


УДК 633.9: 631.5

## Біоенергетична ефективність вирощування павловнії в умовах Правобережного Лісостепу України

 Л. М. Карпук\*, В. А. Тітаренко

Білоцерківський національний аграрний університет, площа Соборна, 8/1, м. Біла Церква, Київська обл., 09100, Україна, \*e-mail: lesya\_karpuk@ukr.net

**Мета.** Визначити вплив удобрення, застосування кріопротектора та позакореневого підживлення на вихід біопалива та ефективність вирощування павловнії. **Методи.** Дослідження проводили впродовж 2021–2023 рр. на дослідній ділянці НВЦ Білоцерківського національного аграрного університету, що розташована в лісовому масиві Правобережного Лісостепу України (Київська обл.). Схема досліду: фактор А – удобрення: 1) без добрив, 2) органічне добриво Вермикомпост (400 кг/га) до закладання плантації; фактор Б – обробка рослин кріопротектором: 1) без кріопротектора, 2) кріопротектор Марс-EL (0,5 л/га) на початку відростання листків; фактор В – позакореневе підживлення: 1) без обробки, 2) Квантум-АміНоФрост (1,5 л/га), 3) SmartGrow Відновлення (2,0 л/га). **Результати.** У середньому по досліді в перший рік вегетації павловнії розрахунковий збір біопалива становив 2,07 т/га, вихід із нього енергії – 30,8 ГДж/га, на другий – 8,84 т/га і 131,6 ГДж/га відповідно, що досить мало з позиції ефективного використання такої біомаси. На третій рік вирощування культури середній збір біопалива становив 18,4 т/га, вихід енергії – 273,4 ГДж/га, при цьому застосування органічного добрива забезпечило їх середній приріст на рівні 2,64 т/га і 38,9 ГДж/га, а кріопротектора – 0,81 т/га і 11,5 ГДж/га відповідно. Найвищі в досліді показники енергетичної продуктивності щорічно отримували у варіантах поєднання всіх трьох факторів – добрива Вермикомпост, кріопротектора Марс-EL та позакореневого підживлення Квантум-АміНоФрост або SmartGrow Відновлення. Зокрема, на третій рік вегетації насаджень павловнії збір біопалива становив 20,2 т/га, а вихід енергії – 299,6–301,3 ГДж/га. **Висновки.** Середній по досліді показник валового прибутку, отриманого за вирощування та переробки отриманого врожаю павловнії на біопаливо, становив 211,0 тис. грн/га, найменшим він був у контрольному варіанті досліду – 189,8 тис. грн/га. Найвищий же рівень валового прибутку – 232,8 тис. грн/га, як і найменші витрати на садивний матеріал – 102,9–103,1 тис. грн/га, відзначено у варіантах комплексного застосування всіх досліджуваних факторів. Адже за таких умов спостерігалась найвища приживлюваність рослин, тобто потрібно було значно менше досаджувати нових саджанців для формування високопродуктивної плантації. Максимум додаткових факторів впливу сприяв тому, що витрати догляд становили 11,0–11,9 тис. грн/га, тоді як на контролі – лише 4,7 тис. грн/га. Попри це, за комплексу впливу елементів агротехніки сумарні витрати були найменшими по досліді – 112,7–114,8 тис. грн/га, коли на контролі вони сягали 122,6 тис. грн/га. Отже, забезпечення високої приживлюваності дороговартісного садивного матеріалу є досить ефективним заходом зниження вартості витрат на промислове вирощування павловнії. Комплексне застосування досліджуваних агрозаходів, а саме внесення в основне удобрення Вермикомпост з наступним обробленням рослин у період вегетації кріопротектором Марс-EL та добривами Квантум-АміНоФрост або SmartGrow Відновлення, дало змогу збільшити на 48,6–51,5 тис. грн/га чистий прибуток, знизити на 1,68–1,79 тис. грн/га собівартість однієї тонни продукції, що, зрештою, забезпечило на 46,3–49,2 % вищий рівень рентабельності.

**Ключові слова:** органічне добриво; кріопротектор; позакореневе підживлення; збір біопалива; вихід енергії; економічна ефективність.

### Вступ

Плантації павловнії, орієнтовані на виробництво біомаси, наразі набувають все більшого поширення в усьому світі, зокрема й Україні. Це дерево може накопичувати стільки ж біомаси за рік, скільки інші види лише за декілька років, а тому є надзвичайно цікавим для вирощування на переробку на біопаливо [1–3].

Будучи деревом із високою швидкістю росту, але низькою щільністю деревини, павловнія майже не придатна для виробництва пелет. Згідно з європейськими стандартами, пелети, виготовлені з молодих плантацій *P. elongata* та *P. fortunei*, мають низьку якість порівняно з пелетами із *Pinus radiata* та *Eucalyptus nitens*. Проте в дослідженні, яке оцінювало виробництво брикетів і пелет з тирси, було отримано задовільний енергетичний ефект для *P. tomentosa* і *P. elongata* [4–7].

Однак сучасна економіка потребує набагато швидших результатів у плані вирощування сировини, ніж ті, які можна досягти в результаті багаторічних культивувань класичних і поширених у регіоні культур. А тому павловнія розглядається як сировина для виробництва біопалива та рослина, що може мати комбінований тип переробки – на біопаливо різних поколінь, бути сировиною для паперової та деревообробної промисловості, зазнавати більш глибокого ступеня переробки [8–10].

А тому, дослідження з вивчення можливості виробництва біопалива з отриманої сировини павловнії актуальні в аспекті забезпечення нашої країни сировиною для швидкого поповнення запасів палива на шляху до позбавлення енергетичної залежності від викопних видів палива.

**Мета досліджень** – визначити вплив удобрення, застосування кріопротектора та позакореневого підживлення на вихід біопалива та ефективність вирощування павловнії.

### Матеріали та методика досліджень

Дослідження проводили впродовж 2021–2023 рр. на дослідній ділянці Навчально-виробничого центру Білоцерківського національного аграрного університету (БНАУ), розташованій в лісовому масиві Правобережного Лісостепу України (Київська обл.).

Аналіз гідротермічних умов показав, що загалом вони були сприятливими для росту й розвитку павловнії. Оскільки в перший рік вегетації рослин добрі умови зволоження сприяли їх високій приживлюваності. Аналогічно, і на другий рік вегетації було відзначено сприятливі показники вологозабезпечення за помірного впливу температур повітря. Умови ж третього року вегетації були досить складними для багатьох сільськогосподарських культур через значний дефіцит вологи та вплив високих температур повітря. Проте завдяки тому, що рослини павловнії добре вкорінились, вони перенесли дію екстремальних погодних умов без значної шкоди чи втрати ефективності ростових процесів.

Ґрунтовий покрив дослідної ділянки представлений типовим вилугуваним чорноземом середньої глибини з низьким умістом вологи, що містить грубий пил, природну глину, мул і пісок у співвідношенні 49,9–58,3; 30,6–34,4; 18,7–24,2 та 9,9–19,4 % відповідно. За агрохімічними характеристиками цей ґрунт містить 3,5 % гумусу, 98 мг/кг легкогідролізованого азоту, 147 мг/кг фосфору і 128 мг/кг калію, гідролітична кислотність становить 17 мг-екв/кг ґрунту. Реакція ґрунтового розчину майже нейтральна (рН 6,7), ємність поглинання – 270 мг-екв/кг ґрунту.

У досліді передбачалось вивчення таких факторів:

Удобрення	Застосування кріопротектора	Позакореневе підживлення
Без добрива	Без кріопротектора	Без підживлення Квантум-АміНоФрост (1,5 л/га) SmartGrow Відновлення (2,0 л/га)
	Марс-EL (0,5 л/га) на початку відростання листків	Без підживлення Квантум-АміНоФрост (1,5 л/га) SmartGrow Відновлення (2,0 л/га)
Органічне добриво Вермикомпост (400 кг/га) до закладання плантації	Без кріопротектора	Без підживлення Квантум-АміНоФрост (1,5 л/га) SmartGrow Відновлення (2,0 л/га)
	Марс-EL (0,5 л/га) на початку відростання листків	Без підживлення Квантум-АміНоФрост (1,5 л/га) SmartGrow Відновлення (2,0 л/га)

Площа елементарної ділянки в досліді становила 120 м<sup>2</sup>, повторність – триразова.

Вирощували сорт павловнії 'Clone In Vitro 112' зі схемою висаджування рослин 4 × 4 м, що забезпечує їх густоту 625 шт./га. На сьогодні це найбільш оптимальний та рекомендований спосіб формування промислових плантацій культури в Україні.

Експериментальні дослідження виконували відповідно до методик польового дослідження та Методики державного сорто випробування сільськогосподарських культур [11].

Статистичний аналіз результатів досліджень проводили, використовуючи програмні продукти Excel та Statistica 10 [12].

### Результати дослідження

Для кращого розуміння потенційних можливостей павловнії в накопиченні біопалива визначимо розрахунковий збору біопалива з плантацій павловнії за впливу факторів дослідження (табл. 1).

Таблиця 1

**Розрахунковий збір біопалива з плантації павловнії за впливу факторів, т/га (2021–2023 рр.)**

Удобрення	Застосування кріопротектора	Позакореневе підживлення	2021	2022	2023
Без добрива	Без кріопротектора	Без підживлення	1,72	8,03	16,5
		Квантум-АміНоФрост	1,75	8,10	16,7
		SmartGrow Відновлення	1,76	8,14	16,7
	Марс-EL	Без підживлення	1,88	8,36	17,2
		Квантум-АміНоФрост	1,91	8,47	17,5
		SmartGrow Відновлення	1,90	8,47	17,6
Вермикомпост	Без кріопротектора	Без підживлення	2,13	9,02	19,1
		Квантум-АміНоФрост	2,20	9,24	19,4
		SmartGrow Відновлення	2,21	9,24	19,3
	Марс-EL	Без підживлення	2,40	9,57	19,8
		Квантум-АміНоФрост	2,48	9,79	20,2
		SmartGrow Відновлення	2,46	9,68	20,2
НІР <sub>0,05</sub>			0,12	0,23	0,41

Коли ми оцінюємо показники першого та другого року вегетації, то про збирання цих рослин фізично не йдеться, оскільки це є фактично приростом сухої біомаси, перерахованим у біопаливо. Отже, в середньому в перший рік вегетації збір біопалива становив 2,07 т/га, а на другий – 8,84 т/га, що досить мало з позиції ефективного використання такої біомаси.

На третій рік вегетації середній за варіантами дослідження збір біопалива становив 18,4 т/га, при цьому застосування органічного добрива забезпечило середній приріст на рівні 2,64 т/га, а кріопротектора – 0,81 т/га. Загалом же найвищі в досліді показники отримано у варіантах поєднання всіх трьох факторів – добрива Вермикомпост, кріопротектора Марс-EL та позакореневого підживлення Квантум-АміНоФрост або SmartGrow Відновлення – 20,2 т/га.

Параметри розрахункового збору енергії з отриманим біопаливом з плантації павловнії за впливу факторів дослідження наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

**Розрахунковий збір енергії з отриманим біопаливом з плантації павловнії за впливу факторів, ГДж/га (2021–2023 рр.)**

Удобрення	Застосування кріопротектора	Позакореневе підживлення	2021	2022	2023
Без добрива	Без кріопротектора	Без підживлення	25,7	119,5	246,5
		Квантум-АміНоФрост	26,1	120,6	249,5
		SmartGrow Відновлення	26,3	121,4	249,5
	Марс-EL	Без підживлення	28,2	124,0	256,0
		Квантум-АміНоФрост	28,5	125,8	260,0
		SmartGrow Відновлення	28,3	126,6	262,2
Вермикомпост	Без кріопротектора	Без підживлення	31,9	133,7	284,7
		Квантум-АміНоФрост	32,8	137,8	288,7
		SmartGrow Відновлення	32,9	137,9	287,0
	Марс-EL	Без підживлення	35,8	143,0	295,9
		Квантум-АміНоФрост	36,8	146,0	301,3
		SmartGrow Відновлення	36,4	143,4	299,6
НІР <sub>0,05</sub>			1,9	9,7	11,4

Сумарно за перший рік вегетації посівів у середньому по досліді накопичувалось 30,8 ГДж/га енергії, коли ж варіанти внесення органічного добрива забезпечили кращий збір на 7,2 ГДж/га, а кріопротектор сприяв отриманню на 3,0 ГДж/га більше енергії з одиниці площі.

Також виявлено, що за комбінованої дії факторів досліді, а саме добрива Вермикомпост, кріопротектора Марс-EL та позакореневого підживлення Квантум-АміНоФрост або SmartGrow Відновлення, збір енергії з урожаєм павловнії був найбільшим у досліді – 36,8 та 36,4 ГДж/га.

На другий рік вегетації збір енергії з плантації павловнії зріс до 131,6 ГДж/га, приріст від органічного добрива був на рівні 17,4 ГДж/га, а від кріопротектора – 6,3 ГДж/га. Аналогічно до показника збору палива, найвищі показники збору енергії відзначено у варіантах поєднання всіх факторів досліді – 146,0–143,4 ГДж/га.

На третій рік вегетації збір енергії сягнув 273,4 ГДж/га, а удобрення плантацій органічним добривом забезпечувало приріст показника 38,9 ГДж/га, а використання кріопротектора – 11,5 ГДж/га. Як і в перший і другий рік вегетації, комплексний вплив факторів досліді був найкращим за дією на формування збору енергії з одиниці площі поля павловнії. Зокрема, у разі комплексного застосування добрива Вермикомпост, кріопротектора Марс-EL та позакореневого удобрення Квантум-АміНоФрост або SmartGrow Відновлення збір енергії з біомасою був найвищим по досліді – 301,3 та 299,6 ГДж/га відповідно.

Для того, щоб вирахувати показники валового прибутку та витрат на догляд плантацій павловнії користувались цінами 2023 року на матеріали, добрива, послуги та всі інші складники, використані для забезпечення висаджування рослин у полі та трирічного догляду за плантаціями (табл. 3).

Таблиця 3

**Валовий прибуток та витрати на догляд плантацій павловнії,  
у цінах 2023 року, тис. грн (2021–2023 рр.)**

Удобрення	Застосування кріопротектора	Позакоренеve підживлення	Валовий прибуток	Вартість саджанців	Витрати на догляд	Сумарні витрати
Без добрива	Без кріопротектора	Без підживлення	189,8	117,9	4,7	122,6
		Квантум-АміНоФрост	192,3	116,6	6,3	122,9
		SmartGrow Відновлення	192,3	116,3	7,2	123,5
	Марс-EL	Без підживлення	197,3	112,3	5,6	117,9
		Квантум-АміНоФрост	201,1	109,7	7,2	116,9
		SmartGrow Відновлення	202,4	110,0	8,1	118,1
Вермикомпост	Без кріопротектора	Без підживлення	220,1	110,4	8,5	118,9
		Квантум-АміНоФрост	222,6	108,2	10,1	118,3
		SmartGrow Відновлення	221,4	108,1	11,0	119,1
	Марс-EL	Без підживлення	227,7	103,3	9,4	112,7
		Квантум-АміНоФрост	232,8	103,1	11,0	114,1
		SmartGrow Відновлення	232,8	102,9	11,9	114,8

Різниця у вартості саджанців за різних варіантів досліді полягала в тому, що в разі високого відсотка випадання рослин у перший рік продовжували формування плантації та додатково досаджували рослини, замість загиблих. Адже зрідження плантації понад оптимальні кількості рослин неприпустиме, оскільки призводить до значного зниження продуктивності та ефективності.

За середнього по досліді показника валового прибутку, отриманого за вирощування та переробки отриманого врожаю павловнії на біопаливо, у 211,0 тис. грн/га найменшим він був у контрольному варіанті досліді – 189,8 тис. грн/га.

Комплексна дія факторів, а саме застосування в основне удобрення Вермикомпост, обробка рослин кріопротектором Марс-EL та позакоренеve підживлення Квантум-АміНоФрост або SmartGrow Відновлення, завдяки високій урожайності отриманої біомаси сприяли й найвищому по досліді рівню валового прибутку – 232,8 тис. грн/га.

У разі витрат на саджанці павловнії відзначено зростання цього показника з точністю до навпаки: там, де були гірші за приживлюваністю варіанти досліді, витрати сягнули 117,9 тис. грн/га, а на кращих – де поєднували органіку, кріопротектор та позакоренеve підживлення – були найменшими – 103,1–102,9 тис. грн/га. Тобто, фактично застосування додаткових агроприйомів до вирощування павловнії виявилось ефективним фактором економії садивного матеріалу загалом.

Витрати на догляд за посівами склалися з необхідних агротехнічних операцій по щорічному догляду та включали, зокрема, й вартість кріопротектора та препаратів для позакореневого підживлення, які застосовували щорічно для обробки плантацій павловнії на початку вегетації. Органічне ж добриво ми вносили раз – при закладанні плантацій павловнії.

Отже, цілком закономірно, що чим більше додаткових засобів застосовувати, то й збільшувалась вартість витрат на догляд, й у разі застосування добрива Вермикомпост + кріопротектора Марс-EL та позакореневого підживлення Квантум-АміНоФрост або SmartGrow Відновлення вони становили 11,0 та 11,9 тис. грн/га, коли на контролі – лише 4,7 тис. грн/га.

Сумарні ж витрати на вирощування павловнії впродовж трьох років склалися з витрат на садивний матеріал та догляд за плантацією і, як не дивно, проте збільшення виживання саджанців павловнії позначилось на змінах цього показника і на контролі він був найвищим – 122,6 тис. грн/га, тоді як у варіантах комплексного поєднання факторів дослідження отримано було найменше значення – 112,7–114,8 тис. грн/га.

Параметри формування чистого прибутку, собівартості та рентабельності вирощування плантацій павловнії наведено в таблиці 4.

*Таблиця 4*

**Чистий прибуток, собівартість та рентабельність вирощування плантацій павловнії, у цінах 2023 року**

Удобрення	Застосування кріопротектора	Позакореневе підживлення	Чистий прибуток, тис. грн	Собівартість 1 т продукції, тис. грн	Рентабельність, %
Без добрива	Без кріопротектора	Без підживлення	67,1	7,43	155
		Квантум-АміНоФрост	69,4	7,35	156
		SmartGrow Відновлення	68,8	7,38	156
	Марс-EL	Без підживлення	79,4	6,87	167
		Квантум-АміНоФрост	84,2	6,68	172
		SmartGrow Відновлення	84,3	6,71	171
Вермикомпост	Без кріопротектора	Без підживлення	101,2	6,21	185
		Квантум-АміНоФрост	104,4	6,11	188
		SmartGrow Відновлення	102,3	6,19	186
	Марс-EL	Без підживлення	115,0	5,69	202
		Квантум-АміНоФрост	118,6	5,64	204
		SmartGrow Відновлення	117,9	5,67	203

Чистий прибуток був найменшим у контрольному варіанті дослідження – 67,1 тис. грн/га. Водночас за поєднання всіх трьох факторів дослідження – Вермикомпост + Марс-EL + Квантум-АміНоФрост або SmartGrow Відновлення цей показник був більшим на 51,5 та 48,6 тис. грн/га.

Собівартість однієї тонни виробленого біопалива аналогічно була найвищою також у контрольному варіанті дослідження – 7,43 тис. грн/га. За використання добрива Вермикомпост, обробки рослин кріопротектором Марс-EL та зас тосування позакореневого удобрення Квантум-АміНоФрост або SmartGrow Відновлення отримана на 1,79 та 1,68 тис. грн/на менша собівартість за більшого на 49,2 та 46,3 % рівня рентабельності.

**Висновки**

У середньому по дослідженні в перший рік вегетації павловнії розрахунковий збір біопалива становив 2,07 т/га, вихід із нього енергії – 30,8 ГДж/га, на другий – 8,84 т/га і 131,6 ГДж/га відповідно, що досить мало з позиції ефективного використання такої біомаси. На третій рік вирощування культури середній збір біопалива становив 18,4 т/га, вихід енергії – 273,4 ГДж/га, при цьому застосування органічного добрива забезпечило їх середній приріст на рівні 2,64 т/га і 38,9 ГДж/га, а кріопротектора – 0,81 т/га і 11,5 ГДж/га відповідно.

Найвищі в дослідженні показники енергетичної продуктивності щорічно отримували у варіантах поєднання всіх трьох факторів – добрива Вермикомпост, кріопротектора Марс-EL та позакореневого підживлення Квантум-АміНоФрост або SmartGrow Відновлення. Зокрема, на третій рік вегетації насаджень павловнії збір біопалива становив 20,2 т/га, а вихід енергії – 299,6–301,3 ГДж/га.

Середній по досліді показник валового прибутку, отриманого за вирощування та переробки отриманого врожаю павловнії на біопаливо, становив 211,0 тис. грн/га, найменшим він був у контрольному варіанті досліді – 189,8 тис. грн/га. Найвищий же рівень валового прибутку – 232,8 тис. грн/га, як і найменші витрати на садивний матеріал – 102,9–103,1 тис. грн/га, відзначено у варіантах комплексного застосування всіх досліджуваних факторів досліді. Адже за таких умов спостерігалась найвища приживлюваність рослин, тобто потрібно було значно менше досаджувати нових саджанців для формування високопродуктивної плантації. Максимум додаткових факторів впливу сприяв тому, що витрати догляд становили 11,0–11,9 тис. грн/га, тоді як на контролі – лише 4,7 тис. грн/га. Попри це, за комплексу впливу елементів агротехніки сумарні витрати були найменшими по досліді – 112,7–114,8 тис. грн/га, коли на контролі вони сягали 122,6 тис. грн/га. Отже, забезпечення високої приживлюваності дороговартісного садивного матеріалу є досить ефективним заходом зниження вартості витрат на промислове вирощування павловнії.

Комплексне застосування досліджуваних агрозаходів, а саме внесення в основне удобрення Вермикомпост з наступним обробленням рослин у період вегетації кріопротектором Марс-EL та добривами Квантум-АміНоФрост або SmartGrow Відновлення, дало змогу збільшити на 48,6–51,5 тис. грн/га чистий прибуток, знизити на 1,68–1,79 тис. грн/га собівартість однієї тонни продукції, що, зрештою, забезпечило на 46,3–49,2 % вищий рівень рентабельності.

### Використана література

1. Popovic J., Radosevic G. *Paulownia elongata* S.Y.Hu – Anatomical and chemical properties of wood fibers. *Prerada Drveta*. 2011. Vol. 9, Iss. 34–35. P. 15–22.
2. Navroodi I. H. Comparison of growth and wood production of *Populus deltoides* and *Paulownia fortunei* in Guilan province (Iran). *Indian Journal of Science and Technology*. 2013. Vol. 6, Iss. 2. P. 84–88. doi: 10.17485/ijst/2013/v6i2.14
3. Saiju H. K., Bajracharya A., Rajbahak B., Ghimire S. Comparative Study of Growth Statistics of Two Species of *Paulownia* and Optimization of Rooting Methods. *Nepal Journal of Biotechnology*. 2018. Vol. 6, Iss. 1. P. 11–15. URL: <https://www.nepjol.info/index.php/NJB/article/download/22330/19016>
4. Sedlar T., Ištók I., Kučinić M. et al. Physical Properties of Juvenile Wood of Two *Paulownia* Hybrids. *Drvna Industrija*. 2020. Vol. 71, Iss. 2. P. 179–184. doi: 10.5552/drvind.2020.1964
5. Özeltam H., İpçak H. H., Özüretmen S., Canbolat Ö. Feed value of dried and ensiled paulownia (*Paulownia* spp.) leaves and their relationship to rumen fermentation, *in vitro* digestibility, and gas production characteristics. *Revista Brasileira De Zootecnia*. 2021. Vol. 50. Article e20210057. doi: 10.37496/rbz5020210057
6. Singh C., Dhyani S., Raizada A. Integrating *Paulownia* in agroforestry systems – Prospects and potential in India. *Indian Journal of Agroforestry*. 2003. Vol. 3. P. 100–106.
7. Haldar A., Sethi N. Effect of Institutional Quality and Renewable Energy Consumption on CO<sub>2</sub> Emissions an Empirical Investigation for Developing Countries. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021. Vol. 28. P. 15485–15503. doi: 10.1007/s11356-020-11532-2
8. Yang X. *Paulownia* agroforestry systems in China, Poster. *Proceedings of the International Ecoagriculture Conference and Practitioners. Fair. Vol. 2: Conference abstracts*. Nairobi, 2004.
9. Zuazo V. H. D., Bocanegra J. A. J., Torres F. P. et al. Biomass Yield Potential of *Paulownia* Trees in a Semi-Arid Mediterranean Environment (S Spain). *International Journal of Renewable Energy Research*. 2013. Vol. 3, Iss. 4. P. 789–793.
10. Гументик М. Я., Бордусь О. Ю. Вдосконалення технології вирощування павловнії як сировини для виробництва біопалива. *Матеріали II міжнародної науково-практичної конференції «Тенденції розвитку відновлювальної енергетики в умовах глобалізації»* (12 липня 2023 р., м. Кам'янець-Подільський). Кам'янець-Подільський, 2023. С. 98–100.
11. Ткачик С. О., Присяжнюк О. І., Лещук Н. В. Методика проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення в Україні. Загальна частина. 4-те вид., випр. і доп. Вінниця : ФОРМ Корзун Д. Ю., 2016. 118 с.
12. Присяжнюк О. І., Каражбей Г. М., Лещук Н. В. та ін. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica 10 : методичні вказівки. Київ : Нілан-ЛТД, 2016. 54 с.

### References

1. Popovic J., & Radosevic, G. (2011). *Paulownia elongata* S.Y.Hu – Anatomical and chemical properties of wood fibers. *Prerada Drveta*, 9(34–35), 15–22.
2. Navroodi, I. H. (2013). Comparison of growth and wood production of *Populus deltoides* and *Paulownia fortunei* in Guilan province (Iran). *Indian Journal of Science and Technology*, 6(2), 84–88. doi: 10.17485/ijst/2013/v6i2.14

3. Saiju, H. K., Bajracharya, A., Rajbahak, B., & Ghimire, S. (2018). Comparative Study of Growth Statistics of Two Species of *Paulownia* and Optimization of Rooting Methods. *Nepal Journal of Biotechnology*, 6(1), 11–15. Retrieved from <https://www.nepjol.info/index.php/NJB/article/download/22330/19016>
4. Sedlar, T., Ištók, I., Kučinić, M., Jambreković, B., Drvodelić, D., & Šefc, B. (2020). Physical Properties of Juvenile Wood of Two *Paulownia* Hybrids. *Drvna Industrija*, 71(2), 179–184. doi: 10.5552/drvind.2020.1964
5. Özelçam, H., İpçak, H. H., Özüretmen, S., & Canbolat, Ö. (2021). Feed value of dried and ensiled paulownia (*Paulownia* spp.) leaves and their relationship to rumen fermentation, *in vitro* digestibility, and gas production characteristics. *Revista Brasileira De Zootecnia*, 50, Article e20210057. doi: 10.37496/rbz5020210057
6. Singh, C., Dhyani, S., & Raizada, A. (2003). Integrating *Paulownia* in agroforestry systems – Prospects and potential in India. *Indian Journal of Agroforestry*, 3, 100–106.
7. Haldar, A., & Sethi, N. (2021). Effect of Institutional Quality and Renewable Energy Consumption on CO<sub>2</sub> Emissions an Empirical Investigation for Developing Countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 15485–15503. doi: 10.1007/s11356-020-11532-2
8. Yang, X. (2004). *Paulownia* agroforestry systems in China, Poster. In *Proceedings of the International Ecoagriculture Conference and Practitioners. Fair. Vol. 2: Conference abstracts*. Nairobi.
9. Zuazo, V. H. D., Bocanegra, J. A. J., Torres, F. P., Pleguezuelo, C. R. R., & Martínez, J. R. F. (2013). Biomass Yield Potential of *Paulownia* Trees in a Semi-Arid Mediterranean Environment (S Spain). *International Journal of Renewable Energy Research*, 3(4), 789–793.
10. Humentyk, M. Ya., & Bordus, O. Yu. (2023). Improvement of the technology of growing paulownia as a raw material for the production of biofuel. In *Materials of the II international scientific and practical conference "Development trends of renewable energy in the conditions of globalization"* (pp. 98–100). Kamianets-Podilskyi, Ukraine. [In Ukrainian]
11. Tkachyk, S. O., Prysiazhniuk, O. I., & Leshchuk, N. V. (2016). *Methodology of qualification examination of plant varieties for suitability for distribution in Ukraine. General part* (4th ed., rew. and enl.). Vinnytsia: FOP Korzun D. Yu. [In Ukrainian]
12. Prysiazhniuk, O. I., Karazhbei, H. M., & Leshchuk, N. V. (2016). *Statistical analysis of agronomic research data in the Statistica 10 package: methodological guidelines*. Kyiv: Nilan-LTD. [In Ukrainian]

UDC 633.9: 631.5

**Karpuk, L. M.\***, & **Titarenko, V. A.** (2024). Bioenergy efficiency of growing paulownia in the Right Bank Forest Steppe of Ukraine. *Advanced Agritechnologies*, 12(2). <https://doi.org/10.47414/na.12.2.2024.304842> [In Ukrainian]

*Bila Tserkva National Agrarian University, 8/1 Soborna Square, Bila Tserkva, Kyiv region, 09100, Ukraine, \*e-mail: lesya\_karpuk@ukr.net*

**Purpose.** To determine the effect of the application of fertilizer, cryoprotectant and foliar fertilizer on the formation of biofuel and the efficiency of growing paulownia. **Methods.** The research was carried out in 2021–2023 at the experimental plot of the Bila Tserkva National Agrarian University located in the forest plantations in the Right Bank Forest Steppe of Ukraine (Kyiv region). Design of the experiment: factor A – fertilization: 1) without fertilizers, 2) application of organic fertilizer Vermikompost before planting (400 kg/ha); factor B – application of cryoprotectant: 1) without cryoprotectant, 2) cryoprotectant Mars-EL (0.5 l/ha) applied at the beginning of leaf growth; factor B – foliar application of fertilizers: 1) no treatment, 2) Quantum-AmiNoFrost (1.5 l/ha), 3) SmartGrow Recovery (2.0 l/ha). **Results.** In the first year of the paulownia cultivation, the estimated biofuel yield was 2.07 t/ha, and the energy output from it was 30.8 GJ/ha. In the second year of cultivation, the energy yield and output were 8.84 t/ha and 131.6 GJ/ha, respectively, which is quite small from the point of view of efficient use of such biomass. In the third year, the average yield of biofuel was 18.4 t/ha, and the energy output was 273.4 GJ/ha, while the application of organic fertilizer ensured increase of these parameters, on the average, by 2.64 t/ha and 38.9 GJ/ha, and application of cryoprotectant by 0.81 t/ha and 11.5 GJ/ha, respectively. In the experiment, the highest energy productivity was obtained annually in the treatment with combination of all three factors, i.e. Vermikompost fertilizer, Mars-EL cryoprotectant and foliar fertilizer Quantum-AminoFrost or SmartGrow Recovery. In particular, in the third year of paulownia cultivation, the yield of biofuel was 20.2 t/ha, and the energy output was 299.6–301.3 GJ/ha. **Conclusions.** The average indicator of the gross profit obtained for the cultivation and processing of the harvested paulownia for biofuel was 211.0 thousand UAH/ha, and the lowest was in the control treatment of the experiment – 189.8 thousand UAH/ha. The highest gross profit – 232.8 thousand UAH/ha, as well as the lowest costs for planting material – 102.9–103.1 thousand UAH/ha, were recorded under complex application of all studied factors of the experiment. After all, under such conditions, the highest survival rate of plants was observed, that is, it was necessary to plant much less new seedlings to form a highly productive plantation. The maximum of additional effect of the studied factors contributed to the fact that the cost of plantation care amounted to 11.0–11.9 thousand UAH/ha, while in the control control it was only 4.7 thousand UAH/ha. Despite this, under the influence of the elements of agricultural technology, the total costs were the lowest in the experiment – 112.7–114.8 thousand UAH/ha, while in the control treatment they reached 122.6 thousand UAH/ha. Therefore, ensuring high viability of expensive planting material is a fairly effective

measure to reduce the cost of industrial paulownia cultivation. The complex application of the studied agricultural measures, namely the introduction of Vermikompost during the main fertilization followed by the treatment of plants during the growing season with cryoprotectant Mars-EL and fertilizers Quantum-AmiNoFrost or SmartGrow Recovery, provided an increase in the net profit by 48.6–51.5 thousand UAH/ha, reduction of the production costs by 1.68–1.79 thousand UAH/ha, which ultimately ensured a 46.3–49.2% higher level of profitability.

**Keywords:** *organic fertilizer; cryoprotectant; foliar feeding; yield of biofuel; energy output; economic efficiency.*

*Надійшла / Received 04.05.2024*  
*Погоджено до друку / Accepted 20.05.2024*