

УДК 633.152/ 575.224.2

# Морфо-біологічні ознаки та продуктивність ліній і гібридів суперсолодкої кукурудзи, отриманих на основі мутації $sh_2$

О. Ю. Куліш\*, М. Ф. Парій

ТОВ «Всеукраїнський науковий інститут селекції», вул. Васильківська, 30, м. Київ, 03022, Україна,  
\*e-mail: olyakulich@ukr.net

**Мета.** Суперсолодка кукурудза містить ген, експресія якого зумовлює підвищення концентрації цукру. Ідентифіковано гени ендосперму, що регулюють підвищення вмісту цукру і зменшення вмісту крохмалю; найефективнішими з них були *shrunk2* ( $sh_2$ ), *brittle1* (*bt*), *sugary1* ( $su_1$ ) і *sugary enhancer1* (*se*). Рецесивна мутація *shrunk2* ( $sh_2$ ) забезпечує високий вміст цукрів у зерні молочно-воскової стиглості порівняно з іншими мутантними формами, що безпосередньо впливає на смакові якості  $sh_2$ -гібридів, обумовлює широке використання цієї мутації в селекційній роботі і має найбільший комерційний потенціал. Основним завданням селекції є створення нового покоління високопродуктивних гібридів, яке залежить від наявності високоякісного вихідного селекційного матеріалу. Тому метою роботи було оцінити лінії суперсолодкої кукурудзи за морфо-біологічними ознаками, виділити ліпші лінії-донори генетичних ознак, створити високопродуктивні гібриди кукурудзи. **Методи.** Морфо-біологічні ознаки досліджених ліній оцінювали за Класифікатором-довідником виду *Zea mays* L. Комплексний аналіз зразків за господарсько-цінними ознаками проводили згідно з Методичними рекомендаціями для польового та лабораторного вивчення генетичних ресурсів кукурудзи. Уміст редукувальних цукрів у зерні досліджених ліній і гібридів кукурудзи визначали за методом Бертрана. **Результати.** Досліджено морфо-біологічні ознаки суперсолодкої кукурудзи. Істотні відмінності між дослідженими лініями спостережено за тривалістю вегетаційного періоду, кількістю насінин в одному ряді й кількістю рядів зерен у качані. Виділено лінії-джерела господарсько-цінних ознак для практичної селекції. Проведено схрещування і отримано 50 гібридних комбінацій, серед яких виділено 16, які характеризувалися кращими показниками господарських ознак. **Висновки.** У результаті аналізу основних морфо-біологічних ознак у гібридних комбінаціях цукрової кукурудзи з мутантним геном  $sh_2$  виділено джерела селекційно-цінних ознак. За тривалістю вегетаційного періоду всі лінії було розділено на три групи: ранні – 8 ліній, середні – 6 і пізні – 8 ліній. Установлено, що перспективними донорами продуктивності качана були лінії SH-621, SH-234 і SH-936, висоти рослин – SH-234 і SH-936, кількості рядів зерен – SH-234 і SH-113, довжини качана – SH-318 і SH-936. За оцінкою морфо-біологічних ознак виділено ліпші лінії, які були схрещені, отримано низку гібридів. Найкращі з них – ‘Матір Драконів  $F_1$ ’, ‘Юрмала  $F_1$ ’ і ‘Ларус  $F_1$ ’ – передано на державну реєстрацію.

**Ключові слова:** суперсолодка кукурудза; мутантний ген  $sh_2$ ; вегетаційний період; морфо-біологічні ознаки; продуктивність.

## Вступ

Кукурудза (*Zea mays* L.) – одна з найважливіших сільськогосподарських культур у світі. У процесі селекції здавна намагаються поліпшити її господарсько-цінні ознаки, зокрема смакові. У цьому сенсі «суперсолодка» овочева кукурудза вважається особливою, оскільки містить ген, експресія якого зумовлює підвищення концентрації цукрів. Унаслідок цього зазнають змін характеристики зерна (текстура, життєздатність, форма), а також зовнішній вигляд рослин і качанів [1–5]. Цукрова кукурудза має деякі ознаки, які класифікують її як овоч, оскільки качани збирають у свіжому вигляді з приблизно 75% вологи, а її інтенсивне вирощування за-

звичай відбувається на невеликих площах із чітким дотриманням агротехнічних заходів. Цукрову кукурудзу використовують виключно для споживання у свіжому й консервованому вигляді. Вона дуже популярна у США й Канаді, її вживання постійно зростає у Східній Азії і країнах Європи [5].

Солодкий смак зерна овочевої кукурудзи зумовлений різницею у вмісті крохмалю й цукру в ендоспермі. Повністю розвинене і стигле зерно кукурудзи звичайних сортів містить лише 3% цукру, тоді як зерно цукрової кукурудзи – 9–14%, а гібридів «суперсолодкої» – 15–25%. Ці зміни є генетично контрольованими, а мутантні алелі, які визначають такий фенотип, є рецесивними [6, 7].

Сьогодні біосинтез крохмалю в ендоспермі кукурудзи є одним з найбільш ретельно досліджених. Ідентифіковано гени ендосперму, що використовуються для поліпшення цукрової кукурудзи – підвищення вмісту цукру і зменшення вмісту крохмалю, найефектив-

Olga Kulish

<https://orcid.org/0000-0002-2897-5606>

Myroslav Parii

<https://orcid.org/0000-0001-9877-2241>

нішими з них є *shrunk2* ( $sh_2$ ), *brittle1* (*bt*), *sugary1* ( $su_1$ ) і *sugary enhancer1* (*se*) [8–16]. Є багато комерційних гібридів цукрової кукурудзи, що містять як окремі гени  $su_1$ , *se*,  $sh_2$  або *bt*, які забезпечують низку корисних ознак, так і їхні комбінації [8, 15, 17–19]. Рецесивна мутація *shrunk-2* ( $sh_2$ ) забезпечує високий уміст цукрів у зерні технічної стиглості порівняно з іншими мутантними формами, що безпосередньо впливає на смакові якості  $sh_2$ -гібридів [1–3, 5, 20–22], обумовлює широке використання цієї мутації в селекційній роботі і має найбільший комерційний потенціал [5, 23–25]. Рецесивна мутація гена  $sh_2$  активує накопичення цукрози й повністю пригнічує синтез крохмалю в ендоспермі. Гібриди, які отримують на основі цієї мутації, називають «суперсолодкими» [1–5, 18, 22, 25]. Порівняно з мутацією  $su_1$ , у  $sh_2$ -гібридів при досяганні й особливо у післязбиральний період уповільнюється перетворення цукрів у крохмаль, унаслідок чого використання товарної продукції продовжується на 8–10 діб [2]. Основним завданням селекційної роботи є створення нового покоління високопродуктивних гібридів, яке залежить від наявності високоякісного вихідного селекційного матеріалу.

*Мета досліджень* – оцінити лінії суперсолодкої кукурудзи за морфо-біологічними ознаками, виділити ліпші лінії-донори генетичних ознак, створити високопродуктивні гібриди кукурудзи.

### Матеріали та методика досліджень

Для проведення досліджень використано 22 лінії суперсолодкої кукурудзи з робочої колекції ТОВ «Всеукраїнський науковий інститут селекції», яка включає понад 500 ліній цукрової кукурудзи (табл. 1). Дослідження проводили у 2016–2018 рр. у Київській області (Обухівський р-н). Середня температура в цьому регіоні впродовж квітня–вересня 2016 р. становила 18,0 °С, за цей же період 2017 і 2018 рр. – 17,6 і 19,0 °С відповідно.

Морфо-біологічні ознаки (тривалість вегетаційного періоду; висота рослин; кількість листків на рослині; довжина качана і його форма; діаметр качана; кількість рядів зерен у качані; кількість зерен в одному ряді; насіннева продуктивність; ступінь зморшкуватості насіння) досліджених ліній оцінювали за Класифікатором-довідником виду *Zea mays* L. [26]. Комплексний аналіз зразків за господарсько-цінними ознаками (продуктивність з однієї рослини, група стиглості тощо) проводили згідно з Методичними

рекомендаціями для польового та лабораторного вивчення генетичних ресурсів кукурудзи [27].

За морфо-біологічними ознаками лінії було віднесено до батьківських і материнських компонентів. Потім було проведено їхнє схрещування, а отримані гібриди проаналізовано за такими ознаками, як висота рослин, висота прикріплення качана, кількість листків на рослині, кількість пасинків, наявність прилистків і їхня довжина, форма качана, довжина качана, діаметр качана, кількість рядів зерен у качані, кількість зерен у ряді, довжина насінни, колір насіння, насіннева продуктивність качана.

Уміст редукувальних цукрів у зерні досліджених ліній і гібридів кукурудзи визначали за методом Бертрана [28].

Опрацювання й систематизацію даних, математичне обрахування здійснювали за допомогою Microsoft Excel 2010 за рівня значущості  $p > 0,95$ .

### Результати досліджень

Досліджено комплекс морфо-біологічних ознак ліній суперсолодкої кукурудзи за тривалістю вегетаційного періоду; висотою рослин; кількістю листків на рослині; довжиною качана і його формою; діаметром качана; кількістю рядів зерен у качані; кількістю зерен в одному ряді; насінневою продуктивністю; ступенем зморшкуватості насіння [6, 7, 25, 29] (табл. 1). Істотні відмінності між дослідженими лініями спостерігали за такими ознаками, як тривалість вегетаційного періоду, кількість насінин в одному ряді й кількість рядів зерен у качані.

Тривалість вегетаційного періоду значною мірою залежить від зовнішніх чинників і тому отримання достовірних оцінок селекційного матеріалу є досить складним. Ознаку зразків «тривалість вегетаційного періоду» вивчали методом підрахунку кількості діб від появи сходів до їхньої воскової стиглості й за кількістю листків на рослині. На основі вивчення вказаних ознак зразки розподілено на три групи: ранні – 8 (70–75 діб); середні – 6 (76–81 діб); пізні – 8 (82–90 діб) [26].

Висота рослин і висота прикріплення качанів характеризує придатність зразків до механізованого збирання. Для цукрової кукурудзи висота прикріплення качанів відіграє важливе значення, для подальшого перероблення її заготовляють у стадії молочно-вискової стиглості. Для збереження товарних якостей її збирають уручну, тому достатньо високе розміщення качанів дає змогу збирати качани з меншими зусиллями.

Морфологічний опис досліджених ліній кукурудзи (2016–2018 рр.)

Назва лінії	Висота рослин, см	Кількість листків на рослині, шт.	Довжина качана, см	Діаметр качанів, см	Кількість рядів зерен у качані, шт.	Кількість насінин у ряді, шт.	Насіннева продуктивність, шт.	Ступінь зморшкватості насіння
SH-226	132±6,6	12	10,96±3,9	3,45±1,2	12,50±4,4	21,50±7,60	252	ср
SH-318	125±6,3	9–12	14,45±7,2	3,20±1,6	12,50±6,3	18,50±9,25	216	ср
SH-936	154±7,7	10	12,64±4,2	3,31±1,1	13,11±4,4	25,00±8,33	350	ср
SH-234	184±9,2	11	13,26±4,0	3,51±1,1	13,64±4,1	26,00±7,84	364	сл
SH-521	148±7,4	10	12,23±3,87	3,40±1,1	13,40±4,2	21,30±6,74	294	ср
SH-839	142±7,1	11	10,03±3,3	3,78±1,2	16,44±5,4	19,00±6,33	312	ср
SH-113	131±6,5	10	12,00±3,79	3,42±1,1	13,60±4,3	23,50±7,43	322	ср
SH-274	128±6,4	11	13,32±5,96	3,00±1,3	12,80±5,7	21,00±9,39	252	сл
SH-794	134±6,7	9–10	12,58±6,29	4,00±1,0	13,50±6,7	23,25±11,6	322	с
SH-475	153±7,6	11	13,09±4,63	3,00±1,1	12,75±4,5	26,38±9,32	312	ср
SH-621	147±7,3	10	13,47±5,50	3,58±1,5	13,00±5,3	28,67±11,7	392	ср
SH-832	186±9,3	10	12,74±4,8	3,27±1,2	14,86±5,6	22,29±8,42	331	ср
SH-851	136±6,8	11	11,26±3,9	3,06±1,0	13,50±4,7	18,75±6,63	252	ср
SH-861	120±6,0	10	11,16±4,2	3,53±1,3	16,29±6,1	19,71±7,45	320	ср
SH-868	204±10,2	12	12,52±3,6	3,58±1,0	14,67±4,2	21,92±6,33	308	с
SH-890	147±7,3	9	12,05±4,2	3,83±1,3	15,75±5,5	27,38±9,68	432	с
SH-898	128±6,4	8	10,03±5,0	2,90±1,4	11,00±5,5	18,75±9,38	228	ср
SH-689	132±6,6	10	14,47±5,91	3,18±1,30	12,0±4,90	35,0±14,29	420	сл
SH-733	192±9,6	10	12,37±7,1	3,87±2,2	13,33±7,7	29,0±16,74	386	с
SH-736	188±9,4	10	13,16±4,6	3,48±1,2	12,50±4,4	26,63±9,4	333	ср
SH-744	190±9,5	9	12,09±4,0	3,62±1,2	13,78±4,5	24,78±8,2	341	с
SH-754	186±9,3	11	11,15±5,5	3,65±1,8	13,50±6,7	21,75±10,8	293	ср

**Примітка.** Ступінь зморшкватості насіння: сл – слабкий; ср – середній; с – сильний.

Установлено, що висота рослин ліній цукрової кукурудзи варіювала в межах від 125±6,3 до 204±10,2 см (табл. 1).

Характерною особливістю цукрової кукурудзи є низьке прикріплення першого качана, який зазвичай формується на висоті до 30 см від поверхні ґрунту [26, 27]. Прикріплення господарсько-цінного качана в наших дослідженнях відмічено на висоті від 30 до 50 см.

Кількість листків ліній цукрової кукурудзи залежала від особливостей груп стиглості й варіювала в межах 8–12 листків (табл. 1).

Довжина качана досліджених ліній становила від 10,03±5,0 до 14,47±5,91 см (табл. 1). Шість ліній (SH-898, SH-839, SH-226, SH-754, SH-861 і SH-851) мали найменшу довжину качана (10,03±5,0–11,26±3,9 см). У більшості (14) досліджених ліній ця ознака варіювала в межах від 12,00±3,79 до 13,47±5,50 см і у двох (SH-318, SH-689) – була найбільшою (14,45±7,2 і 14,47±5,91 см відповідно).

Форма й діаметр качана є важливими ознаками цукрової кукурудзи. Зокрема, ліпшими є циліндрична форма качана, більший діаметр, а також довше насіння. Під час перероблення на консервну продукцію качани циліндричної форми з довгим зерном (1,0–1,2 см) і діаметром понад 4,5 см відзначаються меншими втратами сировини й

більшим виходом готової продукції [30]. Діаметр качана досліджених ліній варіював незначною мірою і досягав 2,9±1,4–4,0±1,0 см (табл. 1).

Істотні відмінності між лініями спостерігали за кількістю насінин в одному ряді й кількістю рядів зерен. Зокрема, кількість насінин у ряді варіювала від 18,50±9,25 до 35,0±14,29 (табл. 1). У п'яти ліній (SH-318, SH-851, SH-898, SH-839 і SH-861) вона була найменшою, у SH-689 – найбільшою, і для більшості вивчених ліній змінювалася від 21,00±9,39 до 29±16,74 шт. Кількість рядів зерен варіювала від 11,00±5,5 у лінії SH-898 до 15,75±5,5; 16,29±6,1 і 16,44±5,4 у ліній SH-890, SH-861 і SH-839 відповідно (табл. 1).

Ознака «насіннева продуктивність» є однією з основних, оскільки забезпечує індивідуальну зернову продуктивність рослин. Вона формується на основі двох показників – кількості рядів зерен і кількості зерен з одного ряду (табл. 1). За цією ознакою вісім ліній мали середній показник кількості зерна з качана (351–450 шт.), 12 ліній – низький (260–350 шт.) і дві лінії – SH-234 і SH-113 – високий (451–580 шт.).

Більшість вивчених ліній (14) характеризувалися середнім ступенем зморшкватості насіння, три – слабким і п'ять мали сильний ступінь зморшкватості (табл. 1).

За наведеними вище морфо-біологічними ознаками лінії розділено на батьківські й материнські компоненти. Серед досліджених ліній суперсолодкої кукурудзи виділено зразки-джерела господарсько-цінних ознак, які можуть бути використані для практичної селекції. Як материнські компоненти за ознаками продуктивності качана і кількістю рядів зерен виділено лінії SH-318, SH-234, SH-521, SH-839, SH-477, SH-475, SH-621, SH-689, SH-733, SH-851, SH-861 і SH-898; як батьківські компоненти за ознакою розміру й розгалуженості волоті – лінії SH-226, SH-936, SH-113, SH-274, SH-736, SH-754, SH-832, SH-868 і SH-890; лінія SH-744 була джерелом материнських і батьківських компонентів.

На основі групування батьківських і материнських компонентів за їхніми морфо-біо-

логічними ознаками ми провели схрещування й оцінили гібриди для визначення ліпших гібридних комбінацій за такими ознаками, як висота рослин, висота прикріплення качана, кількість листків на рослині, кількість пасинків; наявність прилистків і їхня довжина; форма качана; довжина качана; діаметр качана; кількість рядів зерен у качані; кількість зерен у ряді; довжина насінини; колір насіння; насіннева продуктивність качана (табл. 2, 3).

Серед 50 гібридних комбінацій нами було виділено 16, які характеризувалися ліпшими показниками господарських ознак, а також перевищували контрольні гібриди. За контроль брали комерційні гібриди, представлені на ринку України, – ‘Добриня F1’, ‘Уокер F1’, ‘Світ Парадайз F1’, ‘Excellent F1’ (табл. 2, 3).

Таблиця 2

Морфологічний опис гібридів суперсолодкої кукурудзи (2016–2018 рр.)

№ з/п	Гібридна комбінація	Висота рослин, см	Висота прикріплення качана, см	Кількість листків на рослині, шт.	Кількість пасинків, шт.	Наявність прилистків і їхня довжина
1	SH-318 × SH-936	155	40	8	1	короткі
2	SH-318 × SH-113	157	38	9	відсутні	короткі
3	SH-318 × SH-226	163	45	10	2	довгі
4	SH-318 × SH-839	162	40	10	2	довгі
5	SH-234 × SH-936	185	46	10	відсутні	короткі
6	SH-234 × SH-839	175	48	9	2	короткі
7	SH-839 × SH-113	156	25	8	1	короткі
8	SH-477 × SH-226	163	40	10	1 або 2	короткі
9	SH-477 × SH-936	168	30	9	2	довгі
10	SH-477 × SH-521	192	41	11	2	довгі
11	SH-475 × SH-113	186	36	12	2 і більше	довгі
12	SH-475 × SH-936	170	29	10	1	довгі
13	SH-621 × SH-226	190	40	11	2 або 3	короткі
14	SH-621 × SH-936	168	30	8	2 і >	короткі
15	SH-621 × SH-234	210	36	11	1 або 2	короткі
16	SH-621 × SH-521	186	30	10	2	довгі
17	‘Добриня F1’	198	30	11	1	відсутні
18	‘Уокер F1’	196	42	12	1	відсутні
19	‘Світ Парадайз F1’	210	39	11	1	короткі
20	‘Excellent F1’	182	42	10	1–2	короткі

Висота отриманих гібридів варіювала в межах від 155 до 210 см. За ознакою «висота рослин» гібриди № 15, 10, 13 були відмічені як кращі (табл. 2), що відповідає контрольним гібридам. Висота прикріплення нижнього качана варіювала від 25 до 48 см. Кращими гібридами за цією ознакою були № 6, 5, 3 (табл. 2), нижній качан яких прикріплювався вище, ніж у контрольних гібридів. За ознаками наявності пасинків і величини прилистків відзначено номери № 2, 5, 1 і 7.

Довжина качана отриманих гібридів становила 15–21 см, за цією ознакою кращими були гібридні комбінації № 10, 4, 6 (табл. 3).

Діаметр та форма качанів визначає напрям використання гібрида, тому було визначено ці показники для наших експериментальних гібридів (табл. 3).

Отримано дев'ять гібридів із качанами конусної форми, три гібриди – циліндричної і чотири – конусно-циліндричної. Для консервування використовують качани циліндричної форми, конусні й конусно-циліндричні – для свіжого вживання та заморожування. Циліндричну форму мали гібриди № 4, 5 і 8.

На насінневу продуктивність одного качана безпосередній вплив мають такі ознаки, як кількість рядів зерен і кількість зерен у

Гібридні комбінації за показниками насінневої продуктивності суперсолодкої кукурудзи

№ з/п	Гібридна комбінація	Форма качана	Довжина качана, см	Діаметр качана, см	Кількість рядів зерен у качані, шт.	Кількість зерен у ряді, шт.	Довжина насінини, см	Колір насіння	Насіннева продуктивність качана, шт.
1	SH-318 × SH-936	к-ц	18	5,5	12	35	1	сж	420
2	SH-318 × SH-113	к	18	5	16	32	0,5	ж	512
3	SH-318 × SH-226	к	19	3,7	14	37	0,8	сж	518
4	SH-318 × SH-839	ц	20	4	14	38	0,5	сж	532
5	SH-234 × SH-936	ц	19	5	14	38	0,8	ж	532
6	SH-234 × SH-839	к-ц	20	4,3	16	40	0,5	ж	640
7	SH-839 × SH-113	к	16,5	4	14	29	1	б-ж	406
8	SH-477 × SH-226	ц	15,5	4	14	32	0,8	сж	448
9	SH-477 × SH-936	к-ц	17,5	4,9	12	35	1	б	420
10	SH-477 × SH-521	к	21	5	16	36	0,7	сж	576
11	SH-475 × SH-113	к	19	4	12	36	0,8	ж	432
12	SH-475 × SH-936	к	17,5	5	12	39	1	ж	468
13	SH-621 × SH-226	к	17	5	12	38	0,8	ж	456
14	SH-621 × SH-936	к	17	5,8	14	35	0,8	ж	490
15	SH-621 × SH-234	к	17,5	5	16	38	0,5	ж	608
16	SH-621 × SH-521	к-ц	15	5,3	16	35	0,9	ж	560
17	‘Добриня F1’	к-ц	15	4,7	14	40	1,2	ж	560
18	‘Уокер F1’	к-ц	22,5	4,8	16	42	1	ж	672
19	‘Світ Парадайз F1’	к	15	5	18	40	1,1	ж	720

**Примітка.** Форма качана: к – конусна, ц – циліндрична, кц – конусно-циліндрична; колір насіння: ж – жовтий, сж – світло жовтий, б-ж – біло-жовтий, б – білий.

ряді. Найпродуктивнішими за кількістю зерен були гібриди № 6, 15, 16 (табл. 3).

За комплексом проаналізованих вище господарсько-цінних ознак ми виокремили гібриди № 5, 6, 10, 15 і 16. За результатами проведених досліджень визначено кращі батьківські лінії SH-234, SH-936, SH-839, SH-477, SH-621.

У результаті аналізу основних морфо-біологічних ознак у гібридних комбінаціях суперсолодкої кукурудзи з мутантним геном  $sh_2$  виділено джерела селекційно-цінних ознак. За тривалістю вегетаційного періоду всі лінії було розділено на три групи: ранні (70–75 діб) – SH-234, SH-475, SH-621, SH-689, SH-744, SH-890, SH-898, SH-936; середні (76–81 діб) – SH-113, SH-274, SH-477, SH-733, SH-736, SH-832; пізні (82–90 діб) – SH-226, SH-318, SH-754, SH-794, SH-839, SH-851, SH-861, SH-868.

За насінневою продуктивністю качана кращими були лінії SH-621, SH-234 і SH-936. Перспективними донорами за ознакою «висота рослин», що має важливе значення під час збирання врожаю цукрової кукурудзи, були лінії SH-234 і SH-936. За ознакою «кількість рядів зерен» були відзначені лінії SH-234 і SH-113, а за «кількість зерен у ряду» – SH-621, яка характеризувалась утворенням у ряду більше як 28 насінин. За довжиною качана відзначено лінії SH-318 (14,45 см) і SH-936 (13,26 см). Сильно зморшкувате насіння мала лише лінія SH-477. У результаті за комплексом досліджених ознак кращими

були лінії SH-936 і SH-621. На основі аналізу цих даних виділено три кращих гібриди, опис яких наведено нижче. Зазначені гібриди (рис. 1–3) передано для державної реєстрації до Українського інституту експертизи сортів рослин.

Цукровий тип зерна використовують для гібридів, отриманих на основі  $su_1$ -мутації, у наших дослідженнях використано гібриди на основі  $sh_2$ -мутації, що є суперсолодкими.

Гібрид ‘**Матір Драконів F<sub>1</sub>**’ характеризується суперсолодким типом зерна за мутантним геном  $sh_2$ . Ультраранній – 65–68 діб. За висотою рослини досягають приблизно двох метрів, качани формуються на висоті 70–75 см. Качани циліндричної форми, завдовжки 21–23 см і діаметром 5,0–5,2 см (рис. 1). На качані формується 16–18 рядів зерен, в одному ряді до 42 насінин; насіння довжиною 1,0–1,1 см яскраво жовтого кольору. Уміст водорозчинних цукрів у насінні становить приблизно 22%.

Суперсолодкий гібрид ‘**Юрмала F<sub>1</sub>**’ створено на основі мутантного гена  $sh_2$ . Ранньостиглий, вегетаційний період становить 71–73 доби. Висота рослин досягає 200–205 см, висота прикріплення нижнього качана – 30 см від поверхні ґрунту. Качан циліндричної форми, завдовжки 22 см і більше, діаметром – 5,4–5,6 см, формує 16 рядів зерен, в одному ряду до 45 насінин (рис. 2). Насіння досить довге – 1,3 см, яскраво жовтого кольору. Уміст цукрів досягає 23%. Гібрид можна ре-



Рис. 1. Фенотипові ознаки качана гібрида 'Матір Драконів F<sub>1</sub>'Рис. 2. Фенотипові ознаки качана гібрида 'Юрмала F<sub>1</sub>'

комендувати для споживання у свіжому, замороженому й консервованому вигляді [30].

Суперсолодкий гібрид 'Ларус F<sub>1</sub>' створено на основі мутантного гена *sh<sub>2</sub>*. Середньоранній, вегетаційний період триває 75–78 діб. Висота рослин становить 200 см, висота прикріплення нижнього качана – 49 см. Качан циліндричної форми завдовжки приблизно 20 см, діаметр качана – 5,5 см, із 16 рядами зерен і близько 40 зернами у ряду (рис. 3). Насіння досягає 1,1 см, жовтого кольору. Уміст цукрів становить 24%.

Рис. 3. Фенотипові ознаки качана гібрида 'Ларус F<sub>1</sub>'

## Висновки

Проведено дослідження морфо-біологічних ознак суперсолодкої кукурудзи. Істотні відмінності між дослідженими лініями спостерігали за тривалістю вегетаційного періоду, кількістю насінин в одному ряді й кількістю рядів зерен у качані. За морфо-біологічними ознаками лінії розділено на батьківські й материнські компоненти, виділено зразки джерела господарсько-цінних ознак, які можуть бути використані для практичної селекції. Проведено схрещування й отримано 50 гібридних комбінацій, серед яких виділено 16, які характеризувалися кращими показниками господарських ознак і перевищували стандарти.

У результаті аналізу основних морфо-біологічних ознак у гібридних комбінаціях суперсолодкої кукурудзи з мутантним геном *sh<sub>2</sub>* виділено джерела селекційно-цінних ознак. За тривалістю вегетаційного періоду всі лінії було розділено на три групи: ранні (70–75 діб) – 8 ліній, середні (76–81 діб) – 6 і пізні (82–90 діб) – 8 ліній. Установлено, що донорами насінневої продуктивності качана були лінії SH-621, SH-234 і SH-936, високорослості рослин – SH-234 і SH-936, кількості рядів зерен – SH-234 і SH-113, довжини качана – SH-318 і SH-936, зморшкуватості на-

сіння – SH-477. За результатами досліджень морфо-біологічних ознак виділено кращі лінії. Їх було скomboновано з іншими лініями суперсолодкої кукурудзи й отримано низку гібридів. Три кращих з них – ‘Матір Драконів F<sub>1</sub>’, ‘Юрмала F<sub>1</sub>’ і ‘Ларус F<sub>1</sub>’ – передано на державну реєстрацію.

### Використана література

- Cone K. C., Coe E. H. Genetic Mapping and Maps. *Maize Handbook: Vol. II: Genetics and Genomics* / J. I. Bennetzen, S. Hake (Ed.). New York, NY : Springer, 2009. P. 507–522. doi: 10.1007/978-0-387-77863-1\_25
- Tracy W. F. History, Genetics, and Breeding of Supersweet (*shrunken2*) Sweet Corn. *Plant Breeding Reviews* / J. Janick (Ed.). New York : John Wiley & Sons Inc., 1997. Vol. 14. P. 189–236. doi: 10.1002/9780470650073.ch7
- Lertrat K., Pulam T. Breeding for increased sweetness in sweet corn. *Int. J. Plant Breed.* 2007. Vol. 1, Iss. 1. P. 27–30.
- Pajić Z. Breeding of maize types with specific traits at the maize research institute, Zemun Polje. *Genetika*. 2007. Vol. 39, Iss. 2. P. 167–180. doi: 10.2298/GENSR0702169P
- Teixeira F. F., Dias Paes M. C., Gomes e Gama E. E. et al. BRS Vivi: single-cross super sweet corn hybrid. *Crop Breed. Appl. Biotechnol.* 2014. Vol. 14, Iss. 2. P. 124–127. doi: 10.1590/1984-70332014v14n2c21
- Мовчан Т. Д., Тимчук С. М., Тимчук В. М. Генетичний аналіз продуктивності та елементів її структури в системі діалельних схрещувань ліній цукрової кукурудзи на основі мутації *sh<sub>2</sub>*. *Наук. доповіді НУБіП України*. 2009. Т. 1. <http://nd.nubip.edu.ua/2009-1/09mtdbom.pdf>
- Харченко Ю. В., Харченко Л. Я., Клімова О. Є. Біологічна і господарська оцінка нових зразків цукрової кукурудзи на Устимівській дослідній станції рослинництва. *Вісник ПДАА*. 2016. № 1–2. С. 25–29. doi: 10.31210/visnyk2016.1-2.05
- Hannah L. C., Giroux M., Boyer C. Biotechnological modification of carbohydrates for sweet corn and maize improvement. *Sci. Hortic.* 1993. Vol. 55, Iss. 1–2. P. 177–197. doi: 10.1016/0304-4238(93)90031-K
- Sheldon E., Ferl R. J., Federoff N., Hannah L. C. Isolation and analysis of a genomic clone encoding sucrose synthetase in maize: Evidence for two introns in *Sh*. *Mol. Gen. Genet.* 1983. Vol. 190. P. 421–426. doi: 10.1007/BF00331071
- Shure M., Wessler S., Federoff N. Molecular identification and isolation of the Waxy locus in maize. *Cell*. 1983. Vol. 35, Iss. 1. P. 225–233. doi: 10.1016/0092-8674(83)90225-8
- Bae J. M., Giroux M., Hannah L. C. Cloning and characterization of the *Brittle-2* gene of maize. *Maydica*. 1990. Vol. 35, Iss. 4. P. 317–322.
- Bhave M. R., Lawrence S., Barton C., Hannah L. C. Identification and molecular characterization of *shrunken-2* cDNA clones of maize. *Plant Cell*. 1990. Vol. 2, Iss. 6. P. 581–588. doi: 10.1105/tpc.2.6.581
- Shaw J. R., Hannah L. C. Genomic nucleotide sequence of a wild type *shrunken-2* allele of *Zea mays*. *Plant Physiol.* 1992. Vol. 98, Iss. 3. P. 1214–1216. doi: 10.1104/pp.98.3.1214
- Sullivan T. D., Strelow L. I., Illingworth C. A. et al. Analysis of maize *brittle-1* alleles and a defective Suppressor-mutator-induced mutable allele. *Plant Cell*. 1991. Vol. 3, Iss. 12. P. 1337–1348. doi: 10.1105/tpc.3.12.1337
- James M. G., Robertson D. S., Myers A. M. Characterization of the maize gene *sugary1*, a determinant of starch composition in kernels. *Plant Cell*. 1995. Vol. 7, Iss. 4. P. 417–429. doi: 10.1105/tpc.7.4.417
- McCarty D. R., Shaw J. R., Hannah L. C. The cloning, genetic mapping and expression of the constitutive sucrose synthase locus in maize. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 1986. Vol. 83, Iss. 23. P. 9099–9103. doi: 10.1073/pnas.83.23.9099
- Boyer C. D., Shannon J. C. The use of endosperm genes for sweet corn improvement. *Plant Breeding Reviews* / J. Janick (Ed.). New York : The AVI Publishing Company, 1984. Vol. 1. P. 139–161. doi: 10.1002/9781118060988.ch5
- Tracy W. F. Sweet corn. *Specialty corns* / A. R. Hallauer (Ed.). 2<sup>nd</sup> ed. Boca Raton : CRC Press, 2001. P. 162–204.
- Treat C. L., Tracy W. F. Endosperm type on biomass production and on stalk and root quality in sweet corn. *Crop Sci.* 1994. Vol. 34, Iss. 2. P. 396–399. doi: 10.2135/cropsci1994.0011183X003400020017x
- Gonzales J. W., Rhodes A. W., Dickinson D. B. Carbohydrate and enzymic characterization of a high sucrose sugary inbred line of sweet corn. *Plant Physiol.* 1976. Vol. 58, Iss. 1. P. 28–32. doi: 10.1104/pp.58.1.28
- Brewbaker J. L. Six Tropical Supersweet Corn Inbreds. *HortSci.* 2010. Vol. 45, Iss. 9. P. 1388–1391. doi: 10.21273/HORTSCI.45.9.1388
- Brewbaker J. L., Martin I. Breeding Tropical Vegetable Corns. *Plant Breeding Reviews* / J. Janick (Ed.). New York : Wiley-Blackwell, 2015. Vol. 39. P. 125–198. doi: 10.1002/9781119107743.ch4
- Hake S., Ross-Ibarra J. Genetic, evolutionary and plant breeding insights from the domestication of maize. *eLife*. 2015. Vol. 4. e05861. doi: 10.7554/eLife.05861
- Fenzi M., Jarvis D. I., Aias Reyes L. M. et al. Longitudinal analysis of maize diversity in Yucatan, Mexico: influence of agro-ecological factors on landraces conservation and modern variety introduction. *Plant Genet. Resour.* 2017. Vol. 15, Iss. 1. P. 51–63. doi: 10.1017/S1479262115000374
- Тимчук С. М., Дербізова О. Ю., Потапенко Г. С. Вуглеводний склад насіння мутантів цукрової кукурудзи. *Селекція і насінництво*. 2001. Вип. 85. С. 91–97.
- Гур'єва Н. А., Козубенко Л. В., Рябчун В. К. та ін. Класифікатор – довідник виду *Zea mays* L. Харків, 1994. 72 с.
- Гур'єва І. А., Рябчун В. К., Літун П. П. Методичні рекомендації для польового та лабораторного вивчення генетичних ресурсів кукурудзи. 2-ге вид., доп. Харків, 2003. 43 с.
- Методы биохимического исследования растений / под ред. А. И. Ермакова. Ленинград : Агропромиздат, 1987. 430 с.
- Клімова О.Є. Рекомбінантні лінії цукрової кукурудзи – нові джерела селекційно-цінних ознак. *Генетичні ресурси рослин*. 2013. № 12. С. 63–72.
- Кукурудза цукрова консервована. Технічні умови : ДСТУ 7164:2010. [Чинний від 01.01.2012]. Київ : Держспоживстандарт України, 2010. 16 с.

### References

- Cone, K. C., & Coe E. H. (2009). Genetic Mapping and Maps. In J. L. Bennetzen, & S. Hake (Eds.), *Handbook of Maize. Vol. II: Genetics and Genomics* (pp. 507–522). New York, NY: Springer. doi: 10.1007/978-0-387-77863-1\_25
- Tracy, W. F. (1997). History, Genetics, and Breeding of Supersweet (*shrunken2*) Sweet Corn. In J. Janick (Ed.), *Plant Breeding Reviews* (Vol. 14, pp. 189–236). New York: John Wiley & Sons Inc. doi: 10.1002/9780470650073.ch7
- Lertrat, K., & Pulam, T. (2007). Breeding for increased sweetness in sweet corn. *Int. J. Plant Breed.*, 1(1), 27–30.
- Pajić, Z. (2007). Breeding of maize types with specific traits at the maize research institute, Zemun Polje. *Genetika*, 39(2), 167–180. doi: 10.2298/GENSR0702169P
- Teixeira, F. F., Dias Paes, M. C., Gomes e Gama, E. E., Pereira Filho, I. A., de Miranda, R. A., de Oliveira Guimarras, P. E., ... Assis Machado de, J. R. (2014). BRS Vivi: single-cross super sweet corn hybrid. *Crop Breed. Appl. Biotechnol.*, 14(2), 124–127. doi: 10.1590/1984-70332014v14n2c21
- Movchan, T. D., Tymchuk, S. M., & Tymchuk, V. M. (2009). Genetic analysis of productivity and elements of its structure in the diallel crossing system of sweet corn lines based on *sh<sub>2</sub>* mutation. *Naukovi dopovidi NUBiP Ukraini* [Scientific reports

- NULES of Ukraine], 1. Retrieved from <http://nd.nubip.edu.ua/2009-1/09mtdbom.pdf>. [in Ukrainian]
7. Kharchenko, Yu. V., Kharchenko, L.Ya., & Klimova, O.E. (2016). Biological and economic assessment of new samples of sweet corn at the Ustymivka plant research station. *Visnik PDAA [News of Poltava State Agrarian Academy]*, 1–2, 25–29. doi: 10.31210/visnyk2016.1-2.05 [in Ukrainian]
  8. Hannah, L. C., Giroux, M., & Boyer C. (1993). Biotechnological modification of carbohydrates for sweet corn and maize improvement. *Sci. Hortic.*, 55(1–2), 177–197. doi: 10.1016/0304-4238(93)90031-K
  9. Sheldon, E., Ferl, R. J., Federoff, N., & Hannah, L. C. (1983). Isolation and analysis of a genomic clone encoding sucrose synthetase in maize: Evidence for two introns in *Sh. Mol. Gen. Genet.*, 190, 421–426. doi: 10.1007/BF00331071
  10. Shure, M., Wessler, S., & Federoff, N. (1983). Molecular identification and isolation of the *Waxy* locus in maize. *Cell*, 35(1), 225–233. doi: 10.1016/0092-8674(83)90225-8
  11. Bae, J. M., Giroux, M., & Hannah, L. C. (1990). Cloning and characterization of the *Brittle-2* gene of maize. *Maydica*, 35(4), 317–322.
  12. Bhave, M. R., Lawrence, S., Barton, C., & Hannah, L. C. (1990). Identification and molecular characterization of *shrunk-2* cDNA clones of maize. *Plant Cell*, 2(6), 581–588. doi: 10.1105/tpc.2.6.581
  13. Shaw, J. R., & Hannah, L. C. (1992). Genomic nucleotide sequence of a wild type *shrunk-2* allele of *Zea mays*. *Plant Physiol.*, 98(3), 1214–1216. doi: 10.1104/pp.98.3.1214.
  14. Sullivan, T. D., Strelow, L. I., Illingworth, C. A., Phillips, R. L., & Nelson, O. E. (1991). Analysis of maize brittle-1 alleles and a defective Suppressor-mutator-induced mutable allele. *Plant Cell*, 3(12), 1337–1348. doi: 10.1105/tpc.3.12.1337
  15. James, M. G., Robertson, D. S., & Myers, A. M. (1995). Characterization of the maize gene *sugary1*, a determinant of starch composition in kernels. *Plant Cell*, 7(4), 417–429. doi: 10.1105/tpc.7.4.417
  16. McCarty, D. R., Shaw, J. R., & Hannah, L. C. (1986). The cloning, genetic mapping and expression of the constitutive sucrose synthase locus in maize. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 83(23), 9099–9103. doi: 10.1073/pnas.83.23.9099
  17. Boyer, C. D., & Shannon, J. C. (1984). The use of endosperm genes for sweet corn improvement. In J. Janick (Ed.), *Plant Breeding Reviews* (Vol. 1, pp. 139–161). New York: The AVI Publishing Company. doi: 10.1002/9781118060988.ch5
  18. Tracy, W. F. (2001). Sweet corn. In A. R. Hallauer (Ed.), *Specialty corns*. Second edition. (pp. 162–204). (2<sup>nd</sup> ed.). Boca Raton: CRC Press.
  19. Treat, C. L., & Tracy, W. F. (1994). Endosperm type on biomass production and on stalk and root quality in sweet corn. *Crop Sci.*, 34(2), 396–399. doi: 10.2135/cropsci1994.0011183X003400020017x
  20. Gonzales, J. W., Rhodes, A. W., & Dickinson, D. B. (1976). Carbohydrate and enzymic characterization of a high sucrose sugary inbred line of sweet corn. *Plant Physiol.*, 58(1), 28–32. doi: 10.1104/pp.58.1.28
  21. Brewbaker, J. L. (2010). Six Tropical Supersweet Corn Inbreds. *HortSci.*, 45(9), 1388–1391. doi: 10.21273/HORTSCI.45.9.1388
  22. Brewbaker, J. L., & Martin, I. (2015). Breeding Tropical Vegetable Corns. In J. Janick (Ed.), *Plant Breeding Reviews* (Vol. 39, pp. 125–198). New York: Wiley-Blackwell. doi: 10.1002/9781119107743.ch4
  23. Hake, S., & Ross-Ibarra, J. (2015). Genetic, evolutionary and plant breeding insights from the domestication of maize. *eLife*, 4, e05861. doi: 10.7554/eLife.05861
  24. Fenzi, M., Jarvis, D. I., Aias Reyes, L. M., Latournerie Moreno, L., & Tuxill, J. (2017). Longitudinal analysis of maize diversity in Yucatan, Mexico: influence of agro-ecological factors on landraces conservation and modern variety introduction. *Plant Genet. Resour.*, 15(1), 51–63. doi: 10.1017/S1479262115000374
  25. Tymchuk, S. M., Deribizova, O. Yu., & Potapenko, H. S. (2001). Carbohydrate seed composition of sweet maize mutants. *Selekcija i nasinnictvo [Plant Breeding and Seed Production]*, 85, 91–97. [in Ukrainian]
  26. Hurieva, N. A., Kozubenko, L. V., Riabchun, V. K., Chupikov, M. M., & Hurieva, I. A. (1994). *Klasyfikator – dovidnyk vydu Zea mays L.* [Classifier – handbook of *Zea mays* L.]. Kharkiv: N.p. [in Ukrainian]
  27. Hurieva, N. A., Riabchun, V. K., & Kozubenko, L. V. (2003). *Metodychni rekomendatsii dlya poliovoho ta laboratornoho vyvchennya henetychnyh resursiv kukurudzy* [Methodical recommendations for field and laboratory study of genetic resources of corn]. (2<sup>nd</sup> ed., rev.). Kharkiv: N.p. [in Ukrainian]
  28. Ermakov, A. I. (Ed.) (1987). *Metody biohimicheskogo issledovaniya rasteniy* [Biochemical research methods of plants]. Leningrad: Agropromizdat. [in Russian]
  29. Klimova, O. E. (2013). Recombinant sweet corn lines are new sources of breeding and valuable signs. *Genetični resursi roslyn [Plant Genetic Resources]*, 12, 63–72. [in Ukrainian]
  30. *Kukurudza tsukrova konservovana. Tekhnichni umovy: DSTU 7164:2010* [Canned sweet corn. Specifications: State standard of Ukraine 7164:2010]. (2010). Kyiv: Derzhspozhyvtandart Ukrainy. [in Ukrainian]

UDC 633.152/ 575.224.2

**Kulish, O. Yu.\***, & **Parii, M. F.** (2020). Morpho-biological traits and productivity of lines and hybrids of super sweet corn obtained on the basis of *sh<sub>2</sub>* mutation. *Plant Varieties Studying and Protection*, 16(3), 310–318. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.16.3.2020.214922>

Limited Liability Company “Ukrainian Scientific Institute of Plant Breeding”, 30 Vasylkivska St., Kyiv, 03022, Ukraine, \*e-mail: [olyakulish@ukr.net](mailto:olyakulish@ukr.net)

**Purpose.** Super sweet corn contains a gene that, being expressed leads to an increase in the concentration of sugar. Endosperm genes that regulate the increase in sugar content and decrease in starch content were identified; the most effective of them were *shrunk2* (*sh<sub>2</sub>*), *brittle1* (*bt*), *sugary1* (*su<sub>1</sub>*) and *sugary enhancer1* (*se*). The recessive mutation of *shrunk2* (*sh<sub>2</sub>*) provides a high content of sugars in the grain of milk-wax ripeness compared to other mutant forms that directly affects the taste of *sh<sub>2</sub>*-hybrids causes widespread use of this mutation in breeding and has the greatest commercial potential. The main task of breeding is to create a new generation of high-yielding hybrids; it depends on the availability of high-quality source breeding

material. Therefore, the aim of our work was the assessment of morpho-biological traits of the super sweet corn lines, selection of the best donor lines of genetic traits, creating of high-yielding corn hybrids. **Methods.** Morpho-biological traits of the studied lines were evaluated according to the Classifier – handbook of *Zea mays* L. Comprehensive analysis of samples on economically valuable traits was carried out in accordance with the Methodical recommendations for field and laboratory study of genetic resources of corn. The content of reducing sugars in the grain of the studied corn lines and hybrids was determined by Bertrand method. **Results.** A study of morpho-biological traits of super sweet corn was carried out. Significant differences between the



studied lines were observed in the vegetation period duration, the number of grains in one row and the number of grain rows in the cob. The lines-sources of economically valuable features that can be used for practical selection were identified. Crossing was carried out and 50 hybrid combinations were obtained; among them 16 hybrids characterized by the best levels of economic characteristics were selected. **Conclusions.** As a result of the analysis of the main morpho-biological traits in hybrid combinations of super sweet corn with the mutant  $sh_2$  gene, the sources of selection-valuable traits were identified. According to the vegetation period, all lines were divided into three groups:

early – 8 lines, middle – 6 and late – 8 ones. It was determined that promising donors of cob productivity were SH-621, SH-234 and SH-936 lines; signs of plant height – SH-234 and SH-936, number of grain rows – SH-234 and SH-113, cob lengths – SH-318 and SH-936. According to the results of studies of morpho-biological traits, the best lines were identified. They were crossed with other lines of super sweet corn and hybrids were obtained. The three best of them, 'Matir Drakoniv  $F_1'$ , 'Yurmala  $F_1'$  and 'Larus  $F_1'$ , were submitted for state registration.

**Keywords:** *super sweet corn; mutant  $sh_2$  gene; vegetation period; morpho-biological traits; productivity.*

Надійшла / Received 11.08.2020  
Погоджено до друку / Accepted 17.09.2020