

УДК 633.63:631.52

Селекція гібридів буряків цукрових, придатних для виробництва біопалива

Корнєєва М.О.,  Орлов С.Д., 

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України

✉ mira31@ukr.net

Корнєєва М.О., Орлов С.Д. Селекція гібридів буряків цукрових, придатних для виробництва біопалива. Збірник наукових праць «Агробіологія», 2022. № 2. С. 182–192.

Korniceva M., Orlov S. Breeding of sugar beet hybrids suitable for the production of biofuel. «Agrobiologiya», 2022. no. 2, pp. 182–192.

Рукопис отримано: 21.11.2022 р.
Прийнято: 05.12.2022 р.
Затверджено до друку: 27.12.2022 р.

doi: 10.33245/2310-9270-2022-174-2-182-192

Розвиток біоенергетики в Україні потребує вирощування енергетичних культур як відновлювальних джерел енергії. Як сировина для виробництва біопалива селекційну перспективу можуть мати гібриди буряків цукрових, створені з використанням цінних стерильних і фертильних форм. Тому метою передбачається створення експериментальних гібридів буряків цукрових з високим виходом енергії, придатних для отримання альтернативних видів біопалива, і відібрати кращі із них. Під час створення гібридів буряків цукрових використано по 6 стерильних за пилком зразків та фертильних різного еколого-генетичного походження. Етапами селекційного процесу були відбір вихідних батьківських компонентів, оцінка їх за комбінаційною здатністю та на основі кращих із них формування гібридів буряків цукрових. Застосовано метод багатотестерних топ-кросів та польові випробування експериментальних гібридів буряків цукрових. З'ясовано, що батьківські компоненти буряків цукрових достовірно відрізнялися між собою за виходом біоетанолу, показники яких коливалися у межах 2,06–2,43 т/га (ЦЧС лінії) та 2,23–2,73 т/га (запилювачі). Найвищий вихід енергії в топкросних гібридів буряків цукрових відзначено у комбінаціях, створених за участю пилкостерильних зразків Ів. 24869 (61,5 ГДж/га) і Ів. 24845 (58,4 ГДж/га). Їх ефекти ЗКЗ були достовірно позитивними і становили відповідно 6,7 і 4,0 ГДж/га. Кращими запилювачами буряків цукрових визнано номери 1233-Ян.3 (2х) і 1183 02024 (2х). У генотиповій структурі мінливості ознаки «вихід цукру» сумарна частка впливу цінних адитивних комплексів генів батьківських форм буряків цукрових (51 %) була майже рівнозначною частці неадитивної взаємодії компонентів (49 %). Методом комбінаційної селекції створено два нових гібридні генотипи буряків цукрових, придатних для виробництва біопалива з відновлювальних джерел, у яких вихід енергії перевищував груповий стандарт на 10,6 та 12,6 %.

Ключові слова: біоенергетика, пилкостерильні форми, запилювачі, гібриди буряків цукрових, комбінаційна здатність, вихід енергії.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Стрімкий розвиток біоенергетики, що є світовим трендом, сприяє зниженню імпорту палива, заміщуючи вагомому частку традиційних енергоресурсів і в такий спосіб посилює безпеку України [1, 2]. Запаси видобувних вуглеводнів різко зменшуються, тому наукова спільнота посилено шукала нові енергоносії, звернувши увагу на енергетичний потенціал сільськогосподарських культур [3–5]. Саме тому аграрна наука орієнтує агропромисловий комплекс України на вирощування енергетичних культур як відновлювальних джерел енергії. Сучасні технології переробляння фітомаси дозволяють перетворювати енергію, акумульовану рослинами упродовж онтогенезу, на енергію,

яка слугує потребам народного господарства [6, 7].

З огляду на ощадливе використання традиційних енергоносіїв, збереження довкілля, а також розвиток перспективного напрямку аграрного сектору України, нині вивчають і вирощують такі культури як міскантус, просо прутувидне, енергетична верба, сорго, тополя та ін. [8, 9]. Водночас біоенергетичною культурою, що придатна для виробництва альтернативних видів палива, є також культура буряку (*Beta vulgaris L.*) – як цукрового, так і кормового [10]. Ефективність селекційної роботи зі створення таких гібридів залежить від залучення до схрещування донорів і джерел цінних ознак – носіїв генних комплексів, що контролюють селекційно зна-

чуці ознаки біоенергетичного потенціалу буряків цукрових [11–14].

Вітчизняні наукові організації, такі як Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків (ІБКіЦБ) та його мережа, Інститут землеробства (ННЦ ІЗ), Інститут сільського господарства Карпатського регіону (ІСГКР) та інші мають ознакові колекції пилкостерильних форм буряків цукрових, а також фертильні форми – запилювачі (лінії, зразки, сорти, селекційні номери), які можуть бути використані для формування гібридів буряків цукрових на основі цитоплазматичної чоловічої стерильності, придатних для виробництва альтернативних видів біопалива [15, 16].

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 мають підвищений біоенергетичний потенціал (вихід біоетанолу, вихід енергії) [17–19].

Метою дослідження було створити експериментальні гібриди буряків цукрових з високим виходом енергії, придатні для отримання альтернативних видів біопалива, і відібрати кращі із них.

Матеріал і методи дослідження. Дослідження проведено в 2016–2020 рр. в Інституті біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України (ІБКіЦБ). Вихідними матеріалами для досліджень слугували 6 диплоїдних стерильних зразків (материнська форма) іванівського, ялтушківського, уманського та уладівського походження, а також 6 диплоїдних багатонасінних запилювачів (батьківська форма).

Етапами технології селекційного процесу створення гібридів буряків цукрових на основі ЦЧС, придатних для виробництва альтернативних видів біопалива, були: підбір вихідних форм – ЦЧС ліній та запилювачів з колекцій різних форм буряків цукрових, 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 схрещувань 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 сівби широкорядний з шириною міжрядь 45 см. Площа ділянки – 13,5 м². Повторність – триразова.

Аналіз селекційної цінності вихідних генотипів за показниками урожайності коренеплодів та цукристості проводили за методикою [8]. Енергетичні показники визначали за методикою [19].

Результати дослідження та обговорення. Зважаючи на те, що властивості компонентів успадковуються у гібридів, було вивчено компоненти гібридів за толерантністю до хвороб, за елементами продуктивності і біоенергетичними показниками.

Як показав аналіз даних 2016–2018 рр., ураженості коренеплодів коренеїдом та шкідниками не спостерігали. Проте зафіксовано незначні ураження листового апарату рослин (на рівні 1–2 балів) церкоспорозом (табл. 1).

Таблиця 1 – Ураженість селекційних номерів буряку цукрового хворобами і шкідниками, ІБКіЦБ, 2016–2018 рр.

| № з/п | Селекційні зразки | Ураженість, бал | | |
|---|-------------------|-----------------|---------------|------------|
| | | коренеїдом | церкоспорозом | шкідниками |
| Цитоплазматично-чоловічостерильні зразки буряків цукрових | | | | |
| 1 | ЦЧС Ів. 24869 | 0 | 1 | 0 |
| 2 | ЦЧС Ів. 24845 | 0 | 2 | 0 |
| 3 | ЦЧС Ялт. ЧС-7 | 0 | 1 | 0 |
| 4 | ЦЧС Ів. 24404 | 0 | 2 | 0 |
| 5 | ЦЧС Улад. 28119 | 0 | 1 | 0 |
| 6 | ЦЧС Умань. 1212 | 0 | 1 | 0 |
| Багатонасінні запилювачі | | | | |
| 1 | 1233 ЯнЗ (2х) | 0 | 1 | 0 |

Продовження табл. 1

| | | | | |
|---|-----------------|---|---|---|
| 2 | 1180 02002 (2x) | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 1182 02015 (2x) | 0 | 1 | 0 |
| 4 | 1234 02013 (2x) | 0 | 1 | 0 |
| 5 | 1184 В2 (2x) | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 1183 02024 (2x) | 0 | 1 | 0 |

Стерильні рослини буряків іванівської селекції селекційних номерів ЧС Ів. 24404 та ЧС Ів. 24404 характеризувалися ураженістю до 2 балів. Диплоїдні багатонасінні запилювачі буряків 1180 02002 (2x) та 1184 В2 (2x) характеризувалися толерантністю до всіх патогенів одночасно. Загалом, схильність до ураження церкоспорозом була більш притаманною пилкостерильним формам буряків порівняно з фертильними зразками, що, ймовірно, пов'язано з вищою інбредністю материнського компонента (до дослідів було залучено стерильні лінії четвертого насичуючого схрещування).

За результатами сортовипробування було визначено інтегральні показники, які характеризують ефективність вирощування енергетичних буряків цукрових – вихід біопалива (біоетанолу, біогазу) та вихід енергії.

У таблиці 2 наведено господарсько цінні показники материнських і батьківських форм, їх енергетичні показники як можливих компонентів (материнські і батьківські) гібридів буряків цукрових.

Урожайність зразків буряків цукрових коливалася в межах 32,5–38,3 т/га, а цукристість – 13,0–14,0 %. Найкращим серед стерильних форм за виходом біоетанолу була лінія ЧС Ів. 24845, у якої цей показник становив 2,43 т/га, а вихід енергії – 60,72 ГДж/га.

Пилкостерильні форми, залучені у дослід як вихідні матеріали, мали різне еколого-генетичне походження. Три зразки буряків цукрових належали селекції Іванівської дослідно-селекційної станції, один походженням з Ялтушківської дослідно-селекційної станції, один виведено на основі аборигенних матеріалів Уладівської дослідно-селекційної станції, і один Уманської дослідно-селекційної станції. Показники врожайності та цукристості багатонасінних запилювачів буряків цукрових були вищими, ніж у стерильних форм. Зокрема, їх урожайність становила 34,7–41,4 т/га, а цукристість – 14,0–15,6 %, що позначилося на показнику виходу біоетанолу.

Кращими селекційними зразками за виходом біоетанолу та виходом енергії були запилювачі 1183 02024 (2x) та 118202015 (2x).

Таблиця 2 – Вихід біоетанолу та енергії стерильних та фертильних форм – компонентів гібридів буряків цукрових, ІБКіЦБ, 2016–2018 рр.

| Селекційні зразки буряків цукрових | Урожайність коренеплодів, т/га | Цукристість коренеплодів, % | Вихід біоетанолу, т/га | Вихід енергії, ГДж/га |
|------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|------------------------|-----------------------|
| ЦЧС зразки буряків цукрових | | | | |
| ЦЧС Ів. 24869 | 34,9 | 14,0 | 2,24 | 56,07 |
| ЦЧС Ів. 24845 | 37,8 | 14,0 | 2,43 | 60,72 |
| ЦЧС Ялт. ЧС-7 | 38,3 | 13,0 | 2,28 | 57,13 |
| ЦЧС Ів. 24404 | 36,3 | 13,8 | 2,30 | 57,48 |
| ЦЧС Улад. 28119 | 32,5 | 13,8 | 2,06 | 51,46 |
| ЦЧС Умань. 1212 | 35,2 | 14,1 | 2,26 | 56,54 |
| НІР _{0,05} | 2,2 | 0,3 | 0,93 | 1,4 |
| Багатонасінні запилювачі | | | | |
| 1233 Ян (2x) | 39,2 | 14,4 | 2,59 | 64,77 |
| 1180 0200 (2x) | 41,4 | 14,0 | 2,66 | 66,50 |
| 1182 В2 (2x) | 39,4 | 15,0 | 2,71 | 67,81 |
| 1234-02013 (2x) | 38,8 | 14,6 | 2,60 | 65,00 |
| 1184 В2 (2x) | 34,7 | 14,0 | 2,23 | 55,74 |
| 1183 02024 (2x) | 38,1 | 15,6 | 2,73 | 68,20 |
| НІР _{0,05} | 2,4 | 0,30 | 0,36 | 3,1 |

У цих зразків вихід біоетанолу становив відповідно 2,73 та 2,71 т/га, а вихід енергії 68,20 та 67,81 ГДж/га.

Ці багатонасінні запилювачі буряків цукрових залучено до гібридизації як компоненти гібридів, у яких очікується отримати покращені енергетичні показники.

За виходом біогазу серед досліджуваних селекційних номерів буряків цукрових виділилися запилювачі 1180 02002 (2х), 1182 02015 (2х), 1233 Ян3 (2х) та пилкостерильний зразок ЦЧС Умань. 1212. Ці показники станови-

ли відповідно 3,31; 3,09; 2,73 та 2,65 тис. м³/га (табл. 3). Їх залучали до схрещувань за відповідними схемами з метою отримання перспективних гібридних комбінацій, придатних для виробництва біогазу.

Низький показник виходу біогазу було зафіксовано у пилкостерильних селекційних зразків іванівського походження ЦЧС Ів. 24869 – 2,04 тис. м³/га, ЦЧС Ів. 24404 – 2,28 тис. м³/га та у фертильного зразка – диплоїдного багатонасінного запилювача 1184 В2 (2х) 2,14 тис. м³/га.

Таблиця 3 – Вихід біогазу і вихід енергії у стерильних та фертильних форм буряків цукрових, ІБКіЦБ, 2016–2018 рр.

| № з/п | Селекційні зразки | Коренеплоди | | Гичка | | Вихід біогазу, тис. м ³ /га | Вихід енергії, ГДж/га |
|---|---------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|--|-----------------------|
| | | урожайність, т/га | вміст сухої речовини, % | урожайність, т/га | вміст сухої речовини, % | | |
| Цитоплазматично-чоловічостерильні форми | | | | | | | |
| 1 | ЦЧС Ів. 24869 | 34,9 | 18,2 | 15,2 | 14,8 | 2,04 | 44,38 |
| 2 | ЦЧС Ів. 24845 | 37,8 | 19,4 | 16,4 | 15,3 | 2,41 | 52,56 |
| 3 | ЦЧС Ялт. ЧС-7 | 38,3 | 19,6 | 16,6 | 15,2 | 2,42 | 52,66 |
| 4 | ЦЧС Ів. 24404 | 36,3 | 19,1 | 15,8 | 15,2 | 2,28 | 49,72 |
| 5 | ЦЧС Ул. 28119 | 32,5 | 18,1 | 14,1 | 16,6 | 2,51 | 54,80 |
| 6 | ЦЧС Ум. 1212 | 35,2 | 19,3 | 16,0 | 16,2 | 2,65 | 57,86 |
| Багатонасінні запилювачі | | | | | | | |
| 1 | 1233 Ян3 (2х) | 39,2 | 18,94 | 17,8 | 15,6 | 2,73 | 59,48 |
| 2 | 1180 02002 (2х) | 41,4 | 20,0 | 20,2 | 15,7 | 3,31 | 72,12 |
| 3 | 1182 02015 (2х) | 39,4 | 19,7 | 18,5 | 14,3 | 3,09 | 67,30 |
| 4 | 1234 02013 (2х) | 38,8 | 18,9 | 17,6 | 15,4 | 2,62 | 57,08 |
| 5 | 1184 В2 (2х) | 34,7 | 19,2 | 15,8 | 15,9 | 2,14 | 46,72 |
| 6 | 1183 02024 (2х) | 38,1 | 19,6 | 17,3 | 15,3 | 2,55 | 55,70 |
| | НІР _{0,05} | 2,4 | 0,4 | 1,5 | 0,4 | 0,42 | 4,91 |

Ці номери з погляду практичного використання не мають перспективи і вилучені з селекційного процесу.

За добору компонентів для гібридизації необхідно завжди враховувати взаємозв'язки кількісних ознак в системі цілісного генотипу. За рівних значень урожайності коренеплодів і вмісту сухої речовини (з урахуванням найменшої істотної різниці) у селекційних номерів різного походження ЦЧС Ів. 24845 (іванівського) та ЦЧС Ялт. ЧС-7 (ялтушківського) показники виходу біоетанолу і виходу енергії були однаковими. Це вказує на пряму залежність їх значень від інтегральної ознаки – збору цукру.

За створення цукрових гібридів на фенотиповий прояв цих ознак значно впливають

не лише умови зовнішнього середовища, а також, передусім, комбінаційна цінність компонентів. Тому у дослідженнях було здійснено добір кращих зразків буряків цукрових 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 (ЦЧС форм і запилювачів), що характеризуються генетичною цінністю за біоенергетичними показниками, можна очікувати гетерозисний ефект. На рисунку 1 наведено кількісні значення генетичної цінності пилкостерильних ліній, які визначено за топкросними схрещуваннями.

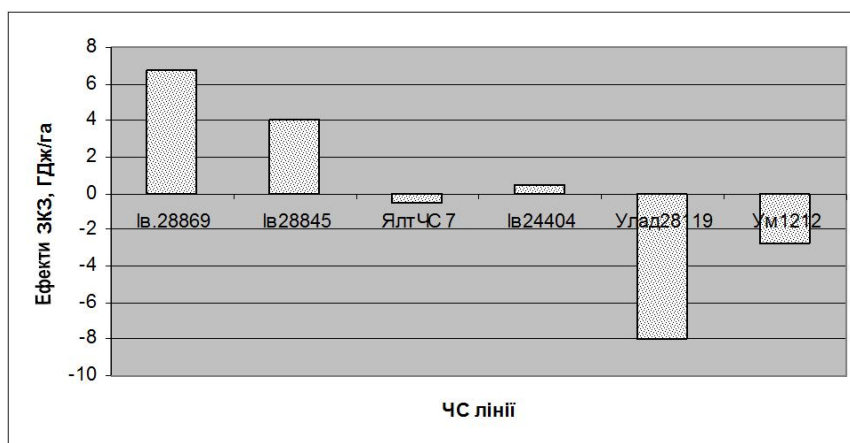


Рис. 1. Ефекти ЗКЗ (загальної комбінаційної здатності) за ознакою вихід енергії, ГДж/га.

Найвищий вихід енергії (розрахункові дані по продуктивних властивостях) в топкросних гібридів був відзначений в комбінаціях, створених за участю пилкостерильних зразків Ів. 24869 (61,5 ГДж/га) і Ів. 2484 (58,4 ГДж/га). Їх ефекти ЗКЗ були достовірно позитивними і становили відповідно 6,7 і 4,0 ГДж/га.

Водночас важливим показником за створення гібридів буряків цукрових є генетична цінність другого компоненту – батьківської форми (запилювача), яка була визначена

за двотестерними топкросними гібридами. Як виявилось, ефекти ЗКЗ шести запилювачів коливалися від -9,5 до 13 ГДж/га (рис. 2). Кращими зразками визнано лінії БЗ 1 (№ 1233-Ян. 3 (2х) і БЗ 5 (№ 1183 02024 (2х), що показали достовірно високі позитивні ефекти комбінаційної здатності відповідно +13,0 і +12,5 ГДж/га, тимчасом як інші зразки, що мають низький позитивний або негативні ефекти ЗКЗ, підлягають бракуванню або ж додатковому селекційному опрацюванню.

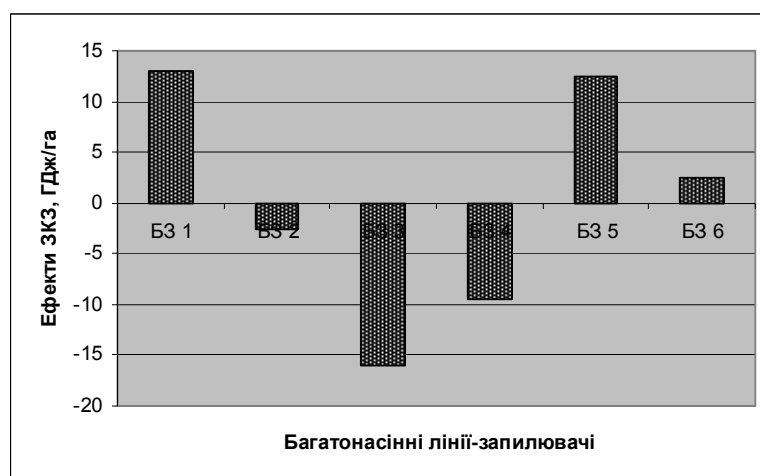


Рис. 2. Ефекти ЗКЗ за показником вихід енергії багатонасінних запилювачів буряків цукрових – компонентів гібридів.

Примітка: БЗ 1 – польовий номер 1233-Ян3 (2х); БЗ 2 – 1180 02002 (2х); БЗ 3 – 1182 02015 (2х); БЗ 4 – 1234 02013 (2х); БЗ 5 – 1184 В2(2х); БЗ 6 – 1183 02024 (2х).

На підставі дисперсійного аналізу топкросних гібридів визначена структура генотипової мінливості ознаки вихід енергії. Як відомо, на прояв ознаки впливають не лише адитивні ефекти батьківських ліній, а також їх взаємодія (неадитивна варіанса). Якщо

вплив адитивної складової генотипової дисперсії батьківських форм інтерпретує показник ЗКЗ, то неадитивні взаємодії, зокрема епістатичні, характеризують показники специфічної комбінаційної здатності (СКЗ). Аналіз часток впливу цих компонентів показав,

що переважаючими у генотиповій мінливості (51 %) результуючої ознаки вихід енергії були ефекти взаємодії материнської та батьківської форм (рис. 3). Це свідчить про важливість підбору пар за формування гіб-

ридів буряків цукрових, які будуть використовувати для отримання біоетанолу у біоенергетичних цілях, що дасть високі показники виходу енергії.

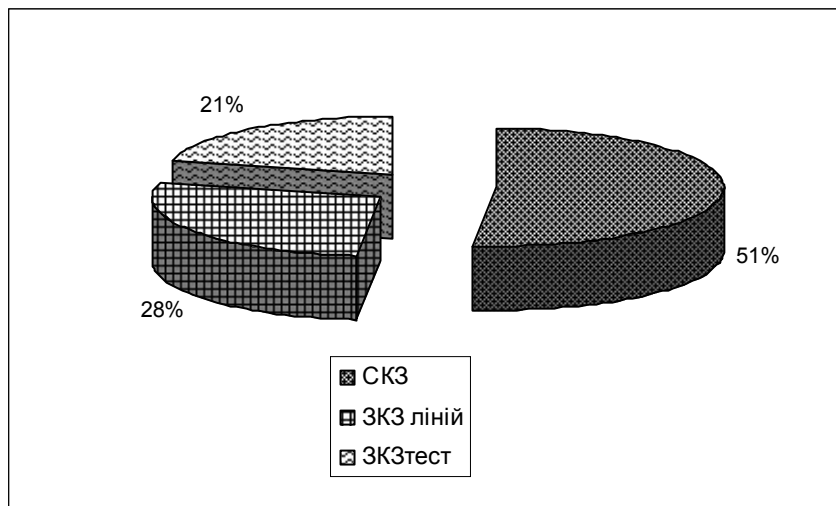


Рис. 3. Структура генотипової мінливості ознаки «вихід енергії» топкросних гібридів буряків цукрових.

Адитивні ефекти пилкостерильних форм (материнський компонент) становили 28 %, а для фертильних запилювачів ця частка була дещо меншою (21 %). Однак, сумарний вплив цінних адитивних комплексів генів батьківських форм на формування ознаки і ефекти їх взаємодії в конкретному наборі селекційних зразків – компонентів виявилися рівноцінними.

Отже, на підставі вивчення комбінаційної здатності результуючої ознаки вихід енергії компонентів гібридів буряків цукрових шести диплоїдних стерильних ліній іванівського, ялтушківського, уманського і уладівського походження, а також шести диплоїдних багатонасінних запилювачів, відібрані кращі зразки: ЦЧС Ів. 24869 і ЦЧС Ів. 2484 (материнська форма), а також БЗ 1 (№ 1233-Ян.3 (2х) і БЗ 5 (№ 1183 02024 (2х) (батьківська форма). Ці компоненти необхідно викорис-

товувати за створення гібридів буряків цукрових для отримання біопалива.

У генотиповій структурі ознаки вихід енергії переважаюча частка впливу належить ефектам взаємодії батьківських форм (51 %), що слід враховувати за підбору батьківських пар для схрещувань з метою отримання гібридів з високим виходом енергії. Схрещування шести пилкостерильних ліній різного походження та шести багатонасінних ліній запилювачів проводили по схемі багатотестерного топкросу на ділянках вільного перезапилення. Насіння збирали з кожного номера окремо. Випробування здійснювали за методом рендомізації в основному сортовипробуванні.

Показники урожайності і цукристості гібридних зразків буряків цукрових наведено в таблиці 4, а енергетичні показники – у таблиці 5.

Таблиця 4 – Показники урожайності і цукристості гібридів буряків цукрових, 2016–2018 рр.

| Компоненти гібридів | БЗ 1 | БЗ 2 | БЗ 3 | БЗ 4 | БЗ 5 | БЗ 6 |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|
| Урожайність, т/га | | | | | | |
| ЦЧС Ів. 24869 | 58,4 | 50,6 | 49,7 | 50,2 | 57,2 | 54,9 |
| ЦЧС Ів. 24845 | 56,9 | 46,8 | 50,3 | 49,9 | 59,1 | 55,2 |
| Ялт. ЦЧС-7 | 50,1 | 42,9 | 44,7 | 51,1 | 54,8 | 53,4 |
| ЦЧС Ів. 24404 | 46,1 | 45,4 | 46,6 | 48,9 | 50,3 | 53,9 |

Продовження табл. 4

| | | | | | | |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|
| ЦЧС Улад. 28119 | 35,9 | 38,9 | 47,6 | 47,6 | 49,3 | 50,3 |
| ЦЧС Умань. 1212 | 41,3 | 42,2 | 45,9 | 45,9 | 49,4 | 52,9 |
| Цукристість, % | | | | | | |
| ЦЧС Ів. 24869 | 16,5 | 16,1 | 16,3 | 16,3 | 16,4 | 16,3 |
| ЦЧС Ів. 24845 | 16,1 | 15,9 | 16,1 | 15,9 | 16,6 | 16,1 |
| ЦЧС Ялт. ЧС-7 | 16,3 | 16,2 | 16,2 | 16,0 | 16,3 | 16,0 |
| ЦЧС Ів. 24404 | 16,3 | 16,1 | 16,5 | 15,8 | 16,8 | 16,4 |
| ЦЧС Улад. 28119 | 16,5 | 16,0 | 16,2 | 16,1 | 15,9 | 16,2 |
| ЦЧС Умань. 1212 | 16,4 | 16,2 | 16,0 | 15,9 | 16,1 | 16,2 |

Примітка: БЗ 1 – № 1233-ЯнЗ (2х); БЗ 2 – 1180 02002 (2х); БЗ 3 – 1182 02015 (2х); БЗ 4 – 1234 02013 (2х); БЗ 5 – 1184 В2 (2х); БЗ 6 – 1183 02024 (2х).

Показники урожайності і цукристості групового стандарту буряків цукрових становили відповідно 53,1 т/га і 16,2 %, що відповідає виходу біоетанолу – 3,95 т/га та виходу енергії 98,71 ГДж/га.

Таблиця 5 – Показники виходу біоетанолу та виходу енергії гібридів буряків цукрових, 2016–2018 рр.

| Компоненти гібридів | БЗ 1 | БЗ 2 | БЗ 3 | БЗ 4 | БЗ 5 | БЗ 6 |
|-----------------------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|
| Біоетанол, т/га | | | | | | |
| ЦЧС Ів. 24869 | 4,42 | 3,73 | 3,71 | 3,76 | 4,31 | 4,11 |
| ЦЧС Ів. 24845 | 4,20 | 3,42 | 3,72 | 3,64 | 4,50 | 4,08 |
| Ялт. ЦЧС-7 | 3,75 | 3,19 | 3,32 | 3,75 | 4,10 | 3,92 |
| ЦЧС Ів. 24404 | 2,69 | 2,87 | 3,53 | 3,46 | 3,88 | 4,06 |
| ЦЧС Улад. 28119 | 2,72 | 2,86 | 3,60 | 3,52 | 3,60 | 3,74 |
| ЦЧС Умань. 1212 | 3,11 | 3,14 | 3,37 | 3,35 | 3,65 | 3,93 |
| Вихід енергії, ГДж/га | | | | | | |
| ЦЧС Ів. 24869 | 110,58 | 93,25 | 79,25 | 93,89 | 107,64 | 102,69 |
| ЦЧС Ів. 24845 | 105,0 | 85,39 | 92,93 | 91,04 | 112,58 | 101,98 |
| ЦЧС Ялт. ЧС-7 | 93,71 | 79,75 | 83,10 | 93,75 | 102,50 | 98,04 |
| ЦЧС Ів. 24404 | 67,15 | 71,87 | 88,23 | 86,41 | 96,97 | 101,43 |
| ЦЧС Улад. 28119 | 68,0 | 71,42 | 90,12 | 87,93 | 89,95 | 93,51 |
| ЦЧС Умань. 1212 | 77,75 | 78,45 | 84,27 | 83,75 | 91,27 | 98,34 |

Примітка: БЗ 1 – польовий номер 1233-ЯнЗ (2х); БЗ 2 – 1180 02002 (2х); БЗ 3 – 1182 02015 (2х); БЗ 4 – 1234 02013 (2х); БЗ 5 – 1184 В2 (2х); БЗ 6 – 1183 02024 (2х).

Найвищі показники по виходу біоетанолу мали такі гібриди буряків цукрових: ЦЧС Ів. 24869/1233-ЯнЗ (2х) – 4,42 т/га, і відповідно вихід енергії 110,58 ГДж/га; ЦЧС Ів. 24845/БЗ 5 – 1184 В2 (2х) – 4,50 т/га та вихід енергії 112,58 ГДж/га. Це були кращі гібриди з усього набору за рейтингом за показником вихід біоетанолу та вихід енергії. Ще чотири гібриди буряків цукрових перевищили відмітку у 100 ГДж/га з показниками виходу енергії 101,98–107,54 ГДж/га. Це пов'язано з тим, що в цих селекційних зразках буряків цукрових була найвища врожайність коренеплодів та їх цукристість.

Гібриди буряків цукрових, створені на

основі однакового набору пилкостерильних форм і фертильних запилювачів різного походження, значно різнилися за результируючою ознакою вихід енергії. Із запилювачами буряків цукрових БЗ 1 (№ 1233-ЯнЗ (2х)) та БЗ 5 (№ БЗ 5 – 1184 В2 (2х)) отримано чотири кращі комбінації.

З огляду на те, що результируючою ознакою є вихід енергії, зроблено порівняння цього показника гібридних комбінацій буряків цукрових, створених на основі запилювача БЗ 1 (1233-ЯнЗ(2х)) і БЗ 5 (1184 В2(2х)) як кращих, з якими вихід енергії перебільшив відмітку 100 ГДж/га, з груповим стандартом (рис. 4).

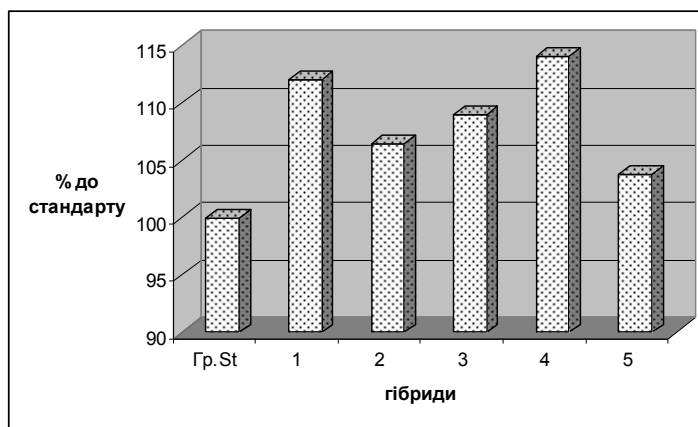


Рис. 4. Вихід енергії кращих гібридних комбінацій буряків цукрових, створених на основі комбінаційно цінних запилювачів БЗ 1 та БЗ 5.

За даними рисунка 4, серед цих комбінацій кращими є два гібриди буряків цукрових. Це – ЦЧС1/БЗ 1 (Ів. 24869/1233-ЯнЗ (2х); та ЦЧС2/БЗ 5 (ЧС Ів. 24845/1184 В2(2х)), що перевищують груповий стандарт відповідно на 10,6 і 12,6 %. Їх можна використовувати для вирощування з метою виробництва біопалива.

Отже, у результаті проведених досліджень оцінено компоненти гібридів буряків цукрових за комплексом господарсько цінних показників. Виділено багатонасінні запилювачі 1180 02002 (2х) та 1184 В2 (2х), що характеризувалися високим ступенем толерантності до вивчених патогенів одночасно. Найкращими за врожайністю були зразки буряків цукрових 1180 02002 (2х) – 41,4 т/га, 1182 02015 (2х) – (запилювачі) та Ялт. ЦЧС-7 (ЦЧС форма). Перспективними запилювачами за виходом біоетанолу і енергії виділено зразки 1183 02024(2х) та 1182 02015 (2х), за виходом біогазу – 1182 02015 (2х), 1233 ЯнЗ (2х) та ЦЧС Умань. 1212, на основі яких було сформовано експериментальні гібриди буряків цукрових, придатні для виробництва біопалива. Батьківські компоненти буряків цукрових достовірно відрізнялися між собою за виходом біоетанолу, показники яких коливалися у межах 2,06–2,43 т/га (ЦЧС лінії) та 2,23–2,73 т/га – запилювачі. Найвищий вихід енергії в топкросних гібридів буряків цукрових відзначено у комбінаціях, створених за участю пилкостерильних зразків Ів. 24869 (61,5 ГДж/га) і Ів. 24845 (58,4 ГДж/га). Їх ефекти ЗКЗ були достовірно позитивними і становили відповідно 6,7 і 4,0 ГДж/га. У генотиповій структурі мінливості ознаки вихід цукру сумарна частка впливу цінних ади-

тивних комплексів генів батьківських форм буряків цукрових (51 %) була майже рівнозначною частці неадитивної взаємодії компонентів (49 %).

Висновки. На основі проведених досліджень зі створення експериментальних гібридів буряків цукрових, придатних для виробництва біопалива, з'ясовано, що за абсолютними показниками кращими виявилися багатонасінні запилювачі 1180 02002 (2х) та 1184 В2 (2х) з високим ступенем толерантності до досліджуваних патогенів одночасно. Перспективними запилювачами (базові параметри зразків) за виходом біоетанолу та виходу енергії визнано зразки 1183 02024 (2х) та 118202015 (2х), за виходом біогазу – 1182 02015 (2х), 1233 ЯнЗ (2х) та ЦЧС Умань 1212, на основі яких сформовано експериментальні гібриди буряків цукрових, придатні для виробництва біопалива.

Основним критерієм для добору компонентів має бути не їх базові показники, а комбінаційна цінність, яка успадковується у гібридів. Найвищий вихід енергії в топкросних гібридів було відзначено у комбінаціях, створених за участю пилкостерильних ліній Ів. 24869 (61,5 ГДж/га) та Ів. 24845 (58,4 ГДж/га). Їх ефекти ЗКЗ були достовірно позитивними і становили відповідно 6,7 і 4,0 ГДж/га.

Кращими серед фертильних зразків визнано запилювачі БЗ 1 (№ 1233-Ян. 3 (2х) і БЗ 5 (№1183 02024(2х) (батьківська форма), з якими отримано відповідно два і три гібриди буряків цукрових з перевищенням групового стандарту на 2,5–12,6 %.

У генотиповій структурі ознаки вихід енергії переважаюча частка впливу належить ефектам взаємодії батьківських форм (51 %),

що слід враховувати за підбору батьківських пар для схрещувань з метою отримання гібридів буряків цукрових з високим виходом енергії.

Найбільш високим виходом енергії харак-

теризувалися гібридні зразки буряків цукрових на основі ЦЧС1 /БЗ 1 (Ів. 24869/1233-ЯнЗ (2х); та ЦЧС2/БЗ 5 (ЦЧС Ів. 24845/1184 В2(2х)), що перевищують груповий стандарт відповідно на 10,6 і 12,6 %.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Роїк М.В., Ягольник О.Г. Агропромислові енергетичні плантації – майбутнє України. Біоенергетика. № 2(6), 2015. С. 4–5.
2. Трипольська Г.С., Киризок С.В. Розвиток біоенергетики в Україні в контексті орієнтирів ЄС. Ринок: прогноз і кон'юнктура. 2018. № 3. С. 138–159. DOI: 10.15407/cip2018.03/138
3. Железна Т.А., Баштовий А.І. Аналіз основних тенденцій розвитку біоенергетики в Європейському Союзі. Промислова теплотехніка. 2018. № 3. С. 70–75. DOI: 10.31472/ihc.3.2018.09
4. Pyter R., Heaton E., Dohleman F., Voigt T., Long S. Agronomic experiments with *Miscanthus giganteus* in Illinois, USA. Biofuels: methods and protocols. 2009. Vol. 581. P. 41–52. DOI: 10.1007/978_1-60761-214-8_3.
5. Про альтернативні види палива: Закон України №1391-VI від 21.05.2009 р. URL: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/1391-14>.
6. Гументик М.Я., Бондар В.С. Економічна і енергетична ефективність вирощування біоенергетичних культур на біопаливо. Біоенергетика. 2018. № 1 (11). С. 16–19.
7. Заїменко Н.В., Рахметов Д.Б., Рахметов С.Д. Перспективи використання нових малопоширених енергетичних рослин як сировини для твердого біопалива в Україні. Біоенергетика. 2016. № 1(7). С. 4–10.
8. Plant Crops Bijenergy Research UK. University of Southampton and TSEC-Biosys consortium. 2008. URL: <http://www.tsec-bioses.as.uk/index.php?p=&ct=1&ss=4>
9. Рахметов Д.Б. Теоретичні та прикладні аспекти інтродукції рослин в Україні: монографія. Київ: Аграр Медіа Груп, 2011. 398 с.
10. Роїк М.В., Корнеєва М.О. Напрями, методи та стратегія розвитку селекції. Цукрові буряки. 2015. № 6. С. 7–9.
11. Карпук Л.М. Перспективи виробництва біопалива з цукрових буряків. Білоцерківський національний аграрний університет: науковий журнал. 2009. № 11. С. 78–87.
12. Дубчак О.В., Андреева Л.С., Вакуленко П.І., Паламарчук Л.Ю. Продуктивність гібридів цукрових буряків нового покоління. Зб. наук. пр. «Агробіологія». Біла Церква, 2021. С. 37–42.
13. Корнеєва М.О., Вакуленко П.І., Андреева Л.С., Дубчак О.В. Створення експериментальних гібридних комбінацій цукрових буряків за параметрами моделі гібриду нового покоління. Новітні агротехнології: теорія та практика: тези доповідей Міжнародної наук.-практ. конф., присвяченої 95-річчю ІБКіЦБ НААН. Вінниця: Нілан-ЛТД, 2017.
14. Корнеєва М.О., Тимчишин С.М., Тимчишин Л.С. Продуктивність і комбінаційна здатність компонентів цукрово-кормових гібридів, придатних для вироб-
- ництва біопалива. Корми і кормовиробництво: міжвідомчий тематичний науковий збірник. Вінниця, 2018. № 86. С. 67–100.
15. Дубчак О.В., Андреева Л.С., Вакуленко П.І., Корнеєва М.О. Створення моделі гібридів цукрових буряків нового покоління. Зб. наук. пр. ІБКіЦБ. 2015. Вип. 23. С. 90–96.
16. Роїк М.В., Корнеєва М.О. Селекція цукрових буряків: від ремесла до мистецтва творення. Буряківництво і біоенергетика в Україні: історія, наука, виробництво, люди. Вінниця: Нілан-ЛТД, 2017. С. 26–41.
17. Роїк М.В., Корнеєва М.О. Сучасні гібриди цукрового буряку і їх роль у прискоренні темпів інтенсифікації галузі. Вісник Харківського національного аграрного університету. 2006. № 4. С. 98–107.
18. Korneeva M.O., Nenka M.M. Variability of Combining Abilities of MS (Male Sterility) Lines and Sterility Binders of Sugar Beets as to Sugar Content. Chemical and Biochemical Technology Materials, Processing, and Reliability. Toronto – New Jersey: Apple Academic Press. 2014. P. 321–332.
19. Корнеєва М.О. Генетичний контроль урожайності у гібридів цукрових буряків, отриманих на основі діалельних схрещувань. Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків. 2021. (29). P. 118–123. DOI: 10.47414/np.29.2021.244
20. Методики проведення досліджень у буряківництві / М.В. Роїк та ін. Київ: ФОП Корзун Д.Ю., 2014. 374 с.
21. Методичні рекомендації з технології вирощування енергетичних цукрових буряків. Київ: ІБКіЦБ, 2015. 30 с.

REFERENCES

1. Roik, M.V., Yagolnyk, O.H. (2015). Agropromislovi enerhetychni plantacii' – majbutnje Ukrainy [Agricultural energy plantations are the future of Ukraine]. Bioenerhetyka [Bioenergetics], no. 2(6), pp. 4–5.
2. Tripolska, G.S., Kyryzyk, S.V. (2018). Rozvytok bioenerhetyky v Ukraini v konteksti oryentyriv ES [Development of bioenergy in Ukraine in the context of EU guidelines]. Rynok: prognos i konjunktura [Market: forecast and conjuncture], no. 3, pp. 138–159. DOI: 10.15407/cip2018.03/138
3. Zheleznova, T.A., Bashtoviy, A.I. (2018). Analis osnovnykh tendencyi rosvytku bioenerhetyky v Evropeyskomu Soysi [Analysis of the main trends in the development of bioenergy in the European Union]. Promyslova teplotechnika [Industrial heat engineering], no. 3, pp. 70–75. DOI: 10.31472/ihc.3.2018.09
4. Pyter R., Heaton, E., Dohleman, F., Voigt, T., Long, S. (2009). Agronomic experiments with *Miscanthus giganteus* in Illinois, USA. Biofuels: methods and pro-

tocols. Vol. 581, pp. 41–52. DOI: 10.1007/978_1-60761-214-8_

5. Pro alternativni vydy palyva: Zakon Ukraine №1391-VI vid 21.05.2009 r. [About alternative fuels: Law of Ukraine No. 1391-VI dated May 21, 2009]. Available at: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/1391-14>.

6. Gumentyk, M.J., Bondar, V.S. (2018). Ekonomichna i enerhetychna efektyvnist vyroschovany bioenerhetychnykh kultur na biopalyvo [Economic and energy efficiency of growing bioenergy crops for biofuel]. *Bioenerhetyka* [Bioenergetics], no. 1 (11), pp. 16–19.

7. Zaimenko, N.B., Rachmetov, D.B., Rachmetov S.D. (2016). Perspektivu vykorystany novykh maloposchreynykh enerhetychnykh roslyn jk syrovynu dlj tverdogo biopalyva v Ukraine [Prospects for the use of new rare energy plants as raw materials for solid biofuel in Ukraine]. *Bioenerhetyka* [Bioenergetics], no. 1(7), pp. 4–10.

8. Plant Crops Bijenergy Research UK. University of Southampton and TSEC-Biosys consortium. 2008. Available at: <http://www.tsec-bioses.as.uk/index.php?p=&&ct=1&ss=4>

9. Rachmetov, D.B. (2011). Teoretychni ta praktychni aspekty introdukciy roslyn in Ukrainian: monohrafya [Theoretical and applied aspects of plant introduction in Ukraine]. Kyiv, Ahrar Medya Grup, 398 p.

10. Roik, M.V., Kornieieva, M.O. (2016). Naprjamy, metody ta strategija rozvytku selekci. [Directions, methods and strategy for the development of sugar beet breeding]. *Tsukrovi buriaky* [Sugar Beet], no. 6, pp. 7–9.

11. Karpuk, L.M. (2009). Perspektivu vyrobnyztva biopalyva z zukrovuch burjkiv [Prospects for the production of biofuel from sugar beets]. *Bilpzerkyvskyy nacionalnyy ahrarnyy univesitet: naukovy schurnal* [Bila Tserkva National Agrarian University: scientific journal], no. 11, pp. 78–87.

12. Dubchak, O.V., Andreyva, L.S., Vakulenko, P.I., Palamarchuk, L.J. (2021). Produktivnist hibridiv zukrovuch burjkiv novoho pokolinj [Productivity of new generation sugar beet hybrids]. *Zb. nauk. pr. BNAU «Ahrrobiolohij»* [Collection of scientific works "Agrobiology"]. Bila Tserkva, pp. 37–42.

13. Kornieieva, M.O., Vakulenko, P.I., Andreyva, L.S., Dubchak, O.V. (2017). Stvorenja eksperimentalnykh hibrinuch kombinaziy zukrovuch burjkiv za parametramu, modeli hibridu novoho pokolinj [Creation of experimental hybrid combinations of sugar beets according to the parameters of the new generation hybrid model]. *Novitni ahrrotehnolohiy: teorija ta praktuka – Tezu dopovidey Mischnarodnoy nauk.-prakt. konfer., prusvjachenoy 95 richy IBKiZB NAAN* [The latest agricultural technologies: theory and practice: abstracts of the reports of the International scientific and practical conference dedicated to the 95th anniversary of the National Academy of Sciences of the Russian Academy of Sciences]. Vinnitsa, Nilan-LTD.

14. Kornieieva, M.O., Tymchyschin, S.M., Tymchyschin, L.S. (2018). Produktivnist i kombinazijna zdattist komponentiv zukrovo-kormovykh gibridov, prydatnykh dly vyrobnyztva biopalyva [Productivity and combining ability of components of sugarforage hybrids suitable for biofuel production]. *Kormy i kormovyrobnyztvo: myzhvidomchiy tematychniy naukoviy zbirnyk* [Fodder and fod-

der production: interdepartmental thematic scientific collection]. Vinnitsa, no. 86, pp. 67–100.

15. Dubchak, O.V., Andreyva, L.S., Vakulenko, P.I., Kornieieva, M.O. (2015). Stvorenja modeli hibridiv zukrovuch burjkiv novoho pokolinja [Creation of a model of new generation sugar beet hybrids]. *Zb. nauk. praz. IBKiZB* [Collection of scientific works of the IBKiCB]. Issue 23, pp. 90–96.

16. Roik, M.V., Kornieieva, M.O. (2017). Selekcija zukrovuch burjkiv: vid remesla do musteztva tvorenja [Selection of sugar beets: from craft to the art of creation]. *Burjakivnuztvo i bioenerhetuka v Ukrainian: istorija, nauka, vurobnuztvo, lydu* [Beet growing and bioenergy in Ukraine: history, science, production, people]. Vinnitsa, Nilan-LTD, pp. 26–41.

17. Roik, M.V., Kornieieva, M.O. (2006). Suchasni hibridu zukrovoho burjku i jch rol u pruskorenii tempiv intensifikaciy halusi [Modern sugar beet hybrids and their role in accelerating the rate of intensification of the industry]. *Visnuk Charkivskoho nazionalnoho ahrarnoho universitetu* [Bulletin of Kharkiv National Agrarian University], no. 4, pp. 98–107.

18. Kornieieva, M.O., Nenka M.M. (2014). Variability of Combining Ability es of MS (Male Sterility) Lines and Sterility Binders of Sugar Beets as to Sugar Content. *Chemical and Biochemical Technology Materials, Processing, and Reliability*. Toronto – New Jersey: Apple Academic Press. pp. 321–332.

19. Kornieieva, M.O. (2021). Henetuchnyy kontrol uroschaynosti u hibridiv zukrovuch burjkiv otrumanuch na osnovi dialelnykh schreschuvan [Genetic control of yield in sugar beet hybrids obtained on the basis of diallel crosses]. *Naukovi prazi Institutu bioenerhetychnykh kultur i zukrovuch burjkiv* [Scientific works of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet], no. (29), pp. 118–123. DOI: 10.47414/np.29.2021.244

20. Royik, M.V., Hizbullin, N.H., Sinchenko, V.M., Prysyzhnyuk, O.I. (2014). Methods of research in beetgrowing [Research methods in beet growing]. Kyiv, FOP Korzun D.Yu., 374 p.

21. *Metodychni rekomendatsii z tekhnolohii vyroshchuvannia enerhetychnykh tsukrovokh buriakiv* [Methodical recommendations on the technology of growing energy sugar beet]. Kyiv, IBKiCB, 30 p.

Breeding of sugar beet hybrids suitable for the production of biofuel

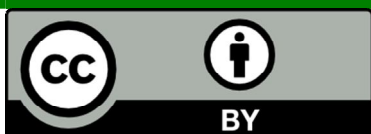
Kornieieva M., Orlov S.

The development of bioenergy in Ukraine requires the cultivation of energy crops as renewable sources of energy. Sugar beet hybrids created using valuable sterile and fertile forms can have a breeding perspective as a raw material for the production of biofuel. Therefore, the goal is to create experimental hybrids of sugar beets with high energy output, suitable for obtaining alternative types of biofuel, and to select the best of them. When creating sugar beet hybrids, 6 pollensterile and fertile samples of different ecological and genetic origins were used. The stages of the breeding process were the breeding of the original parental components, their evaluation by combining ability, and the formation of sugar beet hybrids based on

the best of them. The method of multi-tester top-crosses and field tests of experimental sugar beet hybrids were applied. It was found that the parental components of sugar beet significantly differed among themselves in terms of bioethanol yield, the indicators of which ranged from 2.06 to 2.43 t/ha (TCS lines) and 2.23 to 2.73 t/ha (pollinators). The highest energy yield in topcross hybrids of sugar beets was noted in combinations created with the participation of polliniferous samples Iv.24869 (61.5 GJ/ha) and Iv.24845 (58.4 GJ/ha). Their effects of ZKZ were reliably positive and amounted to 6.7 and 4.0 GJ/ha, respectively. Numbers 1233-Jan.3 (2x) and 1183 02024 (2x)

were recognized as the best pollinators of sugar beets. In the genotypic structure of variability of the "sugar yield" trait, the total share of the influence of valuable additive gene complexes of sugar beet parental forms (51 %) was almost equal to the share of non-additive interaction of components (49 %). By the method of combinatorial breeding, two new hybrid genotypes of sugar beets, suitable for the production of biofuel from renewable sources, were created, in which the energy yield exceeded the group standard by 10.6 and 12.6 %.

Key words: bioenergy, sterile forms, pollinators, sugar beet hybrids, combining ability, energy output.



Copyright: Корнеєва М.О., Орлов С.Д. © This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.



ORCID iD:

Корнеєва М.О. <https://orcid.org/0000-0001-7266-0970>

Орлов С.Д. <https://orcid.org/0000-0001-5759-862X>