DOI: 10.32636/01308521.2020-(68)-1-3

УДК 620.952

М. Д. ВОЛОЩУК, доктор сільськогосподарських наук

Н. М. ЛИС, кандидат сільськогосподарських наук

Н. Л. ТКАЧУК, Р. С. ІВАНЮК, молодші наукові співробітники

Прикарпатська державна сільськогосподарська дослідна станція

Інституту сільського господарства Карпатського регіону НААН

вул. С. Бандери, 21 а, м. Івано-Франківськ, 76015, e-mail: instapv@i.ua

ЕКОНОМІЧНА ТА ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР В УМОВАХ ЗАХІДНОГО РЕГІОНУ

Глобальні зміни клімату та його вплив на довкілля дають підстави для перегляду енергетичних стратегій та пошуку нових технологічних рішень в галузі відновлювальних джерел енергії (ВДЕ).

У структурі ВДЕ у світі більше 50% займає енергія, отримана з біомаси рослинного походження, – це 15% всієї сукупної енергії, яка використовується.

Україна належить до енергодефіцитних країн, які не в змозі забезпечити енергетичну галузь викопними видами палива, тому для нашої держави є актуальним завдання розвитку альтернативної енергетики.

Перспективним поновлювальним джерелом палива є біомаса трав'янистих і деревних культур. Серед деревних енергетичних культур найбільші плантації засаджені тополями та вербами. Згідно з літературними даними, тополя продуктивніша, ніж верба, оскільки паростки верби чутливі до літньої засухи.

Вплив основних умов середовища та технологій вирощування на врожайність і якість сільськогосподарських культур розкрито в багатьох наукових джерелах. Проте питання щодо впливу технології вирощування та ґрунтово-кліматичних чинників на ріст і розвиток рослин енергетичної верби і тополі в умовах Західного регіону мало вивчене і недостатньо висвітлене в наукових публікаціях, що зумовлює його актуальність.

Результатами досліджень встановлено, що найбільший вихід біопалива верби енергетичної отримано у варіанті з густотою садіння 15 тис. шт./га та внесенням мінеральних добрив, який склав 61 490 кг/га. Вихід енергії при цьому був 983,8 ГДж/га. Внесення мінеральних добрив забезпечило збільшення виходу твердого біопалива в межах від 11 550 до 18 040 кг/га по всіх варіантах дослідів.

Найбільший вихід біопалива тополі енергетичної отримано у варіанті з густотою садіння 6,7 тис. шт./га та внесенням мінеральних добрив – 76 450 кг/га. Вихід енергії при цьому – 122,3 ГДж/га. Внесення мінеральних добрив забезпечило збільшення виходу енергії в межах від 227 040 до

© Волощук М. Д., Лис Н. М.,
Ткачук Н. Л., Іванюк Р. С., 2020

285 120 МДж/га по всіх варіантах досліджу.

Проведена економічна оцінка вирощування енергетичної верби залежно від густоти насадження і фону живлення виявила, що найінтенсивніше економічний ефект зростав у варіанті з густотою садіння 15 та 12 тис. шт./га та внесенням мінеральних добрив, де було досягнуто прибутку 17,3–17,4 тис. грн/га.

Енергетично найефективнішим серед використаних у дослідженнях був варіант із густотою садіння 12 тис. шт./га та внесенням мінеральних добрив, за якого коефіцієнт енергетичної ефективності досяг 7,4.

Проведена економічна оцінка вирощування енергетичної тополі залежно від густоти насадження і фону живлення засвідчила, що найінтенсивніше економічний ефект зростав у варіанті з густотою садіння 6,7 та 5,6 тис. шт./га та внесенням мінеральних добрив, де було досягнуто прибутку 27,1–27,8 тис. грн/га.

Енергетично найефективнішим серед використаних у дослідженнях був варіант із густотою садіння 5,6 тис. шт./га та внесенням мінеральних добрив, за якого коефіцієнт енергетичної ефективності досяг 9,2.

Ключові слова: верба енергетична, тополя енергетична, вихід енергії, тверде біопаливо.

Voloschuk M., Lys N., Tkatchuk N., Iwaniuk R.

Precarpathian state agricultural experimental station of Institute of agriculture of Carpathian region of NAAS

Economic and energy efficiency of growing bioenergy crops in the western region

Global climate changes and its impact on the environment provide the basis for listing energy strategies and finding new renewable energy solutions (RES).

In the structure of renewable energy sources in the world more than 50% is consumed energy from biomass of vegetable origin and 15% of the total energy used.

Ukraine belongs to energy-deficient countries, which is unable to provide the energy sector with fossil fuels, therefore for our country it is the urgent task - development of alternative energy.

A promising renewable fuel source is biomass of grass and wood crops. Among the energy crops, the largest plantations are poplars and willows. According to the literary data, poplar is more productive than willow, since willow sprouts are susceptible to summer drought.

To date, the influence of the basic conditions of the environment and the technologies of cultivation on the yield and quality of crops is disclosed in many scientific publications and literary sources. However, at present, the question of the impact of cultivating technology and soil-climatic factors on the growth and development of energetic willow and poplar plants in the conditions of the Western region has been studied and insufficiently covered in scientific publications, which highlights the relevance of this issue.

The research results showed that the highest yield of energetic willow biofuel was obtained with a variant with a planting density of 15 thousand units/ha and the application of mineral fertilizers, which amounted 61490 kg/ha. The energy yield for this was 983.8 GJ/ha. Application of mineral fertilizers provides an increase in the yield of solid biofuels in the range from 11550 to 18040 kg/ha in all variants of the experiment.

The highest yield of energetic poplar biofuel was obtained with a planting density of 6.7 thousand units/ha and the application of mineral fertilizers and amounted 76,450 kg/ha. The energy yield for this is 122.3 GJ/ha. Application of mineral fertilizers provides an increase in energy yield in the range from 227040 to 285120 MJ/ha for all variants of the experiment.

The economic assessment of energetic willow cultivation depending on planting density and feeding background showed that the most intensive economic effect grew with planting density of 15 and 12 thousand units/ha and application of mineral fertilizers, where a profit of 17.3 - 17.4 thousand UAH/ha was reached.

The most energy efficient among those used in the research was the option with a planting density of 12 thousand units/ha and the application of mineral fertilizers, at which the energy efficiency ratio reaches 7.4.

The economic assessment of energetic poplar cultivation depending on planting density and feeding background showed that the most intensive economic effect grew with planting density of 6.7 and 5.6 thousand units/ha and the application of mineral fertilizers, where a profit of 27.1 - 27.8 thousand UAH/ha was reached.

The most energy efficient among those used in the research was the option with a planting density of 5.6 thousand units/ha and the application of mineral fertilizers, at which the energy efficiency ratio reaches 9.2.

Key words: energetic willow, energetic poplar, energy yield, solid biofuel.

Вступ. Розвиток світової цивілізації тісно пов'язаний з енергетичними ресурсами, що суттєво впливають на незалежну політику країни.

Враховуючи сучасну енергетичну кризу, породжену нестачею викопних видів палива, все більш актуальним стає питання використання ВДЕ та сталого розвитку економіки. Вдосконалення засад користування природно-ресурсним потенціалом, обґрунтування шляхів ефективного використання його резервів сприяють розв'язанню енергетичних проблем.

В Україні в останнє десятиріччя значна увага приділяється підвищенню ефективності використання біопалива та біоенергії, що дає змогу зменшити залежність національної економіки від імпорту енергоносіїв, знизити її енергоємність і забезпечити економічний розвиток [1, 2, 5, 7].

Одним з основних чинників збалансованого еколого-економічного розвитку України є ефективне використання природних

ресурсів, зокрема ВДЕ, в балансі агропромислового та лісового комплексу країни. Європейські держави досягли 10% забезпечення своїх енергетичних потреб за рахунок відновлювальної енергетики [30]. В Україні цей показник становить лише 4%, однак енергетична стратегія України на період до 2030 р. зобов'язує збільшити частку ВДЕ до 10% [29–30]. Наша держава змушена імпортувати приблизно 65% енергоносіїв. Більшість імпорту припадає на природний газ (79%) та нафтопродукти (66%), ціна на які постійно зростає.

Водночас потенціал України в плані виробництва ВДЕ є досить великим. Перш за все це пов'язано з тим, що Україна володіє дефіцитним у всьому світі ресурсом – землею. Ми маємо велику кількість орних площ, які з певних причин не використовуються в сільськогосподарському виробництві та цілком підійшли б для вирощування біоенергетичних культур. Отже, є всі передумови для створення національного біоенергетичного комплексу, до того ж світове зростання попиту на енергетичні сільськогосподарські культури сприяє підвищенню цін на біоенергетичну сировину, що збільшує пропозицію. Тому сільське господарство України має всі шанси перетворитись на галузь, здатну забезпечити не лише продовольчу, а й, певною мірою, енергетичну безпеку країни [15].

В енергетичному балансі України частка поновлювальних джерел енергії залишається незначною – 2,7%, з яких 1,9% припадає на гідроенергію і лише 0,8% – на біопаливо, енергію вітру та сонця. Отже, великим резервом підвищення відсотка використання біопалива в енергетичному балансі України може стати біопаливо, отримане від вирощування енергетичних рослин.

Залежність економіки України від імпорту енергоносіїв зумовлює необхідність пошуку альтернативних джерел для їх отримання. Вирішення цієї проблеми найближчим часом є надзвичайно актуальним з огляду на те, що через 7–10 років розвідані світові запаси нафти будуть вичерпані на 60–65%, запасів природного газу вистачить лише на 50–60 років, нафти – на 25–30, вугілля – на 500–600 років. Постійно зростаючі тарифи на газ та комунальні послуги ще більше стимулюють пошук, запровадження та використання альтернативних, нетрадиційних джерел енергії.

Збільшення енергоспоживання при зростанні ціни на енергоресурси та збільшення шкідливих викидів в атмосферу роблять розвиток біоенергетики надзвичайно актуальним.

Використанню біомаси як джерела для виробництва біопалива приділяють велику увагу в Німеччині, Польщі, Швеції, Данії.

Серед перспективних культур для зеленої енергетики виокремлюють такі основні енергетичні культури, як енергетична верба [21, 22], тополя [25], міскантус, свічграс, сіда багаторічна. Ці культури є маловимогливими до ґрунтово-кліматичних умов, унаслідок багаторічного беззмінного вирощування покращують структуру ґрунтів, а їх опале листя та кореневі рештки, які залишаються в ґрунті, здатні покращувати його родючість.

Тополь популярна серед деревних рослин в Україні і вважається однією з найбільш швидкорослих. Великого поширення вона набула в період створення вітрозахисних лісосмуг, висаджували її також як зелений фільтр для очищення забрудненого повітря в містах [23].

Застосування тополі надзвичайно різноманітне, але нині її розглядають як культуру, що може бути використана для виробництва твердих видів палива з подальшим отриманням тепла та електроенергії (теплотворна здатність тополі – приблизно 18,5 ГДж/т сухої маси). Вона більш бажана для виробництва біопалива, ніж багато інших деревних культур, з огляду на швидке зростання – до 5 м/р., а іноді й більше (залежно від клону та ґрунтово-кліматичних умов її вирощування), здатність продукувати значну кількість біомаси впродовж короткого періоду часу, високий вміст целюлози і низький – лігніну. На добрих ґрунтах клони тополі можуть давати до 18–20 т/га сухої речовини на рік [9, 25].

Позитивним моментом у вирощуванні тополі є те, що вона може рости в багатьох регіонах, має підвищену адаптивність до ґрунтів, досить високу стійкість до шкідників і легко розмножується вегетативно. Збирають енергетичну тополь переважно в зимовий період, що дає змогу використовувати звільнені технічні засоби, які були задіяні в літньо-осінній період. Наразі в Україні з'явилося багато підприємств, які займаються вирощуванням енергетичної верби, а от досвід промислового вирощування тополі як енергетичної культури для виробництва біопалива мають, на жаль, лише одиниці.

Енергетична верба є основною енергетичною культурою для виробництва твердого палива у світі. Це рослина з дуже високим приростом маси (в 14 разів більшим, ніж ліс, що росте природно). Середній щорічний приріст врожаю з 1 га становить 15–30 т деревини. Заготівлю здійснюють кожні 2–3 роки [10].

Енергетична верба – вид верби (*Salix*), що швидко росте та придатний для використання як біомаса. Ця верба застосовується шляхом прямого спалювання подрібненої біомаси або для виробництва паливних гранул і дає змогу зменшити втрати традиційних джерел енергії. Серед усіх енергетичних рослин у світі

саме верба стала основною енергетичною культурою для виробництва твердого палива [13, 20, 21]. Найбільші плантації верби розташовані у Швеції і складають приблизно 18–20 тис. га. В сусідній Польщі – більше 6 тис. га. В Україні, незважаючи на велику кількість незадіяних земель несільськогосподарського призначення, промислових плантацій енергетичних рослин поки що недостатньо.

Середній приріст маси енергетичної верби – 1,5 м на рік. Збір урожаю відбувається кожні 2–3 роки, період збору врожаю – листопад – лютий, коли опадає листя. Кількість циклів урожаю з однієї посадки – 7–8 разів, після чого можна проводити рекультивацію землі під посадку інших культур або закладати нову плантацію верби.

Саме вербу ефективно застосовують у протиерозійних заходах для укріплення ґрунтів; вона збагачує ґрунти мінералами та мікроелементами, поживними речовинами природного походження; плантації енергетичної верби є природними фільтрами для видалення відходів агропромислового виробництва та застосовуються як буферні зони в місцях накопичення біологічних відходів фермерських господарств; енергетична верба – природний фільтр для очищення ґрунтів від пестицидів [2].

Верби витримують періодичне покриття водою, але не є водяною культурою. Верба виживає і на луках та територіях з періодичним затопленням водою, де вирощування звичайних культур з певних причин ризиковане [28].

Ще однією перевагою при вирощуванні цієї культури є те, що порівняно з традиційними сільськогосподарськими культурами насадження енергетичної верби потребують у 3–5 разів менше елементів живлення та поповнюють запаси органіки в ґрунті завдяки опаді листя. Вони охоплюють корінням значно глибші горизонти ґрунту, ніж, наприклад, зернові культури, отримуючи з них додаткову кількість поживних речовин і вологи. Створені енергетичні плантації значно покращують естетичний, екологічний стан аграрних та урбанізованих ландшафтів, збільшують різноманіття флори та фауни [8, 26].

Насадження верби широко використовують для закріплення берегів рік і схилів ярів, а завдяки високій транспіраційній здатності (інтенсивному випаровуванню вологи з поверхні листової пластинки) їх застосовують для осушення ґрунтів [4, 16, 17]. Проведено низку досліджень та доведено позитивні аспекти використання насаджень енергетичних культур [6, 17, 18].

До пошуків нових, альтернативних джерел енергії учених спонукає багато причин, і одна з них – це екологія. Більшість

енергетичних рослин формують потужну вегетативну масу, яка інтенсивно фотосинтезує, зменшуючи надлишок вуглекислоти в атмосфері і наслідки парникового ефекту антропогенного походження, а коренева система за довготривалого вирощування культури на одному місці збагачує вміст органічної речовини в ґрунті, тим самим підвищуючи його родючість [14, 18, 20, 23].

Матеріали і методи. Науково-дослідна робота проводилась на дослідних полях Прикарпатської державної сільськогосподарської дослідної станції Інституту сільського господарства Карпатського регіону НААН та в лабораторних умовах.

Ґрунт дослідного поля дерновий опідзолений. Потужність гумусового горизонту становить 40 см. За гранулометричним складом ґрунт грубопилювато-середньосуглинковий. Структура орного шару розпилена (грудкувато-пилювата). Після випадання дощів ці ґрунти можуть запливати, і на них утворюється кірка. Агрохімічна характеристика: рН сольове (потенціометричний) – 4,6, сума увібраних основ (Ca+Mg) – 11,4 мг-екв/100 г (за Каппеном), вміст гумусу (за Тюрнімом) – 2,54%, лужногідролізованого азоту (за Корнфілдом) – 79,0, рухомого фосфору (за Кірсановим) – 48,0, рухомого калію (за Кірсановим) – 82,0 мг/кг ґрунту; рухомих форм мікроелементів: бору (за Бергером і Труогом) – 1,00, молібдену (за Грігом) – 0,20, марганцю (за Пейве і Рінккісом) – 48,0 мг/кг ґрунту.

Схема досліду № 1 (табл. 1) передбачає вплив низки факторів на ріст, розвиток і продуктивність культури.

Фактор А – схема розміщення садивних місць: густина садіння – 12, 15, 18 тис. шт./га.

Фактор В – мінеральне живлення.

Дослід закладений в чотириразовій повторності. Площа посівної ділянки – 150 м², облікової – 125 м². Загальна площа ділянок в досліді – 0,36 га.

Згідно зі схемою посадки культури було висаджено в спарені ряди на відстані 0,70 м і з міжряддями 2 м.

1. Схема досліду № 1

Культура	Густина садіння		Мінеральне живлення
Енергетична верба	1	12 тис. шт./га	Без добрив
			N ₄₀ P ₃₀₀ K ₃₀₀ + N ₄₀
	2	15 тис. шт./га	Без добрив
			N ₄₀ P ₃₀₀ K ₃₀₀ + N ₄₀
	3	18 тис. шт./га	Без добрив
			N ₄₀ P ₃₀₀ K ₃₀₀ + N ₄₀

Схема досліду № 2 (табл. 2) також передбачає вплив низки факторів на ріст, розвиток і продуктивність культури.

Фактор А – схема розміщення садивних місць: густина садіння – 8,3; 6,7; 5,6 тис. шт./га.

Фактор В – мінеральне живлення.

Дослід закладений в чотириразовій повторності. Площа посівної ділянки – 150 м², облікової – 125 м². Загальна площа ділянок в досліді – 0,36 га.

Згідно зі схемою посадки культури було висаджено в ряди з відстанню між рядами 3 м.

2. Схема досліду № 2

Культура	Густина садіння		Мінеральне живлення
Енергетична тополя	1	8,3 тис. шт./га	Без добрив
			N ₄₀ P ₃₀₀ K ₃₀₀ + N ₄₀
	2	6,7 тис. шт./га	Без добрив
			N ₄₀ P ₃₀₀ K ₃₀₀ + N ₄₀
	3	5,6 тис. шт./га	Без добрив
			N ₄₀ P ₃₀₀ K ₃₀₀ + N ₄₀

Результати та обговорення. Підготовка ґрунту складалась із таких технологічних операцій: лущення стерні, оранка та передсадильний обробіток. З метою підрізання кореневищ, знищення пирію та інших коренепаросткових бур'янів лущення проводили на глибину 16 см дисковою бороною БДТ-3 в агрегаті з трактором Т-150 К. Наступною технологічною операцією була оранка ґрунту на глибину 22 см.

Через два тижні після оранки було проведено розпушування та вирівнювання ґрунту на глибину 12 см просапним культиватором КПСП-4 із зубовими боронами. Це дало змогу знищити пророслі бур'яни і вирівняти поверхню поля. Перед цією операцією згідно зі схемою досліду були внесені добрива на заплановані ділянки в нормі N₄₀P₃₀₀K₃₀₀.

Для проведення досліджень використовували такі мінеральні добрива: азотні – у вигляді аміачної селітри (34,4% д. р.); калійні – хлористий калій (60% д. р.); фосфорні – суперфосфат гранульований (18,7% д. р.). Добрива на ділянки вносили весною під культивування вручну. Для садіння використовували живці довжиною 22–25 см, діаметром – 0,8–1,00 см. На кожному живці було по 5–12 вічок. Під

час садіння живців бруньки перебували в сплячому стані та стані набування. Відстань між бруньками – від 2 до 5 см.

Перед садінням живці замочували у воді на 24 години.

Через 12 днів після садіння проводили розпушування ґрунту і знищення бур'янів у міжряддях верби культиватором.

За результатами дослідження доведено, що найбільший вихід біопалива верби енергетичної отримано у варіанті з густотою садіння 15 тис. шт./га та внесенням мінеральних добрив, який склав 61 490 кг/га, що на 8360 кг/га більше порівняно з варіантом із густотою садіння 18 тис. шт./га та на 3520 кг/га більше порівняно з варіантом із густотою садіння 12 тис. шт./га (табл. 3).

Вихід енергії при цьому був 983 840 МДж/га у варіанті з густотою садіння 15 тис. шт./га та внесенням мінеральних добрив, 850 080 МДж/га – у варіанті з густотою садіння 18 тис. шт./га та 927 520 МДж/га – у варіанті з густотою садіння 12 тис. шт./га.

Внесення мінеральних добрив забезпечило збільшення виходу твердого біопалива у межах від 11 550 до 18 040 кг/га по всіх варіантах дослідів.

3. Вихід енергії та твердого біопалива з отриманої біомаси верби енергетичної четвертого року вегетації залежно від густоти насадження і фону живлення

Густота садіння	Мінеральне живлення	Збір сухої маси, т/га	Вихід твердого біопалива, кг/га	Вихід енергії, МДж/га
18 тис. шт./га (крок садіння 40 см)	Без добрив	37,8	41 580	665 280
	$N_{40}P_{300}K_{300} + N_{40}$	48,3	53 130	850 080
15 тис. шт./га (крок садіння 50 см)	Без добрив	39,5	43 450	695 200
	$N_{40}P_{300}K_{300} + N_{40}$	55,9	61 490	983 840
12 тис. шт./га (крок садіння 60 см)	Без добрив	37,9	41 690	667 040
	$N_{40}P_{300}K_{300} + N_{40}$	52,7	57 970	927 520

Найбільший вихід біопалива тополі енергетичної отримано у варіанті з густотою садіння 6,7 тис. шт./га та внесенням мінеральних добрив – 76 450 кг/га, що на 6160 кг/га більше порівняно з варіантом із

густотою садіння 8,3 тис. шт./га та на 3190 кг/га більше порівняно з варіантом із густотою садіння 5,6 тис. шт./га (табл. 4).

4. Вихід енергії та твердого біопалива з отриманої біомаси тополі енергетичної четвертого року вегетації залежно від густоти насадження і фону живлення

Густота садіння	Мінеральне живлення	Збір сухої маси, т/га	Вихід твердого біопалива, кг/га	Вихід енергії, МДж/га
8,3 тис. шт./га (крок садіння 40 см)	Без добрив	51,0	56 100	897 600
	N ₄₀ P ₃₀₀ K ₃₀₀ + N ₄₀	63,9	70 290	1 124 640
6,7 тис. шт./га (крок садіння 50 см)	Без добрив	55,3	60 830	973 280
	N ₄₀ P ₃₀₀ K ₃₀₀ + N ₄₀	69,5	76 450	1 223 200
5,6 тис. шт./га (крок садіння 60 см)	Без добрив	50,4	55 440	887 040
	N ₄₀ P ₃₀₀ K ₃₀₀ + N ₄₀	66,6	73 260	1 172 160

Вихід енергії при цьому був 1 124 640 МДж/га у варіанті з густотою садіння 8,3 тис. шт./га та внесенням мінеральних добрив, 1 223 200 МДж/га – у варіанті з густотою садіння 6,7 тис. шт./га та 1 172 160 МДж/га – у варіанті з густотою садіння 5,6 тис. шт./га.

Внесення мінеральних добрив забезпечило збільшення виходу енергії у межах від 227 040 до 285 120 МДж/га по всіх варіантах дослідів.

Отже, внесення мінеральних добрив забезпечило збільшення виходу твердого біопалива та енергії із верби та тополі енергетичної по всіх варіантах дослідів.

Економічну ефективність вирощування енергетичних культур розраховували, виходячи із затрат на вирощування та реалізаційної ціни біомаси (згідно з реалізаційною ціною ТОВ «Салікс Енерджі») [4]. Проведена економічна оцінка вирощування енергетичної верби залежно від густоти насадження і фону живлення виявила, що найінтенсивніше економічний ефект зростав у варіанті з густотою садіння 15 та 12 тис. шт./га та внесенням мінеральних добрив, де було досягнуто прибутку 17,3–17,4 тис. грн/га (табл. 5).

Для об'єктивнішої оцінки ефективності вирощування різних культур використовують показник енергетичної ефективності технологій їх вирощування – енергетичний коефіцієнт, який

визначають через співвідношення акумульованої енергії у їхньому врожаї з енергією, затраченою на його отримання.

Затрати сукупної енергії на вирощування біоенергетичних культур визначають для кожного агротехнічного заходу. Визначають також енергію, акумульовану в паливно-мастильних матеріалах, добривах, насінні, пестицидах, машинах і механізмах, транспортних засобах.

5. Економічна ефективність вирощування верби енергетичної залежно від густоти насадження і фону живлення

Густота садіння	Мінеральне живлення	Вихід сухої біомаси, т/га	Затрати на вирощування, тис. грн/га	Надходження від реалізації, тис. грн/га	Умовно чистий прибуток, тис. грн
18 тис. шт./га (крок садіння 40 см)	Без добрив	37,8	30,1	35,9	5,8
	$N_{40}P_{300}K_{300} + N_{40}$	48,3	38,5	45,9	7,4
15 тис. шт./га (крок садіння 50 см)	Без добрив	39,5	27,3	37,5	10,2
	$N_{40}P_{300}K_{300} + N_{40}$	55,9	35,8	53,1	17,3
12 тис. шт./га (крок садіння 60 см)	Без добрив	37,9	23,6	36,0	12,4
	$N_{40}P_{300}K_{300} + N_{40}$	52,7	32,7	50,1	17,4

Результати проведених досліджень свідчать, що вирощування енергетичної верби є високоефективним (табл. 6). Витрати енергії на вирощування вербової біомаси при цьому в 5,5–7,4 разу менші, ніж кількість акумульованої в ній енергії.

Енергетично найефективнішим серед використаних у дослідженні є варіант із густотою садіння 12 тис. шт./га та внесенням мінеральних добрив, за якого коефіцієнт енергетичної ефективності досяг 7,4.

Отримані результати підтверджують висновки інших дослідників, які вивчали енергетичну ефективність сільськогосподарських культур і встановили, що коефіцієнт енергетичної ефективності енергетичної верби достатньо високий [10].

6. Енергетична оцінка вирощування верби енергетичної залежно від густоти насадження і фону живлення

Густота садіння	Мінеральне живлення	Вихід сухої біомаси, т/га	Затрати сукупної енергії, ГДж/га	Вихід енергії, ГДж /га	Коефіцієнт енергетичної ефективності
18 тис. шт./га (крок садіння 40 см)	Без добрив	37,8	118,0	665,3	5,6
	$N_{40}P_{300}K_{300} + N_{40}$	48,3	153,8	850,1	5,5
15 тис. шт./га (крок садіння 50 см)	Без добрив	39,5	109,2	695,2	6,4
	$N_{40}P_{300}K_{300} + N_{40}$	55,9	143,2	983,8	6,9
12 тис. шт./га (крок садіння 60 см)	Без добрив	37,9	94,4	667,0	7,1
	$N_{40}P_{300}K_{300} + N_{40}$	52,7	125,3	927,5	7,4

Проведена економічна оцінка вирощування енергетичної тополі залежно від густоти насадження і фону живлення засвідчила, що найінтенсивніше економічний ефект зростає у варіанті з густотою садіння 6,7 та 5,6 тис. шт./га та внесенням мінеральних добрив, де було досягнуто прибутку 27,1–27,8 тис. грн/га (табл. 7).

7. Економічна ефективність вирощування тополі енергетичної залежно від густоти насадження і фону живлення

Густота садіння	Мінеральне живлення	Вихід сухої біомаси, т/га	Затрати на вирощування, тис. грн/га	Надходження від реалізації, тис. грн/га	Умовно чистий прибуток, тис. грн
8,3 тис. шт./га (крок садіння 40 см)	Без добрив	51,0	33,1	48,5	15,4
	$N_{40}P_{300}K_{300} + N_{40}$	63,9	41,7	60,7	19,0
6,7 тис. шт./га (крок садіння 50 см)	Без добрив	55,3	30,1	52,5	22,4
	$N_{40}P_{300}K_{300} + N_{40}$	69,5	38,9	66,0	27,1
5,6 тис. шт./га (крок садіння 60 см)	Без добрив	50,4	26,8	47,9	21,1
	$N_{40}P_{300}K_{300} + N_{40}$	66,6	35,5	63,27	27,8

Результати проведених досліджень свідчать, що витрати енергії

на вирощування біомаси з тополі енергетичної при цьому в 7,2–9,2 разу менші, ніж кількість акумульованої в ній енергії.

Енергетично найефективнішим серед використаних у дослідженнях є варіант із густотою садіння 5,6 тис. шт./га та внесенням мінеральних добрив, за якого коефіцієнт енергетичної ефективності досяг 9,2 (табл. 8).

8. Енергетична оцінка вирощування тополі енергетичної залежно від густоти насадження і фону живлення

Густота садіння	Мінеральне живлення	Вихід сухої біомаси, т/га	Заграти сукупної енергії, ГДж/га	Вихід енергії, ГДж/га	Коефіцієнт енергетичної ефективності
8,3 тис. шт./га (крок садіння 40 см)	Без добрив	51,0	120,1	897,6	7,5
	$N_{40}P_{300}K_{300} + N_{40}$	63,9	155,8	1124,6	7,2
6,7 тис. шт./га (крок садіння 50 см)	Без добрив	55,3	111,4	973,3	8,7
	$N_{40}P_{300}K_{300} + N_{40}$	69,5	145,9	1223,2	8,4
5,6 тис. шт./га (крок садіння 60 см)	Без добрив	50,4	96,4	887,0	9,2
	$N_{40}P_{300}K_{300} + N_{40}$	66,6	127,1	1172,2	9,2

Висновки. Найбільший вихід біопалива верби енергетичної отримано у варіанті з густотою садіння 15 тис. шт./га та внесенням мінеральних добрив, який склав 61 490 кг/га. Вихід енергії при цьому був 983,8 ГДж/га. Внесення мінеральних добрив забезпечило збільшення виходу твердого біопалива в межах від 11 550 до 18 040 кг/га по всіх варіантах досліджу.

Найбільший вихід біопалива тополі енергетичної отримано у варіанті з густотою садіння 6,7 тис. шт./га та внесенням мінеральних добрив – 76 450 кг/га. Вихід енергії при цьому був 122,3 ГДж/га. Внесення мінеральних добрив забезпечило збільшення виходу енергії у межах від 227 040 до 285 120 МДж/га по всіх варіантах досліджу.

Проведена економічна оцінка вирощування енергетичної верби залежно від густоти насадження і фону живлення виявила, що найінтенсивніше економічний ефект зростав у варіанті з густотою

садіння 15 та 12 тис. шт./га та внесенням мінеральних добрив, де було досягнуто прибутку 17,3–17,4 тис. грн/га.

Енергетично найефективнішим серед використаних у дослідженнях був варіант із густотою садіння 12 тис. шт./га та внесенням мінеральних добрив, за якого коефіцієнт енергетичної ефективності досяг 7,4.

Проведена економічна оцінка вирощування енергетичної тополі залежно від густоти насадження і фону живлення засвідчила, що найінтенсивніше економічний ефект зростав у варіанті з густотою садіння 6,7 та 5,6 тис. шт./га та внесенням мінеральних добрив, де було досягнуто прибутку 27,1–27,8 тис. грн/га.

Список використаної літератури

1. Бойко І. І. Перспективи вирощування енергетичної верби для виробництва твердого біопалива. *Біоенергетика*. 2017. № 1 (9). С. 24–26.
2. Гнап І. В. Інтродукція сортів енергетичної верби та удосконалення технології їх вирощування в Західному Поліссі : дис. ... канд. с.-г. наук : спец. 06.01.09. Київ, 2019. 20 с.
3. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. Москва, 1985. 351 с.
4. Енергетична верба: технологія вирощування та використання / М. В. Роїк та ін. Вінниця, 2015. 340 с.
5. Кравчук В. На шляху до створення плантацій енергетичних культур. *Техніка і технології АПК*. 2013. № 2. С. 31–34.
6. Лис Н. М., Фучило Я. Д., Ткачук Н. Л. Вплив густоти і внесення мінеральних добрив на ріст і продуктивність плантацій енергетичної верби в умовах Прикарпаття. *Біоенергетика*. 2018. № 2 (12). С. 19–21.
7. Макаrenchко В. Енергетичні культури в Україні. *Agroexpert: практичний посібник аграрія*. 2012. № 9. С. 114–117.
8. Методологія дослідження енергетичних плантацій верб і тополь / Я. Д. Фучило та ін. Київ, 2018. 137 с.
9. Роїк М. В. Перспективи вирощування енергетичної верби для виробництва біопалива. *Зб. наук. праць*

References

1. Boiko I. I. Perspektyvy vyroshchuvannya enerhetychnoi verby dlia vyrobnytstva tverdogo biopalyva. *Bioenerhetyka*. 2017. No. 1 (9). S. 24–26.
2. Hnap I. V. Introduktsiia sortiv enerhetychnoi verby ta udoskonalennia tekhnolohii yikh vyroshchuvannya v Zakhidnomu Polissi : dys. ... kand. s.-h. nauk : spets. 06.01.09. Kyiv, 2019. 20 s.
3. Dospekhov B. A. Metodyka polevoho opyta (s osnovamy statystycheskoi obrabotky rezultatov yssledovanyi). 5-e yzd., dop. y pererab. Moskva, 1985. 351 s.
4. Enerhetychna verba: tekhnolohiia vyroshchuvannya ta vykorystannia / M. V. Roik ta in. Vinnytsia, 2015. 340 s.
5. Kravchuk V. Na shliakhu do stvorennia plantatsii enerhetychnykh kultur. *Tekhnika i tekhnolohii APK*. 2013. No. 2. S. 31–34.
6. Lys N. M., Fuchylo Ya. D., Tkachuk N. L. Vplyv hustoty i vnesennia mineralnykh dobyrv na rist i produktyvnist plantatsii enerhetychnoi verby v umovakh Prykarpattia. *Bioenerhetyka*. 2018. No. 2 (12). S. 19–21.
7. Makarchenko V. Enerhetychni kultury v Ukraini. *Agroexpert: praktychnyi posibnyk ahrariia*. 2012. S. 114–117.
8. Metodolohiia doslidzhennia enerhetychnykh plantatsii verb i topol / Ya. D. Fuchylo ta in. Kyiv, 2018. 137 s.
9. Roik M. V. Perspektyvy vyroshchuvannya enerhetychnoi verby dlia vyrobnytstva biopalyva. *Zbirnyk naukovykh*

Ін-ту біоенергетичних культур і цукрових буряків. 2011. Вип. 12. С. 142–148.

10. Роїк М. В. Перспективи вирощування енергетичної верби для виробництва твердого біопалива. *Біоенергетика*. 2013. № 2. С. 18–19.

11. Роїк М. В. Перспективи розвитку біоенергетики в Україні. *Цукрові буряки*. 2012. № 23. С. 68.

12. Роїк М. В. Роль і місце фітоенергетики в паливно-енергетичному комплексі України. *Цукрові буряки*. 2011. № 1. С. 6–7.

13. Ружило З. Альтернатива природним вуглеводням. *Механізація сільського господарства*. 2011. № 2. С. 15–18.

14. Савіна С. С. Проблеми і перспективи розвитку виробництва біопалива в Україні. *Зб. наук. праць ВНАУ. Сер.: Економічні науки*. 2011. № 1 (48). С. 166–171.

15. Сінченко В. М., Гнап І. В. Вплив основних елементів живлення на продуктивність енергетичної верби. *Біоенергетика*. 2018. № 1. С. 9–12.

16. Сінченко В. М., Пиркін В. І., Гнап І. В. Управління технологічними процесами вирощування енергетичної верби. *Біоенергетика*. 2016. № 2. С. 6–10.

17. Ткачук Н. Л. Вихід енергії та твердого біопалива з отриманої біомаси тополі енергетичної залежно від густоти насадження і фону живлення. *Зб. наук. праць міжнар. наук.-практ. конф. Подільського держ. агро-техніч. ун-ту*. 2019. Ч. I. С. 157.

18. Умови, необхідні для вирощування енергетичної верби / В. М. Сінченко та ін. *Біоенергетика*. 2017. № 2. С. 9–13.

19. Фучило Я. Д., Лис Н. М., Ткачук Н. Л. Ріст і продуктивність енергетичних плантацій верби в умовах Прикарпаття. *Зб. наук. праць Ін-ту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2019. Вип. 27. С. 115–122.

20. Фучило Я. Д., Літвін В. М., Сбитна В. М. Плантаційне вирощування тополі в умовах Київського Полісся. Київ, 2012. 214 с.

prats Instytutu bioenerhetychnykh kultur i tsukrovyykh buriakiv. 2011. Vyp. 12. S. 142–148.

10. Roik M. V. Perspektyvy vyroshchuvannya enerhetychnoi verby dlia vyrobnytstva tverdogo biopalyva. *Bioenerhetyka*. 2013. No. 2. S. 18–19.

11. Roik M. V. Perspektyvy rozvytku bioenerhetyky v Ukraini. *Tsukrovi buriaky*. 2012. № 23. S. 68.

12. Roik M. V. Rol i mistse fitoenerhetykiv palyvno enerhetychnomu kompleksu Ukrainy. *Tsukrovi buriaky*. 2011. No. 1. S. 6–7.

13. Ruzhilo Z. Alternatyva pryrodnyum vuhlevodnyam. *Mekhanizatsiia silskoho hospodarstva*. 2011. No. 2. S. 15–18.

14. Savina S. S. Problemy i perspektyvy rozvytku vyrobnytstva biopalyva v Ukraini. *Zbirnyk naukovykh prats VNAU. Seria: Ekonomichni nauky*. 2011. No. 1 (48). S. 166–171.

15. Sinchenko V. M., Pyrkin V. I., Hnap I. V. Upravlinnia tekhnolohichnyymy protsesamy vyroshchuvannya enerhetychnoi verby. *Bioenerhetyka*. 2016. No. 2. S. 6–10.

16. Sinchenko V. M., Hnap I. V. Vplyv osnovnykh elementiv zhyvlennia na produktyvnist enerhetychnoi verby. *Bioenerhetyka*. 2018. No. 1. S. 9–12.

17. Tkachuk N. L. Vykhid enerhii ta tverdogo biopalyva z otrymanoï biomasy topoli enerhetychnoi zalezno vid hustoty nasadzhennia i fonu zhyvlennia. *Zbirnyk naukovykh prats mizhnarodnoi naukovopraktychnoi konferentsii Podilskoho derzhavnoho ahro-tekhnichnoho universytetu*. 2019. Chastyna I. S. 157.

18. Umovy, neobkhdni dlia vyroshchuvannya enerhetychnoi verby / V. M. Sinchenko ta in. *Bioenerhetyka*. 2017. No. 2. S. 9–13.

19. Fuchylo Ya. D., Lys N. M., Tkachuk N. L., Ivaniuk R. S. Rist i produktyvnist enerhetychnykh plantatsii verby v umovakh Prykarpattia. *Zbirnyk naukovykh prats Instytutu bioenerhetychnykh kultur i tsukrovyykh buriakiv*. 2019. Vyp. 27. S. 115–122.

20. Fuchylo Ya. D., Litvin V. M., Sbytna V. M. Plantatsiine vyroshchuvannya topoli v umovakh Kyivskoho Polissia.

21. Фучило Я. Д. Особливості вирощування енергетичної верби. *Біоенергетика*. 2016. № 1. С. 11–13.
22. Фучило Я. Д. Перспективи вирощування енергетичної верби. *Сучасні аграрні технології*. 2013. № 7. С. 69–71.
23. Фучило Я. Д., Сбитна М. В. Верби України (біологія, екологія, використання). Київ, 2009. 200 с.
24. Фучило Я. Енергетична верба – перспективи вирощування в Україні. *Новини агротехніки*. 2013. № 1/2. С. 30–31.
25. Хіврич О. Тополя на біопаливо: особливості технології вирощування. *Пропозиція*. 2016. № 1. С. 66.
26. Чурілов Д. Г. Державне регулювання ринку твердого біопалива як один із чинників збалансованого природокористування. *Вісник Полтав. держ. аграрної акад.* 2012. № 2. С. 89–93.
27. Шевчук Р. Біоенергетичні культури для Полісся. *Аграрний тиждень. Україна*. 2013. № 31/32. С. 13–14.
28. Шершун М. Х. Еколого-економічні особливості розвитку біоенергетики в зоні Полісся. *Економіка АПК*. 2012. № 9. С. 19–23.
29. Щербина О. М. Верба енергетична: Використання та вирощування. Ужгород, 2011. 104 с.
30. McCracken A. R., Dawson W. M. Interaction of willow (*Salix*) clones growing in mixtures. *Tests of Agrochemicals and Cultivars*. 2019. P. 54–55.
- Kyiv, 2012. 214 s.
21. Fuchylo Ya. D. Osoblyvosti vyroshchuvannya enerhetychnoi verby. *Bioenerhetyka*. 2016. No. 1. S. 11–13.
22. Fuchylo Ya. D. Perspektyvy vyroshchuvannya enerhetychnoi verby. *Suchasni ahrarni tekhnolohii*. 2013. No. 7. S. 69–71.
23. Fuchylo Ya. D., Sbytna M. V. Verby Ukrainy (biolohiia, ekolohiia, vykorystannia). Kyiv, 2009. 200 s.
24. Fuchylo Ya. Enerhetychna verba – perspektyvy vyroshchuvannya v Ukraini. *Novyny ahrotekhniki*. 2013. No. 1/2. S. 30–31.
25. Khivrych O. Topolia na biopalyvo: osoblyvosti tekhnolohii vyroshchuvannya. *Propozytsiia*. 2016. No. 1. P. 66.
26. Churilov D. H. derzhavne rehulivannya rynku tverdoho biopalyva yak odyin iz chynnykiv zbalansovanoho pryrodokorystuvannya. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*. 2012. No. 2. S. 89–93.
27. Shevchuk R. Bioenerhetychni kultury dlia Polissia. *Ahrarnyi tyzhen Ukraina*. 2013. No. 31/32. S. 13–14.
28. Shershun M. Kh. Ekoloho-ekonomichni osoblyvosti rozvytku bioenerhetyky v zoni Polissia. *Ekonomika APK*. 2012. No. 9. S. 19–23.
29. Shcherbyna O. M. Verba enerhetychna: *Vykorystannia ta vyroshchuvannya*. Uzhhorod, 2011. 104 s.
30. McCracken A. R., Dawson W. M. Interaction of willow (*Salix*) clones growing in mixtures. *Tests of Agrochemicals and Cultivars*. 2019. S. 54–55.

Отримано 26.08.2020