

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА УСТАНОВА ІНСТИТУТ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР

**ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ У СТВОРЕННІ, АДАПТАЦІЇ
ТА ОЦІНЦІ ВИХІДНОГО МАТЕРІАЛУ КУКУРУДЗИ НА
СТРЕСТОЛЕРАНТНІСТЬ**

«ТВОРИ»

2026

*Рекомендовано до друку
вченою радою ДУ інститут зернових культур НААН
23 липня 2025 року (протокол №10)*

Авторський колектив:

Дзюбецький Б. В., Черчель В. Ю., Алдошин А. В., Боденко Н. А.,
Гайдаш О. Л., Купріченков Д. С., Круглова М. О., Федоренко Е. М.,
Ковальов Д. В., Томаш Л. В., Козарійчук Д. В., Костенко В. В., Кулик О. В.,
Гайдабура В. О., Бебех А. В.

Рецензенти:

Лавриненко Ю. О., доктор с.-г. наук, професор, академік НААН України,
головний науковий співробітник відділу селекції Інституту кліматично
орієнтованого сільського господарства НААН

Вареник Б. Ф., кандидат с.-г. наук, старший науковий співробітник, завідувач
відділу селекції і насінництва перехреснозапилюваних культур Селекційно-
генетичного інституту НААН

I-66 Інноваційні підходи у створенні, адаптації та оцінці вихідного матеріалу кукурудзи на стресотолерантність: вид. друге, доopr. і допов. [авт. кол.: Б. В. Дзюбецький, В. Ю. Черчель, А. В. Алдошин, Н. А. Боденко, О. Л. Гайдаш, Д. С. Купріченков, М. О. Круглова, Е. М. Федоренко, Д. В. Ковальов, Л. В. Томаш, Д. В. Козарійчук, В. В. Костенко, О. В. Кулик, В. О. Гайдабура, А. В. Бебех]. – Вінниця : ТВОРИ, 2026. – 52 с.

ISBN 978-617-8835-42-2

Видання розраховано на наукових співробітників, викладачів і студентів закладів вищої освіти I-IV рівнів акредитації.

УДК 633.15:631.527

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
Розділ 1. Реакція рослин кукурудзи на посуху та високі температури.....	5
Розділ 2. Інноваційні підходи у створенні і адаптації посухо- та жаростійкого вихідного матеріалу і гібридів кукурудзи	11
2.1. Адаптивні можливості гібридів кукурудзи різних груп стиглості до посухи і високих температур	11
2.2. Визначення моделі і типу гібрида кукурудзи стійкого до посухи і високих температур	13
Розділ 3. Методи оцінки вихідного матеріалу і гібридів кукурудзи за посухо- та жаростійкістю	18
3.1. Визначення посухостійкості ліній і гібридів кукурудзи за індексами	22
3.2. Оцінка та добір вихідного селекційного матеріалу на посухостійкість методом пророщування насіння на осмотич-них розчинах сахарози	27
3.3. Оцінка та добір селекційного матеріалу кукурудзи на жаростійкість методом пророщування насіння при порогових температурах	28
3.4. Оцінка посухо- та жаростійкості за гідролізом статолітного крохмалю в клітинах кореневого чохла	28
3.5. Оцінка та добір рослин за ступенем розвитку кореневої системи.....	30
3.6. Визначення посухостійкості за зміною електричного опору тканин листків	31
3.7. Визначення жаростійкості кукурудзи модифікованим методом Ф.Ф. Мацкова	32
3.8. Добір вихідного селекційного матеріалу кукурудзи на жаростійкість.....	33
3.9. Визначення посухостійкості ліній і гібридів кукурудзи в польових умовах.....	35
Розділ 4.	
Підсумки.....	38
Список використаних джерел.....	40

ВСТУП

Підвищення рівня стресовості погодних умов в останні роки, дещо змінили пріоритети селекційних досліджень. Зокрема, все більше уваги приділяється не досягненню потенційної врожайності сільськогосподарських культур, в т.ч. і кукурудзи, а чинникам, які забезпечують стабільність виробництва [1, 2]. У світі тільки 10% площ, де рослинам не загрожують стресові фактори, та близько 26% території де постійно спостерігається посуха [3].

Проблеми сільськогосподарського виробництва пов'язані з глобальним потеплінням клімату, підсилюються зменшенням кількості опадів влітку та збільшенням числа днів з температурою повітря понад 30 °C [4]. Тому велика роль в стабілізації виробництва сільськогосподарської продукції належить, в першу чергу, стрестолерантним культурам – сорго, сафлор, кукурудза і ін. Кукурудза одна з найбільш посухостійких культур. Для формування однієї одиниці сухої речовини вона потребує 349 одиниць води, тоді як для пшениці необхідно – 545, а вівса – 583. Конкуренцію їй може скласти тільки зернове сорго із коефіцієнтом транспірації – 305 [5, 6]. Кукурудза найкраще розвивається в діапазоні температур від 25 до 30 °C, а за дефіциту вологи оптимальною температурою повітря вважають нижче за 27 °C [7]. За наявності посухи та температури вище 32 °C її коренева система втрачає здатність нормального водопостачання в клітини для збереження тургору і рослини в'януть. Підвищення температури на 1°C понад оптимальну призводить до зниження маси зернівки на 3% [8, 9].

Посуха є одним з основних факторів, що лімітує подальше розширення виробництва кукурудзи в Україні. Вона виникає за тривалої відсутності дощів і супроводжується високою температурою та сонячною інсоляцією. Частіше відмічається атмосферна посуха, яка характеризується низькою відносною

вологістю повітря (18-20 % та нижче), до неї може додатись, ще й ґрунтова посуха в зв'язку з нестачею доступної для рослин вологи у ґрунті. За інтенсивністю виділяють слабку, середню, сильну і надзвичайно сильну посухи, які відрізняються залежно від сезону обезводнення і перегріву. У більшості випадків значної шкоди посуха завдає на початку наливу зерна [5], коли ж вона має місце в період інтенсивного росту рослин, то в основному призводить до зменшення прояву морфологічних ознак [10]. Якщо посуха посилюється поступово, рослини встигають адаптуватися до умов, що склалися (уповільнюється зростання, зменшується випаровування води тощо). При цьому посухостійкі форми можуть сформувати задовільний врожай, якщо посушлива погода змінюється сприятливою. Більш небезпечною є комбінована посуха, коли нестача вологи у ґрунті співпадає з дією сухого жаркого повітря. За сильної або тривалої посухи відбуваються глибокі зміни в тканинах рослин, різко порушується функціонування систем життєдіяльності, що веде до їх загибелі. Ступінь впливу підвищеної температури на врожай кукурудзи також залежить від інтенсивності та її експозиції [11].

У вирішенні проблеми жаро- та посухостійкості адаптивний сорт чи гібрид є найдешевшим і доступним засобом підвищення врожайності за умов високих температур і водного дефіциту. Тому для стабільного отримання зернової продукції суттєве значення має добір гібридів кукурудзи, здатних переносити високі температури і дефіцит вологи в ґрунті і повітрі. В зв'язку з цим селекція кукурудзи на жаро- і посухостійкість є визначальною передумовою для підвищення її стресостійкості та продуктивності, що дає змогу розширити посіви цієї культури у районах із несприятливими кліматичними умовами.

Розділ 1

РЕАКЦІЯ РОСЛИН КУКУРУДЗИ НА ПОСУХУ ТА ВИСОКІ ТЕМПЕРАТУРИ

Жаростійкість в контексті цілої рослини визначається як її здатність до росту і формування урожаю за умов дії високих температур (гіпертермії).

За цією ознакою рослини можна умовно поділити на 3 групи:

- 1) головним чином нижчі рослини або сланеві рослини (термофільні бактерії, ціанобактерії/синьо-зелені бактерії), що витримують без ушкоджень температуру 75–90°C;
- 2) мегатермофіти або жаростійкі рослини посушливих зон (сукуленти, що витримують температуру до 60°C і ксерофіти – до 54°C);
- 3) нежаростійкі – мезофіти і водні рослини, що витримують температуру до 40°C.

Рослини, що ростуть на сухих, світлих, добре прогрітих місцях, більш стійкі до високих температур, ніж тіньовитривалі. Жаростійкість значною мірою залежить від абсолютних значень температури і тривалості її дії. Короткочасний вплив надто високих температур (43–45°) може бути таким же згубним, як і тривала дія дещо нижчих, які перевищують оптимальне значення. Під впливом високої температури повітря зменшується площа листків та їх фотосинтетична активність. Практично всі генеративні клітини зазнають структурних змін, втрачають активність і здатність до поділу. За високих температур пилок стає стерильним, гальмується проростання фертильних пилових зерен на приймочці, що є однією з причин зниження врожаю кукурудзи. Під час спеки при достатньо високій вологості повітря регуляція температури листків рослин шляхом транспірації обмежена. За таких умов перевищення оптимального температурного рівня призводить

до часткової або повної денатурації білків, що викликає ушкодження білково-ліпідних комплексів мембран. У результаті цього відбувається дезорганізація багатьох фізіологічних процесів.

Підвищення температури особливо небезпечне за інтенсивної інсоляції. У рослин існує ряд адаптивних пристосувань для захисту від теплових ушкоджень, зокрема такі, як транспірація, вертикальне орієнтування листків, фототаксис хлоропластів, більш світле забарвлення листової поверхні, захисні шари кіркової тканини, шар кутикули, висока концентрація вуглеводів у цитоплазмі і деякі ін. У польових умовах на ступінь ушкодження рослин високою температурою значно впливає і нестача вологи у ґрунті.

Гальмування, або інгібування процесів росту і розвитку високими температурами супроводжується зниженням у клітинах білків і нуклеїнових кислот, хлорофілу, фотохімічної активності хлоропластів, розриванням цілісності і висиханням мембран, порушенням вуглеводного, азотного і ліпідного обміну рослин. Тому короточасний тепловий шок понад 45°C може пригнічувати захисні реакції рослин щодо вірусних і окремих грибкових інфекцій. Реакція рослин на екстремальну температуру визначається функціональними і структурними особливостями клітин. Серед цитоплазматичних змін, викликаних дією високих температур, слід відзначити інгібування руху, збільшення густини і коагуляцію цитоплазми, ядерні зміни, втрату мембранної напівпроникності. Висока температура викликає у рослин патологічне дихання й утворення токсичних речовин. Жаростійкість значною мірою визначається стадією розвитку рослин: молоді, активно ростучі рослини менш стійкі, ніж старі і ті, що перебувають у стані спокою.

Для багатьох рослин спека особливо небезпечна під час цвітіння, оскільки викликає стерильність квіток і опадання

зав'язей. Стійкість різних органів рослин є неоднаковою: менш стійкі підземні органи, більш стійкими є пагони і бруньки. При дозріванні плодів високі температури навіть корисні, якщо рослина взагалі витримує їх нормально. Серед тканин найбільш стійкими є камбіальні [12].

Посухостійкість — здатність рослин витримувати значне зневоднення зберігаючи при цьому нормальний ріст, розвиток та можливість відтворення.

Посухостійкість в одних випадках зумовлена пристосуванням до нестачі води в атмосфері (атмосферна посуха), в інших — до нестачі води в ґрунті (ґрунтова посуха). Під час посухи внаслідок різкого зниження відносної вологості повітря та підвищення його температури непосухостійкі рослини перегріваються та інтенсивно втрачають воду. У них виникає водний дефіцит, який викликає в'янення. Зневоднення та перегрівання рослин призводять до порушень субмікроскопічної структури протоплазми — змінюються її колоїдно-хімічні властивості, ступінь дисперсності тощо, та обміну речовин — відбувається глибокий гідроліз білків, полісахаридів, порушується фосфорилування цукрів, а отже, і енергетичний обмін. В результаті припиняється ріст, знижується продуктивність, іноді рослина гине.

У посухостійких рослин під час посухи обмінні процеси порушуються значно менше, ніж у непосухостійких; спостерігається підвищення стабільності ферментних систем дихання та синтезу білка. Колоїди протоплазми посухостійких рослин характеризуються підвищеною в'язкістю та еластичністю, а клітинний сік має вищий осмотичний тиск. Таким рослинам властива своєрідна ксероморфна структура, що перешкоджає надмірному випаровуванню води та перегріванню рослин [12].

Стійкість різних генотипів до посухи визначається зміною врожайності зерна на яку опосередковано чи прямо впливають різні морфологічні і біологічні ознаки [7, 13, 14]. Тому при оцінці і доборі посухостійких форм необхідно враховувати комплекс ознак. Наявність значного розриву між потенційною продуктивністю і реальним урожаєм зерна у виробництві зумовлює необхідність інтенсифікації подальшого розвитку теорії та практики селекції на адаптивність, що неминуче передбачає інтеграцію з фізіологічними, біохімічними та генетичними дослідженнями [15].

Посухостійкість – складний інтегральний показник, який контролюється не лише за рахунок комплексного впливу різних ознак рослин, а й цілісною системою організму, що по-різному реагує на дефіцит вологи і складається з кількох рівнів [11, 14].

Популяційний рівень стійкості залежить від функціональної організації агроценозу [16], а онтогенетичний – формується з етапів розвитку рослини і зумовлюється стресовими умовами, які проявляються в цей період [17–19]. Критичними періодами розвитку кукурудзи вважають два тижні до її цвітіння та три тижні після нього, що часто співпадає з періодами посухи. Проте різні генотипи уникають стресів за рахунок різночасового проходження фаз розвитку, що проявляється в неоднотиповому коливанні врожайності гібридів кукурудзи різних груп стиглості. В онтогенетичному розвитку адаптація рослин до посухи здійснюється поступово, внаслідок чого послаблюється її негативна дія [20].

Рівень стійкості рослини до посухи визначається також морфологічною будовою рослини. Посуха негативно впливає на елементи структури врожаю (кількість качанів на рослині, розмір качана, вихід зерна з качана), висоту рослин, довжину міжвузлів, біометрію листя, тощо. Відомо, що форми з незначною висотою рослин і компактною архітектонікою

стійкіші до негативної дії стресу [1]. Стабільність врожаю більше залежить від маси 1000 насінин, кількості качанів і насінин у ряду качана [1, 21].

Як відмічалось раніше, негативна дія посухи на рослини проявляється через нестачу вологи, і, як наслідок, фізіологічний рівень стійкості залежить від осмотичного тиску в тканинах [22, 23]. Культури посушливих регіонів (ксерофіти) певним чином пристосовані до таких умов, що зумовлюється їх анатомічною будовою: наявністю моторних клітин, особливістю розміщення продихів на листі, у тому числі, і залежно від ярусу розташування листків, відповідною щільністю і геометрією провідних пучків та величин клітин, опушеністю, товщиною кутикули, тощо [24]. Всі перелічені особливості сприяють підтримці осмотичного тиску в тканинах рослин.

Відомо, що рівень осмотичного тиску підтримується біохімічними механізмами. Високою водоутримуючою здатністю цитоплазми в умовах посухи характеризуються форми, які накопичують низькомолекулярні гідрофільні білки і мають підвищену концентрацію проліна і моносахаридів [25]. Посуха викликає суттєві зміни в гормональній системі рослини – зменшується вміст активаторів росту та збільшується кількість інгібіторів, що, в свою чергу, призводить до зміни висоти рослин, довжини міжвузлів та відношення між висотою рослини і висотою закладання качана [16, 18, 26].

Посухо- і жаростійкість рослин визначаються в основному спадковими властивостями, що виникли в процесі філогенезу, проте може формуватися і в процесі онтогенезу під впливом умов існування. Генетичний рівень стійкості залежить від наявності певної ознаки у вихідних форм і характеру її успадкування в гібридах і потомстві інбридингу [11, 14, 17, 23, 27, 28].

Розділ 2

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ У СТВОРЕННІ І АДАПТАЦІЇ ПОСУХО- ТА ЖАРОСТІЙКОГО ВИХІДНОГО МАТЕРІАЛУ І ГІБРИДІВ КУКУРУДЗИ

При визначенні оптимальної моделі гібрида для посушливих умов Степу важливим показником є скоростиглість, яка визначає приналежність генотипу до екологічної групи – тобто південний чи північний, або інтенсивний чи гомеостатичний типи. Домінування скоростиглих генотипів у формуванні виробничого агроценозу в Степу, як засіб підвищення посухостійкості кукурудзи, став сучасним трендом сортової політики. Якщо середньоранні гібриди досить ефективно замінюють в посівах середньостиглі, то останні прогнозовано можуть потіснити ранньостиглі гібриди, які потребують менше вологи для завершення вегетації. Відповідне орієнтування зумовлене еволюційно-обґрунтованим шляхом, використаного в селекції на підвищення врожайності зерна, тобто скороченням вегетативної частини онтогенезу, за рахунок збільшення генеративної [29].

2.1. Адаптивні можливості гібридів кукурудзи різних груп стиглості до посухи і високих температур

Переорієнтація виробництва на скоростиглі біотики в Україні відбувалась послідовно, поряд із успіхами в селекції та поступовою зміною клімату. В системі землеробства Дніпропетровської області у 1988 р. рекомендувалось в зернових сівоzmінах основну увагу приділяти середньостиглим гібридам (55–60 %) та в невеликій мірі середньораннім (25–30 %), як найбільш адаптованих до умов зони. Вирощувати в цій зоні ранньостиглі гібриди не рекомендувалось [30]. На початку ХХІ століття преференції змінились і в системі ведення

сільського господарства Дніпропетровської області у 2005 р. рекомендовані такі співвідношення гібридів кукурудзи: ранньостиглі – 10–15 %, середньоранні – 30–35 %, середньостиглі – 45–50 % і середньопізні – 5–10 % [31]. Динамічне зростання обсягів виробництва зерна кукурудзи в країні з 2008 р. розставило нові акценти в гібридному складі виробництва віддавши перевагу скоростиглим генотипам [32, 33]. Таким чином, на сьогодні в північному Степу рекомендоване співвідношення різних біотипів таке: ранньостиглі – 25 %; середньоранні – 30 %; середньостиглі – 30 % та середньопізні 15% [34]. Зміна співвідношення раніше рекомендованого структурного складу гібридів кукурудзи зумовлена не лише економічними чинниками, в зв'язку з низькою вологістю зерна при збиранні, але й прогресом в селекції посухостійких ранньостиглих і середньоранніх форм та можливістю скоростиглих генотипів частково уникати стресу за рахунок прискореного розвитку і більш раннього накопичення сухої речовини.

Як зазначалось раніше розподіл гібридів за типом реакції на умови вирощування в значній мірі залежать від групи стиглості. Так, середньостиглі і середньопізні гібриди в степовій зоні займають близько 45 % площ посіву кукурудзи і тому визначальним фактором їх стабільності в умовах значного варіювання погоди є не тільки стійкість до посухи, а й позитивна реакція на сприятливі умови [35]. Виходячи з цього, найбільш цінними є пластичні форми. Взагалі середньопізні гібриди вважаються найбільш інтенсивним типом та потребують більше ресурсів для реалізації свого потенціалу, що й призводить часто до меншої їх врожайності порівняно з середньостиглими. Попит на такі форми стрімко падає через невмотивовану економічну доцільність виробництва та скорочення площ під кукурудзу на півдні, зокрема на зрошені

[36, 37]. Але перспективу ці генотипи мають при реалізації програми виробництва біопалива і при створенні форм з прискореною вологовіддачею при визріванні та одночасно із більшою стійкістю до посухи [38, 39].

Проблема селекції посухостійких ранньостиглих гібридів визначається дефіцитом необхідного вихідного матеріалу, оскільки раніше ранньостиглі форми створювались лише для регіонів з обмеженим температурним ресурсом і першочерговим завданням було поліпшення їх холодостійкості. За даними Моргуна В.В., Шапчина Т.М., Кірізій Д.А. (2006) помітно почастішали посухи навіть у Поліссі [40]. У зв'язку з цим, сформовано два екологічних типи скоростиглих генотипів – північний, який характеризується високою холодостійкістю і швидкими темпами накопичення сухої речовини та південний – для якого притаманна підвищена посухо- та жаростійкість, що в підсумку може привести як до більш повільного накопичення сухої речовини, так і прискореної вологовіддачі на завершальних етапах дозрівання зерна.

2.2. Визначення моделі і типу гібрида кукурудзи стійкого до посухи і високих температур

Слід відмітити, що генетична структура гібрида один із елементів стабільності генотипу за продуктивністю. З ускладненням формули гібридної комбінації зростає буферність рослинного індивідуума та ценозів. Особливий напрямок селекції сільськогосподарських культур – посилення їх адаптивності через підвищення гетерогенності агроценозу [41-45].

У 60-70 роки на території України найпоширенішим типом гібриду був сортолінійний, особливо у зонах з обмеженими тепловими ресурсами [46, 47]. В сучасному виробництві сортолінійні гібриди втратили значення в комерційному використанні в т. ч. і через невідповідність нинішнім вимогам

реєстрації авторського права, внаслідок недостатньої одно-манітності.

Багатолінійні гібриди – складаються з п'яти, шести та більш інбредних компонентів [48, 49]. Виробництво таких форм нині також практично не здійснюється.

Подвійні міжлінійні гібриди стали стрімко втрачати своє значення. Тенденція до зменшення кількості подвійних гібридів залежить скоріше не від виробника, а від темпів селекції. Встановлено, що при використанні будь-якого з типів схрещувань можна створити високоврожайні гібриди, але в більшій мірі це можливо при створенні простих комбінацій [41, 48].

Аналіз складу гібридів кукурудзи зареєстрованих в 2000 році демонструє переваги за основними типами схрещувань, на початку ХХІ століття у сільськогосподарському виробництві України, серед яких основними є прості міжлінійні та трьохлінійні гібриди і їх модифіковані форми.

Трьохлінійні гібриди зберігають достатньо високу популярність навіть серед провідних селекційно-насінницьких іноземних компаній. Причини їх популярності у наступному: 1) вдале поєднання потенціалу продуктивності та собівартості насіння; 2) найбільш вигідний варіант одержання ранньостиглих та середньоранніх гібридів, батьківські компоненти (лінії) яких мають порівняно невисоку продуктивність. Однак, поточні тренди вказують, що в майбутньому значення трьохлінійних гібридів поступово буде зменшуватись та замінюватись простими модифікованими гібридами, які генетично копіюють трьохлінійні, але менш залежні від депресії та гетерогенності агроценозу викликаних незалежним розщепленням гамет при отриманні таких форм.

Модифіковані гібриди в Україні з'явилися відносно недавно, незважаючи на те, що відомі вони були з 60-х рр. ХХ

століття [50, 51]. Як правило, при їх створенні ставиться на меті збільшення продуктивності батьківської форми. У генетичному плані прості модифіковані гібриди близькі до трьохлінійних ($A \times A'$) $\times B$ чи подвійних ($A \times A'$) $\times (B \times B')$ міжлінійних гібридів, а за проявом фенотипових ознак наближаються до простих. За останніми тенденціями при реєстрації гібридів кукурудзи вітчизняними установами, такий тип найбільш поширений [52].

Переваги простих міжлінійних гібридів над іншими типами відмічені давно [53-55], а їх виробниче визнання відбулось, ще в 70-і р. [56, 57]. В основному перші прості міжлінійні гібриди в Україні були представлені середньопізніми та пізньостиглими генотипами інтенсивного типу, які впевнено демонстрували свої переваги лише на зрошені в південних регіонах країни [58]. Використання відповідної моделі в скоростиглих гібридах тривалий час обмежувалось відсутністю високопродуктивного, адаптованого гомозиготного матеріалу.

Можна стверджувати, що стресові умови вегетації нівелюють переваги простих гібридів кукурудзи через високу одноманітність ценозу для якого характерний інтенсивний тип реакції на різні зміни середовища. Незначна гетерогенність посівів спричинена ускладненням формули гібрида дозволяє краще перенести погіршення умов вирощування для кукурудзи. Прості модифіковані гібриди не тільки позитивно відрізнялись за врожайністю зерна у стресові роки, але й зменшували популяційне варіювання вибірки.

Існує тенденція переваги простих модифікованих та трьохлінійних гібридів в стресових умовах вирощування над простими. Якщо додати і менш проблемне насінництво при використанні відповідних форм, то окреслюється сучасний південний екотип скоростиглих гібридів кукурудзи, для якого

необхідна відповідна частка гетерогенності за рахунок незначного ускладнення формули.

Аналіз структури скоростиглих гібридів кукурудзи буде не повним, без характеристики жіночих та чоловічих компонентів за генетичним походженням відповідно гетерозисним моделям. Необхідно враховувати, що всі гібриди кукурудзи селекції ДУ ІЗК НААН створюються з використанням ЦЧС, у зв'язку з чим виникають певні закономірності з формування різних генетичних моделей.

Коли за жіночий компонент використовуються сестринські гібриди ліній плазми Айодент, чи отриманої на її базі змішаної, застосовують молдавський тип стерильності. За результатами тривалих відборів сформовано типову базову колекцію відповідних форм, які мають добру закріплюючу здатність М-типу, але практично завжди відновлюють С-тип стерильності. Створенні на базі такого матеріалу гібриди відповідають загальноєвропейським тенденціям гетерозисної селекції скоростиглих генотипів кукурудзи.

Здатність до відновлення парагвайського (С) типу стерильності дозволяє наведені генетичні плазми використовувати як чоловічий компонент при використанні альтернативних форм Ланкастер та кременистої європейської плазми, а також отримувати на їх базі різні варіанти змішування. Відповідна модель гібриду, коли в якості жіночого компоненту використовують лінії плазм Ланкастер чи кременистої європейської, для американських чи європейських селекційних компаній вважається нетиповою, тому що ці форми частіше використовуються як чоловічий компонент. Їх використання у вітчизняній селекції пов'язано з рядом обставин:

- використання стерильності ЦЧС в насінництві скоростиглих гібридів в Україні;

- створення високо-холодостійких генотипів з урахуванням впливу жіночого компонента (особливо стосується кременистих форм);
- застосування складних за типом схрещувань в селекції скоростиглих гібридів;
- тривале селектування вихідного матеріалу плазм Ланкастер та кременистої європейської з метою використання їх в якості жіночого компоненту.

Тобто практика використання ліній плазми Ланкастер чи кременистої європейської для створення жіночих компонентів скоростиглих гібридів в Україні має глибокі устої, що формувались протягом десятиліть. Таким чином, найбільш популярна генетична модель ранньостиглого гібрида південного екотипу – трьохлінійні та прості модифіковані за структурою та при використанні в якості жіночої форми різних варіантів схрещувань ліній плазми Ланкастер, кременистої європейської плазм та отриманої за їх участі змішаної, в якості чоловічих компонентів – лінії плазми Айодент та близьких до них за походженням. Останнього часу в Україні все більш активно впроваджується в цю групу стиглості прості міжлінійні гібриди генетичної гетерозисної моделі Айодент × Рейд та Айодент × Кремениста, що і наближує їх до традиційних європейських схем селекції.

Спрямована селекція на посухостійкість дозволила отримати ряд ліній плазми Айодент з високою і стабільною врожайністю зерна (ДК744; ДК411; ДК365; ДК2577; ДК3751; ДК315; ДК7443; ДК777, ДК772 і інші), які часто використовують як жіночі компоненти гібридів. За рахунок цього зросла питома вага простих модифікованих гібридів в асортименті ДУ ІЗК НААН, зокрема: Почаївський 190 МВ, ДН Синевир, ДН Атон, ДН Фієста, ДБ Хотин, ДН Світязь, ДН Галатея, ДН Рубін, тощо. Лінії плазми Ланкастер та в поєднанні

з кременистими європейськими формами використовують, як чоловічі форми, або складові жіночих простих та сестринських гібридів: ДК236зС, зМ; ДК231зС,зМ; ДК 2/427зС; ДК 272зС; ДК2966; ДК2980, ДК2180; ДК680; ДК296зС,зМ; ДК253зС,зМ; ДК2953зСзМ; ДК959МВ; ДК9523; ДК9527 і інші. Прості модифіковані гібриди на базі вказаного матеріалу отримали визнання серед виробників, а їх генетичні формули стали основою для подальшої селекції нових генотипів. Слід відмітити найбільш популярні скоростиглі прості модифіковані гібриди: Дніпровський 181 СВ, ДБ Лада, ДН Пивиха, ДН Нур, ДН Зоряна, ДН Пульсація, ДН Меотида, ДЗ Латориця, ДБ Хотин.

Розділ 3

МЕТОДИ ОЦІНКИ ВИХІДНОГО МАТЕРІАЛУ І ГІБРИДІВ КУКУРУДЗИ ЗА ПОСУХО- ТА ЖАРОСТІЙКІСТЮ

Слід відзначити, що всі існуючі механізми посухостійкості, як правило, тісно взаємозв'язані, але кожний із них слід розглядати окремо для оцінки та ідентифікації посухостійких зразків. Внаслідок того, що стійкість до посухи формується завдяки складній різнорівневій природі цієї інтегральної ознаки, більшість із існуючих методів аналізують тільки окремі її фрагменти. Саме тому існує безліч методів визначення посухостійкості, але ні один із них цілковито не може вирішити проблему її коректної оцінки. Оцінка на посухостійкість повинна складатись із комплексу пошукових заходів.

Серед фізіологічних та біохімічних методів оцінки стійкості генотипів до стресових умов перевагу слід надати визначенню проростання насіння і росту проростків у осмотичних розчинах, які імітують нестачу вологи (маніт, сахароза, NaCl, KNO₃) [59–66]. Ці методи доцільно використо-

увати для характеристики стійкості рослин до посухи на ранніх фазах їх розвитку. Вони моделюють умови обмеженого забезпечення ґрунту вологою і визначають можливість проростків поглинати необхідну для проростання насіння воду. Проте, головною та завершальною оцінкою посухостійкості рослин залишається польові дослідження, особливо, при використанні штучних фонів.

Ідентифікацію генотипів за параметрами посухостійкості доцільно проводити за результатами випробувань в екологічному градієнті, сформованому за допомогою різних агротехнічних заходів і пунктів з різними умовами вирощування, зокрема за наявності екстремальних зон, де щороку спостерігається посуха [1, 67]. Також досить надійним фоном є багаторічні випробування, адже контрастність умов за роками настільки велика, що у більшості випадків її вплив на врожайність більш значний, ніж зональних кліматичних відмінностей [68, 69]. Як правило, за допомогою цих методів більш повно розкривається морфологічний і онтогенетичний рівень стійкості генотипів.

При доборі та оцінці гібридів кукурудзи за ознакою “посухостійкість” досить надійним інструментом є створення екоградієнта густоти рослин [70, 71]. Реакція гібридів на загущення посівів на незрошуваних землях помітно змінюється за роками і залежить від їх генотипу [72]. В цих умовах формується особливий агрофітоценоз, в якому змінюються екологічні зв'язки індивідів та конкурентоздатність складових ценозу кукурудзяного поля, що призводить до зміни габітусу рослин, морфологічних та господарських ознак. В такому випробуванні проявляється популяційний рівень стійкості.

При селекції гібридів кукурудзи для посушливих умов взаємодія генотип $\times$ густота, генотип $\times$ рік, генотип $\times$ строк висіву є надійною оцінкою селекційних зразків та вказує

напрямок використання вихідного матеріалу, опосередковано ідентифікує посухостійкі зразки та додатково визначає майбутні елементи сортової агротехніки. Однак сформований відповідним чином градієнт агрофонів не завжди дає адекватний відгук генотипу. Зокрема, відомо, що стійкі до загущення лінії мають характерний габітус рослин: еректоїдне розташування листя, міцне стійке стебло, середній за величиною качан, вузький лист тощо. Рослини такого типу характеризуються низькою індивідуальною продуктивністю, але високою функціональною організацією агроценозу. Для максимального прояву індивідуальної продуктивності першочергового значення набуває величина качана, кількість качанів з одної рослини, маса 1000 насінин, вихід зерна з одного качана. Досить часто посухостійкі генотипи такого типу не витримують загущення і знижують урожайність зерна, тоді як за нормальної густоти вони можуть сформувати досить високий урожай без зрошення, водночас гідно конкуруючи з гібридами здатними витримувати значну щільність посіву.

Таким чином, при селекції можна орієнтуватися на два варіанта генотипів рослин кукурудзи стійких до посухи. Рослини першого типу здатні витримувати стресові умови літнього періоду вегетації при загущенні, другого – в посівах з нормальною густотою рослин. Генотипи стійкі до загущення традиційно відносять до більш сучасних, прогресивних форм, тому що за сприятливих умов в посівах з підвищеною густотою їх врожайність матиме більш позитивний вектор зростання, ніж у агроценозі з оптимальною густотою рослин. Генотипи другого типу найчастіше представлені екстенсивними формами, які краще проявляють себе в екстремальних умовах. Це, як правило, зразки з малоінтенсивною вологовіддачею зерна при дозріванні. Для зони Степу обидва варіанти реакції на посуху важливі при надзвичайно мінливих умовах вирощування

гібридів кукурудзи з метою стабілізації виробництва зерна в господарствах.

Успіх селекції кукурудзи на стійкість до водного дефіциту значною мірою залежить від правильної оцінки цієї ознаки у створюваних самозапиленних ліній і гібридів. Тому методологічне забезпечення всебічного дослідження біологічної та агрономічної посухостійкості рослин цієї культури є пріоритетним завданням багатьох селекційних установ.

Для прискорення селекційного процесу кукурудзи та отримання достовірних результатів необхідно застосовувати надійні методики дослідження зразків за конкретними ознаками стійкості. Вивчення змін фізіолого-біохімічного стану рослин в умовах посухи та з'ясування механізмів резистентності дозволило фізіологам запропонувати численні методи оцінки посухостійкості на основі визначення водного статусу рослин, ефективності функціонування фотосинтетичного апарату, транспортної системи, системи перерозподілу асимілятів та неспецифічних адаптивних реакцій при субоптимальних режимах температур і вологозабезпечення [73–75]. Оскільки безпосередня оцінка рівня агрономічної стійкості рослин до посухи є тривалим та трудомістким завданням, в селекційній практиці широко використовуються непрямі лабораторні методи оцінки біологічної стійкості за фізіологічними, анатомічними, морфологічними та біохімічними показниками [75, 76]. Ці підходи полягають у використанні не самої стійкості до нестачі вологи, а будь-якої іншої біологічної властивості, що пов'язана з цією ознакою. На цей час існує ціла низка непрямих методів оцінки посухостійкості рослин кукурудзи. Проте достовірність оцінки тим чи іншим методом залежить від того, наскільки сильно корелює з істинною стійкістю рослин фізіологічна ознака, що лежить в основі цього діагностичного способу. Далеко не завжди результати оцінки посухостійкості

селекційних зразків лабораторними методами співпадають з польовими. Тому в селекційній практиці зернових культур сьогодні широко використовують спосіб оцінки стійкості генотипів до посухи, що заснований на проведенні саме польових дослідів [77]. При цьому враховуються і оцінюються особливості росту та розвитку досліджуваних рослин, а також їх продуктивність в умовах водного дефіциту [78, 79].

Найбільш повним та об'єктивним показником стійкості рослини до посухи вважається її урожайність за умов водного дефіциту. Для виявлення посухостійких форм у польових умовах запропоновано кілька критеріїв добору, які базуються на визначенні врожайності зерна у стресових і нестресових умовах – стійкість і сприйнятливість генотипів до дії водного дефіциту [80, 81]. При цьому кількісною мірою посухостійкості вважається ступінь зниження продуктивності в екстремальних умовах, порівняно з оптимальними умовами росту [82]. Згідно з класифікацією G.C.J. Fernandez [83] генотипи, залежно від їх урожайності за стресових та оптимальних умов, поділяються на чотири групи: 1) генотипи, які демонструють перевагу за обох умов; 2) генотипи, що мають високі показники лише за оптимальних умов; 3) генотипи, які краще проявляють себе за стресових умов; 4) генотипи з негативними властивостями як за стресових, так і за оптимальних умов. Варто зазначити, що посухостійкість рослин є відносною характеристикою, тому для її визначення у селекційній практиці досить часто використовують сорти-класифікатори [84].

3.1. Визначення посухостійкості ліній і гібридів кукурудзи за індексами

З метою визначення реакції сортів на посуху нині вітчизняними та зарубіжними вченими широко використовується *індексний метод*, який базується як на стійкості, так і на чутливості зразків до водного дефіциту.

Індекси посухостійкості, які враховують рівень втрати урожаю під впливом посухи порівняно з оптимальними умовами, використовують для відбору посухостійких форм [73, 85–87]. Ці показники, що всебічно характеризують ступінь зниження врожайності рослин за посухи порівняно з умовами достатнього зволоження. Визначення селекційної цінності самозапилених ліній і гібридів кукурудзи за індексами посухостійкості в умовах наростання водного дефіциту або підвищення температури дає можливість об'єктивно характеризувати рівень їх адаптивності і прогнозувати їхню поведінку у відповідних екологічних умовах. В літературі описана велика кількість індексів посухостійкості, які широко застосовуються в селекції різних культур [73, 85–89]. Перелік індексів, що ми використовуємо, а також формули їх визначення наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

Індекси посухостійкості та формули для їх визначення

<i>Назва індексу</i>	<i>Формула</i>
Індекс сприйнятливості до посухи (SSI) [90]	$SSI = (1 - Y_s/Y_p)/(1 - \bar{Y}_s/\bar{Y}_p)$
Толерантність (TOL) [91]	$TOL = Y_p - Y_s$
Середня урожайність (MP) [91]	$MP = (Y_p + Y_s)/2$
Індекс стабільності урожайності (YSI) [92]	$YSI = Y_s/Y_p$
Індекс урожайності (YI) [78]	$YI = Y_s/\bar{Y}_s \times 100$
Індекс толерантності до стресу (STI) [83]	$STI = (Y_p \times Y_s)/(\bar{Y}_p)^2$
Середнє геометричне урожайності (GMP) [83]	$GMP = \sqrt{(Y_p \times Y_s)}$

Примітка: Y_s – урожайність сорту під впливом посухи; Y_p – урожайність сорту в оптимальних умовах; $\bar{Y}_s$ – середня урожайність всіх сортів під впливом посухи; $\bar{Y}_p$ – середня урожайність всіх сортів в оптимальних умовах.

Індекс сприйнятливості до посухи (SSI) у зернових культур, який характеризує рівень чутливості сорту (гібрида) до різних стресових факторів, зокрема посухи, запропонували R.A. Fisher і R. Maurer [90]. Цей показник дає змогу оцінити відносну сприйнятливість кожного генотипу в досліджуваному наборі – тому чим він менший, тим вищий рівень посухостійкості зразка.

A.A. Rosielle та J. Hamblin [91] запропонували такі індекси, як толерантність (TOL) – різницю в урожайності за стресових і сприятливих умов і середню урожайність (MP) генотипів при цьому. Максимальні значення MP та STI характеризують високу селекційну цінність генотипів, про що свідчать численні дослідження [82, 85, 93, 94].

Індекс стабільності урожаю (YSI) був запропонований M. Bouslama і W.T. Schapaugh [92] для оцінки посухостійкості сортів та гібридів. Цей показник визначається як відношення врожайності в умовах стресу та в оптимальних умовах. Застосування індексів TOL та YSI передбачає, що генотипи, відібрані на їх основі, матимуть високу селекційну цінність за стресових та оптимальних умов [95].

P. Gavuzzi та співавтори [78] для аналізу сортів зернових культур запровадили індекс урожайності (YI), що базується на відношенні (%) урожайності сорту під впливом стресового чинника до середньої урожайності, які досліджували в цих умовах.

G.C.J. Fernandez [83] представив розширений показник під назвою індекс толерантності до стресу (STI), який використовується для ідентифікації генотипів з високим рівнем урожайності як в стресових, так і в оптимальних умовах. Цей показник характеризує здатність зразка утримувати стабільний рівень урожайності незалежно від стресових факторів. Середня геометрична продуктивності (GMP) часто використовується селекціонерами, зацікавленими у відносній продуктивності,

оскільки стрес, спричинений посухою, може варіювати за ступенем тяжкості протягом багатьох років [83].

До основних переваг методу оцінки посухостійкості за використання вищезазначених індексів відносять доступність необхідних даних, можливість вивчення значного обсягу набору сортів, простота розрахунків та визначення в одиницях найважливішої агрономічної характеристики – урожайності [73]. Слід зазначити, що під час обчислення усіх індексів використовується не більше чотирьох параметрів – урожайність сорту за умов посухи і за достатнього зволоження та середня врожайність набору сортів у цих умовах. Середню урожайність набору сортів також використовують для характеристики умов середовища, рівня інтенсивності посухи [73; 82; 87].

До недоліків методики відносять те, що індекси посухостійкості не надають інформацію про механізми протидії стресу, які можуть відрізнятися залежно від генотипу [73]. Варто також зазначити, що оцінка стійкості рослин в польових умовах часто є трудомістким процесом, займає досить тривалий час, потребує відповідних умов середовища для ефективного фенотипового прояву бажаної ознаки. Складність цього методу полягає також у просторовій гетерогенності фізичних і хімічних властивостей ґрунту, а також сезонних коливаннях кількості атмосферних опадів. Для вирішення цієї проблеми застосовують приміщення з контрольованими умовами вирощування, де як основний критерій стійкості рослин слугує рівень їх урожайності за стресових умов порівняно з контролем. Однак, інколи буває важко створити два конкретні фони вирощування – оптимальний і стресовий. Окрім того, селекція на посухостійкість за величиною урожайності може виявитись досить складною ще й тому, що її успадковуваність в умовах стресу зазвичай низька у зв'язку з невеликою генотиповою дисперсією або через значну варіансу взаємодії генотип-середовище [86,

87]. Як наслідок, селекційне поліпшення стає довготривалим і ненадійним. Тому з метою прискорення селекційного процесу та більш об'єктивної оцінки посухостійкості генотипів кукурудзи доцільно застосовувати комплексні методи, які, окрім польових, передбачають проведення також вегетаційних та лабораторних дослідів.

В Державній установі Інститут зернових культур НААН деякі методи апробовані стосовно культури кукурудзи при оцінці різноманітного селекційного матеріал. Нижче наведено прості у використанні методи для оцінки та добору вихідного матеріалу кукурудзи на стійкість до стресових чинників, захищені авторськими свідоцтвами та патентами. Запропоновані методи можуть застосовуватися для масової оцінки і добору селекційного матеріалу за комплексом фізіологічних ознак. Для підвищення достовірності діагностики стійкості зразків кукурудзи слід застосовувати в роботі не один з методів, а декілька, включаючи діагностику на різних етапах органогенезу.

Особливістю, що відрізняє запропоновані методи є те, що як комплексна лабораторна фізіологічна оцінка, так і діагностика та добір на жаро- та посухостійкість проводиться на обмеженій кількості насіння вихідного матеріалу.

Лабораторно та лабораторно-польові методи діагностики стійкості селекційного матеріалу до певних умов за комплексом фізіологічних ознак можуть широко використовуватися, особливо для попередньої масової оцінки та добору.

Для підвищення достовірності діагностики стійкості зразків кукурудзи, серед невеликої кількості ліній, що залишилися після попередніх 2-3 циклів відбору використовують методи оцінки рослин під час вегетації.

3.2. Оцінка та добір вихідного селекційного матеріалу на посухостійкість методом пророщування насіння на осмотичних розчинах сахарози [66]

Цей метод застосовують для характеристики стійкості рослин до посухи. Він визначає спроможність рослин на ранніх етапах росту краще поглинати необхідну для проростання насіння вологу. Здатність рослин проростати в умовах дефіциту вологи є важливою біологічною властивістю. Тільки 60% вологи всмоктується насінням за рахунок набування біоколоїдів, решта 40% поступають вже в результаті дії осмотичного механізму.

Для оцінки та добору селекційного матеріалу кукурудзи на посухостійкість як осмотик краще використовувати розчин сахарози. Метод не потребує складного обладнання та спеціальних реактивів, його перевагою є можливість збереження виділених цінних генотипів для подальшого дорощування рослин.

Згідно з літературними даними, використовуються різні варіанти осмотичного тиску сахарози для визначення ступеня посухостійкості. Дослідження в основному проводили з розчином сахарози з тиском від 10 до 16 атм.

Для більш коректної оцінки та добору вихідного селекційного матеріалу кукурудзи на посухостійкість пророщування насіння проводять у розчині сахарози з осмотичним тиском 18 атм. при I циклі, 20 атм. – при II циклі та 22 атм. на заключному III циклі. Щоб отримати розчин з осмотичним тиском 18 атм. необхідно на 1 літр води додати 205,32 г сахарози, 20 атм. – 225,85 г та 22 атм. – 239,54 г.

Пророщування насіння в розчинах сахарози проводиться в чашках Петрі на фільтрувальному папері. Чашки Петрі стерилізують при температурі 150°C протягом 1-2 год., після чого в кожній з них розміщують по 50 насінин та додають 25 мл

розчину сахарози з відомим осмотичним тиском. Облік проростків проводять на 5-7 добу. Схожість рослин в розчині сахарози виражають у відсотках до контролю (пророщування у дистильованій воді). Цей метод передбачає подальше використання в селекційних цілях насіння, яке має лабораторну схожість не менше 90%. Пророщені насінини висаджують в ґрунт, а отримані рослини самозапилюють. Добір проводять щонайменше 2 цикли.

3.3. Оцінка та добір селекційного матеріалу кукурудзи на жаростійкість методом пророщування насіння при порогових температурах [66].

Поєднана дія водного та високотемпературного стресів викликає порушення фізіологічних та біохімічних процесів, гальмування біосинтезу, розпад органічних речовин, що, в підсумку, знижує врожайність зерна та його якість.

Для масової оцінки та добору матеріалу на жаростійкість користуються методом пророщування насіння кукурудзи в чашках Петрі при порогових температурах від +39°C на першому етапі до +43°C на III етапі добору. Цей метод розроблений в лабораторії фізіології кукурудзи ДУ ІЗК НААН.

Всі фізіологічні методи оцінки та добору вихідного матеріалу кукурудзи, використані при пророщуванні насіння, передбачають у подальшому дорощування проростків у вегетаційних посудинах або в польових умовах.

3.4. Оцінка посухо- та жаростійкості за гідролізом статолітного крохмалю в клітинах кореневого чохла [66]

В основі методу лежить гідроліз статолітного крохмалю в клітинах кореневого чохла проростків під впливом зневоднення та перегріву. З підвищенням посухо- та жаростійкості рослин зменшується швидкість гідролізації

крохмалю. Оцінка кількості гідролізованого крохмалю проводиться візуально під мікроскопом за п'ятибальною шкалою та розраховується в балах, або відсотках до контролю.

Метод модифікований в лабораторії фізіології кукурудзи. Для кожного зразка необхідно відібрати 100-200 насінин, або 4 партії по 25-50 насінин для дослідів та контролю. Для досліджень використовують 2-х денні проростки гібридів кукурудзи та 3-х денні проростки ліній (залежно від енергії проростання). Насіння пророщують на вологому фільтрувальному папері в ростильнях в темній камері при температурі 25°C. Довжина корінця у проростків не повинна перевищувати 1,0-1,5 см. Після пророщування, одну партію проростків (25 або 50 насінин) перекладають у марлеві мішечки, які занурюють у водяний термостат та прогрівають протягом 2-х годин для гібридів та 1-ї години для ліній при температурі 39°C. Контролем є проростки (25 або 50 насінин – друга партія), поміщені і дистильовану воду при кімнатній температурі з тією ж експозицією.

Стійкість рослин до втрати води визначають шляхом зневоднення їх над 16% розчином хлористого натрію. Проростки розміщують на капронові сітки в ексікатори з дистильованою водою. Дослід проводять в темній камері при температурі 20°C ($\pm 0,5$).

Після прогріву однієї партії проростків та зневоднення другої їх викладають на звичайне скло та зверху накривають вологою марлею (щоб не підсихав чохлак). Спочатку на головному корені роблять продовжний зріз (бажано точно по середині кореневого чохлака) лезом звичайної бритви, потім відрізають кінчик (до 2,5 мм). Перед тим, як помістити зріз на предметне скло, його протягом 25-30 секунд фарбують в розчині Люголя (1% розчин йоду в 2% розчині йодистого калію). При розміщенні на предметному склі його орієнтують

до покривного скла, після цього корені переглядають під мікроскопом і проводять візуальну оцінку вмісту крохмалю в клітинах кореневого чохла. В контрольних коренях також визначають вміст крохмалю.

Найбільш інтенсивне розчинення крохмалю спостерігається в клітинах кореневого чохла нестійких зразків кукурудзи.

Зразки за інтенсивного гідролізу статолітного крохмалю в клітинах кореневого чохла після зневоднення (**посухо-стійкість**) поділяють на групи:

1. Високопосуhostійкі (гідролізовано крохмалю до 35%).
2. Посуhostійкі (гідролізовано крохмалю від 36 до 47%).
3. Непосуhostійкі (гідролізовано крохмалю понад 48%).

При прогріві проростків (**жаростійкість**) поділяють:

1. Високожаростійкі (гідролізовано крохмалю до 40%).
2. Жаростійкі (гідролізовано крохмалю від 41 до 50%).
3. Середньожаростійкі (гідролізовано крохмалю від 51 до 55%).
4. Нежаростійкі (гідролізовано крохмалю понад 56%).

3.5. Оцінка та добір рослин за ступенем розвитку кореневої системи [66]

Вузьким місцем в селекції залишається проблема добору вихідного матеріалу за ступенем розвитку кореневої системи, як поєднання посуhostійкості, вилягання та продуктивності рослин.

Оцінку та добір рослин проводять при їх вирощуванні до повної стиглості у вегетаційних посудинах ємкістю 10-15 кг сухого ґрунту. Залишають в посудині по одній рослині, які самозапильють. Після дозрівання качани збирають та етикують, а рослини зрізають по нижньому міжвузлі. Посудини з рослинами попередньо заливають водою, потім відмивають корені, поміщають у решето з металевої сітки з отворами 1,0 ×

1,0 мм та високими бортиками і сушать в сушильних шафах при температурі +105°C.

Візуально визначають ступінь «опушеності» коренів волосками, підраховують кількість повноцінних повітряних та вузлових коренів різного порядку. Відбирають рослини з добре розвиненою кореневою системою (особливу увагу приділяють повітряним кореням). Після цього проводять ще II-III цикли добору та самозапилення виділених рослин.

За результатами вивчення кореневої системи кукурудзи добирають зразки, стійкі до посухи та кореневого вилягання рослин, на основі таких показників:

- повітряні корені – 10-15 шт.;
- корені 3-го ярусу – 8-12 шт.;
- корені 2-го ярусу – 7-9 шт.;
- корені 1-го ярусу – 7-9 шт.;
- зародкові корені – 7-8 шт.;
- «опушеність»* - 3-5 балів.

Примітка: «опушеність»: висока – 5 балів; добра – 4 бали; середня – 3 бали; низька – 1-2 бали.

3.6. Визначення посухостійкості за зміною електричного опору тканин листків [66]

Метод масової діагностики посухостійкості рослин кукурудзи здійснюють шляхом визначення зміни електричного опору тканин листка (ЕОТЛ), до в'янення (контроль) та після в'янення (варіант) за допомогою пристрою ЕСТЛП – 1А. Використовують листки кукурудзи (3-4-й зверху), які зрізають з рослини та в лабораторних умовах визначають ЕОТЛ. Електроди занурюють в середню частину листка, виключаючи попадання їх в центральну та крупні жилки. Повторність визначення 8-10 листків. Після зняття показників приладу, листки підсушують на повітрі при розсіяному світлі до їх

в'янення та знову вимірюють ЕОТЛ. Процедуру повторюють кожні 30 хвилин протягом 1,5-2 годин.

Визначають ступінь посухостійкості за різницею ЕОТЛ між дослідним варіантом та контролем та виражають у відсотках за формулою 1:

$$\text{ЕОТЛ} = \frac{(\text{дослід} - \text{контроль}) \times 100}{\text{контроль}}, \text{ (формула 1)}$$

Чим вищий показник ЕОТЛ, тим менша посухостійкість зразка (лінії, сорту, гібрида).

Для визначення жаростійкості зразків листки кукурудзи поміщають у водяний термостат з температурою води до 55°C на 30 хвилин, після чого їх просушують між пластинами з фільтрувального паперу і вимірюють електропровідність листків. За контроль приймають показники приладу, зняті з листків до теплової обробки.

Жаростійкість визначають за різницею між кінцевим та вихідним значенням електропровідності листків (формулою 2):

$$P = \frac{1}{P_K} - \frac{1}{P_B}, \text{ (формула 2),}$$

де: P – показник жаростійкості;

P_к – кінцеве значення електричного опору;

P_в – вихідне значення.

Високі значення показника P вказують на низьку жаростійкість зразка (лінії, сорту, гібрида) і навпаки.

3.7. Визначення жаростійкості кукурудзи модифікованим методом Ф.Ф. Мацькова [66]

В основі методу лежить визначення інтенсивності побуріння листків від феофітину, який утворюється в результаті проникнення 0,2 N розчину соляної кислоти в пошкоджені тканини листових пластинок під впливом дії температури

+55...57°C. Цей метод оцінки жаростійкості рослин модифікований стосовно культури кукурудзи.

Для цього зрізане неушкоджене листя (3-4 шт.), відділене від центральної жилки розрізають на 3-4 частини довжиною 7-8 см. Пластинки нанизують на гачки з етикеткою з зазначенням варіанту досліду та занурюють у водяну баню за температури води +55°C (на перших етапах розвитку) та +57°C (на пізніх етапах розвитку) при оцінці інбредного селекційного матеріалу. Для гібридів кукурудзи прогрівання пластинок проводять за температури +58...60°C.

Після експозиції в водяному термостаті пластинки листків охолоджують в дистильованій воді протягом 5 хвилин. Після їх переносять у вологу камеру на 2 години, надалі занурюють в посудину з розчином 0,2 N соляної кислоти на 20 хвилин для ліній кукурудзи та на 30 хвилин для гібридів, а потім промивають дистильованою водою кімнатної температури. Проводять візуальну оцінку та визначають відсоток побурілої площі листка. За контроль беруть листки, які не підлягали дії високих температур, але витримувалися протягом 30 хвилин в посудині з дистильованою водою при кімнатній температурі. Ступінь жаростійкості зразків встановлюють залежно від побуріння листків. Чим сильніше був ушкоджений лист, тим швидше і в більшій кількості з'являлися на ньому бурі плями. Час появи плям, їх кількість і площа за одиницю часу слугують критерієм оцінки жаростійкості листя.

Для остаточного визначення ступеня жаростійкості відсотки умовно класифікують наступним чином:

- високожаростійкі – до 5% побуріння листової пластинки;
- жаростійкі – від 6 до 10%;
- середньожаростійкі – від 11 до 19%;
- слабожаростійкі – від 20 до 33%;
- нежаростійкі – від 34% і більше.

3.8. Добір вихідного селекційного матеріалу кукурудзи на жаростійкість [67]

Метод дозволяє крім загальної оцінки нових ліній за жаростійкістю проводити цілеспрямований добір в різних генераціях самозапилення селекційних популяцій.

Для цього в польових умовах чи вегетаційних посудинах висаджують зразки кукурудзи після 2-3 генерацій самозапилення. На початку цвітіння волоті і качан накривають ізоляційними пакетами. При розкриванні від 30 до 50% пиляків волоті зрізають разом з ізолятором (7-8 шт. кожного зразка з відміткою номеру рослин). В лабораторних умовах для контролю 2-3 зрізані волоті поміщують у посудину з дистильованою водою.

Решту зразків кладуть у термостат та прогрівують за температури +40...41°C з експозицією 30 хвилин. Під час роботи із суцвіттям ізолятори з нього не знімають, що забезпечує накопичення пилку та запобігання засміченню. Після теплової обробки волоті в ізоляторах переносяться у поле і наносять пилки з дослідних волотей відповідно до номеру рослин на приймочки.

Під час збирання кукурудзи в фазі повної стиглості проводять оцінку зразків та відбирають добре озернені качани для пересіву наступного року. Таким чином проводять подальший добір до повної гомозиготності лінії.

Жаростійкість визначають, порівнюючи озерненість качана дослідного зразка з контролем (у %) і умовно поділяють на 5 груп:

- 1 – високожаростійкі – 80-100% - 5 балів;
- 2 – жаростійкі – 60-80% - 4 бали;
- 3 – середньожаростійкі – 40-60% - 3 бали;
- 4 – слабожаростійкі – 20-40% - 2 бали;
- 5 – нежаростійкі – 0-20% - 1 бал.

Прогрівання пилку при температурі $+40^{\circ}\text{C}$ є найбільш оптимальним для характеристики зразків кукурудзи за жаростійкістю. Температурний режим $+41^{\circ}\text{C}$ є більш жорстким для оцінки та виділення генотипів, особливо на перших етапах добору самозапиленних рослин. Але при необхідності оцінки значної кількості генотипів з метою підвищення ефективності селекції самозапиленних ліній за цією ознакою тепловий обробіток пилку при температурі $+41^{\circ}\text{C}$ цілком припустимий.

Завдяки використанню неведеного методу селекціонер може проводити масову оцінку самозапилюваних рослин та здійснювати добір генотипів кукурудзи за ознакою жаростійкості впродовж різних генерацій самозапилення до повної гомозиготності.

3.9. *Визначення посухостійкості ліній і гібридів кукурудзи в польових умовах* [96]

Оцінювання посухостійкості слід проводити за комплексом морфологічних, біологічних та фізіологічних ознак за наявності посушливих умов, що дозволяє провести комплексну оцінку посухостійкості ліній і гібридів кукурудзи. Для оцінки використовують балову шкалу від 1 до 9 згідно з наведеною нижче таблицею 2.

Наявність посухи, а відповідно і потребу ідентифікації ознак посухостійкості оцінюють у найбільш критичні фази розвитку рослин відносно потреби у волозі – початок викидання волоті – до формування зерна. Зразок отримує остаточну оцінку посухостійкості за найнижчим показником балу комплексної оцінки рослин кукурудзи, який виявлено хоча б в одному місці будь-якого року проведення експертизи.

Таблиця 2

Ознаки, за якими визначається посухостійкість кукурудзи в польових умовах:

<i>№</i>	<i>Ознака</i>	<i>Ступінь прояву ознаки</i>	<i>Бал</i>
1	2	3	4
1	Тривалість затримки між термінами цвітіння жіночих і чоловічих суцвіть, діб	непосухостійкі – понад 6 діб	1
		слабкопосухостійкі – 5–6 діб	3
		середньопосухостійкі – 3–4 доби	5
		посухостійкі – до 2 діб	7
		високопосухостійкі – 0 діб	9
2	Наявність безплідних рослин, %	непосухостійкі – понад 30 %	1
		слабкопосухостійкі – 21–30 %	3
		середньопосухостійкі – 11–20 %	5
		посухостійкі – 6–10 %	7
		високопосухостійкі – 0–5 %	9
3	Загальний стан рослин	непосухостійкі – рослини зів'яли і засихають	1
		слабкопосухостійкі – втрата тургору, в'янення рослин	3
		середньопосухостійкі – втрата тургору із здатністю до відновлення	5
		посухостійкі – рослини дещо пригнічені	7
		високо посухостійкі – стан рослин добрий	9
4	Череззерниця, %	непосухостійкі – понад 50 %	1
		слабкопосухостійкі – 31–50 %	3
		середньопосухостійкі – 11–30 %	5
		посухостійкі – 6–10 %	7
		високопосухостійкі – 0–5 %	9

1. Тривалість затримки між термінами цвітіння жіночих і чоловічих суцвіть, діб

Фенологічні спостереження проводяться під час цвітіння кукурудзи. На кожній ділянці окремо візуально визначають

дату повного цвітіння чоловічих (волоті) і жіночих суцвіть (качан). Час цвітіння волоті визначають, коли 50 % рослин мають видимі пиляки в середній третині головної гілки, а у жіночих суцвіть з'являються 50 % приймочок. Тривалість затримки у цвітінні чоловічих і жіночих суцвіть визначають як різницю тривалості періоду сходи–цвітіння качанів і сходи–цвітіння волоті.

2. Наявність безплідних рослин, %

Підрахунки проводять під час збирання врожаю. Визначають як відсоток рослин без продуктивних качанів до загальної їх кількості.

3. Загальний стан рослин

Спостереження проводяться під час вегетації кукурудзи за наявності посухи. Період спостереження: з фази початку викидання волотей +30 діб (критична фаза водопостачання для кукурудзи) з інтервалом проведення обліків кожні 10 діб.

4. Череззерниця, %

Спостереження проводяться під час збирання врожаю. Візуально визначається відсоток не зав'язаних зерен на качанах.

Комплексна оцінка (за чотирма ознаками) посухостійкості сортів (гібридів) кукурудзи:

1. Не посухостійкі $\Sigma = < 12$ балів (середнє < 3);
2. Слабко посухостійкі $\Sigma = 12-19$ балів (середнє 3–4);
3. Середньо посухостійкі $\Sigma = 20-27$ балів (середнє 5–6);
4. Посухостійкі $\Sigma = 28-35$ балів (середнє 7–8);
5. Високо посухостійкі $\Sigma = 36$ балів (середнє 9).

Розділ 4

ПІДСУМКИ

У збільшенні валових зборів кукурудзи зростає роль інноваційних методів селекції, які сприяють створенню і впровадженню у виробництво нових, більш досконалих гібридів, що є економічно ефективнішим порівняно з інтенсифікацією технології її вирощування [97]. Доведено, що у формуванні продуктивності кукурудзи частка впливу генотипу гібрида становить 50%, агротехнічних прийомів – 30%, і кліматичних умов – 20% [98]. При цьому генетичний потенціал сучасних гібридів зріс завдяки селекції більш ніж у 1,5 рази, порівняно з гібридами, які вирощувались у сімдесяті роки минулого століття [97].

На сучасному етапі селекційні установи пропонують аграріям нові гібриди, які здатні забезпечувати максимальну врожайність за умови високого агрофону [99, 100]. За реальних умов сьогодення, коли сільгоспвиробник працює в умовах далеких від оптимальних, при недостатній забезпеченості добривами, біостимуляторами, засобами захисту, а жорсткі негативні прояви погоди дедалі частішають, має місце – недобір продукції, який постійно зростає [101]. При цьому генетичний потенціал сучасних гібридів в умовах недостатнього зволоження реалізується лише на 28–30% [102–103]. До того ж, річні коливання врожаю одного і того ж гібрида можуть бути дво- і трикратними у зонах достатнього вологозабезпечення і п'яти-шестикратними – в посушливих регіонах [1].

Для того щоб ефективно протистояти всьому комплексові несприятливих чинників середовища гібрид повинен мати достатньо високу адаптивність до конкретних кліматичних умов та характеризуватись стабільністю у реалізації врожайного потенціалу [97]. Вважається, що гібрид з середньою, але стабільною врожайністю має більшу економічну

цінність, ніж гібрид з потенційно високою врожайністю, яка значно коливається [1]. Для одержання високих та стабільних урожаїв зерна кукурудзи у кожному господарстві необхідно вирощувати спектр гібридів, які мають різноманітний тип реакції на мінливі умови середовища, в тому числі, інтенсивного типу – для вирощування при достатньому зволоженні; гомеостатичні – адаптовані до посушливих умов; середньопластичні – які характеризуються широким адаптивним потенціалом і забезпечують відносно високі урожаї за нестабільних погодних факторів [21].

При доборі кращих гібридів перед селекціонером постає дуже складне завдання щодо правильної оцінки їх потенціалу в різних ґрунтово-кліматичних умовах [1]. Зокрема, для умов степової зони України гібриди повинні бути максимально стресвитривалими і, у той же час, формувати високу врожайність при сприятливих умовах [11]. Тому існує два підходи до вибору оптимального типу гібридів: добір середньопластичних, з високою екологічною стабільністю для вирощування при нестійких погодних умов за роками, та високоінтенсивних, здатних максимально ефективно використовувати запаси вологи, елементи живлення і формувати максимальні врожаї за сприятливих умов, і, у першу чергу, при зрошенні [1, 104].

Отже, подальше пристосування та адаптація гібридів кукурудзи до несприятливих континентальних умов України, з огляду на постійні зміни клімату та збільшення потреб у фуражному та продовольчому зерні, повинно базуватись на глибокій оцінці адаптивних характеристик нових гібридів, детальному аналізу їх норми реакції на зміни умов вирощування та стійкості до стресових погодних факторів. Необхідне широке впровадження у виробництво стресостійких та високопластичних гібридів кукурудзи, адаптованих до різних конкретних кліматичних умов України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *Від сорту до гібрида*: селекція, насінництво, технологія кукурудзи: монографія; за ред. академіка НААН Б.В. Дзюбецького. Київ: Аграрна наука, 2022. 260 с. DOI: 10.31073/978-966-540-560-3
2. *Методологія* створення вихідного матеріалу кукурудзи та синтезу гібридів (ФАО 150-300) різних напрямків твикористання для умов всіх ґрунтово-кліматичних зон України: вид. друге, доопр. і допов. Одеса: Видавничий дім «Гельветика», 2024. 98 с. DOI: 10.31867/978-617-554-366-5 /01
3. Керечки Б., Зарич Л., Лазич-Янчич В. Некоторые физиологические показатели устойчивости кукурузы к засухе и высоким температурам. *Кукуруза и сорго*. 1994. №4. С. 21–23.
4. Коломієць Г., Титар В., Романенко А. Про глобальну зміни клімату та перспективи. URL : http://pryingul.inf.ua/articles_archives/own_articles/pro-globalnu-zminu-klimatu-ta-perspe (дата звернення 12.06.2025)
5. Aldrich S.R., Scott W.O., Hoefft R.G. Modern corn production. Third edition. Illinois, USA, 1986. 358 p.
6. *Сорго*: технологія, переробка, використання, насінництво та селекція. Каталог гібридів та сортів. Державна установа Інститут зернових культур НААН України. Дніпро. 2023. 68 с.
7. Мустяца С.И. Влияние засухи на некоторые признаки скороспелой кукурузы и селекция на засухоустойчивость. *Кукуруза и сорго*. 2005. № 5. С. 6–12.
8. Maestri E., Klueva N., Perrotta C. et al. Molecular genetics of heat tolerance and heat shock proteins in cereals. *Plant Mol. Biol.* 2002. Vol. 48. P. 667–681.
9. Божко Л. Ю. Оцінка впливу екстремальних явищ на продуктивність сільськогосподарських культур: навчальний

- посібник. Одеса: видавництво «Екологія». 2013. 240 с.
10. Щербак В. С., Нагорнов А. И., Рымина Э. К. Действие засухи в онтогенезе кукурузы (обзор литературы). *Кукуруза и сорго*. 1992. № 2. С. 40–43.
 11. Дзюбецький Б. В., Черчель В. Ю. Селекція гібридів кукурудзи, стійких до екстремальних умов вирощування. *Бюлетень Інституту зернового господарства УААН*. Дніпропетровськ, 2007. № 31–32. С. 3–11.
 12. Панькевич С. Г. Пристосування і стійкість рослин до несприятливих факторів середовища. Луцький національний технічний університет. *Лекції*. https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/панькевич/page10.html
 13. Колупаєв Ю. Є. Основи фізіології стійкості рослин: Курс лекцій. Харківський національний аграрний університет ім. В. В. Докучаєва. Харків: КП «Міська друкарня», 2010. 122 с.
 14. Kolupaev, Y.E., Yastreb, T.O., Ryabchun, N.I. et al. Cellular Mechanisms of the Formation of Plant Adaptive Responses to High Temperatures. *Cytology and Genetics*, 2023, 57(1), pp. 55–75.
 15. Філіпов Г. Л. Підвищення посухостійкості гібридів кукурудзи. *Агроном*. Київ, 2017. № 1. С. 98–100.
 16. Колупаєв О. Є., Карпець Ю. В. Формування адаптивних реакцій рослин на дію абіотичних стресорів. Київ: Основа, 2010. 350 с.
 17. Черчель В. Ю., Дзюбецький Б. В., Марочко В. А. Адаптивні властивості кукурудзи. *Пропозиція. Український журнал з питань агробізнесу*. 2014. № 3. С. 76–80.
 18. Огінова І. О. Вплив абіотичних факторів на ріст кукурудзи. Publishing house Education and Science sro. Praha, 2010. URL: http://www.rusnauka.com/12_ENXXI_2010/Biologia.htm (дата звернення: 10. 02. 2018).
 19. Огінова І. О. Основні цитогенетичні зміни у кореневих меристемах культурних рослин на фоні гербіцидів. *Вісник Дніпропетровського університету*. Біологія. Екологія.

2008. Т. 2, Вип. 16. С. 112–116.

20. Кошкин Е. И. Физиология устойчивости сельскохозяйственных культур. М: «Дрофа», 2010. 638 с.
21. Гудзь Ю. В., Лавриненко Ю. А. Теория и практика адаптивной селекции кукурузы: монография. Херсон: Борисфен-полиграфсервис, 1997. 170 с.
22. Гродзинский Д. М. Надежность растительных систем. Киев: Наук. думка, 1983. 368 с.
23. Грабовська Т. О. Селекція посухостійкого вихідного матеріалу кукурудзи плазми Айодент з використанням фізіологічних методів: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.05 / Інститут зернового господарства УААН. Дніпропетровськ, 2008. 16 с.
24. Регуляция адаптивных реакций растений / ред. В. Е. Петрова. Казань: Издательство Казанского университета, 1990. 126 с.
25. Клітинні механізми адаптації рослин до несприятливих впливів екологічних чинників у природних умовах / ред. О. М. Кордюм. Київ: «Наукова думка», 2003. 226 с.
26. Москалец Т. З. Механізми формування та прояву еколого-адаптивних властивостей представників триби Triticeae за різних чинників навколишнього середовища: автореф. дис. ... д-ра біол. наук: 03.00.16 / Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара. Дніпро, 2017. 41 с.
27. Иванов С. Стресс и устойчивост при растенията. *Растение-вѣдни науки*. София. 2004. № 41. С. 207–215.
28. Гаркава О. М. Оцінка та добір селекційного матеріалу кукурудзи на жаро- та посухостійкість: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.05 / Інститут зернового господарства УААН. Дніпропетровськ, 2006. 16 с.
29. Молчан И.М., Ильина Л.Г., Кубарев П.И. Спорные вопросы в селекции растений. *Селекция и семеноводство*. 1996. №1–

2. С. 36–51.

30. Научно-обоснованная система земледелия Днепропетровской области. Днепропетровск: ОБЛПОЛИГРАФ-ИЗДАТ, 1988. 336 с.
31. Система ведення сільського господарства Дніпропетровської області. Дніпропетровськ: Інститут зернового господарства УААН, 2005. 432 с.
32. Наукові основи агропромислового виробництва в зоні Степу України / редкол.: М.В. Зубець (голова) та ін. Київ: Аграрна наука, 2010. – 986 с.
33. *Пащенко Ю.М.* Агрокліматичний потенціал зони Степу, добір гібридів і оптимізація їх структури за групами стиглості. *Бюлетень Інституту зернового господарства УААН*. Дніпропетровськ, 2007. № 30. С. 44–51.
34. *Кукурудза: технології, насінництво, економіка: монографія; за ред. академіка НААН Б.В. Дзюбецького.* Київ: Аграрна наука, 2024. 244 с. <https://doi.org/10.31073/978-966-540-607-5>
35. *Федько М.М.* Селекція середньопізніх ФАО>400 гібридів кукурудзи (*Zea Maize L.*) на високу адаптивну здатність та екологічну стабільність. *Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України*. Дніпропетровськ, 2013. № 5. С. 26–31.
36. *Лавриненко Ю.О., Коковіхін С.В., Найдьонов В.Г., Нетреба О.О.* Селекційно-технологічні аспекти підвищення стійкості виробництва зерна кукурудзи в умовах південного Степу. *Бюлетень Інституту зернового господарства УААН*. Дніпропетровськ, 2006. № 28–29. С. 136–143.
37. *Коковіхін С.В., Іванів М.О., Нетреба О.О.* Ефективність вирощування кукурудзи на зерно в умовах зрошення півдня України залежно від гібридного складу та екологічного пункту випробування. *Бюлетень Інституту зернового господарства УААН*. Дніпропетровськ, 2010. № 39. С. 36–43.

38. Дзюбецький Б. В., Ільченко Л. А., Черчель В. Ю. [та ін.] Селекція середньопізніх гібридів кукурудзи для зони Степу. *Зрошуване землеробство*. Херсон : Айлант, 2005. Вип. 44. С. 95–98.
39. Паламарчук В.Д., Паламарчук О.Д. Перспективи вирощування та використання кукурудзи для отримання біопалива. *Збірник наукових праць ВНАУ*. Відновлювальні джерела енергії. Вінниця, 2011. №8 (48). С. 13–19.
40. Моргун В.В., Шапчина Т.М., Кірізії Д.А. Фізіолого-генетичні проблеми селекції рослин у зв'язку з глобальними змінами клімату. *Физиология и биохимия культурных растений*. 2006. Т.38, № 5. С. 371–389.
41. Чучмий И.П., Моргун В.В. Генетические основы и методы селекции скороспелых гибридов кукурузы. Київ: Наукова думка, 1990. 284 с.
42. Зозуля А.Л., Бондаренко Л.В., Литун П.П. Стратегия создания гибридов кукурузы с высоким адаптивным потенциалом. *Урожай и адаптивный потенциал экологической системы поля*. Київ: УААН, 1991. С. 85–88.
43. Созинов А.А., Корчинский А.А., Литун П.П. Генетический аспект стабильности производства зерна. *Урожай и адаптивный потенциал экологической системы поля*. Київ: УААН, 1991. С. 2–13.
44. Молчан И.М. Генетические особенности пластичного сорта и принципы адаптивной селекции. *Селекция и семеноводство*. 1993. №3. С. 10–15.
45. Гурьев Б.П., Гурьева И.А. Селекция кукурузы на раннеспелость. М.: ВО«Агропромиздат», 1988. 171 с.
46. Соколов Б.П. История и методы селекции. *Основы селекции и семеноводства гибридной кукурузы*. М.: Из-во «Колос», 1968. С. 7
47. Ивахненко А. Н. Селекция гибридов для северных районов

- кукурузосіяння. Основи селекції і семенівництва гібридної кукурузи. М.: Видавництво «Колос», 1968. С. 203–248.
48. Кобелев Ю.К., Кобелева Э.Н. Методические указания по селекции и семеноводству сложных гибридов кукурузы. М.: ВАСХИЛ, 1984. 36 с.
49. Пинтер Я., Сунди Т., Ковач К. Основи створення свєрхранних гібридів. *Кукуруза и сорго*. 1995. № 2. С. 20–21.
50. Jugenheimer R.W., Williams K. E., Harrison R. L. Performance of Experimental Corn Hybrids in Illinois. *Agricultural Experiment Station*. 1959. Bul. 652. 60 p.
51. Югенхеймер Р.У. Кукуруза: улучшение сортов, производство семян, использование : пер. з англ. Г. В. Дерягина, Н. А. Емельяновой; [ред. с з предсл. Г. Е. Шмараева]. М.: Колос, 1979. 519 с.
52. Кравченко В.М. Вплив рівня гетерозису сестринських схрещувань на основні господарсько-цінні ознаки модифікованих гібридів кукурудзи: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук. Дніпропетровськ, 2007. 19 с.
53. Соколов Б.П. Гибриды кукурузы. М.: Сельхозгиз, 1955. 144 с.
54. Коварский А.Е. Методы создания исходного материала для повышения эффекта гетерозиса при селекции кукурузы в Молдавии. *Селекция и семеноводство кукурузы*. М.: «Колос», 1971. С. 67–78.
55. Пинер М. Работа по селекции гибридной кукурузы. *Селекция и семеноводство кукурузы*. М.: «Колос», 1971. С.177–187.
56. Районовані сорти і гібриди сільськогосподарських культур по Українській РСР на 1980 рік. Київ: «Урожай», 1979. 232 с.
57. Волкодав В.В., Бариков Б.А., Животков Л.О. та ін. Довідник по апробації сільськогосподарських культур. Київ:

- «Урожай», 1990. 496 с.
58. *Филев Д.С.* Выращивание высоких урожаев кукурузы в районах недостаточного увлажнения. Днепропетровск: «Промінь», 1975. 286 с.
59. *Григорюк І.П., Михальський М.Ф., Серга О.І.* Біоенергетичні аспекти стійкості рослин до посухи. *Физиология и биохимия культ. растений*. 2003. Т.35, № 6, С. 494–504.
60. *Методи дослідження і способи оцінки стійкості рослин до посухи і високої температури: (Метод. посіб.)* / [І.П. Григорюк, В.І. Ткачов, С.В. Савінський та ін.]. Київ: «Знання», 1999. 89 с.
61. *Winter S.R., Musick J.T. and Porter K.B.* Evaluation of Screening Techniques for Breeding Drought-Resistant Winter Wheat. *Crop Science*. May–June 1988. Vol. 28. P. 512-516.
62. *Методические указания по определению жаро- и засухоустойчивости кукурузы.* Днепропетровск: ВНИИ кукурузы, 1979. С. 5–7.
63. *Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям* (Методическое руководство). Л.: ВИР. 1988. 228 с.
64. *Morant-Avice A., Ferard G., Coudred A.* Effect of Osmotic Stress on Transpiration and Absorption Rates in Triticale and Its Parental Species. *Biologia Plantarum (Praha)*. 1989. №31 (4). P. 241–246.
65. *Fisher K.S., Johnson E.C., Edmeades G.O.* Breeding and selection for drought resistance in tropical maize. Mexico, 1983. 60 p.
66. *Методичні рекомендації з діагностики та добору селекційного матеріалу кукурудзи на адаптивну стійкість* / [Б. В. Дзюбецький, А. В. Черенков, Г. Л. Філіпов та ін.]. Дніпропетровськ : Інститут зернового господарства НААН України, 2011. 21 с.
67. *Акулиничев В.Ф.* Статистический метод количественной оценки засухоустойчивости генотипа. *Селекция и семеноводство*.

1995. № 2. С. 20–21.

68. Eberhart S.A., Russell W.A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 1966. Vol 6, №1. P. 36–40.
69. Finley K.W., Wilkinson G.N. The analysis of adaptation in a plant breeding programme. *Austr. J. Agric.* 1963. Vol.14, №6. P. 742–754.
70. Черчель В.Ю. Оптимізація селекції середньоранніх гібридів кукурудзи для неполивних умов північного Степу України : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук. Дніпропетровськ, 1997. 19 с.
71. Боденко Н. А. Добір та оцінка вихідного матеріалу на посухо- та жаростійкість для селекції середньостиглих гібридів кукурудзи : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук. Дніпропетровськ, 2003. 19 с.
72. Федько М. М. Селекційна цінність самозапиленних ліній кукурудзи різних зародкових плазм при створенні гібридів адаптованих до умов Степу України : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук. Дніпропетровськ, 2009. 20 с.
73. Chernobai L.N., Ponurenko S.G., Sikalova O.V. Evaluation of stability for maize genotype characteristics by drought tolerance indices under different hydrothermal conditions. *Wschodnio-europejskie Czasopismo Naukowe* (East European Scientific Journal). 2016. Vol. 8, № 6. P. 69–75.
74. Молодченкова О.О., Адамовская В.Г., Цисельская Л.Й., Левицкий Ю.А., Безкровная Л.Я., Тихонова О.В., Сагайдак Т.В. Возможности использования биохимических показателей в селекции полевых культур на качество и устойчивость к биотическим и абиотическим факторам окружающей среды. *Селекція і насінництво*. 2008. Вип. 96. С. 289–296.
75. Григорюк И.А., Ткачев В.И., Савинская С.В., Мусиенко Н.Н.

- Современные методы исследования и оценки засухо- и жаростойкости растений. Киев : Науковий світ, 2003. 139 с.
76. Корхова М.М., Уліч Л.І. Вивчення посухостійкості сортів озимої пшениці порівняльним експрес-методом. *Агробіологія*. 2010. Вип. 2 (69). С. 113–115.
77. *Методика державного сортовипробування сільськогосподарських культур* / за ред. В. В. Волкодава. 2000. Київ : Алефа, С. 10–50.
78. Gavuzzi P., Rizza F., Palumbo M., Campanile R. G., Ricciardi G. L., Borgh B. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journals of Plant Science*. 1997. Vol. 77, № 4. P. 523–531.
79. Makar O.O., Patsula O.I., Kavulych Y.Z., Batrashkina T.I., Bunio L.V., Kozlovskyy V.I., Vatamaniuk O., Terek O.O., Romanyuk N.D. Excized leaf water status as a measure of drought resistance of Ukrainian spring wheat. *Studia Biologica*. 2019. Vol. 13, № 2. P. 41–54.
80. Talebi R., Fayaz F., Naji A. M. Effective selection criteria for assessing drought stress tolerance in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *General and Applied Plant Physiology*. 2009. Vol. 35, № ½. P. 64–74.
81. Geravandi M., Farshadfar E., Kahrizi D. Evaluation of some physiological traits as indicators of drought tolerance in bread wheat genotypes. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2011. Vol. 58, № 1. P. 69–75.
82. Mehraban A., Tobe A., Gholipouri A., Amiri E., Ghafari A., Rostaii M. Evaluation of drought tolerance indices and yield stability of wheat cultivars to drought stress in different growth stage. *World Journal of Environmental Biosciences*. 2018. Vol. 7, № 1. P. 8–14.
83. Fernandez G.C.J. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. *Proceeding of the International Symposium on*

Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress. Aug. 13–16, Shanhua, Taiwan, 1992. P. 257–270.

84. Уліч Л.І., Бочкарьова Л.П., Лисікова В.М., Семеніхін О.В. Посухостійкість сортів пшениці озимої (*Triticum aestivum* L.), придатних до поширення в Україні. *Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин*. 2008. № 1. С. 106–113.
85. Вус Н.О., Кобизева Л.Н., Безугла О.М. Селекційна цінність зразків нуту за посухостійкістю в умовах східного Лісостепу України. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2017. № 4 (68). <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/9108>.
86. Farshadfar E., Jamshidi B., Cheghamirza K., da Silva J. A. T. Evaluation of drought tolerance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) using in vivo and in vitro techniques. *Annals of Biological Research*. 2012. Vol. 3, № 1. P. 465–476.
87. Dodig D., Zoric M., Knezevic D., King S.R., Surlan-Momirovic G. Genotype×environment interaction for wheat yield in different drought stress conditions and agronomic traits suitable for selection. *Australian Journal of Agricultural Research*. 2008. Vol. 59, № 6. 536–545.
88. Ержебаева Р. С., Дидоренко С. В., Кудайбергенов М. С., Даниярова А. К., Амангелдиева А. А. Поиск источников засухоустойчивости среди новой коллекции сои (*Glycine max*) в условиях юго-востока Казахстана. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2019. Т. 3, № 31. С. 63–73.
89. Силенко С. Оцінка генофонду чини посівної за посухостійкістю в умовах південного лісостепу України. *Аграрна наука та освіта в умовах Євроінтеграції*. 2018. С. 140–143.
90. Fisher R. A., Maurer R. Drought resistance in spring wheat cultivars. 1. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*. 1978. Vol. 29, № 5. P. 897–912.
91. Rosielle A.A., Hamblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science*. 1981. Vol. 21, № 6. P. 943–946.

92. Bouslama M., Schapaugh W.T. Stress tolerance in soybean. Part 1: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science*. 1984. Vol. 24, № 5. С. 933–937.
93. Mardeh A.S.S., Ahmadi A., Poustini K., Mohammadi V. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. *Field Crops Research*. 2006. Vol. 98, № 2–3. P. 222–229.
94. Dadbakhsh A., YazdanSepas A. Evaluation of drought tolerance indices for screening bread wheat genotypes in end-season drought stress conditions. *Advances in Environmental Biology*. 2011. Vol. 5, № 6. P. 1040–1045.
95. Sanjar P.E.A., Yazdan S.A. Evaluation of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes under pre- and post-anthesis drought stress conditions. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 2008. Vol. 10, № 2. P. 109–121.
96. *Визначення посухостійкості сортів (гібридів) кукурудзи в польових умовах. Методичні рекомендації / Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України; Національна академія аграрних наук України; Інститут зернових культур НААН України; Український інститут експертизи сортів рослин. Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2020. 8 с.*
97. Гадзало Я. М., Кириченко В. В., Дзюбецький Б. В. Стратегія інноваційного розвитку селекції і насінництва зернових культур в Україні: наук. вид. Київ-Харків-Дніпро. 2016. 32 с.
98. Литун П. П., Кириченко В. В., Петренкова В. П., Коломацкая В. П. Адаптивная селекция. Теория и технология на современном этапе. Харьков, 2017. 264 с.
99. Сільгоспвиробник з Вірджинії побив світовий рекорд з врожайності кукурудзи з гібридом Pioneer® P1197AM™. *Agroexpert – журнал практичний посібник аграрія*. URL: <http://www.agroexpert.ua/detail/article/silgospvirobnik-z->

virdzhiniji-pobiv-svitovii-rekord-z.html (дата звернення: 25.12.2015).

100. Сільгоспвиробник зі штату Вірджинія (США) знову встановив світовий рекорд врожайності кукурудзи з гібридом P1197AMTM від Pioneer®. *AgroNews – головні аграрні новини*. URL: <https://agronews.ua/node/86161> (дата звернення: 20. 12. 2017).
101. Созинов А. А., Корчинский А. А., Литун П. П. Генетический аспект стабильности производства зерна. Урожай и адаптивный потенциал экологической системы поля: сб. науч. тр. / под ред. П. П. Литуна. Киев: УААН, 1991. С. 2–13.
102. Жученко А. А. Адаптивный потенциал культурных растений (эколого-генетические основы). Кишинёв: Штиинца, 1988. 768 с.
103. Гродзинский Д. М. Надежность растительных систем. Киев: Наук. думка, 1983. 368 с.
104. Лавриненко Ю. О. Еколого-генетична мінливість кількісних ознак зернових культур та її значення для селекції в умовах зрошення: дис. ... д-ра с.-г. наук: 06.01.05 / Інститут зернового господарства УААН. Дніпропетровськ, 2005. 386 с.

Науково-методичне видання

**ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ У СТВОРЕННІ,
АДАПТАЦІЇ ТА ОЦІНЦІ ВИХІДНОГО МАТЕРІАЛУ
КУКУРУДЗИ НА СТРЕСТОЛЕРАНТНІСТЬ**

Науково-методичні рекомендації

Підписано до друку 23.07.2025.

Формат 60х84/16. Папір офсетний.

Друк цифровий.

Друк. арк. 3,25. Умов. друк. арк. 3. Обл.-вид. арк. 2,07.

Наклад 100 прим. Зам. № 1866.

Видавець та виготовлювач ТОВ «ТВОРИ».

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів
видавничої продукції серія ДК № 6188 від 18.05.2018 р.

21034, м. Вінниця, вул. Немирівське шосе, 62а.

Тел.: 0 (800) 33-00-90, (096) 97-30-934, (093) 89-13-852.

e-mail: info@tvoru.com.ua

<http://www.tvoru.com.ua>