

НАЦІОНАЛЬНИЙ БОТАНІЧНИЙ САД ІМЕНІ М.М.ГРИШКА
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

DOI: <https://doi.org/10.59647/978-617-520-951-6/1>

**ШВИДКОРОСЛІ ЕНЕРГЕТИЧНІ
РОСЛИНИ В УКРАЇНІ : ВИДИ РОДУ *POPULUS*,
SALIX, *PAULOWNIA* ТА *SILPHIUM***

Монографія

Київ
Видавництво Ліра-К
2024

УДК 575.1, 573.6.086.835:633/635, 575.1:069.029:662.63

DOI: <https://doi.org/10.59647/978-617-520-951-6/1>

Усі права застережено. Копіювання, сканування,
запис на електронні носії і тому подібне
будь-якої частини видання заборонено

Затверджено до друку Вченою радою
Національного ботанічного саду імені М.М.Гришка НАН України
(протокол №13 від 12 вересня 2024 року)

Рецензенти:

О.П.Кравець – д.б.н., Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України
М.І.Кулик – д.с.-г.н., професор, Полтавський державний аграрний університет

Відповідальний редактор – професор Д.Б.Рахметов

Швидкорослі енергетичні рослини в Україні : види роду *Populus*,
Salix, *Paulownia* та *Silphium* / Д.Б. Рахметов, Н.К. Куцоконь,
О.М. Вергун та ін. Київ : Видаництво Ліра-К, 2024. 128 с.

ISBN 978-617-520-951-6

Представлено результати багаторічних досліджень швидкорослих енергетичних рослин в Україні – видів роду *Populus*, *Salix*, *Paulownia* та *Silphium*, які були проведено зусиллями колективу двох наукових установ НАН України: Національного ботанічного саду імені М.М.Гришка та Інституту клітинної біології та генетичної інженерії. Подано інформацію про високопродуктивні енергетично-цінні деревні та трав'яні сировинні рослини. Показано перспективи інтродукції, селекції та використання високопродуктивних рослин, для створення енергетичних плантацій. Наведено інформацію про умови, об'єкти та методи проведення досліджень. Висвітлено результати досліджень біолого-технологічного та енергетично-продуктивного потенціалу інтродукованих видів та створених форм трав'яних і деревних рослин для розробки ефективних технологій виробництва нової біопаливної сировини. Наведено результати досліджень щодо біохімічного складу та енергетичної цінності фітосировини залежно від видових, сортових, формових особливостей рослин та фази вегетації. Представлено оригінальні дані про ростові особливості рослин та біопаливну характеристику фітосировини різних зразків за річний цикл вирощування.

Для біологів, екологів, рослинників, технологів, спеціалістів, викладачів, аспірантів та студентів.

ISBN 978-617-520-951-6

© НБС імені М.М. Гришка, 2024

© Рахметов Д.Б., Куцоконь Н.К., Вергун О.М. та ін., 2024

© Видавництво Ліра-К, 2024

ЗМІСТ

ВСТУП (Рахметов Д.Б.).....	4
РОЗДІЛ 1. ВИСОКОПРОДУКТИВНІ ДЕРЕВНІ ТА ТРАВ'ЯНІ РОСЛИНИ (ПРЕДСТАВНИКИ РОДУ <i>POPULUS</i> , <i>SALIX</i> , <i>PAULOWNIA</i> І <i>SILPHIUM</i>) ДЛЯ СТВОРЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПЛАНТАЦІЙ В УКРАЇНІ	6
1.1. Перспективні енергетичні деревні рослини (Куцоконь Н.К., Рашидов Н.М., Рахметов Д.Б.)	7
1.2. <i>Paulownia</i> – високопродуктивна енергетична рослина (Рахметов Д.Б., Рахметова С.О., Нікішова Н.В.)	11
1.3. Інтродукція та перспективи використання рослин роду <i>Silphium</i> L. у світі та в Україні (Рахметов Д.Б., Стаднічук Н.О., Вергун О.М., Бондарчук О.П., Мосякін А.С.)	18
РОЗДІЛ 2. УМОВИ, ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	25
2.1. Об'єкти та умови проведення досліджень.....	25
2.2. Методи проведення досліджень.....	27
РОЗДІЛ 3. БІОЛОГО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ТА ЕНЕРГЕТИЧНО-ПРОДУКТИВНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ПЕРСПЕКТИВНИХ ТРАВ'ЯНИХ І ДЕРЕВНИХ РОСЛИН РОДУ <i>SILPHIUM</i> ТА <i>PAULOWNIA</i> ДЛЯ РОЗРОБКИ ЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА НОВОЇ БІОПАЛИВНОЇ СИРОВИНИ.....	28
3.1. Біологічний та продуктивний потенціал рослин роду <i>Silphium</i>	28
3.1.1. Мобілізація та створення генетичних ресурсів нових енергетично-цінних трав'яних рослин роду <i>Silphium</i> (Рахметов Д.Б., Стаднічук Н.О., Шиманська О.В.)	28
3.1.2. Біолого-технологічний потенціал інтродукованих видів та виведених форм, гібридів і сортозразків рослин роду <i>Silphium</i> (Рахметов Д.Б., Стаднічук Н.О., Рахметова С.О.).....	38
3.1.3. Біохімічна характеристика та енергетична цінність фітосировини рослин роду <i>Silphium</i> L. залежно від сортових, формових особливостей та фази вегетації (Вергун О.М., Рахметов Д.Б., Фіщенко В.В., Шиманська О.В., Бондарчук О.П.)	49
3.1.4. Продуктивний та енергетичний потенціал рослин роду <i>Silphium</i> (Рахметов Д.Б., Вергун О.М., Рахметова С.О.)	61
3.2. Біологічний, енергетичний та продуктивний потенціал рослин роду <i>Paulownia</i> (Рахметов Д.Б., Вергун О.М., Рахметова С.О., Нікішова Н.В.)	67
РОЗДІЛ 4. ОЦІНКА РОСТОВИХ І БІОПАЛИВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШВИДКОРОСЛИХ ДЕРЕВНИХ РОСЛИН РОДУ <i>POPULUS</i> ТА <i>SALIX</i> ДЛЯ СТВОРЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПЛАНТАЦІЙ (Куцоконь Н.К., Рашидов Н.М., Худолєєва Л.В., Хома Ю.А., Літвінов С.В., Рахметов Д.Б.)	84
4.1. Ростові характеристики рослин тополь та верб	88
4.2. Біопаливна характеристика фітосировини різних зразків тополь та верб за річний цикл вирощування.....	95
4.3. Ранжування клонів тополь і верб за ростовими та біопаливними показниками.....	97
ЗАКЛЮЧЕННЯ (Рахметов Д.Б.)	101
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	103
ДОДАТКИ.....	120

ВСТУП

Представлено результати багаторічних досліджень швидкорослих енергетичних рослин в Україні – видів роду *Populus*, *Salix*, *Paulownia* та *Silphium*, які були проведено зусиллями колективу двох наукових установ НАН України: Національного ботанічного саду імені М.М.Гришка та Інституту клітинної біології та генетичної інженерії.

Робота складається з чотирьох розділів, заключення, списку використаної літератури та додатків. У першому розділі подано інформацію про високопродуктивні енергетично-цінні деревні та трав'яні сировинні рослини. Показано перспективи інтродукції, селекції та використання представників роду *Populus*, *Salix*, *Paulownia* та *Silphium* для створення багаторічних енергетичних плантацій в Україні.

У другому розділі наведено інформацію про умови, об'єкти та методи проведення досліджень. Третій розділ присвячено результатам досліджень біолого-технологічного та енергетично-продуктивного потенціалу перспективних трав'яних і деревних рослин роду *Silphium* та *Paulownia* для розробки ефективних технологій виробництва нової біопаливної сировини. Подано результати роботи щодо мобілізації та створення генетичних ресурсів нових енергетично-цінних рослин роду *Silphium* та *Paulownia*. Розкрито біолого-технологічний потенціал інтродукованих видів та виведених форм, гібридів і сортотразків рослин роду *Silphium* та *Paulownia*. Наведено результати досліджень щодо біохімічної характеристики та енергетичної цінності фітосировини рослин роду *Silphium* та *Paulownia* залежно від сортових, формових особливостей та фази вегетації.

У четвертому розділі висвітлено результати досліджень щодо оцінки ростових і біопаливних характеристик швидкорослих деревних рослин роду *Populus* та *Salix* для створення енергетичних плантацій. Наведено оригінальні дані про ростові характеристики рослин тополь та верб. Розкрито біопаливну характеристику фітосировини різних зразків тополь та верб за річний цикл вирощування. Наведено оригінальні дані про ранжування клонів тополь і верб за ростовими та біопаливними показниками.

У кінці рукопису наводяться підсумки багаторічної наукової роботи щодо біолого-технологічного та енергетично-продуктивного потенціалу перспективних трав'яних і деревних рослин роду *Populus*, *Salix*, *Paulownia* та *Silphium* для розробки ефективних технологій виробництва нової біопаливної сировини першого і другого покоління та список використаної

літератури. У додатках представлено перелік наукових публікацій авторського колективу за темою та оригінальні розробки.

Ключові слова (до 7 слів) швидкорослі деревні та трав'яні рослини (*Populus, Salix, Paulownia, Silphium*), високопродуктивні генотипи, біопаливна сировина, стрес-стійкі форми, високоефективні фітотехнології.

Робота виконана у рамках Цільової програми наукових досліджень Національної академії наук України «Біопаливні ресурси і біоенергетика» (2017-2022 рр.).

Колектив авторів висловлює щиру вдячність Президії та Відділенню загальної біології НАН України, адміністрації та членам Вчених рад НБС і ІКБГІ НАН України, рецензентам і співробітникам за підтримку та цінні поради під час виконання роботи та оформлення монографії.

РОЗДІЛ 1.
ВИСОКОПРОДУКТИВНІ ДЕРЕВНІ
ТА ТРАВ'ЯНІ РОСЛИНИ (ПРЕДСТАВНИКИ РОДУ
***POPULUS, SALIX, PAULOWNIA I SILPHIUM*) ДЛЯ СТВОРЕННЯ**
ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПЛАНТАЦІЙ В УКРАЇНІ

У зв'язку з глобальними кліматичними змінами значно погіршилися екологічні умови на Землі, актуальними стали проблеми посухи, ерозії, скорочення біорізноманітності, що у свою чергу негативно впливають на забезпечення населення повноцінними продуктами харчування, технічними, лікарськими, енергетичними засобами тощо. Однією з актуальних проблем в Україні є ефективне використання сільськогосподарських угідь, які вилучені з інтенсивного обробітку. У вирішенні цього питання провідна роль може належати багаторічним енергозберігаючим культурам багатофункціонального призначення з періодом продуктивного довголіття 10-20 років, які за мінімального обробітку ґрунту забезпечують 20-30 т/га абсолютно сухої фітомаси різного напрямку використання.

Важливе значення має використання біомаси багаторічних високопродуктивних культур на енергетичні та технічні цілі, що дозволяє значно заощадити матеріально-технічні ресурси на виробництво сировини. Серед перспективних напрямів, слід підкреслити підбір рослин для виробництва фітосировини як джерела альтернативної енергії (біогазу, твердого біопалива та сировини для переробки на біопаливо другого покоління).

Як показує практика, традиційне рослинництво не повною мірою справляється з поставленими задачами. У зв'язку з цим нагальним є пошук нових нетрадиційних високопродуктивних рослин, здатних не лише конкурувати з наявними культурами, але і значно переважати їх за стійкістю і господарсько-цінними показниками. У цьому провідна роль належить інтродукції рослин як фактору збагачення видового та сортового різноманіття культурфітоценозів. Адже рослинний світ, що налічує близько 400000 видів, має величезний потенціал, але в культурі, на жаль, представлений лише невеликою їх кількістю.

Протягом багаторічного періоду дослідження, ми шляхом інтродукції, селекції та біотехнологій, із близько 1000 інтродуцентів відібрали рослини з найпотужнішим продуктивним потенціалом. Проведено комплексне вивчення високопродуктивних інтродуцентів, з метою використання в біоконверсії в Україні. Всебічно досліджено біоекологічні особливості, морфометричні параметри, продуктивний потенціал рослин у динаміці.

Ключове значення має використання біомаси багаторічних високопродуктивних культур на енергетичні та технічні цілі, що дозволяє значно заощадити матеріально-технічні ресурси на виробництво сировини. Серед перспективних напрямів, слід підкреслити підбір рослин для виробництва фітосировини як джерела альтернативної енергії (біогазу, твердого біопалива та сировини для переробки на біопаливо другого покоління).

1.1. Перспективні енергетичні деревні рослини

Згідно даних Європейського Інституту лісів, Україна належить до числа країн Європи з найнижчими частками лісів. Вирощування короткоротаційних тополевих насаджень дозволило б більш ефективно використовувати наявні лісові площі для отримання енергії. І хоча у світі вже давно існують біоенергетичні плантації тополь та павловнії, в Україні увага цьому питанню майже не приділяється. Вирощування плантацій тополь та павловнії, порівняно з іншим польовими енергетичними культурами (наприклад ріпак, кукурудза), є безпечнішим для довкілля, оскільки такі насадження майже не виснажують ґрунт, характеризуються більшим видовим різноманіттям, здатні до шумопоглинання та фітореMediaції ґрунтів і повітря. Їх можна висаджувати на землях, непридатних для сільськогосподарських потреб – у заплавах річок, на забруднених та еродованих землях, застосовувати у вітрозахисних і вологозберігаючих лісосмугах на полях. У світі деревина представників *Populus* та *Paulownia* є популярною в багатьох галузях: з неї не лише отримують енергію при спалюванні, але й виготовляють меблі, фанеру, біоетанол, дошку, целюлозу, віскозу, сірники і т.п.

У ряді зарубіжних держав тополі застосовують як швидкоростучі види для технічних потреб та як важливе відновлюване джерело біопалива. Використання новітніх біотехнологічних підходів дозволяє пришвидшити розвиток лісового господарства, що може реалізовуватися за різних напрямів, включаючи клональне розмноження рослин із корисними генотипами та пряме введення певних ознак за допомогою генетичної інженерії. У зв'язку з активною зацікавленістю дослідників до тополь, верби та павловнії, для багатьох видів відпрацьовано методи трансформації і проводиться робота по вивченню їх геному в різних країнах світу (Kutsokon, 2011; Tuskan et al., 2006).

Крім промислового застосування, за останні роки набуло важливого значення використання видів роду *Populus* і в біологічних дослідженнях

як аналога “арабідопсису” серед деревних рослин, з метою вивчення функціонування їх характерних генів та метаболічних шляхів (Taylor, 2002). Можливості використання тополь для подібних цілей обумовлені їх швидким зростанням та легкістю розведення, порівняно з іншими видами деревних рослин. Наявність секвенованого геному в тополь значно спрощує молекулярно-генетичні дослідження, зокрема для визначення механізмів стійкості рослин до стресових чинників різної природи, які значно понижають біопродуктивність.

Посуха як фактор зниження продуктивності лісових і енергетичних плантацій швидкорослих дерев та можливості їх адаптації. Водний дефіцит є одним з найважливіших факторів, які лімітують продуктивність деревних рослин у багатьох регіонах планети (Bonosi et al., 2013; Chhin, 2016; Daniels et al., 2011; Galvez et al., 2013; Hogg et al., 2008; Labrecque, Teodorescu, 2013; Leonelli et al., 2008). Зокрема, вирощування швидкорослих тополь та, особливо, верб, які загалом вважаються відносно вологолюбними культурами, може бути обмеженим у регіонах з водним дефіцитом. Це призводить до високого рівня загибелі насаджень, зниження продуктивності, і як наслідок – економічної недоцільності вирощування плантацій зазначених рослин.

Протягом останніх 10 років в Україні спостерігається підвищення температури повітря на фоні зменшення кількості опадів (Коваленко, Кіріяк, 2019), унаслідок чого посухи охоплюють до 50–70% території країни (Голобородько, Димов, 2019). Стратегія адаптації галузі рослинництва до кліматичних змін передбачає науково обґрунтований добір культур, придатних до вирощування як за сприятливих умов вологозабезпечення, так і здатних переносити дефіцит вологи (Вожегова, 2019). Наявність значної варіабельності та великої кількості гібридів у межах родів *Salix* і *Populus* дозволяє вирощувати їх за різних кліматичних умов (Kutsokon et al., 2013).

Відмінності в адаптації до посухи серед тополь виявляються на найрізноманітніших рівнях організації, включаючи генетичні, морфологічні, фізіологічні та біохімічні відповіді рослинного організму (Guo et al., 2010). Так, за впливу водного дефіциту в тополь виявляли зниження фотосинтетичної активності, вмісту хлорофілів, рівня транспірації, провідності продихів, висоти рослин та їх біомаси (Guo et al., 2010). У той же час, зростав вміст антиоксидантних ензимів та вільного проліну – сполук, які є маркерами захисних реакцій рослин у відповідь на стрес. При цьому, вищенаведені ефекти по-різному виявлялися в різних клонів, завдяки чому автори виокремили більш стійкий до посухи гібридний клон *Populus deltoides* × *Populus nigra* OP-367 (Guo et al., 2010).

Дієвою перевагою адаптації тополь до глобальних змін клімату є отримання трансгенних рослин, стійких до біотичних та абіотичних стресів, фітореMediaції, клонів із прискореним ростом тощо (Kutsokon, 2011). Однак, геномні модифікації потрібно вносити з урахуванням необхідності адаптацій до кліматичних змін. Наприклад, модифікація вмісту лігніну, яка є одним з найпопулярніших напрямів генетичної трансформації тополь, з метою оптимізації процесів виробництва паперу, потребує дещо обережного застосування в майбутньому, оскільки рослини з низьким вмістом лігніну сильніше потерпають від стресів, сила яких зростатиме у зв'язку з глобальними кліматичними змінами (посуха, екстремальні погодні умови, вітри, поява нових фітопатогенів та шкідників) (Allwright, Taylor, 2016).

Відмінності в ростовій динаміці протягом сезону є важливими для посухостійкості рослин. Активний ріст на початку сезону, коли забезпеченість вологою, зазвичай, є вищою внаслідок танення снігу, сприяє ефективнішому зростанню верби *S. viminalis* порівняно з *S. discolor* у Квебеку (Labrecque, Teodorescu, 2013). Навіть стать дерев тополі може по різному впливати на їх посухостійкість. Так, у *P. cathayana* посуха менше пригнічувала ріст чоловічих екземплярів, що обумовлено статевими відмінностями експресії деяких видів протеїнів, причетних до стрес-захисних реакцій, фотосинтезу та гомеостазу (Zhang et al., 2010).

Дефіцит вологи є найбільш вразливим стрес-фактором, значення якого посилюється у зв'язку з глобальними змінами клімату в багатьох регіонах світу, включаючи й Україну (Christensen et al., 2007). Як показують зарубіжні дослідження, наявність достатнього зволоження та мінерального живлення, були основними лімітуючими факторами за вирощування дерев в умовах підвищеного вмісту в атмосфері вуглекислого газу та зростання температури повітря влітку (Bonosi et al., 2013).

Осушення та неправильне зрошування ґрунтів часто призводить до їх засолення, так само як і застосування хлориду натрію в містах у зимовий період, як засіб боротьби проти ожеледиці. Станом на 2013 рік в Україні налічувалося 4,7 млн га солонцюватих та засолених ґрунтів, що становить 14,3% площі сільськогосподарських угідь (Макеєва, 2013). Зважаючи на те, що засолення викликає осмотичний стрес, особливу увагу привертає пролін, як осмотично активна захисна сполука, адже зростання його концентрації вважається компонентом захисної реакції рослинної клітини на зростання концентрації іонів натрію (Діденко та ін., 2016). Причому пролін вважають неспецифічною захисною сполукою, оскільки його

накопичення в рослин відбувається за впливу цілого ряду абіотичних стрес-факторів (Діденко та ін., 2016; Nesterenko, Rashydov, 2018).

У світі проводиться чимало досліджень для покращення геномів тополь, розробки та оптимізації методів вирощування біомаси дерев для потреб альтернативної енергетики, зокрема найперспективнішими є енергетичні плантації. Більше уваги приділяється й агролісівництву, яке стає все більш актуальним підходом для поєданого вирощування лісових та аграрних культур, а також фіторемедіаційним технологіям на основі тополь та верб, що дозволяють значно інтенсифікувати отримання біопаливної сировини з одночасним очищенням ґрунтів від забруднення.

Україна як держава із потужними тисячолітніми аграрними та лісовими традиціями, на жаль, практично не використовує потенціал швидкорослих тополь як джерела біопалива, а дана галузь розвинена дуже слабо. Існують лише поодинокі випадки комерційного вирощування біомаси верб для отримання біопаливних пелет та щепи, зокрема компанія «Салікс Енерджі», яка забезпечує теплом чимало державних підприємств на Волині. Провідними науковими установами, що розвивають даний напрям в Україні є лабораторія біофізики сигнальних систем Інституту клітинної біології та генетичної інженерії НАН України, відділ культурної флори Національного ботанічного саду НАН України, Інститут лісового господарства та агролісомеліорації НАН України та ДАЛРУ.

Методи мікроклонального розмноження активно використовуються для прискореного накопичення високоякісного посадкового матеріалу цінних та економічно вигідних рослин, у тому числі й з метою створення лісових насаджень. В умовах лабораторії мікроклональне розмноження є важливою складовою для експериментальних робіт, які дозволяють моделювати вплив стресових чинників, досліджувати молекулярно-біологічні механізми та біохімічні реакції в рослинах, проводити генно-інженерні дослідження з метою створення клонів з різним призначенням.

Мікроклональне розмноження – масове безстатеве розмноження рослин *in vitro*, при якому отримані особини рослин генетично ідентичні вихідному екземпляру рослин, в основі чого лежить тотипотентність рослинних клітин (Мусієнко, Панюта, 2005). Цей метод має ряд переваг перед існуючими традиційними способами розмноження: отримання генетично однорідного посадкового матеріалу; звільнення рослин від нематод, бактерій, вірусів за рахунок використання меристемної культури, калусних ліній; високий коефіцієнт розмноження: 10^5 - 10^6 клонів за рік, порівняно з 5-100 клонів від однієї рослини традиційними методами; невелика кількість початкового матеріалу, можливість його зберігання в генетичних банках, у тому числі в культурі *in vitro*; скорочення тривалості

селекційного процесу; прискорення переходу рослин від ювенільної до репродуктивної фази розвитку; ефективно розмноження рослин, які важко розмножуються традиційними способами; можливість проведення робіт у лабораторних умовах протягом усього року, а не тільки вегетаційного періоду (незалежно від умов довкілля), можливість регулювання факторів середовища; мініатюризація процесу – економія площ, зайнятих маточними та розмножуваними рослинами; можливість автоматизації процесу вирощування, застосування промислових технологій отримання посадкового матеріалу (Мельничук та ін., 2003).

Деберг і Мейн виділяють кілька етапів мікроклонального розмноження (Кушнір, Сарнацька, 2005). На підготовчому етапі проводиться стерилізація рослинного матеріалу для введення в культуру *in vitro*, що забезпечує успішну проліферацію експланта, а подальше мікроклональне розмноження призводить до збільшення кількості пагонів. Для цього індукуються меристематичні центри, які розвиваються в бруньки чи пагони. На наступному етапі пагони подовжуються, індукуються і розвиваються корені. Завершальним етапом мікроклонального розмноження є перенесення вкорінених рослин у тепличні умови.

Метою даного дослідження була інтродукція в культуру *in vitro* та мікроклональне розмноження високопродуктивних форм тополь і верб, які в подальшому планується використовувати при дослідженні механізмів посухо- і солестійкості.

1.2. *Paulownia* – високопродуктивна енергетична рослина

До швидкорослих деревних рослин можна віднести представників роду Павловнія (*Paulownia*). Як свідчать результати аналізу літератури, в останній період у світі велика увага приділяється до *Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steud., крім іншого, як перспективної енергетичної рослини. У США, країнах Євросоюзу, Азії проводяться різнопланові дослідження з вивчення біологічних, екологічних особливостей рослин та створення стійких форм, у тому числі із застосуванням сучасних біотехнологічних методів. Велику зацікавленість представляє оцінка енергопродуктивності рослин залежно від генотипових особливостей (Рахметов, 2011, 2018; Рахметова та ін., 2021).

Paulownia поширена по всьому світу і визнана як високоцінна деревна рослина. Продукти, отримані з листків, кори, гілок і квітів павловнії, використовуються за різних форм терапії як внутрішньо, так і зовнішньо. У Китаї і Японії ця рослина має особливе значення з давніх часів.

Paulownia сприяє збереженню екологічної рівноваги в навколишньому середовищі та використовується у фіторе mediaції забруднених важкими металами і засоленних ґрунтів. Перспективним вважається також її використання в агролісомеліоративних системах (Buzan et al., 2018, Рахметов, 2018).

В інших дослідженнях різних генотипів проведених польськими науковцями було вивчено придатність *Paulownia tomentosa* для вирощування на біомасу. Підтверджено інтенсивний ріст та теплотворну цінність цього виду. Різні зразки відрізнялися за силою росту та зимостійкістю. Створено базу для ефективної селекції швидкорослих генотипів павловнії з високою морозостійкістю та адаптованих до кліматичних умов Польщі (Jacek et al., 2016).

На значні перспективи вирощування видів роду *Paulownia* в умовах Західної Угорщини вказується в роботі інших авторів (Vityi et al., 2014). Відзначається, що рослини мають високу продуктивність біомаси, сприятливі енергетичні параметри та помірні вимоги до якості місцезростання. Створення плантацій павловнії може сприяти задоволенню зростаючих потреб в агролісомеліорації та біоенергетиці.

Поблизу міста Софії досліджено потенціал росту *Paulownia tomentosa* та *Paulownia elongata* x *fortunei*, за трьох густот садіння в умовах захищеного ґрунту. Установлено відсоток приживлюваності, діаметр стовбура в основі, загальну висоту рослин, урожайність біомаси та площу листової поверхні. Отримані результати показали, що гібриди *Paulownia elongata* x *fortunei* не перевищували показники росту виду *Paulownia tomentosa* для цього регіону (Gyuleva et al., 2020).

Дослідженнями проведеними в умовах перехідного середземноморського клімату встановлено потенціал росту клонів *Paulownia tomentosa* та *Paulownia elongata* x *fortunei*. Виявлено певні відмінності в рості та продуктивності між досліджуваними клонами *Paulownia* (Gyuleva et al., 2021).

В Україні вирощування швидкорослих дерев на енергетичні цілі має великі перспективи. Україна належить до числа країн Європи з найнижчою залісненістю території. Вирощування короткоротаційних деревних рослин дозволило б з одного боку розширити площу багаторічних насаджень за рахунок використання територій, непридатних для ведення сільського господарства, а з іншого – більш ефективно використовувати наявні площі для отримання енергії за рахунок швидкого накопичення біомаси. У багатьох країнах уже давно існують біоенергетичні плантації тополь, верби, міскантусу, проса прутоподібного тощо.

Сучасним підходом у розвитку альтернативного фітоенергетичного напрямку є вирощування швидкорослих деревних видів рослин, сировину яких використовують у різних галузях. Серед таких видів вагоме місце належить тополі та павловнії. Представники роду *Populus* та *Paulownia* можуть зростати в різних кліматичних зонах, водночас вони є невибагливими до умов вирощування. Отримання швидкорослих клонів з підвищеною стійкістю до абіотичних стресів дозволить ефективно використовувати території, непридатні для ведення сільського господарства, для забезпечення України альтернативними енергоресурсами.

Культивування високопродуктивних форм тополь та павловнії відкриває нові можливості для збереження природно-заповідних ресурсів України. Це відбудеться за рахунок зростання інтенсивності лісо- та агровиробництва на швидкопоновлюваних насадженнях тополі і павловнії в лісовому та сільському господарстві.

Швидкорослі деревні культури є цінним джерелом формування біоенергетичної біомаси. *Paulownia* sp. є перспективною рослиною, яка відзначається швидким зростанням, різноманітними біологічно- та господарсько-цінними властивостями, високою адаптивністю до кліматичних змін, що робить цю культуру конкурентною для використання в лісовому та сільськогосподарському виробництві, і в тому числі, як високопродуктивною біоенергетичною рослиною. Павловнія є одним з найбільш швидкорослих видів рослин у світі з низьким вмістом золи, сірки та азоту і високою теплотворною енергією деревини. Вона пріоритетна енергетична культура, перспективна для виробництва твердої речовини біовуглецю та рідкого – біоетанолу. Вирощування рослин павловнії з високим потенціалом поглинання CO₂ з повітря, що забезпечує швидке зростання біомаси, вважається ефективним засобом для пом'якшення кліматичних змін. Рослина також є ефективною для вирощування на маргінальних землях з метою виробництва біопаливної сировини (Іска et al., 2016; Рахметов, 2018; Рекомендації..., 2021).

До перспективних для використання в біоенергетиці видів рослин належить *Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steud., яка походить з Китаю (Jiang, 1988; Flora of China, 2008). *Paulownia tomentosa* поширена в Південній Америці, Японії, Кореї, Європі, у країнах ближнього зарубіжжя і на півдні України. Павловнія вирощується як протиерозійна, медоносна, лікарська, декоративна, а на тепер як перспективна енергетична рослина. При фотосинтезі, завдяки її величезним листкам, виділяється велика кількість кисню в атмосферу. Доросле дерево здатне поглинати до 21,7 кг CO₂ кожного дня, тим самим генеруючи до 6 кг кисню. Листкова маса

павловнії містить близько 20% протеїну та придатна для використання у тваринництві. Установлено, що в листках містяться речовини, які позитивно впливають на роботу печінки, нирок і жовчного міхура, та так само добре діють, якщо негаразд із легенями. У Китаї лікувальні властивості рослин відомі здавна та фармацевтична промисловість займається промисловим виробництвом ліків на основі павловнії. Завдяки іншим властивостям, її використовують у косметиці при виробництві кремів та в парфумерії (Adriani..., 1981; Asai ...2008; Якості павловнії ..., 2014; Павловнія ..., 2016).

У зв'язку з широкими інтродукційними дослідженнями та активним уведенням рослин павловнії в культуру в різних регіонах світу для промислового використання плантації, актуальним є вивчення проблем пов'язаних з поширенням фітопатогенів та хвороб, до яких можна віднести «відьмині мітли». Установлено, що «відьмина мітла» павловнії виникає внаслідок інвазії облігатної паразитичної бактерії – фітоплазми, яка може призвести до величезних економічних втрат дерев павловнії. Механізм виникнення цієї хвороби добре вивчений. Однак його патогенез усе ще залишається недостатньо дослідженим. Науковцями було проведено секвенування специфічних РНК цілого транскриптома для виявлення довгих некодуєчих РНК (lncRNA), які відносяться до фітоплазмової інфекції в *Paulownia*. Отримані результати відкривають новий погляд на функцію іРНК у павловнії та, можливо, в інших дерев у відповідь на інвазію фітоплазми (Сао et al., 2018). Установлено, що різні набори іРНК реагують на «відьмину мітлу» *Paulownia*, і його результати стануть відправною точкою для розуміння функцій та регуляторних механізмів іРНК *Paulownia* в майбутньому (Fan et al., 2018).

Сучасними дослідженнями зроблено перший крок, щодо визначення механізмів реакції синтезу наночастинок, з використанням комплексних сумішей з екстрактів *Paulownia tomentosa* (Pontaza-Licona et al., 2019).

Дерево *Paulownia* сягає заввишки 15-20 (іноді до 25) м і діаметром стовбура від 40 до 100 см. Крона розлога. Листки великі – до 20-30 см завдовжки (інколи до 75 см), зверху опушені, знизу повстяні, широко-яйцеподібної або серцеподібної форми, верхівка загострена, край цілісний; розпускаються запізно і пізно опадають. Суцвіття в павловнії волоть – до 30 см завдовжки. Квітки запашні, блідо-фіолетові. У кінці літа закладаються бутони, які перезимовують і розпускаються навесні. Плід – широкояйцеподібна коробочка, в одному плоді формується від 1200 до 2500 насінин. Маса 1000 насінин сягає 0,14-0,16 г. Насіння – крилате (Рахметов, 2018).

Рослина невибаглива до родючості ґрунтів. Найбільш сприятливими є легкі, добре аеровані, нейтральні або слабокислі ґрунти (рН 5,0-6,5, до 7,0) із заляганням ґрунтових вод не менше 1,3-1,4 м. Рослини добре реагують на високий вміст елементів мінерального живлення в ґрунті, зокрема азоту та калію.

Деревина павловнії, крім енергетичного спрямування, вважається перспективною сировиною для широкого використання на різні потреби, і як будівництво, виготовлення меблів, целюлозно-паперової продукції та в ремеслі (Akyildiz, 2010).

Рослина павловнії, наразі, все частіше використовується для створення енергетичних плантацій. Однак окремі частини дерева не використовують. Оскільки різні біоактивні речовини, отримані з окремих частин рослин, традиційно застосовуються з лікарською метою, а останні дослідження надали їх детальну хімічну та біологічну характеристику, пропонується всебічне використання цього ресурсу як цінної побічної сировини. Уважається перспективним комплексне використання різних частин рослин павловнії (деревина, кора, листки, квіти, насіння та плоди) після більш ефективних екологічних етапів переробки (Rodríguez-Seoane, 2020).

Досліджено вплив умов процесу варіння тригібридного клону павловнії на властивості целюлози в содово-антрахіноновому процесі. Отримана, за цих умов, целюлоза має відповідні хімічні (целюлоза) та фізичні (паперові аркуші) характеристики: вихід (470 г кг^{-1}), етанол-бензолні екстрактивні речовини ($22,2 \text{ г кг}^{-1}$), вміст голоцелюлози (960 г кг^{-1}), вміст α -целюлози (758 г кг^{-1}), вміст лігніну ($82,8 \text{ г кг}^{-1}$), ступінь Шоппера-Ріглера ($23,2 \text{ }^\circ\text{SR}$) та індекс розтягування ($36,0 \text{ кН}\cdot\text{м кг}^{-1}$) (López, 2012).

Біомаса деревних рослин, що швидко зростають, ідентифікується як багата на глюкан сировина для використання з біоенергетичною метою. Уперше швидкозростаюча біомаса *Paulownia tomentosa* була оцінена для виробництва біоетанолу в схемі біопереробки. Для цього деревину павловнії піддавали автогідролізній обробці в умовах тяжкості (S0) у діапазоні 3,31–5,16. Енергетичний аналіз результатів, отриманих у цій роботі, показав, що 83% енергії щодо сировини можна відновити за рахунок етанолу та спалювання залишкового лігніну. Ця робота забезпечує можливий процес виробництва біоетанолу з використанням швидкокорослих видів рослин, які можуть збагатити потреби в сировині для біопаливної галузі (Dominguezab, 2017).

Успіх уведення в культуру рослин *Paulownia* залежить від способу розмноження, насамперед насінного. Формування якісного насіння

визначається успішністю формування генеративної сфери в процесі органогенезу, а саме від початку розвитку маточкових та тичинкових складових. У попередніх дослідженнях з участю рослин *Paulownia* встановлено, що ультрафіолетове випромінювання може впливати на проростання пилку та ріст трубки (Jun-Min He et al., 2006). Опромінення пилку рослин *Paeonia suffruticosa* Andr. та *Paulownia tomentosa* Steud. УФ-В випромінюванням 0,4 та 0,8 Вт м⁻² протягом 3 годин призводило не тільки до зниження проростання пилку та росту трубок, але й до утворення H₂O₂ в пилкових зернах та трубках. Крім того, екзогенний H₂O₂ пригнічував проростання пилку і ріст трубок обох видів у дозозалежний спосіб. Два поглиначі H₂O₂, аскорбінова кислота і каталаза, значною мірою запобігали не тільки утворенню H₂O₂, але й зменшенню проростання пилку і росту трубки, індукованих УФ-В випромінюванням у двох видів. Ці результати вказують на те, що H₂O₂ бере участь в інгібуванні проростання пилку та росту трубок під впливом УФ-В випромінювання.

Продовжуючи ці важливі дослідження, авторами вивчено роль оксиду азоту (NO) в індукованому ультрафіолетовим випромінюванням (УФ-В) зниженні проростання пилку та росту трубчастих рослин *Paulownia tomentosa* Steud. *in vitro*. Отримані результати свідчать, що опромінення пилку за тих же умов призводить не тільки до зниження схожості пилку та росту трубок, але й до посилення активності NO-синтази (NOS, EC 1.14.13.39) та продукції NO в пилковому зерні та трубках. Крім того, екзогенні донори NO – нітропрусид натрію та S-нітрозоглутатіон – пригнічували проростання пилку та ріст трубки в дозозалежний спосіб. Інгібітор NOS NG-нітро-L-Arg-метил поглинач (L-NAME) та поглинач NO 2-(4-карбоксіфеніл)-4,4,5,5 тетраметилімідазолін-1-оксил-3-оксид (с-PTIO) не тільки значною мірою запобігали утворенню NO, але й частково відновлювали інгібоване УФ-В проростання пилку та ріст трубки. Отже це вказує на те, що УФ-В випромінювання інгібує проростання пилку і ріст трубки частково через сприяння виробленню NO в пилковому зерні і трубці за допомогою NOS-подібного ферменту (Jun-Min He et al., 2007).

Досліджено ґрунтову схожість насіння павловнії повстистої, зібраного в трьох регіонах України: Одеській, Закарпатській та Львівській областях. Установлено, що насіння павловнії повстистої характеризується високою ґрунтовою схожістю незалежно від географічного походження материнських дерев в умовах України. Найвища ґрунтова схожість притаманна насінню походженням зі Львова. Оцінено вплив температурних умов на ґрунтову схожість насіння за двох змінних температурних режимів пророщування: +15 °С вночі і +20 °С вдень та

+21 °С вночі і +25 °С вдень. Установлено, що температура пророщування істотно впливає на ґрунтову схожість насіння. За температурного режиму пророщування +21...25 °С показники ґрунтової схожості значно вищі. Визначено вплив стимуляторів схожості: попереднє намочування насіння у воді та розчинах стимовіту, корневіну, бурштинової кислоти, епіну, радіфарму на ґрунтову схожість насіння павловнії повстистої. Установлено, що попереднє намочування насіння має найвищу стимулюючу дію на подальше проростання насіння в ґрунті серед досліджених стимуляторів схожості. Попереднє оброблення насіння препаратами стимовіт, корневін, бурштинова кислота, епін, радіфарм загалом дало позитивний ефект, що підвищило ґрунтову схожість насіння (Kharachko, 2019).

Вагомі результати отримані з розробки ефективного протоколу мікророзмноження *Paulownia* sp. (*P. elongata*, *P. fortune* та гібриду *P. elongata* x *P. fortunei*). Відсоток приживлюваності пагонів залежно від їх довжини становив понад 60-80% (Clara et al., 2019).

Результати досліджень, проведених в Інституті біоенергетичних культур і цукрових буряків НААНУ свідчать про те, що найпоширенішими гібридами павловнії, адаптованими до ґрунтово-кліматичних умов України є: клон *in vitro* 112; гібриди Pong Tong (*P. tomentosa* та *P. fortunei*) та *P. nordmax*-21, що витримують низькі температури -23° С...- 27° С. У південних областях України для створення промислових плантацій павловнії можна використовувати теплолюбні види та гібриди – *P. elongata* та *P. catalpifolia*; Shan Tong; *Paulownia* – 9501, які можуть витримувати морози до -15,0...-18,0 °С (Рекомендації ..., 2021).

Для України нагальним є питання створення стрес-стійких форм рослин з великою енергопродуктивністю. Слабким місцем цієї культури є низька зимостійкість та морозостійкість. Надземна частина рослин, у більшості, у північних регіонах України після зими підмерзає. Весняні приморозки пошкоджують молоді пагони. Після відновлення вегетації рослини виявляються дуже слабкими та не забезпечують необхідну продуктивність або зовсім гинуть (Рахметов, 2018; Рахметова та ін., 2021).

У зв'язку з цим, в Україні є необхідність у мобілізації, оцінці та відбору стійких генотипів *Paulownia*. З іншого боку, пріоритетним є створення, із застосуванням різних селекційно-генетичних та сучасних біотехнологічних методів, високостійких форм і культиварів рослин, які здатні в центральних та північних регіонах України забезпечувати щорічну стабільно високу енергетичну продуктивність і стійкість до біотичних та абіотичних стрес-факторів.

У відділі культурної флори НБС імені М.М.Гришка з початку 2000-х років розпочато формування колекційного фонду високопродуктивних форм роду *Paulownia*, які мають сенс для використання в біоенергетиці.

У сприятливих умовах культивування рослини вирізняються швидким зростанням – до 250-300 см за вегетаційний період. Нові енергетичні форми рослин *Paulownia tomentosa* в наших умовах можуть забезпечувати понад 500 см приросту за рік. Рослини формують порослеві пагони, які можуть зростати за рік до 200-300 см заввишки. Період генеративного розвитку рослин розпочинається з 4-5 року життя. Відомо, що великий життєвий цикл рослин може сягати до 100 років (Якості павловнії, 2014; Рахметов, 2018).

Залежно від напряму використання, фітосировину можна збирати в період липень-вересень, на тверде біопаливо – з жовтня по весняне відновлення вегетації. Насіння досягає в жовтні. Урожайність: фітосировини в перший рік життя незначна (3-5 т/га). До 5 року життя, у період технічної стиглості, урожайність рослин значно збільшується та може становити до 100 т/га. У цей період вихід сухої речовини сягає 25-30 т/га. Енергетична цінність деревини *Paulownia* становить 4211-4670 ккал/кг. З однієї тони сухої деревини можна отримати близько 500 літрів етанолу (Павловнія ..., 2016, Рахметов, 2018). Теплоємність листків з молодих рослин становить 3700-3800 ккал/кг, стебел – 3800-4000 ккал/кг. Енергопродуктивність рослин у період технічної стиглості становить 95-120 Гкал/га.

Таким чином, павловнія повстяна (*Paulownia tomentosa*) є перспективною швидкорослою високопродуктивною енергетичною рослиною для введення в культуру в умовах Північного регіону України. На перспективу необхідно звернути увагу на створення нових морозо- та зимостійких форм рослин.

1.3. Інтродукція та перспективи використання рослин роду *Silphium* L. у світі та в Україні

Серед багаторічних трав'яних рослин однією із найперспективніших є сильфій. Види роду *Silphium* – сильфій пронизанолистий та сильфій суцільнолистий – культури різнобічного господарського використання. Насамперед їх вирощують на енергетичні, технічні, кормові, сидеральні цілі і як медоносні рослини (Рахметов, 2011, 2018).

Silphium вирізняється високими показниками продуктивності, довголіттям, пластичністю, посухо-, зимо-, морозостійкістю. Як

енергетичні рослини, високопродуктивні сорти та гібриди сільфію, можуть забезпечити врожайність фітосировини до 200 т/га, вихід сухої речовини – до 35 т/га, умовного фітопалива до 30 т/га, вихід біогазу – 20 тис. м³/га, калорійність біопалива – до 4500 ккал/кг та вихід енергії з 1 га понад 60 Гкал (Рахметов, Стаднічук, 2014; Рахметов, 2018).

Рослини не пошкоджуються шкідниками та хворобами і не потребують щорічного догляду за плантаціями, що дозволяє значно скорочувати матеріально-технічні затрати на культивування. Актуальним є створення міжвидових гібридів серед найбільш продуктивних видів. Особливої уваги заслуговують гібриди між сільфієм пронизанолистим і сільфієм суцільнолистим. Кожен, із зазначених видів рослин, в окремоті мають свої недоліки. Гібридні рослини поєднують кращі властивості батьківських форм: високу продуктивність сільфію пронизанолистого із стійкістю та технологічністю с. суцільнолистого (Рахметов, 2011; Рахметов, Стаднічук, 2014; Система..., 2014).

Новаторську роль культура може відігравати в охороні навколишнього природного середовища. Добре розвинута коренева система рослин сприяє закріпленню верхнього шару ґрунту і є ефективним засобом боротьби з ґрунтовою ерозією, втратами мінеральних елементів від поверхневого стоку та інфільтрації їх у глибокі шари. Завдяки ранньовесняному відростанню й добре розвиненому травостою, посіви сільфію практично не засмічуються бур'янами, тому не потребують застосування механічного обробітку міжрядь чи хімічних засобів захисту. Ґрунт після вирощування цієї культури не містить шкідливих речовин і його можна використовувати для виробництва екологічно чистої продукції. Крім того, встановлено, що сільфій проявляє сильну алелопатичну дію.

Представники роду *Silphium* L. є високоадаптивними рослинами багатофункціонального значення. Вони характеризуються низкою корисних ознак (Wojcińska, Drost-Karbowska, 1998, Енергетичні..., 2022). Екстракти трави сільфію проявляють діуретичну активність та таку, що знижує рівень холестерину. Трава сільфію застосовується в народній та традиційній медицині як потогінний, тонізуючий засіб, як засіб від сухого кашлю, пневмонії та хвороби нирок. Крім того, свіжа трава використовується в гомеопатії. Рослинна сировина *Silphium perfoliatum* містить кофейну, п-кумаринову, п-гідроксибензойну, ванілінову тощо фенольні кислоти (Kowalski, Wolski, 2003; Wojcińska, Drost-Karbowska, 1998). Це багаторічні рослини, що відносяться до високопродуктивних культур, які також рекомендовані як енергетична сировина (Franzaring et al., 2014; Shalyuta, Kostitskaya, 2018). Екстракти даних рослин проявляють антиоксидантну, антибактеріальну, імуномодельючу активність (Shang et

al., 2017). Ліпідна фракція насіння даних рослин містить 44% ліноленової та 13,2% олеїнової жирних кислот (Kowalski, Wierciński, 2004).

У зв'язку із загрозою глобальних кліматичних змін та необхідністю зменшення емісії парникових газів, пропонується вирощування багаторічних культур. Це дасть змогу секвеструвати вуглекислий газ у ґрунті за рахунок зниження інтенсивності рільництва та зменшення розкладу органічної речовини (бо коренева система багаторічних культур не відмирає). Цю позицію підтримують й активно пропагують канадські вчені. Оскільки сільфій на одному місці можна вирощувати до 20 років (в НБС є експериментальна ділянка, де рослини вегетують близько 50 років), зберігаючи при цьому високу продуктивність надземної маси, причому догляд за посівами не потребує значних енергетичних витрат, його, поряд з іншими багаторічними культурами, можна з успіхом використовувати для вирішення проблем, пов'язаних із погіршенням екологічних умов (Рахметов, 2018; Інтродукція..., 2020).

Дослідження північно-американського роду *Silphium* L. показало, що дані рослини проявляють високий потенціал не тільки як кормові, але і як енергетичні з високою продуктивністю біомаси (Рахметов, 2018; Рахметов, Стаднічук, 2014; Voe et al., 2019). Крім цього, вищезгадані рослини відомі як декоративні та медоносні (Bury et al., 2020; Mueller et al., 2019).

На тепер різнопланові дослідження *Silphium* проводяться в окремих країнах Євросоюзу, особливо в Німеччині. Розвивається напрям використання сировини сільфію на біогаз. За рахунок багатобічності напрямів використання та високого виходу сухої речовини, він забезпечує більш високу ефективність ніж традиційні культури, насамперед кукурудза.

Розкладання органічної сировини анаеробним шляхом (гниття, бродіння без доступу кисню) є одним із ефективних шляхів отримання біогазу для провідних країн світу. Нині значна увага приділяється сільськогосподарським культурам, які здатні формувати високі врожаї та забезпечити виробництво якісною сировиною. Поряд з відомими традиційними культурами такими як кукурудза, сорго цукрове, особливої уваги заслуговують нові культури, до яких можна віднести представників роду *Silphium* L. Традиційні енергетичні культури, переважно однорічні трави, систематична сівба яких може викликати ерозійні процеси, змив та вивітрювання гумусового горизонту, що знизить родючість ґрунтів та призведе до їх деградації. Рослини роду *Silphium* – багаторічні трави, які здатні тривалий час зростати на одному місці й забезпечувати стабільно високі врожаї. Вони мають досить потужну кореневу систему, що сприяє

укріпленню ґрунтового горизонту, навіть на схилах (Стаднічук, Рахметов, 2012; Рахметов, Стаднічук, 2014; Schorpp et al., 2016; Voe et al., 2019).

Найбільш відомим видом даного роду є *S. perfoliatum* L., який є альтернативною енергетичною культурою, біомаса якої, отримана за генеративного способу розмноження характеризувалася більшою теплоємністю, ніж біомаса рослин, отриманих вегетативним розмноженням (Рахметов та ін., 2018; Bury, et al., 2020). Дослідженнями доведено, що *S. perfoliatum* є конкурентоспроможною культурою, що використовується на біогаз і може замінити кукурудзу, через надмірне виснаження ґрунтів останньою (Cossel et al., 2020). Висока продуктивність зеленої маси, довго тривалість вирощування на одному місці (понад 15 років) та пристосованість до помірного клімату дають можливість використовувати дану культуру як енергетичну (на біогаз) у багатьох країнах світу (Рахметов, 2018; Gansberger et al., 2015).

Досвід австрійських науковців свідчить про те, що *Silphium perfoliatum* L. здатний забезпечувати вихід метану з 1 га на рівні 3100 м³, що можна порівняти з силосом суданської трави, сорго цукрового, кукурудзи тощо (Gansberger et al., 2015). Вивчення продуктивності та перспектив використання *Silphium perfoliatum* та *Sida hermaphrodita* в Німеччині, Італії, Польщі, Великобританії та в Україні свідчать про перспективу впровадження їх у біоенергетику. Сировина рослин *S. perfoliatum* може бути кращою альтернативою кукурудзі та люцерні (Рахметов, 2011; Рахметов, 2018; Assefa et al., 2015; Franzaring et al., 2015). Групою вчених на теренах ЄС доведено, що екологічна безпека довілля за використання культурфітоценозів *S. perfoliatum* забезпечується на високому рівні (покращуються агрофізичні та агрохімічні показники ґрунтів, зростає масова частка мікроорганізмів, налагоджується діяльність земляних черв'яків, тощо), що дозволяє агровиробництво зробити більш екологічним (Emmerling et al., 2017). Також рослини *S. perfoliatum* є гарною кормовою базою для різноманітних популяцій комах-медоносів та запилювачів (Mueller et al., 2019).

Рід сільфій включає понад 30 видів трав'янистих рослин родини *Asteraceae*. Серед них найбільш поширенні в культурі: сільфій пронизанолистий (*Silphium perfoliatum* L.), сільфій суцільнолистий (*S. integrifolium* Michx.), сільфій трилистий (*S. trifoliatum* L.), сільфій часточковий (*S. laciniatum* L.), сільфій терпентиновий (*S. terebinthianaceum* DC.), сільфій шорсткий (*S. scaberrimum* Ell.).

Сільфій пронизанолистий (*Silphium perfoliatum* L.) походить зі східної та центральної частини Північної Америки та в природі поширений від Південного Онтаріо до Північної Дакоти, на південь до Північної Кароліни,

Міссісіпі, Луїзіани та Оклахоми. У Європу *Silphium* був завезений у XVIII ст. як декоративна рослина, в Україні відома з 1950-х років і розмножувалася як кормова культура (Gansberger et al., 2015; Gansberger et al., 2017; Утеуш, Лобас, 1996; *Silphium*....; Рахметов, 2011, 2018).

Сильфій пронизанолистий – багаторічна рослина, яка досягає висоти від 100 до 300 см залежно від формових і сортових особливостей, має прямі, товсті, опушені чотиригранні стебла. Стебла не полягають. Густо вкриті листками. Стебла розвиваються з другого року життя і наростають протягом усього життя. Листки подовжено еліпсоподібні, загострені, зубчасті, середньо жорсткі, довжиною 30-35 см і шириною до 15-25 см. Суцвіття яскраво-жовті кошики діаметром 3-8 см. Плід подовжено-серцеподібна сплюснута коричнева сім'янка. Маса 1000 насінин 18-20 г. Корені та кореневища утворюють кореневу систему змішаного типу. Основна маса коренів розміщена в поверхневому шарі ґрунту, але є корені, які проникають глибоко і забезпечують рослину вологою. В орному шарі рослина формує повзуче кореневище з бруньками поновлення.

Сильфій використовують також в аграрній галузі, енергетичній промисловості з метою виробництва твердого біопалива і біогазу (Стаднічук, Рахметов, 2012).

Сильфій суцільнолистий походить із Північної Америки. Поширена рослина в Онтаріо, східній і центральній частині Сполучених Штатів Америки (*Silphium*....). В Україні – тільки в культурі. Це багаторічна рослина, що досягає висоти до 200 см. Стебла не опушені. Листки протилежно розміщені на стеблах, безчерешкові. Листки ланцетоподібні, з гладким або злегка зубчатим краєм до 23 см довжиною. Стебло несе від 1 до 15 кошиків.

Розмножується головним чином насінням. При необхідності – вегетативно (поділом кореневищ), а також розсадним способом. Перспективно використовувати в аграрній галузі, енергетичній промисловості з метою виробництва твердого біопалива і біогазу (Рахметов, 2011). Відома також як кормова, технічна, медоносна рослина (*Silphium*....).

Сильфій трилистий (*S. trifoliatum*) відрізняється гладкими злегка сизими стеблами та трійчастими листками. Листкові пластинки ланцетні або ланцетно-яйцеподібні, зверху шорсткі. Суцвіття мають приквітники. У природі поширений в східній частині США на схід від р. Міссісіпі. Зростає в трав'янистих фітоценозах прерій, уздовж доріг та річок (Fisher, 1966).

Сильфій часточковий (*S. laciniatum* L.) висотою від 1 до 3 м. Стебло опушене. Листки до 60 см завдовжки та 30 см завширшки, опушені. Стебло несе від 28 до 37 жовтих кошиків. Родом із Північної Америки, де зустрічається в Онтаріо (Канада), на сході та центральній частині

Сполучених Штатів Америки, де зростає в сухих зонах прерій. Використовується, в основному, як декоративна та лікарська рослина. *S. laciniatum* утворює міжвидові гібриди з *S. terebinthianaceum* на межі перекривання їх ареалів (Fisher, 1966).

Сильфій терпентиновий (*S. terebinthianaceum*) від інших видів відрізняється дрібними 5-6 см суцвіттями. Стебла голі, розгалужені. Листки базальні, мають форму лопаті, шорсткі, орієнтовані вертикально та з півночі на південь, що забезпечує виживання в кліматі прерій. Таке розміщення листків забезпечує високу ефективність фотосинтезу та економну транспірацію. Вид рослин розвиває товстий довгий 4 м корінь, який проникає глибоко до ґрунтових вод.

Батьківщиною цього виду є Іллінойс, північний захід Індіани, південь Мічигану, північна частина Вісконсину та Міссурі. Поширений як на рівнинних так і в гірських преріях. Культивується як посухостійка лікарська рослина (Fisher, 1966).

Рослини видів роду сильфію демонструють високий потенціал для виробництва біоенергії на Півдні та Півночі Америки, Європи. Дослідження біоенергетичних особливостей видів сильфію в Європі, особливо в Німеччині розпочалося з 2010 року. Дослідниками зроблено висновок, що *S. perfoliatum* є надзвичайно перспективною для виробництва біогазу в усій Європі завдяки високій врожайності біомаси, довговічності посадок і здатності зростати на маргінальних землях (Bauböck et al., 2014; Frączek et al., 2011; Gansberger et al., 2015; Gansberger et al., 2017; Schorpp et al., 2016). В Україні та в Європі, ми одні із перших, розпочали дослідження біоенергетичного потенціалу видів роду сильфій як нової енергетичної рослини. У 2002-2004 рр. були проведені перші дослідження. Із 2007 р. під час виконання завдань у рамках Цільової програми НАН України «Біопалива», у відділі культурної флори були оцінені енергетичний потенціал видів роду сильфій (Рахметов, 2011; Рахметов, Стаднічук, 2007).

У країнах Північної Америки та Європи посадки сильфію є продуктивними протягом 15 років. Найкращі результати були отримані при висаджуванні сильфію в поле з розсади, вирощеної в теплицях. У кінці сезону забезпечується високий збір сухої маси. Було встановлено, що внесення мінеральних добрив, зокрема нітратних, впливає на енергетичний вихід біомаси *S. perfoliatum* (Siaudinis et al., 2017).

Дослідження виходу біомаси та сухої речовини при культивуванні *S. trifoliatum* показало, що цей вид також легко культивується і може давати до 28,8 т / га сухої біомаси (Kowalski, 2007).

Сьогодні розробляються стратегії управління селекційним процесом для сільфію з метою отримання високопродуктивних культурних форм (Tassel et al., 2017).

Національним ботанічним садом імені М.М. Гришка Національної академії наук України розроблено методику експертизи сортів сільфію пронизанолистого (*S. perfoliatum*) та сільфію суцільнолистого (*S. integrifolium* Michx.) на відмінність, однорідність та стабільність. Виділені такі діагностичні ознаки сортів обох видів як: форма, діаметр, інтенсивність антоціанового забарвлення, ступінь опушення та здерев'яніння стебла, кількість міжвузлів; форма, забарвлення, ширина та довжина листка; забарвлення та розмір суцвіття і квіток. Проведено спостереження та описано фази росту і розвитку рослин (Стаднічук, 1988; Стаднічук, Рахметов, 2012).

Не зважаючи на наявність значної кількості робіт, щодо вивчення рослин видів роду *Silphium*, залишається низка нерозкритих наукових питань: встановлення інтродукційного, акліматизаційного, адаптаційного, селекційного потенціалу, біолого-екологічних особливостей рослин. Важливим питанням наразі є також створення високопродуктивних генотипів, відпрацювання сучасних ресурсозберігаючих фітотехнологій щодо вирощування, зберігання та переробки рослинної сировини (Рахметов, 2011; Рахметов, 2018; Schäfer et al., 2017).

Досить актуальним є створення міжвидових гібридів серед найбільш продуктивних видів. На особливу увагу заслуговують гібриди між сільфієм пронизанолистим і сільфієм суцільнолистим. Кожен із зазначених видів рослин, в окремоті, мають свої недоліки. Гібридні рослини поєднують кращі властивості батьківських форм: високу продуктивність сільфію пронизанолистого зі стійкістю та технологічністю с. суцільнолистого.

На тепер розробляються стратегії управління селекційним процесом для сільфію з метою отримання високопродуктивних культурних форм (Рахметов, Стаднічук, 2014). У НБС створено сорти сільфію пронизанолистого: Канадчанка, Богатир, Переможець, Сонечко та сорти сільфію суцільнолистого: Ювілейний-90, Красень, які занесено до Державного реєстру сортів рослин України (Державний..., 2024).

Виконання даних завдань дозволило завершити етап створення нових стресостійких, продуктивних генотипів біоенергетичної трав'яної культури роду *Silphium* для розробки альтернативних джерел біопаливної сировини.

РОЗДІЛ 2. УМОВИ, ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Об'єкти та умови проведення досліджень

Робота виконувалася на базі Національного ботанічного саду імені М. М. Гришка НАН України та Інституту клітинної біології і генетичної інженерії НАН України, які достатньою мірою забезпечені матеріально-технічними ресурсами. Дослідження проводилися у польових та лабораторних умовах. Польові дослідження проводилися в Національному ботанічному саду імені М.М.Гришка НАН України (НБС імені М.М.Гришка) та Дослідному сільськогосподарському виробництві Інституту фізіології рослин та генетики НАН України (ДСВ ІФРГ НАН України "Глеваха").

Кліматичні та метеорологічні умови району дослідження. Територія ботанічного саду – товстий шар лесу, порізаного ярами, балками і долинами річок. НБС розміщується на двох лесових залишках: південному, що має невеличкий нахил, і північному, що має форму плато. На півдні сад обмежується долиною р. Либідь, що впадає в Дніпро, на півночі і північному сході межує з Старо-Наводницькою балкою. Геологічні особливості ботанічного саду визначаються розміщенням його в межах перехідної зони від Українського кристалічного щита, який прикрито товщами осадкових порід до 400 м заввишки.

Основний тип ґрунту на території саду – темно-сірий опідзолений. Тут спостерігається ряд його різновидів. У зв'язку з різкою пересіченістю рельєфу саду, всі ґрунти на поверхні дуже розмиті і характеризуються малою кількістю гумусу.

Ґрунтові води на території ботанічного саду знаходяться на великій глибині, тож на ґрунтотворні процеси впливу не мають.

У цілому територія представлена сірими лісовими опідзоленими ґрунтами. Вміст гумусу в ґрунті становить 3,26%, рН 6,7, вміст азоту – 98 мг/кг, фосфору – 373 мг/кг, калію – 66 мг/кг ґрунту.

Клімат правобережного лісостепу України – помірно континентальний.

Тривалість вегетаційного періоду 200–212 діб. Середньодобова температура повітря за багаторічними даними близько +7,5 °С.

Середньомісячна температура за вегетаційний період складає +15 °С, а найбільш теплого місяця (липня) – +19,3 °С. Середньорічна кількість опадів за багаторічний період складає 562 мм. Відносна вологість повітря в літні місяці знаходиться в межах 65–66%.

Метеорологічні умови у період проведення досліджень були досить екстремальними і в цілому задовільними для приживаності рослин, проростання насінного матеріалу. Впродовж років досліджень спостерігали поступове підвищення середньомісячних температур, які в окремі роки сягали рекордних значень. У 2018 році зафіксовано рекордно високу середньомісячну температуру повітря квітня (відхилення від середніх багаторічних показників складало +3,8 °С при кількості 8 мм). У 2019 році зафіксовано літній рекорд +5 °С у червні при забезпеченості вологістю даного місяця лише на 82%, а також зимовий рекорд у грудні (відхилення від норми складало +5 °С при кількості опадів 78%). Рекордно високі середньомісячні температури фіксували також у 2020 році восени, а саме у вересні – +4,2 °С при кількості опадів 55% від норми, у жовтні – +4,1 (кількість опадів складала 258% від норми).

Опади в період вегетації розподілялись нерівномірно і по всіх місяцях, крім червня, спостерігалось від'ємне відхилення від місячної норми.

Середня тривалість снігового покриву у Києві становить 102 діб.

Середньомісячна відносна вологість повітря (за зимового максимуму) становить 86%.

Завдяки високому адаптаційному потенціалу та стійкості досліджуваних зразків сільфію, павловнії та тополі, несприятливі погодно-кліматичні умови року дослідження не суттєво позначилися на розвитку, ростових і продуктивних показниках рослин.

Об'єкт досліджень – процес створення нових високопродуктивних стрес-стійких генотипів трав'яних і деревних рослин (*Silphium*, *Paulownia*, *Populus*) і розробка новітніх технологій отримання біопаливної сировини для виробництва різних видів біопалива.

Предмет дослідження – високоадаптивні стрес-стійкі генотипи роду *Silphium* – 35 зразків, *Populus*, *Salix* – 29, *Paulownia* – 7 зразків, умови зволоження та енергопродуктивність рослин (Колекційний..., 2020).

У генофондових колекціях представників роду *Silphium*, *Populus*, *Salix*, *Paulownia* створених у відділі культурної флори НБС імені М.М.Гришка НАН України зібрано перспективні таксони, які становлять зацікавленість для використання в біоенергетиці в Україні

За час досліджень біолого-технологічних, біохімічних, енергетичних та продуктивних показників рослин було проаналізовано всі зразки (понад 70 таксонів) рослин *Silphium*, *Populus*, *Salix*, *Paulownia*, зосереджених у генофондових колекціях НБС.

2.2. Методи проведення досліджень

При виконанні теми використані загальнонаукові (гіпотеза, експеримент, спостереження, аналіз, синтез) і спеціальні методи дослідження (польовий і лабораторний – хімічні, біохімічні, мікробіологічні, агрохімічні).

Польові досліді закладали, відповідно до існуючих методик стосовно Держсортмережі і науково-дослідних установ, тривалістю від трьох до шести років у чотирьохкратному повторенні. Розмір посівних ділянок – 60-100 м², їх облікова площа – 30-60 м². Розміщення варіантів за повтореннями систематичне і рендомізоване.

Біометричні вимірювання виконані за загальноприйнятими методиками. Висота рослин, морфологічний опис їх органів визначалися шляхом вимірів та візуально. Для вивчення морфолого-технічних особливостей росту та розвитку надземної частини та кореневої системи досліджуваних рослин застосовувалася загальноприйнята термінологія (Рахметов, Ковтун-Водяницька, 2021).

Хімічні аналізи проводили в біохімічній лабораторії відділу культурної флори НБС імені М. М. Гришка. Дослідні зразки відбирали в різні періоди вегетативного та генеративного розвитку, а також після завершення вегетації (від пізньої осені до відновлення вегетації рослин) згідно загальноприйнятих методик. Для встановлення біохімічної цінності надземної маси та насіння визначали: абсолютно суху речовину шляхом висушування зразків при температурі 105 °С до постійної маси; загальний вміст цукрів – методом Бертрана, вміст аскорбінової кислоти – методом титрування 2,6-дихлорфеноліндофенолом, вміст каротину – спектрофотометричним методом з бензином Калоша, золи – методом спалювання в муфельній печі “СНОЛ 7,2-1100” (Termolab) за температури 300-700 °С (Грицаєнко та ін., 2003), вміст кальцію – трилонометричним методом, фосфору – об’ємним методом з молібденовою рідиною, вміст ліпідів – екстрагуванням у петролейному ефірі з використанням апарату Сокслета. Теплоємність надземної частини рослин визначали на калориметрі “ІКА[®]С-200”. Процедура визначення описана виробником.

Статистичні методи. Статистичну обробку даних здійснювали за допомогою програми Excel 2010 (пакет “Аналіз даних”). Для вираження отриманих даних використовували мінімальні, максимальні, середні значення, стандартне відхилення. Проведено кореляційний аналіз даних, для визначення ступеня зв’язку між досліджуваними параметрами та використано коефіцієнт кореляції Пірсона.

Для переробки побічної продукції енергетичних рослин застосовано подрібнювач садовий Viking GB 370S та гранулятор ROTEX-100.

Фотографії виконано цифровою фотокамерою Canon G5X.

РОЗДІЛ 3.
БІОЛОГО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ТА ЕНЕРГЕТИЧНО-
ПРОДУКТИВНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ПЕРСПЕКТИВНИХ
ТРАВ'ЯНИХ І ДЕРЕВНИХ РОСЛИН РОДУ
SILPHIUM* ТА *PAULOWNIA
ДЛЯ РОЗРОБКИ ЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
ВИРОБНИЦТВА НОВОЇ БІОПАЛИВНОЇ СИРОВИНИ

Унаслідок виконання роботи мобілізовано і виведено нові генотипи швидкорослих дерев (тополі, верби, павловнії – 36 зразків) та багаторічних трав'яних рослин (видів роду сільфію – 35 зразків) перспективних для біопаливної галузі.

У цілому, проведена комплексна оцінка біолого-екологічного, адаптивного, урожайного, біохімічного та продуктивного потенціалу нових стресостійких генотипів рослин зібраних у колекційному фонді для розробки альтернативних джерел біопалива першого і другого поколінь. Надано оцінку технологічним властивостям та якісним параметрам рослин. Визначено теплоємність фітосировини. Проведена оцінка можливостей підвищення якості пелет із деревної фітомаси.

3.1. Біологічний та продуктивний потенціал рослин роду
Silphium

3.1.1. Мобілізація та створення генетичних ресурсів нових
енергетично-цінних трав'яних рослин роду *Silphium*

Аналіз літературних джерел та результати власних досліджень свідчать про те, що представники роду *Silphium* L. характеризуються досить великим адаптаційним, продуктивним, енергетичним потенціалом та стійкістю. За сучасним етапом досліджень, важливі перспективи набуває вивчення потенціалу рослин як енергетичної фітосировини, з метою використання на біопаливо. На сьогодні у відділі культурної флори НБС імені М.М.Гришка НАН України зібрано цінний генофонд рослин роду *Silphium* (35 таксонів). Серед них відібрано найбільш перспективні генотипи, які набувають важливого значення в біоенергетиці (табл.3.1, рис.3.1).

Таблиця 3.1

**Інтродукційні та генетичні ресурси рослин роду *Silphium*
мобілізовані та новостворені в НБС імені М.М.Гришка НАН України**

Назва таксону		Номер реєстрації	Походження (місто, установа, організація, країна)
латинська	українська		
ASTERACEAE (COMPOSITAE)	АЙСТРОВІ (СКЛАДНОЦВІТІ)		
<i>Silphium integrifolium</i> Michx., cv. Yuvileinyi-90	Сильфій суцільнолистий, с. Ювілейний-90	356777	Київ (НБС), Україна
<i>S. integrifolium</i> Michx., f. EBSFS	С. суцільнолистий, ф. ЕБСФС	310137	Німеччина
<i>S. integrifolium</i> Michx., f. rozhaluzhena	С. суцільнолистий, ф. розгалужена	365547	Київ (НБС), Україна
<i>S. trifoliatum</i> L. × <i>S. integrifolium</i> Michx.	С. трилистий × с. суцільнолистий	365548	Київ (НБС), Україна
<i>S. laciniatum</i> L., f. 1	С. часточковий, ф. 1	291861	Німеччина
<i>S. laciniatum</i> L., f. 2	С. часточковий, ф. 2	330198	Німеччина
<i>S. perfoliatum</i> L., cv. Bohatyr	С. пронизанолистий, с. Богатир	356780	Київ (НБС), Україна
<i>S. perfoliatum</i> L., cv. Peremozhets	С. пронизанолистий, с. Переможець	356781	Київ (НБС), Україна
<i>S. perfoliatum</i> L., f. serednorosla	С. пронизанолистий, ф. середньоросла	356779	Київ (НБС), Україна
<i>S. perfoliatum</i> L. × <i>S. integrifolium</i> Michx.	С. пронизанолистий × с. суцільнолистий	356786	Київ (НБС), Україна
<i>S. laciniatum</i> L. × <i>S. perfoliatum</i> L.	С. часточковий × с. пронизанолистий	356787	Київ (НБС), Україна
<i>S. scaberrimum</i> Elliott	С. шорсткий	310138	Німеччина
<i>Silphium scaberrimum</i> Elliott	Сильфій шорсткий	312430	Угорщина
<i>S. laciniatum</i> L.	С. часточковий	331538	США
<i>S. trifoliatum</i> L.	С. трилистий	330289	Угорщина
<i>S. integrifolium</i> Milchx.	С. суцільнолистий	331537	США
<i>S. terebinthianaceum</i> DC.	С. терпентиновий	331052	Італія
<i>S. perfoliatum</i> L., cv. Kanadchanka	С. пронизанолистий, с. Канадчанка	365435	Київ (НБС), Україна
<i>S. perfoliatum</i> L.	С. пронизанолистий	199615	Чернівці (ДС), Україна



Рис. 3.1. Дослідні ділянки представників роду *Silphium* в НБС імені М.М.Гришка НАН України та в ДСГВ «Глеваха» НАН України

На основі зібраного інтродукційного та селекційного матеріалу створено та оцінено близько 20 нових генотипів, які проходять комплексні дослідження з установами біолого-технологічних та продуктивних показників, з метою підбору перспективних сортозразків як цінне джерело біопаливної фітосировини (рис. 3.2; 3.3). Вперше проводилися порівняльні дослідження великої кількості форм та гібридів за перший рік життя за насінного та вегетативного способу розмноження і за багаторічний період вегетації рослин.

Досліджувані зразки рослин в умовах інтродукції забезпечують значні ростові та продуктивні параметри. Установлено особливості формування надземної маси та надано оцінку біохімічному складу, технологічним властивостям рослин і теплоємності фітосировини.



Silphium perfoliatum, сорт Богатыр (cv. Bogatyr) у фазу стеблуння



Silphium perfoliatum, сорт Богатыр (cv. Bogatyr) у фазу квітування



Суцвіття *Silphium perfoliatum*, сорт Богатыр (cv. Bogatyr)



Silphium perfoliatum L., сорт Канадчанка (cv. Kanadchanka)



Silphium perfoliatum L., сорт Переможець (cv. Peremozhets)



Silphium perfoliatum (новий гібрид) у фазу бутонізації
Рис. 3.2. Генотипове різноманіття рослин *Silphium perfoliatum*



Silphium integrifolium Michx., сорт Ювілейний-90 (св. Yuvileinyi-90) у фазу
стеблуння



Silphium integrifolium, сорт Ювілейний-90 (св. Yuvileinyi-90) у фазу квітування



Silphium laciniatum, сорт Сонечко (св. Sonechko) на початку квітування



1



2

Silphium laciniatum L., f. 1 (1 – відростання; 2 – квітування)



Silphium laciniatum L., f. 2



Silphium scaberrimum Ell. у фазу квітування



Silphium trifoliatum L.

Рис. 3.3. Генотипове різноманіття видів роду *Silphium*

3.1.2. Біолого-технологічний потенціал інтродукованих видів та виведених форм, гібридів і сортотразків рослин роду *Silphium*

З метою аналізу біолого-технологічних, біохімічних та продуктивних показників рослин досліджених генотипів роду *Silphium* було відібрано 20 генотипів.

Аналіз біолого-технологічних параметрів рослин досліджених генотипів роду *Silphium* у фазу квітування свідчить про те, що між даними зразками є суттєва різниця за всіма показниками (табл. 3.2-3.5).

Таблиця 3.2

Біолого-технологічні показники рослин досліджених генотипів роду *Silphium* у період квітування

Показник	<i>Silphium perfoliatum</i> , cv. Kanadchanka	<i>Silphium perfoliatum</i> , cv. Bogatyr	<i>Silphium perfoliatum</i> , f. LA	<i>Silphium laciniatum</i> , f. PL-3
Висота рослин, см	251,9±6,6	248,3±8,1	225,8±11,4	177,2±5,7
Діаметр стебла, см	1,83±0,1	2,32±0,2	1,72±0,2	1,16±0,1
Кількість міжвузлів на пагоні, шт.	7,5±0,5	7,9±0,9	8,0±0,8	12,7±0,7
Кількість листків на пагоні, шт.	15,00±1,1	15,8±1,3	16,0±1,6	12,8±1,0
Довжина листка, см	30,42±2,6	29,1±1,4	33,1±2,6	55,8±9,5
Ширина листка, см	17,37±0,8	15,62±1,0	17,14±2,8	37,8±3,5
Довжина суцвіть, см	37,6±4,4	26,03±1,8	10,28±2,0	45,6±3,9

Таблиця 3.3

Біолого-технологічні показники рослин досліджених генотипів роду *Silphium* у період квітування

Показник	<i>Silphium integrifolium</i> , f. EBSFS	<i>Silphium integrifolium</i> , f. GKR-1	<i>Silphium asperrimum</i>	<i>Silphium trifoliatum</i> × <i>S. integrifolium</i> , f. VR
Висота рослин, см	180,8±6,7	182,8±6,0	150,5±12,8	199,5±4,9

Продовження табл.3.3

Діаметр стебла, см	0,89±0,1	1,19±0,1	0,73±0,1	1,07±0,1
Кількість міжвузлів на пагоні, шт.	12,5±1,5	14,2±0,4	6,20±0,4	15,6±0,5
Кількість листків на пагоні, шт.	25,0±1,3	28,4±0,8	12,40±0,8	31,2±1,0
Довжина листка, см	12,85±1,3	16,25±0,6	16,4±0,9	14,3±0,7
Ширина листка, см	4,68±0,2	4,98±0,4	7,05±0,6	5,22±0,3
Довжина суцвіть, см	30,19±1,9	25,3±4,5	46,2±3,7	12,54±1,9

Таблиця 3.4

**Біолого-технологічні показники рослин
досліджених генотипів роду *Silphium* у період квітування**

Показник	<i>Silphium laciniatum</i> , f. 2	<i>Silphium laciniatum</i> , f. 1	<i>Silphium perfoliatum</i> , f. SR-6	<i>Silphium perfoliatum</i> , f. PP-1	<i>Silphium integrifolium</i> , f. LPL-4
Висота рослин, см	196,4±12,6	192,9±12,3	146,9±5,1	241,55±12,8	184,1±7,3
Діаметр стебла, см	1,41±0,1	1,69±0,2	1,29±0,2	1,4±0,1	1,13±0,1
Кількість міжвузлів на пагоні, шт.	10,5±0,5	13,0±1,1	7,6±0,7	7,3±0,5	16,5±0,5
Кількість листків на пагоні, шт.	10,3±0,5	13,3±0,9	15,2±1,4	14,8±1,0	33,1±1,1
Довжина листка, см	41,6±5,2	53,1±2,4	28,6±1,9	27,9±1,1	16,03±0,9
Ширина листка, см	27,6±5,7	29,12±2,4	13,65±1,3	13,3±1,2	5,66±0,4
Довжина суцвіть, см	26,6±3,9	24,63±2,6	19,4±1,7	44,9±7,5	56,6±4,8

Таблиця 3.5

**Біолого-технологічні показники рослин
досліджених генотипів роду *Silphium* у період квітання**

Показник	<i>Silphium perfoliatum</i> , cv. Peremozhets	<i>Silphium trifoliatum</i>	<i>Silphium integrifolium</i> × <i>S. perfoliatum</i>	<i>Silphium perfoliatum</i> , f. PP- 2	<i>Silphium trifoliatum</i> × <i>S. integrifolium</i>
Висота рослин, см	25,24±3,4	164,2±11,7	188,3±8,5	247,2±5,1	187,9±4,9
Діаметр стебла, см	0,64±0,1	0,88±0,1	0,94±0,1	1,59±0,2	0,93±0,1
Кількість міжвузлів на пагоні, шт.	5,4±0,3	13,3±0,7	7,5±0,5	8,6±0,5	13,6±0,7
Кількість листків на пагоні, шт.	12,4±0,6	40,0±2,0	15,0±1,1	17,2±1,0	41,4±3,3
Довжина листка, см	18,85±1,4	10,78±0,9	23,3±1,1	35,8±1,6	17,62±1,2
Ширина листка, см	6,75±0,3	3,06±0,3	6,05±0,4	17,13±0,6	4,42±0,3
Довжина суцвіть, см	8,96±0,7	27,2±1,9	33,8±2,7	53,3±9,4	21,11±1,4

Результати дослідження біолого-технологічних параметрів рослин різних генотипів роду *Silphium* у період квітання свідчать про те, що за висотою рослин та діаметром стебла відзначилися сорти Kanadchanka, Bogatyr та форма LA *S. perfoliatum*. За кількістю міжвузлів на пагоні переважали форма f. LPL-4 *S. integrifolium* та форма VR гібриду *S. trifoliatum* × *S. integrifolium*. Кількість листків на пагоні найбільшою була в рослин гібриду *S. trifoliatum* × *S. integrifolium* та в *S. trifoliatum*. Максимальною довжиною та шириною листка характеризувалися рослини *S. laciniatum* – форми PL-3, f. 1 та f. 2. За довжиною суцвіття переважали рослини *S. integrifolium* – f. LPL-4, *S. perfoliatum* – f. PP- 2 та *S. laciniatum* – f. PL-3.

Висота рослин роду *Silphium* залежала від формових, сортових особливостей, фази розвитку, умов вегетаційного періоду тощо. У період технічної стиглості найбільшої висоти рослин досягли генотипи *S. perfoliatum*, f. PP- 2, f. PP- 1 та cv. Bogatyr (рис. 3.4).

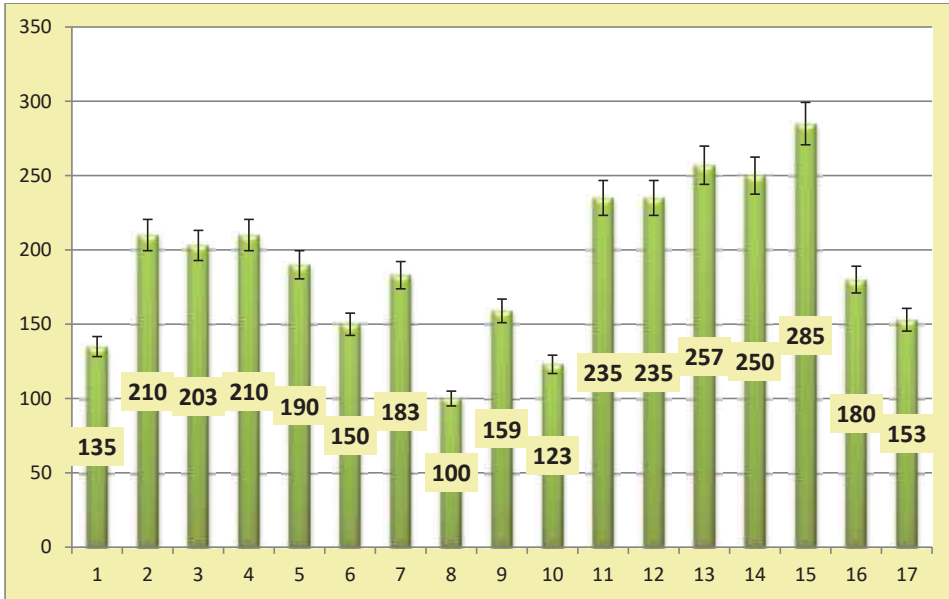


Рис. 3.4. Висота рослин роду *Silphium* залежно від формових та сортових особливостей в період технічної стиглості

- 1 – *Silphium asperrimum*; 2 – *S. integrifolium*, f. EBSFS; 3 – *S. integrifolium*, f. GKR-1; 4 – *S. integrifolium* × *S. perfoliatum*; 5 – *S. integrifolium*, cv. Yuvileinyi- 90; 6 – *S. integrifolium*, f. LPL-4; 7 – *S. integrifolium*, f. GD-5; 8 – *S. laciniatum*, f. PL-3; 9 – *S. laciniatum*, f. 2; 10 – *S. laciniatum*, f. 1; 11 – *S. perfoliatum*, f. SR-6; 12 – *S. perfoliatum*, cv. Kanadchanka; 13 – *S. perfoliatum*, cv. Bogatyr; 14 – *S. perfoliatum*, f. PP- 1; 15 – *S. perfoliatum*, f. PP- 2; 16 – *S. trifoliatum* × *S. integrifolium*; 17 – *S. trifoliatum*

Серед досліджуваних зразків, найбільше генотипові різноманіття властиві *S. perfoliatum* (рис. 3.5).

Різні генотипи роду *Silphium* суттєво вирізняються за габітусом, морфологічними особливостями рослин та різноманіттям листкової пластинки (рис. 3.6).

Досліджувані зразки рослин роду *Silphium*, в умовах інтродукції, забезпечують високі ростові параметри також у період досягання насіння. До технічної стиглості рослини забезпечують значну висоту (рис.3.7). Найбільшою висотою характеризувалися рослини *S. laciniatum*, f. 1 та f. 2 і *S. perfoliatum*, cv. Bogatyr.



1 2 3 4 5 6 7

Рис. 3.5. Загальний вигляд надземної частини рослин *Silphium perfoliatum* залежно від генотипового різноманіття

1 – *Silphium perfoliatum*; 2 – *S. perfoliatum*, cv. Bogatyr;
3 – *S. perfoliatum*, f. SR-6;

4 – *S. perfoliatum*, f. PP- 1; 5 – *S. perfoliatum*, cv. Kanadchanka; 6 –
S. perfoliatum (novyi hibryd); 7 – *S. perfoliatum*, cv. Peremozhets



А



Б

Рис. 3.6. Листки рослин роду *Silphium* залежно від видових особливостей та генотипового різноманіття (А - *Silphium perfoliatum*; Б - *Silphium integrifolium*)

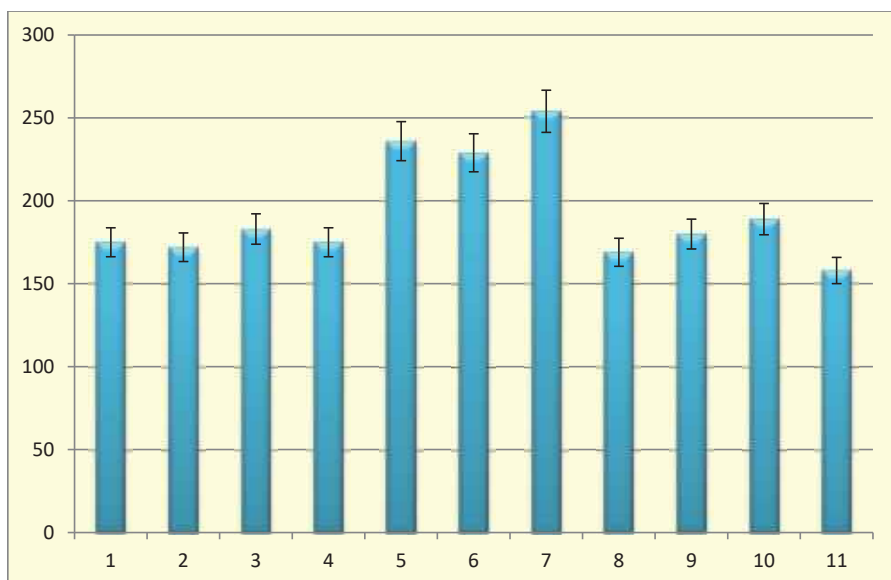


Рис. 3.7. Висота рослин представників роду *Silphium* у фазу досягання насіння

1 – Сильфій суцільнолистий, с. Ювілейний-90; 2 – С. суцільнолистий, ф. ЕБСФС; 3 – С. суцільнолистий, ф. розгалужена; 4 – С. трилистий × с. суцільнолистий; 5 – С. часточковий, ф. 1; 6 – С. часточковий, ф. 2; 7 – С. пронизанолистий, с. Богатир; 8 – С. пронизанолистий, с. Переможець; 9 – С. пронизанолистий, ф. середньоросла; 10 – С. пронизанолистий × с. суцільнолистий; 11 – С. шорсткий

Продуктивність рослин суттєво залежить від ростових параметрів та генотипових особливостей досліджуваних зразків (табл. 3.6-3.9).

Таблиця 3.6

Продуктивні показники рослин досліджених генотипів роду *Silphium* у період квітання, (n=10)

Показник	<i>Silphium perfoliatum</i> , св. Kanadchanka	<i>Silphium perfoliatum</i> , св. Bogatyr	<i>Silphium perfoliatum</i> , f. LA	<i>Silphium laciniatum</i> , f. PL-3
Надземна маса рослин, г	3024,9±13,03	3224,0±28,48	2751,0±8,18	1600,0±32,04
Маса стебел, г	1710,0±34,25	2149,7±37,83	1876,5±24,74	800,0±19,38
Маса листків, г	1050,0±25,11	900,43±23,43	825,45±23,66	412,00±21,45
Маса суцвіть, г	264,9±9,56	173,87±1,89	49,05±0,78	388,00±18,97

Таблиця 3.7

**Продуктивні показники рослин
досліджених генотипів роду *Silphium* у період квітання, (n=10)**

Показник	<i>Silphium integrifolium</i> , f. EBSFS	<i>Silphium integrifolium</i> , f. GKR-1	<i>Silphium asperrimum</i>	<i>Silphium trifoliatum</i> × <i>S. integrifolium</i> , f. VR
Надземна маса рослин, г	1375,2±22,13	1124,5±17,49	500,1±27,29	1100,6±20,77
Маса стебел, г	800,45±23,11	750,1±15,10	300,34±21,37	851,2±18,39
Маса листків, г	424,9±25,47	225,23±17,34	75,7±2,56	150,56±13,32
Маса суцвіть, г	149,85±14,41	149,17±13,32	90,4±3,67	98,84±15,39

Таблиця 3.8

**Продуктивні показники рослин досліджених
генотипів роду *Silphium* у період квітання, (n=10)**

Показник	<i>Silphium laciniatum</i> , f. 2	<i>Silphium laciniatum</i> , f. 1;	<i>Silphium perfoliatum</i> , f. SR-6	<i>Silphium perfoliatum</i> , f. PP-1	<i>Silphium integrifolium</i> , f. LPL-4
Надземна маса рослин, г	2800,3±20,42	2550,23±23,60	1730,2±87,11	2400,3±21,16	1300,1±29,19
Маса стебел, г	1250,2±20,11	1325,1±15,08	1124,7±19,37	1450,2±17,52	775,18±15,4
Маса листків, г	807,21±59,43	750,12±34,76	560,12±34,66	500,22±23,65	325,12±16,1
Маса суцвіть, г	742,89±34,25	475,01±18,65	45,38±0,69	449,88±21,45	199,8±5,45

За продуктивністю надземної маси, у період технічної стиглості сильфію, максимальний рівень урожайності забезпечили рослини *S. perfoliatum* – f. PP- 2 та сорти Bogatyr і Kanadchanka. За масою стебел, крім рослин *S. perfoliatum* – f. PP- 2 та cv. Bogatyr, відзначилася f. LA. Маса листків найбільшою виявилася в тих же зразків рослин *S. perfoliatum* – f. PP-2, сортів Kanadchanka і Bogatyr. Велику масу суцвіть формували *S. laciniatum*, f. 2 та f. 1 і *S. perfoliatum* – f. PP- 2.

Рослини роду *Silphium*, серед багаторічних трав'яних культур, відзначаються значним потенціалом формування біомаси. У фазу плодоношення-достигання насіння найбільшу продуктивність надземної маси рослин формували генотипи *S. perfoliatum*, ПП- 2, ПП-1 та cv. Bogatyr – від 206 до 310 г/пагін (рис. 3.8).

Таблиця 3.9

**Продуктивні показники рослин досліджених
генотипів роду *Silphium* у період квітутання, (n=10)**

Показник	<i>Silphium perfoliatum</i> , cv. Peremozhets	<i>Silphium trifoliatum</i>	<i>Silphium integrifolium</i> × <i>S. perfoliatum</i>	<i>Silphium perfoliatum</i> , f. PP- 2	<i>Silphium trifoliatum</i> × <i>S. integrifolium</i>
Надземна маса рослин, г	271,00±13,2	970,10±15,8	1009,60±28,6	3710,30±31,9	1190,40±35,5
Маса стебел, г	120,12±10,6	494,90±15,6	575,10±15,2	2124,50±16,8	810,30±32,2
Маса листіків, г	135,10±9,9	275,23±18,7	250,34±21,7	1075,20±11,5	300,10±21,4
Маса суцвіть, г	15,78±1,2	199,97±8,8	184,16±13,3	510,60±23,2	80,00±9,8

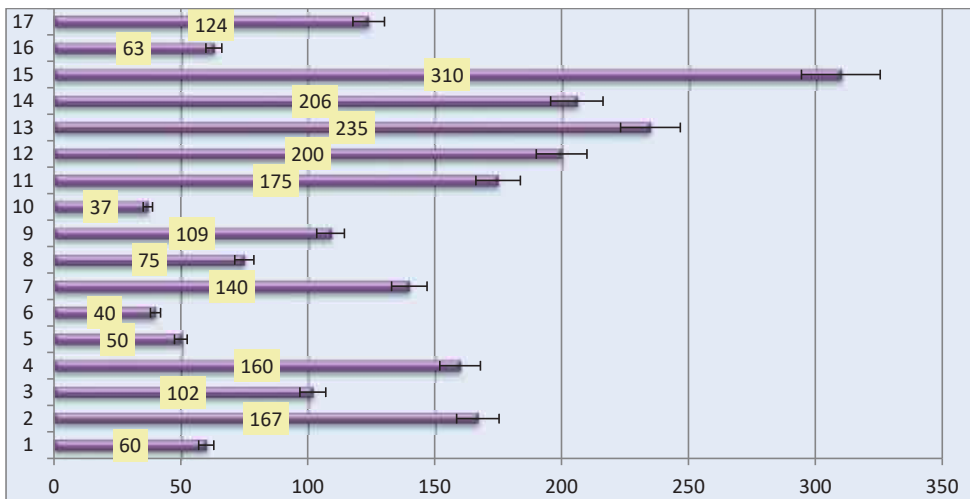


Рис. 3.8. Надземна маса середнього пагону рослин представників роду *Silphium* у фазу плодоношення-достигання насіння, г
 1 – *Silphium asperrimum*; 2 – *S. integrifolium*, f. EBSFS; 3 – *S. integrifolium*, f. GKR-1; 4 – *S. integrifolium* × *S. perfoliatum*; 5 – *S. integrifolium*, cv. Yuvileinyi- 90; 6 – *S. integrifolium*, f. LPL-4; 7 – *S. integrifolium*, f. GD-5; 8 – *S. laciniatum*, f. PL-3; 9 – *S. laciniatum*, f. 2; 10 – *S. laciniatum*, f. 1; 11 – *S. perfoliatum*, f. SR-6; 12 – *S. perfoliatum*, cv. Kanadchanka; 13 – *S. perfoliatum*, cv. Bogatyr; 14 – *S. perfoliatum*, f. PP- 1; 15 – *S. perfoliatum*, f. PP- 2; 16 – *S. trifoliatum* × *S. integrifolium*; 17 – *S. trifoliatum*

За структурою надземної частини рослин представників роду *Silphium* дольова частка стебел, листків та суцвіття найбільшою була в тих же генотипів *S. perfoliatum* – f. PP-2, f. PP-1 та cv. Bogatyr (рис.3.9). Максимальне значення всіх структурних частин рослин досягнуто в генотипу f. PP-2.

У період технічної стиглості (фаза досягання насіння) зразки сильфію також забезпечили високу продуктивність. Урожайність надземної маси найбільшою була в сильфію пронизанолистого, с. Богатир і гібриду – с. пронизанолистий × с. суцільнолистий (рис. 3.10).

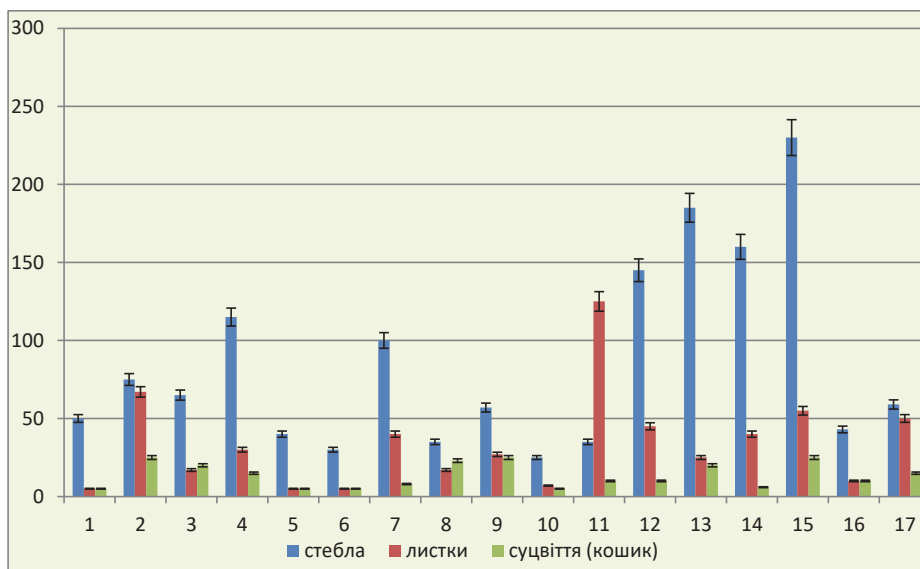


Рис. 3.9. Структура надземної частини рослин представників роду *Silphium* залежно від формових та сортових особливостей у фазу плодоношення-досягання, г

- 1 – *Silphium asperrimum*; 2 – *S. integrifolium*, f. EBSFS; 3 – *S. integrifolium*, f. GKR-1; 4 – *S. integrifolium* × *S. perfoliatum*; 5 – *S. integrifolium*, cv. Yuvileinyi- 90; 6 – *S. integrifolium*, f. LPL-4; 7 – *S. integrifolium*, f. GD-5; 8 – *S. laciniatum*, f. PL-3; 9 – *S. laciniatum*, f. 2; 10 – *S. laciniatum*, f. 1; 11 – *S. perfoliatum*, f. SR-6; 12 – *S. perfoliatum*, cv. Kanadchanka; 13 – *S. perfoliatum*, cv. Bogatyr; 14 – *S. perfoliatum*, f. PP- 1; 15 – *S. perfoliatum*, f. PP- 2; 16 – *S. trifoliatum* × *S. integrifolium*; 17 – *S. trifoliatum*

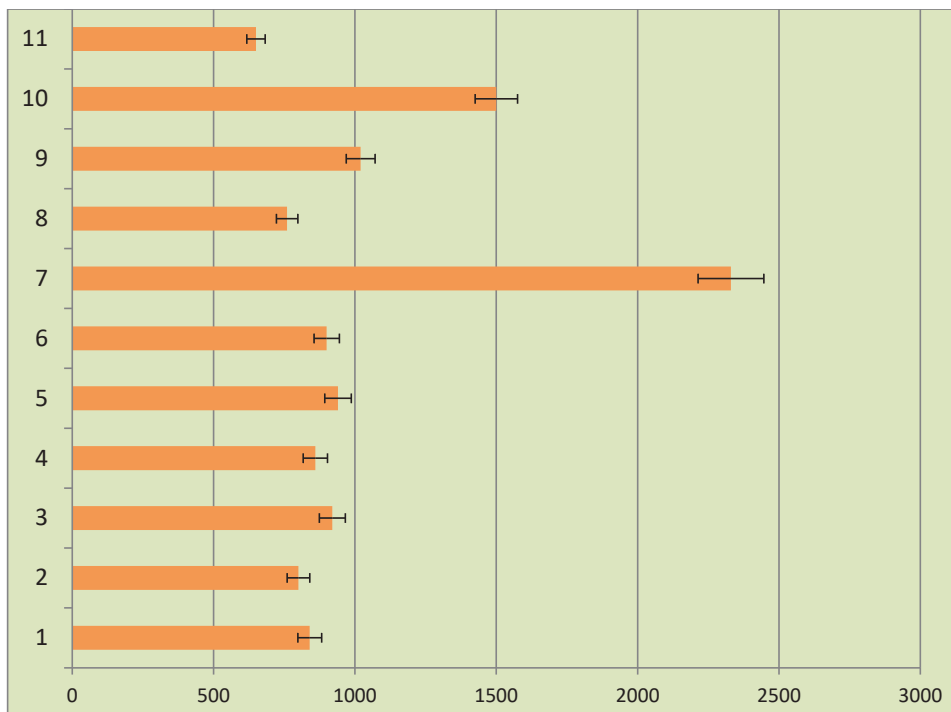


Рис. 3.10. Надземна маса рослин представників роду *Silphium* у фазу досягання насіння, г (n=10)

- 1 – Сильфій суцільнолистий, с. Ювілейний-90; 2 – С. суцільнолистий, ф. ЕБСФС; 3 – С. суцільнолистий, ф. розгалужена; 4 – С. трилистий × с. суцільнолистий; 5 – С. часточковий, ф. 1; 6 - С. часточковий, ф. 2; 7 – С. пронизанолистий, с. Богатир; 8 – С. пронизанолистий, с. Переможець; 9 – С. пронизанолистий, ф. середньоросла; 10 – С. пронизанолистий × с. суцільнолистий; 11 – С. шорсткий

У результаті досліджень деяких морфометричних показників рослин, виділено основні максимальні та мінімальні значення ознак у період квітування (табл. 3.10). Варіювання досліджуваних морфометричних ознак та маси становило від 20,69 (ширина суцвіття) до 49,57 (маса листків)%.

При дослідженні морфометричних параметрів та маси рослин генотипів *Silphium* відмічено, що найтісніший зв'язок спостерігався між діаметром стебла та надземною масою ($r = 0,899$) і масою стебла ($r = 0,907$) (табл. 3.11). Найтісніша позитивна кореляція також спостерігалася між довжиною та шириною листка ($r = 0,976$), між надземною масою та масою стебла ($r = 0,940$) і масою листків ($r = 0,805$). Показник висоти рослин сильно корелював з надземною масою ($r = 0,758$), масою стебел ($r = 0,744$)

та діаметром стебла ($r = 0,708$). Значний зв'язок був між масою стебла та масою листків ($r = 0,721$), кількістю міжвузлів та кількістю листків ($r = 0,728$), діаметром стебла та масою листків ($r = 0,694$), довжиною листків та надземною масою ($r = 0,612$).

Таблиця 3.10

Деякі статистичні параметри, визначені при аналізі морфометричних та продуктивних ознак рослин різних генотипів *Silphium* spp. у період квітнування

Показник	Max	Min	Average	V, %
Висота рослин, см	251,9	25,24	214,2	23,65
Діаметр стебла, см	2,32	0,64	1,52	29,17
Кількість міжвузлів на пагоні, шт.	16,5	5,4	15,15	22,90
Кількість листків на пагоні, шт.	41,4	10,3	34,35	28,58
Довжина листка, см	55,8	10,78	35,05	37,71
Ширина листка, см	37,8	3,06	21,36	46,18
Надземна маса, г	3710,3	271	2305,45	43,28
Маса стебел, г	2149,7	120,1	1324,95	48,15
Маса листків, г	1075	135	637,5	49,57
Маса суцвіть, г	750	15	475	47,12
Довжина суцвіття, см	56,6	8,96	44,35	31,24
Ширина суцвіття, см	8,03	3,13	6,94	20,69

Таблиця 3.11

Коефіцієнти кореляції між морфометричними показниками та масою рослин у генотипів *Silphium* spp.

Показник	ВР	ДС	КМ	КЛ	ДЛ	ШЛ	НМ	МС	МЛ	МСЦ	ДС
ДС	0,708	1									
КМ	0,085	-0,221	1								
КЛ	-0,005	-0,369	0,728	1							
ДЛ	0,275	0,553	-0,171	-0,641	1						
ШЛ	0,263	0,528	-0,128	-0,627	0,976	1					
НМ	0,758	0,899	-0,240	-0,395	0,612	0,587	1				
МС	0,744	0,907	-0,335	-0,370	0,533	0,491	0,940	1			
МЛ	0,559	0,694	-0,434	-0,507	0,455	0,463	0,805	0,721	1		
МСЦ	0,333	0,186	0,127	-0,274	0,418	0,461	0,444	0,184	0,468	1	
ДС	0,354	0,024	0,053	-0,077	0,130	0,145	0,181	-0,003	0,248	0,401	1
ШС	-0,004	-0,127	0,165	-0,196	0,278	0,351	-0,055	-0,152	0,133	0,386	0,279

3.1.3. Біохімічна характеристика та енергетична цінність

фітосировини рослин роду *Silphium* L. залежно від сортових, формових особливостей та фази вегетації

Попередні дослідження дозволили виявити, що рослини видів роду *Silphium* містять 12,5% протеїну, 4,8% жирів, 11,9% клітковини та ін. (Franzaring et al., 2014).

Результати багаторічних досліджень, проведених у Національному ботанічному саду імені М.М.Гришка НАН України показали, що сировина даних рослин цінне джерело поживних речовин, серед яких вітаміни, цукри, клітковина, протеїн (Rakhmetov et al., 2019). Рослинні зразки досліджувалися в період бутонізації, квітнування та на кінець вегетації.

Вміст сухої речовини та загальний вміст цукрів у період бутонізації представлено на рисунку (рис. 3.11). Вміст сухої речовини в трьох зразків даного роду становив 20,22–24,10%, а цукрів – 8,92–17,24%. Найбільше сухої речовини в цей період накопичувалось у рослин *S. trifoliatum*, високорослої форми, найбільше цукрів – *S. perfoliatum*, низькорослої, кущової форми. Полісахариди досліджуваних рослин проявляють фармакологічну дію (Shang et al., 2017).

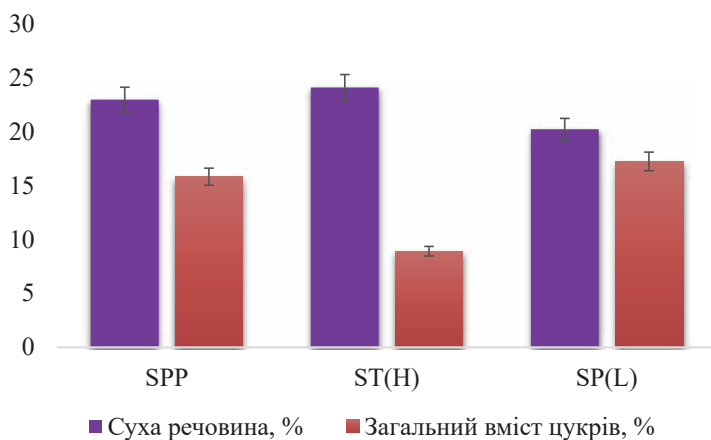


Рис. 3.11. Вміст сухої речовини та загальний вміст цукрів у сировині рослин видів роду *Silphium* L. у період бутонізації: SPP – *S. perfoliatum*, cv. Peremozhets, ST(H) – *S. trifoliatum*, високорослий, SP(L) – *S. perfoliatum*, низькорослий.

Вміст аскорбінової кислоти в період бутонізації становив 24,11–31,01 мг%, каротину – 0,32–1,48 мг% (рис. 3.12). Ймовірно, вміст аскорбінової кислоти як і інших сполук, залежить від умов навколишнього середовища, оскільки в попередні роки вміст її в рослин *S. laciniatum* становив близько 300 мг% (Rakhmetov et al., 2019).

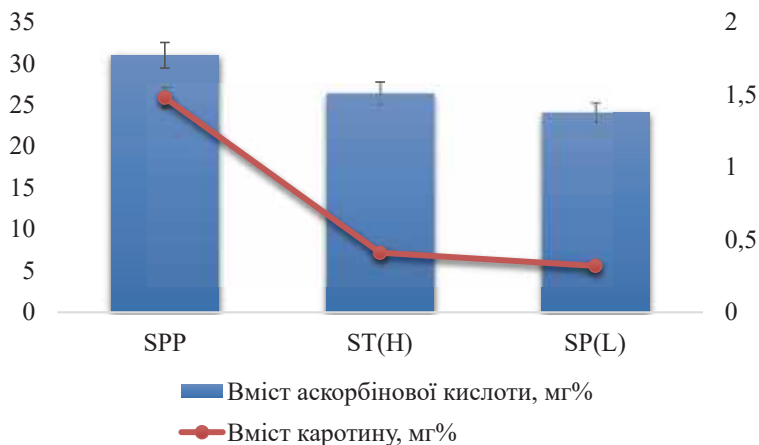


Рис. 3.12. Вміст аскорбінової кислоти та каротину в сировині рослин видів роду *Silphium* L. у період бутонізації: SPP – *S. perfoliatum*, cv. Peremozhets, ST(H) – *S. trifoliatum*, високорослий, SP(L) – *S. perfoliatum*, низькорослий.

Вміст органічних кислот у період бутонізації в рослин видів роду *Silphium* становив 2,34–4,50%, дубильних речовин – 0,80–4,89% та золи – 7,60–8,13% (рис. 3.13).

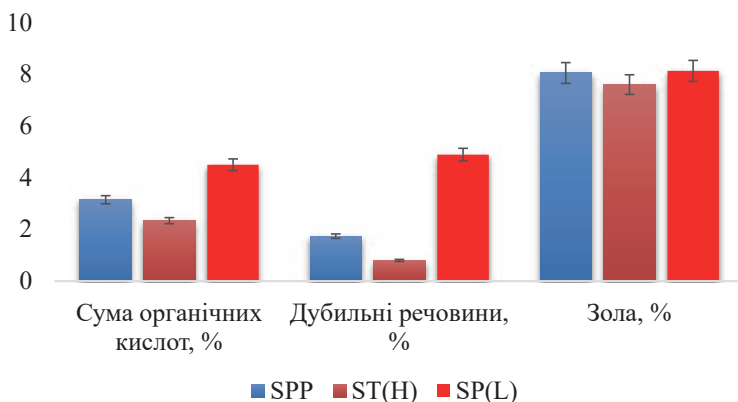


Рис. 3.13. Вміст органічних кислот, дубильних речовин та золи в сировині рослин видів роду *Silphium* L. у період бутонізації: SPP – *S. perfoliatum*, cv. Peremozhets, ST(H) – *S. trifoliatum*, високорослий, SP(L) – *S. perfoliatum*, низькорослий

Енергетична цінність рослин видів роду *Silphium* у період бутонізації становила від 3316 до 3489 кал/г (рис.3.14).



Рис. 3.14. Теплоємність сировини рослин видів роду *Silphium* L. у період бутонізації: SPP – *S. perfoliatum*, cv. Peremozhets, ST(H) – *S. trifoliatum*, високорослий, SP(L) – *S. perfoliatum*, низькорослий

Вміст сухої речовини збільшувався в період квітання в деяких зразків на 10%, порівняно з фазою бутонізації. Так, дослідження 17 генотипів *Silphium* показало, що в період квітання вміст сухої речовини становив від 18,38 до 34,77%, а вміст цукрів – від 6,36 до 19,00% (рис. 3.15).

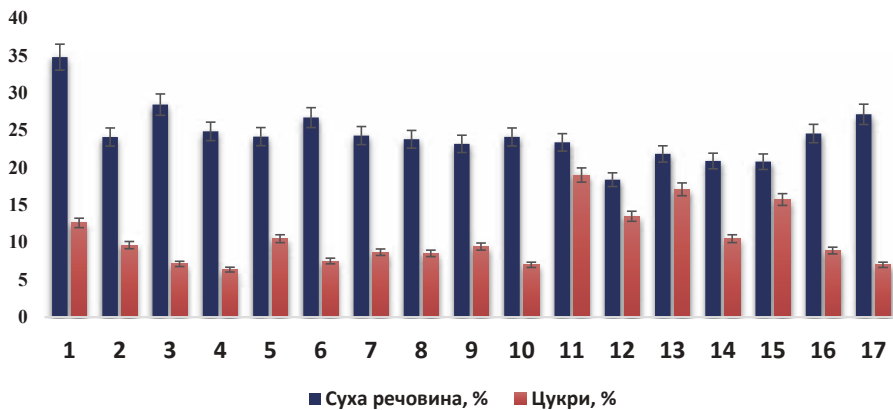


Рис. 3.15. Вміст сухої речовини та цукрів у сировині рослин видів роду *Silphium* та їх генотипів у період квітання
 1 – *Silphium asperrimum*; 2 – *S. integrifolium*, f. EBSFS; 3 – *S. integrifolium*, f. GKR-1; 4 – *S. integrifolium* × *S. perfoliatum*; 5 – *S. integrifolium*, cv. Yuvileinyi- 90; 6 – *S. integrifolium*, f. LPL-4; 7 – *S. integrifolium*, f. GD-5; 8 – *S. laciniatum*, f. PL-3; 9 – *S. laciniatum*, f. 2; 10 – *S. laciniatum*, f. 1; 11 – *S. perfoliatum*, f. SR-6; 12 – *S. perfoliatum*, cv. Kanadchanka; 13 – *S. perfoliatum*, cv. Bogatyr; 14 – *S. perfoliatum*, f. PP- 1; 15 – *S. perfoliatum*, f. PP- 2; 16 – *S. trifoliatum* × *S. integrifolium*; 17 – *S. trifoliatum*

Уперше встановлено, що окремі генотипи *Silphium* можуть бути джерелом цукровмісної фітосировини (*S. perfoliatum*, f. SR-6; *S. perfoliatum*, cv. Bogatyr; *S. perfoliatum*, f. PP- 2) – 16-19% на абс.сух.реч.

Вміст аскорбінової кислоти в досліджуваних рослин у період цвітіння становив від 12,65 до 30,76 мг% (рис. 3.16). Найбільше її накопичували рослини *S. laciniatum*, f. 2.

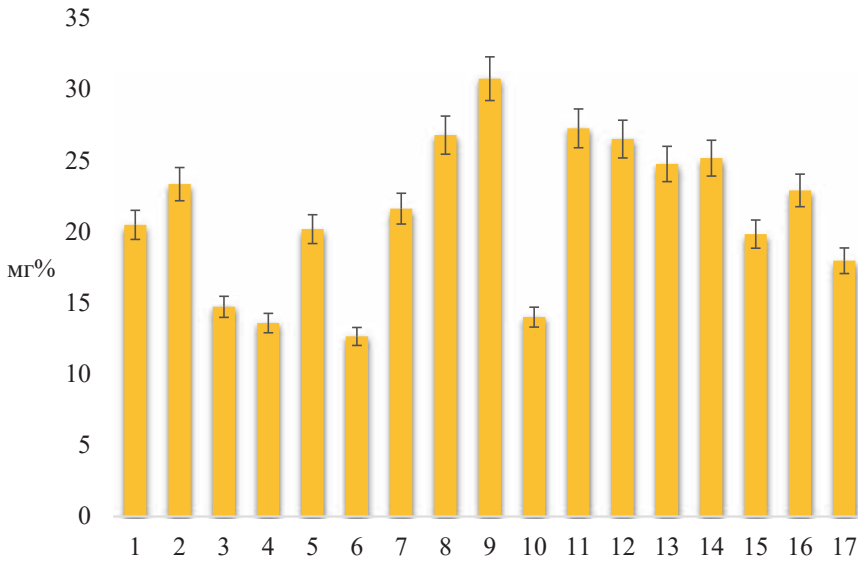


Рис. 3.16. Вміст аскорбінової кислоти в сортах та формах видів роду *Silphium* L. у період квітування

- 1 – *Silphium asperrimum*; 2 – *S. integrifolium*, f. EBSFS; 3 – *S. integrifolium*, f. GKR-1; 4 – *S. integrifolium* × *S. perfoliatum*; 5 – *S. integrifolium*, cv. Yuvileinyi- 90; 6 – *S. integrifolium*, f. LPL-4; 7 – *S. integrifolium*, f. GD-5; 8 – *S. laciniatum*, f. PL-3; 9 – *S. laciniatum*, f. 2; 10 – *S. laciniatum*, f. 1; 11 – *S. perfoliatum*, f. SR-6; 12 – *S. perfoliatum*, cv. Kanadchanka; 13 – *S. perfoliatum*, cv. Bogatyr; 14 – *S. perfoliatum*, f. PP- 1; 15 – *S. perfoliatum*, f. PP- 2; 16 – *S. trifoliatum* × *S. integrifolium*; 17 – *S. trifoliatum*

Вміст каротину у досліджуваних рослин у період квітування відрізнявся з-поміж видів (рис. 3.17). Так, каротину накопичувалось від 0,16 до 1,11 мг%. Найбільший показник його характерний для форм *S. laciniatum*.

Загальний вміст органічних кислот становив від 1,3 до 4,17%, а вміст дубильних речовин у період квітування – від 0,5 до 4,92% (рис.3.18).

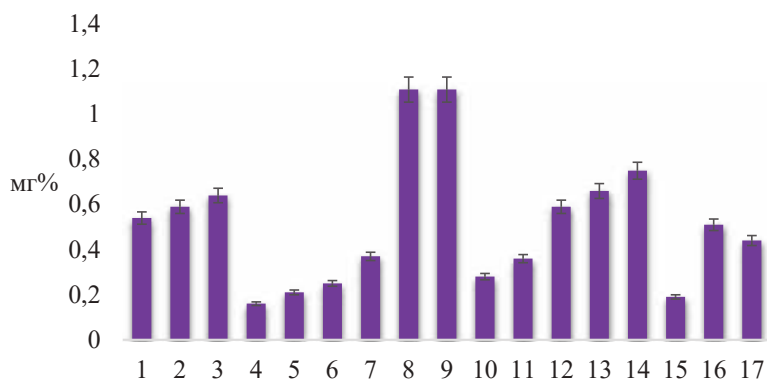


Рис. 3.17. Вміст каротину в сортах та формах видів роду *Silphium* L. у період квітання

1 – *Silphium asperrimum*; 2 – *S. integrifolium*, f. EBSFS; 3 – *S. integrifolium*, f. GKR-1; 4 – *S. integrifolium* × *S. perfoliatum*; 5 – *S. integrifolium*, cv. Yuvileinyi- 90; 6 – *S. integrifolium*, f. LPL-4; 7 – *S. integrifolium*, f. GD-5; 8 – *S. laciniatum*, f. PL-3; 9 – *S. laciniatum*, f. 2; 10 – *S. laciniatum*, f. 1; 11 – *S. perfoliatum*, f. SR-6; 12 – *S. perfoliatum*, cv. Kanadchanka; 13 – *S. perfoliatum*, cv. Bogatyr; 14 – *S. perfoliatum*, f. PP- 1; 15 – *S. perfoliatum*, f. PP- 2; 16 – *S. trifoliatum* × *S. integrifolium*; 17 – *S. trifoliatum*

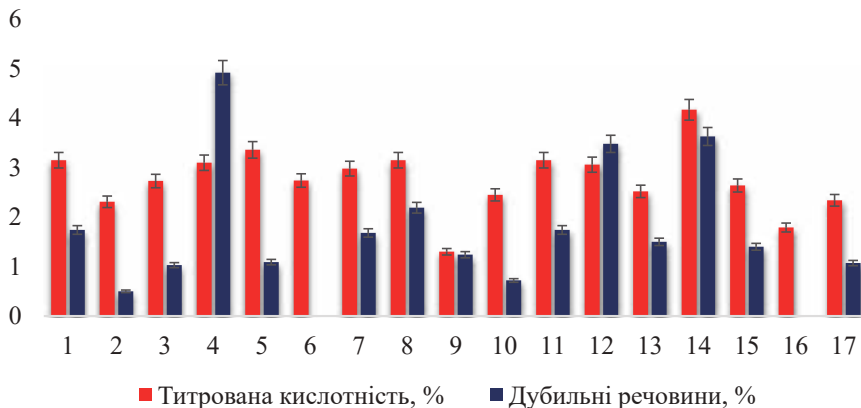


Рис. 3.18. Титрована кислотність та вміст дубильних речовин у сортах та формах видів роду *Silphium* L. у період квітання

1 – *Silphium asperrimum*; 2 – *S. integrifolium*, f. EBSFS; 3 – *S. integrifolium*, f. GKR-1; 4 – *S. integrifolium* × *S. perfoliatum*; 5 – *S. integrifolium*, cv. Yuvileinyi- 90; 6 – *S. integrifolium*, f. LPL-4; 7 – *S. integrifolium*, f. GD-5; 8 – *S. laciniatum*, f. PL-3; 9 – *S. laciniatum*, f. 2; 10 – *S. laciniatum*, f. 1; 11 – *S. perfoliatum*, f. SR-6; 12 – *S. perfoliatum*, cv. Kanadchanka; 13 – *S. perfoliatum*, cv. Bogatyr; 14 – *S. perfoliatum*, f. PP- 1; 15 – *S. perfoliatum*, f. PP- 2; 16 – *S. trifoliatum* × *S. integrifolium*; 17 – *S. trifoliatum*

Один із важливих показників дослідження енергетичних рослин є визначення вмісту золи, що напряму корелює з калорійністю таких рослин. Вміст золи в досліджуваних рослин у період квітання становив від 4,20 до 8,12% (рис. 3.19). Згідно з дослідженнями Franzaring et al. (2014), вміст золи в рослин *S. perfoliatum* становив 15,4% (Franzaring et al., 2014). У наших дослідженнях цей показник був майже вдвічі менше.

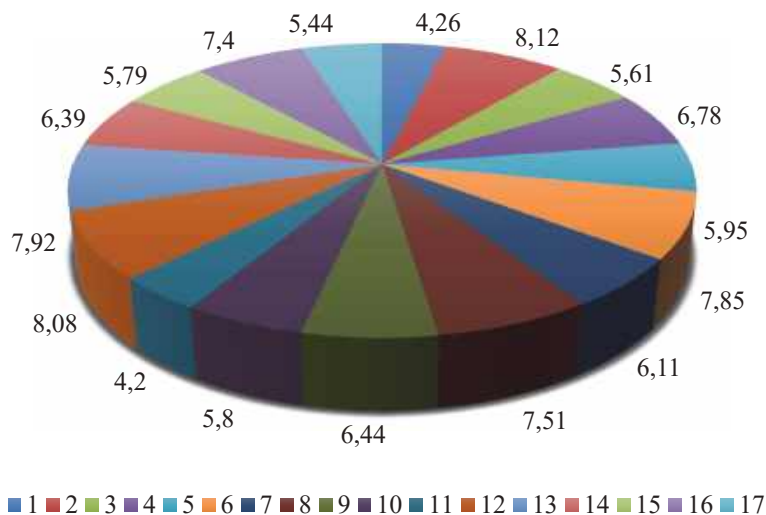


Рис. 3.19. Вміст золи (%) у сортах та формах видів роду *Silphium* L. у період квітання

- 1 – *Silphium asperrimum*; 2 – *S. integrifolium*, f. EBSFS; 3 – *S. integrifolium*, f. GKR-1; 4 – *S. integrifolium* × *S. perfoliatum*; 5 – *S. integrifolium*, cv. Yuvileinyi- 90; 6 – *S. integrifolium*, f. LPL-4; 7 – *S. integrifolium*, f. GD-5; 8 – *S. laciniatum*, f. PL-3; 9 – *S. laciniatum*, f. 2; 10 – *S. laciniatum*, f. 1; 11 – *S. perfoliatum*, f. SR-6; 12 – *S. perfoliatum*, cv. Kanadchanka; 13 – *S. perfoliatum*, cv. Bogatyр; 14 – *S. perfoliatum*, f. PP- 1; 15 – *S. perfoliatum*, f. PP- 2; 16 – *S. trifoliatum* × *S. integrifolium*; 17 – *S. trifoliatum*

Аналіз вмісту сухої речовини досліджуваних рослин показав, що в період квітання її кількість становила від 25,7 (*S. perfoliatum*, f. SR-6) до 40,32 (*S. asperrimum*)% (рис. 3.20).

Поряд з цим, вміст золи в різних генотипів сільфію становив від 4,93 (*Silphium laciniatum*, f. 2) до 8,89 (*S. perfoliatum*, cv. Bogatyр)% (рис. 3.21).

Вміст кальцію в період квітання в даних рослин становив від 0,82 (*S. asperrimum*) до 2,48 (*S. trifoliatum* × *S. integrifolium*)% (рис. 3.22).

Вміст фосфору в сировині досліджуваних рослин у період квітання становив від 0,58 (*S. laciniatum*, f. 2) до 1,08 (*S. trifoliatum*)% (рис. 3.23).

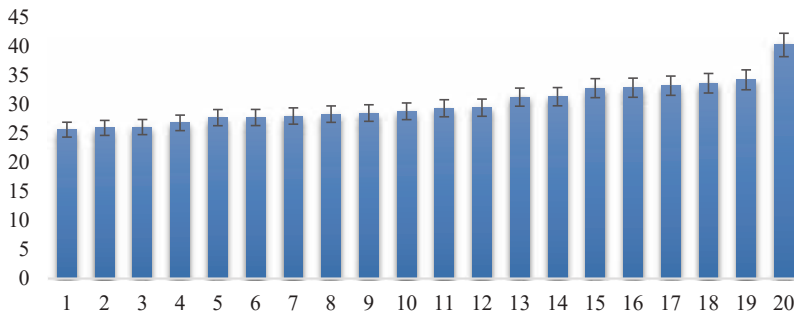


Рис. 3.20. Вміст сухої речовини в сировині рослин різних генотипів *Silphium* spp. у період квітування, %

- 1 – *Silphium perfoliatum*, f. SR-6; 2 – *S. perfoliatum*, f.LA; 3 – *S. perfoliatum*, cv. Kanadchanka; 4 – *S. lacinatedum*, f. 1; 5 – *S. perfoliatum*, f. PP- 2; 6 – *S. lacinatedum*, f. 2; 7 – *S. perfoliatum*, f. PP-1; 8 – *S. perfoliatum*, cv. Bogatyr; 9 – *S. integrifolium*×*S. perfoliatum*; 10 – *S. trifoliatum*; 11 – *S. lacinatedum*, f. PL-3; 12 – *S. perfoliatum*, cv. Peremozhets; 13 – *S. integrifolium*, cv. Yuvileinyi-90; 14 – *S. integrifolium*, f. GKR-1; 15 – *S. integrifolium*, f. GD-5; 16 – *S. trifoliatum*×*S. integrifolium*, f. VR; 17 – *S. integrifolium*, f. EBSFS; 18 – *S. trifoliatum*×*S. integrifolium*; 19 – *S. integrifolium*, f. LPL-4; 20 – *S. asperrimum*

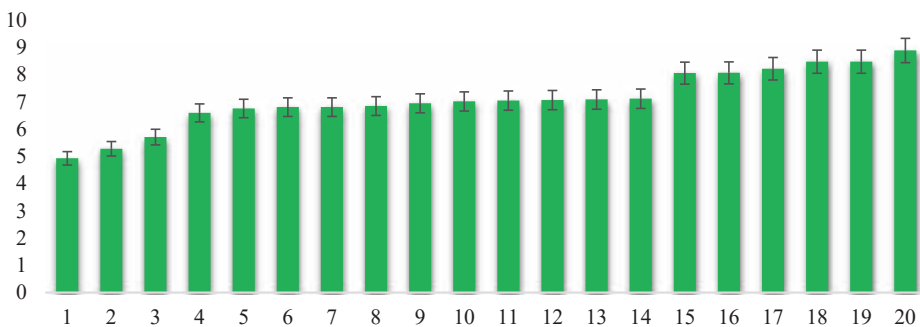


Рис. 3.21. Вміст золи у сировині рослин різних генотипів *Silphium* spp. у період квітування, %

- 1 – *Silphium lacinatedum*, f. 2; 2 – *S. lacinatedum*, f. 1; 3 – *S. trifoliatum*×*S. integrifolium*; 4 – *S. perfoliatum*, f. SR-6; 5 – *S. integrifolium*, cv. Yuvileinyi-90; 6 – *S. asperrimum*; 7 – *S. integrifolium*, f. EBSFS; 8 – *S. perfoliatum*, f. PP-1; 9 – *S. trifoliatum*; 10 – *S. integrifolium*, f. GKR-1; 11 – *S. perfoliatum*, f. LA; 12 – *S. perfoliatum*, f. PP-2; 13 – *S. lacinatedum*, f. PL-3; 14 – *S. trifoliatum*×*S. integrifolium*, f. VR; 15 – *S. integrifolium*, f. GD-5; 16 – *S. integrifolium*, f. LPL-4; 17 – *S. perfoliatum*, cv. Kanadchanka; 18 – *S. integrifolium*×*S. perfoliatum*; 19 – *S. perfoliatum*, cv. Peremozhets; 20 – *S. perfoliatum*, cv. Bogatyr

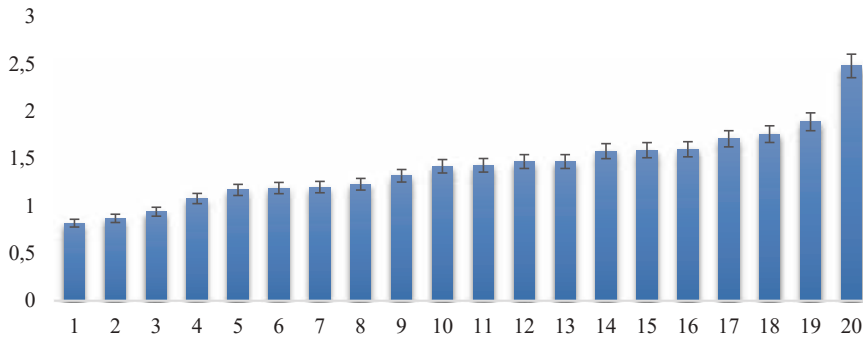


Рис. 3.22. Вміст кальцію в сировині рослин

різних генотипів *Silphium* spp. у період квітування, %

- 1 – *Silphium asperrimum*; 2 – *S. lacinatum*, f. 1; 3 – *S. lacinatum*, f. 2; 4 – *S. integrifolium*, f. EBSFS; 5 – *S. perfoliatum*, cv. Kanadchanka; 6 – *S. trifoliatum* × *S. integrifolium*, f. VR; 7 – *S. trifoliatum*; 8 – *S. perfoliatum*, f. PP- 2; 9 – *S. integrifolium*, f. GD-5; 10 – *S. perfoliatum*, f. SR-6; 11 – *S. integrifolium*, cv. Yuvileinyi-90; 12 – *S. perfoliatum*, f. PP-1; 13 – *S. perfoliatum*, cv. Bogatyr; 14 – *S. perfoliatum*, f. LA; 15 – *S. integrifolium* × *S. perfoliatum*; 16 – *S. integrifolium*, f. GKR-1; 17 – *S. perfoliatum*, cv. Peremozhets; 18 – *S. lacinatum*, f. PL-3; 19 – *S. integrifolium*, f. LPL-4; 20 – *S. trifoliatum* × *S. integrifolium*

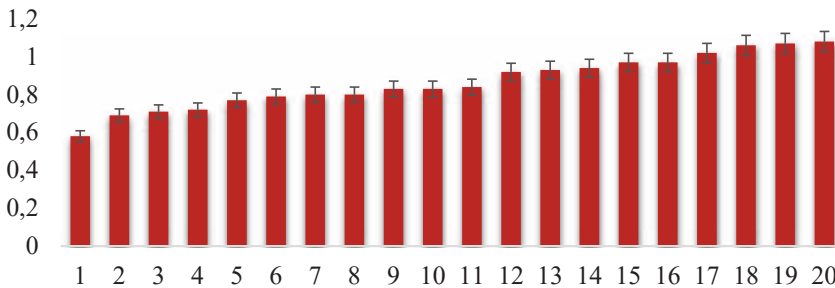


Рис. 3.23. Вміст фосфору в сировині рослин

різних генотипів *Silphium* spp. у період квітування, %

- 1 – *Silphium lacinatum*, f. 2; 2 – *S. perfoliatum*, f. SR-6; 3 – *S. integrifolium*, f. EBSFS; 4 – *S. lacinatum*, f. 1; 5 – *S. perfoliatum*, cv. Kanadchanka; 6 – *S. perfoliatum*, f. PP-1; 7 – *S. lacinatum*, f. PL-3; 8 – *S. trifoliatum* × *S. integrifolium*; 9 – *S. integrifolium*, f. GD-5; 10 – *S. perfoliatum*, cv. Peremozhets; 11 – *S. integrifolium*, cv. Yuvileinyi-90; 12 – *S. asperrimum*; 13 – *S. integrifolium*, f. LPL-4; 14 – *S. trifoliatum* × *S. integrifolium*, f. VR; 15 – *S. integrifolium*, f. GKR-1; 16 – *S. perfoliatum*, f. PP- 2; 17 – *S. perfoliatum*, cv. Bogatyr; 18 – *S. perfoliatum*, f. LA; 19 – *S. integrifolium* × *S. perfoliatum*; 20 – *S. trifoliatum*

Проведено кореляційний аналіз досліджуваних показників рослин генотипів *Silphium* spp. (табл. 3.12). У період квітання, як слабкі та середні показники кореляції, були позитивними (додатними), тоді як, у кінці вегетації спостерігали від'ємну кореляцію між сухою речовиною та іншими параметрами. Середня кореляція встановлена між золюю та її компонентами, як у період квітання, так і в кінці вегетації. У результаті дослідження Monti et al. (2008) було відмічено сильну кореляцію між вмістом золи та калію, а також калію і фосфору в різних енергетичних рослин.

Таблиця 3.12

Кореляція між біохімічними показниками рослин досліджуваних генотипів *Silphium* spp.

Показник	Суха речовина	Зола	Кальцій	Фосфор
фаза квітання				
Суха речовина	1			
Зола	0,008	1		
Кальцій	0,025	0,450	1	
Фосфор	0,096	0,482	0,187	1

Енергетична цінність у різних генотипів досліджуваних рослин у період квітання становила від 3253,21 до 3608,54 кал/г (рис. 3.24). Найбільший показник її характерний для *S. laciniatum*, f. 2; найменший – для *S. perfoliatum*, cv. Kanadchanka.

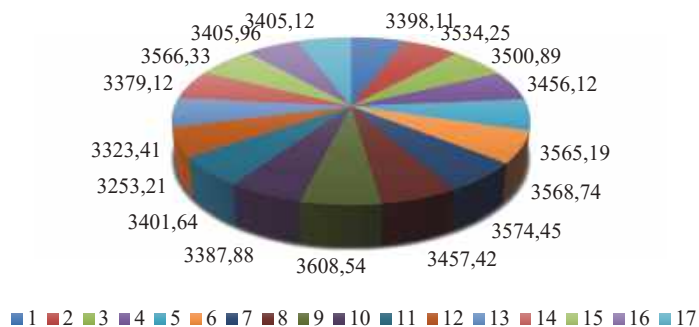


Рис. 3.24. Енергетична цінність (кал/г) у сортах та формах видів роду *Silphium* L. у період квітання

- 1 – *Silphium asperrimum*; 2 – *S. integrifolium*, f. EBSFS; 3 – *S. integrifolium*, f. GKR-1; 4 – *S. integrifolium* × *S. perfoliatum*; 5 – *S. integrifolium*, cv. Yuvileinyi- 90; 6 – *S. integrifolium*, f. LPL-4; 7 – *S. integrifolium*, f. GD-5; 8 – *S. laciniatum*, f. PL-3; 9 – *S. laciniatum*, f. 2; 10 – *S. laciniatum*, f. 1; 11 – *S. perfoliatum*, f. SR-6; 12 – *S. perfoliatum*, cv. Kanadchanka; 13 – *S. perfoliatum*, cv. Bogatyr; 14 – *S. perfoliatum*, f. PP- 1; 15 – *S. perfoliatum*, f. PP- 2; 16 – *S. trifoliatum* × *S. integrifolium*; 17 – *S. trifoliatum*

Під кінець вегетації рослини накопичують суху речовину, але вміст аскорбінової кислоти наразі неможливо було визначити через висихання надземної частини рослин. Вміст сухої речовини в кінці вегетації становив від 24,76 до 67,49% (рис. 3.25).

Загальний вміст цукрів на кінець вегетації становив від 2,78 до 13,12% (рис. 3.26). Цей показник дещо зменшувався в даних рослин, порівняно з періодом квітання в цілому.

Загальний вміст каротину знижувався на кінець вегетації і становив від 0,04 до 0,23 мг%, залежно від генотипу (рис. 3.27).

Енергетична цінність сортів та форм видів роду *Silphium* L. залежала від багатьох чинників та змінювалася протягом вегетації. На кінець вегетації досліджувані генотипи рослин забезпечили теплоємність фітосировини від 3300 до 4000 ккал/кг абс.сух.речовини (рис.3.28).

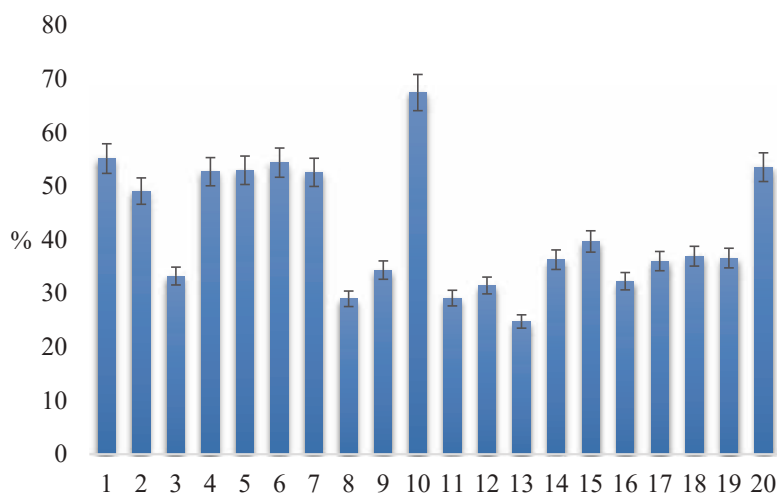


Рис. 3.25. Вміст сухої речовини в сортах та формах видів роду *Silphium* L. на кінець вегетації

- 1 – *Silphium laciniatum*, f. 2; 2 – *S. perfoliatum*, f. SR-6; 3 – *S. integrifolium*, f. EBSFS; 4 – *S. laciniatum*, f. 1; 5 – *S. perfoliatum*, cv. Kanadchanka; 6 – *S. perfoliatum*, f. PP-1; 7 – *S. laciniatum*, f. PL-3; 8 – *S. trifoliatum* × *S. integrifolium*; 9 – *S. integrifolium*, f. GD-5; 10 – *S. perfoliatum*, cv. Peremozhets; 11 – *S. integrifolium*, cv. Yuvileinyi-90; 12 – *S. asperrimum*; 13 – *S. integrifolium*, f. LPL-4; 14 – *S. trifoliatum* × *S. integrifolium*, f. VR; 15 – *S. integrifolium*, f. GKR-1; 16 – *S. perfoliatum*, f. PP- 2; 17 – *S. perfoliatum*, cv. Bogatyr; 18 – *S. perfoliatum*, f. LA; 19 – *S. integrifolium* × *S. perfoliatum*; 20 – *S. trifoliatum*

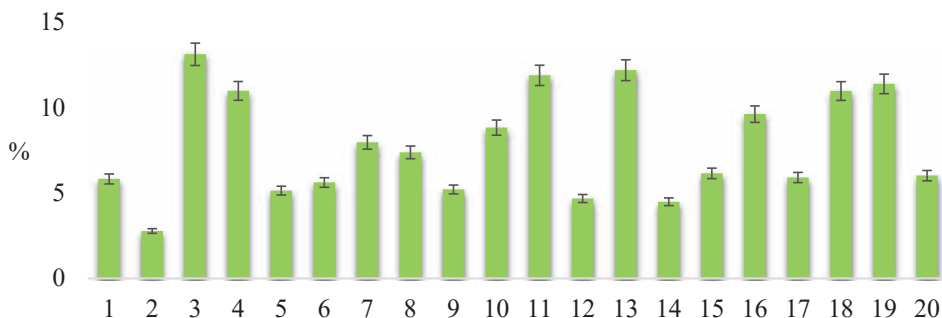


Рис. 3.26. Загальний вміст цукрів у сортах та формах видів роду *Silphium* L. на кінець вегетації

- 1 – *Silphium laciniatum*, f. 2; 2 – *S. perfoliatum*, f. SR-6; 3 – *S. integrifolium*, f. EBSFS; 4 – *S. laciniatum*, f. 1; 5 – *S. perfoliatum*, cv. Kanadchanka; 6 – *S. perfoliatum*, f. PP-1; 7 – *S. laciniatum*, f. PL-3; 8 – *S. trifoliatum*×*S. integrifolium*; 9 – *S. integrifolium*, f. GD-5; 10 – *S. perfoliatum*, cv. Peremozhets; 11 – *S. integrifolium*, cv. Yuvileinyi-90; 12 – *S. asperrimum*; 13 – *S. integrifolium*, f. LPL-4; 14 – *S. trifoliatum*×*S. integrifolium*, f. VR; 15 – *S. integrifolium*, f. GKR-1; 16 – *S. perfoliatum*, f. PP- 2; 17 – *S. perfoliatum*, cv. Bogatyr; 18 – *S. perfoliatum*, f. LA; 19 – *S. integrifolium*×*S. perfoliatum*; 20 – *S. trifoliatum*

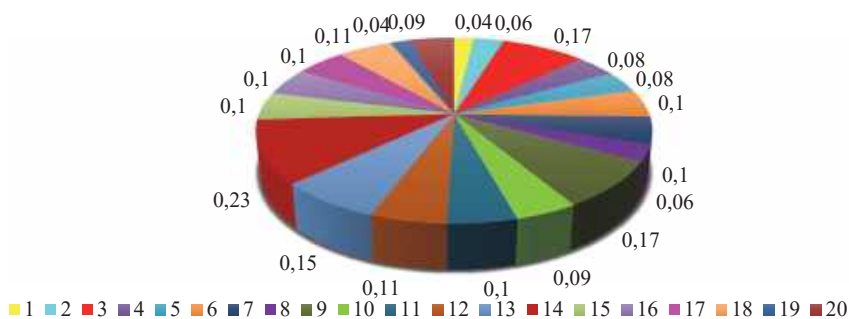


Рис. 3.27. Загальний вміст каротину в сортах та формах видів роду *Silphium* L. у кінці вегетації

- 1 – *Silphium laciniatum*, f. 2; 2 – *S. perfoliatum*, f. SR-6; 3 – *S. integrifolium*, f. EBSFS; 4 – *S. laciniatum*, f. 1; 5 – *S. perfoliatum*, cv. Kanadchanka; 6 – *S. perfoliatum*, f. PP-1; 7 – *S. laciniatum*, f. PL-3; 8 – *S. trifoliatum*×*S. integrifolium*; 9 – *S. integrifolium*, f. GD-5; 10 – *S. perfoliatum*, cv. Peremozhets; 11 – *S. integrifolium*, cv. Yuvileinyi-90; 12 – *S. asperrimum*; 13 – *S. integrifolium*, f. LPL-4; 14 – *S. trifoliatum*×*S. integrifolium*, f. VR; 15 – *S. integrifolium*, f. GKR-1; 16 – *S. perfoliatum*, f. PP- 2; 17 – *S. perfoliatum*, cv. Bogatyr; 18 – *S. perfoliatum*, f. LA; 19 – *S. integrifolium*×*S. perfoliatum*; 20 – *S. trifoliatum*

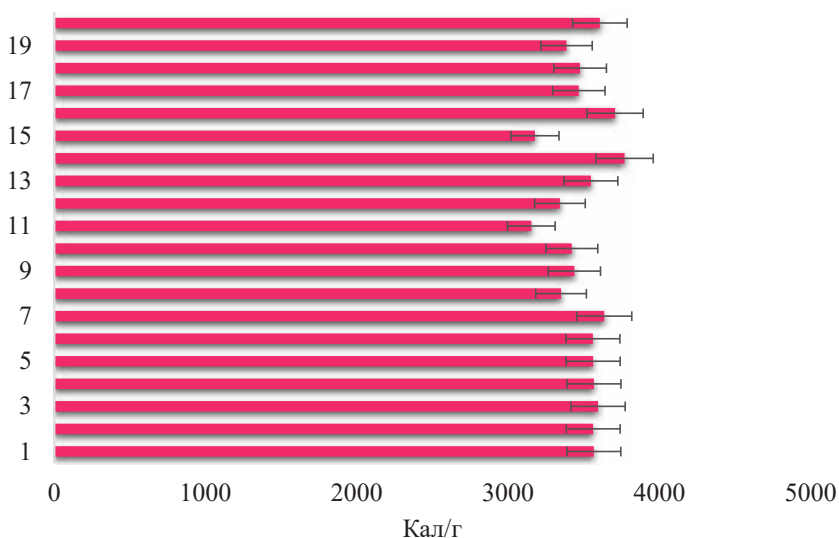


Рис. 3.28. Енергетична цінність сортів та форм видів роду *Silphium* L. на кінець вегетації

- 1 – *Silphium lacinatum*, f. 2; 2 – *S. perfoliatum*, f. SR-6;
 3 – *S. integrifolium*, f. EBSFS; 4 – *S. lacinatum*, f. 1; 5 – *S. perfoliatum*, cv. Kanadchanka; 6 – *S. perfoliatum*, f. PP-1;
 7 – *S. lacinatum*, f. PL-3; 8 – *S. trifoliatum* × *S. integrifolium*;
 9 – *S. integrifolium*, f. GD-5; 10 – *S. perfoliatum*, cv. Peremozhets;
 11 – *S. integrifolium*, cv. Yuvileinyi-90; 12 – *S. asperrimum*; 13 – *S. integrifolium*, f. LPL-4; 14 – *S. trifoliatum* × *S. integrifolium*, f. VR; 15 – *S. integrifolium*, f. GKR-1; 16 – *S. perfoliatum*, f. PP-2; 17 – *S. perfoliatum*, cv. Bogatyr;
 18 – *S. perfoliatum*, f. LA; 19 – *S. integrifolium* × *S. perfoliatum*; 20 – *S. trifoliatum*

Найвищий рівень теплоємності на одиницю кількості фітосировини забезпечили генотипи *S. perfoliatum*, ПП-1; *S. trifoliatum* × *S. integrifolium* та *S. integrifolium*.

Умови вегетації суттєво впливають на рівень теплоємності рослин. За інших умов фітосировина досліджуваних рослин роду *Silphium* на кінець вегетації характеризувалася значно вищою енергетичною цінністю, ніж у попередньому випадку (рис. 3.29).

Значна частина зразків (7 з 11) мали теплоємність фітомаси понад 4000 ккал/кг. Найвища енергетична цінність визначена в сортів Богатир та Переможець і в середньорослої форми сільфію пронизанолистого.

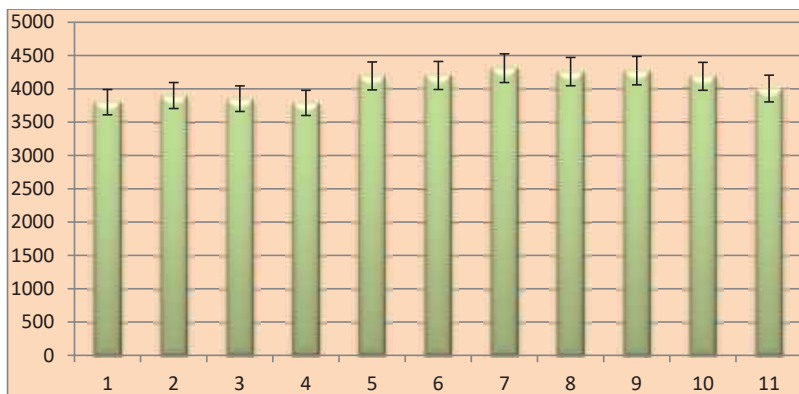


Рис. 3.29. Енергетична цінність рослин роду *Silphium* у фазу досягання насіння

- 1 – Сильфій суцільнолистий, с. Ювілейний-90; 2 – С. суцільнолистий, ф. ЕБСФС; 3 – С. суцільнолистий, ф. розгалужена; 4 – С. трилистий × с. суцільнолистий; 5 – С. часточковий, ф. 1; 6 – С. часточковий, ф. 2; 7 – С. пронизанолистий, с. Богатир; 8 – С. пронизанолистий, с. Переможець; 9 – С. пронизанолистий, ф. середньоросла; 10 – С. пронизанолистий × с. суцільнолистий; 11 – С. шорсткий

Таким чином, у результаті проведення морфометричних аналізів рослин генотипів *Silphium* spp. виявлено, що варіабельність досліджуваних параметрів становила від 20,69 (ширина суцвіття) до 49,57 (маса листків)%. Найсильніша позитивна кореляція спостерігалася між діаметром стебла та надземною масою ($r = 0,899$) і масою стебла ($r = 0,907$); між довжиною та шириною листка ($r = 0,976$), між надземною масою та масою стебла ($r = 0,940$) і масою листків ($r = 0,805$). Установлені максимальні та мінімальні значення вмісту сухої речовини, золи та її компонентів. У період квітання, як слабкі та середні показники кореляції, були позитивними між сухою речовиною та іншими параметрами. Середня кореляція спостерігалася між золою та її компонентами в період квітання ($r = 0,450$, $r = 0,482$). У цілому, накопичення досліджуваних біохімічних компонентів залежало від генотипу рослин та періоду вегетації.

3.1.4. Продуктивний та енергетичний потенціал рослин роду *Silphium*

Проведено комплексну оцінку продуктивного, енергетичного та економічного потенціалу рослин роду *Silphium* за використання фітосировини для виробництва різних видів біопалива, залежно від видових, сортових особливостей та періоду розвитку різних генотипів (табл. 3.13).

Таблиця 3.13

Продуктивний та економічний потенціал рослин роду *Silphium* за використання фітосировини на біогаз залежно від видових та сортових особливостей у період квітування

Вид, сорт	Урожайність надземної маси, т/га	Вихід біогазу з фітосировини, м ³ /га	Загальна вартість біогазу з урожаю, тис.грн/га
Сильфій пронизанолистий, с. Канадчанка	116	17860	107,16
Сильфій пронизанолистий, с. Переможець	35	5880	35,28
Сильфій пронизанолистий, с. Богатир	125	20130	120,78
Сильфій суцільнолистий, с. Ювілейний-90	90	16380	92,28
Сильфій шорсткий	36	8570	51,42
Сильфій часточковий	72	12100	72,6
НІР ₀₅	1,66		

Визначено, що за найбільшою врожайністю надземної маси, потенційним виходом біогазу з фітосировини та його загальною вартістю, серед рослин роду *Silphium* у період квітування, вирізнялися сорти Канадчанка, Богатир сильфію пронизанолистого та с. Ювілейний-90 сильфію суцільнолистого.

З'ясовано, що окремі генотипи *Silphium* забезпечили високий вміст цукрів (13-17%) у фітосировині (табл. 3.14). Це дало можливість уперше оцінити потенціал продуктивності рослин за виходом біоетанолу (від 1330 до 5070 кг/га), як побічної продукції.

Установлено, що в період квітування рослин найвищий вихід біоетанолу з фітосировини та його загальну вартість з урожаю забезпечили сорти Канадчанка, Богатир сильфію пронизанолистого.

У цей період усі досліджувані генотипи, крім сорту Переможець сильфію пронизанолистого, забезпечили понад 12 т/га виходу твердого палива, що робить їх потенційно перспективними рослинами для використання фітосировини в цій якості (табл.3.15).

Таблиця 3.14

Продуктивний та економічний потенціал рослин роду *Silphium* за використання побічної продукції на біоетанол залежно від видових та сортових особливостей в період квітування

Вид, сорт	Вміст сухої речовини у фітосировині, %	Вміст загальних цукрів у фітосировині, % на абс.сух.реч.	Вихід біоетанолу з фітосировини, кг/га	Загальна вартість біоетанолу з урожаю, тис.грн/га
Сильфій пронизанолистий, с. Канадчанка	22	13	3600	187,2
Сильфій пронизанолистий, с. Переможець	24	16	1330	69,16
Сильфій пронизанолистий, с. Богатир	23	17	5070	263,64
Сильфій суцільнолистий, с. Ювілейний-90	26	7,0	1500	78,00
Сильфій шорсткий	34	13	1120	58,24
Сильфій часточковий	24	9	1550	8,1

Таблиця 3.15

Продуктивний, енергетичний та економічний потенціал рослин роду *Silphium* за використання фітосировини на тверде паливо залежно від видових та сортових особливостей в період квітування

Вид, сорт	Вихід твердого біопалива, т/га	Теплоємність фітосировини, ккал/кг	Вихід енергії з фітосировини, Гкал/га	Загальна вартість твердого біопалива з урожаю, тис.грн/га
Сильфій пронизанолистий, с. Канадчанка	25,52	3253	83,02	153,12
Сильфій пронизанолистий, с. Переможець	8,4	3401	28,57	50,40

Продовження табл. 3.15

Сильфій пронизанолистий, с. Богатир	28,75	3323	95,54	172,50
Сильфій суцільнолистий, с. Ювілейний-90	23,4	3565	83,42	140,40
Сильфій шорсткий	12,24	3398	41,59	73,44
Сильфій часточковий	17,28	3608	62,35	103,68

Високопродуктивні зразки рослин відзначилися найбільшим виходом енергії з фітосировини (83,02-95,54 Гкал/га) та загальною вартістю з урожаю твердого біопалива (153,12-172,50 тис.грн/га).

З проходженням фази розвитку змінювалися, як урожайні дані, так і продуктивні показники рослин роду *Silphium*, за виходом різних видів біопалива з основної та побічної продукції. У період плодоношення-достигання врожайність рослин, порівняно з попередньою фазою, дещо зменшується, але вихід твердого біопалива, навпаки, зростає за рахунок збільшення вмісту сухої речовини у фітосировині (табл.3.16).

Таблиця 3.16

Продуктивний, енергетичний та економічний потенціал рослин роду *Silphium* за використання фітосировини на тверде паливо, залежно від видових та сортових особливостей в період плодоношення-достигання

Вид, сорт	Урожайність надземної маси, т/га	Вихід твердого біопалива з фітосировини, т/га	Вихід енергії з фітосировини, Гкал/га	Загальна вартість твердого біопалива з урожаю, тис.грн/га
Сильфій пронизанолистий, с. Канадчанка	88	27,3	91,24	163,80
Сильфій пронизанолистий, с. Переможець	28,6	9,4	33,15	56,40
Сильфій пронизанолистий, с. Богатир	105	31,5	111,73	189,00

Продовження табл. 3.16.

Сильфій суцільнолистий, С. Ювілейний-90	76	28,9	102,94	173,40
Сильфій шорсткий	43,2	24,2	86,30	145,20
Сильфій часточковий	49,5	16,3	56,04	97,80
НІР ₀₅	1,27			

Як у період квітування, так і в кінці вегетації найбільша врожайність надземної маси, вихід енергії та твердого біопалива з фітосировини і його загальна вартість з урожаєм забезпечується в сортів Канадчанка, Богатир сильфію пронизанолистого та с. Ювілейний-90 сильфію суцільнолистого.

Вміст цукрів у фітосировині у цей період, порівняно з фазою квітування, значно зменшується (до 4,6-6,2%), крім сорту Богатир. Завдяки пізньостиглості цей сорт і на кінець вегетації забезпечує до 12% вміст загальних цукрів у фітосировині. Тому вихід біоетанолу та загальна його вартість були суттєво нижчими в більшості генотипів (табл.3.17). Лише сорт Богатир забезпечив високий вихід біоетанолу (3005 кг/га) та економічно обґрунтовану його вартість (156,26 тис.грн/га) у фазі технічної стиглості, що дозволяє розглянути використання побічної продукції зазначеного сорту для отримання біоетанолу.

Таблиця 3.17

Продуктивний та економічний потенціал рослин роду *Silphium* за використання побічної продукції на біоетанол, залежно від видових та сортових особливостей в період плодоношення-достигання

Вид, сорт	Вміст сухої речовини у фітосировині, %	Вміст загальних цукрів у фітосировині, % на абс.сух.реч.	Вихід біоетанолу з фітосировини, кг/га	Загальна вартість біоетанолу з урожаєм, тис.грн/га
Сильфій пронизанолистий, с. Канадчанка	31	4,6	965,0	50,18
Сильфій пронизанолистий, с. Переможець	33	6,8	464,0	24,13

Продовження табл. 3.17.

Сильфій пронизанолистий, с. Богатир	30	12	3005,0	156,26
Сильфій суцільнолистий, с. Ювілейний-90	38	5,1	924,0	48,05
Сильфій шорсткий	56	5,8	598,0	31,10
Сильфій часточковий	33	6,2	732,0	38,06

У період плодоношення-достигання більшість досліджуваних зразків сильфію можна розглянути як перспективні сировинні рослини для виробництва біогазу. Унаслідок високого виходу сухої речовини, у цей період вихід біогазу, порівняно з фазою квітування, був вищий (табл.3.18).

Таблиця 3.18

Продуктивний та економічний потенціал рослин роду *Silphium* за використання фітосировини на біогаз, залежно від видових та сортових особливостей в період плодоношення-достигання

Вид, сорт	Вихід біогазу з фітосировини, м ³ /га	Загальна вартість біогазу з урожаю, тис.грн/га
Сильфій пронизанолистий, с. Канадчанка	19100	114,6
Сильфій пронизанолистий, с. Переможець	6600	39,6
Сильфій пронизанолистий, с. Богатир	22100	132,6
Сильфій суцільнолистий, с. Ювілейний-90	20200	121,2
Сильфій шорсткий	16900	101,4
Сильфій часточковий	11400	68,4

Крім сорту Переможець, усі інші види та сорти *Silphium* забезпечили понад 11 тис.м³/га вихід біогазу, що вважається достатньо високим показником. Серед зразків найвищий вихід біогазу та загальну його

вартість мали сорти Богатир, Канадчанка сільфію пронизанолистого та с. Ювілейний-90 сільфію суцільнолистого.

Таким чином, унаслідок виконання досліджень за проектом мобілізовано і виведено нові генотипи високопродуктивних багаторічних трав'яних рослин (видів роду *Silphium* – 35 зразків) перспективних для біопаливної галузі.

Проведена комплексна оцінка біолого-екологічного, адаптивного, урожайного, біохімічного та продуктивного потенціалу нових генотипів рослин *Silphium* для розробки альтернативних джерел біопалива першого і другого поколінь. Надано оцінку технологічним властивостям, якісним параметрам рослин та потенційному виходу твердого біопалива, біогазу і біоетанолу з фітосировини. Визначено теплоємність біопалива, енергетичну та економічну цінність перспективних генотипів.

Установлено, що за основними ростовими, урожайними та продуктивними показниками рослини сільфію забезпечують високі параметри. Серед досліджуваних зразків *Silphium* за врожайністю фітосировини, за виходом основної та побічної продукції (твердого палива – до 27-32 т/га, біогазу – до 19-22 тис.м³/га та біоетанолу – до 3600-5070 кг/га) і за їх енергетичною (до 114-133 Гкал/га) та економічною цінністю (до 188-264 тис.грн/га), як у період квітання, так і в плодоношення-достигання відзначилися сорти Богатир та Канадчанка сільфію пронизанолистого і с. Ювілейний-90 сільфію суцільнолистого. У цілому створена в НБС генотипова база сільфію дозволяє розглядати цю культуру, як перспективне джерело біопалива в Україні, за використання фітосировини для виробництва біогазу, твердого біопалива і побічної продукції – для отримання біоетанолу.

3.2. Біологічний, енергетичний та продуктивний потенціал рослин роду *Paulownia*

До нових малопоширених швидкорослих деревних рослин, які представляють зацікавленість для використання фітосировини як біопаливний матеріал відноситься павловнія. У відділі культурної флори НБС імені М. М. Гришка НАН України розпочато формування колекційного фонду високопродуктивних форм рослин роду *Paulownia* (табл. 3.19, рис.3.30, 3.31).

Таблиця 3.19

Генофонд представників роду *Paulownia* зібраних у колекційному фонді відділу культурної флори НБС імені М.М.Гришка НАН України

Назва таксону	
латинська	українська
PAULOWNIACEAE	ПАВЛОВНІЄВІ
<i>Paulownia tomentosa</i> (Thunb.) Steud., f. PB	Павловнія повстяна, ф. ПБ
<i>Paulownia tomentosa</i> (Thunb.) Steud., f. PO	Павловнія повстяна, ф. ПО
<i>Paulownia tomentosa</i> (Thunb.) Steud., f. <i>in vitro</i>	Павловнія повстяна, ф. <i>in vitro</i>
<i>Paulownia tomentosa</i> (Thunb.) Steud., f. Gl.U	Павловнія повстяна, ф. ГЛУ
<i>Paulownia tomentosa</i> (Thunb.) Steud., f. PU	Павловнія повстяна, ф. ПУ
<i>Paulownia tomentosa</i> (Thunb.) Steud., f. PSA	Павловнія повстяна, ф. ПСА
<i>Paulownia tomentosa</i> (Thunb.) Steud., f. PL	Павловнія повстяна, ф. ПЛ



Колекційна ділянка рослин роду *Paulownia*



Paulownia tomentosa, f. Gl.U



Paulownia tomentosa, f. in vitro



Paulownia tomentosa, f. PO

Рис. 3.30. Генотипова колекція високопродуктивних форм роду *Paulownia*



Масові сходи *Paulownia tomentosa*

Paulownia tomentosa (Thunb.) Steud. - павловнія повстяна



Рис. 3.31. Представники роду *Paulownia* в різні періоди розвитку (від масових сходів до плодоношення)

Результати експериментальних досліджень 7 генотипів *Paulownia tomentosa* Steud. в умовах північної частини Правобережного Лісостепу України свідчать про те, що рослини різних форм суттєво вирізняються за морфометричними, біохімічними, урожайними, продуктивними та енергетичними показниками залежно від походження вихідного матеріалу (рис. 3.32).



Рис. 3.32. Різні форми *Paulownia tomentosa* в період осінньої вегетації (ІІ декада вересня)

Висота рослин за перший рік вегетації досягає 120-130 см (до 170). У багаторічних рослин річний приріст становить 200-270 (інколи понад 500) см. Висота підмерзання головного пагону може становити 40-60 см (рис. 3.33, 3.34).

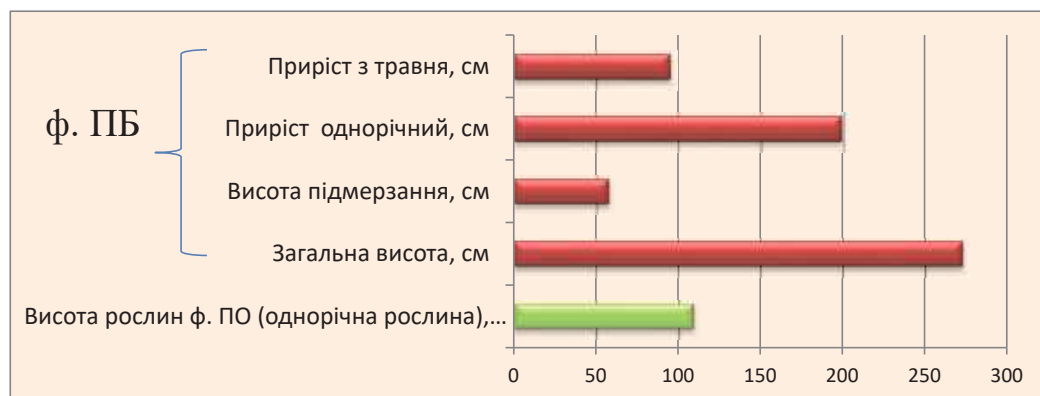


Рис. 3.33. Висота рослин *Paulownia* першого та другого року вегетації



Рослини *Paulownia tomentosa* Steud. на початку відновлення вегетації (другий рік життя, III декада квітня)



Рослини *Paulownia tomentosa* Steud. у період зимового спокою

Рис. 3.34. Рослини *Paulownia tomentosa* Steud. на початку відновлення вегетації (другий рік життя, III декада квітня) та в період зимового спокою

Установлено, що за висотою рослин *Paulownia tomentosa* Steud., серед досліджуваних форм, найкращими виявилися ф. ПН, ф. ПЛ та ф.ПО. Ці ж форми рослин (крім ф.ПО) відзначилися і найдовшими гілками (рис. 3.35).

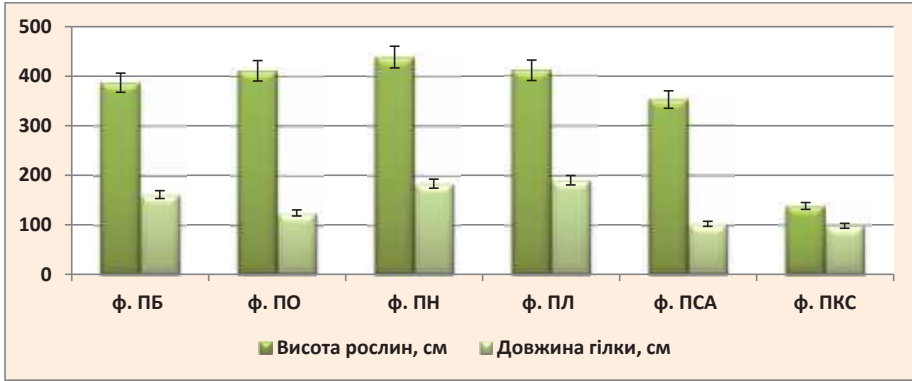


Рис. 3.35. Висота та довжина середньої гілки рослин *Paulownia tomentosa* Steud. залежно від формових особливостей

Кількість міжвузлів на стеблі різних форм рослин *Paulownia* в кінці вегетації змінюється від 6 до 15.

Діаметр однорічних пагонів сягає 1,8-2,0 см, п'ятирічних – 3,5-6,0 см. Окремі форми однорічних рослин забезпечують до 2,0 см діаметра стебла за вегетаційний період.

За роками вегетації рослин діаметр однорічних пагонів *Paulownia*, порівняно з одно- та дворічними рослинами значно збільшується. За цих умов найбільшим діаметром стовбура характеризувалися рослини *Paulownia tomentosa* ф. ПН, ф. ПЛ та ф.ПО (рис. 3.36, 3.37). Найменшою висотою рослин, довжиною гілки та діаметром стовбура вирізнялася форма ПКС.



Рис. 3.36. Діаметр стовбура рослин *Paulownia tomentosa* Steud. залежно від формових особливостей



Рис. 3.37. Зразки частин пагону різних форм рослин *Paulownia tomentosa*

Визначено, що найбільшу довжину та ширину листової пластинки і розмір черешка мають рослини *Paulownia tomentosa* Steud. ф. ПКС та ф.ПО, найменшу – ф.ПКС (рис. 3.38, 3.39).

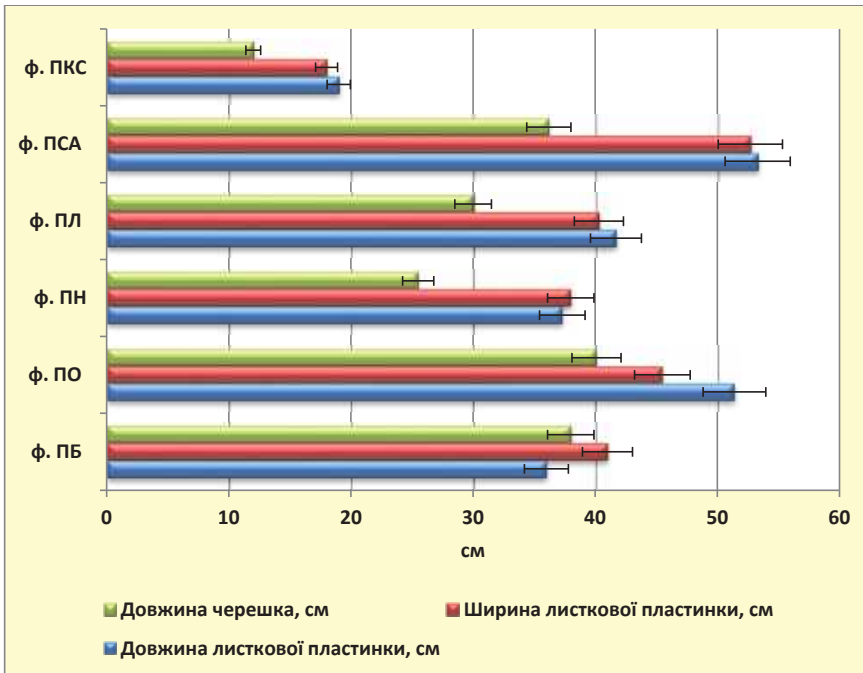
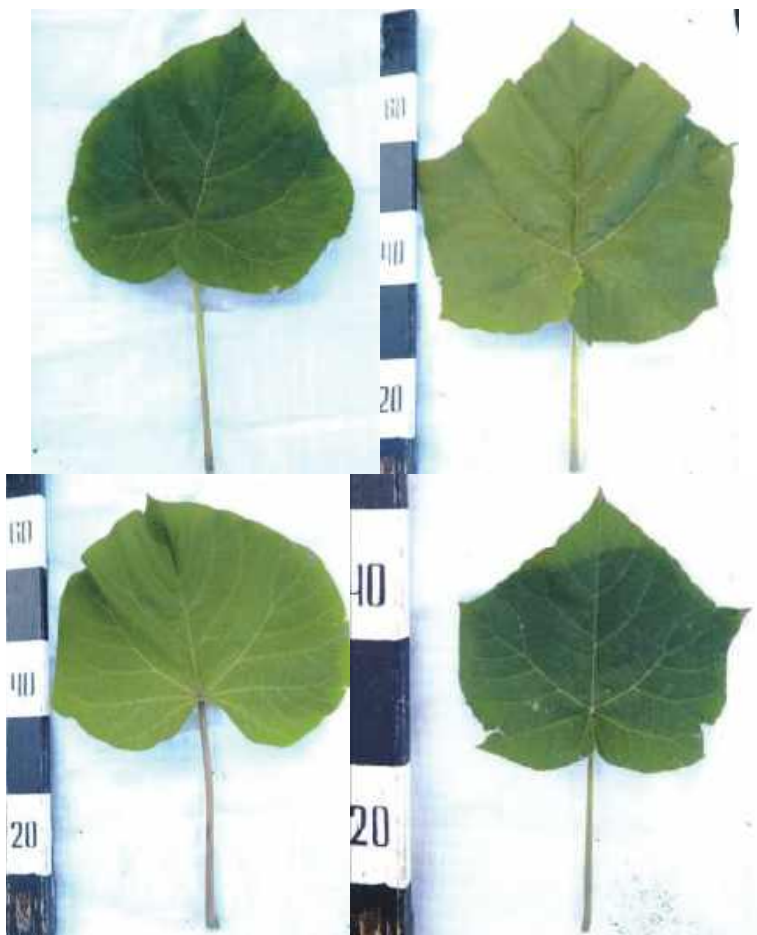


Рис. 3.38. Морфометричні показники листків рослин *Paulownia tomentosa* Steud. залежно від формових особливостей



Різноманіття форм листків *Paulownia tomentosa* залежно від форми в період літньої вегетації

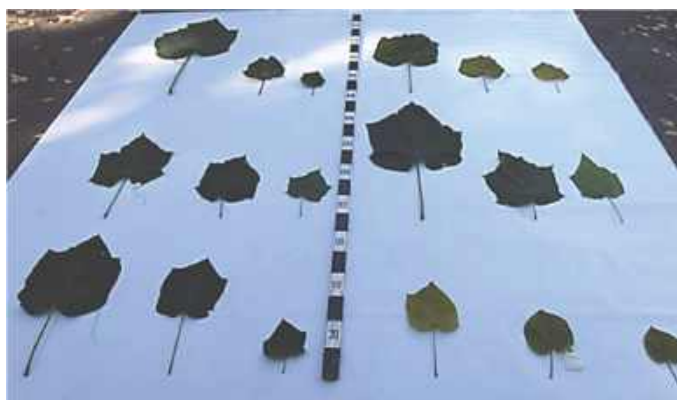


Рис. 3.39. Листки різних форм рослин *Paulownia tomentosa* Steud. в період осінньої вегетації

Серед досліджуваних форм найбільшою надземною масою рослин *Paulownia tomentosa* Steud. відзначилися ф.ПО, ф.ПН та ф. ПСА, найменшою – ф. ПКС (рис. 3.40, 3.41).

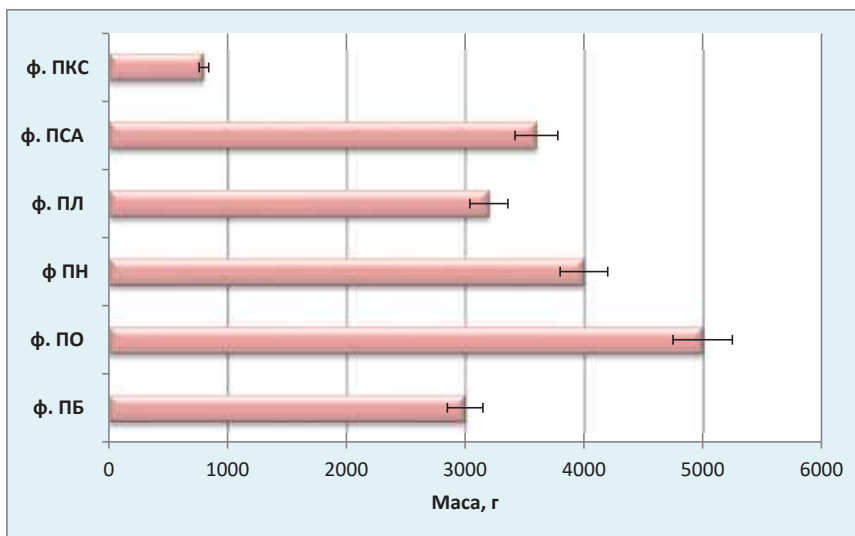


Рис. 3.40. Надземна маса рослин *Paulownia tomentosa* Steud. залежно від формових особливостей



Рис. 3.41. Надземна маса різних форм рослин *Paulownia tomentosa*

На польових дослідках (ДСГВ НАН України «Глеваха») рослини павловнії забезпечили високі ростові та продуктивні показники (табл.3.20).

Таблиця 3.20

Ростові показники та продуктивність однорічних пагонів *Paulownia* на багаторічних ділянках, за умов щорічного відчуження надземної маси (ДСГВ НАН України «Глеваха»)

Форма <i>Paulownia</i>	Середня висота пагону, см	Діаметр стовбура, мм	Маса середнього пагону, г	Середня маса пагонів із рослини, г
<i>Paulownia</i> , ф.ПО	344±8,5	59±3,3	1650±25,5	4950,0
<i>Paulownia</i> , ф.ПБ	330 ±6,1	50±2,0	2590±30,70	7770,0

Результати порівняльних досліджень двох форм (ф.ПО і ф.ПБ) свідчать про те, що на багаторічних ділянках рослини після третього року життя за щорічним відчуженням надземної маси формують до 3 пагонів з середньою висотою 330-344 см, діаметром стовбура в основі 50-59 мм, масою середнього пагону 1650-2590 г та середньою масою пагонів з рослини 4950-7770 г. Незважаючи на те, що за ростовими показниками перевищував форма ПО, а за продуктивністю пагонів – переважала форма *Paulownia* ПБ.

Найбільшим вмістом сухої речовини характеризувалися стовбури та гілки рослин *Paulownia tomentosa* ф. ПЛ і ф. ПБ і листки ф. ПСА (рис. 3.42).

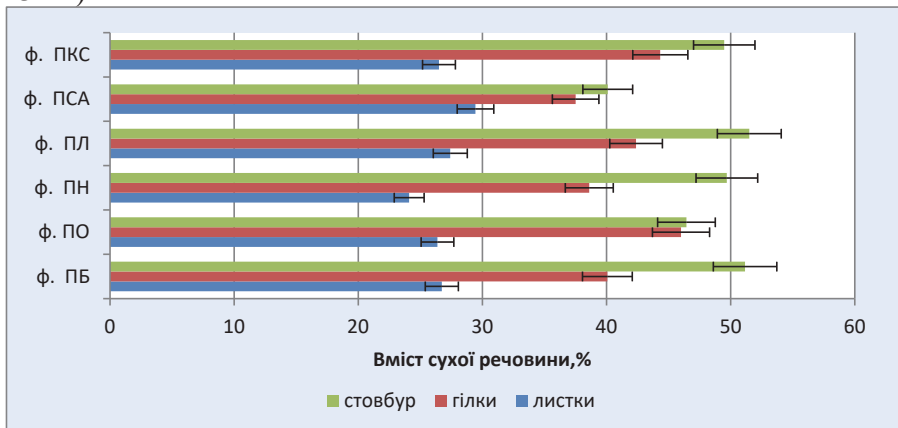


Рис. 3.42. Вміст сухої речовини в рослин *Paulownia tomentosa* залежно від формових особливостей

Досить значущим показником є вміст ліпідів у фітосировині рослин *Paulownia tomentosa*. Результати біохімічних аналізів свідчать про те, що окремі частини рослин (насамперед листки та молоді пагони) є важливим джерелом ліпідів. Це може бути цінним побічним продуктом, який забезпечуватиме біопаливна сировина рослин павлонії. Найвищий вміст ліпідів у листках рослин виявився у ф. ПБ, у гілках – ф.ПО та в стовбурах – ф. ПН (рис.3.43).

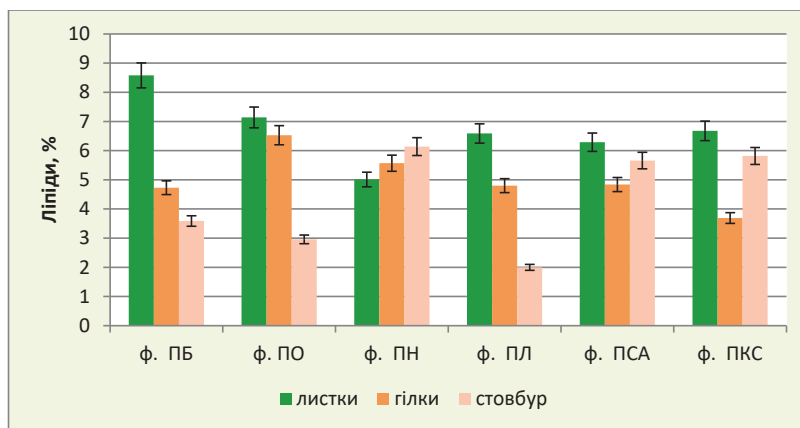


Рис. 3.43. Вміст ліпідів у рослин *Paulownia tomentosa* залежно від формових особливостей

Цікаві дані були отримані за результатами аналізу вмісту цукрів в рослинах *Paulownia tomentosa*, де цей показник в окремих зразках перевищував 20%. Найвищим вмістом цукрів у стовбурах рослин характеризуються форми ф. ПСА та ф. ПБ, у гілках – ф. ПЛ і ф. ПСА, у листках – ф. ПКС (рис.3.44).

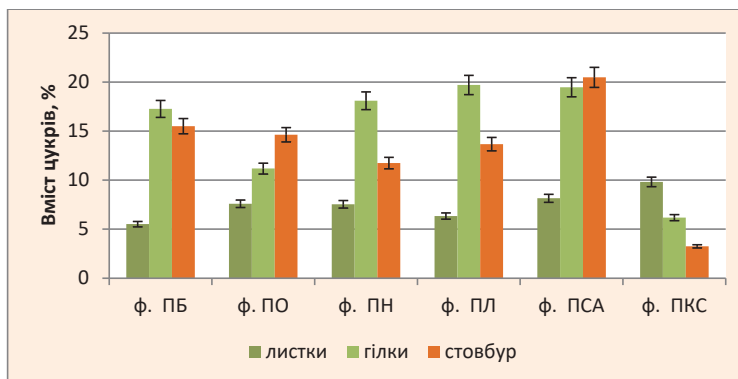


Рис. 3.44. Вміст цукрів у рослин *Paulownia tomentosa* залежно від формових особливостей

За енергетичною цінністю різні органи рослин *Paulownia tomentosa* були близькі. Серед досліджуваних форм найбільшою теплоємністю стовбурів та гілок характеризувалися рослини ф. ПКС, листків – ф. ПЛ (рис. 3.45).

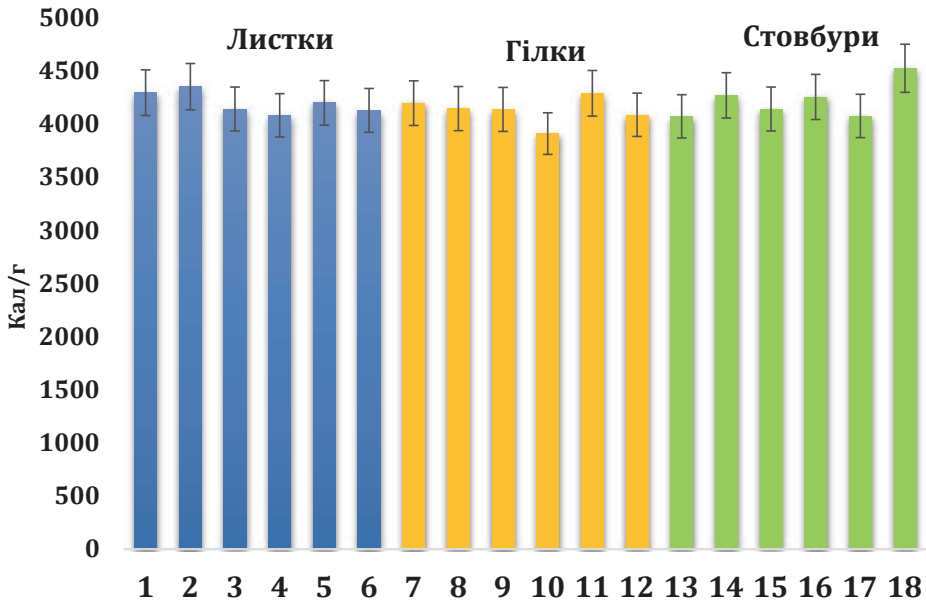


Рис. 3.45. Енергетична цінність різних органів рослин *Paulownia tomentosa* залежно від формових особливостей листки – 1 (ф. ПСА); 2 (ф. ПЛ); 3 (ф. ПБ); 4 (ф. ПН); 5 (ф. ПО); 6 (ф. ПКС); гілки – 7 (ф. ПСА); 8 (ф. ПЛ); 9 (ф. ПН); 10 (ф. ПО); 11 (ф. ПКС), 12 (ф. ПБ); стовбури – 13 (ф. ПО); 14 (ф. ПН); 15 (ф. ПЛ); 16 (ф. ПЛ); 17 (ф. ПСА); 18 (ф. ПКС)

Унаслідок проведених досліджень здійснено комплексну оцінку зі встановлення продуктивного, енергетичного та економічного потенціалу форм рослин *Paulownia* за використання фітосировини для виробництва різних видів біопалива.

Для визначення продуктивного потенціалу різних форм *Paulownia*, надземну фітомасу відщували щорічно, відповідно до технологічних регламентів використання сировини на біопаливні цілі, починаючи з другого-третього року життя рослин. За використання фітосировини на тверде біопаливо визначені, серед досліджуваних, форми забезпечили достатньо високу продуктивність на рівні 14,23-20,52 т/га, що свідчить про перспективність рослин для вирощування в умовах центральної та північної частини України (табл. 3.21, рис. 3.46).

Таблиця 3.21

**Продуктивний, енергетичний та економічний потенціал
перспективних форм рослин *Paulownia* за використання
фітосировини на тверде паливо**

Форма <i>Paulownia</i>	Вихід твердого біопалива з фітосиро- вини, т/га	Теплоєм- ність біопалив- ва, ккал/кг	Вихід енергії з фітосиро- вини за використан- ня на тверде біопаливо, Г кал/га	Загальна вартість твердого біопалива з урожаю, тис.грн/га
<i>Paulownia</i> , ф.ПБ	20,52	4129	77	123,12
<i>Paulownia</i> , ф.ПСА	14,23	4137	53	85,38
<i>Paulownia</i> , ф.ПН	16,17	4264	63	97,02
<i>Paulownia</i> , ф.ПО	17,71	4157	67	106,26

Високопродуктивні зразки рослин *Paulownia* відзначилися високим виходом енергії з фітосировини (53-77 Гкал/га) та загальною вартістю твердого біопалива (85,38-123,12 тис.грн/га). Найбільший вихід твердого біопалива, енергії з фітопродукції та вартості палива забезпечили генотипи *Paulownia* ф.ПБ і ф.ПО.



Рис. 3.46. Зразки фітосировини і паливних пелет *Paulownia*

У період проведення дослідження сировина рослин різних генотипів *Paulownia* характеризувалася високим вмістом сухої речовини (45-49%) та цукрів (11,13-16,03% на абс.сух.реч.) (табл.3.22).

Таблиця 3.22

**Продуктивний, енергетичний та економічний потенціал
перспективних форм рослин *Paulownia* за використання
фітосировини на біоетанол**

Форма <i>Paulownia</i>	Вміст сухої речовини у фітоси- ровині, %	Вміст загальних цукрів у фітосировині, % на абс.сух.реч.	Вихід біоетанолу з фітосиро- вини, кг/га	Загальна вартість етанолу з урожаю, тис.грн/га
<i>Paulownia</i> , ф.ПБ	48	12,76	6220	323,44
<i>Paulownia</i> , ф.ПСА	45	16,03	4310	224,12
<i>Paulownia</i> , ф.ПН	49	12,43	4900	254,80
<i>Paulownia</i> , ф.ПО	46	11,13	5370	279,24

Найвищим виходом сухої речовини вирізнялася форма *Paulownia* ПН, за цукристістю – ф.ПСА. Це дозволило забезпечити високий вихід біоетанолу (4310-6220 кг/га) з фітосировини *Paulownia* та загальну його вартість (224,12-323,44 тис.грн/га) з урожаю. За продуктивністю біоетанолу та економічною цінністю високі показники мали зразки *Paulownia* ф.ПБ та ф.ПО.

У період активної вегетації та накопичення рослинами достатньої кількості фітомаси за рахунок річного приросту (липень-серпень), *Paulownia* є важливим джерелом для використання фітосировини на біогаз (табл. 3.23).

Таблиця 3.23

**Продуктивний, енергетичний та економічний потенціал
перспективних форм рослин *Paulownia* за використання
фітосировини на біогаз**

Форма <i>Paulownia</i>	Вихід сухої речовини з фітосировини, т/ га	Вихід біогазу з фітосиро- вини, м ³ /га	Загальна вартість біогазу з урожаю, тис.грн/га
<i>Paulownia</i> , ф.ПБ	18,65	13050	78,30
<i>Paulownia</i> , ф.ПСА	12,94	9060	54,36
<i>Paulownia</i> , ф.ПН	14,7	10300	61,80
<i>Paulownia</i> , ф.ПО	16,1	11300	67,80

У цей період рослини накопичують велику кількість сухої речовини – 14,7-18,65 т/га, що дозволяє забезпечити високий вихід біогазу (9060-13050) та його вартість з урожаю – 54,36-78,30 тис.грн/га. Значним продуктивним, енергетичним та економічним потенціалом за використання фітосировини на біогаз характеризувалися зразки *Paulownia* ф. ПБ і ф. ПО.

За комплексної оцінки ефективності введення в культуру *Paulownia* в Україні важливе значення має, поряд з аналізом продуктивності та ефективності використання фітосировини для виробництва різних видів біопалива, також урахування можливості отримання зиску з переробки побічної продукції. Зважаючи на цінний біохімічний склад рослин цієї продукцією виявилися ліпіди та цукри (табл. 3.24).

Таблиця 3.24

Урожайність надземної маси та вихід ліпідів і цукрів з побічної продукції фітосировини перспективних форм рослин *Paulownia*

Форма <i>Paulownia</i>	Урожайність надземної маси, т/га	Вихід ліпідів, кг/га	Вихід цукрів з фітосировини, кг/га
<i>Paulownia</i> , ф.ПБ	38,85	1050	2380
<i>Paulownia</i> , ф.ПСА	28,75	730	2080
<i>Paulownia</i> , ф.ПН	30,0	820	1830
<i>Paulownia</i> , ф.ПО	35,0	890	1790

Досліджені форми *Paulownia* забезпечили найбільшу врожайність надземної маси (28,75-38,85 т/га), вихід ліпідів (730-1050 кг/га) та цукрів (1790-2380 кг/га) з фітосировини. За зазначеними показниками найпродуктивнішим виявився зразок ф.ПБ. Серед інших, за урожайністю надземної маси та виходом ліпідів відзначилася форма ПО, а за виходом цукрів – форма ПСА.

Таким чином, в наслідок виконання досліджень, мобілізовано і виведено нові форми павловнії (7 зразків) перспективних для біопаливної галузі в Україні.

Проведена комплексна оцінка біолого-екологічного, адаптивного, урожайного, біохімічного та продуктивного потенціалу нових перспективних форм рослин павловнії для розробки альтернативних джерел біопалива першого і другого поколінь. Надано оцінку технологічним властивостям, якісним параметрам рослин та потенційному виходу твердого біопалива, біогазу і біоетанолу з фітосировини рослин

павловнії, а також побічної продукції. Визначено теплоємність біопалива, енергетичну та економічну цінність перспективних генотипів. Проведено оцінку можливостей підвищення якості пелет з фітомаси.

Встановлено, що за основними ростовими, урожайними та продуктивними показниками перспективні форми рослин павловнії забезпечують високі параметри. Серед досліджуваних форм *Paulownia tomentosa* за висотою рослин, довжиною середніх гілок та діаметром стовбуру найкращими виявилися ф. ПН і ф. ПЛ. Найбільшу довжину та ширину листової пластинки і розмір черешка мають рослини ф. ПКС та ф. ПО. Великою надземною масою рослин відзначилися ф. ПО, ф. ПН та ф. ПСА.

Визначено, що найбільшим вмістом сухої речовини характеризувалися стовбури та гілки форм рослин *Paulownia tomentosa* ф. ПЛ і ф. ПБ та листки – ф. ПСА. Виявлено, що окремі частини рослин (насамперед листки та молоді пагони) є важливим джерелом ліпідів. Найвищий їх вміст у листках рослин виявився у ф. ПБ, у гілках – ф. ПО та в стовбурі – ф. ПН. Високим вмістом цукрів у стовбурах рослин характеризуються форми ф. ПСА та ф. ПБ, у гілках – ф. ПЛ і ф. ПСА, у листках – ф. ПКС. Найбільшою теплоємністю стовбури та гілок відзначилися рослини ф. ПКС, листків – ф. ПЛ.

Установлено продуктивний, енергетичний та економічний потенціал окремих форм *Paulownia* за використання фітосировини для виробництва різних видів біопалива. Серед досліджуваних перспективних зразків павловнії за урожайністю фітосировини (28,75-38,85 т/га), за виходом основної та побічної продукції (твердого палива – 17,71-20,52 т/га, біогазу – 11300-13050 м³/га та біоетанолу – 5370-6220 кг/га) і за їх енергетичною (67-77 Гкал/га) та економічною цінністю (106,26-123,12 тис.грн/га за використання на тверде паливо, 279,24-323,44 – на біоетанол та 67,80-78,3 тис.грн/га – на біогаз) відзначилися найперспективніші зразки *Paulownia* ф. ПБ і ф. ПО.

У цілому, створена в НБС генотипова база рослин *Paulownia* надає можливість розглянути цю культуру як перспективне джерело біопалива в Україні за використання фітосировини для виробництва твердого біопалива, біоетанолу та біогазу.

РОЗДІЛ 4.

ОЦІНКА РОСТОВИХ І БІОПАЛИВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШВИДКОРОСЛИХ ДЕРЕВНИХ РОСЛИН РОДУ *POPULUS* ТА *SALIX* ДЛЯ СТВОРЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПЛАНТАЦІЙ

Пошук клонів швидкорослих дерев, придатних для ефективного виробництва біомаси, є важливим в Україні, де короткоротаційні деревні плантації лише повільно починають запроваджуватися. У зв'язку з цим нами проведено попередній скринінг ряду клонів тополь та верб, доступних в Україні, щодо придатності їх для вирощування в короткоротаційних плантаціях. Основними критеріями оцінки одно- та дворічних дерев були ростові і біопаливні характеристики та чутливість до патогенів.

Інтродукційно-селекційна ділянка швидкорослих дерев була створена в Національному ботанічному саду НАН України в Києві. Детальну інформацію щодо місця розташування, клімату, типу ґрунту на ділянці тощо наведено у табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Загальна характеристика дослідної ділянки в Національному ботанічному саду імені НАН України

Географічні координати	50°25'01.2"N, 30°33'25.2"E
Висота (м)	100-200 м
Тип ґрунтів	Темно-сірі підзолисті
pH	6,5-7,0
Вміст гумусу в ґрунті, %	2,4-2,6
Середньорічна температура (°C)	8,4
Середня температура протягом вегетаційного періоду (°C)	16,3
Середня кількість днів з t нижче 0°C	100-120
Кількість річних опадів (мм)	580-590
Кількість опадів протягом вегетаційного періоду (квітень-вересень) (мм)	350-370
Попереднє використання ділянки	Дослідницька площа
Культури-попередники	Трави
Боротьба з бур'янами протягом першого року	Механічна

На ділянці було висаджено 19 клонів *Populus* та 10 клонів *Salix*. Більшість клонів є гібридами українського походження. Дані щодо походження клонів представлені в табл. 4.2. Усі агротехнічні заходи на

ділянці (внесення добрив, посадка, зрошення, боротьба з бур'янами тощо) проводились відповідно до загальноприйнятих практик.

Таблиця 4.2

Походження клонів тополь та верб

Назва клону	Види/Гібриди
	Тополь (<i>Populus</i>)
«Болле»	<i>Populus alba</i> var. “ <i>Bolleana</i> ” Lauche
«Дельтоподібна»	<i>P. deltoides</i> Marsh. ssp. <i>Monilifera</i> Henry (Торосова та ін., 2015)
«Гулівер»	<i>P. deltoides</i> Marsh. (вільне схрещування) (Патлай, Руденко, 1990)
«Волосистоплідна»	<i>P. trichocarpa</i> Torr. Et Gray (Торосова та ін., 2015)
«Тронко»	<i>P. × canadensis</i> (Патлай, Руденко, 1990)
«Градизька»	<i>P. nigra</i> L. × <i>P. deltoides</i> Marsh. (Патлай, Руденко, 1990)
«Робуста-16»	<i>P. nigra</i> × <i>P. deltoides</i> (Лось, 2013)
«Келібердинська»	<i>P. nigra</i> × <i>P. deltoides</i> (Патлай, Руденко, 1990)
«Канадська × бальзамічна»	<i>P. deltoides</i> Marsch. × <i>P. balsamifera</i> L (Торосова та ін., 2015)
«Китайська × пірамідальна»	<i>P. simonii</i> × <i>P. pyramidalis</i> (Старова, 1975)
«Стрілоподібна»	<i>P. deltoides</i> × <i>P. pyramidalis</i> (Старова, 1975)
«Перспективна»	<i>P. × canadensis</i> (Dode) Guinier cv. “ <i>Regenerata</i> ” × <i>P. lasiocarpa</i> Oliv. (Лось, 2013)
«Лубенська»	<i>P. pyramidalis</i> × <i>P. trichocarpa</i> (Старова, 1975)
«Ноктюрн»	<i>P. trichocarpa</i> × <i>P. lasiocarpa</i> Oliv. (Старова, 1975)
«Новоберлінська-3»	<i>P. pyramidalis</i> × <i>P. laurifolia</i> (Торосова та ін., 2015)
«Новоберлінська -7»	<i>P. pyramidalis</i> × <i>P. laurifolia</i> (Торосова та ін., 2015)
«Івантіївська»	<i>P. suaveolens</i> × <i>P. berolinensis</i> (Старова, 1975)
«Мобільна»	<i>P. trichocarpa</i> Torr. Et Gray × <i>P. × canadensis</i> (Лось, 2013)
«Слава України»	<i>P. nigra</i> cv. “ <i>Pyramidalis</i> ” (Лось, 2013)
	Верба (<i>Salix</i>)
«Лісова пісня»	<i>Salix alba</i> × <i>Salix fragilis</i> (Патлай, Руденко, 1990)
«Лукаш»	<i>S. alba</i> × <i>S. fragilis</i> (Патлай, Руденко, 1990)
«Мавка»	<i>S. alba</i> × <i>S. fragilis</i> (Патлай, Руденко, 1990)

Продовження табл. 4.2.

«Олімпійський вогонь»	<i>S. alba</i> × <i>S. fragilis</i> (Патлай, Руденко, 1990)
«Прибережна»	<i>S. alba</i> × <i>S. fragilis</i> (Патлай, Руденко, 1990)
«Печальна»	<i>S. alba</i> × <i>S. fragilis</i> (Патлай, Руденко, 1990)
«Верба на біомасу»	<i>Salix sp.</i> (Рахметов та ін., 2015)
«Вінницька»	<i>Salix sp.</i> (Рахметов та ін., 2015)
«Житомирська-1»	<i>Salix sp.</i> (Рахметов та ін., 2015)
«Житомирська -2»	<i>Salix sp.</i> (Рахметов та ін., 2015)

Живці довжиною 20–25 см і діаметром до 1,5 см висаджували рядами в травні. Упродовж вегетаційного періоду проводили обміри листків та оцінювали вразливість до патогенів клонів тополі та верби (табл. 4.3).

Таблиця 4.3

Обміри листків та вразливість до патогенів клонів тополі та верби

Клон/гібрид	Довжина листка, см	Ширина листка, см
1	2	3
«Болле»	8,1	9,1
«Дельтоподібна»	15,1	14,9
«Градизька»	9,5	14,1
«Гулівер»	17,1	18,1
«Івантїївська»	19,6	9,6
«Канадська × бальзамічна»	17,5	18,2
«Келібердинська»	10,2	11,2
«Китайська × пірамідальна»	10,4	7,1
«Лубенська»	13,7	10,2
«Мобільна»	16,4	14,6
«Ноктюрн»	23,1	16,5
«Новоберлінська-3»	13,1	10,1
«Новоберлінська -7»	15,1	11,5
«Перспективна»	17,1	16,1
«Робуста-16»	11,6	13,6
«Слава України»	9,1	12,1
«Стрілоподібна»	15,5	14,1
«Тронко»	18,4	17,1
«Волосистоплідна»	20,1	8,1
Середнє ± SE	14,8 ± 1,0	12,9 ± 0,8
Коефіцієнт варіації	28%	26%

Продовження табл. 4.3

«Лісова пісня»	11,4	3,1
«Лукаш»	9,4	2,9
«Мавка»	10,5	3,5
«Олімпійський вогонь»	10,3	2,6
«Прибережна»	11,3	2,7
«Верба на біомасу»	11,1	1,4
«Вінницька»	16,2	1,6
«Житомирська-1»	17,2	2,6
«Житомирська -2»	16,1	1,6
Середнє ± SE	12,6 ± 1,0	2,4 ± 0,3
Коефіцієнт варіації	24%	31%

Ростові параметри кожного клону вимірювали на 10 рослинах у жовтні–листопаді наприкінці першого та другого сезонів вегетації. Базальний діаметр стебла (D, см) вимірювали цифровим штангенциркулем для найтовщого пагону, а максимальну висоту пагона (H, м) – лінійкою. Довжину (ДЛ, см) і ширину листка (ШЛ, см) вимірювали лінійкою на листках головного пагона на рівні середнього пагона у вересні першого вегетаційного сезону. Для рейтингових оцінок розраховували листкові індекси (ЛІ, см²) як $ЛІ = ДЛ \times ШЛ$. Кількість пагонів на рослину (ПР) та зелену масу пагонів (ЗМ, г) визначали наприкінці вегетаційного сезону.

Зразки деревини збирали з основної, середньої та верхньої частин кожного стебла. Зразки, разом з корою, висушували, подрібнювали на лабораторному млині та гомогенізували шляхом ретельного перемішування. Теплотворну здатність (ТЗ, МДж/кг) визначали за допомогою калориметра (С200, ІКА, Німеччина). Зольність (ВЗ,%) визначали за спалюванням у муфельній печі (SNOL 7,2/1100, ThermoLab, Україна) при 300-700 °С протягом двох годин (Грицаєнко та ін., 2003). ВЗ оцінювали як масовий відсоток золи, що залишилася після спалювання зразків деревини. Вміст сухої речовини (ВСР,%) оцінювали після висушування зразків при 105 °С до досягнення постійної маси, у відсотках від сухої маси зразка до його зеленої маси.

Усі вітальні параметри (D, H, ПР, ДЛ та ШЛ) аналізували на десяти рослинах. Усі інші параметри (ЗМ, ТЗ, ВЗ та ВСР) оцінювали на зразках пагонів, відібраних із різних рослин.

Щоб оцінити загальний потенціал клонів для використання їх як біопалива, ростові (D, H, КП, ЛІ, ЗМ) та біопаливні характеристики (ТЗ, ВЗ і СР) протягом двох років вирощування ранжували, окремо для тополь (ранги 1–19) та верб (ранги 1–9). Усі параметри, за винятком вмісту золи,

були ранжовані на основі отриманих значень в порядку зростання (Mir et al., 2017).

У серпні щороку всі рослини перевіряли на наявність фітопатогенів. Клони були визначені як уражені (++, рейтинговий бал = 0), слабо уражені (+, рейтинговий бал = 1) або без ознак ураження (–, рейтинговий бал = 2) іржею тополі (ІТ) чи «відьминими мітлами» верби (ВМ).

Статистичну обробку результатів проводили засобами Microsoft Excel та OriginPro9 з використанням загальноприйнятих методів. Значення змінних виражали як середнє \pm стандартна помилка середнього (SE). Середні значення для всіх зразків розраховували окремо для тополь та верб, після чого порівнювали з кожною окремою змінною клону для статистичного аналізу. Для визначення клонів з вищими та нижчими значеннями параметрів порівняно із середніми рівнями, застосовували U-критерій Манна-Уїтні. Відмінності визначали як статистично достовірні при $p < 0,05$.

4.1. Ростові характеристики рослин тополь та верб

Відмінності в базальному діаметрі стебла були виявлені між клонами, а також між рослинами на першому та другому роках вегетації (рис. 4.1). Після першого року вирощування клони тополі «Канадська \times бальзамічна» мали максимальний діаметр, клон «Ноктюрн» також характеризувався значним діаметром стебла, а найнижчі значення мали клони тополі «Болле», «Градизька» та «Гулівер» (рис. 4.1А). Серед верб максимальний D зафіксовано у клону «Житомирська-1», високе значення виявлено й у клону «Вінницька» (рис. 4.1Б). Клони верб «Лукаш», «Мавка» та «Олімпійський вогонь» мали ще менший діаметр стебла, ніж тополі. Решта клонів не відрізнялися від середніх рівнів (рис. 4.1А, 4.1Б). Необхідно зазначити, що з цього моменту і надалі, якщо відзначаються відмінності між клонами та відповідними середніми рівнями, то вони є статистично значущими ($p < 0,05$).

Після другого року вирощування клони тополі «Канадська \times бальзамічна», «Волосистоплідна», «Перспективна» та «Івантіївська» досягали D понад 2,5 см. Найбільший діаметр серед верб виявлено у клону «Житомирська-1» ($D=2,13$ см). Найнижчі показники діаметра стебла – менше 1,3 см – виявлено у тополь «Болле», «Китайська \times пірамідальна» та «Градизька», а також у верб «Верба на біомасу» та «Олімпійський вогонь». Ранги за показниками діаметру різних клонів швидкорослих дерев представлені в табл. 4.4, 4.5.

Порівняння середніх сумарних діаметрів тополь та верб показало, що

тополі загалом мали більший діаметр, ніж верби як після першого, так і після другого років вирощування ($p < 0,01$, рис. 4.1А, 4.1Б).

Різниця в зростанні діаметра, швидше за все, може бути пов'язана з клоноювою мінливістю, як було раніше показано на кількох клонах тополь (Niemczyk et al., 2016). Однак клонова мінливість не завжди може бути очевидним фактором, іноді варіації більше залежать від умов довкілля (Lazdiņa et al., 2014). Властивості ґрунту також є фактором, який сильно впливає на продуктивність дерев (Fontana et al., 2016), однак в нашому дослідженні склад ґрунту в межах однієї ділянки слід прийняти як сталу умову.

Висота стебла. Наприкінці першого вегетаційного сезону середні сумарні показники висоти стебла тополі і верби були майже однаковими, проте вони статистично відрізнялися після другого року вегетації (рис. 4.1В, 4.1Г). В кінці першого сезону найбільшу висоту стовбура виявлено у тополі «Волосистоплідна», «Івантійська», «Новоберлінська-7» та «Канадська × бальзамічна» ($H=2,19 - 2,06$ м) та верби «Житомирська-1» і «Лісова пісня» ($H=2,38$ і $1,99$ м).

Найменшу висоту стебла виявлено у тополь «Китайська × пірамідальна», «Дельтоподібна», «Градизька» та «Болле» ($H=1,39-0,74$ м) і верб «Лукаш», «Олімпійський вогонь» ($H = 1,40$ і $1,31$ м). Після другого року вегетації клони тополі демонстрували подібні закономірності, коли ті ж самі чотири клони («Волосистоплідна», «Канадська × бальзамічна», «Новоберлінська-7» та «Івантійська») показали найбільший приріст ($H=4,43-3,69$ м). Так само, три з чотирьох клонів («Градизька», «Китайська × пірамідальна», «Болле») продемонстрували найнижчий показник ($H=2,04, 1,91, 1,11$ м, відповідно) і отримали найнижчі ранги за висотою стебла (табл. 4.4). Серед верб найвищими були рослини клону «Житомирська-1» ($H=4,12$ м), на другому місці – «Вінницька» ($H=3,16$ м).

Найнижчими серед верб були дерева клонів «Верба на біомасу» та «Олімпійський вогонь» ($H=1,94$ та $1,92$ м, відповідно). Таким чином, динаміка росту висоти у верб була більш різноманітною протягом обох років.

Такі відмінності в інтенсивності росту висоти, головним чином, пов'язані з клоноювою мінливістю, як було продемонстровано у дослідженнях з вербами (Фучило та ін., 2018). Однак в іншому експерименті в Латвії висота тополь більше залежала від року посадки та внесення добрив, ніж від клонового походження (Lazdiņa et al., 2014). Варіації також можуть бути пов'язані з різною чутливістю клонів до погодних умов, як було показано на молодих рослинах гібридної осики (Senhofa et al., 2018).

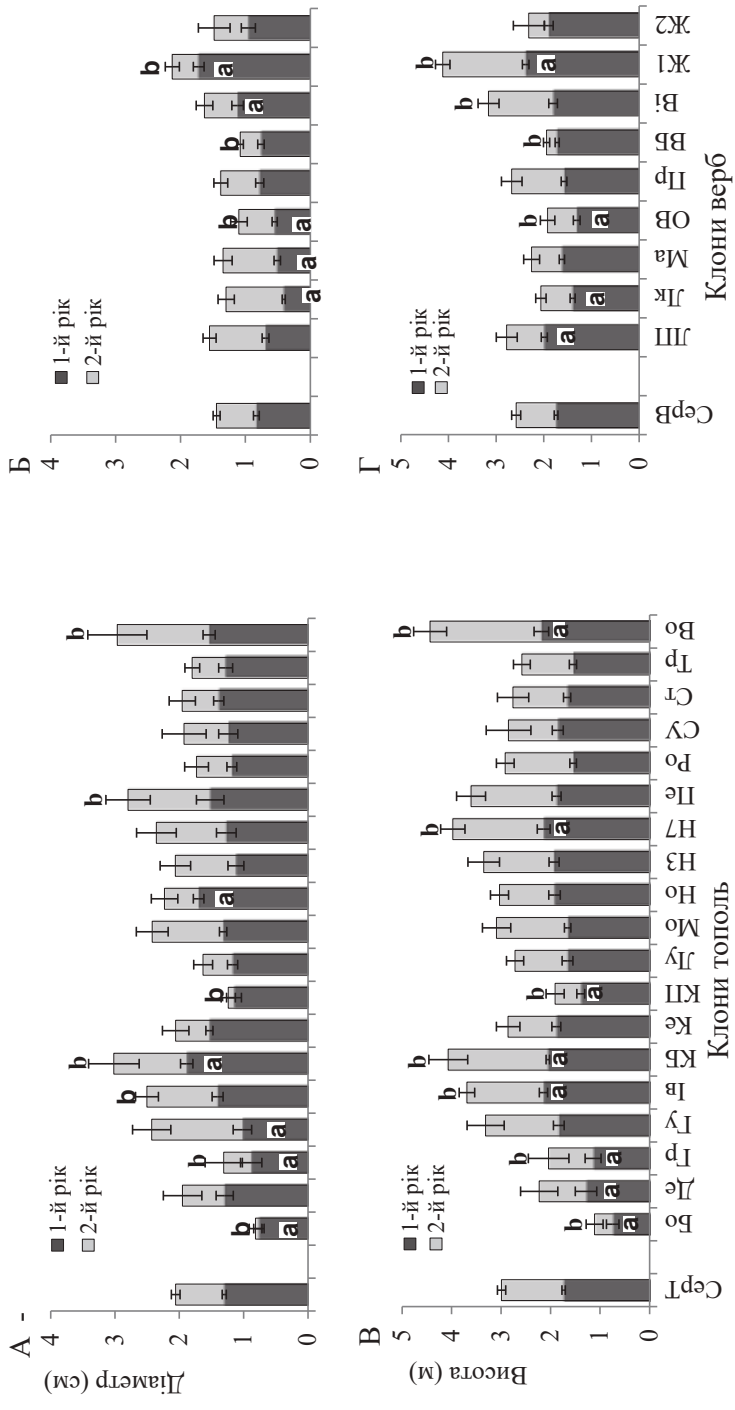


Рис. 4. 1. Діаметр та висота стебла у клонів тополь (А, В) і верб (Б, Г) у кінці першого та другого років вирощування. Примітки: клони показали достовірні відмінності в тесті Манна-Уїтні ($p < 0,05$) порівняно з середніми рівнями тополь (СерГ) і верб (СерВ) після першого (а) та другого (б) років вегетації. Клони тополь: Бо - Болле; Де - Дельтоподібна; Гр - Градзька; Гу - Гулівер; Ів - Івантївська; КБ - Канадська х бальзамічна; Ке - Келібердинська; КП - Китайська х пірамідальна; Лу - Лубенська; Мо - Мобільна; Но - Нокторн; НЗ - Новоберлінська-3; Н7 - Новоберлінська-7; Пе - Перспективна; Ро - Робуста-16; СУ - Слава України; Ст - Стрілоподібна; Тр - Тронко; Во - Волосистоплідна. Клони верб: ЛП - Лісова пісня; Лк - Лукаш; Ма - Мавка; ОВ - Олімпійський вогонь; Пр - Прибережна; ВБ - Вєрба на біомасу; Ві - Вінницька; Ж1 - Житомирська-1; Ж2 - Житомирська -2.

Таблиця 4.4

Ранжування ростових та біоалієвних характеристик клонів тополі

(D) базальний діаметр стебла; (H) висота стебла; (ПР) кількість пагонів на рослину; (ЗМ) зелена маса пагона; (ТЗ) тепловодна здатність деревини; (ВЗ) вміст золи; (ВСР) вміст сухої речовини; (ЛП) листковий індекс, розрахований як ЛП = ДЛ × ШЛ; (ІТ) ураженість клонів іржею тополі: вражені (бал 0), слабо вражені (бал 1) або без ознак ураження (бал 2); (а) – аналізи проводили в першому вегетаційному сезоні; (б) аналізи проводили в другому вегетаційному сезоні.

№	Клон/гібрид	D ^a	D ^b	H ^a	H ^b	ПР ^a	ЗМ ^a	ТЗ ^a	ВЗ ^a	ВСР ^a	ЛП ^a	ІТ ^b	Загальний бал	Загальний рейтинг
1	«Болле»	1	1	1	1	4	1	3	15	12	1	1	41	1
2	«Дельтоподібна»	11	8	3	4	13	7	2	7	10	13	0	78	7
3	«Градівська»	2	3	2	3	1	2	6	8	10	6	1	44	2
4	«Гулівер»	3	15	8	13	2	5	5	10	2	16	2	81	8
5	«Івантійська»	14	16	14	16	11	7	9	8	14	11	1	121	18
6	«Канадська × бальзамічна»	19	19	13	18	7	13	2	9	11	18	0	129	19
7	«Келбердинська»	16	10	10	9	14	15	3	4	4	4	0	89	11
8	«Китайська × пірамідальна»	5	2	4	2	5	7	7	11	7	2	2	54	3
9	«Лубенська»	6	4	6	6	10	7	8	3	13	7	0	70	5
10	«Мобільна»	12	14	6	12	2	9	6	13	7	14	0	95	13
11	«Нокторн»	18	12	11	11	6	6	11	6	5	19	1	106	15
12	«Новоберлінська-3»	4	11	12	14	1	12	7	14	3	5	0	83	10
13	«Новоберлінська -7»	9	13	14	17	6	10	1	10	1	10	0	91	12
14	«Перспективна»	15	17	10	15	2	3	9	12	9	15	0	107	16
15	«Робуста-16»	7	5	5	10	10	8	4	5	9	8	2	73	6
16	«Слава України»	8	7	9	8	9	10	2	2	8	3	1	67	4
17	«Стрілоподібна»	13	9	7	7	8	11	8	11	10	12	0	96	14
18	«Тронко»	10	6	5	5	12	14	5	1	6	17	1	82	9
19	«Волосистоплідна»	17	18	15	19	3	4	10	10	9	9	0	114	17

Таблиця 4.5

Ранжування ростових та біопаливних характеристик клонів верби.

(D) базальний діаметр стебла; (H) висота стебла; (ПР) кількість пагонів на рослину; (ЗМ) зелена маса пагона; (ТЗ) теплотворна здатність деревини; (ВЗ) вміст золи; (ВСР) вміст сухої речовини; (ЛП) листковий індекс, розрахований як $ЛП = ДЛ \times ШЛ$; (ВМ) ураженість клонів верби «відьминими мітлями»: вражені (бал 0), слабо вражені (бал 1) або без ознак ураження (бал 2); ^(a) – аналізи проводили в першому вегетаційному сезоні; ^(b) аналізи проводили в другому вегетаційному сезоні.

№	Клон/гібрид	D ^a	D ^b	H ^a	H ^b	ПР ^a	ЗМ ^a	ТЗ ^a	ВЗ ^a	ВСР ^a	ЛП ^a	ІТ ^b	Загальний бал	Загальний рейтинг
1	«Лісова пісня»	4	7	8	7	3	3	3	6	5	7	1	54	7
2	«Лукаш»	1	3	2	3	6	1	1	4	7	5	0	33	1
3	«Мавка»	2	4	4	4	2	4	5	5	4	8	2	44	5
4	«Олімп. вогонь»	3	2	1	1	9	5	4	2	6	4	0	37	2
5	«Прибережна»	6	5	3	6	4	3	2	1	1	6	1	38	3
6	«Верба на біомасу»	5	1	5	2	5	2	6	5	8	1	2	42	4
7	«Вінницька»	8	8	6	8	1	6	3	3	2	3	2	50	6
8	«Житомирська-1»	9	9	9	9	7	7	3	7	3	9	2	74	9
9	«Житомирська -2»	7	6	7	5	8	5	5	8	9	2	2	64	8

Кількість пагонів на рослину. Більшість клонів верби утворювали кілька пагонів, про що свідчить вища на 34% загальна кількість пагонів на рослину порівняно з тополями ($p < 0,01$). Нещодавнє дослідження інших авторів також показало, що клони верби відрізняються від тополі більшою кількістю пагонів (Stolarski et al., 2015), ймовірно, через слабше верхівкове домінування у верб (Liu et al., 2017).

Встановлено, що КП у клонів верб була в межах 1,2 – 2,3, а середній показник дорівнює $1,79 \pm 0,14$, тоді як у тополь діапазон (1,0 – 2,2) і середнє ($1,34 \pm 0,07$) є нижчими (рис. 4.2, 4.3). Коефіцієнт варіації середніх значень ПР був однаковим як у тополь, так і у верб, і становив 24%.

Як видно з рангів у табл. 4.4 і 4.5, клонами з найбільшою кількістю пагонів були тополі «Келібердинська», «Дельтоподібна» та «Тронко» і верби «Олімпійський вогонь», «Житомирська-2», «Житомирська-1» та «Лукаш». Найменша кількість пагонів на рослину (ПР=1) виявлена у тополь «Новоберлінська-3» та «Градиська». Серед верб найменшу кількість ПР спостерігали у клонів «Вінницька» та «Мавка» (ПР=1,2 та 1,3, відповідно, див.табл. 4.4, 4.5).

Кількість пагонів на рослину є важливим параметром продуктивності біомаси в біоенергетичних плантаціях, часто настільки ж важливим, як інтенсивний ріст у висоту та за діаметром, оскільки це дозволяє збільшити загальну.

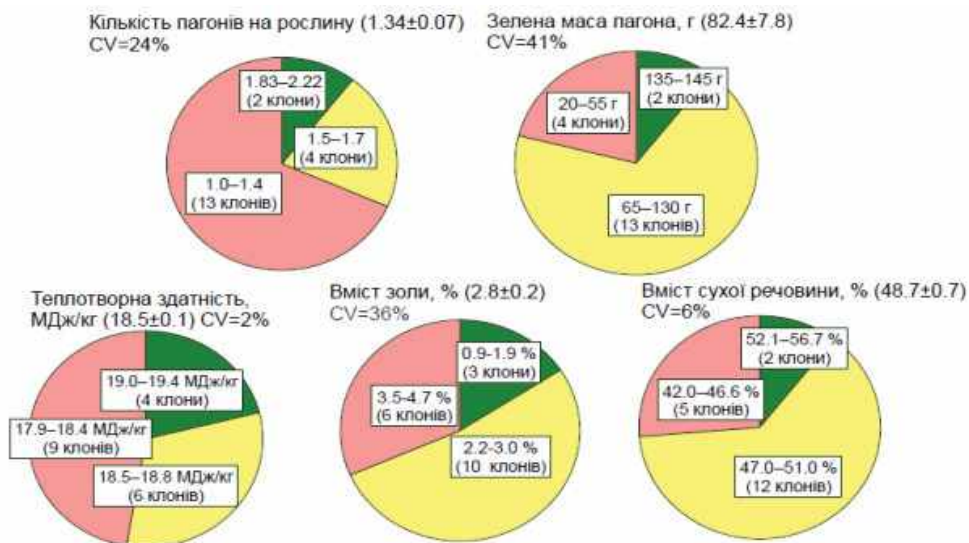


Рис. 4.2. Ростові і біопаливні характеристики тополів в кінці першого вегетаційного сезону.

Клони згруповані в три рівноінтервальні групи для кожного параметра: високі (зелений), середні (жовтий) та низькі (червоний) рівні; середнє значення та SE наведені в дужках; CV – коефіцієнти варіації.

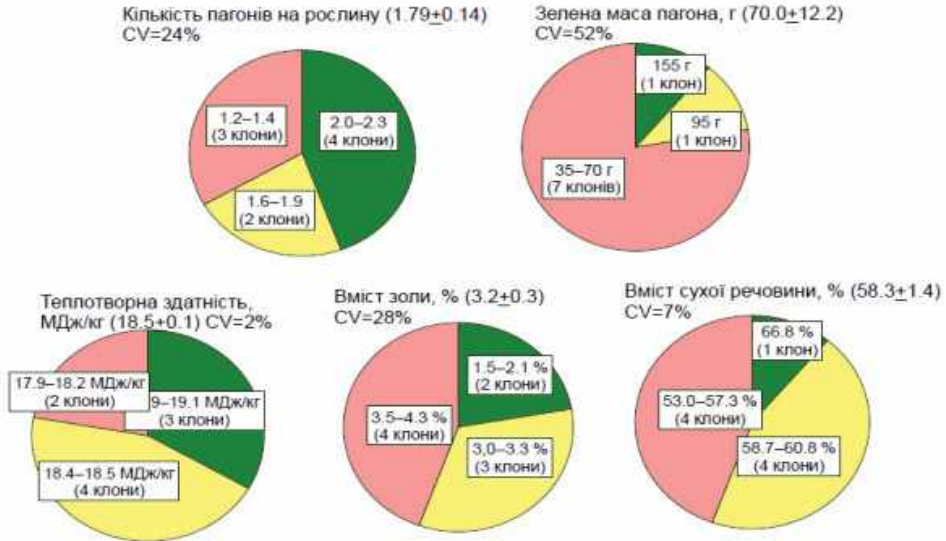


Рис. 4.3. Ростові і біопаливні характеристики верб у кінці першого вегетаційного сезону

Клони згруповані в три рівноінтервальні групи для кожного параметра: високі (зелений), середні (жовтий) та низькі (червоний) рівні; середнє значення та SE наведені в дужках; CV – коефіцієнти варіації.

біомасу (Фучило та ін., 2018). Крім того, для отримання потужних пагонів після обрізки плантації необхідна висока регенераційна здатність. Як бачимо, підхід, який використовується для ранжування в цьому дослідженні, є протилежним підходу традиційного лісництва, де дерева з меншою кількістю стовбурів і бічних гілок є ціннішими для посадки (Mir et al., 2017; Sabatti et al., 2014). Клони дерев в короткоротаційних плантаціях часто мають різну кількість стебел (Mosseler et al., 2014; Sabatti et al., 2014), і цей параметр, очевидно здебільшого залежить від клонових особливостей і щільності посадки (Фучило та ін., 2018).

Зелену масу пагона визначали в кінці першого вегетаційного сезону. Істотних відмінностей між тополями та вербами не виявлено; хоча середні показники відрізнялися (82,4±7,8 і 70,0±12,2 г). Ця ознака дуже відрізнялася у різних клонів та характеризувалася високим рівнем варіації як у тополь (41%), так і у верб (52%) (див.рис. 4.2, 4.3). Mosseler et al. (2014) також показали значну мінливість маси окремого стебла та загальної надземної свіжої маси серед клонів верб.

Найбільший щорічний приріст за зеленою масою стебла виявлено у тополь «Келібердинська» і «Тронко» та верби «Житомирська-1». Тополі «Болле» і «Градизька» та верби «Лукаш» і «Верба на біомасу» продукували найменшу зелену масу стебла протягом першого року вирощування (від 20 до 40 г). Відповідні ранги представлені в табл. 4.4, 4.5.

Обміри листків. Довжина листків різних клонів становила 8,1 – 23,1 см із середнім значенням $14,8 \pm 1,0$ см, тоді як довжина листків клонів верби коливалася в межах 9,4 – 17,2 см із середнім значенням $12,6 \pm 1,0$ см (див.табл. 4.3). Ці відмінності не були статистично значущими в тесті Манна-Уїтні. Середня ж ширина листків у тополі, навпаки, була достовірно вищою, у 5 разів, ніж у верби ($p < 0,001$). Така велика різниця в ширині пояснюється загальновідомими морфологічними ознаками листків *Populus* і *Salix*.

Для рейтингових оцінок використовували листковий індекс як добуток довжини на ширину. За значеннями ЛІ найменші сумарні квадратні розміри зафіксовано у тополь «Болле», «Китайська × пірамідна» та верби «Верба на біомасу», а найбільші – у тополь «Ноктюрн», «Канадська × бальзамічна», «Тронко» та «Гулівер» і верба «Житомирська-1» (див.табл. 4.4, 4.5). Рісткові параметри листків, включаючи довжину, ширину та площу, є важливими ознаками, що визначали продуктивність насаджень тополь (Ceulemans et al., 1993) і зелену масу пагонів у генотипів шовковиці (Cao et al., 2019). Вони також корелювали з первинною продуктивністю в деревних екосистемах (Li et al., 2020).

Проте слід зазначити, що розмір листків можна розглядати як ознаку, яка змінюється в ході природного добору під впливом кліматичних умов (Li et al., 2020). Наприклад, сорти з більшими листками за достатньої кількості води можуть бути кращими продуцентами біомаси, тоді як сорти з меншими листками, хоча і дають менше біомаси, проте, можуть бути задовільними продуцентами в посушливих і холодних регіонах (Cao et al., 2019).

4.2. Біопаливна характеристика фітосировини різних зразків тополь та верб за річний цикл вирощування

Теплотворну здатність зразків деревини різних клонів оцінювали наприкінці першого вегетаційного сезону. Цікаво, що і тополі, і верби продемонстрували однакові середні показники (18,5 МДж/кг) та однаково низькі коефіцієнти варіації ТЗ (2%).

Серед тополь найвищу ТЗ, понад 19 МДж/кг, виявлено у зразків клонів «Ноктюрн», «Волосистоплідна», «Перспективна» та «Івантіївська»; серед верб найвищого рангу досягав клон «Верба на біомасу» (див. табл. 4.4, 4.5).

Натомість, найнижча теплотворна здатність – 17,9 МДж/кг – виявлена у тополі «Новоберлінська-7» та верби «Лукаш». Варіації показників ТЗ в різних генотипах тополі також виявляли Sabatti et al. (2014).

Теплотворна здатність зразків деревини усіх досліджених клонів була в межах 17,9 – 19,4 МДж/кг (див.рис. 4.2, 4.3), що є значенням, близьким до типової теплотворної здатності деревини (Francescato et al., 2009). Цікаво, що ці показники перевищили допустимий мінімум теплотворної здатності пелет (16,5 МДж/кг) відповідно до стандартів ENplus у ЄС (ЕРС, 2015).

ТЗ різних порід деревини значною мірою залежить від вмісту лігніну, який характеризується вищою ТЗ порівняно з целюлозою та геміцелюлозою (Francescato et al., 2009). Ліпіди та терпени є іншими компонентами, які також впливають на енергетичний вміст деревини (Jamnická et al., 2014). ТЗ деревини відрізняється у різних частинах дерева (Alakangas, 2005; Jamnická et al., 2014) і залежить від стану деревини, яка використовується для виробництва тріски (Pescenka et al., 2020). Висока ТЗ є важливим фактором, що впливає на використання будь-якого матеріалу як палива, тоді як висока зольність є небажаною.

Вміст золи визначали у висушених на повітрі зразках деревини, зібраної після першого вегетаційного сезону. У пробах тополі ВЗ становив 0,9 – 4,7% із середнім значенням $2,8 \pm 0,2\%$, у зразках верби – 1,5 – 4,3% із середнім показником $3,2 \pm 0,3\%$. Такі відмінності не були статистично значущими.

Найменшу кількість золи (до 2%) виявлено у зразках тополі «Болле», «Новоберлінська-3», «Мобільна» та верби «Житомирська-2». Ці клони мали найвищі ранги (див.табл. 4.4, 4.5). Натомість, найвищу зольність, в межах 4 – 4,7%, встановлено в зразках тополь «Лубенська», «Слава Україні» та «Тронко» і верб «Олімпійський вогонь» та «Прибережна».

Типова зольність деревини верби та тополі за короткоротаційного вирощування зазвичай становить біля 2% (Francescato et al., 2009; Sannigrahi et al., 2010) і може змінюватися залежно від клону, циклу ротації та інших факторів (Sabatti et al., 2014). Відповідно до стандартів ENplus для пелет, вміст золи має бути в діапазоні 0,7 – 2%, залежно від їх категорії (ЕРС, 2015). Наші результати показали, що лише в частині проаналізованих проб ВЗ становив 2% або менше. Ми припускаємо, що вищі кількості золи в даних експериментах можна пояснити не лише клональною мінливістю. Цілком імовірно, що утворення золи дещо переоцінюється при аналізі зразків біомаси з молодих однорічних рослин. Такі пагони тонші порівняно з трирічними рослинами, які зазвичай використовуються при вирощуванні короткоротаційних деревних плантацій у помірному кліматі для виробництва деревної тріски та пелет. Великий діаметр пагонів загалом

покрощує якість палива для спалювання, але тонші пагони мають більшу частку кори (Liu et al., 2017) і, відповідно, більший вміст золи порівняно з пагонами з більшим діаметром. Зазвичай, якість паливної біомаси з енергетичних насаджень можна покращити шляхом посадки клонів з нижчим вмістом ряду елементів (Liu et al., 2017).

Вміст сухої речовини наприкінці першого вегетаційного сезону у верб був на 20% достовірно вищим порівняно з тополями ($p < 0,001$). Чисельні значення у клонів перебували в межах 42,0 – 56,7% у зразках тополі та 53,0 – 66,8% у верб, з близькими коефіцієнтами варіації між клонами (6 – 7%, див. рис. 4.2, 4.3).

Найбільший відсоток ВСР серед тополь виявлено у зразку клону «Івантіївська» (56,7%). Серед зразків верб найвищими рангами характеризувалися «Житомирська-2», «Верба на біомасу» і «Лукаш» (ВСР понад 60%) (табл. 4.5). Найнижчі показники серед тополь виявлені у зразках клонів «Новоберлінська-7» та «Гулівер», а серед верб — у зразках клонів «Прибережна» та «Вінницька». Достовірні відмінності між клонами тополь у вмісті вологи в біомасі були виявлені і в інших дослідженнях (Stolarski et al., 2020; Sabatti et al., 2014).

Загальновідомо, що вищий відсоток сухої речовини та нижчий вміст вологи збільшує вихід енергії з деревної біомаси (Alakangas, 2005), що є важливим параметром ефективності використання біопалива. Ряд авторів виявили, що вміст вологи в деревині тополі становить 41–59% (Di Matteo et al., 2012; Monedero et al., 2017; Rosso et al., 2013; Stolarski et al., 2020), що було в межах отриманих нами показників. Так само, ті ж автори встановили значно вищий вміст вологи в зразках тополі порівняно зі зразками верби (Monedero et al., 2017).

4.3. Ранжування клонів тополь і верб за ростовими та біопаливними показниками

Наші експерименти мали на меті виявити клони з інтенсивним ростом у молодому віці, крім того, важливо, щоб ці рослини мали й корисні біопаливні характеристики. Для відбору найкращих клонів застосовували оцінки за загальними рейтингами. Адже параметри росту (D, Н, ПР, ЛІ і ЗМ), біопаливні критерії (ТЗ, ВЗ і ВСР) і сприйнятливість до фітопатогенів різняться між клонами. Подібні дослідження проводили, вивчаючи відмінності як у ростових параметрах, так і у властивостях деревини клонів тополі білої та верби для ідентифікації найкращих клонів (Ma et al., 2015; Rosso et al., 2013).

Як видно з таблиці 4.4, деякі клони продемонстрували високу продуктивність росту, проте їх біопаливні характеристики отримали низькі рейтингові оцінки, і навпаки. Так, зразок біомаси клону тополі «Болле» мав найвищий ранг за зольністю, але показники його росту (D, H, ЗМ, ЛП) демонстрували найнижчі ранги. Натомість, клон тополі «Канадська × бальзамічна» показав високі ранги за параметрами росту, але був сприйнятливим до іржі тополь, а його ТЗ також мала низький рейтинг (див.табл. 4.4).

Максимальний сумарний ранг (19) виявив клон тополі «Канадська × бальзамічна», наступними є клони «Івантійська», «Волосистоплідна», «Перспективна» та «НоктюРН», які мали 18–15 ранги відповідно. Серед верб найвищий, 9-й ранг, зафіксовано у клону «Житомирська-1» та «Житомирська-2». Вербка клону «Житомирська-1» була інтродукована з природної флори співробітниками НБС НАН України (Рахметов та ін., 2015). Цей клон може бути дуже перспективним для короткотривалого вирощування, особливо в дуже загущених посадках. Окрім найвищих значень діаметра та висоти стебла, клон продемонстрував толерантність до «відьминих мітел»; крім того, у рослин цього клону було багато потужних пагонів, що значно підвищує продуктивність. Цікаво, що чотири найкращих клони верби були толерантними до «відьминих мітел», окрім клону «Лісова пісня», який продемонстрував середню чутливість до фітопатогена (+) (див.табл. 4.5).

Високі сумарні рейтинги також продемонстрували тополі клонів «Стрілоподібна», «Мобільна», «Новоберлінська-7» та «Келібердинська», які отримали 14–11 ранги, а також верби «Лісова пісня» та «Вінницька» (ранги 7 та 6 відповідно). Таким чином, зазначені вище клони можуть бути рекомендовані як перспективні для біоенергетичних насаджень. Однак, важливо зазначити, що під час садіння тополь в дуже загущені плантації необхідно враховувати сприйнятливість клонів до іржі. У нашому досліді деякі високопродуктивні клони були чутливі до іржі (табл. 4.3). Хоча на даному етапі ми не виявили значного пригнічення росту через інфекцію, проте несприятливі ефекти можуть посилитися в майбутньому. Адже іржастий гриб *Melampsora larici-populina* здатний знижувати ростові параметри тополь до 66% (Štochlová et al., 2015).

Найнижчі сумарні рейтинги (1-3) отримали тополі «Болле», «Градиська» і «Китайська × пірамідальна» та верби «Лукаш», «Олімпійський вогонь» і «Прибережна». Таким чином, ці клони не рекомендуються для короткотривалих біоенергетичних плантацій, однак вони цілком можуть бути придатними для вирощування у традиційному лісовому господарстві, захисних лісосмугах, як декоративні дерева тощо.

Подібне дослідження, де було застосоване ранжування чоловічих клонів за параметрами росту, після двох років оцінки дозволило рекомендувати найкращі клони для масового розмноження та поступової заміни жіночих клонів у провінції Кашмір, Індія (Mir et al., 2017). Ми використали більше різних параметрів для скринінгу та ранжування наявних в Україні клонів. Отримані результати показали, що, незважаючи на дуже щільну посадку живців, завдяки поливу під час укорінення рослини характеризувалися високим рівнем виживаності та інтенсивним ростом протягом перших двох років вирощування в розсаднику. Подібним чином, як повідомляють Bergante і Facciotto (2011), полив в перші два роки був надзвичайно важливим для виживання рослин і високої продуктивності біомаси.

Певною мірою, наш підхід щодо схеми висаджування відрізняється від традиційної методології з рандомізованим дизайном із трьома блочними повторами, що використовується для клональних випробувань в короткоротаційних плантаціях (Niernczyk et al., 2016). Зазвичай розсадники тополь можуть закладати за різними схемами розміщення дерев, наприклад, 0,6 м x 0,6 м (Mir et al., 2017), але також застосовують і схеми з меншою або більшою щільністю. Однак ми вважаємо, що в нашому дослідженні дещо відмінна відстань між рослинами має менший вплив на ростові параметри порівняно з клоновими особливостями.

Існуючий асортимент сортового різноманіття тополь і верб дозволяє підібрати клони, які будуть продуктивнішими в певних умовах. При цьому водний режим може мати вирішальне значення (Bonosi et al., 2013). Хоча тополі та верби, як правило, не вважаються посухостійкими, існуючі клонові варіації їх посухостійкості дозволяють виживати в несприятливих умовах. Цікаво, що інші наші експерименти (дані неопубліковані) показали, що найкращий клон верби «Житомирська-1» показав слабкіші результати в стресових умовах, таких як дефіцит води та солоність. Тому, будучи високопродуктивним по біомасі, цей клон є досить вимогливим до водного режиму та якості ґрунту. У зв'язку з цим, для сталого отримання біомаси вербу клону «Житомирська-1» доцільно висаджувати лише на відповідних ділянках із високою якістю ґрунту і достатнім зволоженням. Цей приклад, як і інші, демонструє, що дуже важливо оцінити вплив місцевого клімату та ґрунтових умов перед закладанням плантацій у комерційних масштабах (Niernczyk et al., 2016). Таким чином, виявлені під час скринінгу в розпліднику перспективні клони необхідно додатково оцінити в польових умовах щодо їх продуктивності в короткоротаційних насадженнях.

Таким чином, проведено комплексну оцінку 19 клонів *Populus* та 10 клонів *Salix*, переважно українського походження, за ростовими, продуктивними і енергетичними показниками. Найбільший сумарний ранг

виявлено у клонів тополі 'Канадська × бальзамічна', 'Івантіївська', 'Волосистоплідна', 'Перспективна', 'Ноктюрн' та серед верб – у клонів 'Житомирська-1' і 'Житомирська-2'.

Високі сумарні рангові оцінки забезпечили генотипи тополі 'Стрілоподібна', 'Мобільна', 'Новоберлінська-7' і 'Келібердинська' та верби 'Лісова пісня' і 'Вінницька'. Зазначені вище клони швидкорослих дерев можуть бути рекомендовані як перспективне джерело біопалива для створення короткоротаційних енергетичних плантацій в Україні.

Клони з найнижчими сумарними рангами – тополі 'Болле', 'Градиська' і 'Китайська × пірамідальна' та верби 'Лукаш', 'Олімпійський вогонь' і 'Прибережна' – не рекомендуються для створення біоенергетичних плантацій із-за низького ростового та продуктивного потенціалу.

Ранжування всіх параметрів вважалось рівноцінним при остаточному виборі клонів. У разі інших інтересів або інших цілей вирощування/переробки/використання біомаси як біопалива, такий підхід може бути скоригований шляхом додавання відповідних коефіцієнтів.

Такий багатоклоновий скринінг біоенергетичних дерев з метою їх короткоротаційного вирощування в Україні проведено вперше. Оцінка рослин на дослідній ділянці дозволила провести швидкий і економічно ефективний попередній скринінг. Отримані результати та створений генетичний фонд сприяють впровадженню нових перспективних генотипів для закладання біоенергетичних плантацій швидкорослих дерев в Україні.

ПОДЯКА

Дана робота виконувалася в рамках програми Національної академії наук України «Біопаливні ресурси і біоенергетика» (2017-2018 та 2019-2022), державні реєстраційні номери 0118U005379 та 0120U0002790). Автори щиро вдячні завідувачу відділу селекції, генетики та біотехнології Інституту лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького С.А. Лось та директору Інституту, чл.-кор. НАН України В.П.Ткачу за плідну співпрацю.

ЗАКЛЮЧЕННЯ

Мобілізовано і виведено нові генотипи швидкорослих дерев (*Populus*, *Salix*, *Paulownia* – 36 зразків) та багаторічних трав'яних рослин (видів роду *Silphium* – 35 зразків) перспективних для біопаливної галузі.

Проведена комплексна оцінка біолого-екологічного, адаптивного, урожайного, біохімічного та продуктивного потенціалу нових стресостійких, високопродуктивних генотипів рослин для розробки альтернативних джерел біопалива першого і другого покоління. Надано оцінку технологічним властивостям, якісним параметрам рослин та потенційному виходу твердого біопалива, біогазу і біоетанолу з фітосировини. Визначено теплоємність біопалива, енергетичну та економічну цінність перспективних генотипів. Проведена оцінка можливостей підвищення якості пелет з фітомаси.

Встановлено продуктивний, енергетичний та економічний потенціал різних форм рослин *Paulownia* за використання фітосировини для виробництва різних видів біопалива. Серед досліджуваних перспективних зразків павловнії за урожайністю фітосировини (28,75-38,85 т/га), за виходом основної та побічної продукції (твердого палива – 17,71-20,52 т/га, біогазу – 11300-13050 м³/га та біоетанолу – 5370-6220 кг/га) і за їх енергетичною (67-77 Гкал/га) та економічною цінністю (106,26-123,12 тис.грн/га за використання на тверде паливо, 279,24-323,44 – на біоетанол та 67,80-78,3 тис.грн/га – на біогаз) відзначилися найперспективніші зразки *Paulownia* ф.ПБ і ф.ПО.

Встановлено, що за основними ростовими, урожайними та продуктивними показниками рослини роду *Silphium* забезпечують високі параметри. Серед досліджуваних зразків сільфію за урожайністю фітосировини, за виходом основної та побічної продукції (твердого палива – 27-32 т/га, біогазу – 19-22 тис.м³/га та біоетанолу – 3600-5070 кг/га) і за їх енергетичною (114-133 Гкал/га) та економічною цінністю (188-264 тис.грн/га), як у період квітання, так і у плодоношення-достигання відзначилися сорти Богатир, Канадчанка сільфію пронизанолистого та с. Ювілейний-90 – сільфію суцільнолистого.

Проведено комплексну оцінку 19 клонів *Populus* та 10 клонів *Salix*, переважно українського походження, за ростовими, продуктивними і енергетичними показниками. Найбільший сумарний ранг виявлено у клонів тополі 'Канадська × бальзамічна', 'Івантіївська', 'Волосистоплідна', 'Перспективна', 'Ноктюрн' та серед верб – у клонів 'Житомирська-1' і 'Житомирська-2'.

Високі сумарні рангові оцінки забезпечили генотипи тополі 'Стрілоподібна', 'Мобільна', 'Новоберлінська-7' і 'Келібердинська' та верби 'Лісова пісня' і 'Вінницька'. Зазначені вище клони швидкорослих дерев можуть бути рекомендовані як перспективне джерело біопалива для створення короткочасних енергетичних плантацій в Україні.

Клони з найнижчими сумарними рангами – тополі 'Болле', 'Градиська' і 'Китайська × пірамідальна' та верби 'Лукаш', 'Олімпійський вогонь' і 'Прибережна' – не рекомендуються для створення біоенергетичних плантацій із-за низького ростового та продуктивного потенціалу.

Таким чином, створена та комплексно оцінена генотипова база рослин *Paulownia*, *Populus*, *Salix* та *Silphium* в Україні дозволяє розглянути ці культури як перспективні джерела біопалива першого та другого покоління за використання фітосировини для виробництва пелет, біоетанолу, біогазу і побічної продукції – для отримання ліпідів та цукрів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Вайнер, А. А., Колупаев, Ю. Е., Ястреб, Т. О. Участие пероксида водорода в индуцировании накопления пролина в растениях проса при действии NaCl. *Вісник Харківського національного аграрного університету* (біологія). 2013. 2(29). С. 32–38.

Висоцька Н.Ю. Сучасний стан і перспективи збереження генетичних ресурсів тополі в Україні. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. 2017. 15: 38-44. doi:10.15421/411705

Вожегова Р.А. Напрями адаптації галузі рослинництва до регіональних змін клімату. *Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної науки та освіти* : збірник тез II Міжнародної науково-практичної конференції, Київ – Миколаїв – Херсон, 10–12 квітня 2019 року. ДУ НМЦ «Агроосвіта», 2019. С. 6–8.

Гелетуха Г.Г., Железна Т.А., Трибой О.В. (2014) Перспективи вирощування та використання енергетичних культур в Україні. Аналітична записка БАУ 10. 33 с. [online]. URL: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/04/position-paper-uabio-10-ua.pdf>

Голобородько С.П., Димов О.М. Вплив глобальної зміни клімату на гідротермічні показники в південному степу України. *Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної науки та освіти* : збірник тез II Міжнародної науково-практичної конференції, Київ – Миколаїв – Херсон, 10–12 квітня 2019 року. ДУ НМЦ «Агроосвіта», 2019. С. 328–330.

Грицаєнко З.М., Грицаєнко В.П., Карпенко В.П. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів. Київ: Нічлава, 2003. 320 с.

Грицуляк Г.М. Екологічний стан дерново-підзолистих ґрунтів Передкарпаття за внесення осаду стічних вод під вербу енергетичну. *Збалансоване природокористування*. 2019. 1: С. 66-74. <https://doi.org/10.33730/2310-4678.1.2019.170592>

Державний реєстр сортів, придатних для поширення в Україні в 2024 р. // Міністерство аграрної політики та продовольства України. URL: <https://minagro.gov.ua/ua/file-storage/reyestr-sortiv-roslin>

Діденко Н.О., Волков Р.А., Панчук І.І. Вплив сольового стресу на вміст проліну та поліфенольних сполук у *Arabidopsis thaliana*. *Біологічні системи*. 2016. Т. 8(1). С. 35–39.

Каталог рослин відділу нових культур / Відп. ред. Д.Б. Рахметов. Київ: Фітосоціоцентр, 2015. 112 с.

Коваленко А.М., Кіріяк Ю.П. Зміни клімату півдня України в останні 135 років та їх вплив на сільськогосподарське виробництво. *Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної науки та освіти* :

збірник тез II Міжнародної науково-практичної конференції, Київ – Миколаїв – Херсон, 10–12 квітня 2019 року. ДУ НМЦ «Агроосвіта», 2019. С. 183–187.

Колекційний фонд енергетичних, ароматичних та інших корисних рослин НБС імені М.М.Гришка НАН України / Д.Б. Рахметов, С.М. Ковтун-Водяницька, О.А. Корабльова та ін. Київ : ФОП Паливода В.Д., 2020. 208 с.

Куцоконь Н. К., Худолєєва Л. В., Лось С. А., Висоцька Н. Ю., Торосова Л.О., Ткач В.П., Нестеренко О. Г., Рашидов Н. М. Оцінка ростових показників однорічних клонів тополь і верб на короткоротаційній плантації в Харківській області. *Біологічні Студії Studia Biologica*. 2018. 12(1.). С. 55 – 64.

Куцоконь Н., Рахметов Д., Худолєєва Л. Ростові характеристики та енергопродуктивність тополь і верб у короткоротаційній плантації за перший рік вегетації. *Біологічні системи*. 2017. Т.9. Вип.2. С. 238–246.

Кушнір Г. П., Сарнацька В. В. Мікроклональне розмноження рослин. Київ : Наукова думка, 2005. 270 с.

Лось С.А. (керівник) Звіт про НДР за темою № 7 «Збереження генетичних ресурсів лісових порід і отримання генетично поліпшеного репродуктивного матеріалу для лісових насаджень та біоенергетичних плантацій». Український НДІ лісового господарства та агролісомеліорації. Харків, 2013.

Макєєва Л. М. Державне регулювання якісного стану земель сільськогосподарського призначення. *Держава та регіони. Серія: Державне управління*. 2013. № 1. С. 83–87.

Мельничук М. Д., Новак Т. В., Кунах В. А. Біотехнологія рослин : підручник. Київ : ПоліграфКонсалтинг, 2003. 520 с.

Мусієнко М. М., Панюта О. О. Біотехнологія рослин : Навчальний посібник. Київ : Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2005. 114 с.

Патлай И.Н., Руденко В.Н. Сортоведение быстрорастущих древесных пород на Украине. *Лесоведение и агролесомелиорация*. 1990. 81. С.3-7.

Рахметов Д. Б. Нетрадиційні види рослин для біоенергетики. 2018. 103 с. URL : <https://agrobionet.uniag.sk>

Рахметов Д. Б., Ковтун-Водяницька С. М. Фенологія трав'яних рослин за інтродукційних досліджень: посібник. Київ:Видавництво Ліра-К, 2021.74 с.

Рахметов Д. Б., Стаднічук Н. О. Методика проведення експертизи сортів сільфію пронизанолистого (*Silphium perfoliatum* L.) на відмінність, однорідність та стабільність. *Методика проведення експертизи сортів рослин групи кормових та коренеплідних на відмінність, однорідність і*

стабільність. / за ред. Ткачик С. О. 2-ге вид., випр. і доп. Вінниця: ФОП Корзун Д. Ю., 2016. С. 708–718.

Рахметов Д. Б., Стаднічук Н. О., Рахметова С. О. Методика проведення експертизи сортів сільфію суцільнолистою (*Silphium integrifolium* Michx.) на відмінність, однорідність та стабільність. *Методика проведення експертизи сортів рослин групи кормових та коренеплідних на відмінність, однорідність і стабільність.* / за ред. Ткачик С. О. 2-ге вид., випр. і доп. Вінниця : ФОП Корзун Д. Ю., 2016. С. 719–729.

Рахметов Д. Б. Теоретичні та прикладні аспекти інтродукції рослин в Україні : монографія. Київ : Аграр Медіа Груп, 2011. 398 с.

Рахметов Д.Б., Вергун Е.Н., Стадничук Н.А., Рахметова С.А. Результаты интродукционной и селекционной работы сільфія пронзеннолистного (*Silphium perfoliatum* L.) в НБС имени Н.Н.Гришко НАН Украины. *Фундаментальні та прикладні аспекти інтродукції рослин у реаліях Євроінтеграції* : матер. Міжнар. наук.-практ. конф. присвяченої 100-річчю НАН України, 9–11 жовтня 2018р. Київ : Ліра-К. 2018. С. 114-116.

Рахметов Д.Б., Стаднічук Н.О. Енергетичний потенціал рослин роду *Silphium* L. (*Asteraceae*) інтродукованих в НБС імені М.М. Гришка НАН України. *Біологічні ресурси і новітні технології виробництва біопалив* : матер. наук.конференції. Київ : Фітосоціоцентр. 2014. С. 97-101.

Рахметова С.О., Левчук Л.В., Вергун О.М., Блюм Я.Б., Рахметов Д.Б. Павловнія повстяна (*Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steud.) – нова швидкоросла енергетична рослина. *Глобальні наслідки інтродукції рослин в умовах кліматичних змін* : матер. Міжнар. наук. конф., 5–7 жовтня 2021 р., Київ: Видавництво Ліра-К. 2021. С. 98– 100.

Рекомендації з технології вирощування та використання павловнії в умовах Лісостепу України / М. В. Роїк, Ю. А. Шафаренко, В. М. Сінченко та ін. Київ: ТОВ «ЦП «КОМПРИНТ», 2021. 68 с.

Сергєєва Л., Броннікова Л. Пролін-опосередковані реакції тютюну на дію засолення. *Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки (Ботаніка).* 2016. Т. 12. С. 15–19.

Система використання біоресурсів у новітніх біотехнологіях отримання альтернативних палив / Блюм Я.Б., Григорюк І.П.,..., Рахметов Д.Б. та ін. Київ: «Аграр Медіа Груп», 2014. 360 с.

Стаднічук Н. О., Рахметов Д. Б.. Інтродукція рослин видів роду *Silphium* L. в Україні. *Проблеми експериментальної ботаніки та біотехнології.* Київ : Фітосоціоцентр, 2012. С. 48–60.

Старова Н.В. Звіт про НДР № 34 за темою «Провести изучение ранее полученных гибридов тополей и вывести новые, высокопродуктивные с

хорошим качеством древесины культивары (сорта) тополей и ив для целей защитного. 1975

Торосова Л.О., Висоцька Н.Ю., Лось С.А., Орловська Т.В., Золотих І.В. Дослідження представників роду *Populus* за морфологічними ознаками. *Лісівництво і агролісомеліорація*. 2015. 126. С.148-157.

Утеуш Ю. А. Лобас М. Г. Кормові ресурси флори України. Київ : Наукова думка, 1996. 222 с.

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. 14(2). С. 230-239.

Худолєєва Л. В., Куцоконь Н. К., Нестеренко О. Г., Рашидов Н. М., Дуган О. М. Введення в культуру in vitro клонів тополь та верб перспективних для відновлюваної енергетики. *Біологічні системи*. 2017, vol. 9(1). С. 18–22.

Худолєєва Л. В., Куцоконь Н. К., Нестеренко О. Г., Рудас В. А., Рашидов Н. М., Гродзинський Д. М., Дуган О. М., Бульботка К. С. Мікроклональне розмноження для створення плантацій швидкорослих тополь для потреб альтернативної енергетики. *Вісник УТГіС*. 2014. № 2, т. 12. С. 226–233.

Худолєєва Л.В., Куцоконь Н.К. Порівняння солестійкості представників родів *Populus* і *Salix* в умовах in vitro. *ScienceRise: Biological Science*. 2018, vol. 2(11). С. 35–38.

Якості павловнії, 2014. URL: <http://paulownia.bg>

Adriani C, Bonini C, Iavarone C, et al. Isolation and characterization of paulownioside, a new highly oxygenated iridoid glucoside from *Paulownia tomentosa*. *J Nat Prod*. 1981;44:739–744. Doi: 10.1021/np50018a024

Aharon R., Shahak Y., Winer S., Bendov R., Kapulnik Y., Galili G. Overexpression of a plasma membrane aquaporin in transgenic tobacco improves plant vigor under favorable growth conditions but not under drought or salt stress. *The Plant Cell*. 2003, vol. 15, № 2. 439–447.

Akyildiz M. Some technological properties and uses of paulownia (*Paulownia tomentosa* Steud.) wood / M. Akyildiz, H. Sahin Kol. *Journal of Environmental Biology*. 2010. №31. 351–355.

Alakangas E. Properties of wood fuels used in Finland. Project report PRO2/P2030/05, Technical Research Centre of Finland, VTT Processes, Jyväskylä, Finland, pp. 100 [online]. 2005. URL: https://ec.europa.eu/energy/intelligent/-projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/bio-south_wood_fuel_properties.pdf

Alfaro-Fernández A.O., Abad-Campos P., Hernández-Llopis D., Serrano-Fernández A., Font-San-Ambrosio M.I. Detection of stolbur phytoplasma in

willow in Spain. *Bulletin of Insectology*. 2011. 64 (Supplement). 111-112.

Allwright M.R., Taylor G. Molecular breeding for improved second generation bioenergy crops. *Trends in plant science*. 2016. 21(1). 43–54.

Ariani A., Barozzi A., Sebastiani L., Toppi L., Sansebastiano L., Andreucci L. *AQUA1* is a mercury sensitive poplar aquaporin regulated at transcriptional and post-translational levels by Zn stress. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2019, vol. 135. P. 588-600.

Asai T, Hara N, Kobayashi S, et al. Geranylated flavanones from the secretion on the surface of the immature fruits of *Paulownia tomentosa*. *Phytochemistry*. 2008, 69:1234–1241.

Assefa, T.; Wu, J.; Albrecht, K.A.; Johnson, P.J.; Boe, A. Genetic variation for biomass and related morphological traits in cup plant (*Silphium perfoliatum* L.). *Am. J. Plant Sci*. 2015, 6, 1098–1108.

Aylott M., Casella E., Tubby I., Street N., Smith P., Taylor G. Yield and spatial supply of bioenergy poplar and willow short-rotation coppice in the UK. *New Phytologist*. 2008. Vol. 178. 358–370.

Bae E. K., Lee H., Lee J. S., Noh E. W. Differential expression of a poplar SK2-type dehydrin gene in response to various stresses. *BMB Rep*. 2009, vol. 42, № 7. 439–443.

Bardhan S., Jose S. The potential for floodplains to sustain biomass feedstock production systems. *Biofuels*. 2012. 3 (5): 575-588. <https://doi.org/10.4155/bfs.12.51>

Bartko M. Analyza biologických, produkčných a ekonomických aspektov pestovania rychlorastúcich drevin na Slovensku [The analysis of biological, production and economic aspects related to the cultivation of fast-growing tree species in Slovakia]. PhD thesis, Faculty of Forestry, Technical University in Zvolen, Zvolen, Slovakia. 2011. 155. [in Slovak with English abstract].

Bauböck R., Karpenstein-Machan M., Kappas M. Computing the biomass potentials for maize and two alternative energy crops, triticale and cup plant (*Silphium perfoliatum* L.), with the crop model BioSTAR in the region of Hannover (Germany). *Environmental Sciences Europe*. 2014. № 26. 1–12.

Bergante S., Facciotto G. (2011) Nine years of measurements in Italian SRC trial with 14 poplar and six willow clones. In: Proceedings of the 19th European Biomass Conference and Exhibition. Berlin (Germany) 6-10 June 2011. 178-82. <https://doi.org/10.5071/19theubce2011-oc4.2>

Berlin S., Fogelqvist J., Lascoux M., Lagercrantz U., Rönnerberg-Wästljung AC. Polymorphism and divergence in two willow species, *Salix viminalis* L. and *Salix schwerinii* E. *Wolf G3*. 2011, vol. 1. 387–400.

Boe A., Albrecht K.A., Johnson P.J., Wu J. Biomass production of cup plant (*Silphium perfoliatum* L.) in response to variation in plant population density in

the North Central USA. *American Journal of Plant Science*. 2019. vol. 10, 904-910. <http://www.scirp.org/journal/ajps>

Bonosi L., Ghelardini L., Weih M. Towards making willows potential bio-resources in the South: Northern *Salix* hybrids can cope with warm and dry climate when irrigated. *Biomass and Bioenergy*. 2013. 51. P. 136–144. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.01.009>

Bury, M., Mozdzer, E., Kitzak, T., Siwek, H., & Wlodarczyk, M. 2020. Yields, calorific value and chemical properties of cup plant *Silphium perfoliatum* L. biomass, depending on the method of establishing the plantation. *Agronomy*, 10, 851. <https://doi.org/agronomy10060851>

Buzan R., Maxim A., Odagiu A., Balint C., Hartagan R. *Paulownia* sp. used as an energetic plant, for the phytoremediation of soils and in agroforestry systems. *ProEnvironment*. 2018, vol.11 No.34. 76-85.

Cao X., Shen Q., Shang C., Yang H., Liu L., Cheng J. (2019) Determinants of shoot biomass production in mulberry: combined selection with leaf morphological and physiological traits. *Plants (Basel)* 8 (5):118. – doi:10.3390/plants8050118

Cao Y., Fan G., Zhai X. & Dong Y. Genome-wide analysis of lncRNAs in *Paulownia tomentosa* infected with phytoplasmas. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2018, vol. 40, № 49. <https://doi.org/10.1007/s11738-018-2627-6>

Carvalho K., Campos M.K., Domingues D.S., Pereira L.F., Vieira L.G. The accumulation of endogenous proline induces changes in gene expression of several antioxidant enzymes in leaves of transgenic Swingle citrumelo. *Mol. Biol. Rep.* 2013, vol. 40. 3269–3279.

Ceulemans R., Pontallier J.Y., Mau F., Guittet J. Leaf allometry in young poplar stands: Reliability of leaf area index estimation, site and clone effects. *Biomass and Bioenergy*. 1993. 4 (5): 315-321. [https://doi.org/10.1016/0961-9534\(93\)90047-8](https://doi.org/10.1016/0961-9534(93)90047-8)

Chhin S. Screening the resilience of short-rotation woody crops to climate change. *Geosciences*. 2016. 6(1). 7-14. <https://doi.org/10.3390/geosciences6010007>

Christensen T., Zhou H., Barrow J., Kuzmik G., Tye B. Drosophila MCM10 in heterochromatin dynamics and DNA replication. *A. Dros. Res. Conf.* 2007. 48. 139.

Clapa D., Fira A., Simu M., Vasu L., Buduroi D. Improved In Vitro Propagation of *Paulownia elongata*, *P. fortunei* and its Interspecific Hybrid *P. elongata* × *P. fortunei*. *Bulletin UASVM Horticulture*. 2014. 71(1). 6-14

Cossel M., Amarysti C., Wilhelm H., Priya N., Winker B. The replacement of maize (*Zea mays* L.) by cup plant (*Silphium perfoliatum* L.) as biogas substrate and its implications for the energy and material flows of a large biogas

plant. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*. 2020, vol. 14, p. 152-179. <https://doi.org/10.1002/bbb.2084>

Daniels L.D., Maertens T.B., Stan A.B., McCloskey S.P., Cochrane J.D., Gray R.W. Direct and indirect impacts of climate change on forests: three case studies from British Columbia. *Can. J. Plant Pathol.* 2011. 33(2). 108–116.

Di Matteo G., Sperandio G., Verani S. Field performance of poplar for bioenergy in southern Europe after two coppicing rotations: effects of clone and planting density. *iForest*. 2012. 5: 224-229. <https://doi.org/10.3832/ifor0628-005>

Díaz P., Monza J., Márquez A. Drought and saline stress. *Lotus Japonicus Handbook*. 2005. 39–50. https://doi.org/10.1007/1-4020-3735-x_3

Dietz K-J., Vogel M., Viehhauser A. AP2/EREBP transcription factors are part of gene regulatory networks and integrate metabolic, hormonal and environmental signals in stress acclimation and retrograde signalling. *Protoplasma*. 2010. 245(1–4). 3-14.

Dollinger J., Jose S. Agroforestry for soil health. *Agroforestry Systems*. 2018. 92. 213-219. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0223-9>

El-Khatib R., Hamerlynck E., Gallardo F., Kirby E. Transgenic poplar characterized by ectopic expression of a pine cytosolic glutamine synthetase gene exhibits enhanced tolerance to water stress. *Tree Physiology*. 2004. № 24. 729–736.

Emmerling C, Schmidt A, Ruf T, von Francken-Welz H and Thielen S, Impact of newly introduced perennial bioenergy crops on soil quality parameters at three different locations in W-Germany. *J Plant Nutr Soil Sci*. 2017. 180. 759–767.

EPC. European Pellet Council. ENplus Handbook. Part 3: Pellet Quality Requirements, Version 3.0. *AEBIOM - European Biomass Association, Brussels, Belgium*, 2015. 10. URL: <https://enplus-pellets.eu/en-in/component/attachments/?task=download&id=103>

EPPO European and Mediterranean Plant Protection Organization. Certification scheme for poplar and willow. *Bulletin OEPP/EPPO*. 2008. 38 (1). 25-30. URL: doi: 10.1111/j.1365-2338.2008.01179.x

Estravis-Barcala M., Mattera M., Soliani C. et al. Molecular bases of responses to abiotic stress in trees. *Journal of Experimental Botany*. 2019. 1-15.

Euring D., Ayegbeni S., Jansen M., Tu J., Gomes Da Silva C., Polle A. Growth performance and nitrogen use efficiency of two *Populus* hybrid clones (*P. nigra* × *P. maximowiczii* and *P. trichocarpa* × *P. maximowiczii*) in relation to soil depth in a young plantation. *iForest*. 2016. 9. 847-854. <https://doi.org/10.3832/ifor2016-009>

Evaluation of strategies for second generation bioethanol production from fast growing biomass Paulownia within a biorefinery scheme / E. Domínguezab, A. Romaniabc, L. Dominguesc, G. Garroteab. *Applied Energy*. 2017. №187. 777–789.

Fan G., Cao Y., and Wang Z. Regulation of Long Noncoding RNAs Responsive to Phytoplasma Infection in *Paulownia tomentosa*. *International Journal of Genomics*. 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/3174352>

Ferguson, B.W. Systems Agriculture: Towards a Sustainable Agricultural and Environmental Policy // NABC rep. / Nat. agr. Biotechnology council – ithaca (N.Y.). *Agricultural biotechnology beyond food and energy to health and the environment*. 2005. № 17. 93-101.

Ferreira S., Batista D., Serrazina S., Pais M.S. Morphogenesis induction and organogenic nodule differentiation in *Populus euphratica* Oliv. leaf explants. *Plant Cell Tissue Organ Cult.* 2009. Vol. 72. 109–138.

Fisher T. R. The genus *Silphium* in Ohio. *The Ohio Journal of Science*. 1966, vol. 66, № 3. 259–263.

Flora of China, 2008. URL: http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=2&taxon_id=200020800).

Fontana M., Lafleur B., Labrecque M., Courchesne F., Bélanger N. Maximum annual potential yields of *Salix miyabeana* SX67 in Southern Quebec and effects of coppicing and stool age. *Bioenergy Research*. 2016. 9: 1109-1125. <https://doi.org/10.1007/s12155-016-9752-0>

Frączek J., Mudryk K., Wróbel M. Cup plant *Silphium perfoliatum* L. Biomass Source for Biofuel Production. *Inżynieria Rolnicza*. 2011. № 131. P. 21–27.

Francescato V., Antonini E., Bergomi L.Z. Wood fuels handbook. AIEL - Italian Agriforestry Energy Association, Legnaro, Italy. 2009. 79. URL: <http://www.biomassstradecentre2.eu/scripts/download.php?file>

Franzaring I., Bäuerle L., Gensheimer G., Fangmeier A. Investigation on plant functional traits, epidermal structures and the ecophysiology of novel bioenergy species *Sida hermaphrodita* Rusby and *Silphium perfoliatum* L. *Journal of Applied Botany and Food Quality*. 2014. Vol. 87. 36–45. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2014.087.006>.

Franzaring J., Holz I., Kauf Z., Fangmeier A. Responses of the novel bioenergy plant species *Sida hermaphrodita* (L.) Rusby and *Silphium perfoliatum* L. to CO₂ fertilization at different temperatures and water supply. *Biomass Bioenergy*. 2015, vol. 81. P. 574–583.

Freer-Smith P., Muys B., Bozzano M., Drossler L., Farrelly N., Jactel H., Korhonen J., Minotta G., Nijnik M., Orazio C. Plantation forests in Europe: challenges and opportunities. From Science to Policy 9. European Forest

Institute. 2019. 50. URL: https://efi.int/sites/default/files/files/publication-bank/2019/efi_fstp_pdf

Galvez D.A., Landhüsser S.M., Tyree M.T. Low root reserve accumulation during drought may lead to winter mortality in poplar seedlings. *New Phytol.* 2013. 198(1). 139–48.

Gansberger M., Montgomery L. F. R., & Liebhard P. Botanical characteristics, crop management and potential of *Silphium perfoliatum* L. as a renewable resource for biogas production. *Industrial Crops and Products*, 2015, vol. 63, 362–372. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.09.047>

Gansberger M., Stüger H.-P., Weinhappe M, Moder K, Liebhard P., Gehren P., Mayr J., Ratzenböck A. Germination characteristic of *Silphium perfoliatum* L. seeds. *Journal of Land Management. Food and Environment.* 2017, vol. 68, № 2. 73–79.

Giri C., Shyamkumar B., Anjaneyulu C. Progress in tissue culture, genetic transformation and applications of biotechnology to trees: an overview. *Trees, Forests and People.* 2004, vol. 18. 115–135.

Gold M.A., Garrett H.E. Agroforestry nomenclature, concepts, and practices. In: “North American Agroforestry: An Integrated Science and Practice”, 2nd edition (Garrett H.E. ed.). *American Society of Agronomy*, USA. 2009. pp. 45-55.

Guo X.Y., Zhang X.S., Huang Z.Y. Drought tolerance in three hybrid poplar clones submitted to different watering regimes. *Journal of Plant Ecology.* 2010. 3(2). 79–87. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtq007>

Gyuleva V., Stankova T., Zhiyanski M., Andonova E. Five years growth of Paulownia on two sites in Bulgaria. *Forest Science.* 2021. 11-22 https://www.researchgate.net/publication/352321842_Five_years_growth_of_Paulownia_on_two_sites_in_Bulg

Gyuleva V., Stankova T., Zhyanski M., Glushkova M. and Andonova E. Growth and Development of *Paulownia tomentosa* and *Paulownia elongata* x *fortunei* in Glasshouse Experiment. *Bulgarian Journal of Soil Science.* 2020, vol. 5. 126-142. www.bsss.bg

Hogg E.H., Brandt J.P., Michaelian M. Impacts of a regional drought on the productivity, dieback, and biomass of western Canadian aspen forests. *Can. J. For. Res.* 2008. 38. 1373–1384.

Icka P., Damo R., Icka E. Paulownia tomentosa, a fast growing timber. *The annals of “Valahia” University of Targoviste.* 2016. <https://doi.org/10.1515/agr-2016-0003>

Jacek B., Litwińczuk W. The selected biomass properties of *Paulownia tomentosa* strains cultivated for energy purposes in the first two years of vegetation. *Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW, Agriculture. Agricultural and Forest Engineering.* 2016. №68.61-66

Jamnická G., Petrášová V., Petráš R., Mecko J., Oszlányi J. Energy production of poplar clones and their energy use efficiency. *iForest*. 2014. 7. 150-155. <https://doi.org/10.3832/ifor0978-007>

Janz D., Behnke K., Schnitzler J. P., Kanawati B., Schmitt-Kopplin P., Polle A. Pathway analysis of the transcriptome and metabolome of salt sensitive and tolerant poplar species reveals evolutionary adaptation of stress tolerance mechanisms. *BMC Plant Biology*. 2010. № 10. 150. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-10-150>

Jiang C., Liu Z., Zheng Q. Direct regeneration of plants derived from in vitro cultured shoots tips and leaves of poplar (*Populus × euramericana* 'Neva'). *J. Life Sci.* 2015, vol. 9. 366–372.

Jiang J.P. Silviculture of Paulownia. Beijing, China: China Forestry Publishing House. 1988. URL: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/39100>

Jing Z. P., Gallardo F., Pascual M. B., Sampalo R., Romero J., Torres de Navarra A., Cánovas F. M. Improved growth in a field trial of transgenic hybrid poplar overexpressing glutamine synthetase. *New Phytologist*. 2004. № 164. 137–145. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01173.x>.

Jun-Min He, Zhi-Hui Liu, Han Xu, Xiao-Ping She & Chen Huang The involvement of hydrogen peroxide in UV-B-inhibited pollen germination and tube growth of *Paeonia suffruticosa* and *Paulownia tomentosa* in vitro. *Plant Growth Regulation*. 2006, vol. 49. 199–208

Jun-Min He, Xiao-Ling Bai, Rui-Bin Wang, Bing Cao, Xiao-Ping She The involvement of nitric oxide in ultraviolet-B-inhibited pollen germination and tube growth of *Paulownia tomentosa* in vitro. *Physiologia Plantarum*. 2007. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2007.00955.x>

Kalluri U. C., Difazio S. P., Brunner A. M., Tuskan G. A. Genome-wide analysis of Aux/IAA and ARF gene families in *Populus trichocarpa*. *BMC Plant Biology*. 2007. № 7, P. 59. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-7-59>

Kharachko T. I. Ґрунтова схожість насіння павлової повстистої *Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steud. різного географічного походження. *Scientific Bulletin of UNFU*. 2019. №29. 32–35.

Kharytonov M., Babenko M., Martynova N., Rula I., Sbytna M., Fuchilo Y. The poplar saplings survival in reclaimed mineland depending on clone and root treatment. *Agriculture and Forestry / Poljoprivreda i Sumarstvo*. 2017. 63 (4). 141-151. <https://doi.org/10.17707/AgricultForest.63.4.16>

Khudolieieva L., Sheikina A., Kutsokon N. In vitro cultivation of *Populus* and *Salix* spp. : The 4-rd Intern. Sympos. On EuroAsian Biodiversity, Kyiv, 3-6 July, 2018. 377.

Konzen E., Recchia G., Cassieri F., Caldas J., Teran P., Gepts S. *DREB* genes from common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) show broad

to specific abiotic stress responses and distinct levels of nucleotide diversity. *International Journal of Genomics*. 2019. 28. <https://doi.org/10.1155/2019/9520642>

Kowalski R. *Silphium trifoliatum* L. – a new alternative cultivation herbal plant. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science*. 2007, vol. 57, № 2. 155–166.

Kowalski R., Wierciński J. Evaluation of chemical composition of some *Silphium* L. species seeds as alternative foodstuff raw materials // *Poland Journal of Food Nutritional Sciences*. 2004, vol. 54. N 4. 349–354.

Kowalski R., Wolski T. Evaluation of phenolic acid content in *Silphium perfoliatum* L. leaves, inflorescences and rhizomes. *Electronic Journal of Polish of Agricultural Universities, Horticulture*. 2003, vol. 6, N 1. 214-125.

Krannich C. T., Maletzki L., Kurowsky C., Horn R. Network candidate genes in breeding for drought tolerant crops. *Int J Mol Sci*. 2015, vol. 16, № 7. 16378–16400. <https://doi.org/10.3390/ijms160716378>

Krasensky J., Jonak C. Drought, salt, and temperature stress-induced metabolic rearrangements and regulatory networks. *Journal of Experimental Botany*. 2012. 63. 1593–1608. <https://doi.org/10.1093/jxb/err460> PMID: 22291134

Kreuzwieser J., Hauberg J., Howell K., Carroll A., Rennenberg H., Millar A., Whelan J. Differential response of gray poplar leaves and roots underpins stress adaptation during hypoxia. *Plant Physiology*. 2009, vol. 149, № 1. 461–473.

Kumari A., Singh S.K., Singh A.K. Physiological evaluation of drought tolerance in Poplar (*Populus deltoides* L.) for different drought levels. *Journal of AgriSearch*. 2017. 4(2). 128–132.

Kutsokon N. K. Main trends in the genetic transformation of *Populus* species. *In Cytology and Genetics*. 2011, vol. 45, № 6. 352–361.

Kutsokon N., Jose S. Holzmueller E. A global analysis of temperature effects on *Populus* plantation production potential. *American Journal of Plant Sciences*. 2015, vol. 6. 23-33.

Kutsokon N., Libantova J., Rudas V., Rashydov N., Grodzinsky D., Ďurechová D. Advancing protocols for poplar *in vitro* propagation, regeneration and selection of transformants. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2013. 2. 1447–1454.

Kutsokon N.K. Main trends in the genetic transformation of *Populus* species. *Cytology and Genetics*. 2011. 45(6): 352–361. <https://doi.org/10.3103/S009545271106003X>

Kutsokon N.K., Jose S., Holzmueller E. A global analysis of temperature effects on *Populus* plantation production potential. *American Journal of Plant*

Sciences. 2015. 6 (01). 23-33. <https://doi.org/10.4236/ajps.2015.61004>

Labrecque M., Teodorescu T.I. High biomass yield achieved by *Salix* clones in SRC following two 3-year coppice rotations on abandoned farmland in southern Quebec. *Biomass and Bioenergy*. Canada. 2013. 25. 135–146.

Lazdiņa D., Bārdulis A., Bārdule A., Lazdiņš A., Zeps M. The first three-year development of ALASIA poplar clones AF2, AF6, AF7, AF8 in biomass short rotation coppice experimental cultures in Latvia. *Agronomy Research*. 2014. 12 (2). 543-552. <https://doi.org/10.1186/s40490-016-0077-8>

Leonelli G., Denneler B., Bergero Y. Climate sensitivity of trembling aspen radial growth along a productivity gradient in northeastern British Columbia. *Can. J. For. Res.* Canada. 2008. 38. 1211–1222.

Li G., Santoni V., Maurel C. Plant aquaporins: roles in plant physiology. *Biochim. Biophys. Acta*. 2014. 1574-1582.

Li J., Ban L., Wen H., Wang Z., Dzyubenko N., Chapurin V., Gao H., Wang X. An aquaporin protein is associated with drought stress tolerance. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 2015. 459. 208–213. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2015.02.052>

Li X., Yang Y., Sun X., Lin H., Chen J., Ren J., Hu X., Yang Y. Comparative physiological and proteomic analyses of poplar (*Populus yunnanensis*) plantlets exposed to high temperature and drought. *PLoS One*. 2014, vol. 9, № 9. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0107605>

Li Y., Reich P.B., Schmid B., Shrestha N., Feng X., Lyu T. et al. Leaf size of woody dicots predicts ecosystem primary productivity. *Ecology letters*. 2020. 23(6). 1003-1013. <https://doi.org/10.1111/ele.13503>

Liu C., Kuchma O., Krutovsky K. Mixed-species versus monocultures in plantation forestry: Development, benefits, ecosystem services and perspectives for the future. *Global Ecology and Conservation*. 2018. 15: e00419. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2018.e00419>

Liu N., Larsen S.U., Jørgensen U., Murach D., Pflugmacher C., Hartmann H. Combustion quality of poplar and willow clones grown as SRC at four sites in Brandenburg, Germany. *Biomass Bioenergy*. 2017. 106: 51-62. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.08.020>

Ma H., Dong Y., Chen Z., Liao W., Lei B., Gao K., Li S., An X. (2015). Variation in the growth traits and wood properties of hybrid white poplar clones. *Forests* 6 (4): 1107-1120. <https://doi.org/10.3390/f6041107>

MBG (2012) Missouri Botanical Garden. Witches' broom. Web site. [online 4 April 2022] URL: <https://www.missouribotanicalgarden.org/gardens-gardening/your-garden/help-for-the-home-gardener/advice-tips-resources/pests-and-problems/diseases/witches-broom.aspx>

Meilan R., Ma C. Poplar (*Populus* spp.). *Methods in Molecular Biology*. Vol. 344. *Agrobacterium Protocols*. 2007. Vol. 2. P. 143–151.

Mir A.A., Masoodi T.H., Mir N.A., Rather T.A., Sofi P.A. Nursery performance of male clones of poplar (*Populus deltoides* Bartr.) under temperate conditions of Kashmir Valley. *British Journal of Applied Science and Technology*. 2017. 21. 1-8. <https://doi.org/10.9734/BJAST/2017/32669>

Monedero E., Hernández J.J., Collado R. Combustion-related properties of poplar, willow and black locust to be used as fuels in power plants. *Energies*. 2017. 10 (7). 997. <https://doi.org/10.3390/en10070997>

Monti, A., Di Virgilio, N., & Venturi, G. Mineral composition and ash content of six major energy crops. *Biomass and Bioenergy*, 2008, vol. 32. 216–223. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2007.09.012>

Moshelion M., Halperin F., Wallach R., Oren R., Way D.A. Role of aquaporins in determining transpiration and photosynthesis in water-stressed plants: Crop water-use efficiency, growth and yield. *Plant Cell Environ.* 2015. 38. 1785–1793. <https://doi.org/10.1111/pce.12410>

Mosseler A., Major J.E., Labrecque M. Growth and survival of seven native willow species on highly disturbed coal mine sites in eastern Canada. *Canadian Journal of Forest Research*. 2014. 44 (4). 340-349. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2013-0447>

Mueller A.L., Biertümpfel A., Friedritz L., Power E.F., Wight G.A., Dauber J. Floral resources provided by the new energy crop *Silphium perfoliatum* L. (Asteraceae). *Journal of Apicultural Research*. 2019. <https://doi.org/10.1080/00218839.2019.1668140>

Nesterenko O. G., Rasydov N. M. Pea response to salt and thermal stresses in dependence on preliminary ionizing radiation impact. *Biol. Stud.* 2018, vol. 12, № 1. 65–72. <https://doi.org/10.30970/sbi.1201.547>

Nesterenko O., Rasydov N. Features of the proline synthesis of pea seedlings in depend of salt and hyperthermia treatment coupled with ionizing radiation. *International Journal of Secondary Metabolites*. 2018, vol. 5(2). 94-108. <https://doi.org/10.21448/ijsm.407285>

Niemczyk M., Wojda T., Kaliszewski A. Biomass productivity of selected poplar (*Populus* spp.) cultivars in short rotations in northern Poland. *New Zealand Journal of Forestry Science*. 2016. 46. 22. <https://doi.org/10.1186/s40490-016-0077-8>

Paulownia as raw material for solid biofuel and cellulose pulp / (F. Lópeza, A. Péreza, M. Zamudiob та ін.). *Biomass and Bioenergy*. 2012. №45. 435-451

Paulownia tomentosa Steud. (Електронний ресурс). The plant list. 2013. URL : <http://www.theplantlist.org/tp11.1/record/kew-2542391>.

Pecenka R., Lenz H., Jekayinfa S.O., Hoffmann T. Influence of tree species,

harvesting method and storage on energy demand and wood chip quality when chipping poplar, willow and black locust. *Agriculture*. 2020. 10 (4). 1-15. <https://doi.org/10.3390/agriculture10040116>

Pence V.C., Sandoval J.A., Villalobos V.M., Engelmann F. Controlling contamination during in vitro collecting / In: In vitro collecting techniques for germplasm conservation. *IPGRI technical bulletin*. International Plant Genetic Resources Institute. 2002. 7. 30–40.

Pilipović A., Orlović S., Kovačević B., Galović V., Stojnić S. Selection and breeding of fast-growing trees for multiple purposes in Serbia. In: “Forests of Southeast Europe under a Changing Climate”. *Advances in Global Change Research*. 2019. 65. 239-249. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95267-3_20

Pontaza-Licona Y., Ramos-Jacques A., Cervantes-Chavez J., López-Miranda J. et al. Alcoholic extracts from *Paulownia tomentosa* leaves for silver nanoparticles. Synthesis. *Results in Physics*. 2019, vol. 1670-1679. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2019.01.082>

Potential of *Paulownia* sp. for biorefinery /P. Rodríguez-Seoanea, B. Díaz-Reinosob, A. Mourea, H. Domínguez. *Industrial Crops and Products*. 2020. №155. 312-337

Rakhmetov D.B., Vergun O.M., Stadnichuk N.O., Shymanska O.V., Rakhmetova S.O., Fishchenko V.V. Biochemical study of plant raw material of *Silphium* spp. in M.M. Gryshko National Botanical Garden of the NAS of Ukraine. *Інтродукція рослин*. 2019. № 3. 80–86. 10.5281/zenodo.340414.

Rashydov N., Kliuchnikov O., Seniuk O., Gorovyy L., Zhidkov A., Ribalka V., Berezhna V., Bilko N., Sakada V., Bilko D., Borbuliak I., Kovalev V., Krul M., Petelin G. Radiobiological Characterization Environment Around Object “Shelter”. In: “*Nuclear Power Plant*” (Chang SH ed). IntechOpen, Rijeka, Croatia. 2012. 231-279.

Raymond M.J., Smirnoff N. Proline metabolism and transport in maize seedlings at low water potential. *Annals of Botany*. 2002, vol. 89. 813–823.

Reed B. M., Sarasan V., Kane M. Biodiversity conservation and conservation biotechnology tools. *In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant*. 2011, vol. 47. 1–4.

REST. Software User Guide. QIAGEN GmbH. 2009.

Rosso L., Facciotto G., Bergante S., Vietto L., Nervo G. Selection and testing of *Populus alba* and *Salix* spp. as bioenergy feedstock: Preliminary results. *Applied Energy*. 2013. 102. 87-92. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.07.042>

Sabatti M., Fabbrini F., Harfouche A., Beritognolo I., Mareschi L., Carlini M., Paris P., Scarascia-Mugnozza G. Evaluation of biomass production potential and heating value of hybrid poplar genotypes in a short-rotation culture in Italy. *Industrial Crops and Products*. 2014. 61. 62-73. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.>

2014.06.043

Salam M.M.A., Mohsin M., Pulkkinen P., Pelkonen P., Pappinen A. Effects of soil amendments on the growth response and phytoextraction capability of a willow variety (*S. viminalis* × *S. schwerinii* × *S. dasyclados*) grown in contaminated soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2019. 171. 753–770. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.01.045>

Sannigrahi P., Ragauskas A.J., Tuskan G.A. Poplar as a feedstock for biofuels: a review of compositional characteristics. *Biofuels, Bioprod. Biorefin.* 2010. 4 (2). 209–226. <https://doi.org/10.1002/bbb.206>

Schäfer, A.; Damerow, L.; Schulze Lammers, P. Determination of the seed geometry of cup plant as requirement for precision seeding. *Bestimmung der Korngeometrie der Durchwachsenen Silphie als Voraussetzung für die Einzelkornsaat*. Landtechnik. 2017, vol. 72. 122–128.

Schorpp Q, Müller A. L., Schrader S, Dauber J. Agrarökologisches Potential der Durchwachsenen Silphie (*Silphium perfoliatum* L.) aus Sicht biologischer Vielfalt. *Journal für Kulturpflanzen*. 2016, vol. 68, № 12. 412–422

Seki M., Umezawa T., Urano K., Shinozaki K. Regulatory metabolic networks in drought stress responses. *Curr Opin Plant Biol*. 2007, vol. 10. 296–302. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2007.04.014> PMID: 17468040

Senhofa S., Zeps M., Kenina L., Neimane U., Kapostins R., Karklina A., Jansons Ā. Intra–annual height growth of hybrid poplars in Latvia. Results from the year of establishment. *Agronomy Research*. 2018. 16 (1). 254–262. <https://doi.org/10.15159/AR.17.073>

Shalyuta B.V., Kostitskaya E.V. The yield of *Silphium perfoliatum* L. depending on the conditions of cultivations. *Agricultural Engineering*. 2018, vol. 22, N 2. 91–97. <https://doi.org/10.1515/agriceng-2018-0019>.

Shang H.-M., Zhou H.-Z., Li R., Duan M.-Y., Wu H.-X., Lou Y.-Y. Extraction optimization and influences of drying methods on antioxidant activities of polysaccharide from cup plant (*Silphium perfoliatum* L.). *Plos*. 2017, vol. 12, N 8, e0183001. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183001>.

Siaudinis G., Skuodiene R., Repsiene R. The investigation of three potential energy crops: common mugwort, cup plant and virginia mallow on Western Lithuania's Albeluvisol. *Applied Ecology and Environmental Research*. 2017, vol. 15, № 3. 611–620.

Silphium integrifolium. URL: <http://www.missouribotanicalgarden.org>

Silphium integrifolium. URL: <https://www.revolvy.com>

Silphium perfoliatum L. URL: <https://www.revolvy.com>

Štochlová P., Novotná K., Benetka V. (2015). Variation in resistance to the rust fungus *Melampsora larici-populina* Kleb in *Populus nigra* L. in the Czech Republic. *iForest* 9: 146–153. <https://doi.org/10.3832/ifor1458-008>

Stolarski M.J., Krzyżaniak M., Szczukowski S., Tworkowski J., Załuski D., Bieniek A., Gołaszewski J. Effect of increased soil fertility on the yield and energy value of short-rotation woody crops. *Bioenergy Research*. 2015. 8. 1136–1147. <https://doi.org/10.1007/s12155-014-9567-9>

Stolarski M.J., Warmiński K., Krzyżaniak M. Energy value of yield and biomass quality of poplar grown in two consecutive 4-year harvest rotations in the North-East of Poland. *Energies*. 2020. 13. 1495. <https://doi.org/10.3390/en13061495>

Tang Y., Bao X., Liu K., Wang J., Zhang J., Feng Y., Wang Y., Lin L., Feng J., Li C. Genome-wide identification and expression profiling of the auxin response factor (ARF) gene family in physic nut. *PloS One*. 2018, vol. 13, № 8. 123–145. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201024>

Tassel D. L. Albrecht K. A., Bever J. D. et al. Accelerating Silphium domestication: An opportunity to develop new crop ideotypes and breeding strategies informed by multiple disciplines. *Crop Science*. 2017, vol. 57, № 3. 1274–1284.

Taylor, Populus: Arabidopsis for forestry. Do we need a model tree? *In Annals of Botany*. 2002, vol. 90. 681–689.

Tuskan G. A., Difazio, S. et al. The genome of black cottonwood, *Populus trichocarpa* (Torr. & Gray). *In Science*. 2006, vol. 313. 1596–1604.

Vityi A., Marosvölgyi B. New tree species for agroforestry and energy purposes. *Energy, Environment, Biology and Biomedicine*. 2014. 82–89. URL : <http://www.inase.org/library/2014/prague/bypaper/EEED-BIO/EEED-BIO-14.pdf>

Wang X., Cai X., Xu C., Wang, Q., Dai S. Drought-responsive mechanisms in plant leaves revealed by proteomics. *Int. J Mol Sci*. 2016, vol. 17, № 10. 1706. <https://doi.org/10.3390/ijms17101706>

Wojcińska M., Drost-Karbowska K. Phenolic acids in *Silphium perfoliatum* L. flowers (Asteraceae/Compositae). *Acta Ploniae Pharmaceutica – Drug Research*. 1998, vol. 55, N 5. 413–416.

Wu H., Lu H., Li L., Liu J., Mu S., Li X., Gao J. Genome-wide analysis of the AP2/ERF transcription factors family and the expression patterns of *DREB* genes in Moso Bamboo (*Phyllostachys edulis*). *PLOS ONE*. 2015. 10(5). e0126657

Wullschleger S., Jansson S., Taylor G. Genomics and forest biology: Populus emerges as the perennial favorite. *Plant Cell*. 2002. 14. 2651–2655.

Yevtushenko D. P., Misra S. Efficient Agrobacterium-mediated transformation of commercial hybrid poplar *Populus nigra* L. x *P. maximowiczii* A. Henry. *Plant Cell Rep*. 2010. 211–221.

Yu J., Jin X., Sun X., Gao T., Chen X., She Y., Jiang T., Chen S., Dai S. Hydrogen peroxide response in leaves of poplar (*Populus simonii* × *Populus nigra*) revealed from physiological and proteomic analyses. *Int. J Mol Sci.* 2017, vol. 18 № 10. P. 2085. <https://doi.org/10.3390/ijms18102085>

Zhang C., Lu Q., Verma D.P.S. Removal of feedback inhibition of $\Delta 1$ - pyrroline-5-carboxylate synthetase, a bifunctional enzyme catalyzing the first two steps of proline biosynthesis in plants. *J. Biol. Chem.* 1995. 270. P. 20491–20496.

Zhang J., Liu B., Li J., Zhang L., Wang Y., Zheng H., Lu M., Chen J. Hsf and Hsp gene families in *Populus*: genome-wide identification, organization and correlated expression during development and in stress responses. *BMC Genomics.* 2016, vol. 16, № 1. 181. <https://doi.org/10.1186/s12864-015-1398-3>

Zhang S., Chen F., Peng S., Ma W., Korpelainen H., Li C. Comparative physiological, ultrastructural and proteomic analyses reveal sexual differences in the responses of *Populus cathayana* under drought stress. *Proteomics.* 2010. 10. 2661–2677.

Zheng L., Meng Y., Ma J., Zhao X., Cheng T., Ji J., Chang E., Meng C., Deng N., Chen L., Shi S., Jiang, Z. Transcriptomic analysis reveals importance of ROS and phytohormones in response to short-term salinity stress in *Populus tomentosa*. *Frontiers in Plant Science.* 2015. № 6. 678. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00678>

Zhou M-L., Ma J-T., Pang J-F., Zhang Z-L., Tang Y-X., Wu Y-M. Regulation of plant stress response by dehydration responsive element binding (DREB) transcription factors. *African Journal of Biotechnology.* 2010, vol. 9(9). 9255-9269

Zhu X., Li X., Jiu S., Zhang K., Wang C., Fang J. Analysis of the regulation networks in grapevine reveals response to waterlogging stress and candidate gene-marker selection for damage severity. *Royal Soc. Open Sci.* 2018, vol. 5. № 6. 172-253. <https://doi.org/10.1098/rsos.172253>

Zhu Y.-N., Shi D.-Q., Ruan M.-B., Zhang L.-L., Meng Z.-H., Liu J., Yang, W.-C. Transcriptome analysis reveals crosstalk of responsive genes to multiple abiotic stresses in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *PLoS One.* 2013. № 11. 80218. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0080218>

ДОДАТОК

Додаток А

СПИСОК

публікацій авторського колективу за темою

1. Енергетичні та сировинні рослини. Каленська С.М. Рахметов Д.Б., Новітська Н.В. та інш. Навчальний посібник. Київ. НУБіП України, 2022. 274 с.

2. Колекційний фонд енергетичних, ароматичних та інших корисних рослин НБС імені М.М.Гришка НАН України / Д.Б. Рахметов, С.М. Ковтун-Водяницька, О.А. Корабльова та інш. Київ : ФОП Паливода В.Д., 2020. 208 с.

3. Куцоконь Н. К. Фіторемедіація по-шведськи в дії: верби для очищення міських стічних вод в Енчопінгу. Семінар з міжнародною участю «Чиста вода і ремедіаційні технології. Наголос на Чорнобильській катастрофі та інших антропогенних забрудненнях», Київ, 23 квітня, 2019. С. 34-37.

4. Куцоконь Н. К., Худолєєва Л. В., Лось С. А., Висоцька Н. Ю., Торосова Л.О., Ткач В.П., Нестеренко О. Г., Рашидов Н. М. Оцінка ростових показників однорічних клонів тополь і верб на короткоротаційній плантації в Харківській області. *Біологічні Студії / Studia Biologica*. 2018, том 12. №1. С. 55 – 64.

5. Куцоконь Н. К., Худолєєва Л. В., Лось С. А., Торосова Л. О., Висоцька Н. Ю. Evaluation of poplar and willow clones on the experimental short rotation plantation in Kharkiv region: results of the second cultivation year. *Plant varieties Studying and Protection*. 2020, vol. 16(2). С. 182-190 <https://doi.org/10.21498/2518-1017.16.2.2020.209238>

6. Літвінов С.В., Рашидов Н.М., Куцоконь Н.К., Кривохижа М.В., Нестеренко О.Г., Худолєєва Л.В., Хома Ю.А. Комплексне вивчення якісних, кількісних та конформаційних змін протеому рослин в умовах абіотичного стресу. *Матер. наук. конферен. Інституту ядерних досліджень НАН України за підсумками 2021 року* 26 - 30 вересня 2022 р. 2022. С. 74-79.

7. Нестеренко О.Г., Літвінов С.В., Рашидов Н.М., Куцоконь Н.К., Кривохижа М.В., Худолєєва Л.В., Хома Ю.А. Комбінований вплив іонізуючої радіації та засолення на протеом насіння гороху посівного. *Матер. наук. конферен. Інституту ядерних досліджень НАН України за підсумками 2021 року*. 26 - 30 вересня 2022 р. 2022. С.54-59

8. Патент на корисну модель № 135501 Україна. Спосіб підвищення якості пелет із біомаси (винахідники Хома Ю.А., Куцоконь Н.К., Рашидов Н.М., Павліський В.М., Нестеренко О.В.) Зареєстровано в Держ. реєстрі патентів України на корисні моделі 10.07.2019. Бюл. № 13, 2019. 2 с.

9. Патент на корисну модель №144268 Спосіб виготовлення пелет із біомаси однорічних пагонів павлової: Хома Ю.А., Рахметов Д.Б., Рахметова С. О., Фіщенко В.В., Нестеренко О.В., Куцоконь Н. К., Рашидов Н.М. Україна. Заявка № u 201911240.

10. Рахметов Д.Б. Екологічні засади інтродукції, збереження та раціонального використання біорізноманітності рослин в Україні. *Екологічна наукова діяльність: в концепції сталого розвитку* : збірник статей науково-практичної конференції з міжнародною участю, 4 грудня 2018. Житомир: ЕЦ «Укрекобіокон», 2018. С.22-28.

11. Рахметов Д.Б. Інноваційні засади мобілізації та використання нових і малопоширених сільськогосподарських культур в Україні. *«Інноваційні технології в рослинництві»* : наукова інтернет-конференція. Кам'янець-Подільський, 2018. С. 29-30.

12. Рахметов Д.Б. Науково-інноваційні засади розвитку НБС імені М.М.Гришка НАН України. *Стратегії збереження рослин у ботанічних садах та дендропарках* : матеріали Міжнар. наук. конф. Київ : Ліра-К, 2019. С. 25–28.

13. Рахметов Д.Б. Нетрадиционные виды растений в программе биоэнергетики Пилотный курс в рамках проекта FarmersEduca (Visegrad Fund Project N 21640443). URL : https://agrobionet.uniag.sk/flipbkPC01_L08

14. Рахметов Д.Б. Нетрадиционные виды растений для биоэнергетики, 2018. 103 с. URL : <https://agrobionet.uniag.sk/flipbkTB03>

15. Рахметов Д.Б., Вергун Е.Н., Стадничук Н.А., Рахметова С.А. Результаты интродукционной и селекционной работы сильфия пронзеннолистного (*Silphium perfoliatum* L.) в НБС имени Н.Н.Гришко НАН Украины. *Фундаментальні та прикладні аспекти інтродукції рослин у реаліях Євроінтеграції* : матер. Міжнар. наук.-практ. конф. присвяченої 100-річчю НАН України, 9–11 жовтня 2018р. Київ : Ліра-К, 2018. С. 114-116

16. Рахметов Д.Б., Рахметова С.О. Науково-прикладні засади мобілізації та використання нових енергетичних культур для оптимізації фіторесурсного потенціалу маргінальних земель України. *Перспективи виробництва біосировини енергетичних культур на рекультивованих землях*: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. Дніпро : ДДАЕУ, 2022. С. 12-17.

17. Рахметова С.О., Левчук Л.В., Вергун О.М., Блюм Я.Б., Рахметов Д.Б. Павловнія повстяна (*Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steud.) – нова швидкоросла енергетична рослина. *Глобальні наслідки інтродукції рослин в умовах кліматичних змін* : матер. Міжнар. наук. конф., 5–7 жовтня 2021 р., Київ: Видавництво Ліра-К, 2021. С. 98–100.

18. Хома Ю. А., Куцоконь Н. К. Фенологія розкривання бруньок у різних клонів тополь та верб. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. Серія: Біологія. №79. 2019. С. 86-94.

19. Хома Ю. А., Куцоконь Н. К., Рашидов Н. М., Павліський В. М., Нестеренко О. В. Вплив додавання розчину гліцерину на щільність пелет із соломи пшениці та деревини осики. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2018. № 5 (75). С. 36-43.

20. Хома Ю., Куцоконь Н., Нестеренко О., Худолєєва Л., Шейкіна А., Рашидов Н. Вплив водного дефіциту на ростові параметри різних клонів тополь та верб. *Актуальні проблеми ботаніки та екології* : матер. Міжнар. конф. молодих учених, Кирилівка, 2-5 вересня, 2018 р. Київ, 2018. С. 90.

21. Хома Ю.А., Куцоконь Н.К., Шейкіна А., Володарський Є.В. Фенологія розкриття бруньок у різних клонів швидкорослих дерев тополі та верби за дії водного дефіциту. *«Наукові, прикладні та освітні аспекти фізіології, генетики, біотехнології рослин і мікроорганізмів»* : матер. XIV конференції молодих вчених, Київ, 23-24 жовтня, 2019. С. 105-107.

22. Хома Ю.А., Худолєєва Л.В., Куцоконь Н.К., Шейкіна А., Володарський Є.В. Чутливість верби до сольового стресу в умовах культури *in vitro*. *«Наукові, прикладні та освітні аспекти фізіології, генетики, біотехнології рослин і мікроорганізмів»* : матер. XIV конференції молодих вчених, Київ, 23-24 жовтня, 2019. С. 107-108.

23. Худолєєва Л.В., Хома Ю.А., Куцоконь Н.К. Вплив сольового стресу на ростові параметри тополі та верби в культурі *in vitro*. *Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної освіти та науки* : матер. Міжнарод. науково-практич. конферен. Київ, «Агроосвіта», 13-14 березня, 2018. С. 569 – 572.

24. Худолієва Л., Куцоконь Н. Порівняння солестійкості представників родин *Populus* і *Salix* в умовах *in vitro*. *Science Rise: Biological Science*. 2018. 11 (2). С. 35 – 38.

25. Khoma Y., Khudolieieva L., Rashydov N., Kutsokon N. (2022) *In vitro* culture initiation and regeneration of two highly productive clones of poplar. *Nova Biotechnologica et Chimica*, 21(1), e1089. <https://doi.org/10.36547/nbc.1089>. (Q4)

26. Khoma Y., Kutsokon N., Rashydov N. Peculiarities of producing pellets from wheat straw and aspen wood. The 4-rd International Symposium On EuroAsian Biodiversity, Kyiv, Ukraine, 3-6 July, 2018. 387.

27. Khoma Y., Nesterenko O., Kutsokon N., Khudolieieva L., Shevchenko V., Rashydov N. Influence of water deficit on proline content in Salicaceae trees. The 5th International Symposium on EuroAsian Biodiversity, Almaty, Kazakhstan; Mugla, Turkey, 1-3 July, 2021. 277.

28. Khoma Y., Nesterenko O., Kutsokon N., L Khudolieieva., Shevchenko V., Rashydov N. Effect of salt stress on proline content in willow clone 'Zhytomyrska-1' in *in vitro* culture. The 1st International Conference on Experimental Sciences and Biotechnology. 8-10 September 2021. Mugla. 64.

29. Khoma Y.A., Kutsokon N.K., Rashydov N.M. Effect of water deficit on bud break in different clones of poplar and willow. *The role of Salicaceae and other fast-growing trees in economic recovery, sustainable wood supplies and climate change mitigation* : 26th Session of The International Commission on Poplars and Other Fast-Growing Trees Sustaining People and the Environment (IPC), Rome. October 5-8, 2021. 56-58.

30. Khoma Y.A., Nesterenko O.G., Kutsokon N.K., Khudolieieva L.V., Shevchenko V.V., Rashydov N.M. Proline content in the leaves of poplar and willow under water deficit. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 2021. 12(3), 519-522. <https://doi.org/10.15421/022171>

31. Khudolieieva L., Sheikina A., Kutsokon N. In vitro cultivation of Populus and Salix spp. The 4-rd International Symposium On EuroAsian Biodiversity, Kyiv, Ukraine, 3-6 July, 2018. 377

32. Kutsokon N., Khudolieieva L., Rakhmetov J., Rakhmetova S., Rashydov N. Evaluation of the fast growing tree clones for bioenergy needs in Ukraine. *The role of Salicaceae and other fast-growing trees in economic recovery, sustainable wood supplies and climate change mitigation* : 26th Session of The International Commission on Poplars and Other Fast-Growing Trees Sustaining People and the Environment (IPC), Rome. October 5-8, 2021. 63-67

33. Kutsokon N., Rakhmetov D., Rakhmetova S., Khudolieieva L., Rashydov N. Nursery screening of poplar and willow clones for biofuel application in Ukraine. *iForest: Biogeosciences and Forestry*, 2022. 15(5). 401-410. <https://doi.org/10.3832/ifor3732-015> (Q2)

34. Kutsokon N., Weih M. Poplar and willow forestry in the light of global climate changes in northern and eastern regions of Europe. The 4-rd International Symposium On EuroAsian Biodiversity, Kyiv, Ukraine, 3-6 July, 2018. 92.

35. Rakhmetov D., Vergun O., Fishchenko V., Rakhmetova S. *Agrobiodiversity for Improving the Nutrition, Health, Quality of Life and Spiritual Human Development : Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steud. as perspective energetic plant in Ukraine. *Book of Abstracts of the 5th International Scientific Conference*. 2021. 109. <https://doi.org/10.15414/2021.9788055224015>

36. Rakhmetov D.B., Vergun O.M., Rakhmetova S.O., Shymanska O.V., Fishchenko O.V. Study of some biochemical parameters and productivity of *Silphium* L. genotypes as perspective energetic crops. *Plant varieties Studying and Protection*. 2020, vol. 16(3). 262-269. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.16.3.2020.214927>;

37. Rakhmetov D.B., Vergun O.M., Stadnichuk N.O., Shymanska O.V., Rakhmetova S.O., Fishchenko V.V. Biochemical study of plant raw material of *Silphium* spp. in the M.M. Gryshko National Botanical Garden of the NAS of Ukraine. *Introdukciia Roslyn (Plant Itroduction)*, 2019, vol. 83, N 3. 80–86. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3404144>;

38. Rasydov N.M., Kutsokon N.K., Khoma Y.A., Kozikova D.O., Khudolieieva L.V., Kryvokhyzha M.V., Litvinov S.V., Rakhmetov D.B. Evaluation of prion-like proteins synthesis of the plant under influence stress factors. 6th edition of Global Congress on Plant Biology and Biotechnology, 24-26 March, 2022. URL : <https://plantbiologyconference.com/uploads/past-events/6th-edition-of-global-congress-on-plant-biology-and-biotechnology-2022-book.pdf>

39. Vergun O., Rakhmetov D., Rakhmetova S., Fishchenko V. Comparative study of biochemical composition of *Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steud. genotypes. *Agrobiodiversity for Improving Nutrition, Health and Life Quality*, 2022. 6(2). 180-190. <https://doi.org/10.15414/ainh1q.2022.0019>

40. Vergun O., Rakhmetov D., Shymanska O., Rakhmetova S., Fishchenko V. Some aspects of study of *Silphium* spp. (Asteraceae Bertch. & Presl.) plant raw material. *Сучасні аспекти збереження здоров'я людини : збірник праць XIII Міжнародної Міждисциплінарної науково-практичної конференції. Ужгород: ДВНЗ"УжНУ". 2020. С. 177-180*



УКРАЇНА



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 144268

СПОСІБ ВИГОТОВЛЕННЯ ПЕЛЕТ ІЗ БІОМАСИ
ОДНОРІЧНИХ ПАГОНІВ ПАВЛОВНИЇ

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі України корисних моделей
25.09.2020.

Заступник Міністра розвитку
економіки, торгівлі та сільського
господарства України

О.В. Романішин



Наукове видання

**ШВИДКОРОСЛІ ЕНЕРГЕТИЧНІ
РОСЛИНИ В УКРАЇНІ : ВИДИ РОДУ *POPULUS*, *SALIX*,
PAULOWNIA ТА *SILPHIUM***

Монографія

АВТОРСЬКИЙ КОЛЕКТИВ:

Д.Б. Рахметов, Н.К. Куцоконь, О.М. Вергун, Н.М. Рашидов,
Н.О. Стаднічук, С.О. Рахметова, Ю.А. Хома, Л.В. Худолєєва,
С.В. Літвінов, О.П. Бондарчук, А.С. Мосякін, В.В. Фіщенко,
О.В. Шиманська, Н.В. Нікішова

Відповідальний редактор – професор *Д.Б. Рахметов*

Літературний редактор *В.А. Дерев'янка*

Технічний редактор *С.О. Рахметова*

Керівник видавничого проєкту *Віталій Зарицький*
Комп'ютерний дизайн *Олена Щербина*
Авторська редакція

Підписано до друку 05.11.2024. Формат 70x100 ¹/₁₆.
Папір офсетний. Друк офсетний. Гарнітура Times New Roman.
Умовн. друк. аркушів – 10,4. Обл.-вид. аркушів – 7,33.
Тираж 300

Видавець і виготовлювач: ТОВ «Видавництво Ліра-К»
Свідоцтво № 3981, серія ДК.
03142, м. Київ, вул. В. Стуса, 22/1
тел.: (050) 462-95-48; (067) 820-84-77
Сайт: lira-k.com.ua, редакція: zv_lira@ukr.net