

Формування врожайності та енергетичний потенціал біомаси *Sorghum saccharatum* (L.) Moench в умовах Центрального Лісостепу України

О. П. Попова, М. І. Кулик

Полтавський державний аграрний університет, вул. Г. Сковороди, 1/3, м. Полтава, 36003, Україна,
e-mail: oks27071994@gmail.com; kulykmaksym@ukr.net

Мета. Вивчення динаміки формування біометричних показників, урожайності біомаси та енергетичного потенціалу рослин сортів сорго цукрового в умовах Центрального Лісостепу України. **Методи.** Використовували польовий, лабораторний і статистичний методи. Об'єктом досліджень слугували п'ять зареєстрованих сортів сорго цукрового, а саме: 'Гулівер', 'Довіста', 'Зубр', 'Су' та 'Цукрове'. Вимірювання біометричних показників рослин, облік урожайності біомаси й енергетичного потенціалу здійснювали відповідно до затверджених науково-методичних рекомендацій. **Результати.** Найшвидший ріст сорго цукрового у висоту відмічено в такі міжфазні періоди, як сходи–вихід у трубку та вихід у трубку–цвітіння. На час закінчення вегетації рослини сортів 'Гулівер' (237,2–245,1 см), 'Цукрове' (218,0–227,2 см) й 'Довіста' (205,6–220,9 см) переважали над іншими за висотою. Найбільшою площею листової фотосинтезуючої поверхні характеризувалися 'Гулівер', 'Цукрове' й 'Зубр', вони ж сформували найбільшу біомасу й відзначилися найвищою енергетичною ефективністю вирощування за показниками енергопродуктивності (EP_c дорівнює або більше ніж 60,0 ГДж/га) та коефіцієнтом енергоефективності (K_{ee} дорівнює або більше ніж 4,0). **Висновки.** Найбільшу врожайність біомаси за сухим залишком виявлено в сортів сорго цукрового 'Гулівер' (15,4 т/га), 'Цукрове' (15,2 т/га) та 'Зубр' (12,5 т/га). Ці ж сорти вирізнялися високою енергопродуктивністю (різницею між накопиченою в біомасі енергією та енергією, витраченою на її виробництво) – 65,3; 64,9 і 56,8 ГДж/га відповідно, зі значенням K_{ee} 4,0 або більше, що характеризує середній рівень ефективності виробництва біомаси.

Ключові слова: сорго цукрове; сорти; біометричні показники; продуктивність; енергетична ефективність.

Вступ

Завдяки чималим земельним площам і сприятливим ґрунтово-кліматичним умовам Україна має значні можливості для використання рослинного ресурсу, а також великий потенціал для виробництва енергії з біомаси – 29 млн т нафтового еквівалента (т н. е.), за даними Г. М. Калетніка, Г. Г. Гелетухи й Т. А. Железної. Розвиток біоенергетики особливо залежить від застосування біомаси сільськогосподарських рослин, енергопотенціал якої орієнтовно 11 млн т н. е./рік [1, 2]. Поновлювані джерела енергії нині становлять особливий інтерес не тільки з позиції їх використання, але також і з погляду економічної доцільності розвитку нових напрямків бізнесу. Маловитратним, а також рентабельним є вирощування сировини для виробництва біопалива, тобто таких енергетичних культур, які можуть бути джерелами поновлюваної енергії (сорго цукрове, сорго багаторічне, міскантус, «енергетична» верба, світчграс (просо прутноподібне) тощо) [3, 4].

Сорго цукрове – поширена в багатьох країнах світу кормова культура, не примхлива до кліматичних умов і складу ґрунтів. Водночас це енергетична рослина, якнайліпше придатна для виробництва рідких біопалив завдяки вмісту в листостебловій масі значної кількості цукрового соку (до 20 %) [5–7]. Стебла сорго цукрового прямостоячі, блідо-зеленого кольору, гладкі й тонкі, висота у фазі збиральної стиглості досягає 2,7–3,5 м. Листки широкі, неопушені. Волоть крупна, прямостояча, густа. Насіння коричневе, вкрите плівкою. Хімічний склад цукрового сорго, %: вода – 63–65; сахароза – 8,8–11,2; інші цукри – 1,3–2,3; клітковина – 6,8–7,3; крохмаль – 4,5–5,2; білки – 2,6–2,9; пектинові речовини – 0,4–0,60; рН соку – 4,8–5,2 [8]. Середня врожайність зеленої маси становить 40–60 т/га. Результати досліджень вчених вказують на те, що на тепер у природі не існує іншої рослини, яка могла б так швидко синтезувати сахарозу [9].

Сорго цукрове культивують як у Лісостеповій зоні, так і в південних регіонах України [10, 11]. В останні роки через збільшення посушливості клімату площі під його вирощування можуть розширитися, й він займе власну нішу в польових сівоzmінах агрогосподарств [12, 13].

Напряма, пов'язаний із виробництвом твердого палива, розвивається завдяки вирощу-

Oksana Popova

<https://orcid.org/0000-0001-6285-654X>

Maksym Kulyk

<https://orcid.org/0000-0003-0394-5846>

ванню нових видів високопродуктивних багаторічних рослин, що дає змогу гарантовано отримувати задану кількість біомаси необхідної якості. Листостеблова маса сорго цукрового також є гарною сировиною для одержання твердого біопалива й біогазу [14, 15].

У процесі оцінювання енергетичного потенціалу *S. saccharatum* установлено вихід енергії, перетвореної на біогаз, – 23,8–205,9 ГДж/га за сухою масою. Показник фактичного виходу біогазу – 1131–9806 м³/га. Високим виходом біометану характеризувалися сорти ‘Меотида’, ‘Сіваський’, ‘Віл’, ‘Верблюд’, ‘Фаворит’ і ‘Мамонт’ [16–18].

Підвищення врожайності й енергопродуктивності біомаси сорго цукрового залежить від ґрунтово-кліматичних умов, агротехніки, термінів збирання й особливостей перероблення біосировини та є нагальним з огляду на широкий спектр використання культури [19–21].

Важливим фактором збільшення врожайності є добір сортименту. Як зазначають А. В. Черенков зі співавторами, найефективнішим та економічно вигідним є впровадження нових сортів і гібридів з генетично визначеним рівнем адаптування до ґрунтово-кліматичних умов у зонах їх вирощування [22]. Водночас вони повинні бути придатними до інтенсивної технології вирощування, забезпечувати високу ефективність виробництва основної продукції, бути пристосованими до визначеного рівня землеробства [23–25].

Збільшення площі листової поверхні й подовження періоду її активної діяльності дають змогу підвищити коефіцієнт використання рослинами сорго сонячної радіації, що в кінцевому підсумку позначиться

на врожайності. Найбільша площа листової поверхні (9,0–9,2 тис. м²/га) була в сортів ‘Довіста’ й ‘Гулівер’ залежно від ценотичних чинників у період викидання волоті [26, 28].

На врожайність також впливають генотип і його походження [28]. Сорти української селекції ‘Силосне 42’, ‘Фаворит’, ‘Троїстий’, ‘Довіста’ та ‘Гулівер’ разом з іноземними рекомендовано до вирощування для отримання значного обсягу вегетативної маси й виробництва з неї біопалива. Водночас у процесі культивування важливо враховувати агро-екологічні особливості [29, 30].

Мета дослідження – вивчення динаміки формування біометричних показників, врожайності та енергопродуктивності біомаси рослин сортів сорго цукрового в умовах Центрального Лісостепу України.

Матеріали та методика дослідження

Експерименти проводили впродовж 2021–2022 рр. на базі Полтавського державного аграрного університету (м. Полтава), розташованого у центральній частині Лісостепу України. Ця ґрунтово-кліматична зона характеризується недостатнім рівнем зволоження, нерівномірністю опадів й частими посухами. Дослідні ділянки заклали на чорноземах типових зі вмістом гумусу 7,25%, лужногідролізованого азоту – 154,0 мг/кг ґрунту, фосфору – 515,0 мг/кг ґрунту, калію – 623,0 мг/кг ґрунту, рН сольове – 7,10.

Погодні показники в період досліджень були характерними для цього регіону, втім мали незначні відхилення від середньобаторічних даних в окремі періоди росту й розвитку рослин (рис. 1).

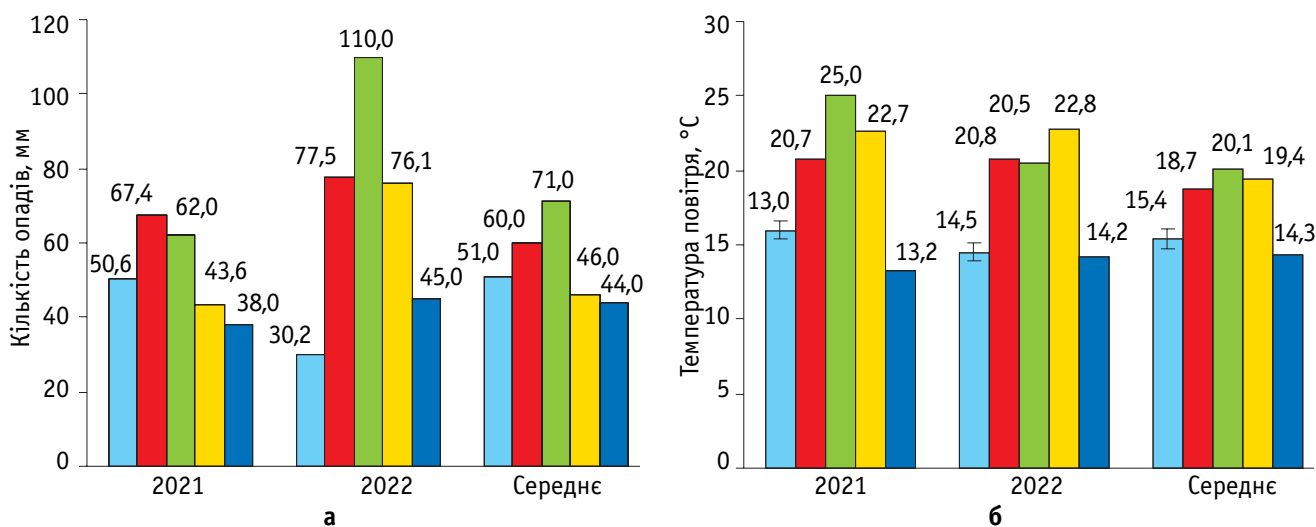


Рис. 1. Погодні умови протягом вегетації сорго цукрового (2021–2022 рр.): а – середньомісячна кількість опадів, б – середньомісячна температура повітря

Значення середньомісячної кількості опадів, за винятком травневих, у 2022 р. були вищими ніж у 2021-му. Усереднена температура повітря по місяцях була в межах середньорічних показників, окрім липня 2021 року та серпня 2021 і 2022 рр.

Польові досліді закладали і проводили згідно з методикою дослідної справи в агрономії та науковими рекомендаціями.

Сівбу насіння сорго цукрового здійснювали на глибину 4–6 см із шириною міжрядь 45 см у третій декаді квітня. Густота стояння рослин – 222 тис. шт./га, площа посівної ділянки – 10,6 м², облікової – 10,0 м². Розміщення варіантів рендомізоване, в чотирикратній повторності. Агротехнологічні операції під час підготовки ділянки та вирощування рослин полягали в осінньому та весняному обробітку ґрунту, сівбі, прополюванні в міру появи бур'янів і збиранні врожаю біомаси (третьа декада вересня).

Матеріалом для дослідження слугували створені в різних наукових установах і передані для спільних досліджень СГП – Національним центром насіннєзнавства та сортівивчення сорти сорго цукрового 'Гулівер' (код заявника 2260), 'Довіста' (код заявника 311), 'Зубр' (код заявника 1591), 'Су' (код заявника 800), 'Цукрове' (код заявника 1854), зареєстровані в Державному реєстрі сортів рослин, придатних для поширення в Україні. Площу листової поверхні встановлювали згідно з «Методикою визначання площі листової поверхні цукрового сорго», відповідно до рекомендацій О. М. Ганженка.

Кількісні показники визначали з вибірки рослин (50 шт.), вилучених по діагона-

лі з кожної облікової ділянки в чотирьох місцях.

Урожайність «сирої» та «сухої» рослинної біомаси сорго цукрового встановлювали після її скошування та збирання з кожної облікової ділянки досліді. Розрахунок вмісту вологи здійснювали після висушування біомаси. Для цього із заздалегідь подрібненого середнього рослинного зразка (сноповий зразок масою 1 кг, відібраний по діагоналі ділянки) вилучали дві наважки по 5 г, які висушували в сушильній шафі протягом 2 год за температури 105 °С. Зразки охолоджували впродовж 30 хв в ексикаторі та зважували на аналітичних вагах.

Статистичне обчислення результатів проводили методом дисперсійного аналізу, використовуючи комп'ютерне програмне забезпечення Statistica 6.0.

Обрахунок енергетичної ефективності виробництва біомаси сорго цукрового здійснювали за О. К. Медведовським, П. І. Іваненком та авторською методикою. У процесі послугувалися такими показниками:

- сукупна енергія, накопичена в біомасі енергетичної культури (E_{np}), МДж/га;
- сукупні енергетичні витрати на вирощування біомаси енергетичної культури (E_c), МДж/га;
- енергетична продуктивність (прибуток) вирощування біомаси енергетичної культури (P_p), МДж/га:

$$P_p = E_{np,cs.} - E_c$$

де $E_{np,cs.}$ – сукупна енергія, накопичена в біомасі енергетичних культур, МДж/га; E_c – сукупні витрати енергії на вирощування біомаси енергетичних культур, МДж/га.

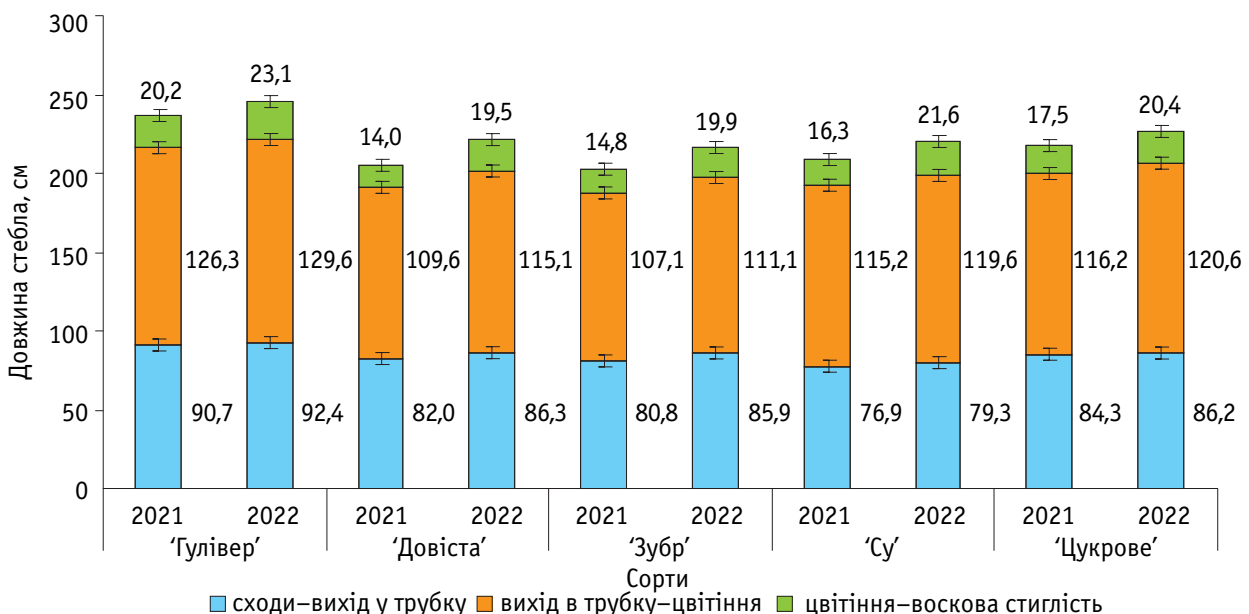


Рис. 2. Динаміка росту й розвитку рослин різних сортів сорго цукрового (2021–2022 рр.)

Також застосовували коефіцієнт енергетичної ефективності (K_{ee}), який відображає відношення сукупної енергії, накопиченої в біомасі, до сукупних витрат енергії на вирощування культури:

$$K_{ee} = \frac{E_{np,cv}}{E_c}$$

де $E_{np,cv}$ – сукупна енергія, накопичена в біомасі енергетичних культур, МДж/га; E_c – сукупні витрати енергії на вирощування енергетичних культур, МДж/га.

Якщо $K_{ee} < 1$, то вирощування біомаси енергетичних культур неефективне; 1–3,0 – низький рівень ефективності; 3,1–5,0 – середній

рівень ефективності; $K_{ee} > 5,0$ – високий рівень енергетичної ефективності.

Результати досліджень

Встановлено, що сходи сортів сорго цукрового сформувалися на 10–12-ту добу після сівби, фазу кушіння фіксували через 28–34 доби після формування повних сходів. Дружність появи сходів та інтенсивність лінійного приросту у висоту в рослин, які утворювали від 2 до 4 і більше повністю розвинених генеративних стебел, найбільше залежали від сорту та погодних умов. Висота також пов'язана з густотою стояння і є одним із показників, що характеризують

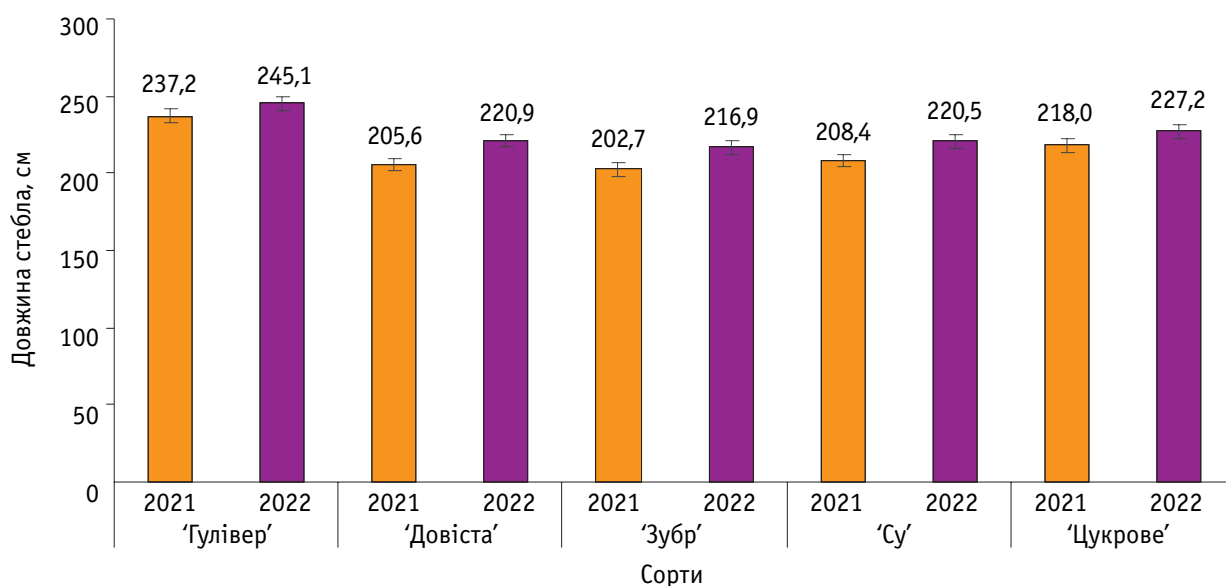


Рис. 3. Висота стебел сортів сорго цукрового на час закінчення вегетації (2021–2022 рр.)

лінійний приріст, який у динаміці росту та розвитку рослин є найбільшим для міжфазних періодів: виходу в трубку–цвітіння та сходів–виходу в трубку. На рисунку 2 позначено довірчі рівні в межах міжфазних періодів усіх сортів сорго.

Варіювання висоти стебла на початкових етапах росту та розвитку рослин (сходи–вихід у трубку) становило від 76,9 до 92,4 см; у період виходу в трубку–цвітіння – від 107,1 до 129,6 см. На час закінчення вегетації (фаза цвітіння–воскова стиглість) приріст стебла у висоту зменшився до 14,0–23,1 см. Загалом, 2022 р. переважав 2021-й за лінійним приростом стебел. Найвищими його значеннями в обидва роки характеризувався сорт 'Гулівер'; найнижчими – 'Довіста' та 'Су' в умовах 2021 року.

Наприкінці вегетації високорослим був 'Гулівер' (237,2 см у 2021-му та 245,1 см у 2022 р.), найнижчим – 'Зубр' (202,7 і 216,9 см відповідно). Інші сорти мали показники від 205,6 до 227,2 см (рис. 3).

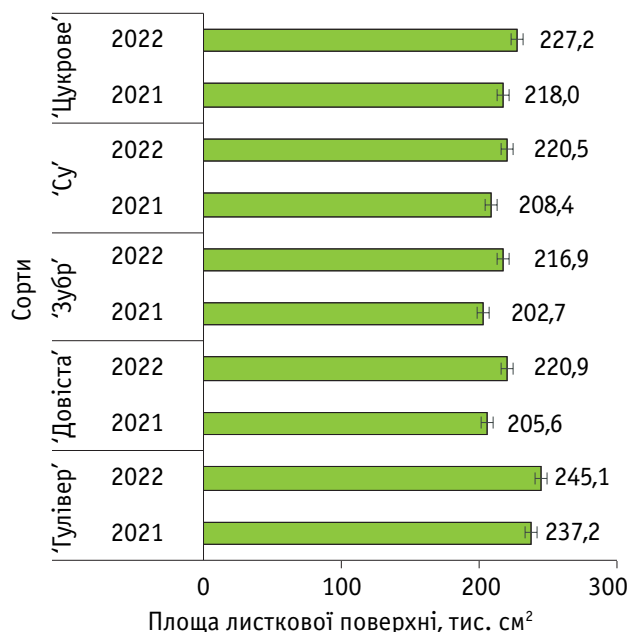
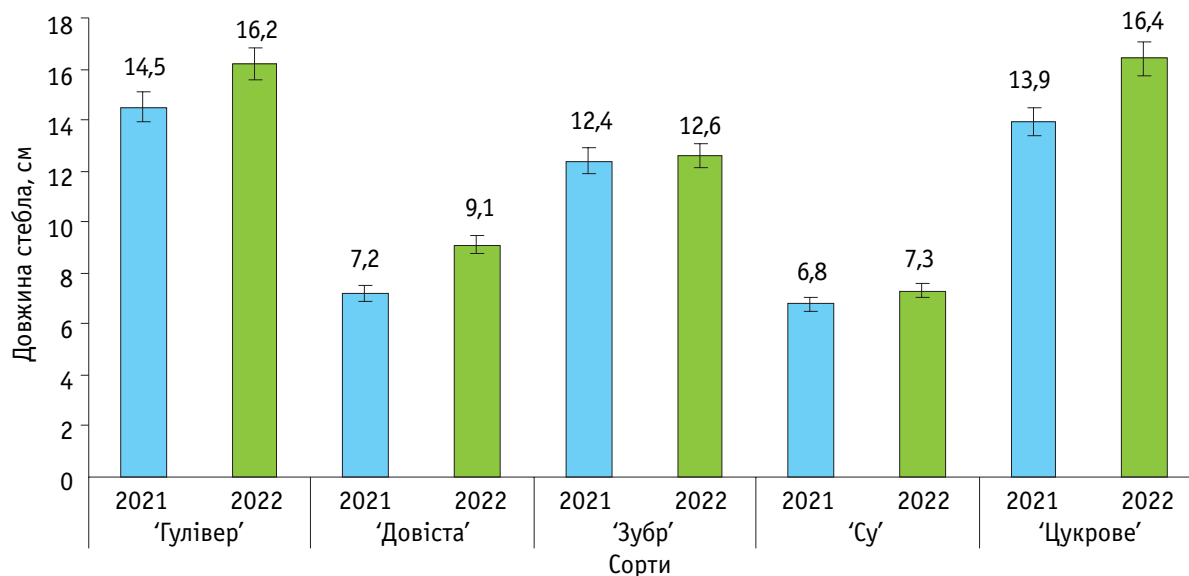


Рис. 4. Площа листкової поверхні різних сортів сорго цукрового (2021–2022 рр.)

Площа листової фотосинтетичної поверхні (ПЛФП) рослинного ценозу змінювалася в межах 20,4–23,9 тис. м²/га залежно від сорту й була суттєво більшою 2022 р. (рис. 4).

Найбільшу фотосинтетичну поверхню листового фітоценозу сформували рослини сортів 'Гулівер' (23,7 тис. м²/га) і 'Цукрове' (23,9 тис. м²/га) у 2022 р. Для сорту 'Зубр' цей показник становив 21,7 тис. м²/га, для інших – був суттєво меншим.

Урожайність сухої біомаси також була мінливою й варіювалася від 6,8 до 14,5 т/га у 2021 р. та від 7,3 до 16,4 т/га у 2022 р. за значення $НІР_{0,05} = 1,04$ (рис. 5). Найбільшими її показниками у 2022 р., порівнюючи з 2021-м, відзначилися сорти 'Гулівер' і 'Цукрове' (середні значення за два роки – 15,4 і 15,2 т/га відповідно). Однакову кількість урожаю в межах $НІР_{0,05}$ сформували 'Довіста' та 'Су' у 2021 р.



$НІР_{0,05}$: фактор А – 1,04 т/га, фактор Б – 1,30 т/га, А × Б – 0,78 т/га
Рис. 5. Урожайність сухої біомаси сорго цукрового (2021–2022 рр.)

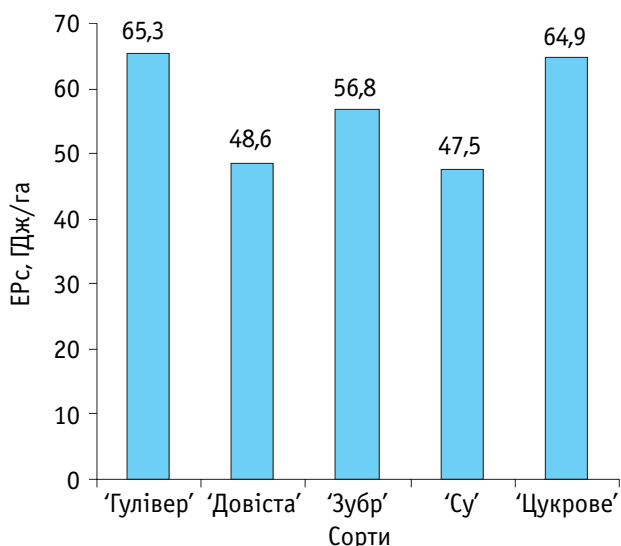


Рис. 6. Енергопродуктивність виробництва біомаси сортів сорго цукрового (середнє за 2021–2022 рр.)

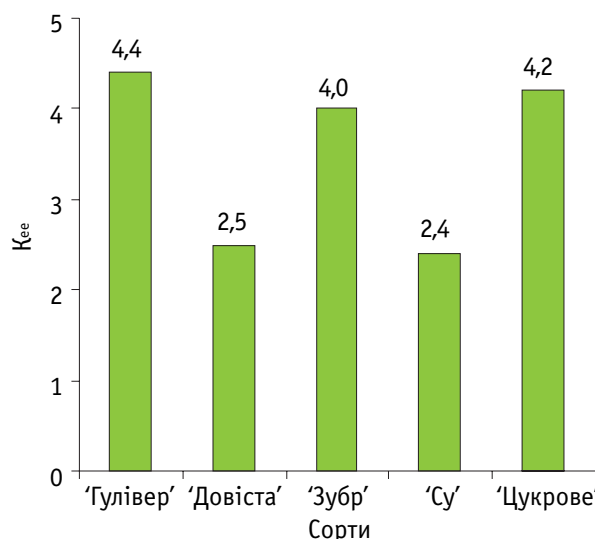


Рис. 7. Коефіцієнт енергоефективності виробництва біомаси сортів сорго цукрового (2021–2022 рр.)

Енергоефективність вирощування сортів сорго цукрового вважають сукупність взаємопов'язаних показників, одним із яких є енергопродуктивність (Пр), тобто різниця між енерговитратами на одиницю продукції (E_c) (біомаси з енергоемністю 17,0 МДж/кг) та сукупною енергією, нако-

пиченою в біомасі енергетичних культур ($E_{пр}$).

В умовах Лісостепу України найвищу енергопродуктивність у процесі виробництва біомаси забезпечили сорти 'Гулівер', 'Цукрове' та 'Зубр' – 65,3; 64,9 і 58,6 ГДж/га відповідно (K_{ee} – 4,0 або більше – середній рівень). Низь-

кі показники мали 'Довіста' і 'Су' – 48,6 і 47,5 ГДж/га (низький *Kee* – менше ніж 3).

Отже, 'Гулівер' переважає 'Цукрове' й 'Зубр' на 0,4 і 8,5 ГДж/га за показником енергопродуктивності виробництва біомаси та на 0,2 і 1,2 пункти за коефіцієнтом енергоефективності.

Висновки

За результатами вивчення динаміки формування біометричних показників, урожайності біомаси та енергетичного потенціалу сортів сорго цукрового в умовах Центрального Лісостепу України можна зробити висновок, що прискорений ріст рослин у висоту відбувається в міжфазні періоди: сходів–виходу в трубку та виходу в трубку–цвітіння.

Визначено, що найбільші біометричні показники (за висотою стебел і площею листової поверхні) формують рослини сортів сорго цукрового 'Гулівер', 'Цукрове' та 'Зубр'. Вони ж забезпечили найвищу врожайність сухої біомаси за два роки – 15,4; 15,2 та 12,5 т/га відповідно, та найвищу енергопродуктивність виробництва біомаси – 65,3; 64,9 та 56,8 ГДж/га. Коефіцієнт енергоефективності кожного з них становив 4,0 або більше.

Використана література

- Калетник Г. М. Біопаливо: продовольча, енергетична та екологічна безпека України. *Біоенергетика*. 2013. № 2. С. 12–14.
- Гелетуха Г. Г., Железна Т. А. Перспективи використання відходів сільського господарства для виробництва енергії в Україні. *Аналітична записка БАУ № 7*. Київ, 2014. С. 23–25.
- Енергетичні культури: сортимент, біологія, екологія, агротехнологія / за ред. М. І. Кулика. Полтава: Астрія, 2023. 220 с.
- Курило В. Л., Рахметов Д. Б., Кулик М. І. Біологічні особливості та потенціал урожайності енергетичних культур родини тонконогових в умовах України. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2018. Вип. 1. С. 11–17. doi: 10.31210/visnyk2018.01.01
- Курило В. Л., Григоренко Н. О., Марчук О. О. Цукрове сорго – перспективна сировина для комплексного використання. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2011. Вип. 12. С. 130–134.
- Курило В. Л., Яланський О. В., Гамандій В. Л. Біоенергетична оцінка соргових культур. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2012. Вип. 14. С. 554–558.
- Сторожик Л. І., Музика О. В. Ефективність вирощування сорго цукрового для переробки на біопаливо. *Таврійський науковий вісник*. 2019. № 108. С. 91–100. doi: 10.32851/2226-0099.2019.108.14
- Грабовський М. Б. Потенціал виробництва біогазу із силосної маси сорго цукрового та кукурудзи. *Таврійський науковий вісник*. 2019. № 106. С. 26–32.
- Григоренко Н., Штангеев В., Купчик Л., Котинська Л. Розроблення комплексної технології переробки рослинної сировини із цукрового сорго. *Продовольчі ресурси*. 2017. Т. 5, № 8. С. 64–68.
- Дремлюк Г. К., Гамандій В. Л., Гамандій І. В. Основні елементи технології вирощування сорго. *Посібник українського хлібороба*. 2013. Т. 1. С. 274–277.
- Вишневецька О.В., Маркіна О. В. Випробування різних сортів сорго цукрового в зоні Полісся для потреб біоенергетики. *Вісник аграрної науки*. 2020. Т. 98, № 4. С. 54–61. doi: 10.31073/agrovisnyk202004-08
- Ганженко О. М. Енергетична продуктивність сорго цукрового залежно від строків збирання урожаю в центральній частині Лісостепу України. *Агробіологія*. 2021. № 1. С. 23–31. doi: 10.33245/2310-9270-2021-163-1-23-31
- Сторожик Л. І., Музика О. В. Фотосинтетичний потенціал посівів сорго цукрового в умовах Центрального Лісостепу України. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2017. Вип. 25. С. 79–85. doi: 10.47414/np.25.2017.216870
- Lueschen W. E., Putnam D. H., Kanne B. K., Hoverstad T. R. Agronomic practices for production of ethanol from sweet sorghum. *Journal of Production Agriculture*. 1991. Vol. 4, Iss. 4. P. 619–625. doi: 10.2134/jpra1991.0619
- Ганженко О. М. Методика визначення площі листової поверхні цукрового сорго. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2014. Вип. 22. С. 17–22.
- Інформаційно-довідкова система «Реєстр сортів». URL: <http://service.ukragroexpert.com.ua>
- Любич В. В., Сторожик Л. І., Войтовська В. І. та ін. Агробіологічні параметри різних сортів і гібридів сорго цукрового. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2021. Т. 17, № 3. С. 193–198. doi: 10.21498/2518-1017.17.3.2021.242966
- Любич В. В., Пясецький П. І., Моргун А. В. Формування показників біоенергетики сортів сорго цукрового за різних строків сіви і збирання. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2022. № 2. С. 85–90. doi: 10.32782/2310-0478-2022-2-85-90
- Войтовська В. І., Сторожик Л. І., Любич В. В., Яланський О. В. Оцінювання продуктивності різних сортів сорго (*Sorghum oryoidum*). *Plant Varieties Studying and Protection*. 2022. Т. 18, № 1. С. 50–56. doi: 10.21498/2518-1017.18.1.2022.257587
- Ганженко О., Курило В., Герасименко Л. та ін. Методичні рекомендації з технології вирощування і перероблення цукрового сорго як сировини для виробництва біопалива. Київ: Компринт, 2017. 24 с.
- Ганженко О. М. Агроекологічні основи формування продуктивності цукроносних культур для біопалива. Київ: Компринт, 2022. 358 с.
- Черенков А. В., Шевченко М. С., Дзюбецький Б. В. та ін. Соргові культури: технологія, використання, гібриди та сорти. Дніпропетровськ: Роял Принт, 2011. 63 с.
- Попова О. П., Кулик М. І. Біологічні особливості й врожайність біомаси сорго цукрового залежно від сортименту та елементів технології вирощування. *Формування нової парадигми розвитку агропромислового сектору в XXI столітті*. Львів – Торунь: Ліга-Прес, 2021. Ч. 2. С. 461–508. doi: 10.36059/978-966-397-240-4-16
- Правдива Л. А., Бойко І. І., Грабовський М. Б., Марчук О. О. Вплив елементів технології вирощування на продуктивність сорго цукрового та забур'яненість посівів. *Карантин і захист рослин*. 2018. № 8. С. 8–11.
- Кулик М. І., Галицька М. А. Алгоритм обрахунку доступного потенціалу агробіомаси та фітомаси енергетичних культур для виробництва біопалива. Полтава, 2018. 32 с.
- Курило В. Л., Григоренко Н. О., Марчук О. О., Фуніна І. Р. Продуктивність сорго цукрового (*Sorghum saccharum* (L.) Pers.) залежно від сортових особливостей та різної густоти стояння рослин. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2013. № 3. С. 8–12. doi: 10.21498/2518-1017.3(20).2013.57404
- Каленська С. М., Гринюк І. П. Вплив доз мінеральних добрив та сортових особливостей на вихід цукру та біотанолу із сорго цукрового в умовах Правобережного Лісостепу України. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2012. Вип. 15. С. 202–206.
- Mahmood A., Ullah H., Ijaz M. et al. Evaluation of sorghum hybrids for biomass and biogas production. *Australian Journal of Crop Science*. 2013. Vol. 7, Iss. 5. P. 1456–1462. doi: 10.3316/informit.618654467729632
- Іваніна В. В., Сипко А. О., Стрілець О. П. та ін. Вплив доз добрив на біоенергетичну продуктивність сорго цукрового.

- Біоенергетика. 2021. № 2. С. 21–23. doi: 10.47414/be.2.2021.244108
30. Hassan M. U., Chattha M. U., Barbanti L. et al. Combined cultivar harvest time to enhance biomass and methane yield in sorghum under warm dry conditions in Pakistan. *Industrial Crops and Products*. 2019. Vol. 132. P. 84–91 doi: 10.1016/j.indcrop.2019.02.019
- ## References
1. Kaletnik, H. M. (2013). Biofuel: food, energy and environmental security of Ukraine. *Bioenergy*, 2, 12–14 [In Ukrainian]
 2. Heletukha, H. H., & Zheliezna, T. A. (2014). Prospects for using agricultural waste for energy production in Ukraine. *Analytical note of the Bioenergy Association of Ukraine No. 7* (pp. 23–25). Kyiv: BAU. [In Ukrainian]
 3. Kulyk, M. I. (Eds.). (2023). *Enerhetychni kultury: sortyment, biolohiia, ekolohiia, ahrotekhnolohiia* [Energy crops: assortment, biology, ecology, agrotechnology]. Poltava: Astraia. [In Ukrainian]
 4. Kurylo, V. L., Rakhmetov, D. B., & Kulyk, M. I. (2018). Biological features and potential of yield of energy crops of the thin-skinned family in the conditions of Ukraine. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, 1, 11–17. doi: 10.31210/visnyk2018.01.01 [In Ukrainian]
 5. Kurylo, V. L., Hryhorenko, N. O., & Marchuk, O. O. (2011). Sugar sorghum is a promising raw material for complex use. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 12, 130–134. [In Ukrainian]
 6. Kurylo, V. L., Yalanskyi, O. V., & Hamandii, V. L. (2012). Bioenergetic evaluation of sorghum crops. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 14, 554–58. [In Ukrainian]
 7. Storozhyk, L. I., & Muzyka, O. V. Efficiency of growing sorgho muscle for bio-food processing. *Taurian Scientific Herald*, 108, 91–100. doi: 10.32851/2226-0099.2019.108.14 [In Ukrainian]
 8. Grabovskiy, M. B. (2019). Potential for biogas production from sweet sorghum and corn silage. *Taurian Scientific Herald*, 106, 26–32. [In Ukrainian]
 9. Grigorenko, N. A., Stangeev, V. A., Kupchuk, L. A., & Kotynska, L. Y. (2017). Development of integrated technology for processing of plant raw materials, derived from sweet sorgho. *Food Resources*, 5, 64–68. [In Ukrainian]
 10. Dremljuk, H. K., Hamandii, V. L., & Hamandii, I. V. (2013). Basic elements of sorghum cultivation technology. *Ukrainian Farmer's Guide*, 1, 274–277. [In Ukrainian]
 11. Vyshnevskaya, O., & Markina, O. (2020). Test of different varieties of sweet sorghum in Polissia for needs of bioenergetics. *Bulletin of Agricultural Science*, 98(4), 54–61. doi: 10.31073/agroviznyk202004-08 [In Ukrainian]
 12. Hanzhenko, O. (2021). Energy productivity of sugar sorghum in the central part of the Forest-Steppe of Ukraine depending on the harvesting time. *Agrobiology*, 1, 23–31. doi: 10.33245/2310-9270-2021-163-1-23-31 [In Ukrainian]
 13. Storozhyk, L. I., & Muzyka, O. V. (2017). Photosynthetic potential of sugar sorghum under the conditions of the Central Forest-Steppe of Ukraine. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 25, 79–85. [In Ukrainian]
 14. Lueschen, W. E., Putnam D. H., Kanne B. K., & Hoverstad T. R. (1991). Agronomic practices for production of ethanol from sweet sorghum. *Journal of Production Agriculture*, 4(4), 619–625. doi: 10.2134/jpa1991.0619
 15. Hanzhenko, O. (2014). Methodology for determining leaf area of sugar sorghum. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 22, 17–22. [In Ukrainian]
 16. Information and reference system "Register of varieties" Retrieved from <http://service.ukragroexpert.com.ua> [In Ukrainian]
 17. Liubych, V. V., Storozhyk, L. I., Voitovska, V. I., Tereshchenko, I. S., & Losieva, A. I. (2021). Agrobiological parameters of various varieties and hybrids of sweet sorghum. *Plant Varieties Studying and Protection*, 17(3), 193–198. doi: 10.21498/2518-1017.17.3.2021.242966 [In Ukrainian]
 18. Liubych, V. V., Piasetskyi, P. I., & Morhun, A. V. (2022). Bioenergetics formation of sugar sorghum varieties during different sowing and harvesting periods. *Bulletin of Uman National University of Horticulture*, 2, 85–90. doi: 10.32782/2310-0478-2022-2-85-90 [In Ukrainian]
 19. Voitovska, V. I., Storozhyk, L. I., Liubych, V. V., & Yalanskyi, O. V. (2022). Evaluation of productivity of different varieties of sorgho (*Sorghum oryzoidum*). *Plant Varieties Studying and Protection*, 18(1), 50–56. doi: 10.21498/2518-1017.18.1.2022.257587
 20. Hanzhenko, O., Kurylo, V., Herasymenko, L., Zykov, P. Yu., & Khivrych, O. B. (2017). *Metodychni rekomendatsii z tekhnolohii vyroshchuvannya i pererobiannya tsukrovoho sorho yak syrovynny dlia vyrobnytstva biopalyva* [Methodical recommendations on the technology of cultivation and processing of sugar sorghum as a raw material for the production of biofuel]. Kyiv: Komprynt. [In Ukrainian]
 21. Hanzhenko, O. M. (2022). *Ahroekolohichni osnovy formuvannya produktyvnosti tsukronosnykh kultur dlia biopalyva* [Agroecological bases of formation of productivity of sugar-bearing crops for biofuel]. Kyiv: Komprynt. [In Ukrainian]
 22. Cherenkov, A. V., Shevchenko, M. S., Dziubetskyi, B. V. & (2011). *Sorhovi kultury: tekhnolohiia, vykorystannia, hibrity ta sorty* [Sorghum crops: technology, use, hybrids and varieties]. Dnipropetrovsk: Roial Prynt. [In Ukrainian]
 23. Popova, O. P., & Kulyk, M. I. (2021). Biological features and productivity of sugar sorghum biomass depending on the assortment and elements of growing technology. In *Formuvannya novoi paradyhmy rozvytku ahropromyslovoho sektoru v XXI stolitti* [The formation of a new paradigm for the development of the agro-industrial sector in the XXI century] (Part 2, pp. 461–508). Lviv – Torun: Liha-Pres. doi: 10.36059/978-966-397-240-4-16 [In Ukrainian]
 24. Pravdyva, L. A., Boiko, I. I., Hrabovskiy, M. B., & Marchuk, O. O. (2018). Influence of elements of growing technology on the productivity of sugar sorghum and weediness of crops. *Quarantine and Plant Protection*, 8, 8–11. [In Ukrainian]
 25. Kulyk, M. I., & Halytska, M. A. (2018). *Alhorytm obrakhunku dostupnoho potentsialu ahrobiomasy ta fitomasy enerhetychnykh kultur dlia vyrobnytstva biopalyva* [Algorithm for calculating the available potential of agrobiomass and phytomass of energy crops for biofuel production]. Poltava: N. p. [In Ukrainian]
 26. Kurylo, V. L., Hryhorenko, N. O., Marchuk, O. O., & Funina, I. R. (2013). Sugar sorghum yield (*Sorghum saccharatum* (L.) Pers.) subject to varietal characteristics and varying plant density in crops. *Plant Varieties Studying and Protection*, 3, 8–12. doi: 10.21498/2518-1017.3(20).2013.57404 [In Ukrainian]
 27. Kalenska, S. M., & Hryniuk, I. P. (2012). The influence of mineral fertilizer doses and varietal characteristics on the yield of sugar and bioethanol from sugar sorghum in the conditions of the Right Bank Forest Steppe of Ukraine. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 15, 202–206. [In Ukrainian]
 28. Mahmood, A., Ullah, H., Ijaz, M., & Javaid, M. M. (2013). University of Sargodha. al. Evaluation of sorghum hybrids for biomass and biogas production. *Australian Journal of Crop Science*, 7(5), 1456–1462. doi: 10.3316/informit.618654467729632
 29. Ivanina, V. V., Sypko, A. O., Strilets, O. P., Zatserkovna, N. S., Sinchuk, G. A., Ivanova, O. G., ... Kopchuk, K. M. (2021). Effect of fertilizer doses on bioenergy productivity of sugar sorghum. *Bioenergy*, 2, 21–23. doi: 10.47414/be.2.2021.244108 [In Ukrainian]
 30. Hassan, M. U., Chattha, M. U., Barbanti, L., Chattha, M. B., Mahmood, A., Khan, I., & Nawaz, M. (2019). Combined cultivar harvest time to enhance biomass and methane yield in sorghum under warm dry conditions in Pakistan. *Industrial Crops and Products*, 132, 84–91 doi: 10.1016/j.indcrop.2019.02.019

UDC 633.17: 631.527.5: 631.5:632.631.11

Popova, O. P., & Kulyk, M. I. (2023). Yield formation and energy potential of *Sorghum saccharatum* (L.) Moench biomass under the conditions of the central Ukrainian Forest-Steppe. *Plant Varieties Studying and Protection*, 19(3), 168–175. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.19.3.2023.287640>

*Poltava State Agrarian University, 1/3 Skovorody St., Poltava, 36003, Ukraine, *e-mail: oks27071994@gmail.com; kulykmaksym@ukr.net*

Purpose. Study of the dynamics of formation of biometric indicators, biomass yield and energy potential of sorghum varieties in the conditions of the Central Forest-Steppe of Ukraine. **Methods.** Field, laboratory and statistical methods were used. Five registered varieties of sorghum, viz: 'Huliver', 'Dovista', 'Zubr', 'Su' and 'Tsukrove' served as the object of research. The measurement of biometric indicators of plants, the calculation of biomass yield and energy potential were carried out in accordance with approved scientific and methodological recommendations. **Results.** The most rapid growth in height of sorghum was observed during the interphases of "seedling – leaf-tube formation and leaf-tube formation – flowering". At the end of the growing season, plants of the varieties 'Huliver' (237.2–245.1 cm), 'Tsukrove' (218.0–227.2 cm) and 'Dovista' (205.6–220.9 cm) were the tallest. 'Hulliver',

'Tsukrove' and 'Zubr' were characterized by the largest photosynthetic leaf area, they produced the largest biomass and were characterized by the highest energy efficiency of cultivation in terms of energy productivity (E_{Pc} equal to or greater than 60.0 GJ/ha) and energy efficiency coefficient (K_{ee} equal to or greater than 4.0). **Conclusions.** The highest biomass yield by dry residue was found in the sorghum varieties 'Huliver' (15.4 t/ha), 'Tsukrove' (15.2 t/ha) and 'Zubr' (12.5 t/ha). The same varieties were characterized by high energy productivity (the difference between the energy stored in biomass and the energy used to produce it) – 65.3, 64.9 and 56.8 GJ/ha respectively, with a K_{ee} value of 4.0 or more, which characterizes the average level of biomass production efficiency.

Keywords: *sugar sorghum; varieties; biometric indicators of plants; yield; energy efficiency; biomass.*

Надійшла / Received 25.08.2023

Погоджено до друку / Accepted 22.09.2023