

УДК 632.51:581.5:631.5

# Оптимізація елементів технології вирощування павловнії в умовах Правобережного Лісостепу України

Д. Я. Макух 

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна

Автор для листування: Денис Макух, [herbolohiya@ukr.net](mailto:herbolohiya@ukr.net)

**Цитування:** Макух Д. Я. Оптимізація елементів технології вирощування павловнії в умовах Правобережного Лісостепу України. *Біоенергетика*. 2026. № 1. С. 92–100. <https://doi.org/10.47414/be.2026.No1.pp92-100>

**Мета.** Обґрунтувати ефективні елементи технології вирощування павловнії другого року вегетації шляхом оцінювання впливу систем захисту від бур'янів і низькотемпературного стресу на ріст рослин, формування асиміляційної поверхні, продуктивність біомаси та енергетичну ефективність. **Методи.** Дослідження проводили у 2023–2025 рр. на базі ТОВ «Гров Енерджі» (Київська обл.). Схема досліду включала три фактори: гібриди павловнії ('Clone In Vitro 112', 'Pao Tong Zo7' і 'Shan Tong'), система захисту від бур'янів (контроль; Стомп 330, к.е., 5 л/га; Стомп 330, к.е., 5 л/га + Тарга Супер, к.е., 2,0 л/га) та заходи захисту від низьких температур (контроль; осіння обробка ХАРВЕСТ, 5 л/га після опадання понад 40% листя; осіння обробка ХАРВЕСТ, 5 л/га + весняна обробка ХАРВЕСТ, 1 л/га після танення снігу за температури +5 °С; осіння обробка ХАРВЕСТ, 5 л/га + позакореневе підживлення НОВОФЕРТ Ягода за 5–6 діб до можливих заморозків у нормі 10 г/рослину або 6,5 л/га). Визначали динаміку росту рослин, параметри листкового апарату, вміст хлорофілу, урожайність сирої та сухої біомаси, збір енергії й коефіцієнт енергетичної ефективності. **Результати.** Установлено істотний вплив досліджуваних факторів на ріст і продуктивність павловнії. У варіантах без гербіцидного захисту висота рослин наприкінці вегетації становила лише 1,68–1,84 м, а середньодобовий приріст – 0,99–1,10 см/добу. Застосування системи Стомп 330 + Тарга Супер підвищувало кінцеву висоту рослин до 3,46–3,82 м і середньодобовий приріст до 1,97–2,16 см/добу. Найефективніша схема антистресового захисту – ХАРВЕСТ восени + НОВОФЕРТ Ягода перед заморозками – забезпечувала збільшення кількості листків до 54–61 шт./рослину, площі листкової поверхні до 3,67–4,42 м<sup>2</sup> та вмісту хлорофілу до 43,1–45,6 SPAD-од. Найвищу врожайність біомаси отримано за комплексного поєднання Стомп 330 + Тарга Супер × ХАРВЕСТ + НОВОФЕРТ: сира біомаса становила 25,6–29,1 т/га, суха – 9,34–10,83 т/га, збір енергії – 168,1–194,9 ГДж/га, коефіцієнт енергетичної ефективності – 2,69–3,02. Найвищі показники росту, фотосинтетичної активності та продуктивності сформував гібрид 'Shan Tong'. **Висновки.** Для умов Правобережного Лісостепу України ефективність вирощування павловнії другого року вегетації визначається комплексним поєднанням контролювання бур'янів і захисту рослин від низькотемпературного стресу. Найрезультативнішою виявилася система Стомп 330 + Тарга Супер у поєднанні з осіннім застосуванням ХАРВЕСТ і позакореневим підживленням НОВОФЕРТ Ягода. Найбільш адаптивним і продуктивним серед досліджуваних гібридів був 'Shan Tong'.

**Ключові слова:** павловнія; біомаса; асиміляційна поверхня; фотосинтетична активність; гербіциди; низькотемпературний стрес; енергетична ефективність.

## Вступ

Павловнія розглядається як перспективна швидкоросла деревна культура для отримання біомаси та енергетичної сировини. За даними García-Morote та ін. [1], гібрид *Paulownia elongata* × *P. fortunei* здатний формувати значну стовбурову біомасу навіть за умов обмеженого

Одержано 18.02.2026 • Погоджено 27.03.2026 • Опубліковано онлайн 18.05.2026



© Автор(и), 2026. Видавець Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України. Це стаття відкритого доступу, що розповсюджується на умовах ліцензії CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>), яка дозволяє використання, розповсюдження та відтворення на будь-яких носіях за умови належного цитування оригінальної роботи.

зрощення в напівпосушливому середовищі. Jakubowski [2] узагальнив сучасні підходи до вирощування та використання деревини павловнії, підкресливши її високий продуктивний потенціал і залежність результатів вирощування від кліматичних умов, добору клону та системи догляду.

Дослідження Kadlec та ін. [3] підтверджують можливість адаптації Paulownia 'Clone In Vitro 112'® до умов Центральної Європи, однак автори наголошують на значній ролі погодних умов і агротехнічного супроводу в перші роки вирощування. Подальші роботи цих авторів показали, що обрізування та інші прийоми формування рослин істотно впливають на висотний ріст і продукційний потенціал павловнії [4, 5].

Важливим напрямом є дослідження реакції павловнії на стресові чинники. Katiyar та ін. [6] встановили, що температурний стрес спричиняє суттєві зміни у фізіологічних і молекулярних реакціях *P. elongata*. Це обґрунтовує необхідність застосування технологічних прийомів, спрямованих на підвищення стійкості рослин до несприятливих температурних умов.

Економічну доцільність вирощування павловнії як біомасової культури розглянуто в роботі Testa та ін. [7]. Автори зазначають, що ефективність плантацій залежить від урожайності біомаси, витрат на закладання й догляд, тривалості циклу вирощування та ринкової вартості продукції. Водночас у роботах [8, 9] відзначено, що агротехнічне управління плантаціями павловнії впливає не лише на ріст рослин, а й на біологічну якість ґрунту та мікробіологічну активність.

Методичні підходи до оцінювання енергетичної ефективності короткоротаційних деревних культур наведено в працях Djomo та ін. [10], Rodrigues та ін. [11] і Griffiths та ін. [12]. Автори підкреслюють, що біоенергетична цінність таких насаджень визначається врожайністю біомаси, витратами на технологічні операції, тривалістю ротації та екологічними наслідками вирощування.

Для оцінювання фотосинтетичної активності рослин важливими є показники листкової поверхні та вмісту хлорофілу. Liu та ін. [13] довели, що індекс вмісту хлорофілу може бути ефективним показником для прогнозування надземної біомаси та продуктивності рослин. Це є важливим для досліджень павловнії, де формування асиміляційної поверхні прямо пов'язане з накопиченням біомаси.

Окреме значення має оцінювання екологічного навантаження технологій. Shulner та ін. [14] показали, що системи контролю бур'янів і удобрення можуть істотно впливати на показники життєвого циклу та викиди парникових газів. Тому для павловнії доцільно враховувати не лише урожайність, а й енергетичну та екологічну ефективність технології. Вітчизняні дослідження безпосередньо підтверджують важливість контролювання бур'янів у насадженнях павловнії. Макух та ін. [15] встановили, що бур'яни істотно пригнічують ріст і розвиток культури на початкових етапах. Поєднання систем контролю бур'янів із заходами захисту від низьких температур позитивно впливає на ріст, перезимівлю та стабільність насаджень павловнії [16].

Отже, аналіз джерел свідчить, що продуктивність павловнії формується під впливом комплексу чинників: гібрида, умов середовища, системи догляду, контролю бур'янів, захисту від температурного стресу та енергетичної ефективності технології. Саме тому актуальним є комплексне дослідження елементів технології вирощування павловнії в умовах Правобережного Лісостепу України.

*Мета дослідження* – обґрунтувати ефективні елементи технології вирощування павловнії другого року вегетації шляхом оцінювання впливу систем захисту від бур'янів і низьких температур на ріст, продуктивність біомаси та енергетичну ефективність культури.

## Матеріали та методи дослідження

Дослідження виконували впродовж 2023–2025 рр. у ТОВ «Гров Енерджі» (с. Ферма, Київська обл.). За рівнем та розподілом опадів територія господарства характеризується як зона нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу. Хоча фактичні погодні умови місцями відрізнялися від середньобагаторічних показників, загалом вони створювали прийнятні умови для ростових процесів і розвитку павловнії.

Ґрунти дослідної ділянки представлені дерново-піщаними та супіщаними відмінами, які характеризуються низьким вмістом гумусу та слабкою водоутримувальною здатністю. Гумусовий горизонт, як правило, малопотужний – 20–30 см, із вмістом гумусу у шарі 0–30 см 0,8–1,2%. Забезпеченість лужногідролізованим азотом є низькою (35–55 мг/кг ґрунту), вміст рухомого фосфору та обмінного калію за Чириковим також невисокий і становить відповідно 3–5 та 4–7 мг/100 г повітряно-сухого ґрунту. Реакція ґрунтового розчину слабкокисла – рН 5,2–5,8, подекуди близька до нейтральної. Ґрунти мають легкий гранулометричний склад, швидко пересихають і є малостійкими до дефляції, що обумовлює необхідність підтримання рослинного покриву або застосування мульчі для поліпшення їх агрофізичних властивостей.

Дослідження проводили за схемою:

*Фактор А* – гібрид павловнії: 'Clone In Vitro 112', 'Pao Tong Z07', 'Shan Tong'.

*Фактор В* – система захисту від бур'янів: контроль (без гербіцидів); контроль 2 (насадження без наявності бур'янів), Стомп 330, к. е. (5 л/га); Стомп 330, к. е. (5 л/га) + Тарга Супер, к. е. (2,0 л/га).

*Фактор С* – захист від впливу низьких температур: без обробки; осіння обробка (Харвест, 5 л/га); осіння + весняна обробка (Харвест, 5 + 1 л/га); осіння обробка (Харвест, 5 л/га) + позакореневе підживлення (Новоферт Ягода).

Насадження павловнії на дослідних ділянках щороку закладали однорічними саджанцями за схемою 4 × 4 м, що забезпечувало густоту 625 рослин/га. Попередником на всіх ділянках був чистий пар, сформований механічним обробітком ґрунту, що максимально зменшувало стартову забур'яненість.

Біометричні показники павловнії – висоту, діаметр стовбура та площу листової поверхні – обліковували в кінці вересня (перед входом у стан спокою). Діаметр стовбура визначали штангенциркулем на висоті 10 см над поверхнею ґрунту, площу листової поверхні – за формулою:  $P = D \times Ш \times K$ , де  $P$  – площа листка,  $K$  – перевідний коефіцієнт (0,74),  $D$  – довжина листка,  $Ш$  – ширина листка [17–19].

## Результати дослідження

У другий рік вегетації рослини павловнії характеризуються інтенсивним наростанням наземної маси, активним формуванням листового апарату та посиленням розвитком пагонів. У цей період особливо важливим є забезпечення сприятливих умов для реалізації ростового потенціалу культури, оскільки конкуренція з боку бур'янів може істотно обмежувати доступ рослин до вологи, елементів живлення та світла. Внаслідок цього знижується інтенсивність лінійного приросту, уповільнюється формування асиміляційної поверхні та послаблюється загальний фізіологічний стан насаджень. Оцінювання динаміки висоти рослин упродовж вегетаційного періоду дає змогу визначити реакцію різних гібридів павловнії на умови вирощування та ефективність застосованих систем захисту від бур'янів. Важливими показниками при цьому є висота рослин на початку, у середині та наприкінці вегетації, а також середньодобовий приріст, який відображає інтенсивність ростових процесів за дії досліджуваних технологічних прийомів.

Аналіз динаміки росту рослин павловнії другого року вегетації свідчить, що інтенсивність лінійного приросту істотно залежала як від гібридних особливостей, так і від ефективності системи захисту насаджень від бур'янів. На початку вегетації висота рослин у досліджуваних варіантах змінювалася в межах 0,39–0,51 м, що свідчить про відносно вирівняний стартовий стан рослин після відновлення весняної вегетації. Водночас уже в середині вегетаційного періоду різниця між варіантами суттєво зростала, що вказує на посилення впливу бур'янової конкуренції на реалізацію ростового потенціалу павловнії.

У варіантах контролю без гербіцидів спостерігалось найслабше наростання висоти рослин. Залежно від гібрида, у середині вегетації висота павловнії становила лише 1,10–1,25 м, а наприкінці вегетаційного періоду – 1,68–1,84 м. Середньодобовий приріст у цих варіантах був найнижчим і становив 0,99–1,10 см/добу. Це свідчить про істотне пригнічення росту рослин за умов природної забур'яненості, коли бур'яни конкурували з павловнією за вологу, поживні речовини та світло.

Варіант без бур'янів забезпечував значне покращення ростових процесів. У цьому разі висота рослин у середині вегетації зростала до 2,20–2,48 м, а наприкінці вегетації – до 3,28–3,66 м. Середньодобовий приріст становив 1,85–2,08 см/добу, що майже удвічі перевищувало показники контролю без гербіцидів. Це підтверджує, що усунення конкуренції з боку бур'янів є однією з основних умов формування інтенсивного приросту павловнії у другий рік вегетації.

Застосування ґрунтового гербіциду Стомп 330 у нормі 5 л/га також позитивно впливало на динаміку росту рослин. У цьому варіанті висота павловнії у середині вегетації становила 2,06–2,32 м, а наприкінці – 3,12–3,48 м. Середньодобовий приріст коливався в межах 1,75–1,97 см/добу. Порівняно з контролем без гербіцидів, застосування Стомп 330 забезпечувало приріст кінцевої висоти рослин на 1,40–1,64 м, залежно від гібрида. Це вказує на ефективність ґрунтового гербіцидного захисту в період активного росту павловнії.

Найвищі показники росту одержано за комбінованої системи захисту Стомп 330 + Тарга Супер. У цьому варіанті висота рослин у середині вегетації становила 2,31–2,56 м, а наприкінці вегетації – 3,46–3,82 м. Середньодобовий приріст досягав 1,97–2,16 см/добу. Така система захисту забезпечувала найкращі умови для росту павловнії завдяки зменшенню конкуренції як з боку дводольних, так і злакових бур'янів. Порівняно з контролем без гербіцидів, кінцева висота рослин за комбінованого захисту була більшою на 1,78–2,04 м, що підтверджує високу ефективність цього технологічного прийому.

Серед досліджуваних гібридів найвищу інтенсивність росту мав 'Shan Tong'. У всіх системах захисту він формував вищі показники порівняно з іншими гібридами. За комбінованої системи Стомп 330 + Тарга Супер висота рослин 'Shan Tong' наприкінці вегетації досягала 3,82 м, а середньодобовий приріст становив 2,16 см/добу. Гібрид 'Clone In Vitro 112' також характеризувався високим ростовим потенціалом: у найкращому варіанті його висота становила 3,58 м, а середньодобовий приріст – 2,03 см/добу. Найнижчі показники серед гібридів мав 'Pao Tong ZO7', однак і він позитивно реагував на поліпшення фітосанітарного стану насаджень: за комбінованого гербіцидного захисту висота рослин досягала 3,46 м, а приріст – 1,97 см/добу (табл. 1).

**Таблиця 1.** Динаміка росту рослин павловнії другого року вегетації залежно від гібрида та системи захисту (2023–2025 рр.)

Гібрид	Система захисту	Висота рослин ... вегетації, м			Середньодобовий приріст, см/добу
		на початку	у середині	наприкінці	
'Clone In Vitro 112'	Контроль, без гербіцидів	0,42	1,18	1,76	1,05
	Без бур'янів	0,48	2,36	3,42	1,92
	Стомп 330, 5 л/га	0,46	2,18	3,24	1,82
	Стомп 330 + Тарга Супер	0,49	2,44	3,58	2,03
'Pao Tong ZO7'	Контроль, без гербіцидів	0,39	1,10	1,68	0,99
	Без бур'янів	0,45	2,20	3,28	1,85
	Стомп 330, 5 л/га	0,44	2,06	3,12	1,75
	Стомп 330 + Тарга Супер	0,46	2,31	3,46	1,97
'Shan Tong'	Контроль, без гербіцидів	0,43	1,25	1,84	1,10
	Без бур'янів	0,50	2,48	3,66	2,08
	Стомп 330, 5 л/га	0,48	2,32	3,48	1,97
	Стомп 330 + Тарга Супер	0,51	2,56	3,82	2,16
	НІР <sub>0,05</sub>	0,05	0,18	0,22	0,14

Показники найменшої істотної різниці підтверджують істотність різниці між варіантами досліджу. Для висоти рослин на початку вегетації НІР<sub>0,05</sub> становила 0,05 м, у середині вегетації – 0,18 м, наприкінці вегетації – 0,22 м, а для середньодобового приросту – 0,14 см/добу. Отже, відмінності між контролем без гербіцидів і варіантами із застосуванням систем захисту були статистично значущими.

Формування асиміляційної поверхні є одним із ключових показників фізіологічного стану рослин павловнії, оскільки саме листковий апарат забезпечує інтенсивність фотосинтезу, накопичення органічної речовини та подальше формування біомаси. Дані таблиці 2 свідчать, що застосування заходів захисту від впливу низьких температур позитивно впливало на кількість листків, середню площу одного листка, загальну площу листової поверхні, індекс листової поверхні та вміст хлорофілу в листках усіх досліджуваних гібридів павловнії.

У контрольному варіанті без обробки показники розвитку листового апарату були найнижчими. У гібрида 'Clone In Vitro 112' кількість листків становила 38 шт./рослину, середня площа одного листка – 520 см<sup>2</sup>, площа листової поверхні однієї рослини – 1,98 м<sup>2</sup>, індекс листової поверхні – 1,24 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>, а вміст хлорофілу – 34,6 SPAD-од. У 'Pao Tong ZO7' ці показники були дещо нижчими: кількість листків становила 35 шт./рослину, площа одного листка – 495 см<sup>2</sup>, площа листової поверхні – 1,73 м<sup>2</sup>, індекс листової поверхні – 1,08 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>, вміст хлорофілу – 33,8 SPAD-од. Найвищі показники серед контрольних варіантів мав 'Shan Tong', у якого кількість листків становила 40 шт./рослину, площа одного листка – 545 см<sup>2</sup>, площа листової поверхні – 2,18 м<sup>2</sup>, індекс листової поверхні – 1,36 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>, а вміст хлорофілу – 35,2 SPAD-од.

Осіньна обробка препаратом ХАРВЕСТ у нормі 5 л/га забезпечувала помітне поліпшення розвитку асиміляційної поверхні. У гібрида 'Clone In Vitro 112' кількість листків зросла з 38 до 46 шт./рослину, середня площа одного листка – з 520 до 610 см<sup>2</sup>, а площа листової поверхні – з 1,98 до 2,81 м<sup>2</sup>. Вміст хлорофілу підвищився до 38,9 SPAD-од. У гібрида 'Pao Tong ZO7' осіння обробка сприяла збільшенню кількості листків до 43 шт./рослину, площі листової поверхні – до 2,52 м<sup>2</sup>, а вмісту хлорофілу – до 37,6 SPAD-од. У гібрида 'Shan Tong' ці показники були ще вищими: кількість листків становила 49 шт./рослину, площа листової поверхні – 3,11 м<sup>2</sup>, індекс листової поверхні – 2,16 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>, а вміст хлорофілу – 41,7 SPAD-од. У гібрида 'Pao Tong ZO7' відповідні показники становили 49 шт./рослину, 635 см<sup>2</sup>, 3,11 м<sup>2</sup>, 1,94 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup> і 40,4 SPAD-од. У 'Shan Tong' за цієї схеми сформувалися ще вищі значення: 55 листків на рослину, середня площа одного листка – 690 см<sup>2</sup>, загальна площа листової поверхні – 3,80 м<sup>2</sup>, індекс листової поверхні – 2,38 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>, вміст хлорофілу – 42,8 SPAD-од. Це свідчить про те, що поєднання осінньої та весняної обробки сприяло активнішому відновленню рослин після зимового періоду та посиленню фотосинтетичної активності.

Найвищі показники формування асиміляційної поверхні отримано за комбінованого застосування ХАРВЕСТ восени 5 л/га + НОВОФЕРТ Ягода перед можливими заморозками. У гібрида 'Clone In Vitro 112' кількість листків становила 57 шт./рослину, середня площа одного листка – 705 см<sup>2</sup>, площа листової поверхні – 4,02 м<sup>2</sup>, індекс листової поверхні – 2,51 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>, вміст хлорофілу – 44,3 SPAD-од. У гібрида 'Pao Tong ZO7' цей варіант також забезпечував найкращі показники: 54 листки на рослину, площа одного листка – 680 см<sup>2</sup>, площа листової поверхні – 3,67 м<sup>2</sup>, індекс листової поверхні – 2,29 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>, вміст хлорофілу – 43,1 SPAD-од. Найбільш виражений ефект спостерігався у гібрида 'Shan Tong', де кількість листків досягала 61 шт./рослину, середня площа одного листка – 725 см<sup>2</sup>, площа листової поверхні – 4,42 м<sup>2</sup>, індекс листової поверхні – 2,76 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>, а вміст хлорофілу – 45,6 SPAD-од.

Порівняно з контролем без обробки, застосування найефективнішої схеми ХАРВЕСТ + НОВОФЕРТ Ягода забезпечувало істотне збільшення площі листової поверхні. У гібрида 'Clone In Vitro 112' вона зросла з 1,98 до 4,02 м<sup>2</sup>, тобто на 2,04 м<sup>2</sup>. У 'Pao Tong ZO7' приріст становив 1,94 м<sup>2</sup> (з 1,73 до 3,67 м<sup>2</sup>). У 'Shan Tong' площа листової поверхні збільшилася з 2,18 до 4,42 м<sup>2</sup>, тобто на 2,24 м<sup>2</sup>. Така динаміка свідчить про високу ефективність антистресового захисту для підтримання функціональної активності листового апарату павловнії.

Індекс листової поверхні також істотно зростав за застосування захисних заходів. У контрольному варіанті він становив 1,08–1,36 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>, тоді як за комбінованої схеми ХАРВЕСТ + НОВОФЕРТ Ягода підвищувався до 2,29–2,76 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>. Це вказує на збільшення фотосинтетично активної поверхні насаджень, що є важливою передумовою інтенсивного накопичення біомаси.

Вміст хлорофілу в листках також мав чітку тенденцію до зростання. Якщо в контролі без обробки він становив 33,8–35,2 SPAD-од., то за найефективнішого варіанта захисту підвищувався до 43,1–45,6 SPAD-од. Підвищення цього показника свідчить про кращий фізіологічний стан рослин, активніше функціонування фотосинтетичного апарату та вищу стійкість до стресових чинників.

Серед досліджуваних гібридів найкращі показники формування асиміляційної поверхні стабільно забезпечував 'Shan Tong'. Він перевищував інші гібриди за кількістю листків, середньою площею листка, загальною площею листової поверхні, індексом листової поверхні та вмістом хлорофілу. 'Clone In Vitro 112' займав проміжне положення, тоді як 'Pao Tong Zo7' мав дещо нижчі показники, хоча також позитивно реагував на застосування захисних заходів (табл. 2).

**Таблиця 2.** Формування асиміляційної поверхні павловнії залежно від захисту від низьких температур (2023–2025 рр.)

Захист від впливу низьких температур	Кількість листків на рослині, шт.	Середня площа одного листка, см <sup>2</sup>	Площа листової поверхні однієї рослини, м <sup>2</sup>	Індекс листової поверхні, м <sup>2</sup> /м <sup>2</sup>	Вміст хлорофілу, SPAD-од.
'Clone In Vitro 112'					
Контроль, без обробки	38	520	1,98	1,24	34,6
ХАРВЕСТ восени, 5 л/га	46	610	2,81	1,76	38,9
ХАРВЕСТ восени, 5 л/га + ХАРВЕСТ навесні, 1 л/га	52	665	3,46	2,16	41,7
ХАРВЕСТ восени, 5 л/га + НОВОФЕРТ Ягода перед заморозками	57	705	4,02	2,51	44,3
'Pao Tong Zo7'					
Контроль, без обробки	35	495	1,73	1,08	33,8
ХАРВЕСТ восени, 5 л/га	43	585	2,52	1,58	37,6
ХАРВЕСТ восени, 5 л/га + ХАРВЕСТ навесні, 1 л/га	49	635	3,11	1,94	40,4
ХАРВЕСТ восени, 5 л/га + НОВОФЕРТ Ягода перед заморозками	54	680	3,67	2,29	43,1
'Shan Tong'					
Контроль, без обробки	40	545	2,18	1,36	35,2
ХАРВЕСТ восени, 5 л/га	49	635	3,11	1,94	39,7
ХАРВЕСТ восени, 5 л/га + ХАРВЕСТ навесні, 1 л/га	55	690	3,80	2,38	42,8
ХАРВЕСТ восени, 5 л/га + НОВОФЕРТ Ягода перед заморозками	61	725	4,42	2,76	45,6
НІР <sub>0,05</sub>	4	38	0,26	0,16	2,0

Урожайність біомаси павловнії другого року вегетації є інтегральним показником ефективності досліджуваних елементів технології, оскільки відображає вплив захисту від бур'янів і низьких температур на реалізацію продуктивного потенціалу рослин. Для оцінювання доцільності застосування цих прийомів було визначено вихід сирової та сухої біомаси, збір енергії з урожаює і коефіцієнт енергетичної ефективності.

Дані таблиці 3 свідчать, що врожайність біомаси та енергетична ефективність вирощування павловнії другого року вегетації істотно залежали від поєднання системи захисту від бур'янів і заходів захисту від низьких температур. Найнижчі показники продуктивності сформувалися у варіантах без гербіцидів і без антистресової обробки, де сира біомаса становила лише 10,5–12,6 т/га, суха біомаса – 3,55–4,35 т/га, а К<sub>е</sub> – 1,24–1,46.

Значне підвищення продуктивності відмічено у варіантах, де насадження утримували без бур'янів і застосовували осінню обробку ХАРВЕСТ. За таких умов сира біомаса зростала до 20,2–23,4 т/га, а збір енергії з біомасою – до 127,3–150,8 ГДж/га. Це свідчить про важливу роль усунення бур'янової конкуренції у формуванні продуктивності павловнії.

**Таблиця 3.** Урожайність біомаси та енергетична ефективність вирощування павловнії другого року вегетації (2023–2025 рр.)

Гібрид	Захист від бур'янів і низьких температур	Сира біомаса, т/га	Суша речовина, %	Суша біомаса, т/га	Збір енергії з біомасою, ГДж/га	Коефіцієнт енергетичної ефективності
'Clone In Vitro 112'	Без гербіцидів × без обробки	11,8	34,2	4,04	72,7	1,38
	Без бур'янів × ХАРВЕСТ осінь	21,6	35,4	7,65	137,7	2,31
	Стомп 330 × ХАРВЕСТ осінь + весна	24,8	36,1	8,95	161,1	2,58
	Стомп 330 + Тарга × ХАРВЕСТ + НОВОФЕРТ	27,4	36,8	10,08	181,4	2,84
	Без гербіцидів × без обробки	10,5	33,8	3,55	63,9	1,24
'Pao Tong Zo7'	Без бур'янів × ХАРВЕСТ осінь	20,2	35,0	7,07	127,3	2,18
	Стомп 330 × ХАРВЕСТ осінь + весна	23,1	35,7	8,25	148,5	2,44
	Стомп 330 + Тарга × ХАРВЕСТ + НОВОФЕРТ	25,6	36,5	9,34	168,1	2,69
	Без гербіцидів × без обробки	12,6	34,5	4,35	78,3	1,46
	Без бур'янів × ХАРВЕСТ осінь	23,4	35,8	8,38	150,8	2,47
'Shan Tong'	Стомп 330 × ХАРВЕСТ осінь + весна	26,2	36,4	9,54	171,7	2,72
	Стомп 330 + Тарга × ХАРВЕСТ + НОВОФЕРТ	29,1	37,2	10,83	194,9	3,02
	НІР <sub>0,05</sub>	1,8	1,1	0,74	13,4	0,18

Застосування системи Стомп 330 × ХАРВЕСТ осінь + весна забезпечувало подальше підвищення продуктивності: суха біомаса становила 8,25–9,54 т/га, а коефіцієнт енергетичної ефективності – 2,44–2,72. Найвищі результати отримано за комплексної системи Стомп 330 + Тарга Супер × ХАРВЕСТ + НОВОФЕРТ, де сира біомаса досягала 25,6–29,1 т/га, суха біомаса – 9,34–10,83 т/га, а збір енергії – 168,1–194,9 ГДж/га.

Серед досліджуваних гібридів найпродуктивнішим був 'Shan Tong', який у найкращому варіанті сформував 29,1 т/га сирової біомаси, 10,83 т/га сухої біомаси та забезпечив найвищий коефіцієнт енергетичної ефективності – 3,02. Гібрид 'Clone In Vitro 112' займав проміжне положення, тоді як 'Pao Tong Zo7' дещо поступався за продуктивністю, хоча також позитивно реагував на інтенсифікацію захисту.

## Висновки

У другий рік вегетації павловнія інтенсивно реагувала на умови вирощування, а найбільший вплив на ріст, формування листкової поверхні та накопичення біомаси мали системи захисту від бур'янів і низьких температур.

У варіантах без гербіцидного захисту рослини формували найнижчі показники висоти, середньодобового приросту, площі листкової поверхні та врожайності біомаси, що свідчить про сильне пригнічення культури бур'яновою конкуренцією. Застосування системи Стомп 330, 5 л/га, а особливо комбінації Стомп 330 + Тарга Супер, забезпечувало активніше наростання рослин, вищу кінцеву висоту та кращу реалізацію ростового потенціалу павловнії. Заходи захисту від низьких температур позитивно впливали на формування асиміляційного апарату: збільшували кількість листків, середню площу листка, індекс листкової поверхні та вміст хлорофілу в листках.

Найефективнішою схемою антистресового захисту було поєднання ХАРВЕСТ восени + НОВОФЕРТ Ягода перед можливими заморозками, яке забезпечувало найкращий фізіологічний стан рослин і найвищу фотосинтетичну активність. Найвищу урожайність сирової та сухої біо-

маси, а також найбільший збір енергії з урожаєм забезпечувала комплексна система Стомп 330 + Тарга Супер × ХАРВЕСТ + НОВОФЕРТ. Серед досліджуваних гібридів найбільш продуктивним був 'Shan Tong', який стабільно формував найвищі показники росту, листкової поверхні, біомаси та енергетичної ефективності. Гібриди 'Clone In Vitro 112' і 'Pao Tong Z07' також позитивно реагували на застосування технологічних прийомів, однак дещо поступалися за продуктивністю.

Загалом результати підтверджують, що для умов Правобережного Лісостепу України найбільш доцільним є комплексне поєднання ефективного контролювання бур'янів із заходами захисту рослин від низькотемпературного стресу.

## Список використаних джерел

- García-Morote, F., López-Serrano, F., Martínez-García, E., Andrés-Abellán, M., Dadi, T., Candel, D., Rubio, E., & Lucas-Borja, M. (2014). Stem biomass production of *Paulownia elongata* × *P. fortunei* under low irrigation in a semi-arid environment. *Forests*, 5(10), 2505–2520. <https://doi.org/10.3390/f5102505>
- Jakubowski, M. (2022). Cultivation potential and uses of paulownia wood: A review. *Forests*, 13(5), Article 668. <https://doi.org/10.3390/f13050668>
- Kadlec, J., Novosadová, K., & Pokorný, R. (2021). Preliminary results from a plantation of semi-arid hybrid of *Paulownia* 'Clone In Vitro 112'® under conditions of the Czech Republic from the first two years. *Baltic Forestry*, 27(1), Article 477. <https://doi.org/10.46490/BF477>
- Kadlec, J., Novosadová, K., & Pokorný, R. (2022). Impact of different pruning practices on height growth of *Paulownia* Clon in Vitro 112®. *Forests*, 13(2), Article 317. <https://doi.org/10.3390/f13020317>
- Kadlec, J., Novosadová, K., Kománek, M., & Pokorný, R. (2023). Testing the production potential of *Paulownia* Clon In Vitro 112® in the Czech Republic. *Forests*, 14(8), Article 1526. <https://doi.org/10.3390/f14081526>
- Katiyar, N., Ramadoss, N., Gupta, D., Pakala, S. B., Cooper, K., & Basu, C. (2021). Transcriptomic profiling of *Paulownia elongata* in response to heat stress. *Plant Gene*, 28, Article 100330. <https://doi.org/10.1016/j.plgene.2021.100330>
- Testa, R., Schifani, G., Rizzo, G., & Migliore, G. (2022). Assessing the economic profitability of Paulownia as a biomass crop in Southern Mediterranean area. *Journal of Cleaner Production*, 336, Article 130426. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130426>
- Moreno, J. L., Bastida, F., Ondoño, S., García, C., Andrés-Abellán, M., & López-Serrano, F. R. (2017). Agroforestry management of *Paulownia* plantations and their impact on soil biological quality: The effects of fertilization and irrigation treatments. *Applied Soil Ecology*, 117–118, 46–56. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.05.001>
- Lucas-Borja, M. E., Wic-Baena, C., Moreno, J. L., Dadi, T., García, C., & Andrés-Abellán, M. (2011). Microbial activity in soils under fast-growing *Paulownia* (*Paulownia elongata* × *fortunei*) plantations in Mediterranean areas. *Applied Soil Ecology*, 51, 42–51. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2011.08.011>
- Njakou Djomo, S., Ac, A., Zenone, T., De Groote, T., Bergante, S., Facciotto, G., Sixto, H., Ciria Ciria, P., Weger, J., & Ceulemans, R. (2015). Energy performances of intensive and extensive short rotation cropping systems for woody biomass production in the EU. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 845–854. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.058>
- Rodrigues, A. M., Costa, M. M. G., & Nunes, L. J. R. (2021). Short rotation woody coppices for biomass production: An integrated analysis of the potential as an energy alternative. *Current Sustainable/Renewable Energy Reports*, 8, 70–89. <https://doi.org/10.1007/s40518-020-00171-3>
- Griffiths, N. A., Rau, B. M., Vaché, K. B., Starr, G., Bitew, M. M., Aubrey, D. P., Martin, J. A., Benton, E., & Jackson, C. R. (2019). Environmental effects of short-rotation woody crops for bioenergy: What is and isn't known. *GCB Bioenergy*, 11(4), 554–572. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12536>
- Liu, C., Liu, Y., Lu, Y., Liao, Y., Nie, J., Yuan, X., & Chen, F. (2019). Use of a leaf chlorophyll content index to improve the prediction of above-ground biomass and productivity. *PeerJ*, 6, Article e6240. <https://doi.org/10.7717/peerj.6240>
- Shulner, I., Lati, R. N., Eizenberg, H., Asaf, E., Saadi, I., Laor, Y., Bar-Tal, A., & Kissinger, M. (2025). Implementing a life cycle assessment (LCA) to evaluate organic farming weed control and fertilizers environmental implications. *Science of The Total Environment*, 995, Article 180114. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.180114>
- Makukh, Ya. P., Remeniuk, S. O., Riznyk, V. M., & Moshkivska, S. V. (2022). The influence of weeds on the growth and development of paulownia. *Bioenergy*, 1–2, 45–47. <https://doi.org/10.47414/be.1-2.2022.271358> [In Ukrainian]

16. Remeniuk, S. O., & Makukh, D. Ya. (2025). Influence of weed control systems and protection against low temperatures on growth, overwintering, and carbon load of paulownia plantations. *Bioenergy*, 2, 67–73. <https://doi.org/10.47414/be.2025.No2.pp67-73> [In Ukrainian]

17. Prysiazhniuk, O. I., Klymovych, N. M., Polunina, O. V., Yevchuk, Ya. V., Tretiakova, S. O., Kononenko, L. M., Voitovska, V. I., & Mykhailovyn, Yu. M. (2021). *Methodology and organization of scientific research in agriculture and food technologies*. Nilan-LTD. <https://doi.org/10.47414/978-966-924-927-2> [In Ukrainian]

18. Roik, M. V., & Hizbullin, N. H. (Eds.). (2014). *Methods of research in sugar beet growing*. FOP Korzun D. Yu. [In Ukrainian]

19. Trybel, S. O. (Ed.). (2001). *Methods of testing and applying pesticides* (pp. 174–175). Svit. [In Ukrainian]

## Optimisation of cultivation technology elements for paulownia in the Right Bank Forest Steppe of Ukraine

D. Ya. Makukh

Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine

Corresponding author: Denys Makukh, [herbolohiya@ukr.net](mailto:herbolohiya@ukr.net)

---

**Citation:** Makukh, D. Ya. (2026). Optimisation of cultivation technology elements for paulownia in the Right Bank Forest Steppe of Ukraine. *Bioenergy*, 1, 92–100. <https://doi.org/10.47414/be.2026.No1.pp92-100>

---

**Aim.** To substantiate effective elements of cultivation technology for second-year paulownia by evaluating the influence of weed control systems and low-temperature stress protection on plant growth, leaf area formation, biomass productivity, and energy efficiency. **Methods.** The study was conducted in 2023–2025 at Grow Energy LLC (Kyiv region). The experimental design included three factors: paulownia hybrids ('Clone In Vitro 112', 'Pao Tong ZO7', and 'Shan Tong'); weed control system (control; Stomp 330 EC, 5 l/ha; Stomp 330 EC, 5 l/ha + Targa Super EC, 2.0 l/ha); and low-temperature protection measures (control; autumn application of HARVEST, 5 l/ha after >40% leaf fall; autumn HARVEST, 5 l/ha + spring HARVEST, 1 l/ha after snowmelt at +5°C; autumn HARVEST, 5 l/ha + foliar feeding with NOVOFERT Berry 5–6 days before possible frosts at 10 g/plant or 6.5 l/ha). Measurements included plant growth dynamics, leaf apparatus parameters, chlorophyll content, yield of fresh and dry biomass, energy accumulation, and energy efficiency coefficient. **Results.** The studied factors had a significant effect on paulownia growth and productivity. In treatments without herbicide protection, plant height at the end of vegetation was only 1.68–1.84 m, with an average daily increment of 0.99–1.10 cm/day. Application of Stomp 330 + Targa Super increased final plant height to 3.46–3.82 m and average daily increment to 1.97–2.16 cm/day. The most effective anti-stress protection scheme was autumn HARVEST + NOVOFERT Berry before frosts. It increased leaf number to 54–61 per plant, leaf area to 3.67–4.42 m<sup>2</sup>, and chlorophyll content to 43.1–45.6 SPAD units. The highest biomass yield was obtained with the combined application of Stomp 330 + Targa Super × HARVEST + NOVOFERT: fresh biomass 25.6–29.1 t/ha, dry biomass 9.34–10.83 t/ha, energy accumulation 168.1–194.9 GJ/ha, and energy efficiency 2.69–3.02. The hybrid 'Shan Tong' demonstrated the highest growth, photosynthetic activity, and productivity. **Conclusions.** In the Right-Bank Forest Steppe of Ukraine, the efficiency of second-year paulownia cultivation is determined by the integrated combination of weed control and protection against low-temperature stress. The most effective system was Stomp 330 + Targa Super combined with autumn HARVEST and foliar feeding with NOVOFERT Berry. Among the studied hybrids, 'Shan Tong' proved to be the most adaptive and productive.

**Keywords:** paulownia; biomass; leaf area photosynthetic activity; herbicides; low-temperature stress; energy efficiency.

---

### ORCID

Денис Макух / Denys Makukh

<https://orcid.org/0000-0001-9085-4496>