

## СЕЛЕКЦІЯ ЦУКРОВО-КОРМОВИХ ГІБРИДІВ БУРЯКІВ, ПРИДАТНИХ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОПАЛИВА

**М. О. Корнєєва**

*Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН,  
вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна*

**Актуальність.** Розвиток біоенергетики в Україні потребує вирощування енергетичних культур як відновлювальних джерел енергії. Як сировина для виробництва біопалива селекційну перспективу можуть мати цукрово-кормові гібриди буряку, створені з використанням цінних стерильних форм цукрових і фертильних форм кормових буряків. **Мета.** Створити експериментальні гібриди цукрово-кормових буряків з високим виходом енергії, придатні для отримання альтернативних видів біопалива, і відібрати кращі з них. **Матеріали і методи.** Для створення цукрово-кормових гібридів використано 6 стерильних за пилком ліній цукрових і 23 селекційні номери фертильних кормових буряків. Етапами селекційного процесу були відбір вихідних батьківських ліній, оцінка їх за комбінаційною здатністю та на основі кращих із них формування гібридів. Застосовано метод багатотестерних топкросів та польові випробування експериментальних гібридів. **Результати.** Батьківські компоненти достовірно відрізнялися між собою за виходом енергії, показники якої коливалися у межах 53,5...61,5 ГДж/га (ЧС форми), а у 4 кращих запилювачів – від 80,0 до 87,8 ГДж/га. За результатами тестерних схрещувань відібрано ЧС форми ліній цукрових буряків Ів. 24869 та ЧС Ів. 2484 іванівського походження з достовірно високими ефектами загальної комбінаційної здатності 6,7 та 4,0 ГДж/га та запилювачі сорти кормових буряків Галицький і Львівський жовтий – відповідно 8,0 та 6,5 ГДж/га. У генотиповій структурі мінливості ознаки вихід цукру сумарна частка впливу цінних адитивних комплексів генів батьківських форм (51 %) була майже рівнозначною частці неадитивної взаємодії компонентів (49 %). **Висновки.** Методом комбінативної селекції створено три нових генотипи цукрово-кормових гібридів, придатних для виробництва біопалива з відновлювальних джерел, у яких вихід енергії був більшим, ніж 120 ГДж/га. Це генотипи ЧС Ів. 24869/к 41/42; – ЧС Ів. 24869/к 13/14 та ЧС Ів. 24869/с. Львівський жовтий з показниками, що перевищують стандарт відповідно на 14,3, 15,4 та 8,5 %.

**Ключові слова:** біоенергетика, пилкостерильні форми, запилювачі, цукрово-кормові гібриди, комбінаційна здатність, вихід енергії

**Вступ.** Стрімкий розвиток біоенергетики, що є світовим трендом, сприяє зниженню імпорту палива, заміщуючи вагому частку традиційних енергоресурсів і тим самим посилює безпеку України [1]. Саме тому сільськогосподарська наука орієнтує агропромисловий комплекс України на вирощування енергетичних культур як відновлювальних джерел енергії.

З огляду на ощадливе використання традиційних енергоносіїв, збереження довкілля, а також розвиток перспективного напряму аграрного сектору України, нині вивчаються і вирощуються такі культури як міскантус, просо прутувидне, енергетична верба, сорго, тополя та ін. [2]. Такою ж біоенергетичною культурою, що придатна для виробництва альтернативних видів палива, є також

культура буряку (*Beta vulgaris L.*) – як цукрового, так і кормового. Крім того, селекційну перспективу можуть мати і цукрово-кормові гібриди буряків, створені з використанням цінних стерильних за пилком форм цукрових і цінних фертильних форм кормових буряків [2, 3]. Ефективність селекційної роботи зі створення таких гібридів залежить від залучення до схрещування донорів і джерел цінних ознак – носіїв генних комплексів, що контролюють селекційно-значущі ознаки біо-енергетичного потенціалу цукрових буряків [4, 5].

Вітчизняні наукові організації, такі як Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків (ІБКіЦБ) та його мережа, Інститут землеробства (ННЦ ІЗ), Інститут сільськогосподарства Карпатського регіону (ІСГКР)

### Інформація про авторів:

**Корнєєва Мирослава Олександрівна**, канд. біологічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник лаб. селекції цукрових буряків, e-mail: mira31@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-7266-0970>

та інші мають ознакові колекції пилкостерильних форм цукрових буряків, а також фертильні форми кормових буряків (лінії, сортозразки, сорти, селекційні номери), які можуть бути використані для формування цукрово-кормових гібридів на основі цитоплазматичної чоловічої стерильності, придатних для виробництва альтернативних видів біопалива [6].

Більш повно розкрити генетичний потенціал продуктивності можливо за умови гібридизації новостворених ліній, попередньо оцінених за комбінаційною здатністю. В основу цих досліджень покладено результати раніше проведених дослідів зі створення нових генотипів буряків, що володіють підвищеним біоенергетичним потенціалом (вихід біоетанолу, вихід енергії) [3, 6].

*Метою досліджень* було створити експериментальні гібриди цукрово-кормових буряків з високим виходом енергії, придатні для отримання альтернативних видів біопалива, і відібрати кращі із них.

**Матеріали та методика.** Дослідження проведено в 2015–2020 рр. в Інституті біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України (ІБКіЦБ). Вихідними матеріалами для створення цукрово-кормових гібридів слугували 6 диплоїдних стерильних ліній (материнська форма) іванівського, ялтушківського, уманського та уладівського походження з мережі ІБКіЦБ, а також 23 диплоїдних сортозразки кормових буряків (сорти, інцухт-лінії, продукти індивідуального добору, гібридні зразки на фертильній основі), оригінаторами яких був Інститут сільського господарства Карпатського регіону (ІСГКР), що використовувалися як запилювачі (батьківська форма) до пилкостерильних (ЧС) форм.

Етапами технології селекційного процесу створення гібридів цукрово-кормових буряків на основі ЦЧС, придатних для виробництва альтернативних видів біопалива, були: підбір вихідних форм – ЧС ліній цукрових та запилювачів – кормових буряків, їх селекційне покращення в результаті доборів на основі вивчення їх господарсько-цінних ознак; проведення топкросних схрещувань для визначення комбінаційної здатності компонентів; формування гібридних комбінацій за схемою односторонніх циклічних схрещу-

вань і сортовипробування гібридних зразків. Оцінку і добір кращих гібридних комбінацій з поєднанням високої продуктивності і виходом енергії здійснювали на основі генетико-статистичного аналізу селекційних номерів порівняно з груповим стандартом, у який увійшли три кращі вітчизняні сорти. Попередник – озимі зернові. Спосіб посіву широкорядний з шириною міжрядь 45 см. Площа ділянки – 13,5 м<sup>2</sup>. Повторність – триразова.

Аналіз селекційної цінності вихідних генотипів за показниками урожайність коренеплодів, цукристість, вміст сухої речовини проводили за методикою [7]. Енергетичні показники визначали за методикою [8].

**Результати досліджень.** Пилкостерильні форми, залучені у дослід як вихідні матеріали, мали різне еколого-генетичне походження. Три лінії належали селекції Іванівської дослідно-селекційної станції, одна лінія була походженням з ялтушківської генплазми, одну лінію було виведено на основні аборигенних матеріалів уладівської селекції, і одна лінія була походженням з уманських селекційних матеріалів.

Енергетичні показники цих ліній як можливих компонентів (материнська форма) цукрово-кормових гібридів буряків наведено у таблиці 1.

Як показав аналіз (табл. 1), найвищий вихід енергії (розрахункові дані за продуктивними властивостями) було зафіксовано у пилкостерильних ліній ЧС Ів. 24869 (61,5 ГД/га) та ЧС Ів. 2484 (58,4 ГД/га). Це – зразки іванівського походження, які мають найкращий рівень продуктивності на рівні ліній.

Серед колекції кормових буряків (ІСГКР), що налічувала 50 зразків, за морфобіологічними параметрами коренеплоду, вмістом сухої речовини та толерантністю до хвороб і шкідників було відібрано 23 селекційних номера. Серед них виділено 4 зразки кормових буряків з виходом енергії, що перевищує 80,0 ГДж/га. Це зразки к 13 x 14 (85,0 ГДж/га), к 41 x 42 ( 87,8 ГДж/га), с. Галицький (82,3 ГДж/га) та с. Львівський жовтий (80,8 ГДж/га). Вони розглядалися як кандидати у компоненти-запилювачі для цукрово-кормових гібридів буряків.

Проте для гібридизації більш важливою є комбінаційна здатність, яка була визначена

**Таблиця 1. Вихід біоетанолу та вихід енергії стерильних форм цукрових буряків – материнських компонентів цукрово-кормових гібридів**

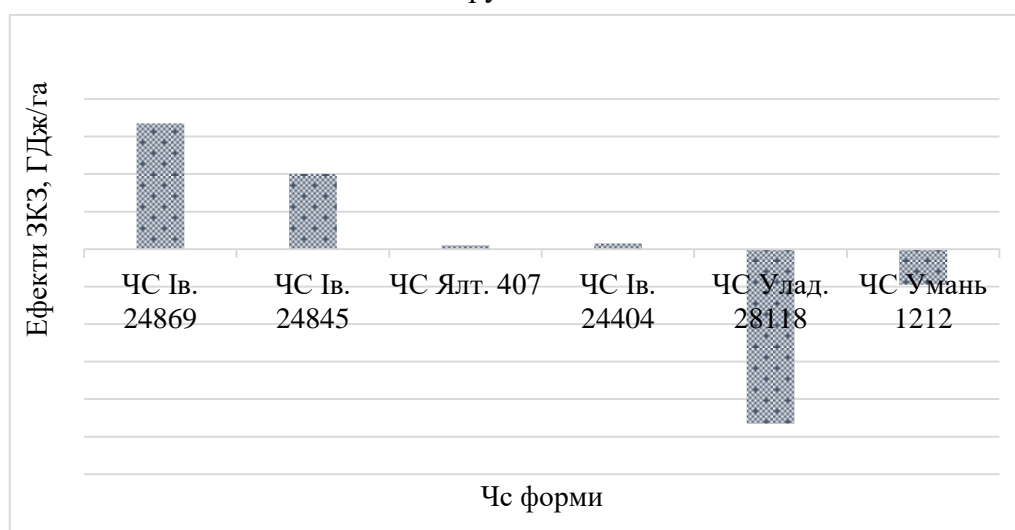
№ з/п	Селекційні зразки цукрових буряків	Урожайність коренеплодів, т/га	Цукристість коренеплодів, %	Вихід біоетанолу, т/га	Вихід енергії, ГДж/га
ЧС форми					
1	ЧС Ів. 24869	36,9	14,4	2,44	61,5
2	ЧС Ів. 24845	36,9	14,6	2,46	58,4
3	ЧС Ялт. ЧС-7	35,7	13,9	2,26	54,7
4	ЧС Ів. 24404	33,4	14,4	2,20	54,9
5	ЧС Улад. 28119	28,0	14,5	1,84	46,0
6	ЧС Умань 1212	31,3	15,1	2,14	53,5
НР <sub>0,05</sub>		2,2	0,3	0,93	1,4

за топкросними схрещуваннями, проведені для оцінки генетичної цінності цих матеріалів.

При створенні цукрово-кормових гібридів на фенотиповий прояв цих ознак значно впливають не тільки умови зовнішнього середовища, але, передусім, комбінаційна цінність компонентів. Тому у наших дослідженнях було здійснено добір кращих зразків серед материнських і батьківських форм за комбінаційною здатністю з метою підбору

пар для отримання перспективних гібридних комбінацій, які будуть придатними для виробництва біопалива з відновлювальних джерел. За гібридизації вдало підібраних ліній (ЧС форми і запилювачів), що характеризуються генетичною цінністю за біоенергетичними показниками, можна очікувати гетерозисний ефект.

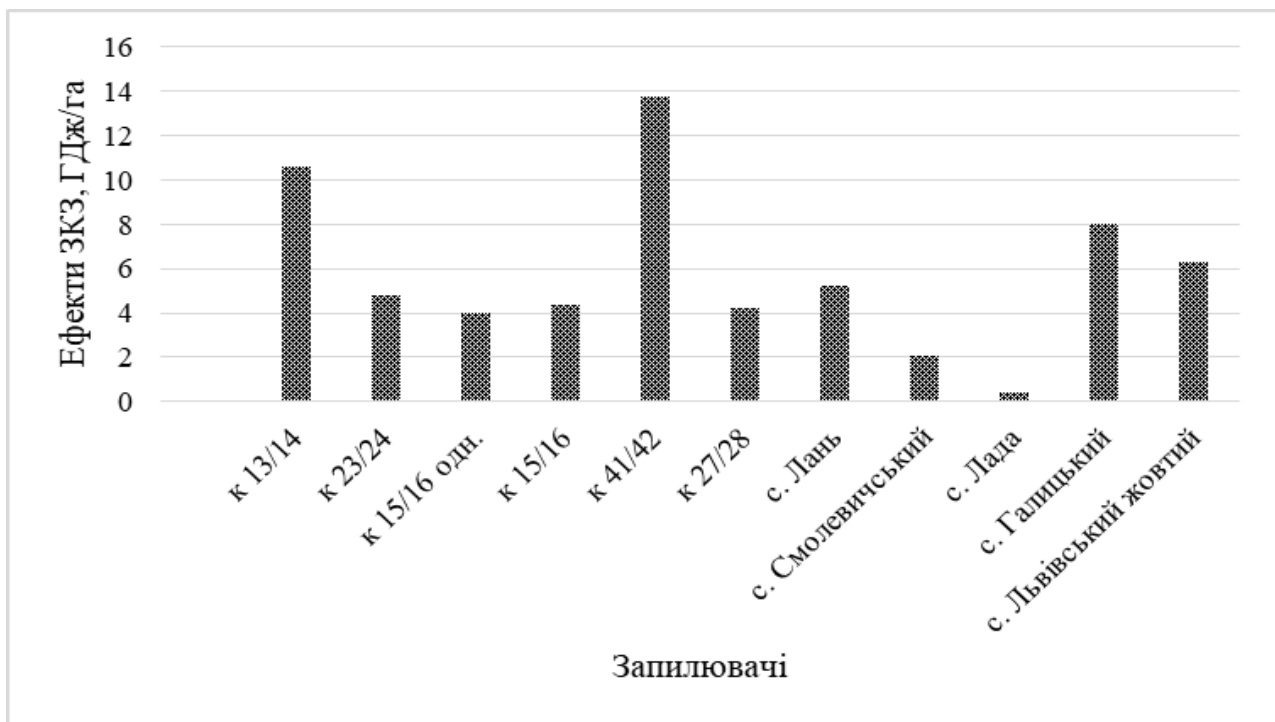
На рис. 1 наведено ефекти ЗКЗ пилкостерильних ліній за показником вихід енергії.



**Рис. 1. Ефекти ЗКЗ за виходом енергії пилкостерильних ліній цукрових буряків – компонентів цукрово-кормових гібридів.**

Найвищий вихід енергії (розрахункові дані за продуктивними властивостями) у топкросних гібридів було відмічено у комбінаціях, створених за участю пилкостерильних ліній ЧС Ів. 24869 (61,5 ГДж/га) та ЧС Ів. 24845 (58,4 ГДж/га). Ефекти ЗКЗ їх материнських форм були достовірно позитивними і становили відповідно 6,7 та 4,0 ГДж/га.

За оцінкою комбінаційної здатності запилювачів кормових буряків було виділено 10 із 23 зразків, у яких ефекти ЗКЗ мали додатний знак. На рис. 2 наведено неповну матрицю, тобто тільки кращі номери, ому сума ефектів ЗКЗ не дорівнює нулю. Серед сортів найнижчий позитивний ефект ЗКЗ було відмічено у сорту Лада (0,5 ГДж/га), у той час як сорти Галицький і Львівський жовтий



**Рис. 2. Ефекти ЗКЗ за виходом енергії кращих запилювачів кормових буряків - компонентів цукрово-кормових гібридів.**

мали високі його значення – відповідно 8,0 та 6,5 ГДж/га.

Найвищим ефектом ЗКЗ характеризувалися зразки кормових буряків к 13/14 та к 41/2 з високим виходом енергії – відповідно 10,7 та 13,5 ГДж/га. Серед інших кращих форм кормових буряків з високим позитивним ефектом ЗКЗ були запилювачі к 23/24 та сорти Галицький, Львівський жовтий та Лань. Тому їх на наступному етапі селекції залучили у гібридизацію для створення експериментальних гібридів, придатних для цілей відновлювальної енергетики.

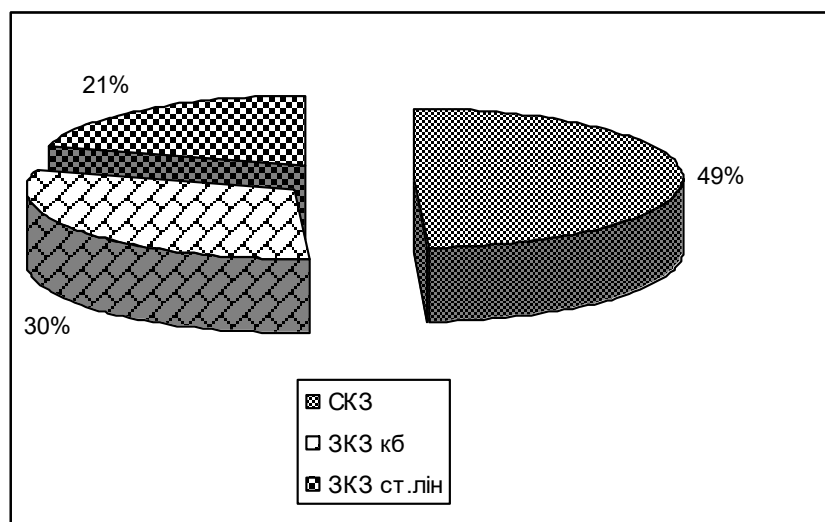
Для визначення генотипової структури мінливості ознаки «вихід енергії» використали дисперсійний аналіз топкросних гібридів. Як відомо, на прояв ознаки впливають не тільки адитивні ефекти батьківських ліній, але і їх взаємодія (неаддитивна варіанса). У випадку топкросних цукрово-кормових гібридів вплив адитивної складової генотипової дисперсії батьківських форм, що інтерпретує показник ЗКЗ, виявився таким: 30 % – для кормових буряків, і 21 % – для тестерів. Неаддитивну взаємодію, в тому числі і епістатичні ефекти, характеризують показники специфічної комбінаційної здатності (СКЗ) (рис. 3). Це свідчить про важливість підбору пар при формуванні цукрово-кормових гіб-

ридів буряків, які будуть використовуватися у біоенергетичних цілях, що дасть можливість отримувати високі показники виходу енергії.

Однак, сумарний вплив цінних адитивних комплексів генів батьківських форм – сортозразків кормових і пилкостерильних зразків цукрових буряків на формування ознаки і ефекти їх взаємодії в конкретному наборі селекційних номерів – компонентів гібридів виявилися майже рівноцінними як частки загальної генотипової дисперсії – відповідно 51 та 49 %.

На наступному етапі селекційного процесу гібридизацію по шість кращих відібраних зразків пилкостерильних форм (ЧС форм) і фертильних запилювачів кормових буряків, які виділилися як кращі за оцінками їх генетичної цінності, здійснювали по схемі односторонніх циклічних схрещувань на ділянках вільного перезапилення, де було одержано 36 цукрово-кормових ЧС гібридів.

Створені цукрово-кормові гібриди значно різнилися за результуючою ознакою вихід енергії ( $HP_{0,05} = 5,61$  ГДж/га). Всі гібриди, створені на основі схрещування даного набору ЧС форм та сорту Львівський жовтий селекції ІСГКР, характеризувалися високим виходом енергії, що перетинає позначку у



**Рис. 3. Структура генотипової мінливості ознаки «вихід енергії» топкросних гібридів цукрово-кормових буряків.**

100 ГДж/га, серед яких кращою виявилася комбінація ЧС Ів. 24869/с. Львівський жовтий (120,55 ГДж/га) (табл. 2). Таким же ефективним для гібридизації з цими пилкостерильними формами виявився селекційний номер к 23/24, який найкраще проявив себе як запилювач до комбінаційно-цінної ЧС лінії іванівського походження ЧС Ів. 24869 (вихід енергії становив 115,01 ГДж/га). Однак перші два місця за виходом енергії посі-

ли гібриди, створені на основі комбінаційної лінії ЧС Ів. 24869 і комбінаційно-здатних (з високою ЗКЗ) запилювачів – номерів кормових буряків к 41/42 та к 13/14. Їх показники становили відповідно 123,84 та 125,09 ГДж/га. Дві гібридні комбінації на основі генетично-цінної лінії ЧС Ів. 24845 отримано із запилювачами кормових буряків к 13/14 (117,61 ГДж/га) та сортом Львівський жовтий (114,31 ГДж/га).

Показник групового стандарту за вихо-

**Таблиця 2. Показники виходу енергії цукрово-кормових гібридів буряків, ГДж/га**

Компоненти цукрово-кормових гібридів	К 41/42	К 13/14	Сорт Галицький	Сорт Лань	К 23/24	Сорт Львівський жовтий
ЧС Ів. 24869	123,84	125,09	88,76	105,16	115,01	120,55
ЧС Ів. 24845	95,63	117,61	104,08	101,96	104,44	114,21
ЧС Ялт. ЧС-7	104,95	89,32	93,07	105,01	114,8	109,80
ЧС Ів. 24404	75,21	80,49	98,81	96,78	108,61	113,60
ЧС Улад. 28119	76,16	79,99	100,93	98,48	100,74	104,44
ЧС Умань. 1212	87,08	88,98	94,38	93,81	102,22	105,18

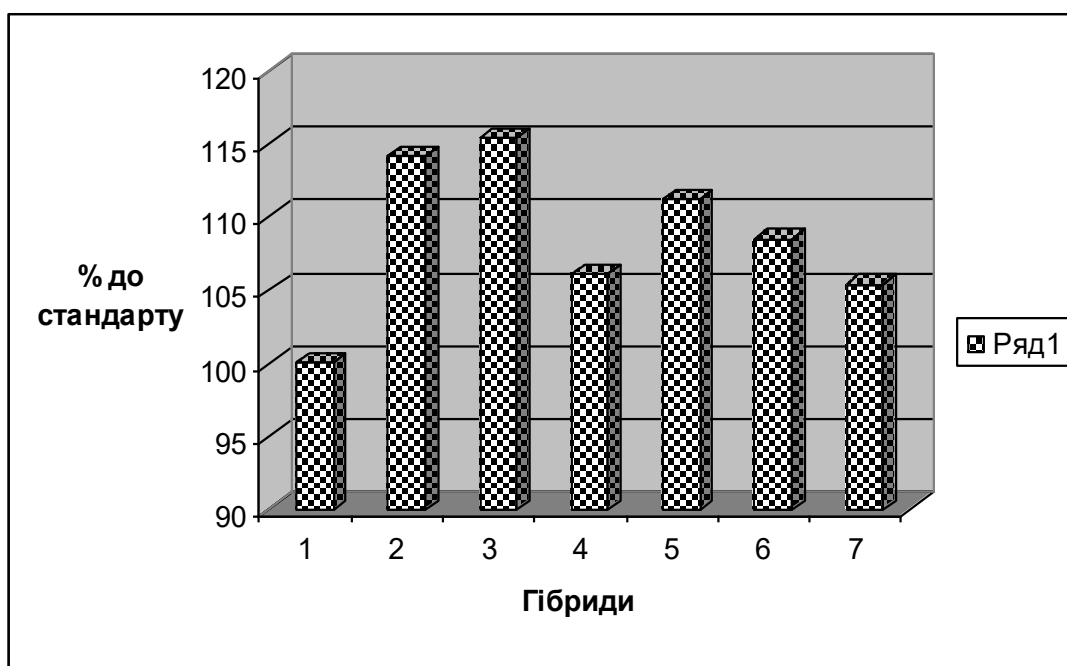
дом енергії становив 108,41 ГДж/га.

У перерахунку до групового стандарту (рис. 4) перевищення становило від 105,4 до 115,4 %.

Перші три місця посідають гібриди, вихід енергії у яких перевищував відмітку 120 ГДж/г. Їх можна рекомендувати до відтворення і майбутнього комерційного використання.

**Висновки.** На основі вивчення загаль-

ної комбінаційної здатності за результуючою ознакою вихід енергії оцінено 6 материнських компонентів – ЧС ліній цукрових буряків та 23 зразки кормових буряків для створення нових генотипів цукрово-кормових гібридів, придатних для виробництва біопалива. Селекційну перспективу мають комбінаційно-цінні лінії цукрових буряків ЧС Ів. 24869 та ЧС Ів. 24845 іванівського походження та гібридні зразки кормових буряків к 13/14 та к 41/42, а



1 – Груповий стандарт, 2 – ЧС Ів. 24869/к 41/42; 3 – ЧС Ів. 24869/к 13/14;  
4 – ЧС Ів. 24869/к 34/24; 5 – ЧС Ів. 24869/с. Львівський жовтий; 6 – ЧС Ів. 24845/к 13/14;  
7 – ЧС Ів. 24845/с. Львівський жовтий

**Рис.4. Кращі за показником вихід енергії гібридні комбінації цукрово-кормових буряків.**

також кращі зразки кормових буряків з високим позитивним ефектом ЗКЗ-запилювачі к 23/24 та сорти Галицький, Львівський жовтий та Лань селекції ІСГКР.

Аналіз часток впливу цих компонентів показав, що переважаючими у генотиповій мінливості (49 %) результуючої ознаки «вихід енергії» були ефекти взаємодії материнської та батьківської форм. Відмічено значний вплив адитивних ефектів кормових буряків як компонентів у формуванні кіль-

кісних ознак у гібридів (30 %).

Методом комбінативної селекції створено три нових генотипи цукрово-кормових гібридів, придатних для виробництва біопалива з відновлювальних джерел, у яких вихід енергії був більшим, ніж 120 ГДж/га. Це генотипи ЧС Ів. 24869/к 41/42; ЧС Ів. 24869/к 13/14 та ЧС Ів. 24869/с. Львівський жовтий з показниками, що перевищують стандарт відповідно на 14,3, 15,4 та 8,5 %.

### Використана література

1. Роїк М. В., Ягольник О. Г. Агропромислові енергетичні плантації – майбутнє України. *Біоенергетика*, 3 2(6), 2015. С. 4–5.
2. Заїменко Н. В., Рахметов Д. Б., Рахметов С. Д. Перспективи використання нових малопоширених енергетичних рослин як сировини для твердого біопалива в Україні. *Біоенергетика*, № 1(7), 2016. С. 4–10.
3. Корнеєва М. О., Тимчишин С. М., Тимчишин Л. С. Характеристика компонентів цукрово-кормових гібридів буряків, придатних для виробництва біопалива: Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків. Київ: ФОП Корзун Д. Ю., 2017. Вип. 25. С. 54–60.
4. Дубчак О. В., Кротюк Л. А., Орлов С. Д. Добір батьківських компонентів для створення гібридів буряків кормово-цукрового напрямку. *Цукрові буряки*, № 3, 2016. С.4–7.
5. Роїк М. В., Корнеєва М. О. Напрями, методи та стратегія розвитку селекції. *Цукрові буряки* №6, 2015. С. 7–9.
6. Корнеєва М. О., Тимчишин С. М., Сидорчук С. І., Тимчишин Л. С.. Оцінка і добір за енергетичними показниками компонентів гібридів буряків цукрових, придатних для виробництва біопалива. *Новітні агротехнології*. <http://plant.gov.ua/uk/2016-1-1>
7. Методики проведення досліджень у буряківництві / М. В. Роїк, Н. Г. Гізбуллін, В. М. Сінченко, О. І. Присяжнюк [ та ін.]; Київ: ФОП Корзун Д. Ю., 2014. 374 с.
8. Методичні рекомендації з технології вирощування енергетичних цукрових буряків. *Київ: ІБКіЦБ, 2015. 30 с.*

## References

1. Roiik, M. V. & Yaholnyk, O. H. (2015). Agro-industrial energy plantations are the future of Ukraine. *Bioenerhetyka* [Bioenergy], 2(6). 4–5 [in Ukrainian]
2. Zaimenko, N. V., Rakhmetov D. B., Rakhmetov S. (2006). Prospects for the use of new low-energy plants as raw materials for solid biofuels in Ukraine. *Bioenerhetyka* [Bioenergy], 1(7). 4–10 [in Ukrainian]
3. Kornieieva, M. O., Tymchyshyn, S. M., & Tymchyshyn, L. S. (2017). Characteristics of the components of sugar-fodder hybrids suitable for biofuel production. *Naukovi pratsi Instytutu bioenerhetychnykh kultur i tsukrovykh buriakiv*: Kyiv: FOP Korzun D. Yu.. 5. 54–60.
4. Dubchak, O. V., Krotiuk, L. A., Orlov S. D. (2016). Selection of parent components for sugar-fodder beet hybrids. *Tsukrovi buriaky* [Sugar Beet], 3. 4–7. [in Ukrainian]
5. Roik, M. V., & Kornieieva, M. O. (2016). Directions, methods and strategy for the development of sugar beet breeding. *Tsukrovi buriaky* [Sugar Beet], 6. 7–9. [in Ukrainian]
6. Kornieieva, M. O., Tymchyshyn, S. M., Sydorhuk, S. I., Tymchyshyn, L. S.. Evaluation and selection of energy components of sugar beet hybrids suitable for biofuel production. *Novitni ahrotekhnologii* [Advanced Agritechnologies]. <http://plant.gov.ua/uk/2016-1-1>
7. Royik, M. V., Hizbullin, N. H., Sinchenko, V. M., Prysiazhniuk, O. I. et. al. (2014). *Metodyky provedennia doslidzhen u buriakivnytstvi* [Methods of research in beet growing]. Kyiv: FOP Korzun D. Yu.. [in Ukrainian]
8. *Metodychni rekomendatsii z tekhnologii vyroshchuvannia enerhetychnykh tsukrovykh buriakiv*. [Methodical recommendations on the technology of growing energy sugar beet]. (2015) Kyiv: Institute of bioenergy crops and sugar beet. [in Ukrainian]

UDC 633.63:631.52

**Kornieieva, M. O. Breeding sugar-fodder beet hybrids for biofuel production.**

*Grain Crops*. 2022. 6 (2). 14–20.

*Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03141, Ukraine.*

**Topicality.** The development of biofuel engineering in Ukraine demands to cultivate the agrofuel crops as renewable energy sources. The sugar-fodder hybrids created using high-value sterile forms of sugar beet and fertile forms of fodder beet may hold promise for biofuel feedstock production. **Purpose.** Develop experimental sugar-fodder beet hybrids with high energy yield, suitable for alternative biofuels production, and select the best ones. **Materials and Methods.** 6 pollen-sterile breeding lines of sugar beet and 23 selection numbers of fertile fodder beet were used to create the sugar-fodder hybrids. The breeding process comprised the following steps: selection of initial parental lines, evaluation them by combining ability, and, based on the best, formation of the hybrids. Method of multi-tester top crossing was applied and field trials of the experimental hybrids held. **Results.** The parent components varied significantly in energy yield, which ranged within 53.5–61.5 GJ/ha (for the MS-samples) and from 80.0 to 87.8 GJ/ha for the top 4 pollinators. On completion of the tester crosses, the following have been selected: MS-samples of the sugar beet lines MS Iv. 24869 and MS Iv. 2484 with proven significant effects of general combining ability at 6.7 GJ/ha and 4.0 GJ/ha; and pollinators of the fodder beet varieties Halytskyi and Lvivskyi zhovtyi – at 8.0 GJ/ha and 6.5 GJ/ha, respectively. In the genotypic structure of variability of the “energy output” trait, the total share of the influence of valuable additive gene complexes of parental samples (51 %) was almost equivalent to the share of non-additive interaction of components (49 %). **Conclusions.** By the method of combinative selection, three new genotypes of sugar-fodder hybrids have been developed, with energy output rate higher than 120 GJ/ha, suitable for the biofuel production from renewable sources. These are the genotypes MS Iv. 24869/k 41/42; MS Iv. 24869/k 13/14; and MS Iv. 24869/s. Lvivskyi zhovtyi, with indicators exceeding the standard by 14.3 %, 15.4 % and 8.5 %, respectively.

**Keywords:** *bioenergy, pollen-sterile forms, pollinators, sugar-fodder hybrids, combining ability, energy yield*