

ДИНАМІКА ФОРМУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ РОСТУ РІЗНИХ ВИДІВ ВЕРБИ ЗАЛЕЖНО ВІД ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ

В. О. ДАНЮК, здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти (доктор філософії)

В. В. ДРИГА, доктор сільськогосподарських наук

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України

Наведено результати формування висоти і кількості пагонів різних видів верби залежно від удобрення та способу зберігання живців. Кількість пагонів на початку обліків або не відрізнялася, або була однаковою з показниками у кінці вегетаційного періоду. Так, на тлі застосування добрива в сорту Панфільська кількість пагонів на початку обліків була в межах 3,4–4,5 шт/рослину, в кінці вегетаційного періоду – 3,8–6,7 шт/рослину залежно від року проведення досліджень. За умови вирощування верби без добрива кількість пагонів на початку обліків була в межах 2,5–3,7 шт/рослину, а в кінці вегетаційного періоду – 2,6–5,4 шт/рослину залежно від року. У сорту верби Збруч кількість пагонів також значно змінювалась від застосування добрива. Так, цей показник на початку обліків був від 2,5 до 6,4 шт/рослину, а в кінці вегетаційного періоду – 3,4–8,1 шт/рослину.

Ключові слова: верба прутувидна, верба тритичинкова, висота рослин, кількість пагонів, удобрення, спосіб зберігання живців.

Постановка проблеми. Верба (рід *Salix*) – швидкозростаюча культура, поширена переважно в північній півкулі [1]. Деревна біомаса наразі використовується як одне з ключових джерел відновлюваної енергії в світі [2]. Тому система короткооборотних видів верби (КВВ) була створена як відповідна модель для сталого виробництва біомаси верби шляхом висаджування живців різних клонів на сільськогосподарських угіддях з щільністю 10 000–20 000 шт/га [3]. Деревина верби заготовлюється на основі 2–5-річних циклів рубки. Система КВВ використовується для комерційного виробництва верби у європейських країнах, таких як Швеція, Велика Британія, Ірландія та Данія, а також у Північній Америці [4]. З 500 відомих наразі видів верб у світі понад 270 поширені у Східній Азії. Хоча вирощування верби не використовується в комерційних цілях, система КВВ була розроблена для бореальних регіонів [5]. Однак верби, посаджені за системою КВВ в Японії, обмежені двома місцевими видами, включаючи *Salix petsusu* і *S. sachalinensis*, які поширені в бореальних регіонах [6]. Методи вирощування різних видів верб, поширених у різних частинах світу, повністю ще не встановлені. Існує лише один попередній випадок вирощування семи видів верб, поширених у східній Японії [7].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Загалом, вибір видів верби є важливим для створення системи КВВ. Види верби включають чагарники з низьким темпом росту, тому їхні моделі росту різняться, і вибір швидкозростаючих

видів є важливим. Під час відбору перевага надається методу вирощування, який дозволяє садити різні види верби за однакових умов поживних речовин [8]. Верби характеризуються високою потребою в поживних речовинах, і внесення добрив є важливим для їх вирощування [9]. Листя верби містить високу концентрацію поживних речовин, яка значно варіюється між видами і може бути використана для відображення їхніх характеристик росту [10]. На ріст верби сильно впливає наявність азоту (N), фосфору (P) та інших макроелементів [11].

Кілька досліджень показали, що верби можуть накопичувати кальцій (Ca) та магній (Mg) у надземній масі [12]. Вчені [13] вказали, що концентрація Ca у листках позитивно корелює з виробництвом біомаси верби, що свідчить про необхідність використання добрив, що містять Ca, при їх вирощуванні. Більше того, були деякі повідомлення, які не показали прямої кореляції між концентрацією поживних речовин у листках і виробництвом біомаси [24]. Досліджено, що верба добре реагує на внесення органічних добрив. Компост, отриманий зі свинячого гною, вважається економічно ефективним і використовується для низьковитратного вирощування верби [25]. Вплив застосування свинячого гною на прискорене виробництво біомаси верби був продемонстрований раніше [33]. Однак роль добрив у вирощуванні верби ще не досліджена.

Метою досліджень було визначення формування показників росту різних видів верби залежно від елементів технології вирощування.

Методика досліджень. Дослідження проводили з двома видами енергетичної верби української селекції: тритичинкова (*Salix triandra* L.) сорту Панфільська і прутувидна (*Salix viminalis* L.) сорту Збруч. Оригінаторами сорту Збруч є Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків і Панфільська дослідна станція Національного наукового центру «Інститут землеробства НААН». Польові досліді проводили на дослідному полі Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН (с. Ксаверівка 2 Київської області) упродовж 2023–2025 рр. яке розміщене в центральній частині Правобережного Лісостепу України, в зоні нестійкого зволоження. Дослідження проводили з рослинами верби другого циклу росту і розвитку (4–5 роки вегетації). Для садіння заготівлю живців проводили восени та навесні, які були висаджені в квітні 2020 р. Після 3-х років вегетації було здійснено скошування енергетичної верби та проведено підживлення рослин аміачною селітрою з нормою витрати N₁₀₅ перед початком нового вегетаційного періоду. Приріст біометричних показників енергетичної верби проводити шляхом вимірюванням висоти та діаметру пагонів на одну і ту ж дату кожного місяця починаючи з травня до закінчення вегетаційного періоду. Загальна площа ділянок: 990 м², повторність чотирикратна. Розміщення варіантів та повторень – рандомізоване.

Зона нестійкого зволоження, де проводили дослідження, характеризується помірноконтинентальним кліматом. Рельєф дослідного поля слабохвилястий рівнина з невеликим нахилом поверхні. Ґрунт дослідного поля – чорнозем типовий вилугуваний, середньоглибокий, малогумусний, грубопилувато-легкосуглинковий на карбонатному лесі. Вміст гумусу 2,64 % (за методом Тюріна) рухомих форм фосфору та обмінного калію (за Чириковим) становить відповідно – 180 і 160 мг/кг, вміст азоту, що легко гідролізується (за Корнфілдом) –

280 мг/кг. Кислотність ґрунту (рН) – 6,6. Глибина гумусового горизонту 100–120 см. Погодні умови вегетаційного періоду в 2023–2025 років за температурним режимом був спекотним середня добова температура повітря становила 15,3–16,5 °С і перевищувала середнє багаторічне значення на 2,7–3,9 °С, а за вологозабезпеченістю ці роки були засушливими, дефіцит вологи становив 150,8–154,8 мм. Дефіцит вологи негативно вплинув на ріст та розвиток рослин.

Статистичну обробку експериментальних даних здійснювали методом дисперсійного аналізу за методом Фішера.

Результати досліджень. Висота пагонів верби достовірно змінювалась залежно від сорту, застосування добрива та строку проведення досліджень (табл. 1).

Табл. 1. Висота пагонів верби сорту Панфільська залежно від агротехнологічних заходів, см

Удобренья	Спосіб зберігання живців	Дата проведення обліків								
		01.05.23	01.07.23	01.10.23	01.05.24	01.07.24	01.10.24	01.05.25	01.07.25	01.10.25
Добриво	У контейнерах в сховищі з внесенням добрива	55	103	170	84	159	175	71	140	167
	У контейнерах з обробкою надрізів вапном з внесенням добрива	55	123	178	69	149	160	72	141	167
	У прошарку піску в сховищі з внесенням добрива	55	122	178	69	150	161	67	140	163
	У прошарку в піску з обробкою надрізів вапном	56	135	183	86	138	157	74	154	181
	У поліетиленових мішках	55	144	186	87	152	158	75	145	181
	У поліетиленових мішках в сховищі з обробкою надрізів вапном	55	153	186	81	144	160	76	143	182
Без добрива	У контейнерах в сховищі з внесенням добрива	42	86	135	58	107	124	64	117	137
	У контейнерах з обробкою надрізів вапном з внесенням добрива	49	95	142	52	103	123	67	115	136
	У прошарку піску в сховищі з внесенням добрива	42	100	133	51	100	124	60	114	132
	У прошарку в піску з обробкою надрізів вапном	42	107	134	56	113	128	65	123	137
	У поліетиленових мішках	49	114	138	66	114	132	71	119	134
	У поліетиленових мішках в сховищі з обробкою надрізів вапном	42	120	164	65	110	130	70	120	140
НІР ₀₅		2	6	8	3	5	7	3	6	7

Так, встановлено, що за вирощування верби сорту Панфільська висота пагонів найнижчою була під час першого обліку – 42–75 см залежно від року проведення досліджень. Найвищими були рослини у кінці вегетаційного періоду – 133–182 см. Застосування добрива підвищувало висоту рослин на 13–34 % залежно від способу зберігання живців верби. При цьому роль способу зберігання живців знижувалась від застосування добрива. Необхідно відзначити, що за умови вирощування верби без добрива значення способу зберігання живців змінювалось залежно від року дослідження. Так, у 2023 р. перевагу мало зберігання живців у поліетиленових мішках у сховищі з обробкою надрізів вапном. Проте в 2024 і 2025 рр. роль способу зберігання живців верби не мала такого значення.

Висота рослин верби сорту Збруч була на 6–12 % була нижчою порівняно з сортом Панфільська (табл. 2).

Табл. 2. Висота пагонів верби сорту Збруч залежно від агротехнологічних заходів, см

Удобрення	Спосіб зберігання живців	Дата проведення обліків								
		01.05.23	01.07.23	01.10.23	01.05.24	01.07.24	01.10.24	01.05.25	01.07.25	01.10.25
Добриво	У контейнерах в сховищі з внесенням добрива	53	128	159	26	128	165	66	136	159
	У контейнерах з обробкою надрізів вапном з внесенням добрива	62	145	160	32	145	168	64	134	159
	У прошарку піску в сховищі з внесенням добрива	51	109	141	23	109	163	58	148	161
	У прошарку в піску з обробкою надрізів вапном	51	108	136	24	108	150	57	153	162
	У поліетиленових мішках	61	109	129	28	109	148	60	145	160
	У поліетиленових мішках в сховищі з обробкою надрізів вапном	43	111	134	20	111	164	56	146	159
Без добрива	У контейнерах в сховищі з внесенням добрива	36	103	128	17	103	136	49	121	133
	У контейнерах з обробкою надрізів вапном з внесенням добрива	50	111	148	20	111	152	47	117	132
	У прошарку піску в сховищі з внесенням добрива	49	105	139	22	105	139	52	122	136
	У прошарку в піску з обробкою надрізів вапном	48	103	134	18	103	143	46	117	132
	У поліетиленових мішках	59	104	125	25	104	136	55	118	134
	У поліетиленових мішках в сховищі з обробкою надрізів вапном	35	104	129	13	104	137	49	124	141
НІР ₀₅		2	6	8	3	5	7	3	6	7

Тенденція формування висоти рослин верби сорту Збруч у період вегетації була подібною до сорту Панфільська. При цьому ефективними були усі способи зберігання живців верби як на тлі без добрив, так із внесенням добрива. Проте застосування добрива достовірно збільшувало висоту рослин верби. Так, у кінці вегетації висота рослин верби за внесення добрива була в межах 129–162 см залежно від року проведення дослідження. При цьому на тлі без внесення добрива цей показник був від 125 до 143 см або на 3–13 % нижче.

Кількість пагонів на початку обліків або не відрізнявся, або був однаковим з показниками у кінці вегетаційного періоду (табл. 3).

Табл. 3. Кількість пагонів верби сорту Панфільська залежно від агротехнологічних заходів, шт./рослину

Удобрення	Спосіб зберігання живців	Дата проведення обліків								
		01.05.23	01.07.23	01.10.23	01.05.24	01.07.24	01.10.24	01.05.25	01.07.25	01.10.25
Добриво	У контейнерах в сховищі з внесенням добрива	3,5	3,8	3,8	3,7	3,7	3,7	4,0	6,3	6,3
	У контейнерах з обробкою надрізів вапном з внесенням добрива	3,4	3,8	3,8	3,9	3,9	3,9	4,1	5,6	5,7
	У прошарку піску в сховищі з внесенням добрива	3,6	3,9	3,9	4,2	4,2	4,2	4,5	6,9	6,7
	У прошарку в піску з обробкою надрізів вапном	3,7	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,1	5,6	5,7
	У поліетиленових мішках	4,0	4,0	4,1	3,9	4,0	4,0	4,1	5,4	5,4
	У поліетиленових мішках в сховищі з обробкою надрізів вапном	3,7	4,1	4,0	3,8	3,7	3,7	3,8	5,0	4,9
Без добрива	У контейнерах в сховищі з внесенням добрива	2,5	2,6	2,6	2,5	2,7	2,7	3,4	5,2	5,2
	У контейнерах з обробкою надрізів вапном з внесенням добрива	4,2	4,7	4,6	3,2	3,1	3,1	3,3	4,7	4,7
	У прошарку піску в сховищі з внесенням добрива	4,0	4,0	4,0	3,2	3,3	3,3	3,7	6,1	5,4
	У прошарку в піску з обробкою надрізів вапном	3,6	4,6	3,8	3,2	3,2	3,2	3,6	4,8	5,0
	У поліетиленових мішках	3,9	3,9	3,9	3,5	3,6	3,6	3,5	5,0	5,0
	У поліетиленових мішках в сховищі з обробкою надрізів вапном	3,6	3,8	3,8	2,7	2,9	2,9	2,7	4,0	4,0
НІР ₀₅		0,2	0,3	0,3	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3

Так, на тлі застосування добрива в сорту Панфільська кількість пагонів на початку обліків була в межах 3,4–4,5 шт/рослину. В кінці вегетаційного періоду кількість пагонів була від 3,8 до 6,7 шт/рослину залежно від року проведення досліджень. За умови вирощування верби без добрива кількість пагонів на початку обліків була в межах 2,5–3,7 шт/рослину, а в кінці вегетаційного періоду – від 2,6 до 5,4 шт/рослину залежно від року проведення досліджень. Необхідно відзначити, що не встановлено чіткої тенденції щодо впливу способу зберігання живців верби на формування кількості пагонів для обох сортів.

У сорту верби Збруч кількість пагонів також значно змінювалась від застосування добрива (табл. 4).

Табл. 4. Кількість пагонів верби сорту Збруч залежно від агротехнологічних заходів, шт./рослину

Удобрення	Спосіб зберігання живців	Дата проведення обліків								
		01.05.23	01.07.23	01.10.23	01.05.24	01.07.24	01.10.24	01.05.25	01.07.25	01.10.25
Добриво	У контейнерах в сховищі з внесенням добрива	3,4	4,1	4,1	3,8	3,9	3,9	5,0	7,1	7,1
	У контейнерах з обробкою надрізів вапном з внесенням добрива	4,6	4,7	4,7	5,3	5,3	5,3	6,4	7,5	7,5
	У прошарку піску в сховищі з внесенням добрива	2,5	3,4	3,4	4,7	4,7	4,7	6,4	7,1	7,1
	У прошарку в піску з обробкою надрізів вапном	3,5	4,1	4,1	4,6	4,6	4,6	6,4	7,9	7,9
	У поліетиленових мішках	4,0	4,2	4,0	4,6	4,6	4,6	6,0	8,1	8,1
	У поліетиленових мішках в сховищі з обробкою надрізів вапном	4,1	4,4	4,2	4,1	4,2	4,2	5,4	7,6	7,7
Без добрива	У контейнерах в сховищі з внесенням добрива	1,8	2,4	2,4	2,4	2,6	2,6	3,9	5,9	5,9
	У контейнерах з обробкою надрізів вапном з внесенням добрива	3,9	4,0	4,0	3,9	3,9	3,9	5,0	7,1	7,1
	У прошарку піску в сховищі з внесенням добрива	2,5	3,1	3,1	3,2	3,2	3,2	5,7	6,2	6,3
	У прошарку в піску з обробкою надрізів вапном	3,3	3,8	3,4	3,7	3,7	3,7	5,5	7,4	7,4
	У поліетиленових мішках	3,6	3,7	3,3	3,4	3,4	3,4	5,0	7,9	7,8
	У поліетиленових мішках в сховищі з обробкою надрізів вапном	3,7	3,9	3,9	3,4	3,4	3,4	4,3	7,2	7,2
HIP ₀₅		0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4

Так, цей показник на початку обліків був від 2,5 до 6,4 шт/рослину, а в кінці вегетаційного періоду – від 3,4 до 8,1 шт/рослину. На ділянках без добрив кількість пагонів на початку травня була 1,8–5,7 шт/рослину, а в кінці вегетаційного періоду – 2,4–7,9 шт/рослину залежно від року. Кількість пагонів на ділянках з внесенням добрива була на 3,0–42 % більшою порівняно з ділянками без добрив. При цьому для сорту Збруч також не встановлено чіткого впливу способу зберігання живців верби, оскільки в окремі роки спостерігалась різна їх ефективність.

Висновки. Встановлено, що за вирощування верби сорту Панфільська висота пагонів найнижча за першого обліку – 42–75 см залежно від року проведення досліджень. Найвищі рослини у кінці вегетаційного періоду – 133–182 см. Застосування добрива підвищує висоту рослин на 13–34 % залежно від способу зберігання живців верби. При цьому роль способу зберігання живців знижувалась від застосування добрива. Необхідно відзначити, що за умови вирощування верби без добрива значення способу зберігання живців змінювалось залежно від року дослідження. Так, у 2023 р. перевагу мало зберігання живців у поліетиленових мішках у сховищі з обробкою надрізів вапном. Проте в 2024 і 2025 рр. роль способу зберігання живців верби не мала такого значення. Висота рослин верби сорту Збруч була на 6–12 % була нижчою порівняно з сортом Панфільська.

Кількість пагонів на початку обліків або не відрізнявся, або був однаковим з показниками у кінці вегетаційного періоду. Так, на тлі застосування добрива в сорту Панфільська кількість пагонів на початку обліків була в межах 3,4–4,5 шт/рослину, в кінці вегетаційного періоду – 3,8–6,7 шт/рослину залежно від року проведення досліджень. За умови вирощування верби без добрива кількість пагонів на початку обліків була в межах 2,5–3,7 шт/рослину, а в кінці вегетаційного періоду – від 2,6 до 5,4 шт/рослину залежно від року проведення досліджень. У сорту верби Збруч кількість пагонів також значно змінювалась від застосування добрива. Так, цей показник на початку обліків був від 2,5 до 6,4 шт/рослину, а в кінці вегетаційного періоду – 3,4–8,1 шт/рослину. На ділянках без добрив кількість пагонів на початку травня була 1,8–5,7 шт/рослину, а в кінці вегетаційного періоду – 2,4–7,9 шт/рослину залежно від року проведення досліджень. Кількість пагонів на ділянках з внесенням добрива була на 3,0–42 % більшою порівняно з ділянками без добрив. Необхідно відзначити, що не встановлено чіткої тенденції щодо впливу способу зберігання живців верби на формування кількості пагонів для обох сортів.

Література:

1. Моргун А. В. Коваленко А. М. Любич В. В. Параметри формування сировини тютюну. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. 2025. Вип. 106. Ч. 1. С. 82–88.
2. Любич В. В. Моргун А. В. Технологічні параметри формування тютюнової сировини у Правобережному Лісостепу. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. 2024. Вип. 105. С. 153–162.
3. Cooper D.J., Dickens J., Hobbs N.T., Christensen L., Landrum L. Hydrologic geomorphic and climatic processes controlling willow establishment in a montane ecosystem. *Hydrol. Process. Int. J.* 2006. Vol. 20. P. 1845–1864.

4. Birla D., Yadav S.L., Gajanand M., Patel R.A., Sanodiya P. Agronomic techniques to improve environmental restoration and climatic resilience in the agroforestry system. *Agroforestry Solutions for Climate Change and Environmental Restoration*, Springer Nature: Singapore. 2024. P. 437–462.
5. Nolet B.A., Hoekstra A., Ottenheim M.M. Selective foraging on woody species by the beaver *Castor fiber* and its impact on a riparian willow forest. *Biol. Conserv.* 1994. Vol. 70. P. 117–128.
6. Williams M.A., Feest A. The Effect of Willow Short Rotation Coppice Cultivation on the Biodiversity Quality of Ground-Layer Invertebrates. *Agric. Sci.* 2022. Vol. 13. P. 378–392.
7. Börjesson P. Environmental effects of energy crop cultivation in Sweden: Identification and quantification. *Biomass Bioenergy.* 1999. Vol. 16. P. 137–154.
8. Simon L., Uri Z., Vigh S., Oláh K.I., Makádi M., Vincze G. Phytoextraction of potentially toxic elements from wastewater solids and willow ash—Experiences with energy willow (*Salix triandra* × *S. viminalis* ‘Inger’). *Bioenergy Crops*, CRC Press: Boca Raton FL USA. 2022. P. 227–245.
9. Skłodowski M., Kiedrzyńska E., Kiedrzyński M., Urbaniak M., Zielińska K. M., Kurowski J. K., Zalewski M. The role of riparian willows in phosphorus accumulation and PCB control for lotic water quality improvement. *Ecol. Eng.* 2014. Vol. 70. P. 1–10.
10. Saletnik B., Puchalski C. Suitability of biochar and biomass ash in basket willow (*Salix viminalis* L.) cultivation. *Agronomy.* 2019. Vol. 9. 577.
11. Woo D.K. Unraveling the potential of willow afforestation for long-term soil organic carbon sequestration under future climate and acclimation pathways. *For. Ecol. Manag.* 2025. Vol. 593. 122843.
12. Rasa K., Heikkinen J., Hannula M., Arstila K., Kulju S., Hyväluoma J. How and why does willow biochar increase a clay soil water retention capacity? *Biomass Bioenergy.* 2018. Vol. 119. P. 346–353.
13. Hangs R. D., Ahmed H. P., Schoenau J. J. Influence of willow biochar amendment on soil nitrogen availability and greenhouse gas production in two fertilized temperate prairie soils. *BioEnergy Res.* 2016. Vol. 9. P. 157–171.
14. Fletcher A. J., Smith M. A., Heinemeyer A., Lord R., Ennis C. J., Hodgson E. M., Farrar K. Production factors controlling the physical characteristics of biochar derived from phytoremediation willow for agricultural applications. *BioEnergy Res.* 2014. Vol. 7. P. 371–380.
15. Budeanu M., Șofletea N., Petrițan I. C. Among-population variation in quality traits in two Romanian provenance trials with *Picea abies* L. *Balt. For.* 2014. Vol. 20. P. 37–47.
16. Tudose N. C., Marin M., Cheval S., Mitter H., Broekman A., Sanchez-Plaza A., Ungurean C., Davidescu S. Challenges and opportunities of knowledge co-creation for the water-energy-land nexus. *Clim. Serv.* 2023. Vol. 30. 100340.

References:

1. Morgun, A. V., Kovalenko, A. M., Liubych, V. V. (2025). Parameters of tobacco raw material formation. *Collection of Scientific Works of Uman National University of Horticulture*, 106(1), 82–88. [in Ukrainian].

2. Liubych, V. V., Morgun, A. V. (2024). Technological parameters of tobacco raw material formation in the Right-Bank Forest-Steppe. *Collection of Scientific Works of Uman National University of Horticulture*, 105, 153–162. [in Ukrainian].
3. Cooper, D. J., Dickens, J., Hobbs, N. T., Christensen, L., Landrum, L. (2006). Hydrologic, geomorphic and climatic processes controlling willow establishment in a montane ecosystem. *Hydrological Processes International Journal*, 20, 1845–1864.
4. Birla, D., Yadav, S. L., Gajanand, M., Patel, R. A., Sanodiya, P. (2024). Agronomic techniques to improve environmental restoration and climatic resilience in the agroforestry system. *Agroforestry Solutions for Climate Change and Environmental Restoration*, 437–462.
5. Nolet, B. A., Hoekstra, A., Ottenheim, M. M. (1994). Selective foraging on woody species by the beaver *Castor fiber* and its impact on a riparian willow forest. *Biological Conservation*, 70, 117–128.
6. Williams, M. A., Feest, A. (2022). The effect of willow short rotation coppice cultivation on the biodiversity quality of ground-layer invertebrates. *Agricultural Sciences*, 13, 378–392.
7. Börjesson, P. (1999). Environmental effects of energy crop cultivation in Sweden: Identification and quantification. *Biomass and Bioenergy*, 16, 137–154.
8. Simon, L., Uri, Z., Vigh, S., Oláh, K. I., Makádi, M., Vincze, G. (2022). Phytoextraction of potentially toxic elements from wastewater solids and willow ash: Experiences with energy willow (*Salix triandra* × *S. viminalis* ‘Inger’). *Bioenergy Crops*, 227–245.
9. Skłodowski, M., Kiedrzyńska, E., Kiedrzyński, M., Urbaniak, M., Zielińska, K. M., Kurowski, J. K., Zalewski, M. (2014). The role of riparian willows in phosphorus accumulation and PCB control for lotic water quality improvement. *Ecological Engineering*, 70, 1–10.
10. Saletnik, B., Puchalski, C. (2019). Suitability of biochar and biomass ash in basket willow (*Salix viminalis* L.) cultivation. *Agronomy*, 9, 577.
11. Woo, D. K. (2025). Unraveling the potential of willow afforestation for long-term soil organic carbon sequestration under future climate and acclimation pathways. *Forest Ecology and Management*, 593, 122843.
12. Rasa, K., Heikkinen, J., Hannula, M., Arstila, K., Kulju, S., Hyväluoma, J. (2018). How and why does willow biochar increase clay soil water retention capacity? *Biomass and Bioenergy*, 119, 346–353.
13. Hangs, R. D., Ahmed, H. P., Schoenau, J. J. (2016). Influence of willow biochar amendment on soil nitrogen availability and greenhouse gas production in two fertilized temperate prairie soils. *BioEnergy Research*, 9, 157–171.
14. Fletcher, A. J., Smith, M. A., Heinemeyer, A., Lord, R., Ennis, C. J., Hodgson, E. M., Farrar, K. (2014). Production factors controlling the physical characteristics of biochar derived from phytoremediation willow for agricultural applications. *BioEnergy Research*, 7, 371–380.
15. Budeanu, M., Șofletea, N., Petrițan, I. C. (2014). Among-population variation in quality traits in two Romanian provenance trials with *Picea abies* L. *Baltic Forestry*, 20, 37–47.

16. Tudose, N. C., Marin, M., Cheval, S., Mitter, H., Broekman, A., Sanchez-Plaza, A., Ungurean, C., Davidescu, S. (2023). Challenges and opportunities of knowledge co-creation for the water-energy-land nexus. *Climate Services*, 30, 100340.

Annotation

Daniuk V. O., Dryha V. V.

Dynamics of the formation of growth indicators of different willow species depending on the elements of the cultivation technology

Purpose. To determine the formation of growth indicators of different willow species depending on the elements of cultivation technology.

Methods. Laboratory, mathematical and statistical.

Results. It was established that when growing willow of the cv. Panfylska, shoot height was the lowest during the first assessment – 42–75 cm depending on the research year. The tallest plants at the end of the growing season reached 133–182 cm. The application of fertilizer increased plant height by 13–34% depending on the storage method of willow cuttings. At the same time, the significance of the storage method decreased when fertilizer was applied. It should be noted that when willow was grown without fertilizer, the effect of the storage method varied depending on the research year. Thus, in 2023, the best results were obtained when cuttings were stored in polyethylene bags in a storage facility with the cut surfaces treated with lime. However, in 2024 and 2025, the storage method of willow cuttings had no such significant effect. The plant height of willow cv. Zbruch was 6–12% lower compared to cv. Panfylska.

The number of shoots at the beginning of the assessments either did not differ or was the same as at the end of the growing period. Under fertilizer application, the number of shoots in cv. Panfylska at the beginning of assessments ranged from 3.4 to 4.5 shoots per plant. At the end of the growing season, the number of shoots varied from 3.8 to 6.7 shoots per plant depending on the research year. When willow was grown without fertilizer, the number of shoots at the beginning of the assessments ranged from 2.5 to 3.7 shoots per plant, and at the end of the season—from 2.6 to 5.4 shoots per plant depending on the year. In the cv. Zbruch, the number of shoots also changed significantly depending on fertilizer application. At the beginning of assessments, this indicator ranged from 2.5 to 6.4 shoots per plant, and at the end of the growing season—from 3.4 to 8.1 shoots per plant. In unfertilized plots, the number of shoots at the beginning of May was 1.8–5.7 shoots per plant, and at the end of the season – 2.4–7.9 shoots per plant depending on the year. The number of shoots in fertilized plots was 3.0–42% higher compared to unfertilized plots.

Conclusions. The number of shoots at the beginning of assessments either did not differ or corresponded to the number at the end of the growing period. Under fertilizer application, the number of shoots in cv. Panfylska at the beginning of assessments ranged from 3.4 to 4.5 shoots per plant, and from 3.8 to 6.7 shoots per plant at the end depending on the year. Without fertilizer, the number of shoots ranged from 2.5 to 3.7 at the beginning and from 2.6 to 5.4 shoots per plant at the end. In cv. Zbruch, the number of shoots varied significantly under fertilizer application: 2.5–6.4 at the beginning and 3.4–8.1 at the end of the growing season.

Key words: osier willow, almond willow, plant height, number of shoots, fertilization, cutting storage method.