

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНА УСТАНОВА ІНСТИТУТ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР**

**КУПАР ЮЛІЯ ЮРІЇВНА**

УДК 633.15:631.523/.527

**ІДЕНТИФІКАЦІЯ ГЕНЕТИЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ СЕЛЕКЦІЙНОГО  
МАТЕРІАЛУ КУКУРУДЗИ ПРИ ГЕТЕРОЗИСНІЙ СЕЛЕКЦІЇ**

06.01.05 – селекція і насінництво

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидат сільськогосподарських наук

Дніпро – 2021

**Дисертацією є рукопис.**

Робота виконана в Державній установі Інститут зернових культур НААН України на протязі 2013–2016 рр.

**Науковий керівник:**

доктор с. –г. наук, професор,  
академік НААН

**Дзюбецький Борис Володимирович,**

Державна установа Інститут зернових культур  
НААН України, завідувач відділу селекції  
зернових культур

**Офіційні опоненти:**

доктор сільськогосподарських наук, професор,  
академік НААН

**Лавриненко Юрій Олександрович,**

Інститут зрошуваного землеробства НААН  
України, головний науковий співробітник  
відділу селекції;

доктор сільськогосподарських наук, старший  
науковий співробітник,

**Хоменко Світлана Олегівна,**

Миронівський інститут пшениці імені  
В. М. Ремесла НААН України, завідувач  
лабораторії селекції ярої пшениці

Захист відбудеться «29» вересня 2021 р. о 10<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.353.01 при ДУ Інститут зернових культур НААН України за адресою: 49009, м. Дніпро, вул. Володимира Вернадського, 14; тел: (056) 236–26–18, e-mail: inst\_zerna@ukr.net.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці ДУ Інститут зернових культур НААН України за адресою: 49009, м. Дніпро, вул. Володимира Вернадського, 14.

Автореферат розісланий

«19» серпня 2021 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради



Дудка М. І.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Поряд зі створенням та покращанням вихідного матеріалу різних зародкових плазм не менш важливим завданням сучасної селекції кукурудзи залишається коректна та своєчасна його ідентифікація за генетичним походженням. Для цього використовується багато різних методів оцінки різноманітності вихідного матеріалу: за фенотипом, за гетерозисними показниками, за родоводом на основі даних «pedigree», за допомогою молекулярних генетичних маркерів та ін.

В останній час для ідентифікації зародкової плазми широко використовуються молекулярно-генетичні методи досліджень і ДНК-технології як більш дешеві, ефективні та результативні. Особливої уваги заслуговують методи RLFP, PCR та SNP, які дозволяють виявити внутрішньовидову мінливість на рівні ДНК, що робить можливим паспортизацію, класифікацію і розподіл вихідного матеріалу на групи залежно від їх генетичних взаємовідносин.

Одними з найбільш доступних та дешевих, порівняно з іншими типами маркерів, є SNP-маркери, які використовуються при широкогеномній селекції, що дозволяє замість ідентифікації окремих значущих маркерів використовувати для прогнозування прояву необхідної ознаки вплив усіх маркерів. За допомогою цих маркерів можна прискорити добір та оцінку кращих рекомбінантів і відкрити нові гетерозисні комбінації та групи. Проте результати подібних досліджень потребують перевірки селекційного матеріалу в конкретних польових та екологічних умовах.

Тому, порівняльна характеристика різних методів ідентифікації вихідного селекційного матеріалу таких, як система діалельних та топкросних схрещувань, класифікація за родоводом pedigree та біометричними показниками, використання SNP-маркерів є актуальним питанням сучасної селекції кукурудзи.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота є складовою частиною досліджень відділу селекції і насінництва зернових культур ДУ Інститут зернових культур НААН України, які здобувач виконав у 2013–2016 рр. за завданням 2011–2015 рр. (номер Державної реєстрації 0116U001239) «Розробити науково-методологічні основи селекції середньостиглих і середньопізніх гібридів кукурудзи (ФАО 300–500) адаптованих до умов Лісостепу і Степу України» згідно ПНД «Зернові культури»; у 2016–2020 рр. «Розробити агроекологічний комплекс підвищення продуктивності зернових культур на основі новітніх досягнень у селекції та ресурсо-адаптованих моделей технологій для різних сільськогосподарських зон» згідно ПНД «Технологія вирощування зернових культур. Селекція кукурудзи і сорго».

**Мета і задачі досліджень.** Встановлення генетичних дистанцій та селекційно-господарської цінності інбредних ліній кукурудзи селекції Інституту зернових культур НААН за допомогою різних методів визначення генетичного походження селекційного матеріалу кукурудзи.

Для досягнення мети було поставлено наступні завдання:

- виявити рівень спорідненості інбредних ліній кукурудзи різних генетичних груп на основі оцінки гетерозисних ефектів, показників ВОС, генетичних дистанцій;
- оцінити лінії *per se* за основними селекційними та господарсько-цінними ознаками та визначити їх комбінаційну здатність;
- визначити цінність ліній різних зародкових плазм кукурудзи в гетерозисній селекції високопродуктивних гібридів та визначити найбільш перспективні гетерозисні моделі для кожної групи геноплазм;
- дослідити вплив умов вирощування рослин на господарсько-цінні показники ліній та гібридів залежно від їх генетичного походження;
- виділити нові високоврожайні гібриди кукурудзи, які здатні забезпечувати високі і стабільні врожаї зерна.

*Об'єкт досліджень* – ідентифікація генетичного походження селекційного матеріалу кукурудзи (*Zea mays*) різних геноплазм.

*Предмет досліджень* – особливості прояву властивостей вихідного матеріалу інбредних ліній кукурудзи різних генетичних плазм (BSSS, Lancaster, Iodent та Змішана) та експериментальних гібридів за їх участю.

*Методи дослідження.* Метод SNP – генотипування. Методи польових досліджень: порівняльне випробування ліній різних геноплазм та гібридів створених за їх участю, відносно різних селекційних показників. Вимірювально-ваговий і статистичний – для визначення комбінаційної здатності та оцінки достовірності отриманих результатів.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Вперше порівняно методи ідентифікації генетичного походження самозапильних ліній генетичних плазм BSSS, Iodent, Lancaster, Змішана на основі «pedigree» на перших етапах селекції, запропоновані найбільш ефективні етапи ідентифікації самозапильних ліній в процесі їх створення і вивчення. Визначено залежність їхніх параметрів від умов років дослідження ВОС-показників, показників гіпотетичного гетерозису, генетичних дистанцій.

Виділено лінії з високою комбінаційною здатністю відносно врожайності зерна та низької збиральної вологості.

Досліджено варіювання основних господарсько-цінних ознак залежно від погодних умов років та генетичного походження ліній та гібридів. Визначені кращі гетерозисні моделі для кожної генетичної групи при створенні конкурентоздатних середньостиглих гібридів ДК315(Змішана)×BSSS, ДК633/325(Змішана)×Iodent, (ДК275М×ДК301(Iodent))×Lancaster та (ДК633/325(Змішана))×Змішана.

Виділено кращі тесткроси ліній групи BSSS – ДК721×ДК310, ДК721×ДК3705 та ДК315×ДК3821; Iodent – (ДК296С×ДК2953)×ДК2311, ДК633/325×ДК2575, (ДК296С×ДК2953)×ДК2575; Lancaster – ДК365×ДК6356, (ДК275М×ДК301)×ДК2973, (ДК275М×ДК301)×ДК6356; Змішана – ДК3044×ДК3151, ДК3151×ДК4454, ДК3151×ДК3155.

**Практичне значення одержаних результатів.** Визначено найбільш ефективні методи ідентифікації генетичного походження селекційного

матеріалу: ВОО-тест, SNP-аналіз для визначення генетичних дистанцій і рівень гіпотетичного гетерозису. Запропоновані найбільш перспективні лінії для використання в практичній селекції: ДК311 і ДК3151 – геноплазма BSSS; ДК364 і ДК277 – Iodent; ДК267MB і ДК6356 – Lancaster; ДК3155 і ДК2368 – Змішана.

До Державного реєстру сортів рослин, придатних до поширення в Україні, внесено нові середньоранні високоврожайні гібриди кукурудзи степового екотипу – ДН Фієста, ДН Астра та ДН Відрада та середньостиглий – ДН Булат, які за врожайністю зерна перевищують національні стандарти на 5–10 %.

Гібриди середньоранній – ДС Амага та середньостиглий – ДС Сула проходять державне сорто випробування.

**Особистий внесок здобувача.** Здобувачем сплановано та проведено польові і лабораторні дослідження, програму схрещувань і сорто випробування отриманого матеріалу, виконано супутні спостереження, заміри та обліки, зроблено аналіз результатів, складено наукові звіти. Дисертантом узагальнено наукові дослідження вітчизняних та зарубіжних вчених, сформульовано висновки і рекомендації для селекційної практики. Частка участі дисертанта у підготовлених та опублікованих наукових працях, надрукованих у співавторстві, складає 20–50 %. Авторство у створенні вже зареєстрованих чотирьох гібридів кукурудзи – 5 %.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертаційної роботи доповідались автором на науково-методичних радах ДУ Інститут зернових культур НААН України у 2014–2016 рр.; Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих вчених і спеціалістів «Роль наукових досліджень в забезпеченні процесів інноваційного розвитку аграрного виробництва України» (м. Дніпропетровськ, 25–26 травня 2016 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Наукові здобутки: проекти, дослідження, перспективи» (м. Старобільськ, 15–16 грудня 2020 р.).

**Публікації.** За результатами досліджень опубліковано 5 статей, у фахових наукових виданнях України – 4, 1 – у міжнародному фаховому виданні, 2 – тези наукових конференцій, отримано 4 авторських свідоцтва на гібриди.

**Структура та обсяг дисертаційної роботи.** Дисертаційна робота викладена на 182 сторінках комп'ютерного тексту (з них 139 сторінок основного тексту). Складається зі вступу, 6 розділів, висновків, рекомендацій, списку використаних джерел (289 найменувань, з яких – 63 латиницею). Роботу проілюстровано 63 таблицями, 7 рисунками та 2 додатками.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

### **Вихідний матеріал кукурудзи різних генетичних плазм при гетерозисній селекції (огляд літератури)**

На основі проведеного аналізу та узагальнення наукових публікацій

виявлено, що успішне ведення гетерозисної селекції кукурудзи можливе при знанні характеристик і особливостей генофонду інбредного вихідного матеріалу, його селекційної цінності та спадкових рис. Розглянуто використання молекулярно-генетичних методів при ідентифікації цінного вихідного матеріалу для селекції на гетерозис. Встановлено, що попри стрімкий розвиток сучасних методів ідентифікації та створення селекційного вихідного матеріалу, таких як гаплоїдія, застосування молекулярних маркерних генів, генна інженерія, тощо, остаточні висновки щодо напрямків використання генетичних ресурсів можна отримати лише після серії польових дослідів та випробування експериментальних гібридів.

### **Ґрунтово–кліматичні умови, методика проведення досліджень та вихідний матеріал**

Експериментальна частина роботи виконувалась в Дослідному господарстві «Дніпро» Державної установи Інституту зернових культур НААН України протягом 2013–2016 рр.

Агrometeorологічні умови при проведенні досліджень (2013–2016 рр.) відрізнялись від середніх багаторічних за температурним режимом, кількістю атмосферних опадів та їх розподілом в окремі місяці. Вегетація кукурудзи переважно відбувалась при достатній вологозабезпеченості, за винятком 2014 року, який характеризувався несприятливим гідротермічним режимом.

Сівбу здійснювали спеціальною селекційною сівалкою в оптимальні для кукурудзи строки при стійкому прогріванні ґрунту до 10–12°C. Розмір ділянок – 4,9 м<sup>2</sup>, повторність триразова. Густота стояння рослин формувалась вручну у фазі 4–5 листків, і становила 40 тис. шт./га – у селекційному та 50 тис. шт./га – в контрольному розсадниках. Збирання врожаю в розсадниках випробовування гібридів здійснювали спеціальними селекційними комбайнами, укомплектованими системою зважування та сенсорами визначення вологості зерна.

Експериментальні дані, обробляли за допомогою методів кореляційного, регресійного і дисперсійного аналізу за Б. А. Доспеховим (1985), параметри варіювання і коефіцієнт кореляції розраховували за методикою Г. Ф. Лакина (1990). Оцінку параметрів комбінаційної здатності в системі неповних тесткросних схрещувань здійснювали за методикою Г. К. Дремлюка, В. Ф. Герасименко (1991). Статистичну обробку даних виконували за допомогою програми Microsoft Excel, та спеціалізованої комп'ютерної програми Statistica 6.0. SNP-аналіз проводили за методикою Golden Gate assay з використанням Illumina Bead Xpress platform. Статистичний аналіз результатів проводився за програмою Genome Studio software. Робота виконувалася спільно з фірмою BioDiagnostics Inc (США).

Використали 40 самозапилених ліній кукурудзи, створених в ДУ ІЗК НААН, які належать до чотирьох найбільш розповсюджених генетичних плазм при селекції середньостиглих і середньопізніх гібридів:

- BSSS – ДК239МВ (St), ДК329МВ, ДК2323МВ, ДК2396МВ, ДК3824,

- ДК310, ДК3705, ДК311, ДК3821, ДКС3151;
- **Iodent** – ДК365 (St), ДК2038, ДК2311, ДК7408, ДК7420, ДК3867-7, ДК364, ДК55, ДК277, ДК2575;
  - **Lancaster** – ДК296 (St), ДК267МВ, ДК2953, ДК6353, ДК6356, ДК3044, ДК2973, ДК4273, ДК1863, ДК1853;
  - **Змішана** – ДК3151 (St), ДК402, ДК401, ДК4454, ДК446, ДКМ-3, ДК440, ДК3155, ДК4441, ДК2368.

На основі цих ліній за діалельною схемою було отримано 180 простих гібридів. За топкросною схемою – 120, з них – 20 простих модифікованих. В якості тестерів були використані лінії та сестринські гібриди: у групі BSSS – ДК680 (Lancaster), ДК315 (Змішана) та ДК721 (Iodent); Iodent – ДК296С×ДК2953 (Lancaster), ДК3821 (BSSS) та ДК633/325 (Змішана); Lancaster – ДК721, ДК365 та ДК275М×ДК301, які відносяться до зародкової плазми Iodent; Змішана – ДК633/325 (Змішана), яка отримана на базі плазми Ланкастер (Мо17) та Міндсенпустіфехе (ДК325) і добре комбінує з лініями решти геноплазм, ДК3044 (Lancaster) та ДК315 (BSSS). Отримані тесткроси порівнювали зі стандартами (st): середньостиглим гібридом Солонянський 298 СВ і середньопізнім ДН Гетера, занесеними до Державного реєстру сортів України.

#### **Характеристика ліній різних генетичних плазм за господарсько– цінними ознаками**

**Врожайність та вологість зерна при збиранні.** Результати дослідження ліній зародкових плазм BSSS, Iodent, Lancaster та Змішана за основними господарсько-цінними ознаками засвідчили, що їх максимальна середня урожайність отримана в 2015 р. (3,19 т/га).

Мінімальну середню урожайність ліній усіх плазм відзначено у 2014 р. (2,63 т/га), нижче на 17,5 % порівняно з 2015 роком.

Серед зародкових плазм найвищу середню урожайність за три роки досліджень забезпечили лінії групи Lancaster (3,27 т/га), що відповідно на 32,9 та 37,4 % вище, ніж у ліній групи BSSS і Iodent (2,46 та 2,38 т/га).

Лінії різних генетичних плазм реагували на погодні умови 2014–2016 рр. неоднозначно, на що вказують різні значення коефіцієнтів варіації. У ліній групи Iodent мінливість ознаки за 2014–2016 рр. була найбільшою ( $V=21,4\text{--}38,6\%$ ), а найменшою – у ліній групи Змішана ( $V=16,4\text{--}20,9\%$ ).

Лінії груп BSSS та Iodent краще за лінії інших груп реагували на сприятливі умови вирощування та негативно на їх погіршення. Зокрема, лінії групи Iodent знизили в середньому урожайність в посушливих 2014 р. та 2016 р., порівняно з сприятливим для розвитку кукурудзи 2015 р., на 35,7 і 30,2 % відповідно, а лінії групи Lancaster лише на 7,0 та 8,7 % відповідно.

Мінімальна середня збиральна вологість зерна у ліній відзначалась у 2015 р. (12,8 %), а найвищою вона була у 2016 р. (16,7 %).

При аналізі цього показника у ліній різних генетичних груп слід відзначити, що в середньому за роки досліджень, лінії групи BSSS та Змішана мали нижчий рівень вологості зерна, відповідно 14,4 та 14,5 %, ніж

лінії групи Iodent і Lancaster (14,8 та 15,4 % відповідно).

Слід відзначити незначне варіювання ( $V=2,8-8,2$  %) цього показника у ліній групі Iodent, що свідчить про стабільність його прояву в різні роки. Найбільше варіювання ознаки ( $V=5,4-14,5$  %) протягом 2014–2016 рр. спостерігали у ліній групі BSSS.

Щодо конкретних ліній, то в групі Iodent максимальну середню урожайність за три роки отримали у лінії ДК2575 (3,73 т/га), а мінімальний її рівень спостерігався у лінії ДК277 (1,72 т/га) при 1,97 т/га у лінії–стандарту ДК365.

Серед ліній групи Lancaster максимальна середня урожайність за роки випробувань була у ДК6353 (4,21 т/га), а мінімальна – у ДК296 (2,66 т/га). Близькою у всі роки випробувань вона була у ліній ДК2973, ДК1863 та ДК6356 у яких Lim склав відповідно 0,08; 0,26 та 0,31 т/га.

У групі Змішана максимальний середній рівень урожайності за три роки зафіксовано у лінії ДК402 (4,17 т/га), а мінімальний – у лінії ДК4441 (2,20 т/га).

Сандарт–лінію ДК3151 перевищили за врожайністю на 0,15–0,93 т/га лінії ДК440, ДК2368, ДК401, ДК3155 та ДК402. До числа ліній з стабільним проявом цього показника віднесено наступні – ДК446 (Lim=0,32 т/га), ДК440 (Lim – 0,33 т/га), ДК402 (Lim – 0,16 т/га).

У кожній гетерозисній групі нами було виділено по три лінії, які показали максимальні середні значення індексу урожайності ( $R_{h/m}$ ), який визначається як відношення урожайності до вологості зерна (рис.1).

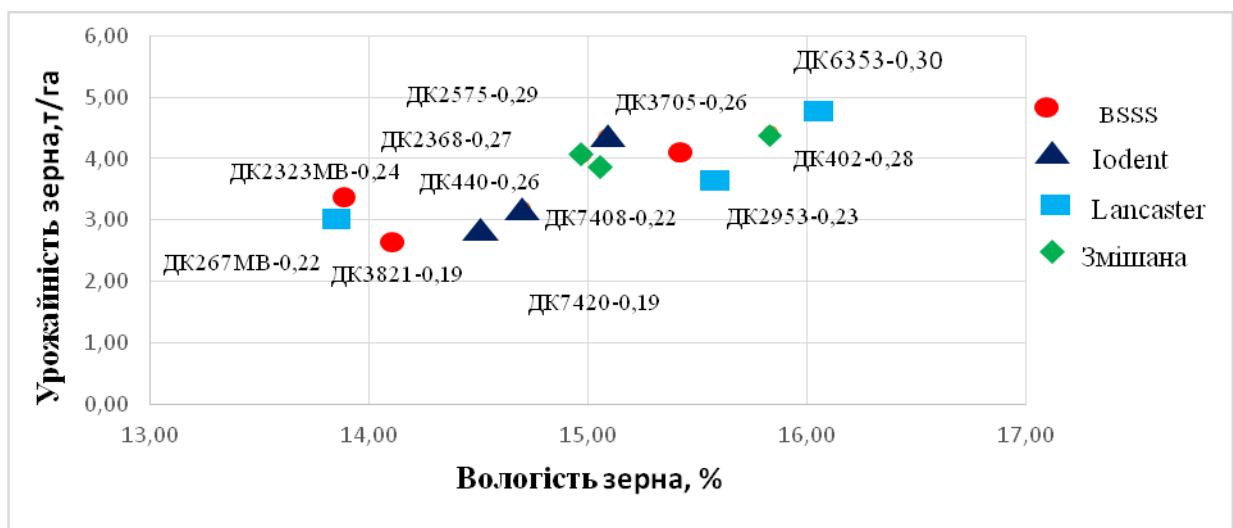


Рис.1 Індекс урожайності ( $R_{h/m}$ ) у кращих константних ліній різних генетичних груп, 2014–2016 рр.

Серед ліній генетичної групи BSSS, дане співвідношення змінювалося у межах 0,09–0,26, а максимальним воно було у лінії ДК3705 (0,26).

У групі Iodent спостерігався найбільший розмах коливання цього показника від 0,12 у ліній ДК2038 та ДК365 до 0,29 у ДК2575.

Зразки генетичної плазми Lancaster мали досить високі значення індексу урожайності, а найвищим (0,30) він був у однієї з кращих ліній

ДК6353.

У групі Змішана максимальним співвідношенням урожайності зерна до його вологості відзначились ДК402 (0,28), ДК3155 (0,27), ДК2368 (0,26) та ДК401 (0,24).

Середнє співвідношення вказаних показників становило по групі BSSS та Iodent – 0,17, Lancaster – 0,22, Змішана – 0,23.

**Морфобіологічні показники досліджуваних ліній.** Виявлено незначний вплив умов року на детермінацію ознак «висота рослин» та «висота прикріплення продуктивного качана». Найбільші середні значення висоти рослин мали лінії генетичних груп Lancaster (194,0 см) та Змішана (193,3 см), а найбільшою висотою прикріплення продуктивного качана характеризувались групи BSSS (73,9 см) та Iodent (72,3 см).

Серед ліній усіх генетичних груп більший вплив погодних умов спостерігався на прояв ознаки «висота прикріплення качана». Найбільшою стабільністю висоти рослин за роками відзначились лінії генетичної групи Lancaster ( $V = 6,8\text{--}7,4\%$ ), а стабільністю висоти прикріплення качана – групи Змішана ( $V = 17,1\text{--}21,7\%$ );

**Оцінка ліній за комбінаційною здатністю. Урожайність зерна.** За рівнем ЗКЗ лінії були поділені на три класи відносно до середньої в досліді: 1 – оцінки ефектів ЗКЗ достовірно її перевищували; 2 – достовірно не відрізнялись від неї; 3 – достовірно нижчі.

У групі BSSS найменшу суму класів (3) мала лінія ДК310. Також серед ліній цієї генетичної групи виділилась ДК3705, яка відзначилась найвищим рівнем оцінок ефектів у 2014 та 2016 рр. ЗКЗ (0,41 та 1,05 т/га), але була віднесена до 3 класу в 2015 р., при низьких варіансах СКЗ, що свідчить про можливість широкого використання її при створенні гібридів різних типів, особливо для посушливих умов.

У ліній групи Iodent високі оцінки ефектів ЗКЗ мали лінії ДК365, ДК2311, ДК7408 та ДК2575 на що вказують сума їх класів (4), при цьому низькі варіанси СКЗ у ліній ДК7408 та ДК2575 свідчать про можливість використання їх при створенні різних типів гібридів.

Серед ліній генетичної групи Lancaster кращою за оцінками ефектів ЗКЗ була лінія ДК6356, сума класів у якої склала 3.

Дві лінії (ДК267МВ і ДК1863) за цим показником в усі три роки випробувань віднесені до 3 класу. У решти ліній ефекти ЗКЗ значно змінювались за роками.

Зокрема, лінії ДК6353 та ДК1853 були віднесені до 3 класу в 2014 р. і до першого класу – в 2015 і 2016 рр., а лінія ДК2953 – до першого класу в 2014 і 2016 рр. і до третього – в 2015 р. Це свідчить про неоднотиповість їх реакції на умови років досліджень.

У групі ліній плазми Змішана стабільними в усі роки випробувань високими оцінками ефектів ЗКЗ відносно урожайності зерна характеризувались лінії ДК3151 (0,59; 0,92 і 0,84 т/га відповідно за роками випробувань) і ДК3155 (0,69; 0,99 та 1,23 т/га).

Нестабільною за оцінкою ефектів ЗКЗ виявилась лінія ДК402, яка в 2014 і 2016 рр. мала оцінки ефектів ЗКЗ на рівні 1 класу, а в 2015 р. була віднесена до третього класу.

Також у групі Змішана до числа кращих ліній увійшли ДК4454, ДК440, які мали досить високий рівень оцінок ЗКЗ (сума 4).

**Вологість зерна при збиранні.** У ліній групи BSSS найкращими за цим показником були: ДК311 (-0,17; -0,64 і -0,34 % відповідно в 2014–2016 рр.), ДК3821 (-0,09; -0,25 і 0,52 %) та ДКС3151 (-0,22; -0,25 та -0,52), які мали достовірно низькі оцінки ефектів ЗКЗ, при достатньо високих варіансах СКЗ. У решті ліній оцінки ефектів ЗКЗ були стабільно високими або змінювались за роками, що вказує на їхню меншу цінність при створенні гібридів з інтенсивною вологовіддачею зерном.

У групі Iodent достовірно низькі оцінки ефектів ЗКЗ мали лінії ДК277 (-0,09; -0,33 і -0,99 % відповідно за роками), ДК2575 (-0,14; -0,60 і -1,42 %) та ДК365 (-0,12; -1,91 та -1,97).

Порівняно високою була вологість зерна у тесткросів ліній ДК2311, ДК364, ДК7420. Їх необхідно включати в схрещування з формами, які інтенсивно втрачають вологу зерном.

Достовірно низькі оцінки ефектів ЗКЗ при оцінці комбінаційної здатності мали лінії генетичної плазми Lancaster – ДК267МВ та ДК296, що свідчить про їхню здатність передавати гібридам властивість інтенсивної втрати вологи зерном.

Високі оцінки ефектів ЗКЗ у ліній ДК6353 (0,10; 1,53 і 0,70 % відповідно за роками досліджень), ДК6356 (0,62; 0,93 і 1,19 %) та ДК1853 (0,13; 1,23 і 0,88 %), вказують на те, що гібриди отримані, за їх участі, будуть характеризуватись підвищеною вологістю зерна.

Серед ліній групи Змішана за три роки випробувань достовірно низькі оцінки ефектів ЗКЗ мали наступні: ДК440, ДК3151, ДК4454, ДКМ-3 та ДК3155.

Необхідно відзначити лінії ДК446, ДК4441 та ДК2368, які характеризувались стабільно високими оцінками ефектів ЗКЗ при значному варіюванні варіанс СКЗ, що вказує на значне коливання вологості зерна у гібридів, створених на їх основі.

**Ідентифікація рослин вихідних ліній кукурудзи за ВОС-тестом на відмінність, однорідність та стабільність.** Було проведено ВОС-тест, згідно методики UPOV для оцінки на відмінність, однорідність і стабільність батьківських ліній і гібридів. Ознаки, які вивчались було розділено на два класи – кількісні і якісні. Рівні прояву ознаки розподіляли згідно загальноприйнятої методики, за бальною шкалою.

Було оцінено 15 кількісних ознак. Модальні класи, у яких знаходилась максимальна кількість зразків, зберігались за роками і знаходилися у середині шкали. Стабільністю за роки проведення дослідів у ліній всіх геноплазм характеризувались такі кількісні ознаки: серед характеристик волоті – «довжина волоті», «довжина бічних гілочок волоті» та «кількість бічних гілочок волоті»; серед показників структури качана – «довжина

качана», «діаметр качана» та «кількість рядів зерен». Ознака «кількість діб від сходів до цвітіння волоті», що опосередковано впливає на групу стиглості, не стабільна за роками.

У 2015 р. спостерігалась більш чітка належність вибірки, що вивчалась, до якогось одного модального класу, порівняно з 2016 роком.

Загалом у 2016 р. відмічені більші розмахи варіювання кількісних ознак, що можливо пояснюється складними погодними умовами, які впливали на ріст та розвиток рослин кукурудзи, внаслідок чого деякі зразки не повною мірою реалізували генетичний потенціал.

Як і у випадку кількісних ознак, якісні ознаки оцінювалися за бальною шкалою та в усі роки повністю зберігали модальний клас, що пов'язано з генетичним контролем і мінімальним впливом на ці ознаки умов навколишнього середовища.

### **Оцінка генетичної спорідненості вихідного матеріалу та рівня прояву основних господарсько-цінних ознак сестринських гібридів**

**Врожайність та збиральна вологість зерна.** Максимальна середня урожайність зерна споріднених гібридів всіх плазм відзначена в 2015 р. (6,3 т/га). Найвищою вона була у генетичної групи Змішана (6,97 т/га) (табл.1).

*Таблиця 1*

#### **Урожайність зерна споріднених гібридів різних генетичних груп у 2014–2016 рр., т/га**

| Показник                   | Рік     | BSSS      | Iodent    | Lancaster | Змішана   | Середнє |
|----------------------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|
| n                          |         | 45        | 45        | 45        | 45        |         |
| $\bar{x} \pm m_{t_{0,05}}$ | 2014    | 4,12±0,17 | 3,69±0,16 | 5,17±0,14 | 5,81±0,14 | 4,7     |
|                            | 2015    | 5,73±0,16 | 6,13±0,15 | 6,24±0,14 | 6,97±0,15 | 6,3     |
|                            | 2016    | 4,47±0,16 | 4,21±0,14 | 5,35±0,13 | 5,95±0,13 | 5,0     |
|                            | Середнє | 4,77±0,16 | 4,68±0,15 | 5,59±0,14 | 6,24±0,14 | -       |
| V, %                       | 2014    | 26,9      | 28,9      | 17,8      | 16,3      | 22,5    |
|                            | 2015    | 18,3      | 16,6      | 14,9      | 14,7      | 16,1    |
|                            | 2016    | 24,4      | 22,4      | 16,1      | 15,0      | 19,5    |
|                            | Середнє | 23,2      | 22,6      | 16,3      | 15,3      | 19,4    |
| Lim                        | 2014    | 1,77-6,34 | 1,64-6,29 | 3,09-7,23 | 2,86-7,72 | -       |
|                            | 2015    | 3,36-7,58 | 3,38-8,19 | 3,43-8,20 | 3,0-8,77  | -       |
|                            | 2016    | 2,48-7,12 | 2,27-6,29 | 3,25-6,94 | 2,83-7,34 | -       |
|                            | Середнє | 2,54-7,01 | 2,43-6,92 | 3,26-7,46 | 2,9-7,94  | -       |

Групи споріднених гібридів на погодні умови 2014–2016 рр. реагували неоднозначно, про що свідчать різні значення коефіцієнтів варіації. Найменша диференціація (V=16,1 %) зафіксована у 2015 р., а найбільша (V=22,5 %) – у 2014 р. Зразки групи Iodent та BSSS за роки досліджень характеризувались найвищими коливаннями коефіцієнту варіації, у

середньому 22,6 і 23,2 % відповідно. Найменші варіювання відзначені у гібридів Змішаної плазми ( $V=15,3\%$ ).

Щодо конкретних гібридних комбінацій, то найвища середня врожайність зерна в групі BSSS відзначена у отриманих при схрещуванні лінії ДКС3151–5,96 т/га при 13,9 % вологості.

Мінімальна середня урожайність була у гібрида ДК310×ДК3824 (2,84 т/га при 15 % вологості).

Середня вологість зерна споріднених гібридів групи BSSS була майже на рівні стандартної (14 %).

Аналіз середньої урожайності зерна споріднених гібридів групи Iodent засвідчив, що максимальне її значення мали тесткроси лінії ДК364 – 5,78 т/га при 14,9 % збиральної вологості зерна, а мінімальне – за участі лінії ДК55 (4,04 т/га при 14,4 % вологості).

Середня врожайність зерна у споріднених гібридів генетичної групи Lancaster була майже на одному рівні, крім лінії ДК267МВ у якої вона була на 12,3 % вище середньопопуляційної (5,70 т/га). Найменша середня урожайність відзначена у споріднених гібридів лінії ДК6353 – 5,44 т/га при 16,0 % вологості.

Споріднені гібриди, отримані на базі ліній групи Змішана, мали досить високі середні значення урожайності, що свідчить про їх генетичну віддаленість. Максимальною вона була у гібридів споріднених з лінією ДК2368 – 6,31 т/га при 15,2 % вологості, а мінімальною – у гібридів лінії ДК440 та ДК3151 – 5,87 т/га. Високу середню урожайність зерна в Змішаній групі сформували споріднені гібриди ДК401×ДК446 – 7,65 т/га, ДК440×ДК446 – 7,31 т/га та ДК3155×ДКМ-3 – 7,16 т/га при 15,4, 15,9 та 14,3 % вологості відповідно, що вказує про їх віддаленість в генетичному відношенні.

Гібрид ДК4454×ДК446 мав найменше значення цього показника (2,89 т/га при 13,4 % вологості), що свідчить про генетичну близькість його батьківських форм.

**Оцінка рівня гіпотетичного гетерозису у сестринських гібридів.** У 2015 р. рівень гіпотетичного гетерозису у споріднених гібридів групи BSSS в середньому був найвищим (110,6 %), а у 2014 та 2016 рр. на 26,3 та 16,4 % нижче.

У основної частини гібридів цей показник не так значно змінювався і можна порівняно коректно диференціювати лінії за рівнем прояву гетерозису. Так, гібриди, створені на основі лінії ДКС3151, відзначались максимальним рівнем гетерозису, а лінії ДК2396МВ – мінімальним.

Найвищим середнім рівнем гіпотетичного гетерозису за три роки випробувань серед споріднених гібридів генетичної групи BSSS відзначились наступні: ДКС3151×ДК311 (175 %), ДК2369МВ×ДК310 (174,4 %), ДК2396МВ×ДКС3151 (168,6 %), ДКС3151×ДК310 та ДКС3151×ДК3821 (168,5 %).

Значення середнього гіпотетичного гетерозису у гібридів ліній плазми Iodent було майже на одному рівні за роками. Найвищим він був у гібридів, отриманих на базі ліній ДК364 та ДК277, а найменшим – за участі лінії ДК55.

Споріднений гібрид ДК55×ДК364 характеризувався найвищим рівнем гіпотетичного гетерозису, який залежно від року коливався від 178,5 до 186 %. А найменше значення було у гібрида ДК55×ДК7405 (3,9 %) в 2014 р. і коливалось до 64 % в 2015 р. Тому ДК364 можна віднести до більш віддалених за генетичним походженням, а ДК55 була близькою до геномів решти ліній.

Рівень середнього гіпотетичного гетерозису в сестринських гібридів генетичної групи Lancaster максимальним був у 2015 р. (81,6 %), що на 27,6 та 16,5 % більше ніж у 2014 та 2016 рр. відповідно.

Щодо групи Lancaster, то середнє значення гіпотетичного гетерозису було майже на одному рівні у всіх гібридів, отриманих за участі ліній цієї плазми. Мінімальний середній рівень гіпотетичного гетерозису за роки випробувань відзначений у сестринського гібрида ДК1853×ДК1863 (5,2 %).

Аналіз рівня середнього гіпотетичного гетерозису генетичної групи Змішана, засвідчив, що в сприятливий 2015 р. він у середньому був нижчий ніж у 2016 р. на 3,2 %, але вищий на 8,2 % за стресовий 2014 р. Середнє багаторічне значення рівня гіпотетичного гетерозису було на 2,6, 1,1 та 25,8 % більшим ніж у групи BSSS, Iodent та Lancaster відповідно.

Максимальним цей показник був у гібрида ДК4441×ДК4454 – 178,1 %, з коливанням від 177,4 до 179,6 % за роками. Слід відмітити, що всі комбінації за участю цих ліній мали значення гіпотетичного гетерозису на рівні 100 %.

Зокрема у гібрида ДК440×ДКМ-3 він змінювався від 125,8 % у 2016 р. до 64,7 % – у стресовому 2014 р. Це підтверджує, що рівень гіпотетичного гетерозису залежить не тільки від генетичної віддаленості матеріалу, а й від реакції на умови вирощування.

**Застосування SNP-генотипування при оцінці генетичної спорідненості селекційного матеріалу різних зародкових плазм.** Останнім часом одним із основних при ідентифікації генетичного походження ліній є метод SNP–генотипування з визначенням генетичних дистанцій між ними.

Генетичні дистанції між лініями зародкової плазми BSSS за результатами SNP-генотипування наведено в табл. 2. Мінімальне розходження за частотою одонуклеотидних замін встановлено між лініями ДК3824 і ДК310 (0,003), а максимальний поліморфізм – ДК311 і ДКС3151 (0,468).

Середні значення генетичних дистанцій для ліній плазми BSSS змінювалися від мінімального значення 0,220 (ДК3821) до максимального – 0,398 (ДКС3151) при середньопопуляційному значенні показника 0,259. Найменші генетичні дистанції мали лінії ДК3824 та ДК310, а найбільші – ДК311 та ДКС3151.

Аналіз генетичних дистанцій між лініями групи Iodent засвідчив, що їх мінімальне значення було у ДК7408 і ДК7420 (0,047), а максимальне – у ДК364 і ДК277 (0,496) (табл. 3). Середні значення генетичних дистанцій для ліній цієї групи коливались від 0,194 (ДК55) до 0,415 (ДК364) при середньопопуляційному показнику 0,253.

Генетичні дистанції між лініями варіювали від 0,047 до 0,496. Найменші середні значення генетичних дистанцій відзначені у ліній ДК7408 та ДК7420, а найбільші – у ліній ДК365 та ДК277.

Таблиця 2

**Генетичні дистанції між лініями зародкової плазми BSSS за результатами SNP-аналізу**

| Лінія    | ДК329МВ | ДК2323МВ | ДК239МВ | ДК2396МВ | ДК3824 | ДК310 | ДК3705 | ДК311 | ДК3821 | ДК3151 |
|----------|---------|----------|---------|----------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|
| ДК329МВ  | 0       | 0,217    | 0,114   | 0,104    | 0,341  | 0,345 | 0,328  | 0,221 | 0,194  | 0,464  |
| ДК2323МВ | 0,217   | 0        | 0,213   | 0,217    | 0,320  | 0,322 | 0,330  | 0,251 | 0,217  | 0,467  |
| ДК239МВ  | 0,114   | 0,213    | 0       | 0,026    | 0,349  | 0,348 | 0,355  | 0,212 | 0,171  | 0,453  |
| ДК2396МВ | 0,104   | 0,217    | 0,026   | 0        | 0,356  | 0,352 | 0,374  | 0,192 | 0,157  | 0,454  |
| ДК3824   | 0,341   | 0,320    | 0,349   | 0,356    | 0      | 0,003 | 0,108  | 0,379 | 0,239  | 0,406  |
| ДК310    | 0,345   | 0,322    | 0,348   | 0,352    | 0,003  | 0     | 0,106  | 0,378 | 0,238  | 0,406  |
| ДК3705   | 0,328   | 0,330    | 0,355   | 0,374    | 0,108  | 0,106 | 0      | 0,383 | 0,294  | 0,405  |
| ДК311    | 0,221   | 0,251    | 0,212   | 0,192    | 0,379  | 0,378 | 0,383  | 0     | 0,236  | 0,468  |
| ДК3821   | 0,194   | 0,217    | 0,171   | 0,157    | 0,239  | 0,238 | 0,294  | 0,236 | 0      | 0,457  |
| ДК3151   | 0,464   | 0,467    | 0,453   | 0,454    | 0,406  | 0,406 | 0,405  | 0,468 | 0,457  | 0      |

Примітка: В табл. 2-5 середні значення генетичних дистанцій, ліміти, відхилення та розмах варіювання наведено в частках одиниці

Таблиця 3

**Генетичні дистанції між лініями зародкової плазми Iodent за результатами SNP-аналізу**

| Лінія    | ДК2038 | ДК365 | ДК2311 | ДК7408 | ДК7420 | ДК3867-7 | ДК364 | ДК55  | ДК277 | ДК2575 |
|----------|--------|-------|--------|--------|--------|----------|-------|-------|-------|--------|
| ДК2038   | 0      | 0,268 | 0,259  | 0,170  | 0,170  | 0,191    | 0,446 | 0,144 | 0,312 | 0,200  |
| ДК365    | 0,268  | 0     | 0,356  | 0,266  | 0,249  | 0,135    | 0,470 | 0,184 | 0,315 | 0,264  |
| ДК2311   | 0,259  | 0,356 | 0      | 0,269  | 0,265  | 0,288    | 0,461 | 0,289 | 0,411 | 0,309  |
| ДК7408   | 0,170  | 0,266 | 0,269  | 0      | 0,047  | 0,172    | 0,452 | 0,159 | 0,316 | 0,242  |
| ДК7420   | 0,170  | 0,249 | 0,265  | 0,047  | 0      | 0,162    | 0,456 | 0,126 | 0,318 | 0,216  |
| ДК3867-7 | 0,191  | 0,135 | 0,288  | 0,172  | 0,162  | 0        | 0,488 | 0,118 | 0,284 | 0,224  |
| ДК364    | 0,446  | 0,470 | 0,461  | 0,452  | 0,456  | 0,488    | 0     | 0,441 | 0,496 | 0,445  |
| ДК55     | 0,144  | 0,184 | 0,289  | 0,159  | 0,126  | 0,118    | 0,441 | 0     | 0,282 | 0,201  |
| ДК277    | 0,312  | 0,315 | 0,411  | 0,316  | 0,318  | 0,284    | 0,496 | 0,282 | 0     | 0,313  |
| ДК2575   | 0,200  | 0,264 | 0,309  | 0,242  | 0,216  | 0,224    | 0,445 | 0,201 | 0,313 | 0      |

Серед ліній плазми Lancaster, мінімальне розходження за частотою однонуклеотидних замін мали лінії ДК6353 та ДК6356, а максимальний поліморфізм спостерігався у ліній ДК267МВ та ДК6356 (табл. 4).

Генетичні дистанції у лінії плазми Lancaster – ДК6353 (0,219), ДК6356 (0,221) та ДК1863 (0,225), були на 17,3, 16,6 та 15,1 % менше середньопопуляційного відповідно.

Більше половини ліній плазми Змішана мали генетичні дистанції до 0,35, в т.ч. ДК3151 і ДК401 (0,332), ДК446 і ДК4454 (0,165), ДК3155 і ДК440 (0,216) (табл. 5).

Таблиця 4

**Генетичні дистанції між лініями зародкової плазми Lancaster за результатами SNP-аналізу**

| Лінія   | ДК267МВ | ДК296 | ДК2953 | ДК6353 | ДК6356 | ДК3044 | ДК2973 | ДК4273 | ДК1863 | ДК1853 |
|---------|---------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ДК267МВ | 0       | 0,365 | 0,435  | 0,455  | 0,467  | 0,435  | 0,391  | 0,414  | 0,445  | 0,389  |
| ДК296   | 0,365   | 0     | 0,263  | 0,200  | 0,249  | 0,315  | 0,316  | 0,360  | 0,223  | 0,292  |
| ДК2953  | 0,435   | 0,263 | 0      | 0,195  | 0,173  | 0,287  | 0,326  | 0,291  | 0,240  | 0,326  |
| ДК6353  | 0,455   | 0,200 | 0,195  | 0      | 0,083  | 0,247  | 0,303  | 0,309  | 0,148  | 0,252  |
| ДК6356  | 0,467   | 0,249 | 0,173  | 0,083  | 0      | 0,225  | 0,302  | 0,288  | 0,168  | 0,258  |
| ДК3044  | 0,435   | 0,315 | 0,287  | 0,247  | 0,225  | 0      | 0,346  | 0,317  | 0,258  | 0,324  |
| ДК2973  | 0,391   | 0,316 | 0,326  | 0,303  | 0,302  | 0,346  | 0      | 0,174  | 0,317  | 0,306  |
| ДК4273  | 0,414   | 0,360 | 0,291  | 0,309  | 0,288  | 0,317  | 0,174  | 0      | 0,245  | 0,330  |
| ДК1863  | 0,445   | 0,223 | 0,240  | 0,148  | 0,168  | 0,258  | 0,317  | 0,245  | 0      | 0,208  |
| ДК1853  | 0,389   | 0,292 | 0,326  | 0,252  | 0,258  | 0,324  | 0,306  | 0,330  | 0,208  | 0      |

Таблиця 5

**Генетичні дистанції між лініями зародкової плазми Змішана за результатами SNP-аналізу**

| Лінія  | ДК402 | ДК401 | ДК4454 | ДК446 | ДКМ-3 | ДК440 | ДК3155 | ДК4441 | ДК3151 | ДК2368 |
|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| ДК402  | 0     | 0,376 | 0,455  | 0,453 | 0,376 | 0,507 | 0,474  | 0,457  | 0,410  | 0,494  |
| ДК401  | 0,376 | 0     | 0,438  | 0,456 | 0,403 | 0,401 | 0,397  | 0,431  | 0,332  | 0,506  |
| ДК4454 | 0,455 | 0,438 | 0      | 0,165 | 0,378 | 0,438 | 0,413  | 0,448  | 0,426  | 0,454  |
| ДК446  | 0,453 | 0,456 | 0,165  | 0     | 0,364 | 0,481 | 0,447  | 0,443  | 0,506  | 0,457  |
| ДКМ-3  | 0,376 | 0,403 | 0,378  | 0,364 | 0     | 0,438 | 0,423  | 0,402  | 0,388  | 0,412  |
| ДК440  | 0,507 | 0,401 | 0,438  | 0,481 | 0,438 | 0     | 0,216  | 0,356  | 0,352  | 0,500  |
| ДК3155 | 0,474 | 0,397 | 0,413  | 0,447 | 0,423 | 0,216 | 0      | 0,395  | 0,363  | 0,519  |
| ДК4441 | 0,457 | 0,431 | 0,448  | 0,443 | 0,402 | 0,356 | 0,395  | 0      | 0,431  | 0,440  |
| ДК3151 | 0,410 | 0,332 | 0,426  | 0,506 | 0,388 | 0,352 | 0,363  | 0,431  | 0      | 0,467  |
| ДК2368 | 0,494 | 0,506 | 0,454  | 0,457 | 0,412 | 0,500 | 0,519  | 0,440  | 0,467  | 0      |

Досить високі були і середні значення генетичних дистанцій, найбільшим воно було у лінії ДК402 (0,400), а найменшим – у ДКМ-3 (0,358) при середньопопуляційному – 0,378.

Розмах варіювання у ліній плазми Змішана був найменшим серед зразків інших плазм і становив 0,354.

Порівняння різних методів визначення спорідненості ліній кожної групи геноплазм, засвідчило, що коефіцієнти кореляції між показниками «рівень гіпотетичного гетерозису» і «значенням генетичних дистанцій» були

позитивними достовірними і склали для плазми BSSS –  $r=0,487$ ; Iodent –  $r=0,513$ ; Lancaster –  $r=0,411$ ; Змішана –  $r=0,421$ .

### **Господарсько-цінні ознаки тесткросів ліній різних зародкових плазм та найбільш ефективні гетерозисні моделі**

У наших дослідженнях визначення кращих гетерозисних моделей для всіх груп геноплазм проводили шляхом їх схрещування з тестерами альтернативних груп. Зокрема, для ліній групи BSSS ними були лінії ДК680 (Lancaster), ДК315 (Змішана) і ДК721 (Iodent). Середня за роками досліджень врожайність гібридів, відповідно вказаним тестерам, становила 6,00; 6,11 та 5,98 т/га.

Врожайність тесткросів значно змінювалася залежно від умов року і генотипу гібридів. Зокрема, у сприятливому 2015 р., вона в середньому у всіх тесткросів була на 12,1 % вища ніж у стресовому 2014 р. та на 6,7 % – порівняно з 2016 р. і становила 6,41 т/га за вологості зерна при збиранні – 11,9 %.

Середня врожайність тесткросів ліній групи BSSS була вища за стандарт Солонянський 298 СВ у 2014 і 2016 рр. відповідно на 4,8 і 31,0 %, а у сприятливий 2015 р. нижча на 8,7 %, а середньопізній гібрид-стандарт ДН Гетера перевищував їх за цим показником на 4,8; 9,4 та 3,8 % відповідно за роками. Однак кращі тесткроси цієї групи сформували вищу врожайність зерна за стандарт ДН Гетера у різні роки на 19,9; 12,6 та 22,6 % відповідно.

Середня врожайність за три роки випробувань в даній групі найвищою (6,11 т/га) була в тесткросів гетерозисної моделі Змішана×BSSS (рис. 2).

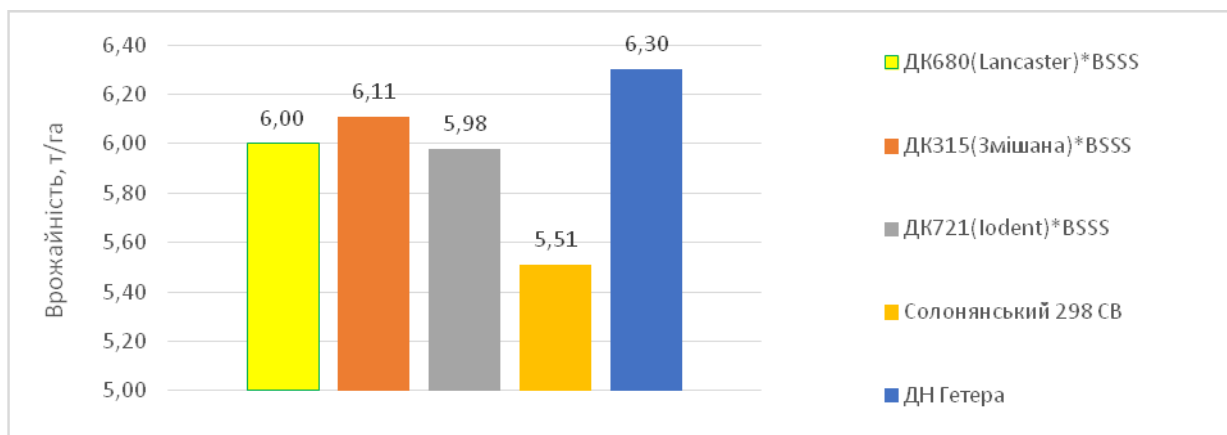


Рис. 2 Середня урожайність тесткросів за участі ліній генетичної плазми BSSS 2014–2016 рр.

Лінії плазми Iodent схрещували з трьома тестерами – сестринським гібридом ДК296С×ДК2953 (Lancaster), а також лініями ДК3821 (BSSS) та ДК633/325 (Змішана).

Середня врожайність зерна тесткросів ліній Iodent змінювалася за роками від 5,81 до 6,62 т/га і була близькою у гетерозисних моделей Lancaster×Iodent (6,28 т/га) та Змішана×Iodent (6,35 т/га) і дещо нижчою – у BSSS×Iodent (5,68 т/га) (рис. 3).

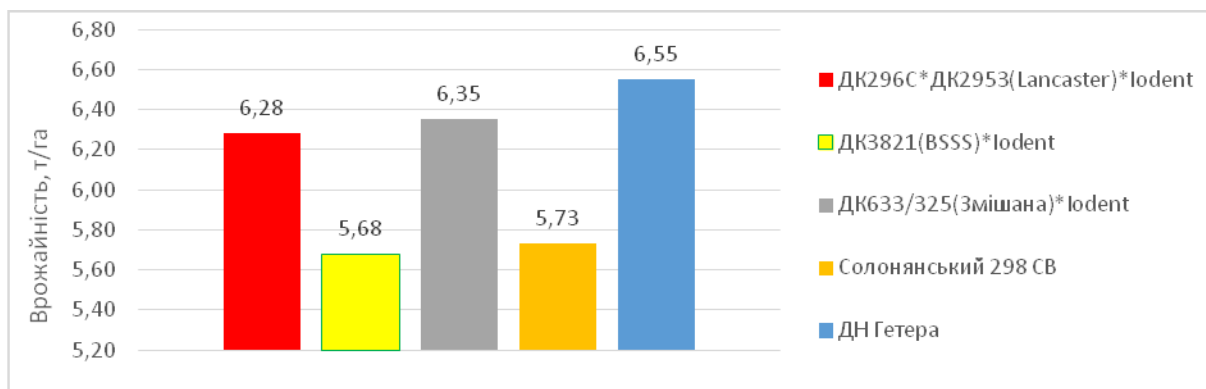


Рис. 3 Середня урожайність тесткросів за участі ліній генетичної плазми Iodent 2014–2016 рр.

Лінії групи Lancaster схрещували з лініями ДК721, ДК365 та сестринським гібридом (ДК275М×ДК301) – плазма Iodent. Ця модель є найбільш ефективною по відношенню до плазми Lancaster і широко використовується в дослідженнях ДУ ІЗК НААН.

Середня урожайність зерна тесткросів ліній плазми Lancaster була найбільш стабільною порівняно з тестрами ліній інших груп, на що вказує найменший розмах варіювання за роками – 0,56 т/га (рис. 4). Максимальний її рівень (6,39 т/га), як і у тесткросів ліній інших плазм, відзначено у 2015 р. і на 7,0 та 5,6 % нижчий в 2014 і 2016 р. відповідно.

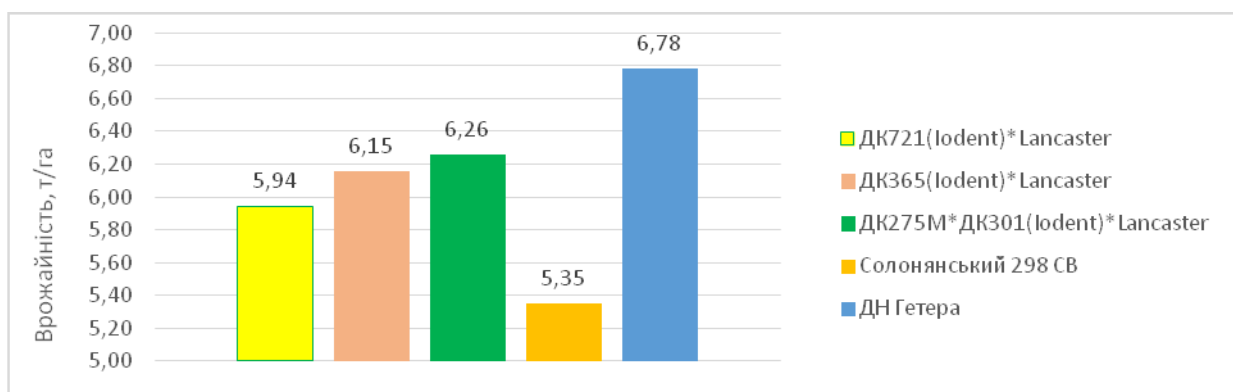


Рис. 4 Середня урожайність тесткросів за участі ліній генетичної плазми Lancaster 2014–2016 рр.

Через те що, для зразків генетичної групи Lancaster були використані тестера ДК721, ДК365 та ДК275М×ДК301 (плазма Iodent) – гетерозисна модель Iodent×Lancaster, то середня урожайність стосовно них незначно різнилась.

Для визначення комбінаційної здатності тесткросів ліній плазми Змішана їх схрещували з лініями ДК633/325 (Змішана), ДК3151 (BSSS) та ДК3044 (Lancaster).

Слід відзначити, що середня врожайність тесткросів ліній генетичної плазми Змішана була майже однаковою стосовно гетерозисних моделей Змішана×Змішана (6,53 т/га) та Lancaster×Змішана (6,45 т/га) і дещо нижчою у BSSS×Змішана (6,07 т/га) (рис. 5).

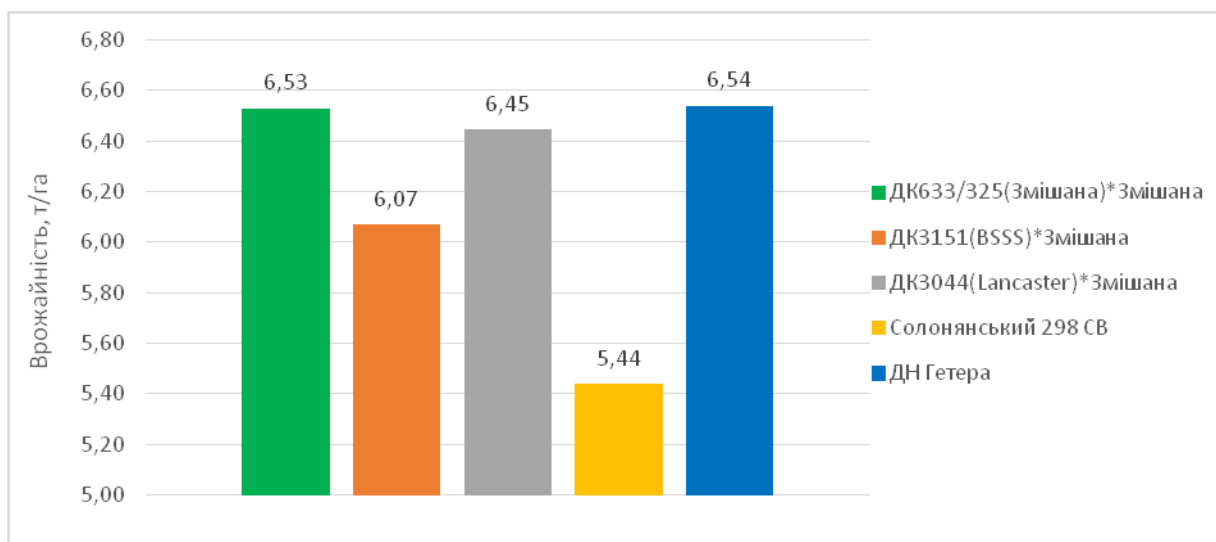


Рис. 5 Середня урожайність тесткросів за участі ліній генетичної плазми Змішана 2014–2016 рр.

Серед виділених тесткросів чотирьох плазм найкраще співвідношення урожайності до збиральної вологості зерна (індекс урожайності) спостерігалось у гібридних комбінаціях Lancaster×Змішана (0,41–0,56).

Щодо збиральної вологості зерна, то найнижчою у гібридів усіх гетерозисних моделей вона була в 2015 р., який характеризувався високим температурним режимом за недостатньої вологозабезпеченості. Високою стабільністю цього показника за роками характеризувались гібриди гетерозисної моделі BSSS×Iodent (13,1 %), на що вказують найменші коефіцієнти варіації за всі роки досліджень (3,05–5,38 %).

Максимальне значення показника серед чотирьох груп було у представників плазми Змішана (14,9 %), а гібриди за участю ліній геноплазм Iodent і Lancaster мали середні значення (14,5 %) та (14,6 %) відповідно.

Між більшістю господарсько-цінних ознак та урожайністю зерна тесткросів простежувалась низька негативна і середня позитивна достовірна залежність: у групі BSSS – від -0,22 (висота рослин) у 2015 р. до 0,61 (висота рослин) у 2016 р.; Iodent – від -0,16 (тривалість періоду «сходи–цвітіння 50 % качанів») у 2014 р. до 0,58 (збиральна вологість зерна) у 2016 р.; Lancaster – від -0,03 (період «сходи–цвітіння 50 % качанів») у 2014 р. до 0,48 у 2014 р. (збиральна вологість зерна); Змішана – від -0,34 (період «сходи–цвітіння 50 % качанів») у 2016 р. до 0,30 (період «сходи–цвітіння 50 % качанів») у 2015 р.

У результаті проведених досліджень за темою дисертаційної роботи до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні внесені гібриди – середньоранні – ДН Астра, ДН Відрада та ДН Фієста; середньостиглий – ДН Булат, які за урожайністю зерна перевищують національні стандарти на 5–10 %. Гібриди середньоранній – ДС Амага та середньостиглий – ДС Сула проходять кваліфікаційну експертизу в УІЕСР.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведено теоретичне узагальнення і нове вирішення наукового завдання щодо ідентифікації генотипів ліній шляхом встановлення генетичних дистанцій, а також селекційних показників (гіпотетичний гетерозис, оцінка *per se*, ВОС–тест). Наведена характеристика тесткросів ліній різних геноплазм, а також гібридів, занесених до Державного реєстру сортів рослин. За отриманими результатами досліджень сформульовано наступні висновки:

1. Досліджено основні селекційні показники різних за генетичним походженням ліній та гібридів створених за їх участі.

2. Оцінка *per se* ліній чотирьох генетичних плазм за основними селекційними показниками дозволила виділити кращі за бажаними параметрами: врожайністю та вологістю зерна, комбінаційною здатністю, біометричними ознаками.

3. Співвідношення урожайності зерна до його вологості (індекс врожайності) найвищим було у наступних ліній: ДК3705 (BSSS), ДК2575 (Iodent), ДК6353 (Lancaster), ДК402 (Змішана).

4. Біометричні показники константних ліній (висота рослин, висота прикріплення качана), відповідають технологічним вимогам, щодо механізованого збирання, що також уможливорює їх використання у наступних циклах кумулятивної селекції та при створенні нових сестринських і гетерозисних гібридів кукурудзи.

5. Систематизація оцінок комбінаційної здатності відносно врожайності зерна дозволила виділити лінії: ДК310 (BSSS); ДК365 (Iodent); ДК402, ДК4454, ДК3151 (Змішана), що характеризувались стабільними позитивними значеннями оцінок ефектів ЗКЗ в усі роки досліджень, які доцільно використовувати для синтезу високопродуктивних гібридів степового екотипу.

6. Виділено лінії: ДК311, ДК3821 (BSSS); ДК277, ДК2575 (Iodent); ДК267МВ, ДК296 (Lancaster); ДК440, ДК3151, ДК4454, ДКМ–3, ДК3155 (Змішана), з стабільно низькими ефектами ЗКЗ стосовно ознаки «вологість зерна», що вказує на можливість їх використання в селекційних програмах для отримання гібридних комбінацій з інтенсивною втратою вологи зерном при дозріванні.

7. Визначення рівня гіпотетичного гетерозису у сестринських гібридів дозволило встановити ступінь спорідненості ліній конкретної генетичної плазми. Високий рівень спорідненості в межах генетичної плазми BSSS мали лінії ДК310 та ДК3824; Iodent – ДК2038 та ДК55; Lancaster – ДК1853 та ДК1863; Змішана – ДК446 та ДК4454.

8. Дослідження генетичних дистанцій за SNP–маркерами у сестринських гібридів, виявило мінімальне розходження за частотою одонуклеотидних замінів між лініями у групі: BSSS – ДК3824 та ДК310; Iodent – ДК7408 та ДК7420; Lancaster – ДК6353 та ДК6356; Змішана – ДК446 та ДК4454, що свідчить про високий рівень їх спорідненості.

9. Підтверджено максимальний поліморфізм між лініями у групі: BSSS – ДК311 та ДК3151; Iodent – ДК364 і ДК277; Lancaster – ДК267MB та ДК6356; Змішана – ДК3155 та ДК2368. Виділено лінії, які можуть бути рекомендовані як базові для характеристики типових ознак у групі BSSS – ДК2396MB; Iodent – ДК55; Lancaster – ДК6353; Змішана – ДКМ-3.

10. Визначено, що коефіцієнти кореляції між показниками «гіпотетичний гетерозис» та «генетичні дистанції» були достовірними позитивними і складала для групи BSSS –  $r=0,487$ ; Iodent –  $r=0,513$ ; Lancaster –  $r=0,411$ ; Змішана –  $r=0,421$ .

11. Запропоновано наступні етапи при ідентифікації ліній за генетичним походженням:

- аналіз походження ліній на основі «pedigree» на перших етапах селекції;
- оцінка ліній відносно ВОО–показників при наявності базових екземплярів;
- оцінка рівня спорідненості за генетичними дистанціями при великих об'ємах вибірки;
- визначення рівня гіпотетичного гетерозису на заключних етапах добору.

12. Встановлена значна варіабельність основних господарсько-цінних ознак у тесткросів константних ліній основних базових плазм: BSSS, Iodent, Lancaster та Змішана, яка залежала від умов років та генотипу селекційного матеріалу.

13. Виділено кращі тесткроси та гетерозисні моделі за співвідношенням урожайності до збиральної вологості у групі: BSSS – ДК315×ДК3821 (Змішана×BSSS) – 0,51 та ДК680×ДК3151 (Lancaster×BSSS) – 0,50; Iodent – ДК633/325×ДК365 (Змішана×Iodent) – 0,51, (ДК296С×ДК2953)×ДК2575 (Lancaster×Iodent) та ДК633/325×ДК2575 (Змішана×Iodent) – 0,49; Lancaster – ДК365×ДК6356 (Iodent×Lancaster) – 0,51; Змішана – ДК3044×ДК3151 (Lancaster×Змішана) – 0,56, ДК315×ДК3155 (BSSS×Змішана) – 0,55, ДК633/325×ДК3155 (Lancaster×Змішана) та ДК315×ДК3151 (BSSS×Змішана) – 0,53.

14. За результатами кваліфікаційної експертизи до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні, внесено гібриди: середньоранні – ДН Астра, ДН Відрада та ДН Фієста; середньостиглий – ДН Булат, які за врожайністю зерна перевищують національні стандарти на 5–10 %. Гібриди середньоранній – ДС Амага та середньостиглий – ДС Сула проходять кваліфікаційну експертизу в УІЕСР.

## **РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ СЕЛЕКЦІЙНОЇ ПРАКТИКИ І ВИРОБНИЦТВА**

1. При селекції нового вихідного матеріалу, а також середньостиглих та середньопізніх гібридів кукурудзи рекомендується використовувати наступні лінії які характеризуються:

- Високим співвідношенням врожайності зерна до його вологості

ДК3705 (BSSS), ДК2575 (Iodent), ДК6353 (Lancaster), ДК402 (Змішана);

- Високими значеннями оцінок ефектів ЗКЗ і низькими варіансами СКЗ за ознакою “врожайність зерна”: ДК310 (BSSS); ДК365 (Iodent); ДК402, ДК4454, ДК3151 (Змішана), які доцільно включати в схрещування при створенні гібридів різних типів;
- Низькими ефектами ЗКЗ за ознакою “збиральна вологість зерна”: ДК311, ДК3821 (BSSS); ДК277, ДК2575 (Iodent); ДК267МВ, ДК296 (Lancaster); ДК3151, ДК440 (Змішана), що стабільно передають низьку вологість зерна гібридам, які створені за їх участі

2. Запропоновано найбільш ефективні гетерозисні моделі для використання в практичній селекції при створенні гібридів, адаптованих до умов степової зони, в першу чергу, за участі ліній геноплазм Lancaster×Змішана, BSSS×Змішана та Iodent×Lancaster.

3. Господарствам всіх форм власності пропонуються занесені до Державного реєстру сортів рослин наступні гібриди кукурудзи середньоранні: ДН Астра, ДН Відрада, ДН Фієста та середньостиглий – ДН Булат, які за врожайністю зерна перевищують стандарти на 5–10 %.

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

### Статті у фахових наукових виданнях

1. Черчель В. Ю., Стасів О. Ф., Боденко Н. А., **Купар Ю. Ю.** Екологічна стабільність урожайності зерна гібридів кукурудзи визначальна умова підвищення валового виробництва. *Сільське господарство та лісівництво*. Збірник наукових праць. Вінниця, 2020. №4 (19). С. 177–195. DOI:10.37128/2707-5826 (40 % авторства: проведення досліджень, статистична обробка даних, написання статті).

2. Черчель В. Ю., **Купар Ю. Ю.**, Таганцова М. М., Стасів О. Ф. Результати дивергенції скоростиглого вихідного матеріалу кукурудзи звичайної у гетерозисній селекції. «*Plant Varieties Studying and Protection*»: Науково-практичний журнал. 2020. №4. Т.16. С. 378–386. DOI: 10.21498/2518-1017.16.4.2020.224055 (50 % авторства: проведення досліджень, статистична обробка даних, написання статті).

3. Кирпа М. Ya., Kulyk V. O., **Kupar Yu. Yu.**, Stasiv O. F. Influence of a new energy-saving drying method on the quality of corn seeds. *American Journal of Agriculture and Forestry*. 2021. №1. V. 9. P.1–6. DOI: 10.11648/j.ajaf.20210901.11 (20 % авторства: проведення досліджень, статистична обробка даних, написання статті).

4. New energy-saving method for drying maize seeds / М. Ya. Кирпа, О. F. Стасів, V. O. Kulyk, **Yu. Yu. Kupar**, V. Yu. Cherchel. *Ukrainian Journal of Ecology*, Lviv, 2021, 11(2), С. 56–62, DOI: 10.15421/2021\_77 (20 % авторства: проведення досліджень, статистична обробка даних, написання статті).

5. Ольховик М. С., Гайдаш О. Л., Купар Ю. Ю., Таганцова М. М. Оцінка ліній найбільш поширених геноплазм за основними господарсько-цінними ознаками. «*Plant Varieties Studying and Protection*». Науково-

практичний журнал. 2021. №2. Т17. С. 137–143. (50 % авторства: проведення досліджень, статистична обробка даних, написання статті).

#### **Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації**

**6. Купар Ю. Ю.** Оцінка per se інбредних ліній різних зародкових плазм. *Роль наукових досліджень в забезпеченні процесів інноваційного розвитку аграрного виробництва України*: матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. молодих вчених і спеціалістів (Дніпропетровськ, 25–26 травня 2016 р.). Дніпропетровськ, 2016. С. 28–29.

**7. Купар Ю. Ю.** Ідентифікація методів визначення генетичного походження селекційного матеріалу кукурудзи. *Наукові здобутки: проекти, дослідження, перспективи*: зб. тез I Міжнародної наук.-практ. конф. (15–16 грудня 2020 р.) Старобільськ, 2020. С. 114–115.

#### **Наукові праці, які додатково відображають результати дисертації**

**8.** А. с. № 180394. Кукурудза звичайна. (*Zea mays* L.). ДН **Астра**. Автори: Дзюбецький Б. В., Черчель В. Ю., Федько М. М., Боденко Н. А., Гайдаш О. Л., Негода Т. В., Рябченко Е. М., **Гандуріна Ю. Ю.**, Бондарь Т. М., Плотка В. В. (Україна). – № 15009144; Заявлено 18.12.2015; дата реєстрації 02.03.2018; опубліковано в Бюлетені «Охорона прав на сорти рослин» офіційне видання 2018. № 2. С. 182. / Міністерство аграрної політики та продовольства України (авторство 5 %).

**9.** А. с. № 190124. Кукурудза звичайна. (*Zea mays* L.). Гібрид ДН **Відрада**. Дзюбецький Б. В., Черчель В. Ю., Федько М. М., Боденко Н. А., Гайдаш О. Л., Негода Т. В., Рябченко Е. М., **Купар Ю. Ю.**, Сень О. В., Годзь М. В. (Україна). № 17009003; заявлено 06.01.2017; дата реєстрації 13.02.2019; опубліковано в Бюлетені «Охорона прав на сорти рослин» офіційне видання. 2019. № 1. С. 64. / Міністерство аграрної політики та продовольства України (авторство 5 %).

**10.** А. с. № 170343. Кукурудза звичайна. Гібрид ДН **Фієста** / Б. В. Дзюбецький, В. Ю. Черчель, О. П. Олізько, О. В. Абельмасов, Т. М. Бондарь, М. М. Федько, **Ю. Ю. Гандуріна**, Т. М. Сатарова, А. В. Бебех, І. М. Купар (Україна). № 14009181; заявл. 27.11.2014; опубл. в Бюлетені «Охорона прав на сорти рослин» офіційне видання. 2017. № 2. С. 66. / Міністерство аграрної політики та продовольства України (авторство 5 %).

**11.** А. с. № 160374 Кукурудза звичайна (*Zea mays* L.) ДН **Булат**. Автори: Б. В. Дзюбецький, М. М. Федько, В. Ю. Черчель, Н. А. Боденко, Е. М. Рябченко, О. П. Рябченко, **Ю. Ю. Гандуріна**, Л. А. Ільченко, О. П. Юхимович, В. В. Плотка (Україна). – № 113009250: Заявлено 25.11.2013; дата реєстрації 18.03.2016; опубліковано в Бюлетні «Охорона прав на сорти рослин» офіційне видання. 2016. № 3. С. 76. (авторство 5 %).

#### **АНОТАЦІЯ**

**Купар Ю. Ю.** Ідентифікація генетичного походження селекційного матеріалу при гетерозисній селекції. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата сільськогосподарських наук (доктора філософії) за спеціальністю 06.01.05 – «Селекція і насінництво» (201 – Агрономія). – Державна установа Інститут зернових культур НААН України, Дніпро, 2021.

Представлені результати оцінки вихідного матеріалу різних генетичних груп (BSSS, Iodent, Lancaster, Змішана) за основними господарсько-цінними ознаками. Наведені результати аналізу комбінаційної здатності (КЗ) стосовно врожайності та вологості зерна ліній різних генетичних груп кукурудзи. Визначено рівень гіпотетичного гетерозису в сестринських схрещуваннях ліній кожної генетичної групи. Встановлено розходження за частотою однонуклеотидних замін між лініями у кожної генетичної групи, що свідчить про рівень їх спорідненості. Виявлено лінії, які рекомендовані як базові для характеристики типових ознак у групі: BSSS – ДК2396МВ; Iodent – ДК55; Lancaster – ДК6353; Змішана – ДКМ-3. Наведено результати оцінки тесткросів ліній всіх груп за основними господарсько-цінними ознаками. Встановлено, що тесткроси створені за матрицею Lancaster×Iodent більш стабільні за врожайністю.

Виявлені зв'язки між різними методами визначення генетичної різноякісності самозапиленних ліній для їх ідентифікації за певними гетерозисними групами плазм.

До Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні занесені середньоранні гібриди: ДН Астра, ДН Відрада, ДН Фієста та середньостиглий ДН Булат.

**Ключові слова:** кукурудза, селекція, гібрид, геноплазма, інбредні лінії, гетерозис, тесткроси, ідентифікація, комбінаційна здатність, генетична дистанція.

## АННОТАЦІЯ

**Купар Ю. Ю.** Идентификация генетического происхождения селекционного материала при гетерозисной селекции. – Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук (доктора философии) по специальности 06.01.05 – «Селекция и семеноводство» (201 – Агрономия). – Государственное учреждение Институт зерновых культур НААН Украины, Днепр, 2021.

Представлены результаты оценки исходного материала различных генетических групп по основным хозяйственно-ценным признакам.

Приведены результаты анализа комбинационной способности (КС) в отношении урожайности зерна линий различных генетических групп кукурузы. Достоверно высокими и стабильными оценками эффектов ОКС характеризовались следующие линии: ДК310 (BSSS), ДК365, ДК2311, ДК7408, ДК2575 (Iodent), ДК6356 (Lancaster), ДК3155, ДК3151 (Смешанная), которые целесообразно использовать для получения высокоурожайных простых гибридов.

Определен уровень гипотетического гетерозиса в сестринских

скрещиваниях линий каждой генетической группы. Высоким средним уровнем гипотетического гетерозиса за три года испытаний отличились такие гибриды в группе: BSSS – ДКС3151×ДК311 (175 %), ДК2369МВ×ДК310 (174,4 %), ДК2396МВ×ДКС3151 (168,6 %), ДКС3151×ДК310 и ДКС3151×ДК3821 (168,5 %); в группе Iodent – ДК55×ДК364 (181,6 %), ДК277×ДК364 (169,4 %) и ДК277×ДК7420 (159,6 %); Lancaster – ДК6356×ДК267МВ (143,3 %), ДК3044×ДК267МВ (124,2 %) и ДК267МВ×ДК1853 (120,8 %); Смешанная – ДК4441×ДК4454 (178,1 %), ДК4441×ДКМ-3 (154,2 %) и ДК446×ДК401 (140,3 %), что свидетельствует о слабом родстве указанных образцов.

Установлено минимальное различие по частоте однонуклеотидных замен между линиями в генетических группах: BSSS – ДК3824 и ДК310 (0,003), Iodent – ДК7408 и ДК7420 (0,047), Lancaster – ДК6353 и ДК6356 (0,083), Смешанная – ДК446 и ДК4454 (0,165), что указывает на близость их генетического происхождения. Обнаружен максимальный полиморфизм между линиями в следующих группах: BSSS – ДК311 и ДК3151 (0,468), Iodent – ДК364 и ДК277 (0,496), Lancaster – ДК267МВ и ДК6356 (0,467), Смешанная – ДК3155 и ДК2368 (0,519), что свидетельствует о слабом родстве образцов. Обнаружены линии которые могут быть рекомендованы как базовые для характеристики типичных признаков в группе: BSSS – ДК2396МВ; Iodent – ДК55; Lancaster – ДК6353; Смешанная – ДКМ-3.

Приведены результаты оценки тесткроссов линий BSSS, Iodent, Lancaster и Смешанная по основным хозяйственно-ценным признакам и отмечена значительная их вариабельность у тесткроссов константных линий основных базовых геноплазм в годы с разным уровнем влагообеспеченности. Выделены тесткроссы: ДК3044×ДК3151, ДК315×ДК4454, ДК315×ДК3155, ДК365×ДК6356 и ДК3044×ДК3155 с более высокими показателями урожайности зерна по сравнению с гибридами-стандартами. Установлено, что тесткроссы, созданные согласно матрицы Lancaster×Iodent, более стабильны по урожайности.

В Государственный реестр сортов растений, пригодных для распространения в Украине занесены среднеранние гибриды: ДН Астра, ДН Відрада, ДН Фієста и среднеспелый ДН Булат.

**Ключевые слова:** кукуруза, селекция, гибрид, геноплазма, инбредные линии, гетерозис, тесткроссы, идентификация, комбинационная способность, генетическая дистанция.

## SUMMARY

**Kupar Yu. Yu. Identification of genetic origin of selection material during heterosis selection.** – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of agricultural sciences (doctor of philosophy) on a specialty 06.01.05 – “Breeding and seed-growing” (201 – Agronomy). – State Institution Institute of Grain Crops of NAAN of Ukraine, Dnipro, 2021.

Presented are the results of the assessment of the specific material of the different genetic groups (BSSS, Iodent, Lancaster, and Mixed) for the main state-central signs. Induced the results of the analysis of combined health (CZ) 100 % of the grain yield of the different genetic groups of maize. The level of hypothetical heterosis in the nursing lines of the skin genetic group has been designated. The minimum difference in the frequency of single nucleotide substitutions between the lines in each genetic group was established, which indicates a high level of their relationship. The lines which are recommended as base lines for the characteristic of typical signs in group are revealed: BSSS – DK2396MV; Iodent – DK55; Lancaster – DK6353; Mixed – DKM-3. The results of evaluation of newly created test crosses of lines of all groups of maize hybrids according to the main economically valuable features are given. It was found that testcrosses based on the Lancaster×Iodent matrix are more stable in terms of yield. The connections between different methods of determining the genetic diversity of self – pollinated lines and their identification by certain heterosis groups of plasmas are revealed.

The State Register of Plant Varieties Suitable for Distribution in Ukraine includes medium-early hybrids: DN Astra, DN Vidrada, DN Fiesta and medium-ripe DN Bulat.

**Key words:** maize, selection, hybrid, genoplasm, inbred lines, heterosis, test crosses, identification, combining ability, genetic distance.