УДК 631.527:575.22:633.15 https://doi.org/10.21498/2518-1017.16.4.2020.224055

Результати дивергенції скоростиглого вихідного матеріалу кукурудзи звичайної в гетерозисній селекції

В. Ю. Черчель[1*], Ю. Ю. Купар[1], М. М. Таганцова[2], О. Ф. Стасів[3]

[1]ДУ Інститут зернових культур НААН України, вул. В. Вернадського, 14, м. Дніпро, 49000, Україна,
[*]e-mail: vlad_cherch@ukr.net
[2]Український інститут експертизи сортів рослин, вул. Генерала Родимцева, 15, м. Київ, 03041, Україна
[3]Інститут сільського господарства Карпатського регіону НААН України, вул. М. Грушевського, 5, с. Оброшине, Пустомитівський р-н, Львівська обл., 81115, Україна

Мета. Проаналізувати дивергенцію скоростиглого вихідного матеріалу кукурудзи звичайної *Zea mays* L. у гетерозисній селекції для формування генетичної бази в Державній установі Інститут зернових культур НААН. **Методи.** Польовий (комплексне оцінювання морфобіологічних і господарсько-цінних характеристик вихідного матеріалу й гібридів кукурудзи); індивідуальний добір, кумулятивна та рекурентна селекція, методи бекросу, тесткросу; лабораторний; аналіз та синтез; статистичний. **Результати.** Результатами досліджень з аналізу дивергенції скоростиглого вихідного матеріалу кукурудзи звичайної в умовах Степу України стала розвинута гармонізована робоча колекція селекційних зразків кукурудзи, адаптованих до стресових умов цього регіону. Поступові циклічні вдосконалення ліній дали змогу сформувати ядро генетичного різноманіття скоростиглих зразків ФАО 150–290 південного екотипу, конкурентних у гетерозисній селекції. Складність селекції на скоростиглість в умовах Степу зумовлена відсутністю матеріалу, адаптованого до стресових чинників Півдня України. Наявні ранньостиглі лінії світової колекції F2, F7, Ep1, Ma21, Ma23, Co125, Co255, Cм7, PLS61, S72 та ін., відрізнялися високою холодостійкістю, добрим стартовим розвитком рослин, інтенсивним накопиченням сухої речовини при достиганні, але зовсім не адаптовані до дефіциту вологи в ґрунті та високих літніх температур повітря. За результатами експерименту виявлено, що в селекційному плані найпластичнішими були лінії плазми Ланкастер (ДК427 та ДК633), завдяки чому отримано цілу низку нових середньоранніх ліній, як-от ДК2/427, ДК267, ДК266/417, ДК633/266, ДК296 та ін., які ввійшли до складу зареєстрованих гібридів. Формування генетичної бази скоростиглого вихідного матеріалу кукурудзи для гетерозисної селекції та систематизація за різними селекційними ознаками забезпечило збалансування зразків альтернативних компонентів, які далі будуть використані для моделювання гетерозисних гібридів у скоростиглій групі. **Висновки.** Оновлена базова колекція ліній представлена зразками плазми Айодент: ДК744СВ3М, ДК216СВ3М, ДК4173СВ3М, ДК235зС, ДК257зМ,СВ, ДК365СВ3М, ДК7773МСВ, ДК733-7зМ,СВ, ДК315СВ3М; Ланкастер: ДК296зС,зМ, ДК633/266зС,зМ, ДК29653С3М, ДК2953 3С3М, ДК3023 3С3М, ДК236зС,зМ; Рейд (SSS): ДК232МВ, ДК2323МВ, ДК239МВ; Змішаної: ДК2533С3М, ДК273МВ, ДК272зС, ДК281СВ, ДК233зМ,СВ, ДК959МВ, ДК9527 3С3М, ДК247МВ, ДК2442МВ, яка є основою генетичного різноманіття скоростиглих зразків кукурудзи звичайної і які було включено до Державного реєстру сортів рослин, придатних до поширення в Україні.

Ключові слова: *кукурудза звичайна; гібрид; сортозразки; лінія; зародкова плазма; генотип; колекція.*

Вступ

Передумова ефективного використання інбридинго-гібридизаційної концепції в селекції кукурудзи – наявність вихідного інбредного матеріалу, розділеного на альтернативні генетичні групи за походженням, географією та гетерозисом під час комбінування зразків. Первинною основою для інбредного матеріалу були вільнозапилені сорти, переважна більшість яких створена народною селекцією унаслідок масового добору.

Видатним прикладом поліпшення сортів кукурудзи цим методом є створення сорту ‘Reid Yellow Dent’ піонером селекції Джеймсом Л. Рейдом. Цей унікальний сорт свого часу займав три чверті площ під цією культурою в кукурудзяному поясі США впродовж щонайменше 50 років. Відправним моментом у формуванні сорту ‘Reid Yellow Dent’ була позасвідома гібридизація пізнього зубовидного матеріалу з ранньостиглим кременистим Gordon Hopkins × Little Yellow Corn, яка відбулась унаслідок ремонтування зріджених посівів [1]. Тривале селекційне опрацювання цього сорту в різних агрокліматичних умовах США в майбутньому забезпечила ідеальний фундамент для синтезу інбредного матеріалу. Сучасне інбредне різноманіття створене завдяки сорту ‘Reid’ розділене

V. Yu. Cherchel
https://orcid.org/0000-0002-0429-4961
Ю. Ю. Купар
https://orcid.org/0000-0001-8637-2304
М. М. Таганцова
https://orcid.org/0000-0003-3737-6477
О. Ф. Стасів
https://orcid.org/0000-0003-3737-739X

на декілька самостійних груп: Reid Yellow Dent (Wf 9), Funk and 176A Yellow Dent, Osterland Reid, Troyer Reid, Iodent, Stiff Stalk Synthetic. В Україні отримали розвиток тільки три групи: Reid Yellow Dent (Wf 9), Iodent, Stiff Stalk Synthetic (SSS) [2]. Серед усіх відомих за походженням батьківських компонентів гібридів кукурудзи звичайної найпоширенішими є похідні Reid Yellow Dent, а інколи навіть деякі групи з цього сорту можуть створювати високогетерозисні комбінації [1].

За тривалий період синтезу інбредного матеріалу створено значну кількість самозапилених ліній, але переважна більшість гомозиготних форм не відрізнялася високим гетерозисом за врожайністю зерна в разі їх комбінування. Потрібний був час на впорядкування всього різноманіття вихідного матеріалу за здатністю до утворення конкурентних гібридів кукурудзи та конкурентне ринкове середовище, яке б залишало у виробництві найдостойніші гетерозисні комбінації [3].

Пошук перспективних комбінацій, зі всього різноманіття зібраних гомозиготних ліній, привів до розподілу матеріалу за здатністю створення високопродуктивних гібридів. Спочатку рівень гетерозису за врожайністю зерна пов'язували із генетичним різноманіттям, пізніше уявлення трансформувались у генетичну віддаленість батьківських компонентів [4].

За час тривалих досліджень були сформовані споріднені групи ліній визначені як зародкова плазма [5]. Виявлена доцільність комбінування саме найменш споріднених інбредних ліній, визначені вдалі гібридні комбінації в подальшому названі «гетерозисна модель» (Heterotic pattern) [6]. Сучасний базис селекційних програм різних компаній, вибудований на циклічному поліпшені відомих гетерозисних моделей, оснований на акумуляції позитивних адитивних ефектів господарсько-цінних ознак типового для конкретного регіону [7].

Гетерозисна селекція спрямована на гармонізацію двох ключових процесів, які відбуваються в природних та штучних біологічних популяціях за втручанням дослідника: гомозиготизація та гібридизація. Відповідні процеси основані на формуванні первинного адаптованого вихідного матеріалу з подальшим визначенням спеціалізованого типу гетерозисної моделі гібрида, пристосованого до умов конкретного регіону досліджень, що й окреслює основне завдання селекціонера та наших досліджень [8, 9].

Мета досліджень – проаналізувати дивергенцію скоростиглого вихідного матеріалу кукурудзи звичайної *Zea mays* L. у гетерозисній селекції для формування генетичної бази в Державній установі Інститут зернових культур НААН (ДУ ІЗК НААН).

Матеріали та методика досліджень

Дослідження виконували в ДП Дослідне господарство «Дніпро» ДУ ІЗК НААН протягом 26 років, починаючи з 1994 р. Під час планування польових досліджень послуговувалися принципами, закладеними в методиках [10–14]. Вивчення морфологічних, біологічний та господарсько-цінних ознак у польових та лабораторно-польових умовах здійснювали згідно з вітчизняними і міжнародними класифікаторами.

Вихідним матеріалом були сформована колекція ліній та інбредні потомства різних генерацій самозапилення. Синтез нового вихідного матеріалу здійснювали в спеціальних селекційних розсадниках (колекційний, гаплоїдів, перевірки ЦЧС, схрещувань, інбридингу, розмноження), де розміщували також генетичну та робочу колекцію. Відповідні дослідження проводили в спеціальній двопільній сівозміні «пар–кукурудза», що сприяло створенню інфекційного фону для попереднього оцінювання дослідних зразків на стійкість проти хвороб та шкідників. Для отримання даних за біотичною стійкістю селекційні посіви не обробляли інсектицидами чи фунгіцидами. У вересні визначали відсоток рослин, уражених пухирчастою та пилковою сажкою, а також полеглих чи зламаних нижче качана безпосередньо перед збиранням.

Погодні умови в роки проведення досліджень були контрастними, що, з одного боку, дало змогу провести коректно диференціювати досліджувані генотипи за стійкістю до абіотичних факторів, а з іншого – створило деякі проблеми за проведення селекційних процедур під час запилення. Найсприятливіші умови для вегетації рослин кукурудзи за вологозабезпеченістю та температурним режимом склалися у 2005, 2011, 2013, 2017, 2019 і 2020 рр. За даними тривалих спостережень відзначено, що за період досліджень температура повітря за місяцями та за вегетацію зазнала більш значних змін, ніж кількість опадів. Тобто посилення посушливих явищ за вегетаційний період більше пов'язано з підвищенням температури повітря, особливо в липні та серпні, але такі зміни не завжди негативно впливали на врожайність зерна кукурудзи.

Методи: польовий (комплексне оцінювання морфобіологічних і господарсько-цінних характеристик вихідного матеріалу й гібридів кукурудзи); індивідуальний добір, кумулятивна та рекурентна селекція, методи бекросу, тесткросу; лабораторний; аналіз та синтез; статистичний.

Результати досліджень

Комплексне оцінювання сортозразків скоростиглого вихідного матеріалу кукурудзи звичайної в гетерозисній селекції за морфобіологічними та господарсько-цінними характеристиками забезпечило формування груп базової робочої колекції елітних ліній, ідентифікованих в альтернативні сполучення, характерні для умов Степу, як екоградієнта оцінювання. За результатами добору, що забезпечує безперервний циклічний моніторинг нових генотипів у середовищі, здатному до диференціації та генерування форм стійких до стресових чинників регіону, проаналізовано дивергенцію скоростиглого вихідного матеріалу кукурудзи звичайної у гетерозисній селекції.

Лінії базової колекції не завжди є складниками комерційних гібридів, подібно як і батьківські компоненти таких гібридів не обов'язково формують базовий комплект ліній. Саме такі сортозразки передусім повинні піддаватись селекційному прогресу в доборі за різними господарсько-цінними показниками. Відомо, що низка елітних ліній у циклічних селекційних програмах з поліпшення генотипу та отримання нового гомозиготного матеріалу менш успішні або взагалі не забезпечують позитивний результат.

Прикладом результативності штучного поліпшення можуть бути вихідні форми, з яких починався селекційний процес у ДУ ІЗК НААН (табл. 1). Зокрема, похідні ліній ДК66 та F2 з успіхом пройшли чотири цикли селекції, згенерувавши відповідно 26 та 31 нових зразків, а лінія ДК633 тільки за три цикли – 27. Наведені дані демонструють регіональні пріоритети формування генетичного різноманіття в гетерозисній селекції, які складались навколо трьох основних зародкових плазм: Ланкастер, Лакон, Айодент (табл. 1).

Таблиця 1

Частота перспективних рекомбінантів за використання різних вихідних форм

Вихідна форма	Зародкова плазма	Генотипи в селекційних циклах та комерційному використанні			
		1 цикл	2 цикл	3 цикл	4 цикл
ДК66	Ланкастер	8	6	8	4
F2	Лакон	12	5	11	3
ДК427	Ланкастер	10	5	7	–
ДК633	Ланкастер	12	9	6	–
ДК710	Айодент	7	8	6	–
ДК277-10	Айодент	3	3	2	–

Складність селекції на скоростиглість в умовах Степу зумовлена відсутністю матеріалу адаптованого до стресових чинників Півдня України. Наявні ранньостиглі лінії світової колекції F2, F7, Ep1, Ma21, Ma23, Co125, Co255, Cм7, PLS61, S72 та ін., відрізнялися високою холодостійкістю, добрим стартовим розвитком рослин, інтенсивністю накопичення сухої речовини при достиганні, але зовсім не адаптовані до дефіциту вологи в ґрунті та високих літніх температур повітря, що, зазвичай, типово для цієї місцевості. Середньопізні та середньостиглі генотипи, навпаки, були краще пристосовані до стресових умов літнього періоду вегетації і тому у 80–90-х рр. XX ст., мали пріоритет у виробництві в цьому регіоні [15]. Класичні гетерозисні моделі таких гібридів здебільшого базувалися на трьох зародкових плазмах – Айодент, Ланкастер та Рейд [16]. Гетерозисні моделі ранньостиглих гібридів частіше були ситуативними й не мали успішних глобальних програм з їхнього поліпшення, що було пов'язано з незначною потребою в таких формах у виробництві на той час.

У зв'язку з цим, першочерговим завданням у селекції кукурудзи скоростиглого напряму було систематизування та акумулювання нового вихідного матеріалу, який би дав змогу вести результативний добір для умов Степу України. Аналіз робочої колекції селекційного розсадника, сформованого в різні періоди досліджень, виявив значну неоднорідність зразків за походженням на початку двотисячних років (табл. 2).

Основна частина матеріалу була сформована на базі європейських кременистих форм, насамперед генотипів плазми Лакон (F2 та F7), які, на той час, становили основу гетерозисної селекції скоростиглих гібридів. Також активно використовували лінії північного екотипу (Cм7, Co125, Co255, S72, PLS61), які разом із формами Лакон становили 26,5% усього матеріалу, що досліджувався. Основною структурою ранньостиглих гібридів

Таблиця 2

Формування селекційної робочої колекції скоростиглих генотипів кукурудзи ФАО 150–300 протягом років досліджень

Зародкова плазма, метод	Співвідношення різних зародкових плазм та методів їхнього створення, %				
	2000 р.	2005 р.	2010 р.	2015 р.	2020 р.
Айодент	9,5	12,0	12,6	12,8	13,2
Ланкастер	10,6	27,1	8,5	11,4	14,8
Рейд, SSS	4,3	7,0	11,0	8,9	17,1
Європейська кремениста	18,9	19,3	14,5	8,5	5,8
Комерційні гібриди	4,8	11,1	23,6	26,8	18,5
Інші	7,6	1,9	2,0	0,6	0,9
Гаплоїдія	–	2,5	12,6	12,2	17,1
Тестування	40,0	15,1	10,1	14,4	11,0
ЦЧС	2,0	2,0	3,6	3,4	1,1

того часу були комбінації на базі кременистих, кременисто-зубоподібних та, зрідка, зубоподібних батьківських компонентів, що й призводило до порівняно низької врожайності зерна генотипів ФАО 150–240.

У розв'язанні проблеми адаптації скоростиглого вихідного матеріалу до умов Степу важливе значення мало створення ранньостиглих версій середньопізніх плазм, а саме побудови гетерозисних моделей скоростиглих гібридів на базі лише зубоподібних генотипів без прямого залучення кременистих форм [17]. Для цього із середини 90-х рр. XX ст. у лабораторії селекції кукурудзи ДУ ІЗК НААН (тоді Інститут зернового господарства УААН) було розпочато серію тривалих досліджень.

За продовження відповідних досліджень найперспективніші форми були задіяні в програмах з інбридингу. За результатами експерименту виявлено, що в селекційному плані найпластичнішими були лінії плазми Ланкастер (ДК427 та ДК633), завдяки чому отримано цілу низку нових середньоранніх ліній ДК2/427, ДК267, ДК266/417, ДК633/266, ДК296 тощо, які ввійшли до складу зареєстрованих гібридів (табл. 3).

Таблиця 3

Селекційні методи, залучені під час формування різноманіття скоростиглого матеріалу

Лінії, занесені до державного реєстру та створені на основі:			
схрещування ранньостиглих та середньопізніх форм	бекросу	рекурентної селекції	кумулятивної селекції
ДК2/427, ДК129, ДК959, ДК633/266, ДК296, ДК267, ДК266/417	ДК236, ДК231, ДК237, ДК315, ДК318, ДК3151, ДК239	ДК235, ДК4173	ДК366, ДК272, ДК273, ДК777, ДК7337, ДК298, ДК243, ДК253, ДК2953, ДК2965, ДК7423, ДК7457, ДК216

Серед джерел ранньостиглості найпозитивнішу роль відігравали зразки F2 та ДК266. Саме добра пластичність ліній у доборах у напрямі скоростиглості пояснює збільшення обсягу ліній плазми Ланкастер в селекційному розсаднику 2005 р. (27,1%), особливо пов'язаних походженням від лінії Oh43.

Однак, не всі зародкові плазми забезпечували позитивний результат у таких дослідженнях. Значні проблеми у доборах на скоростиглість відзначено за використання середньопізніх представників плазм Айодент та Рейд (SSS), до того ж, важливим був не стільки факт створення більш ранньостиглого матеріалу, що технічно було отримано, а саме конкурентних генотипів зі сталою та високою комбінаційною здатністю за врожайністю зерна і збалансованими за фенотиповими ознаками. Зокрема, на основі схрещувань F2 та П165 (Айодент) отримано серію ліній з індексом ДК2/165 та другого циклу – ДК216, на базі якої створено та передано на кваліфікаційну експертизу до УІЕСР гібрид 'Кадр 207МВ', але він не зміг пройти Державну реєстрацію. Подібна ситуація відзначено у представників плазми Рейд [SSS (B37)] – ліній ДК2/707 та ДК2/374, які стали чоловічими компонентами середньостиглих гібридів 'Кадр 318МВ' та 'Дніпровський 303 МВ' відповідно. На базі другого циклу з наведених ліній отримано серію генотипів з індексом ДК287, але подальші добори були безрезультативні щодо рівня комбінаційної здатності за врожайністю зерна та її стабільності в стресових умовах.

У пошуках заходів подолання наведених труднощів у поліпшенні вихідних ліній було використано метод бекросування, про перспективність якого згадується в попередніх дослідженнях, унаслідок чого було отримано лінію ДК373 поліпшену версію П346 та ДК66 – більш ранню версію А619 [26]. У на-

ших дослідженнях за рекурентний елемент використовували як ранні, так і середньопізні форми з одним циклом зворотних схрещувань із метою збереження високого рівня можливих рекомбінацій. Перед першим самозапиленням бекросного потомства проводили парні схрещування рослин, у разі використання середньопізнього компонента, а надалі вели жорсткий добір у сторону раннього цвітіння. Завдяки такому способу було отримано лінії змішаної плазми Ланкастер (Mo17) × Лакон (F2) ДК236 та ДК231 з періодом сходи – цвітіння як у середньоранніх генотипів, але з дуже повільною вологовіддачею під час достигання зерна, що, імовірно, зумовлювало їхню добру стійкість до посушливих умов. Надалі вони використані при створенні посухостійких гібридів 'Подільський 274 СВ', 'П'ятихатський 270 СВ' та 'Розівський 311 СВ'.

Подібний метод використано під час створення лінії ДК 315 із бекросного гібрида [ДК257 × ДК247) × ДК257], яка сьогодні є найпопулярнішою в гетерозисній селекції гібридів ФАО 190–320 у нашій установі, але при цьому більш жорстко контролювали вологість зерна за достигання.

Значну частку серед компонентів гібридів ранньостиглої групи у 90-х рр. XX ст. становили лінії, отримані в разі самозапилення синтетичних популяцій змішаної плазми (ДК100, ДК165, ДК169, ДК400, ДК450 та ін.) [4]. Вони ввійшли до складу зареєстрованих гібридів ('Дніпровський 145 МВ', 'Дніпровський 187 МВ', 'Дніпровський 177 СВ', 'Дніпровський 172 МВ', 'Кадр 195 СВ'). Усього на той час було досліджено 36 синтетиків [27].

Результативність рекурентної селекції у створенні скоростиглих генотипів надихнула нас на створення синтетичних популяцій на базі основних гетерозисних груп (табл. 4).

Таблиця 4

Використання ліній, створених на базі синтетичних популяцій (конкурсне сортовипробування), %

Група стиглості, ФАО	Роки					
	1994	1995	1996	1997	1998	1999
150–300	9,4	10	12,1	21,4	12,4	12,4
301–450	–	1	8,9	2,6	5,2	5,0
Усього	9,4	11	21,0	24,0	17,6	17,4

У таблиці 5 наведено інформацію щодо походження синтетичних популяцій, використаних у селекційній програмі. Слід зауважити, що перші п'ять синтетичних популяцій створені у 80-х рр. XX ст., і надалі ми їх доопрацьовували за комплексом селекційних ознак. З наведених популяцій найрезультативнішою була Дніпровська 12, на базі якої отримано лінії ДК165, ДК169, ДК185, ДК195 та надалі ДК714/195, що ввійшли до складу зареєстрованих гібридів кукурудзи. Найбільше ранньостиглих ліній отримано із Синтетик 100, які активно використовувалися для створення гібридів за схрещування з пізніми компонентами, але, на жаль, ця робота була малоефективною.

Таблиця 5

Скоростиглі синтетичні популяції, створені в лабораторії селекції кукурудзи ДУ ІЗК НААН (1995–2015 рр.)

Назва	Напрям селекції та циклів добору	Тип плазми	Лінійний склад синтетиків
Синтетик 100	Скоростиглість, ЗКЗ за врожайністю зерна, С4	Змішана	Z10, F2, F7, PLS61, MA23C, 092, MA21, P502, P346
Синтетик 150	Скоростиглість, ЗКЗ за врожайністю зерна, С3	Змішана	F2, F7, Co113, MA21, ДК43, A495-5-4, P502, P346
Синтетик 117	Адаптивність до умов Степу, С1	СМ7	СМ7(37,5%), ДК27, ДК43, ДК117, Co125, ДК23/125
Синтетик 400	Скоростиглість, ЗКЗ за врожайністю зерна	Змішана	A495-5-5, P502, ND478, 092, A661, ДК260, ГК13, B432
Дніпровська 12	Дивергентний добір на темпи висихання зерна, ЗКЗ за врожайністю зерна, С1	Змішана	СМ7, MA23C, ДК92/23, ДК255, ND478, P502MB, Mv4, ГК26
Synt ранньостиглий I 1	Дивергентний добір на раннє цвітіння волоті, $С_3$	Айодент	ДК777, ДК 403/165, ДК278, ДК279
Synt Lanc 1950/1952	Дивергентний добір на раннє цвітіння волоті, С3	Ланкастер	ДК267-4, ДН522МВ, ДК267-1, ДК312
Синтетик 301	Скоростиглість, ЗКЗ за врожайністю зерна	Рейд (SSS)	ДК315, ДК226, ДК330, ДК247/07, ДК272, ДК377, ДК878, ДК964

На початку 2000 рр. нами було створено серію синтетичних популяцій з вузькою генетичною основою, три з яких наведено в таблиці – Synt ранньостиглий I 1, Synt Lanc 1950/1952 та Синтетик 301. Перші два синтетики складались із другого покоління чотирилінійних гібридів. Таку мінімальну кількість вихідного матеріалу у створені синте-

тиків застосовано усвідомлено для усунення негативних явищ, спричинених зростанням обсягу ліній у популяціях.

Найрезультативнішим виявилося використання Synt ранньостиглий I 1, на базі якого виділено в С0 циклі дві лінії – ДК235 та ДК237-10, а також у С3 – ДК4172 та ДК4173. Для прискорення селекційного процесу дібрані сім'ї перехрещували в зимовому розсаднику, що дало змогу за 2005–2008 рр. досліджень провести три цикли добору протягом восьми генерацій. Рекурентний добір проводили за дивергентною схемою (рис. 1). Оскільки основною метою досліджень був добір скоростиглих рекомбінантів, після оцінювання самозапилених сімей, для подальшої роботи брали тільки найранніші з них. Така особливість була необхідна для виокремлення пізньостиглих форм, які за врожайністю зерна та комбінаційною здатністю більш конкурентні порівняно із скоростиглими, що зашкодило б результативному добору. Завдяки обраній стратегії за три цикли добору було досягнуто зрушення в бік раннього цвітіння волотей рослин сімей у сім діб (у середньому 2,3 доби на цикл).

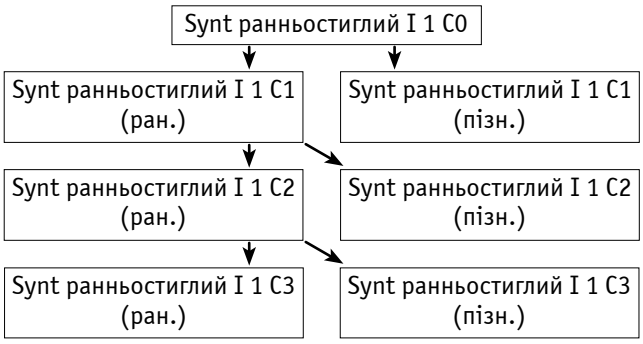

Рис. 1. Схема дивергентного рекурентного добору в синтетичній популяції

Надалі використання синтетичних популяцій як вихідного матеріалу в нашій селекційній програмі значно зменшилось. Передусім це пов'язано з необхідністю дуже великих обсягів первинних генерацій самозапилення для отримання запланованого прогресу бажаних ознак. У період апогею досліджень із синтетиками селекційний розсадник збільшився за обсягами випробування S0–S7 у 2,4 раза. Однак головне те, що зростання масштабів було неадекватне отриманим результатам – появі конкурентних ліній у складі комерційних гібридів, порівняно з надходженням відповідного матеріалу від простих чи сестринських селекційних гібридів.

Продовженням реалізації проєкту створення скоростиглих ліній кукурудзи на базі генотипів із різною тривалістю вегетації стало залучення модифікованого кумулятивного добору. Його зміст полягав не тільки в закладанні нового циклу добору на базі сібсів S4–S5, а й у використанні для цього полусібсів, які отримували паралельно зі споріднених селекційних комбінацій, та інколи додавалися генотипи іншого походження. Схему модифікованого кумулятивного добору наведено на рисунку 2. Саме такий багатоступінчатий циклічний добір із поступовим додаванням інших джерел дав змогу отримати скоростиглі лінії Рейд (SSS), умовно названі ДК273, ДК239 та ДК3821.

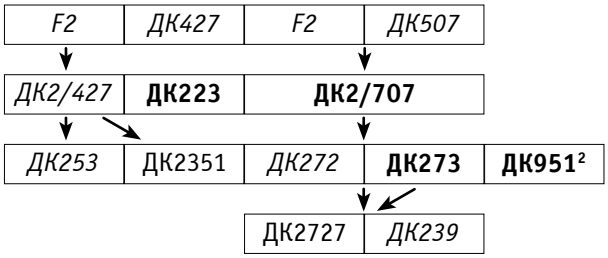

Рис. 2. Схема створення базових ліній кукурудзи в циклічних програмах кумулятивного добору

Примітка. Курсивом позначено батьківські компоненти комерційних гібридів; жирним шрифтом виділено схрещування за межами сібсів.

Сьогодні, коли сформована адаптована робоча колекція скоростиглого матеріалу південного екотипу кукурудзи, нові схрещування на базі генотипів різних за тривалістю вегетації вже не домінують при синтезі нових гомозиготних ліній. Ядро базової колекції селекційних ліній здебільшого складається з генотипів, отриманих завдяки циклічному кумулятивному добору. Найліпші результати такого добору одержано на базі ліній плазми Айодент, але в разі залучення ліній іншого походження в селекційні гібриди цієї плазми вони рідко були результативними. До того ж, ця плазма є основним альтернативним компонентом за синтезу гібридів і додавання різних неспоріднених із нею джерел зменшує мобільність у комбінуванні генотипів.

Значну роль у формуванні робочої колекції відіграють комерційні гібриди, особливо іноземних компаній з високим рівнем розвитку селекційних і генетичних робіт. Такі гібриди складаються з добре дібраних форм, збалансованих за основними господарськоцінними ознаками, і тому несуть у своєму генотипі багато бажаних показників. Перспективність їх використання для інбридингу доводить факт реєстрації в 1999 р. в США 8,3% ліній, створених завдяки самозапиленню гібридів фірми «Піонер» [17].

У нашій селекційній програмі постійно зростає значення комерційних гібридів у використанні для інбридингу, і в певний період їхній обсяг сягав четверті від усього селекційного матеріалу робочої колекції (табл. 2). За період досліджень проаналізовано велику кількість гібридів із різних країн світу (США, Франція, Німеччина та ін.). Практично кожний гібрид, що отримувався установою, розглядався на предмет використання його для створення вихідного матеріалу. Однак в разі інбридингу комерційних гібридів селекціонер стикається з низкою проблем. Зокрема, кращі зразки здебільшого базуються на спорідненому матеріалі й тому малоцікаві для формування генетичного різноманіття. Також, у більшості випадків, комерційні гібриди являють суміш гетерозисних груп, що створює певні проблеми з пошуку альтернативних компонентів у гетерозисній селекції. Останнім часом проблемним чинником стає і правовий аспект, оскільки сьогодні багато компаній забороняють таким чином використовувати свої комерційні гібриди.

Через останню проблему припинено використання гібридного матеріалу відповідних компаній для створення нових ліній, але за 26 роки роботи було зібрано значну колекцію зразків, створених раніше завдяки самозапиленню комерційних гібридів, які вже мають два-три цикли кумулятивної селекції. До найзначиміших ліній, отриманих таким чином, належать: ДК247, ДК233, ДК305, ДК281, ДК2831, ДК285, ДК4315, ДК445. Вони входять до складу занесених до Державного реєстру гібридів 'Оржиця 237 МВ', 'ДН Гарант', 'ДН Патріот', 'ДН Славиця' та перспективних 'ДН Меотида', 'ДН Астра', 'ДН Нур', 'ДН Відрада'.

За період досліджень гармонізовано структуру селекційного розсадника, у якому 63,6% від загального обсягу займають матеріали чотирьох сучасних зародкових плазм, здебільшого Айодент, Ланкастер, Рейд (SSS), та меншою мірою – європейська кремениста та інші (табл. 2).

Позитивним моментом інтенсифікації процесу створення нових ліній вважається освоєння методу гаплоїдії в селекційній програмі, значення якого з кожним роком зростає. Важливо відзначити стабілізацію обсягів тестування вихідного матеріалу, які на початку 2000-х рр. становили значну частку (40%) досліджень у розсаднику, що необхідно було для пошуку нових гетерозисних варіантів схрещувань та визначення нових тестерів. Завдяки тривалим дослідженням сформовано колекцію ліній, яка постійно оновлюється (табл. 6).

Таблиця 6

Обсяг колекції гомозиготних ліній різних зародкових плазм

Зародкова плазма	2000 р.	2005 р.	2010 р.	2015 р.	2020 р.
Айодент	21	72	33	82	117
Ланкастер	12	50	33	52	105
Рейд	14	65	60	67	80
Європейська кремениста	11	37	37	44	62
Змішана	–	–	19	67	117
Інші	32	16	4	5	11
Усього	90	240	186	317	492
Загальний обсяг S0–S7	2561	6071	5804	3503	6547
Нові лінії у складі гібридів для реєстрації*	10	50	41	39	44

*Кількість ліній вказано за п'ятирічними періодами, починаючи з 1996 р.

За результатами ретельнішого аналізу нових селекційних гібридів та значного зменшення використання синтетичних популяцій у програмі досліджень, вдалось оптимізувати загальний обсяг генотипів S0–S7.

Висновки

Систематизовано та сформовано базову основу генетичного різноманіття скоростиглих зразків із представників усіх відомих зародкових плазм, що забезпечує необмежні можливості синтезу скоростиглих гібридів кукурудзи.

Рекурентний добір проводили за дивергентною схемою, добір скоростиглих рекомбінантів – після оцінювання самозапилених сімей, де за три цикли добору було досягнуто зрушення в бік раннього цвітіння волотей рослин сімей у сім діб (у середньому 2,3 доби на цикл).

Оновлена базова колекція ліній представлена сортозразками плазми Айодент: ДК744СВЗМ, ДК216СВЗМ, ДК4173СВЗМ, ДК235зС, ДК257зМ,СВ, ДК365СВЗМ, ДК777ЗМСВ, ДК733-7 зМ,СВ, ДК315СВЗМ; Ланкастер: ДК296зС,зМ, ДК633/266зС,зМ, ДК2965ЗСЗМ, ДК2953 ЗСЗМ, ДК3023 ЗСЗМ, ДК236зС,зМ; Рейд (SSS): ДК232МВ, ДК2323МВ, ДК239МВ; змішаної: ДК253ЗСЗМ, ДК273МВ, ДК272зС, ДК281СВ, ДК233зМ,СВ, ДК959МВ, ДК9527 ЗСЗМ, ДК247МВ, ДК2442МВ.

За останні 20 років досліджень створено 184 лінії, які ввійшли до складу нових гібридів кукурудзи, занесених до Державного реєстру сортів рослин, придатних до поширення в Україні, та перспективних зразків.

Використана література

1. Gerdes J. T., Behr C. F., Coors J. G., Tracy W. F. Compilation of North American maize breeding germplasm. Madison, WI : Crop Science Society of America, 1993. 202 p. doi: 10.2135/1993.compilationofnorthamerican.frontmatter
2. Troyer A. F. Temperate corn – Background, behavior, and breeding. *Specialty corns*. 2nd ed. Boca Raton, FL : CRC Press, 2000. P. 393–466. doi: 10.1201/9781420038569.ch14
3. Дзюбецький Б. В., Черчель В. Ю. Сучасна зародкова плазма в програмі з селекції кукурудзи в Інституті зернового господарства УААН. *Селекція і насінництво*. 2002. Вип. 86. С. 11–19.
4. Troyer A. F., Wellin E. J. Heterosis Decreasing in Hybrids – Yield Test Inbreds. *Crop Sci*. 2009. Vol. 49, Iss. 6. P. 1969–1976. doi: 10.2135/cropsci2009.04.0170
5. Moll R. H., Salhuana W. S., Robinson H. F. Heterosis and Genetic Diversity in Variety Crosses of Maize. *Crop Sci*. 1962. Vol. 2, Iss. 3. P. 197–198. doi: 10.2135/cropsci1962.0011183X000200030005x
6. Hallauer A. R., Miranda J. B. Quantitative genetics in maize breeding. Ames : Iowa State Univ. Press., 1981. 468 p. doi: 10.1007/978-1-4419-0766-0
7. Hallauer A. R., Russell W. A., Lamkey K. R. Corn breeding. *Corn and corn improvement* / G. F. Sprague, J. W. Dudley (Eds.). Madison, WI, 1988. P. 463–564. doi: 10.2134/agronmonogr18.3ed.c8
8. Reif J. C., Hallauer A. R., Melchinger A. E. Heterosis and heterotic patterns in maize. *Maydica*. 2005. Vol. 50, Iss. 3. P. 215–223.
9. Melchinger A. E., Gumber R. K. Overview of heterosis and heterotic groups in agronomic crops. *Concepts and Breeding of Heterosis in Crop Plants* / K. R. Larnkey, J. E. Staub (Eds.). Madison, WI, 1998. P. 29–44. doi: 10.2135/cssaspecpub25.c3
10. Методика проведення польових дослідів з кукурудзою / Є. М. Лебідь, В. С. Циков, Ю. М. Пащенко та ін. Дніпропетровськ. 2008. 27 с.
11. Методика проведення експертизи сортів рослин групи зернових на відмінність, однорідність і стабільність / за ред. С. О. Ткачик. 2-ге вид., випр. і доп. Вінниця : Нілан-ЛТД, 2016. 64 с.
12. Методика проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення в Україні. Загальна частина / за ред. С. О. Ткачик. 4-те вид., випр. і доп. Вінниця : Нілан-ЛТД, 2016. 120 с.
13. Методика проведення експертизи сортів рослин групи зернових, круп'яних та зернобобових на придатність до поширення в Україні / за ред. С. О. Ткачик. Вінниця : Нілан-ЛТД, 2016. 82 с.
14. Методика проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення в Україні. Методи визначення показників якості продукції рослинництва / за ред. С. О. Ткачик. Вінниця : Нілан-ЛТД, 2016. 159 с.
15. Соколов В. М., Вареник Б. Ф., Пилюгин А. С., Гужва Д. В. Селекционная оценка элитных самоопыленных линий кукурузы из основных гетерозисных групп зародышевой плазмы. *Генетика, селекция и технология возделывания кукурузы*. Майкоп : Адыгея, 1999. С. 92–96.
16. Дзюбецький Б. В., Дуда О. М., Черчель В. Ю. Селекція середньоранніх простих міжлінійних гібридів кукурудзи на базі ліній з різною довжиною вегетаційного періоду. *Селекція і насінництво*. 1999. Вип. 82. С. 13–20.
17. Дзюбецький Б. В., Черчель В. Ю., Антонюк С. П. Селекція кукурудзи. *Генетика і селекція в Україні на межі тисячоліть* / редкол. : В. В. Моргун (гол. ред.) та ін. Київ : Логос, 2001. Т. 2. С. 571–589.

References

1. Gerdes, J. T., Behr, C. F., Coors, J. G., & Tracy, W. F. (1993). *Compilation of North American maize breeding germplasm*. Madison, WI: Crop Science Society of America. doi: 10.2135/1993.compilationofnorthamerican.frontmatter
2. Troyer, A. F. (2000). Temperate corn – Background, behavior, and breeding. In *Specialty corns* (pp. 393–466). (2nd ed.). Boca Raton, FL: CRC Press. doi: 10.1201/9781420038569.ch14
3. Dziubetskyi, B. V., & Cherchel, V. Yu. (2002). Modern embryonic plasma in the corn breeding program at the Institute of grain crops NAAS of Ukraine. *Selekciâ i nasinnictvo* [Plant Breeding and Seed Production], *86*, 11–19. [in Ukrainian]
4. Troyer, A. F., & Wellin, E. J. (2009). Heterosis Decreasing in Hybrids – Yield Test Inbreds. *Crop Sci.*, *49*(6), 1969–1976. doi: 10.2135/cropsci2009.04.0170
5. Moll, R. H., Salhuana, W. S., & Robinson, H. F. (1962). Heterosis and Genetic Diversity in Variety Crosses of Maize. *Crop Sci*., *2*(3), 197–198. doi: 10.2135/cropsci1962.0011183X000200030005x
6. Hallauer, A. R., & Miranda, J. B. (1981). *Quantitative genetics in maize breeding*. Ames: Iowa State Univ. Press. doi: 10.1007/978-1-4419-0766-0
7. Hallauer, A. R., Russell, W. A., & Lamkey, K. R. (1988). Corn breeding. In G. F. Sprague & J. W. Dudley (Eds.), *Corn and corn improvement* (pp. 463–564). Madison, WI: N.p. doi: 10.2134/agronmonogr18.3ed.c8
8. Reif, J. C., Hallauer, A. R., & Melchinger, A. E. (2005). Heterosis and heterotic patterns in maize. *Maydica*, *50*(3), 215–223.
9. Melchinger, A. E., & Gumber, R. K. (1998). Overview of heterosis and heterotic groups in agronomic crops. In K. R. Larnkey & J. E. Staub (Eds.), *Concepts and Breeding of Heterosis in Crop Plants* (pp. 29–44). Madison, WI: N.p. doi: 10.2135/cssaspecpub25.c3
10. Lebid, Ye. M., Tsykov, V. S., Pashchenko, Yu. M., Dziubetskyi, B. V., & Cherchel, V. Yu. (2008). *Metodyka provedennia polovykh doslidiv z kukurudzoiu* [Method of conducting field experiments with corn]. Dnipropetrovsk: N.p. [in Ukrainian]
11. Tkachyk, S. O. (Ed.). (2016). *Metodyka provedennia ekspertyzy sortiv roslyn hrupy zernovykh na vidminnist, odnoridnist i stabilnist* [Method of examination of plant varieties of the group of grains for difference, homogeneity and stability]. (2nd ed., rev. and enl.). Vinnytsia: Nilan-LTD. [in Ukrainian]
12. Tkachyk, S. O. (Ed.). (2016). *Metodyka provedennia kvalifikatsiinoi ekspertyzy sortiv roslyn na prydatnist do poshyrennia v Ukraini. Zahalna chastyna* [Methods of conducting qualification tests of plant varieties for suitability for distribution in Ukraine. General part]. (4th ed., rev. and enl.). Vinnytsia: Nilan-LTD. [in Ukrainian]
13. Tkachyk, S. O. (Ed.). (2016). *Metodyka provedennia ekspertyzy sortiv roslyn hrupy zernovykh, krupianykh ta zernobobovykh na prydatnist do poshyrennia v Ukraini* [Method for grain, cereal and leguminous varieties VCU expert examination in Ukraine]. Vinnytsia: Nilan-LTD. [in Ukrainian]
14. Tkachyk, S. O. (Ed.). (2016). *Metodyka provedennia kvalifikatsiinoi ekspertyzy sortiv roslyn na prydatnist do poshyrennia v Ukraini. Metody vyznachennia pokaznykiv yakosti produktsii roslynnytstva* [Methodology of state scientific and technical examination of plant varieties. Methods of determining the quality indices of crop production].Vinnytsia: Nilan-LTD. [in Ukrainian]
15. Sokolov, V. M., Varenik, B. F., Pilyugin, A. S., & Guzhva, D. V. (1999). Breeding evaluation of elite self-pollinated maize lines from the main heterotic groups of germplasm. In *Genetika, selektsiya i tekhnologiya vozdelyvaniya kukuruzy* [Genetics, breeding and technology of maize cultivation] (pp. 92–96). Maykop: Adygeya. [in Russian]
16. Dziubetskyi, B. V., Duda, O. M., & Cherchel, V. Yu. (1999). Breeding of medium-early simple interlinear maize hybrids on the basis of a line with different length of the growing season. *Selekciâ i nasinnictvo* [Plant Breeding and Seed Production], *82*, 13–20. [in Ukrainian]

17. Dziubetskyi, B. V., Cherchel, V. Yu., & Antoniuk, S. P. (2001). Breeding of corn. In Morhun, V. V. (Ed.), *Henetyka i selektsiia v Ukraini na mezhi tysiacholit* [Genetics and breeding in Ukraine at the turn of the millennium] (Vol. 2, pp. 571–589). Kyiv: Lohos. [in Ukrainian]

UDC 631.527:575.22:633.15

Cherchel, V. Yu.[1], Kupar, Yu. Yu.[1], Tahantsova, M. M.[2], & **Stasiv, O. F.[3]** (2020). The results of divergence of early-maturing maize source material in heterosis breeding. *Plant Varieties Studying and Protection*, *16*(4), 378–386. https://doi.org/10.21498/2518-1017.16.4.2020.224055

[1]Institute of Grain Crops, NAAS of Ukraine, 14 V. Vernadskoho St., Dnipro, 49000, Ukraine, e-mail: vlad_cherch@ukr.net

[2]Ukrainian Institute for Plant Variety Examination, 15 Henerala Rodymtseva St., Kyiv, 03041, Ukraine

[3]Institute of Agriculture in the Carpathian region NAAS of Ukraine, 5 M. Hrushevskoho St., Oboroshyno village, Pustomytivskyi district, Lviv region, 81115, Ukraine

Purpose. To analyze the divergence of early maturing source material of corn *Zea mays* L. in heterosis breeding for the genetic base formation at the State Institution the Institute of Grain Crops of the NAAS of Ukraine. **Methods**. Field (comprehensive assessment of morphobiological and economically valuable characteristics of the source material and maize hybrids) individual selection, cumulative and recurrent selection, backross and testcrosses breeding methods; laboratory; analysis and synthesis; statistical. **Results.** The results of research on the analysis of the divergence of early maturing corn source material in the conditions of the Steppe of Ukraine has become a developed harmonized working collection of corn breeding samples adapted to the stressful conditions of this region. The gradual cyclical improvement of the lines made it possible to form the core of the genetic diversity of FAO 150–290 early maturing specimens of the southern ecotype, which are competitive in heterosis breeding. The complexity of breeding for early maturity in the steppe conditions is due to the lack of material adapted to the stress factors of the South of Ukraine. The available early maturing lines of the world collection F2, F7, Ep1, Ma21, Ma23, Co125, Co255, Cм7, PLS61, S72, etc., were distinguished by high cold resistance, good starting plant development, intensive accumulation of dry matter during ripening, but not adapted to the deficiency of moisture in the soil and high summer temperatures. According to the results of the experiment, it was revealed that, in terms of breeding, lines of Lancaster plasma (DK427 and DK633) were the most plastic, due to which a number of new mid-early lines were obtained, for example DK2/427, DK267, DK266/417, DK633/266, DK296, etc., which were included in the registered hybrids. Formation of the genetic base of early maturing maize source material for heterosis breeding and systematization according to different breeding characteristics provided a balance of samples of alternative components, which will be further used to model heterosis hybrids in the early maturing group. **Conclusions.** The updated basic collection of lines is represented by the samples of plasma Iodent: DK744SVZM, DK216SVZM, DK4173SVZM, DK235zS, DK257zM, SV, DK365SVZM, DK777ZMSV, DK733-7zM,SV, DK315SVZM; Lancaster: DK296zS,VM, DK633/266zS,VM, DK2965ZSZM, DK2953 ZSZM, DK3023 ZSZM, DK236zS,ZM; Raid (SSS): DK232MV, DK2323MV, DK239MV; Mixed: DK253ZSZM, DK273MV, DK272zS, DK281SV, DK233zM,SV, DK959MV, DK9527 ZSZM, DK247MV, DK2442MV, which is the basis of the genetic diversity of early ripening corn samples included in the State register of plant varieties suitable for dissemination in Ukraine.

Keywords: *corn; hybrid; variety samples; line; germ plasm; genotype; collection.*

Надійшла / Received 29.10.2020
Погоджено до друку / Accepted 09.12.2020