

DOI: 10.32636/01308521.2026-(79)-1-12

Оригінальна наукова стаття

УДК 630:620.952

**ОПТИМІЗАЦІЯ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ
ВИРОЩУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ВЕРБИ
В УМОВАХ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ****А. М. Шувар, В. С. Панькевич**

Західноукраїнський національний
університет
вул. Львівська, 11, м. Тернопіль,
46009

Про авторів:

Антін ШУВАР,
доктор сільськогосподарських наук,
професор
ORCID: 0000-0002-6016-0896

Віталій ПАНЬКЕВИЧ,
аспірант
ORCID: 0000-0002-6618-4549

Для листування:

Антін ШУВАР
e-mail: a.shuvar@wunu.edu.ua

Інформація про фінансування:

Міністерство освіти і науки України

Отримано:
23 січня 2026 р.
Погоджено до друку:
12 лютого 2026 р.
Опубліковано:
31 березня 2026 р.

За результатами досліджень встановлено оптимальні строки та глибину садіння живців енергетичної верби (*Salix L.*) та їх вплив на ріст, розвиток та продуктивність в умовах Західного Лісостепу України. Наведено результати досліджень росту і розвитку енергетичних плантацій верби прутувидної (*S. viminalis L.*) та Тритичинкової (*Salix triandra L.*) в умовах Західного Лісостепу України. Дослідження виконувалися впродовж 2022–2024 рр. на дослідних ділянках Західноукраїнського національного університету, які розташовані в зоні нестійкого зволоження. Погодні умови в роки досліджень за ступенем відхилення від середніх багаторічних, як за окремими місцями, так і за період вегетації були в межах показників характерних для зони нестійкого зволоження Лісостепу України. Садіння живців енергетичної верби завдовжки 25 см здійснювалось у 4 строки: третя декада вересня, третя декада жовтня, друга декада квітня та перша декада травня. Встановлено, що для отримання високої продуктивності біомаси енергетичної верби в перші роки вирощування вирішальними факторами є забезпеченість вологою, якість підготовки ґрунту та удосконалення технологічних процесів вирощування на основі визначення особливостей росту та розвитку рослин. У ґрунтово-кліматичних умовах Західного Лісостепу вищі показники продуктивності біомаси енергетичної верби отримані за пізно осіннього садіння живців у III декаді жовтня та ранньовесняного у I–II декаді квітня за густоти насаджень рослин 14–15 тис./га. Найбільший вплив на продуктивність біомаси верби має густота та схема садіння. Урожайність біомаси та сукупний вихід енергії з енергетичної плантації за трирічний термін вирощування знаходиться в прямолінійній залежності від приживлюваності живців верби Прутовидної, що може забезпечити до 90–95 Гкал/га.

Ключові слова: живці енергетичної верби, біомаса, біопаливо, елементи технології вирощування, *S. viminalis L.*, продуктивність наземної маси.

Стаття з відкритим доступом на умовах ліцензії Creative Commons.

© Шувар А. М., Панькевич В. С., 2026

Optimization of elements of technology cultivation of energy willow in the conditions of the forest-step of Ukraine

West Ukrainian National University
11 Lvivska Str. Ternopil, 46009

About authors:

Antin SHUVAR
ORCID: 0000-0002-6016-0896

Vitalii PANKEVYCH
ORCID: 0000-0002-6618-4549

For corresponding

Antin SHUVAR
e-mail: a.shuvar@wunu.edu.ua

Funding information:

Ministry of Education and Science
of Ukraine

Received:
January 23, 2026
Accepted:
February 12, 2026
Published:
March 31, 2026

The results of the research established the optimal timing and depth for planting energy willow (*Salix* L.) cuttings and their impact on growth, development and productivity in the conditions of the Western Forest-Steppe of Ukraine. The results of studies on the growth and development of energy plantations of *Salix viminalis* L. and *Salix triandra* L. in the Western Forest-Steppe of Ukraine are presented. The research was carried out during 2022–2024 on experimental plots of the Western Ukrainian National University located in an area of unstable moisture. The weather conditions during the years of research, in terms of deviation from the long-term average both in individual locations and during the growing season, were within the range typical for the zone of unstable moisture in the Forest-Steppe of Ukraine. The planting of 25 cm long energy willow cuttings was carried out in four stages: the third decade of September, the third decade of October, the second decade of April and the first decade of May. It has been established that in order to obtain high biomass productivity of energy willow in the first years of cultivation, the decisive factors are moisture supply, soil preparation quality and improvement of cultivation processes based on the determination of plant growth and development characteristics. In the soil and climatic conditions of the Western Forest-Steppe, the highest biomass productivity of energy willow was obtained from late autumn planting of cuttings in the third decade of October and early spring planting in the first and second decades of April, with a planting density of 14–15 thousand plants per hectare. The density and planting pattern have the greatest impact on willow biomass productivity. Biomass yield and total energy output from an energy plantation over a three-year cultivation period are directly dependent on the survival rate of Prutovidna willow cuttings, which can provide up to 90–95 Gcal/ha.

Keywords: energy willow cuttings, biomass, biofuel, cultivation technology elements, *S. viminalis* L., above-ground mass productivity.

This is an open-access article under the terms of the Creative Commons.

Вступ. Критичний стан енергетичної системи України разом із підвищенням вартості викопних видів палива потребують децентралізації та збільшення частки відновлювальних джерел енергії. В даній ситуації для стабілізації економіки країни все більше актуальною та популярною стає біоенергетика на основі органічної сировини [1, 7, 15]. Поряд з тим, з метою збільшення енергетичних об'єктів, які працюють на біопаливі необхідна достатня кількість органічної сировини. В останні роки швидкими темпами проходить збільшення промислових плантацій біоенергетичних культур короткої ротації з високою врожайністю біомаси та підвищеним вмістом целюлози [3, 5, 9]. Для

розв'язання даної проблеми все більше долучаються виробники сільськогосподарської продукції, аграрні підприємства та фермери. Тому, для високої рентабельності та ефективності біоенергетичної галузі науковцями проводиться удосконалення та оптимізація нових ефективних технологій вирощування та перероблення біомаси.

Однією з перспективних біоенергетичних культур для виробництва біопалива в зоні Західного Лісостепу України є енергетична верба (*S. viminalis* L.). Оскільки дана культура є новою для агропромислового комплексу постає важливе завдання детального дослідження та удосконалення елементів технології

виращування в ґрунтово-кліматичних умовах Західного Лісостепу України. Промислові плантації енергетичної верби можна закладати на низькопродуктивних деградованих землях різного механічного складу, зокрема і на вироблених торфовищах, землях, які потребують рекультивації для утримання процесів ерозії ґрунтів. З аналізу наукових джерел для створення плантацій енергетичної верби застосовуються різні техніко-технологічні рішення, ефективність яких має суттєві показники на урожайність біомаси [4, 6, 16, 24].

Використання біомаси в сільській місцевості має екологічний та економічний аспект, що сприяє створенню нових робочих місць і здешевленню теплової й електричної енергії [10, 11, 18]. В Україні паливну тріску з енергетичних плантацій верби можна застосовувати у кількох ключових напрямках. Вона слугує паливом для теплоелектроцентралей, що працюють на біомасі та виробляють електроенергію за програмою «зеленого» тарифу. Її використовують у котлах на твердому паливі для забезпечення теплом бюджетних установ, соціальних об'єктів, а також систем централізованого опалення житлових будинків і нежитлових споруд у невеликих населених пунктах. Вона також може стати ефективним джерелом для приватного сектору, забезпечуючи опалення та гарячу воду. Крім того, паливна тріска є стабільною сировиною для підприємств з виробництва паливних гранул або брикетів та функціональним енергоносієм для виробничих процесів, зокрема генерації тепла і пари [14, 20, 21].

Дослідження авторів [13, 17, 19] показали, що створення насаджень верби може покращувати якість води та впливати на потоки парникових газів, розглядаючи її як перспективний біоенергетичний фотофільтр у ландшафті, а інтеграція вербових насаджень у структуру землекористування може суттєво зменшувати сумарний кліматичний вплив енергетичних систем завдяки заміщенню викопного палива й змінам у викидах

парникових газів з ґрунту. Продуктивність насаджень і стабільність врожаю значно залежать від біологічних особливостей генотипів, організації ротацій виращування, правового регулювання, ринкової кон'юнктури та екологічних наслідків, що підкреслює важливість комплексного підходу їх впровадження в енергетичну стратегію [12, 22, 23].

Метою наших досліджень було визначити вплив строків, глибини садіння та площі живлення рослин енергетичної верби (*Salix* L.) на показники продуктивності біомаси. Завданням дослідження передбачено встановити закономірності росту, біометричні параметри та продуктивність біомаси рослин енергетичної верби шляхом встановлення залежності між ними. Визначити рівень впливу погодних умов та особливості водоспоживання на ріст та розвиток біомаси, встановити закономірності формування високої та стабільної продуктивності залежно від різних агротехнічних заходів: строків садіння, площі живлення, густоти стояння та ступені загущеності рослин енергетичної верби. Дослідження передбачають прогнозування та управління процесами формування урожайності біомаси енергетичної верби прутувидної (*S. viminalis* L.) та тритичинкової (*Salix triandra* L.) залежно від ґрунтово-кліматичних та погодних умов зони Лісостепу України, збільшення виходу біомаси з площі, зниження витрат коштів і енергії на виробництво та зменшення негативного впливу на навколишнього середовища, створення нових елементів технологій для енергоощадного виращування сировини.

Матеріали і методи. Дослідження виконувалися у 2022–2024 рр. в умовах Західного Лісостепу України на дослідних ділянках науково-дослідного виробничого господарства «Наука» Західноукраїнського національного університету. Ґрунт дослідних ділянок – чорноземи типові, глибокі, малогумусні, які мають нейтральну реакцію ґрунтового розчину рН сольове – 6,4. Кліматичні умови

в роки досліджень характеризувалися середньодобовою температурою повітря, яка в період активної вегетації (від 1.04 до 1.10) становила $+14,6^{\circ}\text{C}$ і $+15,3^{\circ}\text{C}$. Річна кількість опадів становила 600–700 мм. Кількість опадів у вегетаційний період – 450–550 мм.

У ході досліджень визначалася врожайність біомаси сортів «прутовидна» і «тритичинкова» (фактор А), садіння живців яких (фактор В) виконувалося у два строки весною та два восени (II декада квітня; I декада травня; III декада вересня; III декада жовтня) за трьома схемами й щільності садіння (фактор С) – (перша – $2 \times 70 \times 200$ (14,8 тис. шт./га); друга – $2 \times 100 \times 200$ (13,3 тис. шт./га); третя – $2 \times 150 \times 200$ (11,4 тис. шт./га)). Крок садіння живців на ділянках – 50 см. Площа

дослідної ділянки – 200 м^2 , облікової – 20 м^2 . Повторюваність дослідів – триразова. Визначення врожайності біомаси проводилося після закінчення періоду вегетації рослин, коли з рослин опало листя. На облікових ділянках зрізалися і зважувалися пагони рослини з усіх кущів верби. Висота зрізу 8–10 см. Після зважування значення маси пагонів у кг ділилося на дві частини й визначалася врожайність сирої біомаси в т/га. Дослідження проводилися за загальноприйнятими науковими методиками, традиційними для лісівництва та рослинництва [2, 6, 8]. В процесі досліджень ґрунтово-кліматичних умов проведено аналіз кількості опадів та температури повітря (рис. 1).

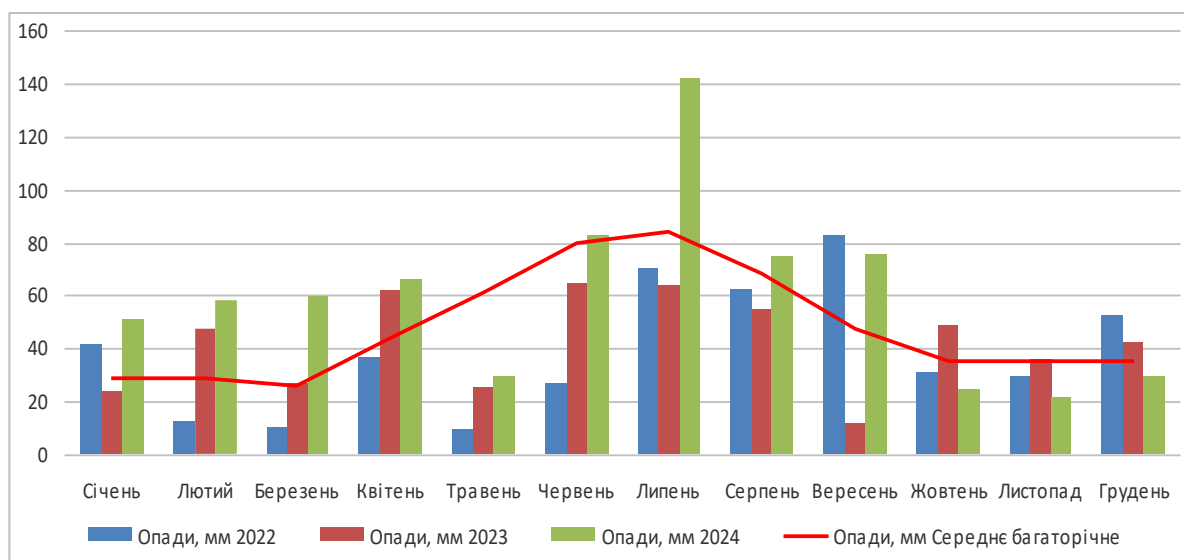


Рис. 1. Кількість опадів та відхилення від середніх багаторічних значень на ділянках науково-дослідного виробничого господарства «Наука» Західноукраїнського національного університету (2022–2024 рр.)

Середня річна кількість опадів у регіоні за роки досліджень становить 570 мм. В окремі роки як, наприклад у 2022 р. їх кількість становила 470 мм, або у 2023 р. збільшується до 700 мм. Останніми роками в цілому спостерігається зменшення кількості опадів порівняно з середньою багаторічною нормою. Регіон дослідження є відносно сприятливим для вирощування

плантацій верби з огляду на достатню кількість опадів та середньорічну температуру. Варто зазначити, що впродовж трьох років досліджень спостерігалися вищі температури порівняно із середніми багаторічними даними.

Дані метеорологічних спостережень за роки проведення досліджень наведено на рис. 2.

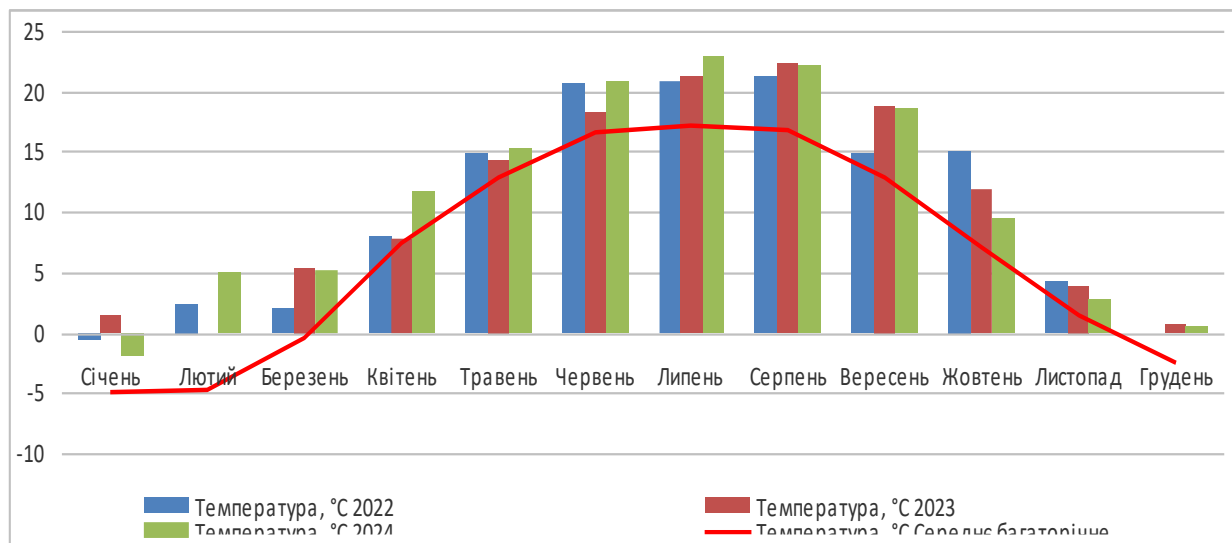


Рис. 2. Температури повітря та відхилення від середніх багаторічних значень на ділянках науково-дослідного виробничого господарства «Наука» Західноукраїнського національного університету (2022–2024 рр.)

Встановлено, що температурний режим 2022, 2023 та 2024 рр. був майже без значних коливань, але з перевищенням середніх багаторічних показників. У 2022 р. за період вегетації температура повітря була вищою за середні багаторічні значення на 1,1 °C.

Загалом найпосушливішими серед років проведення досліджень виявився 2022 р., опади впродовж вегетаційного періоду хоч і випадали регулярно, але в значно меншій кількості. При цьому температура повітря впродовж цього періоду на 1,5–2,0 °C перевищувала середні багаторічні показники, що спричинило значне зниження запасів продуктивної

вологи в ґрунті та, як наслідок, зменшення врожайності біомаси енергетичної верби. Але в цілому можна зробити висновок про те, що погодні умови в роки досліджень за ступенем відхилення від середніх багаторічних як за окремими місцями, так і за період вегетації були в межах показників характерних для зони нестійкого зволоження Лісостепу України.

На основі даних температури повітря і кількості опадів за роки проведення досліджень було визначено показники гідротермічного коефіцієнта (ГТК) протягом теплого періоду року з температурою повітря вище 10 °C (табл. 1).

1. Показники гідротермічного коефіцієнта (ГТК) в зоні проведення досліджень за вегетаційний період (2022–2024 рр.)

Роки	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Середнє
2022	1,5	0,2	0,4	1,1	0,9	1,8	0,6	0,9
2023	2,6	0,5	1,2	0,9	0,8	0,2	1,3	1,1
2024	1,8	0,6	1,3	0,2	1,1	1,3	0,8	1,0

Наведені дані показують, що найбільш сприятливим для росту і розвитку рослин в досліджуваних умовах був 2023 р., коли показник ГТК становив 1,1, а найбільш несприятливими, як згадувалось вище був

2022 р., коли гідротермічний коефіцієнт становив 0,9 і був нижчим за середні багаторічні показники.

Результати та обговорення.
Встановлено, що основними факторами, які

впливають на приживання живців енергетичної верби є строки, глибина садіння та площа живлення. Серед агротехнічних заходів, спрямованих на збільшення врожайності біомаси енергетичної верби важлива роль належить науково обґрунтованим вимогам до процесу садіння: 1) посадка заданої кількості живців верби на одиницю площі поля; 2) рівномірне розміщення та відповідна глибина садіння.

В результаті проведених досліджень визначено, що найвищий відсоток приживлюваності живців енергетичної верби отримано за пізньоосінньої посадки у третій декаді жовтня, що забезпечило укоріненість живців верби прутувидної на 92,5 % за густоти садіння 15 тис./га та тритичинкової – 91,0 %, Наступним

ефективним строком садіння з високим відсотком приживлюваності черенків енергетичної верби є весняний період садіння у другій декаді квітня – 81 % у двох видів верби. Найменша приживлюваність живців отримана за пізньовесняного садіння (І декада травня) – від 62,0 до 72,5 % за густоти стояння 12 тис./га. Це зумовлено низькою забезпеченістю ґрунтом вологи та зниженням середньорічної кількості опадів за роки проведення досліджень у травні, де коефіцієнт ГТК був найменшим 0,2–0,6. У наступні роки відпад рослин енергетичної верби був незначним. Найважливішим фактором, що суттєво впливає на приживлюваність обох видів верби, є строки посадки (рис. 3).

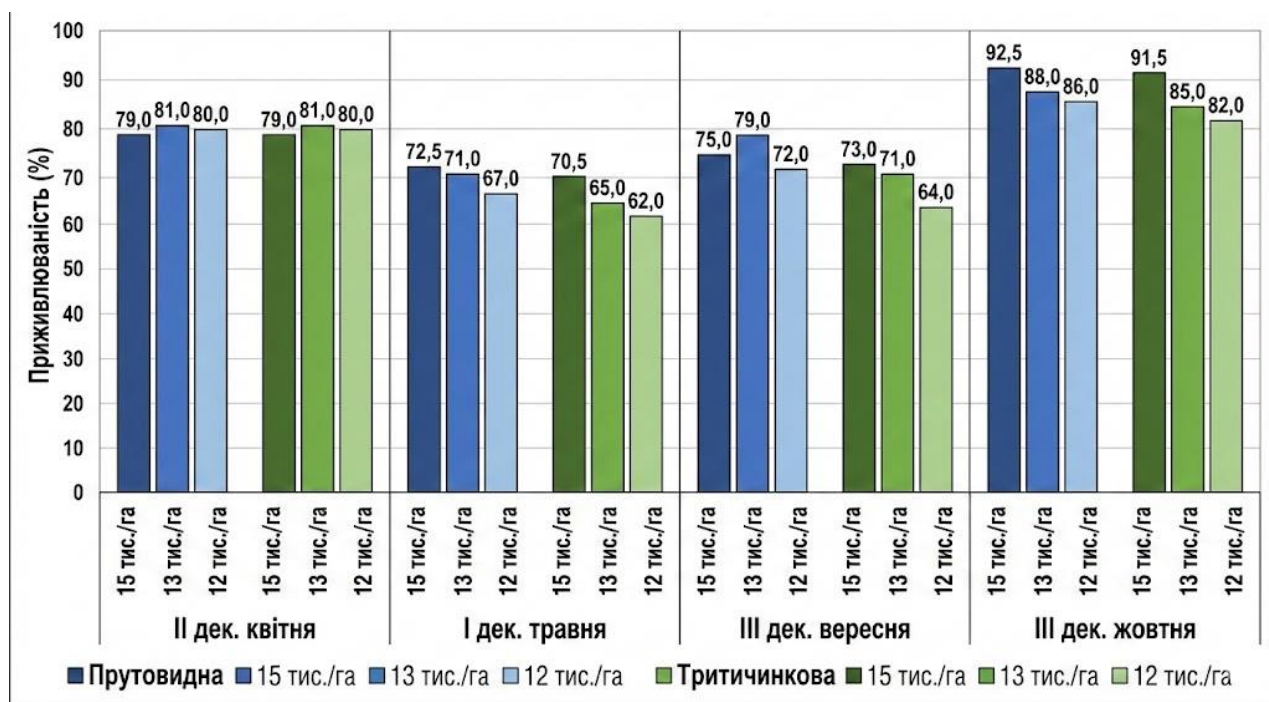


Рис 3. Приживлюваність черенків енергетичної верби прутувидна та тритичинкова залежно від строків та густоти насадження, НДВГ «Наука» ЗУНУ (2022–2024 рр.)

Дослідженнями визначено, що висока урожайність біомаси енергетичної верби в Умовах Західного Лісостепу України можлива лише за ретельного дотримання та оптимізації елементів технології вирощування і, в першу чергу, строків садіння. Тому наукове обґрунтування оптимізації елементів технології

вирощування та сортові особливості повинні гарантувати щорічно високий урожай біомаси енергетичної верби в ґрунтово-кліматичних умовах Західного Лісостепу України залишається актуальним питанням.

Важливим заходом під час закладання промислових плантацій верби є

формування оптимальної густоти стояння рослин. Цей захід дозволяє підвищити ефективність використання сонячної енергії в ході фотосинтезу. У зріджених насадженнях значна частина світла не буде використана рослинами, а в загущених рослинах затіняють одні одних. Оптимальні строки садіння обумовлені

біологічними властивостями рослин, а саме: температурою та вологістю ґрунту, придатними до проростання, сприяють швидкому росту і розвитку рослин на початкових етапах органогенезу, що забезпечує високий урожай. Ріст і розвиток рослин характеризується біометричними показниками.

2. Продуктивність трирічної верби прутовидної та тритичинкової залежно від виду, строків та густоти садіння, НДВГ «Наука» ЗУНУ (2022–2024 рр.)

Види верби	Строки садіння живців	Густота садіння живців, тис/га	Висота рослин верби, см	Урожайність сирової біомаси, т/га	Вихід енергії, Мдж/га
прутовидна	II декада квітня	15	350	55,6	476
		13	345	53,9	459
		12	340	51,0	433
	I декада травня	15	320	48,6	413
		13	314	47,5	408
		12	312	46,0	391
	III декада вересня	15	338	52,6	447
		13	349	53,9	459
		12	335	50,4	428
	III декада жовтня	15	358	58,8	493
		13	355	55,2	469
		12	355	55,0	467
тритичинкова	II декада квітня	15	295	48,6	413
		13	291	47,5	421
		12	283	46,0	391
	I декада травня	15	250	38,5	328
		13	253	36,2	306
		12	251	32,5	294
	III декада вересня	15	290	41,8	355
		13	288	40,6	345
		12	291	38,0	306
	III декада жовтня	15	290	46,4	394
		13	289	45,6	389
		12	292	44,0	374

Проведені дослідження показали, що найвища урожайність сирової біомаси верби прутовидної (55–58 т/га) була отримана за висаджування живців восени у третій декаді жовтня, а найменша – за пізньовесняного садіння у травні.

Аналіз результатів, наведених в табл. 2 свідчить, що найбільше енергії – 493 Мдж/га отримано з енергетичної верби прутовидної за садіння живців восени (у третій декаді жовтня) та ранньою весною (у другій декаді квітня) – 476 Мдж/га. Найменший урожай біомаси та енергії

отримано у виду тритичинкова за садіння живців енергетичної верби весною (в першій декаді травня) – 294 Мдж/га та виду прутovidна – 392 Мдж/га. Величина оптимальної площі живлення залежить від зовнішніх умов і застосовуваної агротехніки. Чим більша площа листового апарату, тим більше є потреба рослин у забезпеченні елементами мінерального живлення та вологою. Найбільше використання площі відбувається за квадратного розміщення рослин. Але для механізованого догляду та збирання біомаси така конфігурація є невдалою, необхідно оптимізувати площу живлення з метою створення прямолінійних рядів для забезпечення міжрядного обробітку ґрунту у перший рік вегетації. Від обраної схеми посадки та площі живлення рослин залежить продуктивність біомаси та сукупний вихід енергії. Висока щільність насаджень рослин верби має кращі можливості затінити поверхню ґрунту, але, поряд з тим, рослини між собою пригнічуються та конкурують за світло та не повною мірою ефективно використовують відведену їм площу живлення. Зріжені насадження рослин енергетичної верби (менше ніж 10 тис./га) потребують значно більших зусиль на контроль забур'яненості. В обох випадках недотримання оптимальної густоти стояння рослин верби відбувається суттєве зниження економічної ефективності вирощування біомаси зменшення урожайності біомаси та отриманої енергії з площі. Для ефективного використання енергії світла і забезпечення високої

інтенсивності фотосинтезу рослин верби, площа листової поверхні повинна бути в межах 3–4 на м² плантації, що досягається за густоти насаджень рослин 14–15 тис./га. Згідно з енергетичними розрахунками в умовах Західного Лісостепу України найбільшу продуктивність біомаси можуть забезпечити трирічні насадження енергетичної верби прутovidної, що еквівалентно в тепловій енергії 90–95 Гкал/га та відповідно тритичинкової – 85–90 Гкал/га.

Висновки. За результатами проведених досліджень з'ясовано, що для отримання високої продуктивності біомаси енергетичної верби в перші роки вирощування вирішальними факторами є дотримання агровимог вирощування, забезпеченість ґрунту вологою, якість технологічних процесів на основі особливостей росту та розвитку рослин.

У ґрунтово-кліматичних умовах Західного Лісостепу найвищі показники продуктивності біомаси енергетичної верби отримані за пізньоосіннього садіння живців – у III декаді жовтня та ранньовесняного – у II декаді квітня за густоти насаджень рослин 14–15 тис./га.

Найбільший вплив на продуктивність біомаси верби має густота та схема садіння. Урожайність біомаси та сукупний вихід енергії з енергетичної плантації за трирічний термін вирощування знаходиться в прямолінійній залежності від приживлюваності живців верби прутovidної, що може забезпечити до 90–95 Гкал/га.

Список використаної літератури

1. Бондар В. С., Фурса А. В. Стратегія та пріоритети розвитку біоенергетики в Україні. *Економіка агропромислового виробництва*. Том 25, № 8. 2018. С. 17–25. https://eapk.com.ua/web/uploads/pdf/eapk_2018_8_p_5_122-17-25.pdf.
2. Гордієнко М. І., Маурер В. М., Ковалевський С. Б. Методичні вказівки до вивчення та дослідження лісових культур. Київ : РВВ НАУ, 2000. 101 с.
3. Гументик М. Я. Технологічні основи створення промислових плантацій високопродуктивних

References

1. Bondar V. S., Fursa A. V. Strategy and priorities for the development of bioenergy in Ukraine. *Ekonomika ahropromyslovoho vyrobnytstva*. Issue 8. 2018. С. 17–25. https://eapk.com.ua/web/uploads/pdf/eapk_2018_8_p_5_122-17-25.pdf.
2. Gordienko M. I., Maurer V. M., Kovalevsky S. B. Methodological guidelines for the study and research of forest cultures. Kiyv : RVV NAU, 2000. 101 p.
3. Gumentyk M. Ya. Technological foundations for the creation of industrial plantations

біоенергетичних культур. *Біоенергетика*. 2020. № 1. С. 13–17. DOI: <https://doi.org/10.47414/be.1.2020.224938>.

4. Дебринюк Ю. М. Насадження з коротким оборотом рубки як відновлюване джерело енергії. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування*. 2010. Вип. 147. С. 201–208.

5. Дебринюк Ю. М. Платаційні лісові насадження як об'єкти невичерпного виробництва енергетичної біомаси. *Лісівництво і агролісомеліорація*. 2009. Вип. 116. С. 170–178.

6. Енергетична верба: технологія вирощування та використання / М. В. Роїк та ін. ; під заг. ред. доктора с.-г. наук В. М. Сінченка. Вінниця : ТОВ «Нілан ЛТД», 2015. 340 с.

7. Концепція розвитку біоенергетики в Україні на період до 2035 року / М. В. Роїк та ін. *Біоенергетика*. 2019. № 2 (14). С. 4–10.

8. Методологія дослідження енергетичних плантацій верб і тополь : монографія / Я. Д. Фучило та ін. ; за ред. член-кореспондента НААН В. М. Сінченка. К. : ТОВ «ЦП «Компринт», 2018. 137 с.

9. Роїк М. В., Гументик М. Я., Мамайсур В. В. Перспективи вирощування енергетичної верби для виробництва твердого біопалива. *Біоенергетика*. 2013. № 2. С. 18–19.

10. Формування продуктивності енергетичних плантацій верби за різних рівнів родючості ґрунту в умовах Західного Полісся / Р. В. Шевчук та ін. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*: зб. наук. праць. К. : ФОП Корзун Д. Ю., 2019. Вип. 27. С. 123–130.

11. Шкоропад, Л., Думич, В. Вирощування енергетичної верби в умовах західного регіону України. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільськогосподарства України* : збірник наук. пр. УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. Дослідницьке, 2017. Вип. 21 (35). С. 353–361.

12. A physiological and biophysical model of coppice willow (*Salix spp.*) production yields for the contiguous USA in current and future climate scenarios / D. Wang at al. *Plant Cell and Environment*. 38. P. 1850–1865.

13. Bressler, A. S., Vidon, P. G. & Volk, T. A. Impact of shrub willow (*Salix sp.*) as a potential bioenergy feedstock on water quality and greenhouse gas emissions. *Water, Air and Soil Pollution*, 2017. V. 228. P. 170–188.

14. Change in Yield Between First and Second Rotations in Willow (*Salix spp.*) Biomass Crops is Strongly Related to the Level of First Rotation Yield / N. J. Sleight at al. *BioEnergy Research*. 2016. Vol. 9. Issue 1. P. 270–287. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12155-015-9684-0>.

15. Ecological Bio Energy Materials in Ukraine Current State and Prospects of Production Development / V. M. Sinchenko et al. *Ukrainian Journal of Ecology*.

of high-yield bioenergy crops. *Bioenerhetyka*. 2020. No. 1. P. 13–17. DOI: <https://doi.org/10.47414/be.1.2020.224938>.

4. Debryniuk Yu. M. Plantation forest stands as objects of inexhaustible energy biomass production. *Lisivnytstvo i ahrolisomeliorsia*. 2009. Issue 116. P. 170–178.

5. Debrynyuk Yu. M. Plantations with short rotation as a renewable energy source. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia*. 2010. Issue. 147. P. 201–208.

6. Energy willow: cultivation and utilisation technology / M. V. Roik et al. ; pid zah. red. doktora s.-h. nauk V. M. Sinchenka. Vinnytsia : TOV «Nilan LTD», 2015. 340 p.

7. Concept for the development of bioenergy in Ukraine for the period up to 2035 / M.V. Roik et al. *Bioenerhetyka*. 2019. No. 2 (14). P. 4–10.

8. Methodology for researching energy plantations of willows and poplars: monograph / Ya. D. Fuchylo et al. ; za red. chlen-korespondenta NAAN V. M. Sinchenka. K. : TOV «TsP «Kompriynt», 2018. 137 p.

9. Roik M. V., Gumentik M. Ya., Mamaysur V. V. Prospects for growing energy willow for the production of solid biofuel. *Bioenerhetyka*. 2013. No. 2. P. 18–19.

10. Formation of productivity of energy willow plantations at different levels of soil fertility in the conditions of Western Polissya / R. V. Shevchuk et al. *Naukovi pratsi Instytutu bioenerhetychnykh kultur i tsukrovykh buriakiv*: zb. nauk. prats. K. : FOP Korzun D. Yu., 2019. Issue 27. P. 123–130.

11. Shkoropad, L., Dumych, V. Growing energy willow in the western region of Ukraine. *Technical and technological aspects of the development and testing of new techniques and technologies for agriculture in Ukraine* : zbirnyk nauk. pr. UkrNDIPVT im. L. Pohoriloho. Doslidnytske, 2017. Issue 21 (35). 2. P. 353–361.

12. A physiological and biophysical model of coppice willow (*Salix spp.*) production yields for the contiguous USA in current and future climate scenarios / D. Wang at al. *Plant Cell and Environment*. 38. P. 1850–1865.

13. Bressler, A. S., Vidon, P. G. & Volk, T. A. Impact of shrub willow (*Salix sp.*) as a potential bioenergy feedstock on water quality and greenhouse gas emissions. *Water, Air and Soil Pollution*, 2017. V. 228. P. 170–188.

14. Change in Yield Between First and Second Rotations in Willow (*Salix spp.*) Biomass Crops is Strongly Related to the Level of First Rotation Yield / N. J. Sleight at al. *BioEnergy Research*. 2016. Vol. 9. Issue 1. P. 270–287. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12155-015-9684-0>.

15. Ecological Bio Energy Materials in Ukraine Current State and Prospects of Production Development / V. M. Sinchenko et al. *Ukrainian*

2020. № 10 (1). С. 85–89. DOI:10.15421/2020_13.

16. El Bassam N. Handbook of Bioenergy Crops. A Complete Reference to Species, Development and Applications. London; Washington, DC: Earthscan. 2010. 127 p.

17. Fabio, E. S., Smart, L. B. Effects of nitrogen fertilization in shrub willow short rotation coppice production – a quantitative review. *Global Change Biology Bioenergy*. 2018. Vol. 10. Issue 8. P. 548–564. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12507>.

18. Grzesik M., Romanowska-Duda Z., Kalaji H. M. Effectiveness of cyanobacteria and green algae in enhancing the photosynthetic performance and growth of willow (*Salix viminalis* L.) plants under limited synthetic fertilizers application. *Photosynthetica*. 2017. Vol. 55. Issue 3. P. 510–521. DOI: 10.1007/s11099-017-0716-1.

19. Hemmar Torun, Hansson Per-Anders, Sundberg Cecilia. Climate impact assessment of willow energy from a landscape perspective: a Swedish case study. *Global Change Biology Bioenergy*. 2017. Vol. 9, Issue 5. P. 973–985. DOI: 10.1111/gcbb.12399.

20. Major J. E., Mosseler A., Malcolm J. W. *Salix* species variation in leaf gas exchange, sodium, and nutrient parameters at three levels of salinity. *Canadian Journal of Forest Research*. 2017. 47 (8). P. 1045–1055. DOI: 10.1139/cjfr-2017-0028.

21. Stajić, B. Short rotation energy crops of fast-growing tree species in Serbia: biomass production, legislation, market, and environmental impacts – potentials and constraints: *Raport UNDP Serbia*. Sept. 2016. 80 p. https://www.researchgate.net/publication/321385601_Short_rotation_energy_crops_of_fast-growing_tree_species_in_Serbia.

22. Stolarski, M. J., Snieg, M., Krzyzaniak M. Short rotation coppices, grasses and other herbaceous crops: Productivity and yield energy value versus 26 genotypes. *Biomass & Bioenergy*. 2018. Vol. 119. P. 109–120.

23. Volk T. A., Berguson B., Daly C. Poplar and shrub willow energy crops in the United States: field trial results from the multiyear regional feedstock partnership and yield potential maps based on the PRISM-ELM model. *GCB Bioenergy*. 2018. DOI: 10.1111/gcbb.12498.

24. Willow Varietal Identification Guide / B. Caslin et al. Carlow, Ireland: Teagasc & AFBI, 2012. 64 p.

Journal of Ecology. 2020. № 10 (1). С. 85–89. DOI:10.15421/2020_13.

16. El Bassam N. Handbook of Bioenergy Crops. A Complete Reference to Species, Development and Applications. London; Washington, DC: Earthscan. 2010. 127 p.

17. Fabio, E. S., Smart, L. B. Effects of nitrogen fertilization in shrub willow short rotation coppice production – a quantitative review. *Global Change Biology Bioenergy*. 2018. Vol. 10. Issue 8. P. 548–564. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12507>.

18. Grzesik M., Romanowska-Duda Z., Kalaji H. M. Effectiveness of cyanobacteria and green algae in enhancing the photosynthetic performance and growth of willow (*Salix viminalis* L.) plants under limited synthetic fertilizers application. *Photosynthetica*. 2017. Vol. 55. Issue 3. P. 510–521. DOI: 10.1007/s11099-017-0716-1.

19. Hemmar Torun, Hansson Per-Anders, Sundberg Cecilia. Climate impact assessment of willow energy from a landscape perspective: a Swedish case study. *Global Change Biology Bioenergy*. 2017. Vol. 9, Issue 5. P. 973–985. DOI: 10.1111/gcbb.12399.

20. Major J. E., Mosseler A., Malcolm J. W. *Salix* species variation in leaf gas exchange, sodium, and nutrient parameters at three levels of salinity. *Canadian Journal of Forest Research*. 2017. 47 (8). P. 1045–1055. DOI: 10.1139/cjfr-2017-0028.

21. Stajić, B. Short rotation energy crops of fast-growing tree species in Serbia: biomass production, legislation, market, and environmental impacts – potentials and constraints: *Raport UNDP Serbia*. Sept. 2016. 80 p. https://www.researchgate.net/publication/321385601_Short_rotation_energy_crops_of_fast-growing_tree_species_in_Serbia.

22. Stolarski, M. J., Snieg, M., Krzyzaniak M. Short rotation coppices, grasses and other herbaceous crops: Productivity and yield energy value versus 26 genotypes. *Biomass & Bioenergy*. 2018. Vol. 119. P. 109–120.

23. Volk T. A., Berguson B., Daly C. Poplar and shrub willow energy crops in the United States: field trial results from the multiyear regional feedstock partnership and yield potential maps based on the PRISM-ELM model. *GCB Bioenergy*. 2018. DOI: 10.1111/gcbb.12498.

24. Willow Varietal Identification Guide / B. Caslin et al. Carlow, Ireland: Teagasc & AFBI, 2012. 64 p.