

## ПЕРСПЕКТИВНІ ГІБРИДИ СОРГО ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ТВЕРДОГО ПАЛИВА

**М. Г. Носов, О. В. Яланський***Державна установа Інститут зернових культур НААН, вул. Володимира Вернадського, 14, м. Дніпро, 49009, Україна*

**Актуальність.** Україна налічує до 5 млн га земель, виведених з сільськогосподарських сіво-змін, які з успіхом можуть бути використані для біоенергетики. Ці ґрунти потребують рекультивациі. В тій чи іншій мірі вони представлені, як звичайними ґрунтами – забрудненими важкими металами, так і практично повністю деградованими глиноземами з високою засоленістю. **Визначення проблеми.** Завданням при освоєнні таких земель буде не тільки отримання біомаси для біоенергетичної галузі, а й відновлення родючості, поліпшення екологічного стану техногенного регіону, збільшення робочих місць. При належному використанні, враховуючи всі вищезазначені аспекти, ґрунти можуть поступово повертатися у сільськогосподарську сівозміну. **Мета.** Робота полягає у вивченні та підборі вихідного матеріалу для створення високоврожайних гібридів цукрового та віникового сорго для біоенергетичного напрямку використання з подальшим виробництвом твердого палива. **Матеріали та методи.** Висвітлено результати сортовипробування цукрового сорго на Синельниківській селекційно-дослідній станції (СДС), де вивчалось 59 зразків, які мали врожайність зеленої маси у межах 23–79 т/га. **Результати.** Перевищення над стандартом гібридом Ананас становило 52–183 %. Виділено перспективні гібридні комбінації які показали найбільшу врожайність зеленої маси:  $F_1$ (Низькоросле 93с x Карликове 45) – 79,7 т/га та  $F_1$ (Дн71с x Карликове 45) – 73,6 т/га. Врожайність зразків  $F_1$ (Ранне776с x Карликове 45) та  $F_1$ (Єфремівське біле 2с x Карликове 45) була децю меншою, і становила 67,4 і 67,0 т/га відповідно. За врожайністю зерна волотей виділилися  $F_1$ (Низькоросле 93с x Карликове 45) – 12,7т/га та  $F_1$ (A158 x Карликове 45) – 9,0 т/га. За врожайністю сухої речовини зеленої маси виділились  $F_1$ (Єфремівське біле 2с x Карликове 45) – 34,8 т/га  $F_1$ (Низькоросле 93с x Карликове 45) – 33,5 т/га. Найбільшим вмістом цукрів відрізнялися  $F_1$ (Низькоросле 93с x Красень) – 17,3 %,  $F_1$ (Ранне 776с x Красень) – 16,5 % та  $F_1$ (Єфремівське біле 2с x Карликове 45) – 16,4 %. Перевищення над стандартом становило 18 %. **Висновки.** Отже високопродуктивні гібриди цукрового сорго – це найбільш економічний і енергетично доцільний із заходів для забезпечення сировиною галузь біоенергетики. Виділений гібрид біоенергетичного напрямку використання  $F_1$ (Низькоросле 93с x Карликове 45), який вигідно відрізняється від стандарту продуктивністю та технологічністю. Також з'ясована цінність сорту Карликове 45, як запилювача при створенні гібридів для твердого біопалива

**Ключові слова:** сорго цукрове, біоенергетика, тверде паливо, фертильні лінії, врожайність, зелена маса.

**Вступ.** В останні десятиліття в світі все більше уваги приділяють пошуку шляхів використання енергоресурсів, які отримують з поновлюваних джерел енергії, особливо шляхом використання рослинної сировини. Перш за все, це пов'язано з нестабільністю цін на викопні джерела енергії і загрозою вичерпання їх запасів. Вважається, що в найближчій перспективі питома вага біопалива в загальних світових обсягах пального становитиме 7–10 % з подальшим зростанням. Разом з тим сучасна енергетика Ук-

раїни значною мірою базується на імпорті енергетичної сировини – нафти, газу, бензину, ціна на які постійно зростає.

На сьогоднішній день Україна має всі умови для виробництва та реалізації біопалива: вільні площі під вирощування зернових, олійних і спеціальних «енергетичних» культур; науковий, технічний та кадровий потенціал для виробництва альтернативної енергії, зростаюча внутрішня потреба в біопаливі. Відомо, що біопаливо це паливо, яке виробляється із живих організмів чи мета-

**Інформація про авторів**

**Носов Максим Геннадійович**, аспірант, провідний фахівець лаб. селекції соргових культур,  
e-mail: maksimnosov0102@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6649-905X> Моб.0685733999

**Яланський Олександр Володимирович**, канд. с.-г. наук, завідувач лаб. селекції соргових культур,  
e-mail: Rus-art@ua.fm, <https://orcid.org/0000-0002-6686-4165> Моб. 0961382067

болічних побічних продуктів (органіки або відходів харчових продуктів), дана категорія палива має містити понад 80 % відновлюваних матеріалів. В рамках розвитку програм з енергозбереження в Україні широкого розповсюдження набуває використання твердого біопалива.

В майбутньому, для забезпечення суспільства енергією, потреби у біомасі будуть відповідно збільшуватись, тому необхідна обґрунтована система її виробництва. Зараз цей вид палива виглядає безмежним, але звертаючись до нього слід піклуватися, щоб не винищити його джерело – землю. Наслідки виснаження цього джерела будуть більш тяжкими, ніж наслідки нестачі нафти та газу [1, 4]. Для ефективного використання землі з метою отримання стабільних урожаїв біомаси необхідно створити біоенергетичні сівозміни, в яких будуть брати участь як злакові, так і бобові культури. Сорго, завдяки своїй солевитривалості, повинно бути першою культурою в біоенергетичній сівозміні – культурою освоювачем. Але тільки за умови внесення повної дози добрив можливе досягнення бажаного позитивного ефекту як на ґрунти, так і на отримання сировини. Для забезпечення сировиною виробництво твердого палива потрібно створення сортової бази сорго, спеціально орієнтованої для вирощування у біоенергетичних сівозмінах. Із всіх видів сорго найбільш цікавим для виробництва твердого палива є цукрове сорго, яке здатне формувати від 50 до 100 т/га зеленої маси залежно від умов вирощування. Собівартість енергії, виробленої при згоранні пелет, в півтора рази менша, ніж від газу, і в три рази менша, ніж при згорянні дизельного палива. Однією з найбільш перспективних біоенергетичних культур є сорго – посухо- та солестійка невибаглива до ґрунтів культура. Сорго є цінною харчовою, кормовою і технічною культурою [2]. За поживністю воно близьке до кукурудзи. Сорго посідає 5 місце в світі за посівними площами після пшениці, рису, кукурудзи і ячменю. Щорічні площі посіву цієї культури становлять понад 45 млн га. Її вирощують більш ніж в 85 країнах світу.

Сорго характеризується такими господарсько-біологічними ознаками: рослини

високорослі (понад 3 м), середньої кущистості (2–3 стебла), мають соковиті стебла, здатні накопичувати до 18 % цукру у соку. Вегетаційний період становить 110–160 днів. Рослини відносно стійкі до попелиці, бактеріозу, сажки, а також до знижених температур на ранніх етапах вегетації [4]. Головним напрямком використання цукрового сорго було кормовиробництво, тому основна селекційна робота проводилась в цьому напрямку. Проаналізувавши потреби в отриманні сировинної бази для твердого біопалива, на ряду з високою врожайністю моделі ідеального гібриду повинні бути притаманні такі технологічні риси: – невибагливість, забезпечення стабільного врожаю в жорстких умовах вирощування на техногенно деградованих ґрунтах; – сухостебловість (це зменшить витрати на висушування при переробці сировини на тверде паливо); – високий вміст цукру у соку (забезпечує більший вихід енергії при згоранні). Виходячи з цього перед селекцією ставиться завдання створити нові технологічно адаптовані гібриди цукрового сорго та впровадити їх у виробництво. Незважаючи на сучасні технології все важче захистити посіви від негативного впливу шкідливих організмів та все більше зусиль й енергії на це витрачається. Це пояснюється швидким пристосуванням шкідливих організмів до певних змін. Завдяки постійному впливу на екосистему поля ми підвищуємо імунітет у шкідливих організмів та знижуємо його у культурних рослин. При виборі гібридів та сортів біоенергетичного напрямку треба орієнтуватися не на максимальне отримання продукції з одиниці площі, а на здатність забезпечення галузі сировиною з мінімальними енергетичними та економічними витратами. Для впровадження гібридів біоенергетичного напрямку використання необхідно створення вихідного матеріалу, орієнтованого на вирішення потреб цієї галузі.

На створення нового вихідного матеріалу біоенергетичного напрямку потрібно не менш 5–8 років, на створення та випробування гібриду 3–5 років. В ДУ Інститут зернових культур НААН України водночас розпочаті такі селекційні роботи:

– аналіз існуючого вихідного матеріалу на придатність до використання в створенні

біоенергетичних гібридів;

– розробка методів покращення вихідного матеріалу;

– створення нового вихідного матеріалу біоенергетичного напрямку.

– створення максимально наближених до ідеальної моделі біоенергетичних гібридів, їх удосконалення та передача до Державного випробування.

*Мета роботи* полягала у вивченні та підборі вихідного матеріалу для створення високоврожайних гібридів цукрового та вінікового сорго для біоенергетичного напрямку використання з подальшим виробництвом твердого палива.

**Матеріали та методи.** Дослідження проводились у 2021 р. на Синельниківській селекційно-дослідній станції Інституту зернових культур НААН України, яка знаходиться в Дніпропетровській області і від-

носиться до північної підзони Степу України. В конкурсному сортовипробуванні цукрового сорго вивчалось 59 зразків, досліди проводились в трьох кратній повторності, площа ділянок по 25 м<sup>2</sup>. Збір врожаю проводився вручну з подальшим зважуванням. Для визначення вмісту сухої речовини відбирали 3 наважки по 50 грам з двох несуміжних повторень, які важилися до та після сушки в сушильній шафі при температурі 100–105 °С до постійної маси. Потім, виходячи з цих даних розраховували вміст сухої речовини у відсотках.

**Результати та обговорення.** В конкурсному сортовипробуванні цукрового сорго на Синельниківській СДС вивчалось 59 зразків, які мали врожайність зеленої маси у межах 23–79 т/га. Перевищення над стандартом гібридом Ананас становило 52–183 %. Кращі з них представлені в таблиці.

**Таблиця. Врожайність кращих сортів та гібридів цукрового сорго конкурсного випробування на Синельниківській СДС в 2021р.**

| Сорт, гібрид                               | Врожай, т/га |         |                |                  | Вміст цукрів в сокові, % |     |      |
|--|--------------|---------|----------------|------------------|--------------------------|-----|------|
|  | зеленої маси | волотей | сухої речовини | % сухої речовини | МС                       | МВС |      |
| Ананас (ст.)                               | 39           | 5,9     | 25,1           | 64,4             | 5,8                      | 57  | 14,6 |
| Довіста                                    | 69,5         | 8,7     | 12             | 17,3             | 6,1                      | 94  | 13,5 |
| Мамонт                                     | 60,6         | 2,6     | 21             | 34,7             | 7,8                      | 99  | 16,3 |
| F <sub>1</sub> (Дн17с х Карликове 45)      | 63,9         | 5,3     | 33,4           | 52,3             | 6,4                      | 94  | 14,7 |
| F <sub>1</sub> (Дн39с х Карликове 45)      | 66,1         | 5,3     | 24,9           | 37,7             | 5,4                      | 76  | 11,5 |
| F <sub>1</sub> (Дн71с х Карликове 45)      | 73,6         | 6,4     | 16             | 21,7             | 5,8                      | 80  | 10,9 |
| F <sub>1</sub> (Низьк.93с х Карликове 45)  | 79,7         | 12,7    | 33,5           | 42,0             | 6,2                      | 98  | 12,3 |
| F <sub>1</sub> (А158х Карликове 45)        | 63,6         | 9       | 13             | 20,4             | 5,1                      | 74  | 11,6 |
| F <sub>1</sub> (Ранне776с х Карликове 45)  | 67,4         | 7       | 25,3           | 37,5             | 6,9                      | 104 | 15,5 |
| F <sub>1</sub> (Єфремів. біле 2с х Карл45) | 67           | 5       | 34,8           | 51,9             | 6,2                      | 110 | 16,4 |
| F <sub>1</sub> (Низькор.93с х Красень)     | 39,3         | 4,2     | 19,7           | 50,1             | 6,7                      | 68  | 17,3 |
| F <sub>1</sub> (Ранне 776с х Красень)      | 58,4         | 4,6     | 20,3           | 34,8             | 6,5                      | 96  | 16,5 |
| НІР <sub>05</sub>                          | 2,4          |         |                |                  |                          |     |      |

Найбільшу врожайність зеленої маси сформували гібриди F<sub>1</sub>(Низькоросле 93с х Карликове 45) – 79,7 т/га та F<sub>1</sub>(Дн71с х Карликове 45) 73,6 т/га. Врожайність зразків F<sub>1</sub>(Ранне776с х Карликове 45) та F<sub>1</sub>(Єфремівське біле 2с х Карликове 45) була дещо меншою, і становила 67,4 і 67,0 т/га відповідно. За врожайністю зерна волотей виділилися F<sub>1</sub>(Низьк.93с х Карликове 45) – 12,7 т/га та F<sub>1</sub>(А158х Карликове 45) – 9,0 т/га. За врожайністю сухої речовини зеленої

маси виділилися F<sub>1</sub>(Єфремівське біле 2с х Карликове 45) – 34,8 т/га F<sub>1</sub>(Низькоросле 93с х Карликове 45) – 33,5 т/га.

Найбільшим вмістом цукрів відрізнялися F<sub>1</sub>(Низькоросле 93с х Красень) – 17,3 %, F<sub>1</sub>(Ранне 776с х Красень) – 16,5 % та F<sub>1</sub>(Єфремівське біле 2с х Карликове 45) – 16,4 %.

Перевищення над стандартом становило 18 %. Найбільшим виходом умовного цукру з одного гектару відрізнялися гібриди F<sub>1</sub>(Єфремівське біле 2с х Карликове 45) –

11,0 т/га і F<sub>1</sub>(Раннє776с х Карликове 45) – 10,4 т/га.

Для розрахунку кількості отриманого твердого палива з 1 га ми використовували методичні рекомендації з вирощування і перероблення цукрового сорго як сировини для виробництва різних видів біопалива в різних ґрунтово-кліматичних зонах України [5]. Вихід твердого палива розраховується за формулою:

$$T = U * c * (100 + W) / 10000 \quad (1)$$

де  $T$  – вихід твердого палива, т/га;  $U$  – врожайність зеленої біомаси стебел цукрового сорго, т/га;  $c$  – суха речовина біомаси стебел, %;  $w$  – вологість твердого палива. Згідно з європейськими вимогами тверде біопаливо може мати вологість до 10 %, тому приймаємо  $w = 10$  %.

Вихід енергії визначають як добуток маси твердого біопалива, отриманого з 1 га посівів цукрового сорго, на його питому теплоту згорання:

$$ET = T * eT, \quad (2)$$

де  $ET$  – вихід енергії з твердого біопалива, ГДж/га;  $M$  – вихід твердого біопалива з 1 га цукрового сорго, т/га;  $eT$  – питома теплота згорання твердого біопалива, МДж/кг. За відсутності інформації про вміст золи у стеблах цукрового сорго приймаємо питому теплоту згорання  $eT = 16$  МДж/кг.

Отже, якщо взяти найвищі показники F<sub>1</sub>(Низьк.93с х Карликове 45), то отримаємо такі розрахунки: урожайність зеленої маси

79,7 т/га, суха речовина 42 %, розраховуємо вихід твердого палива за формулою (1):

$$T = (79,3 * 42 * (100 + 10)) / 10000 = 36,3 \text{ т/га},$$

та кількість енергії яку можна отримати розраховуємо за формулою (2):

$$Et = 36,3 * 16 = 580,8 \text{ ГДж/га}.$$

Таким чином, 1 га посівів цукрового сорго F<sub>1</sub>(Низькоросле 93с х Карликове 45) при врожайності зеленої маси 79,3 т/га та вмісту сухої речовини 42 % вихід твердого біопалива становитиме 36,3 т/га, а енергії – 580,8 ГДж/га.

### Висновки.

Цукрове сорго, одна з найперспективніших біоенергетичних культур, яка здатна формувати високі і стабільні врожаї сировини в екстремальних умовах вирощування, вигідно відрізняючись посухостійкістю, солевитривалістю, економним витрачанням вологи та може забезпечити стабільну базу для біоенергетики в посушливих умовах Степу. Наукові дослідження в області селекції, як фундаментальні, так і прикладні, лежать в основі багатьох досягнень як вже реалізованих так і майбутніх. Адаптовані високопродуктивні гібриди цукрового сорго – це найбільш економічний і енергетично доцільний із заходів для забезпечення сировиною галузь біоенергетики. Виділений гібрид біоенергетичного напрямку використання F<sub>1</sub>(Низькоросле 93с х Карликове 45), який вигідно відрізняється від стандарту продуктивністю та технологічністю. Також з'ясована цінність сорту Карликове 45, як запилювача при створенні гібридів для твердого біопалива.

### Використана література

1. Габрель М. С. Виробництво твердого біопалива в Україні: стан та перспективи розвитку. Ленінград: *Наук. вісн. НЛТУ України*. 2011. Вип. 21. 9. С. 126–131.
2. Гэлстон А., Девис П., Сэттер Р. Жизнь зеленого растения: пер. с англ. Москва: Мир, 1983. 552 с.
3. Жученко А. А. Адаптационный потенциал культурных растений (эколого-генетические основы) Кишинев: Штиинца, 1999. 768 с.
4. Біонергія в Україні – розвиток сільських територій та можливості для окремих громад: Науково-методичні рекомендації щодо впровадження передового досвіду аграрних підприємств Польщі, Литви та України зі створення новітніх об'єктів біоенергетики, ефективного виробництва і використання біопалив / За ред. В. О. Дубровіна, Анни Гжибек та В. М. Любарського Kaunas: IAE LUA, 2009. 120 с.
5. Методичні рекомендації з вирощування і перероблення цукрового сорго як сировини для виробництва різних видів біопалива в різних ґрунтово-кліматичних зонах України / За ред. О. М. Ганженко, Л. А. Правдива, Я. Д. Фучило та ін. Київ: Компрінт, 2020. 20 с.

## References

1. Gabrel, M. S. (2011). Production of solid biofuels in Ukraine: state and prospects of development. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy* [Scientific Bulletin of NLTU of Ukraine]. 21. 9. 126–131. [in Ukrainian]
2. Gelston, A., Demis, P., Sutter, R. (1983). *Zhyzn zelenogo rasteniya* [Life of green rasteniya]: Per. with English. Moskva: Mir. 552 p. [in Russian]
3. Zhuchenko, A. A. (1999). *Adaptacionnyi potencial kulturnyh rastenyi* [Adaptation potential of cultural rastenyi (ekologo-genetic bases). Chishinev: Styynets, 768 p. [in Russian]
4. Bioenergy in Ukraine – development of rural areas and opportunities for individual foodstates: Scientific and methodological recommendations for the implementation of best practices of agricultural enterprises in Poland, Lithuania and Ukraine on the creation of new bioenergy facilities, effect production and use of biofuels (2009) / V. O. Dubrovin, Anna Grzybek and V. M. Lyubarsky (Eds.). Kaunas: IAE LUA, 120 p. [in Ukrainian]
5. Methodical recommendations on the cultivation and processing of sugar sorghum as raw materials for the production of various types of biofuels in different soil and climatic zones of Ukraine. (2020) / O. M. Ganzhenko, L. A. True, Y. D. Fuchilo, O. B. Khivrich, P. Y. Zikov, M. Y. Humentik, G. S. Honcharuk, V. M. Smirnykh, Y. P. Dubovy, O. M. Atamanyuk, O. G. Ivanov, V. L. Gamandiy, O. V. Yalansky. K.:Comprint, (Eds.). 20 p. [in Ukrainian]

UDC: 663.17:631.559:621.039.542.3

**Nosov M. H., Yalanskyi O. V. Promising sorghum hybrids for solid fuel production.**

*Grain Crops* 2022. 6. 1. 31–35.

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

**Topicality.** In Ukraine, up to 5 million hectares of land were removed from agricultural crop rotation. These lands can be successfully used for bioenergy due to soil recultivation. They are represented by both ordinary soils contaminated with heavy metals and completely degraded alumina with high salinity.

**Issues.** The land improvement aims to obtain biomass for the bioenergy industry, also to restore fertility, improve the ecological condition of the man-made region, and create new jobs. With proper use, considering all the above aspects, soils can gradually return to agricultural crop rotation. **Aim.** To study and select an initial material for the development of high-yield hybrids of sugar sorghum and broom millet for solid fuel production. **Materials.** Variety testing trials on sugar sorghum was carried out at the Synelnykove Breeding and Research Station, where 59 samples were examined, their yield was 23–79 t/ha. **Results.** We identified the promising hybrid combinations with the highest yield of green mass: F<sub>1</sub> (Nyzkorosle 93s x Karlykove 45) – 79.7 t/ha, and F<sub>1</sub> (Dn71s x Karlykove 45) – 73.6 t/ha. The yield of samples F<sub>1</sub> (Rannie 776s x Karlykove 45) and F<sub>1</sub> (Yefremivske bile 2s x Karlykove 45) was slightly less, and amounted to 67.4 and 67.0 t/ha, respectively. According to the grain yield, the best samples were F<sub>1</sub> (Nyzkorosle 93s x Karlykove 45) – 12.7 t/ha and F<sub>1</sub> (A158 x Karlykove 45) – 9.0 t/ha. According to the yield of dry matter of green mass, it was stood out F<sub>1</sub> (Yefremivske bile 2c x Karlykove 45) – 34.8 t/ha and F<sub>1</sub> (Nyzkorosle 93c x Karlykove 45) – 33.5 t/ha. The highest sugar content was found in F<sub>1</sub> (Nyzkorosle 93c x Krasen) – 17.3 %, F<sub>1</sub> (Rannie 776s x Krasen) – 16.5 %, and F<sub>1</sub> (Yefremivske bile 2c x Karlykove 45) – 16.4 %. The excess over the standard was 18 %.

**Conclusions.** Therefore, high-yielding hybrids of sugar sorghum are the most economical and energetically expedient source of raw materials for the bioenergy industry. It was selected the bioenergy hybrid of F<sub>1</sub> (Nyzkorosle 93c x Karlykove 45), which favorably differs from the standard in productivity and manufacturability. Also, Karlykove 45 variety was selected as a pollinator for the development of hybrids for solid biofuel.

**Key words:** *sugar sorghum, bioenergy, solid fuel, fertile lines, yield, green mass.*