

## ***ВИКОРИСТАННЯ МАРКЕРНИХ СИСТЕМ В СЕЛЕКЦІЇ ВИСОКОГЕТЕРОЗИСНИХ ГІБРИДІВ КУКУРУДЗИ***

---

Китайова С. С., Кириченко В. В., Чернобай Л. М.  
Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН

Показано особливості використання різних маркерних систем у селекції високогетерозисних гібридів кукурудзи. Встановлено недостатньо високі значення асоціацій між генетичною дивергенцією, розрахованою за дескрипторами UPOV, та індексами гетерозису. Показано, що більш тісні асоціації між константами СКЗ та індексами гетерозису спостерігаються при аналізі гібридів, отриманих за діалельною схемою схрещувань. Доведено доцільність використання SSR маркерної системи для підбору батьківських компонентів при отриманні високогетерозисних гібридів кукурудзи.

*Кукурудза, гетерозис, генетична дивергенція, UPOV, комбінаційна здатність, RAPD, SSR*

**Вступ.** У селекційних програмах по кукурудзі метою підвищення гетерозису особливе значення має стратегія відбору вихідного матеріалу, який має відповідати селекційним вимогам щодо відтворення бажаних властивостей, у першу чергу високої врожайності. Згідно генетичної концепції, значний внесок у формування гетерозисного ефекту вносять гетерозиготні локуси, що забезпечується високим рівнем дивергенції батьківських форм [1]. Але на сьогодні не розкриті механізми прояву та контролю ефектів гетерозису. Існуючі гіпотези генетичного контролю гетерозису пояснюють лише окремі прояви явища і не дають цілісного уявлення проблеми, тому їх прогностичні можливості залишаються доволі низькими.

Починаючи з 60-х років минулого сторіччя було зроблено спроби використання морфологічних ознак для передбачення гетерозису на основі визначення генетичної спорідненості та належності лінії до гетерозисної групи [2]. Наступним кроком підбору батьківських компонентів було визначення комбінаційної здатності, яка характеризує відносну цінність генотипу та вказує на подальшу можливість залучення ліній до схрещувань [3]. Успіх використання такого підходу визначається вибором раціональних схем схрещування та використанням вихідного матеріалу, якому властиві високі адаптивні і цінні господарські ознаки [4].

З розвитком молекулярно-генетичних підходів поліморфізм ДНК став розглядатися як міра генетичної різноманітності і критерій підбору дивергентних генотипів для різних культур. Для цього використовували різні маркерні системи, починаючи від рестрикційного аналізу і закінчуючи сучасними SNP (single nucleotide polymorphisms) маркерами. Незважаючи на те, що в ряді досліджень виявлено корисність такої оцінки для підбору пар схрещувань [5, 6], єдиної думки про зв'язок гетерогенності матеріалу, оціненої за молекулярно-генетичними маркерами (МГМ), з гібридною силою так і не склалося [7]. Деякі дослідники вважають, що оцінка загальної гетерогенності не може бути адекватним критерієм підбору батьківських пар при гібридизації, так як вона відображає загальний рівень відмінностей між генотипами і не має безпосереднього зв'язку з біологічними ознаками. Інші дослідники визначили досить високу прогностичну можливість маркерних систем [8].

**Мета дослідження.** Мета даного дослідження полягала в оцінці зв'язку між ефектами гетерозису у кукурудзі і генетичною різноманітністю селекційного матеріалу, оціненою за дескрипторами UPOV, комбінаційною здатністю та за молекулярно-генетичними маркерами.

**Методика, вихідний матеріал, умови досліджень.** Для проведення досліджень залучено 60 інбредних ліній кукурудзи з робочої колекції лабораторії селекції і насінництва кукурудзи Інституту рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН (ІР ім. В. Я. Юр'єва). Дослідження проводили в умовах східної частини Лісостепу України в селекційній сівозміні ІР ім. В. Я. Юр'єва відповідно до загальноприйнятої методики польового експерименту [9].

Польові дослідження проведено впродовж 2012-2013 років. Роки досліджень були контрастними за метеорологічними умовами, що дало змогу всебічно оцінити інбредний матеріал та гібриди кукурудзи. Фенотипові ознаки інбредних ліній, передбачені методикою UPOV, реєстрували в польових умовах впродовж двох років досліджень [10]. Спорідненість інбредних ліній за фенотиповими ознаками визначали за евклідовими відстанями, розрахованими у програмі Statistica 6.0. Специфічну комбінаційну здатність визначали у системі топкросів (57 материнських ліній та три батьківських тестерів – ХАРКІВСЬКА 210, ХАРКІВСЬКА 155, ХА 402), та в системі діалельних схрещувань (11 інбредних ліній) за другою схемою Грифінга [11]. В обох схемах схрещувань проаналізовано складову соматичного гетерозису (висота рослин) і характеристику репродуктивного гетерозису (продуктивність і її складові, такі як маса 1000 зерен, кількість рядів зерен, кількість зерен в ряду, довжина качана, діаметр качана) [12]. Оцінено індекси гіпотетичного (ІГТ) та справжнього гетерозису (ІСГ) [11].

Для визначення генетичної дивергенції за МГМ використано дві поліморфні ДНК-системи – RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA) та SSR (Simple Sequence Repeats). У роботі використано вісім RAPD-праймерів (ОАС-20, OF-10, OP-04, ОРА-11, ОРР-10, ОРУ-01, ОРW-04, ОРZ-04) [13] та 19 SSR-праймерів (UMC 1703, UMC 2047, Phi090, Phi053, Phi10228, Phi072, Phi093, Phi113, Phi 048, Phi 452693, Phi078, UMC 1545, Phi 114, UMC 1304, Phi 015, Phi 22, Phi 32, Phi 041, UMC 1344) [14]. Праймери підібрано за літературними даними. Генетичні дистанції для обох маркерних систем розраховані за Неєм та Лі [13, 14].

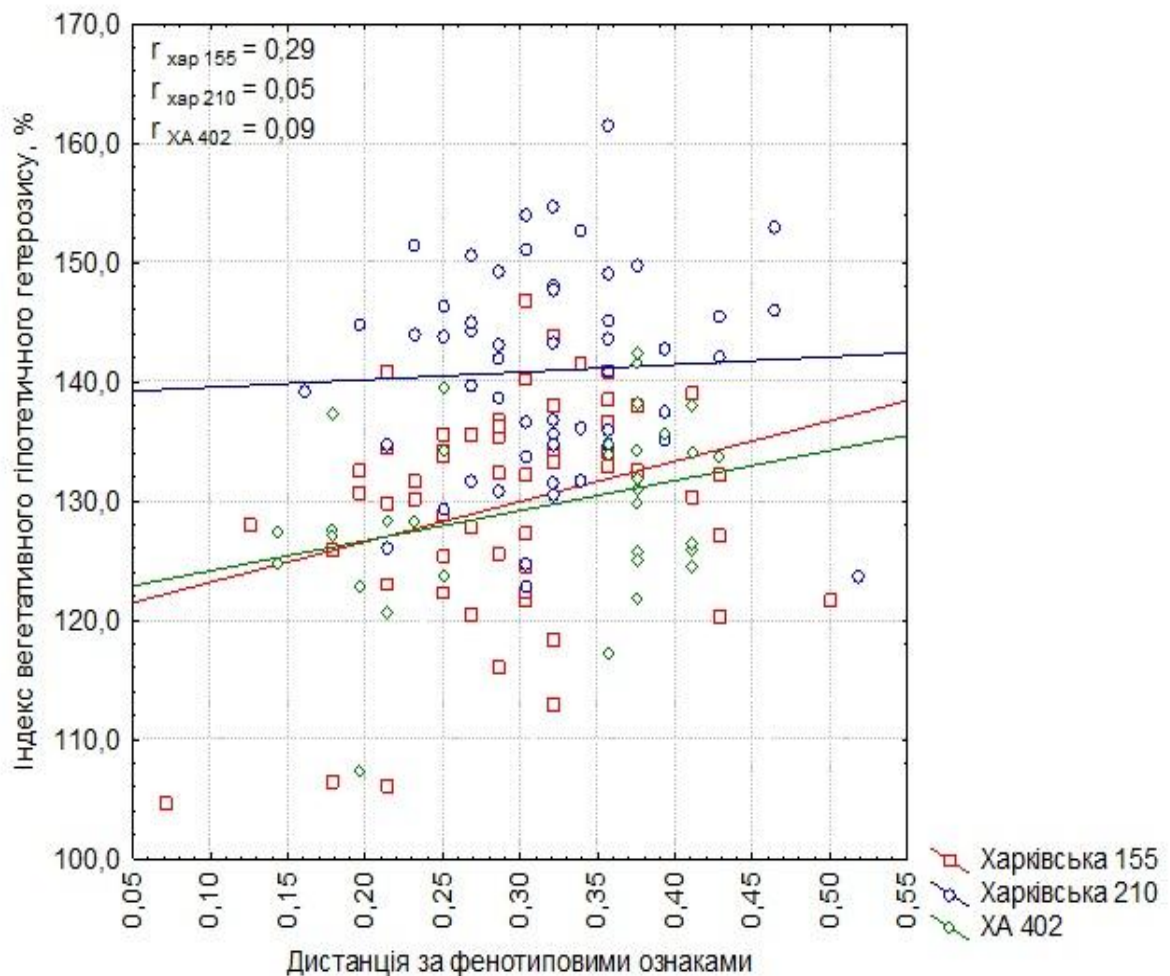
Для визначення асоціацій між генетичною різноманітністю та індексами гетерозису було розраховано коефіцієнт кореляції та бісеріально-ранговий коефіцієнт кореляції у програмі Statistica 6.0.

**Результати та обговорення.** Першим методом для оцінки спорідненості вихідного матеріалу був метод на основі ознак, передбачених методикою UPOV. До аналізу залучено гібриди з топкросів та діалельної схеми схрещувань.

Першим набором для оцінки обрано гібриди за схемою топкросів. Коефіцієнти кореляції між евклідовими відстанями, що відповідають спорідненості батьківських форм, та індексами гетерозису були неоднозначними. На рисунку 1 приведено корелятивні залежності між дивергенцією батьківських ліній та індексами гіпотетичного гетерозису за висотою рослин. Подібні залежності можна спостерігати за різними ознаками та різними типами гетерозису. Взаємозв'язки дещо змінюються в залежності від ознаки, тестеру та року випробування. Так, у 2012 році було встановлено статистично значимі, але низькі коефіцієнти кореляції між дистанціями, розрахованими за дескрипторами UPOV, для тестера ХАРКІВСЬКА 155 та індексами гіпотетичного гетерозису за ознаками висота рослини ( $r = 0,35$ ), довжина качана ( $r = 0,35$ ), кількість зерен у ряду ( $r = 0,27$ ) та за індексом справжнього гетерозису за кількістю зерен у ряду ( $r = 0,30$ ). Для дистанцій за тестером ХА 402 у 2012 році встановлено також низькі, але статистично значимі коефіцієнти кореляції між дистанціями та індексами гіпотетичного гетерозису за ознакою висота рослини ( $r = 0,31$ ), довжина качана ( $r = 0,36$ ), продуктивність ( $r = 0,37$ ), а також за індексами справжнього гетерозису за продуктивністю ( $r = 0,26$ ).

У 2013 році низьку, але статистично значиму кореляцію між дистанціями та індексами гіпотетичного гетерозису встановлено лише для ознаки довжина качана для тестеру ХАРКІВСЬКА 210 та висота рослини для тестеру ХА 402.

Щоб запобігти можливому впливу батьківського компоненту на оцінки ІГ у схемі топкросів, до аналізу авторами залучено другий набір гібридів, отриманий у діалельній схемі схрещувань. Ніяких статистично значимих зв'язків між дистанціями, розрахованими за фенотиповими ознаками та індексами гетерозису, для цих гібридів не виявлено.



**Рис. 1.** Зв'язок генетичних дистанцій, розрахованих за фенотиповими ознаками з ефектом гіпотетичного гетерозису в  $F_1$  за висотою рослин, 2012 р.

Таким чином, встановлено, що даних спорідненості за дескрипторами UPOV недостатньо для проведення надійного підбору компонентів схрещувань.

Наступним кроком підбору пар для схрещувань було використання констант специфічної комбінаційної здатності (СКЗ), розрахованої також у схемах топкросів та діалельних схрещувань. Як і у випадку аналізу спорідненості за фенотиповими ознаками, першим набором для аналізу були гібриди з першої схеми схрещувань. За результатами кореляційного аналізу можна спостерігати різні значення коефіцієнтів кореляції в залежності від типу гетерозису, ознаки, тестеру та року випробування (табл. 1).

Для показника соматичного гетерозису за висотою рослин відмічено досить різноманітну сполученість між константами СКЗ та індексами гетерозису, яка змінювалася за роками та тестерами, не маючи чіткої залежності. Коефіцієнт кореляції варіював у 2012 році від  $r = 0,21$  до  $r = 0,81$  для індексів справжнього гетерозису для гібридів з тестерами ХАРКІВСЬКА 210 та ХАРКІВСЬКА 155 відповідно.

Для продуктивності не знайдено тісного зв'язку між індексами гетерозису та константами СКЗ. Такий зв'язок між константами СКЗ та індексами гетерозису за продуктивністю було відмічено для гібридів, отриманих при схрещуванні з тестером ХАРКІВСЬКА 210 за погодних умов обох років. Кореляція у 2012 році коливалася від  $r = 0,51$  до  $r = 0,69$  для ІГГ та ІСГ відповідно, а в умовах 2013 року становила  $r = 0,55$  для обох індексів гетерозису.

Таким чином, було отримано досить суперечливі результати щодо сполученості індексів гетерозису з константами СКЗ за основним показником репродуктивного гетерозису – продуктивності та її складовими.

Таблиця 1

**Коефіцієнти кореляції між індексами гетерозису та константами СКЗ, розрахованими у схемі топкросів, 2012-2013 рр.**

Ознака	Рік	Тестер					
		ХАРКІВСЬКА 210		ХАРКІВСЬКА 155		ХА 402	
		ІГГ	ІСГ	ІГГ	ІСГ	ІГГ	ІСГ
Висота рослин	2012	0,44*	0,21	0,73*	0,81*	0,54*	0,61*
	2013	0,67*	0,52*	0,54*	0,59*	0,37*	0,49*
Довжина качана	2012	0,74*	0,71*	0,65*	0,67*	0,70*	0,78*
	2013	0,63*	0,63*	0,68*	0,68*	0,58*	0,58*
Діаметр качана	2012	0,36*	0,36*	0,93*	0,93*	0,23	0,23
	2013	0,57*	0,57*	0,81*	0,81*	0,32*	0,32*
Кількість рядів зерен	2012	0,56*	0,51*	0,60*	0,56*	0,54*	0,45*
	2013	0,59*	0,59*	0,73*	0,73*	0,53*	0,53*
Кількість зерен у ряду	2012	0,60*	0,68*	0,55*	0,53*	0,73*	0,81*
	2013	0,60*	0,60*	0,57*	0,57*	0,66*	0,66*
М 1000 зерен	2012	0,70*	0,67*	0,60*	0,40*	0,74*	0,67*
	2013	0,74*	0,74*	0,66*	0,66*	0,72*	0,72*
Продуктивність	2012	0,51*	0,69*	0,21	0,21	0,22	0,53*
	2013	0,55*	0,55*	0,31*	0,31*	0,26*	0,26*

Примітка. \* – Статистично значимо на 5 % рівні.

У результаті проведених досліджень встановлено наявність позитивних асоціацій між константами СКЗ і індексами гетерозису гібридів, отриманих у схемі топкросів, але як і при першому методі оцінки спорідненості, таких залежностей недостатньо для надійного підбору пар для схрещувань.

А. В. Кільчевський вважає, що в діалельній схемі схрещувань більш надійно проводити оцінки СКЗ порівняно з топкросною схемою, у якій на розрахунок констант СКЗ має суттєвий вплив вибір тестера, його комбінаційна здатність, що призводить до певного спотворення результатів [15].

Тому наступним кроком щодо визначення асоціацій між константами СКЗ та індексами гетерозису був аналіз гібридів з діалельної схеми схрещувань. Коефіцієнти кореляції між константами СКЗ виявились більшими при розгляді їх асоціацій з ІГГ, порівняно з ІСГ, у два роки вивчення. Було відмічено статистично значиму кореляцію для усіх ознак в обидва роки випробування, окрім довжини качана та діаметра качана в умовах 2013 року (табл. 2).

Таблиця 2

**Коефіцієнти кореляції між індексами гетерозису та константами СКЗ, розрахованими у діалельній схемі схрещувань, 2012-2013 рр.**

Ознака	ІГГ		ІСГ	
	2012 рік	2013 рік	2012 рік	2013 рік
Висота рослини	0,77*	0,80*	0,67*	0,61*
Довжина качана	0,83*	0,19	0,75*	0,18
Діаметр качана	0,85*	0,23	0,79*	0,19
Кількість рядів зерен	0,87*	0,89*	0,62*	0,64*
Кількість зерен у ряду	0,86*	0,79*	0,75*	0,72*
Маса 1000 зерен	0,89*	0,87*	0,84*	0,85*
Продуктивність	0,70*	0,73*	0,64*	0,64*

Примітка. \* – Статистично значимо на 5 % рівні.

Індекси гетерозису за висотою рослин мали тісну кореляцію з константами СКЗ і коливалися від  $r = 0,67$  для ІСГ в умовах 2012 року до  $r = 0,80$  для ІГГ в умовах 2013 року.

За продуктивністю також розраховано тісні коефіцієнти кореляції між константами СКЗ та ІГГ, які склали  $r = 0,70$  та  $r = 0,73$  у 2012 р. та 2013 р. відповідно, а між ІСГ та константами СКЗ  $r = 0,64$  в обидва роки випробування. За складовими продуктивності коефіцієнти кореляції між константами СКЗ та ІГГ майже для усіх ознак становили більше  $r = 0,80$ .

Таким чином, було встановлено, що більш тісні асоціації між константами СКЗ та індексами гетерозису спостерігаються при аналізі гібридів, отриманих у діалельній схемі схрещувань. Коефіцієнти кореляції між індексами гіпотетичного гетерозису за ознакою «продуктивність» з константами СКЗ становлять близько  $r = 0,70$ .

Останнім методом для визначення генетичної спорідненості був аналіз інбредних ліній за МГМ – RAPD та SSR-ПЛР (полімеразна ланцюгова реакція) [13,14]. Генетичні дистанції, розраховані за Неєм та Лі, нами було проаналізовано за зв'язком з індексами гіпотетичного та справжнього гетерозису за основними ознаками, що вивчали.

Як і для перших двох спроб визначення асоціацій між індексами гетерозису та спорідненістю оцінено гібриди зі схем топкросів та діалельних схрещувань. Визначено статистично незначимі або негативні коефіцієнти кореляції між генетичними дистанціями та індексами соматичного, генеративного гетерозису та складових генеративного гетерозису.

Основною складністю проведення регулярних схрещувань є їх трудомісткість і надмірність. Тому викликає зацікавленість підбір індивідуальних парних схрещувань на основі зовнішніх критеріїв. Нами було реалізовано схему схрещувань за вже відомими генетичними дистанціями. До схеми увійшли випадково вибрані гібридні комбінації, батьківські компоненти яких різнилися за генетичними дистанціями – мінімальні (0,003–0,006) і максимальні (0,019–0,027) для RAPD маркерної системи та мінімальні (0,002–0,007) і максимальні (0,024–0,055) для SSR маркерної системи.

Так як генетичні дистанції в межах «мінімальної» та «максимальної» групи не створювали безперервний варіаційний ряд, то вони були переведені у номінальну шкалу, а значення індексів гетерозису – у інтервальну шкалу. Для обробки таких двох рядів спостережень використовували бісеріально-ранговий коефіцієнт кореляції ( $r_{br}$ ) (табл. 3).

Таблиця 3

**Точковий бісеріально-ранговий коефіцієнт кореляції між генетичними дистанціями та індексами гетерозису, 2012-2013 рр.**

Маркерна система	Ознака	Н гіпотетичний		Н справжній	
		2012 рік	2013 рік	2012 рік	2013 рік
RAPD	Висота рослин	0,41*	0,56*	0,20	0,11
	Довжина качана	0,54*	0,44*	0,51*	0,44*
	Діаметр качана	0,14	0,17	0,81*	0,78*
	Кількість рядів зерен	0,50	-0,33	-0,55	-0,33
	Кількість зерен у ряду	0,25	0,22	0,48*	0,44*
	Продуктивність	0,28	0,22	0,18	0,11
SSR	Висота рослин	0,31	0,26	0,11	-0,04
	Довжина качана	0,61*	0,52*	0,24	0,33
	Діаметр качана	0,74*	0,85*	0,65*	0,78*
	Кількість рядів зерен	0,51*	0,44*	0,42	0,39*
	Кількість зерен у ряду	0,42*	0,41*	0,00	0,00
	Продуктивність	0,77*	0,89*	0,74*	0,81*

Прогностичні можливості обох маркерних систем різнилися. За RAPD-маркерною системою визначено значиму кореляцію між генетичною дистанцією між батьківськими

компонентами та індексами гіпотетичного гетерозису ( $r_{br} = 0,56$ ) за показником «висота рослини» да декількох показників структури врожаю.

За SSR-маркерною системою було визначено значиму тісну кореляцію для гіпотетичного ( $r_{br} = 0,89$ ) і справжнього ( $r_{br} = 0,81$ ) гетерозису за показником продуктивності та усіх її складових.

Для встановлення порогу дискретизації генетичних відстаней, за значень яких можливе збільшення асоціацій між індексами гетерозису та генетичними дистанціями, розрахованими за МГМ, нами проведено ретроспективний аналіз простих гібридів кукурудзи селекції IP ім. В. Я. Юр'єва НААН (табл. 4).

Усі генетичні дистанції між батьківськими компонентами даних гібридів, розраховані за мікросателітною (SSR) маркерною системою, мали значення більше 0,019, що є середнім значенням усіх генетичних дистанцій за вибіркою, яку вивчали. Таким чином, встановлено поріг дискретизації генетичних відстаней, який забезпечує високий рівень асоціації генетичних дистанцій та репродуктивного гетерозису. Для даної вибірки цей поріг має значення більше 0,019 для SSR маркерної системи.

Таблиця 4

**Генетичні дистанції (GD) між батьківськими компонентами гібридів селекції IP ім. В. Я. Юр'єва НААН, які пройшли Державне сортопробування**

Гібрид F <sub>1</sub>	♀	♂	GD за SSR
Вимпел МВ	ГК 26 М	ХАРКІВСЬКА 523 МВ	0,019
Донор МВ	ГК 26 М	ХАРКІВСЬКА 164 МВ	0,029
Індустрія МВ	ХАРКІВСЬКА 212 МС	ХАРКІВСЬКА 164 МВ	0,024
Варта МВ	ГК 26 М	ХАРКІВСЬКА 212	0,022
Світанок МВ	ХАРКІВСЬКА 215	ХАРКІВСЬКА 523 МВ	0,023
Пам'ять Чупікова МВ	ХАРКІВСЬКА 155	ХАРКІВСЬКА 164 МВ	0,019
Лелека МВ	ГК 26 М	ХАРКІВСЬКА 126 МВ	0,019
Девіз МВ	ХАРКІВСЬКА 152	ХАРКІВСЬКА 212	0,022

**Висновки та перспективи подальших досліджень у даному напрямку.** 1. Авторами виявлено наявність позитивних асоціацій між рівнем дивергенції вихідних батьківських форм, розрахованих за дескрипторами UPOV і рівнем гетерозису їх гібридів, але недостатньо високих для проведення надійного підбору компонентів схрещування.

2. У ході досліджень встановлено, що більш тісні асоціації між константами СКЗ та індексами гетерозису спостерігаються при аналізі гібридів, отриманих у діалельній схемі схрещувань. Коефіцієнти кореляції між індексами гіпотетичного гетерозису за ознакою «продуктивність» з константами СКЗ становлять близько 0,70.

3. Авторами зроблено висновок про доцільність використання SSR маркерної системи для підбору батьківських компонентів при селекції високогетерозисних гібридів кукурудзи у випадках, коли дистанція між батьківськими компонентами вища порогу 0,019 для вказаної вибірки інбредних ліній кукурудзи.

Аналіз отриманих даних свідчить про перспективність використання ДНК-фінгерпринтинга у практичних селекційних програмах в селекції кукурудзи на гетерозис. МГМ дають змогу підбирати генетично різноякісний матеріал при доборі пар для схрещувань.

**Список використаних джерел**

1. Heterosis / [J. A. Birchler, H. Yao, S. Chudalayandi et al.] // Plant Cell. – 2010. – Vol. 22. – P. 2105–2112.
2. The relationship of heterosis and genetic divergence in maize / R. H. Moll, J. H. Lonquist, J. Velez Fortune, E. C. Johnson // Genetics. – 1965. – Vol. 52. – P. 139–152.
3. Савченко В. К. Генетический анализ в сетевых пробных скрещиваниях / В. К.

- Савченко. – Минск: Наука и техника, 1984. – С. 51.
4. Чумак М. В. Селекция раннеспелых и среднеранних гибридов кукурузы в Краснодарском НИИСХ / В. М. Чумак // Генетика, селекция и технология возделывания кукурузы. – Краснодар, 1999. – С. 13-27.
  5. Predicting the relationship between molecular marker heterozygosity and hybrid performance using RAPD markers in rice (*Oryza sativa* L.) / I. Selvaraj, P. Nagarajan, K. Thiyagarajan, M. Bharathi // Afr. J. Biothec. – 2010. – Vol. 9, № 45 – P. 7641–7653.
  6. Becker H. C. Heterosis and hybrid breeding // 100 Years of genetics for plant breeding. Mendel, meiosis and marker / H. C. Becker, W. Link // Brno (Czech Republic). – 2000. – P. 319–327.
  7. Syed N. H. Molecular marker genotypes, heterozygosity and genetic interactions explain heterosis in *Arabidopsis thaliana* / N. H. Syed, Z. J. Chen // Heredity. – 2005. – Vol. 94 – P. 295–300.
  8. Renming Z. Prediction of hybrid grain yield performances in Indica Rice (*Oryza sativa* L.) with effect-increasing loci / [Z. Renming, L. Yinghua, Y. Zhenglin et. al.] // Mol. Breed. – 2008. – Vol. 22, №. 3 – P. 467–476.
  9. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): Учебное пособие / Б. А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
  10. UPOV (2009): Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability; maize. TG/2/7.UPOV, Geneva, Switzerland.
  11. Турбин Н. В. Диаллельный анализ в селекции растений / Н. В. Турбин, Л. В. Хотылёва, Л. А. Тарутина // Минск: Наука и техника, 1974. – 184 с.
  12. Gustafson A. The effect of heterozygosity on variability and vigour / A. Gustafson // Hereditas. – 1946. – Vol. 32, № 2. – P. 263–286.
  13. Кириченко В. В. RAPD-полиморфизм инбредных линий кукурузы (*Zea Mays* L.) харьковской селекции / В. В. Кириченко, С. С. Китаёва, Л. Н. Чернобай // Вісн. Укр. тов-ва генетиків і селекціонерів. 2012. – Т. 10, № 1. – С. 33-41.
  14. Китаёва С. С. Полиморфизм микросателитных локусов инбредных линий кукурузы (*Zea Mays* L.) харьковской и мировой селекции / С. С. Китаёва, В. В. Кириченко, Л. Н. Чернобай // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України : Серія «Агрономія». – К., 2013. – Ч. 2, вип. 183. – С. 306-312.
  15. Гетерозис в селекции сельскохозяйственных растений / А. В. Кильчевский, Л. В. Хотылёва, Л. А. Тарутина, М. Н. Шаптуренко // Молекулярная и прикладная генетика: сб. науч. тр. / Институт генетики и цитологии НАН Беларуси, Минск: Право и экономика, 2008. – С. 7-24.

## References

1. Birchler JA, Yao H, Chudalayandi S et al. 2010. Heterosis. Plant Cell. 22:2105–2112.
2. Moll RH, Lonquist JH, Velez Fortune J, Johnson EC. 1965. The relationship of heterosis and genetic divergence in maize. Genetics. 52:139–152.
3. Savchenko VK. 1984. Genetic analysis in network test crosses. Nauka I tehnika. p. 51.
4. Chumak MV. 1999. Selection of early and middle maturing maize hybrids in Krasnodar Agricultural Research Institute. Genetica, selekciya I tehnologiya vozdelivaniya kukuruzi. p. 13-27.
5. Selvaraj I, Nagarajan P, Thiyagarajan K, Bharathi M. 2010. Predicting the relationship between molecular marker heterozygosity and hybrid performance using RAPD markers in rice (*Oryza sativa* L.). Afr. J. Biothec. 9(45):7641–7653.
6. Becker HC, Link W. 2000. Heterosis and hybrid breeding. In: 100 Years of genetics for plant breeding. Mendel, meiosis and marker. Brno (Czech Republic). p. 319–327.
7. Syed NH, Chen ZJ. 2005. Molecular marker genotypes, heterozygosity and genetic

- interactions explain heterosis in *Arabidopsis thaliana*. *Heredity*. 94:295–30 .
8. Renming Z, Yinghua L, Zhenglin Y et. al. 2008. Prediction of hybrid grain yield performances in Indica Rice (*Oryza sativa* L.) with effect-increasing loci. *Mol. Breed.* 22(3):467–476.
  9. Dospikhov BA. 1985. Technique of field experience (the basics of statistical processing of the results of research). Moskva: Agropromizdat. 351 p.
  10. UPOV (2009): Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability; maize. TG/2/7.UPOV, Geneva (Switzerland).
  11. Turbin NV, Hotilyova LV, Tarutina LA. 1974. Diallel analysis in plant breeding. Minsk: Nauka I tehnika. 184 p.
  12. Gustafson A. 1946. The effect of heterozygosity on variability and vig our. *Hereditas*. 32(2):263–286.
  13. Kyrychenko VV, Kitayova SS, Chernobay LM. 2012. RAPD-polymorphism of maize (*Zea Mays* L.) inbred lines of Kharkov selection. *Visnik Ukrayinskogo tovaritstva geneticov I selekcionerov*. 10(1):33–41.
  14. Kitayova SS, Kyrychenko VV, Chernobay LM. 2013. Polymorphism of microsatellite locies in maize (*Zea Mays* L.) inbred lines of Kharkov and world selection. *Naukoviy visnik Nacionalnogo universiteta bioresursov I prirodkoristuvannya Ukraini: Seriya «Agronomiya»*. 183:306-312.
  15. Kilchevskiy AV, Hotilyova LV, Tarutina LA, Shapturenko MN. 2008. Heterosis in breeding of crop plants. *Moleculyarnaya I prikladnaya genetika*. p. 7-24.



## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАРКЕРНЫХ СИСТЕМ В СЕЛЕКЦИИ ВЫСОКОГЕТЕРОЗИСНЫХ ГИБРИДОВ КУКУРУЗЫ**

Китаёва С. С., Кириченко В. В., Чернобай Л. Н.  
Институт растениеводства им. В. Я. Юрьева НААН

Показаны особенности использования различных маркерных систем в селекции высокогетерозисных гибридов кукурузы. Установлены недостаточно высокие значения ассоциаций между генетической дивергенцией, рассчитанной по дескрипторам UPOV, и индексами гетерозиса. Показано, что более тесные ассоциации между константами СКС и индексами гетерозиса наблюдаются при анализе гибридов, полученных в диаллельной схеме скрещиваний. Доказана целесообразность использования SSR маркерной системы для подбора родительских компонентов при получении высокогетерозисных гибридов кукурузы.

*Кукуруза, гетерозис, генетическая дивергенция, UPOV, комбинационная способность, RAPD, SSR*

## **THE USE OF MARKER SYSTEMS IN PLANT BREEDING OF HIGHLY HETEROZIS MAIZE HYBRIDS**

Kitayova S. S., Kyrychenko V. V., Chernobay L. M.  
Plant Production Institute nd. V. Ya. Yuryev of NAAS

In breeding programs for maize, an important issue is the optimal selection of parental components. The initial material must have a sufficient level of divergence. According to the genetic concept of heterosis significant contribution to the formation of heterosis effect made heterozygous loci. The aim of this study was to evaluate the relationship between the effects of heterosis in maize and genetically divergence of breeding material revealed using UPOV descriptor's, combining ability and by molecular genetic markers. As the material for this study were 60 inbred lines and experimental hybrids obtained in topcross and diallel crosses. It was conducted correlation analysis between levels of heterosis and relatedness, based on the UPOV methodology, constants of SCA and genetic distances calculated with RAPD and SSR- systems. As a result, it was established, that divergence based on UPOV descriptors is insufficient for reliable mating component selection. It was shown that a close association between constants of SCA and indexes of heterosis observed in the analysis for hybrids obtained from diallel crosses.

The possibility of using SSR marker system for selection of parental components for maize hybrids was concluded. It was established the discretization level of genetic distances, which provides a high level of association between genetic distance and reproductive heterosis. For our samples, this one was more than 0,019 for SSR marker system. Analysis of the experimental data was showed promising use of DNA fingerprinting for practical breeding programs for creating of maize hybrids with high heterosis level. Molecular genetic markers allow to select genetically different initial material for the selection of pairs for crosses.

*Maize, heterosis, genetic divergence, UPOV, combining ability, RAPD, SSR*