УДК 633.15:631.52 https://doi.org/10.31867/2523-4544/0181

МЕТОДИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ ЦУКРІВ В СЕЛЕКЦІЇ ЦУКРОВОЇ КУКУРУДЗИ

Т. М. Сатарова, К. В. Денисюк, О. Є. Клімова
Державна установа Інститут зернових культур НААН вул. Володимира Вернадського, 14, м. Дніпро, 49009, Україна

Актуальним завданням в селекції цукрової кукурудзи для оцінки селекційних зразків на всіх етапах селекційного процесу є контроль вмісту цукрів в зерні технічної стиглості. Досліджено методичні особливості визначення вмісту цукрів в зерні цукрової кукурудзи на прикладі лінії СЕ401 та гібрида F_2(СЕ401×Чорностеблова). Порівнювали вміст загального цукру, моно- і дицукрів в зерні на двадцять першу добу від контрольованого самозапилення у день взяття проб та після зберігання тих самих качанів за мінусової температури. Встановлено, що після витримування качанів із зерном технічної стиглості 4,5 місяця за температури -12 °С вміст загального цукру в зерні лінії СЕ401 та гібрида F_2(СЕ401×Чорностеблова) збільшився відповідно на 97,7 та 61,7 % і досяг 46,84 та 15,93 % від маси абсолютно сухої речовини (АСР). Відповідно збільшилися частки моно- і дицукрів – складників загального цукру, хоча це збільшення у гібрида F_2(СЕ401×Чорно-стеблова) було дуже нерівномірним за окремими качанами. Інтактні зерна у лінії СЕ401 містили у 2,55 раза більше моноцукрів і в 2,27 раза більше дицукрів, ніж у гібрида F_2(СЕ401×Чорностеблова). Після проморожування частка загального цукру від АСР в зерні лінії СЕ401 перевищувала аналогічний показник для гібрида F_2(СЕ401×Чорностеблова) у 2,94 раза, для моноцукрів – у 3,54 раза, а для дицукрів – у 2,54 раза. Таким чином, зберігання зерна цукрової кукурудзи технічної стиглості за мінусових температур призводить до збільшення вмісту загального цукру, а також моно- і дицукрів. Ступінь такого збільшення залежить від генотипу вихідного селекційного матеріалу. Рекомендовано під час селекції цукрової кукурудзи проводити визначення загального вмісту цукру і його фракцій в день відбору проб і відмовитися від поширеного в селекційній практиці зберігання зразків зерна до аналізу за мінусових температур.

Ключові слова: *Zea mays L., зерно технічної стиглості, загальний вміст цукрів, вміст моно- та дицукрів, методика визначення, зберігання зерна за мінусових температур.*

Цукрова кукурудза має відмінні смакові та поживні якості, що робить її цінним компонентом в харчуванні людини [5]. Цукровій кукурудзі із контрольованим вмістом інших речовин, окрім цукру, притаманні ще й лікувальні та профілактичні властивості для людей та тварин [13–16, 18, 20]. Взагалі цукрова кукурудза являє собою зручний об'єкт для вивчення метаболізму окремих речовин в зерні і самій рослині під час вирощування і зберігання [17, 19]. В Україні створено і зареєстровано цінні сорти і гібриди цукрової кукурудзи [2, 4, 5]. Розпочато роботу зі створення цукрової кукурудзи із підвищеним вмістом антоціанів і антоціановим забарвленням зерна [7–10]. Прогрес у цих напрямках досліджень суттєво залежить від можливості визначення вмісту інгредієнтів зерна цукрової кукурудзи.

Контроль вмісту цукрів в зерні є важливим заходом під час селекції нових генотипів цукрової кукурудзи. Проте зазвичай з настанням технічної стиглості зерна не завжди є можливість визначити цей показник безпосередньо в день відбору зразків через їхню велику кількість, складність швидкої доставки до аналітичної лабораторії, велику кількість невідкладних завдань в літній період. За таких обставин склалася практика фіксування зразків зерна в фазі технічної стиглості шляхом швидкого заморожування для зберігання із подальшим розморожуванням та визначенням вмісту цукрів в зерні вже в осінньо-зимовий період [5].

Інформація про авторів:
Сатарова Тетяна Миколаївна, *доктор біологічних наук, професор, завідувачка лаб. біотехнології,* e-mail: satarova2008@ukr.net, http://orcid.org/0000-0002-5571-1139
Денисюк Катерина Вікторівна, *кандидат біологічних наук, науковий співробітник лаб. біотехнології,* e-mail: kvderkach@gmail.com, https://orcid.org/0000-0003-1871-9585
Клімова О. Є., *кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, завідувачка лаб. селекції гібридів кукурудзи харчового напряму використання*, e-mail: klimbok17@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-6783-7347

Втім, нез'ясованою залишається відповідність загального вмісту цукру та співвідношення його фракцій у нативних зразках та зразках, що зберігалися в замороженому стані.

Мета дослідження – провести порівняльний аналіз вмісту моноцукрів, дицукрів та загального цукру в зерні селекційних зразків цукрової кукурудзи до і після заморожування.

Матеріали і методи. Матеріалом для дослідження слугували лінія цукрової кукурудзи СЕ401 і гібрид F_2(СЕ401 × Чорностеблова), які використовуються як вихідний селекційний матеріал в селекції цукрової кукурудзи із забарвленим зерном.

Вирощування рослин лінії і гібрида кукурудзи проводили в ґрунтово-кліматичних умовах степової зони України (Дніпропетровська область) у 2019 р. в селекційній сівозміні на ділянках площею 9,8 м^2. Відбір проб насіння для визначення вологості зерна та вмісту цукрів проводили на 21-у добу після самозапилення. В день відбору зразків з середньої частини качана відбирали необхідну кількість зерен для визначення вологості та вмісту цукрів. Решту середньої частини того самого качана закладали на зберігання в морозильну камеру побутового холодильника за температури -12 °С на термін 4,5 місяця (з кінця липня по середину грудня 2019 р.). Після закінчення терміну зберігання в морозильній камері качани розморожували за температури 17–18 °С впродовж 3 годин. Після розморожування з поверхні зерна фільтрувальним папером видаляли конденсовану вологу.

Вологість зразків зерна визначали шляхом висушування за температури 105 °С до постійної маси.

Вміст моноцукрів, дицукрів і загального цукру в зерні визначали за модифікованою методикою [6]. За повідомленнями деяких дослідників до фракції «дицукрів», визначених за методикою [6], крім розчинних дицукрів потрапляють і розчинні поліцукри (декстрини та ін.).

Для безпосереднього аналізу за [6] наважку зерна (5 г) розтирали у фарфоровій чашці за допомогою маточки і переносили в колбу на 100 мл, ополіскуючи чашку і маточку 40 мл теплої (40 °С) води. Колбу з перенесеною в неї наважкою витримували на водяній бані 1 годину за температури 65–70 °С. Потім її знімали з водяної бані і швидко приливали 20 мл 6 %-ного розчину $CuSO_4 \times 5H_20$ і 20 мл 1,25 %-ного розчину NaOH для осадження білків, далі загальний об'єм розчину доводили дистильованою водою до 100 мл і охолоджували до кімнатної температури. Вміст колби, не перемішуючи, відфільтровували. Одержаний після фільтрації розчин (маточний розчин А) використовували для аналізу.

Для визначення вмісту моноцукрів 10 мл маточного розчину А переносили в колбу на 100 мл, додавали 20 мл дистильованої води, по 5 мл реактивів Феллінга І і Феллінга ІІ і ставили для «спалювання» на розігріту електричну плитку на 2 хвилини. Речовина, що утворилася після «спалювання», мала блакитний колір. Якщо брали 20 мл маточного розчину А і 10 мл води, то після «спалювання» речовина, що утворилася, мала темно-зелений колір, що є неприпустимим за методикою визначення цукрів. Одержану після «спалювання» речовину 3 рази промивали гарячою водою за допомогою перистальтичного насосу. Для цього речовину, що утворилася після «спалювання», переносили на фільтр у воронку Бюхнера великої колби Бунзена, під'єднували і вмикали насос. Зверху на фільтр для промивки приливали приблизно по 50 мл гарячої води, промивні води виливали. На фільтрі воронки залишався осад. Воронку з осадом на фільтрі встановлювали на маленьку колбу Бунзена і заливали 10 мл спеціально виготовленого розчину залізо-амонійного галуну (квасців), промиваючи ним осад в колбі, в якій проводили «спалювання». Червоний осад в колбі мав повністю розчинитися. Для прискорення фільтрації вмикали насос. Після закінчення фільтрування одержаного розчину на фільтр ще 2 рази виливали по 50 мл гарячої дистильованої води. Розчин, одержаний в колбі Бунзена, титрували 1/30 н розчином $KMnO_4$.

Для визначення вмісту дицукрів 30 мл маточного розчину А переносили в мірні колби на 100 мл, додавали 10 мл води та 4 мл 20 %-ного розчину HCl і ставили на водяну баню на 1 годину за температури 75 °С (для інверсії цукрів). Після цього вий-

мали і охолоджували у прохолодній воді. Потім додавали до них по 2 мл насиченого розчину безводної соди для нейтралізації залишків HCl і доводили об'єм до 100 мл. Далі 20 мл одержаної рідини переносили в конічну колбу для «спалювання» і додавали 10 мл дистильованої води та по 5 мл реактивів Феллінга I і Феллінга II. «Спалювання» і подальший аналіз здійснювали так само, як і для визначення моноцукрів.

Приготування реактиву Феллінга I: 72 г $CuSO_4 \times 5H_2O$ розчиняли в 1000 мл дистильованої H_2O.

Приготування реактиву Фелінга II: 360 г сегнетової солі (K-Na виннокислий) розчиняли приблизно у 500 мл дистильованої води; 120 г NaOH розчиняли окремо приблизно у 300 мл дистильованої води; обережно змішували два розчини, доводили дистильованою водою до 1000 мл.

Приготування розчину залізо-амонійного галуну (квасців) ($[Fe\ NH_4(SO_4)_2 \times 12H_2O]$): 86 г квасців розчиняли за нагрівання приблизно у 500 мл дистильованої води. Переносили в колбу на 1000 мл, обережно додавали 109 мл H_2SO_4 (концентрованої) і після охолодження доводили водою до 1000 мл. Перед використанням квасці титрували за допомогою $KMnO_4$ до блідо-рожевого кольору.

Приготування 1/30 н розчину $KMnO_4$. Використовували фіксанал 0,1 н $KMnO_4$. Вміст фіксаналу розчиняли у 3000 мл дистильованої води кип'яченої, не менше 1 години. Розчин відстоювали 7–8 діб. Після цього встановлювали коефіцієнт поправки за 0,1 н розчином щавлевої кислоти: у 3–4 конічні колби об'ємом 100 мл наливали по 15 мл 0,1 н розчину щавлевої кислоти, по 2 мл H_2SO_4 (концентрованої) і титрували 1/30 н розчином $KMnO_4$ до блідо-рожевого кольору, який не зникає впродовж 2 хвилин.

Розрахунок коефіцієнта поправки до титру $KMnO_4$. Об'єм (мл) щавлевої кислоти, взятої для встановлення титру $KMnO_4$, множили на її нормальність і ділили на об'єм 1/30 н розчину $KMnO_4$, використаного на титрування. Наприклад, на титрування 15 мл 0,1 н щавлевої кислоти використано у триразовій повторності: 1) 44,5 мл, 2) 45,0 мл та 3) 44,7 мл 1/30 н розчину $KMnO_4$. Звідси, нормальність $KMnO_4$ дорівнює: 1) (15 мл ×0,1)/44,5 = 0,0337; 2) (15 мл ×0,1)/45,0 = 0,0333; 3) (15 мл ×0,1)/44,7 = 0,0336, а в середньому 0,0335. Отже, коефіцієнт поправки до титру $KMnO_4$ = 0,0335/0,0333 = 1,006. Коефіцієнт поправки до титру $KMnO_4$ встановлювали щоразу для свіжоприготовленого розчину $KMnO_4$.

Приготування 0,1 н розчину щавлевої кислоти. Вміст фіксаналу 0,1 н щавлевої кислоти розчиняли у 1000 мл дистильованої води.

Приготування 20 %-ного розчину HCl: 238 мл HCl (d = 1,190) обережно розчиняли в 800 мл дистильованої води.

Приготування 6 %-ного розчину $CuSO_4 \times 5H_2O$ (w/v): 60 г $CuSO_4 \times 5H_2O$ розчиняли у 1000 мл дистильованої води.

Приготування 1,25 %-ного розчину NaOH (w/v): 12,5 г NaOH розчиняли у 1000 мл дистильованої води.

Приготування насиченого розчину безводної соди. Готували насичений розчин Na_2CO_3.

Для розрахунку вмісту моноцукрів об'єм 1/30 н розчину $KMnO_4$, який було використано на титрування під час визначення вмісту моноцукрів (наприклад, 19,8 мл), помножували на коефіцієнт поправки до титру $KMnO_4$, наприклад, 1,027: 19,8 мл × 1,027 = 20,33 мл. За таблицею відповідності об'єму $KMnO_4$, використаного на титрування, кількості глюкози, наведеною в [6], визначали масу цукру (глюкози) (мг), що відповідає об'єму розчину, задіяного на титрування. В нашому прикладі об'єму розчину, що був використаний на титрування, 20,33 мл, відповідає маса цукру (глюкози) 21,89 мг.

За формулою (1) визначаємо масу зерна кукурудзи, яка відповідає 21,89 мг цукру (глюкози):

$$\frac{\text{Маса наважки (мг)} \times 10 \text{ мл } *}{100 \text{ мл } **} \quad (1), \text{ де}$$

* *об'єм розчину, взятий для спалювання/титрування,*

** *загальний об'єм розчину, в якому розчиняли наважку.*

Згідно з формулою (1) за маси наважки 5 г маємо:

$$\frac{5000 \text{ мг} \times 10 \text{ мл}}{100 \text{ мл}} = 500 \text{ мг зерна.}$$

Тобто 500 мг зерна відповідає масі цукру (глюкози) 21,89 мг.
За пропорцією вираховуємо вміст цукру (глюкози) в 100 мг зерна:

500 мг – 21,89 мг цукру (глюкози),

100 мг – $\mathcal{X}$ мг цукру (глюкози).

$\mathcal{X}$ = (100 мг × 21,89 мг) / 500 мг = 4,38 мг цукру (глюкози).
Тобто в 100 мг зерна міститься 4,38 мг цукру (глюкози), або 4,38 %.

Під час розрахунку вмісту дицукрів беремо до уваги, що за першого розведення об'єм маточного розчину А доводили до 100 мл, для інверсії відбирали 30 мл маточного розчину А, за другого розведення об'єм розчину доводили до 100 мл. Наприклад, на титрування використано 24,7 мл 1/30 н розчину $KMnO_4$, а коефіцієнт поправки $KMnO_4$ – 1,027.

Об'єм розчину**,** який використали на титрування дицукрів, множимо на коефіцієнт поправки до титру $KMnO_4$: 24,7 мл ×1,027 = 25,37 мл, що за таблицею, наведеною в [6], відповідає 27,84 мг цукру (глюкози).

За формулою (2) визначаємо масу зерна кукурудзи, яка відповідає 27,84 мг цукру (глюкози):

$$\frac{\text{Маса наважки (мг)} \times 30 \text{ мл} * \times 20 \text{ мл} **}{100 \text{ мл} *** \times 100 \text{ мл} ****} \quad (2),$$

*де * об'єм розчину, використаний для інверсії,*

*** об'єм розчину, використаний для «спалювання»/титрування,*

**** загальний об'єм, в якому розчиняли наважку.*

***** розведення після інверсії.*

Згідно з формулою (2) для маси наважки 5 г маємо:

$$\frac{5000 \text{ мг} \times 30 \text{ мл} \times 20 \text{ мл}}{100 \text{ мл} \times 100 \text{ мл}} = 300 \text{ мг зерна.}$$

Тобто 300 мг зерна відповідає масі цукру (глюкози) 27,84 мг.
За пропорцією визначаємо вміст цукру (глюкози) в 100 мг зерна:

300 мг – 27,84 мг цукру (глюкози),

100 мг – $\mathcal{X}$ мг цукру (глюкози).

$\mathcal{X}$ = (100 мг × 27,84 мг) / 300 мг = 9,28 мг цукру (глюкози).
Тобто в 100 мг зерна міститься 9,28 мг цукру (глюкози), або 9,28 %.

Вміст дицукрів дорівнював: 9,28 мг цукру (глюкози) – 4,38 мг цукру (глюкози) = 4,90 мг цукру, або 4,90 %.

Вміст загального цукру розраховували як суму маси дицукрів і моноцукрів, тобто 4,90 мг + 4,38 мг = 9,28 мг, або 9,28 % від маси зерна.

Результати представляли як частку того чи іншого виду цукру (%) від сирої маси зерна та від маси абсолютно сухої речовини зерна (АСР).

Вологість і вміст цукрів до і після витримування за температури -12 °С визначали для тих самих качанів відповідного генотипу. Для кожного качана в кожному варіанті досліду вологість визначали у триразовій аналітичній повторності, а вміст цукрів – у дворазовій аналітичній повторності.

Статистичний аналіз результатів проводили згідно з [21]. Результати в таблицях показані у вигляді: $\bar{x} \pm SE$, **де** $\bar{x}$ – середнє арифметичне, SE – стандартна похибка, розрахована як похибка середнього арифметичного, помножена на критерій *t* за рівня значущості 0,05.

Результати дослідження. На 21-у добу після самозапилення, до закладання в морозильну камеру, вологість зерна лінії СЕ401 коливалася між качанами в межах 68,9–73,6 % із розміром діапазону 4,7 % та середнім значенням 70,9 % (табл. 1). У качанів із генотипом зерна F_2(СЕ401 × Чорностеблова) його вологість на 21-у добу після самозапилення варіювала у межах від 59,8 до 69,5 % із діапазоном 9,7 % та середнім значенням 66,7 %. Необхідно відзначити, що в межах кожного з досліджених генотипів окремі качани достовірно різнилися між собою за вологістю зерна. За середніми значеннями вологості досліджені генотипи також достовірно різнилися між собою, меншою вологість зерна на 21-у добу після запилення була у гібрида F_2(СЕ401 × Чорностеблова).

Після витримування 21-добових качанів у морозильній камері впродовж 4,5 місяця за температури -12 °С та розморожування не було відмічено побуріння або зміни кольору зерен. Для лінії цукрової кукурудзи СЕ401 вологість зерна качана № 1 після проморожування достовірно збільшилася на 8,9 %. В той самий час у гібрида F_2(СЕ401 × Чорностеблова) вологість досліджених

качанів № 3 і № 4 достовірно знизилася відповідно на 10,3 і 7,0 %, а для качана № 5 – достовірно не змінилася. За середніми значеннями у гібрида F_2(СЕ401 × Чорностеблова) виявлено достовірне зниження вологості зерна після заморожування на 7,7 %.

Таблиця 1. ***Вологість зерна кукурудзи на 21-у добу після самозапилення до та після зберігання в морозильній камері***

Вологість зерна, %					
лінія СЕ401			гібрид F_2(СЕ401 × Чорностеблова)		
№ качана	до зберігання в морозильній камері	після зберігання в морозильній камері	№ качана	до зберігання в морозильній камері	після зберігання в морозильній камері
1	72,1 ± 2,0	81,0 ± 0,1	1	67,9 ± 1,3	–
2	73,6 ± 0,2	–	2	69,5 ± 1,2	–
3	69,1 ± 0,8	–	3	68,8 ± 0,7	58,5 ± 3,5
4	68,9 ± 0,9	–	4	64,7 ± 0,8	57,7 ± 3,2
Середнє	70,9 ± 1,3	–	5	59,8 ± 1,6	60,8 ± 1,6
			6	68,6 ± 1,3	–
			7	67,2 ± 0,8	–
			Середнє	66,7 ± 1,4	59,0 ± 2,0

Отже, за характером зміни вологості зерна після заморожування досліджені генотипи та окремі качани в межах одного генотипу достовірно різнилися. Серед качанів досліджених генотипів встановлено як збільшення, так і зменшення, а також відсутність зміни вологості.

Дослідження вмісту цукрів в 21-добовому зерні лінії СЕ401 і гібрида F_2(СЕ401 × Чорностеблова) за розрахунку їхньої частки у сирій масі (табл. 2) свідчить про те, що для інтактного зерна лінії СЕ401 загальний вміст цукру становив 6,61 %, а вміст моноцукрів та дицукрів у загальному цукрі був приблизно однаковим, по 50 %. Для інтактних качанів гібрида F_2(СЕ401 × Чорностеблова) частка загального цукру в сирій масі зерна коливалася від 3,26–3,79 % із середнім значенням 3,37 % і діапазоном варіювання між качанами 0,53 %.

Таблиця 2. ***Частка цукрів у сирій масі зерна кукурудзи на 21-у добу після самозапилення до та після зберігання в морозильній камері***

№ качана	Вміст цукрів, % від сирої маси					
	до зберігання в морозильній камері			після зберігання в морозильній камері		
	моноцукри	дицукри	загальний цукор	моноцукри	дицукри	загальний цукор
Лінія СЕ401						
1	3,33 ± 0,86	3,28 ± 0,33	6,61 ± 0,51	4,26 ± 0,03	4,64 ± 1,22	8,90 ± 1,32
Гібрид F_2 (СЕ401 × Чорностеблова)						
3	1,32 ± 0,43	1,94 ± 0,32	3,26 ± 0,09	2,90 ± 0,08	3,69 ± 0,81	6,59 ± 0,77
4	2,00 ± 0,17	1,79 ± 0,41	3,79 ± 0,26	2,00 ± 0,64	4,47 ± 0,79	6,47 ± 0,19
5	1,67 ± 0,59	1,69 ± 0,58	3,36 ± 0,02	2,85 ± 0,51	3,66 ± 0,65	6,51 ± 0,18
$\overline{x}$	1,66 ± 0,11	1,81 ± 0,30	3,47 ± 0,11	2,58 ± 0,57	3,95 ± 0,49	6,53 ± 0,07

На моноцукри у зерні гібрида F_2(СЕ401 × Чорностеблова) припадало відповідно від 40,5 до 52,8 % загального цукру, решту були дицукри. Після витримування качанів за температури -12 °С впродовж 4,5 місяця вміст загального цукру в зерні лінії СЕ401 зріс на 34,6 % і досяг 8,90 % від сирої маси зерна, а гібрида F_2(СЕ401 × Чорностеблова) – на 93,8 % і в середньому становив 6,53 %. Відповідно збільшилися частки

моно- і дицукрів у сирій масі, хоча це збільшення у гібрида F_2(СЕ401 × Чорностеблова) було не рівномірним за окремими качанами. Так, у цього генотипу внаслідок заморожування вміст моноцукрів збільшився від 0 до 2,20 раза, у середньому в 1,55 раза, а вміст дицукрів – від 1,90 до 2,50 раза, у середньому в 2,18 раза. Цікаво, що у одного з качанів (№ 4) збільшення загального цукру відбувалося виключно за рахунок дицукрів за незмінної частки моноцукрів. Порівняння двох досліджуваних генотипів показало, що як інтактне зерно, так і зерно після проморожування у лінії цукрової кукурудзи СЕ401 перевищує за вмістом загального цукру зерно другого покоління гібрида цукрової і зернової кукурудзи F_2(СЕ401 × Чорностеблова). Інтактні зерна лінії СЕ401 містили у 1,9 раза більше загального цукру, у 2 рази більше моноцукрів і в 1,8 раза більше дицукрів, ніж зерно гібрида F_2(СЕ401 ×Чорностеблова). Після проморожування зерно лінії СЕ401 як і раніше посідало перше місце за вмістом загального цукру і його фракцій, проте розрив між двома генотипами зменшився через більш активне за дії мінусових температур утворення моно- і дицукрів у зерні гібрида F_2(СЕ401 × Чорностеблова). Так, після проморожування частка загального цукру в сирій масі зерна лінії СЕ401 перевищувала аналогічний показник для гібрида F_2(СЕ401 х Чорностеблова) лише у 1,4 раза, для моноцукрів – у 1,7 раза, для дицукрів – у 1,2 раза.

Аналіз вмісту загального цукру, моно та дицукрів за тією самою схемою досліду, але в перерахунку на масу абсолютно сухої речовини (табл. 3) уможливлює нівелювати різниці між генотипами і окремими качанами в межах одного генотипу, викликану різним вмістом вологи в зерні на 21-у добу після запилення і відповідно неоднаковим вмістом сухої речовини.

Таблиця 3. ***Частка цукрів від маси абсолютно сухої речовини (АСР) зерна кукурудзи на 21-у добу після самозапилення до та після зберігання в морозильній камері***

№ качана	Вміст цукрів, % від АСР							
	до зберігання в морозильній камері				після зберігання в морозильній камері			
	моноцукри	дицукри	загальний цукор	М/Д*	моноцукри	дицукри	загальний цукор	М/Д*
Лінія СЕ401								
1	11,95 ± 3,09	11,74 ± 1,20	23,69 ± 1,83	1,02	22,41 ± 0,18	24,43 ± 6,44	46,84 ± 6,96	0,92
Гібрид F_2(СЕ401×Чорностеблова)								
3	4,24 ± 1,37	6,22 ± 1,04	10,46 ± 0,27	0,68	6,99 ± 0,20	8,90 ± 1,96	15,89 ± 1,86	0,79
4	5,66 ± 0,47	5,07 ± 1,16	10,73 ± 0,74	1,12	4,74 ± 1,52	10,56 ±1,88	15,30 ± 0,46	0,45
5	4,14 ± 1,47	4,21 ± 1,44	8,35 ± 0,05	0,98	7,26 ± 1,29	9,36 ± 1,65	16,62 ± 0,45	0,78
$\overline{x}$	4,68 ± 0,89	5,17 ± 0,81	9,85 ± 0,31	0,91	6,33 ± 1,57	9,60 ± 0,92	15,93 ±0,75	0,66

*М/Д * – співвідношення частки моноцукрів і частки дицукрів в АСР, частка одиниці.*

Такий спосіб аналізу вмісту цукрів в зерні генотипів кукурудзи в цілому підтверджує тенденції, встановлені в ході розрахунку частки цукрів у сирій масі зразків, проте дещо модифікує кількісне співвідношення загального цукру і його фракцій залежно від фактора, що розглядається. Так, дослідження вмісту цукрів у 21-добовому зерні до заморожування та після розморожування за розрахунків їхньої частки від маси АСР показало, що для інтактного зерна лінії СЕ401 загальний вміст цукру становив 23,69 %, а вміст моно- і дицукрів у загальному цукрі був приблизно однаковим – 50,4 і 47,1 % відповідно. Для качанів гібрида F_2(СЕ401 × Чорностеблова) частка загального цукру від маси АСР коливалася від 8,35 до 10,73 % із середнім значенням 9,85 % і ширшим діапазоном варіювання між качанами – 2,38 %. На моноцукри так само припадало відповідно від 40,5 до 52,7 % загального цукру, решту становили дицукри. Після витримування 4,5 місяця за температури -12 °С вміст загального цукру в зерні лінії СЕ401 збільшився на 97,7 % і досяг 46,84 % від маси АСР, а в зерні гібрида F_2(СЕ401×Чорностеблова) – на

61,7 % і дорівнював 15,93 %. Відповідно збільшилися частки моно- і дицукрів – складників загального цукру, хоча це підвищення у гібрида F_2(СЕ401 × Чорностеблова) було дуже нерівномірним за окремими качанами. Так, у зерні гібрида F_2(СЕ401 × Чорностеблова) вміст моноцукрів для окремих качанів зазнав змін в 1,64, 0,83 та 1,75 раза, у середньому збільшився в 1,35 раза, а вміст дицукрів – від 1,43 до 2,22 раза, у середньому в 1,86 раза. В той самий час як у качана № 4 гібрида F_2(СЕ401 ×Чорностеблова) збільшення загального цукру відбулося виключно за рахунок сахарози навіть за зменшення на 16,3 % частки моноцукрів. Порівняння двох досліджуваних генотипів свідчить, що як в інтактному зерні, так і в зерні лінії цукрової кукурудзи СЕ401 після його перебування в морозильній камері має місце перевищення за вмістом загального цукру в перерахунку на масу АСР відповідно у 2,40 і 2,94 раза качанів другого покоління гібрида цукрової і зернової кукурудзи F_2(СЕ401 × Чорностеблова). За перерахунку на масу АСР інтактні зерна лінії СЕ401 21-добового віку містили у 2,55 раза більше моноцукрів та в 2,27 раза більше дицукрів, ніж зерно гібрида F_2(СЕ401 × Чорностеблова). Після проморожування зерно лінії СЕ401 також домінувало за вмістом загального цукру і його фракцій, проте розрив між двома генотипами зменшився через більш активне утворення в зерні гібрида F_2(СЕ401 × Чорностеблова) моноцукрів та дицукрів за дії мінусових температур порівняно із зерном лінії СЕ401. Так, після проморожування частка загального цукру від АСР зерна лінії СЕ401 перевищувала аналогічний показник для гібрида F_2(СЕ401 ×Чорностеблова) у 2,94 раза, для моноцукрів – у 3,54 раза, а для дицукрів – у 2,54 раза.

Важливим показником якості зерна цукрової кукурудзи є співвідношення моно- і дицукрів у фазі технічної стиглості. Це співвідношення за середніми значеннями та між окремими качанами в цілому зменшувалося за дії низьких температур, в основному за більш активного накопичення дицукрів порівняно із моноцукрами (див. табл. 3).

Одержані дані свідчать, по-перше, про необхідність враховувати під час порівняльної оцінки селекційного матеріалу кукурудзи за вмістом цукрів вологості зразків, проводити аналіз і робити висновки за єдиного рівня вологості або через перерахунок вмісту цукрів як частки у масі абсолютно сухої речовини зерна. По-друге, встановлено, що за заморожування та розморожування 21-добових качанів кукурудзи вміст загального цукру та його окремих фракцій достовірно і суттєво зростає і таким чином не відповідає цим показникам в інтактних зразках. Таке збільшення не є пропорційним для різних генотипів і різних качанів того самого генотипу. Фактор зберігання за мінусових температур також змінює співвідношення моно- і дицукрів у масі АСР. Отже, визначення вмісту цукрів в зерні селекційних зразків цукрової кукурудзи необхідно проводити в свіжому, інтактному матеріалі в день взяття проби, а не в матеріалу, що зберігався в морозильній камері.

Для обговорення одержаних результатів ми обрали публікації, в яких наводяться результати визначення вмісту цукрів у зерні цукрової кукурудзи, які були одержані в степовій і лісостеповій зоні України. Так, в роботі [11] визначення вуглеводного складу зерна технічної стиглості цукрової кукурудзи проводили після фіксації киплячим етанолом шляхом ступінчастої екстракції різних фракцій вуглеводів водою та 82 %-ним етанолом з наступним визначенням вмісту цукрів фероціанідним методом. У зерні поширених гібридів-носіїв мутацій *su*1, *sh*2 та *sulse* вміст глюкози і дицукрів у перерахунку на АСР коливався в межах 1,3–5,6 та 4,0–33,9 % відповідно.

В роботі Б. В. Дзюбецького та ін. [1] наведено результати дворічних досліджень визначення вмісту моноцукрів, дицукрів і загального цукру в зерні цукрової кукурудзи технічної стиглості. Для 15 селекційних зразків, а також гібридів між 25 лініями із 4 тестерами використовували вдосконалений авторами напівмікрометод визначення цукрів в рослинах. Результати представляли у перерахунку на «суху масу», хоча, на жаль, автори не вказали, чи мали на увазі «повітряносуху масу» або масу «абсолютно сухої речовини». Щодо дати визначення вмісту цукрів відносно терміну відбору зразків для аналізу та їхнього зберігання інформація відсутня. Вміст моноцукрів для зерна проаналізованих

у цій роботі ліній і гібридів цукрової кукурудзи коливався в межах 4,1–20,7 %, дицукрів – 6,0–21,6 %, а загальний вміст цукрів становив 10,0–39,6 % від «сухої маси».

У роботі [3] впродовж трьох років лінії і 45 гібридів цукрової кукурудзи, одержаних в системі діалельних схрещувань, проаналізовано на вміст цукрів в зерні технічної стиглості за методикою [6]. Результати представлено за показником «вміст цукрів, %», інформація, стосовно якої маси розрахована відсоткова частка цукру, а також, чи відбувалося визначення вмісту цукру у день відбору проб, чи після зберігання за певних умов, відсутня. В цій роботі середній «вміст цукрів» коливався за три роки в діапазоні 15,8–17,7 %, а за окремими генотипами – від 9,0 до 19,6 %.

В публікації [12] визначення цукрів впродовж трьох років для 123 зразків в зворотних схрещуваннях гібридів цукрової (з геном *su*1) і зернової кукурудзи на фоні добору в процесі бекросування проводили через 20 діб після цвітіння за методикою Бертрана (напівмікрометод). Авторами представлено результати за показником «вміст цукрів (моноцукру, дицукру та загального цукру), % на суху масу». Автори не вказують, яка саме «суха маса» мається на увазі і чи проводився аналіз вмісту цукрів одразу після збирання, чи після зберігання за визначених умов. В цій роботі за три роки середній вміст моноцукрів коливався в межах від 4,1 до 8,2 % «на суху масу», дицукрів – від 12,7 до 17,6 % «на суху масу», а загального цукру від 16,9 до 25,8 % «на суху масу».

Отже, зважаючи на проаналізовані публікації, для зерна технічної стиглості ліній і гібридів цукрової кукурудзи за визначенням напівмікрометодом по Бертрану і Лисицину у перерахунку на АСР або у перерахунку на «суху масу» вміст моноцукрів був в інтервалі 1,3–20,7 %, дицукрів – 4,0–17,6 %, а загального цукру – 9,0–39,6 %. У такі інтервали потрапляють встановлені нами значення вмісту загального цукру і його фракцій в зерні цукрової кукурудзи як для інтактних качанів, так і після їхнього промороження. Це означає, що встановлене в нашій роботі достовірне підвищення вмісту загального цукру і його фракцій під час промороження качанів у порівняльному аналізі різних селекційних зразків, даних різних років, різних селекційних схем може бути не поміченим і не враховуватися. У той самий час зміна результатів за аналізу після промороження є суттєвою та, головне, генотипоспецифічною, тобто призводить до різного ступеня порушення співвідношень складових загального цукру, а також його загального вмісту в зерні цукрової кукурудзи.

Висновки

Встановлено, що в фазі технічної стиглості зерна, на 21-у добу після запилення, генотипи цукрової кукурудзи достовірно різняться за вологістю зерна. У зв'язку з цим під час порівняльної оцінки селекційного матеріалу цукрової кукурудзи за вмістом цукрів необхідно враховувати варіювання за вологістю зерна і представляти результати або за визначеного рівня вологості зразків, або у перерахунку на масу абсолютно сухої речовини.

З'ясовано, що після зберігання качанів 21-добового віку за температури -12 °С впродовж 4,5 місяця із наступним розморожуванням вміст загального цукру, моно- і дицукрів у зерні достовірно і суттєво зростає порівняно із інтактними зразками. Таке зростання не є пропорційним для різних генотипів і різних качанів того самого генотипу. У зв'язку з цим визначення вмісту загального цукру і його фракцій в зерні під час селекції цукрової кукурудзи рекомендовано проводити в день відбору проб, тобто в свіжому, а не промороженому матеріалі.

Роботу виконано в рамках ПНД 14 «Біотехнологічні та молекулярно-генетичні методи поліпшення кількісних і якісних ознак рослин (Біотехнологія і генетика в рослинництві)» за завданням 14.00.01.02.Ф «Фундаментальні основи біотехнологічного забезпечення селекційного процесу у кукурудзи на основі використання функціональних молекулярно-генетичних маркерів», державна реєстрація за № 0121U107829.

Автори висловлюють подяку А. О. Псьоловій і О. В. Затишняк за технічну підтримку в проведенні польових і лабораторних дослідів.

Використана література

1. Дзюбецький Б. В., Черчель В. Ю., Вишневський М. В. Оцінка та добір генотипів цукрової кукурудзи за основними технологічними якостями. *Хранение и переработка зерна*. 2003. № 4 (46). С. 30–31.
2. Каталог сортів та гібридів ДУ Ін-т зерн. культ. НААН України / ДУ Ін-т зерн. культ. НААН України. Дніпро, 2021. 131 с.
3. Клімова О. Є. Успадкування, комбінаційна здатність та генетичний контроль ознаки «вміст цукрів» у ліній цукрової кукурудзи. *Бюл. Ін-ту зерн. госп-ва*. 2005. № 23–24. С. 75–81.
4. Клімова О. Є. Тестування ліній різних біотипів цукрової кукурудзи за проявом кореляційних зв'язків ознак продуктивності і якості зерна. *Селекція і насінництво*. 2016. Вип. 109. С. 29–40.
5. Клімова О. Є., Максимова Л. О. Лінії-продуценти високої цукристості у *Zea mays* L. *subsp. saccharata* Körn. *Генетичні ресурси рослин*. 2014. № 15. С. 64–75.
6. Лисицин Д. И. Полумикрометод для определения сахаров в растениях. *Биохимия*. 1950. Т. 15. Вып. 2. С. 165–167.
7. Псьолова А. О., Денисюк К. В., Сатарова Т. М. Маркер-асоційований відбір за геном *Sh*1 при створенні лінії цукрової кукурудзи з антоціановим забарвленням зерна. *Зернові культури*. 2020. Т. 4. № 1. С. 38–45. https://doi.org/10.31867/2523-4544/0104.
8. Псьолова А. О., Деркач К. В., Бєліков Є. І., Сатарова Т. М. Вміст антоціанів в зерні кукурудзи різного кольору. *Зернові культури*. 2017. Т. 2. С. 242–247.
9. Псьолова А. О., Деркач К. В., Бєліков Є. І., Сатарова Т. М. Вміст антоціанів у стеблі різних генотипів кукурудзи. *Зернові культури*. 2018. Т. 2. № 2. С. 218–225.
10. Псьолова А. О., Деркач К. В., Сатарова Т. М. Уміст антоціанів у зерні кукурудзи цукрової різного забарвлення. *Агрологія*. 2019. Т. 2. № 2. С. 128–133.
11. Тимчук С. М., Деребізова О. Ю., Потапенко Г. С. Вуглеводний склад насіння мутантів цукрової кукурудзи. *Селекція і насінництво*. 2001. Вип. 85. С. 91–97.
12. Черчель В. Ю., Боденко Н. А., Глушко В. В., Максимова Л. О. Методичні питання селекції цукрової кукурудзи. *Бюл. Ін-ту зерн. госп-ва*. 2007. № 30. С. 100–104.
13. Genome-wide association and genomic prediction models of tocochromanols in fresh sweet corn kernels / M. Baseggio et. al. *Plant Genome*. 2019. Vol. 12, No 1: e180038. DOI:10.3835/plantgenome2018.06.0038.
14. Natural variation for carotenoids in fresh kernels is controlled by uncommon variants in sweet corn / M. Baseggio et. al. *Plant Genome*. 2020. Vol. 13. No 1**:** e20008. DOI: 10.1002/tpg2.20008.
15. Ferron, L., Colombo, R., Mannucci, B., Papetti, A. A new Italian purple corn variety (moradyn) by product extract: antiglycative and hypoglycemic in vitro activities and preliminary bioaccessibility studies. *Molecules*. 2020. Vol. 25, No 8: e1958. DOI: 10.3390/molecules25081958.
16. Blue maize extract improves blood pressure, lipid profiles, and adipose tissue in high-sucrose diet-induced metabolic syndrome in rats / R. I. Guzmán-Gerónimo et. al. *J. Med. Food*. 2017. Vol. 20. No 2. P. 110–115. DOI: 10.1089/jmf.2016.0087.
17. Hong, H. T., Phan, A. D. T., O'Hare, T. J. Temperature and maturity stages affect anthocyanin development and phenolic and sugar content of purple-pericarp supersweet sweet corn during storage. *J. Agric Food Chem*. 2021. Vol. 69. No 3. P. 922–931. DOI: 10.1021/acs.jafc.0c06153.
18. Luna-Vital, D. A., Gonzalez de Mejia, E. Anthocyanins from purple corn activate free fatty acid-receptor 1 and glucokinase enhancing in vitro insulin secretion and hepatic glucose uptake. *PLoS One*. 2018. Vol. 13. No 7. DOI:10.1371/journal.pone.0200449.
19. Pei, L., Liu, J., Zhou, Y., Jiang, Y., Li, H. Transcriptomic and metabolomic profiling reveals the protective role of anthocyanins in alleviating low phosphate stress in maize. *Physiol Mol Biol Plants*. 2021. Vol. 27. No 5. P. 889–905. DOI: 10.1007/s12298-021-00981-9.
20. Short communication: purple corn (Zea mays L.) stover silage with abundant anthocyanins transferring anthocyanin composition to the milk and increasing antioxidant status of lactating dairy goats / X. Z. Tian / *J. Dairy Sci*. 2019. Vol. 102, No 1. P. 413–418. DOI: 10.3168/jds.2018-15423.
21. Welham, S. J., Gezan, S. A., Clark, S. J., Mead, A. Statistical methods in biology: design and analysis of experiments and regression. Boca Raton: CRC Press, 2014. 602 p.

References

1. 1.Dzyubetskyy, B. V., Cherchel, V. Yu., Vyshnevskyy, M. V. (2003). Otsinka ta dobir henotypiv tsukrovoyi kukurudzy za osnovnymy tekhnolohichnymy yakostyamy. *Khranenye y pererabotka zerna*. [Grain storage and processing], *4* (46). 30–31. [in Ukrainian]
2. Kataloh sortiv ta hibrydiv DU Instytut zernovykh kultur NAAN Ukrayiny. [Catalog of varieties and hybrids of SE Institute of Grain Crops of NAAN of Ukrain]. (2021). Dnipro: N. p. 131 p. [in Ukrainian]
3. Klimova, O. Ye. (2005). Uspadkuvannya, kombinatsiyna zdatnist ta henetychnyy kontrol oznaky «vmist tsukriv» u liniy tsukrovoyi kukurudzy. *Byuleten Instytutu zernovoho hospodarstva*. [Bulletin of the Institute of Grain Farming], *23–24*, 75–81. [in Ukrainian]
4. Klimova, O. Ye. (2016). Testuvannya liniy riznykh biotypiv tsukrovoyi kukurudzy za proyavom korelyatsiynykh zv'yazkiv oznak produktyvnosti i yakosti zerna. *Selektsiya i nasinnytstvo*. [Selection

and Seed production], *109*, 29–40. [in Ukrainian]
5. Klimova, O. Ye., Maksymova, L. O. (2014). Liniyi-produtsenty vysokoyi tsukrystosti u Zea mays L. subsp. saccharata Körn. *Henetychni resursy roslyn*. [Genetic resourses of plants], *15*, 64–75. [in Ukrainian]
6. Lysytsyn, D. Y. (1950). Polumykrometod dlya opredelenyya sakharov v rastenyyakh. *Byokhymyya*. [Biochemistry], *15*, 2, 165–167. [in Russian]
7. Psolova, A. O., Denysyuk, K. V., Satarova, T. M. (2020). Marker-asotsiyovanyy vidbir za henom Sh1 pry stvorenni liniyi tsukrovoyi kukurudzy z antotsianovym zabarvlennyam zerna. *Zernovi kultury*. [Grain Crops], *4*, 1, 38–45. https://doi.org/10.31867/2523-4544/0104. [in Ukrainian]
8. Psolova, A. O., Derkach, K. V., Byelikov, Ye. I., Satarova, T. M. (2017). Vmist antotsianiv v zerni kukurudzy riznoho koloru. *Zernovi kultury*. [Grain Crops], *2*, 242–247. [in Ukrainian]
9. Psolova A. O., Derkach K. V., Byelikov Ye. I., Satarova T. M. 2018Vmist antotsianiv u stebli riznykh henotypiv kukurudzy. *Zernovi kultury*. [Grain Crops], *2*, 2, 218–225. [in Ukrainian]
10. Psolova, A. O., Derkach, K. V., Satarova, T. M. (2019). Umist antotsianiv u zerni kukurudzy tsukrovoyi riznoho zabarvlennya. *Ahrolohiya*. [Agrology], *2*, 2, 128–133. [in Ukrainian]
11. Tymchuk, S. M., Derebizova, O. Yu., Potapenko, H. S. (2001). Vuhlevodnyy sklad nasinnya mutantiv tsukrovoyi kukurudzy. *Selektsiya i nasinnytstvo*. [Selection and Seed production], *85*, 91–97. [in Ukrainian]
12. Cherchel, V. Yu., Bodenko, N. A., Hlushko, V. V., Maksymova, L. O. (2007). Metodychni pytannya selektsiyi tsukrovoyi kukurudzy. *Byuleten Instytutu zernovoho hospodarstva*. [Bulletin of the Institute of Grain Farming], *30*, 100–104.
13. Baseggio, M., Murray, M., Magallanes-Lundback, M., Kaczmar, N., Chamness, J., Buckler, E.,S., Smith, M.,E., DellaPenna, D., Tracy, W.,F., Gore, M. A. (2019). Genome-wide association and genomic prediction models of tocochromanols in fresh sweet corn kernels. *Plant Genome*, *12*, 1: e180038. DOI:10.3835/plantgenome2018.06.0038.
14. Baseggio, M., Murray, M., Magallanes-Lundback, M., Kaczmar, N., Chamness, J., Buckler, E. S., Smith, M. E., DellaPenna, D., Tracy, W. F., Gore, M. A. (2020). Natural variation for carotenoids in fresh kernels is controlled by uncommon variants in sweet corn. *Plant Genome*, ***13,*** 1: e20008. DOI: 10.1002/tpg2.20008.
15. Ferron, L., Colombo, R., Mannucci, B., Papetti, A. A. (2020). new Italian purple corn variety (moradyn) by product extract: antiglycative and hypoglycemic in vitro activities and preliminary bioaccessibility studies. *Molecules*, *25*, 8: e1958. DOI: 10.3390/molecules25081958.
16. Guzmán-Gerónimo, R. I., Alarcón-Zavaleta, T. M., Oliart-Ros, R. M., Meza-Alvarado, J. E., Herrera-Meza, S., Chávez-Servia, J. L. (2017). Blue maize extract improves blood pressure, lipid profiles, and adipose tissue in high-sucrose diet-induced metabolic syndrome in rats. *J. Med. Food*, *20*, 2, 110–115. DOI: 10.1089/jmf.2016.0087.
17. Hong, H. T., Phan, A. D. T., O'Hare, T. J. (2021). Temperature and maturity stages affect anthocyanin development and phenolic and sugar content of purple-pericarp supersweet sweet corn during storage. *J. Agric Food Chem*, *69*, 3, 922–931. DOI: 10.1021/acs.jafc.0c06153.
18. Luna-Vital, D. A., Gonzalez de Mejia, E. (2018). Anthocyanins from purple corn activate free fatty acid-receptor 1 and glucokinase enhancing in vitro insulin secretion and hepatic glucose uptake. *PLoS One*, ***13,*** **7.** DOI:10.1371/journal.pone.0200449.
19. Pei, L., Liu, J., Zhou, Y., Jiang, Y., Li, H. (2021). Transcriptomic and metabolomic profiling reveals the protective role of anthocyanins in alleviating low phosphate stress in maize. *Physiol Mol Biol Plants*, *27*, 5, 889–905. DOI: 10.1007/s12298-021-00981-9.
20. Tian, X. Z., Paengkoum, P., Paengkoum, S., Chumpawadee, S., Ban, C., Thongpea, S. (2019). Short communication: purple corn (Zea mays L.) stover silage with abundant anthocyanins transferring anthocyanin composition to the milk and increasing antioxidant status of lactating dairy goats. *J. Dairy Sci*, *102*, 1, 413–418. DOI: 10.3168/jds.2018-15423.
21. Welham, S. J., Gezan, S. A., Clark, S. J., Mead, A. (2014). Statistical methods in biology: design and analysis of experiments and regression. Boca Raton: CRC Press, 602 p.

УДК 633.15: 631.52

Сатарова Т. М., Денисюк К. В., Климова О. Є. Методические особенности определения содержание сахаров в селекции сахарной кукурузы

Зерновые культуры. 2021. Т. 5. № 2. С. 233–243

Государственное учреждение Институт зерновых культур НААН, ул. Владимира Вернадского, 14, г. Днепр, 49009, Украина

Актуальным заданием в селекции сахарной кукурузы для оценки селекционных образцов на всех этапах селекционного процесса является контроль содержания сахаров в зерне сахарной кукурузы технической спелости. Исследовано методические особенности определения содержания сахаров в зерне сахарной кукурузы на примере линии СЕ401 и гибрида F_2(СЕ401 × Черностебельная).

Сравнивали содержание общего сахара, моно- и дисахаров в зерне на двадцать первые сутки после контролируемого самоопыления в день взятия проб и после хранения тех же початков при температуре -12 °С в течение 4,5 месяца: содержание общего сахара в зерне линии СЕ401 и гибрида F_2(СЕ401×Черностебельная) возросло соответственно на 97,7 и 61,7 % и достигло 46,84 и 15,93 % от массы абсолютно сухого вещества (АСВ). Соответственно увеличилась доля моно- и дисахаров,

хотя это возрастание в гибрида F_2(CE401 × Черностебельная) оказалось очень неравномерным по отдельным початкам. Интактные зерна линии CE401 содержали в 2,55 раза больше моносахаров и в 2,27 раза больше дисахаров, чем у гибрида F_2(CE401 × Черностебельная). После замораживания доля общего сахара от АСВ в зерне линии CE401B превышала аналогичный показатель гибрида F_2(CE401×Черностебельная) в 2,94 раза, моносахаров – в 3, 54 раза, а дисахаров – в 2,54 раза. Установлено, что хранение зерна сахарной кукурузы технической спелости при минусовых температурах приводит к увеличению содержания общего сахара, а также моно- и дисахаров. Степень такого увеличения зависит от генотипа исходного селекционного материала.

По результатам проведенной работы рекомендуется при селекции сахарной кукурузы проводить определение общего содержания сахара и его фракций в день отбора проб и отказаться от распространенного в селекционной практике хранения образцов зерна до анализа при минусовых температурах.

Ключевые слова: *Zea mays L., зерно технической спелости, общее содержание сахаров, содержание моно- и дисахаридов, методика определения, хранение зерна при минусовых температурах.*

UDC 633.15: 631.52

T. M. Satarova, K. V. Denisyuk, O. E. Klimova. Methodical features of sugar content determination in sweet maize selection. *Grain Crops. 2021. 5 (2) 233-243*

State Enterprise Institute of Grain Crops of NAAS, 14 Volodymyr Vernadskyi St., Dnipro,49009, Ukraine

A currently important task for the evaluation of breeding samples at all stages of the sweet maize selection is to control the sugar content in the sweet maize grain of technical maturity. The methodical features of the sugar content determination in the sweet maize grain using the example of the inbred line CE401 and hybrid F_2(CE401 × Chornosteblova) were investigated. We compared the content of total sugar, monosaccharides and disaccharides in the grain on the twenty-first day after self-pollination (21 DAP), on the day of sampling and after storage of the same ears at subzero temperature.

It was found that after storage of ears for 4.5 months at a temperature of –12 ^{0}C, total sugar content in grain of CE401 increased by 97.7 % and reached 46.84 % by mass of absolutely dry matter (ADM), and for F_2(CE401 × Chornosteblova) – by 61.7 % and reached 15.93 %. Accordingly, the contents of mono- and disaccharides as components of total sugar content increased, although this increase in F_2 (CE401× Chornosteblova) was very uneven for individual ears. Intact grains of the CE401 line contained 2.55 times more monosaccharides and 2.27 times more disaccharides compared to the F_2 hybrid (CE401 × Chornosteblova). After keeping the ears at –12 ºC for 4.5 months, the share of total sugar content in ADM of the CE401B line grain exceeded the similar value of the F_2 hybrid (CE401 × Chornosteblova) by 2.94 times, monosaccharides by 3.54 times, and disaccharides by 2.54 times. The degree of such increase depends on the genotype of the initial breeding material.

For the sweet maize selection, it is recommended to determine the total sugar content and its fractions on the day of sampling, and to refuse the common practice to store of grain samples at subzero temperature before analysis.

Key words*: Zea mays L., grain in technical maturity, total sugar content, mono- and disaccharide contents, determination procedure, grain storage under subzero temperature.*