

DOI 10.26886/2520-7474.2(72)2026.1

UDC: 630:662.631

**INFLUENCE OF GROWING TECHNOLOGY ON THE YIELD OF WILLOW
ENERGY BIOMASS**

Viktor Sinchenko, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

<https://orcid.org/0000-0002-7991-0351>

e-mail: sinchenko_vm@ukr.net

**Hanna Melnychuk, Master of Breeding and Genetics of Agricultural
Crops**

<https://orcid.org/0009-0007-5555-5520>

e-mail: anna_0990@ukr.net

Yaroslav Fuchylo, Doctor of agricultural sciences, Professor

<https://orcid.org/0000-0002-2669-5176>

e-mail: fuchylo_yar@ukr.net

The Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the National Academy Agrarian Sciences of Ukraine, Ukraine, Kyiv.

*The article presents the results of a study of the growth characteristics, development and productivity of energy plantations of two cultivars of willow (*Salix viminalis* L.) – 'Tora' and 'Ternopil'ska' during the first three years of cultivation on low-humus chernozems of the Central Forest-Steppe of Ukraine. It was found that young plants of the 'Ternopil'ska' variety during the first growing season had an average height of 216 cm. In the second year, their height increased to 441 cm in height (annual growth compared to the first year was 104%). In the third year of vegetation, plants of this cultivar reached an average height of 471 cm, and their annual growth in height was only 30 cm. At the same time, the plants acquired a tree-like shape with the formation of lateral branches and intensive growth of the trunk thickness. Young plants from cuttings of the 'Tora' variety had a slightly different*

specifics of the formation of the height of annual growths. In the first year of vegetation, young plants had an average height of 251 cm, which is 16% more than the 'Ternopil'ska' variety. During the second year of vegetation, their height reached 493 cm; the annual growth rate was 96% of the first year's growth. The total growth rate over two years of vegetation in young plants of the 'Tora' variety exceeded the 'Ternopil'ska' variety by 52 cm or 12%. During the third year, plants of the 'Tora' variety reached a height of 569 cm, and their annual growth rate was 76 cm. The total average height of three-year-old 'Tora' plants exceeded the 'Ternopil'ska' variety by 98 cm or 21%. The dry biomass yield during the first three years of cultivation in stands of the 'Ternopil'ska' variety, depending on the density and plant placement pattern, ranged from 22.8 to 27.9 t/ha, and in the 'Tora' variety – from 27.6 to 34.7 t/ha. For the 'Tora' variety, the optimal planting scheme was 0.75–1.50–0.75 m with a plant density of 15 thousand pcs./ha, and for the 'Ternopil'ska' variety – also 0.75–1.50–0.75 m, but with a plant density of 18 thousand pcs./ha.

Key words: willow (*Salix viminalis* L.), 'Tora' and 'Ternopil'ska' cultivars, planting density of cuttings, plant height, height gain, biomass yield.

Доктор сільськогосподарських наук, професор Сінченко Віктор Миколайович, магістр селекції і генетики сільськогосподарських культур Мельничук Ганна Анатоліївна, доктор сільськогосподарських наук, професор Фучило Ярослав Дмитрович; Вплив технології вирощування на врожайність енергетичної біомаси верби / Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, Україна, Київ.

У статті наведено результати дослідження особливостей росту розвитку і продуктивності енергетичних плантацій двох культиварів верби прутівидної (*Salix viminalis* L.) – 'Тора' і 'Тернопільська' протягом перших трьох років вирощування на

малогумусних чорноземах Центрального Лісостепу України. Встановлено, що молоді рослини сорту 'Тернопільська' за перший вегетаційний період мали середню висоту 216 см. За другий рік їх висота збільшилась до 441 см висоти (річний приріст порівняно з першим роком становив 104%). На третій рік вегетації рослини цього культивару досягли середньої висоти 471 см, а їх річний приріст за висотою становив лише 30 см. При цьому рослини набули деревоподібної форми з формуванням бічних гілок та інтенсивним нарощуванням товщини стовбурів. Молоді рослини з живців сорту 'Тора' мали дещо іншу специфіку формування висоти річних приростів. У перший рік вегетації молоді рослини в середньому мали висоту 251 см, що на 16 % більше сорту 'Тернопільська'. Протягом другого року вегетації їх висота досягла 493 см; величина річного приросту становила 96 % до приросту першого року. Сумарний приріст за два роки вегетації у молодих рослин сорту 'Тора' перевищував сорт 'Тернопільська' на 52 см або на 12 %. Протягом третього року рослини сорту 'Тора' досягали висоти 569 см, а їх річний приріст склав 76 см. Загальна середня висота трирічних рослин 'Тори' перевищувала сорт 'Тернопільська' на 98 см або на 21 %. Урожайність сухої біомаси протягом перших трьох років вирощування у насадженнях сорту 'Тернопільська', залежно від густоти і схеми розміщення рослин, становила від 22,8 до 27,9 т/га, а у сорту 'Тора' – від 27,6 до 34,7 т/га. Для сорту 'Тора' оптимальною схемою висаджування була 0,75–1,50–0,75 м з густотою рослин 15 тис. шт./га, а для сорту 'Тернопільська' – також схема 0,75–1,50–0,75 м, але з густотою рослин 18 тис. шт./га.

Ключові слова: верба прутувидна, культивари 'Тора' і 'Тернопільська', густота садіння живців, висота рослин, приріст за висотою, урожайність біомаси.

Постановка проблеми. На сучасному етапі розвитку суспільства глобальними стали проблеми не лише зростання обсягів використання енергії, а й екологічні питання, що набувають всезростаючої актуальності [6, с. 12]. Використання викопних джерел енергії – нафти, газу, кам'яного вугілля – спричиняє істотне зростання вмісту в атмосфері вуглекислого газу [7, с. 9; 8, с. 306-307]. Тому, нині найбільш екологічно безпечним шляхом отримання енергії є використання біоенергетичних культур, які в процесі фотосинтезу зв'язують вуглекислий газ атмосфери для побудови органічної речовини [10, с. 156-157; 11, с. 104-105; 12, с. 392-396; 13, с. 54]. Спалювання такої енергетичної сировини лише повертає вуглекислий газ назад в атмосферу без підвищення його концентрації.

Аналіз останні досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання проблеми. Серед біоенергетичних культур однією з найбільш перспективних є верба (*Salix L.*). Це достатньо невибаглива до багатства ґрунту, толерантна до значних коливань погоди і клімату де ревна рослина, здатна проявити високий рівень біологічної продуктивності і формувати якісну енергетичну біомасу. Вона легко утворює природні гібриди, які можуть мати значно вищу продуктивність за вихідні батьківські форми [1; 2, с. 31; 3, с. 398-399; 14, с. 9-53].

Зважаючи на наявність великої кількості сортів верби і різноманіття ґрунтово-кліматичні умов території України, актуальними є дослідження впливу агротехнічних заходів на продуктивність енергетичних плантацій верби у конкретних регіонах. Зокрема, крім обробітку ґрунту, його удобрення та догляду за рослинами, важливе значення для отримання максимального урожаю біомаси має добір відповідного високопродуктивного для конкретних едафічних умов сорту, оптимальної густоти садіння живців та схеми розташування садивних місць [3, с. 221; 7, с. 130-135; 8, с. 172; 9, с. 15].

Мета і завдання досліджень. Метою і завданнями досліджень була оцінка інтенсивності процесів росту і накопичення біомаси насадженнями двох сортів енергетичної верби (*Salix viminalis* L.): 'Тора' – гібрид верби Шверіна (*S. Schwerinii*) з вербою прутовидною, виведений у Швеції; та 'Тернопільська' – клон верби прутовидної, відібраний у 1987 році в басейні річки Збруч (Тернопільська область), створених за двох схем садіння і трьох варіантів густоти в умовах Правобережного Лісостепу України.

Умови і методика досліджень. Дослідження проводилися на дослідному полі Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН протягом 2015-2017 рр. Ґрунт дослідного поля – чорнозем типовий вилугуваний, середньо глибокий, мало гумусний, грубопилуватий легкосуглинковий на карбонатному лесі. Вміст гумусу (за Тюрінім) – 2,64%. Вміст азоту, що легко гідролізується, (за Корнфілдом) – 280 мг/кг ґрунту, рухомого фосфору і обмінного калію (за Чіріковим) – відповідно 180 і 160 мг/кг ґрунту. Обмінна кислотність – 6,6.

Погодні умови в роки проведення досліджень в цілому були сприятливі для вегетації рослин верби енергетичної. Регіон проведення досліджень за характером зволоження відноситься до зони нестійкого зволоження, з середньорічною кількістю опадів на рівні 450 мм та середньодобовою температурою повітря за вегетацію 15,9 °С.

Програмою досліджень передбачалося оцінити інтенсивність процесів росту і розвитку пагонів сортів верби енергетичної, схем садіння й густоту насаджень та визначити їх здатність формувати урожай деревної біомаси.

Схема досліду передбачала наступну градацію досліджуваних чинників:

Фактор А – сорти верби енергетичної: 'Тернопільська' (контроль) і 'Тора';

Фактор Б – схеми садіння живців дворядними смугами шириною 0,75 м:

- 1) з відстанню між смугами 1,50 м; 2) з відстанню між смугами 2,50 м;

Фактор В – густина насаджень, тис. живців на 1 га: 12; 15; 18.

Площа елементарної облікової ділянки 100 м², повторність чотири разова.

Висоту насаджень молодих живців верби енергетичної вимірювали лінійкою-висотоміром, обладнану для зручності зворотною шкалою. Для облік урожайності з кожної ділянки біля землі зрізали підряд по 10 рослин і визначали вихід біомаси у перерахунку на гектар.

Закладку дослідів, обліки і спостереження проводили за загальноприйнятими методиками [4, 5, 9].

Технологія вирощування верби енергетичної, за виключенням досліджуваних елементів, була загальноприйнятою для зони Лісостепу. Попередником верби енергетичної була соя. Висаджування живців здійснювали вручну у другій декаді квітня. Перед висаджуванням протягом двох діб живці замочували у воді. Довжина живців – 20 см, діаметр від 0,6 до 2,0 см. На поверхні землі від висадженого живця виступала частина в межах 1–2 см. Догляд за насадженнями для знищення кірки та сходів бур'янів передбачав проведення боронування і культивуацію міжрядь.

Результати досліджень. Живці обох сортів у нижній частині пагонів швидко формували адвентивні корені, використовуючи з орного шару ґрунту вологу і розчинені сполуки мінерального живлення. З надземних бруньок розвивались адвентивні пагони. Вже через місяць після висаджування молоді рослини мали висоту до 5 см. На них відбувався ріст і розвиток листків – збільшувалася площа листкових пластинок, посилювалася фотосинтетична діяльність.

З середини вегетаційного періоду, з базальної частини, молоді пагони розпочинали процеси лігніфікації – формування шарів целюлози. Меристемні тканини поступово проходили процеси диференціації – утворювалися покривні тканини. Під шаром епідермісу формувалася шар кірки з хлоропластами. Такі тканини разом з листовими пластинками приймають активну участь у процесі фотосинтезу. Під шаром вторинної меристеми (камбію) формуються механічні тканини, в товщі яких містяться трахеї для виконання транспортувальних функцій. Елементи деревини у процесі лігніфікації набували властивості ригідності (жорсткості) і ставали міцними. Пагони верби до середини осені закінчували формування елементів деревини і були готові до біологічного спокою зимового періоду.

Річні прирости молодих пагонів верби енергетичної істотно змінювались як за роками вегетації, так і досліджуваними чинниками. Так, молоді рослини з живців сорту 'Тернопільська' після першого року вегетації досягли середньої висоти 216 см; живці добре вкорінювались, перетворювались у молоді добре розвинені рослини. У 2016 році висота рослин істотно збільшилась – рослини в середньому сягали 441 см висоти, їх річний приріст становив 104%. На третій рік вегетації рослини верби енергетичної досягли висоти 471 см, річний приріст пагонів становив 30 см. Рослини трансформувалися в класичну форму дерев – з формуванням бічних гілок, нарощуванням товщини стовбурів.

Молоді рослини з живців сорту Тора мали іншу специфіку формування висоти річних приростів. Так, у перший рік вегетації молоді рослини в середньому мали висоту 251 см, що на 16 % більше сорту Тернопільська. Протягом другого року вегетації рослин цього сорту їх висота досягла 493 см; величина річного приросту становила 96 % до приросту першого року. Сумарний приріст за два роки вегетації у молодих рослин сорту Тора перевищував сорт Тернопільська на 52 см

або на 12 %. У третій рік вегетації рослини сорту Тора досягали висоти 569 см. Річний приріст склав 76 см. Загальна середня висота рослин Тори перевищувала сорт Тернопільська на 98 см або на 21 %.

Головним показником доцільності вирощування енергетичної біомаси верби є урожайність біомаси та вихід з неї сухої речовини (табл.).

Таблиця 1.

Вміст і збір сухої речовини сортів енергетичної верби, т/га

Сорт (фактор А)	Схема розміщення рослин (фактор В), м	Густота рослин (фактор С), тис. шт./га		
		12	15	18
Вміст сухої речовини, %				
Тора	0,75–1,50–0,75	43,7	50,0	57,4
	0,75–2,50–0,75	46,7	47,7	56,3
Тернопільська	0,75–1,50–0,75	52,1	51,9	52,1
	0,75–2,50–0,75	51,9	52,0	52,0
Збір сухої біомаси стебел, т/га				
Тора	0,75–1,50–0,75	27,6	34,7	31,6
	0,75–2,50–0,75	25,1	26,9	28,2
Тернопільська	0,75–1,50–0,75	22,8	25,5	27,9
	0,75–2,50–0,75	16,0	18,3	19,8
$HIP_{05A \text{ i } B} = 0,52; HIP_{05C} = 0,64$				

Як видно з наведених даних, на третій рік вирощування вміст сухої речовини в рослинах верби залежно від сортових особливостей змінювався в досить широкому діапазоні. Так, у сорту Тора цей показник був на рівні 43,7–57,4 %, а в сорту Тернопільська –51,9–52,1%.

За збором сухої речовини серед досліджуваних сортів виділявся сорт Тора. Для цього сорту кращою схемою висаджування була 0,75–1,50–0,75 м з густотою рослин 15 тис. шт./га –34,7 т/га.

Для сорту Тернопільська кращою схемою висаджування також була

0,75–1,50–0,75 м, але з густотою рослин 18 тис. шт./га – 27,9 т/га.

Висновки

1. В умовах Лісостепу енергетичні насадження верби прутувидної протягом перших років вегетації здатні успішно рости за висотою і діаметром, і формувати значну кількість сухої біомаси, залежно від застосованих агротехнічних заходів.

2. Урожайність трирічної сухої біомаси у насадженнях сорту Тернопільська становила від 22,8 до 27,9 т/га, а у сорту Тора – від 27,6 до 34,7 т/га.

3. Для сорту Тора оптимальною є схема висаджування 0,75–1,50–0,75 м та густина рослин 15 тис. шт./га, а для сорту Тернопільська – така ж схема, але з густотою рослин 18 тис. шт./га.

Література:

1. Барна М.М. Репродуктивна біологія видів і гібридів родини Вербових – Salicaceae Mirb.: дис. докт. біол. наук: 03.00.05. Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України. Київ, 2002. 40 с.

2. Гордієнко М. І., Фучило Я. Д., Гойчук А. Ф. Чагарникові верби рівнинної частини України. Київ : ІАЕ УААН, 2002. 174 с.

3. Дебринюк Ю.М., Фучило Я.Д. Плантаційні лісові насадження в Україні: концептуальні засади, ресурсний потенціал та енергетичне використання: монографія. Львів: Галицька видавнича спілка, 2020. 504 с.

4. Ермантраут Е.Р., Присяжнюк О.І., Шевченко І.Л. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica-6: методичні вказівки. К., 2007. 55 с.

5. Єщенко В.О., Копитко П.Г., Опришко В.П., Костогриз П.В. Основи наукових досліджень в агрономії. Київ: Дія. 2005. 288 с.

6. Роїк М. В., Курило В. Л., Гументик М. Я., Квак В. М. Біоенергетичні культури для виробництва біопалива. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2010. № 7: Енергозбереження та альтернативні джерела енергії: проблеми і шляхи їх вирішення. С. 12–17.
7. Роїк М.В., Сінченко В.М., Фучило Я.Д. та ін. Енергетична верба: технологія вирощування та використання: монографія. Вінниця: ТВОРИ, 2023. 346 с.
8. Фучило Я.Д. Планаційне лісовирощування: теорія, практика, перспективи. Київ: Логос, 2011. 464с.
9. Фучило Я.Д., Сінченко В.М., Ганженко О.М. та ін. Методологія дослідження енергетичних плантацій верб і тополь: монографія. Київ: ТОВ «ЦП «Компринт», 2018. 137 с.
10. Фучило Я.Д., Сбитна М.В. Верби України: біологія, екологія, використання. Київ: Компринт, 2017. 259 с.
11. Caslin B., Finnan J. & McCracken A. (2010) Short rotation coppice willow best practice guidelines, 2 September. https://www.teagasc.ie/media/website/publications/2011/Short_Rotation_Coppice_Best_Practice_Guidelines.pdf
12. El Bassam, N. Handbook of Bioenergy Crops. A Complete Reference to Species, Development and Applications. – Earthscan publishing for a sustainable future London - Washington, DC, 2010. 516 p.
13. McCracken A.R., Dawson W.M. Interaction of willow (Salix) clones growing in mixtures // Tests of Agrochemicals and Cultivars. 1998. No. 14. 54–55.
14. Willow Varietal Identification Guide. Crops Research Centre, Carlow & Agri-Food Bioscience Institute, Belfast, 2012. 64 p.

References:

1. Barna, M.M. (2002). Reproduktyvna biolohiia vydiv i hibrydiv rodyny verbovykh (Salicaceae Mirb.) [Reproductive biology of species and hybrids of Salicaceae Mirb.] (Extended Abstract of Dr. Biol. Sci. Diss.). Institute of Botany named after M. H. Kholodnyi of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2002. 40 p. (in Ukrainian).
2. Hordiienko M. I., Fuchylo Ya. D., Hoichuk A. F. Chaharnykovi verby rivnynoi chastyny Ukrainy. [Shrub willows of the plain part of Ukraine.] Kyiv: IAE UAAS, 2002. 174 p. (in Ukrainian).
3. Debryniuk Yu.M., Fuchylo Ya.D. Plantatsiini lisovi nasadzhennia v Ukraini: kontseptualni zasady, resursnyi potentsial ta enerhetychne vykorystannia [Debryniuk Y.M., Fuchylo Y.D. Plantation forests in Ukraine: conceptual principles, resource potential and energy use: monograph.] Lviv: Galician Publishing Union, 2020. 504 p. (in Ukrainian).
4. Ermantraut E.R., Prysiazhniuk O.I., Shevchenko I.L. Statystychnyi analiz ahronomichnykh doslidnykh danykh v paketi Statistica-6: metodychni vkazivky. K. [Ermantraut E.R., Prysiazhnyuk O.I., Shevchenko I.L. Statistical analysis of agronomic research data in the Statistica-6 package: methodological guidelines.]. Kyiv, 2007. 55 p. (in Ukrainian).
5. Jeshchenko, V.O., Kopytko, P.G., Opryshko, V.P., Kostogryz, P.V. (2005). Osnovy naukovykh doslidzhen v agronomii [Basic research in agronomy]. Kyiv. 288 p. (in Ukrainian).
6. Roik M. V., Kurylo V. L., Humentyk M. Ya., Kvak V. M. Bioenerhetychni kultury dlia vyrobnytstva biopalyva. [Bioenergy crops for biofuel production.]. Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy. 2010. No. 7: Energy conservation and alternative energy sources: problems and ways to solve them. P. 12–17. (in Ukrainian).
7. Royik M. V., Sinchenko V. M., Fuchylo, Ya. D., et all. (2023). Enerhetychna verba: tekhnolohiyavyroshchuvannya ta vykorystannya

[Energy willow: technology of cultivation and use]. Vinnytsya: TBORY, 2023. 346 p. (in Ukrainian).

8. Fuchylo, Ya. D. (2011). Plantatsiyne lisovyroshchuvannya: teoriya, praktyka, perspektyvy [Forest plantations: theory, practice, perspectives]. Kyiv: Lohos. 2011. 464 p. (in Ukrainian).

9. Fuchylo, Ya.D., Sinchenko, V.M., Hanzenko,O.M. et al., (2018) Metodolohia doslidzhennya enerhetychnykh plantatsiy verb i topol [Methodology for studying of energy plantations of willow and poplar]. Kyiv: Komprint, 2018. 137 p. (in Ukrainian).

10. Fuchylo,Ya.D., & Sbytina, M.V. (2017). Verby Ukrainy: biolohiya, ekolohiya, vykorystannia [Willows of Ukraine: biology, ecology, use]. Kyiv: Komprint, 2017. 259 p. (in Ukrainian).

11. Caslin B., Finnan J. & McCracken A. (2010) Short rotation coppice willow best practice guidelines, 2 September. https://www.teagasc.ie/media/website/publications/2011/Short_Rotation_Coppice_Best_Practice_Guidelines.pdf

12. El Bassam, N. (2010). Handbook of Bioenergy Crops. A Complete Reference to Species, Development and Applications. Earthscan publishing for a sustainable future London - Washington, DC, 2010.516 p.

13. McCracken, A.R., & Dawson, W.M. (1998). Interaction of willow (Salix) clones growing in mixtures. Tests of Agrochemicals and Cultivars, 1998. 19, pp. 54 –55.

14. Willow Varietal Identification Guide (2012). Crops Research Centre, Carlow&Agri-Food Bioscience Institute, Belfast, 2012. 64 p.

Citation: Viktor Sinchenko, Hanna Melnychuk, Yaroslav Fuchylo (2026). INFLUENCE OF GROWING TECHNOLOGY ON THE YIELD OF WILLOW ENERGY BIOMASS. Frankfurt. TK Meganom LLC. Paradigm of knowledge. 2(72). doi: 10.26886/2520-7474.2(72)2026.1

Copyright Viktor Sinchenko, Hanna Melnychuk, Yaroslav Fuchylo ©. 2026. This is an openaccess article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) or licensor are credited and that

the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.