

## ВПЛИВ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ НА ВРОЖАЙНІСТЬ СУХОЇ МАСИ ВЕРБИ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ

Г. А. Мельничук, аспірант

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН

*Верба енергетична – культура невибаглива до родючості ґрунтів, толерантна до значних коливань погоди. Формуючи якісну біомасу на основі целюлози з низьким вмістом мінеральних компонентів та шкідливих смол, що створюють проблеми у процесі їх спалювання, верба має високий рівень біологічної продуктивності в багатьох регіонах України. В умовах Лісостепу, протягом трьох перших років вегетації, насадження верби енергетичної здатні формувати від 22,8 до 27,6 т/га сухої органічної маси енергетичного палива. Ефективність вирощування сухої органічної маси верби енергетичної істотно залежить від біологічних особливостей садивного матеріалу, що був використаний для закладки насаджень. Зокрема, насадження сорту Тора перевищувало за урожайністю сухої маси сорт Тернопільська на 4,2 т/га або на 21%.*

**Ключові слова:** верба енергетична, висота, маса, урожайність.

**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]. Використання викопних джерел енергії – нафти, газу, кам'яного вугілля – спричиняє істотне зростання вмісту в атмосфері не бажаного вуглекислого газу [7, 8, 10]. Альтернативою цим джерелам є застосування ядерної енергетики, проте і на цьому шляху є проблеми з утилізацією відпрацьованого ядерного палива [3].

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 [11, 12, 13]. Спалювання такої енергетичної сировини лише повертає вуглекислий газ в атмосферу без підвищення його концентрації.

Серед біоенергетичних культур найбільш перспективною є верба енергетична (*Salix L.*). Достатньо невибаглива до багатства ґрунту, толерантна до значних коливань погоди і клімату, верба здатна проявити високий рівень біологічної продуктивності і формувати якісну енергетичну біомасу. Вона має форму дерева або куща, легко утворює природні гібриди,

які мають на 25–35% і більше вищу продуктивність за вихідні батьківські форми [1, 14].

**Мета і завдання досліджень.** Метою і завданнями 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 в умовах Правобережного Лісостепу України.

**Матеріали і методи.** 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, грубо пилюватий 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 рН.

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 насадження, тис. живців на 1 га: 12; 15; 18.

Площа елементарної облікової ділянки 100 м<sup>2</sup>, 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 [2, 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 була від 20 до 30 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, посилювалась 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 листковими 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 сорту Тернопільська з живців 2015 року за вегетаційний період набували висоту утворених пагонів у середньому 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 Тора перевищувала сорт Тернопільська на 98 см або на 21 %.

Головним показником енергетичної якості зрізаних надземних частин трирічних рослин верби є вихід сухої речовини (табл.).

На третій рік вирощування сортів верби енергетичної вміст сухої речовини в рослинах 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 верби енергетичної виділявся сорт Тора. Для цього сорту кращою схемою висаджування була 0,75–1,50–0,75 м з густрою рослин 15 тис. шт/га – 34,7 т/га.

**Табл. 1. Вміст і збір сухої речовини сортів верби енергетичної, 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 маси 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
$HIP_{05 A i B} = 0,52; HIP_{05 C} = 0,64$				

Для сорту Тернопільська кращою схемою висаджування також була 0,75–1,50–0,75 м, але з густрою рослин 18 тис. шт/га – 27,9 т/га.

Отже, кращий варіант технології вирощування сорту енергетичної верби Тора з середнім збором сухої речовини 27,6 т/га істотно перевищував кращий варіант сорт у Тернопільська на 4,8 т/га або 21 %.

Економічна ефективність технології промислового вирощування енергетичної верби в перший рік вирощування становила 9240,00 грн/га з рівнем рентабельності – 116 % і затратами праці 98,1 люд.-год/га; в наступні роки вирощування – відповідно 33595,00 грн/га, 406% і 42,8 люд.-год/га. При цьому, коефіцієнт енергетичної ефективності у середньому за роки досліджень становив 4,96.

## **Висновки.**

1. В умовах Лісостепу протягом трьох перших років вегетації насадження верби енергетичної здатні успішно вкорінюватись, нарощувати пагони і формувати від 22,8 до 27,6 т/га сухої органічної маси енергетичного палива.

2. Ефективність вирощування сухої органічної маси верби енергетичної істотно залежить від біологічних особливостей садивного матеріалу, що був використаний для закладки насаджень. За однакових умов вирощування, сорт Тора перевищував за врожайністю сухої маси сорт Тернопільська на 4,2 т/га або на 21 %.

## **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. Боровиков В.П. Statistica. Искусство анализа данных на компьютере: для профессионалов. 2-е изд. СПб.: Питер, 2003. 688 с.

3. Генкель П.А. Физиология жаро и засухоустойчивости растений.- Москва: Наука, 1996. 273 с.

4. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта: [учебн. для студ. агроном. спец. с.-х. вузов [3-е изд.]. Москва: Колос, 1973. 336 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. Рейтерс Н.Ф. Экология (теория, законы, правила, принципы и гипотезы). Москва: Россия молодая, 1994. 325 с.

7. Роїк М.В., Сінченко В.М., Фучило Я.Д. та ін. Енергетична верба: технологія вирощування та використання: монографія. Вінниця: ТОВ «Нілан ЛТД», 2015. 340 с.

8. Фучило Я.Д. Платаційне лісовирощування: теорія, практика, перспективи. Київ: Логос, 2011. 464 с.

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. Вербни 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](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. – pp. 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. Borovikov, V.P. (2003). Statistika. Isskusstvo analiza dannykh na komputere: dlya professionalov. [The art of computer data analysis: for professionals]. S.Piterburg: Piter, 2003. 688 p. (in Russian).

3. Genkel, P.A. (1996). Fiziologiya zharo i zasukhoustoychivosti rasteniy [Physiology of heat and drought tolerance of plants]. Moskow: Science. 273 p. (in Russian).

4. Dospekhov, B.A. (1973). Metodika polevogo opyta: [uchebnik dlya studentov agronomicheskikh spetsialnostey selskokhozyaystvennykh vuzov [Methodology of Field Experiences: curriculum. for studio agronomist. special. of agricultural high schools] [3rd ed.]. Moskow: Kolos, 1973. 336 p. (in Russian).

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. Reyters, N.F. Ekologiya (teoriya, zakony, pravila, printsipy i gipotezy) [Ecology (theory, laws, rules, principles and hypotheses)]. Moskow: Russia is young, 1994. 325 p. (in Russian).

7. Royik M. V., Sinchenko V. M., Fuchylo, Ya. D., Pyrkin V. I., Hanzenko O. M., Humentyk M. Y....Melnychuk H. A. (2015). Enerhetychna verba: tekhnolohiya vyroshchuvannya ta vykorystannya [Energy willow: technology of cultivation and use]. Vinnytsya: TOV «Niland LTD». 2015. 340 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., & Sbytna, 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](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.

#### *Аннотация*

**Мельничук А.А.**

***Влияние элементов технологии выращивания на урожайность сухой массы ивы энергетической***

*Среди биоэнергетических культур одной из наиболее перспективных является ива энергетическая. Достаточно нетребовательная к уровню плодородия почвы, толерантная к значительным колебаниям погоды и климата, ива способна проявлять высокий уровень биологической продуктивности и формировать качественную энергетическую биомассу.*

*Целью и задачами исследований предполагалось оценить интенсивность процессов роста и развития побегов сортов ивы энергетической, схемы посадки и густоту насаждений и определить их способность формировать урожай древесной биомассы в условиях Правобережной Лесостепи Украины.*

*Исследования проводились на опытном поле Института биоэнергетических культур и сахарной свеклы НААН Украины в течение 2015-2017 гг. Грунт опытного поля – чернозем типичный выщелоченный легкосуглинистый. Закладки опытов, учеты и наблюдения проводили по общепринятым методикам.*

*Годовые приросты молодых побегов ивы энергетической существенно менялись как по годам вегетации, так и по исследуемым факторам. Так, молодые растения сорта Тернопольская за первый вегетационный период (2015 год) достигли в среднем 216 см высоты. В 2016 году высота растений существенно увеличилась, растения в среднем достигали 441 см высоты, их годовой прирост составил 104 %. На третий год вегетации средняя высота составила 471 см, а годовой прирост побегов – всего 30 см. Молодые растения из черенков сорта Тора имели другую специфику формирования высоты годовых приростов. Так, в первый год вегетации их высота в среднем составляла 251 см ( на 16% больше сорта Тернопольская), в течение второго года она достигла 493 см, а за третий год вегетации растения сорта Тора достигали высоты 569 см. Таким образом, средняя высота трехлетних растений сорта Тора превысила показатели сорта*

Тернопольская на 98 см или на 21%. Также сорт Тора отличался существенно высшей продуктивностью биомассы.

В условиях Правобережной Лесостепи течение трех первых лет вегетации насаждения ивы энергетической способны успешно укореняться, наращивать побеги и формировать от 22,8 до 27,6 т / га сухой органической массы энергетического топлива. Эффективность выращивания сухой органической массы ивы энергетической существенно зависит от биологических особенностей посадочного материала, который был использован для закладки насаждений. При одинаковых условиях выращивания, сорт Тора превышал по урожайности сухой массы сорт Тернопольская на 4,2 т/га или на 21%.

**Ключевые слова:** ива энергетическая, высота, маса, урожайность.

### **Annotation**

**Melnychuk G.A.**

#### ***Effect of growing technology components on the dry biomass yield of energy willow***

*Energy willow is one of the most promising bioenergy crops. It is undemanding to soil fertility, tolerant to significant fluctuations in weather and climate conditions, demonstrates high biological productivity and produce a high-quality energy biomass.*

*To assess the intensity of the growth and development of willow shoots of different varieties, the planting design, and plant density; to determine the capability to form a yield of wood biomass under the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine.*

*The research was carried out in the experimental field of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet National Academy of Agricultural Sciences of Ukraine from 2015 to 2017. The soil for the experiment was typical leached loamy chernozem. Establishment, counting, and observations in the experiment were carried out in accordance with conventional methods.*

*The annual increment of young willow shoots varied significantly over the experiment years in terms of the factors under investigation. To illustrate, young plants of 'Ternopil'ska' variety reached an average of 216 cm increment in the first growing season (2015). In 2016, plant height increased significantly to 441 cm, with the annual growth of 104%. On the third year of vegetation, the average height amounted to 471 cm but the annual increment was only 30 cm. Young plants from cuttings of the 'Tora' variety had different growth dynamics. In the first growing year, their height averaged 251 cm (that was 16% more than in 'Ternopil'ska' variety), on the second year it reached 493 cm, and on the third year 569 cm. Thus, the average height of 3-year-old plants of 'Tora' variety exceeded the 'Ternopil'ska' variety by 98 cm (21%). In addition, 'Tora' demonstrated a significantly higher biomass yield.*

*Under the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe, in the first three growing years, willow plants are capable of successful rooting, enlarging shoots and forming yield 22.8 to 27.6 ton of dry biomass. The efficiency of growing dry energy willow biomass is significantly affected by the biological characteristics of the planting material. Under identical growing conditions, 'Tora' variety exceeded 'Ternopil'ska' by 4.2 t/ha (21%) in terms of dry biomass yield.*

**Keywords:** energy willow, height, masa, yield.