

**ПДАУ**  
ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



# **ЕНЕРГЕТИЧНІ КУЛЬТУРИ: сортимент, біологія, екологія, агротехнологія**

**Колективна монографія**

**Полтава 2023**

*Рекомендовано до друку вченою радою Полтавського державного  
аграрного університету  
(Протокол № 11 від 21.06.2023)*

**Рецензенти:**

доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу селекції і сталих технологій вирощування та перероблення біоенергетичних культур Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України **О. М. Ганженко**

доктор сільськогосподарських наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України, завідувач лабораторії насіннезнавства, насінництва та розсадництва Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України **В. А. Доронін**

доктор сільськогосподарських наук, професор, професор кафедри екології, збалансованого природокористування та захисту довкілля Полтавського державного аграрного університету МОН **П. В. Писаренко**

Енергетичні культури : сортимент, біологія, екологія, агротехнологія: колективна монографія / за ред. док. с.-г. наук., проф. М. І. Кулика. Полтава: "Астрія", 2023. 220 с.

**ISBP"; 9: /839/: 453/34/7"**

У колективній монографії наведено загальна характеристика, ботаніко-біологічні особливості, сортимент та агроекологічно обґрунтовані елементи технології вирощування енергетичних культур для виробництва біомаси. Подано результати досліджень з вивчення сортименту та удосконалення елементів технології вирощування сорго цукрового, проса прутоподібного, міскантусу гігантського й малопоширених енергетичних культур. Обґрунтовано особливості виробництва садивного матеріалу та шляхи екологізації вирощування міскантусу гігантського на біопаливо. Проаналізовано вплив елементів технології вирощування на врожайність малопоширених енергетичних культур: індіан-грасу, біг-блюестему, сорго багаторічного та павловнії. Розроблено новий спосіб сумісних посівів енергокультур.

Колективна монографія розрахована на здобувачів вищої освіти агрономічних та екологічних спеціальностей закладів вищої освіти, здобувачів наукового ступеня доктора філософії, науково-педагогічних працівників і спеціалістів аграрних підприємств.

**ISBP"; 9: /839/: 453/34/7"**

© Кулик М. І., 2023  
© Колектив авторів, 2023

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                                |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ                                                                             | 5   |
| <b>ВСТУП</b>                                                                                                                                   | 6   |
| <b>РОЗДІЛ 1. Загальна характеристика, сортимент, ботаніко-біологічні та екологічні особливості енергетичних культур (Кулик М. І.)</b>          | 8   |
| 1.1. Загальна характеристика енергетичних культур                                                                                              | 8   |
| 1.2. Сортимент енергетичних культур                                                                                                            | 15  |
| 1.3. Ботаніко-біологічна характеристика енергетичних культур                                                                                   | 21  |
| 1.4. Екологічні особливості за вирощування енергетичних культур                                                                                | 28  |
| <b>Висновки до розділу 1</b>                                                                                                                   | 34  |
| Література до розділу 1                                                                                                                        | 36  |
| <b>РОЗДІЛ 2. Вивчення сорго цукрового для біопаливного напрямку використання (Попова О. П.)</b>                                                | 46  |
| 2.1. Значення та сортимент сорго цукрового                                                                                                     | 46  |
| 2.2. Вивчення сортів сорго цукрового                                                                                                           | 54  |
| 2.2.1. Матеріал та методика проведення досліджень                                                                                              | 54  |
| 2.2.2. Посівні якості насіння та кількісні показники рослин сорго цукрового                                                                    | 55  |
| 2.2.3. Урожайності біомаси сорго цукрового залежно від сорту                                                                                   | 63  |
| 2.3. Вплив агротехнічних заходів на врожайність сорго цукрового                                                                                | 65  |
| 2.4. Використання сорго цукрового для виробництва біопалив                                                                                     | 67  |
| 2.5. Якісні характеристики рослинної сировини сорго цукрового                                                                                  | 72  |
| <b>Висновки до розділу 2</b>                                                                                                                   | 76  |
| Література до розділу 2                                                                                                                        | 78  |
| <b>РОЗДІЛ 3. Формування врожайності проса прутіподібного залежно від сорту та удосконалення елементів технології вирощування (Рошко І. І.)</b> | 85  |
| 3.1. Значення і сортимент проса прутіподібного (світчграсу)                                                                                    | 85  |
| 3.2. Вплив сортових властивостей на формування врожайності проса прутіподібного                                                                | 92  |
| 3.3. Вплив умов вирощування на насінневу продуктивність проса прутіподібного                                                                   | 97  |
| 3.4. Розробка елементів технології вирощування проса прутіподібного                                                                            | 106 |
| 3.5. Вплив елементів технології вирощування на врожайність насіння проса прутіподібного                                                        | 113 |
| <b>Висновки до розділу 3</b>                                                                                                                   | 117 |
| Література до розділу 3                                                                                                                        | 119 |
| <b>РОЗДІЛ 4. Екологізація вирощування міскантусу гігантського (Дековець В. О.)</b>                                                             | 130 |
| 4.1. Значення та сортимент міскантусу гігантського                                                                                             | 130 |
| 4.2. Вплив умов вирощування на вихід садивного матеріалу (ризом) та врожайність біомаси міскантусу гігантського                                | 133 |
| 4.3. Вплив схеми висаджування на вихід садивного матеріалу (ризом) та врожайність біомаси міскантусу гігантського                              | 137 |

|                                                                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.3.1. Вплив схеми висаджування ризом міскантусу гігантського на їх вихід, як садивного матеріалу                         | 140 |
| 4.3.2. Мінливість врожайності біомаси міскантусу гігантського залежно від схеми висаджування ризом                        | 148 |
| 4.4. Урожайність біомаси міскантусу гігантського залежно від сумісного вирощування з бобовими культурами                  | 151 |
| 4.5. Вплив біологізації технології вирощування міскантусу гігантського на врожайність біомаси                             | 157 |
| <b>Висновки до розділу 4</b>                                                                                              | 162 |
| Література до розділу 4                                                                                                   | 163 |
| <b>РОЗДІЛ 5. Вплив елементів технології вирощування на врожайність малопоширених енергетичних культур (Дьомін Д. Г.)</b>  | 171 |
| 5.1. Індіан-грас                                                                                                          | 171 |
| 5.2. Біг-блюестем                                                                                                         | 178 |
| 5.3. Вплив умов вирощування на врожайність біомаси й насіння сорго багаторічного (Колумбова Трава)                        | 182 |
| 5.4. Сумісні посіви малопоширених енергокультур                                                                           | 192 |
| 5.4.1. Обґрунтування проблематики дослідження                                                                             | 192 |
| 5.4.2. Матеріал та методика проведення досліджень                                                                         | 194 |
| 5.4.3. Вплив сумісного вирощування у фітоценозі на врожайність та енергопродуктивність малопоширених енергетичних культур | 196 |
| 5.5. Особливості вирощування павловнії                                                                                    | 200 |
| <b>Висновки до розділу 5</b>                                                                                              | 210 |
| Література до розділу 5                                                                                                   | 211 |
| <b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ</b>                                                                                                  | 218 |
| <b>Відомості про авторів</b>                                                                                              | 220 |

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

- АДЕ – альтернативні джерела енергії;  
ВДЕ – відновлювальні джерела енергії;  
ГДж – Гігаджоуль;  
Гкал – Гігакалорія;  
ГТК – гідротермічний коефіцієнт Селянінова;  
ДС – дослідна станція;  
ІБКіЦБ – Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків;  
МЕК – малопоширені енергетичні культури;  
НААН – Національна академія аграрних наук України;  
ЛАНУ – Лісівнича академія наук України;  
УІЕСР – український інститут експертизи сортів рослин;  
т/га – тон на один гектар;  
тис. га – тисяч гектарів;  
т н. е. – тон нафтового еквівалента;  
т ум. п. – тон умовного палива.

## Розділ 5

# ВПЛИВ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ НА ВРОЖАЙНІСТЬ МАЛОПОШИРЕНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР

(Дьомін Д. Г.)

---

---

- 5.1. Індіанграс (Сорговник поникаючий)
- 5.2. Біг Блюестем (Андропогон, Бородач Жерарді)
- 5.3. Вплив умов вирощування на врожайність біомаси й насіння сорго багаторічного (Колумбова Трава)
- 5.4. Сумісні посіви малопоширених енергетичних культур
  - 5.4.1. Обґрунтування проблематики дослідження
  - 5.4.2. Матеріал та методика проведення досліджень
  - 5.4.3. Вплив сумісного вирощування у фітоценозі на врожайність та енергопродуктивність малопоширених енергетичних культур
- 5.5. Павловнія

### 5.1. Індіанграс (Сорговник поникаючий)

Індіанграс, лат. *Indiangrass, Sorghastrum nutans L. Nash* (також зустрічаються назви *Indian Grass, Wood Grass, Sorghastrum avenaceum*) – багаторічна рослина, що походить зі східної та центральної частини США. Формує розлоге скупчення тонких, дугоподібних, насичено-зелених або синьо-зелених листків (рис.5.1). Як і багато інших представників прерій, індіанграс – рослина «теплого сезону», цвіте наприкінці літа та восени. Формує пір'ясті волоті мідного кольору з помітними яскраво-жовтими тичинками, які при дозріванні піднімаються над листям і стають світло-каштановими. Восени листки набувають від жовтого до яскраво-оранжевого кольору. Дорослі рослини сягають 90–150 см у висоту. Вільно самозапилюється, при наявності придатних умов [1].

Загальний вигляд рослин індіанграсу наведено на рис. 5.1.



**Рис. 5.1.** Індіанграсс (*Sorghastrum nutans* (L.) Nash)

Індіанграсс належить до роду *Sorghastrum*. Назва *Sorghastrum* походить від *Sorghum* і латинського суфікса *astrum* (погана імітація), що вказує на схожість із *Sorghum*. Рід складається приблизно з 20 видів, що розташовані переважно в тропічній і субтропічній Африці та Америці. Вісім видів і один підвид визначені в Інформаційній мережі ресурсів зародкової плазми (GRIN, 2003), з ареалами поширення в Канаді, США, Кубі, Мексиці, Південній Америці та тропічній Африці.

Найбільш поширені види у Північній Америці: індіанграсс (*Sorghastrum nutans* (L.) Nash), тонкий індіанграсс (*S. elliottii* (c. Mohr) Nash) і індіанграсс однобокий (*S. secundum* (Elliott) Nash) є типовими місцевими рослинами. Індіанграсс є найбільш широко поширеним видом *Sorghastrum*, на території, що обмежується південним сходом США [2].

Найкраще рослини індіанграсу розвиваються на освітлених площах на ґрунтах із середньою вологістю, добре дренованих. Ця рослина невибаглива до ґрунтів і здатна переносити широкий діапазон ґрунтових умов, включаючи важкі глинисті та бідні, неродючі ґрунти. Погано переносить надмірні зимові опади. Індіанграс стійкий до посухи, не потребує особливого догляду та практично не має хвороб і шкідників. Розмножується насінням або ризомами навесні.

У зв'язку з тим, що природні умови індіанграсу є подібними до територій центрального Степу й півдня України, він розглядається нами як перспективна енергетична культура.

При культивуванні індіанграсу, на сьогодні, є декілька напрямів досліджень: насіннева продуктивність, продуктивність біомаси.

Так, при вивченні впливу заходів, що прямо впливають на схожість насіння індіанграсу [3] встановлено наступні залежності. Тривале, сухе зберігання насіння протягом 5 та 11 місяців (насіння нового та попереднього сезону, відповідно) при 5 °С зумовлює низьку схожість насіння індіанграсу (менше 10 %). Також автори спробували підвищити схожість, піддавши насіння індіанграсу обробці, що порушує його стан спокою. Варіанти досліду включало три фактори впливу: замочування гідрохлоридом натрію (5,2 5 % об'єм NaOCl; терміном 20 або 60 хв), попереднє охолодження (5°C протягом 14 діб), обробка гібереліновою кислотою під час проростання (GA<sub>3</sub>, 1000 мг/л<sup>-1</sup>) та їх комбінації. В результаті було встановлено, що обробка NaOCl підвищувала схожість не охолодженого насіння лише тоді, коли воно було пророщене з обробкою GA<sub>3</sub>; 60-хвилинне замочування в NaOCl збільшило схожість до 53 % і 65 % насіння нового та попереднього сезону відповідно. Попереднє охолодження підвищило схожість до 65 % і 47 % насіння нового та попереднього сезону відповідно. Лабораторна схожість насіння 5 місячного зберігання, що було попередньо стратифіковане (охолоджене) додатково збільшилася до 86 %. При цьому проводили 20-хвилинне його замочування в NaOCl або проростання в GA<sub>3</sub>. Схожість стратифікованого (охолодженого)

насіння була збільшена до 67 % за рахунок проростання в GA<sub>3</sub>. В той самий час, 20-ти хвилинна подальша обробка із замочуванням в NaOCl ніяк не сприяла проростанню цього насіння. Оскільки, лише обробка NaOCl не сприяла проростанню, дослід продовжився перевіренням впливу на появу і ріст сходів GA<sub>3</sub> при 1000 мг/л<sup>-1</sup> протягом 2-тижневого періоду попереднього охолодження. Науковцями, які проводили дані дослідження було зроблені висновок: попереднє охолодження збільшило проростання в середньому до 34 % (для насіння як нового і минулого сезону), попереднє охолодження зі застосуванням GA<sub>3</sub>, збільшило лабораторну схожість до 75 % та 50 % для насіння нового та попереднього сезонів відповідно. Також виявлено, що зазначені обробки насіння не мали впливу на суху масу сходів, а вплив GA<sub>3</sub> на насіння під час, а не після попереднього охолодження, виявився найбільш ефективним у сприянні розвитку рослин індіанграсу.

Також важливими чинниками, при культивуванні індіанграсу, є температура й кількість вологи. За оптимального поєднання яких відбувається проростання насіння, що прямо впливає на терміни сівби. Так метою дослідження [3] було визначення впливу температури, водного потенціалу та також хлориду натрію на проростання Індіанграсу сортів Lometa, Cheyenne, Llano, Oto та Tejas. Насіння пророщували при 6 змінних температурах від 5–15 до 30–40° С (12–12 годин). Насіння Lometa, Cheyenne і Tejas пророщували в розчинах поліетиленгліколю (молекулярна маса = 8000), змішаних до приблизного водного потенціалу 0, -0,4, -0,8, -1,2 і -1,6 МПа і в 0, 0,06, 0,12, 0,18 і 0,24 моль л<sup>-1</sup> розчинів хлориду натрію. Оптимальні температури для збільшення відсотка проростання були від 10–20 до 25–35, 10–20 до 20–30 і 15–25 і 20–30 °С для насіння Cheyenne і Tejas, Llano і Oto і Lometa відповідно. Відсоток схожості насіння сортів Cheyenne і Lometa був знижений при водному потенціалі -0,8 МПа і нижче, тоді як насіння сорту Tejas продемонструвало нижчий відсоток схожості, ніж контрольні при -1,2 і -1,8 МПа. Відсоток схожості насіння сортів Cheyenne і Lometa був знижений концентраціями хлориду натрію 0,12 моль/л<sup>-1</sup> і більше. Схожість насіння сорту

Tejas була знижена при 0,18 і 0,24 моль л<sup>-1</sup>. Таким чином, доведено що сорти індіанграсу, проростають у схожому діапазоні температур, але суттєво відрізняються за реакцією проростання на низький потенціал води.

Водний режим місця вирощування індіанграсу має значний вплив в подальшому на показники якості насіння та кількість зібраної біомаси, що обумовлюється кліматичними умовами для інтродукції рослин. Так, в дослідженні [4], насіння індіанграсу було зібрано з трьох місць, які отримують приблизно 400 мм (Хейс, Канзас), 800 мм (Конза Прері, Канзас) і 1200 мм (південний Іллінойс) опадів на рік. Насіння пророщували у вермикуліті, по 6 саджанців висаджували в горщики із співвідношенням пісок / ґрунт 1:1. Було задіяно 12 дослідних умов, що розділені відповідно до чотирьох джерел екотипу (400 мм, 800 мм, 1200 мм та змішані) і трьох варіантів поливу (300, 600 і 900 мм). В кожній ємності залишили до 3 рослин. В горщики змішаного екотипу помістили по одному саджанцю різного екотипу. Кожна операція була повторена 5 разів (n = 60). Освітлення в теплиці подавалося протягом 8 годин на день, а температура була в межах +21...29 °С. Експеримент проводився протягом 12 тижнів, з частотою поливу – один раз в 4 дні. Чистий фотосинтез вимірювали після 12 тижнів росту за допомогою LiCor 6400, активне випромінювання (PAR) у камері для листків LiCor було налаштовано на умови, наближені до тепличних.

Після 12 тижнів росту й розвитку рослин, загальну біомасу індіанграсу розраховували за сумою надземної та підземної частини. Для розрахунку надземної біомаси, кожену рослину обрізали, висушили при 55°C і зважували. Для визначення підземної біомаси, коріння відокремлювали від ґрунту, промивали, сушили, також при 55°C і зважували.

Чисту продуктивність фотосинтезу та дані про біомасу рослин аналізували за допомогою процедури змішаної моделі в SAS (SAS Inst. 2003), де кількість рослин / ємність була випадковим ефектом. Дослідженням встановлено, що середні продуктивності фотосинтезу (стандартна помилка) у ємностях, висаджених одним екотипом, були найвищими у рослин із штату

Канзас (Хейс і Конза) у всіх режимах поливу. Середні значення істотно не відрізнялися ( $\alpha = 0,05$ ).

Відмінності у фізіологічних характеристиках індіанграсу, зібраного з різних вихідних популяцій, вирощених у спільному ґрунті та контрольованому середовищі, демонструють існування екотипівих варіацій.

Встановлено, що вага біомаси не зросла зі збільшенням водопостачання, як передбачалося, через високу продуктивність при найнижчому вмісту води. Це можна пояснити високою ефективністю використання води степними травами [5] і адаптацією цього виду до посухи через градієнт опадів.

Найменша варіація біомаси серед екотипів індіанграсу спостерігалася при найвищому зволоженні. Таким чином, екологічні наслідки для екотипівих варіацій домінантного виду можуть змінюватися в залежності від клімату.

Ємності, з саджанцями змішаного еко типу не показали відмінностей між джерелами біомаси, в залежності від процедур поливу або фотосинтезу, при умові, що всі джерела були висаджені одночасно.

Результат дослідження свідчить про те, що поєднання екотипів індіанграсу може стабілізувати продуктивність за більш широкого діапазону режимів опадів. При цьому рекомендовано провести польовий дослід для прогнозування реакції всієї екосистеми.

Найважливішим при культивуванні індіанграсу за його інтродукції, є швидкість проростання насіння та укорінення сходів. З метою покращення схожості насіння трьох популяцій було проведено дослідження [6]. Автори дослідили за допомогою двох циклів повторного відбору та польового випробування дев'ять популяцій індіанграсу. Два цикли рекурентного відбору були використані для створення популяцій  $C_1$  і  $C_2$ , з трьох раніше невідібраних популяцій індіанграсу. Цикл перший складався з пророщування 3500 штук придатних насінин кожної популяції «нульового»  $C_0$  у воді з потенціалом  $-0,8$  МПа протягом 7 днів. Усе насіння, що проросло протягом 7 днів, було відібрано для створення трьох популяцій  $C_1$ . Відбір у циклі 2 був подібним до циклу 1, за винятком того, що популяції  $C_1$  використовували для створення

трьох популяцій  $C_2$ . Щоб перевірити вплив відбору, чотири зразки по 50 штук дев'яти популяцій індіанграсу пророщували у воді з потенціалом  $-0,8$  і  $0$  МПа на протязі 7 діб для обох зборів насіння.

Обидва водні потенціали спричинили взаємодію популяції з відбором поколінь ( $P \leq 0,05$ ). Різні показники приросту серед популяцій індіанграсу для обробки водного потенціалу ( $-0,8$  і  $0$  МПа) описували взаємодію. У середньому популяції  $C_1$  і  $C_2$  проростали і приживалися в контрольованих умовах краще, ніж популяції  $C_0$  в польових умовах.

Таким чином, отримані дані свідчать про те, що повторна селекція для підвищення лабораторної схожості насіння індіанграсу в умовах низького водного потенціалу не тільки покращила 7-денну лабораторну схожість насіння, але також впливала на масу насіння та якість укорінення висаджених рослин. Тому укорінення травостою індіанграсу в польових умовах можливо покращити шляхом відбору для проростання насіння за низького водного потенціалу.

Щодо систем захисту, то на сьогодні такі дослідження висвітлені в обмеженій кількості публікацій.

Найвні дослідження щодо досходових гербіцидів на посівах індіанграсу [7]. В них доведено що рослини індіанграсу не мають достатньої толерантності до атразину [6-хлор-N-етил-N-(1-метилетил)-1,3,5-тріазин-2,4-діаміну]. Це доводить твердження щодо використання атразину як досходового гербіциду. Атразин блокує фотосинтез, викликаючи диференціальну флуоресценцію серед рослин. Поліпшення стійкості індіанграсу до атразину можливе лише за умови культивування рослин у закритому ґрунті та звичайних методів розведення.

Отже, індіанграс, як малопоширена енергетична культура цілком адаптована до вирощування в умовах України. Рослини здатні продукувати щорічно значний обсяг біомаси – сировини для виробництва біопалив.

## 5.2. Біг Блюестем (Андропогон, Бородач Жерарді)

Біг Блюестем (*Andropogon gerardii Vitman*), також поширені назви *BigBlueStem*, *Turkeyfoot* – це багаторічна рослина «теплого сезону» походить з Північної Америки, Мексики. Біг-блюестем утворює вертикальні стебла з листками злегка блакитного відтінку (рис. 5.2).



Рис. 5.2. Біг-блюестем *Andropogon gerardii Vitman*)

Навесні листки стають синьо-зеленими, а восени набувають насиченого оранжевого і мідно-червоного кольору, іноді з лавандовими відтінками. На стеблах наприкінці літа формуються суцвіття із глянцевиими насичено-фіолетовими, 3-роздільними, пальчастими суцвіттями, схожими на індичі лапки (звідси загальна назва). Висота стеблостою біг-блюестему сягає до 120–180 см. Ростає в щільному скупченні купин шириною 60–90 см. Вільно самозасівается, при наявності придатних умов.

Найкращі показники врожайності біг-блюестем формує на добре освітлених ділянках з сухими та середньо-зволоженими, добре дренованими

грунтами. Ця рослина не вибаглива до ґрунтів і здатна переносити широкий діапазон ґрунтових умов. Встановлено, що на родючих ґрунтах рослини будуть більш слабкими. У зв'язку з цим, біг-блуестем ідеально підходить для сівби на деградованих ґрунтах, а також берегах і схилах, з метою боротьби з ерозією [8]. В природніх умовах рослини біг-блуестему стійкі до шкідників та хвороб. Розмножують насінням або діленням коренів з ризом.

Селекція біг-блуестема (*Andropogon gerardii* Vitman) разом зі світчграсом (*Panicum virgatum* L.), з метою сталого виробництва біомаси для перетворення на біоенергію, розпочалася в США ще в 1992 році [9]. Метою досліджень було розробити платформу для єдиного регіонального тестування сортів і експериментальних популяцій цих видів. Також передбачалося оцінити багаторічні результати, досягнуті за культивування біг-блуестема протягом 1992–2012 рр. [9].

Загалом 25 зразків з різних популяцій світчграсу та 16 зразків з популяцій біг-блуестему було висаджено в однорідних регіональних випробуваннях. Було задіяно 13 місць у 2012 та 2014 роках на території США, у зонах з середньо-вологим помірним кліматом (по USDA від 3 до 6).

Значний прогрес збільшення врожайності біомаси був отриманий у біг-блуестему, та в популяціях гірського еко типу, популяціях низинного еко типу та гібридних популяціях світчграсу. Відмічено чотири механізми підвищення врожайності біомаси:

- а) особливості збільшення врожайності біомаси як такої;
- б) селекція на продовження вегетаційного періоду;
- в) поєднання більш пізнього цвітіння низинного еко типу з стійкістю високогірного еко типу популяцій, отриманих від гібридизації;
- г) збільшення виживання пізньоквітучих низинних популяцій у кліматичних умовах (інших зонах), які були зроблені задля розширення природної зони адаптації.

Світчграс продемонстрував усі чотири механізми в одній або кількох покращених популяціях, тоді як покращені популяції біг-блуестему зазнали

впливу двох із чотирьох механізмів. Уніфікована програма тестування довела можливість збільшення врожаю біомаси, виявила механізми збільшення врожаю та визначила характеристики адаптації та обмежень покращених популяцій цих рослин.

Окрім насіннєвого розмноження, по аналогії з міскантусами, в іншій науковій публікації досліджена можливість вегетативного розмноження біг-блюестему та Індіанграсу [10]. Базуючись на цих дослідях, можна припустити доцільність інтродукування біг-блюестему (поряд з світчграсом) в Степовій та Лісостеповій зонах України.

З метою визначення генетичного та екологічного впливу рівня опадів, п'ять екотипів біг-блюестему і сенд-блюестему [*Andropogon gerardii* var. *paucipilus* (Nash) Fern.] були закладені досліди в чотирьох звичайних умовах від західного Канзасу до південного Іллінойсу, США [11]. Цей експеримент підтвердив високу адаптивність біг-блюестему до режиму зволоження. Як й у випадку з індіанграсом, це можна пояснити високою ефективністю використання води багаторічними травами.

Конкуренція з бур'янами є основним фактором, що спричиняє неспроможність посіву трав «теплого сезону» як на пасовищах, так й на орних угіддях. Як посіви індіанграсу, так і біг-блюестему на початку вегетації є нестійкими до кількості бур'янів. У зв'язку з чим, вивчалася можливість застосування досходових гербіцидів з діючими речовинами: метолахлор та атразин [12]. На пасовищах і орних угіддях у центральній частині Великих рівнин Північної Америки, було проведено відповідні дослідження. Вони передбачали встановити ефективність застосування гербіцидів з діючими речовинами а) метолахлор (2-хлор-N-(2-етил-6-метилфеніл)-N-(2-метокси-1-метилетил) ацетамід) і б) атразин (6-хлор-N-етил-N<sup>1</sup>-(1-метил-етил)-1,3,5-триазин-2,4-діамін) на посівах малопоширених енергокультур. Гербіциди застосовали до сходів, та передбачали покращення росту й розвитку різних сортів біг-блюестему (*Andropogon gerardii* Vitman) та сенд-блюестему (*Andropogon gerardii* var. *paucipilus* (Nash) Fern.). Для цього біг-блюестем

сортів «Bonilla», «Pawnee», «Kaw» і «Rountree» і сорт «Goldstrike» сенд-блюестему були висіяні в кінці травня – на початку червня 1989 і 1990 років в Небрасці. По посівах провели обробку метолахлором в нормах 2,2 і 3,3 кг/га діючої речовини і атразином по 2 кг/га діючої речовини. Обробку проводили як окремо, так і в баковій суміші до сходів бур'янів. Густота стеблостою та врожайність сортів багаторічних трав визначали через рік після сівби. За результатами досліджень визначена частота травостою, що була > 50 % на варіантах з обробкою гербіцидів або без неї. Урожайність біомаси всіх сортів біг-блюестему та сенд-блюестему збільшилася до 30 % при застосуванні досходових гербіцидів у рік посіву, у порівнянні з ділянками, які не підлягали обробці гербіцидами. Для кожного варіанту врожайність і густота стояння були подібними, у випадку застосування метолахлору або атразину при нормі внесення 2,2 кг/га діючої речовини. Таким чином, автори встановили, що метолахлор є відповідною заміною атразину для обробки насаджень малопоширених енергокультур. Проте врожайність і густота стояння більшості сортів багаторічних трав були максимальними, коли метолахлор і атразин застосовувалися в комбінації.

Визначено, що, за умови використання гербіцидів на посівах біг-блюестему, необхідно коригувати норми висіву насіння [13]. На густоту травостою та врожайність біг-блюестему головним чином вплинули основні ефекти взаємодії гербіциду та норми висіву. Густота стеблостою зростає зі збільшенням норми висіву. В наведеному експерименті, великі насадження біг-блюестему були успішно створені на 12 ділянках. На трьох із чотирьох дослідних ділянках, на яких норма висіву була 110 PLS/м<sup>2</sup>, і на усіх ділянках за норми висіву 220 або 440 PLS/м<sup>2</sup> урожайність біг-блюестему підвищилася на 1,2 кг/га на площах, оброблених метолахлором, у порівнянні з необробленими ділянками. Згідно місць проведення досліджень у «Clay Center» і Міді, протягом 1991–1992 років науковці встановили наступне. Атразин підвищив урожайність біг-блюестему на 1,2 і 2,4 кг/га у Міді, та не мав впливу на цей показник у «Clay Center».

Виходячи з наведеного, досліджувані гербіциди, діючими речовинами в яких є метолахлор та атразин можна застосовувати на посівах біг-блуестему у якості досходового гербіциду з відповідним корегуванням норм висіву насіння.

Отже, біг-блуестем – це багаторічний злак, що добре акліматизований до умов вирощування. Рослини розмножуються як генеративно, так і вегетативно. Найвні дослідження з способів допосівної підготовки насіння, що здатні поліпшити його якість. Також визначено, що застосування досходових гербіцидів збільшує до 30 % урожайність біомаси при встановленій нормі висіву насіння,

### **5.3. Вплив умов вирощування на врожайність біомаси й насіння сорго багаторічного (Колумбова Трава)**

Сорго багаторічне, лат. *Sorghum almum Parodi* – багаторічна культура, що відноситься до роду соргових (*Sorghum*). Батьківщиною трави Колумба є Аргентина, де вона вперше була описана в 1943 році. Трава Колумба є природнім гібридом гумаю (*S. Halepense*) і суданської трави (*S. Sudanense*) [14].

Колумбова трава є високопродуктивним багаторічником, з високим вмістом крохмалю й цукру в кореневій системі та рослинах [15]. Вона має широкий ареал розповсюдження від тропічного, субтропічного до помірного клімату, особливо в районах з постійною незначною кількістю опадів, оскільки має високу посухостійкість [16]. Окрім посухостійкості, трава Колумба має позитивні реакції на умови зволоження, краще за інші види сорго. Окрім цього, сорго багаторічне потребує найменшу кількість вологи для створення сухих речовин [17].

Рослини сорго багаторічного доволі високорослі, добре облиствені та характеризуються швидкими темпами наростання надземної вегетативної маси (рис. 5.3).



а)

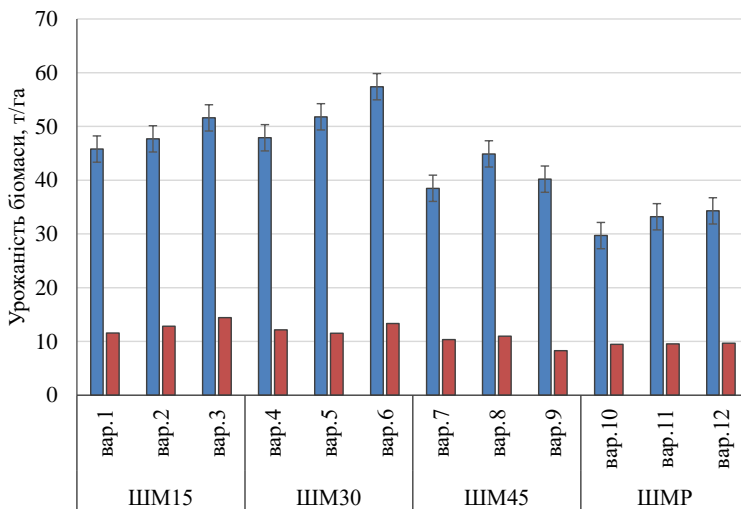
б)

**Рис. 5.3. Трава Колумба а) рослини 2-го року вегетації, б) суцвіття – волоть, Полтавська область, червень 2023 р.**

За вирощування трави Колумба основні чинники, які досліджуються на сьогодні, є залежність врожайності біомаси від декількох агротехнічних чинників. До них відносять: способи, норми й строки сівби насіння, весняні підживлення посівів, та ін. [18, 19].

Так, при вивченні різної норми висіву насіння 10, 20, 30 кг/га найбільшу врожайність отримано на ділянках з шириною міжрядь 45 см і з нормою висіву насіння 30 кг/га. Для міжрядь 15, 45, 75 см визначена прямо пропорційна залежність між врожайністю й нормою висіву насіння [18]. Окремо зазначимо, що дослідження може розглядатися як основне, оскільки проводилось в кліматичних умовах, ідентичних до умов Лісостепу й Степу України.

За 9 років дослідження, авторами виявлено найкращим варіант при нормі висіву насіння 30 кг/га з міжряддями шириною 45 см, за умови ранньої сівби (1-ша декада травня, а при ранній весні з 3-тої декади квітня). Врожайність сухої біомаси у цьому випадку склала 16,58 т/га. Інші норми висіву насіння та ширина міжрядь (як більш вузча, так і ширша) призводять до зниження врожайності біомаси сорго багаторічного (рис. 5.4).



Примітка: вар. 1, 4, 7 – норма висіву 10 кг/га, вар. 2, 5, 8 – норма висіву 20 кг/га, вар. 3, 6, 9 – норма висіву 30 кг/га, вар. 10, 11, 12 – розкидний спосіб сівби.

**Рис. 5.4. Урожайність біомаси трави Колумба залежно від норм висіву насіння та ширини міжряддя за оптимального строку сівби [18].**

Таким чином, найбільш оптимальний варіант з метою отримання максимальної кількості біомаси сорго багаторічного відповідає раннім термінам сівби з шириною міжрядь 45 см. Слід зазначити, що, у разі вирощування трави Колумба з метою отримання сухої біомаси (для подальшої переробки на біопаливо), для зменшення витрат на вирощування, можуть бути доцільними інші варіанти з наведених вище. Оскільки вплив досліджуваних чинників найбільше відображається на врожайності зеленої маси сорго багаторічного.

Щодо оптимальних термінів сівби насіння, то згідно дослідження авторів [18] встановлено вплив температури на лабораторну схожість насіння трави Колумба. Виявлено, що оптимальною температурою для проростання насіння цієї культури є 24–25 °С. Температури в діапазоні нижче 20 °С й вище 35 °С призводять до зниження відсотку проростання насіння. При цьому слід

враховувати, що польова схожість насіння, в середньому, на 12–15 % буде меншою ніж лабораторна.

Важливим чинником, що впливає на врожайність трави Колумба є система підживлення, оскільки рослини чітко реагують на зміни ґрунтових умов вирощування. Урожайність трави Колумба, окрім кліматичних умов, залежить від рівня мінерального живлення травостою.

Науковці встановили, що найбільша врожайність трави Колумба формується на варіантах з внесенням  $N_{200}P_{140}K_{100}$ , а подальше збільшення норми внесення добрив не привело до збільшення врожайності [19].

Також, при розгляді аспектів вирощування трави Колумба на зрошенні в степовій, посушливій зоні Криму [20], виокремлено оптимальні терміни сівби насіння. Встановлено, що цей час припадає коли температури ґрунту на глибині сівби насіння прогріється до 10-11 °С.

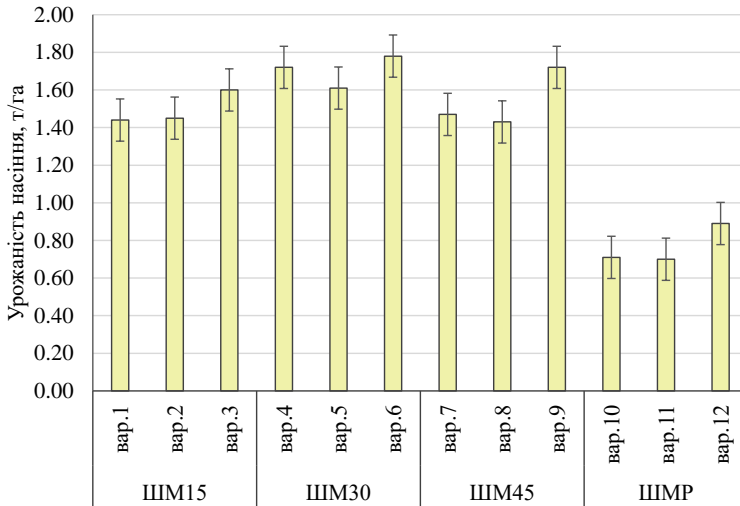
Трава Колумба, як всі соргові культури на початкових етапах (від сівби до кущення) розвивається досить повільно, що має вплив на врожайність за наявності забур'яненості насаджень. Не зважаючи на інтенсивний ріст сорго, у порівнянні зі злаковим різнотрав'ям бур'янів, при значній засміченості ділянок, ріст уповільнюється, кушіння не є вираженим, а відмічається вихід в трубку при недостатньому рості рослин в висоту [21].

З метою зменшення засміченості посівів сорго рекомендовано провести першу міжрядну обробку до появи сходів, або в період початку вегетації. Після проходження фази кушіння трава Колумба сама здатна пригнічувати бур'яни до рівня, що майже не впливає на врожайність.

Насіннева продуктивність трави Колумба згідно досліджень авторів [18] залежить від строку й способу сівби. Проведений ними порівняльний аналіз врожайності насіння показує пряму залежність урожайності насіння від цих чинників. При ранніх строках сівби врожайність насіння буде більшою, у порівнянні з середніми й пізніми, оскільки насіння встигає визріти до початку збирання культури. Найвищим показником насінневої продуктивності був при умовах раннього терміну сівби, широкорядним способом (ширина міжрядь 45

см), з нормою висіву 30 кг/га. Варіант такої сівби трави Колумба є найвигіднішим, оскільки він є універсальним як для випадків культивування на біомасу, так і на насіння.

Урожайність насіння сорго багаторічного залежно від норми висіву насіння, строків сівби й ширини міжряддя наведено на рис. 5.5.



*Примітка:* вар. 1, 4, 7 – норма висіву 10 кг/га, вар. 2, 5, 8 – норма висіву 20 кг/га, вар. 3, 6, 9 – норма висіву 30 кг/га, вар. 10, 11, 12 – розкидний спосіб сівби.

**Рис. 5.5. Урожайність насіння сорго багаторічного залежно норм висіву насіння та ширини міжряддя за раннього строку сівби [18].**

При зниженні норми висіву насіння сорго багаторічного до 10 кг/га також можливо досягти високої врожайності насіння (за раннього і пізнього строку сівби), але врожайність біомаси буде нижчою порівняно із 30 кг/га.

На нашу думку, трава Колумба, у разі вирощування її з метою отримання біомаси для отримання біопалива, повинна розглядатися, з економічної точки зору, як проміжна культура. Що дозволить підвищити економічні показники, оскільки вона має високу врожайність з першого року культивування, у порівнянні з іншими злаковими енергетичними культурами. Поряд з цим

визначено значно менший термін стабільної врожайності біомаси на одній ділянці – до 5–7 років [22] на противагу 14–17 років, що характерно для таких культур як: світчграс, індіанграс, міскантус.

З усього загалу наявних у нашій країні енергокультур ми обрали для вивчення саме перспективну культуру сорго багаторічного. Ця рослина завдячуючи багаторічному циклу свого росту і розвитку, також володіє адаптивними особливостями. Поряд з цим, морфологічна будова рослин сорго багаторічного дозволяє щорічно стабільно отримувати значний обсяг біомаси, що має різнобічне використання.

Встановлено, що за вирощування сорго багаторічного на насіння, його врожайність змінюється залежно від року життя. Впливає також спосіб сівби, густота стояння рослин та інші чинники. Поряд із кількістю рослин на одиницю площі та інших елементів технології вирощування вони мають вплив на продуктивність культури. Визначено, що найбільшу насіннєву продуктивність рослини мають у перші роки вегетації – до 1,9–2,2 т/га. На завершальному етапі врожайність насіння знижується до 700–800 кг/га. Що обґрунтовують зменшенням щільності травостою, а також нерівномірністю досяганням насіння на генеративних пагонах. Можливе також самовисипання насіння.

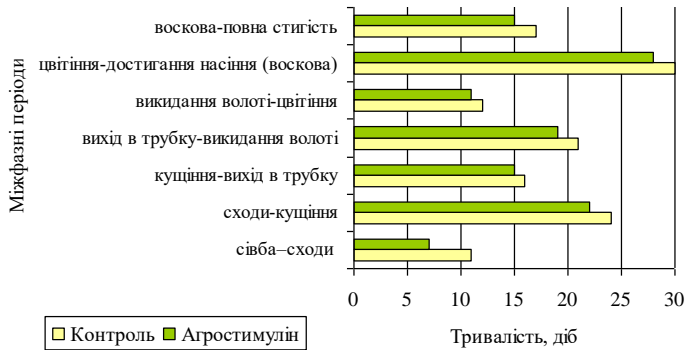
У зв'язку з чим, з метою визначення впливу варіантів застосування препарату “Агростимулін”, як елементу технології вирощування на врожайність насіння сортів сорго багаторічного ми провели дослідження.

*Матеріали та методи досліджень.* Матеріалом для дослідження були зареєстровані сорти сорго багаторічного: Коломбо і Парана, та препарат “Агростимулін”. Дослід закладено відповідно методики дослідної справи в агрономії на «Колекції енергетичних культур» протягом 2018–2020 рр.

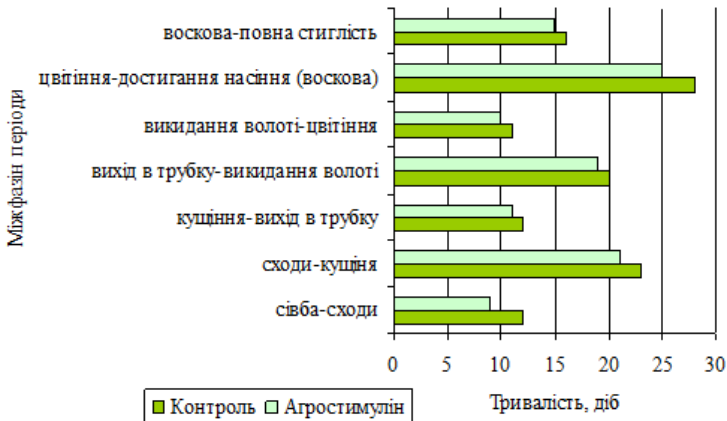
Під час проведення експерименту були застосовані як загальнонаукові методи, так і спеціальні методи. До останніх відносимо: лабораторний – визначення мінливості кількісних показників рослин (структурний аналіз елементів продуктивності). Польовий метод передбачав визначення взаємодії предмету з об'єктом досліджень. А от розрахунково-ваговий допоміг

встановити рівень насіннєвої врожайності залежно від досліджуваних чинників.

*Результати досліджень.* Визначено, що тривалість міжфазних періодів сорго багаторічного залежала як від сортових властивостей, так і від застосування препарату (рис 5.6-5.7).



**Рис. 5.6. Тривалість міжфазних періодів сорго багаторічного сорту Коломбо, середнє за 2018-2020 рр.**



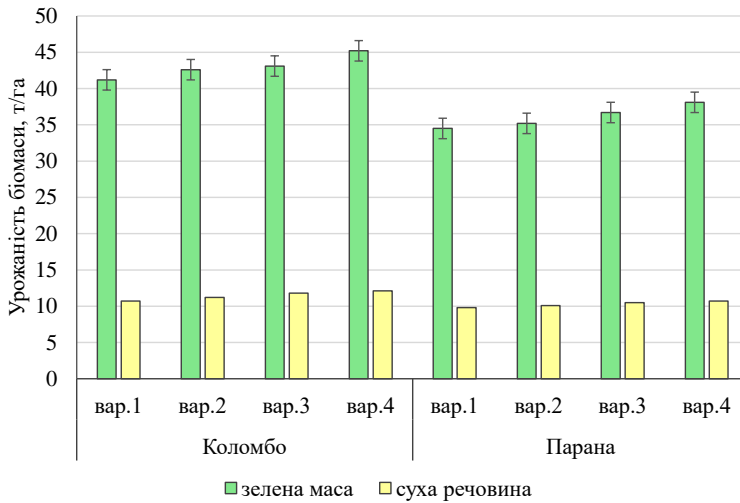
**Рис. 5.7. Тривалість міжфазних періодів сорго багаторічного сорту Парана, середнє за 2018-2020 рр.**

За встановлення тривалості міжфазних етапів росту і розвитку та періоду вегетації сортів сорго багаторічного визначено, що вони зменшуються при застосуванні препарату “Агростимулін”. Встановлено, що вегетаційний період для сорту сорго багаторічного Колумбо становив 132–135 діб та 110–122 діб – тривав для сорту Парана.

Залежно від застосування “Агростимуліну” міжфазні періоди у сортів сорго – різнилися. У сорту Колумбо тривалість періоду «сівба–сходи» становила 7–11 діб, за період «сходи-кущіння» в середньому минає 22–24 доби; від «кущіння– вихід в трубку» – 15–16 діб; до часу «викидання волоті» – 19–21; до періоду «цвітіння» – 11–12 діб. Після чого, через 28–30 діб настає воскова стиглість, а ще через 15–17 діб – фіксували повне досягання насіння

У сорту Парана тривалість періоду «сівба–сходи» становила 9–12 діб, а за період «сходи-кущіння» в середньому минає 21–23 доби; від «кущіння-вихід в трубку» – 11–12 діб. Під час генеративного періоду розвитку рослин сорго визначено, що від фази «виходу в трубку» до часу «викидання волоті» проходить 19–20 діб; від викидання волоті до періоду «цвітіння» – 10–11 діб. Цвітіння-досягання насіння триває 25–28 діб, у цей час насіння має воскоподібну стиглість, а ще через 15–16 діб – фіксували повне досягання насіння. У загальному на 2–7 діб тривалість окремих міжфазних періодів у сорго багаторічного сорту Парана була коротшою, ніж для сорту Колумбо.

Встановлено, що рослини сорго багаторічного за роки вирощування можуть досягати до 3–3,5 м висоти. Найбільш інтенсивний приріст рослин відбувається у літні місяці (у липні). Застосування “Агростимуліну” для допосівної підготовки насіння дозволяє скоротити тривалість початкових етапів росту та розвитку рослин. Це дозволяє контролювати рівень забур’яненості посіви сорго багаторічного. А це, в свою чергу створює сприятливі умови для росту і розвитку рослин сорго. Застосування біопрепарату додаткового по вегетації позитивно впливало на висоту та густоту стеблостою сорго, та дозволяє у кінцевому результаті збільшити не тільки врожайність біомаси (рис. 5.8), але й насіння (рис. 5.9).

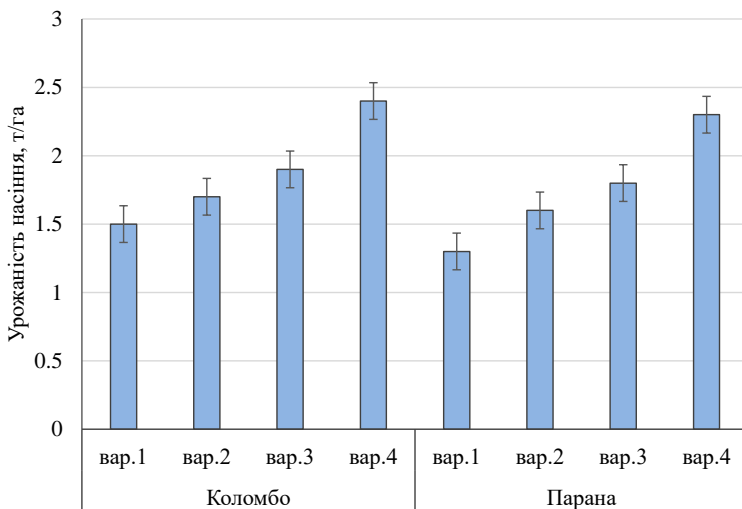


*Примітка:* варіант 1 – контроль, варіант 2 – допосівна обробка насіння препаратом Агростимулін, варіант 3 – позакоренева обробка посівів препаратом Агростимулін, варіант 4 – допосівна обробка насіння та посівів препаратом Агростимулін.

**Рис. 5.8. Урожайність біомаси сорго багаторічного сорту Коломбо та Парана, середнє за 2018-2020 рр.**

З-поміж варіантів поставлених на вивчення, найбільший вплив на врожайність зеленої маси та вихід сухої речовини сорго багаторічного має допосівна обробка насіння та посівів препаратом Агростимулін. Для сорту Коломбо (45,2 т/га зеленої маси і 12,1 т/га сухої речовини) та сорт Парана (38,1 т/га зеленої маси і 10,7 т/га сухої речовини)

Під час визначення насінневої врожайності сорго багаторічного нами встановлено її рівень залежно від варіантів дослідів у розрізі сортів, що були поставлені на вивчення. Достовірно вищу врожайність насіння в усі роки і в середньому за роки отримали у сорту Коломбо порівняно із сортом Парана. Середнє значення за насінневою врожайністю залежно від досліджуваних чинників наведено на рис. 5.9.



*Примітка:* варіант 1 – контроль, варіант 2 – допосівна обробка насіння препаратом Агростимулін, варіант 3 – позакоренева обробка посівів препаратом Агростимулін, варіант 4 – допосівна обробка насіння та посівів препаратом Агростимулін.

**Рис. 5.9. Урожайність насіння сорго багаторічного сорту Коломбо та Парана, середнє за 2018-2020 рр.**

Максимальну насіннєву врожайність сорго багаторічного сорту Коломбо і Парана (2,4 і 2,3 т/га) отримали на варіантах сумісної обробки насіння та підживлення рослин по вегетації препаратом “Агростимулін”. Меншим цей показник виявлено у даних сортів на варіантах за обробка лише насіння та на контролі (без обробки).

Найбільші значення показників економічної ефективності виробництва насіння сорго багаторічного отримали у сортів Коломбо і Парана при застосування “Агростимуліну”. Це є характерним як і для виробництва біомаси, так і насіння цих сортів.

## 5.4. Сумісні посіви малопоширених енергетичних культур

### 5.4.1. Обґрунтування проблематики дослідження

На сьогодні, поряд із загальновідомими та поширеними на території нашої країни рослинами, використання нових та виробництва із них біопалива набуває актуального значення. Адже, інтродуковані, малопоширені енергокультури мають цілий спектр переваг: багаторічний цикл життя, високу продуктивність, адаптивні властивості до умов вирощування та шкідників і збудників хвороб, високу ефективність виробництва біомаси. Що також дозволить розширити різноманіття енергетичних культур для вирощування на маргінальних землях [23–25].

Окрім цього визначено, що загальновідомі енергокультури – світчграс (*Panicum virgatum* L.) й сорго багаторічне та малопоширені: сорговник поникаючий (*Sorghastrum nutans* (L.) Nash), бородач Жерарді (*Andropogon gerardii* Vitman) за біологією є типовими представниками родини тонконогові. Ці рослини за своїми морфологічними особливостями здатні формувати потужну надземну вегетативну масу на 2–3 рік вегетації з терміном експлуатації енергопосівів – від 7 до 15 років. Що цілком відповідає критеріям сталості виробництва рослинної біомаси, як сировини для виробництва біопалив [26].

В попередній нашій публікації ми вивчили вплив біометричних показників рослин на врожайність біомаси інтродукованих малопоширених енергетичних протягом 2018–2020 рр. Було встановлено, що біометричні показники рослин за висотою і густотою стеблостою мають суттєвий вплив на рівень врожайності біомаси індянграсу (сорговника поникаючого), біг-блюстему (Бородача Жерарді) та сорго багаторічного (трави Колумба). Було визначено, що найбільшу врожайність за сухою біомасою у монокультурі формує сорго багаторічне (8,0 т/га) й сорговник поникаючий (5,0 т/га), суттєво менше – Бородача Жерарді (2,3 т/га) [27].

Зарубіжними дослідженнями встановлено, що збирання змішаних травостоїв (*Andropogon gerardii*, *Sorghastrum nutans*, *Schizachyrium scoparium*) з інтервалами від 30 до 40 днів може забезпечити високі врожаї біомаси. Що не впливало на відновлення післясезонного відростання травостою за багаторазового його збирання. А врожайність досліджуваних культур була в межах – від 7,6 до 8,5 т/га [28].

У подібному дослідженні, в якому порівнювало врожайність енергетичних культур в штаті Міссурі: *Panicum virgatum L.*, *Schizachyrium scoparium (Michx)* та *Sorghastrum nutans L.* було визначено потенціал їх продуктивності. Автори публікації встановили, що ці культури формували врожайність біомаси на рівні або вище 4,0 т/га, тоді як урожай *Tripsacum dactyloides L.* становив 3,8 т/га [28].

Зарубіжні науковці визначили, що суміші світчграсу і Індіанграсу добре підходять для сталого виробництва енергії з біомаси. Встановлено, що вимоги до азотного живлення для цих сумішей були відносно низькими, що зменшувало виробничі витрати на виробництво біомаси [29].

Результатами досліджень Т. L. Springer із співавторами доведено ефективність вирощування світчграсу в поєднанні з іншими культурами. Вони вивчали комплементарні види рослин як альтернативний підхід до виробництва фітомаси. Було вивчено шість монокультур та 15 бінарних сумішей. Поєднання цих рослин дозволило збільшити врожайність біомаси до 12,3–13,6 т/га [30].

Нашими попередніми дослідженнями доведено ефективність вирощування світчграсу разом із люпином багаторічним: як в плані збільшення врожайності біомаси, так і використання для очищення ґрунтів [31].

Поряд з цим, інші науковці визначили, що застосування певного комплексу агрозаходів за вирощування енергетичних культур збільшує їх врожайність, підвищує енергопродуктивність та забезпечує більший вихід енергії [32–34].

Тому, подальше вивчення особливостей формування врожайності й пошуку шляхів збільшення обсягів енергоємної біомаси має актуальне значення. У зв'язку з тим, що досліджень малопоширених енергокультур на території України обмаль, нами були проведені дослідження з пошуку заходів збільшення врожайності та енергопродуктивності біомаси цих культур.

#### **5.4.2. Матеріал та методика проведення досліджень**

Мета дослідження – встановити вплив сумісного вирощування енергетичних культур на врожайність їхньої надземної вегетативної фітомаси та енергопродуктивність посівів.

Передбачено виконання наступних завдань дослідіу:

1. Встановити рівень врожайності надземної вегетативної маси (біомаси) за сумісного вирощування енергетичних культур.
2. Визначити енергопродуктивність різних сумішок енергокультур в розрізі варіантів дослідіу.

Дослід закладено і проведено в умовах Дніпровської області на маргінальних ґрунтах упродовж 2018–2022 років. Ґрунти дослідної ділянки мали наступні характеристики, що відповідали визначенню «маргінальні»: вміст гумусу – низький – на рівні 2,8 %, лужно-гідролізованого азоту – 105,5 мг/кг ґрунту, фосфору – 114,6 мг/кг ґрунту, рН сольове становить 6,8.

Погодні умови протягом періоду проведення досліджень характеризувалися щомісячною мінливістю як за температурою повітря, так і за кількістю опадів порівняно із середньо-багаторічними показниками.

Найбільш повно погодні умови можливо охарактеризувати за гідро-термічним коефіцієнтом (ГТК). Протягом періоду вегетації енергетичних культур ГТК був мінливим: у 2018 році він становив 0,63, у 2019 – 0,81, у 2020 році – 0,92, у 2021 – 0,53, а у 2022 – 0,87. Тобто, майже в усі роки дослідження відмічали посушливі умови протягом вегетаційного періоду енергокультур, що були поставлені на вивчення.

Дослід закладено й проведено згідно методики дослідної справи в

агрономії [35] за схемою двофакторного експерименту із рослинами енергетичних культур: світчграс (*Panicum virgatum*L.), сорго багаторічне (*Sorghum almum Parodi*), сорговник поникаючий (*Sorghastrum nutans (L.) Nash*), Біг-блуестем – бородач Жерарді (*Andropogon gerardii Vitman*).

За проведення експерименту ми застували: загальнонаукові методи, так і спеціальні методи, в т.ч.: польовий – визначення взаємодії енергокультур з умовами вирощування; ваговий – визначення врожайності біомаси енергетичних культур; лабораторно-аналітичний – визначення енергоемності біомаси енергетичних культур, розрахунковий – встановлення енергопродуктивності посівів енергетичних культур. Також був застосований математично-статистичний аналіз отриманих результатів досліджень (дисперсійний метод). Він полягав у визначенні суттєвої різниці між варіантами досліду згідно НІР при 5 % рівні значущості.

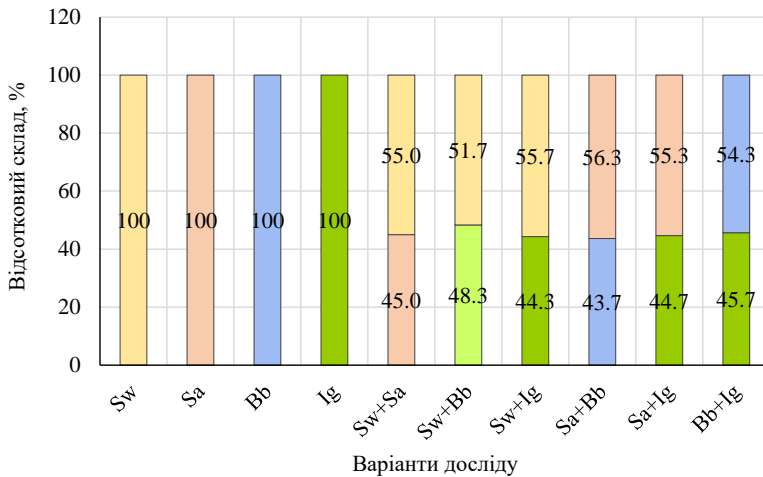
Варіанти досліду поєднували: Sw – одновидові посіви світчграсу (варіант 1, контроль), Sa – одновидові посіви сорго багаторічного (варіант 2, ум. контроль), Bb – одновидові посіви Біг-блуестему (варіант 3, ум. контроль), Ig – одновидові посіви індіанграсу (варіант 4, контроль), Sw+Sa – сумісні посіви світчграсу та сорго багаторічного (варіант 5), Sw+Bb – сумісні посіви світчграсу та Біг-блуестему (варіант 6), Sw+Ig – сумісні посіви світчграсу та індіанграсу (варіант 7), Sa+Bb – сумісні посіви Біг-блуестему та сорго багаторічного (варіант 8), Sa+Ig – сумісні посіви індіанграсу та сорго багаторічного (варіант 9), Bb+Ig – сумісні посіви індіанграсу та Біг-блуестему (варіант 10).

У наших дослідженнях врожайність так званої «сирої» (фітомаси) та «сухої» (біомаси) надземної маси енергетичних культур визначали після закінчення вегетації рослин [36].

Енергопродуктивність біомаси енергетичних культур розраховували відповідно методики [37]. Статистичний обрахунок даних досліду здійснювали відповідно методичних вказівок [38].

### 5.4.3. Вплив сумісного вирощування у фітоценозі на врожайність та енергопродуктивність малопоширених енергетичних культур

За результатами багаторічних досліджень встановлено, що сумісне вирощування енергетичних культур дозволяє оптимізувати структуру фітоценозу і найбільш доцільно використати площу. Це сприяє рівномірному розподілу рослин у відсотковому складі, інтенсивнішому росту й розвитку енергетичних культур, затіненню й витісненню ними бур'янів (рис. 5.10).



*Примітка:*

- Sw – одновидові посіви світчграсу (варіант 1, контроль),
- Sa – одновидові посіви сорго багаторічного (варіант 2, ум. контроль),
- Bb – одновидові посіви Біг-блуестему (варіант 3, ум. контроль),
- Ig – одновидові посіви індіанграсу (варіант 4, контроль),
- Sw+Sa – сумісні посіви світчграсу та сорго багаторічного (варіант 5),
- Sw+Bb – сумісні посіви світчграсу та Біг-блуестему (варіант 6),
- Sw+Ig – сумісні посіви світчграсу та індіанграсу (варіант 7),
- Sa+Bb – сумісні посіви Біг-блуестему та сорго багаторічного (варіант 8),
- Sa+Ig – сумісні посіви індіанграсу та сорго багаторічного (варіант 9),
- Bb+Ig – сумісні посіви індіанграсу та Біг-блуестему (варіант 10).

**Рис. 5.10. Структура фітоценозу змішаних посівів енергетичних культур у польовому досліді, 2018–2022 рр.**

Визначено, що одновидові посіви енергетичних культур займали 100 % склад, тоді як у сумісних посівах відмічалось варіювання за даним показником – від 43,7 до 55,7 % залежно від складу травосумішки. Що пов'язуємо із природньою конкуренцією рослин за світло та поживні речовини при розміщенні їх сумісно на одній площі.

Оптимізація видового складу у сумісних посівах енергетичних культур впливає на рівень врожайності біомаси рослинних компонентів за роками досліджень (табл. 5.1).

Таблиця 5.1

**Урожайність біомаси енергетичних культур (т/га), 2018–2022 рр.**

| Варіанти          | Рік вегетації          |                        |                        | Середнє за роки | Прибавка до контролю |
|-------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------|----------------------|
|                   | перший (2018-2020 рр.) | другий (2019-2021 рр.) | третій (2020-2022 рр.) |                 |                      |
| Sw                | 9,3                    | 12,8                   | 14,9                   | 12,3            | -                    |
| Sa                | 8,1                    | 12,9                   | 13,5                   | 11,5            | -                    |
| Bb                | 6,2                    | 7,8                    | 10,7                   | 8,2             | -                    |
| Ig                | 7,8                    | 10,4                   | 11,2                   | 9,8             | -                    |
| Sw+Sa             | 9,5                    | 13,0                   | 14,4                   | 12,3            | 0,0                  |
| Sw+Bb             | 9,6                    | 13,8                   | 14,9                   | 12,8            | 0,5                  |
| Sw+Ig             | 10,1                   | 14,3                   | 15,0                   | 13,1            | 0,8                  |
| Sa+Bb             | 8,3                    | 13,4                   | 13,6                   | 11,8            | 0,3                  |
| Sa+Ig             | 9,5                    | 13,2                   | 14,1                   | 12,3            | 0,5                  |
| Bb+Ig             | 7,6                    | 11,3                   | 12,5                   | 10,5            | 2,3                  |
| НІР <sub>05</sub> | 0,05                   | 0,03                   | 0,06                   | 0,25            |                      |

*Примітка:*

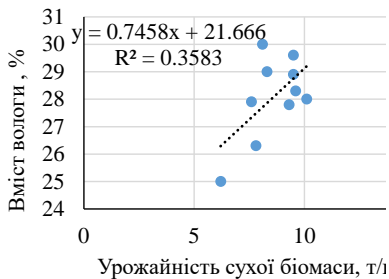
- Sw – одновидові посіви світчграсу (варіант 1, контроль),
- Sa – одновидові посіви сорго багаторічного (варіант 2, ум. контроль),
- Bb – одновидові посіви Біг-блюестему (варіант 3, ум. контроль),
- Ig – одновидові посіви індіанграсу (варіант 4, ум. контроль),
- Sw+Sa – сумісні посіви світчграсу та сорго багаторічного (варіант 5),
- Sw+Bb – сумісні посіви світчграсу та Біг-блюестему (варіант 6),
- Sw+Ig – сумісні посіви світчграсу та індіанграсу (варіант 7),
- Sa+Bb – сумісні посіви Біг-блюестему та сорго багаторічного (варіант 8),
- Sa+Ig – сумісні посіви індіанграсу та сорго багаторічного (варіант 9),
- Bb+Ig – сумісні посіви індіанграсу та Біг-блюестему (варіант 10).

3-поміж варіантів досліду, порівняно із одновидовими посівами, найбільшу прибавку врожаю забезпечило сумісне вирощування Bb+Ig (2,3

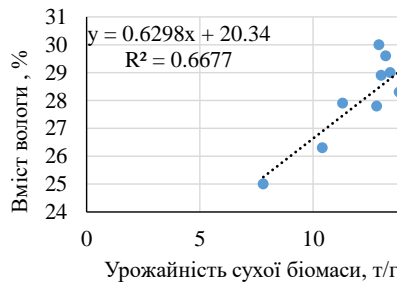
т/га). Але на цих варіантах досліді, порівняно з іншими формувалася суттєво нижча врожайність біомаси (10,5 т/га).

Найбільшу врожайність надземної вегетативної маси за сухою речовиною забезпечили варіанти сумісного вирощування Sw+Ig – на рівні 13,1 т/га (прибавка 0,8 т/га) та Sw+Bb – 12,8 т/га (прибавка 0,5 т/га). На рівні стандарту (в межах НІР<sub>05</sub>) врожайність за сухою масою була на варіантах: Sw+Sa – 12,3 т/га та Sa+Bb – 11,8 т/га.

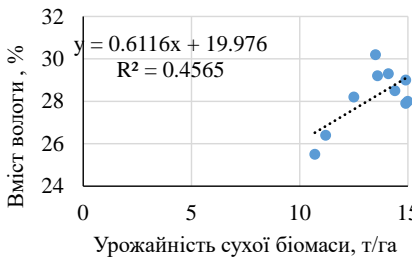
Вміст вологи у фітомаси на час збору врожаю має істотний вплив на рівень врожайності за сухою біомасою (рис. 5.11).



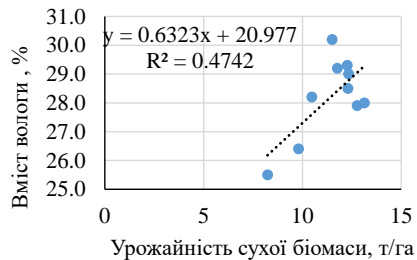
*a*



*б*



*в*



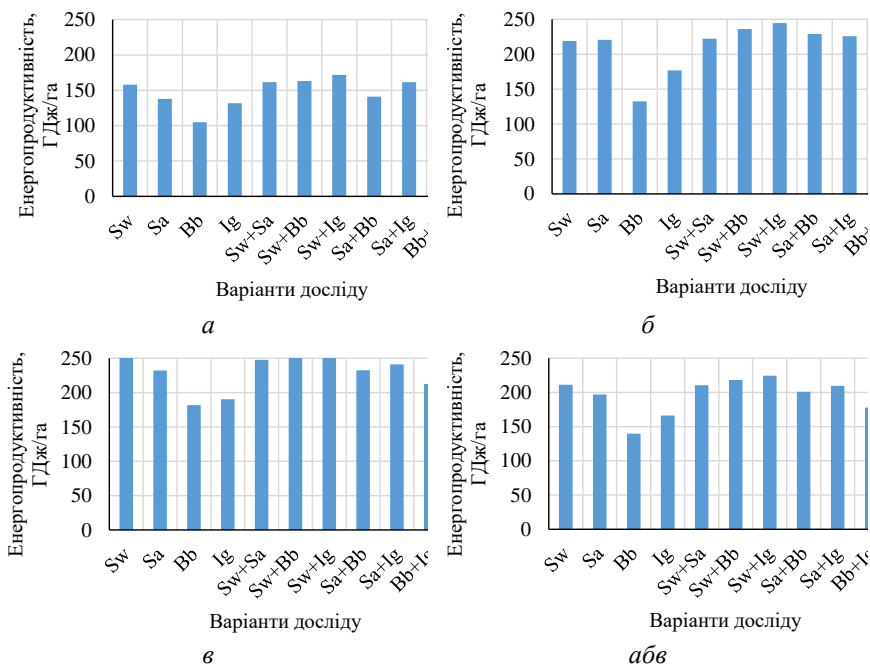
*абв*

*Примітка:* а – перший рік дослідження, б – другий рік дослідження, в – третій рік дослідження, абв – за три роки дослідження.

**Рис. 5.11. Залежності між вмістом вологи у фітомасі та врожайністю сухої біомаси за видами посіву енергетичних культур, 2018–2022 рр.**

Встановлено, що вміст вологи у фітомасі та врожайність сухої біомаси енергетичних культур у середньому за роки дослідження на 47,0 % мають взаємозалежність за коефіцієнтом апроксимації ( $R^2 = 0,47$ ).

Після визначення вмісту енергії в сухій біомасі (що була в межах 16,9–17,2 МДж/кг), було розраховано енергопродуктивність посівів енергетичних культур на різних варіантах досліду в розрізі років (рис. 5.12).



*Примітка:* а – перший рік дослідження, б – другий рік дослідження, в – третій рік дослідження, абв – за три роки дослідження.

- Sw – одновидові посіви світчграсу (варіант 1, контроль),
- Sa – одновидові посіви сорго багаторічного (варіант 2, ум. контроль),
- Bb – одновидові посіви Біг-блюестему (варіант 3, ум. контроль),
- Ig – одновидові посіви індіанграсу (варіант 4, контроль),
- Sw+Sa – сумісні посіви світчграсу та сорго багаторічного (варіант 5),
- Sw+Bb – сумісні посіви світчграсу та Біг-блюестему (варіант 6),
- Sw+Ig – сумісні посіви світчграсу та індіанграсу (варіант 7),
- Sa+Bb – сумісні посіви Біг-блюестему та сорго багаторічного (варіант 8),
- Sa+Ig – сумісні посіви індіанграсу та сорго багаторічного (варіант 9),
- Bb+Ig – сумісні посіви індіанграсу та Біг-блюестему (варіант 10).

**Рис. 5.12. Енергопродуктивність посівів енергетичних культур (ГДж/га), 2018–2022 рр.**

Результати досліджень переконливо доводять, що сумісне вирощування світчграсу і індіанграсу (Sw+Ig), порівняно із одновидовими посівами (Sw) значно збільшує кількість енергії, отриманої із одного гектара – на 13,1 ГДж/га, на варіанті 6 (Sw+Bb) – на 6,9 ГДж/га, на варіанті 8 (Sa+Bb) – на 4,1 ГДж/га, на варіанті 9 (Sa+ Ig) – на 12,6 ГДж/га, на варіанті 10 (Bb+Ig) – на 11,4 ГДж/га. На інших варіантах досліду за сумісного вирощування енергокультур отримали енергопродуктивність на рівні контролю.

Результати наших досліджень знайшли своє підтвердження у публікаціях інших авторів, за результатами яких визначено ефективність вирощування енергетичних культур у одновидових та сумісних посівах. При цьому, відзначається екологічний ефект вирощування енергетичних культур [39], збільшення їх врожайності [40–42] та енергопродуктивності посівів [43] за різного розміщення рослинних компонентів у фітоценозах. Це цілком збігається із розробленим нами моделлю створення штучних фітоценозів. Що дозволяє проводити меліорацію з використанням енергетичних культур на основі агроекологічного моніторингу та агрономічного обґрунтування їх вирощування [44].

Отже, новий спосіб вирощування енергетичних культур передбачає їх сумісне вирощування на одній площі. Що дозволить створити оптимальний за структурою агрофітоценоз, який забезпечить стабільне отримання біомаси рослинних компонентів.

## **5.5. Особливості вирощування павловнії**

Павловнія – єдиний представник енергетичних культур родини Павловнієвих (*Paulowniaceae*). Це високе листопадне дерево висотою до 25 м (рис. 5.13). Квітує в травні. Квітки блідо-фіолетові, запашні, зібрані в волоті до 30 см завдовжки, віночок п'ятилопатевий 5–6 см у діаметрі. Плід – коробочка довжиною 3–4 см [45].



1-річна рослина (початок вегетації)

1-річна рослина (завершення вегетації)

**Рис. 5.13. Рослини павлонії**

Насіння у павлонії дуже дрібне за масою 1000 насінин, яка становить до 1 г (рис. 5.14).



Суцвіття

Насіння

**Рис. 5.14. Суцвіття й насіння павлонії**

Рослини павлонії невибагливі до умов вирощування, окрім початкових періодів росту і розвитку, здатні адаптуватися до різних кліматичних умов, а при екстремальних температурах від  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $+45^{\circ}\text{C}$  – виживати та генерувати нові пагони при настанні сприятливих температур. Рослини невибагливі до родючості ґрунтів, стійкі до шкідників та ураження хворобами.

Цикл вирощування павловнії складає 7–8 років [46], а в деяких випадках до 15 років. У залежності від призначення насаджень ( отримання деревини або біомаси), відстань між рослинами повинна бути від 2 до 4–5 м (Berdyn et al., 2017; Swiechowski et al., 2019). На сьогодні, енергетичні плантації павловнії створюють з рослин-клонів гібридного походження (*Paulownia elongata* X *Paulownia fortunei*), які отримані шляхом мікроклонального розмноження: Clone 112 inVitro [47], GOT 2, L1 тощо.

Павловнія використовується в декоративному садівництві, бджільництві, деревообробній промисловості (наприклад, у будівництві, для виготовлення меблів), для отримання продуктів з доданою вартістю (папір, картон). Насьогодні павловнія вивчається в якості енергетичної культури задля отримання біопалив (рис. 5.15).



**Рис. 5.15. Напрями використання павловнії**

За власним досвідом встановлено, що павловнія різновидів *elongata* і *tomentosa* в умовах Лісостепу й Степу України може розмножуватися

насінням. Для цього насіння з коробочками (рис. 5.16) збирають з дорослих дерев, до закінчення вегетації восени.



**Рис. 5.16. Насіння павловнії в коробочці, м. Дніпро, 2020 р.**

Встановлено, що насіння павловнії має скорочений термін схожості насіння: біля 2-х років при зберіганні в діапазоні температур +12...+20 °С. Так, при пророщенні насіння 2020 року різновидів *elongata* і *tomentosa*, в лютому 2021 року, схожість обох сортів була отримана на рівні 95 %. Теж саме насіння, яке заклали на пророщення через рік (в лютому 2022 року) показало схожість на рівні 25 %, а в лютому 2023 року – на рівні 10 %. Ця закономірність в середньому була однаковою для обох різновидів.

Насіння пророщували за авторською методикою до отримання трьохмісячного саджанця висотою 25–30 см із сформованими п'ятьма листками на стеблі. Що є найкращим за біометричними показниками рослин, для висаджування на постійне місце, та гарантує високу приживлюваність рослин павловнії (рис. 5.17).



**Рис. 5.17. Саджанец павловнії різновиду *elongata*, Полтавська обл., 2023 р.**

Павловнія легко пристосовуються до збіднених на поживні речовини ґрунти, добре росте на маргінальних й піщаних землях. Таким чином вона не займає площі, що відведені для вирощування сільськогосподарських продовольчих культур.

Після кожного зрізу стебла, павловнія регенерує нові пагони, що здатні витримувати від 4 до 8 циклів зрізу по вісім років кожний. Також зріз можна робити у будь-яку пору року (рис. 5.18–5.19).



**Рис. 5.18. 1,5-річна Павловнія різновиду *tomentosa* після осіннього технічного зрізу, Полтавська обл., Червень 2023 р.**



**Рис. 5.19.** 1,5-річна Павловнія різновиду *tomentosa* після осіннього технічного зрізу, Полтавська обл., Червень 2023 р.

За власним досвідом, з метою отримання біомаси, в Україні легко адаптуються до умов вирощування павловнії різновидів *elongata* і *tomentosa*.

Розглянемо основні аспекти вирощування павловнії на біомасу.

Ділянки під енергонасадження павловнії готують восени: територію вирівнюють (оранка + дискування), видаляють бур'яни, розпушують ґрунт. Також є варіанти висадки без оранки з використанням свердла діаметром 60–80 см, яким викопуються лунки глибиною 80–100 см.

Саджанці павловнії рекомендовано висаджувати навесні з кінця квітня до першої декади червня за наступними схемами:

1. З метою отримання деревини  $4 \times 4$  м – 630 шт. саджанців/га;  $5 \times 4$  м – 500 шт./га;  $5 \times 5$  м – 400 шт./га. При кожному з цих варіантів зріз повинен бути зроблений між п'ятим й десятим роком.

2. З метою вирощування на біомасу павловнію висаджують за схемою  $2 \times 0,5$  м або  $1 \times 1$  м, таким чином на один гектар висаджуються 10000 шт. саджанців.

Такі схеми дозволяють використовувати механізовані засоби для догляду за рослинами та збирання біомаси павловнії (рис. 5.20).



**Рис. 5.20. Насадження павловнії Clone 112 inVtiro за схемою  $5 \times 4$  м, Чернівецька обл., 2020 р.**

Оразу після висаджування рослин павловнії необхідно полити з розрахунку 5 л води на саджанець. Кожному саджанцю необхідно біля 50 л води в перший рік висаджування, кратність поливів 1–2 рази в тиждень. При використанні гідро-абсорбенту, норма поливу зменшується приблизно на 50 %.

За власним досвідом, перший полив рекомендується проводити по схемі 1+4 л, де 1 л – розчин укорінювача і 4 л полив водою до поливної норми.

Павловнія потребує досить великої кількості води для росту та розвитку. У зв'язку з чим, в кліматичних зонах, де середньорічна кількість опадів менша ніж 600 мм, створення плантацій з павловнії можливе тільки за умов застосування зрошувальної системи.

На деградованих або малопродуктивних ґрунтах рекомендовано використовувати підживлення енергоплантацій павловнії  $\text{NPK}_{15-15-15}$  з розрахунку 500–800 кг/га [46].

Боротьба з бур'янами сприяє максимальному росту й розвитку дерев. Коло, діаметром 1,5 м навкруги кожного дерева повинно бути вільним від бур'янів протягом як мінімум 2 років.

За власним досвідом встановлено, що в насадженнях на початку другого року висадження, навесні, після технічного зрізу, рекомендується механічна прополка міжрядь. Це дозволить контролювати бур'янами, оскільки обробка гербіцидами може нанести шкоду саджанцям павловнії.

На сьогодні, немає офіційно рекомендованих й повністю досліджених спеціалізованих гербіцидів, які можуть застосовуватися на насадженнях павловнії. Поряд з цим, відповідно до відомостей авторів [46], рекомендується, у разі застосування гербіцидів, обробку слід проводити навесні, незадовго до початку весняного відростання рослин. При цьому необхідно стежити за тим, щоб препарат не потрапив на стовбур дерева. Будь-які паростки, що утворюються із пошкоджених коренів навколо дерева, слід видаляти вручну, а не гербіцидом.

Першу обрізку дерев проводять весною наступного після посадки року. Залишать один головний стовбур. На другий рік обрізають бокові пагони для стимулювання верхівкового росту та підвищення якості стовбурів. Через 2,5 роки після посадки, якщо висота дерев перевищує 4 м, проводять наступну обрізку. Всі гілки видаляються з нижньої третини основного стебла, а будь-які інші гілки діаметром більше ніж 3 см обрізуються до однієї третини довжини. Наступну обрізку проводять через 12 місяців на деревах заввишки більше ніж 6 м. Бічні гілки нижче половини висоти дерева видаляються, а більш високі гілки діаметром понад 3 см обрізуються до однієї третини довжини. Остаточна обрізка відбувається, коли деревам виповнюється 4–5 років. У цей час вони досягають 12 метрів у висоту. Їх обрізають до половини висоти, залишаючи

обрізаний стовбур довжиною 6 м. Обрізку дерев висотою менше ніж 8 м слід відкласти ще на один рік [46].

Дерева з поганим початковим ростом можна омолодити шляхом так званих «технічних зрізів» – сильної обрізки задля стимулювання утворення паростків. Павловнія, як і багато інших листяних видів, реагує на видалення стовбура утворенням нових і дуже сильних пагонів. Це відбувається в будь-якій точці видалення, на рівні землі або вище. Таку обрізку рекомендують проводити не раніше ніж через 2 роки після висадки саджанця, оскільки така обрізка потребує розвиненої кореневої системи.

Також є рекомендації щодо технічного зрізу павловнії наприкінці другої зими, незадовго до початку росту [46]. У цьому випадку, коли стебла дерев павловнії, що мають невідповідну форму рекомендують зрізати на рівні поверхні ґрунту (рис. 5.21).



**Рис. 5.21.** Відростання Павловнії (гібрид Z05) після технічного зрізу у випадку наявності декількох пагонів, Полтавська обл., Червень 2023.

Після того, як утвориться кілька пагонів, по закінченню вегетації, усі інші, крім найсильнішого, видаляють. Відростання відбувається навесні, і паросток буде прямим, при чому приріст пагонів у висоту в наступний сезон майже наздожене необрізані дерева.

Використання деревини павловнії у вигляді енергетичної сировини вбачається найбільш перспективним за рахунок здатності дерева до швидкого нарощування біомаси та відновлення, високою тепловіддачею деревини: Теплота згоряння 15–16 МДж/кг, виробництво тепла, 62,5 Гкал/га [47].

При обрізанні восени однорічних рослин, виробляється від 3 до 7 кг сухої біомаси з кожного дерева, відповідно за перший рік можна отримати від 3000 до 7000 кг сухої біомаси з одного гектара. На продуктивність павловнії впливають як умови вирощування, так і агротехнологія [48–50].

Отже, комплексний підхід за вирощування павловнії на біопаливо передбачає подальше вивчення елементів технології її вирощування: обробітків ґрунту, системи підживлення енергонасаджень, строки та способи збирання біомаси та ін.

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 5:

1. Малопоширені енергетичні культури: індіанграс, біг-блюестем й сорго багаторічне потребують більш глибокого дослідження з метою інтродукції в Лісостепу й Степу України. Рослини цих культур мають різнопланове використання, в т.ч. і для отримання сталої біомаси за вирощування на маргінальних землях.

2. За використання рослинної сировини малопоширених енергокультур для біопалива, встановлені оптимальні строки сівби (ранній) й норми висіву насіння для: індіанграсу (20 кг/га) і біг-блюестему (30 кг/га) за ширококорядного способу сівби.

3. Для отримання стабільно високої врожайності як біомаси, так і насіння сорго багаторічного рекомендовано до вирощування сорти ‘Коломбо’ й ‘Парана’. Застосування препарату “Агростимулін”, як елемент технології вирощування сорго багаторічного (обробка насіння та вегетуючих рослин) дозволяє отримати високу врожайність біомаси й насіння обох сортів.

4. Обґрунтовано, що вирощування енергетичних культур в сумісних посівах світчграсу й біг-блюестему (Sw+Bb), світчграсу й індіанграсу (Sw+Ig) та сорго багаторічного й індіанграсу (Sa+Ig) дозволяє збільшити загальну врожайність за сухою біомасою, відповідно до 12,8, 13,1 та 12,3 т/га.

5. На основі енергоємності біомаси (16,9–17,2 МДж/кг), що залежала від вмісту вологи у фітомасі та обсягів її врожаю визначено, що найбільшу кількість енергії можна отримати від сумісного вирощування світчграсу й індіанграсу (224,2 ГДж/га) та світчграсу й біг-блюестему (218,0 ГДж/га).

6. Найбільш придатні різновиди павловнії акліматизовані до вирощування в умовах Лісостепу й Степу України. Для закладки енергоплантацій цих дерев використовують якісну розсаду, яку згідно різних схем висаджують на постійну площу. Обрізування дерев павловнії є важливим чинником отримання якісної деревини – сировини для виробництва біопалив. При цьому, побічну продукцію павловнії можливо використати для отримання продуктів з доданою вартістю (картон, папір).

## Література до Розділу 5:

1. Mitchell, R., Vogel, K. (2004). Indiangrass. Warm season (C4) Grasses.. American Society of Agronomy. *Agronomy Monograph*. Chapter 28. 45 : 937–983. Internet source URL: [https://www.researchgate.net/publication/327815722\\_indiangrass](https://www.researchgate.net/publication/327815722_indiangrass)
2. Moser, L.E., Vogel, K.P. (1995). Switchgrass, big bluestem, and indiangrass. Iowa State University. In R.F Barnes et al. (ed.) *Forages: An introduction to grassland agriculture*. 5th edition : 409–420. Internet source URL: [https://www.researchgate.net/publication/327815598\\_Switchgrass\\_Big\\_Blues](https://www.researchgate.net/publication/327815598_Switchgrass_Big_Blues)
3. Watkinson, J., Pill, W. (1998). Gibberellic Acid and Presowing Chilling Increase Seed Germination of Indiangrass (*Sorghastrum nutans* (L.) Nash.). *A publication of the American Society for Horticultural Science*. 33 (5): 849–851. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.33.5.849>
4. Fulbright, T. (1998). Effects of Temperature, Water Potential, and Sodium Chloride on Indiangrass Germination. *Journal of range management*. 41 (3) : 207–210. DOI: <https://doi.org/10.2307/3899168>
5. Knapp, A. K., Briggs, J. M., Harnett, D. C., Collins, S. L. (1998). *Grassland dynamics: long-term ecological research in tallgrass prairie*. Oxford University press. NY: 364 pp. (ISBN 0-19-511486-8).
6. Elsenbroek, K. F., Bach, E. M., Baer, S. G. (2010) Ecotypic Responses of Indiangrass (*Sorghastrum nutans*) to Varying Water Regimes.
7. Internet source. URL: <https://www.researchgate.net/publication/267262509>  
[Ecotypic Responses of Indiangrass \*Sorghastrum nutans\* to Varying Water](#)
8. Springer, T., Moffet, C. (2008). Germination and field establishment of Indiangrass populations selected for greater laboratory seed germination in a simulated dry condition. *Crop Science*. Vol. 62 (6): 2039–2569. DOI: <https://doi.org/10.1002/csc2.20822>

9. Vogel, K., Johnson, K., Carlson, I., Schmer, M. (2018). Big Bluestem and Indiangrass from Remnant Prairies: Plant Biomass and Adaptation. *Crop Science*. Vol. 58 (2) : 728–738.

10. Casler, M. D.; Vogel, K. P.; Lee, D. K.; Mitchell, R. B.; Adler, P. R.; Sulc, R. M.; Johnson, K. D.; Kallenbach, R. L.; Boe, A.R.; Mathison, R. D.; Cassida, K. A.; Min, D. H.; Crawford, J.; and Moore, K. J. (2018). 30 Years of Progress toward Increased Biomass Yield of Switchgrass and Big Bluestem. *Crop Science*. Vol. 58 (3): 1242–1254. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2017.12.0729>

11. McKendrick, J. D., Owensby, C. E., Hyde, R. M. (1975). Big Bluestem and indiangrass vegetative reproduction and annual reserve carbohydrate and nitrogen cycles. *Agro-Ecosystems*. 2 (1) : 75–93. DOI: [https://doi.org/10.1016/0304-3746\(75\)90007-4](https://doi.org/10.1016/0304-3746(75)90007-4)

12. Varvel N. A., Hilt, C. J., Johnson L. C., Galliard M., Baer S. G., Maricle B. J. (2018). Genetic and environmental influences on stomates of big bluestem (*Andropogon gerardii*). *Environmental and Experimental Botany*, Vol. 155 : 477–487. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.07.018>

13. Masters, R. A. (1995). Establishment of Big Bluestem and Sand Bluestem Cultivars with Metolachlor and Atrazine. *Agronomy Journal*, Vol. 3 (87) : 592–596. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj1995.0002196008700030033x>

14. Masters, R. A. (1997). Influence of Seeding Rate on Big Bluestem Establishment with Herbicides. *Agronomy Journal*, Vol. 89 (6): 947–951. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj1997.0002196008900060016x>

15. Головин В. П., Ткаченко И. К. Изучение коллекции редких культур на Белгородском опорном пункте. *Материалы III международной научно-практической конференции: Селекция, технология возделывания и переработки нетрадиционных растений. Крым, Симферополь, 1994. С. 27–28.*

16. Колчанов Р. А., Ткаченко И. К., Колчанов А. Ф. Колумбова трава - нетрадиционная кормовая культура в условиях Белгородской области. Труды первой всероссийской конференции по ботаническому ресурсоведению. СПб., 1996. С.173.

17. Anderson, L. E. Johnsongrass in Kansas (1961). *Kansas Agr. exp. Sta. Circ.*: 380 : 12 p.

18. Алябушев А. В. Уникальные возможности сорго. *Земледелие*. № 3, 2000. С. 16.

19. Волкова С. Н., Сивак Е. Е. Эффективность интродукции колумбовой травы в сельскохозяйственное производство регионов центрального черноземья. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*, №5, 2009. С. 56–61.

20. Авутхонов Б. С., Убайдуллаев З. Дж., Джабборов А. М. Урожайность зеленой массы травы Колумба (*Sorghum Almum Parodi*) при различных условиях выращивания. *Международный научный журнал «Вестник Науки»*. №3 (48), 2022: 150–156.

21. Мельников М. М. Агробіологічна оцінка трави Колумба у зв'язку з інтродукцією її у Крим. *Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата сільськогосподарських наук*. КДАУ. Сімферополь, 1999. 145 с.

22. Сивак Е. Е. Влияние засоренности посевов на динамику роста травы Колумба. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*, № 4, 2008. С. 8.

23. Мельников М. М. Некоторые биологические особенности травы Колумба в связи с её интродукцией в кормопроизводство Крыма. Вопросы стабилизации и повышения эффективности АПК Крыма в исследованиях молодых учёных. *Сборник научных трудов*. Симферополь. 1997. С.6–9.

24. Гументик М. Я., Радейко Б. М., Фучило Я. Д., та ін. Вирощування біоенергетичних культур /за ред. М. Я. Гументика. Київ: Компрінт, 2018. 178 с.

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

26. Роїк М. В., Ганженко О. М., Фучило Я. Д., Квак В. М. Економічні аспекти вирощування багаторічних енергетичних культур. *Біоенергетика*. 2019. № 1 (13). С. 4–7. DOI: <https://doi.org/10.47414/be.1.2019.229276>

27. Kulyk, M. I., Taranenko, A. O., D'omin, D. G., & Rozhko, I. I. (2022). Agroecological aspects of rare energy crops growing in order to produce sustainable plant biomass. *Development trends of the world agriculture in the XXIst century: the view of the modern scientific community: Scientific monograph*. Riga, Latvia: "Baltija Publishing", 2022: 132–160. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-203-6-6>

28. Рожко І. І., Дьомін Д. Г., Кулик, М. І. (2021). Вплив біометричних показників рослин на врожайність біомаси інтродукованих малопоширених енергетичних культур. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*, Вип. (2), С. 114–123. DOI: <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.02.14>

29. Angima, S. D., Kallenbach, R. L., & Riggs, W. W. (2009). Optimizing hay yield under lower nitrogen rates for selected warm-season forages. *J. Integr. Biosci.*, 7 : 1–6.

30. Mulkey, V. R., Owens, V. N., & Lee, D. K. (2008). Management of warm-season grass mixtures for biomass production in South Dakota USA. *Bioresource Technology*, 99 (3) : 609–617. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.12.035>

31. Springer, T. L., Aikenb, G. E., McNewc, R. W. (2001). Combining ability of binary mixtures of native, warm-season grasses and legumes. *Crop Science*, 41 (3) : 818–823. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2001.413818x>

32. Kulyk, M., Galytskaya, M., Iryna, P., Anatoly, K., Mishchenk, O. (2020). Switchgrass and lupin as phytoremediation crops of contaminated soils. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM, 2020, Book number 5.1 : 779–786*. DOI: [10.5593/sgem2020/5.1/s20.098](https://doi.org/10.5593/sgem2020/5.1/s20.098)

33. Lemus, R., Brummer, C. E., Lee, B., Moore, K. J., Barker, M. F., Molstad, N. E. (2008). Effects of nitrogen fertilization on biomass yield and quality in large fields of established switchgrass in south. Iowa, USA. *Biomass and Bioenergy*, 32 (12) : 1187–1194. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.02.016>

34. Miesel, J. R., Jach-Smith, L. C., Renz, M. J., Jackson, R. D. (2017). Distribution of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) aboveground biomass in

response to nitrogen addition and across harvest dates. *Biomass and Bioenergy*, 100 : 74–83. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.03.012>

35. Кулик М. І., Курило В. Л., Калініченко О. В. Урожайність та енергетична ефективність виробництва відновлюваної рослинної сировини енергетичних культур. *Оптимальні енергетичні системи з урахуванням наявного потенціалу відновлюваних джерел енергії у Лісостепу України : колективна монографія* / за заг. ред. М. І. Кулика, О. В. Калініченка. Полтава : ПП «Астроя», 2019. С. 30–48.

36. Моїсейченко В. Ф., Єщенко В. О. Основи наукових досліджень в агрономії. Київ: Вища школа. 1994. 334 с.

37. Кулик М. І., Рахметов Д. Б., Курило В. Л. Методика проведення польових та лабораторних досліджень зі свічкаком (*Panicum virgatum* L.). Полтава. 2017. 24 с. URI: <http://dspace.pdaa.edu.ua:8080/handle/123456789/7586>

38. Методика узагальненої оцінки технічнодосяжного енергетичного потенціалу біомаси / В. О. Дубровін, Г. А. Голуб, С. В. Драгнев, та ін. К.: ТОВ «Віолпринт», 2013. 25 с.

39. Ермантраут Е. Р., Присяжнюк О. І., Шевченко І. Л. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica 6: Методичні вказівки. Київ. 2007. 56 с.

40. Delucia, E. H., Heckathorn, S. A & T. A. Day. (1992). Effects of soil temperature on growth, biomass allocation and resource acquisition of *Andropogon gerardii* Vitman. *New Phytol.* Vol. 120 : 543–549. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1992.tb01804.x>

41. McKone, M. J., Lund C. P. and J. M. O'Brien. (1998). Reproductive biology of two dominant prairie grasses (*Andropogon gerardii* and *Sorghastrum nutans*, Poaceae): male-biased sex allocation in wind-pollinated plants. *Am. J. Bot.* Vol. 85 (6) : 776–783. DOI: 10.2307/2446412

42. Weik, L., Kaul, H.-P., Kübler, E., Aufhammer, W. (2002). Grain Yields of Perennial Grain Crops in Pure and Mixed Stands. *Journal of Agronomy and Crop*

*Science*. Vol. 188 : 342–349. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1439-037X.2002.00580.x>

43. Jungers, J. M., Lee, R. DeHaan, Kevin, J. Betts, Craig, C. Sheaffer, and Donald L. Wyse (2017). Intermediate Wheatgrass Grain and Forage Yield Responses to Nitrogen Fertilization. *Agron. J.* Vol. 109 : 462–472. DOI:10.2134/agronj2016.07.0438

44. Роїк М. В., Курило В. Л., Гументик М. Я., Ганженко О. М. Роль і місце фітоенергетики в паливно-енергетичному комплексі України. *Цукрові буряки*. 2011. №1. С. 6–7.

45. Kulyk Maksym, D'omin Dmytro, Rozhko Ilona. Reclamation of marginal lands using rare energy crops. European vector of development of the modern scientific researches: collective monograph / edited by authors. 2nd ed. Riga, Latvia: Baltija Publishing, 2021 : 136–157. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-077-3-27>

46. Linnik, A. Paulownia as power culture. Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies. (2020). *Series Agricultural sciences*, Vol. 92 (22) : 19–22.

47. Комплексна екологічна оцінка створення енергетичних плантацій на рекультивованих землях: монографія. За ред. д. с.-г. наук, проф. Харитонов М. М. / [М. М. Харитонов, М. Г. Бабенко, Н. В. Мартинова, І. В. Рула, Н. В. Гончар, О. О. Гаврюшенко, І. І. Клімкіна, О. В. Золотовська, Л. А. Фролова]. Дніпро: ЛІРА, 2020. 192 с.

48. Janjić, Z., & Janjić, M. (2017). Pavlovnia, its characteristics and use value. *Knowledge-International Journal*. Vol. 20. (5) : 2387–2392.

49. Дмитро Дьомін, Максим Кулик, Андрій Кулініч. Агротехнологічні аспекти вирощування нової енергетичної культури – павловнії (Paulownia). *Матеріали Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Тенденції та перспективи розвитку науки і освіти в умовах глобалізації»*: Зб. наук. праць. Переяслав, 2020. Вип. 58. С. 466–469.

50. Дьомін Д. Г., Щербак Є. Ю., Кулик М. І. Потенціал біомаси малопоширених енергетичних культур. *Матеріали науково-практичної інтернет-конференції “Сучасні напрями та досягнення селекції і насінництва сільськогосподарських культур”* / Ред.кол.: В. М. Тищенко (відп. ред.) та ін. Полтавська державна аграрна академія, 2021. С. 43–47.