

ПРОДУКТИВНІСТЬ ВЕРБИ ПРУТОВИДНОЇ ЗАЛЕЖНО ВІД СОРТОВИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТА ПЕРІОДИЧНОСТІ ЗАГОТІВЛІ БІОМАСИ

Я.Д. ФУЧИЛО^{1,2},

доктор с.-г. наук, професор,

Т.А. ЛЕВЧУК¹

аспірант,

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, м. Київ
2Малинський фаховий коледж, с. Гамарна
Житомирської області

Постановка проблеми. Територія України відзначається сприятливими ґрунтово-кліматичними умовами та достатнім потенціалом для динамічного розвитку біоенергетики, яка є дуже вагомим фактором не лише для пом'якшення наслідків зміни клімату, але й для забезпечення незалежності та економічного зростання держави [1, 2, 15]. В Україні можна вирощувати багато високопродуктивних енергетичних культур, тому важливе значення має аналіз світових рослинних ресурсів і добір найперспективніших рослин для використання в біоенергетичних цілях [2, 4, 5, 6]. Серед таких культур важлива роль належить вербі прутувидній (*Salix viminalis* L.), яку можна вирощувати на малопродуктивних, але достатньо зволжених ґрунтах. Перевагою деревини верби є її висока тепловіддача та низький вміст шкідливих речовин, що виділяються при згорянні [6].

У зв'язку з цим актуальним є розроблення наукових основ і практичних рекомендацій щодо добору сортів *Salix viminalis* L., які найбільш придатні для вирощування у Правобережному Лісостепу України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Загострення екологічних проблем спонукає світову спільноту до пошуку шляхів виробництва та використання відновлювальних джерел енергії [7, 8]. Підтвердженням цього слугує підписання Паризької Кліматичної Угоди [9], яка передбачає уповільнення темпів зростання середньорічної температури через приведення в другій половині XXI століття викидів парникових газів (ПГ) до рівня, який природа здатна переробляти без шкоди для себе [9, 13]. З цією метою передбачається щорічно залучати \$100 млрд. для заміни традиційних джерел енергії відновлювальними.

Україна щорічно імпортує викопні енергоносії майже на \$15 млрд., водночас в нашій державі ще недостатньо повно використовується потенціал відновлювальних джерел енергії [11]. Позитивом є те, що динаміка останніх років засвідчує збільшення частки відновлювальних

джерел енергії (ВДЕ) в енергобалансі країни. Так, якщо в 2012 році обсяги заміщення природного газу біопаливом становили лише 1,1 млрд. м³, то у 2020 р. — 5,2 млрд. м³ [12]. Однак це значно менше від загальносвітового рівня, адже частка біоенергетики в структурі світового енергоспоживання перевищує 16 відсотків.

Враховуючи сприятливі ґрунтово-кліматичні умови для вирощування рослин, найбільш перспективним видом біоенергетики для України є фітоенергетика, яка базується на сировині рослинного походження. До основних переваг рослинної біомаси як джерела енергії можна віднести екологічну чистоту викидів, відсутність негативного впливу на баланс вуглекислого газу в атмосфері. 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 [13]. Побічним продуктом в процесі виробництва рідкого та газоподібного біопалива й у результаті згорання твердого біопалива є органічна речовина, яку можна використовувати в якості добрив [14].

Мета досліджень — підібрати сорти верби прутувидної, що найбільш придатні для вирощування у Правобережному Лісостепу та встановити оптимальні терміни заготівлі їх біомаси.

Матеріали та методи досліджень. Дослідження проводилися на Дослідному полі ІБКЦБ НААН в с. Ксаверівка Друга Білоцерківського району Київської області.

Ґрунт дослідної ділянки — вилугуваний чорнозем. Плантації восьми сортів верби прутувидної були створені навесні 2015 року однорічними живцями. Схема садіння: 0,75x1,50x0,75 м; густина садіння — 15,0 тис. шт./га.

Після досягнення насадженьми 6 і 8-річного віку, за загальноприйнятими в рослинництві методиками, проводилися дослідження збереженості рослин та їхніх морфометричних показників. Також за традиційними методиками досліджувалась їхня однорічна поросль, що відросла після зрізання плантацій у 6 і 8-річному віці [17].

Результати досліджень. Проведені навесні 2021 року дослідження шестирічних плантацій досліджуваних сортів верби прутувидної за схеми садіння 0,75x1,50x0,75 м і густоти 15,0 тис. шт./

Таблиця 1

Показники росту та продуктивності шестирічних плантацій деяких іноземних сортів за густоти садіння 15,0 тис. шт./га

Сорт, країна	Кількість пагонів, шт.	Середня висота пагонів, м	Середній діаметр пагона на висоті 1,3 м, см	Сира маса одного куща, кг	Урожайність, т/га		Середній приріст сухої біомаси за 1 рік, т/га
					сира	суха	
Marzencinski, Польща	2,6	7,0±0,15	3,1±0,19	3,3±0,47	41,2	20,60	3,43
Gigantea, Польща	3,6	7,0±0,18	2,5±0,12	2,3±0,20	27,6	13,8	2,30
Warm-maz, Польща	4,2	6,7±0,24	2,3±0,18	2,1±0,26	17,2	8,60	1,43
Wilhelm, Швеція	1,4	7,8±0,17	4,0±0,17	5,1±0,48	63,7	31,85	5,31
Inger, Швеція	1,6	7,7±0,29	3,7±0,40	6,1±1,27	76,2	38,1	6,35
Tordis, Швеція	2,0	5,9±0,20	2,5±0,27	2,7±0,47	22,5	11,3	1,88

Таблиця 2

Показники росту та продуктивності однорічної біомаси, що виросла після зрізання шестирічних плантацій деяких іноземних сортів за густоти садіння 15,0 тис. шт./га

Сорт	Показники росту та продуктивності однорічної біомаси					Середній приріст сухої біомаси за 7 років, т/га/рік
	Кількість пагонів на 1 кущ, шт.	Середня висота куща, м	Сира маса одного куща, кг	Урожайність, т/га/рік		
				сиря	суха	
Marzencinski	14,4	2,7±0,14	1,105	13,8	6,9	3,9
Gigantea	14,8	2,3±0,08	0,920	11,0	5,5	2,8
Warm-maz	14,8	2,0±0,04	0,610	7,3	3,7	1,8
Wilhelm	9,2	2,4±0,12	0,825	9,9	5,0	5,3
Inger	16,0	3,0±0,11	1,335	16,0	8,0	6,6
Tordis	8,4	2,1±0,14	0,495	5,9	3,0	2,0

га, які зростали без зрізування надземної частини й без удобрення, показали, що, крім сорту «Тора», в досліджуваних умовах можна з успіхом вирощувати також інші сорти шведської селекції, зокрема «Інгер» та «Вільгельм» і що значно вищу врожайність біомаси забезпечує трирічний цикл її заготівлі (табл. 1).

Як видно з наведених даних, за проведення першої заготівлі біомаси після шести років вирощування енергетичних плантацій, урожайність виявилася значно нижчою, ніж у сортів «Тора» і «Тернопільська» [13, 14, 15, 16, 18].

Найвища щорічна продуктивність за шестирічного циклу заготівлі біомаси виявилася у сортів «Інгер» та «Вільгельм» — 6,35 та 5,31 т/га у рік, що еквівалентно 101,6 та 85,0 ГДж/га, у той час як у сортів «Тора» і «Тернопільська», які вирощувалися за трирічного циклу заготівлі, — 16,67 та 13,52 т/га у рік, а вихід енергії — 266,7 та 216,3 ГДж у рік, відповідно.

Проведені навесні 2022 року дослідження семирічних плантацій досліджуваних сортів верби прутovidної підтвердили доцільність використання культиварів «Інгер» та «Вільгельм» (табл. 2).

Дослідження 2022 року показали, що приріст однорічної біомаси, яка виросла з пеньків після зрізання шестирічних рослин, у п'яти з шести досліджуваних сортів значно переважає середній річний приріст, розрахований за весь період існування плантацій (за 7 років), що вказує на доцільність зменшення віку заготівлі біомаси в таких насадженнях.

Проведені навесні 2023 року дослідження восьмирічних плантацій семи іноземних сортів верби прутovidної та одного вітчизняного показали, що, порівняно з попереднім роком, середній приріст сухої біомаси продовжує зменшуватись, що вказує на недоцільність їх вирощувати до такого віку (табл. 3).

Як видно з наведених даних, не див-

лячись на філогенетичну близькість досліджуваних культиварів до віку 8 років, вони суттєво відрізняються між собою за морфометричними характеристиками, збереженістю рослин та урожайністю енергетичної біомаси.

Найбільшою куцистістю характеризуються рослини сортів «Gigantea» (7,2 пагонів на 1 кущ) та «Wilhelm» (6,0 пагонів на 1 кущ). Найбільшою середньою висотою рослин відзначаються культивари «Тора» (6,78±0,47 м) та «Inger» (6,64±0,25 м), а найвищі показники збереженості має вітчизняний сорт «Тернопільська» (75,0%) та шведський сорт «Wilhelm» (73,3%).

Найвищою врожайністю сухої енергетичної біомаси характеризується культивар «Тора» — 58,05 т/га, або 7,26 т/га за рік. Також високою врожайністю біомаси відзначаються культивари «Тернопільська» (38,64т/га), «Inger» (36,90 т/га) та «Wilhelm» (31,10 т/га), що вказує на доцільність їх використання для створення енергетичних плантацій в умовах Правобережного Лісостепу.

Як відзначалося в попередніх звітах, за проведення першої заготівлі біомаси верби після шести-восьми років вирощування врожайність виявилася значно нижчою, ніж у сортів «Тора» і «Тернопільська», які зростають у тих самих умовах і мають однаковий вік, але періодичність заготівлі біомаси яких була трирічною. Зокрема, як видно з даних таблиці 3.2, лише протягом другого трирічного циклу їхня врожайність становила, відповідно, 65,3 та 55,6 т/га сухої біомаси.

Очевидно, що в досліджуваних умовах трирічна циклічність збору врожаю енергетичної біомаси буде оптимальною й для інших сортів, задіяних у дослідженнях.

Певним підтвердженням цього є те, що однорічні пагони, що відросли зі зрізаних 6–7-річних насаджень мають значно вищу врожайність за 1 рік, ніж попереднє покоління плантацій (табл. 4).

Аналіз наведених у табл. 4 даних вказує на те, що рослини нового покоління плантацій досліджуваних сортів мають значно більшу куцистість — від 8,4 до 14,8 пагонів на 1 кущ. Найбільшою середньою висотою, як і в попереднього покоління плантацій, відзначається сорт «Inger» (3,0±0,11 м), що має й найбільшу середню масу рослин (1,335 кг), і найвищу продуктивність (8,0 т/га/рік).

При цьому також значно зросла продуктивність однорічної біомаси сортів польської селекції «Marzencinski» (6,9 т/га/рік) та «Gigantea» (5,5 т/га/рік), які теж можна розглядати як перспективні для вирощування в регіоні досліджень.

Висновки та перспективи подальших пошуків

1. Окремі агротехнічні заходи, зокрема, добір відповідних сортів та оптимізація циклічності заготівлі біоенергетичної вербової маси суттєво впливають на біо-

Таблиця 3

Показники росту та продуктивності біомаси восьмирічних плантацій сортів верби прутovidної за густоти садіння 15,0 тис. шт./га

Сорт	Кількість пагонів на 1 кущ, шт.	Середня висота куща, м	Сира маса одного куща, кг	Збереженість рослин, %	Урожайність, т/га		Середній приріст сухої біомаси за 8 років, т/га/рік
					сиря	суха	
Gigantea	7,2	4,70±0,28	3,26	39,1	19,1	9,55	1,19
Warm-maz	3,8	5,90±0,15	4,67	57,1	40,0	20,00	2,50
Wilhelm	6,0	5,90±0,15	5,66	73,3	62,2	31,10	3,89
Inger	5,6	6,64±0,25	12,65	38,9	73,8	36,90	4,61
Tordis	2,1	4,97±0,18	3,67	40,0	22,0	11,00	1,38
Тернопільська	4,7	5,70±0,35	6,87	75,0	77,3	38,64	4,83
Tora	3,7	6,78±0,47	11,38	68,0	116,1	58,05	7,26

метричні показники рослин верби прутувидної та на її врожайність.

2. Із шести досліджуваних сортів верби прутувидної, найвища щорічна продуктивність за шести- і восьмирічного циклу заготівлі біомаси виявилася в сортів «Інгер» та «Вільгельм» — 6,35 та 5,31 т/га у рік, що еквівалентно 101,6 та 85,0 ГДж/га. Приріст однорічної біомаси, яка відросла з пеньків після зрізання шести- і восьмирічних рослин, у п'яти з шести досліджуваних сортів значно переважає середній річний приріст, розрахований за весь 6–8-річний період вирощування плантацій, що вказує на доцільність зменшення періоду заготівлі біомаси в таких насадженнях до трьох років.

3. Найвищою врожайністю сухої енергетичної біомаси за восьмирічного циклу вирощування характеризується культивар «Тога» — 58,05 т/га. Також високою врожайністю біомаси відзначаються культивари «Тернопільська» (38,64 т/га), «Інгер» (36,90 т/га) та «Вільгельм» (31,10 т/га), що вказує на доцільність їх використання для створення енергетичних плантацій в умовах Правобережного Лісостепу. Перспек-

Показники росту та продуктивності однорічної біомаси, що виростає після зрізання семирічних плантацій деяких іноземних сортів за густоти садіння 15,0 тис. шт./га

Таблиця 4

Сорт	Показники росту та продуктивності однорічної біомаси					Середній приріст сухої біомаси за 7 років, т/га/рік
	Кількість пагонів на 1 кущ, шт.	Середня висота куща, м	Сира маса одного куща, кг	Урожайність, т/га/рік		
				сиря	суха	
Marzencinski	14,4	2,7±0,14	1,105	13,8	6,9	2,46
Gigantea	14,8	2,3±0,08	0,920	11,0	5,5	1,19
Warm-maz	14,8	2,0±0,04	0,610	7,3	3,7	2,50
Wilhelm	9,2	2,4±0,12	0,825	9,9	5,0	3,89
Inger	16,0	3,0±0,11	1,335	16,0	8,0	4,61
Tordis	8,4	2,1±0,14	0,495	5,9	3,0	1,38

тивними для регіону досліджень можна вважати також сорти польської селекції «Marzencinski», «Gigantea».

4. Вивчення досліджуваних культива-

рів верби прутувидної доцільно продовжити для уточнення періодичності заготівлі їх біомаси та динаміки врожайності протягом всього періоду існування плантацій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Khan Z., Ali S., Umar M., Kirikkaleli D., Jiao Z.L. Consumption-based carbon emissions and International trade in G7 countries: The role of Environmental innovation and Renewable energy. *Science Of The Total Environment*. 2020. Vol. 730. № 138945. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.138945
- 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.
- 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
- Aronsson P., and Perttu K. 2001. Willow vegetation filters for wastewater treatment and soil remediation combined with biomass production. *The For. Chron.* 77:293–299.
- 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
- 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
- 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>
- Yi H.T., Feiock R.C., Berry F.S. Overcoming collective action barriers to energy sustainability: A longitudinal study of climate protection accord adoption by local governments. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. 2017. Vol. 79. P. 339-346. DOI: 10.1016/j.rser.2017.05.071
- Головнюк 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.
- Фучило Я.Д. Плантаційне лісовирощування: теорія, практика, перспективи. К.: Логос, 2011. 464 с.
- Фучило Я.Д., Сбитна М.В. Верби України: біологія, екологія, використання: монографія. Видання друге, виправлене і доповнене. К.: ЦП «Компринт», 2017. 259 с.
- Фучило Я.Д., Сінченко В.М., Вокальчук Б.М., Іванюк І.Д. Продуктив-

ність енергетичних плантацій верби прутувидної впродовж другого трирічного циклу вирощування: монографія. Житомир: НОВОград, 2022. 140 с.

16. Фучило Я. Д., Гнал І. В., Ганженко О. М. Ріст і продуктивність деяких сортів енергетичної верби іноземної селекції в умовах Волинського Опілля // Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин. 2018. Т. 14. № 2. С. 230–239.

17. Методологія дослідження енергетичних плантацій верби і тополі: монографія / за ред. члена-кореспондента НААН В.М. Сінченка / [Я.Д. Фучило, В.М. Сінченко, О.М. Ганженко, М.Я. Гументик та ін.]. К.: ТОВ «ЦП «Компринт», 2018. 137 с.

18. 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. Роїк, В.М. Сінченко, Я.Д. Фучило та ін. 346 с.

АНОТАЦІЯ

УДК 662.631:620.952

Продуктивність верби прутувидної залежно від сортових особливостей та періодичності заготівлі біомаси

Я.Д. Фучило, Т.А. Левчук.

Мета. Висвітлено проблему виробництва в Україні твердого біопалива на основі сортів верби прутувидної (*Salix viminalis* L.). Встановлено, що нецільно вирощувати енергетичні плантації сортів даного виду з віком ротації 6–8 років. Більш оптимальним є вік заготівлі біомаси сортів цієї верби кожні три роки. Найвищою врожайністю сухої енергетичної біомаси за восьмирічного циклу вирощування характеризується культивар «Тога» – 58,05 т/га. Також високою врожайністю біомаси відзначаються культивари «Тернопільська» (38,64 т/га), «Інгер» (36,90 т/га) та «Вільгельм» (31,10 т/га), що вказує на доцільність їх використання для створення енергетичних плантацій в умовах Правобережного Лісостепу. Перспективними для регіону досліджень можна вважати також сорти польської селекції «Marzencinski», «Gigantea». Вивчення досліджуваних культиварів верби прутувидної доцільно продовжити задля уточнення періодичності заготівлі їх біомаси та динаміки врожайності протягом усього періоду існування плантацій.

Ключові слова: відновлювальні джерела енергії, біопаливо, верба прутувидна, сортові особливості, вік ротації плантацій.

ABSTRACT

The problem of solid biofuel production in Ukraine based on basket willow varieties (*Salix viminalis* L.) is highlighted. It was established that it is impractical to grow energy plantations of varieties of this species with a rotation age of 6–8 years. It is more optimal to harvest the biomass of varieties of this willow every three years. The cultivar "Tora" is characterized by the highest yield of dry energetic biomass during the eight-year growing cycle – 58.05 t/ha. Cultivars Ternopilska (38.64 t/ha), Inger (36.90 t/ha) and Wilhelm (31.10 t/ha) are also characterized by high biomass yield, which indicates the expediency of their use for the creation of energy plantations in the conditions of the Right Bank Forest Steppe. Varieties of Polish selection 'Marzencinski', 'Gigantea' can also be considered promising for the research region. It is advisable to continue the study of the researched willow cultivars in order to clarify the periodicity of harvesting their biomass and the dynamics of yield during the entire period of existence of the plantations.

Key words: renewable energy sources, biofuel, basket willow, varietal characteristics, age of plantation rotation.