УДК 662.631:620.952 https://doi.org/10.21498/2518-1017.21.2.2025.333455

Особливості росту іноземних сортів верби прутоподібної (*Salix viminalis* L.) на вилугуваних чорноземах Центрального Лісостепу

Я. Д. Фучило*, Т. А. Левчук

*Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна, *e-mail: fuchylo_yar@ukr.net*

Мета. Проаналізувати особливості росту плантацій шістьох сортів верби прутоподібної протягом восьми років їхнього культивування в умовах Правобережного Лісостепу України та встановити оптимальний вік заготівлі біомаси. **Методи.** Польовий, лабораторний, аналітичний і статистичний. **Результати.** Проведені біометричні дослідження восьмирічних пагонів плантацій продемонстрували їхню відмітність за висотою, діаметром та масою. Найбільшими ці показники були в культивару 'Inger' – 6,42 м, 3,3 см та 1,76 кг відповідно, дещо меншими – 6,25 м, 3,1 см та 1,67 кг – у 'Tordis'. Висота решти сортів варіювала в межах 5,90 м ('Warm-maz') – 6,13 м ('Wilhelm'), діаметр змінювався від 1,85 см ('Gigantea') до 2,55 см ('Marzencinski'), а суха маса пагонів становила 0,89 кг ('Gigantea') – 1,05 кг ('Marzencinski'). Продуктивність сухої біомаси була на рівні 9,55 т/га ('Gigantea') – 36,9 т/га ('Inger'). У всіх досліджуваних культиварів спостерігали суттєве зменшення річних приростів за висотою (в 'Tordis' – після п'ятирічного віку, у 'Wilhelm', 'Inger', 'Gigantea' та 'Marzencinski' – після чотирирічного, у 'Warm-maz' – після трирічного) та діаметром (у 'Wilhelm' – після п'яти років, у 'Tordis' – після трьох, у решти – після чотирьох). **Висновки.** Першу заготівлю біомаси досліджуваних плантацій доцільно виконувати в чотирирічному віці, а наступні – у три- або дворічному.

Ключові слова: *біоенергетика; енергетичні вербові плантації; ріст за висотою; ріст за діаметром; вік заготівлі біомаси.*

Вступ

Екологічні та кліматичні проблеми спонукають світову спільноту до пошуку альтернативних легко відновлюваних джерел енергії [1, 2]. Паризькою кліматичною угодою, ратифікованою Україною, передбачено у другій половині XXI століття сповільнити темпи зростання температури повітря до рівня, який здатна контролювати природа. Для цього планується знизити викиди парникових газів, щорічно залучаючи по 100 млрд доларів на заміну традиційних джерел енергії відновлювальними [3].

Імпорт викопних енергоносіїв до України становить майже 15 млрд доларів [4]. Водночас відновлювальні джерела енергії все ще недостатньо використовуються, хоча останніми роками їхня частка в енергобалансі нашої держави дещо збільшилася. Так, у 2012 р. обсяги заміщення природного газу біопаливом становили лише 1,1 млрд м^3, а у 2020-му цей показник зріс до 5,2 млрд м^3 [5].

Yaroslav Fuchylo
https://orsid.org/0000-0002-2669-5176
Tymur Levchuk
https://orsid.org/0009-0002-3600-2756

Найперспективнішим видом біоенергетики в Україні, де склалися сприятливі ґрунтово-кліматичні умови для вирощування рослин, є фітоенергетика. До її основних переваг належать екологічна чистота викидів, нейтральний баланс вуглекислого газу в атмосфері, досить висока тепловіддача та низький уміст шкідливих речовин, які виділяються під час згоряння [6]. Зокрема, утворюється у 20–30 разів менше оксиду сірки та в 3–4 рази менше зольних елементів, як порівняти з вугіллям [7]. Побічним продуктом у процесі виробництва газоподібного та рідкого біопалива є органічна речовина, що може бути використана як органічне добриво. Після згоряння твердого біопалива лишаються зольні речовини, які містять значну кількість калію, кальцію, магнію та інших важливих для рослин елементів живлення [7].

На території нашої держави можна успішно вирощувати велику кількість видів і сортів енергетичних культур, тому важливе значення мають дослідження, спрямовані на добір найперспективніших з них [8–10]. У Європі та Північній Америці енергетичну біомасу найчастіше отримують із різних сортів та гібридів верби прутоподібної (*Salix viminalis* L.). Попри те, що ці культурні форми виведено на основі одного виду, вони можуть суттєво різнитися між собою за біолого-екологічними

© The Author(s) 2025. Published by Ukrainian Institute for Plant Variety Examination.
This is an open access article distributed under the terms of the license CC BY-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

особливостями та інтенсивністю накопичення енергетичної біомаси.

Мета досліджень – проаналізувати особливості росту плантацій шістьох сортів верби прутоподібної протягом восьми років їхнього культивування в умовах Правобережного Лісостепу України та встановити оптимальний вік заготівлі біомаси.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження проводили на дослідному полі Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України (с. Ксаверівка Друга, Білоцерківський р-н, Київська обл.). Ґрунти – чорноземи типові глибокі малогумусні, грубопилувато-середньосуглинкові зі вмістом гумусу 3,05%; $pH_{водне}$ – 6,5, уміст легкогідролізованого азоту – 12,77, рухомого фосфору (за Чириковим) – 189,0, рухомого калію – 113,0 мг/кг ґрунту.

Погодні умови років досліджень були відносно сприятливими для росту енергетичних плантацій верби, хоча й характеризувалися дещо вищою температурою та меншою вологістю, як порівняти з середніми багаторічними значеннями.

Вивчали шість культиварів *Salix viminalis* L.: 'Tordis', 'Inger' і 'Wilhelm' шведської селекції та '1047' ('Gigantea'), '1057' ('Marzencinski') та '082' ('Warm-maz') – польської. П'ять із них виведено з різних форм верби прутоподібної, й лише один – 'Inger' – є міжвидовим гібридом верб тритичинкової (*S. triandra* L.) та прутоподібної [11, 12].

Насадження було створено навесні 2015 року однорічними живцями по чотири спарені ряди кожного сорту. Схема садіння: 0,75 × 1,50 × 0,75 м. Густота – 15,0 тис. шт./га.

Навесні 2023 року надземну частину плантацій було зрізано та досліджено. Це дало змогу виявити особливості росту та продуктивності насаджень протягом восьми років. Зокрема, завдяки використанню методів лісової таксації [13] вдалося установити річні прирости стовбурів середнього розміру за висотою та діаметром на висоті 1,3 м.

Завдання цієї роботи – визначити оптимальний вік заготівлі біомаси насаджень, основні характеристики яких опубліковано раніше [14, 15]. У процесі досліджень послуговувалися загальноприйнятими науковими методами [16]; опрацювання та аналіз отриманих результатів здійснювали за допомогою ПК.

Результати досліджень

На момент досліджень (весна 2023 року) восьмирічної надземної біомаси плантацій верби прутоподібної збільшення рослин за діаметром та висотою значно сповільнилося (рис. 1). Також фіксували ознаки припинення росту та деградацію.

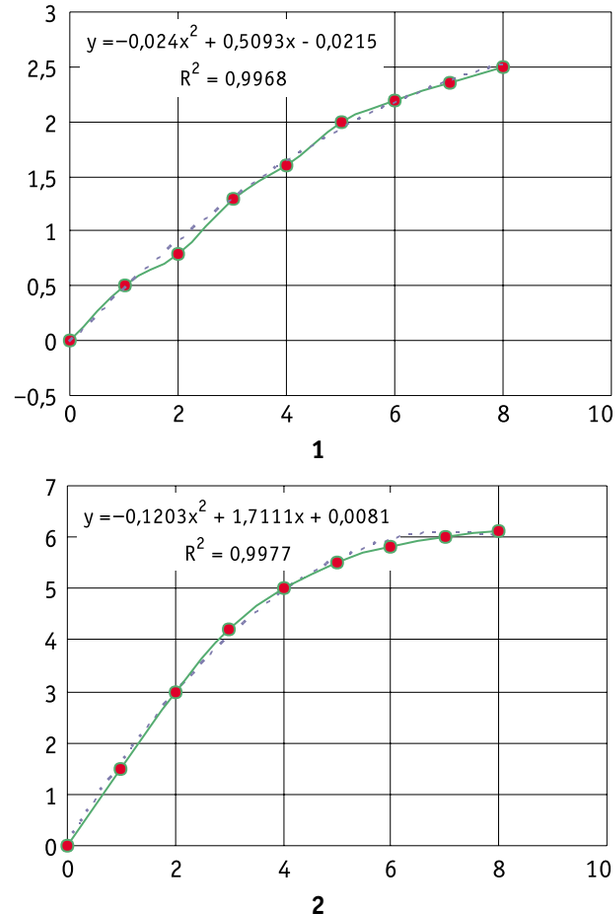

Рис. 1. Хід росту середніх стовбурів сорту верби прутоподібної 'Wilhelm' (без кори) за діаметром, см (1) і висотою, м (2)

На рисунку 1 річний приріст за діаметром дерев сорту 'Wilhelm' розташований поруч із прямою лінією, хоча з певною тенденцією до зниження в останні роки. Під час досліджень висота та діаметр стовбурів середнього розміру становили 1,3 м та 2,5 см відповідно. Власне, зменшення приросту за висотою було найсуттєвішим. Якщо за перші чотири роки вона досягла значення 5,0 м, то впродовж наступних чотирьох збільшилася лише на 1,13 м. Суха маса середнього пагона сорту 'Wilhelm' становила 0,995 кг. Отже, насадження такого типу доцільно зрізувати для отримання енергетичної біомаси після четвертого року вирощування.

Товща блакитна лінія на всіх представлених графіках зображує фактичний хід росту дерев, а тонка чорна – моделі цих процесів, одержані за допомогою пакета Statistika. Також на рисунках простежується тісна кореляція отриманих формул із фактичними дани-

ми. Це забезпечує високий рівень апроксимації (R^2), який у всіх випадках перевищує 0,99.

Культивар 'Tordis' хоч і мав схожі з попереднім сортом прирости (рис. 2), але характеризувався більшими, ніж у нього, діаметром (3,1 см без кори) та висотою (6,25 м). Зокрема, через швидші темпи росту у восьмирічному віці. Абсолютно суха маса середнього стовбура 'Tordis' становила 1,67 кг.

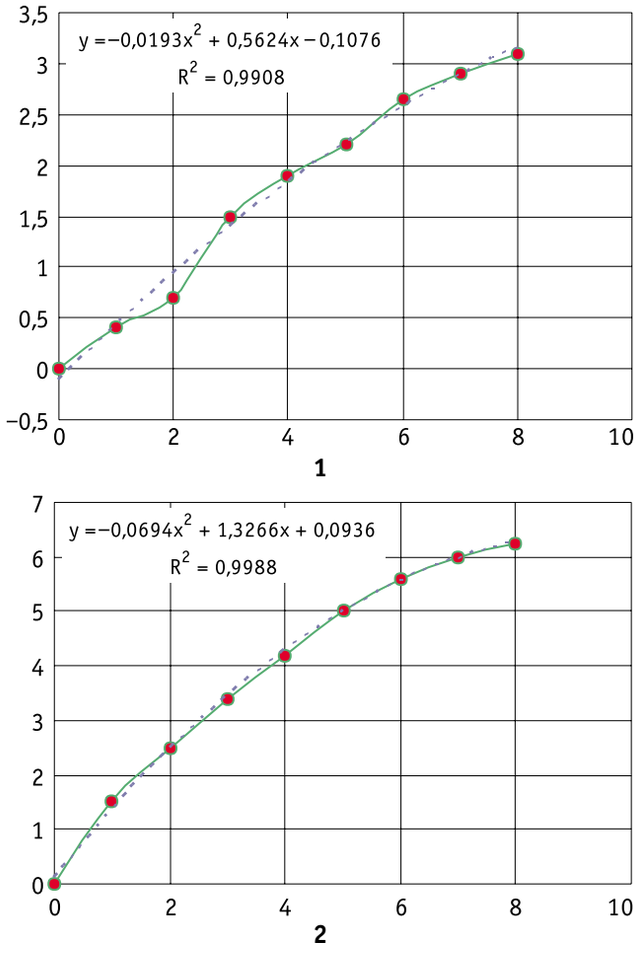

Рис. 2. Хід росту середніх стовбурів сорту верби прутоподібної 'Tordis' (без кори) за діаметром, см (1) і висотою, м (2)

З-поміж усіх досліджуваних саме рослини сорту 'Inger' мали найбільший діаметр (3,3 см) у восьмирічному віці, а також максимальні висоту (6,42 м) та масу (1,76 кг) (рис. 3). Найінтенсивніше вказані показники зростали до чотирирічного віку, тому доцільно заготовляти енергетичну біомасу на плантаціях цього культивару в чотири – п'ять років.

Слід зауважити, що 'Inger' є єдиним гібридом між вербами тритичинковою та прутоподібною серед усіх описаних у роботі сортів. Це підтверджує висновки канадських дослідників [17] про те, що ліпші вкоріненість живців і ріст пагонів у провінції Альберта мають види верб, пристосовані до низинних умов із частими повенями. Саме такою є поширена в Україні *S. triandra* L. [18, 19].

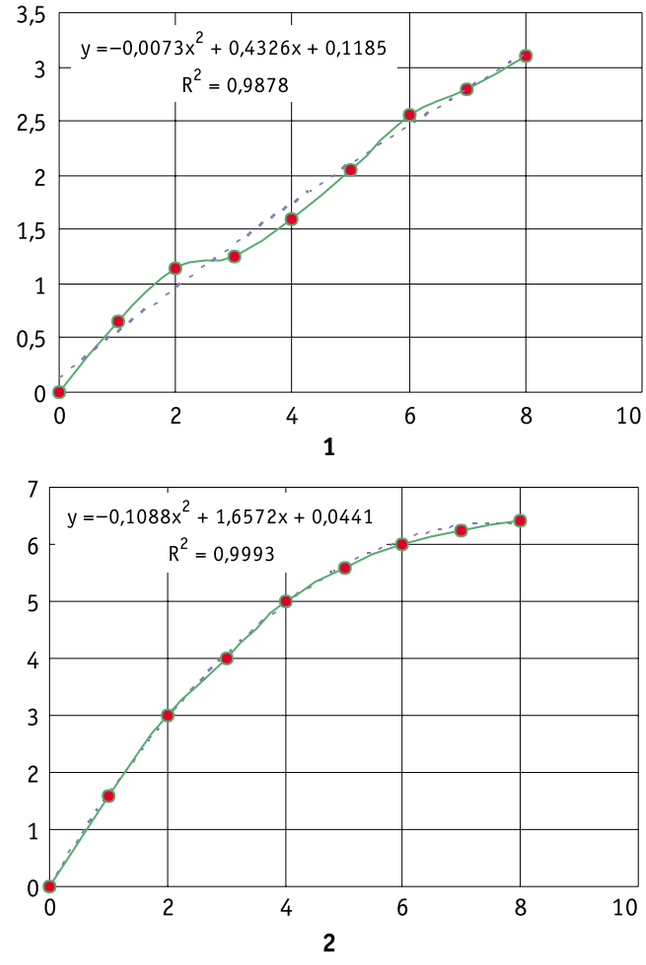

Рис. 3. Хід росту середніх стовбурів сорту верби прутоподібної 'Inger' (без кори) за діаметром, см (1) і висотою, м (2)

У сорту '082', або 'Warm-maz', з трирічного віку суттєво знизився приріст за висотою, а з чотирирічного – за діаметром (рис. 4), що вказує на доцільність заготівлі біомаси у тричотири роки. У восьмирічному віці пагони цього культивару досягли 5,9 м, діаметр становив 2,3 см, а суха маса – 0,938 кг.

Схожа ситуація склалася із сортом '1047', або 'Gigantea', приріст якого за висотою та діаметром різко зменшився після чотирьох років (рис. 5). Тому саме цей вік слід вважати оптимальним для заготівлі енергетичної біомаси. Суха біомаса одного середнього восьмирічного стовбура культивару становила 0,89 кг за висоти 5,97 м та діаметра 1,85 см.

Сорт '1057' ('Marzencinski') мав дещо вищі показники, як порівняти з двома іншими польськими культиварами. Його висота становила 6,11 м, діаметр – 2,55 см, а суха маса – 1,05 кг.

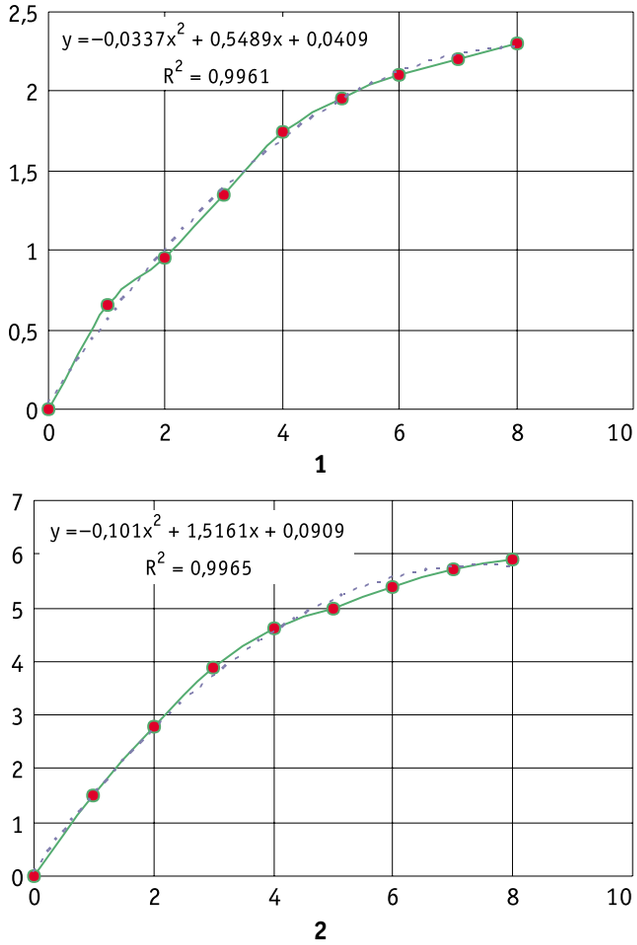

Рис. 4. Хід росту середніх стовбурів сорту верби прутоподібної '082' (без кори) за діаметром, см (1) і висотою, м (2)

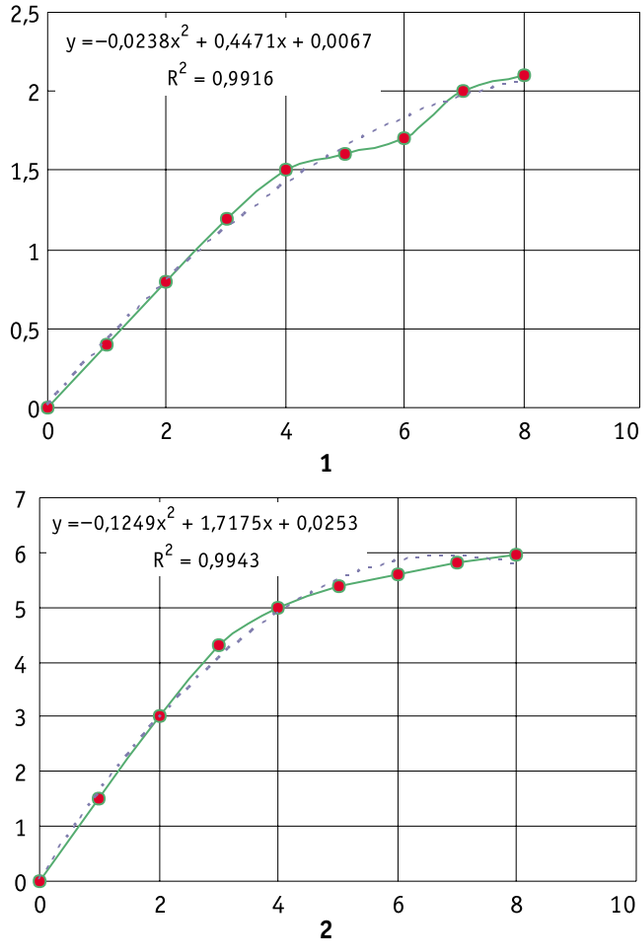

Рис. 5. Хід росту середніх стовбурів сорту верби прутоподібної '1047' (без кори) за діаметром, см (1) і висотою, м (2)

Отже, плантації досліджуваних сортів певною мірою різнилися між собою за висотою, діаметром та масою пагонів (а відповідно, й за продуктивністю біомаси). Найбільшими ці біометричні показники були в культивару 'Inger' – 6,42 м, 3,3 см та 1,76 кг відповідно, дещо меншими – 6,25 м, 3,1 см та 1,67 кг – у 'Tordis'. Висота решти сортів варіювала в межах 5,90 м ('Warm-maz') – 6,13 м ('Wilhelm'), діаметр змінювався від 1,85 см ('Gigantea') до 2,55 см ('Marzencinski'), а суха маса пагонів становила 0,89 кг ('Gigantea') – 1,05 кг ('Marzencinski').

Максимальною продуктивністю біомаси у восьмирічному віці відзначилися сорти 'Inger' та 'Wilhelm' – 36,9 та 31,10 т/га відповідно, а мінімальною – 9,55 т/га – 'Gigantea'. Врожайність культивару 'Tordis' становила 11,0 т/га, 'Marzencinski' та 'Warm-maz' – 19,65 і 20,0 т/га.

Продуктивність залежала не лише від розмірів і маси пагонів. Кількість останніх на одну рослину та збереженість рослин кожного сорту також значною мірою впливали на цей показник [14, 15]. Водночас у всіх досліджуваних сортів спостерігали суттєве зменшення річних приростів за висотою (в 'Tordis' – після п'ятирічного віку, у 'Wilhelm', 'Inger', 'Gigantea' та 'Marzencinski' – після чотирирічного, у 'Warm-maz' – після трирічного) та діаметром (у 'Wilhelm' – після п'яти років, у 'Tordis' – після трьох, у решти – після чотирьох).

Заготівлю енергетичної біомаси на плантаціях верби найчастіше здійснюють із періодичністю що три роки [20–22]. Утім, як показали наші дослідження, перше зрізання надземної частини в багатьох випадках доцільніше виконувати у чотирирічному віці. Це зумовлено тим, що дерева протягом першого року ростуть із живців, витрачаючи багато пластичних речовин на формування кореневих систем, а тому не можуть повною мірою проявити свій потенціал до накопичення біомаси в наземній частині. Початок росту наступних генерацій є значно інтенсивнішим завдяки добре розвинутим кореневим системам. Це дає змогу скоротити вік їхньої ротації до трьох або двох років.

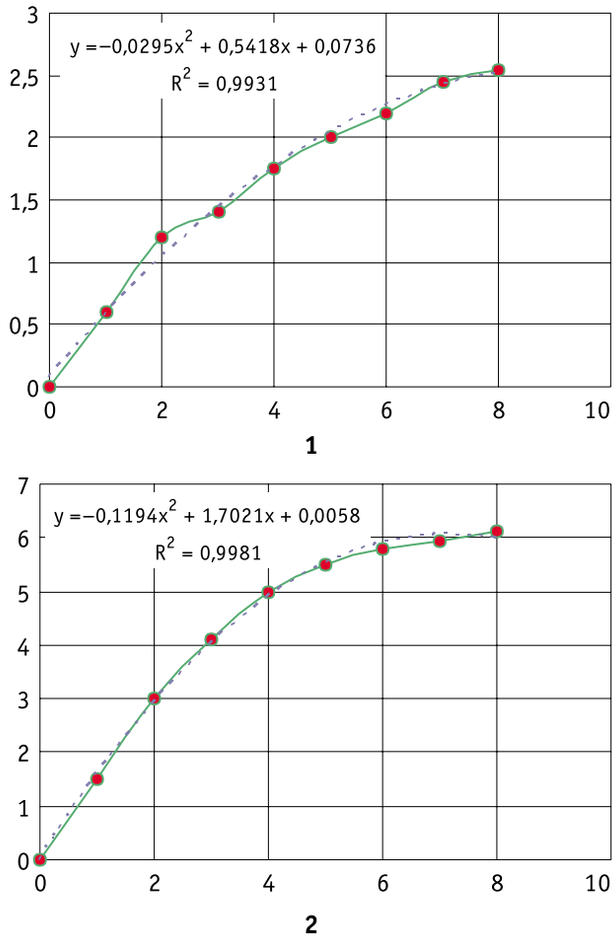

Рис. 6. Хід росту середніх стовбурів сорту верби прутоподібної '1057' (без кори) за діаметром, см (1) і висотою, м (2)

Висновки

Серед верб, які вирощують на енергетичну біомасу, переважають сорти та гібриди верби прутоподібної (*Salix vivinalis* L.). Вони можуть суттєво різнитися між собою як за біолого-екологічними особливостями й морфометричними показниками, так і за продуктивністю біомаси.

Проведені біометричні дослідження шести культиварів, вирощених на вилугуваних чорноземах Правобережного Лісостепу України, показали їхню відмітність за середньою висотою восьмирічних пагонів рослин, усередненим діаметром пагона на висоті 1,3 м та сухою масою середніх пагонів. Найбільшими ці показники були в сорту 'Inger' – 6,42 м, 3,3 см та 1,76 кг відповідно, дещо меншими – 6,25 м, 3,1 см та 1,67 кг – у 'Tordis'. Висота решти культиварів варіювала в межах 5,90 м ('Warm-maz') – 6,13 м ('Wilhelm'), діаметр змінювався від 1,85 см ('Gigantea') до 2,55 см ('Marzencinski'), а суха маса пагонів становила 0,89 кг ('Gigantea') – 1,05 кг ('Marzencinski').

Максимальною продуктивністю біомаси у восьмирічному віці відзначилися сорти 'Inger' та 'Wilhelm' – 36,9 та 31,10 т/га відповідно, а мінімальною – 9,55 т/га – 'Gigantea'. Врожайність культивару 'Tordis' становила 11,0 т/га, 'Marzencinski' та 'Warm-maz' – 19,65 і 20,0 т/га. Продуктивність залежала не лише від розмірів і маси пагонів. Кількість останніх на одну рослину та збереженість рослин кожного сорту також значною мірою впливали на цей показник.

У насадженнях усіх досліджуваних сортів спостерігали суттєве зменшення річних приростів за висотою та діаметром після досягнення рослинами трьох – п'яти років (переважно чотирьох). Тому в цьому віці доцільно проводити першу заготівлю енергетичної біомаси.

References

1. Ahmad, M., Ahmed, Z., Majeed, A., & Huang, B. (2021). An environmental impact assessment of economic complexity and energy consumption: Does institutional quality make a difference? *Environmental Impact Assessment Review*, *89*, Article 106603. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2021.106603
2. Adedoyin, F. F., Alola, A. A., & Bekun, F. V. (2020). An assessment of environmental sustainability corridor: The role of economic expansion and research and development in EU countries. *Science of The Total Environment*, *713*, Article 136726. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136726
3. Adoption of the Paris agreement. 2015. https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf
4. Solarin, S. A. (2020). An environmental impact assessment of fossil fuel subsidies in emerging and developing economies. *Environmental Impact Assessment Review*, *85*, Article 106443. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106443
5. State Statistics Service of Ukraine. (2020). *Energy balance of Ukraine for 2020*. https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2021/energ/En_bal/Bal_2020_ue.xls [In Ukrainian]
6. Teske, S., & Pregger, T. (2019). Introduction. In *Achieving the Paris Climate Agreement Goals* (pp. 1–4). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-05843-2_1
7. Sinchenko, V. M. (Ed.). (2023). *Energy willow: Cultivation and use technology*. Tvory. [In Ukrainian]
8. Neves, A., Godina, R., Azevedo, S. G., & Matias, J. C. O. (2020). A comprehensive review of industrial symbiosis. *Journal of Cleaner Production*, *247*, Article 119113. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119113
9. Mundaca, L., Ürge-Vorsatz, D., & Wilson, C. (2018). Demand-side approaches for limiting global warming to 1.5 °C. *Energy Efficiency*, *12*(2), 343–362. https://doi.org/10.1007/s12053-018-9722-9
10. Pittau, F., Lumia, G., Heeren, N., Iannaccone, G., & Habert, G. (2019). Retrofit as a carbon sink: The carbon storage potentials of the EU housing stock. *Journal of Cleaner Production*, *214*, 365–376. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.304
11. El Bassam, N. (2012). *Handbook of Bioenergy Crops: A Complete Reference to Species, Development and Applications*. Earthscan.
12. Caslin B., Finnan J., McCracken A. (Eds). *Willow Varietal Identification Guide*. Teagasc.
13. Pasternak, V. P., & Nazarenko, V. V. (2019). *Forest Inventory*. Kharkiv National Agrarian University. [In Ukrainian]
14. Fuchylo, Ya. D., & Levchuk, T. A. (2024). Productivity of the rod-shaped willow depends on varietal characteristics and frequency of biomass harvesting. *Bioenergy*, *1*, 16–18. https://doi.org/10.47414/be.2024.no1.pp16-18

15. Fuchylo, Ya. D., & Levchuk, T. A. (2024). Productivity of six varieties of basket willow in a three-year cycle of biomass harvesting. *Bioenergy*, *2*, 35–37. https://doi.org/10.47414/be.2024.No2.pp35-37
16. Sinchenko, V. M. (Ed.). (2018). *Methodology for research into energy plantations of willows and poplars*. Komprint. [In Ukrainian]
17. Pollock, A., Grant, K. R., & Schoonmaker, A. (2025). Size Influences on the Survival of Willow Cuttings Under Operational Field Conditions. *Ecology and Evolution*, *15*(1), Article e70835. https://doi.org/10.1002/ece3.70835
18. Fuchylo, Ya. D., & Sbytna, M. V. (2017). *Willows of Ukraine: Biology, ecology, use* (2nd ed., rev. and enl.). Komprint. [In Ukrainian]
19. *Salix triandra*. (2020). *Willows of Northern Europe: A guide to the identification and ecology of a northern keystone plant group*. https://willows-of-northern-europe.org/Salix_triandra.html
20. Borz, S. A., Papandrea, S., Zoli, M., Bacenetti, J., & Proto, A. R. (2025). Willow short rotation coppice. Energy and environmental assessment. *Cleaner Environmental Systems*, *16*, Article 100249. https://doi.org/10.1016/j.cesys.2024.100249
21. Livingstone, D., Smyth, B. M., Lyons, G., Foley, A. M., Murray, S. T., & Johnston, C. (2022). Life cycle assessment of a short-rotation coppice willow riparian buffer strip for farm nutrient mitigation and renewable energy production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *158*, Article 112154. https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112154
22. Quinn, R. J., Ha, H., Volk, T. A., Brown, T. R., Bick, S., Malmsheimer, R. W., & Fortier, M. P. (2020). Life cycle assessment of forest biomass energy feedstock in the Northeast United States. *GCB Bioenergy*, *12*(9), 728–741. https://doi.org/10.1111/gcbb.12725

UDC 662.631:620.952

Fuchylo, Ya. D., & **Levchuk, T. A.** (2025). Growth characteristics of foreign willow (*Salix viminalis* L.) varieties on leached chernozems of the Central Forest-Steppe. *Plant Varieties Studying and Protection*, *21*(2), ---. https://doi.org/10.21498/2518-1017.21.2.2025.333455

*Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine, *e-mail: fuchylo_yar@ukr.net*

Purpose. To analyze the growth characteristics of six varieties of basket willow plantations over eight years of cultivation in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. Establish the optimal age for harvesting biomass. **Methods.** Field, laboratory, analytical and statistical. **Results.** Biometric studies of eight-year-old shoots from plantations revealed differences in their height, diameter, and weight. The cultivar 'Inger' had the highest values: 6.42 m, 3.3 cm, and 1.76 kg, respectively. The values were slightly lower for 'Tordis': 6.25 m, 3.1 cm, and 1.67 kg. The heights of the other varieties ranged from 5.90 m ('Warm-maz') to 6.13 m ('Wilhelm'), the diameters ranged from 1.85 cm ('Gigantea') to 2.55 cm ('Marzencinski'), and the dry weights of the shoots ranged from 0.89 kg ('Gigantea') to 1.05 kg ('Marzencinski'). Dry biomass productivity ranged from 9.55 t/ha ('Gigantea') to 36.9 t/ha ('Inger'). A significant decrease in annual height growth was observed in all the studied cultivars: after five years in 'Tordis', after four years in 'Wilhelm', 'Inger', 'Gigantea', and 'Marzencinski', and after three years in 'Warm-maz'. A significant decrease in diameter growth was observed after five years in 'Wilhelm', after three years in 'Tordis', and after four years in the rest. **Conclusions.** The first harvesting of biomass from the studied plantations should be carried out at the age of four years, and the subsequent harvesting at the age of three or two years.

Keywords: *bioenergy; energy willow plantations; height growth; diameter growth; age of biomass harvesting.*

Надійшла / Received 09.04.2025
Погоджено до друку / Accepted 20.06.2025