

***ВМІСТ ЦУКРІВ В ЗЕРНІ ЦУКРОВОЇ КУКУРУДЗИ ПРИ
ГІБРИДИЗАЦІЇ ДЖЕРЕЛ РІЗНИХ ЕНДОСПЕРМОВИХ МУТАЦІЙ***

О. Є. Клімова¹, С. М. Тимчук²

¹ Синельниківська селекційно – дослідна станція Інституту сільського господарства степової зони НААН

² Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН

Вивчалася можливість використання гібридів від схрещувань ліній – носіїв мутації su_1 з лініями – носіями мутацій wx , su_2 та sh_2 для розширення корисного генетичного різноманіття цукрової кукурудзи за вуглеводним складом зерна. Встановлено, що гібриди від схрещувань ліній – носіїв мутації su_1 з лініями – носіями мутацій sh_2 та su_2 відрізняються від ліній – носіїв мутації su_1 більш високим вмістом діцукридів, цукрози за загальним вмістом цукрів в зерні технічної стиглості.

Цукрова кукурудза, ендоспермові мутанти, гібриди, вміст цукрів в зерні

В традиційній селекції цукрової кукурудзи на якість зерна використовується біохімічний ефект мутації su_1 , який полягає у частковій депресії утворення крохмалю і підвищенні вмісту водорозчинних фракцій вуглеводів в зерні [1, 2]. Разом з цим відомо, що вуглеводний склад зерна цукрової кукурудзи регулюється і полігенними комплексами, здатними викликати власну дисперсію за вмістом основних фракцій вуглеводів і суттєво модифікувати ефект мутації su_1 [3, 4].

Це створює сприятливі можливості для розширення корисного генетичного різноманіття цукрової кукурудзи. Найбільш поширеними методами вирішення цієї проблеми є комбінаційна селекція на основі генетично неспоріднених форм цукрової кукурудзи [5], їх гібридизація з джерелами екзотичної зародкової плазми [6], лініями, сортами та гібридами кукурудзи звичайного типу [7], а також мутагенез [8].

В якості перспективного методу розширення корисного генетичного різноманіття кукурудзи може розглядатися і гібридизація між носіями мутантного гену su_1 з носіями інших ендоспермових мутацій. Неалельні взаємодії між різними генами структури ендосперму в ряді випадків приводять до значного зростання вмісту водорозчинних фракцій

вуглеводів [9] і на особливу увагу в цьому зв'язку заслуговують комбінації мутантного гену su_1 з мутантними генами sh_2 , wx та su_2 [10, 11]. Окрім того, носії цих крохмаль - модифікуючих мутацій можуть становити практичну цінність і як джерела полігенних комплексів, здатних підсилювати біохімічний ефект мутації su_1 .

Однак до цього часу можливості застосування гібридів від схрещувань носіїв мутації su_1 з носіями інших крохмаль – модифікуючих мутацій для поліпшення вуглеводного складу зерна цукрової кукурудзи не встановлено.

Метою досліджень було визначення можливості використання гібридів від схрещувань ліній – носіїв мутації su_1 з лініями – носіями мутацій sh_2 , wx та su_2 для підвищення вмісту цукрів в технічно стиглому зерні.

Конкретні завдання досліджень передбачали:

- оцінку ефектів мутацій структури ендосперму su_1 , sh_2 , wx та su_2 за вмістом цукрів в зерні технічної стиглості;
- визначення результативності використання гібридів від схрещувань ліній – носіїв мутації su_1 з лініями – носіями мутацій sh_2 , wx та su_2 для підвищення вмісту цукрів в зерні технічної стиглості ;
- виділення кращих ліній та гібридів кукурудзи для практичного використання в селекції на якість зерна.

Матеріалом для досліджень слугували неспоріднені за походженням інбредні лінії – носії мутацій su_1 , wx , su_2 та sh_2 і серія топкросних гібридів, отриманих з гібридного насіння F_2 з фенотипом мутації su_1 внаслідок схрещувань ліній – носіїв цієї мутації з лініями – носіями мутацій wx , su_2 та sh_2 .

Дослідження проводились на Синельниківській селекційно-дослідній станції Інституту сільського господарства степової зони НААН протягом 2006 - 2007 рр. Інбредні лінії та отримані на їх основі гібриди вирощували на фоні монокультури кукурудзи згідно методики Національного центру генетичних ресурсів рослин України [12]. Контроль аельного стану генів структури ендосперму здійснювали за фенотипом зерна [13].

Для біохімічного аналізу використовували зерно технічної стиглості, отримане від контрольованого запилення після його фіксації шляхом швидкого заморожування. Вміст основних фракцій цукрів визначали за методом Д.І. Лісичина [14] і обчислювали у відсотках до сухої речовини (с.р.). Експериментальні результати піддавали статистичній обробці методом дисперсійного аналізу [15].

Отримані результати показали наявність значних відмінностей між лініями на основі різних ендоспермових мутацій за вмістом основних фракцій цукрів в зерні технічної стиглості (табл. 1).

Найвищим вмістом відновлюючих цукрів, діцукридів, цукрози та загальних цукрів вирізнялися носії мутації sh_2 та su_1 , тоді як носіям мутацій wx і su_2 був властивий значно менший рівень цих ознак.

Таблиця 1

Вміст цукрів в технічно стиглому зерні інбредних ліній кукурудзи на основі різних ендоспермових мутацій, середнє за 2006 – 2007 рр.

Лінія	Мутація	Вміст в зерні, % до с.р.			Загальний вміст цукрів, % до с.р.
		відновлюючих цукрів	діцукридів	цукрози	
КС-209	su_1	4,2	10,3	9,8	14,5
МС-58	su_1	3,5	9,6	9,0	13,1
КЦ-7-1	su_1	3,8	9,9	9,5	13,7
ВК-37	wx	2,5	5,1	4,8	7,6
ВК-69	wx	2,3	4,8	4,5	7,1
АС-28	su_2	3,1	5,4	5,0	8,5
АС-11	su_2	2,9	5,1	4,8	8,0
ІЛS-1-1	sh_2	5,1	25,3	24,9	30,4
ІЛS-5-1	sh_2	4,9	23,8	23,3	28,7
НІР _{0,05}		0,1	0,3	0,3	0,4

Це цілком співпадає з сучасними уявленнями про механізми біохімічного ефекту різних ендоспермових мутацій, згідно з якими мутантні гени sh_2 та su_1 регулюють процес утворення крохмалю на рівні утворення його розчинних попередників, а мутантні гени wx та su_2 – на рівні утворення лінійного та розгалуженого сополімерів крохмалю [10].

Отримані в дослідях результати показали, що лінії з тотожним алейним станом генів структури ендосперму досить відмінні між собою за вмістом основних фракцій цукрів і є всі підстави пов'язувати ці відмінності з ефектами полігенних комплексів [3, 4].

Зокрема, у проаналізованих ліній – носіїв мутації su_1 вміст відновлюючих цукрів коливався в межах 3,5 – 4,2%, діцукридів – 9,6 – 10,3%, цукрози – 9,0 – 9,8%, а загальний вміст цукрів – 13,1 – 14,5%.

У гібридів кукурудзи, отриманих з гібридного насіння F_2 з фенотипом мутації su_1 внаслідок схрещувань ліній – носіїв цієї мутації з лініями – носіями мутацій wx , su_2 та sh_2 спостерігався суттєво більший розмах мінливості за вмістом основних фракцій цукрів, ніж у їх материнських ліній. Вміст вільних цукрів у цих гібридів варіював в межах 2,9 – 4,1%, діцукридів – 8,2 – 13,9%, цукрози – 7,8 – 13,3%, а загальний вміст цукрів – 11,8 – 17,9%.

При цьому половина проаналізованих гібридів за вмістом діцукридів, цукрози і загальним вмістом цукрів перевищували не тільки материнські лінії – носії мутації su_1 , але й стандарт – районований гібрид Сюрприз (табл. 2).

Таблиця 2

Вміст цукрів в технічно стиглому зерні гібридів цукрової кукурудзи F₂, отриманих шляхом гібридизації інбредних ліній – носіїв мутації *su*₁ з інбредними лініями – носіями мутацій *wx*, *su*₂ та *sh*₂, середнє за 2006 – 2007 рр.

Гібриди	Вміст в зерні, % до с.р.			Загальний вміст цукрів, % до с.р.
	відновлюючих цукрів	діцукридів	цукрози	
КС-209 <i>su</i> ₁ x ВК-37 <i>wx</i>	3,6	10,4	9,6	14,0
КС-209 <i>su</i> ₁ x ВК-69 <i>wx</i>	3,2	8,7	8,1	11,9
МС-58 <i>su</i> ₁ x ВК-37 <i>wx</i>	2,9	11,6	10,9	14,5
МС-58 <i>su</i> ₁ x ВК-69 <i>wx</i>	3,8	8,2	7,8	12,0
КЦ-7-1 <i>su</i> ₁ x ВК-37 <i>wx</i>	2,9	11,3	10,9	14,2
КЦ-7-1 <i>su</i> ₁ x ВК-69 <i>wx</i>	4,0	9,3	8,6	13,3
КС-209 <i>su</i> ₁ x АС-28 <i>su</i> ₂	3,5	11,1	10,6	14,6
КС-209 <i>su</i> ₁ x АС-11 <i>su</i> ₂	3,6	9,5	9,0	13,1
МС-58 <i>su</i> ₁ x АС-28 <i>su</i> ₂	3,7	12,2	11,8	15,9
МС-58 <i>su</i> ₁ x АС-11 <i>su</i> ₂	3,0	12,3	11,7	15,3
КЦ-7-1 <i>su</i> ₁ x АС-28 <i>su</i> ₂	4,1	13,4	12,8	17,5
КЦ-7-1 <i>su</i> ₁ x АС-11 <i>su</i> ₂	3,3	8,5	8,1	11,8
КЦ-209 <i>su</i> ₁ x ILS-1-1 <i>sh</i> ₂	3,9	12,7	12,0	16,6
КЦ-209 <i>su</i> ₁ x ILS-5-1 <i>sh</i> ₂	3,3	12,0	11,4	15,3
МС-58 <i>su</i> ₁ x ILS-1-1 <i>sh</i> ₂	3,7	13,9	13,3	17,7
МС-58 <i>su</i> ₁ x ILS-5-1 <i>sh</i> ₂	3,5	13,1	12,7	16,6
КЦ-7-1 <i>su</i> ₁ x ILS-1-1 <i>sh</i> ₂	4,1	13,8	13,2	17,9
КЦ-7-1 <i>su</i> ₁ x ILS-5-1 <i>sh</i> ₂	3,9	13,6	13,1	17,5
Сюрприз <i>su</i> ₁ (стандарт)	3,5	11,9	11,1	15,4
НІР _{0,05}	0,1	0,1	0,1	0,2

Порівняння середнього вмісту основних фракцій цукрів у ліній – носіїв мутації *su*₁ і гібридів F₂, отриманих при їх схрещуваннях з лініями – носіями мутацій *wx*, *su*₂ та *sh*₂, свідчить про суттєву залежність цих ознак від генотипів батьківських форм (табл. 3)

Гібриди F₂ між носіями мутацій *su*₁ та *wx* практично не відрізнялися за вмістом основних фракцій цукрів від материнських ліній, тоді як гібриди між носіями мутації *su*₁ та *su*₂ і, особливо, *su*₁ та *sh*₂ значно перевищували материнські лінії за вмістом діцукридів, цукрози і загальним вмістом цукрів.

Таблиця 3

Порівняльні оцінки середнього вмісту основних фракцій цукрів в технічно стиглому зерні ліній кукурудзи – носіїв мутації su_1 і гібридів F_2 , отриманих шляхом гібридизації цих ліній з лініями – носіями мутацій wx , su_2 та sh_2 , середнє за 2006 – 2007 рр.

Типи ліній та гібридів	Вміст в зерні, % до с.р.			Загальний вміст цукрів, % до с.р.
	відновлюючих цукрів	діцукри-дів	цукрози	
Лінії – носії мутації su_1	3,8	9,9	9,4	13,7
Гібриди між лініями – носіями мутацій su_1 та wx	3,4	9,9	9,3	13,3
Гібриди між лініями – носіями мутацій su_1 та su_2	3,5	11,2	10,7	14,7
Гібриди між лініями – носіями мутацій su_1 та sh_2	3,7	13,2	12,6	16,9
НІР _{0,05}	0,1	0,2	0,2	0,3

Отримані результати можна пояснити двома причинами. Першою з них є більш сприятливий для забезпечення підвищеного вмісту діцукри-дів, цукрози та загального вмісту цукрів аельний стан полігенних комплексів у використаних в досліді ліній – носіїв мутацій su_2 та sh_2 , ніж у ліній – носіїв мутації wx .

Другою причиною, вірогідніше за все, є існування неалельних взаємодій між різними мутантними генами структури ендосперму. В потомствах F_2 від дігібридних схрещувань носіїв неалельних мутантних генів слід очікувати вищеплення носіїв не тільки моногенних мутацій, але й їх комбінацій. І, оскільки за вмістом крохмалю носії комбінації генів su_1wx практично не відрізняються від носіїв моногенної мутації su_1 , а носії комбінацій мутантних генів su_1su_2 та su_1sh_2 значно поступаються ним за цією ознакою [16], причини підвищеного вмісту цукрів у носіїв цих генних комбінацій стають цілком пояснюваними.

Висновки. Гібриди від схрещувань ліній – носіїв мутації su_1 з лініями – носіями мутацій sh_2 та su_2 відрізняються від ліній – носіїв мутації su_1 більш високим вмістом діцукри-дів, цукрози за загальним вмістом цукрів і розширюють корисне генетичне різноманіття кукурудзи за вуглеводним складом зерна технічної стиглості.

Список використаних джерел

1. Tracy W. F. Sweet corn, *Zea mays* L. / W.F. Tracy // Genetic improvement of vegetable crops; E. Kalloo, B.O. Bergh Eds. – Oxford : Pergamon Press, 1993. – P. 777-807.

2. *James M. G.* Characterization of the maize gene sugary1, a determinant of starch composition in kernels / M. G. James, D. S. Robertson, A. M. Myers // *Plant Cell*. – 1995. – V. 7. – P. 417-429.
3. Quantitative trait loci influencing chemical and sensory characteristics of eating quality in sweet corn / [F. Azanza, Y. Tadmor, B.P. Klien et al.]. // *Genome*. – 1996. – V. 39. – P. 40-50.
4. *Yousef G. G.* Comparison of phenotypic and marker-assisted selection for quantitative traits in sweet corn / G. G. Yousef, J. A. Jovic // *Crop Sci*. – 2001. – V. 41. – P. 645-655.
5. *Tracy W. F.* Sweet corn / W. F. Tracy // *Specialty corns*; A.R. Hallauer Ed.- Boca Raton, FL: CRC Press, 1994. – P. 147-187.
6. *Goodman M.M.* Exotic maize germplasm : status, prospects, remedies/ M.M. Goodman// *Iowa State J. Res.*- 1985.- No.59.- P.497 – 527.
7. *Tracy, W.F.* Potential of field corn germplasm for the improvement of sweet corn/ W.F. Tracy// *Crop Sci*. – 1990.- V. 30.- P. 1041-1045.
8. *Neuffer M. G.* Mutagenesis / M. G. Neuffer // *The maize handbook*; M. Freeling, V. Walbot Eds. – New- York : Springer-Verlag, 1996. – P. 212-218.
9. *Creech R. G.* Carbohydrate synthesis in maize / R. G. Creech // *Advan. Agron*. – 1968. – V. 20. – P. 275-322.
10. *Nelson O. E.* Starch synthesis in maize endosperm / O. E. Nelson, D. Pan // *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol*. – 1995. – V. 46. – P. 475-496.
11. Genetic diversity and selection in the maize starch pathway / [S. R. Whitt, L. M. Wilson, M. I. Tenailon et al.] // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. – 2002. – V. 99. – P. 12959-12962.
12. Методичні рекомендації польового та лабораторного вивчення генетичних ресурсів кукурудзи/ [підгот. І. А. Гур'єва, В. К. Рябчун, П. П. Літун та ін.]. – Харків, 2003. – 43 с.
13. *Neuffer M. G.* Mutants of maize / M. G. Neuffer, E. H. Coe, S. R. Wessler. – Cold Spring Harbor, NY : Cold Spring Harbor Laboratory Press, 1997. – 468 p.
14. *Лисицын Д.И.* Полумикрометод для определения сахаров в растениях/ Д.И. Лисицын// *Биохимия*. – 1950. – Т.15., Вип.2. – С. 165-167.
15. *Доспехов Б. А.* Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М. : Агропромиздат, 1985. – 351 с.
16. Встановити біохімічний ефект мутантних генів структури ендосперму кукурудзи і визначити шляхи його ефективного використання в селекції на якість продукції: Звіт по НДР (заключний)/ Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН.- № 0106 U 004863, Інв. № 3.2.- Харків, 2010.- 71 с.

Изучалась возможность использования гибридов от скрещивания линий – носителей мутации su_1 с линиями – носителями мутаций wx , su_2 и sh_2 для расширения полезного генетического разнообразия сахарной кукурузы по углеводному составу зерна. Установлено, что гибриды от скрещиваний линий – носителей мутации su_1 с линиями – носителями мутаций sh_2 и su_2 отличаются от линий – носителей мутации su_1 более высоким содержанием дисахаридов, сахарозы и общим содержанием сахаров в зерне технической спелости.

The possibility of utilization of the hybrids between inbreds – carriers of mutation su_1 and inbreds – carriers of mutations wx , su_2 and sh_2 for the expanding of useful genetic diversity of sweet corn on the seed' carbohydrate composition were studied. It have been established that the hybrids between inbreds – carriers of mutation su_1 and inbreds – carriers of mutations su_2 and sh_2 were notable as having more high content of disaccharides, sucrose and total sugars in comparison with the inbreds – carriers of mutation su_1 .