УДК 631.527 https://doi.org/10.70739/sstac2025.16

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ МУЖСКОГО ГАМЕТОФИТА КУКУРУЗЫ К ОСМОТИЧЕСКОМУ СТРЕССУ И ЗАСОЛЕНИЮ

Клименко О.А., доктор биологических наук

Государственный Университет Молдовы, Институт Генетики,Физиологии и Защиты Растений, Кишинэу, Республика Молдова

Резюме: Выявлены показатели эффектов таких стрессовых факторов как засуха и засоление в изменчивости признака «диаметр пыльцевого зерна» у генотипов кукурузы с разными сроками цветения. Наибольшая зависимость от негативного влияния этих абиотических стрессов отмечена у генотипов с ранними сроками цветения. В целом по опыту, средние групповые значения признака «диаметр пыльцевого зерна» были ниже в условиях засоления. Отобран ценный исходный материал для получения генотипов кукурузы устойчивых к обоим стрессам на уровне мужского гаметофита.

Введение

Действие засухи отрицательно влияет на развитие гаметофита кукурузы, что обуславливает потери урожая [1]. Однако исследователями [4] показано, что внедрение генотипов данной культуры с повышенной устойчивостью к этому стрессовому фактору, позволяет увеличивать продуктивность на 15%. В настоящее время одной из важнейших задач селекции кукурузы является получение устойчивых к засухе генотипов [2], а также к другим абиотическим стрессам (включая засоление), так как были идентифицированы гены устойчивости к неблагоприятным средовым факторам [6]. Известно, что методы анализа мужского гаметофита кукурузы при отборе стрессоустойчивых генотипов позволяют быстро и надежно оценить большое количество исходного материала [3,5]. Таким образом, цель настоящего исследования состояла в том чтобы выявить на гаплоидном уровне мужского гаметофита устойчивые к засухе и засолению генотипы кукурузы с разными сроками цветения.

Материалы и методы

В качестве исходного материала были использованы 18 генотипов кукурузы с разными сроками цветения. Раннецветущие генотипы: гибрид (F2xP101)x(P343xF2), полученный с использованием метода фракционирования пыльцы, линия 1362, трехлинейные гибриды (1362xF2)xP343(1), (1362xF2)xXL12, простой гибрид F_1 A285x1866, гибрид F_2 3(2). Генотипы средних сроков цветения: линии 10,14, 9(2), трехлинейный гибрид (1866xCo125)xF2, гибрид F_1 3(1). Позднецветущие генотипы: линии P165, B73, 6(2), гибрид 15(3)x11(1), полученный с использованием метода фракционирования пыльцы, гибридные комбинации ((P165xW47)xW47)x (MK01xW23), ((Л276xP101)xЛ459) x (MK01xMo17), (MK01xW47) x((Л276xP101)xЛ459). Диаметры пыльцевых зерен измеряли с помощью микроскопа и окуляр микрометра (МОВ-1-15х) в растворе с осмотическим давлением 6,34 МПа, растворе NaCl (10%) и у свежесобранной пыльцы (контроль). Значения признака «диаметр пыльцевого зерна» выражены в единицах окуляр микрометра. Статистическая обработка данных проводилась по схемам двухфакторного дисперсионного анализа с использованием программы STATISTICA 8.

Результаты исследований

Дисперсионный анализ признака «диаметр пыльцевого зерна» всех генотипов выявил достоверную зависимость его изменчивости от факторов «генотип», «стрессы» и их взаимодействия (таблица 1). Наибольшими эффектами характеризовались фактор «генотип», а также взаимодействие «генотип» х «стрессы». Коэффициент детерминации данной модели опыта оказался довольно высоким, что также говорит о сильной зависимости изменчивости данного признака от изучаемых факторов.

Обращает на себя внимание тот факт, что показатели эффектов и фактора «генотип» и взаимодействия «генотип» х «стрессы» почти одинаковы, а значение эффекта фактора «стрессы» в 2 раза меньше. Дисперсионный анализ признака «диаметр пыльцевого зерна» также выполнялся отдельно в группах генотипов, которые отличались по срокам цветения. Следует отметить, что наибольший в опытах показатель эффекта фактора «стрессы» выявлен у раннецветущих генотипов, при этом эффекты фактора «генотип» и взаимодействия «генотип» х «стрессы» были недостоверны. Значение коэффициента детерминации в этой модели экспериментов было наименьшим в целом по эксперименту, но достаточно высоким и достоверным. Интересно, что у генотипов со средним сроком цветения эффект фактора «стрессы» оказался недостоверен, а у генотипов с поздним периодом цветения показатель эффекта данного фактора был почти в 2 раза меньше аналогичного показателя для генотипов с ранним периодом цветения. Значения эффектов взаимодействия факторов «генотип» х «стрессы» в группах со средним и поздним периодами цветения оказались практически одинаковыми. Однако, самые высокие в опытах показатели эффекта фактора «генотип» и коэффициента детерминации отмечены в группе с поздними сроками цветения.

Таблица 1

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа признака «диаметр пыльцевого зерна» по всем генотипам и по группам цветения

Фактор	Группы генотипов					Все генотипы				
	Степ.своб.	Сред. Квадр.	F факт.	η_p^2	R^2	Степ. своб.	Сред. Квадр.	F факт.	η_p^2	R^2
	Генотипы с ранним цветением									
Генотип (А)	5	309	1,77	0,08		17	10,48	6,2	$0,26^{***}$	$0,69^{***}$
Стрессы (В)	2	4176	23,9	$0,3^{***}$	$0,64^{***}$	2	3549	23	$0,12^{***}$	
А хВ	10	326	1,87	0,15		34	587	3,8	$0,28^{***}$	
Генотипы со средним цветением						Генотипы с поздним цветением				
Генотип (А)	4	1338	8,44	$0,27^{***}$		6	1750	13,04	$0,38^{***}$	$0,74^{***}$
Стрессы (В)	2	224	1,2	0,03		2	1406	10,5	$0,14^{***}$	
А хВ	8	678	4,28	$0,3^{***}$	$0,66^{***}$	12	564	4,2	$0,29^{***}$	

***-p<0,001

Наибольшими показателями признака «диаметр пыльцевого зерна» в контроле характеризовалась группа раннецветущих генотипов (таблица 2). В условиях засоления лучшими были генотипы из двух других групп цветения, а при действии осмотического стресса самые высокие значения данного признака также как и средний показатель по группе были отмечены у генотипов с поздними сроками цветения.

Таблица 2

Средние показатели признака «диаметр пыльцевого зерна» в зависимости от групп цветения и вариантов стрессовых факторов

Группы цветения и входящие в них генотипы	Среднее значение	Контроль	Осмотический стресс	Стресс NaCl
Группа раннего цветения $НСР_{0,05}$ = 5,64 для средних показателей по группе	151,1	162,9	149,0	143,5
(F2xP101)x(P343xF2)	148,2	158,3	141,1	145,1
Линия 1362	153,6	156,5	155,6	148,6
(1362xF2)xP343(1)	150,6	158,7	153,5	139,7
A285x1866	146,9	161,7	148,2	130,9
(1362xF2)xXL12	154,9	175,4	143,1	146,2
Гибрид F_2 3(2)	156,2	166,57	152,4	150,6
Группа среднего цветения	151,2	152,8	152,5	148,3
Линия 10	149,0	165,5	145,8	135,7
Линия 14	160,0	167,1	163,5	149,4
(1866xCo125)xF2	146,5	140,5	150,0	149,0
Гибрид F_1 3(1)	158,8	158,1	155,6	162,7
Линия 9(2) $НСР_{0,05}$=11,05 для средних показателей генотипов	141,6	132,6 147,6 144,5 $НСР_{0,05}$=5,9 для показателей генотипов в контроле и стрессах		
Группа позднего цветения $НСР_{0,05}$=4,58 для средних показателей по группе	153,6	154,7	158,3	147,8
15(3)x11(1)	154,5	158,7	156,1	148,6
P165	152,5	157,1	155,9	144,7
((P165xW47)xW47)x (MK01xW23)	172,2	182,0	186,0	148,6
((Л276xP101)xЛ459) x (MK01xMo17)	150,2	150,1	159,1	141,4
(MK01xW47) x((Л276xP101)xЛ459)	149,8	152,8	149,9	146,6
B73	153,6	143,1	156,4	161,5
Линия 6(2) $НСР_{0,05}$=7,0 для средних показателей генотипов	142,3	138,9 144,9 143,2 $НСР_{0,05}$=4,58 для показателей генотипов в контроле и стессовых условиях		

Анализ данных по группам показал, что гибрид (1362xF2)xXL12, гибрид F_2 3(2) и линия 1362 выделились по высоким средним показателям среди генотипов с ранним цветением. При этом у линии 1362 разница между контрольным значением и показателями в стрессовых условиях была наименьшей. Еще один трехлинейный гибрид (1362xF2)xP343 из этой группы можно отнести к более устойчивым на фоне осмотического стресса. Простой гибрид A285x1866 характеризовался самым низким показателем признака «диаметр пыльцевого зерна» при действии солевого стресса.

У генотипов со средним сроком цветения наибольшие показатели изучаемого признака в контрольных условиях были у линий 10 и 14, при этом линия 10 превышала показатели линии 14 в

условиях обоих стрессов. Определенным потенциалом устойчивости к осмотическому и солевому стрессам обладали трехлинейный гибрид (1866xCo125)xF2 и линия 9(2). Гибрид F_1 3(1) превосходил среднее значение признака «диаметр пыльцевого зерна» гибрида (1866xCo125)xF2, однако на фоне засухи уступал своему контрольному значению. В группе генотипов с поздними сроками цветения по устойчивости к обоим стрессам выделились линии B73, 6(2) и гибрид (MK01xW47) x((Л276xP101)xЛ459). Гибриды 15(3)x11(1) , ((P165xW47)xW47)x (MK01xW23) и линия P165 оказались более резистентны только к действию засухи. При этом гибридная комбинация ((P165xW47)xW47)x (MK01xW23) обладала наибольшими показателями признака «диаметр пыльцевого зерна» в контроле и при действии осмотического стресса среди всех генотипов. Самые высокие значения изучаемого признака в условиях засоления оказались у линии B73 (позднецветущая) и у гибрида F_1 3(1) среднего срока цветения.

Выводы

1. Эффект фактора «стрессы» оказался достоверным только для генотипов с ранними и поздними сроками цветения, а эффекты фактора «генотип» и взаимодействия «генотип» х «стрессы» достоверно обуславливали изменчивость признака «диаметр пыльцевого зерна» у генотипов со средними и поздними сроками цветения.

2. В целом по опыту, средние групповые значения признака «диаметр пыльцевого зерна» были ниже в условиях засоления. Самые высокие показатели данного признака оказались у линии B73 и у гибрида F_1 3(1).

3. По устойчивости к осмотическому и солевому стрессам отобраны трехлинейный гибрид (1866xCo125)xF2 и линия 9(2), а в группе генотипов с поздними сроками цветения по устойчивости к обоим стрессам выделились линии B73, 6(2) и гибрид (MK01xW47) x((Л276xP101)xЛ459).

Список литературы

1. DONG, Q.; MUXUAN,W.; YUE,N.; YANG,Y.; YUN,X. Sexual reproduction in plants under high temperature and drought stress. *Cell Reports* 44,2025. p.1-16 https://doi.org/10.1016/j.celrep.2025.115390
2. KIM, K.-H.; LEE, B.-M. Effects of Climate Change and Drought Tolerance on Maize Growth. *Plants* 2023, 12, 3548, 1-18. https://doi.org/10.3390/plants12203548
3. MEGHANA, K.J.; RAVIKUMAR,R.L. Effect of pollen selection for moisture stress tolerance in maize (*Zea mays* L.). *Mysore.J.Agric.Sci.* 2018. 52(2). 340-344. https://cabidigitallibrary.org
4. SIMTOWE, F.; AMONDO, E.; MARENYA, P.; RAHUT, D.; SONDER, K.; ERENSTEIN, O. Impacts of drought-tolerant maize varieties on productivity, risk, and resource use: evidence from Uganda. *Land use policy*. 2019, 88, 104091, p.1-10 https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104091
5. SINGH, A.; CHOWDHURY, R.; DAS,R. Gametophytic selection: a simple technique for thermo tolerance genotypes identification in maize. *International Journal Of Current Microbiology And Applied Sciences*. 2017. 6(8). p.1649-1655. http://dx.doi.org/10.20546/ijcmas.2017.602.198
6. YUNBI, X.; FENG, Q.;, CHENGCAI, C.; RAJEEV, K. Abiotic stress tolerance: Genetics, genomics, and breeding. *The Crop Journal,* 2023. 1-6. https://doi.org/10.1016/j.cj.2023.07.002

Исследования выполнены в рамках субпрограммы ***011102 Расширение и сохранение генетического разнообразия, селекция генофондов сельскохозяйственных культур в контексте климатических изменений,*** финансируемой Министерстом образования и исследований Республики Молдова.