

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР І ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ**

ГНАП ІРИНА ВАСИЛІВНА

УДК 630:662.631

**ІНТРОДУКЦІЯ СОРТІВ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ВЕРБИ
ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЇХ ВИРОЩУВАННЯ
В ЗАХІДНОМУ ПОЛІССІ**

06.01.09 – рослинництво

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата сільськогосподарських наук

Київ–2019

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано в Інституті біоенергетичних культур і цукрових буряків
Національної академії аграрних наук України

Науковий керівник

доктор сільськогосподарських наук,
доцент, член-кореспондент НААН України
Сінченко Віктор Миколайович,
Інститут біоенергетичних культур і цукрових
буряків НААН, заступник директора з
наукової роботи

Офіційні опоненти:

доктор сільськогосподарських наук, професор
Федорчук Михайло Іванович,
Миколаївський національний аграрний
університет, професор кафедри рослинництва
та садово-паркового господарства

кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Кулик Максим Іванович,
Полтавська державна аграрна академія, доцент
кафедри селекції, насінництва і генетики

Захист відбудеться «09» липня 2019 р. о 9 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.360.01 в Інституті біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України за адресою: 03110, м. Київ, вул. Клінічна, 25, корпус 1.

З дисертацією можна ознайомитися в науковій бібліотеці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України за адресою: 03110, м. Київ, вул. Клінічна, 25, корпус 2.

Автореферат розіслано «07» червня 2019 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
доктор сільськогосподарських наук

Л.І. Сторожик

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. За останні десятиліття у світі суттєво підвищився інтерес до використання альтернативних джерел енергії. З 2009 року діє директива Європейського Союзу (ЄС) щодо заохочення використання енергії з поновних джерел (2009/28/EG). Передбачається, що в межах ЄС до 2020 року 20 % енергії повинно отримуватися за рахунок альтернативних джерел. Одним із перспективних напрямів розвитку поновних джерел енергії є вирощування біомаси. У низці розвинутих європейських країн діють спеціальні державні програми підтримки розвитку сектора біоенергетики (Гелетуха, Железна, 2010).

Сьогодні найвищі показники використання біомаси в енергетиці характерні для північноєвропейських країн, які активно впроваджують сучасні технології використання екологічно чистих, поновних джерел енергії, зокрема вирощування енергетичної біомаси на спеціальних плантаціях верби. Такі плантації відзначаються високим приростом біомаси за відносно невисоких вимог до ґрунту (Borjesson, 1999; Christersson, 1986; El Bassam, 2010; Caslin, Finnan, McCracken et al., 2012).

В Україні, зважаючи на значні проблеми із забезпеченням традиційними видами енергоносіїв, сприятливі ґрунтово-кліматичні умови та давні традиції землеробства, виробництво енергетичної фітомаси має великі перспективи і надалі сприятиме суттєвому зменшенню необхідності імпорту енергоносіїв. Різні аспекти добору перспективних видів і форм верби та агротехніки вирощування її енергетичних плантацій розглянуто в працях низки вітчизняних дослідників (Роїк, Гументик, Мамайсур, 2013; Роїк та ін., 2015; Фучило, 2011; Фучило, Сбитна, 2017 та ін.), однак залишається ще чимало питань, які потребують розв'язання. Зокрема, залишаються недостатньо висвітленими питання адаптації передового досвіду європейських країн та використання високопродуктивних іноземних сортів верби залежно від ґрунтово-кліматичних умов різних регіонів України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами. Дослідження за темою дисертаційної роботи виконані впродовж 2012–2017 рр. і є складовою частиною досліджень відділу технологій вирощування та перероблення біоенергетичних культур Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН згідно з ПНД 22 «Біоенергетичні ресурси» за завданням 22.05.03.10 П «Розробити елементи технологій вирощування енергетичної верби *Salix viminalis* для виробництва твердих видів біопалива» (номер ДР 0113U005997, 2014–2015 рр.); ПНД 16 «Біоенергетичні ресурси» за завданням 16.00.03.09 П «Розробити теоретичні основи механізованих технологій вирощування енергетичної верби та тополі для виробництва твердих видів біопалива» (номер ДР 0116U002199, 2016–2018 рр.) та 16.00.03.01 Ф «Розробити теоретично-методичні основи елементів ресурсозберігаючої технології вирощування енергетичної верби» (номер ДР 0116U002114, 2016–2020 рр.).

Мета і завдання дослідження. Мета дослідження – інтродукувати сорти енергетичної верби іноземної селекції та вдосконалити елементи технології їх вирощування в умовах Західного Полісся.

Поставлена мета зумовила розв'язання таких завдань:

- дослідити особливості росту, розвитку та динаміку продуктивності енергетичних плантацій іноземних сортів верби залежно від сортових особливостей, густоти насаджень та способів садіння живців;
- з'ясувати вплив сортових особливостей, ґрунтових та погодних умов на приживлюваність живців та ріст однорічних плантацій верби;
- виявити сорти енергетичної верби, найпридатніші для вирощування в умовах Західного Полісся;
- дослідити вплив внесення різних норм аміачної селітри на біометричні показники та продуктивність найпридатніших для вирощування в умовах Західного Полісся сортів енергетичної верби;
- установити показники чистої продуктивності фотосинтезу, умісту NPK і золи в біомасі та її енергетичну цінність перспективних сортів верби залежно від норм внесення азотних добрив;
- оцінити економічну та енергетичну ефективність вирощування енергетичних плантацій верби.

Об'єкт дослідження – процеси росту й розвитку рослин та особливості формування врожайності енергетичної біомаси сортів верби іноземної селекції в умовах Західного Полісся України.

Предмет дослідження – сорти верби іноземної селекції, густина садіння живців, норми внесення аміачної селітри, урожайність, показники якості біомаси, економічна й енергетична ефективність удосконалених елементів технології вирощування.

Методи дослідження. *Польовий* – визначення взаємодії об'єкта досліджень з погодними й агротехнічними чинниками, оцінювання економічного та екологічного ефекту досліджуваних сортів та елементів технології; *лабораторний* – визначення агрохімічних властивостей ґрунту та якісних показників вербової біомаси; *вимірjuвальню-ваговий* – дослідження особливостей росту енергетичних плантацій та динаміки накопичення ними біоенергетичної сировини; *математично-статистичний* – оцінювання достовірності результатів досліджень; *розрахунково-порівняльний* – визначення економічної та енергетичної ефективності вдосконалених елементів технології вирощування верби.

Наукова новизна одержаних результатів.

Уперше в умовах Західного Полісся України:

- встановлено особливості росту й розвитку рослин та формування продуктивності енергетичних плантацій восьми інтродукованих сортів верби іноземної селекції;
- визначено біологічно та економічно обґрунтовану норму внесення азотних добрив (N₇₀) для забезпечення високої продуктивності плантацій трьох найперспективніших сортів верби – 'Tora', 'Tordis' та 'Inger';
- встановлено енергетичну продуктивність плантацій верби залежно від сортових особливостей та норм внесення азотних добрив;

Удосконалено наявні технології створення, вирощування та експлуатації енергетичних плантацій верби.

Отримали подальший розвиток дослідження кількісних та якісних характеристик інтродукованих сортів та їх продуктивності протягом перших двох трирічних циклів росту.

Практичне значення одержаних результатів. Експериментально підтверджено доцільність вирощування інтродукованих сортів верби іноземної селекції, удосконалено елементи технології їх вирощування щодо оптимальної густоти садіння живців та удобрення плантацій азотними добривами. Отримані результати досліджень використовуються у виробничій діяльності ТОВ «Салікс Енерджі» на площі приблизно 1700 га. На підставі отриманих даних можна прогнозувати продуктивність енергетичних плантацій верби та якісні показники енергетичної біомаси (її зольність, уміст NPK та інші).

Особистий внесок здобувача. Дисертаційну роботу виконано автором особисто. Зокрема здобувачем здійснено пошук та аналіз наукових джерел, розроблено програму, схеми дослідів та методологію проведення експериментів, закладено польові досліді, проведено польові та лабораторні дослідження, здійснено аналіз та узагальнення отриманих даних, проведено їхню статистичну обробку, сформульовано основні положення та висновки, розроблено рекомендації щодо їхнього практичного використання у виробництві. За результатами проведених досліджень самостійно та у співавторстві підготовлено та опубліковано наукові праці (частка авторського внеску в останніх становить 55–70 %).

Апробація результатів дисертації. Основні положення й результати досліджень доповідалися на засіданнях відділу технологій вирощування і переробляння біоенергетичних культур та Методичної комісії Інституту біоенергетичних культур і буряків цукрових НААН (2014–2017 рр.); Круглому столі «Україна – енергонезалежна держава», організованому Українською торговою палатою (ІСС Ukraine) (м. Київ, 10 грудня 2014 р.); Британсько-Українському агробізнес форумі «Енергоефективність в аграрному секторі» (м. Київ, 11 лютого 2015 р.); Всеукраїнському семінарі «Перспективи вирощування енергетичних культур в Україні» (сміт Дослідницьке, 30 червня 2016 р.); VIII Міжнародному інвестиційному бізнес-форумі «Енергоефективність та відновлювана енергетика» (м. Київ, 1 листопада 2016 р.); Міжнародній конференції «Енергія з біомаси», організованій Біоенергетичною асоціацією України (м. Київ, 20 вересня 2016 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Основні проблеми й тенденції подальшого розвитку лісового господарства в Українських Карпатах» (м. Івано-Франківськ, 4–6 жовтня 2018 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Колесниковські читання», присвяченій пам'яті професора О. І. Колесникова (м. Харків, 16–17 жовтня 2018 р.).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 14 наукових праць, зокрема чотири статті у фахових виданнях України (з них дві – у журналах, включених до міжнародних наукометричних баз даних), одна стаття в науковому виданні іншої держави, чотири статті в інших вітчизняних наукових та виробничих журналах, дві монографії, один патент на корисну модель та дві тези доповідей у збірниках матеріалів науково-практичних конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація викладена на 213 сторінках комп'ютерного тексту і складається з анотації, вступу, 5 розділів, висновків, рекомендацій виробництву та додатків. Робота містить 23 таблиці та 65 рисунків. Список використаної літератури налічує 204 джерела, з яких 77 – латиницею.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

СУЧАСНИЙ СТАН ВИВЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ВЕРБИ (*SALIX L.*)

Здійснено аналіз зарубіжної та вітчизняної літератури щодо особливостей створення плантацій, вирощування і формування продуктивності різних сортів верби. Обґрунтовано доцільність ширшого вирощування енергетичної верби в Україні. Указано на доцільність вивчення особливостей росту і продуктивності деяких сортів іноземної селекції для створення енергетичних плантацій в умовах Західного Полісся та вдосконалення технології їх вирощування.

ПРОГРАМА, МЕТОДИКА ТА УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проводили впродовж 2012–2017 рр. в умовах південно-західної частини Волинської області (Іваничівський та Горохівський адміністративні райони) України на плантаціях ТОВ «Салікс Енерджі», створених на виснажених, малопродатних для вирощування сільськогосподарської продукції землях.

Дослідні плантації верби створювали однорічними зимовими живцями спареними рядами за схемою 1,5×0,75 м із трьома варіантами густоти: 12,9; 16,5 і 22,5 тис. шт./га. Живці висаджували вручну і механізовано. За ручного садіння живці мали довжину 22–25 см. Механізоване садіння виконували чотирирядною садильною машиною «Energy Planter» данської компанії «Egedal», яка розрізає прут на живці завдовжки 18 см безпосередньо під час садіння.

Згідно з програмою наукових досліджень було закладено такі досліді:

Дослід 1. Приживлюваність живців верби залежно від сортових особливостей і способу садіння. Дослідження проводили протягом 2012–2013 рр. поблизу с. Пірванче Горохівського району Волинської області. *Схема досліді: фактор А* – сорт: 'Tora', 'Tordis', 'Inger', 'Wilhelm', '1047', '82', '1057', 'Express'; *фактор Б* – спосіб садіння: механізований; ручний. Площа дослідної ділянки – 150 м², облікової – 100 м². Повторність варіантів – триразова, розміщення ділянок – рендомізоване.

Дослід 2. Біометричні показники рослин і продуктивність енергетичних плантацій верби залежно від сортових особливостей та густоти садіння живців. Дослідні ділянки закладено навесні 2012 р. поблизу досліді 1 за ручного садіння живців. Обліки проводили протягом 2012–2014 рр. *Схема досліді: фактор А* – сорт: 'Tora', 'Tordis', 'Inger', 'Wilhelm', '1047', '82', '1057', 'Express'; *фактор Б* – густина садіння живців: 12,9; 16,4 та

22,5 тис. шт./га. Площа дослідної ділянки – 150 м², облікової – 100 м². Повторність варіантів – чотириразова, розміщення ділянок – рендомізоване.

Ґрунт дослідного поля, де були закладені досліди 1 і 2, – світло-сірий лісовий легкосуглинковий, що характеризується такими агрохімічними показниками: уміст гумусу (за Тюріним) – 1,85 %, рН ґрунтового розчину – 5,4, уміст загального азоту – 5,4 мг/кг ґрунту, рухомих форм фосфору і калію (за Чиріковим) – 15,7 і 6,4 мг/100 г ґрунту відповідно.

Дослід 3. Ріст і продуктивність плантацій трьох сортів енергетичної верби за внесення різних норм аміачної селітри. Дослід закладено навесні 2015 р. на чотирирічній дослідно-виробничій енергетичній плантації верби поблизу с. Самоволя Іваничівського району Волинської області. Дослідження проводили протягом 2015–2017 рр. *Схема дослідю: фактор А* – сорт: ‘Тора’, ‘Тордіс’, ‘Інгер’; *фактор В* – норма внесення аміачної селітри: контроль (без добрив); 100 кг/га (N₃₅); 200 кг/га (N₇₀); 300 кг/га (N₁₀₅); 400 кг/га (N₁₄₀). Площа дослідної ділянки – 150 м², облікової – 100 м². Повторність варіантів – п’ятиразова, розміщення ділянок – рендомізоване.

Ґрунт дослідного поля – світло-сірий лісовий. Уміст гумусу (за Тюріним) – 1,12 %, рН ґрунтового розчину – 4,2, уміст загального азоту – 4,8 мг/100 г ґрунту, рухомих форм фосфору і калію (за Чиріковим) – 10,3 і 5,3 мг/100 г ґрунту відповідно.

Енергетичні плантації верби закладено навесні 2011 р. Технологія їх створення передбачала висаджування живців двома спареними рядами з відстанню між ними 0,75 м та міжряддями 1,50 м. Густота садіння становила 15 тис. шт. на 1 га. Після зрізання деревної маси, на початку 2015 р. у ґрунт насадження було внесено аміачну селітру.

Рослини енергетичної верби інтродукованих сортів оцінювали за такими показниками: приживлюваність живців, середня висота кущів, кущистість, кількість пагонів на 1 га, середній діаметр пагонів та врожайність сухої біомаси.

РІСТ, РОЗВИТОК І ПРОДУКТИВНІСТЬ СОРТІВ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ВЕРБИ ІНОЗЕМНОЇ СЕЛЕКЦІЇ, ІНТРОДУКОВАНИХ В УМОВИ ЗАХІДНОГО ПОЛІССЯ

Проведені дослідження плантацій восьми сортів енергетичної верби в регіоні досліджень засвідчили, що за перший вегетаційний період приживлюваність їх живців була високою і змінювалася від 82,1 до 95,1 %. Найвищими показниками приживлюваності відзначався сорт ‘Тора’ за ручного висаджування живців (95,1 %). За механізованого садіння приживлюваність живців була меншою (89,4 %). Така ж залежність простежується в усіх інших досліджуваних сортах і пояснюється тим, що за машинного садіння живці часто висаджуються під кутом, а за ручного – вертикально, що сприяє досягненню ними глибших, краще зволжених шарів ґрунту і позитивно позначається на їх укоріненні.

Найбільші показники висоти однорічних рослин зафіксовано в клонів ‘Тора’, ‘Тордіс’ та ‘Інгер’ – 1,85; 1,59 і 1,82 м відповідно (рис. 1).

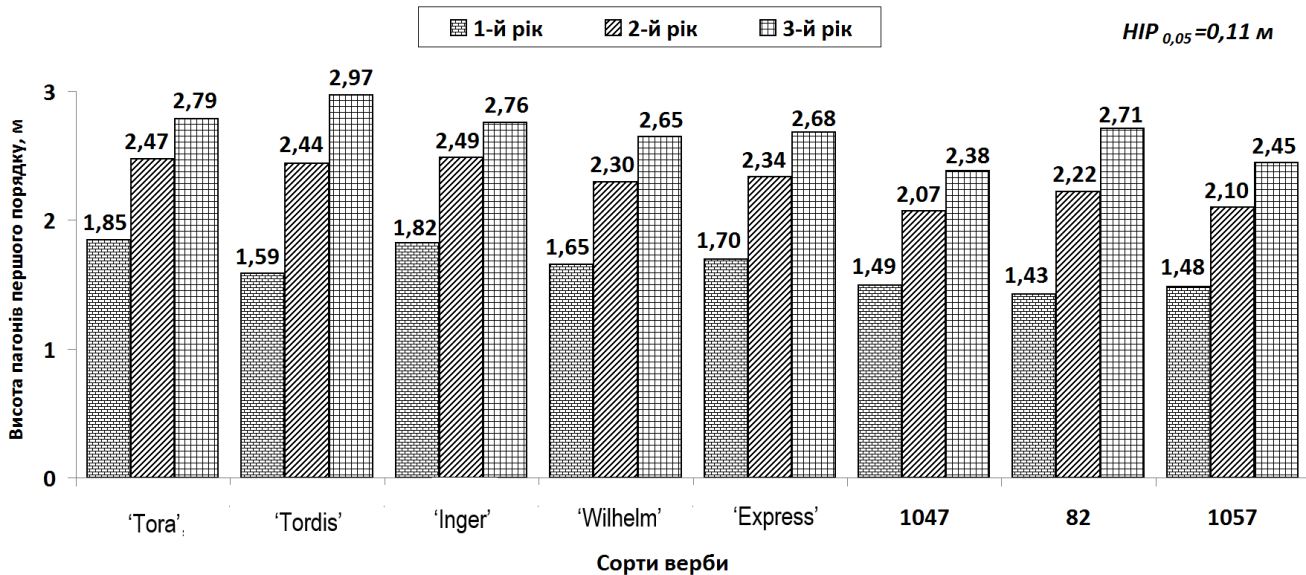


Рис. 1. Середня висота кущів одно-трирічних енергетичних плантацій верби залежно від сортових особливостей (2012–2014 рр.)

Наприкінці другого вегетаційного періоду середня висота рослин цих сортів на плантаціях практично зрівнялася: 'Tora' – 2,47 м, 'Tordis' – 2,44 та 'Inger' – 2,49 м. Середня висота трирічних рослин клонів 'Tordis', 'Tora' та 'Inger' становила 2,97; 2,79 і 2,76 м відповідно. Деяко менші показники середньої висоти кущів мали сорти '82' (2,71 м), 'Express' (2,68 м) та 'Wilhelm' (2,65 м). Найнижчими, як на третій, так і в попередні роки, виявилися рослини сортів польської селекції '1047' і '1057'.

Найбільша кількість однорічних пагонів на 1 га спостерігається на варіантах з максимальною густиною садіння (22,5 тис. шт./га). Найбільшою вона була в клонів '1047' та 'Inger' – 52,4 і 51,8 тис. шт./га, а найменшою – в 'Express' та 'Wilhelm' – 31,5 і 33,8 тис. шт./га відповідно.

За середньої густоти садіння живців найбільша кількість пагонів на 1 га теж виявилася в '1047' та 'Inger' – 44,3 і 43,4 тис. шт./га, а найменша – у сортів 'Tordis' та '1057' – 30,5 і 35,0 тис. шт./га відповідно. За мінімальної густоти садіння, як і за інших її варіантів, найбільшу кількість пагонів на 1 га зафіксовано в клонів 'Inger', 'Tora' і '1047' – 39,7; 36,5 і 36,0 тис. шт./га відповідно, а найнижчим цей показник був у сорту 'Tordis' – 30,0 тис. шт./га. За другий вегетаційний період кількість пагонів на 1 га збільшилася неістотно.

Отже, результати проведених досліджень вказують на те, що для формування певної густоти стояння пагонів на плантації слід урахувувати сортові особливості верби і густоту садіння живців.

Установлено, що в усіх досліджуваних сортах найбільші значення середнього діаметра пагона були на варіантах з найменшою густиною (12,9 тис. шт./га). Максимальним середнім діаметром пагона (30,9 мм) виявився в сорту 'Tordis'. Високими значеннями цього показника відзначалися також клони 'Tora' (30,1 мм) та 'Inger' (28,1 мм). У варіанті з найбільшою густиною садіння (22,5 тис. шт./га) максимальні показники діаметра пагонів зафіксовано в сортів 'Tordis' (23,5 мм), 'Express' (22,9 мм) та 'Wilhelm' (22,7 мм), а за середньої

густоти (16,5 тис. шт./га) – у ‘Tordis’ (29,4 мм), ‘Tora’ (28,1 мм) та ‘Inger’ (27,4 мм).

Установлено, що середній діаметр пагонів майже повністю визначається дією факторів густоти і сортових особливостей. Частка впливу інших факторів не перевищує 1,1 %.

Після першого року вирощування в більшості досліджуваних сортів максимальні показники врожайності сухої маси припадають на варіанти з найбільшою густотою садіння. За такої умови найбільшою продуктивністю відзначалися сорти шведської селекції ‘Inger’ (2,44 т/га), ‘1047’ (2,27 т/га) і ‘Tora’ (2,10 т/га). За середньої густоти садіння показники врожайності загалом виявилися дещо меншими, але найбільшими вони знову ж таки залишилися в клонів ‘Inger’ (2,12 т/га), ‘1047’ (1,95 т/га) і ‘Tora’ (1,89 т/га).

Протягом другого вегетаційного періоду відбувся значний приріст біомаси, при цьому особливо інтенсивне її накопичення відзначено у варіантах із середньою густотою садіння. Як наслідок, в усіх досліджуваних сортів найбільші показники врожайності біомаси виявилися саме за середньої густоти насаджень. Максимальними показники продуктивності виявилися в сорту ‘Tora’ – 18,06 т/га. Високою врожайністю біомаси відзначалися також ‘Inger’ – від 15,38 до 16,64 т/га і ‘Tordis’ – від 12,90 до 14,22 т/га. Найменшою продуктивність була в сортів польської селекції – від 11,43 до 13,48 т/га.

Урожайність сухої біомаси верби третього року вегетації максимальних значень досягла в сортів ‘Tora’, ‘Inger’ і ‘Tordis’ – 28,12; 30,27 і 24,76 т/га відповідно (рис. 2).

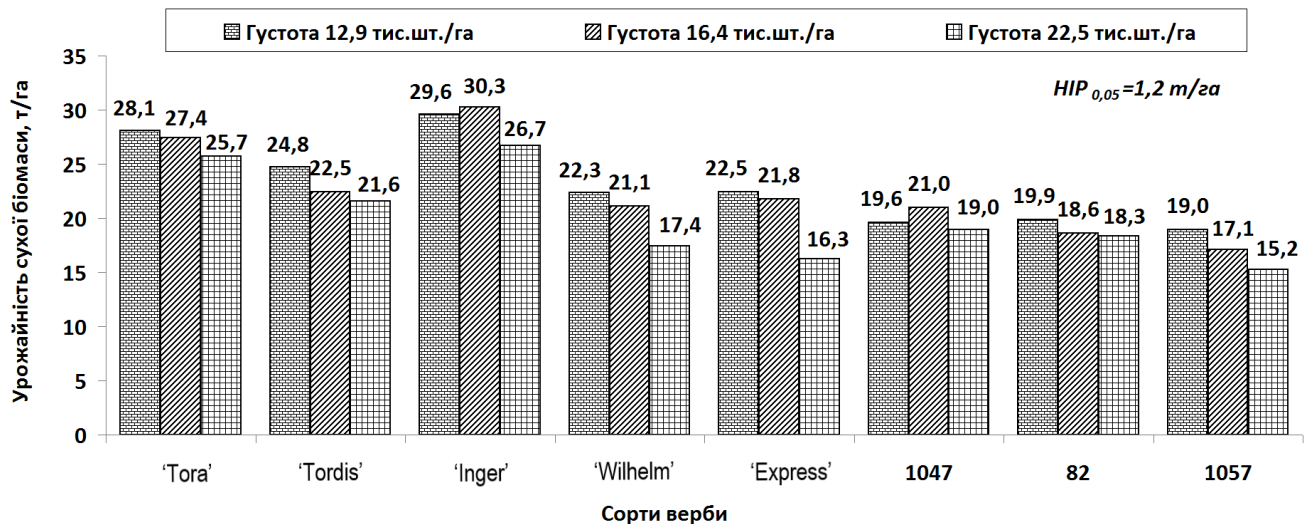


Рис. 2. Середня врожайність сухої біомаси верби третього року вегетації залежно від сортових особливостей і густоти насаджень (2014–2016 рр.)

При цьому, продуктивність сорту ‘Inger’ найбільшою виявилася за густоти садіння 16,4 тис. шт./га, а ‘Tora’ і ‘Tordis’ – за густоти 12,9 тис. шт./га. Найменшою продуктивністю характеризувалися насадження верби з найбільшою густотою садіння. Її показники в найпродуктивніших клонів ‘Tora’, ‘Inger’ і ‘Tordis’ становили 25,72; 26,71 і 21,58 т/га відповідно, а в найменш продуктивного сорту ‘1057’ – 15,23 т/га.

Отже, з восьми інтродукованих в Західному Поліссі України сортів верби найвищими показниками росту і продуктивності відзначаються клони шведської селекції 'Tora', 'Inger' і 'Tordis', які повністю адаптувалися в умовах регіону досліджень і їх вирощування тут може мати значний економічний і екологічний ефект.

ВПЛИВ ДОСЛІДЖУВАНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ІНТРОДУКОВАНИХ СОРТІВ ВЕРБИ

Результати досліджень, проведених протягом вегетаційних періодів 2015–2017 рр., свідчать, що внесення мінеральних добрив суттєво впливає на показники росту й продуктивності енергетичних плантацій верби досліджуваних сортів, зокрема на кількість пагонів на 1 га.

У сорту 'Tora' на контрольному варіанті пагонів налічувалося 91,2 тис. шт./га, а зі збільшенням дози внесення добрив їх кількість зростала до 98,4; 100,8; 108,0 і 113,8 тис. шт./га відповідно. На контролі сорту 'Inger' пагонів було 88,8 тис. шт./га. За внесення 35 кг/га д. р. азоту їхня кількість виявилася такою ж як у 'Tora' (98,4 тис. шт./га), а зі збільшенням норми добрив зростала до 109,2; 115,2 і 119,5 тис. шт./га відповідно. Кущі сорту 'Tordis' характеризуються найменшою кількістю пагонів і вона неістотно збільшується за внесення добрив. Зокрема, на контролі в цього сорту пагонів виявилось 74,4 тис. шт./га, а за внесення добрив – від 76,8 до 84,0 тис. шт./га.

Суттєвіший вплив внесення аміачних добрив мало на середню висоту пагонів верби. Пагони сорту 'Tora' після першого року вегетації мали середню висоту на контролі 2,27 м, 'Inger' – 2,65 м, 'Tordis' – 2,55 м. За внесення N_{35} середня висота пагонів сорту 'Tordis' збільшилася до 2,84 м, а в сортів 'Tora' і 'Inger' вона майже не змінилась. Внесення N_{70} посприяло збільшенню показників середньої висоти рослин сортів 'Tora' і 'Tordis' до 2,9 м, 'Inger' – до 2,75 м. Подальше збільшення норми добрив суттєво не вплинуло на цей показник. Після другого року вегетації висота пагонів сорту 'Tordis' на контролі досягла 3,93 м, 'Tora' – 3,55 м, 'Inger' – 3,23 м. Внесення аміачної селітри до N_{70} істотно збільшує висоту дворічних пагонів, а подальше підвищення норми добрив суттєво не впливає на показники висоти. Протягом третього року вегетації вплив добрив на середню висоту кущів виявився меншим, ніж у попередні роки (табл. 1).

Таблиця 1

Середня висота пагонів енергетичної верби третього року вегетації залежно від сортових особливостей та норм добрив, м (2017 р.)

Сорт – фактор А	Добрива, кг/га д.р. – фактор Б					Середнє за фактором А (НІР _{0,05} = 0,15 м)
	0	35	70	105	140	
'Tora'	4,48	4,72	4,94	4,98	4,97	4,82
'Inger'	3,45	3,67	3,83	3,95	4,02	3,79
'Tordis'	4,11	4,35	4,54	4,67	4,75	4,48
Середнє за фактором Б (НІР _{0,05} = 0,19 м)	4,02	4,25	4,44	4,53	4,58	4,36

Середня висота трирічних пагонів сорту 'Tora' на контролі становила 4,48 м, на варіанті з внесенням N_{35} цей показник зростав на 24 см, за N_{70} – на 22 см, а за N_{105} і N_{140} – лише на 4 і 3 см відповідно. Рослини сорту 'Inger' за внесення N_{35} збільшили свою висоту на 22 см (від 3,45 до 3,67 м), за N_{70} приріст становив 16 см, а за N_{105} і N_{140} – 12 і 7 см відповідно. Середня висота кущів сорту 'Tordis' на варіанті без добрив становила 4,11 м, а з їх внесенням приріст за цим показником був 24, 19, 13 і 8 см відповідно. Отже, для досліджуваних сортів, за трирічного циклу збирання врожаю, оптимальною для отримання максимальної висоти рослин можна вважати дозу у 70 кг/га д. р. азоту.

Подібні дані отримано також для показників середнього діаметра пагонів. Після третього року вирощування найбільший середній діаметр пагонів за всіма варіантами досліду мали рослини сорту 'Tora'. На контролі цей показник становив 44,0 мм, а зі зростанням норми внесення мінеральних добрив збільшувався до 46,2; 48,2; 48,9 і 49,3 мм відповідно. У сорту 'Inger' на контролі середній діаметр пагонів становив 34,6 мм, за внесення N_{35} він зростав на 2,0 мм, N_{70} – на 1,6 мм, порівняно з попереднім варіантом удобрення, а за N_{105} – лише на 0,9 мм. Пагони сорту 'Tordis' на контролі мали середній діаметр 40,6 мм, а за внесення мінеральних добрив він збільшувався на 2,2; 1,7; 1,1 і 0,9 мм відповідно, досягши за максимальної норми значення 46,5 мм.

Проведені дослідження трирічних рослин верби свідчать, що в усіх досліджуваних сортів площа листової поверхні зростає зі збільшенням норми внесення азотних добрив. На початку вегетаційного періоду (у кінці травня) цей показник за варіантами досліду відрізнявся мінімально і становив у сорту 'Tora' від 1,6 до 1,8 м², в 'Inger' – від 1,35 до 1,65 м², а в сорту 'Tordis' – від 1,30 до 1,70 м² на кущ. Максимальною площа листової поверхні рослин була в кінці липня: у сорту 'Tora' – від 2,8 до 3,35 м², в 'Inger' – від 2,35 до 3,0 м², а в 'Tordis' – від 2,7 до 3,2 м² на кущ. З кінця липня цей показник почав суттєво зменшуватися і на кінець вересня в сортів 'Inger' і 'Tordis' становив відповідно 1,10–1,90 і 1,20–1,40 м² на кущ. У сорту 'Tora' площа листової поверхні до кінця серпня зменшилася незначно і становила від 2,50 до 3,10 м² на кущ, а до кінця вересня зменшилася лише на 0,40 м² на кущ.

Площа листової поверхні рослин досліджуваних насаджень із трирічною наземною частиною та семирічною кореневою системою змінюється в межах від 28,7 до 40,1 тис. м² на 1 га (рис. 3).

Найвищі її показники (від 32,8 до 40,1 тис. м²/га) спостерігаються в насадженнях найпродуктивнішого сорту 'Tora', а найменші – від 28,7 до 36,0 тис. м²/га – у сорту 'Inger'. Застосування аміачної селітри мало суттєвий вплив на розміри фотосинтезувального апарату навіть на третій рік після її внесення. Зокрема, максимальна норма азотних добрив (140 кг/га д.р.) забезпечила збільшення площі листової поверхні насаджень сорту 'Tora' на 22,3 %, 'Inger' – на 25,4 %, 'Tordis' – на 18,5 %, що позитивно позначилось і на продуктивності біомаси.

Розрахунки впливу основних факторів на площу листової поверхні показали, що саме внесення добрив впливає на цей показник найістотніше (49,0 %), сортові особливості теж спричинили значний вплив (21,7 %), а на інші

фактори припадало 29,3 %.

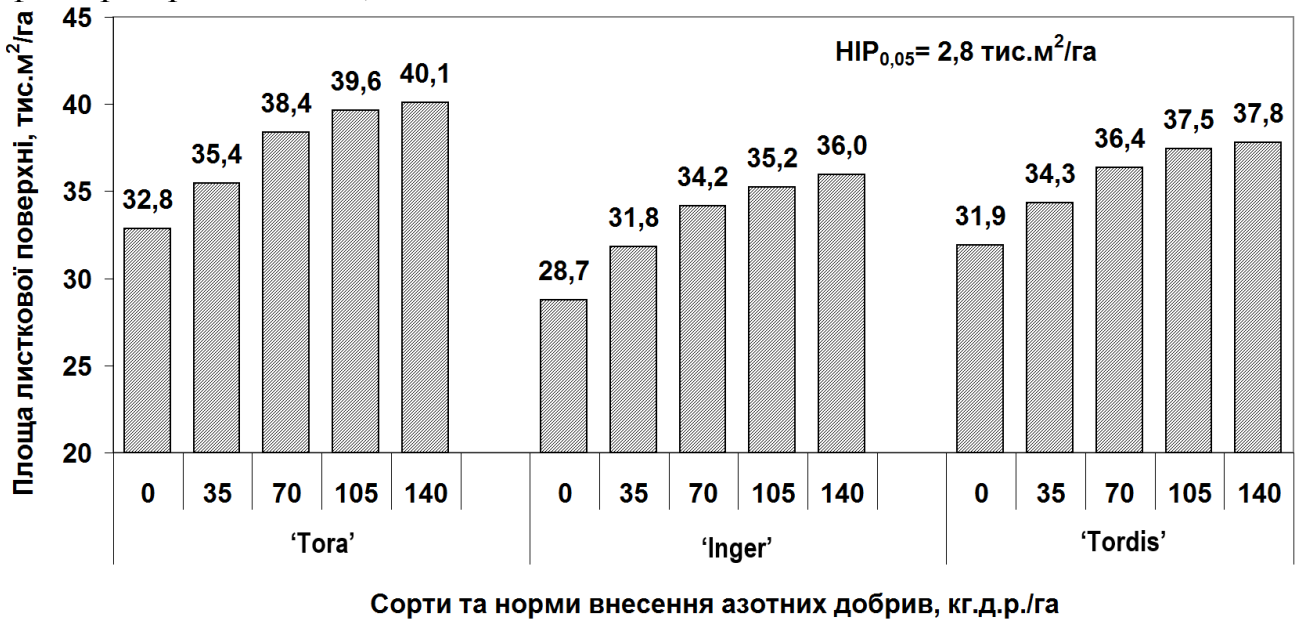


Рис. 3. Площа листкової поверхні трирічних насаджень верби залежно від сортових особливостей і доз внесення добрив

Проведені дослідження і розрахунки показали, що показники чистої продуктивності фотосинтезу (ЧПФ) енергетичних плантацій досліджуваних клонів досягає максимальних значень, залежно від сорту, у червні–липні.

У сорту 'Tora' максимальні показники (від 5,28 на контролі до 6,80 г/м²/доба за максимальних норм добрив) спостерігалися в період з 25 травня до 25 червня 2017 р., у сорту 'Inger' – у липні (від 1,47 до 2,59 г/м²/доба). У рослин сорту 'Tordis' показники ЧПФ найменші і приблизно однакові протягом перших літніх місяців. У період з 25 липня до 25 серпня в усіх варіантах дослідження спостерігалось їх зменшення, що пояснюється як природним зниженням інтенсивності процесів фотосинтезу й росту рослин, так і тривалим жарким та бездощовим періодом, що припав на цей час. Рясні дощі, що пройшли в кінці серпня – на початку вересня, спричинили в більшості досліджуваних сортів різке зростання показників ЧПФ.

Аналіз частки впливу досліджуваних факторів на інтенсивність чистої продуктивності фотосинтезу верби показав, що цей показник майже повністю (на 98,5 %) залежить від сортових особливостей, періоду росту і внесення добрив, що слід враховувати під час складання технологічних карт вирощування енергетичної верби та проведення науково-дослідних робіт.

Більша площа листкової поверхні, довший вегетаційний період і вища чиста продуктивність фотосинтезу забезпечили клону 'Tora', порівняно з клонами 'Inger' і 'Tordis', значно вищі показники урожайності біомаси (рис. 4). Урожайність дворічної сухої біомаси сорту 'Tora' перевищує показники трирічного врожаю інших досліджуваних сортів. За економічно обґрунтованої дози одноразового внесення мінеральних добрив (70 кг/га д. р. азоту) за три роки плантації 'Toga' накопичують 52,9 т/га сухої біомаси, або в середньому 17,6 т/га на рік.

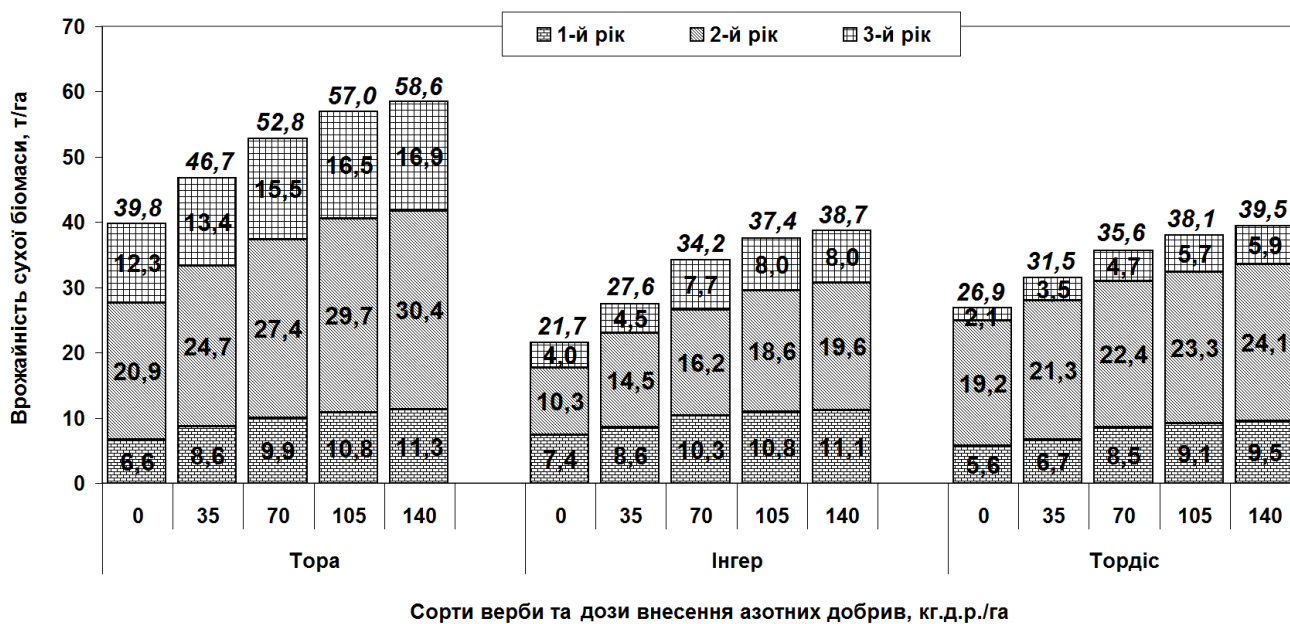


Рис. 4. Урожайність сухої біомаси енергетичної верби залежно від сортових особливостей, норм добрив та року вегетації (2015–2017 рр.)

Урожайність сортів ‘Inger’ і ‘Tordis’ у досліджуваних умовах теж виявилася достатньо високою. За внесення N_{70} продуктивність їх трирічної наземної маси становила відповідно 11,5 і 12,7 т/га сухої речовини на рік.

Як випливає з даних діаграми (рис. 4), на третій рік після внесення добрив продуктивність плантацій сортів, що взяті для досліджень, значно знижується порівняно з другим роком. Це вказує на доцільність застосовувати для таких насаджень дворічний цикл збирання врожаю. У цьому разі, як свідчать результати досліджень, продуктивність біомаси в середньому за рік буде дещо вищою, ніж за трирічного циклу і становитиме в сорту ‘Tora’ 18,7, в ‘Inger’ – 13,3, у ‘Tordis’ – 15,4 т/га сухої речовини на рік, що, відповідно, на 1,1; 1,9 і 3,5 т/га/рік більше, ніж за трирічного циклу. Отже, аміачна селітра найбільше впливає на продуктивність верби в перший і другий роки після внесення, а надалі переважальним стає вплив сортових особливостей.

Важливе значення для біомаси верби як енергетичної сировини мають її якісні характеристики, зокрема вміст золи (попелу), сполук азоту, фосфору, калію та інших речовин. Установлено, що в трирічній деревній масі верб міститься від 1,1 до 1,5 % сумарного азоту. Найбільший його вміст відзначено в біомасі сорту ‘Tora’: на контролі та у варіанті з внесенням N_{35} – 1,2 %, за норм N_{70} і N_{105} – 1,4 %, за норми N_{140} – 1,5 %. У біомасі сортів ‘Inger’ і ‘Tordis’, незалежно від варіантів удобрення ґрунту, азоту міститься від 1,1 до 1,2 %.

Уміст фосфору в сухій біомасі досліджуваних клонів змінюється від 1,65 до 1,90 %. Спостерігається тенденція до збільшення вмісту цього елемента з підвищенням норми внесення азотних добрив. Подібна тенденція простежується також щодо вмісту калію. Найменше його в біомасі сорту ‘Tora’ – від 1,9 до 2,0 %, а в сортів ‘Inger’ і ‘Tordis’ – від 2,0 до 2,4 %. Низький уміст калію в біомасі сорту ‘Tora’ зумовив і її найменшу зольність серед досліджуваних культиварів.

Зольність сухої трирічної біомаси верби на контрольних варіантах є незначною і становить у сортів 'Tora' та 'Inger' 1,2 %, а в сорту 'Tordis' – 1,1 %. Зі збільшенням норми добрив вміст попелу в сухій біомасі стрімко підвищується. Уже за внесення N_{35} цей показник зростає в усіх сортів до 1,7–1,8 %. За норми N_{70} зольність біомаси сорту 'Tora' досягає 2,4 %, залишається незмінною за N_{105} (2,3 %) і збільшується до 2,9 % у разі внесення максимальної кількості селітри (N_{140}). Збільшення норми мінеральних добрив на плантаціях сорту 'Inger' до N_{70} незначно вплинуло на вміст попелу в його сухій біомасі (1,8 %), тоді як максимальні норми спричинили різке зростання цього показника до 2,9 і 4,0 % відповідно. У сорту 'Tordis' підвищення норми добрив до N_{105} збільшило зольність біомаси до 3,5 %, а за N_{140} – до 4,1 %. Отримані дані вказують на недоцільність застосування в умовах регіону проведення досліджень максимальних норм аміачної селітри (N_{105} і N_{140}).

Теплотворна здатність біомаси досліджуваних сортів верби змінюється у межах від 17,9 до 18,4 МДж/кг, зменшуючись зі збільшенням норми внесення добрив і показників зольності.

Вихід енергії з 1 га в усіх досліджуваних клонів теж досить тісно корелює з нормою внесення добрив: за її збільшення зростають і показники виходу енергії. Найвищий вихід енергії з урожаєм біомаси трирічних насаджень виявлено в сорту 'Tora' – від 729 до 1056 ГДж/га залежно від варіантів удобрення, тоді як у сорту 'Inger' цей показник змінюється від 395 до 691 ГДж/га, а в 'Tordis' – від 496 до 704 ГДж/га.

ЕКОНОМІЧНА ТА ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПЛАНТАЦІЙ ВЕРБИ

Проведена економічна оцінка підживлення енергетичної верби азотними добривами свідчить про високу економічну ефективність цього заходу (табл. 2).

Найінтенсивніше економічний ефект зростав до внесення добрив у нормі N_{70} , дещо знижувався до N_{105} , а до N_{140} – майже не змінювався.

Серед досліджуваних сортів найбільший економічний ефект від застосування добрив забезпечив сорт 'Tora' – від 9,62 тис. грн./га за внесення N_{70} до 12,40 тис. грн./га за норми N_{105} . У сортів 'Inger' і 'Tordis' ці показники становили 8,59–10,66 і 5,57–6,87 тис. грн./га відповідно.

Результати проведених досліджень свідчать, що вирощування енергетичної верби є високоефективним. Витрати енергії на вирощування вербової біомаси при цьому у 18,7–31,1 раза менші, ніж кількість акумульованої в ній енергії.

Аналіз ефективності інвестицій у біоенергетичні плантації верби засвідчив, що розвиток біоенергетики потребує (особливо на перших етапах становлення) фінансової підтримки з боку держави, місцевих органів самоврядування, недержавних фондів та міжнародних організацій. Результати інвестиційного аналізу свідчать про можливість виходу на прибутковий рівень за умови державної фінансової підтримки у вигляді 60 %-го відшкодування витрат на створення плантацій.

**Економічна ефективність підживлення енергетичних плантацій верби
аміачною селітрою**

Сорт	Норма внесення добрива через кожні 3 роки, кг/га д.р.	Додаткові затрати на внесення добрив та збирання біомаси, тис. грн./га	Підвищення врожайності сухої біомаси від внесення добрив, т/га	Додаткові надходження від реалізації, тис. грн./га	Додатковий прибуток від внесення добрив, тис. грн./га
‘Tora’	0	–	–	–	–
	35	1,63	6,91	6,57	4,94
	70	2,79	13,06	12,41	9,62
	105	3,90	17,16	16,30	12,40
	140	4,93	18,75	17,81	12,88
‘Inger’	0	–	–	–	–
	35	2,21	5,94	5,64	3,43
	70	3,38	12,60	11,97	8,59
	105	4,46	15,92	15,12	10,66
	140	5,49	17,15	16,30	10,81
‘Tordis’	0	–	–	–	–
	35	1,57	4,57	4,34	2,77
	70	2,67	8,68	8,24	5,57
	105	3,73	11,13	10,57	6,84
	140	4,76	12,52	11,89	7,13

Вирощування біомаси верби, крім отримання легко відновлюваного джерела енергії, дозволяє вирішити низку екологічних проблем. Такі насадження можуть успішно рости на забруднених землях та інших маргінальних площах. Вони можуть ефективно застосовуватися для укріплення ґрунтів та підвищення їх родючості.

ВИСНОВКИ

1. У дисертаційній роботі викладено теоретичне узагальнення та практичне вирішення наукового завдання, яке полягає в оцінюванні доцільності інтродукції деяких іноземних сортів верби в умови Західного Полісся України і в удосконаленні елементів технології створення, вирощування та експлуатації їх енергетичних плантацій.

2. Проведені дослідження плантацій восьми сортів енергетичної верби в регіоні досліджень показали, що за перший вегетаційний період приживлюваність їх живців була високою і змінювалася від 82,1 до 95,1 %. Найвищими показниками приживлюваності відзначався сорт ‘Tora’ за ручного висаджування живців (95,1 %). За механізованого садіння укорінюваність живців була меншою (89,4 %). Така ж залежність простежується в усіх інших досліджуваних сортів і пояснюється тим, що за машинного садіння живці часто висаджуються під кутом, а за ручного – вертикально, що сприяє досягненню

ними глибших, краще зволжених шарів ґрунту і позитивно позначається на їх укоріненні.

3. Найбільшими показниками середньої висоти кущів трирічних плантацій відзначалися сорти 'Tordis', 'Toga' та 'Inger' – 2,97; 2,79 і 2,76 м відповідно). Деяко меншими ці показники були в клонів '82' (2,71 м), 'Express' (2,68 м) та 'Wilhelm' (2,65 м). Найменшими середні висоти виявилися в сортів польської селекції '1047' і '1057'.

4. Середній діаметр трирічних пагонів (30,9 мм) найбільшим виявився в сорту 'Tordis'. Високими значеннями цього показника відзначалися також клони 'Toga' (30,1 мм) та 'Inger' (28,1 мм). У варіанті з найбільшою густиною садіння максимальні показники діаметра пагонів зафіксовано в сортів 'Tordis' (23,5 мм), 'Express' (22,9 мм) та 'Wilhelm' (22,7 мм), а за середньої густоти – у 'Tordis' (29,4 мм), 'Toga' (28,1 мм) та 'Inger' (27,4 мм). Спостерігається зворотна залежність між густиною насаджень і середнім діаметром їх пагонів.

5. Урожайність сухої біомаси верби третього року вегетації максимальних значень досягла в сортів 'Toga', 'Inger' і 'Tordis' – 28,12; 30,27 і 24,76 т/га відповідно. При цьому, продуктивність сорту 'Inger' найбільшою виявилася за густоти садіння 16,4 тис. шт./га, а сортів 'Toga' і 'Tordis' – за густоти 12,9 тис. шт./га.

6. Ієрархічний кластерний аналіз досліджуваних сортів верби за комплексом біометричних показників дав змогу об'єднати досліджувані сорти верби у два кластери. До першого з них належать сорти шведської селекції 'Toga' та 'Inger', які за всіма характеристиками росту й продуктивності мали найвищі показники. До другого ввійшли решта сортів, які різною мірою є перспективними для вирощування в південній частині Західного Полісся. Насамперед це 'Tordis', 'Wilhelm' та 'Express', які характеризуються високими показниками продуктивності.

7. Удобрення ґрунту чотирирічних енергетичних плантацій верби після зрізання біомаси аміачною селітрою спричинило суттєвий вплив на показники росту і продуктивності досліджуваних сортів протягом наступних трьох років. Середня висота трирічних кущів суттєво зростала до внесення аміачної селітри в нормі 70 кг/га д. р. азоту. За внесення вищих норм добрив збільшення висоти рослин було несуттєвим. Найбільшими показниками висоти кущів відзначався сорт 'Toga'. Рослини цього сорту мали також найбільший середній діаметр трирічних пагонів – від 44,0 до 49,27 мм. Істотне збільшення діаметра пагонів досліджуваних клонів спостерігалось за внесення 70 кг/га д. р. азоту.

8. Продуктивність сухої біомаси трирічних енергетичних плантацій сорту 'Toga' на контролі становила 39,82 т/га, 'Inger' – 21,58, а в сорту 'Tordis' – 26,94 т/га. За внесення 35, 70, 105 і 140 кг/га д. р. азоту продуктивність плантацій сорту 'Toga' зростала відповідно на 6,91; 6,15; 4,10 і 1,59 т/га; сорту 'Inger' – на 5,94; 6,65; 3,32 і 1,24 т/га, а сорту 'Tordis' – на 4,57; 4,11; 2,45 та 1,39 т/га відповідно.

9. Площа листкової поверхні енергетичних плантацій досліджуваних сортів верби протягом вегетаційного періоду 2017 року змінювалася від 28,7 до 40,1 тис. м²/га. В усіх варіантах досліду максимальні її показники спостерігалися

в кінці липня. Серед досліджуваних клонів найвищі показники площі листової поверхні (від 32,8 до 40,1 тис. м²/га) були відзначено в найпродуктивнішого сорту 'Tora', а найменші (від 28,7 до 36,0 тис. м²/га) – у сорту 'Inger'. При цьому спостерігається пряма залежність між нормою внесення добрив і площею листової поверхні рослин верби.

10. Найбільшим показником чистої продуктивності фотосинтезу відзначався сорт 'Tora'. Максимальним цей показник був у період з 25 травня до 25 червня 2017 р. (від 5,28 на контролі до 6,80 г/м²/добу за максимальних норм добрив). У сорту 'Inger' найвищі показники чистої продуктивності фотосинтезу рослин зафіксовано в липні – від 1,47 до 2,59 г/м²/добу. У клону 'Tordis' досліджувані показники були найменшими (0,38–1,36 г/м²/добу) і приблизно однаковими протягом червня–липня.

Основними чинниками, що посприяли вищій продуктивності сорту 'Tora', порівняно з клонами 'Inger' і 'Tordis', є більша площа листової поверхні, вищі показники чистої продуктивності фотосинтезу і довший період вегетації.

11. У трирічній біомасі досліджуваних сортів верб міститься від 1,1 до 1,5 % сумарного азоту. При цьому найбільше його містить біомаса сорту 'Tora': на контролі та у варіанті з внесенням 35 кг/га д. р. азоту – 1,2 %, за доз 70 і 105 кг/га д. р. азоту – 1,4 %, а за дози 140 кг/га д. р. – 1,5 %. У біомасі сортів 'Inger' і 'Tordis' міститься приблизно однакова кількість азоту, незалежно від варіантів удобрення ґрунту – від 1,1 до 1,2 %. Уміст фосфору в сухій біомасі змінюється від 1,65 до 1,90 %. Спостерігається тенденція до збільшення вмісту цього елемента з підвищенням норми внесення азотних добрив. Подібна тенденція простежується також щодо вмісту калію. Найменший його вміст виявився в біомасі сорту 'Tora' – від 1,9 до 2,0 %, а в клонів 'Inger' і 'Tordis' цей показник змінювався від 2,0 до 2,4 %.

12. Зольність сухої трирічної біомаси верби у варіанті без внесення добрив становить у сортів 'Tora' та 'Inger' 1,2 %, у 'Tordis' – 1,1 %. За внесення 35 кг/га д. р. азоту цей показник зростає в усіх сортів до 1,7–1,8 %, а за дози 270 кг/га д. р. – до 1,8–2,4 %. За дози 105 кг/га азоту зольність біомаси сорту 'Tora' становить 2,3 %, а за внесення 140 кг/га д. р. – 2,9 %. У сорту 'Inger' ці показники становили 2,9 і 4,0 %, а в 'Tordis' – 3,5 і 4,1 % відповідно. Таким чином, отримані дані вказують на недоцільність застосування в умовах регіону проведення досліджень максимальних доз аміачної селітри (105 і 140 кг/га д.р. азоту). Крім необґрунтованої витрати дорогого синтетичного добрива, буде отримано біомасу з високим умістом зольних елементів, що негативно позначиться на її якості та ціні. Оптимальною є доза 70 кг/га д. р. азоту.

13. Теплотворна здатність біомаси в усіх досліджуваних сортів і варіантів удобрення відрізняється незначно, змінюючись у межах від 17,9 до 18,4 МДж/кг. При цьому простежується чітка тенденція до її зменшення зі збільшенням норми внесення добрив, що пов'язано зі зростанням показників зольності. Найбільше енергії у трирічному врожаї біомаси міститься в сорту 'Tora' – від 729 до 1056 ГДж/га залежно від варіантів удобрення, тоді як у сорту 'Inger' цей показник змінюється від 395 до 691 ГДж/га, а в 'Tordis' – від 496 до 704 ГДж/га.

14. Проведена економічна оцінка підживлення енергетичної верби

азотними добривами показала що найінтенсивніше економічний ефект зростав до внесення добрив у дозі 70 кг д. р./га, дещо знижувався до N₁₀₅, а від N₁₄₀ до N₁₇₅ – майже не змінювався. Серед досліджуваних сортів найбільший економічний ефект від застосування добрив забезпечив сорт ‘Tora’ – від 9,62 тис. грн./га за внесення 70 кг д. р./га до 12,40 тис. грн./га за дози 105 кг д. р./га. У сортів ‘Inger’ і ‘Tordis’ ці показники становили відповідно 8,59–10,66 і 5,57–6,87 тис. грн./га. Витрати енергії на вирощування вербової біомаси у 18,7–31,1 раза менші, ніж кількість акумульованої в ній енергії. Енергетично найефективнішим варіантом, серед використаних у дослідженнях, є застосування аміачної селітри в дозі 70 кг д. р./га, за якого коефіцієнт енергетичної ефективності досягає в сорту ‘Tora’ 31,1, в ‘Inger’ – 21,1, а у ‘Tordis’ – 21,8.

15. Оцінювання ефективності інвестицій у плантації енергетичної верби за допомогою комплексу показників (NPV, PI, IRR, DPP) виявило необхідність опрацювання державних програм фінансової підтримки плантаційного вирощування культури та законодавчих механізмів їхнього впровадження. Для виходу вирощування енергетичної вербової сировини на прибутковий рівень фінансова підтримка повинна становити не менше 60 % від витрат на створення плантацій.

16. Плантаційне вирощування енергетичної вербової сировини, крім економічного складника, має важливе значення з екологічного погляду. Енергетичні плантації верби можуть успішно рости на забруднених землях та землях, малопродуктивних з погляду вирощування сільськогосподарських культур. Вони можуть ефективно застосовуватися у протиерозійних заходах для укріплення ґрунтів та підвищення їх родючості.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

Для забезпечення високої продуктивності енергетичних плантацій верби в умовах Західного Полісся України рекомендується:

- висаджувати інтродуковані сорти іноземної селекції ‘Tora’, ‘Inger’ і ‘Tordis’;
- формувати енергетичні плантації верби за густоти садіння живців 12–16 тис. шт./га;
- після кожного циклу збирання біомаси верби вносити 70 кг/га д. р. азоту.

СПИСОК ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті в наукових фахових виданнях України

1. Сінченко В. М., Пиркін В. І., Гнап І. В., Мельничук Г. А. Умови, необхідні для вирощування енергетичної верби. *Біоенергетика*. 2017. № 2. С. 9–13. (проведення експериментальних досліджень, аналіз результатів, підготовка та написання статті. Особистий внесок – 55 %)

2. Сінченко В. М., **Гнап І. В.** Вплив основних елементів живлення на продуктивність енергетичної верби. *Біоенергетика*. 2018. № 1. С. 9–12. (проведення експериментальних досліджень, аналіз результатів, підготовка та написання статті. Особистий внесок – 70 %)

**Статті в наукових фахових виданнях України,
включених до міжнародних науко метричних баз даних**

3. Фучило Я. Д., **Гнап І. В.**, Ганженко О. М. Ріст і продуктивність деяких сортів енергетичної верби іноземної селекції в умовах Волинського Опілля. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2018. Т. 14, № 2. С. 230–239. doi: 10.21498/2518-1017.14.2.2018.134775 (проведення експериментальних досліджень, аналіз результатів, підготовка та написання статті. Особистий внесок – 60 %)

4. **Гнап І. В.** Вплив азотних добрив на ріст, продуктивність і якість біомаси деяких сортів енергетичної верби в умовах Західного Полісся України. *Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2018. № 5. doi: 10.31548/dopovidi2018.05.014. URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/11664/10113>

Статті в наукових виданнях інших держав

5. Синченко В. Н., **Гнап І. В.**, Мельничук А. А., Пыркін В. И., Фучило Я. Д. Особенности выращивания энергетической ивы в Полесье и Лесостепи Украины. *Сахарная свекла*. 2017. № 1. С. 34–38. (проведення експериментальних досліджень, аналіз результатів, підготовка та написання статті. Особистий внесок – 55 %)

Статті, що додатково висвітлюють результати досліджень

6. Сінченко В. М., Пиркін В. І., **Гнап І. В.** Закладання плантацій енергетичної верби. *Агробізнес сьогодні*. 2016. № 12. С. 54–57. (проведення експериментальних досліджень, аналіз результатів, підготовка та написання статті. Особистий внесок – 55 %)

7. Сінченко В. М., Пиркін В. І., **Гнап І. В.** Технологія вирощування енергетичної верби. *Агробізнес сьогодні*. 2016. № 14. С. 78–81. (проведення експериментальних досліджень, аналіз результатів, підготовка та написання статті. Особистий внесок – 55 %)

8. Сінченко В. М., Пиркін В. І., **Гнап І. В.**, Гізбулліна Л. Н., Москаленко В. П., Мельничук Г. А. Управління технологічними процесами вирощування енергетичної верби. *Біоенергетика*. 2016. № 2. С. 6–10. (проведення експериментальних досліджень, аналіз результатів, підготовка та написання статті. Особистий внесок – 55 %)

9. Гументик М. Я., Гайда Ю. І., Фучило Я. Д., **Гнап І. В.** Економічна ефективність інвестицій у вирощування біоенергетичних культур в зоні лісостепу України. *Економічний аналіз*. 2018. Т. 28, № 2. С. 21–30. (проведення

експериментальних досліджень, аналіз результатів, підготовка та написання статті. Особистий внесок – 55 %)

Матеріали наукових конференцій

10. Фучило Я. Д., **Гнап І. В.** Вплив ґрунтових і погодних умов на успішність створення енергетичних плантацій верби. *Основні проблеми й тенденції подальшого розвитку лісового господарства в Українських Карпатах* : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (м. Івано-Франківськ, 4–6 жовтня 2018 р.). Івано-Франківськ, 2018. С. 326–331.

11. **Гнап І. В.**, Фучило Я. Д., Ганженко О. М. Ріст і продуктивність деяких сортів енергетичної верби іноземної селекції в південній частині Західного Полісся України. *Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Колесниковські читання», присвяченої пам'яті професора О. І. Колесникова* (м. Харків, 16–17 жовтня 2018 р.). Харків, 2018. С. 70–72.

Монографії

12. Роїк М. В., Сінченко В. М., Фучило Я. Д., Пиркін В. І., Ганженко О. М., Гументик М. Я., **Гнап І. В.**, Заїменко Н. В., Рахметов Д. Б., Курило В. Л., Фурман В. А., Макух Я. П., Іваніна В. В., Слюсар І. Т., Каленська С. М., Саблук В. Т., Грищенко О. М., Балагура О. В., Бузинний М. В., Мороз О. В., Вакуленко М. О., Гончаренко Г. С., Танчик С. П., Бабенко А. Л., Ременюк С. О., Бондар В. С., Фурса А. В., Орлов С. Д., Сторожик Л. І., Широкоступ О. В., Зиков П. Ю., Гореленко В. І., Мандровська С. М., Москаленко В. П., Гізбулліна Л. Н., Мельничук Г. А. Енергетична верба: технологія вирощування та використання / за ред. В. М. Сінченка. Вінниця : Нілан ЛТД, 2015. 340 с.

13. Фучило Я. Д., Сінченко В. М., Ганженко О. М., Гументик М. Я., Пиркін В. І., Присяжнюк О. І., Сбитна М. В., Герасименко Л. А., Квак В. М., **Гнап І. В.**, Фучило Д. Я., Мельничук Г. А., Зелінський Б. В., Ткаченко А. М. Методологія дослідження енергетичних плантацій верб і тополь / за ред. В. М. Сінченка. Київ : Компринт, 2018. 137 с.

Патенти

14. Патент на корисну модель 104007 Україна, МПК А01В 79/00. Спосіб вирощування енергетичної верби / Роїк М. В. Сінченко В. М., Пиркін В. І., Гументик М. Я., Іваніна В. В., Ганженко О. М., Курило В. Л., Макух Я. П., Фучило Я. Д., **Гнап І. В.** (Україна). Заявник і власник патенту Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН. – № u 2015 06235 ; Заявлено 24.06.2015 ; Опубл. 12.01.2016, Бюл. № 1.

АНОТАЦІЯ

Гнап І. В. Інтродукція сортів енергетичної верби та удосконалення технології їх вирощування в Західному Поліссі. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата

сільськогосподарських наук за спеціальністю 06.01.09 – рослинництво (06 – Сільськогосподарські науки). – Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, Київ, 2019.

У дисертаційній роботі викладено результати досліджень щодо інтродукції сортів енергетичної верби іноземної селекції та вдосконалення елементів технології їх вирощування в умовах Західного Полісся.

Із восьми досліджуваних сортів верби найвищим укоріненням живців відзначався сорт ‘Tora’: за ручного садіння – 95,1 %, а за механізованого – 89,4 %. Найбільшу середню висоту трирічних рослин мали сорти ‘Tordis’, ‘Tora’ та ‘Inger’ (відповідно 2,97; 2,79 і 2,76 м). Їхні пагони мали також найбільші діаметри – 30,9; 30,1 та 28,1 мм відповідно. Спостерігається зворотна залежність між густиною насаджень і середнім діаметром пагонів.

Урожайність трирічної біомаси верби найбільшою виявилася в сортів ‘Inger’, ‘Tora’ і ‘Tordis’ (відповідно 30,27; 28,12 і 24,76 т/га). При цьому, у сорту ‘Inger’ найвища продуктивність формувалася за середньої густоти садіння (16,4 тис. шт./га), а в сортів ‘Tora’ і ‘Tordis’ – за найменшої (12,9 тис. шт./га).

Удобрення ґрунту чотирирічних плантацій сортів ‘Tora’, ‘Tordis’ та ‘Inger’ аміачною селітрою (N₃₅, N₇₀, N₁₀₅ і N₁₄₀) позитивно вплинуло на біометричні показники трирічних пагонів і продуктивність біомаси. Вона становила на контролі сорту ‘Tora’ 39,82 т/га, ‘Inger’ – 21,58 та ‘Tordis’ – 26,94 т/га. За внесення N₃₅, N₇₀, N₁₀₅ і N₁₄₀ продуктивність плантацій сорту ‘Tora’ зростала відповідно на 6,91; 6,15; 4,10 і 1,59 т/га; сорту ‘Inger’ – на 5,94; 6,65; 3,32 і 1,24 т/га, а сорту ‘Tordis’ – на 4,57; 4,11; 2,45 та 1,39 т/га.

Вища продуктивність сорту ‘Tora’, порівняно із сортами ‘Inger’ і ‘Tordis’, забезпечується завдяки більшій площі листової поверхні (від 32,8 до 40,1 тис. м²/га), вищій чистій продуктивності фотосинтезу (від 5,28 на контролі до 6,80 г/м²/добу за максимальної норми добрива) і довшому періоду вегетації.

У трирічній біомасі досліджуваних верб міститься 1,1–1,5 % азоту, 1,65–1,90 % фосфору, 1,9–2,4 % калію, а зольність становить 1,1–4,1 %. При цьому, усі ці показники зростають зі збільшенням норми мінерального добрива. Оптимальною є норма 70 кг/га д. р. азоту.

Теплотворна здатність біомаси становить від 17,9 до 18,4 МДж/кг, зменшуючись зі збільшенням норми внесення добрив, що пов’язано зі зростанням показників зольності. Найбільше енергії в трирічному врожаї біомаси містять плантації сорту ‘Tora’ – від 729 до 1056 ГДж/га залежно від норми удобрення.

Для забезпечення прибуткового рівня вирощування біомаси верби потрібна фінансова підтримка в розмірі не менше 60 % від витрат на створення плантацій.

Ключові слова: біоенергетика, верба, енергетична біомаса, сорти, інтродукція, густина садіння, внесення азотних добрив, інтенсивність росту, урожайність, уміст макроелементів, зольність, теплотворна здатність біомаси.

ABSTRACT

Gnap I. V. Introduction and improvement of cultivation technology

components for growing energy willow under the conditions of the Western Polissia. – Qualifying paper as a manuscript.

Cand. Sc. (Agr.) Thesis, specialty 06.01.09 – Plant Production. Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, Kyiv, 2019.

The thesis is devoted to the introduction of promising foreign energy willow varieties and improvement of cultivation technology for willow plantations in Western Polissia.

Of the 8 studied varieties of willow, the highest index of rooting of cuttings had ‘Tora’: with manual planting – 95.1%, and at mechanized – 89.4%. The varieties ‘Tordis’, ‘Tora’ and ‘Inger’ had the highest average growth of three-year plants (respectively 2.97, 2.79 and 2.76 m). Their shoots also had the largest diameters – respectively: 30.9 mm, 30.1 mm and 28.1 mm. There is an inverse relationship between the density of plantations and the average diameter of their shoots.

The yield of three years dry biomass of willow was highest in the varieties ‘Inger’, ‘Tora’ and ‘Tordis’ (respectively, 30.27, 28.12 and 24.76 t/ha). At the same time, the highest yield was at the average plant density (16.4 thousand pcs./ha) in the ‘Inger’ variety, and the highest yield of varieties ‘Tora’ and ‘Tordis’ was at a minimum landing density of 12, 9 thousand pcs./ha).

Fertilization of 4-year plantations of varieties ‘Tora’, ‘Tordis’ and ‘Inger’ by ammonium nitrate (N₃₅, N₇₀, N₁₀₅ and N₁₄₀) positively influenced on the biometric indices of three-year shoots and the productivity of biomass. On ‘Tora’ variety control plot yield was 39.82 t/ha, on ‘Inger’ – 21.58 t/ha and on ‘Tordis’ – 26.94 t/ha. At fertilizing in a soil N₃₅, N₇₀, N₁₀₅ and N₁₄₀, the productivity of ‘Tora’ variety plantations increased by 6.91, 6.15, 4.10 and 1.59 t/ha respectively; ‘Inger’ variety plantations increased by 5.94, 6.65, 3.32 and 1.24 t/ha, while the ‘Tordis’ variety – by 4.57, 4.11, 2.45 and 1.39 t/ha.

The higher productivity of the ‘Tora’ variety, compared with the varieties ‘Inger’ and ‘Tordis’, is provided by a greater area of the leaf surface (from 32.8 to 40.1 thousand m² per hectare), with a higher productivity of pure photosynthesis (from 5.28 g/m²/day – at the control, up to 6.80 g/m²/day – for maximum fertilizer doses) and a longer period of vegetation.

In three-year biomass, the willow contains 1.1–1.5% nitrogen, 1.65–1.90% phosphorus, 1.9–2.4% potassium, and 1.1–4.1% ash content. At the same time, all these indicators are increasing with the increase of the norm of mineral fertilizers. The 200 kg/ha ammonium nitrate (N₇₀) norm is optimal.

The calorific value of biomass is from 17.9 to 18.4 MJ/kg, decreasing with increasing fertilizer dose, which is associated with an increase in the content of ash. The ‘Tora’ variety three-year biomass had greatest energy – from 729 to 1056 GJ/ha, depending on the norm of fertilization.

To provide a lucrative level of growth of willow biomass, financial support of at least 60% of the cost of plantation creation is required.

Keywords: *bioenergy, willow, energy biomass, varieties, introduction, planting density, nitrogen fertilizer application, growth intensity, yield, the content of macroelements, ash content, the calorific value of biomass.*