

УДК 633.584.3

Данюк Ю. С.

доктор філософії (20 Аграрні науки і продовольство),
завідувач відділу науково-організаційної роботи,
Український інститут експертизи сортів рослин
Київ, Україна

E-mail: danyuk.yura@ukr.net
ORCID: 0000-0001-8698-2161

Данюк В. О.

завідувач відділу внутрішнього аудиту,
Український інститут експертизи сортів рослин
Київ, Україна

E-mail: vikaropelna@ukr.net
ORCID: 0009-0004-0985-4480

Кирильчук А. М.

кандидат сільськогосподарських наук,
старший науковий співробітник лабораторії показників якості сортів рослин,
Український інститут експертизи сортів рослин
Київ, Україна

E-mail: angelakyrylchuk@gmail.com
ORCID: 0000-0003-3948-5810

Ковальчук Є. С.

старший науковий співробітник відділу науково-організаційної роботи,
Український інститут експертизи сортів рослин
Київ, Україна

E-mail: 5916706@ukr.net
ORCID: 0009-0008-2931-3541

Линчак Н. Б.

старший науковий співробітник відділу науково-організаційної роботи,
Український інститут експертизи сортів рослин
Київ, Україна

E-mail: lynchaknadin@gmail.com
ORCID: 0000-0003-3963-7319

Барбан О. Б.

науковий співробітник відділу науково-організаційної роботи,
Український інститут експертизи сортів рослин
Київ, Україна

E-mail: olyaveselovska@ukr.net
ORCID: 0000-0001-8819-3115

НАРОСТАННЯ ВЕГЕТАТИВНОЇ МАСИ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ВЕРБИ ДРУГОГО ВЕГЕТАЦІЙНОГО ПЕРІОДУ ЗАЛЕЖНО ВІД ТЕРМІНУ ЗАГОТІВЛІ САДИВНОГО МАТЕРІАЛУ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ГЕЛЮ АБСОРБЕНТУ

Анотація

Стаття має на меті встановити особливості формування біометричних показників рослин двох видів енергетичної верби (*Salix L.*) у насадженнях другого року вегетації залежно від терміну заготівлі садивного матеріалу – пагонів та перед-садивного оброблення живців абсорбентом.

Дослідження проводили впродовж 2020–2022 рр. в умовах дослідного поля Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України (Київська обл.), що знаходиться в зоні нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу України.

Об'єктом дослідження слугували два види енергетичної верби: *Salix triandra* L. 'Панфільська' та *Salix viminalis* L. 'Збруч'. Щорічно, у третій декаді березня – першій декаді квітня, насадження закладали стандартними живцями завдовжки 20–25 см та діаметром 2,0–2,5 см із трьома-чотирма добре розвиненими бруньками.

Протягом вегетації щомісяця визначали такі біометричні показники: середню висоту рослин (см), діаметр стебел (мм), кількість стебел у кущі (шт.).

Статистичну обробку результатів проводили з використанням дисперсійного аналізу для встановлення достовірності відмінностей між варіантами досліду.

Дослідження показало, що термін заготівлі садивного матеріалу та застосування гелю-абсорбенту істотно впливали на формування біометричних показників енергетичної верби у насадженнях другого року вегетації. Кількість рослин, висота та діаметр стебел енергетичної верби в динаміці за вегетаційний період і в середньому за три роки залежали від сортових особливостей. Застосування гелю-абсорбенту сприяло приросту висоти рослин та діаметра стебел сорту 'Панфільська' при осінній заготівлі пагонів, тоді як у сорту 'Збруч' приріст був більшим за весняної заготівлі.

Ключові слова: *Salix triandra* L., *S. viminalis* L., терміни заготівлі пагонів, живці, абсорбент MaxiMarin, біометричні показники рослин, висота пагонів, діаметр стебел, кількість пагонів в одному кущі.

Вступ. Енергетичні культури є важливим напрямом біоенергетичного сектору. З початком нового століття в Україні значна увага приділяється використанню біопалива, що дає можливість зменшити залежність національної економіки від імпорту енергоносіїв, знизити її енергоємність і забезпечити стійкий економічний розвиток країни [7, с. 41–45].

Наразі, в Україні, в енергетичній політиці, помітні позитивні зміни, спрямовані на просування біомаси в якості біопалива, яка є сучасним поширеним заміном природного газу, та представлена в Україні пелетами і тріскою [5].

Енергія біомаси еквівалентна 2 млрд т у. п./рік, що становить приблизно 13–15% від всього використання первісних енергоресурсів світу. Частка України, приблизно становить близько 50 млн т у. п., але економічно доцільний потенціал біомаси оцінюється в 27 млн т у. п./рік [3; 13].

Передовий досвід широко демонструють європейські країни, які почали активно впроваджувати вирощування енергетичної сировини [3; 10]. Серед енергетичних культур найбільші плантації вирощують тополі та верби, які є екологічно-відновлювальним джерелом енергії [12, с. 261–277]. З літературних джерел відомо що, в південних регіонах з недостатньою кількістю опадів тополя є продуктивнішою порівняно з вербою, оскільки паростки верби чутливі до літньої засухи.

Енергетична верба є перспективною культурою для України, оскільки вона стійка до морозів, шкідників і хвороб; може рости на ґрунтах різного типу, на заболочених і непродуктивних (таких, що потребують рекультивативної) землях. Хоча, на землях низької якості культура зростає не так швидко як за сприятливих умов, проте інтенсивному росту допомагає добре розвинена коренева система, що значно покращується за використання агро-технічних заходів, зокрема застосування гелів абсорбентів [9, с. 144].

В період інтенсивної вегетації, в залежності від щільності посадки, плантація верби може випаровувати 300–800 тис. л/га води, вирішуючи таким чином проблему осушення ґрунтів з великим обсягом підземних вод або заболоченням [8]. Крім того, культура здатна абсорбувати великі кількості металевих мікроелементів, очищуючи забруднені ґрунти та стічні води (за поливу плантації стічними водами).

Урожайність енергетичної верби прямо залежить від ґрунтово-кліматичних умов, її вирощування вважається доцільним для континентальної зони [11]. Культура має високі показники приросту по довжині – до 3–5 см на день, у середньому 1,5 м в рік. Насадження залишаються продуктивними 20–30 років. Середня врожайність верби становить 10–12 т сухої маси з га за рік; урожай збирають кожні 2–3 роки [1]. Найбільший урожай отримують на 4–5 рік вирощування – 16–20 т сухої маси з га. За сприятливих умов урожай може досягати 30–40 т сухої маси з га за рік.

Порівнюючи показники продуктивності, росту та розвитку *Salix eriocephala* та *S. discolor* виявлено, що врожайність біомаси енергетичної верби позитивно корелює з якісним ґрунтом ділянки та кущистістю рослин. Також встановлено, що середня висота трьох найвищих пагонів на кущі та їх середня товщина тісно корелюють з продуктивністю біомаси. В першому досліді коефіцієнт детермінації (R^2) був 0,813, а в другому – 0,781 [16, с. 419–425].

Вирощування енергетичної верби на засоленних ґрунтах є перспективним напрямом, оскільки ця культура має високу стійкість до стресових умов і може використовуватися для фаторемедіації. Однак вибір конкретного виду є критичним для успішного вирощування. Один з найпоширеніших видів, який характеризується високою врожайністю та стійкістю до різних типів ґрунтів, включаючи помірно засолені – *S. viminalis*. Добре адаптується до вологих і засоленних місць, має потужну кореневу систему, яка допомагає зменшувати рівень засолення – *S. alba*. Володіє високою регенеративною здатністю та помірною толерантністю до засолення – *S. purpurea*. Ці види, разом з *S. interior* Rowlee досліджували щодо можливості їх наростання на засоленних ґрунтах. Особливість росту та формування наземної біомаси плантації *S. discolor* та *S. viminalis* без внесення добрив та поливу досліджували в околицях Монреалю. Було встановлено, що продуктивність деяких видів приблизно однакова і що дворічний цикл зрізування біомасу є продуктивнішим, за однорічний.

Рядом авторів доведено, що застосування абсорбенту за садіння маточних коренеплодів, ризом міскантусу забезпечує підвищення приживлюваності рослин, їх продуктивності та виходу садивного матеріалу [14, с. 261–277].

Дослідженнями в умовах Лісостепу українських науковців доведено, що строки заготівлі живців мають значний вплив на наростання вегетативної маси енергетичної верби. Восени живці акумулюють більше поживних речовин, що сприяє їхньому кращому вкоріненню. Весняна заготівля, хоча й менш продуктивна в середньому, іноді може забезпечувати швидке відновлення вегетації при ранньому висаджуванні. Вітчизняні агротехнічні дослідження свідчать, що обробка живців абсорбентами значно підвищує вологозабезпеченість рослин у ранні фази росту. Це особливо важливо в умовах нестійкого зволоження, яке характерне для Правобережного Лісостепу України. Абсорбенти покращують поглинання води, створюючи мікроклімат навколо кореневої системи, що сприяє кращому укоріненню живців та збільшенню біомаси [3, с. 221–229; 4]. Застосування абсорбентів значно підвищує посухостійкість рослин завдяки утриманню вологи у зоні кореневої системи. Це знижує ризик пересихання живців, особливо у весняний період, коли погодні умови можуть бути непередбачуваними [17, с. 4284–4294].

Рядом авторів активно досліджуються технології вирощування енергетичної верби (*Salix* spp.) як джерела біомаси. Встановлено, що осіння заготівля живців у поєднанні з передсадивним оброблянням стимуляторами чи абсорбентами підвищує виживаність рослин на 15–20% порівняно з необробленими варіантами [15, с. 114–121].

Вплив строків заготівлі та стимуляторів росту на продуктивність енергетичної верби вивчався в межах проєктів зі зменшення залежності від викопного палива. Згідно з дослідженням, оптимізація строків заготівлі та застосування гелів-абсорбентів дозволяє досягти приросту біомаси на 10–25% залежно від кліматичних умов і технологічних особливостей.

Комплексне застосування різних строків заготівлі садивного матеріалу та передсадивного обробляння живців гелем-абсорбентом є перспективним методом підвищення продуктивності енергетичної верби. Оптимізація умов для вкорінення живців, їх швидкого росту та стійкості до стресових факторів (посухи, нестачі поживних речовин) є актуальною [2, с. 19–26].

Мета роботи – установити особливості формування біометричних показників рослин двох видів енергетичної верби (*Salix* L.) у насадженнях другого року вегетації залежно від терміну заготівлі садивного матеріалу – пагонів та передсадивного обробляння живців абсорбентом.

Виклад основного матеріалу дослідження. Польові дослідження проводили впродовж 2020–2022 рр. в умовах дослідного поля Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН (с. Ксаверівка друга, Білоцерківський р-н, Київська обл.), що знаходиться в зоні нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу України.

Грунт дослідного поля – чорнозем типовий вилугуваний, середньоглибокий, малогумусний, грубопилувато-легкосуглинковий на карбонатному лесі. Уміст гумусу (за Тюрнімом) становить 2,64%, азоту, що легко гідролізується (за Корнфілдом), – 280 мг/кг, рухомих форм фосфору та обмінного калію (за Чиріковим) – 180 та 160 мг/кг ґрунту відповідно. Кислотність ґрунту (рН) – 6,6. Глибина гумусового горизонту – 100–120 см.

Вегетаційний період 2020 р. за погодними умовами був жарким. Зокрема, середня добова температура повітря на 3,6 °C вища, ніж середнє багаторічне значення та становила 16,2 °C, а за вологозабезпеченістю погодні умови були засушливі, дефіцит вологи становив менші показники, за середнє багаторічне значення і становив 28 мм.

За місяцями вегетаційного періоду середня добова температура була вищою за середнє багаторічне значення, а відхилення від багаторічного показника коливалася від -2,4 °C (травень) до 5,4 °C (березень). Період садіння живців (березень) був теплим, середня добова температура перевищувала середнє багаторічне значення на 5,4°C, за незначного дефіциту вологи, опадів випало на 9,8 мм менше середнього багаторічного показника.

За місяцями вегетації дефіцит опадів розподілявся майже рівномірно, крім травня, який характеризувався надмірним зволоженням – опадів випало на 35,7 мм більше за середнє багаторічне значення. Аналогічні результати спостерігалися за декадами вегетаційного періоду [6].

Вегетаційний період 2021–2022 рр. за температурним режимом були наближені до середньої багаторічної температури повітря з невеликими відхиленнями як його перевищування, так і зниження, але був холоднішим, ніж 2020 р. Середня добова температура становила 13,6°C і була вищою від середнього багаторічного показника лише на 1,0 °C. За режимом волого забезпечення вони характеризувалися надмірним зволоженням, опадів випало на 14,1 мм більше, ніж за середнє багаторічне значення.

У період садіння живців другий квартал року середня добова температура повітря перевищувала середнє багаторічне значення на 1,8 °C, що свідчить про достатнє забезпечення рослин енергетичної верби теплом але незначний дефіцит вологи, який становив 9,6 мм, вплинув на приживлюваність живців.

За місяцями середня добова температура повітря була наближеною до середнього багаторічного показника, перевищення її коливалася від -1,4 °C (вересень) до 2,6 °C (червень). Доцільно зазначити, що за чотири місяці (квітень, травень, вересень та жовтень) характеризувалися нижчою температурою повітря за середнє багаторічне значення.

Дослідження проводили з двома видами верби – тритичинковою (*Salix triandra* L.) та прутівидною (*S. viminalis* L.).

Верба тритичинкова 'Панфільська'. Сорт включено до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні у 2014 р. Оригінація – Панфільська дослідна станція ННЦ «Інститут землеробства НААН». Рекомендовані зони вирощування – Полісся та Лісостеп. Урожайність сирової біомаси – 70,4 т/га, вихід сухої речовини – 34,5 т/га. Термін використання плантації – 15 років, періодичність збирання сировини – 2 роки.

Верба прутковидна 'Збруч'. Сорт включено до Держреєстру у 2018 р. Оригінація – Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН. Рекомендовані зони вирощування – Степ, Лісостеп та Полісся. Урожайність сирової біомаси – 32,0 т/га, вихід сухої речовини – 17,6 т/га. Термін використання плантації – 30 років, періодичність збирання сировини – 3 роки [11].

Дослідні насадження верби щорічно закладали у третій декаді березня – першій декаді квітня. Садивний матеріал – пагони для нарізання живців заготовлювали у два терміни: восени – після припинення сокоруху (друга декада листопада) та весною – до початку сокоруху (перша декада березня). Пагони в обидва терміни заготовлювали на тих самих ділянках у дворічних насадженнях відповідних видів культури.

Заготовлений восени садивний матеріал закладали на зберігання у траншеї (2,0 × 1,5 × 1,0 м) із присипанням зверху шаром ґрунту 10–15 см. Восени пагони для нарізання живців зберігали у траншеях (розміри 2,0 × 1,5 × 1,0 м), присипаних шаром ґрунту товщиною 10–15 см, до весняного садіння. Це дозволяло забезпечити оптимальні умови для збереження садивного матеріалу під час зимового періоду. Весною ж заготовлені пагони зберігалися в подібних умовах, до моменту висаджування живців в умовах досліджень.

Різні умови зберігання та строки заготівлі пагонів (весна або осінь) можуть впливати на ефективність росту та розвитку рослин впродовж вегетаційного періоду, оскільки вегетативні процеси й умови зберігання можуть впливати на їх ріст і схожість. Термін заготівлі садивного матеріалу є важливим фактором, що визначає ефективність початкового розвитку енергетичної верби. Раннє висаджування забезпечує більш інтенсивний ріст вегетативної маси, що дозволяє рослинам краще адаптуватися до умов першого вегетаційного періоду.

У день закладання насаджень пагони нарізали на стандартні живці завдовжки 20–25 см та діаметром 2,0–2,5 см із щонайменше трьома-чотирма добре розвинутими бруньками. При нарізанні живців верхній і нижній зрізи робили на відстані 0,5–1,0 см від бруньки. Пагони були завдовжки не менше ніж 1,0 м.

Перед висаджуванням нижню частину живців, що розміщуватиметься безпосередньо в ґрунті (15–20 см), занурювали на дві-три хвилини у поживний гель (абсорбент) MaxiMarin.

Поживний гель MaxiMarin – це універсальний абсорбент, який застосовують для покращення умов зберігання садивного матеріалу, зокрема для живців рослин. Гель має здатність утримувати вологу, забезпечуючи рослини необхідною кількістю води та поживних речовин, що сприяє їх кращому вкорінюванню та адаптації після висаджування. Використання гелів абсорбентів у сільському господарстві дозволяє значно знизити потребу в частих поливах, покращуючи доступність води для рослин у посушливі періоди. Для енергетичної верби це забезпечує кращі умови для розвитку вегетативної маси, особливо в умовах мінливих кліматичних умов [14, с. 292–306].

MaxiMarin застосовують не тільки для зберігання пагонів до висаджування, але й для обробки садивного матеріалу перед посадкою, щоб забезпечити йому сприятливі умови для росту. Цей продукт часто використовують в аграрній практиці для поліпшення вкорінення рослин і підвищення їх стійкості до стресових умов.

Обліки і спостереження висоти, діаметру та кількості пагонів проводили з травня місяця з усіма висадженими живцями в динаміці до закінчення вегетації щорічно, згідно з методиками, викладеними в Методології дослідження енергетичних плантацій верб і тополь.

Статистичну обробку експериментальних даних здійснювали методами дисперсійного й кореляційного аналізів за методом Фішера з використанням пакета прикладних програм Statistica 6.0.

Результати досліджень, проведених на першому році вегетації показали високий рівень приживлюваності живців. Загальна приживлюваність рослин досягла 92%, що свідчить про ефективність вибору терміну заготівлі садивного матеріалу та застосування абсорбенту для стимуляції коренеутворення. Проте впродовж другого року вегетації ми спостерігали певні зміни в ростових показниках, що, в свою чергу, вимагає детального аналізу.

Перехід до другого року вегетації продемонстрував, наскільки ефективно на подальший розвиток рослин впливають фактори, досліджувані в попередньому році. Спостереження показали, що застосування гелю у поєднанні з різними термінами заготівлі пагонів відіграє важливу роль у подальшому рісті та розвитку рослин. В другому вегетаційному періоді енергетична верба демонструє активне наростання вегетативної маси, що обумовлено не тільки природними умовами, але й агротехнічними заходами, зокрема застосуванням гелів абсорбентів, які покращують водний режим ґрунту.

У другому році вегетації, під впливом досліджуваних факторів, рослини показали значний приріст. Зокрема, середня висота рослин, що отримали обробку поживним гелем MaxiMarin, збільшилася на 7,5 см порівняно з контрольними варіантами, де використання абсорбенту не застосовувалося. Для сорту 'Панфільська', при заготівлі пагонів восени, приріст висоти складав 23,4 см, в той час як при заготівлі весною він був на 3 см меншим (20,4 см). У сорті 'Збруч' ефект був менш вираженим, хоча весняна заготівля пагонів також сприяла кращому росту порівняно з осінньою (19,6 см проти 17,9 см відповідно).

Щодо діаметра стебел, спостерігалось збільшення на 4,2 мм у варіанті, де використовувався абсорбент. Приріст діаметра стебел був найбільшим у варіанті з осінньою заготовлею пагонів для сорту 'Панфільська', що становив 9,5 мм. Сорт 'Збруч' показав приріст у 7,1 мм при осінній заготовці, а при весняній – 6,2 мм.

Ці результати підтверджують, що правильне поєднання терміну заготовки пагонів та використання абсорбенту значно впливає на ріст та розвиток рослин енергетичної верби на другий рік вегетації. Одночасно спостерігається, що ефект застосування цих факторів є більш вираженим для сорту 'Панфільська' порівняно з 'Збручем'. Це може свідчити про сортову специфіку впливу досліджуваних умов на ріст верби.

Застосування гелю забезпечило приріст висоти рослин та діаметру стебел сорту 'Панфільська' при заготовці пагонів навесні, а 'Збруч' – восени (табл. 1) але закономірного збільшення висоти, діаметру стебел та їх кількості залежно від застосування абсорбенту не було. Так, в середньому за три роки за садіння пагонів верби тритичинкової сорту 'Панфільська', які заготовлені на весні діаметр стебел і їх кількість з гелем абсорбентом були вищими, ніж контроль, а у весняних пагонів – внесення гелю абсорбенту також забезпечило збільшення цих показників.

По вербі прутівидній сорту 'Збруч' отримана аналогічна залежність, але за садіння весняних пагонів застосування абсорбенту не сприяло підвищенню висоти, діаметру стебел і їх кількості, а осінні пагони – забезпечили достовірне збільшення кількості стебел. Закономірного збільшення діаметру стебел та їх кількості залежно від застосування абсорбенту не виявлено.

Таблиця 1. Біометричні показники рослин верби на кінець другого року вегетації залежно від факторів досліду (середнє за 2020–2022 рр.)

Строки заготівлі садивного матеріалу	Обробка живців абсорбентом	Середні показники (станом на 21.09)		
		висота рослин, см	діаметр стебел, мм	кількість стебел, шт./кущ
S. triandra ‘Панфільська’				
восени	контроль	361,89	20,55	1,58
	MaxiMarin	358,00	20,89	2,56
навесні	контроль	366,00	21,33	2,16
	MaxiMarin	378,00	20,68	2,38
S. viminalis ‘Збруч’				
восени	контроль	377,34	21,03	2,07
	MaxiMarin	387,67	21,24	2,13
весною	контроль	382,25	21,36	2,04
	MaxiMarin	361,89	21,32	2,11

Не було виявлено достовірного збільшення біометричних показників енергетичної верби обох сортів залежно від терміну заготовки садового матеріалу – восени чи навесні. За дослідження біометричних показників енергетичної верби залежно від сортових особливостей та елементів технології в динаміці обох сортів спостерігається аналогічна залежність як в середньому за три роки, так і окремо по роках.

Достовірного збільшення приросту вегетативної маси енергетичної верби – висоти рослин за використання гелю абсорбенту MaxiMarin при садінні пагонів не виявлено. Якщо приріст висоти рослин за садіння пагонів заготовлених восени та навесні верби прутівидної сорту 'Збруч' з внесенням гелю, спостерігалася тенденція збільшення цього показника, то верби тритичинкової сорту 'Панфільська' більшою була висота в контролі – без гелю.

Таблиця 2. Динаміка формування показника висоти стебел у насадженнях верби другого року вегетації залежно від досліджуваних факторів, см (середнє за 2020–2022 рр.)

Строки заготіввлі садивного матеріалу	Обробка живців абсорбентом	Дата обліку				
		20.05.	30.06.	27.07.	25.08.	21.09.
S. triandra ‘Панфільська’						
восени	контроль	251,39	289,89	329,39	354,14	361,89
	MaxiMarin	248,00	287,00	326,00	350,33	358,00
навесні	контроль	255,50	294,00	333,50	358,25	366,00
	MaxiMarin	267,50	306,00	345,50	370,25	378,00
S. viminalis ‘Збруч’						
восени	контроль	266,84	305,34	344,84	369,59	377,34
	MaxiMarin	275,67	313,33	353,67	379,00	387,67
навесні	контроль	271,75	310,25	349,75	374,50	382,25
	MaxiMarin	201,23	239,57	278,90	303,90	311,57
НІР _{0,05 заг.}		8,23	13,72	10,06	9,81	12,54
НІР _{0,05 сорт}		4,11	6,86	5,03	4,91	6,27
НІР _{0,05 строк заготіввлі, гелю}		4,11	6,86	5,03	4,91	6,27

У другий рік вегетації в середньому за три роки спостерігалася тенденція збільшення приросту висоти верби прутівидної сорту 'Збруч', порівняно з енергетичною вербою тритичинковою сорту 'Панфільська' в період з 20 травня по 21 вересня незалежно від строку заготівлі пагонів. Не виявлено достовірного збільшення приросту висоти рослин залежно від строку заготівлі пагонів та застосування гелю абсорбенту.

Аналіз факторів показав, що найбільший вплив на висоту рослин був фактору «сорт» – 23% та умови року – 16%. Вплив гелю становив 10% (рис. 1).

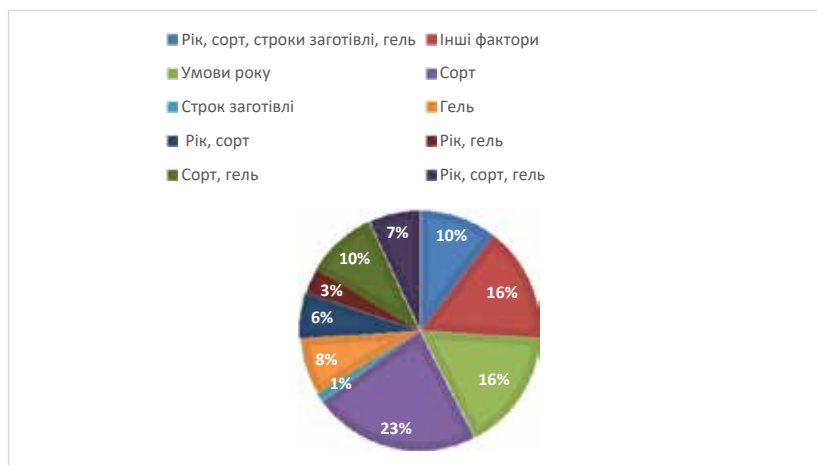


Рис. 1. Частки впливу факторів дослідження на формування показника висоти пагонів верби (середнє за 2020–2022 рр.)

Аналогічні результати отримані з наростання товщини пагонів енергетичної верби. На перші дати обліку в середньому за три роки діаметр стебел був приблизно однаковим верби прутівидної сорту 'Збруч', порівняно з сортом 'Панфільська' незалежно від строку заготівлі садивного матеріалу, а на останню дату обліку (21.09), більшим він був в сорту 'Збруч'.

Таблиця 3. Динаміка формування показника діаметра стебел у насадженнях верби другого року вегетації залежно від досліджуваних факторів, см (середнє за 2020–2022 рр.)

Строки заготівлі садивного матеріалу	Обробка живців абсорбентом	Дата обліку				
		20.05.	30.06.	27.07.	25.08.	21.09.
S. triandra ‘Панфільська’						
восени	контроль	17,96	18,84	19,32	19,83	20,55
	MaxiMarin	18,25	19,11	19,54	20,05	20,89
навесні	контроль	18,74	19,62	20,10	20,61	21,33
	MaxiMarin	18,09	18,97	19,45	19,96	20,68
S. viminalis ‘Збруч’						
восени	контроль	18,43	19,32	19,79	20,30	21,03
	MaxiMarin	18,76	19,63	20,16	20,64	21,24
навесні	контроль	18,77	19,65	20,13	20,64	21,36
	MaxiMarin	18,63	19,54	20,06	20,55	21,32
НІР _{0,05 заг.}		0,32	0,37	0,42	0,43	0,56
НІР _{0,05 сорт}		0,16	0,18	0,21	0,22	0,28
НІР _{0,05 строк заготівлі, гел}		0,16	0,18	0,21	0,22	0,28

Застосування гелю абсорбенту за садіння живців в перший рік вегетації не забезпечило збільшення діаметру стебел в другому році вегетації обох сортів незалежно від строку їх заготівлі, спостерігалася лише тенденція його збільшення або зменшення. Не виявлено достовірного збільшення діаметру стебел залежно від строку заготівлі садивного матеріалу.

На діаметр стебел також найбільший вплив був фактору «сорт» – 17% та умови року – 14%. Вплив гелю так як інших факторів та їх взаємодії був малим – лише 1% (рис. 2).

Аналогічні результати біометричних показників отримані з кількості стебел.

Застосування гелю абсорбенту за садіння пагонів, заготовлених навесні сорту 'Збруч' забезпечило достовірне збільшення стебел, порівняно як з контролем – без гелю. Сорт верби прутівидної 'Збруч' формував більше стебел з пагонів, які були заготовлені навесні, ніж сорт верби тритичинкової 'Панфільська', а сорти 'Панфільська' навпаки більшу кількість пагонів сформовано за садіння живців заготовлених з осені з застосуванням гелю

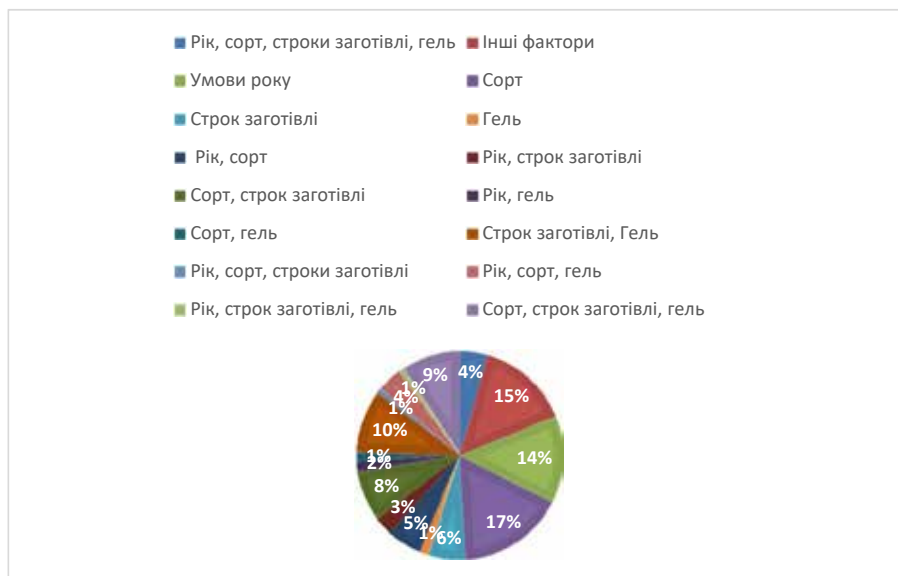


Рис. 2. Частки впливу факторів досліджу на формування показника діаметра пагонів верби (середнє за 2020–2022 рр.)

Таблиця 4. Динаміка формування показника кількості пагонів у насадженнях верби другого року вегетації залежно від досліджуваних факторів, шт./кущ (середнє за 2020–2022 рр.)

Строки заготівлі садивного матеріалу	Обробка живців абсорбентом	Дата обліку				
		20.05.	30.06.	27.07.	25.08.	21.09.
S. triandra ‘Панфільська’						
восени	контроль	1,22	1,47	1,58	1,58	1,58
	MaxiMarin	2,10	2,45	2,56	2,56	2,56
навесні	контроль	1,75	1,96	2,16	2,16	2,16
	MaxiMarin	1,90	2,15	2,38	2,38	2,38
S. viminalis ‘Збруч’						
восени	контроль	1,61	1,97	2,07	2,07	2,07
	MaxiMarin	1,58	1,92	2,13	2,13	2,13
навесні	контроль	1,50	1,91	2,04	2,04	2,04
	MaxiMarin	1,25	1,78	2,11	2,11	2,11
НІР _{0,05 заг.}		0,27	0,22	0,24	0,19	0,17
НІР _{0,05 сорт}		0,14	0,11	0,12	0,10	0,09
НІР _{0,05 строк заготівлі, гель}		0,14	0,11	0,12	0,10	0,09

абсорбенту порівняно з контролем та з прутувидною 'Збруч'. Залежно від строку заготівлі пагонів достовірної різниці з кількості стебел не виявлено в обох сортах.

Не виявлено достовірного збільшення біометричних показників – висоти рослин, товщини пагонів та кількості стебел залежно від строку заготівлі садивного матеріалу та застосування гелю абсорбенту. Тобто, для закладання великих плантацій енергетичної верби садивний матеріал необхідно заготовлювати восени, а не великих – навесні. Наростання вегетативної маси інтенсивніше проходило у верби прутувидної сорту 'Збруч', ніж тритичинкової сорту 'Панфільська'.

Висновки. Проведене дослідження показало, що застосування гелю-абсорбенту не мало визначального впливу під час висаджування енергетичної верби. За садіння живців сорту 'Збруч' приріст висоти рослин у всі дати обліку в другому році вегетації був вищим, ніж у сорту 'Панфільська'. У середньому за три роки другого року вегетації істотної різниці у товщині стебел та кількості пагонів залежно від сортових особливостей, виду садивного матеріалу та застосування гелю-абсорбенту не виявлено.

Застосування абсорбенту позитивно вплинуло на приріст висоти рослин та діаметру стебел сорту 'Панфільська' при заготівлі пагонів навесні, а сорту 'Збруч' – восени. Найвищий приріст висоти фіксувався при висаджуванні живців сорту 'Панфільська', заготовлених восени, та сорту 'Збруч', заготовлених навесні.

Список використаних джерел

1. Гелетука Г.Г., Желзна Т.А., Трибой О.В. Перспективи вирощування та використання енергетичних культур в Україні. Біоенергетична асоціація України. 2014. 33 с. <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/04/position-paper-uabio-10-ua.pdf>

2. Данюк Ю. С., Балагура О. В. Наростання вегетативної маси верби залежно від сортових особливостей та періоду заготівлі садивного матеріалу. *Агробіологія*. 2022. № 2 (174). С. 19–26. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2022-174-2-19-26>
3. Данюк Ю. С. Формування продуктивності садивного матеріалу енергетичної верби залежно від умов заготівлі та зберігання: дис. ... д-ра філософ.: 201. Київ, 2023. 185 с.
4. Доронін В. А., Кравченко Ю. В., Дрига В. В., Доронін В. В. Формування садивного матеріалу міскантусу в другому році вегетації залежно від елементів технології його вирощування. *Біоенергетика*. 2018. № 2. С. 28–31. <https://doi.org/10.47414/be.2.2018.229253>
5. Кателевський В. М. Урожайність міскантусу гігантського залежно від застосування нових елементів технології вирощування в умовах Лісостепу України. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2020. № 28. 221–229. <https://doi.org/10.47414/np.28.2020.244149>
6. Роїк М.В., Гументик М.Я., Мамайсур В.В. Перспективи вирощування енергетичної верби для вирощування твердого біопалива. *Біоенергетика*. 2013. № 2. С. 18–19.
7. Сінченко В.М., Роїк М.В., Фучило Я.Д. та ін. Енергетична верба: технологія вирощування та використання. Вінниця : ТОВ «Нілан-ЛТД». 2015. 340 с.
8. Сінченко В. М., Мельничук Г. А. Економічна ефективність вирощування енергетичної верби в Україні. *Біоенергетика*. 2021. № 1. С. 41–45. <https://doi.org/10.47414/be.1.2018.229204>
9. Фучило Я.Д., Зелінський Б.В., Іванюк І.Д., Зелінська Л.Г. Вирощування енергетичних плантацій верби на маргінальних землях Київського Полісся. Житомир : НОВОград. 2023. 144 с. <https://rep.btsau.edu.ua/bitstream/BNAU/9890/1/Vyroshchuvannya%20enerhetychnykh.pdf>
10. Фучило Я. Д. Плантаційне лісовирощування: теорія, практика, перспективи. Київ : Логос. 2011. 464 с.;
11. Фучило Я.Д., Сінченко В.М., Гументик М.Я. Особливості вирощування енергетичної верби. *Біоенергетика*. 2016. №1(7). С. 11–13. <https://doi.org/10.47414/be.1.2016.253889>;
12. Alexopoulou E., Christou M., Eleftheriadis I. Role of 4F cropping in determining future biomass potentials, including sustainability and policy related issues. Biomass Department of CRES, 2010-2012. <https://www.semanticscholar.org/paper/Role-of-4F-cropping-in-determining-future-biomass-Alexopoulou-Christou/a8a248e758e6ffb891fb1b9219e50d70463915a7>
13. Christersson L. High technology biomass production by Salix clones on a sandy soil in southern Sweden. *Tree Physiology*. 1986. Vol. 2, Iss. 1–3. P. 261–277. <https://doi.org/10.1093/treephys/2.1-2-3.261>
14. N. El Bassam N. Handbook of Bioenergy Crops: A Complete Reference to Species, Development and Applications. London ; Washington, DC : Earthscan, 2010. 544 p.
15. Krzyżaniak M., Stolarski M.J., Szczukowski S. et al. Willow biomass obtained from different soils as a feedstock for energy. *Industrial Crops and Products*. 2015. Vol. 75. P.114-121. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.06.030>
16. Labrecque M., Teodorescu T. I., Cogliastro A., Daigle S. Growth patterns and biomass productivity of two Salix species grown under short-rotation intensive culture in southern Quebec. *Biomass and Bioenergy*. 1993. Vol. 4, Iss. 6. P. 419–425. [https://doi.org/10.1016/0961-9534\(93\)90063-A](https://doi.org/10.1016/0961-9534(93)90063-A)
17. Zhang H., Zhang Z., Qi X. et al. Manganese Monoxide/Biomass-Inherited Porous Carbon Nanostructure Composite Based on the High Water-Absorbent Agaric for Asymmetric Supercapacitor. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. 2019. Vol. 7, Iss. 4. P. 4284–4294. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b06049>

Daniuk Yu. S.

*Doctor of Philosophy (Agricultural Sciences and Food),
Head of Department of Scientific and Organizational Work,
Ukrainian Institute for Plant Variety Examination
Kyiv, Ukraine*

E-mail: danyk.yura@ukr.net

ORCID: 0000-0001-8698-2161

Daniuk V. O.

*Head of Internal Audit Department,
Ukrainian Institute for Plant Variety Examination
Kyiv, Ukraine*

E-mail: vikapopelna@ukr.net

ORCID: 0009-0004-0985-4480

Kyrylchuk A. M.

*Candidate of Agricultural Sciences,
Senior Researcher at the Laboratory of Quality Indicators of Plant Varieties,
Ukrainian Institute for Plant Variety Examination
Kyiv, Ukraine*

E-mail: angelakyrylchuk@gmail.com

ORCID: 0000-0003-3948-5810

Kovalchuk Y. S.

Senior researcher at the Department of Scientific and Organizational Work,
Ukrainian Institute for Plant Variety Examination
Kyiv, Ukraine

E-mail: 5916706@ukr.net

ORCID: 0009-0008-2931-3541

Lynchak N. B.

Senior researcher at the Department of Scientific and Organizational Work,
Ukrainian Institute for Plant Variety Examination
Kyiv, Ukraine

E-mail: lynchaknadin@gmail.com

ORCID: 0000-0003-3963-7319

Barban O. B.

Researcher at the Department of Scientific and Organizational Work,
Ukrainian Institute for Plant Variety Examination
Kyiv, Ukraine

E-mail: olyaveselovska@ukr.net

ORCID: 0000-0001-8819-3115

GROWTH OF VEGETATIVE MASS OF ENERGY WILLOW IN THE SECOND GROWING SEASON DEPENDING ON THE TERM OF HARVESTING OF PLANTING MATERIAL AND APPLICATION OF ABSORBENT GEL

Abstract

This study aimed to elucidate the specific patterns in the development of biometric parameters in two energy willow (*Salix L.*) species within second-year vegetation plantations. The investigation specifically focused on the influence of two key factors: the timing of planting material (shoot) harvesting and the pre-planting treatment of cuttings with an absorbent.

The research was conducted over a three-year period, from 2020 to 2022, at the experimental field of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, situated in the Kyiv region. This location falls within the zone of unstable moisture characteristic of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. The object of the study was two types of energy willow: *Salix triandra L.* 'Panfilska' and *Salix viminalis L.* 'Zbruch'. Every year, in the third decade of March – first decade of April, the plantations were established with standard cuttings 20–25 cm long and 2.0–2.5 cm in diameter with three to four well-developed buds. During the growing season, the following biometric parameters were determined monthly: average plant height (cm), stem diameter (mm), number of stems per bush (pcs.).

Statistical processing of the results was carried out using analysis of variance to determine the reliability of differences between the experimental variants.

The findings of this investigation demonstrated a statistically significant impact of both the planting material harvesting period and the application of a gel-absorbent on the development of biometric characteristics of the energy willow plantations during their second year of vegetation.

The study revealed that the number of surviving plants, as well as the height and stem diameter of the energy willow, exhibited dependence on varietal characteristics when assessed dynamically throughout the growing season and averaged over the three-year study period. Furthermore, the application of the gel-absorbent exhibited a differential effect based on both the variety and the harvesting period. Specifically, the use of the gel-absorbent promoted an increase in plant height and stem diameter in the 'Panfilska' variety when shoots were harvested in autumn. Conversely, in the 'Zbruch' variety, a more pronounced growth in these parameters was observed with spring harvesting in conjunction with the gel-absorbent treatment.

Key words: *Salix triandra L.*, *S. viminalis L.*, terms of shoots harvesting, cuttings, MaxiMarin absorbent, biometric parameters of plants, shoot height, stem diameter, number of shoots in one bush.

References

1. Heletukha, H. H., Zheliezna, T. A., & Tryboi, O. V. (2014). Perspektyvy vyroshchuvannya ta vykorystannia enerhetychnykh kultur v Ukraini [Prospects for growing and using energy crops in Ukraine]. Bioenerhetychna asotsiatsiia Ukrainy. <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/04/position-paper-uabio-10-ua.pdf> [in Ukrainian].
2. Danyuk, Yu., & Balagura, O. (2022). Narostannia vechetatyvnoi masy verby zalezno vid sortovykh osoblyvosti ta periodu zahotivli sadyvnoho materialu [Increase in willow vegetative weight depends on varietal characteristics and the period of planting material collection]. *Ahrobiolohiia*, 2, 19–26. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2022-174-2-19-26> [in Ukrainian].
3. Danyuk, Y. S. (2023). Formuvannia produktyvnosti sadyvnoho materialu enerhetychnoi verby zalezno vid umov zahotivli ta zberihannia [Formation of productivity of energy willow planting material depending on the conditions of harvesting and storage]. [Doctoral dissertation, Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of NAAS] [in Ukrainian].
4. Doronin, V. A., Kravchenok, Yu. V., Dryha, V. V., & Doronin, V. V. (2018). Formuvannia sadyvnoho materialu miskantusu v druhomu rotsi vechetatsii zalezno vid elementiv tekhnolohii yoho vyroshchuvannya [Formation of planting material of

miscanthus in the second year of vegetation depending on the elements of its cultivation technology]. *Bioenerhetyka*, (2), 28–31. <https://doi.org/10.47414/be.2.2018.229253> [in Ukrainian].

5. Katelevskiy, V. M. (2020). Urozhainist miskantusu hihantskoho zalezno vid zastosuvannya novykh elementiv tekhnolohii vyroshchuvannya v umovakh Lisostepu Ukrainy [Giant miscanthus yield in the Forest-Steppe of Ukraine under new cultivation practices]. *Naukovi pratsi Instytutu bioenerhetychnykh kultur i tsukrovykh buriakiv*, (28), 221–229. <https://doi.org/10.47414/np.28.2020.244149> [in Ukrainian].

6. Roik, M. V., Humentyk, M. Ia., & Mamaisur, V. V. (2013). Perspektyvy vyroshchuvannya enerhetychnoi verby dlia vyroshchuvannya tverdogo biopalyva [Prospects for growing energy willow for growing solid biofuels]. *Bioenerhetyka*, (2), 18–19 [in Ukrainian].

7. Sinchenko, V. M., Roik, M. V., Fuchylo, Ya. D., ta in. (2015). Enerhetychna verba: tekhnolohiia vyroshchuvannya ta vykorystannia [Energy willow: technology of growing and using]. Nilan-LTD [in Ukrainian].

8. Sinchenko, V. M., & Melnychuk, H. A. (2021). Ekonomichna efektyvnist vyroshchuvannya enerhetychnoi verby v Ukraini [Economic efficiency of growing energy willow in Ukraine]. *Bioenerhetyka*, (1), 41–45. <https://doi.org/10.47414/be.1.2018.229204> [in Ukrainian].

9. Fuchylo, Ya. D., Zelinskyi, B. V., Ivaniuk, I. D., & Zelinska, L. H. (2023). Vyroshchuvannya enerhetychnykh plantatsii verby na marhinalnykh zemliakh Kyivskoho Polissia [Growing energy willow plantations on marginal lands of Kyiv Polissya]. NOVOhrad. Retrieved from: <https://rep.btsau.edu.ua/bitstream/BNAU/9890/1/Vyroshchuvannya%20enerhetychnykh.pdf> [in Ukrainian].

10. Fuchylo, Ya. D. (2011). Plantatsiine lisovyroshchuvannya: teoriia, praktyka, perspektyvy [Plantation afforestation: theory, practice, prospects]. Lohos [in Ukrainian].

11. Fuchylo, Ya. D., Sinchenko, V. M., & Humentyk, M. Ia. (2016). Osoblyvosti vyroshchuvannya enerhetychnoi verby [Features of growing energy willow]. *Bioenerhetyka*, 1, 11–13. <https://doi.org/10.47414/be.1.2016.253889> [in Ukrainian].

12. Alexopoulou, E., & Christou, M. (2010–2012). Role of 4F cropping in determining future biomass potentials, including sustainability and policy related issues. Biomass Department of CRES. Retrieved from: <https://www.semanticscholar.org/paper/Role-of-4F-cropping-in-determining-future-biomass-Alexopoulou-Christou/a8a248e758e6ffb891fb1b9219e50d70463915a7> [in English].

13. Christersson, L. (1986). High technology biomass production by *Salix* clones on a sandy soil in southern Sweden. *Tree Physiology*, 2(1–3), 261–277. <https://doi.org/10.1093/treephys/2.1-2-3.261> [in English].

14. El Bassam, N. (2010). Handbook of Bioenergy Crops: A Complete Reference to Species, Development and Applications. Earthscan [in English].

15. Krzyżaniak, M., Stolarski, M.J., Szczukowski, S. et al. (2015). Willow biomass obtained from different soils as a feedstock for energy. *Industrial Crops and Products*. Vol. 75. P. 114–121. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.06.030> [in English].

16. Labrecque, M., Teodorescu, T. I., Cogliastro, A., & Daigle, S. (1993). Growth patterns and biomass productivity of two *Salix* species grown under short-rotation intensive culture in southern Quebec. *Biomass and Bioenergy*, 4(6), 419–425. [https://doi.org/10.1016/0961-9534\(93\)90063-A](https://doi.org/10.1016/0961-9534(93)90063-A) [in English].

17. Zhang, H., Zhang, Z., Qi, X., Yu, J., Cai, J., & Yang, Z. (2019). Manganese Monoxide/Biomass-Inherited Porous Carbon Nanostructure Composite Based on the High Water-Absorbent Agaric for Asymmetric Supercapacitor. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 7(4), 4284–4294. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b06049> [in English].