

ПРОДУКТИВНІСТЬ ШЕСТИ СОРТІВ ВЕРБИ ПРУТОВИДНОЇ ЗА ТРИРІЧНОГО ЦИКЛУ ЗАГОТІВЛІ БІОМАСИ

ЛЕВЧУК Т.А.¹

аспірант,

ФУЧИЛО Я.Д.^{1,2},

доктор с.-г. наук, професор,

¹Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, м. Київ

²Малинський фаховий коледж, с. Гамарня Житомирської області

Постановка проблеми. Екологічні проблеми та кліматичні зміни спонукають світову економіку до пошуку альтернативних джерел енергії [1, 2]. Підписана Україною Паризька Кліматична Угода передбачає уповільнення темпів зростання середньорічної температури повітря через приведення у другій половині XXI століття викидів парникових газів до рівня, який природа здатна переробляти. З цією метою передбачається щорічно залучати 100 млрд. \$ для заміни традиційних джерел енергії відновлювальними [3].

Україна щорічно імпортує викопні енергоносії майже на 15 млрд. \$, водночас не достатньо використовуючи потенціал відновлювальних джерел енергії [4]. Певним позитивом є те, що динаміка останніх років засвідчує збільшення частки відновлювальних джерел енергії в енергобалансі нашої країни. Зокрема, якщо у 2012 році обсяги заміщення природного газу біопаливом становили лише 1,1 млрд. м³, то у 2020 р. — 5,2 млрд. м³ [5], хоча це значно менше загальносвітового рівня, де частка біоенергетики перевершує 16%.

Сприятливі ґрунтово-кліматичні умови України для вирощування рослин, найбільш перспективним видом біоенергетики для нашої держави є фітоенергетика.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. До основних переваг рослинної біомаси як джерела енергії можна віднести екологічну чистоту викидів, відсутність негативного впливу на баланс вуглекислого газу в атмосфері. Перевагою деревини є її висока тепловіддача та низький вміст шкідливих речовин, що виділяються при згорянні [6]. Під час згорання біопалива на основі рослинної біомаси в атмосферу викидається менше вуглекислого газу, ніж поглинається рослинами в процесі фотосинтезу, утворюється в 20–30 разів менше оксиду сірки і в 3–4 рази менше зольних елементів, порівняно з вугіллям [7]. Побічним продуктом в процесі виробництва рідкого та газоподібного біопалива є органічна

речовина, яку можна використовувати в якості добрив, а в результаті згорання твердого біопалива залишаються зольні елементи, які теж є добривом, але мінеральним [7].

В Україні можна вирощувати багато енергетичних культур, тому важливе значення мають дослідження, спрямовані на добір найперспективніших видів і сортів рослин для використання у біоенергетичних цілях [6, 8, 9, 10]. За вирощування енергетичної біомаси найчастіше використовують різні сорти і гібриди верби прутувидної (*Salix viminalis* L.). Незважаючи на те, що ці форми виведені на основі одного виду, вони суттєво відрізняються між собою за екологічними властивостями та за інтенсивністю накопичення біомаси.

Мета досліджень — підібрати сорти верби прутувидної найбільш придатні для вирощування у Правобережному Лісостепу і встановити особливості накопичення ними енергетичної біомаси.

Матеріали та методи досліджень. Дослідження проводилися на Дослідному полі ІБКЦБ НААН в с. Ксаверівка Друга Білоцерківського району Київської області. Ґрунти Дослідного поля характеризуються як типові глибокі малогумусні чорноземи, грубо пилувато-середньосуглинкові з вмістом гумусу 3,05%. РН водне — близьке до нейтрального, вміст азоту легко гідролізованого 12,77, рухомого фосфору (за Чириковим) — 189,0 і рухомого калію — 113,0 мг/кг ґрунту.

Погодні умови в роки проведення досліджень були дещо теплішими і по-

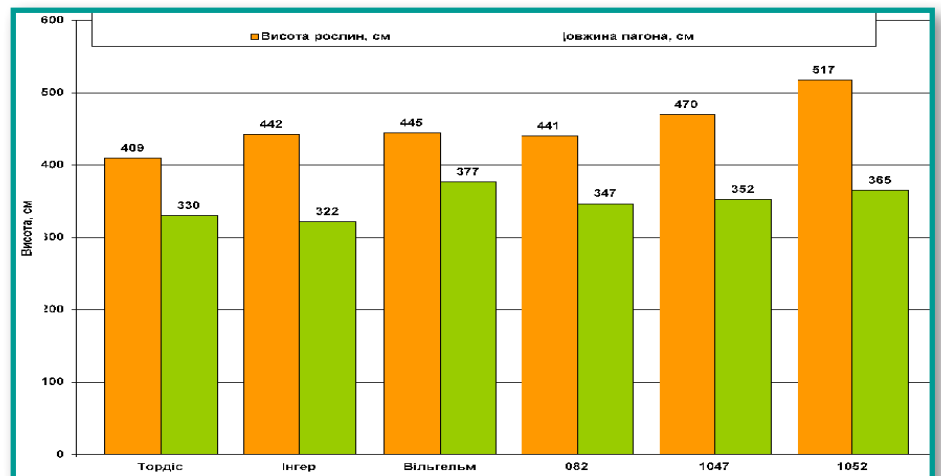


Рис. 1. Середня висота рослин та середня довжина пагонів досліджуваних культиварів верби прутувидної

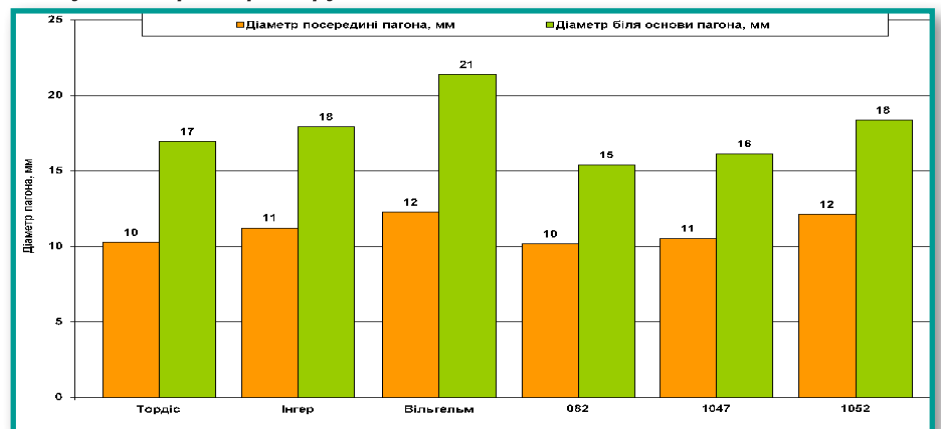


Рис. 2. Середній діаметр рослин досліджуваних культиварів верби прутувидної при основі пагонів та на середині їх висоти

сушливішими за середні багаторічні, але відносно сприятливими для росту енергетичних плантацій верби.

У дослідах було використано 6 культиварів верби прутувидної: 'Тордіс', 'Інгер', 'Вільгельм', '1047' ('Gigantea'), '1057' ('Marzencinski') та '082' ('Warm-maz').

'Тордіс' ('Tordis') — гібрид сорту 'Тора' із сортом верби прутувидної 'Ульв' ('Ulv'). Один з найбільш високопродуктивних сортів. Успішно росте на всіх ґрунтах, особливо — на сухих. Дуже високоурожайний у північній та центральній Європі. Не пошкоджується іржею листя.

'Інгер' ('Inger') — гібрид верби трицинкової (*S. triandra* L., жіночий клон SW911066) із клоном верби прутувидної 'Йор' ('Jorg'). Як і 'Тордіс', є одним з найбільш високопродуктивних сортів. Успішно росте на всіх ґрунтах, особливо — на відносно сухих. Найвищі врожаї біомаси формує в умовах м'якого теплого клімату з нормальним забезпеченням вологою.

'Вільгельм' ('Wilhelm') — гібрид сортів 'Шервуд' і 'Бйорн', створених на основі верби прутувидної.

Польські чоловічі сорти '1047' ('Gigantea'), '1057' ('Marzencinski') і '082' ('Warm-maz') виведені на основі верби прутувидної.

Їх насадження були створені навесні 2015 року однорічними живцями. Схема садіння: 0,75x1,50x0,75 м; густина садіння — 15,0 тис. шт./га.

Після досягнення плантаціями 6-річного віку, їх надземна частина навесні 2021 року була зрізана і досліджена на предмет особливостей росту і продуктивності рослин досліджуваних сортів на цьому етапі їх росту [11]. Протягом 2021–2023 років зі зрізаних пенеків відросли нові пагони і сформувалось нове трирічне покоління плантацій досліджуваних сортів, результати дослідження яких і наведені у даній статті.

Дослідження виконувалися за загальноприйнятими науковими методами [12], з використанням ПК при опрацюванні та аналізі отриманих результатів.

Результати досліджень. Проведені навесні 2024 року біометричні дослідження трирічної надземної біомаси плантацій досліджуваних сортів верби прутувидної показали, що вирощені протягом вегетаційних періодів 2021–2023 років трирічні кущі досліджуваних сортів мали значні показники висоти (рис. 1).

Середня висота їх кущів, як видно з даних рис. 1, змінювалася від 409 см у сорту 'Тордіс' до 517 см у '1052'. Крім останнього, значними показниками висоти рослин відзначалися культивари '1047' (470 см) та 'Вільгельм' (445 см).

Середня довжина пагонів досліджуваних культиварів становила від 322 см у сорту 'Інгер' до 377 см у сорту 'Вільгельм'. Також високими ці показники були у сортів '1052' (365 см) та '1047' (352 см).

Дослідження товщини пагонів показало, що найбільший середній діаметр при основі пагона мали рослини сорту 'Вільгельм' — 21,4 мм, а найменшим — 15,4 мм — він виявився у клону '082' (рис. 2).

На середині висоти пагонів найбільший середній діаметр теж був у сорту 'Вільгельм' — 12,3 мм, а мінімальний (10,2 мм) — у клону '082'.

У середньому кущі досліджуваних культиварів верби прутувидної було від 4,5 (у сорту 'Вільгельм') до 12,8 (у сорту '1052') пагонів (рис. 3).

Середня маса пагона (у свіжозрізаному стані), як і показники висоти і діаметра, найбільшими були у сорту 'Вільгельм' — 504 г, а найменшими (308 г) — у клону '082'. Однак, сира маса середнього куща найбільшою (4,635 кг) виявилася у сорту '1052', який характеризується максимальною кількістю пагонів на 1 кущ. Найменшою середня маса одного куща була у сорту

'Тордіс' (1,475 кг), який має низькі показники маси пагонів і їх кількості у одному кущі.

На основі показників середньої маси кущів та збереженості рослин на час досліджень (80%) було визначено урожайність біомаси досліджуваних сортів верби прутувидної (табл. 1).

Як видно з даних, наведених у табл. 4, найвищу врожайність трирічної сухої надземної біомаси мали сорти польської селекції: '1047' — 27,81 т/га і '1052' — 26,06 т/га та шведський сорт 'Інгер' — 23,77 т/га, що вказує на перспективність їх вирощування для отримання енергетичної біомаси в регіоні досліджень. Значно меншою продуктивністю біомаси була у сортів 'Вільгельм' (13,61 т/га) та 'Тордіс' (8,85 т/га).

Висновки.

1. За вирощування енергетичної біомаси верби найчастіше використовують різні сорти і гібриди верби прутувидної

Таблиця 1

Показники росту і продуктивності трирічної біомаси плантацій деяких іноземних сортів верби прутувидної (густина садіння 15,0 тис. шт./га)

Показники	Сорти						НІР0,05
	Тордіс	Інгер	Вільгельм	082	1047	1052	
Висота рослин, см	409,3	442,0	444,5	440,5	470,0	517,3	10,8
Кількість пагонів, шт.	4,8	9,8	4,5	11,5	12,5	12,8	0,8
Довжина пагона, см	330,4	321,8	376,9	346,7	352,4	365,3	5,5
Діаметр посередині пагона, мм	10,3	11,2	12,3	10,3	10,5	12,1	0,2
Діаметр біля основи пагона, мм	16,9	17,9	21,4	15,4	16,1	18,4	0,6
Сира маса 1 пагона, г	310,5	406,3	503,9	307,8	347,4	363,5	19,6
Сира маса 1 рослини, г	1475,0	3961,3	2267,5	3540,0	4342,5	4635,0	316,0
Урожайність сирової маси, т/га	17,70	47,54	27,21	42,48	52,11	55,62	3,79
Урожайність сухої маси, т/га	8,85	23,77	13,61	21,24	26,06	27,81	1,89

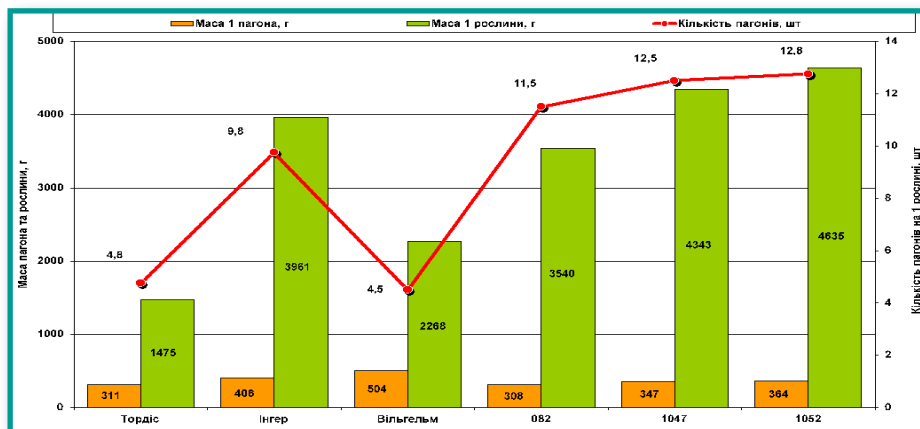


Рис. 3. Середня кількість пагонів на одній рослині та сира маса пагонів і кущі досліджуваних культиварів верби прутувидної

(*Salix viminalis* L.). Незважаючи на те, що ці форми виведені на основі одного виду, вони суттєво відрізняються між собою за екологічними властивостями та за інтенсивністю накопичення біомаси.

2. В умовах Правобережного Лісостепу на вилугуваних чорноземах із шести досліджуваних культиварів верби прутувидної найбільші показники середньої висоти кущів (517 см) виявилися у сорту '1052'. Також значну висоту мали рослин культиварів '1047' (470 см) та 'Вільгельм' (445 см). Ці ж сорти мали також найбільші показники середньої довжини пагонів, які становили відповідно: 365, 352 та 377 см.

3. Найбільший середній діаметр при основі пагона мали рослини сорту 'Вільгельм' — 21,4 мм, '1052' — 18,4 мм та 'Інгер' — 17,9 см, а найменшим він був у клону '082' (15,4 мм). На середині висоти пагонів найбільший середній діаметр теж був у сорту 'Вільгельм' — 12,3 мм, а найменший (10,2 мм) — у клону '082'.

4. Кущі досліджуваних культиварів у середньому включали від 4,5 пагонів у сорту 'Вільгельм' до 12,8 пагонів у сорту '1052'. Саме кількість пагонів мала найбільший вплив на середню масу рослин і в цілому на урожайність плантації.

5. Найвищу врожайність трирічної

сухої надземної біомаси мали сорти польської селекції: 1047–27,81 т/га і 1052–26,06 т/га та шведський сорт 'Інгер' — 23,77 т/га, що вказує на перспективність їх вирощування для отримання енергетичної біомаси в регіоні досліджень. Значно меншою продуктивність біомаси була у сортів 'Вільгельм' (13,61 т/га) та 'Тордіс' (8,85 т/га), використання яких у регіоні досліджень менш доцільна.

6. Вивчення досліджуваних культиварів верби прутувидної доцільно продовжити для уточнення динаміки їх урожайності протягом всього періоду існування плантацій у регіоні досліджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- Adedoyin F. F., Alola A. A., Bekun F. V. An assessment of environmental sustainability corridor: The role of economic expansion and research and development in EU countries. *Science Of The Total Environment*. 2020. Vol. 713. N136726.
- Ahmad M., Ahmed Z., Majeed A., Huang. B. An environmental impact assessment of economic complexity and energy consumption: Does institutional quality make a difference? *Environmental Impact Assessment Review*. 2021. Vol. 89. N106603. doi:10.1016/j.eiar.2021.106603.
- Adoption of the Paris agreement. Approved 12.12.2015. Режим доступу: <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>
- Головнюв С. Сировинна економіка. Що купувала і продавала Україна в 2021 році. БізнесЦензор: <https://biz.censor.net/r3310713Solarin>
- S. A. An environmental impact assessment of fossil fuel subsidies in emerging and developing economies. *Environmental Impact Assessment Review*. 2020. Vol. 85. № 106443. doi:10.1016/j.eiar.2020.106443
- Державна служба статистики України. Енергетичний баланс України за 2020. Експрес-випуск від 30.11.2021 р.
- Teske S., Pregger T. Achieving the Paris Climate Agreement Goals Global and Regional 100% Renewable Energy Scenarios with Non-energy GHG Pathways for +1.5 degrees C and +2 degrees C Introduction. Achieving The Paris Climate Agreement Goals: Global and Regional 100% Renewable Energy Scenarios with Non-Energy Ghg Pathways for +1.5(Degree)C and +2(Degree)C. P. 1–4. DOI: 10.1007/978–3–030–05843–2_1
- Енергетична верба: технологія вирощування та використання: монографія. Під загальною редакцією доктора с.-г. наук, професора В. М. Сінченка. Вінниця: ТВОРИ, 2023. Авторський колектив: М. В. Поїк, В. М. Сінченко, Я. Д. Фучило та ін. 346 с.
- Neves A., Godina R., Azevedo S. G., Matias J. C. O. A comprehensive review of industrial symbiosis. *Journal Of Cleaner Production*. 2019. Vol. 247. N119113. DOI:10.1016/j.jclepro.2019.119113
- Mundaca L., Urge-Vorsatz D., Wilson C. Demand-side approaches for limiting global warming to 1.5 degrees C. *Energy Efficiency*. Vol. 2019. Vol. 12. Iss. 2. P. 343–362. DOI: 10.1007/s12053–018–9722–9
- Pittau F., Lumia G., Heeren N., Iannaccone G., Habert G. Retrofit as a carbon sink: The carbon storage potentials of the EU housing stock. *Journal Of Cleaner Production*. 2019. Vol. 214. P. 365–376. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.12.304
- Фучило Я. Д., Левчук Т. А. Продуктивність верби прутувидної залежно від сортів особливостей та періодичності заготівлі біомаси. // *Біоенергетика/Bioenergy*. № 1 (23). 2024. С. 16–18.
- Методологія дослідження енергетичних плантацій верб і тополь: монографія / за ред. член-кореспондента НААН В. М. Сінченка / [Я. Д. Фучило, В. М. Сінченко, О. М. Ганженко та ін.]. К.: ТОВ «ЦП «Компринт», 2018. 137 с.

АНОТАЦІЯ

Продуктивність шести сортів верби прутувидної за трирічного циклу заготівлі біомаси

Т. А. Левчук, Я. Д. Фучило

Мета. Підібрати сорти верби прутувидної найбільш придатні для вирощування у Правобережному Лісостепу і з'ясувати особливості накопичення ними енергетичної біомаси. **Методи.** Вимірально-ваговий, математично-статистичний. **Результати.** В статті наведені результати дослідження особливостей росту і продуктивності трирічної біомаси шести сортів верби прутувидної ('Тордіс', 'Інгер', 'Вільгельм', '1047' ('Gigantea'), '1052' ('Marzencinski') та '082' ('Warm-maz') на вилугуваних чорноземах Правобережного Лісостепу України. Встановлено, що із досліджуваних культиварів найбільші показники середньої висоти кущів (517 см) мав сорт '1052'. Також значну висоту рослин мали культивари '1047' (470 см) та 'Вільгельм' (445 см). Ці ж сорти мали також найбільші показники середньої довжини пагонів — відповідно:

365, 352 та 377 см. Найбільший середній діаметр при основі пагона мали рослини сорту 'Вільгельм' — 21,4 мм, '1052' — 18,4 мм та 'Інгер' — 17,9 см, а найменшим він був у клону '082' (15,4 мм). На середині висоти пагонів найбільший середній діаметр теж був у сорту 'Вільгельм' — 12,3 мм, а найменший (10,2 мм) — у клону '082'. Кущі досліджуваних культиварів у середньому включали від 4,5 пагонів у сорту 'Вільгельм' до 12,8 пагонів у сорту '1052'. Сира маса середнього куща найбільшою (4,635 кг) виявилася у сорту '1052', який характеризується максимальною кількістю пагонів на 1 кущ. Найменшою середня маса одного куща була у сорту 'Тордіс' (1,475 кг), який має низькі показники маси пагонів і їх кількості у одному кущі. Саме кількість пагонів мала найбільший вплив на середню масу рослин і в цілому на урожайність плантації. **Висновки.** Найвищу врожайність трирічної сухої надземної біомаси мали сорти польської селекції: 1047–27,81 т/га і 1052–26,06 т/га та шведський сорт 'Інгер' — 23,77 т/га, що вказує на перспективність їх вирощування для отримання енергетичної біомаси в регіоні досліджень. Значно меншою продуктивність біомаси була у сортів 'Вільгельм' (13,61 т/га) та 'Тордіс' (8,85 т/га), використання яких у регіоні досліджень менш доцільна. Вивчення досліджуваних культиварів верби прутувидної доцільно продовжити для уточнення динаміки їх урожайності протягом всього періоду експлуатації плантацій.

Ключові слова: біоенергетика, біопаливо, верба прутувидна, сортові особливості, висота пагонів, маса кущів, урожайність енергетичної біомаси.

ABSTRACT

Productivity of six varieties of basket willow in a three-year cycle of biomass harvesting

T. Levchuk, Ya. Fuchylo

Purpose. To choose varieties of basket willow that are most suitable for cultivation in the Right Bank Forest Steppe and to find out the peculiarities of their accumulation of energy biomass. **Methods.** Measuring and weighing, mathematical and statistical. **The results.** The article presents the results of the study of growth characteristics and three-year biomass productivity of six willow varieties ('Tordis', 'Inger', 'Wilhelm', '1047' ('Gigantea'), '1052' ('Marzencinski') and '082' ('Warm-maz') on the leached chernozems of the Right Bank Forest Steppe of Ukraine. The highest average height of the plants was 517 cm in the cultivar '1052'. The cultivars '1047' (470 cm) and 'Wilhelm' (445 cm) also had the highest average shoot lengths: 365 cm, 352 cm, and 377 cm respectively. The largest average diameter at the base of the shoot was in plants of the 'Wilhelm' variety — 21.4 mm, in '1052' — 18.4 mm and in 'Inger' — 17.9 cm, while the smallest diameter was in the clone '082' (15.4 mm). At the middle of the length of the shoots, the largest average diameter was also in the variety 'Wilhelm' — 12, 3 mm, while the smallest (10.2 mm) — in clone '082'. Bushes of the studied cultivars on average had from 4.5 shoots in the variety 'Wilhelm' to 12.8 shoots in the variety '1052'. The biomass of the average bush was the highest (4.635 kg) in the variety '1052', which is characterized by the maximum number of shoots per 1 bush. The lowest average weight of one bush was in the variety 'Tordis' (1.475 kg), which has low indicators of mass of shoots and their number per bush. It was the number of shoots that had the greatest influence on the average weight of plants and, in general, on the productivity of plantations. **Conclusions.** The highest yield of dry above-ground biomass of three-year plants was in Polish varieties '1047' — 27.81 t/ha and '1052' — 26.06 t/ha, and the Swedish variety 'Inger' — 23.77 t/ha, which indicates the prospects of their cultivation for energy biomass in the region of research. The biomass productivity was much lower in the varieties 'Wilhelm' (13.61 t/ha) and 'Tordis' (8.85 t/ha), the use of which is less appropriate in the studied region. It is advisable to continue the study of willow cultivars in order to clarify the dynamics of their yield during the entire period of plantation exploitation.

Keywords: bioenergy, biofuel, basket willow (*Salix viminalis* L.), varietal characteristics, height of shoots, plant weight, productivity of energy biomass.