

УДК 662.631:620.952

## Ріст енергетичних плантацій верби прутоподібної за висотою залежно від агротехніки вирощування і погодних умов протягом третього трирічного циклу вирощування

Л. Г. Зелінська , Я. Д. Фучило\* 

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна

\*Автор для листування: Ярослав Фучило, [fuchylo\\_yar@ukr.net](mailto:fuchylo_yar@ukr.net)

**Цитування:** Зелінська Л. Г., Фучило Я. Д. Ріст енергетичних плантацій верби прутоподібної за висотою залежно від агротехніки вирощування і погодних умов протягом третього трирічного циклу вирощування. *Біоенергетика*. 2025. № 2. С. 25–36. <https://doi.org/10.47414/be.2025.No2.pp25-36>

**Мета.** Установити особливості росту енергетичної верби в умовах Правобережного Лісостепу протягом третього трирічного циклу вегетації залежно від генотипу, норм азотного живлення, густоти та схем садіння живців, а також гідротермічних умов вегетаційного періоду. **Методи.** Дослідження проводили у 2021–2023 рр. на дослідному полі ІБКіЦБ НААН (Київська обл.). Об'єктом вивчення були сорти верби 'Того' та 'Тернопільська'. Схема створення дослідних енергетичних плантацій – дворядними кулісами з відстанню між рядами 0,75 м, а між кулісами – 1,50 м та 2,50 м. Густота садіння рослин: 12, 15 та 18 тис. шт./га. Аміачна селітра вносила одноразово перед початком третього циклу в нормі 35 і 70 кг/га д. р. азоту; контроль – без внесення добрив. **Результати.** Рослини сорту 'Того' у переважній більшості варіантів досліду відзначались дещо більшими показниками висоти, порівняно із 'Тернопільська'. Максимальна їх середня висота після третього року вирощування ( $4,7 \pm 0,24$  м) зафіксована за схеми садіння  $0,75 \times 2,50 \times 0,75$  м у варіанті з густотою 12 тис. шт./га та внесенням 70 кг/га д. р. азоту. За схеми  $0,75 \times 1,50 \times 0,75$  м вона теж була найбільшою за максимальної норми добрив та за найменшої початкової густоти і становила  $4,5 \pm 0,26$  м. Середня висота плантацій сорту 'Тернопільська' після третього року найбільші показники ( $4,1 \pm 0,17$  і  $4,3 \pm 0,12$  м) мала за аналогічних умов, що вказує на доцільність створювати в регіоні досліджень енергетичні плантації верби прутовидної з початковою густотою рослин 12 тис./га і проводити їх підживлення перед початком кожного трирічного циклу азотними добривами в нормі 70 кг д. р. на 1 га. Аналіз величин річних приростів плантацій обох досліджуваних сортів за висотою показав, що у всіх варіантах досліду максимальні показники приростів припадали на 2021 рік – перший рік третього циклу вирощування плантацій. Їх частка становила від 43,2 до 64,5% від загальної висоти трирічних рослин, тоді як у наступні два роки прирости становили лише від 9,1 до 37,8%. Причина цього – достатнє зволоження ґрунту у 2021 році (ГТК = 1,16), тоді як 2022 і 2023 роки були слабкопосушливі (ГТК – 0,96 і 0,88 відповідно), що негативно позначилось на річних приростах досліджуваних сортів у ці роки. Це вказує на важливе значення зволоження ґрунту для забезпечення успішного росту енергетичних плантацій верби, що необхідно враховувати при їх вирощуванні. **Висновки.** Протягом третього трирічного циклу вирощування енергетичних плантацій верби на вилугуваному чорноземі Правобережного Лісостепу на їх висоту і річний приріст за висотою визначальний вплив мають погодні умови вегетації, а також застосовані агротехнічні заходи, зокрема – сортові особливості, внесення азотних добрив і початкова густота насаджень. Вплив схеми садіння на показники росту протягом третього циклу вирощування достовірно не проявлявся.

**Ключові слова:** біоенергетика; енергетична плантація верби; сорт; біомаса; технології вирощування; норми внесення добрив; погодні умови вегетаційного періоду.

Одержано 15.09.2025 • Погоджено 24.11.2025 • Опубліковано онлайн 29.12.2025

© Автор(и), 2025. Видавець Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України. Це стаття відкритого доступу, що розповсюджується на умовах ліцензії CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>), яка дозволяє використання, розповсюдження та відтворення на будь-яких носіях за умови належного цитування оригінальної роботи.



## Вступ

У сучасних умовах надшвидкого розвитку суспільства питання енергетичних ресурсів гостро постає не лише перед економікою України, а й у світовому масштабі. Основні проблеми використання традиційних викопних джерел енергії пов'язані з їх обмеженістю та неповністю. Науковці застерігають, що запаси таких ресурсів є кінцевими, і за відсутності своєчасних рішень уже впродовж наступних пів століття людство може опинитися в умовах глобальної енергетичної кризи [1]. Ще однією серйозною проблемою є глобальні кліматичні зміни. Антропогенний вплив на довкілля, зокрема спалювання викопного палива, спричиняє деградацію екосистем, погіршення стану ґрунтів і водних ресурсів. Під час використання природного газу, нафти та кам'яного вугілля в атмосферу надходять значні обсяги парникових газів, насамперед діоксиду вуглецю, що посилює парниковий ефект і призводить до підвищення температури навколишнього середовища [2].

Для України зазначена проблематика додатково ускладнюється наслідками військових дій, зокрема руйнуванням енергетичної інфраструктури та залежністю держави від імпортованих енергоносіїв. Це зумовлює необхідність активного розвитку власних поновних джерел енергії. Одним із перспективних напрямів є біоенергетика, зокрема вирощування фітомаси біоенергетичних рослин. Для умов України найбільш перспективними культурами є верби, міскантус і тополі. За генетичним різноманіттям особливий інтерес становить рід *Salix L.* – верба. У біоенергетичній сфері переважно використовують вербу прутоподібну (*S. viminalis L.*) та її похідні, які характеризуються високим потенціалом продуктивності, здатністю до багаторазового відростання після зрізування, швидкими темпами росту та широкою адаптивністю до різних ґрунтово-кліматичних умов. Вагомою конкурентною перевагою верби як біоенергетичної культури є можливість її вирощування на малопродуктивних і деградованих землях, непридатних для вирощування сільськогосподарських культур [3, 4].

Окрім енергетичного використання біомаси, верба виконує низку важливих екологічних функцій, зокрема поліпшує структуру ґрунту, сприяє зменшенню викидів парникових газів, стабілізує водний режим і забезпечує фіторе mediaцію забруднених територій. Це особливо актуально в умовах зростання рівня забруднення довкілля важкими металами та іншими токсичними речовинами внаслідок військових дій. Вирощування енергетичної верби також має суттєве соціально-економічне значення, сприяє розвитку сільських територіальних громад, створенню нових робочих місць і підвищенню енергетичної автономії регіонів [5, 6].

У зв'язку з цим дослідження агробіологічних особливостей вирощування енергетичної верби є науково та практично обґрунтованим напрямом і відповідає актуальним тенденціям сталого розвитку та стратегічним потребам України у сфері відновлюваних джерел енергії [7].

Енергетична верба характеризується високою теплотворною здатністю та відносно низьким вмістом шкідливих речовин, що утворюються під час згоряння, при цьому викиди діоксиду вуглецю компенсуються в процесі росту рослин. Тепло згоряння 1 г сухої речовини становить 17,16–18,42 кДж [8]. Середня врожайність за трирічний цикл вирощування сягає 40–50 т/га сухої речовини залежно від погодних умов, сорту верби та технології вирощування. Така кількість біомаси є еквівалентною 14 т кам'яного вугілля, 10 т природного газу (14 тис. м<sup>3</sup>) або 38 т торфу за вологості 40% [8–10]. Після зрізування пагони верби здатні до повторного відростання, а експлуатація плантацій із мінімальними затратами на догляд можлива впродовж 25–30 років [10].

Оскільки плантації енергетичної верби зазвичай закладають на землях, непридатних для вирощування сільськогосподарських культур, для забезпечення високої продуктивності виникає потреба у своєчасному та раціональному внесенні добрив відповідно до агротехнічних вимог. Збалансоване удобрення є одним із ключових чинників підвищення врожайності верби. Особливе значення мають азотні добрива, які активізують фотосинтетичну діяльність рослин і процеси наростання пагонів.

Актуальність цієї тематики підтверджується результатами досліджень вітчизняних і зарубіжних науковців, присвячених вивченню впливу добрив на ріст і розвиток енергетичної верби. Лис Н. М. та Ткачук Н. Л. [11], досліджуючи плантації верби на дерново-опідзолених середньосуглинкових ґрунтах, установили, що в перші роки вирощування інтенсивність росту істотно залежить від площі живлення та внесення мінеральних добрив. За умов удобрення спосте-

рігалося підвищення врожайності на 6,5–12,3%. За результатами досліджень І. В. Гнап та В. М. Сінченка [12] з'ясовано, що промислове вирощування енергетичної верби потребує обов'язкового застосування мінеральних добрив. Для забезпечення росту рослин до 2 м у перший рік вміст азоту в орному шарі ґрунту має становити не менше ніж 100–150 мг/кг за Корнфілдом. Дослідження, проведені на плантаціях Правобережного Лісостепу на вилугуваних чорноземах, засвідчили ефективність застосування аміачної селітри в нормі 200 кг/га [13].

Вагомий внесок у вивчення впливу азотних добрив на ріст і продуктивність енергетичних плантацій верби зробили зарубіжні науковці. Особливу цінність мають результати, що підтверджують здатність азоту посилювати процеси фіторемедіації завдяки стимулюванню росту рослин і поглинанню ними важких металів [14]. Це має важливе значення для України та світу загалом, оскільки такі підходи не лише розширюють можливості фіторемедіації, а й дають змогу суттєво прискорити ці процеси. Дослідження, проведені у Данії та Швеції, підтверджують чіткий позитивний вплив удобрення на врожайність сухої біомаси верби [10, 15].

*Мета дослідження* – установити особливості росту енергетичних плантацій верби Правобережного Лісостепу впродовж третього трирічного циклу вирощування залежно від сортових особливостей, внесення азотних добрив, густоти садіння та погодних умов.

## Матеріали та методи дослідження

Польові дослідження проводили на дослідному полі Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН (с. Ксаверівка Друга, Київська обл.), яке розташоване в зоні нестійкого зволоження центральної частини Правобережного Лісостепу України. Дослідження виконували протягом третьої трирічної ротації у 2021–2023 рр.

У досліді було використано два сорти енергетичної верби – ‘Тога’ та ‘Тернопільська’. ‘Тога’ (*S. schwerinii* × *S. viminalis*) – високопродуктивний гібрид шведської селекції, стійкий до несприятливих умов вирощування та ураження шкідниками, характеризується гнучкими й міцними пагонами та використовується для біоенергетичних потреб з 1996 року [16]. ‘Тернопільська’ – сорт верби прутоподібної української селекції, створений у 2003 році, який широко застосовується як біоенергетична культура [9].

Досліджувану енергетичну плантацію було закладено навесні 2015 року із застосуванням двох схем садіння: 0,75 × 1,50 × 0,75 м та 0,75 × 2,50 × 0,75 м, а також трьох варіантів густоти стояння рослин – 12, 15 і 18 тис. шт./га. Площа дослідної ділянки становила 100 м<sup>2</sup>, облікової – 50 м<sup>2</sup>, повторюваність досліду – триразова.

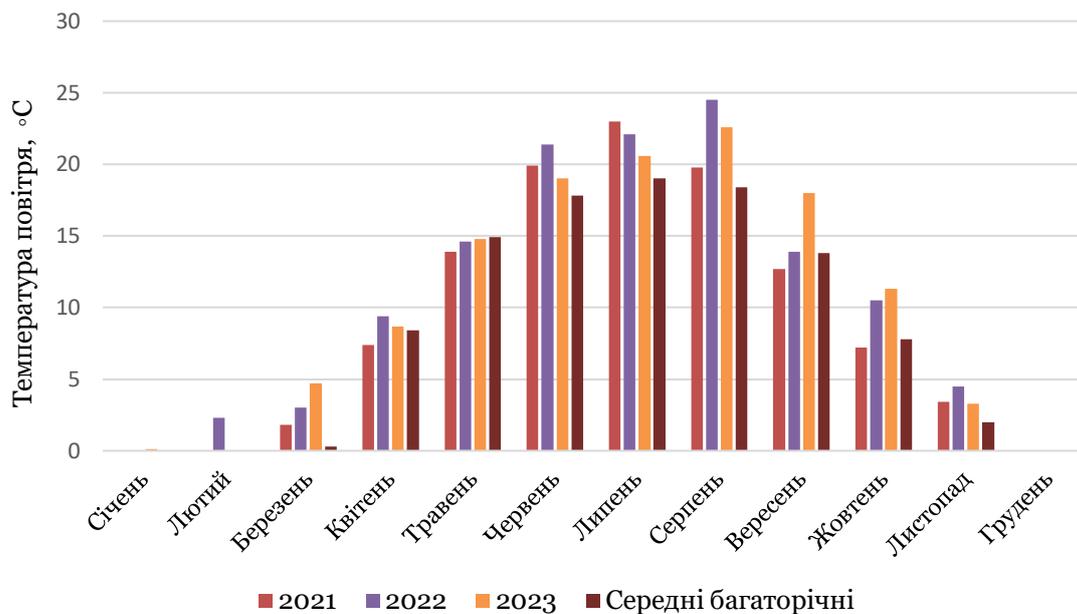
Підживлення азотними добривами (аміачна селітра, 34,5% д. р. азоту) здійснювали у березні 2021 року перед початком вегетації із загортанням добрив у ґрунт за допомогою культиватора Oleo-Mac MN198RKS. У досліді передбачали такі норми внесення добрив:

1. без внесення добрив (контроль);
2. N<sub>35</sub> – 100 кг/га аміачної селітри;
3. N<sub>70</sub> – 200 кг/га аміачної селітри.

Ґрунт дослідної ділянки – малогумусний середньосуглинковий грубопилуватий чорнозем з вмістом гумусу 3,05% та реакцією ґрунтового розчину рН 6,5.

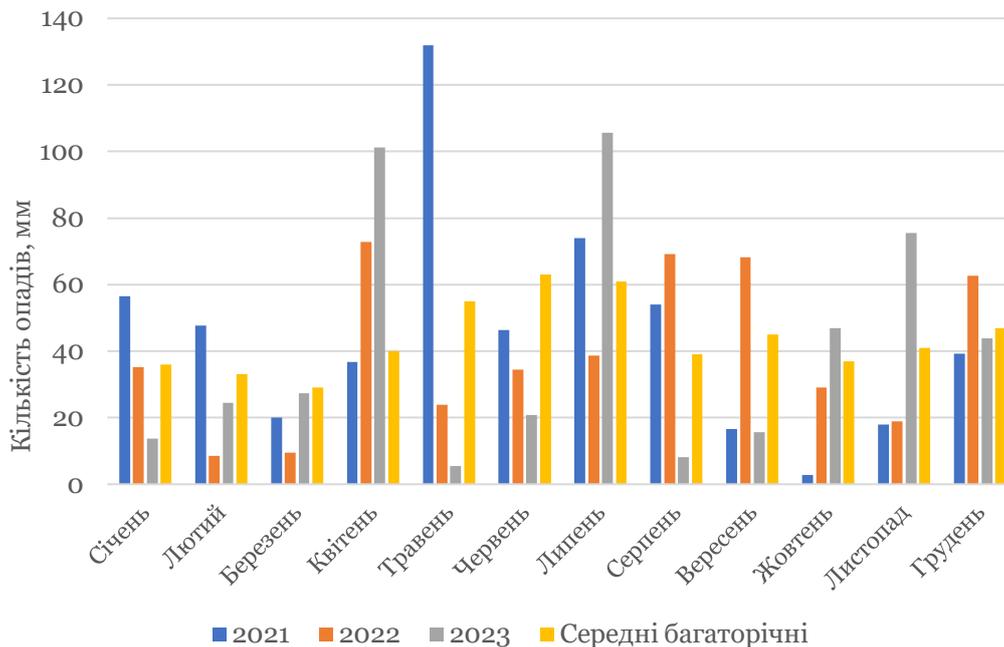
Період досліджень характеризувався підвищеним температурним режимом порівняно із середніми багаторічними показниками. Середня багаторічна температура повітря для регіону становить 7,5 °С, тоді як у роки досліджень її значення були вищими: у 2021 році – 8,7 °С, у 2022-му – 10,4 °С, у 2023-му – 10,2 °С. Найспекотнішим виявився 2022 рік, у якому зафіксовано найвищу середньомісячну температуру повітря в серпні – 24,5 °С (рис. 1). Крім того, у 2022 році спостерігалися найвищі показники середньомісячної температури повітря у квітні (9,4 °С) та червні (21,4 °С).

2021 рік за температурним режимом був найближчим до середніх багаторічних значень: у квітні – травні температура повітря була навіть нижчою за норму, проте впродовж літніх місяців істотно її перевищувала, а в липні досягла максимального серед усіх років досліджень значення – 23,0 °С.



**Рис. 1.** Середньомісячна температура повітря впродовж років досліджень

Упродовж 2021 року зафіксовано найбільшу кількість атмосферних опадів – 543,8 мм, що дещо перевищувало середні багаторічні показники для регіону досліджень (526 мм). У наступні два роки кількість опадів була меншою за середні багаторічні значення і становила відповідно 471,2 мм у 2022 році та 488,8 мм у 2023-му (рис. 2).



**Рис. 2.** Середньомісячна кількість опадів упродовж років дослідження

Найбільшу місячну кількість атмосферних опадів за період досліджень зафіксовано у травні 2021 року – 132 мм. Також істотне перевищення середньомісячної норми опадів спостерігалося у травні та липні 2023 року – 101,3 і 105,6 мм відповідно. Значна кількість опадів упродовж вегетаційного періоду 2021 року позитивно вплинула на умови росту рослин верби, що підтверджується показниками гідротермічного коефіцієнта зволоження (ГТК).

Гідротермічний коефіцієнт визначали як відношення кількості опадів за період із середньодобовою температурою повітря понад +10 °С до суми активних температур за той самий період, зменшене вдсятеро [17]. Оцінювання погодних умов за значеннями ГТК (табл. 1)

засвідчило, що у 2021 році впродовж вегетаційного періоду формувалися умови достатнього зволоження, оскільки значення коефіцієнта становило 1,16.

**Таблиця 1.** Гідротермічний коефіцієнт упродовж років дослідження

Рік	Місяці							За вегетацію
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
2021	1,67	3,17	0,77	1,07	0,91	0,45	0,14	1,16
2022	2,59	0,55	0,54	0,59	0,94	1,63	0,92	0,96
2023	3,87	0,11	0,37	1,72	0,12	0,30	1,39	0,88
Сер. багаторічне	1,59	1,23	1,18	1,07	0,71	1,09	1,58	1,13

В інші роки досліджень погодні умови впродовж вегетаційного періоду характеризувалися як слабкопосушливі: у 2022 році значення гідротермічного коефіцієнта становило 0,96, а у 2023-му – 0,88.

У 2021 році квітень, травень і липень формувалися в умовах достатнього зволоження, тоді як червень і серпень характеризувалися як слабкопосушливі, а вересень і жовтень – як сильно посушливі. У 2022 році травень, червень і липень були сильно посушливими, серпень – слабкопосушливим, тоді як у вересні й жовтні відзначалися умови достатнього зволоження. У 2023 році перша половина вегетаційного періоду (квітень – липень) характеризувалася підвищеним зволоженням (ГТК = 1,49), тоді як друга половина (серпень – жовтень) була середньосухою (ГТК = 0,60).

Отже, у роки проведення досліджень погодні умови відзначалися нерівномірним розподілом атмосферних опадів упродовж вегетаційного періоду та підвищеним температурним режимом, що перевищував середні багаторічні показники.

На дослідних енергетичних плантаціях верби збирання врожаю біомаси, сформованої протягом другого трирічного циклу вирощування, проводили навесні 2021 року до початку вегетації. Після цього в міжряддя вносили аміачну селітру відповідно до схеми, наведеної вище. До та після внесення добрив здійснювали культивування міжрядь. На початку літа проводили хімічний захист від бур'янів із застосуванням препаратів на основі діючих речовин пропізохлору (360 г/л) і тербутилазину (190 г/л), а також виконували два додаткові механічні обробки ґрунту з метою контролювання забур'яненості.

Під час досліджень застосовували традиційні емпіричні методи [5]. Вимірювання висоти пагонів здійснювали мірною рейкою з точністю до 1 см. Статистичну обробку отриманих експериментальних даних проводили з використанням програмного пакета Statistica 6.0.

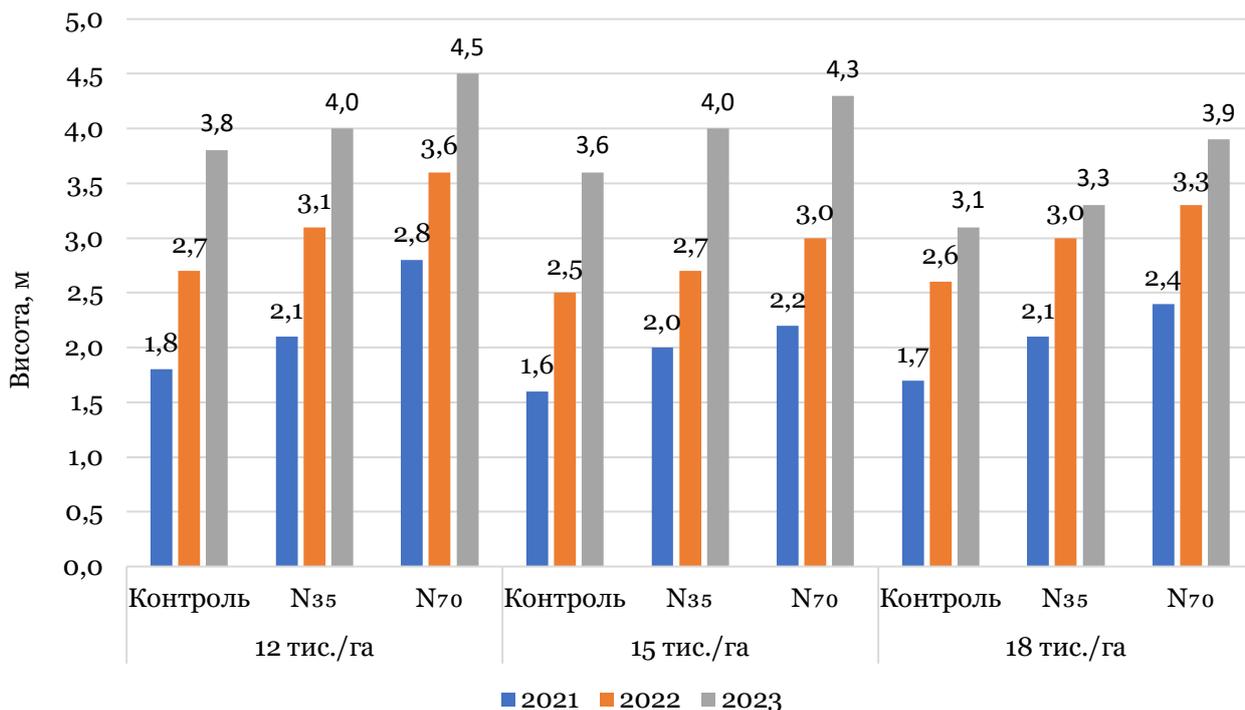
## Результати дослідження

Установлено, що на інтенсивність росту рослин досліджуваних сортів верби за висотою істотно впливали як внесення азотних добрив, так і густина садіння (рис. 3–6).

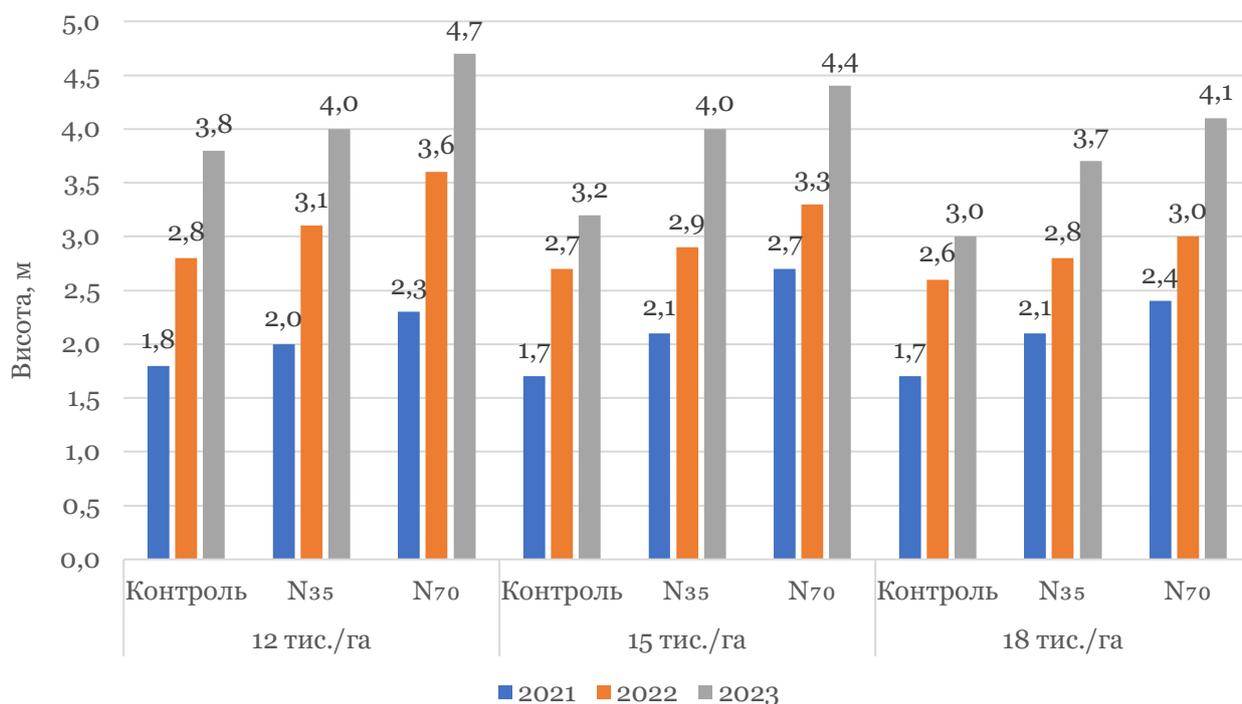
Найінтенсивніший ріст рослин на всіх варіантах досліді спостерігався протягом першого року вегетації. Рослини сорту 'Тога' характеризувалися вищими показниками висоти порівняно із сортом 'Тернопільська'. Водночас виявлено тенденцію до збільшення висоти рослин за зменшення густоти стояння плантацій і підвищення норми внесення азотних добрив.

За схеми садіння  $0,75 \times 1,50 \times 0,75$  м найбільшу висоту однорічних пагонів сорту 'Тога' (2,8 м) зафіксовано у варіанті з густиною 12 тис. шт./га та внесенням максимальної норми добрив ( $N_{70}$ ), тоді як у варіанті без внесення добрив середня висота становила 1,8 м (рис. 3). У наступні роки досліджень зазначена закономірність зберігалася, і після третього року вирощування максимальну висоту рослин ( $4,5 \pm 0,26$  м) також відмічено у варіанті з густиною 12 тис. шт./га та внесенням  $N_{70}$ .

За використання схеми садіння  $0,75 \times 2,50 \times 0,75$  м середня висота рослин сорту 'Тога' суттєво не відрізнялася від показників, отриманих за схеми  $0,75 \times 1,50 \times 0,75$  м. Аналогічно, найвищі рослини сформувалися у варіанті з густиною садіння 12 тис. шт./га та внесенням максимальної дози азоту, де середня висота становила  $4,7 \pm 0,24$  м (рис. 4).

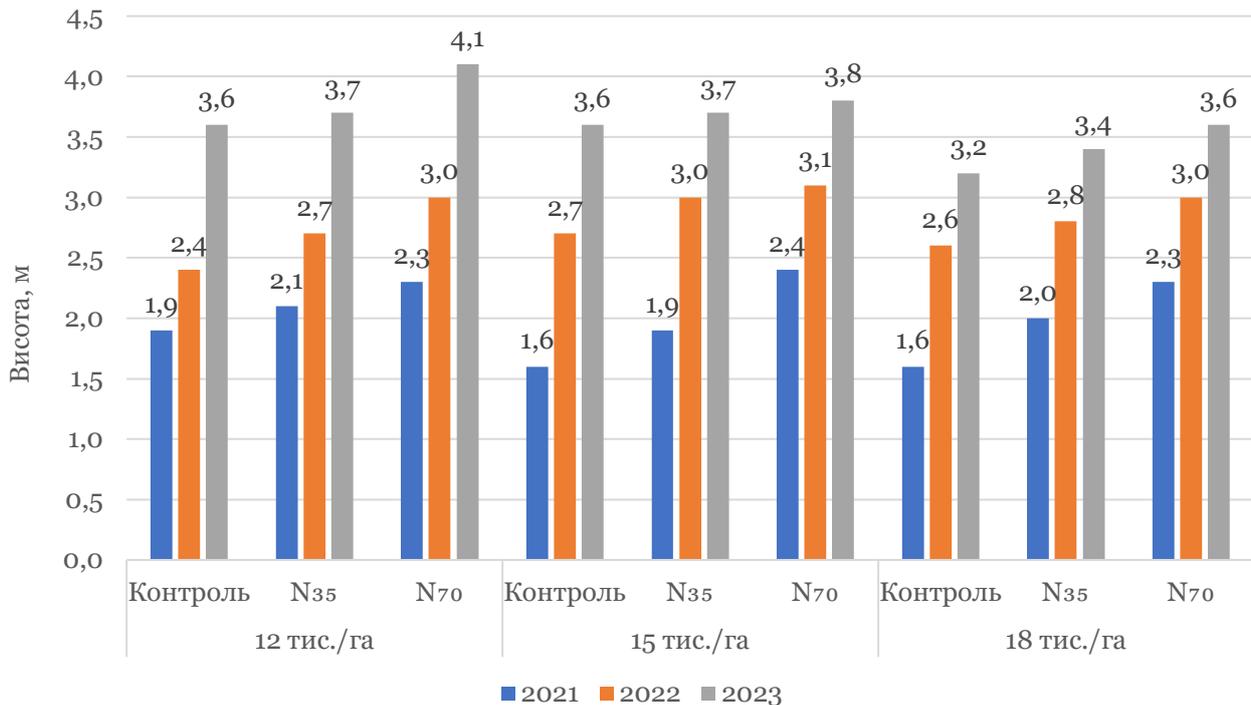


**Рис. 3.** Ріст енергетичних плантацій сорту ‘Toga’ за висотою протягом третього трирічного циклу вирощування за схеми садіння  $0,75 \times 1,50 \times 0,75$  м залежно від початкової густоти і внесення азотних добрив



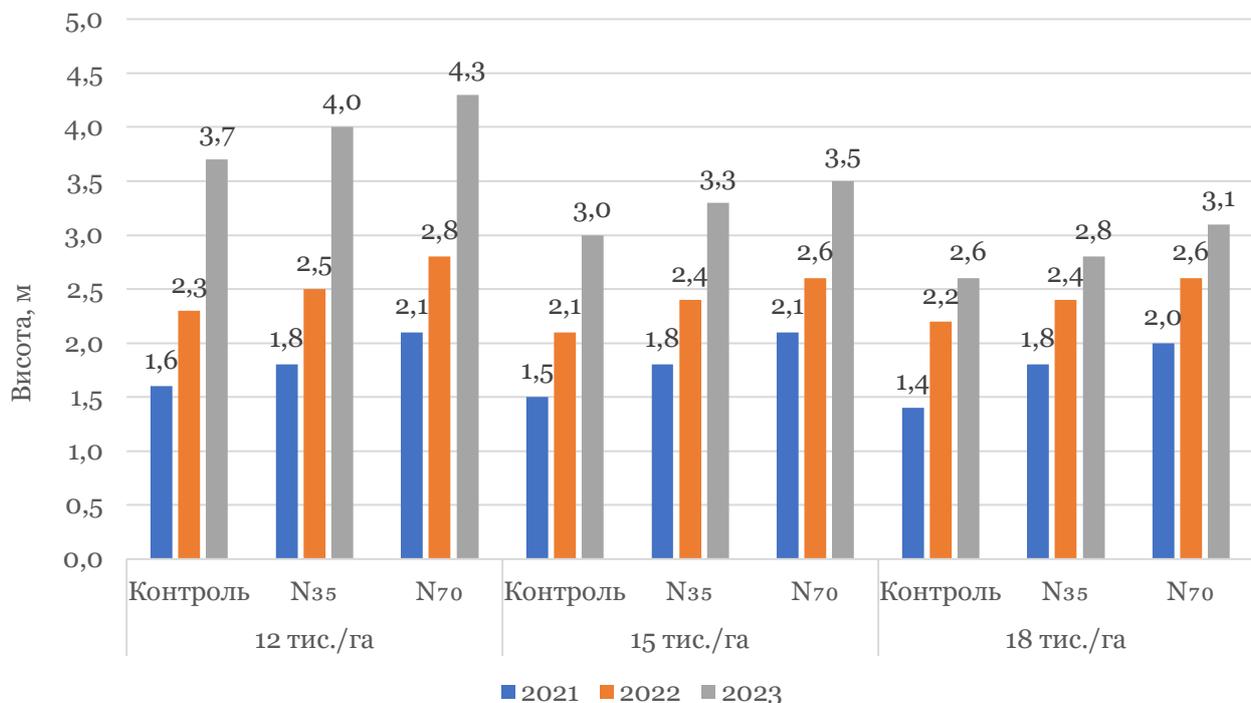
**Рис. 4.** Ріст енергетичних плантацій сорту ‘Toga’ за висотою протягом третього трирічного циклу вирощування за схеми садіння  $0,75 \times 2,50 \times 0,75$  м залежно від початкової густоти і внесення азотних добрив

Як уже зазначалося, сорт ‘Тернопільська’ характеризувався дещо нижчими показниками середньої висоти рослин порівняно із ‘Toga’. Водночас для нього спостерігалися аналогічні залежності між темпами росту, нормами внесення азотних добрив та густиною насаджень культури (рис. 5, 6).



**Рис. 5.** Ріст енергетичних плантацій сорту 'Тернопільська' за висотою протягом третього трирічного циклу вирощування за схеми садіння  $0,75 \times 1,50 \times 0,75$  м залежно від початкової густоти і внесення азотних добрив

Найбільшу середню висоту за схеми садіння  $0,75 \times 1,50 \times 0,75$  м після третього року вирощування також демонстрував варіант із внесенням N<sub>70</sub> та густотою 12 тис. шт./га –  $4,1 \pm 0,17$  м (рис. 5). За схеми  $0,75 \times 2,50 \times 0,75$  м у тому ж варіанті середня висота рослин сорту 'Тернопільська' становила  $4,3 \pm 0,12$  м (рис. 6).



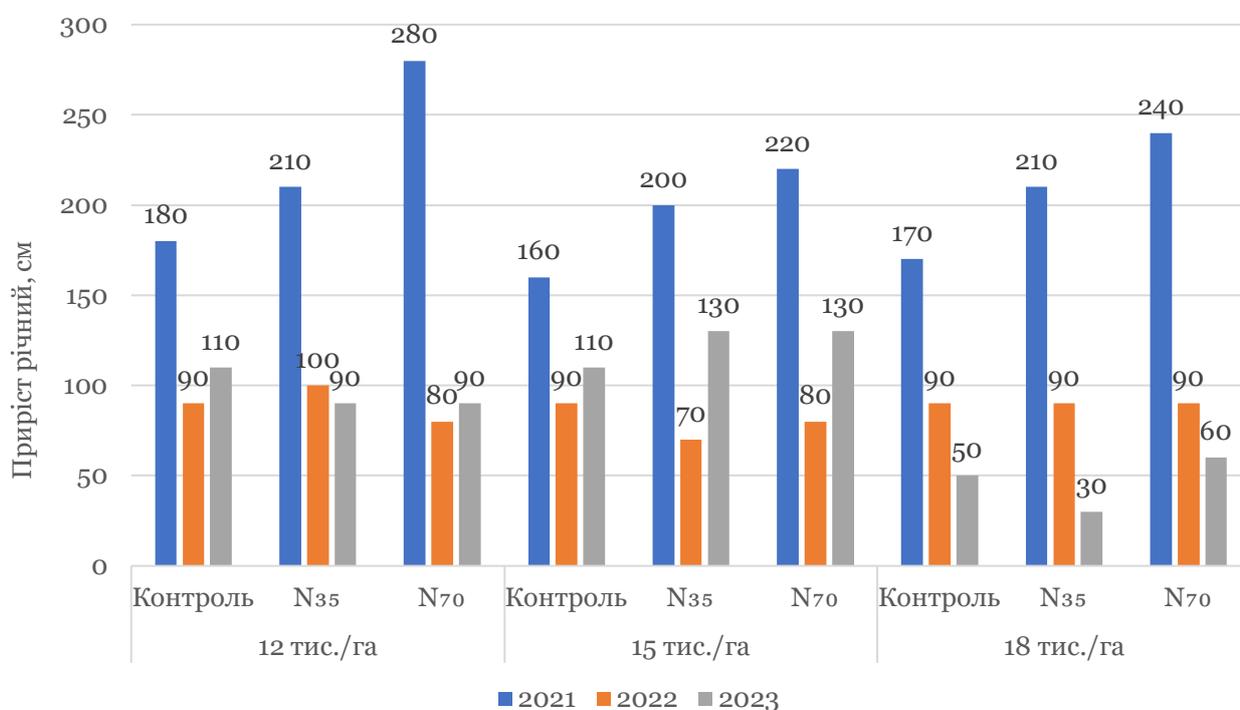
**Рис. 6.** Ріст енергетичних плантацій сорту 'Тернопільська' за висотою протягом третього трирічного циклу вирощування за схеми садіння  $0,75 \times 2,50 \times 0,75$  м залежно від початкової густоти і внесення азотних добрив

Отже, проведені дослідження засвідчили, що внесення азотних добрив та оптимальна густота садіння суттєво сприяють підвищенню висоти рослин досліджуваних сортів верби прутоподібної.

Окрім внесення добрив та густоти садіння, на інтенсивність росту плантацій значний вплив мають погодні умови вегетаційного періоду, що безпосередньо відображається у величинах річних приростів рослин досліджуваних сортів (рис. 7–10).

Як видно з наведених даних, приріст за висотою протягом першого року третього трирічного циклу у обох сортів верби прутоподібної та за всіх варіантів агротехнічних заходів значно перевищував прирости наступних двох років. Це, ймовірно, зумовлено найбільш сприятливими погодними умовами для інтенсивного росту сільськогосподарських і енергетичних культур у вегетаційний період 2021 року (табл. 1), коли показник гідротермічного коефіцієнта становив 1,16, що відповідає умовам достатнього зволоження. У наступні два роки досліджень погодні умови характеризувалися як слабкопосушливі, що негативно вплинуло на річні прирости досліджуваних сортів.

Зокрема, згідно з даними рисунка 7, річний приріст у 2021 році рослин сорту 'Tora' за схеми садіння  $0,75 \times 1,50 \times 0,75$  м на контрольних варіантах становив у перший рік 160–180 см (44,4–54,8%), у другий рік – 90 см (23,7–29,0%), а в третій рік – 50–110 см (16,2–30,6%).

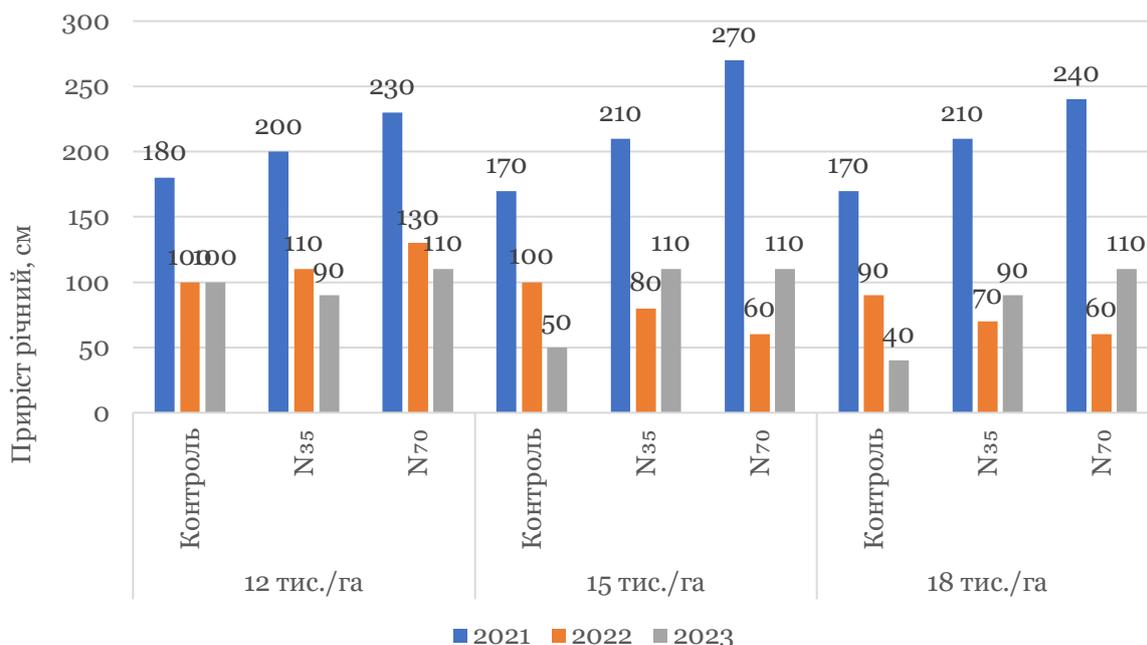


**Рис. 7.** Річний приріст рослин сорту 'Tora' за висотою за схеми садіння  $0,75 \times 1,50 \times 0,75$  м залежно від початкової густоти, внесення азотних добрив та погодних умов періоду вегетації

Внесення азотних добрив справило суттєвий позитивний вплив на річний приріст у перший рік. За норми 35 кг/га д. р. азоту приріст першого року становив 200–210 см (50,0–63,6%), а за максимальної норми добрив ( $N_{70}$ ) – 220–280 см (51,2–62,2%).

У наступні два роки річні прирости були значно меншими порівняно з першим роком (30–130 см), при цьому практично не спостерігалось впливу внесення добрив та густоти насаджень на ріст рослин. Крім менш сприятливих погодних умов, це можна частково пояснити відсутністю внесення добрив у ці роки. Водночас, як показують дані контрольних варіантів, де добрива не вносилися взагалі, визначальним фактором росту рослин верби залишаються умови зволоження.

За використання схеми садіння  $0,75 \times 2,50 \times 0,75$  м для сорту 'Tora' спостерігалася аналогічна тенденція (рис. 8).



**Рис. 8.** Річний приріст рослин сорту 'Тога' за висотою за схеми садіння  $0,75 \times 2,50 \times 0,75$  м залежно від початкової густоти, внесення азотних добрив та погодних умов періоду вегетації

Річний приріст на контрольних варіантах у перший рік становив 170–180 см (47,4–56,7%), у другий рік – 60–130 см (26,3–31,3%), а в третій – 40–110 см (13,3–26,3%). Внесення азотних добрив у перший рік сприяло значному підвищенню річного приросту: за норми 35 кг/га д. р. азоту приріст становив 200–210 см (50,0–56,8%), а за 70 кг/га – 230–270 см (48,9–61,4%). У 2022–2023 роках прирости за висотою були значно меншими (40–130 см), при цьому помітної залежності ростових характеристик від впливу агротехнічних заходів та погодних умов не спостерігалось.

Отже, за досліджуваний період річний приріст насаджень сорту 'Тога' становив у перший рік 44,4–62,2%, у другий – 13,6–31,3%, а у третій – 9,1–30,6%.

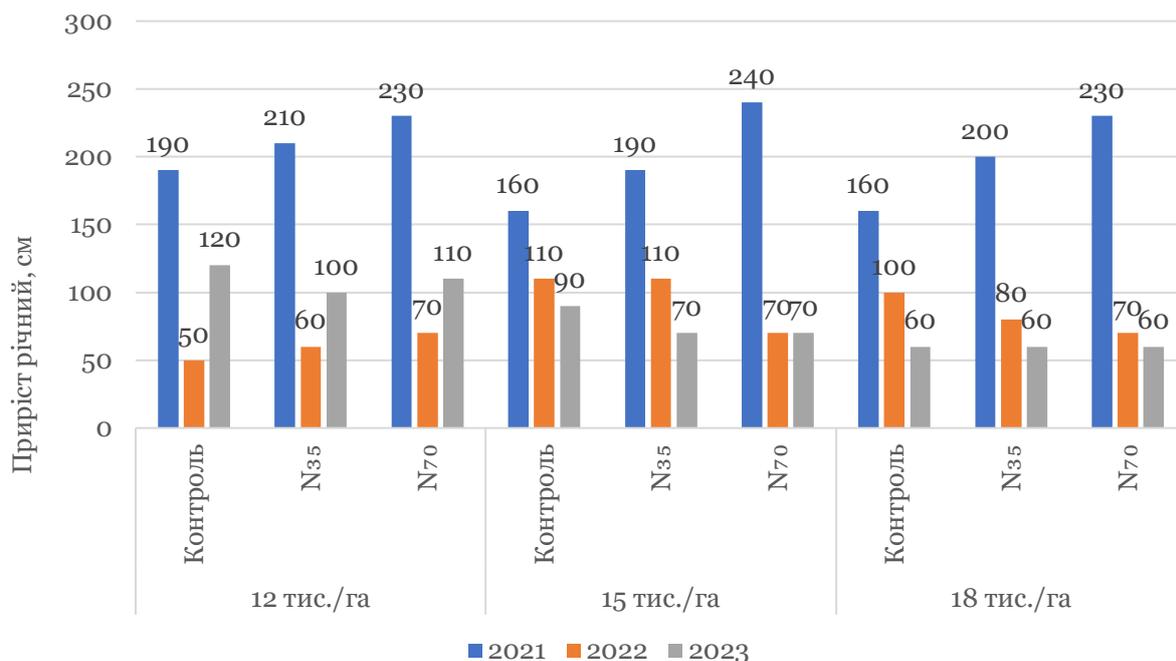
Річний приріст висоти плантацій сорту 'Тернопільська' в цілому був дещо меншим порівняно з сортом 'Тога', проте співвідношення між приростами та агротехнічними й природними чинниками залишалось подібним. Зокрема, за використання схеми садіння  $0,75 \times 1,50 \times 0,75$  м річний приріст у перший рік на всіх варіантах досліді був значно вищим, ніж у наступні роки (рис. 9).

На контрольних ділянках річний приріст сорту 'Тернопільська' у перший рік становив 160–190 см (44,4–52,8%), із максимальними показниками за найменшою густотою садіння. На варіантах із внесенням 35 кг/га д. р. азоту приріст становив 190–210 см (51,4–58,8%), а за внесення 70 кг/га д. р. азоту – 230–240 см (56,1–63,9%), що свідчить про високу ефективність удобрення плантацій досліджуваних сортів на вилугуваних чорноземах у нормі 70 кг/га д. р. азоту.

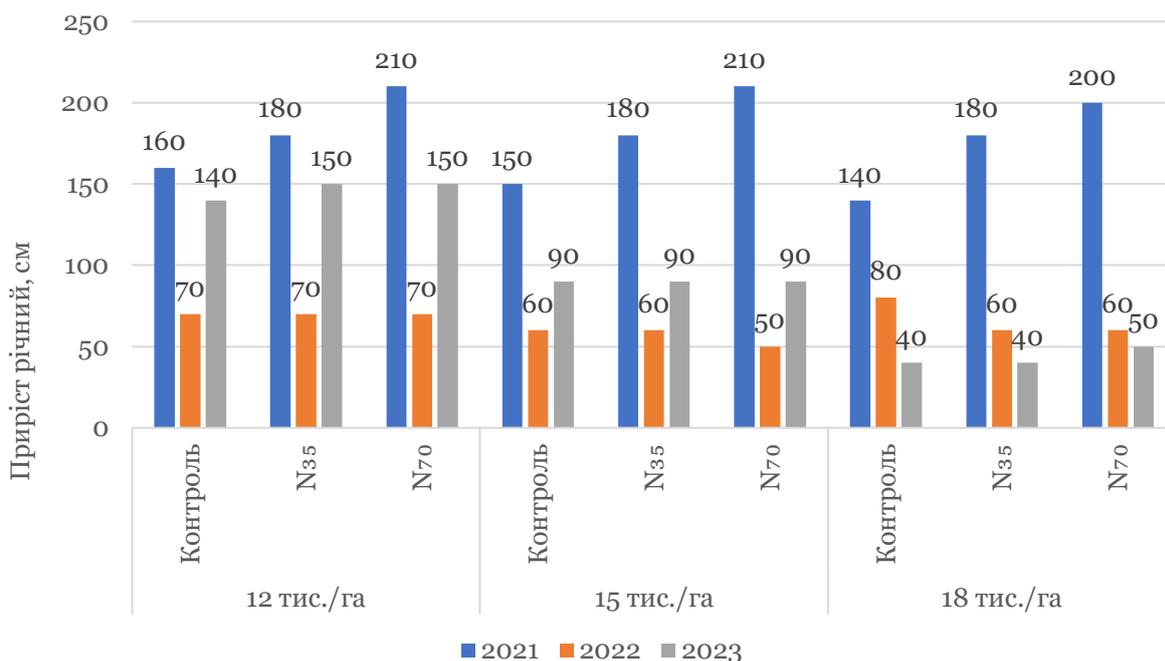
Протягом наступних двох років, коли азотні добрива не вносились, а погодні умови були посушливими, річні прирости насаджень сорту 'Тернопільська', як і сорту 'Тога', були значно нижчими – 50–110 см (16,7–33,3%). При цьому також не спостерігалась залежність між показниками річного приросту та застосованими агротехнічними заходами.

За схеми садіння  $0,75 \times 2,50 \times 0,75$  м прирости першого року були дещо меншими, ніж у варіанті з відстанню між рядками 1,50 м (рис. 10). Зокрема, на контрольних ділянках приріст становив 140–160 см (43,2–53,8%), за внесення 35 кг/га д. р. азоту – 180 см (45,0–64,3%), незалежно від початкової густоти плантацій, а за максимального удобрення (N<sub>70</sub>) – 200–210 см (48,8–64,5%).

У другий та третій роки річний приріст висоти насаджень сорту 'Тернопільська' коливався від 40 до 150 см (14,3–37,8%). При цьому практично не спостерігалось залежності величини приросту від внесення добрив, тоді як прослідковувалась обернена залежність річного приросту від початкової густоти плантацій.



**Рис. 9.** Річний приріст рослин сорту 'Тернопільська' за висотою за схеми садіння  $0,75 \times 1,50 \times 0,75$  м залежно від початкової густоти, внесення азотних добрив та погодних умов періоду вегетації



**Рис. 10.** Річний приріст рослин сорту 'Тернопільська' за висотою за схеми садіння  $0,75 \times 2,50 \times 0,75$  м залежно від початкової густоти, внесення азотних добрив та погодних умов періоду вегетації

## Висновки

Протягом третього трирічного циклу вирощування енергетичних плантацій верби на виділених чорноземах Правобережного Лісостепу на висоту рослин та річний приріст за висотою визначальний вплив мають погодні умови вегетаційного періоду, а також застосовані агротехнічні заходи, зокрема сортові особливості, внесення азотних добрив і початкова густина насаджень. Вплив схеми садіння на показники росту протягом третього циклу достовірно не проявлявся.

Рослини сорту 'Тога' у більшості варіантів досліджу відзначалися дещо більшими показниками висоти порівняно з 'Тернопільська'. Найбільша середня висота рослин 'Тога' після третього року вирощування була за схеми садіння  $0,75 \times 2,50 \times 0,75$  м у варіанті з густотою 12 тис. шт./га та внесенням 70 кг/га д. р. азоту і становила  $4,7 \pm 0,24$  м. За схеми  $0,75 \times 1,50 \times 0,75$  м максимальна висота також спостерігалася за максимальної норми добрив та найменшої початкової густоти –  $4,5 \pm 0,26$  м. Середня висота плантацій сорту 'Тернопільська' після третього року за аналогічних умов становила  $4,1 \pm 0,17$  м і  $4,3 \pm 0,12$  м, що підтверджує доцільність створення в регіоні досліджень енергетичних плантацій верби прутоподібної початковою густотою 12 тис./га та проведення підживлення перед початком кожного трирічного циклу азотними добривами в нормі 70 кг д. р. на 1 га.

Аналіз величин річних приростів плантацій обох сортів показав, що максимальні прирости припадали на 2021 рік – перший рік третього циклу. Їх частка становила від 43,2 до 64,5% від загальної висоти трирічних рослин, тоді як у наступні два роки прирости були значно нижчими – від 9,1 до 37,8%. Основною причиною цього було достатнє зволоження ґрунту у 2021 році (ГТК = 1,16), тоді як 2022 та 2023 роки характеризувалися слабкою посушливістю (ГТК 0,96 і 0,88 відповідно), що негативно вплинуло на річні прирости.

Отже, результати досліджень підкреслюють важливе значення зволоження ґрунту для забезпечення успішного росту енергетичних плантацій верби, що необхідно враховувати за їх вирощування.

## Список використаних джерел

1. Ediger, V. Ş. (2025). Leaving no one behind: just energy transition of fossil fuel-producing countries. *Frontiers in Political Science*, 7, Article 1536594. <https://doi.org/10.3389/fpos.2025.1536594>
2. Hefner, M., Marland, G., & Oda, T. (2024). The changing mix of fossil fuels used and the related evolution of CO<sub>2</sub> emissions. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 29(6), Article 52. <https://doi.org/10.1007/s11027-024-10149-x>
3. Humentyk, M. Ya. (Ed.). (2024). *Technology of growing bioenergy crops*. Kompyrnt. [In Ukrainian]
4. Fuchylo, Ya. D., Zelinskyi, B. V., Ivaniuk, I. D., & Zelinska, L. H. (2023). *Growing energy plantations of willow on marginal lands of Kyiv Polissia*. NOVOgrad. [In Ukrainian]
5. Sinchenko, V. M. (Ed.). (2018). *Methodology for the study of energy willow and poplar plantations*. Kompyrnt. [In Ukrainian]
6. Zelinska, L. H. (2025). Post-war land restoration through the creation of bioenergy crop plantations. In *Forestry education and science: Status, problems and development prospects: Collection of scientific papers of the VII International Scientific and Practical Internet Conference* (pp. 332–335). MANS. [In Ukrainian]
7. Law of Ukraine No. 555-15. *On Alternative Energy Sources*. (2003). Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy, (24), 155. (Amended by Law No. 4213-IX, January 14, 2025). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15#Text>
8. Fuchylo, Ya. D., & Sbytna, M. V. (2009). *Willows of Ukraine: biology, ecology, use*. Lohos. [In Ukrainian]
9. Zelinska, L. G., & Fuchylo, Ya. D. (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> [In Ukrainian]
10. Nordborg, M., Berndes, G., Dimitriou, I., Henriksson, A., Mola-Yudego, B., & Rosenqvist, H. (2018). Energy analysis of willow production for bioenergy in Sweden. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 93, 473–482. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.05.045>
11. Lys, N. M., Fuchylo, Y. D., Tkachuk, N. L., & Ivaniuk, R. S. (2021). Influence of plant density and application of mineral fertilizers on the growth and productivity of energy willow plantations in Carpathian region. *Bioenergy*, 2, 19–21. <https://doi.org/10.47414/be.2.2018.229250> [In Ukrainian]
12. Sinchenko, V. M., & Hnap, I. V. (2021). Influence of basic nutrients on the productivity of energy willow. *Bioenergy*, 1, 9–12. <https://doi.org/10.47414/be.1.2018.229193> [In Ukrainian]
13. Fuchylo, Ya. D., Sinchenko, V. M., Vokalchuk, B. M., & Ivaniuk, I. D. (2022). *Productivity of energy plantations of willow barbed wire during the second three-year growing cycle*. NOVOgrad. [In Ukrainian]
14. Wang, Q., Niu, X., Huang, S., Di, D., Su, B., Yuan, Y., Wu, Y., & Huang, D. (2025). Nitrogen fertilizer improves *Salix matsudana* growth and soil qualities. *Frontiers in Microbiology*, 16, Article 1631852. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1631852>
15. Larsen, S. U., Jørgensen, U., Kjeldsen, J. B., & Lærke, P. E. (2016). Effect of fertilisation on biomass yield, ash and element uptake in SRC willow. *Biomass and Bioenergy*, 86, 120–128. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.01.014>

16. Checklist for cultivars of *Salix L. (willow)*. <https://salix.psla.uconn.edu/wp-content/uploads/sites/3416/2021/11/CHECKLIST-for-CULTIVARS-of-Salix-L.-willow.pdf>

17. SuperAgronom. (n.d.). *Hydrothermal coefficient of moisture*. <https://superagronom.com/slovník-agronoma/gidrotermichniy-koeficiyen-t-zvolozhennya-id20236>

## Height of energy willow (*Salix viminalis*) plantations in 3-year coppice as affected by cultivation practices and weather conditions during the third three year growing cycle

L. H. Zelinska, Ya. D. Fuchylo\*

Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine

\*Corresponding author: Yaroslav Fuchylo, [fuchylo\\_yar@ukr.net](mailto:fuchylo_yar@ukr.net)

---

**Citation:** Zelinska, L. H., & Fuchylo, Ya. D. (2025). Height of energy willow (*Salix viminalis*) plantations in 3-year coppice as affected by cultivation practices and weather conditions during the third three-year growing cycle. *Bioenergy*, 2, 25–36. <https://doi.org/10.47414/be.2025.No2.pp25-36>

---

**Aim.** To determine the growth characteristics of energy willow in 3-year coppice in the Right-Bank Forest Steppe depending on genotype, nitrogen fertilisation rates, plant density and planting design, as well as hydrothermal conditions of the growing season. **Methods.** The study was conducted in 2021–2023 at the experimental field of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of NAAS (Kyiv region). The objects of study were willow cultivars ‘Tora’ and ‘Ternopil’ska’. The experimental plantations were established in double-row strips with row spacing of 0.75 m, and spacing between the strips of 1.50 m and 2.50 m. Planting density was 12, 15 and 18 thousand plants/ha. Ammonium nitrate was applied once before the start of the third cycle at rates of 35 and 70 kg/ha of active nitrogen; control plots received no fertiliser. **Results.** Plants of the cultivar ‘Tora’ in most experimental treatments showed slightly higher height values compared to ‘Ternopil’ska’. The maximum average height after the third year of cultivation ( $4.7 \pm 0.24$  m) was recorded under the planting scheme  $0.75 \times 2.50 \times 0.75$  m with a density of 12 thousand plants/ha and application of 70 kg/ha nitrogen. Under the scheme  $0.75 \times 1.50 \times 0.75$  m, the maximum height was also achieved with the highest fertiliser rate and lowest initial density, reaching  $4.5 \pm 0.26$  m. The average height of ‘Ternopil’ska’ plantations after the third year was greatest ( $4.1 \pm 0.17$  and  $4.3 \pm 0.12$  m) under similar conditions, indicating the advisability of establishing energy willow plantations in the study region with an initial density of 12 thousand plants/ha and applying nitrogen fertiliser at 70 kg/ha before each 3-year cycle. Analysis of annual height increments of both cultivars showed that in all experimental treatments, the maximum increments occurred in 2021 – the first year of the third cycle. Their share accounted for 43.2–64.5% of the total height of three-year plants, whereas in the following two years increments were only 9.1–37.8%. The reason was sufficient soil moisture in 2021 (HTC = 1.16), while 2022 and 2023 were slightly dry (HTC = 0.96 and 0.88 respectively), which negatively affected annual increments. This highlights the crucial importance of soil moisture for successful growth of energy willow plantations, which must be considered in cultivation. **Conclusions.** During the third 3-year cycle of energy willow cultivation on leached chernozem of the Right-Bank Forest Steppe, plant height and annual height increment are determined by weather conditions of the growing season and applied agronomic measures, particularly cultivar characteristics, nitrogen fertilisation, and initial planting density. The effect of planting design on growth indicators during the third cycle was not statistically significant.

**Keywords:** bioenergy; energy willow plantation; cultivar; biomass; cultivation technologies; fertiliser application rates; weather conditions of the growing season.

---

### ORCID

Людмила Зелінська / Liudmyla Zelinska  
Ярослав Фучило / Yaroslav Fuchylo

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