

УДК 633.63:631.55:631.92

Вплив строків збирання енергетичних буряків цукрових в зоні Лісостепу України на вихід біогазу

Хіврич О.Б. , Ганженко О.М. *Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України*Атаманюк О.М. , Сенчук С.М. , Клименко В.П. *Білоцерківська ДСС ІБКіЦБ НААН України*

✉ sashahob@ukr.net



Хіврич О.Б., Ганженко О.М., Атаманюк О.М., Сенчук С.М., Клименко В.П. Вплив строків збирання енергетичних буряків цукрових в зоні Лісостепу України на вихід біогазу. Збірник наукових праць «Агробіологія», 2022. № 2. С. 48–55.

Khivrich A., Ganzhenko A., Atamanyuk O., Senchuk S., Klimenko V. Impact of the timing of harvesting energy sugar beets in the Forest-Steppe zone of Ukraine for biogas output. «Agrobiology», 2022. no. 2, pp. 48–55.

Рукопис отримано: 17.08.2022 р.
Прийнято: 01.09.2022 р.
Затверджено до друку: 27.12.2022 р.

doi: 10.33245/2310-9270-2022-174-2-48-55

В умовах загострення проблем із забезпеченням України енергоносіями, доречним було б прискорити виробництво біопалива на основі рослинної біомаси, зокрема з буряків цукрових, які можна окремо вирощувати на енергетичні цілі. Біометан – є біопаливом, виробленим із сільськогосподарських культур, який можна використовувати відповідно до Директиви щодо біопалива.

Буряки цукрові мають низку переваг у використанні на біопаливо, а саме: добра продуктивність в районах більш прохолодних, на відміну, наприклад, від кукурудзи; високий вміст сухої речовини в коренеплодах та їх цукристість; висока врожайність коренеплодів та листової маси; біомаса легко піддається бродінню, що дозволяє досить швидко отримати біогаз; можливість подовжити сезон збирання, що забезпечує більш тривале виробництво біогазу; відмінний вихід метану з одиниці площі; ціна виробництва біогазу та багато інших переваг.

Висвітлено результати досліджень впливу строків збирання енергетичних буряків цукрових гібрида вітчизняної селекції ІЦБ 0902 на вихід біогазу в умовах Лісостепу України.

Метою роботи було підвищення ефективності використання біомаси сучасного вітчизняного гібрида буряків цукрових, як сировини для виробництва біогазу, за допомогою пошуку оптимальних строків їх збирання.

Предмет досліджень – елементи технології вирощування енергетичних буряків цукрових та їх енергетична оцінка.

Лабораторно-польові дослідження проводили впродовж 2019–2020 рр. на Білоцерківській дослідно-селекційній станції (БЦ ДСС) ІБКіЦБ НААН в зоні нестійкого зволоження центральної частини Правобережного Лісостепу України.

Встановлено, що для отримання максимального виходу біогазу, енергетичні буряки цукрові слід збирати в період третьої декади вересня – другої декади жовтня. Саме в цей період, незважаючи на поступове зменшення загальної маси листового апарату, врожайність коренеплодів та розрахунковий вихід біогазу значно перевищують показники серпня–вересня (II/08, I/09). Максимальний вихід біогазу та енергії з буряків цукрових гібрида ІЦБ 0902 досягається за останнього строку збирання (II/10) та становить 9,4 тис. м³/га і 204,3 МДж/га.

Досліджуваний гібрид ІЦБ 0902, маючи високий потенціал врожайності, високий вміст сухих речовин в коренеплодах та листках, за показниками продуктивності може бути рекомендованим для вирощування на біопаливо в зоні нестійкого зволоження центральної частини Правобережного Лісостепу України.

Ключові слова: буряки цукрові, гібриди, біогаз, біопаливо, енергетична продуктивність.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Енергетичні культури становлять значний потенціал для задоволення

майбутніх енергетичних потреб у всьому світі. Дослідження енергетичних культур у виробництві біопалива показують, що вони

є досить економічним та екологічно вигідним способом сталого виробництва енергії. Сьогодні більшість розвинених країн використовують для отримання енергії різноманітні сільськогосподарські культури, такі як кукурудза, соя, ріпак, пшениця, а також буряки цукрові [1].

В результаті аналізу шести культур, які вирощують у Швеції для виробництва біогазу (коноплі, буряки цукрові, кукурудза, тритикале, трава/конюшина, пшениця озима), найбільший вихід біомаси та біогазу спостерігався з буряків цукрових [2] та один з найбільших показників виходу енергії з біомаси [3].

Залежність від викопного палива є нежиттєздатною через його постійне виснаження в усьому світі, а також через викиди парникових газів, пов'язаних з їх використанням. Тому постійно продовжуються ініціативи, спрямовані на розробку різних відновлюваних і, ймовірно, нейтрально-вуглецевих джерел енергії, як біопаливо 1-го покоління, отримане з наземних культур [4].

Упродовж останніх років спостерігається стійка тенденція до зменшення площ посівів буряків цукрових, причиною чого є низька реалізація цукру на зовнішніх ринках. Однак організація виробництва біопалива з буряків цукрових дозволить не лише стабілізувати, а також збільшити їх посівні площі. Особливо в умовах зміни клімату виробництво біопалива з буряків цукрових, який є ефективним субстратом для виробництва біогазу, є досить перспективним [5, 6].

Піонерами в цій справі є Франція та Німеччина, де збудовані для цього спеціалізовані й змішані підприємства, об'єднані в крупні компанії [7]. Також із збільшенням виробництва білого цукру збільшиться виробництво відходів біомаси в результаті переробки більшої кількості буряків. Це створює можливість для розробки нових хімічних технологій на основі використання продуктів переробки буряків цукрових [8]. Продуктами переробки на біопаливо може бути листя буряків цукрових, жом, патока (меяса) [9].

Буряки на енергетичні цілі, порівняно з багатьма іншими сільськогосподарськими культурами, є одними з найбільш перспективних. Зокрема, з 1 га буряків цукрових

можна отримати близько 10,9 тис. м³/га біогазу з вмістом метану близько 60 %, тимчасом з буряків кормових – 10,8 тис. м³/га, із сорго цукрового – 17,6 тис. м³/га, із кукурудзи на силос – 16,0 тис. м³/га [10]. Тому для збільшення обсягів виробництва біогазу в Україні необхідно розширяти площі посівів цих культур. На сьогодні понад 50 країн світу законодавчо підтримують розвиток відновлюваних джерел енергії, шукаючи альтернативи традиційному паливу. Буряки цукрові забезпечують велику кількість цукрози, яка легко зброджується багатьма мікроорганізмами, а з розрахунку на 1 гектар, буряки цукрові є одними із найефективніших джерел біопалива [11].

Значна частка постачання палива в Україну досі припадала на Росію та Білорусь. Для задоволення потреб України в паливі необхідно щорічно знаходити додатково 30 млн т нафти, причому з джерел, не пов'язаних з Росією та Білоруссю. Вторгнення Росії в Україну унеможливує продовження цих поставок. Тому Україні потрібно активно розвивати альтернативні джерела енергії, зокрема біопаливо [12].

Чинниками, що сприяють розвитку світового виробництва біопалива, зокрема біогазу, є:

- загострення глобальних проблем екологічної безпеки;
- стабільно зростаючий попит на енергоносії;
- зниження залежності країн від імпорту енергоресурсів;
- швидке вичерпання світових запасів газу (за світовими прогнозами, за наявних темпів видобування і споживання їх вистачить до 2040–2050 рр.);
- пошук аграріями альтернативних напрямів використання й переробки сільськогосподарської сировини [13].

Отримання біогазу з буряків цукрових також дозволить вирішити кілька завдань: переробка відходів виробництва; обігрів приміщень власним біогазом; вироблення електроенергії та її подальший продаж; безпосередній продаж біогазу замість природного газу [14]. Зосереджуючи увагу на цих чинниках, більшість країн світу визнали стратегічну значимість розвитку біоенерге-

тики, про що свідчать стабільно зростаючі обсяги виробництва біопалива.

Виробництво біогазу дозволяє скоротити кількість викидів метану в атмосферу, а подальше його використання для виробництва тепла і електроенергії є найефективнішим засобом контролювання щодо глобального потепління. Біомасу, яка залишається після переробки відходів, можна використовувати в сільському господарстві як добриво.

Мета дослідження – підвищення ефективності використання біомаси сучасного вітчизняного гібрида буряків цукрових, як сировини для виробництва біогазу, через пошук оптимальних строків їх збирання.

Матеріал і методи дослідження. Експериментальні дослідження проводили впродовж 2019–2020 рр. в умовах Білоцерківської дослідно-селекційної станції Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН з новим гібридом буряків цукрових вітчизняної селекції ІЦБ 0902, який створено на Білоцерківській дослідно-селекційній станції ІБКІЦБ НААН, й занесено до державного реєстру сортів рослин [15]. Гібрид стійкий до комплексу хвороб. Придатний для вирощування в зонах Лісостепу та Степу.

Площа посівної ділянки 81 м², облікової – 54 м². Збирання буряків проводили в 4 етапи:

- II декада серпня (11–20.08) – II/08.
- I декада вересня (01–10.09) – I/09.
- III декада вересня (21–30.09) – III/09.
- II декада жовтня (11–20.10) – II/10.

Обліки і спостереження в досліді (динаміку появи сходів, польову схожість, густоту рослин, динаміку проходження фаз росту та розвитку рослин буряків) проводили згідно з методикою [16]. Фотосинтетичну діяльність рослин гібрида визначали за методикою [17].

Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних у пакеті STATISTICA 6.0. проводили за рекомендаціями Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН [18].

Розрахунок виходу біогазу та енергії проводили за методичними рекомендаціями, розробленими в Інституті біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН [19].

Дослід закладали методом систематич-

них повторювань, в кожному повторенні варіанти досліду розміщували у ділянках послідовно.

Сівбу проводили насінням обробленим захисними та стимулювальними препаратами на глибину 2,5–3,5 см, з шириною міжрядь 45 см.

Дослідне поле Білоцерківської ДСС розташоване на чорноземі типовому крупнопилувато-середньосуглинкового механічного складу, з глибиною гумусового шару від 100 до 120 см з умістом гумусу в орному шарі (0–30 см) – 3,9 %. Реакція ґрунтового розчину – близька до нейтральної (рН сольової витяжки становить 6,5). Ємність поглинання коливається від 24,8 до 25,4 мг-екв. на 100 г сухого ґрунту, насиченість поглинаючого комплексу – 82–97 %; лужногідролізованого азоту в орному шарі ґрунту – 13,4 мг (за Тюрнімом); рухомих форм фосфору – 16 мг (P₂O₅ за Кірсановим); обмінного калію – 9,6 мг на 100 г ґрунту (K₂O за Чіріковим).

Основним джерелом зволоження ґрунту є атмосферні опади. Опади впродовж року випадають нерівномірно, найбільша їх кількість припадає на теплий період, особливо на середину літа. В окремі роки навесні спостерігається період без дощів, що негативно впливає на ріст і розвиток культур. Сума ефективних температур (сума температур вище 10 °С за вегетаційний період) становить 2500–2800 °С. Кількість опадів за рік – 538 мм. За даними Білоцерківської метеорологічної станції середня багаторічна температура повітря становить +6,9 °С.

За даними метеорологічних спостережень, у роки проведення досліджень, температурний режим 2019 та 2020 рр. був з певним перевищенням середньобагаторічних показників (рис. 1, 2).

У 2019 році температура повітря, в середньому за вегетаційний період, перевищувала багаторічні дані на 1,8 °С. За кількістю опадів 2019 рік відзначився певною нерівномірністю випадання опадів. У травні та червні їх кількість перевищувала середні багаторічні показники на 28,8 та 26,7 мм відповідно. У квітні, липні, серпні та вересні їх кількість була меншою за середні багаторічні показники відповідно на 14,8; 61,9; 38,6 та 12,9 мм.

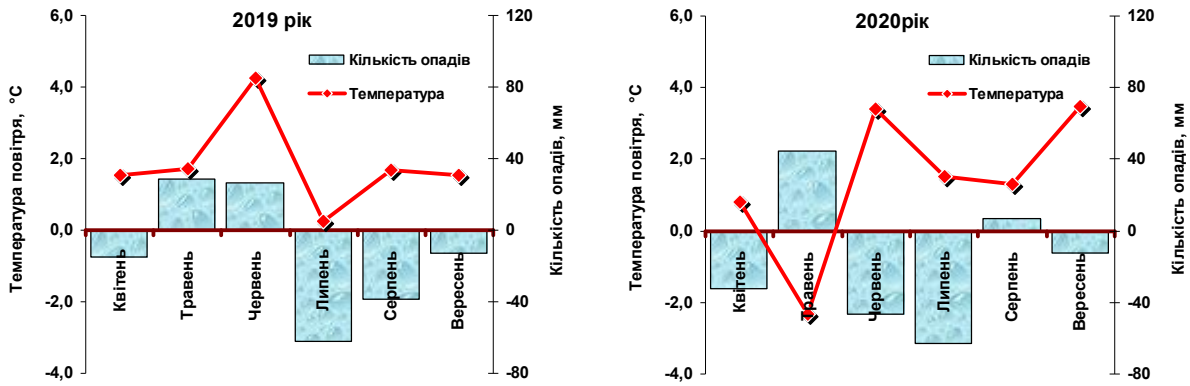


Рис. 1. Відхилення від середніх багаторічних значень температури повітря та кількості опадів на Білоцерківській ДСС (2019–2020 рр.).

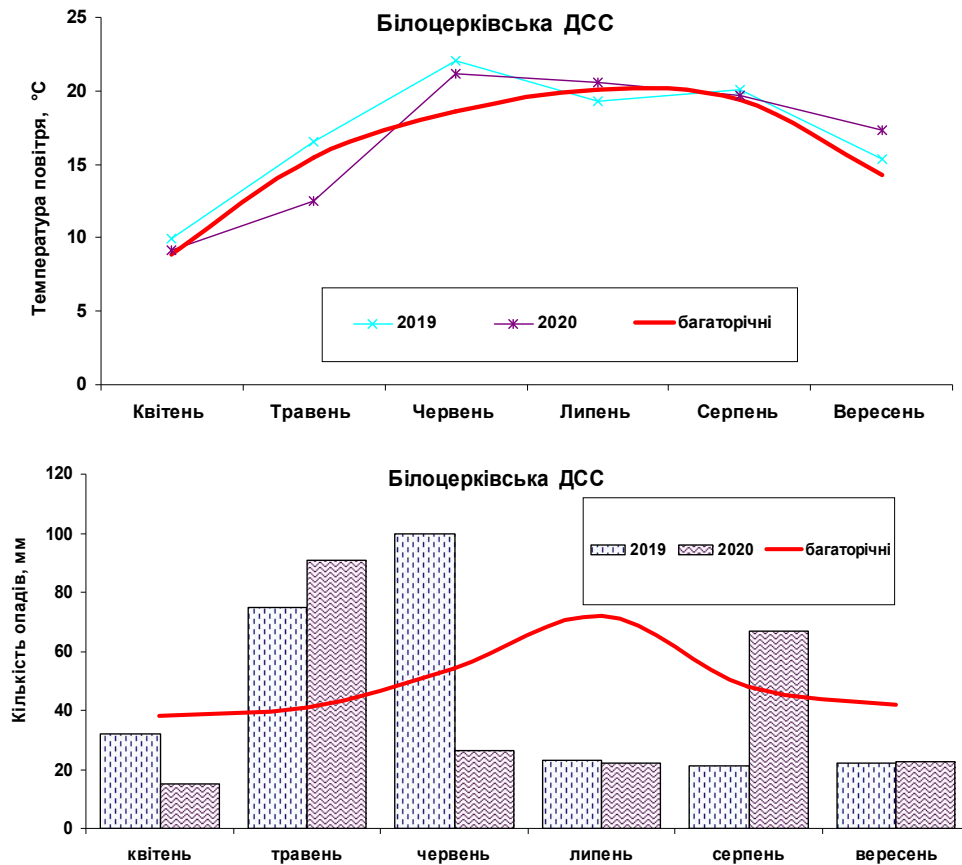


Рис. 2. Температура повітря та кількість опадів за роки досліджень (БЦ ДСС, 2019–2020 рр.).

У 2020 році температура повітря за місяцями була вищою за середні багаторічні показники, і в середньому за вегетаційний період перевищувала на 1,4 °С. Слід зазначити, що 2020 рік був досить посушливим. У квітні, червні, липні та вересні кількість опадів була меншою за середні багаторічні показники на 32,0; 46,7; 62,8 та 12,3 мм відповідно, проте у травні та серпні їх кількість перевищила на 44,7 та 6,6 мм.

Результати дослідження та обговорення. Відповідно до програми досліджень,

збирання буряків цукрових проводили у 4 етапи. За результатами досліджень, наведених у таблиці 1, найвище значення діаметра та довжини коренеплодів гібрида отримують за останнього строку збирання (друга декада жовтня – П/10), що становить 8,6 та 25,3 см відповідно, за їх маси 545,5 г. Максимальну масу листкового апарату буряки сформували на початку проведення обліків (П/08), оскільки відсутність опадів у другій половині вегетації (липень–серпень) призвело до зменшення маси листкового

апарату буряків, який, на рівні з коренеплодами, також використовують як сировину для виробництва біогазу. Загалом погодні умови справляли значний вплив на формування вегетативної маси та якісні показники коренеплодів. Оподи, які випадали в період збирання буряків, частково відновили ростові процеси листового апарату, що збільшило їх загальну масу за останнього строку (друга декада жовтня), проте приз-

вело до зменшення цукристості коренеплодів буряків та вмісту в них і в листовому апараті сухої речовини (табл. 1).

Найнижчу цукристість коренеплодів та вмісту в них сухої речовини спостерігали за збирання в другій декаді жовтня (II/10), що становило 15,4 та 16,3 %. За останнього строку збирання найменше значення сухої речовини в листовому апараті буряків цукрових становило 21,3 %.

Таблиця 1 – Розмірно-масові параметри буряків цукрових гібрида ПЦБ 0902 та їх якісна характеристика в період збирання, (2019–2020 рр.)

Показник	Дата обліку (декада/місяць)			
	II/08	I/09	III/09	II/10
Діаметр коренеплодів, см	5,6	6,7	8,3	8,6
Довжина коренеплодів, см	21,4	22,6	24,0	25,3
Середня маса коренеплодів, г	320,0	405,0	499,0	545,5
Середня маса листків, г	264,0	232,5	192,5	211,5
Цукристість коренеплодів, %	17,6	15,9	17,8	15,4
Вміст сухих речовин в коренеплодах, %	17,4	16,2	17,0	16,3
Вміст сухих речовин в листовому апараті, %	24,4	22,6	23,8	21,3
Врожайність коренеплодів, т/га	32,0	40,5	49,9	54,6
Врожайність листків, т/га	26,4	23,3	19,3	21,2

За вирощування буряків спостерігається чітка тенденція до збільшення врожайності коренеплодів аж до останнього строку збирання, що становить в цей період 54,6 т/га, на відміну від листового апарату, коли вищі значення були за першого строку – 26,4 т/га. Найвищу різницю в урожайності листового апарату відмічено на буряках першого та третього строку збирання, яка становила 7,1 т/га.

Вихід біогазу вищою мірою залежить від урожайності вегетативної маси, яку та-

кож було передбачено використовувати як сировину для виробництва біогазу. За результатами розрахунків (табл. 2), максимальний вихід біогазу та енергії з буряків цукрових досягається за останнього строку збирання (II/10) і становить відповідно 9,4 тис. м³/га та 204,3 МДж/га за вирощування гібрида ПЦБ 0902. Порівняно з кращим варіантом, за третього строку збирання (третьа декада вересня – III/09) вихід біогазу з буряків менше лише на 0,3 тис. м³/га, енергії – на 4,9 МДж/га відповідно.

Таблиця 2 – Розрахунковий вихід біогазу та енергії з буряків цукрових

Показник	Дата обліку (декада/місяць)	Значення
Вихід біогазу, тис. м ³ /га	II/08	8,4
	I/09	8,3
	III/09	9,1
	II/10	9,4
Вихід енергії, МДж/га	II/08	183,3
	I/09	180,3
	III/09	199,4
	II/10	204,3

Отже, за результатами досліджень, в зоні нестійкого зволоження центральної частини цукрових та їх продуктивність значно впливають погодно-кліматичні умови в період вегетації та строки збирання урожаю. За результатами проведених досліджень в 2019–2020 рр. визначено, що максимальний вихід біогазу з буряків цукрових досягається за їх збирання, починаючи з третьої декади вересня (III/09) до другої декади жовтня (II/10). Адже в цей період буряки цукрові ще продовжують свої ростові процеси до настання стійкого похолодання. У цей проміжок урожайність біомаси є найвищою, у результаті найвищий розрахунковий вихід біогазу з коренеплодів та листків буряків й енергії з біопалива.

Досліджуваний гібрид ЩБ 0902, маючи високий потенціал урожайності, високий вміст сухих речовин у коренеплодах та листках, за показниками продуктивності може бути рекомендованим для вирощування на біогаз в зоні нестійкого зволоження центральної частини Правобережного Лісостепу України.

Висновки. В умовах України буряки цукрові є досить перспективною культурою для виробництва біогазу, яке має здійснюватися на спеціалізованих підприємствах або модернізованих цукрових заводах. Виробництво біопалива з буряків цукрових дозволить збільшити посівні площі під цією культурою.

1. Аналіз погодних умов за роки проведення досліджень показує, що темпера-

ни Правобережного Лісостепу України на процеси росту і розвитку рослин буряків турний режим у період вегетації рослин перевищував середні багаторічні значення. Рівень середньорічної кількості опадів, що випадали в період вегетації в 2019–2020 рр., знаходився значно нижче середніх багаторічних значень. Лише травень відзначався перевищенням кількості опадів, а в 2019 році і червень. У наступні місяці як 2019 так і в 2020 роках у липні, серпні та вересні опадів випало значно менше за середні багаторічні показники відповідно на 61,9; 38,6 та 12,9 мм.

2. Визначено, що на продуктивність буряків, вихід з них біопалива та енергії з біогазу значно впливають строки їх збирання та погодно-кліматичні умови в період вегетації.

3. Кращим періодом збирання буряків на біогаз є кінець вересня – початок жовтня. Саме в цей період, незважаючи на поступове зменшення загальної маси листкового апарату, врожайність коренеплодів, а також розрахунковий вихід біогазу значно перевищують показники серпня–вересня (II/08, I/09). Вміст сухих речовин в коренеплодах та листках суттєво не різнилися між собою (на 0,1–0,5 %) і змінювались ідентично відповідно до періоду їх збирання.

4. За результатами досліджень в зоні нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу України гібрид буряків цукрових ЩБ 0902 може бути рекомендованим для вирощування на біогаз.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Kocar G., Civas N. An overview of biofuels from energy crops: Current status and future prospects. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. 2013. Vol. 28. P. 900–916. DOI: 10.1016/j.rser.2013.08.022.
2. Comparing energy crops for biogas production Yields, energy input and costs in cultivation using digestate and mineral fertilisation / C. Gissen et al. *Biomass & Bioenergy*. 2014. Vol. 64. P. 199–210. DOI: 10.1016/j.biombioe.2014.03.061.
3. Biomass and energy yield of industrial hemp grown for biogas and solid fuel / T. Prade et al. *Biomass & Bioenergy*. 2011. Vol. 35. Issue 7. P. 3040–3049. DOI: 10.1016/j.biombioe.2011.04.006.
4. Sweet sorghuma promising alternative feedstock for biofuel production / R.A. Dar et al. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. 2018. Vol. 82. P. 4070–4090. DOI: 10.1016/j.rser.2017.10.066.
5. Придатність цукрових буряків для виробництва біогазу з точки зору тривалості їх зберігання та вмісту цукру. URL: <http://www.ukrsugar.com/uk/post/pridatnist-cukrovih-burakiv-dla-virobnictva-bioga-zu-z-tocki-zoru-trivalosti-ih-zberiganna-ta-vmistu-cukru>
6. Перспективи виробництва біопалива з цукрових буряків в умовах зміни клімату. URL: <http://umhs.org.ua/?p=953>
7. Бондар В.С. Цукрові буряки, як відновлювальне джерело біоенергетики. Вісник цукровиків України. 2014. № 1 (92). С. 22–25.
8. Products of sugar beet processing as raw materials for chemicals and biodegradable polymers / J. Tomaszewska et al. *RSC Advances*. 2018. Vol. 8. Iss. 6. P. 3161–3177. DOI: 10.1039/c7ra12782k.
9. Fang C., Boe K., Angelidaki I. Anaerobic co-digestion of by-products from sugar production with

cow manure. *Water Research*. 2011. Vol. 45. Iss. 11. P. 3473–3480. DOI: 10.1016/j.watres.2011.04.008

10. Вирощування цукрових буряків на біопаливо. URL: <https://propozitsiya.com/ua/viroshchuvannya-palyva-cukrovih-buryakiv-na-biopalivo>

11. Panella L. Sugar Beet as an Energy Crop. *Sugar Tech*. 2010. Vol. 12. Iss. 3–4. P. 288–293. DOI: 10.1007/s12355-010-0041-5

12. Україні потрібні нові джерела поставок палива. URL: <https://gmk.center.ua/news/ukraini-potribni-novi-dzherela-postavok-palyva-doslidzhennia/>

13. Бистрова І.О. Світовий досвід стимулювання розвитку ринку біопалива. *Науковий вісник НАУ*. 2010. №5. С. 57–62.

14. Експерти пропонують пустити біомасу на біогаз. URL: <https://www.epravda.com.ua/news/2009/04/30/191813/>

15. Державний Реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні на 2018 рік. URL: <https://sops.gov.ua/derzavnij-reestr>

16. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. Москва: Агрпроимиздат, 1985. 351 с.

17. Ничипорович А.А. Методические указания по учёту и контролю важнейших показателей процессов фотосинтетической деятельности растений в посевах. Москва: ВАСХНИИЛ, 1969. 93 с.

18. Ермантраут Е.Р., Присяжнюк О.І., Шевченко І.Л. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних у пакеті STATISTICA 6.0. Київ: ПоліграфКонсалтинг, 2007. 55 с.

19. Методичні рекомендації з технології вирощування та перероблення буряків цукрових як сировини для виробництва біогазу / О.М. Ганженко та ін. Київ, 2021. 15 с.

REFERENCES

1. Kocar, G., Civas, N. (2013). An overview of bio-fuels from energy crops: Current status and future prospects. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. Vol. 28, pp. 900–916. DOI: 10.1016/j.rser.2013.08.022.

2. Gissen, C., Prade, T., Kreuger, E., Nges, I. (2014). Comparing energy crops for biogas production Yields, energy input and costs in cultivation using digestate and mineral fertilisation. *Biomass & Bioenergy*. Vol. 64, pp. 199–210. DOI: 10.1016/j.biombioe.2014.03.061.

3. Prade, T., Svensson, S., Andersson, A., Mattsson, J. (2011). Biomass and energy yield of industrial hemp grown for biogas and solid fuel. *Biomass & Bioenergy*. Vol. 35, Issue 7, pp. 3040–3049. DOI: 10.1016/j.biombioe.2011.04.006.

4. Dar, R.A., Dar, E.A., Kaur, A., Phutela, U. (2018). Sweet sorghum-a promising alternative feedstock for biofuel production. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. Vol. 82, pp. 4070–4090. DOI: 10.1016/j.rser.2017.10.066.

5. Prydatnist tsukrovykh buriakiv dlia vyrobnytstva biohazu z tochky zoru tryvalosti yikh zberihannia ta vmistu tsukru [Suitability of sugar beets for biogas production from the point of view of their storage duration and sugar content]. Available at: <http://www.ukrsugar.com/uk/post/pridatnist-cukrovih-burakiv-dla-virobnictva-biogazu-z-tocki-zoru-trivalosti-ih-zberiganna-ta-vmistu-cukru>.

6. Perspektyvy vyrobnytstva biopalyva z tsukrovykh buriakiv v umovakh zminy klimatu [Prospects for the production of biofuel from sugar beets in the conditions of climate change]. Available at: <http://umhs.org.ua/?p=953>.

7. Bondar, V.S. (2014). Tsukrovi buriaky, yak vidnovliuvadne dzherelo bioenerhetyky [Sugar beets as a renewable source of bioenergy]. *Visnyk tsukrovykh Ukrainy* [Bulletin of the Sugar Confectioners of Ukraine], no. 1 (92), pp. 22–25.

8. Tomaszewska, J., Bielinski, D., Binczarski, M., Berłowska, J. (2018). Products of sugar beet processing as raw materials for chemicals and biodegradable polymers. *RSC Advances*. Vol. 8, Issue 6, pp. 3161–3177. DOI: 10.1039/c7ra12782k.

9. Fang, C., Boe, K., Angelidaki, I. (2011). Anaerobic co-digestion of by-products from sugar production with cow manure. *Water Research*. Vol. 45, Issue 11, pp. 3473–3480. DOI: 10.1016/j.watres.2011.04.008

10. Vyroshchuvannia tsukrovykh buriakiv na biopalyvo [Growing sugar beets for biofuel]. Available at: <https://propozitsiya.com/ua/viroshchuvannia-cukrovih-buryakiv-na-biopalivo>.

11. Panella, L. (2010). Sugar Beet as an Energy Crop. *Sugar Tech*. Vol. 12, Issue 3–4, pp. 288–293. DOI: 10.1007/s12355-010-0041-5

12. Ukraini potribni novi dzherela postavok palyva [Ukraine needs new sources of fuel supplies]. Available at: <https://gmk.center.ua/news/ukraini-potribni-novi-dzh-erela-postavok-palyva-doslidzhennia/>

13. Bystrova, I.O. (2010). Svitovyi dosvid stymulivannia rozvytku rynku biopalyva [Global experience of stimulating the development of the biofuel market]. *Naukovyi visnyk NAU* [Scientific Bulletin of NAU], no. 5, pp. 57–62.

14. Eksperty proponuiut pustyty biomasu na biohaz [Experts suggest using biomass for biogas]. Available at: <https://www.epravda.com.ua/news/2009/04/30/191813/>

15. Derzhavnyi Reiestr sortiv roslyn, prydatnykh dlia poshyrennia v Ukraini na 2018 rik [State Register of plant varieties suitable for distribution in Ukraine for 2018]. Available at: <https://sops.gov.ua/derzavnij-reestr>

16. Dospekhov, B.A. (1985). Metodika polevogo opyta [Methodology of field experience]. Moscow, Agropromizdat, 351 p.

17. Nychiporovich, A.A. (1969). Metodicheskie ukazaniya po uchyotu i kontrolyu vazhnejshih pokazatelej processov fotosinteticheskoy deyatel'nosti rastenij v posevah [Guidelines for the accounting and control of the most important indicators of the processes of photosynthetic activity of plants in crops]. Moscow, VASKHNIIL, 93 p.

18. Ermantraut, E.R., Prysiazhniuk, O.I., Shevchenko, I.L. (2007). Statystychnyi analiz ahronomichnykh doslidnykh danykh u paketi STATISTICA 6.0. [Statistical analysis of agronomic research data in the STATISTICA 6.0 package]. Kyiv, PolihrafKonsaltnyh, 55 p.

19. Hanzhenko, O.M., Khivrych, O.B., Atamaniuk, O.M. (2021). *Metodychni rekomendatsii z tekhnolohii vyroshchuvannia ta pererobliannia buriakiv tsukrovykh yak syrovyny dlia vyrobnytstva biohazu* [Methodical recommendations on the technology of growing and processing sugar beets as raw materials for biogas production]. Kyiv, 15 p.

Impact of the timing of harvesting energy sugar beets in the Forest-Steppe zone of Ukraine for biogas output

Khivrich A., Ganzhenko A., Atamanyuk O., Senchuk S., Klimenko V.

In the conditions of worsening problems with the supply of energy to Ukraine, it would be appropriate to speed up the production of biofuel based on plant biomass, including and from sugar beets, which can be grown separately for energy purposes. Biomethane is a biofuel produced from agricultural crops that can be used in accordance with the Biofuel Directive.

Sugar beet has a number of advantages in its use as biofuel, namely: good productivity in cooler areas, unlike, for example, corn; high content of dry matter in root crops and their sugar content; high yield of root crops and leaf mass; biomass is easily fermented, which makes it possible to obtain biogas fairly quickly; the opportunity will extend the harvesting season, ensuring longer biogas production; excellent yield of methane per unit area; the price of biogas production and many other advantages.

The article reflects the results of research on the influence of the timing of harvesting energy beets of the sugar beet hybrid of the domestic selection ICB 0902 on

the output of biogas in the conditions of the Forest Steppe of Ukraine.

The aim of the work was to increase the efficiency of using biomass of modern domestic hybrids of sugar beet as raw material for biogas production, by searching for the optimal timing of their collection.

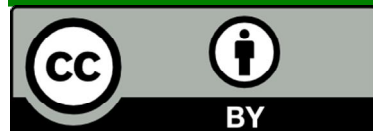
The subject of research is the elements of the technology of growing high-energy sugar beets and their energy assessment.

Laboratory and field studies were conducted during 2019–2020. at the Belotserkov experimental breeding station (BC OSS) of the IBKySS of the National Academy of Sciences in the zone of unstable moisture in the Central Forest Steppe of Ukraine.

It has been established that in order to obtain the maximum yield of biogas, energy sugar beets should be harvested in the period from the third decade of September to the second decade of October. It is in this period, despite the gradual decrease in the total mass of the leaf apparatus, the yield of root crops and the estimated yield of biogas significantly exceed the indicators of August-September (II/08, I/09). The maximum yield of biogas and energy from the sugar beet of the hybrid 'ICB 0902' is reached during the last harvest period (II/10) and amounts to 9.4 thousand m³/ha and 204.3 MJ/ha.

The researched hybrid ICB 0902, having a high yield potential, a high content of dry matter in root crops and leaves, according to productivity indicators, can be recommended for cultivation on biofuel in the zone of unstable moisture in the Central Forest Steppe of Ukraine.

Key words: sugar beets, hybrids, biogas, biofuel, energy productivity.



Copyright: Хіврич О.Б., Ганженко О.М., Атаманюк О.М., Сенчук С.М., Клименко В.П. © 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:

Хіврич О.Б. <https://orcid.org/0000-0002-2608-2126>

Ганженко О.М. <https://orcid.org/0000-0002-8118-1645>

Атаманюк О.М. <https://orcid.org/0000-0001-8327-3298>

Сенчук С.М. <https://orcid.org/0000-0002-6416-9388>

Клименко В.П. <https://orcid.org/0000-0002-1749-3898>