

## АГРОНОМІЯ

УДК 633.63:631.8:631.92

**Встановлення потенціалу продуктивності буряків цукрових як сировини для виробництва біопалива залежно від системи удобрення****Хіврич О.Б.<sup>1</sup> , Гументик М.Я.<sup>1</sup> , Квак В.М.<sup>1</sup> , Фурса А.В.<sup>2</sup> ,  
Клименко В.П.<sup>3</sup> , Агаманюк О.М.<sup>3</sup> , Сенчук С.М.<sup>3</sup> **<sup>1</sup> Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України<sup>2</sup> Національний університет біоресурсів і природокористування України<sup>3</sup> Білоцерківська ДСС ІБКіЦБ НААН України

E-mail: sashahob@ukr.net



Хіврич О.Б., Гументик М.Я., Квак В.М., Фурса А.В., Клименко В.П., Агаманюк О.М., Сенчук С.М. Встановлення потенціалу продуктивності буряків цукрових як сировини для виробництва біопалива залежно від системи удобрення. «Агробіологія», 2025. № 2. С. 223–232.

Khivrich O., Humentyk M., Kvak V., Fursa A., Klimentenko V., Atamanjuk O., Senchuk S. Determining the productivity potential of sugar beets as a raw material for biofuel production depending on the fertilization system. «Agrobiology», 2025. no. 2, pp. 223–232.

Рукопис отримано: 18.09.2025 р.

Прийнято: 03.10.2025 р.

Затверджено до друку: 27.11.2025 р.

doi: 10.33245/2310-9270-2025-199-2-223-232

З кожним роком збільшується запит на відновлювану енергію, отриману з рослинної біомаси, що обумовлює потребу у формуванні нової енергетичної політики держави. Документом, який окреслює стратегічні орієнтири розвитку паливно-енергетичного комплексу України на період до 2035 року є – «Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». Серед великого різноманіття сільськогосподарських рослин, що можуть бути використані на енергетичні цілі особливе місце займають буряки цукрові, які мають низку переваг, а саме: висока врожайність та вміст сухої речовини в коренеплодах, їх цукристість; біомаса легко піддається бродінню; відмінний вихід метану з одиниці площі тощо.

Диверсифікація джерел і шляхів постачання енергоресурсів, нарощування вітчизняного виробництва сприятимуть підвищенню економічної, екологічної та особливо енергетичної безпеки держави.

Висвітлено результати досліджень впливу системи удобрення мікробіологічних препаратів та органо-мінеральних добрив на продуктивність буряків цукрових та вихід з них біопалива.

Метою роботи було підвищення енергетичного потенціалу буряків цукрових як сировини для виробництва біопалива за різних систем удобрення в умовах Лісостепу України.

Предмет досліджень – елементи технології вирощування буряків цукрових на енергетичні цілі, їх аналіз та оцінювання.

Дослідження проводили на Білоцерківській дослідно-селекційній станції ІБКіЦБ в 2021–2023 рр. в зоні нестійкого зволоження центральної частини Правобережного Лісостепу України.

Встановлено, що найбільш ефективною є схема удобрення буряків цукрових за внесення препаратів Граундфікс (5,0 л/га) під передпосівну культивуацію та Хелпрост бор (1,0 л/га) у фазу змикання листя в рядках за основного удобрення  $N_{90}P_{90}K_{90}$  з врожайністю коренеплодів 64,6 т/га та листя 38,8 т/га. Це дозволило отримати найбільші розрахункові значення виходу біостанолу та біогазу, що становить 4,5 т/га і 13,7 тис.м<sup>3</sup>/га відповідно.

**Ключові слова:** буряки цукрові, добрива, біопаливо, біостанол, біогаз.

**Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень.** Рослини, які вирощують спеціально на енергетичні цілі (енергетичні рослини), можуть замінити значну частку традиційного палива, оскільки в Україні в наявності до 3 млн га незадіяних сільськогосподарських земель, з яких використовується лише 0,1 %. Вирощування енергетичних рослин навіть на 1 млн га може замінити половину всього імпортованого газу [1].

Перехід економіки України на низьковуглецеве паливо є важливою складовою політики держави із забезпечення сталого розвитку, зокрема, у контексті глобальних цілей сталого розвитку на період до 2030 р. [2].

Завданням Стратегії низьковуглецевого розвитку (СНВР) передбачається:

- перехід до енергосистеми, яка передбачає використання джерел енергії з низьким вмістом вуглецю, розробку джерел чистої електричної та теплової енергії, підвищення енергоефективності й енергозбереження в усіх секторах економіки та на об'єктах житлово-комунальної інфраструктури, стимулювання використання альтернативних нафтопродуктам моторних палив, зокрема для вантажних і пасажирських перевезень завдяки більш екологічно чистим видам транспорту;

- збільшення обсягів поглинання й утримання вуглецю завдяки застосуванню кращих практик ведення сільського та лісового господарства, адаптованих до зміни клімату;

- скорочення викидів парникових газів (ПГ), таких як метан та закис азоту ( $N_2O$ ), пов'язаних переважно з виробництвом викопного палива, сільським господарством і відходами [2].

Україна, як за земельними ресурсами і рослинним потенціалом, так і за наявністю власних виробничих потужностей, має всі необхідні умови для виробництва рідкого та газоподібного палива. Найбільш універсальним і ефективним енергоносієм з усіх біологічних видів палива є біогаз, який отримують з відтвореної сировини і органічних відходів [3]. Він є поновлюваним джерелом енергії, яке утворюється під час біохімічного процесу, що відбувається під впливом анаеробних бактерій, тобто тих, що живуть без кисню [4–5].

Важливим є стимулювання виробництва електроенергії з біопалива, отриманого не лише з відходів біомаси, а також зі спеціально вирощеної рослинної сировини. Паралельно доцільним є впровадження у виробництво біометану для прямого заміщення природного газу або більш ефективної енергетичної ути-

лізації біогазу у виробництві електроенергії та тепла [6].

Буряки цукрові, порівняно з багатьма іншими сільськогосподарськими культурами, які можна використовувати на енергетичні цілі, є одними з найбільш ефективним, з 1 га яких можна отримати близько 10,9 тис. м<sup>3</sup> біогазу з вмістом метану близько 60 % або 3,5–4,0 т біоетанолу. Однак буряки цукрові є досить вибагливою культурою до умов мінерального живлення [7]. На відміну від інших сільськогосподарських культур, вони виносять значно більше елементів живлення і потребують збалансованого удобрення азотними, фосфорними і калійними добривами [8–11]. Для формування 1 тонни біологічного врожаю буряки цукрові виносять із ґрунту близько 5–6 кг азоту, 1,5–2 кг фосфору та 5,5–7,5 кг калію [12]. Тому система удобрення, яка дозволяє сформувати у ґрунті сприятливі умови мінерального живлення для рослин, є найбільш дієвим чинником впливу на перебіг основних фізіологічних процесів у рослинах, визначає динаміку їх росту і розвитку та впливає на кінцеву продуктивність [13–14]. Серед основних чинників, що впливають на ефективність застосування добрив, є попередники та передпопередники, тобто місце буряків у сівозміні, рівень забезпечення ґрунту елементами живлення, особливості накопичення та збереження вологи в ґрунті з урахуванням зазначених вище чинників, що визначає необхідність оптимізації доз, форм, способів і термінів застосування мінеральних добрив [15].

Важливим чинником отримання стабільних врожаїв буряків є формування сприятливих для росту і розвитку рослин умов фосфорного і калійного живлення. Практика ведення аграрного виробництва в останні два десятиліття супроводжується щорічним дефіцитом калію і фосфору в ґрунті в межах 40–60 кг/га, що погіршує умови живлення рослин та спричиняє зниження їх продуктивності [16].

Буряки цукрові досить чутливі до дефіциту фосфорного живлення на початку і наприкінці вегетації [17]. Достатнє забезпечення рослин фосфором на початку вегетації сприяє інтенсивному росту і розвитку кореневої системи, наприкінці вегетації – синтезу цукрів у листових пластинках, відтоку цукрів до коренеплодів, що істотно підвищує їх цукристість, збільшує біологічний збір цукру [18–19]. Калій потрібен рослинам упродовж періоду вегетації, активує процеси фотосинтезу, сприяє синтезу цукрів у листових

пластинках, їх відтоку та накопиченню у коренеплодах [20]. Валові запаси калію у ґрунті досить високі, майже у декілька разів переважають запаси азоту, однак для рослин це здебільшого недоступні або малодоступні форми. Тому застосування добрив і формування сприятливого для росту і розвитку буряків цукрових калійного режиму чорноземних ґрунтів є важливим чинником підвищення їх біологічної продуктивності [21].

Значення мікроелементів у житті рослин багатогранне. Вони активують роботу ферментів, посилюють фотосинтез, сприяють інтенсивному росту та розвитку рослин, підвищують їх біологічну продуктивність [22, 23].

Підживлення буряків цукрових комплексним мікродобривом у фазу змикання листків у рядках подовжує фізіологічну тривалість життя листків, підвищує їх врожайність [24]. Перспективним є внесення композиційних мікродобрив, які містять не менше шести найбільш необхідних рослинам мікроелементів [25–28], що збільшує площу листків у фазу змикання у міжряддях, підвищується фотосинтетичний потенціал рослин. Ефективність позакорневих підживлень мікродобривами буряків значно зростає за поєднаного їх внесення з регуляторами росту [29–31].

Оптимізація доз внесення мінеральних добрив та активізація процесів росту і розвитку рослин завдяки проведенню позакорневих підживлень новими комплексними мікродобривами в суміші з регуляторами росту та мікроорганізмами потребує додаткового вивчення, а тому дослідження за вказаною тематикою є актуальними і відповідають потребам сучасного виробництва.

**Мета роботи** – підвищення енергетичного потенціалу буряків цукрових як сировини для виробництва біопалива за різних систем удобрення в умовах Лісостепу України.

**Матеріал і методи дослідження.** Експериментальні дослідження проводили впродовж 2021–2023 рр. в умовах Білоцерківської дослідно-селекційної станції Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН.

Дослід закладали з гібридом буряків цукрових 'Злука', оригіном якого є Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН та Білоцерківська дослідно-селекційна станція. Триплоїдний гібрид занесений до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні. Цей гібрид має високий потенціал врожайності, вміст сухих речовин в коренеплодах та листках. Стійкий до комплексу хвороб. За показниками про-

дуктивності може бути рекомендованим для вирощування на біопаливо в зоні нестійкого зволоження центральної частини Правобережного Лісостепу України. Придатний для вирощування в зоні Лісостепу та Степу.

Отримані експериментальні дані обробляли в лабораторних умовах, а також статистично із застосуванням дисперсійного, кореляційного та регресійного аналізів. Площа посівної ділянки 54 м<sup>2</sup>, облікової – 40 м<sup>2</sup>, повторність досліду – триразова. Дослід заклали методом систематичних повторювань: у кожному повторенні варіанти досліду розміщували по ділянках послідовно. Кінцева густина стояння рослин – 100 тис. шт./га (або 4,5 рослин на 1 м рядка).

У роботі використовували препарати компанії VTU Biotech company:

- **ГРАУНДФІКС (ГФ)** – мікробіологічне добриво, що вносять під передпосівну культурацію для мобілізації фосфору і калію з нерозчинних сполук, фіксації азоту та підвищення використання мінеральних добрив. Складається з фосфор- та каліймобілізуючих бактерій, силікатруйнуючих бактерій, природних ендofітів та ґрунтових азотфіксаторів, інша корисна мікрофлора (молочнокислі бактерії, продуценти целюлаз та інших ферментів), вітаміни, фітогормони, амінокислоти);

- **ОРГАНІК-БАЛАНС (ОБ)** – концентрат суміші життєздатних та інактивованих мікроорганізмів і їх активних метаболітів (складається з живих азотфіксуючих бактерій, фосфор- та каліймобілізуючих, що перетворюють важкорозчинні сполуки на доступні для рослин форми: фосфор, калій та ін., бактерій з фунгіцидними властивостями, що захищають рослини від бактеріальних та грибкових хвороб);

- **ХЕЛПРОСТ БОР (ХБ)** – органо-мінеральне добриво, призначене для позакореневого підживлення культур, які в період вегетації чутливі до дефіциту бору. Цей препарат попереджає некрози, хлорози, деформацію та відмирання листя, запобігає відмиранню точок росту, утворенню плодкових та корневих гнилей; покращує процеси цвітіння, запилення та утворення зав'язі, покращує розвиток кореневої системи, підсилює зимостійкість, сприяє накопиченню цукрів.

Препарати вносили в різний період вегетації на фоні основного осіннього внесення добрив – N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub>.

Обліки і спостереження в досліді проводили згідно з методикою ІБКІЦБ (динаміку появи сходів, польову схожість та густоту

стояння рослин, динаміку проходження фаз росту та розвитку рослин буряків). Визначали: середню масу коренеплодів та листя; загальну врожайність коренеплодів та листя; цукристість коренеплодів; вміст сухої речовини у коренеплодах і листках [32].

У м'язгі коренеплодів та листках буряків цукрових визначали вміст сухих речовин – термостатно-ваговим методом, в усіх рослинних зразках загальний азот, фосфор і калій після мокрого озолення (сірчана кислота + перекис водню) визначали загальноприйнятими методами, вираховували винос основних елементів живлення і коефіцієнти їх використання, складали баланс N, P, K у сівозмінах. Статистичну обробку експериментальних результатів виконано методами кореляційного, дисперсійного та факторного аналізів [33–35]. Розрахунок виходу біопалива та енергії проводили за методичними рекомендаціями, розробленими в Інституті біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН [36].

Врожай коренеплодів збирали поділяючи на наступним зважуванням і перерахунком на 1 га. Цукристість та технологічні якості коренеплодів в період збирання врожаю буряків цукрових визначали на технологічній лінії «Венема».

#### Схема досліду:

**Варіант 1.** Контроль (без добрив).

**Варіант 2.** Фон – Граундфікс (5 л/га) під передпосівну культивуацію (ГФ).

**Варіант 3.** Фон + Органік баланс (0,5 л/га) у фазу 3–4 пари листків (ГФ+ОБ у фазу 3–4 пари листків).

**Варіант 4.** Фон + Хелпрост бор (1,0 л/га) у фазу 3–4 пари листків (ГФ+ХБ у фазу 3–4 пари листків).

**Варіант 5.** Фон + Органік баланс (0,5 л/га) + Хелпрост бор (1,0 л/га) у фазу 3–4 пари листків (ГФ+ОБ+ХБ у фазу 3–4 пари листків).

**Варіант 6.** Фон + Органік баланс (0,5 л/га) у фазу змикання листків у рядках (ГФ+ОБ у фазу змикання листків у рядках).

**Варіант 7.** Фон + Хелпрост бор (1,0 л/га) у фазу змикання листків у рядках (ГФ+ХБ у фазу змикання листків у рядках).

**Варіант 8.** Фон + Органік баланс (0,5 л/га) + Хелпрост бор (1 л/га) у фазу змикання листків у рядках (ГФ+ОБ+ХБ у фазу змикання листків у рядках).

Дослід закладали методом систематичних повторювань, в кожному повторенні варіанти досліду розміщували у ділянках послідовно.

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

Дослідне поле БЦ ДСС розміщене на чорноземах типових крупнопилуватого середньосуглинкового механічного складу, з глибиною гумусового шару від 100 до 120 см з вмістом гумусу в орному шарі (0–30 см) – 3,05 %, що характерно для малогумусних чорноземів. 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 – 127,7 мг/кг ґрунту за Корнфільдом; рухомих форм фосфору – 189,0 мг/кг ґрунту ( $P_2O_5$ ) та обмінного калію – 113,0 мг/кг ґрунту ( $K_2O$ ) за Чіріковим.

Основним джерелом зволоження ґрунту є атмосферні опади. Опади впродовж року випадають нерівномірно, найбільша їх частина 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.

**Результати дослідження та обговорення.** Відповідно до програми досліджень, в умовах нестійкого зволоження Центрального Лісостепу України на землях Білоцерківської ДСС в 2021–2023 рр. було закладено дослід на 8 варіантах. Досліджували вплив системи удобрення, яка передбачала внесення основного удобрення восени під оранку та весняно-літнє післясходове по вегетуючих рослинах, на процеси росту і розвитку рослин буряків цукрових та їх продуктивність, визначено енергетичну ефективність вирощування буряків як сировини для виробництва біопалива.

Зокрема, за результатами 3-річних досліджень найбільш ефективною схемою удобрення був варіант 7, відповідно до якої навесні під передпосівну культивуацію вносили мікробіологічне добриво Граундфікс для мобілізації фосфору і калію з нерозчинних сполук, фіксації азоту та підвищення використання мінеральних добрив, та Хелпрост бор – у фазу змикання листків у рядках, призначене для позакореневого підживлення культур, які в період вегетації чутливі до дефіциту

бору. За цього варіанту отримано найбільшу врожайність як коренеплодів буряків, що становила 64,6 т/га, так і листового апарату – 38,8 т/га (табл. 1). Водночас досить високі значення вмісту сухої речовини в коренеплодах (21,3 %) та листках (18,2 %). Проте підвищення врожайності буряків цукрових призвело до зниження цукристості коренеплодів, що є одним з найменших в досліді – 15,9 %. Досить високі значення врожайності коренеплодів та листового апарату буряків цукрових отримано на варіанті 8 за внесення Граундфікс, Органік Баланс та Хелпрост бор у фазу змикання листків у рядках, що становить 60,7 та 37,7 т/га відповідно. Контрольний варіант, без внесення добрив під час вегетації, характеризується найбільшою цукристістю коренеплодів (16,6 %) та високим вмістом у них сухої речовини (21,6 %), однак за найменшої врожайності буряків у досліді.

Важливим додатковим джерелом отримання біогазу є листовий апарат, а також вміст в ньому сухої речовини. За результатами проведених досліджень, на варіанті 3 з внесенням препаратів Граундфікс та Органік Баланс у фазу 3–4 пари листочків отримано максимальне значення сухої речовини –

20,6 % за досить високої врожайності листової біомаси – 36,7 т/га. Однак врожайність коренеплодів менша на 9,9 т/га за кращий варіант в досліді та становить 54,7 т/га (табл. 1).

Буряки цукрові є досить ефективним джерелом для виробництва біопалива. Зокрема, за розрахунками виходу біопалива, наведеними в таблиці 2, найбільш ефективною системою удобрення буряків є схема з внесенням препарату Граундфікс під передпосівну культивування та препарату Хелпрост бор у фазу змикання листків у рядках (варіант 7). За цього варіанту, завдяки більшим значенням врожайності коренеплодів і листової маси, вихід біоетанолу та біогазу є найбільшими, що становить 4,5 т/га і 13,7 тис. м<sup>3</sup>/га відповідно.

Досить високі розрахункові значення виходу біопалива отримано за внесення препарату Граундфікс під передпосівну культивування та Органік баланс у фазу 3–4 пари листочків (варіант 3) – 4,2 т/га біоетанолу та 13,0 тис. м<sup>3</sup>/га біогазу. Це досягнуто завдяки показнику цукристості коренеплодів, який за варіанту 3 є одним з найвищих в досліді (16,3 %) та вмісту сухої речовини як в коренеплодах (21,4 %), так і листках (20,6 %), що також враховується під час розрахунків.

Таблиця 1 – Продуктивність буряків цукрових залежно від системи удобрень, 2021–2023 рр.

Схема варіанту	Врожайність коренеплодів, т/га	Цукристість коренеплодів, %	Вміст сухої речовини в коренеплодах, %	Врожайність листя, т/га	Вміст сухої речовини в листках, %
1. Контроль (без добрив)	47,5	<b>16,6</b>	<b>21,6</b>	29,3	18,4
2. ГФ	51,3	16,2	21,4	31,6	17,8
3. ГФ+ОБ у фазу 3–4 пари листків	54,7	16,3	21,1	36,7	20,6
4. ГФ+ХБ у фазу 3–4 пари листків	52,0	16,0	20,5	32,8	17,6
5. ГФ+ОБ+ХБ у фазу 3–4 пари листків	54,1	15,8	21,7	35,1	16,3
6. ГФ+ОБ у фазу змикання листків у рядках	54,8	15,9	21,2	36,2	17,7
7. ГФ+ХБ у фазу змикання листків у рядках	<b>64,6</b>	15,9	21,3	<b>38,8</b>	18,2
8. ГФ+ОБ+ХБ у фазу змикання листків у рядках	60,7	15,4	20,8	37,7	16,5
	P = 1,8 % НІР <sub>05</sub> = 3,0 т/га	P = 1,4 % НІР <sub>05</sub> = 0,6 %			

Таблиця 2 – Розрахунковий вихід біопалива з буряків цукрових, 2021–2023 рр.

Схема варіанту	Вихід біоетанолу з коренеплодів, т/га	Вихід біогазу з листя та коренеплодів, тис. м <sup>3</sup> /га
1. Контроль (без добрив)	3,6	10,9
2. ГФ	3,9	11,6
3. ГФ+ОБ у фазу 3–4 пари листків	4,2	13,0
4. ГФ+ХБ у фазу 3–4 пари листків	3,5	10,5
5. ГФ+ОБ+ХБ у фазу 3–4 пари листків	3,8	11,3
6. ГФ+ОБ у фазу змикання листків у рядках	3,6	11,3
7. ГФ+ХБ у фазу змикання листків у рядках	<b>4,5</b>	<b>13,7</b>
8. ГФ+ОБ+ХБ у фазу змикання листків у рядках	4,1	12,1

На решті варіантів у досліді, зокрема на контрольному, як врожайність буряків цукрових так і розрахунковий вихід біопалива, є меншими відносно кращого варіанту 7 у досліді.

**Висновки.** Встановлено, що на продуктивність буряків цукрових та вихід з них біопалива суттєво впливає система удобрення, яка передбачає не лише основне та передпосівне внесення, а також внесення елементів живлення під час вегетації.

Зокрема, в умовах нестійкого зволоження Центрального Лісостепу України Білоцерківської ДСС за 2021–2023 рр. досліджень найбільш ефективною схемою удобрення буряків цукрових була схема за внесення під передпосівну культивування препарату Граундфікс (5,0 л/га) – для мобілізації фосфору й калію з нерозчинних сполук, фіксації азоту і підвищення використання мінеральних добрив та препарату Хелпрост бор (1,0 л/га) у фазу змикання листя в рядках для рослин, що чутливі в період вегетації до дефіциту бору, на фоні основного осіннього удобрення  $N_{90}P_{90}K_{90}$  з показниками врожайності коренеплодів та листя 64,6 і 38,8 т/га відповідно.

За цієї схеми отримано досить високі значення вмісту сухої речовини в коренеплодах та листках – 21,3 та 18,2 %, що є вважливим чинником для отримання біопалива. За проведеними розрахунками вихід біоетанолу та біогазу з коренеплодів і листя становить 4,5 т/га і 13,7 тис. м<sup>3</sup>/га відповідно, що є найбільшими значеннями в досліді.

Високі розрахункові значення виходу біопалива також отримано на варіанті 3 за внесення препарату Граундфікс під передпосівну культивування та Органік баланс у фазу 3–4 пари листочків – 4,2 т/га біоетанолу та 13,0 тис. м<sup>3</sup>/га біогазу. Це досягнуто завдяки показнику цукристості коренеплодів, який за цього варіанту є одним з найвищих в досліді (16,3 %), а також і вміст сухої речовини в коренеплодах (21,4 %) та листках (20,6 %), що також враховується під час розрахунків.

Решта варіантів у досліді виявились менш продуктивними. Найгіршим за показниками продуктивності та виходу біопалива в досліді є контрольний варіант 1 без внесення добрив.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Чому вирощування енергокультур є перспективним в Україні? URL: <https://uabio.org/energy-crops/>
2. Стратегія низьковуглецевого розвитку України до 2050 року. URL: <https://mep.gov.ua/diyalnist/napryamky/zmina-klimatu/pom-yakshennya-zminy-klimatu/strategiya-nizkovugletseвого-rozvytku-ukrayiny-do-2050-roku/>
3. Біогаз та біометан в Україні. URL: <https://uabio.org/biogas-and-biomethane/>
4. Степаненко Д.С., Проскурня Т.О. Добування та утилізація біогазу з відходів: Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Збірник наукових праць. 2009. Вип. 9. Т. 5.
5. Micro impianto biogas da 30kwe. URL: <https://biogasengineering.it/>

6. Носенко Ю. Біогаз – реальна альтернатива природному газу? URL: <http://agro-business.com.ua/agro/idei-trendy/item/8373-biohaz-realna-alternatyva-pryrodnomu-hazu.html>
7. Цвей Я.П. Родючість ґрунтів і продуктивність сівозмін: монографія. Київ: «Компринт», 2014. 416 с.
8. Основи буряківництва / І.В. Глеваський та ін. Київ: Урожай, 1991. 216 с.
9. Господаренко Г.М. Основи інтегрованого застосування добрив: монографія. Київ: Нічлава, 2002. 344 с.
10. Заришняк А.С., Савчук К.І. Норми і способи внесення мінеральних добрив під цукрові буряки. Цукрові буряки. 2005. № 5. С. 8–9.
11. Заришняк А.С., Цвей Я.П., Іваніна В.В. Оптимізація удобрення та родючості ґрунту в сівозмінах. Київ: Аграрна наука, 2015. 207 с.
12. Мусієнко М.М. Фізіологія рослин. Київ: Либідь, 2005. 808 с.
13. Зміна агрохімічних показників чорнозему типового залежно від довготривалого застосування добрив у Лісостепу / Я.П. Цвей та ін. Вісник аграрної науки. 2012. № 7. С. 11–15.
14. Баланс елементів живлення у зерно-буряковій сівозміні залежно від системи удобрення / Я.П. Цвей та ін. Вісник аграрної науки. 2012. № 1. С. 33–37.
15. Українська інтенсивна технологія вирощування цукрових буряків / О.М. Ткаченко та ін.; за ред. О.М. Ткаченка, М.В. Роїка. Київ: АКАДЕМПРЕС, 1998. 240 с.
16. Тараріко О.Г., Греков В.О., Дацько Л.В. Механізми і технології контролю родючості ґрунтів. Вісник аграрної науки. 2011. № 11. С. 16–19.
17. Koch H.-J., Jacobs A. Was leistet Winterweizen nach verschiedenen Vorfrüchten? Zuckerrübe, 2014. 2. P. 35–38.
18. Мазур Г.М. Вплив систем удобрення цукрових буряків у сівозміні на їх продуктивність і винос елементів живлення. Збірник наукових праць ІЦБ. 2003. № 5. С. 240–247.
19. Мазур Г.М. Вплив систем удобрення на технологічну якість коренеплодів цукрових буряків. Цукрові буряки. 2007. № 5. С. 9–11.
20. Sharpley A.N. Reaction of fertilizer potassium in soils of differing mineralogy. Soil Science. 1990. 49. P. 44–51.
21. Дегодюк Е.Г., Никифорова Л.І., Гамалей В.І. Регулювання калійного режиму ґрунтів. Вирощування екологічно чистої продукції рослинництва. Київ: Урожай, 1992. С. 114–122.
22. Аскарів В.Р. Вплив мікродобрив та фунгіцидів на урожайність та технологічну якість цукрових буряків. Вісник Центру наукового забезпечення АПВ. Харків, 2017. № 21. С. 5–11.
23. Дзюбенко І.М. Вплив позакореневих мікродобрив на продуктивність буряків цукрових за різних строків збирання. Aktuální vymoženosti vědy – 2015: mat. XI mezinárodní vědecko – praktická konference. Praha: Publishing house «Education and Science», 2015. Díl. 6. P. 78–81.
24. Іванчук В.П. Вплив систем удобрення в сівозміні на продуктивність цукрових буряків. Агроном. 2010. № 4. С. 80–81.
25. Жердецький І.М. Позакореневе внесення макро- і мікродобрив та поглинання основних елементів живлення кореневою системою рослин цукрових буряків. Цукрові буряки. 2010. № 2. С. 18–20.
26. Жердецький І.М. Позакореневе підживлення у процесі формування врожаю цукрового буряку. Міжвідомчий тематичний науковий збірник «Землеробство». Чабани ВД «ЕКМО», 2008. № 80. С. 115–121.
27. Заришняк А.С., Жердецький І.М., Дернова Г.В. Залежність технологічної якості коренеплодів цукрових буряків від застосування мікродобрив. Вісник аграрної науки. 2010. № 2. С. 17–19.
28. Карпук Л.М. Вплив позакореневого підживлення мікродобривами на показники фотосинтетичної продуктивності цукрових буряків. Агробіологія. 2014. 1. С. 41–44.
29. Єремко Л.С., Сидоренко А.С., Олєпир Р.В., Агафанова С.О. Продуктивність окремих сільськогосподарських культур за застосування регуляторів росту рослин. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2009. № 1. С. 43–45.
30. Драган М.І., Грищенко Р.Є., Любич О.Г., Стопа С.П. Ефективність застосування соломи пшениці озимої під круп'яні культури на сірих лісових ґрунтах. Вісник аграрної науки. 2008. № 7. С. 19–22.
31. Іваніна В.В., Данюк М.С. Фотосинтетична та біологічна продуктивність буряків цукрових залежно від системи удобрення. Науково-теоретичний журнал «Землеробство та рослинництво: теорія і практика». 2022. № 3(5). С. 19–25.
32. Методика проведення досліджень у буряківництві / М.В. Роїк та ін. Київ: ФОП Корзун Д.Ю., 2014. 373 с.
33. Крикунов В.Г., Кравченко Ю.С., Криворучко В.В., Крикунова О.В. Ґрунтознавство: лабораторний практикум. Біла Церква, 2004. 216 с.
34. Практикум з ґрунтознавства: навч. посіб. / за ред. професора Д.Г. Тихоненка. Харків: Майдан, 2009. 448 с.
35. Ермантраут Е.Р., Присяжнюк О.І., Шевченко І.Л. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних у пакеті STATISTICA 6.0. Київ: ПоліграфКонсалтинг, 2007. 55 с.
36. 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. Chomu vyroshchuvannya enerhokultur ye perspektyvnym v Ukraini? [Why is the cultivation of energy crops promising in Ukraine?]. Available at: <https://uabio.org/energy-crops/>
2. Stratehiia nyzkovuhletsevoho rozvytku Ukrainy do 2050 roku [Strategy for low-carbon development of Ukraine until 2050]. Available at: <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/zmina-klimatu/pom-yakshennya-zminy-klimatu/strategiya-nyzk-ovugletsevo-go-rozvytku-ukrayiny-do-2050-roku/>
3. Biohaz ta biometan v Ukraini [Biogas and biomethane in Ukraine]. Available at: <https://uabio.org/biogas-and-biomethane/>
4. Stepanenko, D.S., Proskurnia, T.O. (2009). Dobuvannya ta utylizatsiia biohazu z vidkhodiv [Production and utilization of biogas from waste]. Pratsi Tavriiskoho derzhavnoho ahrotekhnolohichnoho universytetu: zbirnyk naukovykh prats [Proceedings of the Tavria State Agrotechnological University Collection of Scientific Works]. Issue 9, Vol. 5.
5. Micro impianto biogas da 30kwe [Micro impianto biogas da 30kwe]. Available at: <https://biogas-engineering.it/>
6. Nosenko, Yu. Biohaz – realna alternatyva pryrodnomu hazu? [Biogas – a real alternative to natural gas?]. Available at: <http://agro-business.com.ua/agro/idei-trendy/item/8373-biohaz-realna-alternatyva-pryrodnomu-hazu.html>
7. Tsvei, Ya.P. (2014). Rodiuchist gruntiv i produktyvnist sivozmin: monohrafiia [Soil fertility and crop rotation productivity]. Kyiv, «Komprynt», 416 p.
8. Hlevaskyi, I.V. (1991). Osnovy buriakivnytstva [Fundamentals of beet growing]. Kyiv, Harvest, 216 p.
9. Hospodarenko, H.M. (2002). Osnovy intehrovanoho zastosuvannya dobryv: monohrafiia [Fundamentals of integrated fertilizer application]. Kyiv, Nichlava, 344 p.
10. Zaryshniak, A.S., Savchuk, K.I. (2005). Normy i sposoby vnesennia mineralnykh dobryv pid tsukrovi buriaky [Norms and methods of applying mineral fertilizers to sugar beets]. Tsukrovi buriaky [Sugar beets]. no. 5, pp. 8–9.
11. Zaryshniak, A.S., Tsvei, Ya.P., Ivanina, V.V. (2015). Optyimizatsiia udobrennia ta rodiuchosti gruntu v sivozminakh [Optimization of fertilization and soil fertility in crop rotations]. Kyiv, Agricultural science, 207 p.
12. Musiienko, M.M. (2005). Fiziolohiia roslyn [Plant physiology]. Kyiv, Lybid, 808 p.
13. Tsveim, Ya.P. (2012). Zmina ahrokhimichnykh pokaznykiv chornozemu tipovoho zalezno vid dohotryvaloho zastosuvannya dobryv u Lisostepu [Change in agrochemical indicators of typical chernozem depending on long-term application of fertilizers in the Forest-Steppe]. Visnyk ahrarnoi nauky [Bulletin of Agrarian Science]. no. 7, pp. 11–15.
14. Tsvei, Ya.P. (2012). Balans elementiv zhyvlennia u zerno-buriakovii sivozmini zalezno vid systemy udobrennia [Balance of nutrients in grain-beet crop rotation depending on the fertilization system]. Visnyk ahrarnoi nauky [Bulletin of Agrarian Science]. no. 1, pp. 33–37.
15. Tkachenko, O.M. (1998). Ukrainska intensyvnna tekhnolohiia vyroshchuvannya tsukrovykh buriakiv [Ukrainian intensive technology of sugar beet cultivation]. Kyiv, AKADEMPRES, 240 p.
16. Tarariko, O.H., Hrekov, V.O., Datsko, L.V. (2011). Mekhanizmy i tekhnolohii kontroliu rodiuchosti gruntiv [Mechanisms and technologies of soil fertility control]. Visnyk ahrarnoi nauky [Bulletin of Agrarian Science]. no. 11, pp. 16–19.
17. Koch, H.-J., Jacobs, A. (2014). Was leistet Winterweizen nach verschiedenen Vorfrüchten? [What are the performance characteristics of winter wheat after different preceding crops?]. Zuckerrübe. no. 2, pp. 35–38.
18. Mazur, H.M. (2003). Vplyv system udobrennia tsukrovykh buriakiv u sivozmini na yikh produktyvnist i vynos elementiv zhyvlennia [The influence of sugar beet fertilization systems in crop rotation on their productivity and nutrient removal]. Zbirnyk naukovykh prats ITsB [Collection of Scientific Works of the Institute of Agricultural Sciences]. no. 5, pp. 240–247.
19. Mazur, H.M. (2007). Vplyv system udobrennia na tekhnolohichnu yakist koreneplodiv tsukrovykh buriakiv [The influence of fertilization systems on the technological quality of sugar beet roots]. Tsukrovi buriaky [Sugar beets]. no. 5, pp. 9–11.
20. Sharpley, A.N. (1990). Reaction of fertilizer potassium in soils of differing mineralogy [Reaction of fertilizer potassium in soils of differing mineralogy]. Soil Science [Soil Science]. no. 49, pp. 44–51.
21. Dehodiuk, E.H., Nykyforenko, L.I., Hamaiei, V.I. (1992). Rehuliuвання kaliinoho rezhymu gruntiv [Regulation of the potassium regime of soils]. Vyroshchuvannya ekolohichno chystoi produktsii rosllynnytstva [Growing environmentally friendly crop products]. Kyiv, Harvest, pp. 114–122.
22. Askarov, V.R. (2017). Vplyv mikrodoveryv ta funhitsydiv na urozhainist ta tekhnolohichnu yakist tsukrovykh buriakiv [The influence of microfertilizers and fungicides on the yield and technological quality of sugar beets]. Visnyk Tsentru naukovoho zabezpechennia APV [Bulletin of the Center for Scientific Support of the Agricultural Research Service]. Kharkiv, no. 21, pp. 5–11.
23. Dziubenko, I.M. (2015). Vplyv pozakorenykh mikrodoveryv na produktyvnist buriakiv tsukrovykh za riznykh strokiv zbyrannia [The influence of foliar microfertilizers on the productivity of sugar beets at different harvesting times]. Aktuální vymoženosti vědy – 2015: mat. XI mezinárodní vě-

decko – praktická konference. Praha, Publishing house «Education and Science» s.r.o., Díl. 6, pp. 78–81.

24. Ivanchuk, V.P. (2010). Vplyv system udobrennia v sivozmini na produktyvnist tsukrovykh buriakiv [The influence of fertilizer systems in crop rotation on the productivity of sugar beets]. *Ahronom [Agronom]*, no. 4, pp. 80–81.

25. Zherdetskyi, I.M. (2010). Pozakoreneve vnesennia makro- i mikrodobryv ta pohlynannia osnovnykh elementiv zhyvlennia korenevoiu systemoiu roslyn tsukrovykh buriakiv [Foliar application of macro- and microfertilizers and absorption of essential nutrients by the root system of sugar beet plants]. *Tsukrovi buriaky [Sugar beets]*, no. 2, pp. 18–20.

26. Zherdetskyi, I.M. (2008). Pozakoreneve pidzhyvlennia u protsesi formuvannia vrozhaiv tsukrovoho buriaku [Foliar fertilization in the process of sugar beet crop formation]. *Mizhvidomchyi tematychnyi naukovyi zbirnyk «Zemlerobstvo» [Interdepartmental thematic scientific collection "Agriculture"]*. Chabany, VD «EKMO», no. 80, pp. 115–121.

27. Zaryshniak, A.S., Zherdetskyi, I.M., Derno-va, H.V. (2010). Zalezhnist tekhnolohichnoi yakosti koreneplodiv tsukrovykh buriakiv vid zastosuvannia mikrodobryv [Dependence of the technological quality of sugar beet roots on the use of microfertilizers]. *Visnyk ahrarnoi nauky [Bulletin of Agrarian Science]*, no. 2, pp. 17–19.

28. Karpuk, L.M. (2014). Vplyv pozakorenevoho pidzhyvlennia mikrodobryvamy na pokaznyky fotosyntetychnoi produktyvnosti tsukrovykh buriakiv [The influence of foliar feeding with microfertilizers on the indicators of photosynthetic productivity of sugar beets]. *Ahrobiolohiia [Agrobiology]*, no. 1, pp. 41–44.

29. Ieremko, L.S., Sydorenko, A.S., Olepir, R.V., Ahafanova, S.O. (2009). Produktyvnist okremykh silskohospodarskykh kultur za zastosuvannia rehulatoriv rostu roslyn [Productivity of certain agricultural crops with the use of plant growth regulators]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii [Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy]*, no. 1, pp. 43–45.

30. Drahan, M.I., Hryshchenko, R.Ye., Liubchych, O.H., Stopa, S.P. (2008). Efektyvnist zastosuvannia solomy pshenytsi ozymoi pid krupiani kultury na sirykh lisovykh gruntakh [The effectiveness of using winter wheat straw for cereal crops on gray forest soils]. *Visnyk ahrarnoi nauky [Bulletin of Agrarian Science]*, no. 7, pp. 19–22.

31. Ivanina, V.V., Daniuk, M.S. (2022). Fotosyntetychna ta biolohichna produktyvnist buriakiv tsukrovykh zalezho vid systemy udobrennia [Photosynthetic and biological productivity of sugar beets depending on the fertilization system]. *Naukovo-teoretychnyi zhurnal «Zemlerobstvo ta roslynnystvo: teoriia i praktyka» [Scientific and theoretical journal "Agriculture and crop production: theory and practice"]*, no. 3 (5), pp. 19–25.

32. Roik, M.V. (2014). *Metodyka provedennia doslidzhen u buriakivnytsvi [Research methodology in sugar beet growing]*. Kyiv, FOP Korzun D.Yu., 373 p.

33. Krykunov, V.H., Kravchenko, Yu.S., Kryvoruchko, V.V., Krykunova, O.V. (2004). *Gruntoznavstvo [Soil science]*. Laboratornyi praktykum [Laboratory practical]. Bila Tserkva, 216 p.

34. Tykhonenko, D.H. (2009). *Praktykum z gruntoznavstva: navch. posib. [Soil science practical]*. Kharkiv, Maidan, 448 p.

35. 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, PolihrafKonsaltnh, 55 p.

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

#### **Determining the productivity potential of sugar beets as a raw material for biofuel production depending on the fertilization system**

**Khivrich O., Humentyk M., Kvak V., Fursa A., Klimenko V., Atamanyuk O., Senchuk S.**

Every year the demand for renewable energy obtained from plant biomass increases, which necessitates the formation of a new state energy policy. The document that outlines the strategic guidelines for the development of Ukraine's fuel and energy complex for the period up to 2035 is the «Energy Strategy of Ukraine for the period up to 2035: Security, Energy Efficiency, Competitiveness». Among the wide variety of agricultural plants that can be used for energy purposes, a special place is occupied by sugar beets, which have a number of advantages, namely: high yield and dry matter content in root crops, their sugar content; biomass is easily fermented, excellent methane yield per unit area, etc.

Diversification of sources and routes of energy supply, increasing domestic production will contribute to increasing the economic, environmental, and especially energy security of the state.

The article highlights the research results on the influence of fertilization system using microbiological preparations and organic-mineral fertilizers on the productivity of sugar beets and the yield of biofuel from them.

The aim of the work was to increase the energy potential of sugar beets as a raw material for biofuel production under different fertilization systems in the conditions of the Forest-Steppe of Ukraine.

The subject of the research is the elements of sugar beet cultivation technology for energy purposes, their analysis and evaluation.

The research was conducted at Bila Tserkva Research and Selection Station of the Institute of Biology and Ecology in 2021–2023 in the zone of unstable moisture of the central part of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine.

It has been established that most effective fertilization scheme for sugar beets is the application

of Groundfix (5.0 l/ha) before pre-sowing cultivation and Helprost Boron (1.0 l/ha) during the leaf closure phase in rows with basic fertilization  $N_{90}P_{90}K_{90}$ , with a root crop yield of 64.6 t/ha and a leaf yield of 38.8 t/ha. This allowed us to obtain the highest estimated values for bioethanol and biogas yield, which are 4.5 t/ha and 13.7 thousand  $m^3/ha$ , respectively.

**Key words:** sugar beets, fertilizers, biofuel, bioethanol, biogas.



Copyright: Хіврич О.Б. та ін. © 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>

Гументик М.Я.

<https://orcid.org/0000-0001-9052-9650>

Квак В.М.

<https://orcid.org/0000-0001-8996-0101>

Фурса А.В.

<https://orcid.org/0000-0001-6518-5286>

Клименко В.П.

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

Агаманюк О.М.

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

Сенчук С.М.

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