


АГРОНОМІЯ

УДК 636.086:502.7

Технологічні аспекти вирощування енергетичних культур на осушуваних органогенних ґрунтах Північного Лісостепу

Опанасенко О.Г. , Перець С.В. ,
Бєбєх Ю.М. , Борисенко В.І. 

Панфільська дослідна станція ННЦ «ІЗ НААН»

 E-mail: sonko.supiy@ukr.net

Опанасенко О.Г., Перець С.В., Бєбєх Ю.М., Борисенко В.І. Технологічні аспекти вирощування енергетичних культур на осушуваних органогенних ґрунтах Північного Лісостепу. «Агробіологія», 2024. № 2. С. 108–116.

Opanasenko O., Perets S., Bebekh Y., Borysenko V. Technological aspects of growing energy crops on drained organogenic soils of the Northern Forest-Steppe. «Agrobiology», 2024. no. 2, pp. 108–116.

Рукопис отримано: 29.08.2024 р.

Прийнято: 14.09.2024 р.

Затверджено до друку: 28.11.2024 р.

doi: 10.33245/2310-9270-2024-191-2-108-116

У статті наведено результати досліджень з добору найбільш продуктивних видів багаторічних трав'янистих культур на енергетичні цілі в умовах осушуваних органогенних (торфових) ґрунтів Північного Лісостепу. Встановлено вплив технологічних прийомів вирощування енергетичних культур на їх ріст, розвиток, урожайність та економічну ефективність. Дослід закладено на глибокому (1,8–2,0 м) осушуваному староорному карбонатному торфовищі рогазо-осокового походження з високим ступенем розкладу, виведеному з інтенсивного обробітку в заплаві р. Супій на Панфільській дослідній станції ННЦ «ІЗ НААН», Бориспільського району Київської області. Ґрунт добре забезпечений рухомими формами азоту, має середню забезпеченість фосфором (завдяки віванітовим прошаркам) і досить обмежений вміст калію.

У досліді вивчали: багаторічні трав'янисті культури, багаторічні злакові трави (5 видів) та їх сумішки, багаторічні трави природних сіножатей, дикорослі види трав. Застосовували наступну технологію вирощування енергетичних культур: фрезування дернини (середина серпня) багаторічних сінокісно-пасовищних угідь довготривалого користування на глибину 10–12 см, з подальшою оранкою на 22–25 см. Для покращення ефективності використання пласта багаторічних трав, як попередника енергетичних культур, проводили посів гірчиці білої на сидерат. Весняний передпосівний обробіток передбачав дворазове дискування площі на 10–12 см, з внесенням перед останнім дискуванням K_{60} і прикочування важкими болотними котками. Дослідження показали, що найбільшу продуктивність серед багаторічних трав'янистих енергетичних культур забезпечили – міскантус гігантський, топінамбур і сільфій пронизанолистий, вихід сухої біомаси становив 27,43; 24,07 і 22,51 т/га, або 466,3; 409,1; 382,7 ГДж/га енергії відповідно.

Ключові слова: біопаливо, енергетичні культури, міскантус гігантський, органогенні ґрунти, топінамбур, сільфій пронизанолистий, суха речовина, урожайність.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Одним із важливих стратегічних питань енергетичної незалежності нашої країни є розвиток біоенергетичної галузі [1, 2]. Для цього важливо створити власні джерела відновлювальної енергії на основі вирощування рослинної біоенергетичної

сировини на вилучених з інтенсивного обробітку землях [3, 4]. Частка енергетики, яку отримують з біомаси в загальному обсязі відновлювальних джерел енергії становить близько 80 %. Вона і надалі залишатиметься основним і перспективним джерелом альтернативної до викопних видів палива енер-

гії [5–7]. Це обумовлено можливістю отримувати з біомаси паливо будь-якого виду (рідина, газ, тверде паливо) і виробляти енергію в будь-якій формі (електрична теплова та інша) [8, 9].

Осушувані торфові ґрунти, яких в Україні нараховується близько 1,0 млн га, а старосіяні сінокісні угіддя займають площу близько 0,8 млн/га, оптимально підходять для вирощування енергетичних культур. Вони добре забезпечені вологою та азотом, що дозволяє накопичувати рослинами досить потужну біомасу з помірним внесенням добрив [10–12]. Важливим чинником для розвитку біоенергетичної галузі за цих умов є те, що традиційно у гумідній зоні на 80 % від загальної площі осушуваних земель вирощували кормові культури, а у зв'язку зі значним скороченням тваринництва останніми роками потреба в кормах різко зменшилась [13]. Тому, з метою ефективного використання осушуваних земель, доцільно вирощувати на них енергетичні культури для отримання твердого, рідкого чи газоподібного біопалива [14, 15].

З іншого боку, вивчення енергетичних культур проводили здебільшого на мінеральних ґрунтах [16]. Що стосується осушуваних торфових ґрунтів, то досліджень у цьому напрямі у вітчизняній науці недостатньо, що і стало основою для проведення досліджень за цією тематикою [17].

Мета дослідження передбачала проведення оцінки та добору малопоширених багаторічних трав'янистих культур на енергетичні цілі, встановлення ресурсного потенціалу природних і сіяних фітоценозів, розробку технології їх вирощування для виробництва біопалива. В результаті виконання завдання обґрунтовано і рекомендовано для умов осушуваних торфовищ оптимізовані способи плантаційного вирощування енергетичних культур, як сировини для виробництва твердого біопалива.

Матеріал і методи дослідження. Дослідження з вирощування багаторічних трав'янистих енергетичних культур для переробки на тверде паливо проводили на глибокому (1,8–2,0 м) осушуваному староорному карбонатному торфовищі рогазо-осокового походження з високим ступенем розкладу, виведеному з інтенсивного обробітку в заплаві р. Супій (Панфільська дослідна станція ННЦ «ІЗ НААН», Бориспільського району Київської області). Підстилаюча материнська порода – оглеєні алювіальні легкі суглинки. Валовий вміст азоту у торфовому ґрунті становить 1,9 %, фосфору – 0,45 %, калію – 0,17 %,

кальцію – 26–30 %, зольність становить 40–45 %, рН сольового розчину – 7,2–7,4.

Ґрунт добре забезпечений рухомими формами азоту, має середню забезпеченість фосфором (завдяки вівіанітовим прошаркам) і досить обмежений вміст калію. Схема досліду (табл. 1) передбачала вивчення продуктивності біомаси багаторічних трав'янистих енергетичних культур залежно від їх видового складу та технологічних прийомів вирощування. Площа ділянки – 35 м². Дослід закладено за методом систематичних повторювань: в кожному повторенні варіанти досліду розміщували систематично. Повторюваність дослідів – триразова. Посів і садіння енергетичних культур проводили з шириною міжрядь 70 см. У досліді використовували польовий, кількісно-ваговий, візуальний, лабораторний, розрахунково-порівняльний, математично-статистичний методи, а також методики – основи проведення дослідів в агрономії [19], та методики проведення досліджень по кормовиробництву під ред. А.О. Бабича [20].

Облік урожайності багаторічних трав'янистих культур виконували за допомогою зважування з усієї облікової ділянки і перерахуванням на 1 га. Вміст абсолютно сухої маси в урожаї визначали термостатно-ваговим методом за висушування біомаси в сушильній шафі за температури 105 °С згідно з ДСТУ 8044:2015 [22]. Вологість ґрунту визначали термостатно-ваговим методом три рази за вегетацію у шарі 0–30 см (ДСТУ ISO 11465-2001) [23].

Визначення нітратного і амонійного азоту в модифікації ННЦІГА ім. О.Н. Соколовського ДСТУ 4729:2007 [24], вміст рухомих форм фосфору – за Егнером-Рімом з наступним визначенням колориметрично, калію – на полуменовому фотометрі. Математичну обробку отриманих результатів досліджень проводили методом дисперсійного аналізу [19].

Погодні умови за час проведення досліджень характеризувались підвищеними температурними показниками, що перевищувало середню багаторічну норму на 2,3–2,9 °С, та малою сумарною кількістю опадів, яка становила 74–85 % норми. Вологість ґрунту за період вегетації рослин підтримували осушуваною мережею дослідної станції, влаштованою відкритими каналами завглибшки 1,6–1,7 м через 400–600 м, які доповнюють періодичним проведенням кротового дренажу в поєднанні зі шлюзуванням, за допомогою яких і здійснюють регулювання рівнів ґрунтових вод. З цієї причини вологозабезпеченість активного (0–30 см) шару ґрунту за

період проведення досліджень була наближена до оптимальних норм і коливалася залежно від року в межах 54–81 % за 2018 рік, 49–83 % – за 2019 рік, 51–80 % – за 2020 рік від повної вологості.

Щодо поживного режиму ґрунту на осушених торфовищах – ґрунти добре забезпечені азотом завдяки високому вмісту органічної маси (60–80 %) [13]. Вміст нітратного азоту за вегетаційний період багаторічних трав становив в межах 324–437 мг/кг сухого ґрунту, що було більш збалансованим і наближеним до норми.

Запаси рухомого фосфору в торфовому ґрунті залежать від природної забезпеченості фосфатними сполуками, його окультуреності, що обумовлено активністю мікробіологічних процесів [16]. Вміст доступних для рослин форм фосфору мав сезонний прояв, зі збільшенням від весни до осені. Середній вміст рухомого фосфору в шарі торфу 0–30 см під багаторічними посівами становив 73–85 мг/кг сухого ґрунту на початку вегетації і 86–94 мг/кг сухого ґрунту наприкінці.

Торфово-болотні ґрунти дуже бідні на калій і головним джерелом його поповнення є внесення добрив. Уміст калію після внесення калійних добрив K_{60} у ґрунті знаходився на рівні середньої й високої забезпеченості та на початку вегетаційного періоду рослин становив 182–263 мг/кг сухого ґрунту. Під впливом вегетації енергетичних культур вміст калію поступово зменшувався, особливо наприкінці вегетації, і становив 123–145 мг/кг сухого ґрунту.

Проведені дослідження показали, що поживний режим осушуваних органомінеральних ґрунтів значно залежав від внесення калійних добрив, а потреби в додатковому внесенні азотних і фосфорних добрив не було, що загалом вигідно економічно. Також це сприяє покращенню агроecологічного стану цих ґрунтів.

У досліді вивчали: багаторічні трав'янисті культури – топінамбур, сільфій пронизанолістий, міскантус гігантський, кропива коноплевидна, багаторічні злакові трави (5 видів) та їх сумішки, багаторічні трави природних сіножатей, сіда, свербіга східна, щавель кінський, щавнат. Дикорослі види трав – оман високий, сідач коноплевидний та інші.

Застосовували технологію вирощування енергетичних культур, яка включала фрезування дернини (середина серпня) багаторічних сінокісно-пасовищних угідь довготривалого користування на глибину 10–12 см,

з подальшою оранкою на 22–25 см. Для покращення ефективності використання пласта багаторічних трав як попередника енергетичних культур проводили посів гірчиці білої на сидерат і заробляли її в ґрунт до настання заморозків. Весняний обробіток передбачав дворазове дискування площі на 10–12 см, з внесенням перед останнім дискуванням K_{60} . Необхідності у внесенні азотних і фосфорних добрив не було, оскільки ґрунт добре забезпечений рухомими формами азоту, має середню забезпеченість фосфором (завдяки віванітовим прошаркам). Потім проводили до- і післяпосівне прикочування важкими болотними котками. Посів і посадку багаторічних трав'янистих культур проводили згідно з розробленими на станції агротехнічними прийомами для умов осушуваних торфовищ. Особливості технологій, рекомендованих для виробництва енергетичних культур наведено нижче. Спосіб захисту від бур'янів – агротехнічний, що включає проведення досходового боронування легкими боронами на малій швидкості агрегату (5 км/год) та за появи сходів рослин – дворазового міжрядного обробітку.

Характеристика, особливості та технологія вирощування найбільш перспективних енергетичних багаторічних трав'янистих культур наступна:

Міскантус гігантський (*Miscanthus giganteus*) – триплоїдний гібрид має стерильний пилок, тому насіння не утворює і розмножується вегетативно поділом кореневищ (ризомів) [14].

Дослідженнями встановлено, що за вирощування міскантуса гігантського на енергетичні цілі для забезпечення високої урожайності і кращих економічних показників необхідно застосовувати наступну технологію його вирощування: на площі в другій декаді серпня проводити фрезування скиби багаторічних злакових трав (ФБН-1,5) на 10–12 см з подальшою оранкою на 22–25 см. Надалі для покращення пласта багаторічних злакових трав як попередника енергетичних культур проводили посів гірчиці білої на сидерат. Для заробляння біомаси з гірчиці білої в ґрунт застосовувати глибоку гребеневу оранку на 30–35 см за переходу середньодобової температури нижче 0 °С.

Цей агрозахід крім покращення пласта багаторічних трав як попередника забезпечує і зниження дротяників на площі в межах 52–64 % від загальної кількості, що важливо за вирощування міскантуса гігантського в перший рік його вегетації [15, 18].

Навесні наступного року площу два рази дискують боронами БДТ-3 і коткують важкими болотними котками КВБ-3 до і після посіву. Посадку ризомів міскантуса можна проводити картоплесаджалкою, густина стояння рослин міскантуса гігантського за довготривалого використання (20 років і більше) – 10 тис. шт./га, схема садіння 0,7×1,4 м, маса ризомів для посадки має становити 50–70 г.

Садіння ризомів варто проводити на глибину 10–12 см, коли ґрунт прогріється на 10 см не менше як на 6 °С. Добрива вносять в нормі K_{60} під передпосівне дискування, у наступні роки добрива вносять поверхнево.

У перший рік вирощування міскантуса приділяють особливу увагу агротехнічним заходам захисту від бур'янів. Проводять досходове боронування легкими боронами. За появи сходів варто провести дворазовий, а за необхідності і триразовий міжрядний обробіток. Останній міжрядний обробіток необхідно провести з підгортанням рослин у рядку.

Скошування біомаси міскантуса можна проводити впродовж всього осінньо-зимового періоду, оскільки він стійкий до вилягання і мало втрачає сухих речовин.

Сильфій пронизанolistий (*Silphium perfoliatum* L.) – сягає висоти до 3 м. Ростає на одному місці 12–15 і більше років. Це вологолюбна, пізньостигла, холодостійка культура. Витримує морози до 30–35 °С. Добре росте на низинних торфових ґрунтах. Витримує затоплення – до 15 діб. Оптимальна реакція ґрунтового розчину – нейтральна.

Сіють сильфій пізно восени за 2–3 тижні до настання приморозків. У разі висівання навесні насіння обов'язково стратифікують. Спосіб сівби – широкорядний 70 см, з нормою висіву 18–20 кг/га. Оптимальна густина посівів 60–70 тис. рослин на 1 га. Глибина сівби – 2–3 см. Норма щорічного внесення добрив K_2O_5 – 60 кг/га.

У перший рік вирощування проводять 2–3 міжрядні обробітки. Оптимальний строк збирання для сильфію пронизанolistого в умовах осушуваних торфовищ настає в першій половині вересня.

Топінамбур (*Helianthus tuberosus*) або земляна груша – бульбоносна рослина роду соняшникових, родини айстрових. Топінамбур – одна з провідних біоенергетичних культур.

Технологія вирощування топінамбура наступна: восени на площі під посадку топінамбура проводять зяблеву оранку на 22–25 см. Навесні перед посадкою – дворазове дискування площі важкими дисковими боронами

на глибину 10–12 см. Під останнє дискування вносять K_2O_5 – 60 кг/га. Ґрунт коткують важкими котками. Садять бульби топінамбура рано навесні. Спосіб садіння – з шириною міжрядь 70 см. Для садіння використовують свіжозібрані бульби. Норма садіння становить 1,5–2,0 т/га. Густина садіння – 60 тис/га. Глибина загортання бульб на торфовищах – 10–12 см. За осіннього садіння бульби загортають на 2–3 см глибше.

Догляд за посівами в перший рік вирощування включає проведення до- і післясходового боронування і 2–3 міжрядних обробітки. У разі значного забур'янення насадження топінамбура підгортають. На другий і наступні роки вирощування необхідності в захисті від бур'янів немає через нагромадження великої вегетативної маси.

Слід зазначити, що топінамбур формує два урожаї на рік – надземну масу і урожай бульб. Оптимальний період для збирання надземної маси (період максимального накопичення урожаю сухої речовини) припадає на кінець серпня – початок вересня. Збирають біомасу кормозбиральним комбайном.

Результати дослідження та обговорення. За результатами досліджень з вивчення порівняльної оцінки та визначення енергетичного потенціалу малопоширених трав'янистих багаторічних енергетичних культур, як сировини для виготовлення біопалива встановлено, що на осушених торфових ґрунтах Північного Лісостепу з поміж трав'янистих багаторічних енергетичних культур в умовах 2018–2020 рр. найпродуктивнішими були: міскантус гігантський, топінамбур і сильфій пронизанolistий. Вони забезпечили одержання з 1 га сухої біомаси 27,43; 24,07 і 22,51 тонн відповідно, а теплової енергії – 466,3; 409,1 і 382,7 ГДж/га (табл. 1).

Незначно поступались їм сіда гермафродитна, яка забезпечила вихід з 1 га сухої маси на рівні 21,18 т/га, а теплової енергії – 360,1 ГДж. Середнім рівнем енергетичної продуктивності характеризувалися кропива коноплевидна і топінсоняшник з показниками 15,00–18,15 т/га сухої маси і 255,1–308,6 ГДж/га теплової енергії відповідно. Наступними за продуктивністю виявилися: міскантус сінензіс, свербіга східна, щавель кінський, щавнат, сідач коноплевидний, оман високий та багаторічні бобові і злакові трави (козлятник східний, тимофіївка лучна, стоколос безостий, грядиця збірна) та їх суміш. Відповідна урожайність цих культур становила в межах 7,06–11,95 т/га сухої біомаси і 120,0–203,2 ГДж/га теплової енергії.

Таблиця 1 – Продуктивність багаторічних енергетичних культур (в період максимального накопичення т/га, сухої біомаси), за 2018–2020 рр.

Культура	Збір сухої біомаси, т/га			Середнє	Вихід теплової енергії, ГДж/га
	2018 р.	2019 р.	2020 р.		
Топінамбур	25,38	24,63	22,19	24,07	409,1
Козлятник східний	9,46	8,81	6,11	8,12	138,1
Сіда гермафродитна	21,27	21,83	20,44	21,18	360,1
Щавнат	7,29	7,06	7,84	7,40	125,7
Кропива коноплевидна	13,65	15,14	16,22	15,00	255,1
Тимофіївка лучна	8,10	7,22	8,54	7,95	135,2
Сильфій пронизанолистий	23,69	22,54	21,31	22,51	382,7
Свербига східна	8,88	9,84	8,53	9,08	154,4
Щавель кінський	8,28	7,74	5,16	7,06	120,0
Міскантус гігантський	29,31	27,25	25,73	27,43	466,3
Міскантус сінензіс	13,35	12,38	10,12	11,95	203,2
Колосняк Магеллана	4,10	4,20	5,52	4,61	78,3
Стоколос безостий	8,99	8,03	9,47	8,83	150,1
Грястиця збірна	8,29	8,14	8,79	8,64	146,9
Суміш багаторічних трав	8,82	8,84	9,74	9,14	155,3
Оман високий	8,21	8,64	10,64	9,16	155,8
Сідач коноплевидний	7,53	9,20	9,55	8,76	148,9
Топінсоняшник	18,35	17,80	18,30	18,15	308,6
Макля серцеподібна	3,93	6,56	7,89	6,13	104,2
НІР _{0,05}	1,34	1,42	1,54		

За результатами досліджень найменш енергетично продуктивними виявились колосняк Магеллана і трава Макля з показниками 4,61 і 6,13 т/га і 78,3–104,2 ГДж/га відповідно. У зазначених багаторічних культур встановлено різні строки настання збиральної стиглості для виготовлення твердого біопалива, що дає можливість на їх основі організувати конвеєрне надходження сировини.

Найбільш раннім строком надходження сировини характеризується щавель кінський (червень), і найбільш пізнім (жовтень-листопад і зимовий період) – сіда гермафродитна, міскантус гігантський, сильфій пронизанолистий.

Важливим чинником за добору багаторічних трав'янистих культур на енергетичні цілі є їх стійкість до вилягання. Серед багаторіч-

них культур найвищу стійкість до вилягання виявив міскантус гігантський. За висоти в середньому 364 см, рослини не вилягали навіть за несприятливих погодних умов – дощ чи сніг, сильний вітер. На другому місці за стійкістю до вилягання знаходиться топінамбур з висотою рослин в середньому 371 см, вилягання рослин не перевищувало 3–5 % і на третьому – сільфій пронизанолистий з середньою висотою рослин в період збирання 284 см, вилягання становило 10–14 %. Встановлена різна стійкість багаторічних трав'янистих рослин до вилягання, це є важливим чинником за добору їх для виробництва біопалива в умовах осушуваних органічних ґрунтів.

Дослідженнями з динаміки наростання біомаси енергетичними культурами встановлено, що найбільше її на 1 га накопичується у міскантуса гігантського в середині вересня, а для топінамбура і сільфії пронизанолистої – наприкінці серпня.

Отже, найбільш придатним для вирощування на енергетичні цілі серед багаторічних трав'янистих культур виявився міскантус гігантський з показниками на рівні 27,4 т/га сухої речовини та енергетичною продуктивністю 466,3 Гдж/га. На другому місці знаходиться топінамбур – 24,07 т/га і 409,1 Гдж/га

відповідно, а на третьому – сільфій пронизанолистий з відповідними показниками 22,51 т/га і 382,7 Гдж/га (табл. 2).

Аналіз економічної ефективності перспективних для плантаційного вирощування багаторічних трав'янистих культур на енергетичні цілі показав, що найвищий умовно чистий прибуток – 13717 грн /га, вищу рентабельність – 182,6 %, і нижчу собівартість сухої біомаси – 273,8 грн/т, отримали на варіанті з міскантусом гігантським.

Високі економічні показники показав і варіант з топінамбуром, зокрема умовно чистий прибуток становив 11625 грн/га, рентабельність – 173,9 % і собівартість – 277,6 грн/т (табл. 2).

На варіанті сільфій пронизанолистий відповідно прибуток – 10944 грн/га, рентабельність – 164,9 % і собівартість – 294,8 грн/т. На варіанті сумішки багаторічних трав, який слугував контролем, рентабельність становила 73,5 %, собівартість сухої біомаси – 553,5 грн/т, в порівнянні з іншими варіантами.

Отже, аналіз економічної ефективності підтверджує можливість і доцільність вирощування багаторічних (міскантус гігантський, топінамбур, сільфій пронизанолистий) трав'янистих культур на енергетичні цілі в умовах осушуваних торфовищ.

Таблиця 2 – Економічна ефективність виробництва багаторічних трав'янистих енергетичних культур, середнє за 2018–2020 рр.

Показник	Багаторічні трав'янисті енергетичні культури						
	кропива коноплеводна	сіда гермафродитна	міскантус гігантський	топінамбур	сільфія пронизанолиста	топісосяшник	сумішка багаторічних трав
Вихід сухої біомаси, т/га	15,00	21,18	27,43	24,07	22,51	18,15	9,14
Вартість продукції, грн/га	12375	17473	21227	18307	17581	16863	8778
Матеріально-грошові витрати, грн/га	6153	6778	7510	6682	6637	6693	5059
Собівартість сухої біомаси, грн/т	410,2	320,0	273,8	277,6	294,8	368,8	553,5
Умовно-чистий прибуток, грн/га	5850	10695	13717	11625	10944	10170	3719
Рівень рентабельності, %	95,1	157,7	182,6	173,9	164,9	151,7	73,5

Висновки. Технологія вирощування трав'янистих багаторічних енергетичних культур включає: фрезування дернини (середина серпня) багаторічних сінокісно-пасовищних угідь довготривалого користування на глибину 10–12 см, з подальшою оранкою на 22–25 см. Для покращення ефективності використання пласта багаторічних трав, як попередника енергетичних культур, проводили посів гірчиці білої на сидерат. Весняний передпосівний обробіток передбачає дворазове дискування площі на 10–12 см, з внесенням перед останнім дискуванням K_{60} і прикочування важкими болотними котками. Дослідження показали, що серед багаторічних трав'янистих енергетичних культур перше місце за продуктивністю посідає міскантус гігантський з виходом сухої біомаси в середньому за три роки 27,43 т/га і 466,3 ГДж/га енергії, на другому та третьому місцях – топінамбур з показниками 24,07 т/га і 409,1 ГДж/га та сільфій пронизанolistий – 22,51 т/га і 382,7 ГДж/га відповідно. На цих варіантах отримали вищі економічні показники з рівнем рентабельності 164,9–182,6 %, та найменшою собівартістю сухої біомаси – 273,8–294,8 грн/т.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Перехід України на відновлювальну енергетику до 2050 року: звіт за результатами моделювання базового та альтернативних сценаріїв розвитку біоенергетичного сектору / О. Дячук та ін. Київ: ТОВ «АРТ КНИГА», 2017. 88 с.
2. Сінченко В.М., Ягольник О.О. Європейський досвід сталого виробництва біосировини на малопродуктивних землях в Україні. Біоенергетика. 2019. № 1 (13). С. 19–22.
3. Економічні аспекти вирощування багаторічних енергетичних культур / М.В. Роїк та ін. Біоенергетика. 2019. № 1 (13). С. 4–8.
4. Роїк М.В., Ганженко О.М. Агроекологічні аспекти сталого розвитку біоенергетики. Біоенергетика. 2020. № 1 (15). С. 14–19.
5. Гументик М.Я. Оцінка ефективності перероблення біомаси енергетичних культур на біопаливо. Біоенергетика. 2016. № 2 (8). С. 25–28.
6. Xue S., Kalinina O., Lewandowski I. Present and Future Options for Miscanthus Propagation and establishment. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015. 49. P. 1233–1246.
7. Формування садивного матеріалу міскантусу в другому році вегетації залежно від елементів технології його вирощування / В.А. Доронін та ін. Біоенергетика. 2018. № 2(12). С. 28–31.
8. Міскантус в Україні: монографія / М.В. Роїк та ін. Київ: ФОП Ямчинський О.В., 2019. 256 с.
9. Вільова В.М., Опанасенко О.Г., Довгрук Ю.О. Перспективні енергетичні культури на осушуваних торфовищах Лісостепу та їх водоспоживання в умовах зміни клімату. Вісник аграрної науки. 2023. № 1 (838). С. 68–76. DOI: 10.31073/agrovisnyk202301-08.
10. Кургак В.Г., Вільова В.М., Опанасенко О.Г. Технологія вирощування багаторічних і однорічних енергетичних трав'янистих культур для виготовлення твердих видів палива (паспорт технологій) ННЦ «Інститут землеробства НААН». Чабани, 2018. 21 с.
11. Вільова В.М., Опанасенко О.Г., Перець С.В. Технологія вирощування міскантусу гігантського на енергетичні цілі в умовах осушуваних торфовищ Лівобережного Лісостепу. Збірник наукових праць «Агробіологія». 2022. № 1. С. 6–14. DOI: 10.33245/2310-9270-2022-171-1-6-14
12. Слюсар І.Т. Методологічні особливості розрахунків доз добрив у сівозміні на осушуваних органогенних ґрунтах. Вісник аграрної науки. Київ, 2019. № 9 (798). С. 72–79. DOI: 10.31073/agrovisnyk201909-11
13. Слюсар І.Т., Камінський В.Ф., Соляник О.П., Сербенюк В.О. Продуктивність сільськогосподарських культур залежно від рівня їх удобрення на дренажних органогенних ґрунтах. Вісник аграрної науки. Київ, 2020. № 11 (812). С. 5–15. DOI: 10.31073/agrovisnyk202011-01
14. Опанасенко О.Г., Перець С.В. Продуктивність міскантусу гігантського залежно від елементів технології вирощування на осушуваних органогенних ґрунтах. Міжвідомчий тематичний збірник «Землеробство». Київ: ВП «Едельвейс», 2018. Вип. (4). С. 40–51.
15. Агротехнічний в поєднанні з біологічним способом боротьби з дротяником: пат. 127596 Україна: МПК А01В 79/02 (2006.01); заявл. 19.03.2018; опубл. 10.08.2018, Бюл. № 15.
16. Роїк М.В. Енергетичні культури для виробництва біопалива. Наукові праці Полтавської аграрної академії. Енергозбереження та альтернативні джерела енергії: проблеми і шляхи їх вирішення. Полтава, 2010. Т. 7 (26). С. 12–17.
17. Науково-практичні рекомендації із плантаційного вирощування міскантусу гігантського на осушуваних органогенних ґрунтах гумідної зони України / Є.В. Задубинна та ін. Свідчення про рєстрацію авторського права на твір №109762 від 24 листопада 2021 р. ДП «Український інститут інтелектуальної власності».
18. Долін В.Г. Методичні вказівки щодо обліку сільськогосподарських шкідників. Київ: Урожай, 1975. С. 6–28.
19. Єщенко П.О., Копитко П.Г., Опришко В.П., Костогриз П.В. Основи наукових досліджень в агрономії / за ред. В.О. Єщенка. Київ: Дія, 2005. 288 с.
20. Бабич О.А. Методика проведення дослідів по кормовиробництву / під ред. А.О. Бабича. Вінниця, 1994. 96 с.
21. Лісовал А.П., Давиденко У.М., Мойсеєнко Б.Н. Агрохімія: лабораторний практикум. Київ: Вища школа, 1999. 311 с.

22. ДСТУ 8044:2015. Угіддя природні кормові. Методи визначення продуктивності. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2018. 15 с.

23. ДСТУ ISO 11465 – 2001. Якість ґрунту. Визначення сухої речовини та вологості за масою. ННЦ ПА ім. О.Н. Соколовського. Держспоживстандарт України, 2001. 10 с.

24. ДСТУ 4729:2007. Якість ґрунту. Визначення нітратного і амонійного азоту в модифікації ННЦ ПА ім. О.Н. Соколовського. Київ: Держспоживстандарт України, 2008. III, 14 с.

REFERENCES

1. Diachuk, O. (2017). Perekhid Ukrainy na vidnovliuvannu enerhetyku do 2050 roku: zvit za rezul'tatamy modelivannia bazovoho ta alternatyvnykh stsenariiv rozvytku bioenerhetychnoho sektoru [Ukraine's Transition to Renewable Energy by 2050: Report on the Results of Modeling the Baseline and Alternative Scenarios for the Development of the Bioenergy Sector]. Kyiv, TOV Art knyha, 88 p.

2. Sinchenko, V.M., Yabolnyk, O.O. (2019). Yevropeiskyi dosvid staloho vyrobnytstva biosyrovyny na maloproduktyvnykh zemliakh v Ukraini [European experience of sustainable production of bio-raw materials on marginal lands in Ukraine]. Bioenerhetyka [Bioenergy]. no. 1 (13), pp. 19–22.

3. Roik, M.V. (2019). Ekonomichni aspekty vyroshchuvannia bahatorichnykh enerhetychnykh kultur [Economic aspects of growing perennial energy crops]. Bioenerhetyka [Bioenergy]. no. 1 (13), pp. 4–8.

4. Roik, M.V., Hanzhenko, O.M. (2020). Ahroekologichni aspekty staloho rozvytku bioenerhetyky [Agroecological aspects of sustainable development of bioenergy]. Bioenerhetyka [Bioenergy]. no. 1 (15), pp. 14–19.

5. Humentyk, M.Ia. (2016). Otsinka efektyvnosti pereroblennia biomasy enerhetychnykh kultur na biopalyvo [Evaluation of the efficiency of processing biomass of energy crops into biofuels]. Bioenerhetyka [Bioenergy]. no. 2 (8), pp. 25–28.

6. Xue, S., Kalinina, O., Lewandowski, I. (2015). Present and Future Options for Miscanthus Propagation and establishment. Renewable and Sustainable Energy Reviews. no. 49, pp. 1233–1246.

7. Doronin, V.A. (2018). Formuvannia sadyvnoho materialu miskantusu v druhomu rotsi vehetatsii zalezno vid elementiv tekhnolohii yoho vyroshchuvannia [Formation of miscanthus planting material in the second year of vegetation depending on the elements of its cultivation technology]. Bioenerhetyka [Bioenergy]. no. 2 (12), pp. 28–31.

8. Roik, M.V., Sinchenko, V.M., Pyrkin, V.I., Kvak, V.M. (2019). Miskantus v Ukraini: monohrafiia [Miscanthus in Ukraine]. Kyiv, FOP Yamchynskiy O.V., 256 p.

9. Virovka, V.M., Opanasenko, O.H., Dovhoruk, Yu.O. (2023). Perspektyvni enerhetychni kultury na osushuvanykh torfovyschakh Lisostepu ta yikh vodospozhyvannia v umovakh zminy klimatu [Perspective energy crops on the drained peatlands of

the Forest-Steppe and their water consumption in the conditions of climate change]. Visnyk ahrarynoi nauky [Bulletin of Agrarian Science]. no.1 (838), pp. 68–76. DOI: 10.31073/agrovisnyk202301-08.

10. Kurhak, V.H., Virovka, V.M., Opanasenko, O.H. (2018). Tekhnolohii vyroshchuvannia bahatorichnykh i odnorichnykh enerhetychnykh traviany-stykh kultur dlia vyhotovlennia tverdykh vydiv palyva (pasport tekhnolohii) NNTs «Instytut zemlerobstva NAAN» [Technologies for growing perennial and annual energy grass crops for the production of solid fuels (technology passport)]. Chabany. 21 p.

11. Virovka, V.M., Opanasenko, O.H., Perets, S.V. (2022). Tekhnolohiia vyroshchuvannia miskantusu hihantskoho na enerhetychni tsili v umovakh osushuvanykh torfovysch Livoberezhnoho Lisostepu [Technology of growing giant miscanthus for energy purposes in the conditions of drained peatlands of the Left-Bank Forest-Steppe]. Zbirnyk naukovykh prats «Ahrobiolohiia» [Collection of scientific papers “Agrobiology”]. no. 1, pp. 6–14. DOI: 10.33245/2310-9270-2022-171-1-6-14

12. Sliusar, I.T. (2019). Metodolohichni osoblyvosti rozrakhunkiv doz dobriv u sivozmini na osushuvanykh orhanohennykh gruntakh [Methodological features of calculating fertilizer doses in crop rotation on drained organogenic soils]. Visnyk ahrarynoi nauky [Bulletin of Agrarian Science]. Kyiv, no. 9 (798), pp. 72–79. DOI: 10.31073/agrovisnyk201909-11

13. Sliusar, I.T., Kaminskyi, V.F., Solianyk, O.P., Serbeniuk, V.O. (2020). Produktyvnist silskohospodarskykh kultur zalezno vid rivnia yikh udobrennia na drenovanykh orhanohennykh gruntakh [Productivity of agricultural crops depending on the level of their fertilization on drained organogenic soils]. Visnyk ahrarynoi nauky [Bulletin of Agrarian Science]. Kyiv, no. 11 (812), pp. 5–15. DOI: 10.31073/agrovisnyk202011-01

14. Opanasenko, O.H., Perets, S.V. (2018). Produktyvnist miskantusu hihantskoho zalezno vid elementiv tekhnolohii vyroshchuvannia na osushuvanykh orhanohennykh gruntakh [Productivity of giant miscanthus depending on the elements of cultivation technology on drained organogenic soils]. Mizhvidomchyi tematychnyi zbirnyk «Zemlerobstvo» [Interdepartmental thematic collection “Agriculture”]. Kyiv, VP «Edelweis», Issue (4), pp. 40–51.

15. Agrotekhnichnyj v pojednanni z biologichnym sposib borot'by z drotjanykom: pat. 127596 Ukraїna: MPK A01V 79/02 (2006.01); zajavl. 19.03.2018; opubl. 10.08.2018, Bjul. № 15 [Agrotechnical combined with biological method of combating dardweed: Pat. 127596 Ukraine: IPC A01B 79/02 (2006.01); application 03/19/2018; publ. 08/10/2018, Bulletin. No. 15].

16. Roik, M.V. (2010). Enerhetychni kultury dlia vyrobnytstva biopalyva [Energy crops for biofuel production]. Naukovi pratsi Poltavskoi ahrarynoi akademii. Enerhozberezhennia ta alternatyvni dzherela enerhii: problemy i shliakhy yikh vyrishennia [Energy saving and alternative energy sources: problems and ways of their solution]. Poltava, Vol. 7 (26), pp. 12–17.

17. Zadubynna, Ye.V., Opanasenko, O.H., Tarasenko, O.A., Perets, S.V., Malyshko, N.I. (2021). Naukovo-praktychni rekomendatsii iz plantatsiinoho vyroshchuvannya miskantusu hihantskoho na osushuvanykh orhanohennykh gruntakh humidnoi zony Ukrainy. Svidotstvo pro reiestratsiiu avtorskoho prava na tvir №109762 vid 24 lystopada 2021 r. DP «Ukrainskyi instytut intelektualnoi vlasnosti» [Scientific and practical recommendations for the plantation cultivation of giant miscanthus on drained organogenic soils of the humid zone of Ukraine. Certificate of copyright registration for the work No. 109762 dated November 24, 2021. State Enterprise “Ukrainian Institute of Intellectual Property”].

18. Dolin, V.H. (1975). Metodychni vказivky shchodo obliku silskohospodarskykh shkidnykiv [Methodical instructions for accounting of agricultural pests]. Kyiv, Harvest, pp. 6–28.

19. Yeshchenko, P.O., Kopytko, P.H., Opryshko, V.P., Kostohryz, P.V. (2005). Osnovy naukovykh doslidzhen v ahronomii [Fundamentals of scientific research in agronomy]. Kyiv, Diia, 288 p.

20. Babych, O.A. (1994). Metodyka provedennia doslidiv po kormovyrobnytstvu [Methods of conducting experiments on fodder production]. Vinnytsia, 96 p.

21. Lisoval, A.P., Davydenko, U.M., Moiseienko, B.N. (1991). Ahrokhimiia: laboratornyi praktykum [Agrochemistry: Laboratory Workshop]. Kyiv, High school, 311 p.

22. DSTU 8044:2015. (2018). Uhiddia pryrodni kormovi. Metody vyznachennia produktyvnosti [Natural fodder lands. Methods for determining productivity]. Kyiv, DP «UkrNDNTs», 15 p.

23. DSTU ISO 11465 – 2001. (2001). Yakist hruntu. Vyznachennia cukhoi rechovyny ta volohosti za masoiu [Soil quality. Determination of dry matter and moisture by weight]. NSC IGA named after A.N. Sokolovsky, Derzhspozhyvstandart of Ukraine, 10 p.

24. DSTU 4729:2007. (2008). Yakist hruntu. Vyznachennia nitratnoho i amoniinoho azotu v modifykatsii NNTs IHA im. O.N. Sokolovskoho [Soil quality. Determination of nitrate and ammonium nitrogen in the modification of the NSC IGA named after A.N. Sokolovsky]. Kyiv, Derzhspozhyvstandart of Ukraine, 14 p.

Technological aspects of growing energy crops on drained organogenic soils of the Northern Forest-Steppe

Opanasenko O., Perets S., Bebekh Y., Borysenko V.

The article presents the research results on the selection of the most productive species of perennial herbaceous crops for energy purposes in the conditions of drained organogenic (peat) soils of the Northern Forest-Steppe. The influence of technological methods of growing energy crops on their growth, development, yield, and economic efficiency was determined. The experiment was conducted on a deep (1.8–2.0 m) drained old-plowed carbonate peat bog of cattail-sedge origin with a high decomposition degree, removed from intensive cultivation in the floodplain of the Supyi River at the Panfily Experimental Station of the National Research Center «IZ NAAS», Boryspil district, Kyiv region. The soil is well supplied with mobile forms of nitrogen, has an average phosphorus supply (due to vivianite layers) and quite limited potassium content.

The experiment included perennial herbaceous crops, perennial cereal grasses (5 species) and their mixtures, perennial grasses of natural hayfields, and wild grass species. The following technology was used for growing energy crops: milling of the sod (mid-August) of long-term hayfields to a depth of 10–12 cm, followed by plowing to a depth of 22–25 cm. White mustard was sown as green manure to improve the efficiency of perennial grass layer using as a predecessor of energy crops. Spring pre-sowing tillage included double disking of the area by 10–12 cm, with the application of K_{60} before the last disking and rolling with heavy marsh rollers. The studies have shown that the highest productivity among perennial herbaceous energy crops was provided by giant miscanthus, Jerusalem artichoke and sylphium with dry biomass yields of 27.43 t/ha, 24.07 t/ha and 22.51 t/ha, or 466.3 GJ/ha, 409.1 GJ/ha, 382.7 GJ/ha of energy respectively.

Key words: biofuel, energy crops, giant miscanthus, organogenic soils, jerusalem artichoke, sylphium, dry matter, yield.



Copyright: Опанасенко О.Г. 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:

Опанасенко О.Г.

Перець С.В.

Бєбєх Ю.М.

Борисенко В.І.

<https://orcid.org/0000-0003-0035-8291>

<https://orcid.org/0000-0002-8155-064X>

<https://orcid.org/0009-0006-3209-287X>

<https://orcid.org/0000-0003-0550-7583>