

УДК: 631.53.02:633.15

ВРОЖАЙНІ ЯКОСТІ НАСІННЯ ГЕТЕРОЗИСНОГО ГІБРИДА КУКУРУДЗИ ГРАН 6 ЗАЛЕЖНО ВІД ГЕНОТИПУ МАТЕРИНСЬКОГО КОМПОНЕНТА ТА АГРОЕКОЛОГІЧНИХ УМОВ ЗОНИ ВИРОЩУВАННЯ

Макарчук М.О. – аспірант,
Уманський національний університет садівництва

Наведено результати аналізу можливості використання різних форм чоловічої стерильності материнських компонентів з генетичним маркером *a1*, який визначає відсутність антоціанового забарвлення в алеїроні, що спрощує контролювання гібридності насіння кукурудзи при гетерозисному насінництві, на прикладі гібрида Гран-6. Описано реакцію коізогенних аналогів контрольного гібрида на відмінності щодо ґрунтово-кліматичних умов вирощування в Правобережному Лісостепу і Південному Степу України. Обговорено результати дослідження впливу генетичного маркера *a1* на врожайні якості насіння гібридів. З'ясовано, що коізогенні аналоги гібрида Гран-6, які забезпечили найбільший приріст врожаю в обох зонах проведення досліджень, характеризувалися меншою або ж рівною показникам контрольного варіанту збиральною вологістю зерна.

Ключові слова: цитоплазматична чоловіча стерильність, парагвайський тип стерильності, фертильність, генетичний маркер, коізогенний аналог.

Макарчук М.А. Урожайные качества семян гетерозисного гибрида кукурузы Гран 6 в зависимости от генотипа материнского компонента и агроэкологических условий зоны выращивания

Приведены результаты изучения возможности использования разных форм мужской стерильности материнских компонентов с генетическим маркером *a1*, который определяет отсутствие антоциановой окраски алеурона, что упрощает процесс контролирования гибридности семян при гетерозисном семеноводстве кукурузы, на примере гибрида Гран-6. Описано реакцию коизогенных аналогов контрольного гибрида на различия почвенно-климатических условий выращивания в Правобережной Лесостепи и Южной Степи Украины. Обсуждаются результаты исследования влияния генетического маркера *a1* на урожайные качества гибридов. Установлено, что коизогенные аналоги гибрида Гран 6, которые обеспечили наибольший прирост урожая, в условиях обеих зон выращивания характеризовались меньшей или практически равной показателям контрольных вариантов уборочной влажностью зерна.

Ключевые слова: цитоплазматическая мужская стерильность, парагвайский тип стерильности, фертильность, генетический маркер, коизогенный аналог.

Makarchuk M.O. Productive properties of seeds of heterotic maize hybrid Grand 6 depending on the genotype of the maternal component and agro-ecological conditions of the growing area

The article provides the results of the analysis of the possibility of using different forms of male sterility of maternal components with genetic marker *a1* that determines the absence of anthocyanin coloration in aleurone, and also simplifies the control of seed purity under the heterotic seed culture of maize hybrid Grand 6. It describes the reaction of the co-isogenic analogues of the control hybrid to the growing conditions in the Right-Bank Forest-Steppe and the Southern Steppes. The article presents the results of studying the influence of genetic marker *a1* on production traits in hybrids. It shows that the co-isogenic analogues of the hybrid which provided the highest yield increase, had lower or practically the same pre-harvest moisture of grain as the control variant under the conditions of both research zones.

Key words: cytoplasmic male sterility, C-type cytoplasmic male sterility, fertility, genetic marker, co-isogenic analogue.

Постановка проблеми. Кукурудза є важливою зерновою, кормовою і технічною культурою, що була одомашнена на півдні Мексики близько 9000 років тому [1,

с. 25]. У світовому виробництві 20 % її зерна йде на продовольчі потреби, 15–20 % на технічні цілі та 60–65 % на корм худобі [2, с. 26]. В Україні за площею вирощування кукурудза серед зернових культур посідає почесне третє місце, поступаючись пшениці і ячменю [3, с. 5; 4 с. 30, 5, с. 20]. Та на жаль, її виробництво залишається нестабільним [3, с. 5; 6 с. 271; 7 с. 8]. Хоча в останні роки врожайність зернової кукурудзи в Україні зросла з 3,24 т/га в 2001 р. до 6,44 в 2011 р. [8, с. 76], проте у 2012р. знизилась до 4,79 т/га [6, с. 272], що нижче середньосвітових показників (4,99–5,18 т/га), та значно нижче порівняно з такими передовими виробниками кукурудзи як США, з рівнем урожайності 9,59–10,34 т/га, Франція — 8,81–9,44 та Китай — 5,06–5,48 т/га [8, с. 76].

Підвищення її врожайності та поліпшення якості продукції забезпечується створенням і впровадженням у виробництво нових високоврожайних гетерозисних гібридів кукурудзи та використанням високоякісного гібридного насіння. Гібридне насіння отримане за схемами з ручною кастрацією материнського компонента забезпечує найвищий прояв гетерозису, однак підвищення собівартості насіння, вирощеного за такими схемами не завжди окупається додатковим урожаєм. Спроби застосування механізованої кастрації (зрізування волотей) не набули широкого впровадження. Для механізованої кастрації потрібні гібриди зі 100 % вирівняністю рослин за висотою і дружним (за датою) виходом волотей для обмеження небажаного самозапилення. Крім того, за даними Ж.М. Новак, пошкодження рослин під час кастрації призводить до зменшення врожайності насіння [9, с. 7]. Тому для здешевлення виробництва насіння гетерозисних гібридів кукурудзи використовуються різні форми генної і цитоплазматичної чоловічої стерильності [10, с. 155], як найбільш вивчені варіанти генетичної системи контрольованого розмноження (ГСКР) кукурудзи [11, с. 234; 12, с. 397–398].

Нові підходи щодо формування ГСКР кукурудзи, що ґрунтуються на використанні материнських компонентів з генами функціональної чоловічої стерильності, були успішно реалізовані в Україні. Такі гени викликають зміни чоловічих генеративних органів, без порушення генетичних механізмів мікроспоро- і мікрогаметогенезу і без використання ядерно-генної чоловічої стерильності, а спрощення контролю гібридності насіння досягається завдяки маркерним генам забарвлення зернівки кукурудзи, що тісно зчеплені з геном функціональної чоловічої стерильності [11]. Не менш перспективною представляється ГСКР на базі зчеплених генів ядерної чоловічої стерильності (Ms5/ms5 і Ms13/ms13) з маркерними генами забарвлення зернівки кукурудзи (A2/a2). За цією схемою стерильні материнські форми з генотипом ms5a2ms13/ms5a2ms13, запилюють пилком фертильних тригетерозиготних батьківських форм з генотипом Ms5A2Ms13/ms5a2ms13 з подальшим фотоелектричним сортуванням отриманого насіння і відбором гомозиготних рецесивів за забарвленням зернівки [12, с. 398]. Питання можливого зменшення врожайності гібридного насіння, а також урожайності нових гібридів, вирощуваних з насіння, отриманого за новітніми варіантами ГСКР, наразі не знайшло остаточного розв'язання, що зумовлює проблематичність їх впровадження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нині у насінництві гетерозисних гібридів кукурудзи здебільшого застосовують молдавський і парагвайський типи стерильності. Вважається, що материнські лінії з чоловічою стериль-

ністю на ділянках гібридизації використовують більше поживних речовин на формування зерна, завдяки відсутності потреби розвитку пилку, внаслідок чого збільшується врожай гібридного насіння. Підтвердження цьому у 1966 році отримав В. Є. Козубенко при вирощуванні сортолінійного гібрида Буковинський 3 отримавши за п'ять років проведення досліджень на 5 % більшу врожайність, ніж урожайність аналога цього гібрида, отриманого на нормальній цитоплазмі. Підвищена врожайність спостерігалась навіть у роки посухи [10, с. 155]. Нині гетерозисні гібриди кукурудзи завдяки підвищеному адаптивному потенціалу, вищій врожайності і переведенню насінництва на чоловічостерильну основу, практично витіснили з виробництва класичні сорти популяції, забезпечуючи отримання прибавки врожаю на 25–30 % і більше [10, с. 3; 11, с. 234; 12, с. 398]

Суттєве зменшення показників врожайності гібридів кукурудзи може зумовлюватись пошкодженням посівів кукурудзяним метеликом і внаслідок ураження пухирчастою сажкою. Так у США втрати врожаю від кукурудзяного метелика — *Ostrinia nubilalis* сягають 3 % [13, с. 263]. В Україні в окремі роки вони становили від 12–15 і навіть до 25 % [14, с. 132]. Від ураження хворобами світове виробництво кукурудзи щорічно втрачає від 7 до 17 % урожаю [14, с. 126].

Основною задачею сучасного насінництва для прискореного розвитку сільськогосподарського виробництва зернових культур є реалізація сумісних досягнень селекції та насінництва за рахунок впровадження нових високопродуктивних гібридів, що забезпечують отримання високих урожаїв, повної реалізації їх генетичного потенціалу та зменшення собівартості вирощуваної культури у різних ґрунтово-кліматичних зонах.

Постановка завдання. Одним із методів спрощення контролювання гібридності насіння і здешевлення його виробництва є використання маркерних генів забарвлення зернівки кукурудзи, які тісно зчеплені з генами чоловічої стерильності. Тому метою наших досліджень було з'ясування впливу генетичних маркерів у різних ГСКР на господарсько-цінні ознаки гетерозисних гібридів кукурудзи у різних агроекологічних умовах вирощування за результатами порівняння показників коізогенних аналогів гібрида кукурудзи Гран 6, вирощуваних з насіння отриманого за новітніми варіантами ГСКР.

Матеріали і методика досліджень. На чорноземних ґрунтах Уманського національного університету садівництва (УНУС), що розташований у Правобережному Лісостепу України, та темно-каштанових легкосуглинкових ґрунтах Брилівської дослідної станції (БДС), що в зоні Південного Степу, було закладено досліди для вивчення ряду коізогенних аналогів гібрида кукурудзи Гран 6, насінництво якого ведеться на парагвайському типі стерильності. У варіантах дослідів висівали насіння контрольного гібрида, отриманого від материнської лінії П7зС з парагвайським типом стерильності, коізогенних аналогів П7з*Calal* з парагвайським типом стерильності та генетичним маркером контролювання гібридності *al* (*Anthocyaninless*), що визначає відсутність антоціанового забарвлення в алейроні, а також коізогенної лінії П7з*CVg1Vg1* з функціональною чоловічою стерильністю. Всі досліджувані коізогенні аналоги материнської лінії П7зС запилювались ідентичним пилком батьківського компонента П26С*Balal*.

Випробовування гібридів проводили за методикою державного сортови-пробування [15, С. 14–18]. Статистичний аналіз виконували за Р. Фішером [16] з перевіркою гіпотез на рівні значущості $\alpha=0,05$.

Виклад основного матеріалу дослідження. За період проведення досліджень у зонах з різними ґрунтово-кліматичними умовами спостерігалось значне варіювання метеорологічних умов, що неоднаково вплинуло на якість насіння різних коізогенних аналогів гібридів кукурудзи Гран-6. Такі умови надали можливість оцінити повноту реалізації ознак і властивостей, які закладені в моделі розмножуваного високоврожайного гібрида, та спрогнозувати можливість використання новітніх варіантів ГСКР для переведення на відповідну схему насінництва інших гібридів кукурудзи.

При вивченні прояву врожайних якостей насіння у варіантах досліджу встановлена залежність від ґрунтово-кліматичних умов зони розташування ділянок і метеорологічних умов року більшу, ніж від генотипу. За врожайністю приведеною до 14 % вологості зерна всі вирощені коізогенні гібриди на Брилівській дослідній станції суттєво переважали показники відповідних варіантів в умовах УНУС на 0,54–1,78 т/га більше при $HP_{0,95}$ за фактором А (зона) — 0,10 т/га (табл. 1).

Аналіз даних продуктивності за генотипом засвідчив, що в умовах Правобережного Лісостепу (УНУС) найвищу врожайність серед коізогенних аналогів забезпечив гібрид, отриманий з використанням фертильної лінії з генетичним маркером *al* (П7з*Calal*), який перевищив контроль на 1,78 т/га, тоді як гібрид з використанням на фертильній материнській лінії без гена *al* (П7зС) — лише на 0,35 т/га. Натомість аналог гібрида Гран-6 на функціональній стерильності поступився контрольному гібриду за врожайністю, але не суттєво (-0,03 т/га).

Таблиця 1 – Врожайність і збиральна вологість зерна коізогенних аналогів гібрида кукурудзи Гран 6 в умовах Правобережного Лісостепу (УНУС) і Південного Степу (БДС)

Коізогенні аналоги гібрида Гран 6	Врожайність при 14 % вологості		Збиральна вологість		Врожайність при 14 % вологості		Збиральна вологість	
	т/га	V%	%	V%	т/га	V%	%	V%
	УНУС				БДС			
Гран-6 (контроль)	5,52	9,6	26,2	24,1	7,28	8,5	13,1	11,1
П7зС×П26С <i>Balal</i>	5,87	7,8	28,4	27,3	7,84	9,3	13,0	13,4
П7з <i>Calal</i> ×П26С <i>Balal</i>	7,30	8,9	25,2	15,9	7,59	9,4	14,4	18,1
П7зС <i>VglVgl</i> ×П26С <i>Balal</i>	5,49	7,8	28,6	24,4	7,59	11,6	14,6	21,8
HP _{0,95} за фактором А (зона)			0,10 т/га					
HP _{0,95} за фактором Б (генотип)			0,10 т/га					
HP _{0,95} за фактором АБ (взаємодія)			0,15 т/га					

В умовах південного Степу (БДС), всі досліджувані коізогенні гібриди істотно перевищили контроль. Та найбільшу прибавку врожаю 0,56 т/га забезпечив гібрид (П7зС×П26С*Balal*) на фертильній основі

Встановлено, що у досліджуваного коізогенного аналога гібрида Гран-6, на фертильній основі з маркерним геном *al* в обох батьківських компонентах (П7з*Calal*×П26С*Balal*), в умовах Правобережного Лісостепу (УНУС) різниця

до контролю за врожайністю становила 1,78 т/га, тоді як в умовах Південного Степу (БДС) — 0,56 т/га.

Варіювання врожайності у коізогенних аналогів в умовах УНУС була незначною зі зменшенням на 0,7–1,8 % до контролю. В умовах БДС спостерігалось середнє варіювання ознаки у гібридної комбінації (П7зCVg1Vg1×П26CBalal) з функціональним типом стерильності, тоді як інші гібриди мали незначне варіювання із збільшенням його значення до контрольного варіанта на 0,8–0,9 %.

Велику увагу у дослідіх приділяли збиральній вологості зерна, адже здатність гібридів втрачати вологу під час досягання економить енергоресурси на післязбиральне термічне досушування зерна до потрібної консистенції. Найменшу вологість зерна серед вирощуваних гібридів, навіть меншу, ніж у контрольному варіанті в умовах УНУС мав гібрид П7зCalal×П26CBalal, а в дослідіх на БДС — П7зС×П26CBalal.

Слід також відмітити, що в умовах Правобережного Лісостепу і Південного Степу коізогенні гібриди, які забезпечили найбільшу прибавку врожаю мали вологість зерна на момент збирання врожаю дещо нижчу або ж майже рівну з контрольним варіантом.

Варіювання вологості зерна в умовах УНУС було сильним у контрольного гібрида і двох його аналогів, і лише гібридна форма з генетичним маркером *al* у обох батьківських компонентах (П7зCalal×П26CBalal) мала середнє її значення. За даними БДС більшість гібридів проявили середнє варіювання вологості зерна, а гібридна форма з функціональним типом стерильності (П7зCVg1Vg1×П26CBalal) характеризувалась сильним варіюванням ознаки, що вказує на нестабільність її прояву в даних умовах.

Встановлення придатності гібридів кукурудзи до механізованого збирання детермінується висотою рослин і висотою закладання господарсько-цінного качана. Висота рослин коізогенних аналогів гібрида Гран-6 в умовах Правобережного Лісостепу становила 183,8–186,9 см, тоді як у Південному Степу вона була 203,4–214,7 см (табл. 2).

Таблиця 2 – Висота рослин і висота закладання господарсько-цінного качана коізогенних аналогів гібрида кукурудзи Гран 6 в умовах Правобережного Лісостепу (УНУС) і Південного Степу (БДС)

Коізогенні аналоги гібрида Гран 6	Висота рослин, см		Висота закладання господарсько-цінного качана, см	
	УНУС	БДС	УНУС	БДС
Гран-6 (контроль)	183,8	214,7	67,6	85,7
П7зС×П26CBalal	185,3	203,1	66,4	74,8
П7зCalal×П26CBalal	186,9	203,4	66,4	78,2
П7зCVg1Vg1×П26CBalal	186,5	204,5	68,4	79,3
HP _{0,95}	8,1	10,8	4,2	4,9

Середню висоту прикріплення господарсько-цінного качана мали коізогенні аналоги гібрида Гран-6 в обох зонах проведення досліджень, і відповідно вона становила 66,4–68,4 см в УНУС та 74,8–85,7 см на БДС.

У досліді різниця між вивченими генотипами за висотою рослин (19,6–27,8 см) та висотою закладання господарсько-цінного качана (8,4–17,3 см)

була незначною і не впливала на придатність до механізованого збирання.

Для одержання максимального врожаю важливе значення має стійкість гібридів до пошкодження кукурудзяним метеликом та ураження пухирчастою сажкою. При вирощуванні в умовах Правобережного Лісостепу (УНУС) найменше в порівнянні з контрольним гібридом спостерігалось пошкодження коізогенного аналога гібрида П7з*Calal*×П26С*Balal* (табл. 3), а в умовах Південного Степу (БДС) пошкодження не спостерігалось взагалі.

В умовах Правобережного Лісостепу всі досліджувані гібриди мали значний відсоток ураження пухирчастою сажкою, тоді як в умовах Південного Степу незначне ураження спостерігалось у гібрида на функціональній стерильності.

Таблиця 3 – Пошкодження кукурудзяним метеликом та ураження пухирчастою сажкою коізогенних аналогів гібрида кукурудзи Гран 6 в умовах Правобережного Лісостепу (УНУС) і південного Степу (БДС)

Коізогенні аналоги гібрида Гран 6	Пошкодження кукурудзяним метеликом, %		Ураження пухирчастою сажкою, %	
	УНУС	БДС	УНУС	БДС
Гран-6 (контроль)	4,8	0	0,4	0
П7зС×П26С <i>Balal</i>	2,0	0	4,3	0
П7з <i>Calal</i> ×П26С <i>Balal</i>	1,0	0	0,9	0
П7зС <i>VglVgl</i> ×П26С <i>Balal</i>	1,2	0	3,5	0,6
НІР _{0,95}	0,1	—*	0,2	—*

Примітка: * — НІР не розраховували

Висновки. Результати проведених досліджень дають підстави стверджувати, що введення в генотип материнських компонентів гетерозисних гібридів кукурудзи генетичного маркера *al*, що контролює забарвлення насіння, без побоювань можна використовувати в обох зонах проведення випробувань для спрощення контролю гібридності, так як наявність цього гена у генотипах коізогенних аналогів не призводить до зменшення врожайного потенціалу насіння.

Умови Південного Степу України виявилися більш сприятливими для проведення насінництва і виробництва зерна гібрида Гран 6, ніж умови Правобережного Лісостепу, як за показниками врожайності і збиральної вологості зерна, так і за рівнями пошкодження кукурудзяним метеликом та ураження пухирчастою сажкою.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Iltis H. H. Origin of Polystichy in Maize / Hugh H. Iltis // Histories of maize: Multidisciplinary approaches to the prehistory, linguistics, biogeography, domestication, and evolution of maize [Eds.: John E. Staller, Robert H. Tykot and Bruce F. Benz]. - Burlington; San Diego; London: Elsevier, 2006. - Ch. 3. - P. 21–53.
2. Загинайло М. Для доброго врожаю / М. Загинайло, А. Лівандовський, М. Таганцова, В. Гаврилюк // Насінництво. — 2008. — № 6. — С. 26–28.
3. Ситник В. П., Кукурудза — основа кормової бази високопродуктивного тваринництва / В. П. Ситник // Вісник аграрної науки. - 2005. - № 8. - С. 5–7.

4. Харченко В. В. Формування ринку кукурудзи та продуктів її переробки / В. В. Харченко, В. Д. Рекрут // *Агросвіт*. — 2005. — № 21. — С. 30–34.
 5. Моргун В. В. Продуктивність нових гібридів / В. В. Моргун, К. А. Ларченко, В. М. Гаврилюк, В. О. Хроменко // *Насінництво*. — 2007. — № 5. — С. 20–23.
 6. Доронін А.В., Сучасний стан зернового ринку в Україні / А.В. Доронін // *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків: зб. наук. праць Ін-т біоенергет. культур і цукр. буряків НААН України*. — 2014. — Вип. 21. — С. 270–276.
 7. Савкіна В.М. Перспективи розвитку виробництва та споживання зерна кукурудзи / В.М. Савкіна, В.М. Гончаров // *Молодий вчений*. — 2014. — № 6 (09). — С. 22–24.
 8. Бондаренко А.С. Сучасні тенденції кон'юнктури світового та українського ринку зерна кукурудзи / А. С. Бондаренко, Р. В. Бенда, О. Ю. Шишкіна, Ю. М. Прядко // *Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України*. — 2013. — №5. — С. 76–81.
 9. Новак Ж. М. Заходи поліпшення якості та підвищення врожайності насіння кукурудзи в центральному Лісостепу України: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук: спец. 06.01.14 „Насінництво” / Ж. М. Новак. — Одеса, 2005. — 35с.
 10. Крупнов В. А. Генная и цитоплазматическая мужская стерильность растений / В. А. Крупнов. — М.: Колос, 1973. — 279 с.
 11. Парій Ф. М. Використання генетичних маркерів у виробництві гетерозисного гібридного насіння кукурудзи / Парій Ф. М., Опалко О. П., Макарчук М. О. та ін. // *Зб. наук. праць Уманського ДАУ*. — 2008. — Вип. 67. — С. 63–67.
 12. Опалко А. И. Генетические системы контролируемого размножения кукурузы / А. И. Опалко, М. А. Макарчук // *Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве: матер. Международ. научно-практ. конф. «Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве» (НИИСХ Северо-Востока, г. Киров, 2–3 апреля 2015 г.)* / [Редкол.: В. А. Сысуев (глав. ред.) и др.]. — Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2015. — С. 397–402.
 13. Шмараев Г. Е. Культурная флора СССР: Т. 6: Кукуруза / Шмараев Г. Е., Ярчук Т. А., Орел Л. И. и др. — М.: Колос, 1982. — 295 с.
 14. Чучмий И. П., Моргун В. В. Генетические основы и методы селекции скороспелых гибридов кукурузы; под ред. С. М. Гершензона. — К.: Наук. думка, 1990. — 283 с.
 15. Методика проведення експертизи сортів рослин групи зернових, круп'яних та зернобобових на придатність до поширення в Україні (ПСП) / [за ред. С. О. Ткачик]. — К.: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2014. — 82 с.
 16. Fisher R. A. *Statistical methods for research workers* / Ronald A. Fisher. — New Delhi: Cosmo Publications, 2006. — 354 p.
-