

НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ В АПК: ДОСЛІДЖЕННЯ ТА УПРАВЛІННЯ

УДК 582.623.2:620

[https://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2024-2-35\(49\)-8](https://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2024-2-35(49)-8)

ПРОДУКТИВНІСТЬ БІОМАСИ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ВЕРБИ «*SALIX VIMINALIS*» ЗАЛЕЖНО ВІД СОРТУ, ТЕРМІНІВ І СХЕМ САДІННЯ

Шувар А., д-р.с.-г.н., старший науковий співробітник,
<https://orcid.org/0000-0002-6016-0896>, e-mail: a.shuvar@wunu.edu.ua

Панькевич В.,
<https://orcid.org/0000-0002-6618-4549>, e-mail: pankevich80@ukr.net

Грохольська Т., д-р. філософ.,
<https://orcid.org/0000-0002-1642-2203>, e-mail: t.hrokholska@wunu.edu.ua

Диня В., канд. техн. наук
<https://orcid.org/0000-0002-0008-908X>,
Західноукраїнський національний університет

Думич В.,
<https://orcid.org/0000-0002-7813-5437>, e-mail: dumych1963@ukr.net

Сало Я.,
<https://orcid.org/0000-0002-1542-0599>, e-mail : yaroslavsalo13@gmail.com
Львівська філія УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого

Анотація

Мета досліджень. Метою досліджень було визначення впливу сорту, термінів і схем садіння на показники продуктивності біомаси енергетичної верби.

Методи досліджень. Дослідження виконувалися у 2022-2023 рр. в умовах Західного Лісо-степу України на дослідних ділянках Західноукраїнського національного університету. Ґрунти дослідних ділянок – чорноземи типові глибокі малогумусні. Середньодобова температурою повітря в період вегетації становила +14,6°C та +15,3°C. Кількість опадів у вегетаційний період – 369 мм і 348 мм. Річна кількість опадів – 620-650 мм.

У ході досліджень оцінювалася продуктивність біомаси двох сортів верби («Прутовидна» та «Тритичинкова»), посаджених із різними міжряддями (2×70×200; 2×100×200; 2×150×200 см). Крок садіння за всіх міжрядь – 50 см. Садіння живців здійснювалося у чотири етапи (II декада квітня, I декада травня, III декада вересня, III декада жовтня).

Результати досліджень. Досліджувані сорти верби у перший рік вирощування сформували урожайність сирої біомаси в межах 25,16-32,27 т/га, у другий рік цей показник становив 36,77-44,38 т/га. Урожайність сухої біомаси у перший рік – 8,77-15,02 т/га, у другий – 17,55-23,88 т/га. За результатами досліджень відзначено вищі показники продуктивності сорту «Прутовидна».

Найбільший вихід біомаси верби отримано у варіантах зі схемою садіння живців 2×100×200 см. На цих варіантах спостерігалось збільшення врожайності 5,8% порівняно з контролем (2×70×200см).

Живці верби доцільно висаджувати у ранні терміни (II декада квітня), оскільки у варіантах із пізнішими термінами садіння спостерігалось зменшення врожайності культури. Найменші показники відмічено за садіння живців у третій декаді жовтня.

Найбільший вплив на продуктивність біомаси верби має густота та схема садіння (42,7%). Вплив строків садіння на вихід біомаси становить 30,8%, а сортових особливостей – 19,7%.

Висновки. У ґрунтово-кліматичних умовах Західного Лісостепу вищі показники продуктивності сирової і сухої біомаси верби отримані у варіанті із садінням живців за схемою 2×100×200 см у II декаді квітня. Мінімальне значення врожайності відзначено за схеми садіння 2×150×200 см у III декаді жовтня. Найбільший вплив на продуктивність біомаси верби має густота та схема садіння.

Ключові слова: урожайність, сира та суха біомаса, фактори досліджень, схеми садіння, дисперсійний аналіз, показники.

Вступ. Виклики, пов'язані з глобальними змінами клімату, геополітична невизначеність щодо стабільності постачанням енергоносіїв і збільшення вартості викопних видів палива спонукають до пошуку чистих і відновлюваних замінників палива [Palmer et al., 2014; González-García et al., 2014].

У зв'язку з цим у Європейському Союзі (ЄС) зростає пріоритет відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), збільшується попит на енергію з біомаси. В останні роки біоенергетика відіграє важливу роль як відновлюване джерело енергії в ЄС, оскільки на неї припадає 61,7% всіх ВДЕ, зокрема на тверде паливо — 43% від зазначеної кількості [Statistics, 2024].

Тверду біомасу отримують переважно у вигляді деревини з лісів і деревообробної промисловості і відходів аграрного виробництва. Окрім того, плантації енергетичних культур, створені на сільськогосподарських землях, є додатковим джерелом деревини для електростанцій, теплоелектроцентралей і когенераційних установок [Stolarski et al., 2016; Dias et al., 2017].

Зараз вирощуються деревні культури з короткою ротацією (верба та тополя) для забезпечення відновлюваної сировини для виробництва біоенергії [Nathan et al., 2016; Eisenbies et al., 2014].

Верба швидко накопичує біомасу, рослини стійкі до хвороб і шкідників, не вимогливі до родючості ґрунту [Caslin et al., 2015]. Урожайність сухої маси верби за умови щорічного збирання становить понад 14 т/га, при дворічному циклі — 32 т/га, а при трирічному — 60 т/га [Думич, 2014; Шкоропад & Думич, 2017; Гументик та ін., 2018]. Для виробництва біопалива не потрібно значних затрат енергетичних ресурсів. За даними дослідників, для отримання 1 МДж енергії з біопалива енерге-

тичної верби витрачається 0,092 МДж невідновлюваної енергії [Heller et al., 2003].

Постановка завдань. Вирощування енергетичних культур є актуальним питанням для України, оскільки використання біомаси як джерела енергії дає змогу зменшити залежність від імпортованих енергоносіїв і підвищити економіко-енергетичну безпеку держави [Tworkowski et al., 2015; Лутковська & Зеленчук, 2021].

На енергетичних плантаціях переважно вирощується верба прутувидна. У відносно сухих умовах доцільно висаджувати гостролисту пурпурову вербу, а в перезволожений — тритичинкову, п'ятитичинкову [Сінченко, 2015].

Закладення плантацій відбувається ранньою весною або восени. Однак деякі дослідники наголошують, що посадковий сезон із використанням посадкового матеріалу холодного зберігання може тривати з початку квітня до середини травня і навіть у червні [Caslin et al., 2015].

На сьогодні відомо декілька схем садіння енергетичної верби (європейська, скандинавська, американська та українська), які відрізняються між собою шириною міжрядь між смугами та між рядками у смузі, а також відстанню між рослинами в рядку [Сінченко, 2015].

З аналізу наукових джерел установлено, що для закладання плантацій енергетичної верби (зокрема садіння живців) застосовуються різні техніко-технологічні рішення, ефективність яких по-різному проявляється в конкретних ґрунтово-кліматичних умовах [Фучило & Сбитна, 2017]. Відтак метою досліджень було визначення впливу сортових особливостей, строків і схем садіння на показники продуктивності біомаси енергетичної верби в умовах Західного Лісостепу України.

Методи і матеріали. Дослідження ви-

конувалися у 2022-2023 рр. в умовах Західного Лісостепу України на дослідних ділянках Західноукраїнського національного університету.

Грунт дослідних ділянок – чорноземи типові, глибокі, малогумусні, які мають нейтральну реакцію ґрунтового розчину рН сольове – 6,4.

Кліматичні умови в роки досліджень характеризувалися середньодобовою температурою повітря, яка в період активної вегетації (від 1.04 до 1.10) становила +14,6°C і +15,3°C. Річна кількість опадів – 620-650 мм. Кількість опадів у вегетаційний період – 369 мм і 348 мм.

У ході досліджень визначалася врожайність біомаси сортів «Прутовидна» і «Тритичинкова» (фактор А), садіння живців яких (фактор В) виконувалося у чотири етапи (II декада квітня; I декада травня; III декада вересня; III декада жовтня) за трьома схемами та щільності садіння (фактор С) – (перша – 2х70х200 (14,8 тис. шт./га); друга – 2х100х200 (13,3 тис. шт./га); третя – 2х150х200 (11,4 тис. шт./га)). Крок посадки живців на всіх ділянках – 50 см.

Для проведення досліджень закладено 24 дослідні ділянки з різними варіантами дослідів. Площа дослідної ділянки – 200 м², облікової – 20 м². Повторюваність дослідів – триразова.

Визначення врожайності біомаси проводилося після закінчення періоду вегетації рослин, коли з рослин опало листя. На облікових ділянках зрізалися і зважувалися пагони рослини з усіх кушів верби. Висота зрізу – 10 см. Після зважування значення маси пагонів у кг ділилося на 2 і визначалася врожайність сирової біомаси в т/га.

Дослідження проводилися за загальноприйнятими науковими методиками, традиційними для лісівництва та рослинництва.

Результати. За результатами досліджень встановлено, що в умовах Західного Лісостепу досліджувані сорти енергетичної верби за період першого року вегетації накопичили врожай сирової біомаси залежно від сортових особливостей, тер-

мінів і схем садіння живців і погодно-кліматичних умов у діапазоні 25,16-32,27 т/га (табл. 1). Протягом другого року вегетації приріст біомаси становив 11,61-12,11 т/га (37,5-46,5%). Урожайність сирової біомаси дворічних рослин верби варіювалася в діапазоні 36,77-44,38 т/га.

Дані досліджень свідчать, що рослини сорту «Прутовидна» сформували вищу врожайність біомаси, ніж сорт «Тритичинкова». Середня врожайність біомаси верби сорту «Прутовидна» першого року вирощування – 29,81 т/га, просягом двох років вихід біомаси верби становив 40,99 т/га, що на 8,2% і 4,0% більше порівняно з відповідними показниками сорту «Тритичинкова».

Найвищі показники врожайності біомаси в межах фактора В отримано у варіантах, які передбачали садіння живців у ранні строки у II декаді квітня. Добрий результат щодо виходу біомаси одержано також за садіння живців у III декаді вересня. Найменші показники врожайності біомаси були на ділянках, закладених у пізні терміни в III декаді жовтня.

На основі результатів досліджень відзначено високу ефективність схеми садіння – ефективність 2х100х200 (13,3 тис. шт./га). За цією схемою розміщення рослин відбувається найбільше наростання біомаси рослин верби. За перший рік вегетації вихід біомаси за схеми садіння 2х100х200 варіювався у межах від 26,01 до 32,27 т/га, що на 0,85-2,20 т/га більше порівняно з найгіршим варіантом садіння живців за схемою 2х150х200 (11,4 тис. шт./га). Таку ж тенденцію відзначено і на ділянках із дворічним циклом вирощування.

Абсолютно найвищий показник урожайності сирової біомаси (44,38 т/га) відзначено на ділянці з рослинами сорту «Прутовидна», яка була закладена у II декаді квітня за схемою садіння живців 2х100х200 см. Мінімальний вихід біомаси (38,42 т/га) рослини цього сорту сформувався на ділянці, закладеній у III декаді жовтня за схемою 2х150х200 см.

Таку ж залежність урожайності сирової біомаси від термінів і схеми садіння

Таблиця 1 – Продуктивність сирової біомаси енергетичної верби «Salix Viminalis» залежно від сорту, строків і схем садіння (середнє за 2022-2023рр., т/га)

Сортові особливості (Фактор А)	Терміни садіння живців (Фактор В)	Схема садіння живців (Фактор С)	Урожайність сирої біомаси 1-й рік	Урожайність сирої біомаси 2-й рік
«Прутовидна»	II декада квітня	2x70x200	31,71	41,94
		2x100x200	32,27	44,38
		2x150x200	30,89	40,72
	I декада травня (К)	2x70x200 (К)	29,96	40,06
		2x100x200	30,46	42,59
		2x150x200	28,87	39,32
	III декада вересня	2x70x200	30,40	40,47
		2x100x200	31,08	43,82
		2x150x200	29,28	40,03
	III декада жовтня	2x70x200	27,82	39,10
		2x100x200	28,08	41,00
		2x150x200	26,93	38,42
«Тритичинкова» (К)	II декада квітня	2x70x200	28,77	40,65
		2x100x200	29,85	42,06
		2x150x200	27,65	39,81
	I декада травня	2x70x200	27,45	39,03
		2x100x200	28,64	41,85
		2x150x200	26,85	38,75
	III декада вересня	2x70x200	28,14	38,25
		2x100x200	29,03	40,02
		2x150x200	27,09	38,01
	III декада жовтня	2x70x200	25,88	37,71
		2x100x200	26,01	39,01
		2x150x200	25,16	36,77
H _{IP} ₀₅			A – 0,11 B – 0,11 C – 0,13	A – 0,08 B – 0,08 C – 0,09

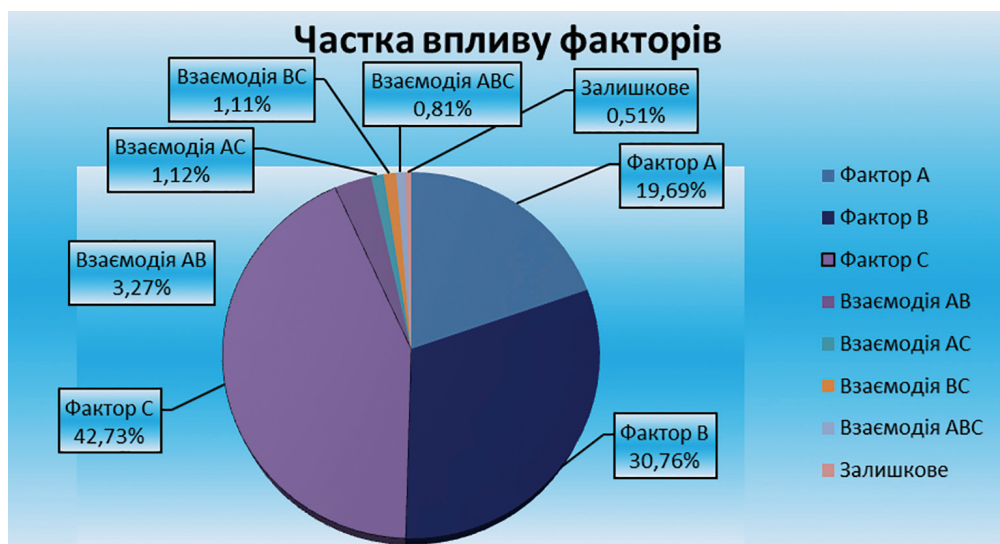


Рисунок 1 – Вплив факторів на урожайність сирової біомаси дворічних рослин верби

живців відзначено і в рослин сорту «Тритичинкова» — найвищий показник продуктивності якого становив 42,06 т/га, а найменший — 36,77 т/га.

Дисперсійний аналіз засвідчив, що фактори досліджень достовірно впливали на продуктивність біомаси енергетичної верби (рис. 1).

За результатами досліджень встановлено таке: частка впливу сортових особливостей (фактору А) на урожайність сирої біомаси енергетичної верби становить 19,7%, величина впливу термінів садіння живців (фактору В) — 30,8%, однак

значно більшу частку впливу на врожайність має схема і густота садіння живців (фактор С), яка становить 42,7%. Взаємодія факторів була в межах від 3,3 до 0,8%. Інші фактори не мали істотного впливу на ці показники.

Терміни та схеми садіння живців енергетичної верби достовірно впливали на урожайність сухої біомаси енергетичної верби (табл. 2).

Урожайність сухої маси рослин сорту «Прутовидна» за дворічного терміну вирощування на різних ділянках була в межах 18,87-23,88 т/га. Найбільший ви-

Таблиця 2 – Продуктивність сухої біомаси енергетичної верби «Salix Viminalis» залежно від сорту, строків і схем садіння (середнє за 2022-2023рр.), т/га

Сортові особливості (ФакторА)	Строки садіння живців (Фактор В)	Схема садіння живців (Фактор С)	Урожайність сухої біомаси 1-й рік	Урожайність сухої біомаси 2-й рік
«Прутовидна»	II декада квітня	2х70х200	13,75	23,38
		2х100х200	15,02	23,88
		2х150х200	12,88	23,14
	I декада травня (К)	2х70х200 (К)	12,15	20,68
		2х100х200	12,81	21,73
		2х150х200	11,79	20,58
	III декада вересня	2х70х200	10,54	19,87
		2х100х200	10,90	20,25
		2х150х200	9,92	19,45
	III декада жовтня	2х70х200	9,61	19,03
		2х100х200	9,82	19,35
		2х150х200	8,77	18,87
«Тритичинкова» (К)	II декада квітня	2х70х200	13,77	22,53
		2х100х200	13,86	22,76
		2х150х200	12,25	22,21
	I декада травня	2х70х200	11,12	20,28
		2х100х200	11,68	21,43
		2х150х200	10,83	20,17
	III декада вересня	2х70х200	9,68	19,81
		2х100х200	10,37	20,16
		2х150х200	9,18	19,23
	III декада жовтня	2х70х200	9,15	18,69
		2х100х200	9,89	19,16
		2х150х200	9,81	17,55
НІР ₀₅			А – 0,12 В – 0,12 С – 0,15	А – 0,11 В – 0,11 С – 0,13

хід біомаси отримано за схеми садіння 2x100x200 см, у другій декаді квітня. Найгірші показники отримано за розрідженої посадки (2x150x200 см) в пізні терміни у третій декаді жовтня.

У рослин сорту «Тричинкова» вихід сухої біомаси на ділянках із різними варіантами досліду знаходився в межах 17,55–22,76 т/га.

Щодо впливу досліджуваних чинників слід відзначити, що зі зміною термінів садіння різниця між значеннями виходу сухої біомаси верби сорту «Прутовидна» в межах схеми посадки 2x100x200 становить 2,15–4,53 т/га. Різниця у врожайності біомаси рослин цього сорту на ділянках із різними схемами посадки в межах терміну садіння — 0,48–1,25 т/га. У сорту «Тричинкова» ці показники варіювалися в інтервалах 1,33–3,60 т/га та 0,55–1,56 т/га.

Відтак необхідно відзначено, що в умовах Лісостепу Західного вищі показники виходу біомаси отримано за садіння живців у ранні терміни за схемі 2x100x200 см.

У середньому на енергетичній плантації на 1 га енергетичної верби сорту «Прутовидна» за дворічний цикл вирощування можна отримати урожай сухої біомаси, еквівалент якої становить 227–335 ГДж/га енергії, або приблизно 332–491 МВт/год. електроенергії. Теплотворна здатність паливної тріски верби — 12–14 МДж/кг).

Обговорення. Питання щільності і схеми розміщення та термінів садіння верби є темою дискусії багатьох зарубіжних і вітчизняних науковців.

Деякі науковці вважають, що щільні насадження мають вищу продуктивність у перший рік вирощування. Однак у більш щільних насадженнях висока конкуренцію між рослинами приводить до загинелі пагонів, і відстань між рослинами не впливала ні на виробництво біомаси з короткими циклами (1–3 роки), ані в урожаєх із довгими циклами (> 3 років) [Willebrand et al., 1993].

Аналогічний результат отримано за результатами досліджень однорядної (з відстанню між рядами 100 см) і дворядної (з відстанню між спареними рядами 150 см) схем посадок верби. Вихід біомаси під час

першого циклу зрізання позитивно корелював із кількістю рослин на гектарі, однак згодом схеми посадки не вплинули на вихід біомаси з гектара [Bergkvist & Ledin, 1998].

Неефективність високої густоти садіння живців підтверджено також дослідженнями в умовах Прикарпаття України, за якими найвищу врожайність біомаси верби отримано за густоти садіння 15 тис. живців на 1 га, а найменшу зафіксовано у варіанті з густотою садіння 18 тис шт/га, що вказує на доцільність висаджування в досліджуваних умовах 12–15 тис шт живців на 1 га [Фучило та ін., 2021]. Однак на зменшення врожайності біомаси негативно впливає і зменшення густоти садіння енергетичної верби 10 тис шт./га. [Фурманець & Фурманець, 2021].

Дані досліджень однорядної (з міжряддями 152 см) і дворядної (2x76x152) схем посадок верби з однаковою густотою деревостану (близько 14000 рослин/га) вказують на незначне збільшення врожайності біомаси (6,7%) на ділянках із однорядною посадкою. Однак різні сорти по-різному реагували на схему посадки. Так, гібрид «LA970253» забезпечив найбільшу середньорічну врожайність сухої речовини 14,0 т/га в однорядному варіанті, а гібрид «Fabius» мав найбільшу врожайність сухої речовини — 12,5 т/га — у дворядному варіанті [Gouker et al., 2021].

За результатами досліджень двох схем посадки 2x75x150 та 2x75x262 (крок садіння 0,74 м), що відповідає густині 1,2 і 0,8 рослин/м² відзначено, що велика ширина міжрядь значно знизила (на 23%) середньорічний вихід сухої біомаси [Larsen et al., 2019]. Аналогічні показники отримано за результатами досліджень вітчизняних учених, які вказують, що на чорноземах вилугуваних Центрального Лісостепу оптимальною схемою садіння живців є формування спарених рядів із відстанню між ними 0,75 см, міжряддями 1,5 м та густотою 12–15 тис. шт./га. Істотно вищими показниками продуктивності сухої біомаси — від 14,8 до 22,5 т/га на рік — відзначається сорт «Tora», водночас у

сорту «Тернопільська» цей показник становить від 6,2 до 14,8 т/га на рік [Сінченко та ін., 2018].

Щодо термінів посадки живців вчені відзначають позитивні й негативні особливості весняного і осіннього садіння живців, які проявляються залежно від ґрунтово-кліматичних умов регіону вирощування [Сінченко, 2015].

Так, за даними наших досліджень, в умовах Західного Лісостепу встановлено позитивний вплив на врожайність біомаси раннього садіння живців. Дещо інші висновки одержано за результатами досліджень у Центральному Лісостепу, за якими встановлено, що у перший рік вегетації енергетичної верби більший вихід отримано на ділянках із осінньою посадкою живців [Гончарук & Яремчук, 2021].

Висновки. За результатами досліджень встановлено, що досліджувані сорти енергетичної верби в умовах Західного Лісостепу протягом першого року вегетації здатні сформувати врожай сирової біомаси в діапазоні 25,16-32,27 т/га. Урожайність сирової біомаси дворічних рослин верби варіювалася в діапазоні 36,77-44,38 т/га т (приріст біомаси становив 37,5-46,5%).

Середня врожайність біомаси верби сорту «Прутовидна» за дворічний термін вирощування становила 40,99 т/га, що 4,0% більше порівняно з відповідним показником сорту «Тритичинкова». Показники врожайності сухої маси рослин сорту «Прутовидна» за дворічного терміну вирощування на різних ділянках була в межах 18,87-23,88 т/га.

Вищі врожайності біомаси отримано у варіантах, які передбачали садіння живців у ранні строки у II декаді квітня. Позитивний результат щодо виходу біомаси отримано також за садіння живців у III декаді вересня. Найменші показники врожайності біомаси були на ділянках, закладених у пізні терміни в III-й декаді жовтня.

Найвищий показник урожайності сирової біомаси (44,38 т/га) відзначено на ділянці з рослинами сорту «Прутовидна», яка була закладена у II-й декаді квітня за схемою садіння живців 2x100x200см. Мі-

німальний вихід біомаси (38,42 т/га) рослини цього сорту сформувався на ділянці, закладеній у III-й декаді жовтня за схемою 2x150x200см. Таку ж закономірність відзначено і за виходом сухої біомаси.

Дисперсійний аналіз засвідчив, що фактори досліджень достовірно впливали на продуктивність біомаси енергетичної верби: частка впливу сортових особливостей (фактору А) на врожайність сирової біомаси енергетичної верби становить 19,7%, величина впливу строків садіння живців (фактору В) – 30,8%, однак значно більшу частку впливу на врожайність має схема і густота садіння живців (фактор С), яка становить 42,7%. Взаємодія факторів була в межах від 3,3 до 0,8%. Інші фактори не мали істотного впливу на ці показники.

У середньому на енергетичній плантації на 1 га енергетичної верби сорту «Прутовидна» за дворічний цикл вирощування можна отримати урожай сухої біомаси, еквівалент якої становить 227-335 ГДж/га енергії, або біля 332-491 МВт/год. електроенергії. Теплотворна здатність паливної тріски верби – 12-14 МДж/кг).

Перелік літератури

Гончарук, І. В., Яремчук, Н. В. (2021). Економіко-екологічні перспективи вирощування енергетичної верби Ялтушківською дослідно-селекційною станцією ІБК і ЦБ НААН України. Економіка, фінанси, менеджмент: актуальні питання науки і практики. 4 (58). 7-23. <https://doi.org/10.37128/2411-4413-2021-4-1>.

Гументик, М. Я., Гайда, Ю. І., Фучило, Я. Д., Гнап, І. В. (2018). Економічна ефективність інвестицій у вирощування біоенергетичних культур в зоні Лісостепу України. Економічний аналіз. 28 (2). 21-29.

Думич, В. (2014). Технології збирання верби. Збірник наукових праць УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого: Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Дослідницьке: УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. 18 (32). 228-236.

Лутковська, С.М., Зеленчук, Н.В. (2021). Розвиток біоенергетики в Україні – енергетична та економічна безпека в умовах сталого розвитку. Ефективна економіка. 12. URL: <http://socrates.vsau.org/repository/card.php?id=30653>

Сінченко, В.М (ред.) (2015). Енергетична верба: технологія вирощування та використання. Вінниця : ТОВ «НіландЛ-ТД». 340 с

Сінченко, В. М., Фучило, Я. Д., Мельничук, Г. А. (2018). Фізіологічні основи накопичення біомаси верби енергетичної в умовах Центрального Лісостепу. Новітні агротехнології. № 8. <https://doi.org/10.21498/na.6.2018.165308>

Фучило, Я.Д., Лис, Н. М., Ткачук, Н.Л., Іванчук, З.С. (2021). Ріст і продуктивність енергетичних плантацій верби в умовах Прикарпаття. Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків. 27, 115–122. <https://doi.org/10.47414/np.27.2019.211175>

Фучило, Я. Д., Сбитна, М. В. (2017). Верби України: біологія, екологія, використання: монографія. Київ: ЦП «Компринт». 259 с.

Шкоропад, Л., Думич, В (2017). Вирощування енергетичної верби в умовах західного регіону України. Збірник наукових праць УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого: Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Дослідницьке: УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. 21 (35). 353–361.

Bergkvist, P., & Ledin, S. (1998). Stem biomass yields at different planting designs and spacings in willow coppice systems. *Biomass and Bioenergy*, 14(2), 149-156. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(97\)10021-6](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(97)10021-6)

Caslin B., Finnan J., Johnston Ch., McCracken A. (2015). Short rotation coppice willow best practice guidelines. URL: <https://www.afbini.gov.uk/sites/afbini.gov.uk/files/publications/Short%20rotation%20coppice%20willow%20best%20practice%20guidelines.pdf>

Dias, G.M.; Ayer, N.W.; Kariyapperuma, K.; Thevathasan, N.; Gordon, A.; Sidders, D.; Johannesson, G.H. (2017). Life cycle as-

essment of thermal energy production from short-rotation willow biomass in Southern Ontario, Canada. *Appl. Energy*, 204, 343-352.

Eisenbies, M. H., Volk, T. A., Posselius, J., Foster, Ch. & Shi, S. (2014). Evaluation of a single-pass, cut and chip harvest system on commercial-scale, short-rotation shrub willow biomass crops. *BioEnergy Res.* 7(4), 1506–1518

González-García, S., Iribarren, D., Susmozas, A., Dufour, J. & Murphy, R. J. (2014) Life cycle assessment of two alternative bioenergy systems involving *Salix* spp. biomass: bioethanol production and power generation. *Appl. Energy* 95, 111-122

Gouker, F. E., Fabio, E. S., Serapiglia, M. J., & Smart, L. B. (2021). Yield and biomass quality of shrub willow hybrids in differing rotation lengths and spacing designs. *Biomass and Bioenergy*, 146, 105977. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.105977>

Heller, M. C., Keoleian, G. A. & Volk, T. A. (2003) Life cycle assessment of a willow bioenergy cropping system. *Biomass Bioenergy*. 25, 147–165.

Larsen, S. U., Jørgensen, U., & Lærke, P. E. (2019). Harvest interval and row spacing of SRC willow influence yield and nutrient content. *Biomass and Bioenergy*, 126, 181-189. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.05.012>

Nathan, J., Sleight, N. & Volk, T. A. (2016). Recently Bred Willow (*Salix* spp.) Biomass crops show stable yield trends over three rotations at two sites. *BioEnergy Res.* 9, 782–797

Palmer, M. M., Forrester, J. A., Rothstein, D. E. & Mladenoff, D. J. (2014) Establishment phase greenhouse gas emissions in short rotation woody biomass plantations in the Northern Lake States, USA. *Biomass Bioenergy* 62, 26-36

Statistics Explained (2024). Energy statistics - an overview. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/SEPDF/cache/29046.pdf> (accessed on 2 December 2024).

Stolarski, M.J., Krzyzaniak, M., Warminski, K., Niksa, D. (2016). Energy consumption and costs of heating a detached house

with wood briquettes in comparison to other fuels. *Energy Convers. Manag.*, 121, 71-83

Tworowski, J., Stolarski, M., Szczukowski, S., Krzyzaniak, M. (2015). Energetyczna efektywność produkcji biomasy wierzby systemem Eko-Salix. *Zeszyty Problemowe Postępyw Nauk Rolniczych*. 582. 91-100.

Willebrand, E. V. A., Ledin, S., & Verwijst, T. (1993). Willow coppice systems in short rotation forestry: effects of plant spacing, rotation length and clonal composition on biomass production. *Biomass and Bioenergy*, 4(5), 323-331. [https://doi.org/10.1016/0961-9534\(93\)90048-9](https://doi.org/10.1016/0961-9534(93)90048-9)

References

Bergkvist, P., & Ledin, S. (1998). Stem biomass yields at different planting designs and spacings in willow coppice systems. *Biomass and Bioenergy*, 14(2), 149-156. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(97\)10021-6](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(97)10021-6)

Caslin B., Finnan J., Johnston Ch., McCracken A. (2015). Short rotation coppice willow best practice guidelines. URL: <https://www.afbini.gov.uk/sites/afbini.gov.uk/files/publications/Short%20rotation%20coppice%20willow%20best%20practice%20guidelines.pdf>.

Dias, G.M.; Ayer, N.W.; Kariyapperuma, K.; Thevathasan, N.; Gordon, A.; Sidders, D.; Johannesson, G.H. (2017). Life cycle assessment of thermal energy production from short-rotation willow biomass in Southern Ontario, Canada. *Appl. Energy*, 204, 343-352.

Dumych, V (2014). Technologies of willow harvesting. Collection of scientific papers of UkrNDIPVT named after L. Pogorelny: Technical and technological aspects of development and testing of new equipment and technologies for agriculture of Ukraine. *Doslidnicke: UkrNDIPVT named after L. Pogorelyi*. 18 (32). 228-236.

Eisenbies, M. H., Volk, T. A., Posselius, J., Foster, Ch. & Shi, S. (2014). Evaluation of a single-pass, cut and chip harvest system on commercial-scale, short-rotation shrub willow biomass crops. *BioEnergy Res.* 7(4), 1506-1518

Fuchylo, Y.D., Lis, N.M., Tkachuk, N.L., Ivanchuk, Z.S. (2021). Growth and productivity of willow energy plantations in the Carpathian region. *Scientific works of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*. 27, 115-122. <https://doi.org/10.47414/np.27.2019.211175>.

Fuchylo, Y.D., Sbitna, M.V. (2017). *Willows of Ukraine: biology, ecology, use: a monograph*. Kyiv: Komprint Publishing House. 259 c.

Goncharuk, I. V., Yaremchuk, N. V. (2021). Economic and ecological prospects of growing energy willow by the Yaltushkivska Experimental Breeding Station of the IBK and CB of NAAS of Ukraine. *Economics, finance, management: topical issues of science and practice*. 4 (58). 7-23. <https://doi.org/10.37128/2411-4413-2021-4-1>.

González-García, S., Iribarren, D., Susmozas, A., Dufour, J. & Murphy, R. J. (2014) Life cycle assessment of two alternative bioenergy systems involving *Salix* spp. biomass: bioethanol production and power generation. *Appl. Energy* 95, 111-122

Gouker, F. E., Fabio, E. S., Serapiglia, M. J., & Smart, L. B. (2021). Yield and biomass quality of shrub willow hybrids in differing rotation lengths and spacing designs. *Biomass and Bioenergy*, 146, 105977. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.105977>

Gumentyk, M.Y., Gayda, Y.I., Fuchylo, Y.D., Gnap, I.V. (2018). Economic efficiency of investments in the cultivation of bioenergy crops in the Forest-Steppe zone of Ukraine. *Economic analysis*. 28 (2). 21-29.

Heller, M. C., Keoleian, G. A. & Volk, T. A. (2003) Life cycle assessment of a willow bioenergy cropping system. *Biomass Bioenergy*. 25, 147-165.

Larsen, S. U., Jørgensen, U., & Lærke, P. E. (2019). Harvest interval and row spacing of SRC willow influence yield and nutrient content. *Biomass and Bioenergy*, 126, 181-189. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.05.012>

Lutkovska, S.M., Zelenchuk, N.V. (2021). Development of bioenergy in Ukraine - energy and economic security in the context of sustainable development Effective Economy.

12. URL: <http://socrates.vsau.org/repository/card.php?id=30653>.

Nathan, J., Sleight, N. & Volk, T. A. (2016). Recently Bred Willow (*Salix* spp.) Biomass crops show stable yield trends over three rotations at two sites. *BioEnergy Res.* 9, 782–797

Palmer, M. M., Forrester, J. A., Rothstein, D. E. & Mladenoff, D. J. (2014) Establishment phase greenhouse gas emissions in short rotation woody biomass plantations in the Northern Lake States, USA. *Biomass Bioenergy* 62, 26–36

Shkoropad, L, Dumych, V (2017). Growing energy willow in the western region of Ukraine. Collection of scientific works of the UkrNDIPVT named after L. Pogorelov: Technical and technological aspects of development and testing of new equipment and technologies for agriculture of Ukraine. *Doslidnicke: UkrNDIPVT named after L. Pogorelyi.* 21 (35). 353–361.

Sinchenko, V.M. (ed.) (2015). *Energy willow: technology of cultivation and use.* Vinnytsia: Niland Ltd. 340 c

Sinchenko, V.M., Fuchylo, Y.D., Melnychuk, G.A. (2018). Physiological bases of

energy willow biomass accumulation in the conditions of the Central Forest-Steppe. *Newest agrotechnologies.* 8. <https://doi.org/10.21498/na.6.2018.165308>. URL: <http://jna.bio.gov.ua/article/view/165308>.

Statistics Explained (2024). *Energy statistics - an overview.* URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/SEPDF/cache/29046.pdf> (accessed on 2 December 2024).

Stolarski, M.J., Krzyzaniak, M., Warminski, K., Niksa, D. (2016). Energy consumption and costs of heating a detached house with wood briquettes in comparison to other fuels. *Energy Convers. Manag.*, 121, 71–83

Tworowski, J., Stolarski, M., Szczukowski, S., Krzyzaniak, M. (2015). Energetyczna efektywność produkcji biomasy wierzby systemem Eko-Salix. *Zeszyty Problemowe Postępyw Nauk Rolniczych.* 582. 91–100.

Willebrand, E. V. A., Ledin, S., & Verwijst, T. (1993). Willow coppice systems in short rotation forestry: effects of plant spacing, rotation length and clonal composition on biomass production. *Biomass and Bioenergy*, 4(5), 323–331. [https://doi.org/10.1016/0961-9534\(93\)90048-9](https://doi.org/10.1016/0961-9534(93)90048-9).

UDC 582.623.2:620

BIOMASS PRODUCTIVITY OF ENERGY WILLOW «SALIX VIMINALIS» DEPENDING ON VARIETY, PLANTING TIMES, AND SCHEMES

Shuvar A., Doctor of Science, Senior Researcher,
<https://orcid.org/0000-0002-6016-0896>, e-mail: a.shuvar@wunu.edu.ua

Pankevich V., Postgraduate Student,
<https://orcid.org/0000-0002-6618-4549>, e-mail: pankevich80@ukr.net

Grokholska T., Doctor of Philosophy,
<https://orcid.org/0000-0002-1642-2203>, e-mail: t.hrokholska@wunu.edu.ua

Dynia V., Candidate of Technical Sciences
<https://orcid.org/0000-0002-0008-908X>,
Western Ukrainian National University

Dumych V.,
<https://orcid.org/0000-0002-7813-5437>, e-mail: dumych1963@ukr.net

Salo Ya.,
<https://orcid.org/0000-0002-1542-0599>, e-mail: yaroslavsalo13@gmail.com
Lviv Branch of L. Pogorilyy UkrNDIPVT

Summary

The purpose of the research – to study the mutual existence of different types of insects competing for food sources and involved in garden crops.

Methods and materials. The research was carried out on garden crops (cherry plum, apricot, cherry, pear, domestic apple) using honey bees, bumblebees, and osmium under the influence of temperature on the efficiency of pollination in the forest-steppe of the Kyiv region.

Results. The organization of pollination of the main garden crops by insects begins with cherry plum, apricot, and cherry, the honey productivity of which is 40 kg/ha. Temperature fluctuations and unfavorable weather conditions do not allow honey bees to pollinate effectively, so other insect species more adapted to abnormal climate changes were used. The use of osmia, bumblebees, and honey bees for pollination was more effective since they complement each other due to different flight modes and different food requirements. Bumblebees and osmia fly out to collect food before honeybees, and they can also collect nectar with a sugar content within 4%, and bees prefer nectar with a content of 50-60%, but not less than 16-18%. When weather conditions improve, more flowers bloom, the nectar thickens, and as a result, the mobilization of the honey bee increases, which with its numbers covers the plant's need for pollination.

Conclusions. The simultaneous use of honey bees, osmia and bumblebees for the pollination of fruit and berry crops makes it possible to obtain an ovary on cherry plum of 86.8%, which is 11.2% more than when using only bees as pollinators; on apricot - 39.2% (+ 10.8%), cherries – 35.7% (+23.3%), pears – 64.8% (+29.2%), plums – 78.4% (+36.1%), domestic apple trees – 78.9 (+16.7%).

Keywords. Honey bee, bumblebee, osmia, pollination, cherry plum, apricot, cherry, pear, plum, domestic apple tree.