

ДІАГНОСТИКА НА СТІЙКІСТЬ ДО ПОСУХИ НОВИХ ЛІНІЙ ЦУКРОВОЇ КУКУРУДЗИ

О. Є. Клімова, кандидат сільськогосподарських наук
 Інститут сільського господарства степової зони НААН України

Висвітлено результати польової оцінки (2010–2011 рр.) стійкості до посухи нових ліній цукрової кукурудзи за індексами посухостійкості і морфобіологічними ознаками. Встановлено вищу активність генотипового середовища у стрес-толерантних ценозів порівняно з нестійкими до посухи. Виділено високопродуктивні посухостійкі зразки з високою гомеостатичністю формування продуктивності. Рекомендовано використовувати їх при створенні гібридів для вирощування в посушливих умовах.

Ключові слова: цукрова кукурудза, лінії, ознаки, посухостійкість, кореляція, генотипове середовище.

Сучасна гетерозисна селекція кукурудзи передбачає постійне розширення генофонду інбредних ліній, цінних за господарськими ознаками і біологічними властивостями, та виокремлення кращих з них в програмах створення нових високопродуктивних гібридів, адаптованих до різних ґрунтово-кліматичних умов. Цукрова кукурудза серед інших підвидів є найбільш чутливою до умов вирощування. Історично селекція цього підвиду кукурудзи в основному була зосереджена в регіонах з достатньо прохолодним і зволеним кліматом – в північних штатах США і на півдні Канади, а пізніше в західній Європі. В цих умовах сформувався слабопосушливий генетичний пул кукурудзи. Особливо актуальним стає питання толерантності до посухи гібридів цукрової кукурудзи та їхніх батьківських форм при глобальному потеплінні та сучасній мінливості клімату, його аридизації.

Основним критерієм стійкості генотипу до посухи в більшості селекційних програм є врожайність та її стабільність, а безпосередня оцінка стійкості основана на мінімізації недобору врожаю в екстремальних умовах порівняно з оптимальними [1]. Поряд з цим виокремлення ліній-індикаторів, візуальних і метричних критеріїв оцінки рослин в період їх онтогенезу [2], фізіологічних і біохімічних показників [3] підвищує коректність аналізу.

Метою роботи було практичне вивчення нових ліній, створених при гібридизації цукрової кукурудзи типів su_1 і sh_2 з елітними та поліпшеними зразками зернових геноплазм: Лаукон, Оттава флінт, Ланкастер, Айодент, Міннесота, Рейд (BSSS), Добруджанка, Міндсен-пустіфехер, Лімінг та інші, а також з генотипами розлусної, крохмалистої (su_2) і восковидної (wx) – детермінантами максимального прояву ознак індивідуальної продуктивності, високої генетичної цінності та різних механізмів формування посухостійкості. Рекомбіногенез генетично віддалених форм забезпечував появу новоутворень у F_1 . Наступна трансгресія цінних домінантних алелів від джерел в генотипи цукрової кукурудзи, гомозиготність та цілеспрямований добір на цукровий тип ендосперму сприяли синтезу нових різноякісних ліній з встановленими параметрами господарсько-корисних ознак. Іншим джерелом для створення ліній стали кращі вітчизняні та інтродуковані сорти, гібриди цукрової кукурудзи, в генотипах яких локалізовано багато господарсько-цінних ознак.

Досліди проведено в 2010–2011 рр. на Синельниківській селекційно-дослідній станції Інституту сільського господарства степової зони. В дослідженнях було використано 100 експериментальних ліній робочої колекції цукрової кукурудзи. При проведенні досліджень керувались методичними рекомендаціями [4]. Градаційну оцінку ліній за ознаками продуктивності здійснено за "Класифікатором-довідником виду *Zea Mays L.*" [5] з урахуванням підвиду цукрової кукурудзи. Гомеостатичність ліній (H_{OM}) та їхню селекційну цінність (Sc) визначали за формулами В. В. Хангильдіна [6]:

$$H_{OM} = \bar{x} / \sigma(x_{opt} - x_{lim}); \quad Sc = \bar{x} (x_{lim} / x_{opt}), \text{ де}$$

\bar{x} – середня продуктивність, x_{opt} і x_{lim} – значення ознаки в оптимальних і стресових умовах, σ – середнє квадратичне відхилення.

Статистична обробка одержаних даних виконана методами дисперсійного і кореляційного аналізів на IBM PC з використанням певних програм. Агротехнічні заходи в польових дослідах – загальноприйняті для зони вирощування кукурудзи.

Погодні умови протягом років досліджень в період вегетації кукурудзи були досить контрастними. Кількість опадів у 2010–2011 рр. перевищувала багаторічну норму (241 мм) на 17,9 і 14,9% і становила 282 і 273 мм відповідно. Середньодобові температури повітря були вищими за багаторічні показники (18,2⁰ С) на 18,1 і 8,7% і відповідно досягали 21,5 і 19,8⁰ С. В 2010 р. аномально високі температури повітря у II і III декадах липня та серпня (37–44⁰С) на фоні практично відсутніх в даний період опадів зумовили стресові умови життєзабезпечення рослин. В 2011 р. розподіл опадів був більш рівномірний, а середньодобові температури незначно перевищували їх оптимальні значення. Гідротермічний коефіцієнт за червень – серпень, в період інтенсивного росту рослин, формування качанів і наливу зерна, становив 0,49 і 1,05 відповідно за роками.

Стійкість до посухи колекційних зразків визначали виходячи з рівня впливу на зниження їх врожайності в посушливому році. Індекс посухостійкості (ІП) обчислювали як відношення зернової продуктивності в посушливому році до оптимального. Крім того, проаналізовано особливості прояву морфологічних ознак за дії стресу та в сприятливих умовах вирощування. За результатами оцінок були виділені лінії з різним ступенем адаптації до посухи (табл. 1).

Так, в екстремальних умовах 2010 р. у посухостійких генотипів продуктивність рослин знижувалась на 2,5–10,2% проти 21,5–50,7% у нестійких зразків, порівняно з 2011 р. Індекс посухостійкості для першої групи ліній був близьким до 1,0 і коливався в межах 0,90–0,97 порівняно з генотипами другої групи – 0,50–0,79.

Посухостійким генотипам властива більш стабільна маса качана та кількість качанів на рослині. Коливання цих показників за роками було дещо меншим – відповідно 0,0–10,4 та 0,0–6,7%, ніж у нестійких до посухи форми – 14,9–34,9 і 4,3–21,8% відповідно.

Аналогічні характеристики отримано і для ознак «довжина качана» і «кількість зерен в ряду». В стресових умовах 2010 р. у нестійких до посухи форм ці показники відповідно зменшувалися на 10,3–25,0 та 11,3–22,7% проти 0,0–9,5 та 1,1–8,6% у стійких. При цьому крупнокачанні та довгокачанні лінії зі значною кількістю зерен в ряду частіше траплялися серед високопродуктивних посухостійких форм. Частка таких генотипів в межах колекції становила 30,0; 22,0 та 30,0% у посухостійких зразків і лише 11,8; 4,7 і 10,2% у нестійких до посухи. Розмах мінливості ознаки «кількість рядів зерен» був незначним – 6,8–11,4%, що вказує на низьку залежність її від умов вирощування.

Кількість зерен з качана у стрес-толерантних ліній при погіршенні умов вологозабезпечення зменшувалась на 2,3–9,7%, а в нестійких до посухи – на 13,3–28,9%. При цьому маса 1000 зерен в стійких генотипів зменшувалася на 2,4–12,7, а в нетолерантних – на 9,1–28,4%. В умовах стресу в останніх відмічено значний запал зерна, що стало причиною зниження абсолютних значень ознаки. В сприятливих умовах у ліній обох груп відмічено високу емерджентність маси 1000 зерен [4] поряд з середніми і високими показниками ознаки кількість зерен з качана в зв'язку з компенсаторним ефектом. У нестійких до посухи зразків також мало місце зменшення висоти рослин і висоти прикріплення качана під впливом посухи – на 11,2–26,0 і 18,9–32,4% відповідно, тимчасом як у толерантних форм лише на 1,8–10,0 і 3,8–11,0%.

Високою посухостійкістю відзначалися лінії КЦ602-2, КЦ500-21, РКЦ18, РКЦ98 (ІП = 0,94–0,97), в яких продуктивність знижувалась на 2,5–6,3% і КЦ805-3, КЦ27-5, РКЦ38, РКЦ46, РКЦ52 з індексом посухостійкості 0,90–0,92 та вищим рівнем зниження ознаки – 7,8–10,0%. Посухостійкі генотипи в контрастних умовах вирощування забезпечили 73,6–79,4 і 75,7–84,0 та 60,3–88,8 і 66,1–97,9 г зерна з рослини, що на 48,0–59,7 та 46,0–79,3% більше від лінії-стандарту КС209а. Простежувався зв'язок між високою продуктивністю і посухостійкістю, що свідчить про можливість усунення негативної залежності між цими ознаками.

Отже, дані лінії можуть одночасно слугувати донорами як високої продуктивності, так і стійкості до посухи в програмах селекції посухостійких гібридів цукрової кукурудзи.

У високопродуктивних лінії цукрової кукурудзи – КЦ807-2, КЦ45-1, РКЦ28-2, РКЦ32, РКЦ504-21 – в лімітованих умовах зволоження маса зерна з рослини становила 60,8–76,5 г, а при поліпшенні умов вологозабезпечення ці показники зростали до 87,5–118,4 г, перевищуючи стандарт на 22,3–53,9 та 64,1–118,5%. Їх краще використовувати при створенні інтенсивних гібридів з метою вирощування в зоні достатнього зволоження та при зрошенні.

Посухостійкі лінії КЦ208-5, КЦ209-2, КЦ802-1, КЦ804-2, РКЦ28 su₁ і типу PJS7/5-1 (sh₂) в контрастних умовах вирощування формували низьку та середню продуктивність 42,9–46,8 і 54,1–58,8 г зерна з рослини. Рівень продуктивності у них контролюється генотипом і зумовлений інбредною депресією, а екологічна депресія суттєво не впливала на неї. Низько- та середньопродуктивні лінії виявлено і серед нестійких до посухи ліній (ПІ=0,50–0,70). Але такий характер формування ознаки у них зумовлений її мінімізацією при дії стресу, тому вони забезпечували достовірно нижчу продуктивність порівняно зі стандартом і підвищували її в сприятливих умовах до високодостовірних значень. При визначенні селекційної цінності ліній брались до уваги і показники їх гомеостатичності (табл. 2).

За параметрами гомеостатичності серед кращих зразків за продуктивністю найбільш високими показниками (Ном = 18,6–43,6) відзначались стійкі до посухи лінії РКЦ18 і РКЦ98 з високою селекційною цінністю (Sc = 72,7). Решта зразків цієї групи мали підвищені та середні показники (Ном = 2,3–7,7). Дані лінії характеризувались збалансованим та стабільним типом реалізації продуктивності в різних умовах вирощування. На відміну від них у нестійких до посухи форм гомеостатичність була низькою (Ном = 0,1–0,4), що зумовлено лабільністю їх генотипів при формуванні продуктивності. Підвищена селекційна цінність (Sc = 50,1–62,9) у них була за рахунок високої продуктивності в сприятливих умовах 2011 р.

2. Селекційна цінність та гомеостатичність кращих за продуктивністю ліній цукрової кукурудзи (2010–2011 рр.)

Лінія	Продуктивність, г зерна/рослину	% до стандарту	Селекційна цінність, Sc	Гомеостатичність, Ном
Посухостійкі лінії				
КЦ805-3	66,7	128,3	60,4	3,1
КЦ606-2	79,0	151,9	74,0	6,2
КЦ500-21	81,7	157,1	77,2	7,7
КЦ27-5	71,5	137,5	65,4	5,6
РКЦ18	74,7	143,7	72,7	18,6
РКЦ38	93,4	179,6	84,7	2,3
РКЦ46	63,2	121,5	57,7	3,8
РКЦ52	80,2	154,2	73,9	3,8
РКЦ98	74,6	146,9	72,7	43,6
Не стійкі до посухи				
КЦ807-2	93,5	179,8	58,0	0,1
КЦ45-1	77,4	148,8	59,5	0,4
РКЦ28-2	81,0	155,8	50,1	0,1
РКЦ32	74,6	143,5	51,3	0,2
РКЦ504-21	97,4	187,3	62,9	0,1
КС209а, стандарт	52,0	100,0	47,7	4,6

1. Продуктивність ліній цукрової кукурудзи в 2010–2011 рр.

Лінія	Продуктивність, г зерна з рослини			ІІІ	Маса качана, г			Зерен з качана, шт.			Маса 1000 зерен, г		
	2010 р.	2011 р.	%		2010 р.	2011 р.	%	2010 р.	2011 р.	%	2010 р.	2011 р.	%
Посухостійкі лінії													
КЦ208-5	55,6	57,8	-3,8	0,93	57,6	61,8	-6,8	403	446	-9,6	151	160	-5,6
КЦ209-2	52,3	55,9	-6,4	0,90	55,9	62,4	-10,4	383	416	-7,5	160	164	-2,4
КЦ802-1	42,9	46,8	-8,3	0,92	52,5	54,0	-3,6	422	450	-6,2	179	184	-2,7
КЦ804-2	58,4	64,2	-9,0	0,93	68,8	70,6	-2,5	427	444	-3,8	213	220	-3,2
КЦ805-3	63,4	70,0	-10,0	0,90	74,6	76,2	-2,0	305	335	-8,9	196	208	-5,8
КЦ602-2	76,4	81,5	-6,3	0,94	81,5	84,2	-3,2	415	439	-5,5	278	287	-3,1
КЦ500-21	79,4	84,0	-5,7	0,94	80,1	85,3	-6,0	228	224	-6,6	300	330	-9,0
КЦ27-5	68,3	74,7	-8,6	0,91	72,4	78,8	8,1	510	554	-7,9	184	182	-4,2
РКЦ18	73,7	75,7	-2,6	0,97	75,6	77,5	-2,2	525	577	-9,0	198	204	-2,9
РКЦ28	54,1	58,8	-8,0	0,92	55,8	56,0	-1,9	347	382	-9,2	138	144	-4,2
РКЦ38	88,8	97,9	-9,2	0,91	63,8	68,8	-12,1	427	443	-9,7	164	188	-12,7
РКЦ46	60,3	66,1	-8,8	0,91	66,3	72,6	-8,7	606	656	-7,6	165	185	-10,8
РКЦ52	77,0	83,5	-7,8	0,92	74,4	76,8	-3,4	608	622	-2,3	172	189	-8,9
РКЦ98	73,6	75,5	-2,5	0,97	80,4	80,4	0,0	392	438	-9,1	188	200	
РЛS7/5-1	50,8	54,6	-6,7	0,93	66,6	68,2	-2,3	413	431	-4,2	156	162	-3,7
Нестійкі до посухи лінії													
КЦ209-3	35,4	58,8	-39,8	0,60	42,5	62,4	-31,9	351	426	-17,6	136	172	-20,9
КЦ807-2	71,6	115,4	-37,9	0,62	66,4	86,6	-23,3	251	353	-28,9	212	296	-28,4
КЦ43-1	35,4	70,8	-50,7	0,50	48,3	68,1	-29,0	244	299	-18,4	190	235	-19,1
КЦ45-1	67,3	87,5	-21,5	0,79	76,3	91,8	-16,9	347	456	-23,9	184	242	-23,9
КЦ47-1	44,4	63,0	-29,5	0,70	48,0	63,4	-24,3	244	338	-27,8	200	258	-19,4
РКЦ12-1	50,9	90,9	-44,2	0,56	51,4	82,8	-37,9	483	544	-14,9	159	194	-20,6
РКЦ110-1	45,8	87,1	-41,3	0,53	45,6	70,0	-34,9	418	504	17,1	116	152	-23,6
РКЦ28-2	61,9	100,0	-38,1	0,62	60,5	85,6	-28,3	382	465	-17,4	166	216	-23,1
РКЦ33	50,5	84,5	40,2	0,60	50,8	76,6	-33,7	398	459	-13,3	168	212	-20,8
РКЦ32	60,8	88,3	-32,0	0,68	61,1	88,8	-31,2	384	523	-26,6	122	158	-22,9
РКЦ49	54,6	104,4	-47,7	0,52	61,1	88,2	-30,4	343	421	-18,5	216	272	-20,6
РКЦ504-21	76,5	118,4	-35,4	0,65	76,3	97,6	-21,8	325	429	-24,2	208	269	-22,7
КС209а, (стандарт)	49,7	54,2	-8,3	0,92	55,0	59,6	-4,7	326	398	-6,5	168	184	-8,7
НІР _{0,05}	2,83	4,76	-	-	4,05	5,69	-	19,7	40,3	-	5,03	7,80	-

В цілому між продуктивністю інбредних ліній і комплексом фізіологічних реакцій пристосування організму до дії стресу існує зв'язок. За рахунок цього в посухостійких ліній підтримується гомеостаз, що й сприяє стабілізації зернової продуктивності. У нестійких до посухи зразків фізіологічні реакції в період онтогенезу рослин спрямовуються на подолання негативного впливу несприятливих чинників довкілля, що й викликає зниження продуктивності.

Продуктивність як інтегральна макроознака формується при взаємодії складових її структури, прояв яких диференціюється факторами навколишнього середовища. З метою виявлення залежності продуктивності від морфологічних і біологічних ознак вивчено кореляційні зв'язки між ними у різних за стійкістю до посухи груп ліній (табл. 3).

Аналіз поєднання продуктивності з 14-ма ознаками різних ліній свідчить про різноманітність зв'язків за силою і напрямком залежно від генотипів різних груп та років досліджень. Позитивний суттєвий зв'язок ($r = 0,61-0,93$) встановлено між продуктивністю і масою качана, масою зерна з качана і середній ($r = 0,35-0,39$) – з масою 1000 зерен як у посухостійких, так і в нетолерантних ліній в обидва роки. Пряма залежність середньої та високої сили ($r = 0,38-0,72$) відмічена у посухостійких генотипів між продуктивністю і кількістю качанів на рослині, довжиною качана, кількістю зерен в ряду, кількістю зерен з качана, виходом зерна, діаметром качана, довжиною зерна та висотою рослин. У нестійких до посухи зразків коефіцієнти кореляції продуктивності з кількістю качанів, довжиною качана і кількістю зерен в ряду мали середні значення ($r = 0,38-0,49$). Поєднання інших ознак з продуктивністю у цієї групи ліній було статистично несуттєвим ($r = 0,16-0,31$). Між продуктивністю, кількістю рядів зерен і тривалістю періоду від сходів до цвітіння качанів виявлено незначний зворотний зв'язок ($r = -0,01- -0,25$) в обох групах впродовж років досліджень. Це цілком закономірно, оскільки чим менша кількість зерен і чим триваліший період вегетації, тим більше синтезованих рослиною поживних речовин використовується на формування крупного зерна, як результат – підвищення продуктивності.

3. Коефіцієнти кореляції (r) продуктивності та ознак ліній цукрової кукурудзи різних груп стійкості до посухи

Ознака	Посухостійкі, N = 40		Не стійкі до посухи, N = 60		
	2010 р.	2011 р.	2010 р.	2011 р.	
Маса качана, г	0,84**	0,86**	0,61**	0,82*	
Маса зерна з качана, г	0,90**	0,93**	0,84**	0,90**	
Кількість качанів, шт./рослину	0,71**	0,72**	0,44*	0,49*	
Довжина качана, см	0,60**	0,63**	0,40*	0,41*	
Зерен в ряду, шт.	0,56**	0,57**	0,38	0,39	
Рядів зерен, шт.	-0,20	-0,01	-0,08	-0,09	
Зерен з качана, шт.	0,47*	0,54**	0,21	0,24	
Вихід зерна, %	0,53**	0,67**	0,18	0,26	
Діаметр качана, см	0,38	0,41*	0,26	0,30	
Довжина зерна, мм	0,53**	0,58**	0,28	0,31	
Маса 1000 зерен, г	0,37	0,39	0,35	0,38	
Висота, см	рослини	0,41*	0,42*	0,16	0,24
	прикріплення качана	0,28	0,29	0,20	0,22
Діб до цвітіння качанів	-0,19	-0,25	-0,08	-0,13	

* Суттєво при $P = 0,95$. ** Суттєво при $P = 0,99$.

Висока кореляційна залежність між продуктивністю і певними ознаками ліній відображає підвищену активність генотипового середовища у посухостійких форм в різних умовах вирощування. Виявлена тенденція до незначного зниження кореляційної залежності між ознаками в несприятливих умовах 2010 р. вказує на можливість виділення цінного лінійного

матеріалу цукрової кукурудзи за стійкістю до посухи в лімітованих умовах вологозабезпечення.

Виходячи з результатів кореляційного аналізу, при доборі високопродуктивного і адаптованого до посухи матеріалу перевагу слід надавати зразкам зі значною масою качана, масою зерна з качана і підвищеною кількістю качанів на рослині. Для виявлення цінних зразків допустиме також використання оцінок кореляційної залежності продуктивності з довжиною качана, кількістю зерен в ряду, виходом зерна і довжиною зернівки як додаткової інформації.

Таким чином, зі створеного останніми роками лінійного матеріалу цукрової кукурудзи виділено 40 зразків, які в умовах польових дослідів показали високу стійкість до посухи ($PI = 0,90-0,97$). Серед них такі високопродуктивні, з високою гомеостатичністю формування продуктивності при вирощуванні в різних умовах природного вологозабезпечення лінії, як КЦ602-2, КЦ500-21, КЦ805-3, КЦ27-5, РКЦ18, РКЦ38, РКЦ46, РКЦ52, РКЦ98. За груповими оцінками кореляційної залежності встановлено вищу активність генотипового фону в стрес-толерантного лінійного матеріалу порівняно з нестійкими до посухи зразками. Досконале вивчення ознак спрощує добір цінних для практичної селекції генотипів. Одержані дані щодо посухостійкості лінійного матеріалу та кращі лінії можуть бути успішно використані в подальшій селекційній роботі при створенні нових гібридів з високою адаптивною стійкістю до посухи.

Бібліографічний список

1. Мустяца С. И. Влияние засухи на некоторые признаки скороспелой кукурузы и селекция на засухоустойчивость / С. И. Мустяца // Кукуруза и сорго. – 2005. – № 5. – С. 6–12.
2. Козубенко Л. В. Селекция кукурузы на раннеспелость / Л. В. Козубенко, И. А. Гурьева. – Х., 2000. – 239 с.
3. Філіпов Г. Л. Використання фізіологічних методів діагностики для добору адаптивно стійких форм кукурудзи / Г. Л. Філіпов, М. В. Вишневський / Бюл. Ін-ту зерн. госп-ва. – Дніпропетровськ, 2009. – № 36. – С. 89–91.
4. Методичні рекомендації польового та лабораторного вивчення генетичних ресурсів кукурудзи. – Х., 2003. – 43 с.
5. Класифікатор-довідник виду *Zea mays* L. – Х., 1994. – 73 с.
6. Хангильдин В. В. Гомеостатичность урожая зерна и его компонентов / В. В. Хангильдин // Генетический анализ количественных признаков растений. – Уфа, 1979. – С. 14–24.