництва ім. проф. М. О. Зеленського

ПОГОДЖЕНО
Декан агробіологічного
факультету

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри генетики,
селекції і насінництва ім. проф.
М. О. Зеленського

_____ **Віталій КОВАЛЕНКО**
(підпис)

«___» _____ 2025 р.

_____ **Олександр МАКАРЧУК**
(підпис)

«___» _____ 2025 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему: «ЕКОЛОГІЧНА ПЛАСТИЧНІСТЬ ТА СТАБІЛЬНІСТЬ
ГІБРИДІВ КУКУРУДЗИ»**

Спеціальність 201 «Агрономія»

Освітня програма «Селекція і генетика сільськогосподарських культур»

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

Гарант освітньої програми

канд. с.-г. наук, доцент

_____ **Олександр МАКАРЧУК**
(підпис)

Керівники магістерської кваліфікаційної роботи

канд. с.-г. наук, доцент

_____ **Юлія ДМИТРЕНКО**
(підпис)

доктор філософії, ст. викл.

_____ **Роман СПРЯЖКА**
(підпис)

Виконали

_____ **Даниїл ЧУНІХІН**
(підпис)

_____ **Марк КАРМАЗІН**
(підпис)

КИЇВ – 2025

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет агробіологічний

ЗАТВЕРДЖУЮ

**Завідувач кафедри генетики, селекції і
насінництва ім. проф. М. О. Зеленського**

канд. с.-г. наук, доцент _____ Макарчук О. С.
(підпис)

«___» _____ 2025 року

З А В Д А Н Н Я

**ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТАМ
Чуніхіну Даниїлу Олеговичу та Кармазіну Марку Руслановичу**

Спеціальність 201 Агрономія

Освітня програма «Селекція і генетика сільськогосподарських культур»

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

Тема магістерської кваліфікаційної роботи «Екологічна пластичність та стабільність
гібридів кукурудзи»

затверджена наказом ректора НУБіП України від «18» вересня 2025 р. № 1979 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру 10.11.2025

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи: гібриди кукурудзи компанії РАЖТ

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

- 1) Дослідити особливості росту, розвитку та формування основних біометричних показників п'яти гібридів кукурудзи
- 2) Розрахувати кількісні параметри адаптивності для кожного гібрида за методом С.А. Еберхарта та В.А. Рассела
- 3) Обґрунтувати практичні рекомендації для агровиробників

Дата видачі завдання “13” листопада 2024 р.

Керівники магістерської кваліфікаційної роботи _____ Юлія ДМИТРЕНКО
(підпис)

_____ Роман СПРЯЖКА
(підпис)

Завдання прийняли до виконання

_____ Даниїл ЧУНІХІН
(підпис)

Завдання прийняли до виконання

_____ Марк КАРМАЗІН
(підпис)

Зміст

РЕФЕРАТ	5
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	9
1.1. Поняття екологічної пластичності та стабільності рослин	9
1.2. Взаємодія генотипу і середовища: реакція гібридів кукурудзи на різні умови вирощування.....	10
1.3. Методи оцінки адаптивності та стабільності сортів і гібридів	13
1.4. Досвід і результати досліджень з оцінки пластичності та стабільності гібридів кукурудзи в Україні та світі.....	16
РОЗДІЛ 2. МІСЦЕ, МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	20
2.1. Коротка характеристика локацій проведення досліджень.....	20
2.2. Кліматичні та ґрунтові умови проведення досліджень	21
2.3. Матеріали досліджень	26
2.4. Схема польового дослідження, агротехніка вирощування та програма спостережень.....	28
2.5. Методи опрацювання результатів	33
РОЗДІЛ 3. ЕКОЛОГІЧНА ПЛАСТИЧНІСТЬ ГІБРИДІВ КУКУРУДЗИ 36	
3.1. Урожайність та індивідуальна продуктивність гібридів кукурудзи в умовах Київської та Чернігівської областей	36
3.2. Оцінка гібридів за показниками якості зерна	42
3.3. Показники екологічної пластичності та стабільності гібридів кукурудзи.....	45
3.4. Детальна характеристика гібридів за даними екологічної пластичності та стабільності.....	49
ВИСНОВКИ	54
РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	56
ДОДАТКИ	60

РЕФЕРАТ

Магістерська робота на тему «Екологічна пластичність та стабільність гібридів кукурудзи» присвячена детальному вивченню параметрів адаптивності, урожайності та показників якості п'яти гібридів кукурудзи селекції RAGT Seeds у контрастних ґрунтово-кліматичних зонах Полісся та Правобережного Лісостепу України.

Робота викладена у розмірі 60 сторінок друкованого тексту та складається із 6 основних розділів. Робота містить 21 таблицю, 4 рисунка та 1 додаток.

Предмет досліджень: закономірності мінливості урожайності, кількісні параметри екологічної пластичності та стабільності досліджуваних гібридів кукурудзи, їх біометричні та якісні показники, а також кількісне вираження взаємодії «генотип–середовище» в умовах Полісся та Правобережного Лісостепу України.

Об'єкт досліджень: процес формування продуктивності та адаптивної реакції п'яти сучасних гібридів кукурудзи (*Zea mays* L.) іноземної селекції компанії RAGT Seeds: РЖТ АЛОЕККС (ФАО 210), РЖТ АККСТРІД (ФАО 260), РЖТ МОТОРІККС (ФАО 290), РЖТ ЗАНЕТІККС (ФАО 340) та РЖТ ГЮККСО (ФАО 430).

Мета роботи: проведення комплексної порівняльної оцінки нових гібридів кукурудзи селекції RAGT Seeds за показниками продуктивності, екологічної пластичності та стабільності в контрастних ґрунтово-кліматичних умовах Полісся та Правобережного Лісостепу України для наукового обґрунтування рекомендацій щодо їх раціонального використання у виробництві.

Завдання:

1. Дослідити особливості росту, розвитку та формування основних біометричних показників п'яти гібридів кукурудзи залежно від умов вирощування.

2. Встановити рівень урожайності зерна досліджуваних гібридів у кожній зоні та провести дисперсійний аналіз для оцінки впливу факторів «генотип» (G), «середовище» (E) та їх взаємодії (G×E) на формування продуктивності.

3. Розрахувати кількісні параметри адаптивності для кожного гібрида за методом С.А. Еберхарта та В.А. Рассела (коефіцієнт регресії bi та дисперсію відхилень $S^2 di$).

4. На основі комплексного аналізу отриманих даних класифікувати досліджені гібриди за типом адаптивної реакції (інтенсивні, пластичні, стабільні).

5. Обґрунтувати практичні рекомендації для агровиробників щодо доцільності вирощування найбільш адаптованих гібридів кукурудзи в умовах Полісся та Лісостепу.

За результатами дослідження встановлено кількісні параметри реакції досліджуваних генотипів на зміну умов вирощування (коефіцієнт регресії) та стабільності (дисперсія відхилень від регресії) за методом Еберхарта–Рассела, що дозволило науково обґрунтувати їх адаптивний потенціал

Ключові слова: кукурудза, гібрид, екологічна пластичність, стабільність, взаємодія генотип-середовище, адаптивність, урожайність, метод Еберхарта–Рассела.

ВСТУП

Кукурудза (*Zea mays* L.) посідає незаперечне стратегічне місце в агропромисловому комплексі України, будучи ключовою фуражною, продовольчою та технічною культурою. Протягом останнього десятиліття посівні площі під нею стабільно перевищують 4 мільйони гектарів, що закріплює за Україною статус одного з провідних світових виробників та експортерів її зерна. Стабільне виробництво кукурудзи є питанням не лише економічної доцільності, забезпечуючи значні валютні надходження, але й національної продовольчої безпеки, оскільки вона є основою кормової бази для тваринництва та сировиною для переробної промисловості.

Водночас, попри значний генетичний потенціал сучасних гібридів, реальна врожайність культури в умовах України демонструє значну варіабельність. Середні показники продуктивності коливаються у широкому діапазоні від 4,5 до 8,3 т/га і більше, залежно від року та зони вирощування. Такі різкі коливання свідчать про те, що успіх вирощування кукурудзи дедалі більше залежить не стільки від потенційної врожайності гібрида, скільки від його здатності адаптуватися до конкретних, часто стресових, умов середовища.

Ця проблема набуває особливої гостроти на тлі глобальних кліматичних змін, які проявляються в Україні у вигляді підвищення середньорічних температур, зміни режиму опадів та зростання частоти екстремальних погодних явищ. Для ключових зон вирощування кукурудзи, таких як Полісся та Лісостеп, критичними стають абіотичні стреси. У поліських регіонах, на бідних дерново-підзолистих ґрунтах легкого гранулометричного складу, лімітуючими факторами часто є як недостатнє теплозабезпечення та затяжні весняні похолодання, що сповільнюють початковий ріст, так і приховані літні посухи, що швидко виснажують запаси продуктивної вологи. Лісостепова зона, маючи високий природний потенціал родючості, все частіше стикається

з дефіцитом ґрунтової вологи та періодами високих температур (>35 °С) у критичні фази цвітіння та наливу зерна, що призводить до стерильності пилку, череззерниці та суттєвого недобору врожаю.

В цих умовах традиційний підхід до вибору гібридів, орієнтований лише на максимальну потенційну врожайність, стає економічно ризикованим. Значна взаємодія «генотип–середовище» (G×E) призводить до того, що гібрид-лідер в одному регіоні чи в сприятливий рік може показати вкрай незадовільні результати в іншому. Це зумовлює нагальну потребу в переході до науково обґрунтованої системи добору генотипів, яка базується на об'єктивній оцінці їхніх адаптивних властивостей. Тому дослідження екологічної пластичності (здатності гібрида реагувати приростом урожаю на покращення умов) та екологічної стабільності (здатності зберігати продуктивність за несприятливих умов) набуває першочергової практичної ваги. Кількісна оцінка цих параметрів дозволяє не просто вибрати «хороший» гібрид, а підібрати оптимальний генотип для конкретних умов господарювання, тим самим забезпечуючи сталість та прогнозованість агровиробництва.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Поняття екологічної пластичності та стабільності рослин

В умовах глобальних кліматичних змін та інтенсифікації аграрного виробництва, здатність сортів та гібридів адаптуватися до мінливих умов навколишнього середовища стає ключовим фактором стабільного та рентабельного рослинництва. Цей адаптивний потенціал генотипу комплексно описується через два фундаментальні поняття: екологічна пластичність та екологічна стабільність.

Екологічна пластичність визначається як здатність генотипу формувати різні фенотипи у відповідь на зміну умов вирощування. Іншими словами, це норма реакції генотипу, що виражається у модифікаційній мінливості ознак, насамперед продуктивності. У практичній селекції під високою пластичністю розуміють здатність гібрида суттєво підвищувати врожайність за сприятливих умов (високий агрофон, оптимальне зволоження, сприятливий температурний режим). Такі генотипи називають «інтенсивними», оскільки вони максимально реалізують свій потенціал при вкладенні ресурсів. Низькопластичні генотипи, навпаки, слабо реагують на покращення умов вирощування.

Екологічна стабільність, на відміну від пластичності, характеризує здатність генотипу підтримувати сталий рівень прояву ознаки (наприклад, урожайності) у різних, зокрема несприятливих, умовах середовища. Це властивість генотипу нівелювати або «буферизувати» вплив стресових чинників, забезпечуючи передбачуваний результат. Високостабільні генотипи є менш ризикованими для вирощування в зонах з нестабільними погодними умовами, оскільки вони гарантують отримання врожаю навіть у стресові роки, хоча їхній потенціал продуктивності за ідеальних умов може бути нижчим, ніж у пластичних генотипів.

Хоча ці поняття тісно пов'язані, вони описують різні аспекти адаптації. Пластичність відображає чутливість генотипу до змін, тоді як стабільність — його стійкість до цих змін. Ідеальним для виробництва вважається генотип, що поєднує високу середню продуктивність із високою стабільністю, тобто здатний давати стабільно високі врожаї у широкому діапазоні умов. Таким чином, кількісна оцінка екологічної пластичності та стабільності є необхідною умовою для науково обґрунтованого добору генотипів та їхнього подальшого районування [7, 11, 17].

1.2. Взаємодія генотипу і середовища: реакція гібридів кукурудзи на різні умови вирощування

Урожайність сільськогосподарських культур є комплексним полігенним показником, що формується під інтегральним впливом трьох ключових складових: генетичного потенціалу генотипу (G), умов навколишнього середовища (E) та їхньої специфічної взаємодії (G×E). Фенотиповий прояв ознаки, зокрема продуктивності, ніколи не є простою адитивною сумою ефектів генотипу та середовища. Саме наявність значущої взаємодії G×E є фундаментальною проблемою і, водночас, об'єктом дослідження в селекції та рослинництві. Ця взаємодія ускладнює об'єктивну оцінку та добір кращих генотипів, оскільки їхнє ранжування за продуктивністю може кардинально змінюватися в різних локаціях чи за роками вирощування.

Взаємодія «генотип–середовище» проявляється у диференційній реакції генотипів на зміну умов вирощування. Гібрид, що демонструє найвищу врожайність в одній агрокліматичній зоні з певним рівнем вологозабезпечення та агрофону, може значно поступатися іншим генотипам за інших умов. Це явище зумовлене тим, що різні гібриди володіють унікальними, генетично детермінованими механізмами адаптації та специфічною чутливістю до конкретних лімітуючих факторів. Для кукурудзи, як культури з високими

вимогами до умов вирощування, спектр факторів середовища, що спричиняють ефект взаємодії G×E, є надзвичайно широким.

Ключовими факторами середовища є вологозабезпечення, температурний режим, едафічні та агротехнічні фактори.

Вологозабезпечення. Дефіцит вологи є одним із найпотужніших стресових чинників, що обмежують урожайність кукурудзи у більшості зон її вирощування, зокрема в Лісостепу та Степу України. Реакція гібридів на посуху є генотипо-специфічною. Посухостійкі генотипи мають низку морфофізіологічних адаптацій: потужну та глибоко проникаючу кореневу систему, здатність до ефективного осмотичного регулювання, зниження транспірації через закриття продихів та скручування листків. Критично важливим показником, що відображає стійкість до посухи, є інтервал між цвітінням волоті та приймочок (ASI). За стресових умов цей інтервал збільшується, що призводить до порушення запилення та, як наслідок, череззерниці качана. Селекція спрямована на створення гібридів з мінімальним ASI (1–3 дні) навіть за умов стресу. Іншою важливою ознакою є "стей-грін" (stay-green) – здатність рослини зберігати фотосинтетичну активність листкового апарату протягом тривалого періоду наливу зерна, що є особливо цінним в умовах поєднання високих температур і дефіциту вологи.

Температурний режим. Кукурудза є теплолюбною культурою, проте як низькі, так і надмірно високі температури негативно впливають на її ріст та розвиток. Весняні похолодання та приморозки можуть пошкоджувати сходи, сповільнювати початковий ріст та розвиток кореневої системи. Різні гібриди демонструють різний ступінь холодостійкості на ранніх етапах вегетації. Високі температури (>32–35 °C), особливо в період цвітіння, можуть спричинити стерильність пилку, висихання приймочок та, як наслідок, значне зниження врожайності. Стійкість до теплового стресу корелює зі здатністю генотипу підтримувати тургор клітин та стабільність клітинних мембран. Сума активних температур (ΣT_{10}), необхідна для досягнення повної стиглості,

є ключовою характеристикою гібрида, що визначається його групою стиглості (ФАО). Невідповідність ФАО гібрида тепловим ресурсам зони вирощування є класичним прикладом негативної взаємодії G×E [10, 20].

Едафічні (грунтові) фактори. Тип ґрунту, його гранулометричний склад, структура, вміст гумусу, елементів живлення та рівень рН створюють унікальні умови для кожного поля. Наприклад, на легких дерново-підзолистих ґрунтах Полісся гібриди часто страждають від дефіциту елементів живлення та мають гірші умови вологозабезпечення порівняно з чорноземами Лісостепу. Реакція на рівень кислотності ґрунту також може бути різною: деякі гібриди є більш толерантними до низького рН. Дослідження Чернобая Л.М. та ін. (2013) показали, що для кожного гібрида можна знайти свою «екологічну нішу», де він реалізує свій потенціал найкраще [22].

Агротехнічні фактори. Реакція гібридів на густоту посіву та рівень мінерального живлення є класичним проявом взаємодії G×E. Інтенсивні гібриди позитивно реагують на підвищення густоти стояння рослин та високі дози добрив, формуючи максимальний врожай. В умовах низького агрофону або в зріджених посівах їхній потенціал не розкривається. Екстенсивні (стабільні) гібриди, навпаки, краще переносять загущення та дефіцит поживних речовин, але слабше реагують на інтенсифікацію технології. Таран В. Г. та ін. (2018) у своїх дослідях довели, що стабільність та пластичність гібридів кукурудзи значною мірою залежать від системи удобрення та густоти стояння рослин [18].

Таким чином, вивчення взаємодії «генотип–середовище» дозволяє зрозуміти причини сортової мінливості врожаїв та є необхідною передумовою для об'єктивної оцінки генотипів. Ігнорування цього фактору може призвести до помилкових висновків про цінність гібрида та нераціонального його використання у виробництві. Саме для кількісної оцінки такої специфічної реакції генотипів і розроблені сучасні статистичні методи аналізу екологічної пластичності та стабільності.

1.3. Методи оцінки адаптивності та стабільності сортів і гібридів

Наявність суттєвої взаємодії «генотип–середовище» ($G \times E$) зумовила необхідність розробки спеціалізованих статистичних методів, здатних не лише констатувати факт диференційної реакції генотипів, але й кількісно охарактеризувати адаптивні властивості кожного з них. За десятиліття досліджень було запропоновано велику кількість підходів, які можна умовно поділити на дві великі групи: параметричні (уніваріантні) та багатовимірні (мультиваріантні) моделі.

Параметричні (уніваріантні) методи

Ця група методів базується на аналізі одного інтегрального показника (зазвичай урожайності) та розрахунку на його основі низки статистичних параметрів, що характеризують середній рівень продуктивності, пластичність та стабільність.

Дисперсійний аналіз (ANOVA) є першим і обов'язковим етапом будь-якого екологічного випробування. Він дозволяє розкласти загальну мінливість ознаки на компоненти, зумовлені впливом генотипу (G), середовища (E) та їхньою взаємодією ($G \times E$). Статистична значущість компоненти $G \times E$ є формальним підтвердженням того, що генотипи реагують на зміну умов неоднаково, і, отже, є підставою для застосування більш складних моделей оцінки адаптивності. Однак сам по собі дисперсійний аналіз не дає змоги охарактеризувати окремі генотипи.

Регресійні моделі є найбільш поширеною групою параметричних методів. Основоположниками цього підходу вважаються Finlay and Wilkinson (1963), які вперше запропонували аналізувати адаптивність шляхом побудови лінійної регресії врожайності кожного окремого сорту на середню врожайність усіх сортів у кожному середовищі. Середню врожайність по досліді вони розглядали як кількісну міру умов середовища («індекс

середовища»). Кутовий коефіцієнт цієї регресії став першим параметром, що кількісно описував реакцію генотипу на зміну умов [30].

Найбільшого поширення набула модель, запропонована S.A. Eberhart and W.A. Russell (1966) [29]. Вона вдосконалила попередній підхід, додавши другий важливий параметр для характеристики стабільності. Згідно з цим методом, адаптивність кожного генотипу описується трьома показниками:

Середня врожайність – загальний показник продуктивності генотипу в усіх умовах випробування.

Коефіцієнт лінійної регресії – параметр пластичності, що характеризує реакцію генотипу на зміну індексу середовища. Якщо, генотип вважається інтенсивним, чутливим до покращення умов; якщо – екстенсивним, або стабільним у несприятливих умовах; якщо – пластичним, тобто його реакція відповідає середній реакції всіх генотипів.

Дисперсія відхилень від лінії регресії – параметр стабільності, що оцінює передбачуваність реакції генотипу. Чим менше це значення (в ідеалі, прямує до нуля), тим точніше лінія регресії описує поведінку генотипу, і тим він стабільніший. Значні відхилення свідчать про те, що врожайність генотипу коливається під впливом специфічних, непередбачуваних факторів.

Поєднання цих трьох параметрів дає змогу всебічно охарактеризувати генотип. Наприклад, ідеальним для широкого використання вважається генотип з високою середньою врожайністю, коефіцієнтом регресії та мінімальним відхиленням. Цей метод і сьогодні залишається «золотим стандартом» у багатьох селекційних програмах завдяки простоті розрахунків та чіткій агрономічній інтерпретації результатів, що підтверджується роботами українських вчених (Присяжнюк Л.М. та ін., 2016; Спряжка Р.О., Жемойда В.Л., 2022) [16, 17].

Інші параметричні показники, такі як ековалентність по Wricke та стабільна дисперсія по Shukla, також базуються на аналізі внеску кожного

генотипу в загальну суму квадратів взаємодії $G \times E$. Генотип з найменшим значенням цих показників вважається найбільш стабільним [25, 38].

Багатовимірні (мультиваріантні) методи

Ці підходи дозволяють аналізувати складну структуру взаємодії $G \times E$ за допомогою методів зниження розмірності, візуалізуючи результати у вигляді графіків (біпловів).

Модель АММІ (Additive Main effects and Multiplicative Interaction) поєднує дисперсійний аналіз для головних ефектів (G та E) з аналізом головних компонент (РСА) для ефекту взаємодії ($G \times E$). Результатом є біплов, на якому одночасно зображені генотипи та середовища. Це дозволяє візуально ідентифікувати специфічну адаптацію генотипів до конкретних умов та виділяти групи середовищ зі схожими умовами [38].

Модель GGE-biplot (Genotype main effect plus Genotype-by-Environment interaction) є подальшим розвитком ідеї біпловів. Вона аналізує спільно ефекти G та $G \times E$, що є більш доцільним з точки зору селекціонера, оскільки дозволяє відповісти на ключове питання «який генотип де перемагає» (“which-won-where”). GGE-біплоти є потужним інструментом для ідентифікації так званих «мега-середовищ», оцінки генотипів за середньою врожайністю та стабільністю, а також для характеристики дискримінаційної здатності тестових середовищ [37].

Хоча багатовимірні методи надають більш детальну картину взаємодії, параметричні підходи, зокрема метод Еберхарта–Рассела, залишаються надзвичайно затребуваними завдяки своїй здатності надавати чіткі, кількісні параметри, які легко інтерпретувати та використовувати для розробки прямих рекомендацій для виробництва.

1.4. Досвід і результати досліджень з оцінки пластичності та стабільності гібридів кукурудзи в Україні та світі

Вивчення адаптивного потенціалу, екологічної пластичності та стабільності генотипів кукурудзи є одним із магістральних напрямів сучасної світової аграрної науки. Метою переважної більшості таких досліджень є ідентифікація та добір високопродуктивних, стабільних гібридів, адаптованих до конкретних ґрунтово-кліматичних зон, що дозволяє мінімізувати ризики та максимізувати ефективність виробництва. Результати, отримані вченими в Україні та за її межами, свідчать про складну природу взаємодії «генотип–середовище» та підкреслюють необхідність диференційованого підходу до вибору гібридного складу.

Дослідження в Україні:

Наукові установи України проводять систематичну роботу з оцінки нових та існуючих гібридів кукурудзи в різних агрокліматичних зонах. Ключовим висновком, що об'єднує більшість вітчизняних робіт, є підтвердження того факту, що не існує універсального гібрида, який був би найкращим в усіх без винятку умовах.

Дослідження, проведені в Інституті зернових культур НААН (м. Дніпро), традиційно зосереджені на умовах Степової зони, де головними лімітуючими факторами є дефіцит вологи та високі температури. Федько М.М. (2010), аналізуючи адаптивний потенціал простих гібридів, встановив, що найвищу стабільність в умовах зони демонструють середньоранні гібриди, які здатні ефективніше використовувати весняні запаси вологи та встигають сформувати врожай до настання найбільш жорстких посушливих умов. У роботах Харківського Інституту рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН акцент робиться на пошуку «екологічної ніші» для гібридів власної селекції. Так, Чернобай Л.М. та ін. (2013) на основі аналізу пластичності та стабільності 12 гібридів дійшли висновку, що генотипи інтенсивного типу з коефіцієнтом регресії доцільно вирощувати на високих агрофонах та за умов зрошення, тоді

як гібриди зі стабільною реакцією є більш надійними для богарних умов південного сходу [22].

Умови Лісостепу та Полісся також є об'єктом пильної уваги. Каленська С. М. та співробітники НУБіП України (2017, 2018) у своїх дослідженнях неодноразово підкреслювали, що адаптивність польових культур, зокрема кукурудзи, значною мірою залежить від агротехнічних факторів, таких як система удобрення та густина стояння рослин. Їхніми роботами доведено, що пластичність гібрида може бути модифікована агротехнікою: оптимальні норми добрив дозволяють повніше розкрити потенціал інтенсивних генотипів [7, 18]. Спряжка Р.О. та Жемойда В.Л. (2022) на базі НУБіП України, вивчаючи експериментальні гібриди, також акцентували увагу на необхідності надання чітких рекомендацій виробництву на основі параметрів стабільності. Контрастні умови Полісся та Степу були вивчені у роботі Присяжнюка Л. М. та ін. (2016). Дослідники встановили, що для бідних дерново-підзолистих ґрунтів Полісся перевагу мають стабільні генотипи, тоді як для родючих чорноземів Степу більш перспективними є пластичні, високоінтенсивні гібриди [16].

Світовий досвід та ключові напрями досліджень

На міжнародному рівні дослідження $G \times E$ взаємодії ведуться з використанням найсучасніших інструментів, включаючи багатовимірні статистичні моделі (AMMI, GGE-biplot) та геномне прогнозування.

У США та Канаді, в межах так званого «кукурудзяного поясу», де агрофони традиційно високі, основна увага селекціонерів зосереджена на максимізації потенціалу врожайності. Перевага надається гібридам з високою пластичністю, здатним ефективно конвертувати елементи живлення та сонячну радіацію у біомасу [28, 35]. Дослідження тут часто спрямовані на виявлення так званих мега-середовищ – великих зон, у межах яких ранжування гібридів залишається стабільним, що дозволяє оптимізувати сортове районування.

У Європі, з її строкатими кліматичними умовами, підходи більш диференційовані. У Західній Європі акцент робиться на стійкості до хвороб та ефективності використання азоту, тоді як у Південній та Східній Європі ключовим напрямом є селекція на посухостійкість.

Особливо показовим є досвід міжнародних наукових центрів, що працюють над вирішенням проблем продовольчої безпеки в країнах, що розвиваються [36]. Міжнародний центр покращення кукурудзи та пшениці (СІММУТ) та Міжнародний інститут тропічного сільського господарства (ІТА) реалізували масштабний проєкт DTMA (Drought Tolerant Maize for Africa). У рамках цього проєкту були створені та впроваджені сотні гібридів, що поєднували високу стабільність в умовах посухи зі стійкістю до місцевих хвороб. Головним критерієм добору в таких програмах є не максимальна, а стабільна врожайність за низького агрофону та в умовах непередбачуваних опадів.

Сучасні дослідження все частіше пов'язують параметри стабільності з конкретними морфо-фізіологічними ознаками. Wajhat-Un-Nisa та ін. (2023) довели, що пластичність анатомічної будови кореня (зокрема, діаметр судин ксилеми) прямо корелює з рівнем посухостійкості гібридів. Дослідження з усього світу підтверджують, що короткий інтервал між цвітінням волоті та приймочок (ASI) та виражена ознака "стей-грін" (stay-green) є надійними маркерами високої стабільності гібрида в умовах теплового та водного стресів. Так, у Туреччині та Індії, де кукурудзу часто вирощують за умов зрошення або в мусонному кліматі, саме ці ознаки є ключовими при доборі батьківських компонентів для гібридизації. Нещодавні дослідження Qudrat-Ullah та ін. (2024), присвячені кукурудзі з підвищеним вмістом білка (QPM), також показали, що за допомогою багаторічних випробувань та аналізу стабільності вдалося виділити генотипи, придатні для широкого впровадження в різних агроекологічних умовах Азії [32].

Отже, світовий та вітчизняний досвід свідчить, що оцінка екологічної пластичності та стабільності є невід'ємним етапом сучасного селекційного процесу. Накопичений масив даних підтверджує, що успіх вирощування кукурудзи напряму залежить від відповідності адаптивного потенціалу гібрида умовам конкретної зони вирощування.

РОЗДІЛ 2. МІСЦЕ, МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Коротка характеристика локацій проведення досліджень

Локація 1 – ТОВ «Заньківське». Підприємство засновано 2011 р. на базі колишнього колгоспу «Дружба». За останні десять років господарство перейшло на інтенсивні технології, оновило машинно-тракторний парк і щорічно випробовує нові гібриди кукурудзи з метою підвищення врожайності та стабільності виробництва.

ТОВ «Заньківське» (Полісся). Господарство розташоване у Ніжинському районі Чернігівської області, поблизу с. Заньки (51°01' пн. ш., 31°56' сх. д.). Під обробітком перебуває \approx 1,5 тис. га ріллі, з яких зернові та технічні культури займають понад 80 % структури посівів. Спеціалізація – виробництво кукурудзи, соняшнику, сої та озимої пшениці. Транспортна доступність забезпечується автошляхом Н-07 Київ–Суми та залізничною гілкою Ніжин–Чернігів, що спрощує логістику зерна.

Локація 2 – ВП НУБіП України «Агрономічна дослідна станція» (Правобережний Лісостеп). Дослідна станція міститься у Васильківському районі Київської області, с. Глеваха (50°18' пн. ш., 30°18' сх. д.). Земельний фонд \approx 600 га, з них 420 га використовуються під польові досліді. Основна діяльність – селекційно-технологічні дослідження кукурудзи, зернових та кормових культур. Безпосередня близькість до столиці спрощує трансфер результатів до виробництва.

Агрономічна дослідна станція НУБіП. Історія установи сягає 1920-х років, коли на базі Уманського с.-г. інституту було створено мережу польових дослідних господарств. Станція у Глевасі набула сучасного статусу у 1956 р.; нині входить до кафедри рослинництва НУБіП, виконуючи державні програми з випробування сортів та гібридів польових культур.

У весняно-літній період 2025 р. відзначалися прохолодні травень – червень та нерівномірний розподіл опадів: надлишок вологості на Поліссі й помірна посуха у Лісостепу. Такий контраст створив різні стартові умови для

сходів і початкового росту кукурудзи, що є критично важливим для оцінки генотип × середовище (табл. 1.).

Таблиця 1

Основні кліматичні показники локацій проведення досліджень, 2025 р.

Показник	Полісся (Чернігівська обл.)	Лісостеп (Київська обл.)
Сума активних температур $\Sigma T_{10}, ^\circ\text{C}$	≈ 2600	≈ 2800
Опади за вегетацію, мм	≈ 320	≈ 290
Середня t° червня, $^\circ\text{C}$	17-18 (-0,6...-1,3 від норми)	19,1 (-0,4 від норми)
Опади червня, мм	80-110 (150-200 % норми)	57 (≈ 77 % норми)

Сумарно дві локації охоплюють контрастний еколого-кліматичний градієнт «Полісся ↔ Лісостеп», що дає змогу повноцінно оцінити екологічну пластичність гібридів.

2.2. Кліматичні та ґрунтові умови проведення досліджень

Агрометеорологічні умови вегетаційного періоду є ключовим фактором, що визначає темпи росту, розвитку та, зрештою, рівень продуктивності кукурудзи. У 2025 році погодні умови в двох контрастних зонах дослідження – Поліссі (Чернігівська область) та Правобережному Лісостепу (Київська область) – мали суттєві відмінності як між собою, так і відносно середніх багаторічних показників, що дозволило створити два унікальні середовища для оцінки адаптивності гібридів.

Характеристика умов у Київській області

Веgetаційний період 2025 року в умовах Агрономічної дослідної станції (Київська обл.) характеризувався нерівномірним розподілом опадів та температурним режимом, близьким до кліматичної норми.

Весняний період був відносно прохолодним. Середньомісячна температура у травні становила $13,6^\circ\text{C}$, що дещо нижче за багаторічну норму ($\approx 15^\circ\text{C}$), що могло дещо затримати отримання дружних сходів та початковий

ріст рослин. Кількість опадів у цей період (64,8 мм) була близькою до норми (≈ 60 мм), що забезпечило достатні запаси вологи в посівному шарі ґрунту для успішного проростання насіння.

Червень видався теплішим, з середньою температурою $19\text{ }^{\circ}\text{C}$, що відповідає кліматичній нормі. Проте кількість опадів була значно нижчою за середні показники – $54,7$ мм проти норми ≈ 75 мм. Цей дефіцит вологи припав на фазу інтенсивного росту вегетативної маси (V6–V12), що могло створити певний стрес для рослин, особливо на легких за гранулометричним складом ґрунтах.

Ключовим місяцем став липень, який виявився аномально вологим. Випало $111,1$ мм опадів, що становить майже дві місячні норми (норма ≈ 68 мм). Це збіглося з найкритичнішим періодом водоспоживання кукурудзи – фазами викидання волоті, цвітіння та формування зерна (VT–R2). Така кількість вологи повністю компенсувала попередній дефіцит і створила надзвичайно сприятливі умови для запилення та зав'язування качанів. Температурний режим ($22,6\text{ }^{\circ}\text{C}$) був дещо вищим за норму ($\approx 20,5\text{ }^{\circ}\text{C}$), що в поєднанні з достатньою вологістю сприяло активним ростовим процесам.

Серпень та вересень були значно сухішими: $26,6$ мм та $22,8$ мм опадів відповідно, що значно нижче за норму ($\approx 55\text{--}58$ мм). Такий погодний патерн був сприятливим для фази наливу та дозрівання зерна, оскільки уникнення надмірних опадів у цей період знижує ризик розвитку грибкових хвороб (зокрема, фузаріозу качанів) та сприяє природній віддачі вологи зерном перед збиранням.

Загалом за вегетаційний період (травень–вересень) у Київській області випало $324,1$ мм опадів. Сума активних температур (ΣT_{10}) за цей період склала орієнтовно $1450\text{--}1500\text{ }^{\circ}\text{C}$. Умови в цій зоні можна охарактеризувати як помірно-стресові на початку вегетації з переходом у оптимальні та надмірно вологі в критичний період цвітіння, та посушливі на етапі дозрівання.

Характеристика умов у Чернігівській області

Погодні умови в зоні Полісся (ТОВ «Заньківське») суттєво відрізнялися від Лісостепової зони і характеризувалися надмірним зволоженням у першій половині вегетації та нижчим теплозабезпеченням.

Травень та червень були надзвичайно вологими. Кількість опадів за ці два місяці склала 106,1 мм та 104,9 мм відповідно, що сумарно (211 мм) майже вдвічі перевищувало кліматичну норму для цього періоду ($\approx 120\text{--}130$ мм). Такий надлишок вологи, поєднаний з помірними температурами ($13,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ у травні та $17,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ у червні), міг призводити до тимчасового перезволоження ґрунту, погіршення аерації та уповільнення росту кореневої системи на початкових етапах.

На відміну від Київської області, липень у Чернігівській був значно сухішим – випало 74,1 мм опадів, що є близьким до норми. Температура повітря ($20,39\text{ }^{\circ}\text{C}$) була комфортною для цвітіння та запилення, проте запаси вологи, накопичені в попередні місяці, нівелювали будь-який ризик посухи.

Серпень та вересень також були відносно сухими (51 мм та 45,4 мм опадів), що, як і в попередній зоні, сприяло якісному дозріванню врожаю та зниженню збиральної вологості зерна.

Загалом за вегетаційний період у Чернігівській області випало 447,1 мм опадів, що на 123 мм більше, ніж у Київській. При цьому сума активних температур (ΣT_{10}) була суттєво нижчою і склала орієнтовно $1250\text{--}1300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Умови в цій зоні можна охарактеризувати як надмірно вологі та прохолодні на початкових етапах вегетації з переходом до оптимальних у період цвітіння та помірно-сухих на етапі дозрівання.

Порівняльна оцінка умов вирощування

Аналіз метеорологічних даних 2025 року дозволяє констатувати формування двох чітко розмежованих за характером стресових факторів середовищ. Київська область (Лісостеп) виступила як більш теплозабезпечена, але з ризиком посухи на початку літа, що було повністю нівельовано

аномальними липневими зливами. Чернігівська область (Полісся), навпаки, була холоднішою та надмірно вологою на старті сезону, що могло обмежувати початковий ріст рослин. Такі контрастні умови є ідеальною моделлю для вивчення взаємодії «генотип–середовище» та є передумовою для отримання об'єктивних даних щодо пластичності та стабільності досліджуваних гібридів (табл. 2).

Таблиця 2

Кліматична характеристика місць проведення досліджень, 2025 р.

Місяць	ВП НУБіП «АДС»		ТОВ «Заньківське»	
	t °C	Опади, мм	t °C	Опади, мм
Квітень	11,2	44,1	11,1	98,6
Травень	13,6	64,8	13,6	106,09
Червень	19	54,7	17,1	104,9
Липень	22,6	111,1	20,39	74,1
Серпень	20,2	26,6	17,8	51
Вересень	16,7	22,8	15,04	45,4
Сума опадів, мм		324,1		447,1

Основною ґрунтовою відміною у господарстві ТОВ «Заньківське» є чорнозем слабосолонцюватий. Характеризується чіткими, добре сформованим глибоким гумусовим горизонтом (45-60 см).

Гумусовий горизонт, темно-сірий, структура грудкувато-зерниста, у нижній частині є карбонати, За профілем гранулометричний склад змінюється так: кількість мулуатих частинок збільшується, а фізичного піску зменшується. Ґрунти добре провітрюються прогріваються сонцем і тому завжди швидко досягають, порівняно довгий час перебувають у сприятливому для обробітку стані.

За гранулометричним складом орний шар чорнозему типового малогумусного придатний для вирощування більшості культур. Гарна структурність чорноземів визначає їх високу пористість в гумусових горизонтах, яка зменшується з глибиною.

Некапілярна пористість може становити 1/3 загальної пористості, що забезпечує хороший повітряний і водний режим ґрунту. Чорноземи типові багаті на легкодоступні форми фосфору.

Карбонатні відміни чорноземів глибоких вимагають внесення лише фізіологічно кислих та біологічно кислих форм добрив (суперфосфат, сірчаноокислий амоній), чорноземи вилугувані вимагають внесення нейтральних форм добрив(азотнокислий, сірчаноокислий, хлористий калій, калійні солі) та проведення вапнування (табл. 3).

Таблиця 3

Хіміко-мінералогічний склад чорнозему слабосолонцюватого

Гумусу %	Азоту мг/кг	Сірки мг/кг	Фосфору мг/кг	Калію мг/кг	Бору мг/кг	Марганцю мг/кг	Кобальту мг/кг	Міді мг/кг	Цинку мг/кг	Кадмію мг/кг	Свинцю мг/кг
2,75	154,0	7,3	48,0	130,0	1,94	34,67	0,38	0,27	0,71	0,24	1,55

Основна ґрунтова різновидність дослідних полів в ВП НУБіП України «Агрономічна дослідна станція» – чорнозем типовий карбонатний малогумусний крупнопилувато-середньосуглинковий на лесовидному суглинку із вмістом гумусу у орному шарі – 4,38-4,53 %, азоту, що легко гідролізується – 10,6–11,4 мг/100 г ґрунту, обмінного калію – 8,9–10,6мг/100 г ґрунту, рухомого фосфору – 6,2–6,5мг/100 г, ємність поглинання – 31,9–32,0 мг. екв. /100 г ґрунту (табл. 4). Глибина залягання ґрунтових вод становить 2-2,5 м. Водний режим даних ґрунтів формується за рахунок атмосферних опадів та ґрунтового зволоження (Булигін, С. Ю., Вітвіцький, С. В., Буліний,

О. В., & Тонха, О. Л. (2019). *Моніторинг якості ґрунтів*. Київ: НУБіП України).

Таблиця 4

Агрохімічна характеристика чорнозему типового, ВП НУБіП України
«Агрономічна дослідна станція»

Глибина шару, см	Вміст гумусу, %	pH сольової витяжки	Кількість карбонатів, %	Ємкість поглинання, мг-екв. на 100 г ґрунту
0–10	4,53	6,87	–	31,9
35–45	4,38	7,30	1,66	32,0
70–80	1,36	7,30	9,20	19,1
130–140	0,86	7,30	10,50	15,0
210–230	–	7,30	9,70	–

2.3. Матеріали досліджень

Об'єктами дослідження слугували п'ять простих модифікованих гібридів кукурудзи, створених французькою селекційно-насінницькою компанією RAGT Seeds. Вибраний набір генотипів охоплює широкий діапазон груп стиглості за класифікацією ФАО та призначений для вирощування за інтенсивними технологіями переважно на зерно.

РЖТ АЛОЕККС (RGT ALOEKKS) – ФАО 210. Ранньостиглий гібрид, що належить до лінійки STRESSLESS Н₂О, яка позиціонується як посухостійка. Призначений для вирощування в усіх зонах України. Тип зерна – кременисто-зубовидний. Рослини типу «стей-грін», середньорослі, з потужною кореневою системою. Гібрид характеризується високою стійкістю до вилягання та толерантністю до основних хвороб, зокрема фузаріозу качана та стебла. Однією з ключових господарських особливостей є дуже швидка вологовіддача зерна в період дозрівання, що дозволяє проводити збирання в ранні терміни з мінімальними витратами на досушування. Рекомендована густина на період збирання становить 70–80 тис. рослин/га.

РЖТ АККСТРІД (RGT AKKSTRID) – ФАО 260. Середньоранній гібрид інтенсивного типу, призначений для вирощування на зерно. Тип зерна – зубовидний. Рослини високі, з потужним стеблом та добре розвиненою кореневою системою, що забезпечує високу стійкість до вилягання. Качан має 16–18 рядів зерен. Гібрид відзначається високим потенціалом урожайності, особливо на родючих ґрунтах та за умов достатнього зволоження. Демонструє добру толерантність до гельмінтоспоріозу та пухирчастої сажки. Пластичний до строків сівби та умов вирощування. Рекомендована густина в зоні достатнього зволоження – 75–85 тис. рослин/га.

РЖТ МОТОРІККС (RGT MOTORIKKS) – ФАО 290. Середньоранній гібрид, що поєднує високу врожайність та стабільність. Тип зерна – зубовидний. Рослини високі, з гарною облистяністю та потужним стеблом. Гібрид має добре виражений «стей-грін» ефект, що подовжує період фотосинтетичної активності та сприяє кращому наливу зерна. Характеризується високою посухостійкістю та швидкою віддачою вологи наприкінці вегетації. Толерантний до більшості поширених хвороб кукурудзи. Добре реагує на інтенсивну технологію вирощування. Рекомендована густина – 70–80 тис. рослин/га.

РЖТ ЗАНЕТІККС (RGT ZANETIKKS) – ФАО 340. Середньостиглий гібрид, призначений для вирощування на зерно та силос. Тип зерна – зубовидний. Рослини високі, з міцним стеблом та добре розвиненим листовим апаратом. Качан циліндричної форми, має 16–18 рядів зерен. Гібрид характеризується високою стабільністю та пластичністю, що дозволяє отримувати стабільно високі врожаї в різних умовах. Має високу толерантність до посухи та стійкість до вилягання. Демонструє гарну стійкість до фузаріозу. Рекомендований для зон Лісостепу та Степу з густиною 65–75 тис. рослин/га.

РЖТ ГЮККСО (RGT GYUKKSO) – ФАО 430. Середньопізній гібрид, орієнтований на отримання максимального врожаю зерна в південних та

центральної України. Тип зерна – зубовидний. Рослини дуже високі, з потужним стеблом та великою площею листкової поверхні. Гібрид має високий потенціал урожайності, який найкраще реалізується за умов достатнього вологозабезпечення та високого агрофону. Відзначається доброю стійкістю до основних хвороб та високою посухостійкістю. Рекомендована густина для зони Лісостепу становить 60–70 тис. рослин/га.

2.4. Схема польового дослідження, агротехніка вирощування та програма спостережень

Польовий дослід закладався у 2025 році з дотриманням уніфікованої агротехнології для обох локацій (ВП НУБіП України «Агрономічна дослідна станція» та ТОВ «Заньківське»), щоб забезпечити коректне порівняння реакції гібридів саме на ґрунтово-кліматичні умови, виключивши вплив технологічного фактору.

Схема дослідження та розміщення ділянок. Дослід є двофакторним, де фактор А – гібрид (5 градацій), фактор В – умови вирощування (2 градації). Схема закладання – рандомізовані повні блоки (RCBD) у чотириразовій повторності. Розміщення варіантів у межах кожного блоку було повністю випадковим. Посівна площа ділянки становила 12 м², облікова – 9,8 м² (два центральні рядки довжиною 7 м з шириною міжряддя 70 см). Між блоками залишали технологічні доріжки шириною 1 м для проведення спостережень та обліків (рис. 3).



Рисунок 3. Схема розміщення дослідних ділянок

Попередник та обробіток ґрунту. Попередником на обох дослідних ділянках була цілина, що не перебувала під культурними посівами протягом щонайменше п'яти років. Такий вибір дозволив мінімізувати інфекційний фон ґрунтових патогенів, уникнути алелопатичного впливу попередніх культур та працювати на чистому агрофоні без залишкового впливу добрив. Основний обробіток ґрунту було проведено 10 травня шляхом оранки плугом з оборотом пласта на глибину 25–27 см. Передпосівний обробіток, виконаний наступного дня після оранки, включав дві культивації агрегатом КПС-4 на глибину 12 та 11 см у два сліди, що забезпечило створення дрібно-грудкуватої структури та вирівняного насінневого ложа.

Система удобрення та підготовка насіння. З метою вивчення реакції генотипів на природний рівень родючості ґрунтів та виключення з аналізу варіації «ґрунт × добриво», внесення будь-яких мінеральних чи органічних добрив у досліді не проводилося. Для сівби використовували насіння, надане компанією-оригіноматом RAGT, яке пройшло заводську підготовку. Насіння було протруєне комбінованим препаратом системної дії, що містив фунгіцидні (флудиоксоніл, металаксил-М) та інсектицидні (тіаметоксам) діючі речовини, для забезпечення захисту від насінневої та ґрунтової інфекції, а також від ґрунтових шкідників на початкових етапах росту.

Сівба та догляд за посівами. Сівбу проводили в оптимальні для зон строки – 12 травня 2025 року, за допомогою спеціалізованої ручної однорядної дослідної сівалки, що забезпечило високу точність висіву. Норма висіву для всіх гібридів була уніфікованою і становила 70 тисяч схожих насінин на гектар, з шириною міжрядь 70 см. Глибина загортання насіння складала 5–6 см. Одразу після сівби було проведено прикочування посівів кільчасто-шпоровими котками для створення кращого контакту насіння з ґрунтом та підтягування вологи.

Система захисту рослин. Для контролю сегетальної рослинності застосовували гербіциди. Одразу після сівби, для створення захисного

грунтового «екрану», було внесено препарат на основі прометрину (400 г/л) з нормою 3,0 л/га. У фазі 3–4 листків у кукурудзи (V3–V4), 13 червня, для контролю пізніших хвиль злакових та дводольних бур'янів посіви було оброблено страховим гербіцидом Master Power® (нікосульфурон + мезотріон + атразин) з нормою 1,5 л/га. Протягом вегетації фітосанітарний стан посівів був задовільним, спалахів хвороб чи масового поширення шкідників не спостерігалось, тому застосування фунгіцидів та інсектицидів не проводилося. Інші заходи догляду, такі як міжрядний обробіток, підживлення чи зрошення, в досліді не застосовувалися.

Для всебічної та об'єктивної оцінки реакції гібридів кукурудзи на умови вирощування та для досягнення поставлених у роботі завдань була розроблена і реалізована комплексна програма польових спостережень, біометричних вимірювань та обліків. Усі спостереження та обліки проводили на обох дослідних ділянках за уніфікованими методиками, що забезпечило порівнянність отриманих даних.

Фенологічні спостереження. Протягом усього вегетаційного періоду, з моменту появи сходів і до повної стиглості, з періодичністю раз на 7–10 днів, проводили візуальні спостереження за проходженням рослинами основних фенологічних фаз. Фіксацію дат настання фаз розвитку (сходів, 3-го листка, 5-го листка, викидання волоті, цвітіння качана, молочної, воскової та повної стиглості зерна) здійснювали згідно з міжнародною уніфікованою шкалою ВВСН. Це дозволило порівняти тривалість міжфазних періодів у різних гібридів, встановити відповідність їхнього розвитку групі стиглості (ФАО) та оцінити вплив погодних умов року на темпи онтогенезу.

Біометричні вимірювання та оцінка стану рослин. Для характеристики динаміки росту та накопичення вегетативної маси проводили біометричні вимірювання на ключових етапах органогенезу (фази V3, V5, VT). На кожній обліковій ділянці у чотирьох повтореннях відбирали по 10 типових, не пошкоджених рослин, на яких визначали наступні показники:

- Висота рослин: вимірювали за допомогою вимірювальної стрічки відстань від поверхні ґрунту до точки кріплення верхнього повністю розвиненого листка.

- Кількість листків: проводили підрахунок загальної кількості повністю сформованих листків на головному стеблі.

Протягом періодів з дефіцитом опадів проводили візуальну оцінку посухостійкості гібридів за ступенем скручування листкових пластинок за трибальною шкалою (1 – скручування відсутнє, 2 – помірне, 3 – сильне).

Облік урожаю та аналіз його структури. Основним критерієм оцінки продуктивності гібридів була урожайність зерна. Облік урожаю проводили методом прямого комбайнування та вручну після досягнення зерном повної стиглості. З кожної облікової ділянки збирали качани з двох центральних рядків (площа 9,8 м²), уникаючи крайових рослин для нівелювання ефекту межі [4, 24, 26, 34].

Зібрані качани з кожної ділянки обмолочували, отримане зерно зважували з точністю до 10 г. Одночасно з кожної проби відбирали зразок зерна масою близько 200–300 г для визначення його вологості за допомогою портативного вологоміра. Фактичну врожайність з кожної ділянки перераховували на 100 % чистоту та стандартну 14 % вологість за загальноприйнятою формулою.

Для більш глибокого аналізу причин, що зумовили той чи інший рівень продуктивності, перед збиранням проводили аналіз елементів структури врожаю. На 10 облікових рослинах визначали кількість качанів на рослині, а на відібраних з них типових качанах підраховували кількість рядів зерен та кількість зерен у ряду. Після обмолоту визначали масу 1000 зерен. Ці показники дозволили встановити, за рахунок яких компонентів той чи інший гібрид формував свій урожай у конкретних умовах (табл. 5).

Таблиця 5

Загальна програма обліків

Етап / фаза	Показник	Метод / інструмент	Обсяг вибірки
Протягом вегетації	Фенологічні фази	Візуально, за шкалою ВВСН	Вся ділянка
V3, V5, VT	Висота рослин, см	Вимірвальна стрічка	10 рослин/ділянка
V3, V5, VT	Кількість листків, шт.	Візуальний підрахунок	10 рослин/ділянка
Періоди посухи	Ступінь скручування листків	Візуальна оцінка за 3-бальною шкалою	Вся ділянка
Повна стиглість	Урожайність зерна	Зважування з облікової ділянки (9,8 м ²)	1 проба/ділянка
Повна стиглість	Вологість зерна, %	Портативний вологомір	1 зразок/ділянка
Повна стиглість	Елементи структури врожаю	Ручний підрахунок	10 качанів/ділянка

Розрахункові показники

- ΣT_{10} (GDD) – сума ($T_{cp} - 10$ °C) за дні, коли $T_{cp} \geq 10$ °C.
- Індекс середовища $I_j = \bar{Y}_j - \bar{Y}$, де \bar{Y}_j – середня врожайність усіх гібридів у даній локації.
- ANOVA RCBD — дисперсійний аналіз у Microsoft Excel (Analysis ToolPak), $\alpha = 0,05$; критерій відмінності середніх — $LSD_{0,05}$.

Відбір проб:

- Біометрія: 10 центральних рослин («конверт») – початок із середини рядка, далі 5 праворуч і 4 ліворуч.
- Урожайність: зріз 4 м двох центральних рядків; крайні 1,5 м відсікають «на вплив краю».
- Вологість зерна: портативний вологомір, 3 точки виміру у змішаній пробі.

Обмеження та припущення:

Добрива і зрошення не застосовували, тому результати характеризують генотип × середовище без впливу агрохімічного фактору.

Норма висіву. Для всіх гібридів встановлено **70 тис. життєздатних насінин на 1 га**, що відповідає рекомендаціям для середньоранніх dent-типів у зоні Полісся й Лісостепу.

Обробка насіння. Насіння фабрично протруєне комбінованим системним фунгіцидом (флудиоксоніл + металаксил-М) та інсектицидом (тіаметоксам), що забезпечує базовий захист від ґрунтової й насінневої інфекції.

2.5. Методи опрацювання результатів

Обробку та аналіз отриманих експериментальних даних проводили з використанням сучасних методів варіаційної статистики та математичного моделювання для забезпечення об'єктивності та достовірності висновків. Усі розрахунки здійснювали за допомогою пакета аналізу даних Microsoft Excel 365.

Первинна обробка експериментальних даних. Первинні дані, отримані в ході польових обліків (урожайність з ділянки, вологість зерна) та лабораторних вимірювань (біометричні показники), вносили в електронні таблиці. Урожайність зерна з кожної облікової ділянки, виражену в кг/ділянка, перераховували в стандартну одиницю виміру — центнер з гектара (ц/га) за стандартної 14% вологості за формулою:

$$Y = (m * (100 - W) * 100) / (S * (100 - 14))$$

де:

- Y – урожайність зерна, ц/га;
- m – маса зерна з облікової ділянки, кг;
- W – фактична вологість зерна на момент збирання, %;
- S – площа облікової ділянки, м²;
- 14 – стандартна вологість зерна, %.

Дисперсійний аналіз (ANOVA). Для встановлення статистичної значущості впливу досліджуваних факторів (генотип, умови вирощування) та їхньої взаємодії на формування врожайності зерна кукурудзи було проведено двофакторний дисперсійний аналіз. Оскільки дослід закладався за схемою рандомізованих повних блоків, застосовували відповідну модель ANOVA. Аналіз дозволив перевірити нульові гіпотези про відсутність впливу фактору А (генотип), фактору В (середовище) та їхньої взаємодії (АВ). Оцінку достовірності впливу проводили за F-критерієм Фішера шляхом порівняння фактичного значення критерію ($F_{\text{факт}}$) з табличним ($F_{\text{теор}}$) при рівні значущості $\alpha = 0,05$. Встановлення статистично значущої взаємодії «генотип–середовище» було обов'язковою передумовою для подальшого аналізу параметрів адаптивності.

Оцінка достовірності різниць між середніми. Для порівняння середніх значень урожайності між різними гібридами та визначення достовірності отриманих різниць використовували критерій найменшої істотної різниці ($\text{HIP}_{0,05}$), або LSD-тест (Least Significant Difference). Розрахунок $\text{HIP}_{0,05}$ проводили на основі даних дисперсійного аналізу.

Аналіз екологічної пластичності та стабільності. Для кількісної оцінки адаптивних властивостей гібридів було використано один із найбільш поширених параметричних методів, запропонований С.А. Еберхартом та В.А. Расселом (S.A. Eberhart, W.A. Russell, 1966). Цей метод базується на аналізі лінійної регресії врожайності кожного генотипу на індекси умов середовища. Аналіз включав наступні етапи:

1. Розрахунок індексу умов середовища (I_j) для кожної з двох локацій за формулою:

$$I_j = Y_{(j)} - Y_{(.)}$$

де $Y_{(j)}$ – середня врожайність усіх гібридів у j -му середовищі, а $Y_{(.)}$ – загальна середня врожайність по досліді. Індекс показує, наскільки умови

конкретного середовища були сприятливими ($I_j > 0$) чи несприятливими ($I_j < 0$) порівняно із середніми по всьому досліді.

2. Розрахунок параметрів адаптивності для кожного гібрида:

○ Коефіцієнт лінійної регресії (bi), що слугує мірою екологічної пластичності, розраховували за формулою:

$$bi = \sum(Y_{ij} * I_j) / \sum(I_j^2)$$

де Y_{ij} – середня врожайність і-го гібрида в j-му середовищі.

Дисперсія відхилень від лінії регресії ($S^2 di$), що є показником стабільності врожайності, розраховували як середній квадрат відхилень фактичної врожайності від теоретичної (розрахованої за рівнянням регресії).

На основі розрахованих параметрів (середня врожайність, bi , $S^2 di$) проводили класифікацію гібридів за типом адаптивної реакції, що стало основою для розробки практичних рекомендацій [29].

РОЗДІЛ 3. ЕКОЛОГІЧНА ПЛАСТИЧНІСТЬ ГІБРИДІВ КУКУРУДЗИ

3.1. Урожайність та індивідуальна продуктивність гібридів кукурудзи в умовах Київської та Чернігівської областей

Урожайність є ключовим інтегральним показником, який відображає реакцію генотипу на комплекс умов вирощування. Отримані експериментальні дані щодо продуктивності досліджуваних гібридів у 2025 році наведено в таблиці. Усі показники урожайності представлено в тоннах з гектара (т/га) при 14 % стандартній вологості (табл. 6).

Таблиця 6

Урожайність гібридів кукурудзи, 2025 р.

ТОВ «Заньківське»						
Гібрид	Гюксо	Занетікс	Моторікс	Акстрід	Алоекс	
ФАО	430	340	290	260	210	
Вологість зерна, %	14	14	14	14	14	
Врожайність, т (75 тис нас/га)	1	12,36	10,28	12,87	9,89	11,88
	2	7,28	8,45	8,14	9,41	13,16
	3	9,82	9,36	10,50	9,65	12,52
середнє	9,82	9,36	10,50	9,65	12,52	
стандартне відхилення	2,54	0,91	2,36	0,24	0,64	
ВП НУБіП «АДС»						
Гібрид	Гюксо	Занетікс	Моторікс	Акстрід	Алоекс	
ФАО	430	340	290	260	210	
Вологість зерна, %	14	14	14	14	14	
Врожайність, т (75 тис нас/га)	1	15,07	14,32	8,22	7,53	7,37
	2	15,23	14,54	8,76	7,29	7,24
	3	15,64	15,50	8,30	7,64	6,87
середнє	15,31	14,78	8,43	7,49	7,16	
стандартне відхилення	0,30	0,63	0,29	0,18	0,26	

Умови вирощування суттєво вплинули на загальний рівень продуктивності. Усереднена врожайність по всім п'яти гібридам у межах однієї локації (індекс умов середовища) виявилася дуже близькою, проте

умови Київської області (Лісостеп) були дещо сприятливішими (10,63 т/га), ніж умови Чернігівської (Полісся) (10,37 т/га). Це, ймовірно, пов'язано з вищим теплозабезпеченням Лісостепу та оптимальним розподілом опадів у липні, що дозволило повніше реалізувати потенціал культури.

В умовах Київської області чітко прослідковується залежність урожайності від групи стиглості. Абсолютними лідерами стали пізньостиглі гібриди: Гюкксо (ФАО 430) з показником 15,31 т/га та Занетіккс (ФАО 340) з урожайністю 14,78 т/га. Натомість гібриди з меншим ФАО продемонстрували в цих умовах значно нижчу продуктивність, яка була майже вдвічі меншою: Моторіккс (8,43 т/га), Аккстрід (7,49 т/га) та Алоеккс (7,16 т/га). Це свідчить про те, що більш тривалий вегетаційний період та вищі теплові ресурси Лісостепу дозволили гібридам з високим ФАО повністю реалізувати свій генетичний потенціал.

В умовах Чернігівської області спостерігалася кардинально протилежна картина. Лідером за продуктивністю став ранньостиглий гібрид Алоеккс (ФАО 210), який забезпечив найвищу врожайність на рівні 12,52 т/га. Гібрид Моторіккс (ФАО 290) також показав високий результат (10,50 т/га). Натомість гібриди, що були лідерами в Київській області, — Гюкксо та Занетіккс — в умовах Полісся опинилися в групі з найнижчою продуктивністю (9,82 т/га та 9,36 т/га відповідно) (табл. 7).

Таблиця 7

Індекс умов середовища при вирощуванні гібридів кукурудзи, 2025

Гібрид (Фактор А)	ФАО	Київська обл. (Лісостеп) (Фактор В ₁)	Чернігівська обл. (Полісся) (Фактор В ₂)	Середнє по гібриду
Гюкксо	430	15,31	9,82	12,57
Занетіккс	340	14,78	9,36	12,07
Моторіккс	290	8,43	10,5	9,47
Аккстрід	260	7,49	9,65	8,57
Алоеккс	210	7,16	12,52	9,84
Середнє по середовищу (\bar{Y}_j)		10,63	10,37	10,50 ($\bar{Y}_{..}$)

Зміна рангів є класичним прикладом сильної взаємодії «генотип–середовище» (G×E). Гібрид Гюкксо (ФАО 430) знизив урожайність на 5,49 т/га при переміщенні з Київської до Чернігівської області, тоді як гібрид Алоеккс (ФАО 210) за цих же умов, навпаки, продемонстрував приріст у 5,36 т/га. Це наочно демонструє, що вибір гібрида на основі лише загальної середньої врожайності (колонка "Середнє по гібриду") є хибним. Дані доводять, що для об'єктивної оцінки необхідний глибокий статистичний аналіз, який би підтвердив достовірність цієї взаємодії та дозволив кількісно оцінити параметри адаптивності кожного гібрида.

Аналіз елементів індивідуальної продуктивності гібридів кукурудзи

Урожайність зерна є похідною величиною від трьох основних компонентів: густоти рослин (яка в нашому досліді була уніфікованою), кількості зерен на качан та маси одного зерна. Для глибокого розуміння причин, що зумовили таку різку зміну врожайності та сильну взаємодію G×E, було проведено аналіз ключових елементів структури врожаю (табл. 8).

Таблиця 8

Елементи індивідуальної продуктивності гібридів кукурудзи залежно від умов вирощування, 2025 р.)

Гібрид (ФАО)	Локація	Кількість рядів у качані, шт.	Кількість зерен у ряду, шт.	Маса 1000 зерен, г
Гюкксо (430)	Київська обл.	16	41,33	462,66
	Чернігівська обл.	14,33	41	322,17
Занетіккс (340)	Київська обл.	16,67	38	424,12
	Чернігівська обл.	15	37	289,63
Моторіккс (290)	Київська обл.	18,67	34	431,92
	Чернігівська обл.	11,33	39,67	386,62
Аккстрід (260)	Київська обл.	17,33	40,67	367,17
	Чернігівська обл.	13,33	39,33	303,13
Алоеккс (210)	Київська обл.	16	37,67	455,6
	Чернігівська обл.	16	35,67	343,81

Аналіз даних дозволяє чітко ідентифікувати фактори, що стали вирішальними для формування врожайності в кожній із зон.

Основний фактор взаємодії G×E — маса 1000 зерен. Найбільші зміни при переході з однієї зони в іншу спостерігалися саме в показнику маси 1000 зерен (M1000). Цей показник прямо відображає, наскільки сприятливими були умови (тепло, волога, інсоляція) в період наливу зерна.

В умовах Київської області, яка, як було встановлено, мала вище теплозабезпечення, всі гібриди сформували виповнене, важке зерно. M1000 для пізньостиглих гібридів Гюкксо та Занетіккс була максимальною (462,7 г та 424,1 г відповідно).

В умовах Чернігівської області, з її прохолоднішим кліматом та меншою сумою активних температур, у цих же гібридів (Гюкксо та Занетіккс) відбувся справжній "колапс" наливу зерна. Їхня M1000 впала до 322,2 г (–30,4%) та 289,6 г (–31,7%) відповідно. Саме це і є головною причиною їхнього провалу врожайності на Поліссі: рослини сформували качан, але не змогли його "нагодувати" через нестачу тепла.

Гібриди Гюкксо (430) і Занетіккс (340) (лідери в Київській області): Їхня стратегія – максимальна реалізація потенціалу в ідеальних умовах. Вони переважали в Лісостепу за рахунок поєднання великої кількості зерен (Гюкксо: 16×41) та високої маси 1000 зерен. Ця ж стратегія виявилася програшною в холодніших умовах.

Гібрид Алоеккс (210) (лідер у Чернігівській області): ранньостиглий гібрид продемонстрував унікальну стабільність. Його структура качана (16 рядів) та кількість зерен (35–37 шт.) були майже ідентичними в обох зонах. У прохолодних умовах Полісся він зміг забезпечити високу M1000 (343,8 г) – йому вистачило тепла для повного наливу. Його відносно нижча продуктивність у Київській області пояснюється тим, що його генетичний потенціал за кількістю зерен (16×37) нижчий, ніж у пізньостиглого Гюкксо (16×41).

Гібрид Моторіккс (290) (другий за урожайністю в Чернігівській області): показав найцікавішу адаптивну реакцію. В умовах Чернігівщини у нього відбулося різке падіння кількості рядів (з 18,7 до 11,3), що, ймовірно, пов'язано зі стресом (надмірна вологість, холод) на ранніх етапах органогенезу, коли закладається качан. Однак гібрид зміг це компенсувати високою кількістю зерен у ряду (39,7 шт.) та найвищою в зоні масою 1000 зерен (386,6 г). Це свідчить про його виняткову здатність до компенсації та наливу зерна в прохолодних умовах.

Таким чином, аналіз індивідуальної продуктивності доводить, що врожайність у Лісостепу визначалася здатністю гібрида сформувати велику кількість зерен та максимально їх налити за довгий теплий період. Натомість у Поліссі кращі показники отримані при використанні стратегії ранньостиглості (Алоеккс) та компенсаторної здатності до наливу (Моторіккс), тоді як пізньостиглі гібриди не змогли реалізувати свій потенціал через дефіцит тепла в період дозрівання.

Показники збиральної вологості зерна

Збиральна вологість зерна є одним з ключових господарсько-цінних показників, що напряду визначає економічну ефективність вирощування гібрида. Вона впливає на строки збирання, придатність зерна до зберігання та, що найважливіше, на обсяг витрат на післязбиральну досушку.

Вплив групи стиглості (ФАО). В обох локаціях чітко прослідковується пряма залежність: чим вищий індекс ФАО гібрида, тим вищою була його збиральна вологість. Найбільш пізньостиглий гібрид Гюкксо (ФАО 430) продемонстрував критично високі показники – 39,80 % у Київській та 41,50 % у Чернігівській областях. Це свідчить про те, що даний гібрид не встиг досягти фізіологічної стиглості та почати процес природної вологовіддачі до моменту збирання навіть у тепліших умовах Лісостепу. Його висока врожайність у цій зоні значною мірою нівелюється майбутніми витратами на досушування.

Вплив умов середовища. Прохолодніші умови Полісся (Чернігівська обл.), з меншою сумою активних температур, очікувано поглибили проблему. Якщо для гібрида Гюкксо різниця у вологості була не такою суттєвою (41,5 % проти 39,8 %), то для ранньостиглої групи різниця колосальна.

Визначення лідерів за вологовіддачею. Найкращим за цим показником став ранньостиглий гібрид Алоеккс (ФАО 210), який в умовах Чернігівської області показав рекордно низьку вологість — 26,80 %. Це єдиний гібрид, що ввійшов у зону умовно-кондиційної вологості. Цікаво, що в тепліших умовах Київщини він, навпаки, показав вищу вологість (33,77 %), ніж середньоранній Моторіккс (32,77 %). Гібриди Аккстрід (ФАО 260) та Моторіккс (ФАО 290) також продемонстрували гарну здатність до вологовіддачі у прохолодних умовах Полісся (30,30 % та 31,50 % відповідно) (табл. 9).

Таблиця 9

Середня збиральна вологість зерна гібридів кукурудзи залежно від ФАО та умов вирощування, %

Гібрид (Фактор А)	ФАО	Київська обл. (Лісостеп)	Чернігівська обл. (Полісся)
Гюкксо	430	39,8	41,5
Занетіккс	340	34,1	32,95
Моторіккс	290	32,77	31,5
Аккстрід	260	34,13	30,3
Алоеккс	210	33,77	26,8

Таким чином, дані по вологості повністю підтверджують висновки, зроблені на основі аналізу врожайності та її структури. Ранньостиглий Алоеккс став лідером у Чернігівській області не лише за врожайністю, але й за економічною доцільністю, показавши найнижчу вологість. Пізньостиглі гібриди (Гюкксо та Занетіккс), хоч і є лідерами врожайності в Лісостепу, є абсолютно нерентабельними для Полісся через нездатність дозріти та віддати вологу в умовах дефіциту тепла.

3.2. Оцінка гібридів за показниками якості зерна

Окрім кількісних показників (урожайність та вологість), важливе господарське значення мають характеристики якості зерна, оскільки вони визначають його кінцеве призначення (корм, харчова промисловість, переробка на етанол) та ринкову вартість. Було проведено аналіз основного біохімічного складу зерна за трьома ключовими показниками: вміст білка, крохмалю та олії. Аналіз показників якості виявив складну залежність як від генотипу, так і від умов вирощування.

Вміст протеїну варіював у межах від 8,85% до 9,60%. Не було виявлено чіткого «ефекту розбавлення» (зниження білка при зростанні врожайності). Наприклад, гібрид Занетіккс у Київській області при високій урожайності (14,78 т/га) показав один з найвищих рівнів білка (9,57%), однак у Чернігівській області при низькій урожайності (9,36 т/га) у нього спостерігався різкий провал цього показника — до 8,85%. Це може свідчити про нездатність даного гібрида ефективно засвоювати азот у прохолодних умовах Полісся. Найбільш стабільними за вмістом білка виявилися гібриди Гюкксо, Моторіккс та Алоеккс, які показали схожі результати в обох зонах.

В умовах Київської області найвищий вміст крохмалю продемонстрував лідер урожайності Гюкксо (70,00%), тоді як інший високоврожайний гібрид, Занетіккс, мав найнижчий показник (67,53%). У Чернігівській області, навпаки, Занетіккс показав один з найвищих результатів (70,05%). Це вказує на те, що синтез крохмалю у цих двох гібридів по-різному реагує на умови середовища. Гібриди Моторіккс, Аккстрід та Алоеккс показали високі та стабільні показники крохмалю в обох зонах (68,4–69,7%).

Найвищий вміст олії в умовах Лісостепу (Київська обл.) продемонстрували гібриди Аккстрід (5,10%) та Занетіккс (5,07%). В умовах Полісся (Чернігівська обл.) у більшості гібридів спостерігалось зниження олійності. Найбільш суттєве падіння зафіксовано у гібрида Алоеккс (з 4,93%

до 4,30%), що, ймовірно, пов'язано з дефіцитом тепла, необхідного для синтезу жирів у ранньостиглого гібрида.

Таблиця 10

Показники якості зерна гібридів кукурудзи залежно від умов вирощування, %

Гібрид (ФАО)	Локація	Вміст білка, %	Вміст крохмалю, %	Вміст олії, %
Гюкксо (430)	Київська обл.	9,43	70,00	4,77
	Чернігівська обл.	9,60	69,80	4,85
Занетіккс (340)	Київська обл.	9,57	67,53	5,07
	Чернігівська обл.	8,85	70,05	4,60
Моторіккс (290)	Київська обл.	9,43	68,43	4,80
	Чернігівська обл.	9,57	69,57	4,47
Аккстрід (260)	Київська обл.	9,10	68,47	5,10
	Чернігівська обл.	9,40	69,65	4,70
Алоеккс (210)	Київська обл.	9,47	68,43	4,93
	Чернігівська обл.	9,40	69,35	4,30

Показники якості зерна є такою ж генотипо-специфічною ознакою, як і врожайність. Пізньостиглий Гюкксо стабільно формував високий вміст крохмалю. Ранньостиглий Алоеккс та середньоранній Аккстрід продемонстрували збалансовані показники, але зі зниженням олійності в прохолодних умовах. Найбільш нестабільно проявив себе гібрид Занетіккс, який, хоч і був лідером врожайності в Києві, показав там найнижчий крохмаль, а в Чернігові – найнижчий вміст білка.

3.3. Результати дисперсійного аналізу та оцінка достовірності впливу факторів

Для статистичного підтвердження висновків, зроблених у попередньому підрозділі, та для перевірки наявності достовірного впливу досліджуваних факторів на рівень урожайності, було проведено двофакторний дисперсійний аналіз (ANOVA).

Вплив фактору «Гібрид» (А). Фактичне значення F-критерію для фактору «Гібрид» склало $F_{\text{факт}} = 7,07$ при рівні значущості $P = 0,0003$. Оскільки

$P < 0,05$, ми констатуємо наявність високої достовірної різниці між досліджуваними гібридами за їхньою середньою врожайністю. Це підтверджує, що генетичні особливості гібридів мали суттєвий вплив на продуктивність.

Вплив фактору «Середовище» (В). Вплив умов вирощування (трьох локацій) виявився статистично недостовірним ($F_{\text{факт}} = 0,62$ при $P = 0,54$). Це означає, що якщо усереднити показники всіх гібридів, то всі три локації (Київ, Чернігів та ВОС) виявилися однаково сприятливими (середня врожайність по них була практично однаковою).

Вплив взаємодії «Генотип \times Середовище» ($A \times B$). Це ключовий показник нашого дослідження. Розрахункове значення F-критерію для взаємодії факторів склало $F_{\text{факт}} = 9,30$ при рівні значущості $P < 0,0001$. Отримане P-значення має високу достовірність (табл. 11).

Таблиця 11

Результати дисперсійного аналізу (ANOVA)

Джерело варіації	Сума квадратів (SS)	Ступені свободи (df)	Середній квадрат (MS)	F-критерій (Fфакт)	P-значення (Значущість F)
Фактор А (Гібрид)	134,33	4	33,58	7,07	0,0003
Фактор В (Середовище)	5,9	2	2,95	0,62	0,544
Взаємодія ($A \times B$)	353,11	8	44,14	9,3	< 0,0001
Помилка (випадкова)	142,42	30	4,75		
Усього	635,77	44			
Примітка: розрахунок проведено для рівня значущості $\alpha = 0,05$.					

Результати аналізу свідчать, що хоча в середньому локації були однаковими, реакція гібридів на них була кардинально різною. Іншими словами, ми маємо статистичне підтвердження того, що ми побачили в таблиці сильну зміну рангів (ранговий зсув). Лідери в одній локації ставали слабшими в іншій.

Саме цей факт (сильна та достовірна взаємодія $G \times E$) є науковим обґрунтуванням для застосування методів оцінки екологічної пластичності та стабільності (методу Еберхарта–Рассела), оскільки проста оцінка гібридів за середньою врожайністю є некоректною.

Для коректного порівняння середніх значень урожайності гібридів у межах дослідів було розраховано найменшу істотну різницю (НІР) на 5% рівні значущості.

$НІР_{0,05}$ (для порівняння середніх по гібриду) = 2,10 т/га.

3.3. Показники екологічної пластичності та стабільності гібридів кукурудзи

Проведений у підрозділі дисперсійного аналізу статистично доводить наявність сильної та високодостовірної взаємодії «генотип–середовище» ($P < 0,0001$). Цей факт підтверджує, що досліджувані гібриди мали специфічну реакцію на зміну умов вирощування, а отже, їх оцінка за середньою врожайністю є некоректною. Для кількісного визначення типу адаптивної реакції кожного гібрида було проведено аналіз за методикою С.А. Еберхарта та В.А. Рассела.

На першому етапі аналізу було розраховано індекси умов середовища (I_j) для кожної з трьох локацій. Індекс визначався як різниця між середньою врожайністю по всім гібридам у даній локації (Y_j) та загальною середньою врожайністю по всьому досліді ($Y = 9,96$ т/га).

Розрахунок показує, що три локації чітко розділились за рівнем сприятливості:

- Київська обл. (Лісостеп): $Y_j = 10,63$ т/га $I_j = +0,68$ (Сприятливі умови)
- Чернігівська обл. (Полісся): $Y_j = 10,37$ т/га $I_j = +0,41$ (Умови, близькі до середніх)

- Локація 3 (згідно ВОС-тесту): $Y_j = 8,87$ т/га $I_j = -1,09$ (Несприятливі, лімітуючі умови)

На другому етапі для кожного гібрида було розраховано три ключові параметри: середню врожайність (Y_i), коефіцієнт лінійної регресії (bi) як міру пластичності, та дисперсію відхилень від лінії регресії (S^2di) як міру стабільності (табл. 12).

Таблиця 12

Коефіцієнти лінійної регресії (пластичності) та стабільності гібридів кукурудзи за показником урожайності

Гібрид (ФАО)	Середня врожайність (Y_i), т/га	Коефіцієнт регресії (bi) (Пластичність)	Дисперсія відхилень (S^2di) (Стабільність)	Характеристика типу
Гюксо (430)	12,57	0,4	14,81	Екстенсивний (стабільний), низькопластичний, нестабільний
Занетіккс (340)	10,71	2,86	11,19	Інтенсивний, високопластичний, нестабільний
Моторіккс (290)	9,1	0,51	2,48	Екстенсивний (стабільний), низькопластичний, високостабільний
Аккстрід (260)	8,23	0,46	2,63	Екстенсивний (стабільний), низькопластичний, високостабільний
Алоеккс (210)	9,19	0,79	15,83	Пластичний (близький до $bi < 1$), нестабільний

Примітка: Показник стабільності (S^2di) вважається низьким (висока стабільність), якщо він не перевищує достовірно середній квадрат помилки дослід (MS(помилки) = 4,75).

Попередній аналіз параметрів:

Згідно з отриманими даними, жоден із гібридів не є «ідеальним» (тобто не поєднує високу врожайність, $bi \sim 1$ та $S^2di \sim 0$). Натомість ми можемо чітко виділити три групи з різними стратегіями адаптації:

1. Гібриди інтенсивного типу: «Занетіккс» ($bi = 2,86$) продемонстрував високу чутливість до умов.

2. Гібриди високостабільного, екстенсивного типу: «Моторікс» ($bi = 0,51$) та «Аккстрід» ($bi = 0,46$) вирізняються низькою пластичністю, але, що найважливіше, дуже високою стабільністю та передбачуваністю ($S^2di < 3$).

3. Гібриди з непередбачуваною реакцією (нестабільні): «Гюкксо», «Занетіккс» та «Алоеккс» показали дуже високі значення S^2di , що значно перевищують помилку досліду. Це свідчить про те, що їхня врожайність коливається нелінійно, і їх важко прогнозувати.

Параметри, розраховані в таблиці 12, є цифровим вираженням поведінки гібридів. Для наочної візуалізації та глибокого розуміння характеру взаємодії $G \times E$, було побудовано графік лінійної регресії, що відображає залежність урожайності кожного гібрида від індексу умов середовища (рис. 4).

На графіку суцільними лініями показано фактичну середню врожайність кожного гібрида в трьох локаціях, а пунктирними — розраховані для них лінії лінійної регресії (лінії тренду).

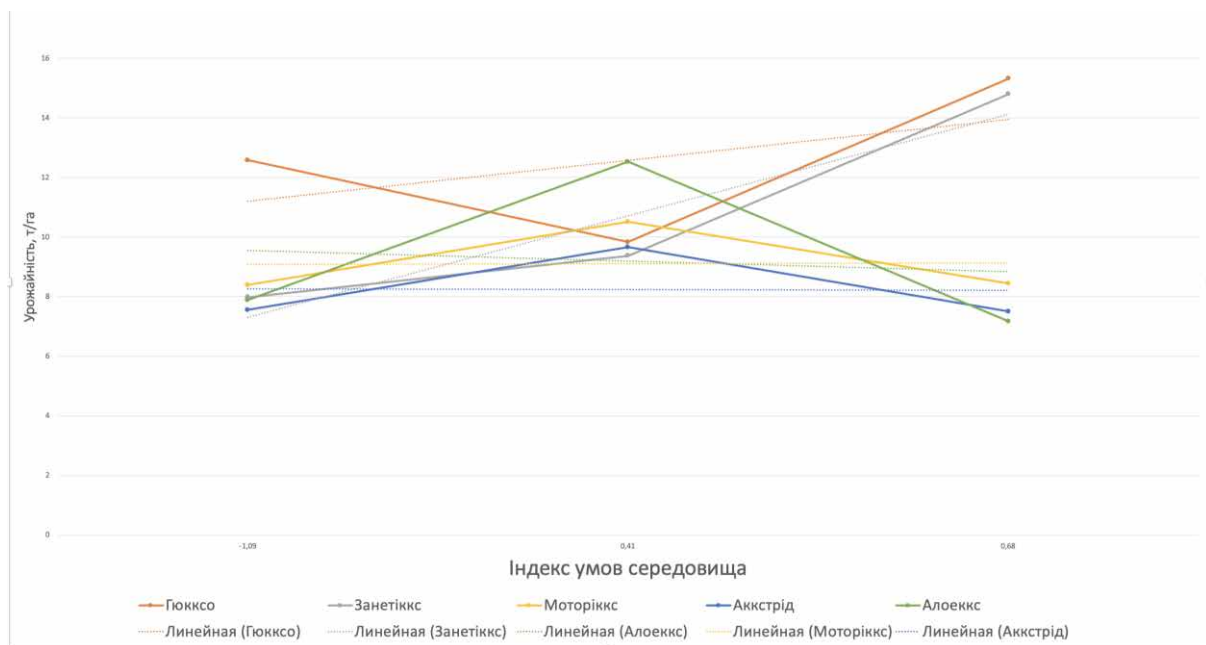


Рисунок 4. Графічна модель екологічної пластичності та стабільності гібридів кукурудзи.

Графік дозволяє візуально оцінити два ключові параметри для кожного генотипу.

Пластичність (bi), яка виражена кутом нахилу (крутизною) пунктирної лінії регресії. Чітко видно, що лінія тренду гібрида Занетіккс (сіра пунктирна) має надзвичайно крутий нахил. Це візуально підтверджує його високу пластичність ($bi = 2,86$) та інтенсивний тип: його врожайність стрімко зростає при переході з несприятливих умов ($I_j = -1,09$) до сприятливих ($I_j = +0,68$). На противагу йому, лінії гібридів Моторіккс (жовта), Аккстрід (синя) та Гюкксо (помаранчева) є значно більш пологими. Це вказує на їхню низьку пластичність ($bi < 0,6$) та екстенсивний/стабільний тип – їхня врожайність слабо реагує на покращення умов середовища. Лінія Алоеккс (зелена) займає проміжне положення ($bi = 0,79$).

Стабільність (S^2di), яка виражена відстанню фактичних точок (суцільні лінії) від їхньої власної пунктирної лінії регресії. Найвищу стабільність демонструють Моторіккс та Аккстрід. Ми бачимо, що їхні суцільні лінії (реальні дані) майже ідеально збігаються зі своїми пунктирними лініями тренду. Це є візуальним підтвердженням їхніх низьких показників S^2di (2,48 та 2,63) та свідчить про високу стабільність і передбачуваність поведінки. Натомість гібриди Гюкксо ($S^2di = 14,81$), Алоеккс ($S^2di = 15,83$) та Занетіккс ($S^2di = 11,19$) є нестабільними. Їхні суцільні лінії значно «стрибають» відносно пунктирних. Особливо показовим є Алоеккс (зелена лінія): його точка врожайності в Чернігівській обл. ($I_j = +0,41$) знаходиться набагато вище (12,52 т/га), ніж прогнозувала б його лінія регресії, тоді як у Києві ($I_j = +0,68$) – набагато нижче (7,16 т/га).

Ця графічна модель є ключовою для розуміння того, що не існує «найкращого» гібрида. Існують генотипи з різними стратегіями адаптації.

3.4. Детальна характеристика гібридів за даними екологічної пластичності та стабільності

До групи інтенсивних або пластичних гібридів ($bi > 0,7$) належать Занетіккс (ФАО 340) та Алоеккс (ФАО 210). Проте їхня поведінка та стратегії адаптації кардинально різняться.

Занетіккс (ФАО 340) є яскравим представником інтенсивного типу адаптації, що чітко видно з його розрахованих параметрів. Він має найвищий коефіцієнт лінійної регресії $bi = 2,86$, що вказує на його гіпер-чутливість до умов вирощування. На практиці це означає, що на кожну «одиницю» покращення умов середовища гібрид реагує приростом урожаю майже втричі сильніше, ніж у середньому.

Саме цим пояснюється його поведінка в наших двох ключових локаціях. У сприятливих умовах Київської області ($I_j = +0,68$) він став одним з лідерів, показавши високу врожайність 14,79 т/га (середнє з трьох повторень). Однак при переході в умови Чернігівської області ($I_j = +0,41$), які були лише трохи гіршими за середні, його врожайність різко впала до 9,36 т/га, що зробило його аутсайдером у цій зоні.

Причиною такого «обвалу» врожайності є не лише його висока пластичність, але й низька стабільність (показник $S^2di = 11,19$). Аналіз структури врожаю доводить це: у сприятливих умовах Києва він сформував важке, виповнене зерно (маса 1000 зерен – 424,1 г). Натомість у Чернігові в нього відбувся провал наливу зерна – маса 1000 зерен склала лише 289,6 г (найнижчий показник у досліді). Це свідчить про те, що гібрид надзвичайно чутливий до специфічних лімітуючих факторів Полісся (ймовірно, дефіциту тепла для його високого ФАО 340), що і фіксується високим показником нестабільності.

Алоеккс (ФАО 210) демонструє зовсім іншу картину. Його коефіцієнт пластичності ($bi = 0,79$) близький до 1,0, що характеризує його як пластичний,

«універсальний» гібрид. Однак його показник стабільності є найгіршим у досліді ($S^2 di = 16,25$), що вказує на повну непередбачуваність реакції. У сприятливих умовах Київської обл. він несподівано показав найнижчу врожайність у 7,16 т/га. Натомість у менш сприятливих умовах Чернігівської обл. він став абсолютним лідером, показавши 12,52 т/га.

Така поведінка (висока нестабільність) свідчить про те, що на продуктивність «Алоеккс» впливають специфічні фактори, які не описуються загальним індексом сприятливості. Ймовірно, в умовах Києва він постраждав від невідомого стрес-фактору (можливо, конкуренції або специфічної реакції на ґрунт), тоді як прохолодніші, але вологі умови Полісся виявились для нього ідеальними.

Отже гібрид «Занетіккс» – це класичний гібрид «високого ризику та високої винагороди», призначений виключно для інтенсивних технологій у зонах з гарантованим теплозабезпеченням (як Київська обл.). «Алоеккс», попри свою пластичність, є надто нестабільним, хоча і показав видатний результат у Чернігівській області.

До групи стабільних гібридів належать два гібриди – Моторіккс (ФАО 290) та Аккстрід (ФАО 260), які продемонстрували унікальну і надзвичайно цінну для виробництва властивість: високу стабільність та передбачуваність.

Їхні ключові параметри:

- Моторіккс: $bi = 0,51$ (низька пластичність); $S^2 di = 2,48$ (висока стабільність)
- Аккстрід: $bi = 0,46$ (низька пластичність); $S^2 di = 2,63$ (висока стабільність)

Головна особливість цих гібридів полягає в тому, що їхні показники дисперсії відхилень ($S^2 di$) є меншими, ніж середній квадрат помилки дослідів ($MS(\text{помилки}) = 4,75$). Згідно з методологією Еберхарта–Рассела, це характеризує їх як ідеально стабільні генотипи. Їх поведінка повністю

описується лінійною регресією, а врожайність є максимально передбачуваною.

На графіку це чітко видно: суцільні лінії (фактичний урожай) для жовтого («Моторікс») та синього («Аккстрід») гібридів майже ідеально збігаються з їхніми пунктирними лініями тренду.

Гібрид «Моторікс» (ФАО 290) є яскравим прикладом компенсаторного типу. Його низька пластичність ($bi = 0,51$) свідчить про слабку реакцію на покращення умов. Він показав себе значно краще в прохолодніших умовах Чернігівської обл. (10,50 т/га), ніж у тепличних умовах Київщини (8,43 т/га). Це свідчить про його високу адаптованість саме до умов Полісся.

Аналіз структури врожаю розкрив його унікальний механізм: у Чернігові він сформував значно менше рядів у качані (11,33 шт.), ймовірно, через ранньовесняний стрес, але повністю компенсував це, сформувавши найвищу в цій зоні масу 1000 зерен (386,6 г) та високу кількість зерен у ряду (39,7 шт.). Ця здатність до компенсації та ефективного наливу зерна в умовах дефіциту тепла робить його надзвичайно цінним.

Гібрид «Аккстрід» (ФАО 260) продемонстрував аналогічну поведінку: низька пластичність ($bi = 0,46$) та висока стабільність ($S^2 di = 2,63$). Проте, його загальний потенціал продуктивності виявився найнижчим у досліді (середня врожайність 8,23 т/га). Він також показав себе краще в Чернігівській обл. (9,65 т/га), ніж у Київській (7,49 т/га). Це робить його надійним, але низькопродуктивним гібридом.

Гібриди «Моторікс» та «Аккстрід» є генотипами екстенсивного типу (низькопластичними). Їхня головна перевага — не високий потенціал, а передбачуваність і надійність. Вони є ідеальним вибором для господарств, що працюють за низькозатратними технологіями, або для регіонів з нестабільними та прохолодними умовами (як Полісся), де гарантований, хоч і не рекордний, урожай є важливішим за ризиковану гонитву за високим потенціалом.

Гібрид Гюкксо (ФАО 430) представляє найбільш парадоксальний випадок у нашому дослідженні. На перший погляд, він виглядає абсолютним лідером, оскільки має найвищу середню врожайність серед усіх досліджуваних гібридів (12,57 т/га). Однак детальний аналіз його параметрів адаптивності показує, що він є вкрай неоднозначним та непередбачуваним.

Його коефіцієнт регресії $bi = 0,40$ є одним з найнижчих, що характеризує його як низькопластичний (екстенсивний) тип. Це означає, що його висока середня врожайність досягається не за рахунок інтенсивної реакції на сприятливі умови, а за рахунок високого базового потенціалу, який слабо залежить від покращення агрофону.

Ключова проблема цього гібрида – надзвичайно низька стабільність. Показник $S^2di = 14,81$ є одним з найвищих у досліді та втричі перевищує середній квадрат помилки. Це вказує на те, що його врожайність коливається хаотично і не піддається лінійному прогнозуванню.

Це чітко підтверджується фактичними даними. У сприятливих умовах Київщини ($I_j = +0,68$) він очікувано показав чудовий результат – 15,31 т/га. Однак у також сприятливих умовах Чернігівщини ($I_j = +0,41$) його врожайність незрозуміло впала до 9,82 т/га. При цьому в найгірших, несприятливих умовах Локації 3 ($I_j = -1,09$) він несподівано показав високий результат у 12,57 т/га, що повністю суперечить логіці його низької пластичності.

Причини такої поведінки частково розкриває аналіз структури врожаю. Як і «Занетіккс», гібрид «Гюкксо» не зміг реалізувати налив зерна в умовах Чернігівщини – його маса 1000 зерен впала до 322,2 г (порівняно з 462,7 г у Києві). Та просто дозріти, в таких умовах у нього не було шансу, не кажучи про віддачу вологи. Це свідчить про його високу чутливість до специфічних факторів Полісся (дефіциту тепла для ФАО 430), що і призводить до високої нестабільності S^2di . Його високий урожай у несприятливих умовах Локації 3, вочевидь, був зумовлений якимось іншим, неврахованим чинником.

Гібрид «Гюкксо» є класичним прикладом того, чому не можна орієнтуватися лише на середню врожайність. Незважаючи на найвищий середній показник, він є «лотерейним» гібридом – вкрай непередбачуваним та нестабільним. Його вирощування пов'язане з високими ризиками, оскільки неможливо спрогнозувати, як він відреагує на умови конкретного року чи поля.

ВИСНОВКИ

За результатами проведеного у 2025 році дослідження з оцінки екологічної пластичності та стабільності п'яти гібридів кукурудзи селекції RAGT в трьох агрокліматичних умовах (Київська обл., Чернігівська обл. та згідно офіційного опису за ВОС-тестом) встановлено:

1. Середня урожайність варіювала від 7,16 т/га (Алоеккс у Київській обл.) до 15,31 т/га (Гюкксо у Київській обл.). Умови Київської ($I_j = +0,68$) та Чернігівської ($I_j = +0,41$) областей виявилися сприятливими, тоді як локація при вирощуванні для офіційного опису ($I_j = -1,09$) – несприятливою.

2. Дисперсійний аналіз підтвердив наявність високодостовірної взаємодії «генотип–середовище» ($G \times E$) (F-критерій = 9,30 при $P < 0,0001$). Це свідчить про те, що гібриди специфічно реагували на зміну локацій, що доводить необхідність їх оцінки за параметрами адаптивності, а не лише за середньою врожайністю.

3. Розрахунок параметрів за методом Еберхарта–Рассела дозволив класифікувати гібриди за типом адаптивної реакції:

Інтенсивний тип: «Занетіккс» (ФАО 340) продемонстрував гіперчутливість до умов ($bi = 2,86$), поєднуючи її з низькою стабільністю ($S^2di = 11,19$).

Високостабільний (екстенсивний) тип: «Моторіккс» (ФАО 290) та «Аккстрід» (ФАО 260) вирізняються високою передбачуваністю ($S^2di = 2,48$ та 2,63 відповідно) та низькою пластичністю ($bi < 0,6$).

Нестабільний (непередбачуваний) тип: «Гюкксо» (ФАО 430) та «Алоеккс» (ФАО 210) показали вкрай високі показники нестабільності ($S^2di > 14$), що робить їх ризикованими для вирощування.

4. Аналіз структури врожаю показав, що ключовою причиною сильної взаємодії $G \times E$ була нездатність пізньостиглих гібридів («Гюкксо» та «Занетіккс») сформувати виповнене зерно в прохолодніших умовах Чернігівської обл., що проявилось у падінні маси 1000 зерен (на 30-32%).

РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА

1. Для умов Лісостепу (Київська обл.) на високих агрофонах з метою отримання максимальної врожайності рекомендувати гібрид інтенсивного типу «Занетіккс» (ФАО 340), враховуючи, що він забезпечить високу врожайність (14,8 т/га), але потребуватиме додаткових витрат на досушування (вологість 34,1%).

2. Серед досліджуваних гібридів для Полісся (Чернігівська обл.) рекомендувати гібрид «Моторіккс» (ФАО 290), який поєднує високу стабільність ($S^2di = 2,48$), високу врожайність для цих умов (10,5 т/га) та компенсаторну здатність до наливу зерна.

3. Гібрид «Алоеккс» (ФАО 210), незважаючи на найвищу врожайність у Чернігівській обл. (12,5 т/га) та найнижчу вологість (26,8%), не має значної стабільності ($S^2di = 16,25$), що робить його ризикованим при підборі гібридів для господарств.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Андрієнко А. Л., Андрієнко О. О. Селекція кукурудзи на адаптивність до абіотичних факторів середовища. *Вісник аграрної науки*. 2019. № 4. С. 25–31.
2. Базалій В. В., Бойчук І. В. Рослинництво : підручник. Херсон : Олді-плюс, 2014. 522 с.
3. Вожегова Р. А., Лавриненко Ю. О., Малярчук М. П. Кукурудза на зрошуваних землях півдня України : монографія. Херсон : Грінь Д. С., 2014. 320 с.
4. Гур'єв С. М. Методика польового досліджу. Київ : ННЦ «ІЗПР», 2018. 143 с.
5. Дзюбецький Б. В., Черчель В. Ю. Селекція кукурудзи : монографія. Дніпро : Нова ідеологія, 2019. 284 с.
6. Довідник з виробництва кукурудзи / за ред. В. С. Цикова. Дніпропетровськ : Зоря, 2012. 216 с.
7. Каленська С. М., Єременко О. А., Таран В. Г., Крестьянінов Є. В., Риженко А. С. Адаптивність польових культур за змінних умов вирощування. *Наукові праці інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2017. Вип. 25. С. 48–57.
8. Кириченко В. В., Петренкова В. П., Чернобай Л. М. Генетико-селекційні аспекти адаптивності кукурудзи. Харків : Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва, 2015. 212 с.
9. Кирпа М. Я. Збирання та зберігання кукурудзи. *Пропозиція*. 2016. № 9. С. 54–58.
10. Клімат України / за ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. Київ : Вид-во Раєвського, 2003. 343 с.

11. Козаченко М. Р. Екологічна пластичність сортів сільськогосподарських культур та методи її визначення. *Селекція і насінництво*. 2012. Вип. 101. С. 3–14.

12. Лавриненко Ю. О. Мінливість врожайності гібридів кукурудзи різних груп стиглості залежно від гідротермічних умов. *Зрошуване землеробство*. 2018. Вип. 69. С. 15–20.

13. Лихочвор В. В., Петриченко В. Ф. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур : підручник. Львів : НВФ «Українські технології», 2010. 1088 с.

14. Літун П. П., Кириченко В. В., Петренкова В. П. Системний аналіз в селекції польових культур : навч. посіб. Харків : ХНАУ, 2009. 354 с.

15. Пащенко Ю. М. Інтенсифікація технології вирощування кукурудзи. Дніпропетровськ : АРТ-ПРЕС, 2011. 186 с.

16. Присяжнюк Л. М., Шовгун О. О., Король Л. В., Коровко І. І. Оцінка показників стабільності й пластичності нових гібридів кукурудзи (*Zea mays* L.) в умовах Полісся та степу України. *Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин*. 2016. № 2. С. 16–21.

17. Спряжка Р. О., Жемойда В. Л. Екологічна пластичність та стабільність гібридів кукурудзи при селекції на якість зерна. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2022. № 5(99). DOI: 10.31548/dopovidi2022.05.007

18. Таран В. Г., Каленська С. М., Новицька Н. В., Данилів П. О. Стабільність та пластичність гібридів кукурудзи залежно від системи удобрення та густоти стояння рослин в Правобережному Лісостепу України. *Біоресурси і природокористування*. 2018. Т. 10. № 3–4. С. 147–156.

19. Троценко В. І., Ільченко В. О. Адаптивний потенціал гібридів кукурудзи в умовах Північно-Східного Лісостепу України. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. 2019. Вип. 3 (37). С. 12–18.

20. Український гідрометцентр. Кліматичний огляд погодних умов у Київській та Чернігівській областях за вегетаційний період 2025 р. Київ, 2025.

21. Федько М. М. Адаптивний потенціал та екологічна стабільність простих гібридів кукурудзи (*Zea mays* L.). *Бюлетень Інституту зернового господарства*. 2010. 39. С. 161–166.
22. Чернобай Л. М., Музафаров Н. М., Сікалова О. В., Китайова С. С. Екологічна пластичність гібридів кукурудзи у степовій зоні України. *Таврійський науковий вісник*. 2013. № 83. С. 122–127.
23. Якубенко Б. Є., Попович С. Ю. Геоботаніка: тлумачний словник. Київ : Фітосоціоцентр, 2011. 420 с.
24. BBCH Monograph 14: Growth stages of mono- and dicotyledonous plants. Hamburg : Blackwell, 2001.
25. Crossa J. Statistical analysis of multilocation trials. *Advances in Agronomy*. 1990. Vol. 44. P. 55–85.
26. ДСТУ ISO 5725-2:2005. Точність (правильність і прецизійність) методів вимірювань. Ч. 2. Київ : Держспоживстандарт, 2006.
27. ДСТУ 4525:2006. Кукурудза. Технічні умови. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. 14 с.
28. Duvick D. N. The contribution of breeding to yield advances in maize (*Zea mays* L.). *Advances in Agronomy*. 2005. Vol. 86. P. 83–145.
29. Eberhart S. A., Russell W. A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. 1966. Vol. 6 (1). P. 36–40.
30. Finlay K. W., Wilkinson G. N. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. *Australian Journal of Agricultural Research*. 1963. Vol. 14(6). P. 742–754.
31. Kutka F. J. Open-pollinated vs. hybrid maize cultivars. *Sustainability*. 2011. Vol. 3. P. 1531–1554.
32. Qudrat-Ullah M. et al. Multi-environment evaluation of QPM hybrids for yield stability. *Field Crops Research*. 2024. Vol. 296. 109014.

33. RAGT Україна. Каталог гібридів кукурудзи. Офіційний опис (RGT Aloekks, RGT Akkstrid, RGT Motorikks, RGT Zanetikks, RGT Gyukkso). URL: <https://ragt.ua/> (дата звернення: 04.11.2025).

34. Steel R. G. D., Torrie J. H. Principles and Procedures of Statistics. 2-nd ed. New York : McGraw-Hill, 1980. 633 p.

35. Tollenaar M., Lee E. A. Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize. *Field Crops Research*. 2002. Vol. 75. P. 161–169.

36. Wajhat-Un-Nisa, Ahmad S. Root anatomical plasticity contributes to drought tolerance in maize hybrids. *Plant Physiology Reports*. 2023. Vol. 28 (4). P. 721–730.

37. Yan W., Tinker N. A. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science*. 2006. Vol. 86. P. 623–645.

38. Zobel R. W., Wright M. J., Gauch H. G. Statistical analysis of a yield trial. *Agronomy Journal*. 1988. Vol. 80. P. 388–393.

ДОДАТКИ



НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
АГРОБІОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА ГЕНЕТИКИ, СЕЛЕКЦІЇ І НАСІННИЦТВА ІМ. ПРОФ. М. О. ЗЕЛЕНЬСЬКОГО

Екологічна пластичність та стабільність гібридів кукурудзи

Виконали: магістри 2 року Чуніхін Даниїл Олегович та Кармазін Марк Русланович

Науковий керівник: доктор філософії, старший викладач Спряжка Роман Олегович



Об'єкт досліджень: процес формування продуктивності та адаптивної реакції п'яти сучасних гібридів кукурудзи (*Zea mays* L.) іноземної селекції компанії RAGT Seeds: РЖТ АЛОЕККС (FAO 210), РЖТ АККСТРІД (FAO 260), РЖТ МОТОРІККС (FAO 290), РЖТ ЗАНЕТИККС (FAO 340) та РЖТ ГЮККСО (FAO 430).

Предмет досліджень: закономірності мінливості урожайності, кількісні параметри екологічної пластичності та стабільності досліджуваних гібридів кукурудзи, їх біометричні та якісні показники, а також кількісне вираження взаємодії «генотип–середовище» в умовах Полісся та Правобережного Лісостепу України.

Мета роботи: проведення комплексної порівняльної оцінки нових гібридів кукурудзи селекції RAGT Seeds за показниками продуктивності, екологічної пластичності та стабільності в контрастних ґрунтово-кліматичних умовах Полісся та Правобережного Лісостепу України для наукового обґрунтування рекомендацій щодо їх раціонального використання у виробництві.

Методи: Польовий (RCBD), лабораторний, статистичний (ANOVA, Eberhart-Russell).

Табл. 2. Урожайність досліджуваних гібридів кукурудзи, 2025 р.

ТОВ «Заньківське»						
Гібрид	Гюксо	Занетікс	Моторікс	Акстрід	Алоекс	
FAO	430	340	290	260	210	
Вологість зерна, %	14	14	14	14	14	
Врожайність, т (75 тис нас/га)	1	12,36	10,28	12,87	9,89	11,88
	2	7,28	8,45	8,14	9,41	13,16
	3	9,82	9,36	10,50	9,65	12,52
	середнє	9,82	9,36	10,50	9,65	12,52
стандартне відхилення	2,54	0,91	2,36	0,24	0,64	
ВП НУБІП «АДС»						
Гібрид	Гюксо	Занетікс	Моторікс	Акстрід	Алоекс	
FAO	430	340	290	260	210	
Вологість зерна, %	14	14	14	14	14	
Врожайність, т (75 тис нас/га)	1	15,07	14,32	8,22	7,53	7,37
	2	15,23	14,54	8,76	7,29	7,24
	3	15,64	15,50	8,30	7,64	6,87
	середнє	15,31	14,78	8,43	7,49	7,16
стандартне відхилення	0,30	0,63	0,29	0,18	0,26	

Рис. 2. Ділянки дослідження гібридів кукурудзи 16.07.2025 р.



Табл. 1. Кліматична характеристика місць проведення досліджень, 2025 р.

Місяць	ВП НУБІП «АДС»		ТОВ «Заньківське»	
	t °C	Опади, мм	t °C	Опади, мм
Квітень	11,2	44,1	11,1	98,6
Травень	13,6	64,8	13,6	106,09
Червень	19	54,7	17,1	104,9
Липень	22,6	111,1	20,39	74,1
Серпень	20,2	26,6	17,8	51
Вересень	16,7	22,8	15,04	45,4
Сума опадів, мм		324,1		447,1

Рис. 1. Збір врожаю на ділянці ГЮККСО 16.10.2025 р.



Табл. 3. Коефіцієнти лінійної регресії (пластичності) та стабільності гібридів кукурудзи за показником урожайності

Гібрид (FAO)	Середня врожайність (Y), т/га	Коефіцієнт регресії (b _i) (Пластичність)	Дисперсія відхилень (S ² d) (Стабільність)	Характеристика типу
Гюксо (430)	12,57	0,4	14,81	Екстенсивний (стабільний), низькопластичний, нестабільний
Занетікс (340)	10,71	2,86	11,19	Інтенсивний, високопластичний, нестабільний
Моторікс (290)	9,1	0,51	2,48	Екстенсивний (стабільний), низькопластичний, високостабільний
Акстрід (260)	8,23	0,46	2,63	Екстенсивний (стабільний), низькопластичний, високостабільний
Алоекс (210)	9,19	0,79	15,83	Пластичний (близький до b _i < 1), нестабільний

Примітка: Показник стабільності (S²d) вважається низьким (висока стабільність), якщо він не перевищує достовірно середній квадрат помилки досліді (MS(помилка) = 4,75).