

Продуктивність деяких сортів верби прутоподібної протягом третього трирічного циклу вирощування

Л. Г. Зелінська^{1,2}, Я. Д. Фучило^{2*}

¹ Білоцерківський національний аграрний університет, Соборна площа, 8/1, м. Біла Церква, Київська обл., 09117, Україна

² Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна,
*e-mail: fuchylo_yar@ukr.net

Мета. Установити біометричні показники рослин та продуктивність біомаси енергетичних плантацій верби прутоподібної після третього трирічного циклу вирощування на вилугуваних чорноземах Правобережного Лісостепу за різних схем садіння та норм внесення азотних добрив. **Методи.** Насадження сортів 'Tora' й 'Тернопільська' були створені на дослідному полі Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН (ІБКіЦБ) навесні 2015 року дворядними кулісами. Густота садіння живців становила 12, 15 та 18 тис. шт./га, відстань між рядами – 0,75 м, а між кулісами – 1,50 та 2,50 м. Аміакову селітру (34,5% д. р. азоту) в нормі 100 та 200 кг/га вносили навесні перед початком другого і третього трирічного циклів. На частині площі (контрольний варіант) добрива не використовували. Третій цикл вирощування тривав із березня 2022-го до листопада 2024 року. Встановлювали кількість пагонів, їхню середню висоту, діаметр, а також урожайність трирічної енергетичної біомаси. **Результати.** Урожайність протягом першого трирічного циклу вирощування (2015–2017 рр., без використання добрив) становила 25,1–34,7 т/га ('Tora') та 16,0–27,9 т/га ('Тернопільська'). Впродовж другого циклу її показники були вищими – 65,3 т/га ('Tora') та 55,6 т/га ('Тернопільська'). Внесення 100 і 200 кг/га аміакової селітри сприяло збільшенню врожаїв до 68,1 і 74,1 т/га ('Tora') та 59,3 і 64,9 т/га ('Тернопільська') відповідно. Результати досліджень, проведених у третьому циклі вирощування, показали значний вплив застосованої схеми садіння на густоту енергетичних плантацій. Так, за ширини міжрядь 1,50 м кількість пагонів сорту 'Tora' становила 121,2–178,1 тис. шт./га, а за 2,50 м – 63,1–134,8 тис. шт./га. У верби 'Тернопільська' ці показники були на рівні 59,6–191,4 тис. шт./га та 55,8–149,8 тис. шт./га відповідно. Таку саму залежність спостерігали й за врожайністю. У сорту 'Tora' вона становила 43,1–54,3 т/га за ширини міжрядь 1,50 м та 36,8–50,8 т/га – за 2,50 м; у 'Тернопільської' – 37,5–49,3 та 28,8–39,2 т/га відповідно. Врожайність була найнижчою – 36,8–48,2 т/га ('Tora') та 28,8–42,1 т/га ('Тернопільська') – у варіанті без використання добрив і зростала до 38,2–50,2 т/га ('Tora') та 30,5–45,3 т/га ('Тернопільська') за внесення у ґрунт 100 кг/га аміакової селітри (N₃₅). Збільшення норми вдвічі (N₇₀) сприяло підвищенню врожаю сухої біомаси до 42,6–54,3 т/га ('Tora') та 33,6–47,4 т/га ('Тернопільська'). **Висновки.** Найвищі біометричні показники рослин та продуктивність енергетичної біомаси (54,3 т/га) протягом третього трирічного циклу спостерігали в сорту 'Tora' за відстані між кулісами 1,5 м, густоти садіння живців 15 тис. шт./га та внесення 200 кг/га аміакової селітри (N₃₅). Максимальну продуктивність плантацій верби 'Тернопільська' (49,3 т/га) зафіксовано за тієї самої технології вирощування, але за густоти насаджень 12 тис. шт./га. Загалом проаналізовані показники після третього циклу виявилися нижчими, як порівняти з другим.

Ключові слова: біоенергетика; плантація; верба; сорт; біомаса; технології вирощування; врожайність.

Вступ

Україна значною мірою залежить від імпорту викопних енергоносіїв. Тому будь-які

проблеми із забезпеченням ними негативно впливають на економіку та суспільство загалом [1, 2]. Для розв'язання питань енергетичної стабільності у нашій державі вже не перший рік ведуть активний пошук альтернативних поновлюваних джерел енергії. Одним із найперспективніших напрямів є біоенергетика, яка базується на використанні енергії біомаси, переважно рослинної. Її вирощуван-

Liudmyla Zelinska
<https://orcid.org/0009-0000-1800-5262>
Yaroslav Fuchylo
<https://orcid.org/0009-0002-2669-5176>



© 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.

ня не спричиняє серйозних екологічних проблем, до того ж рослини виділяють значну кількість кисню в атмосферу [3].

Верба – одна з головних енергетичних культур, що набула значного поширення в Європі, Північній Америці та Україні [4, 5]. Її плантації створюють переважно на непридатних для ведення ефективного сільського господарства землях [2, 3, 6]. Ґрунтові умови, а також потенційні можливості культивування на таких площах суттєво різняться між собою. Зокрема, відносно багаті сірі лісові ґрунти є придатнішими для вирощування енергетичної біомаси верби, ніж зв'язно-піщані [7]. Однак навіть їх для отримання позитивних результатів необхідно підживлювати комплексними мінеральними добривами [8], передусім азотними. Деякі українські дослідники вказують, що одноразове внесення аміакової селітри у нормі 70 кг/га діючої речовини на світло-сірих лісових легкосуглинкових ґрунтах сприяє збільшенню приросту біомаси верби за трирічний період на 33–58% [9], а на вилугуваних чорноземах – до 64,7% [10]. Вчені рекомендують застосовувати азотні добрива навесні перед початком відростання пагонів.

Використовуючи мінеральні азотні добрива, необхідно зважати на співвідношення нітратного та нітритного азоту. Оптимальним для вирощування вербової біомаси є таке: 50% NO_3^- до 50% NH_4^+ . Високий уміст нітрату (87,5%) спричиняє зниження приросту [11].

З погляду екології доцільнішим є внесення органічних азотовмісних добрив. Вони, як порівняти з мінеральними, чинять повільнішу, але більш тривалу дію на ріст верби, що було встановлено шведськими дослідниками [12]. Важливим для довкілля варіантом удобрення може бути використання осаду стічних вод [13] або доочищення уже оброблених міських стічних вод видаленням із них вербовими плантаціями азоту, фосфору та інших забруднювачів [14, 15]. Перспективним є також застосування комбінованих добрив, зокрема високою продуктивністю біомаси характеризуються ґрунти, збагачені лігніном, мінеральними добривами та інокульовані мікрофітою [16].

Періодичність заготівлі енергетичної біомаси на плантаціях верби становить переважно два-чотири роки [3, 5]. Найчастішим є трирічний цикл [17, 18]. В окремих дослідженнях періодичність була комбінованою: третя та восьма ротації – чотирирічні, а решта – трирічні [19]. У певних умовах продуктивнішими можуть бути дворічні цикли заготівлі [7].

У переважній більшості наведених вище публікацій досліджували форми та гібриди верби прутopodobної (*Salix viminalis* L.). Вказаний вид, завдяки інтенсивному росту й накопиченню великих обсягів біомаси, набув значного поширення в насадженнях різного типу, зокрема – на енергетичних плантаціях. Цьому сприяв також кількостірічний досвід його культивування з метою отримання матеріалу для виготовлення плетених виробів [4].

Нині на основі *S. viminalis* створено велику кількість сортів, які суттєво відрізняються між собою за екологічними, морфологічними, фенологічними й іншими ознаками та мають неоднакову інтенсивність зростання й накопичення біомаси в тих чи інших регіонах України.

Мета досліджень – установити біометричні показники рослин та продуктивність біомаси енергетичних плантацій верби прутopodobної після третього трирічного циклу вирощування на вилугуваних чорноземах Правобережного Лісостепу за різних схем садіння та норм внесення азотних добрив.

Матеріали та методика дослідження

Дослідження виконували на дослідному полі Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН (с. Ксаверівка Друга, Білоцерківський р-н, Київська обл.) упродовж третьої трирічної ротації (2022–2024 рр.) енергетичних плантацій сортів 'Tora' й 'Тернопільська'. Перший з них – гібрид верби Шверіна (*Salix Schwerinii* E.Wolf) з вербою прутopodobною (*S. viminalis*), одержаний у Швеції [20], а другий – сорт верби прутopodobної, виведений в Україні та внесений до Державного реєстру сортів у 2003 році (А. с. № 04194).

Насадження було створено навесні 2015 року однорічними живцями, закладеними дворядними кулісами. Відстань між рядами в кулісі становила 0,75 м, а між кулісами – 1,50 та 2,50 м за варіантів густоти 12, 15 та 18 тис. шт./га.

Ґрунт – типовий глибокий малогумусний середньосуглинковий грубопилуватий чорнозем із кислотністю ($\text{pH}_{\text{водне}}$) 6,5, вмістом гумусу 3,05%, лужногідролізованого азоту (за Корнфільдом) – 0,176 г/кг, рухомого фосфору (за Чириковим) – 0,189, рухомого калію – 0,113 г/кг ґрунту. Його обробіток проводили восени 2014 року на глибину 16–18 см. Передсадивне розпушування виконували навесні, до ручного висаджування живців. Добрива у процесі створення насаджень не використовували. Надалі, навесні 2018 та 2021 рр., тобто перед початком кожного наступного три-

річного циклу, коли ще відсутня надземна частина рослин, вносили аміакову селітру (34,5% д. р. азоту) в нормі 100 і 200 кг/га. Контроль – без добрив. Площа дослідної ділянки становила 100 м², облікової – 50 м². Розміщення ділянок – рендомізоване, повторність – триразова.

До початку досліджень у насадженнях було проведено дві заготівлі трирічної біомаси в осінньо-зимові періоди 2017–2018 та 2018–2020 рр.

Температура повітря упродовж третього трирічного циклу вирощування енергетичної

біомаси (2021–2023 рр.) була значно вищою, ніж середня багаторічна (табл. 1). Так, її усереднені значення за 2021 рік становили 8,7 °С, за 2022-й – 10,4 °С, а за 2023-й – 10,2 °С, тобто переважали норму на 16,0–38,7%, а у вегетаційний період (квітень – вересень) – на 4,2–16,1%. Водночас третій цикл вирощування характеризувався нижчою, як порівняти з середньою багаторічною, кількістю опадів протягом вегетації. Якщо їхня сума у 2021 р. в регіоні досліджень переважала норму на 3,4%, то у 2022 та 2023 рр. становила відповідно 89,6 і 92,9% від неї, або 471,2 та 488,8 мм.

Таблиця 1

Погодні умови регіону досліджень протягом третього трирічного циклу вирощування енергетичних плантацій верби прутоподібної

Місяць	Кількість опадів, мм				Температура повітря, °С			
	2021	2022	2023	Середні багаторічні	2021	2022	2023	Середні багаторічні
Січень	56,6	35,3	13,8	36	-2,5	-0,7	0,1	-5,9
Лютий	47,6	8,6	24,5	33	-4,6	2,3	-0,7	-4,4
Березень	20,0	9,4	27,3	29	1,8	3,0	4,7	0,3
Квітень	36,8	72,8	101,3	40	7,4	9,4	8,7	8,4
Травень	132,0	23,9	5,4	55	13,9	14,6	14,8	14,9
Червень	46,3	34,5	20,8	63	19,9	21,4	19,0	17,8
Липень	74,0	38,7	105,6	61	23,0	22,1	20,6	19,0
Серпень	54,0	69,2	8,1	39	19,8	24,5	22,6	18,4
Вересень	16,6	68,3	15,6	45	12,7	13,9	18,0	13,8
Жовтень	2,7	29,0	47,0	37	7,2	10,5	11,3	7,8
Листопад	18,0	18,8	75,5	41	3,4	4,5	3,3	2,0
Грудень	39,2	62,7	43,9	47	-0,4	-1,5	-0,6	-2,1
За вегетаційний період	362,4	336,4	303,8	340	14,9	16,6	16,4	14,3
За рік	543,8	471,2	488,8	526	8,7	10,4	10,2	7,5

На початку третього циклу вирощування (весна 2021 року), до розпускання бруньок, у ґрунт досліджуваних плантацій вносили аміакову селітру (N_{35} , N_{70}). На частині площі (контроль) добрива не використовували. Механізований догляд за ґрунтом вперше проводили одразу після появи сходів бур'янів, а його обробіток гербіцидом Старлент (пропізохлор, 360 г/л + тербутилазин, 190 г/л) у нормі витрати робочого розчину 200 л/га здійснювали в першій половині літа. У середині вегетаційного періоду виконували ще один механізований догляд за ґрунтом, метою якого було запобігти його ущільненню. Наступними роками третього циклу проводили аналогічні заходи, які передбачали дворазову культивування в міжряддях та одноразовий обробіток гербіцидами.

Після завершення вегетаційного періоду трирічні надземні частини рослин вивчали згідно з традиційними методиками дослідження енергетичних плантацій верб і тополь [21]. Висоту пагонів (не менше ніж 30 пагонів на кожній обліковій ділянці) вимірювали за допомогою мірної рейки з точністю до 1 см, а діаметри – електронним штангенцир-

кулем із точністю до 0,1 мм. Свіжозаготовлену біомасу зважували портативними електронними вагами-кантером 50kg ВІТЕК ВТ-601. Для визначення вологості біомаси відбирали зразки масою 100 г і в лабораторних умовах встановлювали вміст абсолютно сухої біомаси та переводили одержані показники на 1 га. Обробку отриманих результатів проводили, використовуючи пакет Statistika 6.0.

Результати досліджень

Урожайність у варіантах протягом першого трирічного циклу (2015–2017 рр.) залежно від густоти садіння та схеми дослідів становила 25,1–34,7 т/га ('Tora') та 16,0–27,9 т/га ('Тернопільська') [22], а після завершення другого значно підвищилася – до 48,5–65,3 т/га ('Tora') та 31,8–56,8 т/га ('Тернопільська'). Внесення азотних добрив перед початком другого трирічного циклу заготівлі врожаю (весна 2018 року) сприяло ще більшому зростанню цього показника. Так, за використання 100 кг/га аміакової селітри (N_{35}) вихід сухої біомаси підвищився до 68,1 т/га ('Tora') та 59,3 т/га ('Тернопільська'), а за 200 кг/га – до 74,1 т/га ('Tora') та 64,9 т/га ('Тернопільська') [23].

Дослідження, проведені протягом 2021–2023 рр., показали, що плантації верби прутоподібної і у третьому циклі вирощування суттєво відрізнялися за сортовими особливостями та застосованими елементами технології: схемою та густотою садіння й нормами внесення азотних добрив. Ці чинники істотно позначилися на всіх роз-

глянутих показниках: кількості пагонів на 1 га, їхній середній висоті та середньому діаметрі, а також урожайності енергетичної біомаси.

Вплив застосованих елементів технології створення досліджуваних насаджень на кількість трирічних пагонів на 1 га представлено на рисунках 1 і 2.

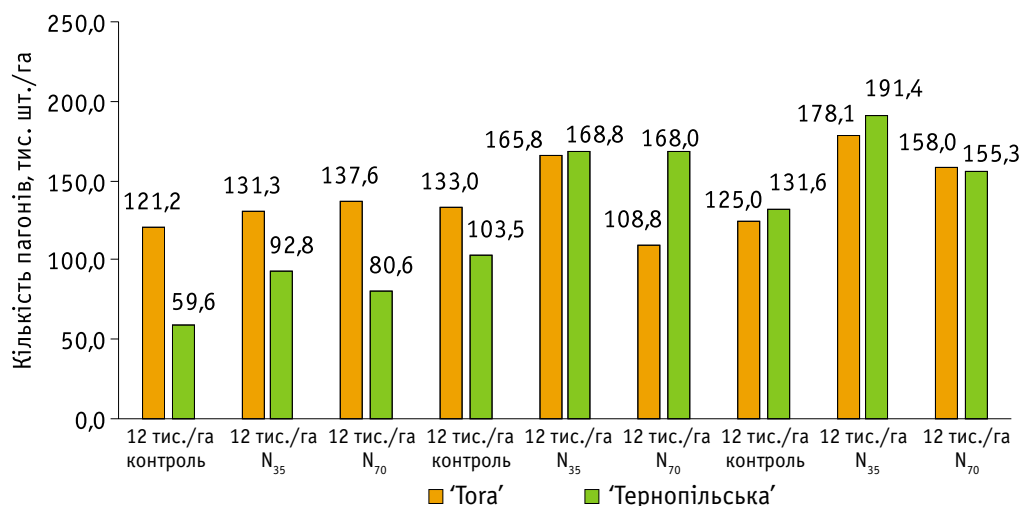


Рис. 1. Кількість пагонів після третього трирічного циклу вирощування енергетичних плантацій верби прутоподібної (2023 р.) залежно від густоти насаджень, внесення азотних добрив за схеми садіння $0,75 \times 1,50 \times 0,75$ м (НІР_{0,05} – 9,17 тис. шт./га)

За незначним винятком, більшій початковій густоті садіння відповідала більша кількість пагонів на 1 га. Так, у насадженнях 'Тора' в контролі протягом третього циклу їх утворилося 121,2 тис. шт./га за густоти 12 тис. шт./га, 133,0 тис. шт./га – за 15 тис. шт./га, 125,0 тис. шт./га – за 18 тис. шт./га. Водночас два останні показники перебували у межах точності дослідження. У сорту 'Тернопільська' серед контрольних варіантів достовірно найбільшу кількість пагонів – 103,5 тис. шт./га – сформовано за густоти садіння 15 тис. шт./га (рис. 1).

Внесення азотних добрив, особливо використання меншої норми (35 кг діючої речовини на 1 га), сприяло суттєвому зростанню кількості пагонів на 1 га: на 24,7% у сорту 'Тора' та на 45,4% в 'Тернопільській'.

Схема садіння також істотно вплинула на кількість пагонів на 1 га. Так, у сорту 'Тора' їх утворилося 121,2–178,1 тис. шт./га за відстані між кулісами, що становила 1,50 м, та 63,1–134,8 тис. шт./га – за 2,50 м. У 'Тернопільській' в першому варіанті густота варіювала в межах 59,6–191,4 тис. шт./га, а в другому – 55,8–149,8 тис. шт./га.

За більшої відстані між кулісами зменшується відстань між рослинами в рядах. Вони починають сильніше конкурувати між собою за світло, вологу та поживні речовини, від-

бувається їхнє ослаблення та/або відмирання. Цим можна пояснити суттєве зниження кількості пагонів на одиницю площі за використання міжрядь завширшки 2,5 м.

На відміну від отриманих у цьому дослідженні даних, наприкінці другої ротації кількість пагонів сорту 'Тора' була дещо меншою та становила від 77,0 тис. шт./га у контрольному варіанті до 85,5 тис. шт./га за внесення 200 кг/га аміакової селітри (N₇₀). Значно поступалися за цим показником і плантації сорту 'Тернопільська' – 89,5–106,0 тис. шт./га [23].

Аналіз показників середньої висоти продемонстрував, що протягом третього циклу вирощування вони були більшими в рослин сорту 'Тора', окрім плантацій із густотою садіння 18 тис. шт./га (рис. 3 і 4). Їхні середні значення у різних варіантах густоти та удобрення за схеми садіння $0,75 \times 1,50 \times 0,75$ м становили 3,1–4,5 м ('Тора') та 3,2–4,1 м ('Тернопільська'), а за $0,75 \times 2,50 \times 0,75$ м – 3,7–4,7 м ('Тора') та 2,6–4,3 м ('Тернопільська').

Отримані дані вказують на наявність тісної прямої залежності між удобренням плантацій і середньою висотою рослин, яка зростала зі збільшенням норми внесення аміакової селітри.

Максимальну середню висоту за обох схем садіння досліджувані сорти продемонструва-

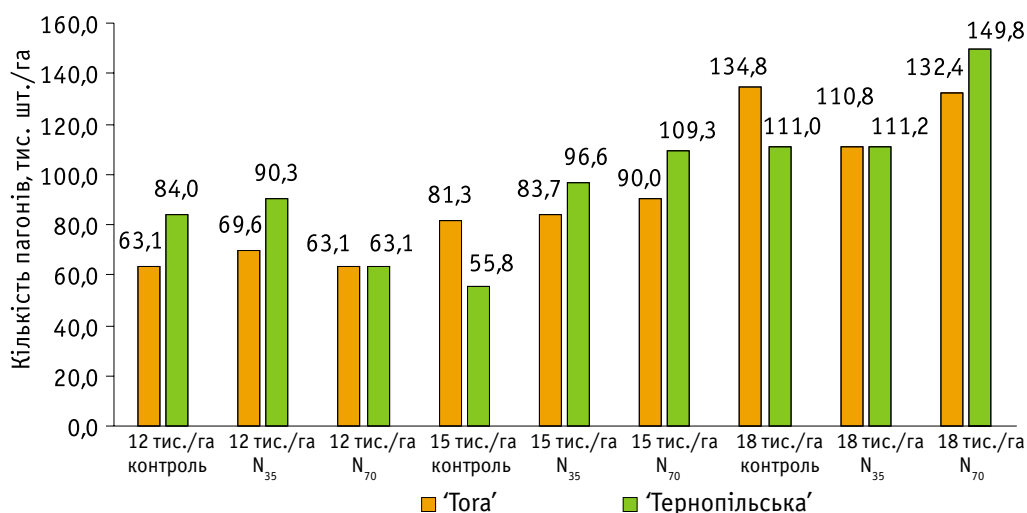


Рис. 2. Кількість пагонів після третього трирічного циклу вирощування енергетичних плантацій верби прутоподібної (2023 р.) залежно від густоти насаджень, внесення азотних добрив за схеми садіння $0,75 \times 2,50 \times 0,75$ м ($HIP_{0,05} = 8,97$ тис. шт./га)

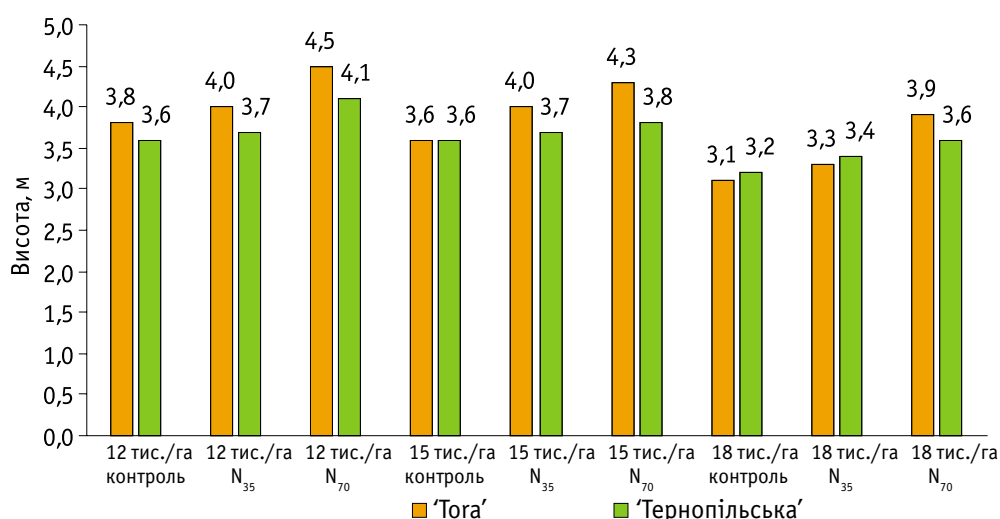


Рис. 3. Середня висота кущів третього циклу вирощування енергетичних плантацій верби прутоподібної (2021–2023 рр.) залежно від їхньої початкової густоти, внесення азотних добрив та схеми садіння $0,75 \times 1,50 \times 0,75$ м ($HIP_{0,05} = 0,15$ м)

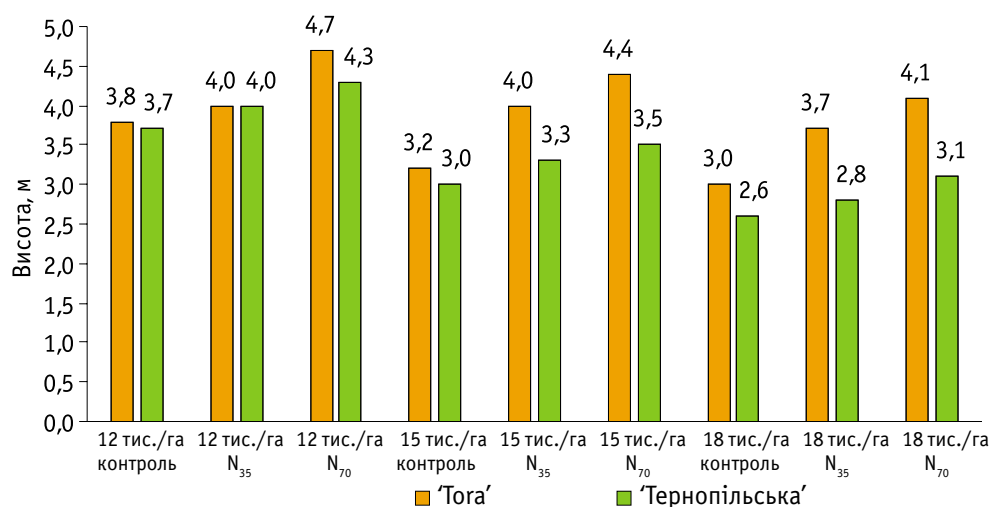


Рис. 4. Середня висота кущів третього циклу вирощування енергетичних плантацій верби прутоподібної (2021–2023 рр.) залежно від їхньої початкової густоти, внесення азотних добрив та схеми садіння $0,75 \times 2,50 \times 0,75$ м ($HIP_{0,05} = 0,17$ м)

ли у варіантах із густотою насаджень 12 тис. шт./га (мінімальна). Так, у верби 'Tora' за норми внесення добрив N_{70} вона варіювала в межах 4,5–4,7 м, а в 'Тернопільській' – 4,1–4,3 м. Зі збільшенням густоти садіння до 18 тис. шт./га (максимальна) середня висота знижувалася й становила 3,9–4,1 м у 'Tora' та 3,1–3,6 м в 'Тернопільській'.

Отримані дані вказують на те, що значно нижчі рослини формувалися протягом третьої ротації, як порівняти з другою, висота впродовж якої становила від 6,38 до 6,98 м у

сорт 'Tora' та від 5,90 до 6,60 м у 'Тернопільській' відповідно [23]. Це можна пояснити менш сприятливими погодними умовами останніх років.

Найбільший середній діаметр пагонів біля основи – 25,80 мм – був у рослин сорту 'Tora' за густоти насаджень 15 тис. шт./га, а найменший – 13,97 мм – в 'Тернопільській' за максимальної густоти та схеми садіння $0,75 \times 2,50 \times 0,75$ м (рис. 5). Загалом сорт 'Tora' переважав 'Тернопільську' за цим показником в 11 випадках із 12.

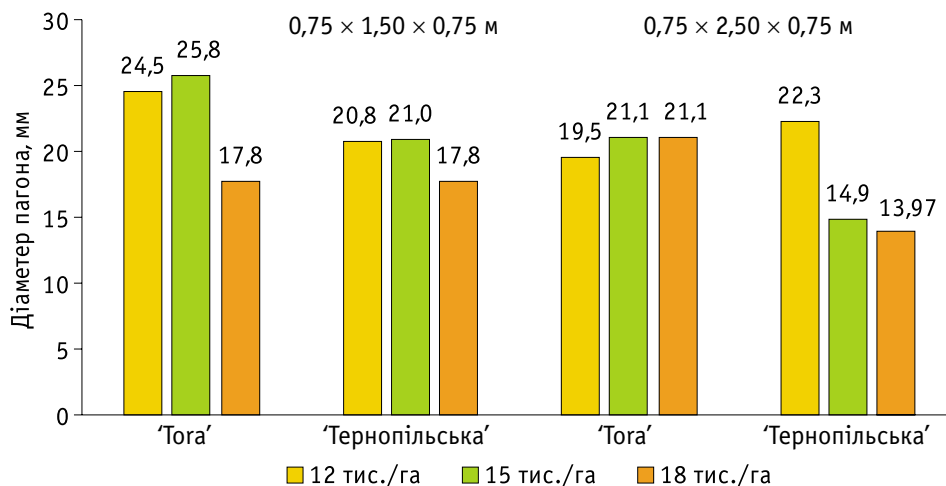


Рис. 5. Середній діаметр пагонів енергетичних плантацій верби прутоподібної третього циклу вирощування (2021–2023 рр.) залежно від їхньої початкової густоти, схеми садіння та сортових особливостей ($HIP_{0,05} = 1,86$ мм)

За збільшення густоти насаджень простежувалася тенденція до зменшення діаметра пагонів. Водночас на нього суттєво не вплинули застосовані в дослідженні норми аміакової селітри, які, однак, посприяли значному зростанню врожайності енергетичної біомаси (рис. 6 і 7).

Як видно з наведених даних, найнижчу врожайність за обох схем садіння зафіксовано на контрольних ділянках, без використання добрив – 36,8–48,2 т/га ('Tora') та 28,8–42,1 т/га ('Тернопільська'). Її показники зростали за внесення у ґрунт 100 кг/га аміакової

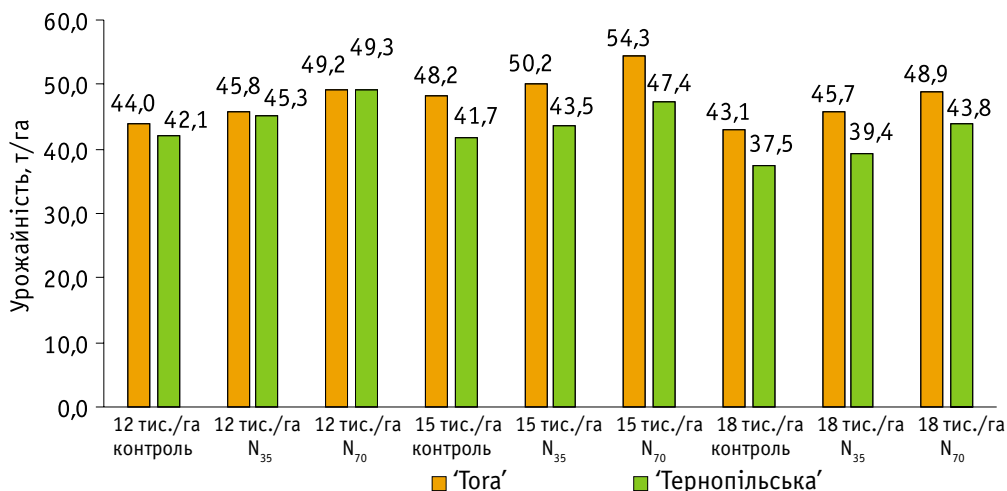


Рис. 6. Урожайність сухої речовини верби прутоподібної після третього трирічного циклу вирощування (2021–2023 рр.) залежно від густоти насаджень, внесення азотних добрив за схеми садіння $0,75 \times 1,50 \times 0,75$ м ($HIP_{0,05} = 1,47$ т/га)

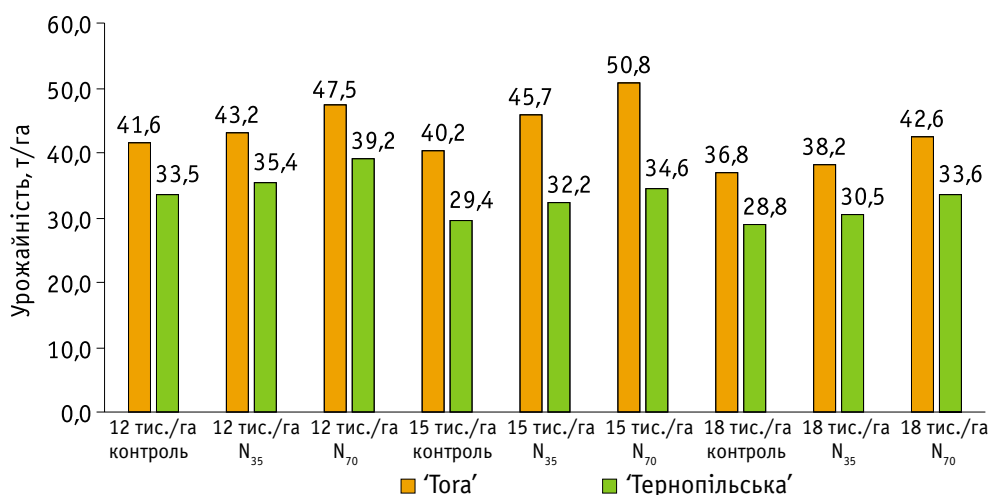


Рис. 7. Урожайність сухої речовини верби прутоподібної після третього трирічного циклу вирощування (2021–2023 рр.) залежно від густоти насаджень, внесення азотних добрив за схеми садіння $0,75 \times 2,50 \times 0,75$ м (НІР_{0,05} – 1,34 т/га)

селітри (N₃₅) – до 38,2–50,2 т/га ('Tora') та 30,5–45,3 т/га ('Тернопільська'). Збільшення норми вдвічі (N₇₀) сприяло підвищенню врожаю сухої біомаси до 42,6–54,3 т/га ('Tora') та 33,6–47,4 т/га ('Тернопільська').

Отже, врожайність досліджуваних сортів упродовж третьої ротації загалом була суттєво нижчою, порівнюючи з другою, коли продуктивність на контрольних ділянках варіювала в межах 48,5–65,3 т/га ('Tora') та 31,8–60,5 т/га ('Тернопільська'), а за внесення добрив – 68,1–74,1 т/га ('Tora') та 59,3–64,9 т/га ('Тернопільська') [23]. Врожайність біомаси протягом першої ротації (без використання добрив) значно поступалася показникам третьої і становила 25,1–34,7 т/га ('Tora') та 16,0–27,9 т/га ('Тернопільська') [22]. Схожу тенденцію до зменшення врожайності упродовж третьої ротації, як порівняти з другою, зафіксували й американські вчені в процесі 24-річного дослідження 19 сортів верби [19].

Висновки

1. Дослідження врожайності біомаси енергетичних плантацій верби прутоподібної третього циклу вирощування показали, що у варіантах без внесення добрив вона становила 36,8–48,2 т/га ('Tora') та 28,8–42,1 т/га ('Тернопільська'). Це суттєво менше, ніж у другому циклі, продуктивність упродовж якого варіювала в межах 48,5–65,3 т/га ('Tora') та 31,8–56,8 т/га ('Тернопільська'), але більше, порівнюючи з першим, коли показники залежно від густоти садіння та схеми досліду були на рівні 25,1–34,7 т/га ('Tora') та 16,0–27,9 т/га ('Тернопільська').

2. Кількість пагонів на одиницю площі енергетичних плантацій верби третього циклу істотно залежала від схеми садіння. Зокрема, в

насадженнях сорту 'Tora' вона становила 121,2–178,1 тис. шт./га за схеми $0,75 \times 1,50 \times 0,75$ м та 63,1–134,8 тис. шт./га – за $0,75 \times 2,50 \times 0,75$ м. У верби 'Тернопільська' ці показники змінювалися в межах 59,6–91,4 тис. шт./га та 55,8–149,8 тис. шт./га відповідно, що вказує на доцільність використання першого варіанту. Кількість пагонів зростала, як порівняти з контролем, завдяки внесенню добрив – на 24,7% у 'Tora' та на 45,4% в 'Тернопільській'. Схеми садіння не мали суттєвого впливу на середню висоту пагонів. Водночас їхній усереднений діаметр був найбільшим (25,80 мм) у сорту 'Tora' за густоти насаджень 15 тис. шт./га, а найменшим (13,97 мм) – у 'Тернопільській' за максимальної густоти та схеми садіння $0,75 \times 2,50 \times 0,75$ м. Урожайність у контрольних варіантах становила 36,8–48,2 т/га ('Tora') та 28,8–42,1 т/га ('Тернопільська'). За внесення 100 кг/га аміакової селітри (N₃₅) вона зростала до 38,2–50,2 т/га ('Tora') та 30,5–45,3 т/га ('Тернопільська'), а за норми N₇₀ – до 42,6–54,3 т/га ('Tora') та 33,6–47,4 т/га ('Тернопільська'). Отже, рослини сорту 'Tora' переважали 'Тернопільську' як за біометричними показниками, так і за продуктивністю біомаси.

3. Оптимальними елементами технології для сорту 'Tora' протягом третього трирічного циклу вирощування енергетичної біомаси були такі: схема садіння з відстанню між кулісами 1,5 м, густота садіння живців, що становила 15 тис. шт./га, і внесення у ґрунт перед початком циклу 200 кг/га (N₇₀) аміакової селітри. Це забезпечило врожайність на рівні 54,3 т/га. Максимальні показники продуктивності плантацій сорту 'Тернопільська' (49,3 т/га) зафіксовано за тих самих елементів технології вирощування, але за густоти садіння 12 тис. шт./га.

References

1. On Energy Efficiency: Law of Ukraine of October 21, 2021 No. 1818-IX. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20#Text> [In Ukrainian]
2. Sinchenko, V. M. (Ed.). (2023). *Energy willow: technology of cultivation and use*. TVORY. [In Ukrainian]
3. Humentyk, M. Ya. (Ed.). (2024). *Technology of growing bioenergy crops*. Kompynt. [In Ukrainian]
4. Hordienko, M. I., Fuchylo, Ya. D., & Goychuk, A. F. (2002). *Shrub willows of the plain part of Ukraine*. IAE UAAN. [In Ukrainian]
5. Fuchylo, Ya. D., Zelinskyi, B. V., Ivaniuk, I. D., & Zelinska, L. H. (2023). *Growing energy willow plantations on marginal lands of Kyiv Polissia*. NOVOhrad. [In Ukrainian]
6. Matyka, M., & Radzikowski, P. (2020). Productivity and biometric characteristics of 11 varieties of willow cultivated on marginal soil. *Agriculture*, 10(12), Article 616. <https://doi.org/10.3390/agriculture10120616>
7. Shevchuk, R. V., Rovna, H. F., Fuchylo, Y. D., & Zelinsky, B. V. (2021). Formation of productivity of willow energy plantations at different levels of soil fertility under conditions of Western Polissia. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 27, 123–130. <https://doi.org/10.47414/np.27.2019.211177> [In Ukrainian]
8. Lys, N. M., Tkachuk, N. L., & Ivanyuk, R. S. (2018). Research of influence of growing technology elements on biometrical indexes of energywillow in the western region. *Podilian Bulletin: Agriculture, Engineering, Economics*, 29, 33–39. [In Ukrainian]
9. Gnap, I. V. (2019). *Introduction of energy willow varieties and improvement of their cultivation technology in Western Polissia* (Candidate dissertation, Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the NAAS of Ukraine). uacademic.info. <https://uacademic.info/ua/document/0419U003652>
10. Vokalchuk, B. M. (2021). *Productivity of energy plantations of willow during the second cycle of cultivation* (Doctoral dissertation, Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the NAAS of Ukraine). uacademic.info. <https://uacademic.info/en/document/0822U100133>
11. Rewald, B., Kunze, M. E., & Godbold, D. L. (2016). NH_4^+ : NO_3^- nutrition influence on biomass productivity and root respiration of poplar and willow clones. *GCB Bioenergy*, 8(1), 51–58. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12224>
12. Dimitriou, I., & Aronsson, P. (2011). Wastewater and sewage sludge application to willows and poplars grown in lysimeters – Plant response and treatment efficiency. *Biomass and Bioenergy*, 35(1), 161–170. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.08.019>
13. Jerbi, A., Kalwahali-Muissa, M., Krygier, R., Johnston, C., Blank, M., Sarrazin, M., Barnabé, S., Laur, J., Labrecque, M., Brereton, N. J. B., & Pitre, F. E. (2023). Comparative wood anatomy, composition and saccharification yields of wastewater irrigated willow cultivars at three plantations in Canada and Northern Ireland. *Biomass and Bioenergy*, 170, Article 106683. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2022.106683>
14. Mohsin, M., Kaipainen, E., Salam, M. M. A., Evstishenkov, N., Nawrot, N., Villa, A., Wojciechowska, E., Kuittinen, S., & Pappinen, A. (2021). Biomass Production and Removal of Nitrogen and Phosphorus from Processed Municipal Wastewater by *Salix schwerinii*: A Field Trial. *Water*, 13(16), Article 2298. <https://doi.org/10.3390/w13162298>
15. Prouzova, N., Kubatova, P., Mercl, F., Szakova, J., Najmanova, J., & Tlustos, P. (2024). Biomass yield and metal phytoextraction efficiency of *Salix* and *Populus* clones harvested at different rotation lengths in the field experiment. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 11, Article 78. <https://doi.org/10.1186/s40538-024-00600-1>
16. Sticha, V., Nuhlicek, O., Bubenik, J., Weger, J., Macků, J., Vanicka, H., & Bažant, V. (2021). Evapotranspiration-tool for seasoning wood of hybrid poplar (*Populus maximowiczii* A. Henry $\times$ *Populus nigra* L. 'Max 4-5') and *Salix* $\times$ *smithiana* Willd. (*Salix caprea* L. and *S. viminalis* L.). *Industrial Crops and Products*, 162, Article 113265. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113265>
17. Borz, 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>
18. Mulyana, B., Vityi, A. & Polgár, A. (2025). Life cycle assessment of bioenergy production from short-rotation coppice plantation in Hungary. *Journal of Forest Science*, 71(5), 237–249. <https://doi.org/10.17221/10/2025-JFS>
19. Santucci, S., Eisenbies, M., & Volk, T. (2024). Yield and survival of 19 cultivars of willow (*Salix* spp.) biomass crops over eight rotations. *Forests*, 15(11), Article 2041. <https://doi.org/10.3390/f15112041>
20. Caslin, B., Finnan, J., & McCracken, A. (Eds). (2012). *Willow Varietal Identification Guide*. Teagasc. https://teagasc.ie/wp-content/uploads/media/website/publications/2012/Willow_Identification_Guide_2012.pdf
21. Sinchenko, V. M. (Ed.). (2018). *Methodology of research of energy plantations of willows and poplars*. Kompynt. [In Ukrainian]
22. Sinchenko, V. M., Fuchylo, Ya. D., & Melnychuk, H. A. (2018). Physiological bases of biomass accumulation of willow energy under the conditions of the Central Forest-Steppe. *Advanced Agritechnologies*, 6. <https://doi.org/10.21498/na.6.2018.165308> [In Ukrainian]
23. Fuchylo, Ya. D., Sinchenko, V. M., Vokalchuk, B. M., & Ivaniuk, I. D. (2022). *Productivity of energy plantations of willow during the second three-year growing cycle*. NOVOhrad. [In Ukrainian]

UDC 662.631:620.952

Zelinska, L. H.^{1,2}, & Fuchylo, Ya. D.^{2*} (2025). Productivity of some varieties of basket willow during the third three-year growing cycle. *Plant Varieties Studying and Protection*, 21(3), 145–153. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.21.3.2025.339317>

¹Bila Tserkva National Agrarian University, Soborna Square, 8/1, Bila Tserkva, Kyiv region, 09117, Ukraine,

²Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine, *e-mail: fuchylo_yar@ukr.net

Purpose. To establish biometric indicators of the productivity of energy plantations of basket willow biomass after the third three-year cultivation cycle on leached chernozems in the Right-Bank Forest-Steppe, under different planting schemes and nitrogen fertiliser application rates. **Methods.** In the spring of 2015, plantings of the 'Tora' and 'Ternopil'ska' varieties were established in two rows on the experimental field of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the NAAS (IBCSB). The planting density of cuttings was 12,

15 or 18 thousand per hectare (ha), with a row-to-row distance of 0.75 m and a row-to-row distance of 1.50–2.50 m. Ammonium nitrate (34.5% nitrogen) was applied at rates of 100 or 200 kg per ha in spring, before the start of the second and third three-year cycles. Fertilisers were not used on part of the area (control variant). The third growing cycle lasted from March 2022 to November 2024. The number of shoots, their average height and diameter, and the yield of three-year energy biomass were determined. **Results.** During the

first three-year growing cycle (2015–2017) without the use of fertilisers, yields ranged from 25.1 to 34.7 t/ha for 'Tora' and from 16.0 to 27.9 t/ha for 'Ternopil'ska'. During the second cycle, these figures increased to 65.3 t/ha ('Tora') and 55.6 t/ha ('Ternopil'ska'). Applying 100 or 200 kg/ha of ammonium nitrate increased yields to 68.1 or 74.1 t/ha ('Tora') and 59.3 or 64.9 t/ha ('Ternopil'ska') respectively. Studies conducted during the third growing cycle revealed a significant impact of the planting scheme on the density of energy plantations. With a row spacing of 1.50 m, the number of 'Tora' shoots was 121.2–178.1 thousand/ha; with a row spacing of 2.50 m, it was 63.1–134.8 thousand/ha. For the 'Ternopil' willow, these figures were 59.6–191.4 thousand shoots/ha and 55.8–149.8 thousand shoots/ha, respectively. The same dependence was observed in terms of yield. For the 'Tora' variety, the yield was 43.1–54.3 t/ha at a row spacing of 1.50 m, and 36.8–50.8 t/ha at 2.50 m. For the 'Ternopil'ska' variety, the yield was 37.5–49.3 t/ha and 28.8–39.2 t/ha respectively. The lowest yields were observed for

'Tora' (36.8–48.2 t/ha) and 'Ternopil'ska' (28.8–42.1 t/ha) in the variant without the use of fertilisers. These increased to 38.2–50.2 t/ha ('Tora') and 30.5–45.3 t/ha ('Ternopil'ska') when 100 kg/ha of ammonium nitrate (N_{35}) was applied to the soil. Doubling the rate to N_{70} contributed to an increase in dry biomass yield to 42.6–54.3 t/ha for 'Tora' and 33.6–47.4 t/ha for 'Ternopil'ska'. **Conclusions.** The highest biometric indicators of plants and energy biomass productivity (54.3 t/ha) during the third three-year cycle were observed in the 'Tora' variety at a distance of 1.5 m between rows, a planting density of 15,000 cuttings/ha, and the application of 200 kg/ha of ammonium nitrate (N_{35}). The maximum productivity of 'Ternopil'ska' willow plantations (49.3 t/ha) was recorded using the same cultivation technology and planting density of 12,000 cuttings/ha. In general, the analyzed indicators after the third cycle were lower than those after the second cycle.

Keywords: *bioenergy; plantation; willow; variety; biomass; cultivation technologies; yield.*

Надійшла / Received 30.06.2025

Погоджено до друку / Accepted 26.08.2025