

**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.

## ВСТУП

Насьогодні, за інтенсивного використання непоновлюваних енергоресурсів у Світі та країн, що розвиваються постала проблема їх виснаження. На противагу – альтернативні джерела енергії (АДЕ), на основі рослин є дієвим вирішенням окресленої проблеми. Даний напрям використання рослинної сировини в біоенергетичних проєктах є актуальним насьогодні. За нестачі енергоресурсів, все більше уваги приділяється можливості використання енергетичних культур, як альтернативної рослинної сировини для виробництва біопалив.

Саме тому, наукова спільнота все більше звертає увагу на можливості України щодо забезпечення власних енергетичних потреб. Що цілком можливо досягти за рахунок відновлювальних джерел енергії, які отримують з наявної ресурсної бази (на основі біоенергетики). Близько 2–3 % спожитої енергії від її загального обсягу в нашій країні одержують з біомаси, що є незначним, порівняно з Європою. Україна, яка за площею земель займає лідируюче місце з-поміж країн Європи має значні ресурси. Сюди відносимо: площі маргінальних земель, сприятливі ґрунтово-кліматичні умови, відпрацьовані агротехнології вирощування енергокультур. Це, в свою чергу забезпечить переробні компанії сировиною, дасть змогу отримати біопаливо й енергію.

Різні аспекти з вивчення енергетичних культур обґрунтовуються в багатьох наукових публікаціях. В яких вчені стверджують, що енергія отримана з рослин дозволить знизити енергозалежність територіальних громад та в перспективі досягти збалансованості економіки країни. Також, рослинна біомаса багаторічних трав'янистих рослин є альтернативою непоновлюваним джерелам енергії та якісною сировиною для виробництва біопалив. Саме тому, для доповнення досліджень щодо енергокультур, дана колективна монографія містить інформацію щодо загальних теоретичних

питань біоенергетики, сортименту, ботаніко-біологічної характеристики, особливостей вирощування енергетичних культур, в т. ч. і малопоширених.

У першому розділі подано загальну характеристику рослинного енергоресурсу, ботаніко-біологічні та екологічні особливості енергетичних культур, а також їх зареєстровані сорти (*Кулик М. І.*). У другому розділі наведено результати з вивчення сортименту сорго цукрового за врожайністю біомаси для біопаливного напрямку використання (*Попова О. П.*). У розділі третьому наведено результати досліджень з вивчення особливостей формування врожайності насіння й біомаси проса прутоподібного залежно від сорту та удосконалення елементів технології вирощування (*Рожко І. І.*). Розділ третій присвячений екологізації вирощування міскантусу гігантського. В ньому також подано новий спосіб сумісного вирощування енергокультур із бобовими рослинами (*Дековець В. О.*). У розділі п'ятому, вперше в Україні, вивчено вплив елементів технології вирощування на врожайність малопоширених енергетичних культур (*Дьомін Д. Г.*). Наприкінці кожного розділу містяться змістовні висновки та значний обсяг літературних джерел.

Дослідження, викладені у колективній монографії виконувалися згідно наукових тем кафедри селекції, насінництва і генетики Полтавського державного аграрного університету: «Оптимізація агроекологічних та технологічних факторів при вирощуванні енергетичних культур», «Розробка та удосконалення елементів технології виробництва насінневого та посадкового матеріалу енергетичних культур», «Агроекологічне обґрунтування вирощування енергетичних культур для виробництва біосировини», «Мінливість елементів продуктивності та врожайності міскантусу гігантського залежно від агротехнічних заходів вирощування в умовах центрального Лісостепу України».

Колективна монографія рекомендована для використання здобувачами вищої освіти агрономічних та екологічних спеціальностей закладів вищої освіти, буде корисною для науково-педагогічних працівників і спеціалістів аграрних підприємств.

## Розділ 1

# ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА, СОРТИМЕНТ, БОТАНІКО-БІОЛОГІЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР

(Кулик М. І.)

---

---

- 1.1. Загальна характеристика енергетичних культур
- 1.2. Сортимент енергетичних культур
- 1.3. Ботаніко-біологічна характеристика енергетичних культур
- 1.4. Екологічні особливості за вирощування енергетичних культур

### 3.1. Загальна характеристика енергетичних культур

Згідно твердження багатьох науковців визначено, що біомаса є основою для отримання альтернативної енергії. Досліджено, що багаторічні види енергетичних культур продукують рослину фітомасу – сировину для виготовлення біопалив [1-3].

Енергетичні рослини здатні накопичувати значну кількість фітомаси за рахунок інтенсивного росту й розвитку, що відбувається впродовж тривалого періоду, – від ранньої весни до пізньої осені. Визначено, що багаторічні енергопосіви здатні формувати високу продуктивність, забезпечуючи значний обсяг біомаси з площі. Окрім цього відмічається динаміка зростання врожайності з року в рік. Адже енергокультури в своїй більшості – трав'янисті багаторічники. Вони, щорічно після завершення своєї вегетації залишають на поверхні рослинні рештки. Котрі, в поєднанні з ґрунтовою вологою та біотою мають вплив на вміст органічної речовини верхнього шару ґрунту [4, 5].

Енергетичні культури, що рекомендовані в якості цінної сировини для виробництва біопалив (рис. 1.1–1.2) – це швидкорослі трав'янисті рослини (міскантус, просо прутоподібне, соргові культури) та деревні (тополя, верба, павловія) та ін. [6–8].



**Просо прутоподібне** (*Panicum virgatum L.*)



**Міскантуси** (*Miscanthus Anderss.*)



**Сорго багаторічне** (*Sorghum alatum Parodi.*)



**Сорго цукрове** (*Sorghum saccharatum(L.)*)



**Топінамбур** (*Helianthus tuberosus L.*)



**Рицина** (*Ricinus communis L.*)

**Рис. 1.1. Енергетичні культури (трав'янисті)**



**Тополя пруговидна (*Populus viminalis L.*)**



**Клен (*Acer negundo L.*)**



**Верба (*Salix L.*)**



**Павловнія (*Paulownia*)**

**Рис. 1.2. Енергетичні культури (деревні)**

Малопоширені енергокультури також викликають зацікавленість у науковців. До них відносять: індіан-грас або сорговник пониклий (*Indiangrass, Sorghastrum nutans, Sorghastrum nutans L.Nash*), біг-блюестем або Бородач Жерара (*Andropogon gerardi*), сіда, або мальва віржинська (*Sida hermaphrodita Rusby*), щавнат (*Rumex patientia L. xRumex tianshanicus A. Los.*), арундо тростинний, або очерет гігантський (*Arundo donax L.*) [9–11].

Насьогодні науковцями всебічно вивчаються інтродукційні властивості, особливості вирощування та використання біосировини малопоширених енергетичних культур [12–14] (рис. 1.3).

Також розробляються елементи технології вирощування, особливості використання фітомаси малопоширених енергетичних культур й екологічні аспекти за їх культивування [15–17].



**Індіанграс** (*Sorghastrum nutans* L. Nash)



**Біг-блюстем** (*Andropogon Gerardi*)



**Сіда** (*Sida hermaphrodita* Rusby)



**Сильфій пронизанолистий** ( )



**Щавнат** (*Rumex patientia*  
*L. xRumex tianshanicus* A. Los.)



**Арундо тростинний** (*Arundo donax* L.)

**Рис. 1.3. Енергетичні культури (малопоширені)**

Особливості виготовлення різноманітних біопалив із енергетичних культур досліджують науковці та виробничники [18]. Не менш цікавим питанням до вивчення є отримання продуктів із доданою вартістю із залишків виробництв біопалив енергокультур з урахуванням їх універсальності.

Різнопланове використання енергетичних культур наведено на рис. 1.4.



**Рис. 1.4. Напрями використання енергетичних культур**

Окрім основного свого призначення (біопаливного напрямку використання) [19] для розвитку біоекономіки та зниження енергозалежності територіальних громад [20], енергетичні культури є:

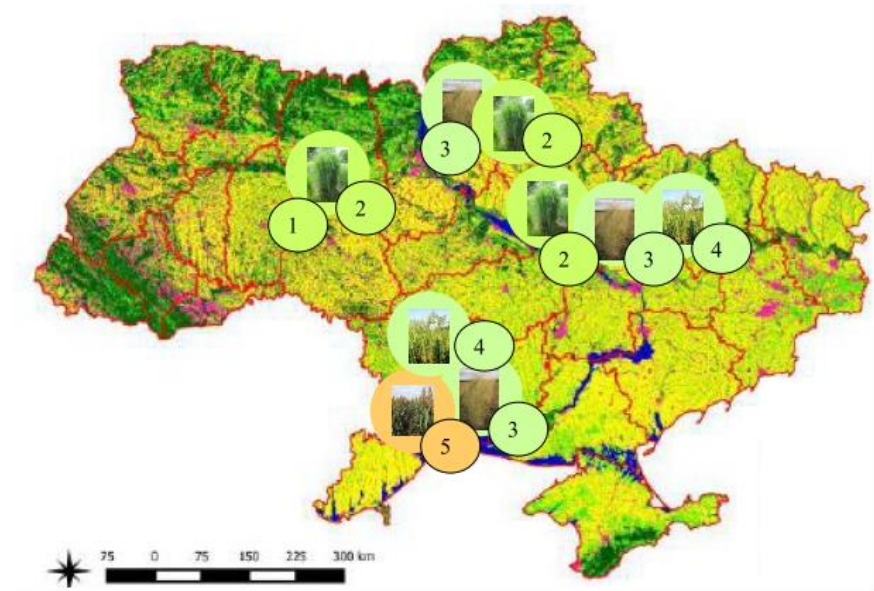
- джерелом вуглець-нейтральної сировини [21];
- захищають ґрунт від різних видів ерозії [22];
- покращують біологічне різноманіття і мікроклімат фітоценозу [23];
- накопичують в ґрунті органічну речовину й гумус [24];
- використовуються для фітореMediaції, мінімізують використання пестицидів і мінеральних добрив [25];
- є сировиною для виробництва продуктів з доданою вартістю [26], та ін.

В Україні енергетичні культури вирощуються переважно на дослідних ділянках освітніх та наукових установ, зокрема Національної академії наук України (НАНУ), Національної академії аграрних наук України (НААНУ) та Лісівничої академії наук України (ЛАНУ), Міністерства освіти і науки України (МОН), Полтавському державному аграрному університеті МОН. Так, в Національному ботсаду імені М. М. Гришка сформовано одну з найбагатших в Європі колекцій енергетичних й сировинних рослин, що налічує 457 таксонів, з яких 180 – перспективні для виробництва твердого біопалива [27, 28].

Згідно з оцінкою експертів, в Україні наявні до 15 млн. деградованих та малопродуктивних земель, із них близько 4 млн. га – це необроблені землі, що є придатними для вирощування енергетичних культур. Частина цих земель є маргінальними й непридатними для вирощування продовольчих культур [29, 30]. Але енергетичні культури станом на 2021 рік в умовах України вирощували на порівняно незначних площах – близько 6,4 тис. га [31, 32]. Насьогодні спеціалісти «Біоенергетичної асоціації України» створили онлайн-карти, що містять інформацію щодо інтерактивних площ під енергетичними культурами в Україні [33].

Відповідно до агрокліматичного районування в Україні існують зональні особливості селекції та технології вирощування

сільськогосподарських та енергетичних культур. У зв'язку з цим нами здійснено спробу виділити на території України місця вирощування енергокультур з урахуванням біологічних особливостей рослин (рис. 1.5).



*Примітка:* 1 – верба; 2 – міскантус; 3 – світчграс; 4 – багат. сорго; 5 – цукрове сорго.

**Рис. 1.5. Найбільш оптимальні регіони вирощування енергетичних культур**

Згідно географічного районування енергетичних культур, встановлено оптимальні зони їх розміщення на території України. При цьому слід врахувати морфологію й біологію рослин. А також їх реакцію на температури й опади регіону зростання. Визначено, що енергокультури в нашій країні найліпше розміщувати наступним чином: вербові, арундо тростинний, міскантус гігантський та просо прутоподібне – зона Полісся. Рослини павловнії, міскантуси, тонконогові й соргові культури – найліпше ростуть в Лісостепу. Такі рослини як: просо прутоподібне, сорго багаторічне й цукрове – вирощують й в більш посушливих умовах Степу. Водночас, на

зрошувальних ділянках та на пониженнях рельєфу Степу можливо культивувати й вологолюбні енергорослини [34].

За вирощування на різних широтах в нашій країні енергетичні рослини мають відмінні реакції, що пов'язано з їхнім походженням, біологічними особливостями, пристосувальними реакціями при інтродукції рослин та агротехнічними вимогами вирощування.

## **1.2. Сортимент енергетичних культур**

Насьогодні розширення різноманіття енергетичних культур набуває актуального значення. Адаптація і впровадження у виробництво нових, більш адаптованих та високоврожайних сортів дозволить оптимізувати їх агротехнологію відповідно до рекомендованих зон вирощування та отримувати сталу рослинну сировину для виробництва біопалив [35].

З усіх видів енергокультур найбільш поширеними на території України є представники родини тонконогових: міскантуси, просо прутоподібне (світчграс), сорго цукрове та ін. Менш поширені, але викопродуктивні за біомасою та виходом енергії з одиниці площі є клони верби та різновиди павловнії [36, 37].

Основна установка, що здійснює прийняття заявки на сорт рослин, її експертизи, проведення всіх держаних кваліфікаційних експертиз і за позитивними результатами випробування заявленого сорту видає охоронні документи – це Український інститут експертизи сортів рослин (УІЕСР) [38].

У разі позитивних результатів експертизи насамкінець усіх процедур автору надають патент та свідоцтво на сорт рослин. В цьому випадку він має усі права на новостворений сорт рослини.

Згідно закону України «Про охорону прав на сорти рослин», а також наказу Мінагрополітики від 22 лютого 2019 року № 69 прийнято рішення про занесення нових сортів рослин до Реєстру сортів рослин [39, 40].

Вивченню сортів енергетичних культур присвячена значна кількість наукових праць як зарубіжних авторів [41–43], так і українських [44–46]. Поряд з цим, детального аналізу зареєстрованого сортименту енергетичних культур за господарською придатністю в науковій літературі ми не виявили. У зв'язку з чим дане питання обрали за мету дослідження.

На даний час до Реєстру сортів, придатних для поширення в Україні, внесені наступні сорти енергетичних культур, що рекомендовано до вирощування в різних ґрунтово-кліматичних зонах (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

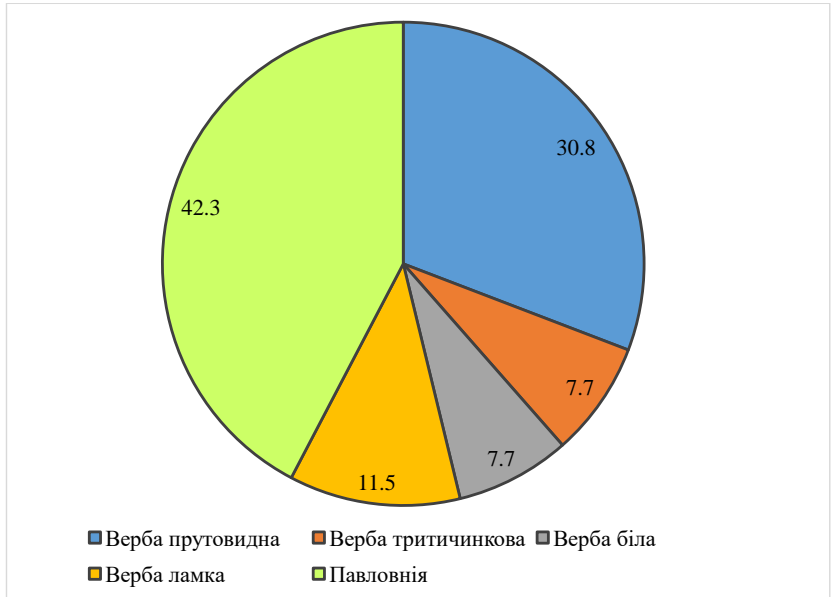
### Характеристика сортів рослин (деревні енергетичні культури)

Назва сорту	Рік реєстрації	Рекомендована зона вирощування	Урожайність (мінім. та максим.), т/га
<i>Верба прутьовидна Salix viminalis L. – Salix rossica Nas. p. p.</i>			
‘LINNEA / LINNEA’	2014	С Л П	20/40
‘Wilhelm / Wilhelm’	2014	С	16/34
‘Панфільська 2 / Panfyl’s`ka 2’	2014	Л П	32,3/64,2
‘Марцяна / Martsyiana’	2013	П	102,2
‘Збруч’	2018	С Л П	17,6/32,0
<i>Верба тритичинкова Salix triandra L.</i>			
‘Панфільська / Panfyl’s`ka’	2014	Л П	34,5/70,4
‘Ярослава’	2018	ЛП	12,4/24,0
<i>Верба біла Salix alba L.</i>			
‘CORVINUS / Corvinus’	2016	С Л П	20,8/48,0
‘Н1’	2021	С Л П	18,6/35,0
<i>Павловнія Paulownia Sieb. et Zucc.</i>			
‘Ін Вітро 112 / In Vitro 112’	2017	С Л П	142/345
‘Котевіса’	2019	С Л П	130/337
‘Фенікс’	2020	С Л П	145/335
‘Енерджи’	2022	С Л П	115/250

Примітка: С – Степ, Л – Лісостеп, П – Поліся.

Визначено, що з-поміж деревних енергетичних культур в Реєстр внесено за відсотковим складом: найбільше – культиварів павловнії (42,3 %) та верби прутовидної (30,8 %). Значно менше представлено асортименту верби ламкої (11,5 %), та верби тритичинкової й білої (по 7,7 % кожного виду).

Відсотковий розподіл сортів деревних енергетичних культур, що внесені у Реєстр станом на 2023 рік наведено на рис. 1.6.



**Рис. 1.6. Розподіл сортів деревних енергетичних культур у Реєстрі, станом на 2023 рік, %**

Поряд із деревними, в Реєстрі сортів наведено більш широкий асортимент трав'янистих енергетичних культур: міскантусу гігантського, цукроквіткового і китайського, проса прутоподібного й сорго цукрового (табл. 1.2).

З 2009 року в Реєстр було внесені сорти: сорго багаторічного – Коломбо, сіди багаторічної – ‘Фітоенергія’ та шавнату – ‘Біоєкор-1’, ‘Наставник’, ‘Київський ультра’. Але на сьогодні вони виключені з Реєстру.

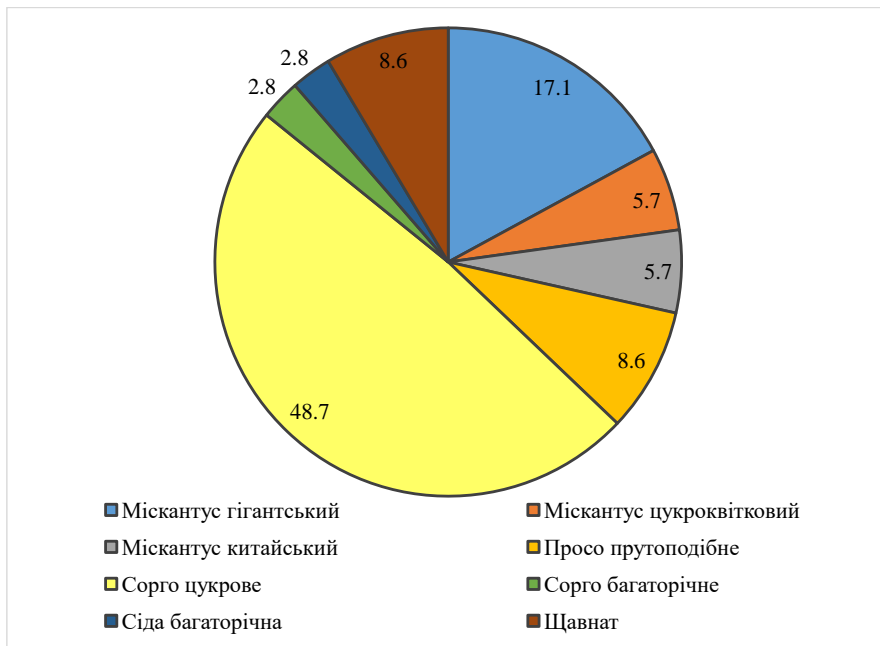
Таблиця 1.2

**Характеристика сортів рослин (трав'янисті енергетичні культури)**

Назва сорту	Рік реєстрації	Рекомендована зона виращування	Урожайність (мінім. та максим.), т/га
<b>Міскантус гігантський (<i>Miscanthus x giganteus</i> J.M. Greef &amp; Deuter ex <i>Hodkinson &amp; Renvoiz</i>)</b>			
‘Верум / Verum’	2014	С Л П	22/60
‘Біотех / Biotekh’	2017	С Л П	20/25
‘Осінній зорецвіт / Osinnii zoretsvit’	2015	Л П	20/25
‘Гулівер / Huliver’	2015	Л П	25/87
<b>Міскантус цукровітковий (<i>Miscanthus sacchariflorus</i> (Maxim) Benth.)</b>			
‘Снігова королева / Snihova koroleva’	2015	Л П	13/15
‘Снігопад / Snihopad’	2015	Л П	20/60
<b>Міскантус китайський (<i>Miscanthus sinensis</i> Anderss.)</b>			
‘Місячний промінь / Misiachnyi promin’	2015	Л П	15/30
‘Велетень / Veleten’	2017	Л П	20/70
<b>Просо прутноподібне (<i>Panicum virgatum</i> L.)</b>			
‘Морозко / Morozko’	2015	Л П	17/23
‘Зоряне / Zoriane’	2015	Л П	11/42
‘Лядовське / Ludovske’	2018	Л П	17,2/28,7
<b>Сорго цукрове</b>			
‘Сохатий’	2021	С Л П	7,6
‘Гулівер’	2019	С	11,2
‘Ананас’	2017	С	12,4
‘Приазовське’	2016	С Л	9,1-13,4
‘Су’	2016	С	11,7
‘Медстер’	2018	С	9,9
‘Зубр’	2017	С Л	12,6-14,9
‘Фаворит’	2003	Л	9,4
‘Силосне 42’	2003	Л	9,2
‘Мохавк’	2016	С	13,0
‘Довіста’	2008	Л С	16,0
‘Мамонт’	2015	С	8,9
‘Цукрове 1’	2015	С	8,5
‘Наставник’	2009	Л С	16,2-22,0
‘Київський ультра’	2006	П Л	-

Примітка: С – Степ, Л – Лісостеп, П – Поліся.

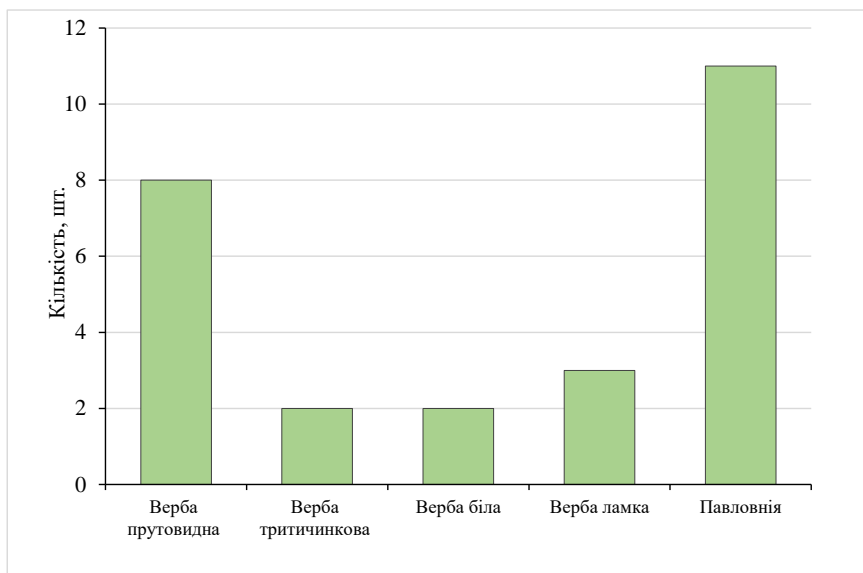
Розподіл сортів трав'янистих енергетичних культур, що внесені у Реєстр станом на 2023 рік наведено на рис. 1.7.



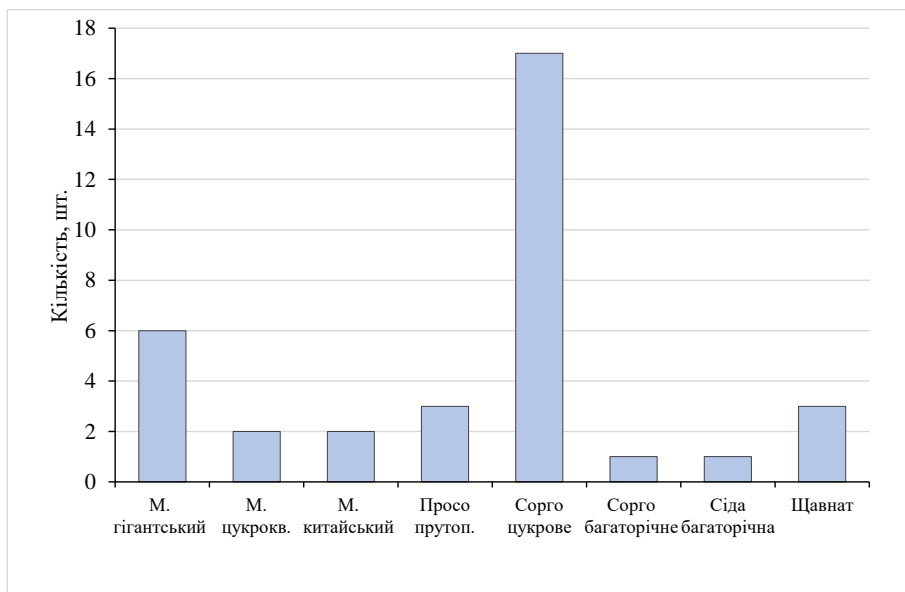
**Рис. 1.7. Розподіл сортів трав'янистих енергетичних культур у Реєстрі, станом на 2023 рік, %**

У групі трав'янистих енергетичних культур в Реєстр внесені 48,7 % сортів сорго цукрового. З-поміж міскантусів найбільший відсоток сортів представлено міскантусом гігантським (17,1 %), значно менше міскантусу китайського і цукроквіткового (по 5,7 % кожного). Сортів проса прутюподібного й щавнату в Реєстрі відповідно по 8,6 % кожного. Сортів сорго багаторічного та сіди – найменше (по 5,7 % кожного).

Проаналізувавши сортимент енергетичних культур ми встановили, що кількість зареєстрованих сортів трав'янистих рослин переважають над деревними (рис. 1.8–1.9).



**Рис. 1.8. Кількісний склад за видами деревних енергетичних культур в Реєстрі, 2023 р.**



**Рис. 1.9. Кількісний склад за видами трав'янистих енергетичних культур в Реєстрі, 2023 р.**

Отже, у загальному в Реєстрі наявні сорти енергокультур з найбільшим різноманіттям видів трав'янистих рослин (35 пунктів), порівняно із деревними (26 пунктів). З-поміж зареєстрованих сортів енергетичних культур в Реєстрі сортів найбільше культиварів сорго цукрового та міскантусів, а з-поміж деревних – представників родини вербові. Вони різняться між собою як за показниками господарської придатності й рівнем врожайності біомаси, так і за рекомендованою зоною вирощування.

Згідно опису сортів встановлено, що за врожайністю біомаси сорти деревних енергетичних культур більш врожайні: павловнія (від 115,0 до 145,0 т/га) та вербові (від до 12,4 до 34,5 т/га за сухою масою), порівняно із трав'янистими. Варіювання врожайності останніх знаходиться в межах – від 7,6 до 25,0 т/га за сухою біомасою.

Перелік сортів з коротким описом їх наведено на сайті УІЕСР у вкладці «Інформаційно-довідкова система «Сорт» [47].

### **1.3. Ботаніко-біологічна характеристика енергетичних культур**

Україна, як аграрна країна за природно-економічними умовами належить до регіону із надзвичайно сприятливими умовами як для забезпечення продовольчої безпеки, так і створення стабільного ринку енергетичних культур. Останні рекомендовано для використання в біоенергетичному секторі для отримання енергії й генерування тепла. Визначено, що для розвитку біоенергетики з рослинного енергетичного ресурсу наявний достатній потенціал відновлювальних джерел енергії з енергетичних культур [48].

Щоб об'єктивніше охарактеризувати різноманіття енергетичних культур, їх класифікують за спільними морфо-біологічними ознаками вегетативних та генеративних органів, особливостями росту, розвитку та формування врожаю.

Згідно з ботанічною класифікацією, більшість із енергетичних культур відносять до класу однодольних рослин (родина тонконогові), а види з родин Капустяні, Гречкові, Мальвові, Вербові, Пасльонові, Бобові, Айстрові та ніші – до класу дводольних.

За типом надземної частини енергетичні культури доцільно поділяти на: дерева – у рослин наявний штаб, один стовбур, на якому розміщується крона; дерево-кущові – коренева система багаторічна, надземна частина дво- або багаторічна й утворює кущ; трав'янисті – рослини мають одно- або багаторічну кореневу систему з трав'янистою надземною частиною [49].

Тому, для зручності наводимо коротку ботаніко-біологічна характеристику трав'янистих, малопоширених і деревних енергетичних культур [50-52].

*Трав'янисті енергетичні культури* – рослини, що формують надземну вегетативну масу трав'янистого типу та використовуються в якості рослинної енергоємної сировини для виробництва біопалив.

**Просо прутоподібне** (*Panicum virgatum L.*) – багаторічна трав'яниста рослина з родини тонконогових (*Poaceae*), має добре облиствене прямостояче стебло (рис. 4.3).

Рослини досить високрослі (в середньому від 100–150 см), можуть досягати навіть 210–250 см. Генеративних органів (волоті) на одній рослині може бути 12–14 шт. (максимум до 30–35 шт.). Наявні прямі і напіврозлогі форми. Кількість міжвузлів на стеблі в середньому 3–7 шт., але може сягати й до 9 шт. Листок має середню довжину 50–60 см, а ширина його 1,1–1,4 мм. Волоть може бути: розлога, комоподібна, овальна, пірамідальна, або стисла. Довжина її 30–40 см, ширина – 20–30 см. Маса 1000 насінин – від 1,5 до 1,8 г. За вегетативного розмноження рослин їх поділяють на 8–25 (до 80) частин.

Визначено, що просо прутоподібне має багаторічний цикл життя. Розпочинаючи з першого вегетаційного періоду і в послідовному щорічно проходить певні етапи росту й розвитку. Розпочинають рослини вегетацію в

квітні, закінчують влітку або восени. Вегетаційний період залежить від умов вирощування та сортових особливостей і становить 175–185 діб.

Урожайність: надземної фітомаси рослин у період появи волоті становить 42–64 т/га, сухої біомаси – до 15 т/га. Урожайність насіння в середньому 0,5–0,6 т/га (максимум до 1,0 т/га). Енергопродуктивність біомаси 17–18 Мдж/кг (40–80 Гкал/га).

**Міскантус** відносять родини тонконогових роду міскантус (*Miscanthus Anderss*) найбільш поширені три види: міскантус гігантський, міскантус китайський, міскантус цукроквітковий (рис. 1.10).



Міскантус гігантський



Міскантус китайський



Міскантус цукроквітковий

**Рис. 1.10. Види міскантусу**

Міскантус китайський (*Miscanthus sinensis*) – прямостояча щільнокущова рослина. Листки лінійні, вузькі, шорсткі, з потовщенням по центру. Суцвіття пухнасті, складаються з одноквіткових колосків. Цей вид міскантусу, завдяки селекції, поклав початок створенню нових сортів, які мають різноманітні відмінності за зовнішнім виглядом, відношенням до умов навколишнього середовища та продуктивністю.

Міскантус цукроквітковий (*Miscanthus sacchariflorus*) формує кущові прямостоячі рослини зі стеблами заввишки 2,5–3,0 м, із довгими ризомами, які швидко колонізують ґрунтовий простір, утворюючи суцільні плантації. Листки лінійні, вузькі. Суцвіття – розлога пухнаста волоть.

Міскантус гігантський (*M. × giganteus*) – це тетраплоїдний гібрид міскантусу китайського (*M. sinensis* Anderss.) і міскантусу цукроквіткового (*M. sacchariflorus* (Maxim.) Benth.

Міскантус гігантський – це типова багаторічна рослина з високими стеблами 2,2–3,1 м (максимум – до 5,0 м). У куці формується в середньому 10–15 пагонів (максимум до 70 шт). Стебло пряме, округле. Діаметр стебла – 1,2–2,5 см. Добре облиствлена, на стеблі їх може бути – 11–15 шт. Довжина листків 93–102 см, ширина – до 3,0 см. Генеративний орган – волоть. Вона може бути веретеноподібною, конусоподібною або еліпсоподібною. Волоть досягає в довжину до 33 см. Кількість ризом у одній рослині – в межах від 18 до 37 шт.

Відновлення вегетації міскантусу розпочинається з другої половини квітня, кушіння – кінець червня, вихід у трубку – кінець серпня. Вегетація завершується в фазі появи волоті (найчастіше у фазі виходу в трубку) у першій половині жовтня. Життєвий цикл триває 15–20 років (може рости до 40 років на одному місці).

Урожайність надземної вегетативної маси – в межах від 60 до 150 т/га, сухої біомаси 10–15 т/га (максимум до 32 т/га). Енергопродуктивність біомаси 67–84 (до 130) Гкал/га.

**Сорго багаторічне** (*Sorghum alatum Parodi.*) відносять до родини тонконогових. Висота рослин в середньому 230–300 см. Листки – довгі, ланцетні. Довжина їх 60–80 см, а ширина 3–5 см. На рослині листків може бути від 18 до 26 шт. Формує суцвіття – волоть, довжина якої 40–45 см. Насіння має коричнево-чорне забарвлення. Маса 1000 штук насінин становить 8,5–9,0 г.

Коренева система сорго добре розвинена і проникає в ґрунт до 2,5 м. Оптимальні строки сівби – I–II декади травня, коли ґрунт прогрівається на до 12–14 °С. Польова схожість насіннєвого матеріалу 75–80 %. Оптимальна температура для росту й розвитку рослин + 18–25 °С.

Урожай біомаси сорго багаторічного збирають із першого року (як зелену, так і суху фітомасу), з 2-го року урожай забирається щорічно. Урожайність надземної вегетативної маси сорго різниться. На початку формування волоті формується 30–35 т/га біомаси. На період цвітіння вона

досягає 45–50 т/га, а в період плодоношення – 65–75 т/га. Урожайність насіння сорго багаторічного 1,5–1,7 т/га. Урожайність сухої біомаси сорго багаторічного знаходиться в межах від 11 до 14 т/га. Енергетична цінність рослинної сировини 3750–3810 ккал/кг.

**Сорго цукрове** (*Sorghum saccharatum* (L.) Moench.) відносять до родини тонконогових.

Сорго цукрове характеризується однорічним циклом життя. Рослини досягають висоти близько 3,0 м. кількість міжвузлів на стеблі 5–9 шт. (максимум до 25 шт). Листки – довголанцетні, великі, довжиною 0,5–1,0 м. Суцвіття – волоть, довжиною 15–60 см різноманітної форми. Вона може бути: розлогою, стислою, комовою та ін. Зернівка сорго цукрового – гола або півчаста, округла. Маса 1000 зернин – 27–33 г (може сягати до 40 г). Коренева система мичкувата, досить розвинена, заглиблюється в ґрунт до 150–200 см (рис. 4.6).

Як однорічник сорго проходить усі етапи органогенезу за один рік. Фенофази: сходи, кушіння, вихід у трубку, викидання волоті, цвітіння, молочно-воскова стиглість і досягання насіння. Вегетаційний період в межах – від 145 до 155 діб.

Урожайність надземної вегетативної маси 60–120 т/га. Насіннева врожайність 0,9–1,8 т/га. Енергопродуктивність біомаси – 35–70 Гкал/га (максимум до 100 Гкал/га).

*Малопоширені енергетичні культури* – рослини, щойно інтродуковані, або традиційні кормові культури, які на разі вивчаються в якості рослинної енергоємної сировини для виробництва біопалив.

Рослини малопоширених енергетичних культур різняться між собою за морфо-метричними показниками, інтенсивністю росту й розвитку, формою, забарвленням продуктивних органів, рівнем врожайності біомаси та її енергоємністю.

**Індіанграс** або Сорговник пониклий (*Indiangrass, Sorghastrum nutans, Sorghastrum nutans* L.Nash) – багаторічна рослина з родини тонконогових, з

високими (до 8 м) прямими стеблами. Мнімальна глибина проникнення кореневої системи сягає 60–70 см. Характеризується швидким ростом і розвитком надземної вегетативної маси. Цвітіння припадає на період з серпня по жовтень.

Сорговник використовують для боротьби з ерозією ґрунту, рослини поширені в озелененні. Сорговник – це злак теплого сезону в екосистемі прерій Північної Америки.

Екологи і біологи, зацікавлені в стійкості і різноманітності спеціальних насаджень енергетичних культур, вважають індійську траву обов'язковим компонентом фітоценозів. Індіанграс толерантний до надзвичайно широкого діапазону ґрунтових умов, володіє посухостійкістю. Водночас рослини краще ростуть на глибоких, добре дренованих ґрунтах з рН 4,0–7,8.

Рослини індіанграсу відзначаються помірною посухостійкістю та солестійкістю.

Норма висіву насіння одновидових посівів – 4–5 кг/га; а в різних сумішах – до 10–50 %. Тривалість вирощування індіанграсу на ділянці сягає до 15 років. Для отримання максимальної врожайності біомаси з 1 га необхідно два роки. Урожайність біомаси індіанграсу становить 12–15 т/га

**Біг блуестем** (*Andropogon gerardi*), або Бородач Жерара – це багаторічна трава. Рослини поширені у преріях, на луках північноамериканської частини Америки. Використовується як кормова трава, а з урахуванням високого вмісту целюлози та низьких затрат у вирощуванні – як перспективна енергетична культура для виробництва етанолу та біомаси.

Біг блуестем – багаторічний кущовий злак, що формує стебла до 1–3 метрів залежно від умов вирощування, рослини добре облиствені. Дозріваючі стебла мають синій або фіолетовий відтінок. Формує суцвіття волоть, в якому визріває насіння, – дрібна зернівка. Коренева система проникає глибоко в ґрунт, розростається, створює дернину.

По відношенню до вологи біг-блуестем – посухостійкий злак, але на початкових періодах росту і розвитку рослин потребує достатньої кількості

вологи для проростання насіння та укорінення рослин. Рослини не вибагливі до родючості ґрунтів, мають стійкість до засолення. Оптимальна кислотність ґрунту знаходиться у межах рН 6,0–7,5. Рослини володіють помірною солестійкістю.

Норма висіву насіння становить 4,5–5,5 кг/га. Кількість років вирощування на ділянці: 12–15.

Урожайність – 40–50 т/га зеленої біомаси, та 10–15 т/га сухої.

**Павловнія** (*Paulownia*) – відносять до родини павловнієвих (*Paulowniaceae*). Це багаторічна рослина, що має швидкий лінійним приріст. При цьому формується стовбур до 15–20 м у висоту. Що характерно: після обрізки пагони швидко поновлюються й відростають. На стовбурі симетрично розміщуються великі листки, що мають округло-овальну форму. Павловнія формує гарні й великі суцвіття різного кольору. Насіння у павловнії дуже дрібне за масою 1000 насінин, яка становить до 1 г.

Рослини павловнії адаптовані умов вирощування в Україні. Здатні витримувати екстремальні температури (від -20°C до +45°C). Рослини невибагливі до родючості ґрунтів, стійкі до шкідників та ураження хворобами.

Павловнія використовується в декоративному садівництві, бджільництві, деревообробній промисловості (наприклад, у будівництві, для виготовлення меблів) та вивчається в якості енергетичної культури задля отримання біомаси

Урожайність сухої біомаси павловнії може становити – за різними даними – від 10 до 20 т/га (максимум 50–60 т/га). Енергетична цінність біомаси – 4211,06–4657,5 ккал/кг (близько 19,5 МДж/кг) за вологості 10,0 %.

Отже, за біологічними особливостями енергокультури цілком придатні для вирощування у різних ґрунтово-кліматичних умовах України. Залежно від умов культивування ці рослини здатні продукувати значний обсяг біомаси для отримання енергії.

## **1.4. Екологічні особливості за вирощування енергетичних культур**

За вирощування енергетичних культур задля отримання сировини й виготовлення з неї біопалива відмічають ряд екологічних переваг.

Заміна викопного палива біомасою призводить до глобальних екологічних пріоритетів, таких як: зменшення викидів парникових газів [53], очищувати ґрунти від забруднення [54] та ін. Енергетичні культури можуть зменшити негативний вплив на навколишнє середовище. Сюди відносять: зниження ерозійних процесів, вимивання поживних речовин, викиди парникових газів з урахування зміни землекористування, та ін. [55]. Крім того, вміст важких металів у ґрунті можна зменшити шляхом вирощування трав'янистих або деревних енергокультур [56]. Ці переваги для навколишнього середовища можуть підвищити цінність енергетичних культур, що вплине на майбутні ринкові умови для біомаси.

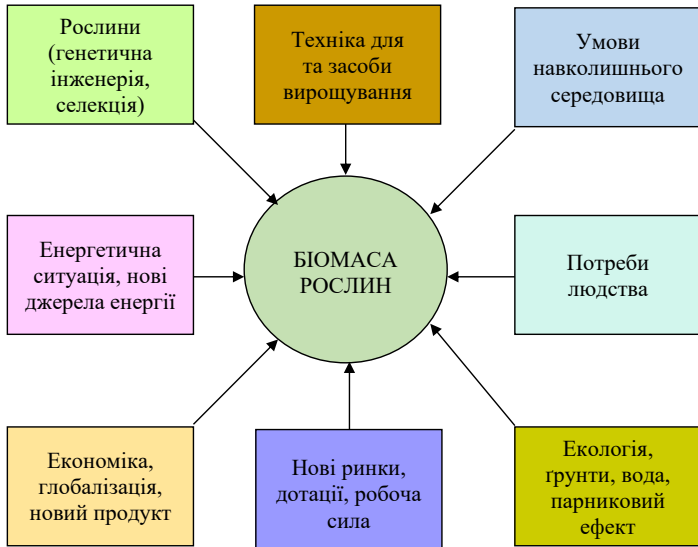
Важливим питанням, що на даний час потребує детального вивчення – є сталий розвиток сільських територій на основі використання місцевого енергоресурсу для отримання альтернативної енергії на основі екологічних принципів. У цьому плані найбільш доступним засобом є рослинна сировина – біомаса.

Необхідність використання рослинної сировини для збереження зовнішнього середовища визначається економічною доцільністю й екологічними наслідками в процесі – від виробництва до споживання.

У процесі вирощування енергетичні культури задля отримання біомаси необхідно враховувати необхідні витрати на:

- добрива і засоби захисту рослин;
- посівний і посадковий матеріал;
- вирощування, догляд та збирання;
- зберігання, переробку і транспорт;
- непередбачувані витрати [57, 58].

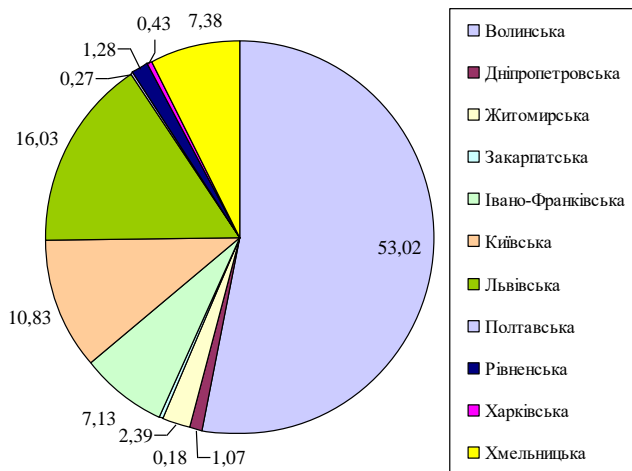
Виробництво біомаси поновлювальної рослинної сировини залежить від багатьох факторів, що визначають його політичну, економічну та екологічну доцільність та ефективність (рис. 1.11).



**Рис. 1.11. Чинники, що мають вплив на виробництво біомаси енергетичних культур**

В Україні на разі вирощують енергетичні культури на площах понад 4 тис. га, з-поміж яких найбільші площі займають насадження верби (понад 2 тис. га) та міскантусу (понад 750 га), інші енергокультури займають незначні площі [59].

У загальному плані найбільші площі під енергетичними культурами зосереджені у Вінницькій (53,02 %), Львівській (16,03 %), Київській (10,83 %), Івано-Франківській (7,13 %) та Хмельницькій областях (7,38 %), в інших – менше 100 га (рис. 1.12).

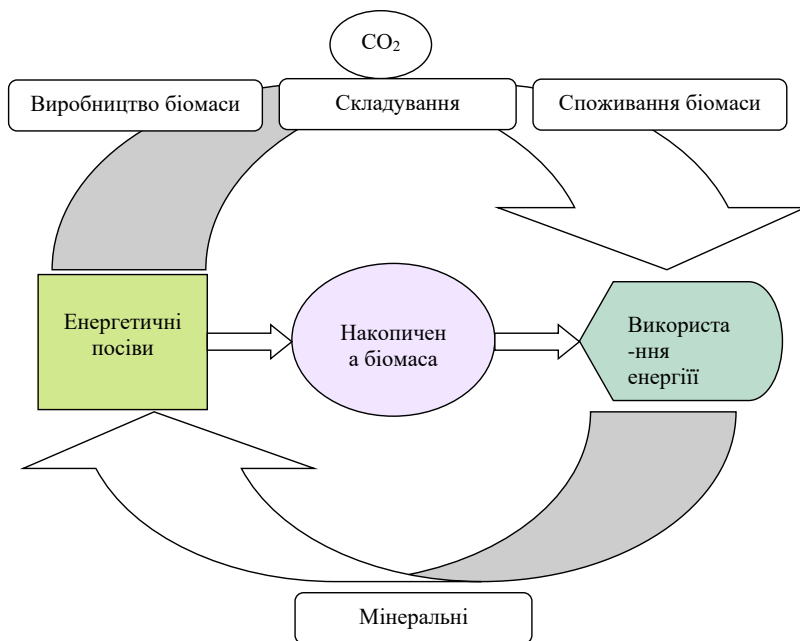


**Рис. 1.12. Структура площ під енергетичними культурами, %**  
(згідно статистичних даних)

З-поміж позитивних аспектів використання поновлювальної рослинної сировини енергетичних культур, у першу чергу відмічають ряд переваг. Це: CO<sub>2</sub> нейтральність (кліматичний баланс), сталість виробництва енергоємної біомаси. Окрім цього, відмічено здатність енергетичних культур до очищення ґрунтів та акумуляції в них карбону, та ін. [60–62].

Біомаса енергетичних культур містить незначну кількість хімічних складових, які після спалювання негативно впливають на навколишнє середовище. Тільки азот, сірка і хлор, які наявні в невеликих кількостях, є елементами, що можуть перетворюватися в діоксид азоту (NO<sub>3</sub>), діоксид сірки (SO<sub>2</sub>), аміак (NH<sub>3</sub>), або кислоту (HCl), що сприяють виникненню кислотних дощів [63].

Не менш важливим чинником підвищення ефективності виробництва біомаси енергетичних культур (від виробника до споживача) є використання принципу “безвідходного виробництва”. Що передбачає раціональний кругообіг речовин із поверненням частини мінеральних речовин у ґрунт, на якому вирощувались енергетичні культури (рис. 1.13).



**Рис. 1.13. Схема виробництва біомаси на основі замкнутого циклу: від виробника – до споживача**

Обґрунтоване використання рослинної сировини (решток польових культур, трав'янистих та деревних енергетичних культур) для виробництва біопалива є нагальним питанням сьогодення, з урахуванням екології довкілля. Інтенсивний розвиток промисловості породжує цілу низку непередбачуваних наслідків. Що в подальшому може спровокувати екологічну кризу. При забрудненні ґрунтів радіонуклідами, важкими металами, пестицидами й хімічними речовинами – вони деградують. Особливо це небезпечно на ділянках де вирощується рослинницька продукція. Для вирішення цієї проблеми використовують рослини-фіторемедіатори. Так, науковцями встановлено, що енергетичні культури (міскантус, світчграс, біг блуестем) за рахунок потужної вегетативної маси здатні акумулювати з ґрунтового комплексу у фітомасу важкі метали з їхнім вмістом у рослинах нижче регламентованих норм [64, 65].

У той же час, вирощування проса прутоподібного та міскантусу на малопродуктивних землях має свої переваги: культивування енергетичних культур на цих ґрунтах і полях, площі яких схильні до затоплення, покращує екологічний баланс територій, що не використовуються для ведення сільського господарства. Крім того, енергетичні плантації можуть не тільки очищати ґрунти від антропогенного забруднення (фіторе mediaція), але й збагачувати орний шар ґрунту органічною речовиною. Вони також стримують вітри як бар'єри, що зменшує видування гумусу, а також затримує сніг. Що особливо важливим є на рослинницьких угіддях та сприяє зростанню врожаю польових культур [66].

Згідно з результатами проведених досліджень на деградованих землях України, визначено зростання біогенності орного шару ґрунту. Цьому сприяє наростання надземної вегетативної маси енергокультур. Що впливає на кількість поживних решток залишених рослинами на поверхні ґрунту. А це, в свою чергу за поєднання з вологістю й температурою сприяє розвитку ґрунтової біоти [67].

Також світчґрас і міскантус можуть займати різні ніші в логістичному ланцюгу вирощування, збирання врожаю та надходження сировини на переробку. Адже світчґрас, за нижчого потенціалу урожайності та менших затрат на вирощування, може мати перевагу порівняно з міскантусом. Що є важливим за культивуванні його на малопродуктивних ґрунтах, де досить складно покрити початкові витрати на вирощування цієї культури [68].

Визначено, що вирощування енергетичних деревних культур також має переваги, в порівнянні з іншими культурами. Зокрема, тополя та верба знижують ерозійні ґрунтові процеси, а також сприяють розвитку ґрунтової фауни. Що досягається завдяки відсутності механічної та хімічної обробки ґрунту протягом тривалого терміну експлуатації плантації (25–0 років). За вирощування деревних рослин відмічається зниження пестицидного навантаження на ґрунти. Тополеві й вербові насадження використовують

також для зниження забруднення води в процесі очищення стічних вод, каналізації, звалищ і т.п. [69–71].

Поряд із позитивним ефектом вирощування енергетичних культур у плані покращання водного балансу та забезпечення ґрунту органікою одним із найвагоміших аргументів є баланс парникових газів за одночасного зменшення інших шкідливих газів в атмосфері, таких як закис азоту. Надлишок даного газу утворюється внаслідок інтенсивної сільськогосподарської діяльності та проблем, пов'язаних із глобальним потеплінням. Також важливим є те, що енергетичні культури потребують мінімального застосування добрив. Це вказує на відсутність забруднення довкілля хімічними речовинами, що в перспективі сприятиме сталості й розвитку біорізноманіття в енергосівах [72, 73].

Поряд з цим, цукроносні енергетичні культури залежно від сортименту, умов вирощування, технології та збирання здатні забезпечити значний обсяг цукромісткої біомаси. Що має також має ряд екологічних переваг [74–76]. У монографії встановлені особливості формування і реалізації біологічного потенціалу продуктивності цукроносних культур. Автором обґрунтовано оптимальні елементи технології вирощування та строки збирання врожаю цукроносних культур у тісному зв'язку із чинниками зовнішнього середовища [77].

Враховуючи вищевикладене, констатуємо, що однією з умов використання біомаси із енергетичних культур є екологічна стабільність. Особливо за вирощування рослин на малопродуктивних, деградованих і порушених ґрунтах. Головний критерієм тут є адаптація вирощування енергокультур до змін у землекористуванні за одночасного раціонального використання природних ресурсів та збереження довкілля.

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1:

1. Отже, на території України наявні різні види енергетичних культур, які в своїй більшості – багаторічні, мають значно вищу продуктивність надземної вегетативної маси порівняно із однорічними. До них відносять: трав'янисті рослини (міскантус, просо прутоподібне, соргові культури) та деревні (тополя, верба, павловнія) та ін. Перспективними для вивчення є малопоширені енергетичні культури: індіан-грас або сорговник пониклий, біг-блуестем або Бородач Жерара, сіда, або мальва віргинська, шавнат, арундо тростинний, або очерет гігантський, та ін. Наявність в Україні маргінальних земель є передумовою для розширення площ для вирощування енергетичних культур. Що є основою для створення ефективних енергопосівів і забезпечення власною енергоємною сировиною місцеві територіальні громади.

2. За біологічними особливостями енергокультури цілком придатні до вирощування в різних ґрунтово-кліматичних умовах нашої країни. Відповідно до агрокліматичного районування в Україні виокремлено найбільш оптимальні регіони вирощування енергетичних культур з урахуванням їх біологічних особливостей. Видове різноманіття енергетичних культур, їх адаптивні властивості та високий потенціал врожайності обумовлюють необхідність використання їх рослинної енергоємної сировини для виробництва біопалив.

3. Визначено, що на даний час в Реєстрі зареєстровані сорти енергетичних культур: 26 видів деревних та 32 – трав'янистих культур. 3-поміж деревних енергокультур переважають представники вербових, а з трав'янистих – міскантуса (гігантський, цукроквітковий та китайський), а також сорти сорго цукрового.

4. За врожайністю біомаси сорти деревних енергетичних культур більш врожайні: павловнія (від 115,0 до 145,0 т/га) та вербові (від до 12,4 до 34,5 т/га за сухою масою) порівняно із трав'янистими (у загальному – від 7,6 до 25,0 т/га за сухою біомасою).

5. Отже, підбір адаптованих екотипів із сортименту енергетичних культур за відповідної агротехніки вирощування сприяють отриманню високої врожайності їх вегетативної маси. Широкомасштабне культивування проса прутноподібного, міскантусу, верби енергетичної, та інших малопоширених енергорослин передбачає позитивний вплив на навколишнє середовище та агроландшафти. Вони є цінними з екологічної точки зору для поліпшення та очищення ґрунтів, збільшення вмісту органічної речовини в них та зменшення викидів парникових газів, покращують біологічне різноманіття та є сировиною для виробництва продуктів з доданою вартістю.

## Література до розділу 1

1. 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.

2. Гументик М. Я., Радейко Б. М., Фучило Я. Д., Сінченко В. М., Ганженко О. М., Бондар В. С., Фурса А. В., Квак В. М., Харитонов М. М., Кателевський В. М. Вирощування біоенергетичних культур / за ред. М. Я. Гументика. Київ : Компринт, 2018. 178 с.

3. 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.

4. Тараненко А. О., Кулик М. І., Тараненко С. В., Галицька М. А. Вплив способу вирощування проса прутоподібного на динаміку органічної речовини у ґрунті та врожайність біомаси. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2020. № 3. С. 135–149.

5. Taranenko A., Kulyk M., Galytska M., Taranenko S., Rozhko I. (2021). Dynamics of soil organic matter in *Panicum virgatum* sole crops and intercrops. *Zemdirbyste-Agriculture*. Vol. 108 (3) : 255–262. DOI 10.13080/z-a.2021.108.033

6. Hanzhenko O., Roik, M. & Ivanina V. Catalogue for bioenergy crops and their suitability in the categories of MagLs (D2.2) In: *SEEMLA project reports, supported by the EU's Horizon 2020 programme under GA No. 691874*. 2016. 91 p. <https://www.seemla.eu/wp-content/uploads/2019/02/D2.2-Catalogue-forbioenergy-crops-and-their-suitability-in-the-categories-of-MagLs.pdf>

7. Kulyk M. I., Kurylo V. L., Kalinichenko O. V., Galytska M. A. Plant energy resources: agroecological, economic and energy aspects. *Monograf*. 2019. 119 p.

8. Кулик М. І. Енергетичні культури : *альбом*. Полтава: Астроя, 2017. 38 с.

9. Рахметов Д. Б. Біологічні основи інтродукції та вирощування нових сортів одно- і багаторічних видів родини Malvaceae в Лісостепу України: *Дис. доктора с.-г. наук: спеціальність – 06.01.09*. Київ, 2001. 568 с.

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

11. Дьомін Д. Г., Кулик М. І., Рожко І. І. Особливості біології та аспекти вирощування малопоширених енергетичних культур в Україні та світі. *Екологоорієнтовані підходи відновлення техногенно забруднених територій і створення сталих екосистем : колективна монографія ; за заг. ред. Т. О. Чайки*. Полтава : Видавництво ПП «Астроя», 2022. С. 177–186.

12. Дьомін Д. Г., Кулик М. І. Перспективні малопоширені енергетичні культури для отримання біологічної сировини та рекультиватії ґрунтів. *Організація діяльності в агропромисловому комплексі та актуальні питання ветеринарії: матеріали I міжнародної спеціалізованої наукової конференції*. м. Хмельницький, 5 березня, 2021 р. Міжнародний центр наукових досліджень. Вінниця: Європейська наукова платформа, 2021. С. 7–9.

13. 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: monograph*. Riga, Latvia: "Baltija Publishing", 2022 : 132–160. DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-203-6-6>

14. Дьомін Д. Г., Кулик М. І. Екологічні чинники та потенціал біомаси за вирощування малопоширених енергетичних культур. *ХІМІЯ, БІОТЕХНОЛОГІЯ, ЕКОЛОГІЯ ТА ОСВІТА: Збірник матеріалів VII Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (м. Полтава, 17-18 травня 2023 року)*. Полтава, 2023. С. 313–315.

15. Можарівська І. А. Технологія вирощування малопоширених енергетичних культур для виробництва різних видів біопалива. *Наукові праці інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*, 2013. Випуск 19. С. 95–88.

16. D’omin Dmytro, Kulyk Maksym, Rozhko Ilona. Agroecological fundamentals of creation of artificial phytocenoses of energy crops for recultivation. *Innovative Approaches to Ensuring the Quality of Education, Scientific Research and Technological Processes: Series of monographs* 43 Faculty of Architecture, Civil Engineering and Applied Arts Katowice School of Technology /Edited by Magdalena Gawron-Łapuszek Yana Suchukova. Publishing House of University of Technology, Katowice, 2021 : 1035–1041. <http://www.wydawnictwo.wst.pl/uploads/files/3ae54f97de8a1480cfb229660e616f25.pdf>

17. 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. ISBN: 978-9934-26-077-3 DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-077-3-27>

18. Блюм Я. Б, Гелетуха Г. Г. Новітні технології біоенергоконверсії: *Монографія*. К.:«Аграр Медіа Груп». 2010. 326 с.

19. Писаренко П. В., Курило В. Л., Кулик М. І. Агробіомаса та фітомаса енергетичних культур для виробництва біопалива: *Розробка та вдосконалення енергетичних систем з урахуванням наявного потенціалу альтернативних джерел енергії : колективна монографія* / за ред. О. О. Горба, Т. О. Чайки, І. О. Яснолоб. П.: ТОВ НВП «Укрпромторгсервіс», 2017. С. 258–266.

20. Кулик М. І., Падалка В. В. Розвиток біоенергетики на основі рослинного енергетичного ресурсу (на прикладі Полтавської області). *Управління стратегіями випереджаючого інноваційного розвитку : монографія* / за ред. к.е.н., доцента Н. С. Ілляшенко. Суми: Триторія, 2020. С. 109–118.

21. Горб О. О., Галицька М. А., Кулик М. І. Збереження балансу парникових газів при вирощуванні енергетичних культур внаслідок непрямой зміни землекористування в умовах Лісостепу. *Розробка та вдосконалення енергетичних систем з урахуванням наявного потенціалу альтернативних джерел енергії: колективна монографія* / за ред. О. О. Горба, Т. О. Чайки, І. О. Яснолоб. П. : ТОВ НВП «Укрпромторгсервіс», 2017. С. 216–226.

22. Дековец Віталій, Кулик Максим, Сипливая Наталя. Особенности формування урожайности біомаси мискантуса гігантського при совместном вирощуванні с бобовими культурами. *Stinta Agricola*. 2021. Вип. 2 С. 71–78. DOI: 10.5281/zenodo.5834616

23. Kulyk M., Galytskaya M., Plaksiienko I., Kocherga A., Mishchenko O. (2020). Switchgrass and lupin as phytoremediation crops of contaminated soil. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference : SGEM*. Bulgaria, Sofia, T. 20, Vol 5.1 : 779–784. DOI:10.5593/sgem2020/5.1/s20.098

24. Maryna Galytska, Maksym Kulyk, Dzhamal Rakhmetov, Vasyl Kurylo, Iona Rozhko (2021). Effect of cultivation method of *Panicum virgatum L.* and soil organic matter content on the biomass yield. *Zemdirbyste-Agriculture*. Vol. 108 (3) : 247–254. DOI 10.13080/z-a.2021.108.032

25. Кулик М. І., Галицька М. А., Самойлік М. С., Жорник І. І. ФітореMediaційні аспекти використання енергетичних культур в умовах України. *Агрологія*. 2018. Вип. 1 (4). С. 373–381.

26. Роїк М. В, Сінченко В. М., Нурмухаммедов А. К., Ганженко О. М., Гументик М. Я. Застосування біоенергетичних культур для виробництва біопластику. *Біоенергетика*. 2021. Вип. 2. С. 13–15.

27. Інтродукція нових корисних рослин в Україні: монографія. Д. Б. Рахметов, О. М. Вергун, С. М. Ковтун-Водяницька, О. Л. Андрущенко, О. А. Корабльова, Н. Я. Левчик, О. П. Бондарчук, С. О. Рахметова, О. В. Шиманська Т. О. Щербакова, Н. О. Стаднічук, Л. Г. Ревунова, М. В. Рись, А. В. Любінська, В. В. Фіщенко, М. О. Газнюк / Нац. ботан. сад імені М.М. Гришка НАН України. Київ: Ліра-К, 2020. 338 с.

28. Енергетичні та сировинні рослини : Навчальний посібник / С. М. Каленська, Д. Б. Рахметов, Н. В. Новітська та ін. / Національний університет біоресурсів і природокористування України, Національний ботанічний сад імені М. М. Гришка. Київ : НУБіП, 2022. 274 с.

29. Титко Р., Калініченко В. Відновлювальні Джерела Енергії (Досвід Польщі для України). Варшава: QWG, 2010. С. 401–455.

30. Ганженко О. М. Особливості вирощування та використання енергетичних культур. *Презентація*. URL: <https://saee.gov.ua/uk/news/1751>

31. Офіційний сайт Державної служби статистики України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/>

32. Пришляк Н. В. Потенційні можливості вирощування біоенергетичної сировини на виробництво твердого біопалива. *Агроевіт*. Вип. № 1–2, 2021. С. 36. DOI: 10.32702/2306&6792.2021.1-2.33

33. Інтернет-ресурс. В Україні створили онлайн-карту, щоб показали потенціал заміників природного газу. *Режим доступу*: <https://eco.rayon.in.ua/news/552662-v-ukraini-stvorili-onlayn-kartu-shchob-pokazali-potentsial-zaminnikiv-prirodnogo-gazu>

34. Курило В. Л., Рахметов Д. Б., Кулик М. І. Біологічні особливості та потенціал урожайності енергетичних культур родини тонконогових в умовах України. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2018. Вип. 1 (88). С. 11–17. <https://doi.org/10.31210/visnyk2018.01.01>

35. Курило В. Л., Кулик М. І., Калініченко О. В. Енергетичні культури : підручник. Полтава: ПП “Астроя”, 2019. 320 с.

36. Costanza J. K., Abt R. C., Mckerrow A. J., Collazo J. A. Bioenergy production and forest landscape change in the southeastern United States. *GCB Bioenergy*, 2017. Vol. 9. P. 924–939. [doi.org/10.1111/gcbb.12386](https://doi.org/10.1111/gcbb.12386)

37. Вокальчук Б. М., Фучило Я. Д. Вплив азотних добрив на продуктивність енергетичної біомаси верби прутівидної. *Біоенергетика*. 2021. Вип. 2. С. 24–27.

38. Інтернет джерело: Український інститут експертизи сортів рослин.  
*Режим доступу:* <https://www.sops.gov.ua/>

39. Про охорону прав на сорти рослин : Закон України від 21.01.1993 р. № 3116-XII. *Відомості Верховної Ради України*, 1993. (№ 21, ст. 218). С. 12.

40. Про державну реєстрацію майнового права інтелектуальної власності на поширення сортів рослин : наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України від 22.02.2019 р. № 69. Інтернет-ресурс. *Режим доступу:* <https://minagro.gov.ua/npa/pro-derzhavnu-reyestraciyu-majnovogo-prava-intelektualnoyi-vlasnosti-na-poshirennya-sortiv-roslin>

41. Elbersen H. W., Christian D. G., Bassen N. E. at all. Switchgrass variety choice in Europe. *Aspects of Applied Biology*, 2001. № 65. P. 21–28.

42. Moser L. E. & K. P. Vogel. Switchgrass, Big Bluestem, and Indiangrass. In: An introduction to grassland agriculture. *Iowa University Press*. 1995. P. 409–420.

43. Chramiec-Głabik A., Grabowska-Joachimiak A., Sliwinska E., Legutko J., Kula A. Cytogenetic analysis of *Miscanthus × giganteus* and its parent forms. *Caryologia*, 2012. Vol. 65, no. 3. P. 234–242.

44. Кулик М. І., Юрченко С. О. Формування продуктивності інтродукованого в центральній частині України *Panicum virgatum* L. (Просо лозоподібного). *Зб. наук. праць «Фактори експериментальної еволюції організмів»*. К.: Укр. т-во генетиків і селекціонерів ім. М.І. Вавилова, 2014. Т. 14. С. 160–164.

45. Філіпась Л. П., Горобець А. М., Мандровська С. М. Продуктивність різних сортів світчграсу. *Збірник наукових праць Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*, 2012. Вип. 14. С. 359–361.

46. Rakhmetova S. O., Vergun O. M., Kulyk M. I., Blume R. Y., Bondarchuk O. P., Rakhmetov D. B. (2020). Efficiency of Switchgrass (*Panicum virgatum* L.) Cultivation in the Ukrainian Forest-Steppe Zone and Development of Its New Lines (2020). *The Open Agriculture Journal*. Volume: 14 : 273–289. DOI: [10.2174/1874331502014010273](https://doi.org/10.2174/1874331502014010273)

47. Інтернет джерело: Інформаційно-довідкова система «Сорт». *Режим доступу*: <http://sort.sops.gov.ua/search/search>

48. Kalinichenko A., Kalinichenko O., Kulyk M. Assessment of available potential of agro& biomass and energy crops phytomass for biofuel production in Ukraine: *Odnawialne zrydla energii: teoria i praktyka. Monograph* / pod red. I. Pietkun Greber, P. Ratusznego, Uniwersytet Opolski: Opole, Kijow. 2017. II : 163—179.

49. Кулик М. І., Курило В. Л. Енергетичні культури для виробництва біопалива: *довідник*. Полтава: РВВ ПДАА, 2017. 74 с.

50. Кулик М. І. Енергетичні культури : Навч. посіб. Полтава: “Астра”, 2016. 154 с.

51. Кулик М. І., Рожко І. І., Галицька М. А. Науковий твір “Ботаніко-біологічні особливості та потенціал урожайності енергетичних культур” (Свідectво про реєстрацію авторського права на твір № 76724 від 8.02.2018).

52. Купцов Н. С., Попов Е. Г. Энергоплантации. *Справочное пособие по использованию энергетических растений*. Мн. : Тэхналогія. 2015. 128 с.

53. Галицька М. А., Кулик М. І., Дековець В. О. Екологічна стійкість ґрунту при вирощуванні енергетичних культур. *Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку: збірник матеріалів IV Міжнародної науково-практичної конференції*. (Полтава, 27 травня 2022). Полтава: Полтавський державний аграрний університет, 2022. С. 17–22.

54. Kulyk M., Galytskaya M., Plaksiienko I., Kocherga A., Mishchenko O. Switchgrass and lupin as phytoremediation crops of contaminated soil. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference : SGEM*. Bulgaria, Sofia, 2020. Т. 20, Vol 5.1 : 779–784. DOI:10.5593/sgem2020/5.1/s20.098

55. Писаренко П. В., Галицька М. А., Корчагін О. П. Екологічні аспекти відновлювальних джерел енергії в умовах Лісостепу України. *Оптимальні енергетичні системи з урахуванням наявного потенціалу відновлюваних*

*джерел енергії у Лісоstepу України : колективна монографія / За заг. ред. М. І. Кулика, О. В. Калініченка. Полтава: ПП «Астроя», 2019. С. 13–36.*

56. Maksym Kulyk, Maryna Galytska and Iryna Zhornyk. Plants for phytoremediation and biofuel production. *Applied Biotechnology in Mining: Proceedings of the International Conference* (Dnipro, April 25-27, 2018). Dnipro: National Technical University «Dnipro Polytechnic», 2018: 49. URL: <http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/152916>

57. Калініченко О. В., Плотник О. Д. Економічна ефективність виробництва культури світчграсу в Україні. *Наукові праці Полтавської державної аграрної академії*. Вип. 2. Т. 1. Економічні науки. Полтава : ПДАА, 2011. С. 136–141.

58. Kulyk Maksym, Kalinichenko Oleksandr, Dekovetz Vitalii. Efficiency of energy crops cultivation for business development in Ukraine. *Organization and management in the services' sphere on selected examples / Editors: Tetyana Nestorenko, Tadeusz Pokusa. Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole, 2020: 36–45. ISBN 978-83-66567-02-3. [http://pedagogika.wszia.opole.pl/ebook/3\\_2020.pdf](http://pedagogika.wszia.opole.pl/ebook/3_2020.pdf)*

59. Інтернет-джерело. Перспективи вирощування енергетичних культур. *Режим доступу:* <http://agro-business.com.ua/agro/ekonomichniy-hektar/item/15376-perspektyvu-vyroshchuvannia-enerhetychnykh-kultur.html>

60. Кулик М. І., Рій О. В., Крайсвітній П. А. Раціональне використання деградованих земель для вирощування Енергетичних культур і виробництва біопалива. *Енергозбереження*. Київ, 2012. Вип. 4. С. 12–13.

61. Галицька М. А., Писаренко П. В., Кулик М. І. Гуміфікаційно-мінералізаційні процеси як показник акумуляції карбону в ґрунтах. *Таврійський науковий вісник*. Херсон, 2018. Вип. № 102. С. 130–136.

62. Галицька М. А. Динаміка зміни органічного вуглецю ґрунту при вирощуванні енергетичних культур: наслідки для залишків парникових газів та родючості ґрунту. *Енергоефективність та енергозбереження: економічний, техніко-технологічний та екологічний аспекти : колективна*

монографія / За заг. ред. П. М. Макаренка, О. В. Калініченка, В. І. Аранчій. Полтава: ПП «Астрая», 2019. С. 376–380.

63. Інтернет-джерело. Режим доступу: <http://dspace.pdaa.edu.ua:8080/bitstream/123456789/8791/1/%D0%9C%D0%BE%D0%BD%D0%BE%20%D0%95%D0%95%20%D0%A1%D0%A2%20isbn%20%281%29.pdf>

64. Галицька М. А., Кулик М. І. Фіторе mediaційні аспекти вирощування енергетичних культур в умовах Лісостепу України. *Перспективи виробництва біосировини енергетичних культур на рекультивованих землях: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції*. Дніпро: ДДАЕУ, 2022. С. 210–214.

65. Kulyk M., Galytska M., Samoylik M., & Zhornyk, I. Phytoremediation aspects of energy crops use in Ukraine. *Agronomy*, 2019. 2 (1) : 65–73.

66. Кляченко О. Л., Мельничук М. Д., Іванова Т. В. Екологічні біотехнології: теорія і практика: *Навчальний посібник*. Вінниця, ТОВ «Нілан-ЛТД», 2015. 254 с.

67. Макаова Б. Є. Використання фітомаси енергетичних рослин як дієвий механізм розвитку територіальних громад. *Науково-дослідницька робота обласного конкурсу «Від студентського самоврядування – до самоврядування громад»*. ПДАА, 2014. 36 с.

68. Федорчук М. І., Коковіхін С. В., Каленська С. М., та ін. Агротехнологічні аспекти вирощування енергетичних культур в умовах півдня України: *навчальний посібник*. Херсон, 2017. 160 с.

69. Фучило Я. Д., Сбитна М. В. *Верби України*. Київ: Логос. 200 с.

70. Енергетична верба: технологія вирощування та використання / М. В. Роїк, В. М. Сінченко, Я. Д. Фучило та ін. Вінниця: ТОВ «Нілан ЛТД», 2015. 340 с.

71. Фучило Я. Д., Кирилко Я. О., Іванюк І. Д., Гументик М. Я, Ганженко О. М. Ріст і продуктивність енергетичних плантацій тополі в умовах Правобережного Лісостепу. 2022. *Біоенергетика*. Вип. 1–2. С. 57–59.

72. Бабина О. М. Перспективи вирощування енергетичних культур як чинник впливу на розвиток економіки, біоенергетики та аграрного сектору України. *Приморські економічні студії*. Випуск 31. 2018. С. 13–17.

73. Погорелова І. Енергетичні рослини можуть замінити газ та очистити ґрунти. Режим доступу: URL: <http://ridneselo.com/node/6856>.

74. Ганженко О. М., Герасименко Л. А., Іванова О. Г. Вплив елементів технології вирощування цукрового сорго на енергетичну продуктивність. *Цукрові буряки*. 2015. № 4. С. 17–19.

75. Ганженко О. М., Григоренко Н. О., Хіврич О. Б. Вплив сортових особливостей та мінерального живлення на урожайність і вуглеводний склад цукрового сорго. *Цукрові буряки*. 2011. № 5. С. 14–15.

76. Грабовський М. Вплив метеорологічних умов на продуктивність сорго цукрового. *Аграрна наука та освіта в умовах Євроінтеграції*. 2018. С. 83–85.

77. Ганженко О. М. Агроекологічні основи формування продуктивності цукроносних культур для біопалива: *монографія*. Київ: Компринт, 2022. 358 с.

## Розділ 2

# ВИВЧЕННЯ СОРГО ЦУКРОВОГО ДЛЯ БІОПАЛИВНОГО НАПРЯМУ ВИКОРИСТАННЯ

(Попова О. П.)

---

---

- 2.1. Значення та сортимент сорго цукрового
- 2.2. Вивчення сортів сорго цукрового
  - 2.2.1. Матеріал та методика проведення досліджень
  - 2.2.2. Посівні якості насіння та кількісні показники рослин сорго цукрового
  - 2.2.3. Урожайності біомаси сорго цукрового залежно від сорту
- 2.3. Вплив агротехнічних заходів на врожайність сорго цукрового
- 2.4. Використання сорго цукрового для виробництва біопалив
- 2.5. Якісні характеристики рослинної сировини сорго цукрового

### 2.1. Значення та сортимент сорго цукрового

Вивчення сортів сорго цукрового присвячена значна кількість наукових праць в багатьох країнах світу, включаючи Україну та Сполучені Штати Америки. Багато вчених працюють над вдосконаленням сортів сорго цукрового, щоб забезпечити більш високу врожайність рослин, їх стійкість до хвороб та шкідників, а також покращити якість отримуваної продукції.

Рід соргових (*Sorghum Moench*) належить до андропогонових (*Andropogoneae*) родини тонконогових (*Poaceae*). Свою назву ця давня і широко розповсюджена культура одержала завдяки високорослості – від латинського слова *Sorgus*, що в перекладі означає «підніматися, височіти». Сорго відзначається значною еколого-географічною різноманітністю, яка до цього часу важко піддається класифікації через велику кількість проміжних форм [1]. За даними М. І. Вавилова, П. М. Жуковського, батьківщиною сорго є екваторіальна Африка. Вторинним центром походження цієї культури деякі вчені вважають Індію і Китай, звідки вона потрапила в країни Нового і Старого світу. Широке вивчення цієї культури на півдні України розпочато О. О. Ізмаїльським у 1880 році та продовжено В. В. Талановим з 1912 року на Катеринославській селекційнодослідній станції (нині Синельниківська) [2].

На сьогодні в Україні соргові рослини використовують як кормові, продовольчі й енергетичні культури. Сорго вирощують на всіх континентах світу (понад 90 країнах) для кормових цілей, зерно використовується в їжу, а стебла – для отримання біопалива (рис. 2.1).



**Рис. 2.1. Напрями використання сорго**

Визначено, що з одного гектара посівів сорго цукрового отримують значний обсяг рослинної біомаси, що містить у своєму складі до 20 % цукрового соку. Сировина культури сорго цукрового є універсальною за використанням: у харчовій, технічній та енергетичній промисловостях, а також – у тваринництві та птахівництві тощо.

Сорго цукрове (*Sorghum saccharatum(L.)*) – рослина, яка є однорічною трав'янистою культурою. Її вирощують для різних цілей, зокрема на зелений корм та для отримання силосу. Крім того, з сорго цукрового отримують некрystalізований цукор, який широко використовується в харчовій промисловості для виробництва сиропів. А біомаса рослини знаходить своє застосування в енергетичних цілях [3].

Сорго за принципом господарського використання ділиться на 4 групи: зернове, цукрове, трав'янисте і віничне. Аграрії України частіше вирощують

технічні або зернові сорти. У світі зустрічаються два основні види культивованого сорго: сорго звичайне, наукова назва якого - *S. vulgare Pers.*, і сорго трав'янисте, також відоме як суданська трава, з науковою назвою *S. sudanense Pers.*

Сорго цукрове характеризується тим, що його стебло формується з міжвузлів, кількість і довжина яких варіюються залежно від групи рослин і визначаються їхньою швидкістю зростання. Всередині соргові стебла заповнені соком, а вміст цукрів: сахарози, глюкози та фруктози обумовлює їхній солодкий смак [4].

Цукрове сорго на сьогодні є малопоширеною культурою в нашій країні, розширення посівних площ якої стримується як біологічними особливостями рослин, так і вимогами до агротехніки вирощування. Для вирішення цих питань селекціонерами регулярно створюються і впроваджуються у виробництво нові сорти і гібриди.

Так, у Державному реєстрі сортів рослин, придатних для поширення в Україні на 2022 рік нараховується 20 сортів сорго цукрового. На даний час наявний наступний сортимент сорго цукрового: 'Мамонт', 'Троїстий', 'Цукрове 1', 'Довіста', 'Гулівер', 'Сохатий', 'Ананас', 'Приазовське', 'Сило 700Д', 'Су', 'Пам'яті Шепеля', 'Рона 1', 'Зубр', 'Фаворит', 'Приазовське', 'Мохавк', 'Одстер', 'Силосне 42', 'Верблюд', та ін [5].

Сорти і гібриди сорго, що вирощуються в умовах виробництва, разом з позитивними якостями мають і певні недоліки, які можливо усунути переважно селекційним шляхом. У процесі селекції надзвичайно важливим є наявність вихідного матеріалу з широким генетичним різноманіттям в основних господарсько-цінних ознаках. Це становить перший і невід'ємний етап у створенні нових сортів. Саме мобілізація генетичного різноманіття в початкових формах є ключовим етапом у процесі вибору та поліпшення сортів. Формування і ефективне використання колекцій культурних рослин має велике значення для реалізації наукових, селекційних, навчальних та інших програм. Особливу цінність для селекції мають ознакові колекції, в яких зосереджені

зразки з різним рівнем прояву господарсько-цінних ознак. Залежно від напрямків селекції та характеристики сортів, які покращуються, для створення селекційного матеріалу і добору залучаються зразки з необхідним рівнем прояву певних ознак (із урахуванням їх генетичного контролю) та адаптації до біотичних і абіотичних факторів середовища, а також зважаючи на еколого-географічне походження [6].

Висівання ранньостиглих сортів сорго від 5–10 травня до 20–25 травня дозволяє краще використовувати вологовміст ґрунту та теплові ресурси для досягнення високої врожайності. У таких умовах ці сорти максимально реалізують свій біологічний потенціал та ефективно використовують природні агрокліматичні ресурси в зоні вирощування.

Дослідження А. А. Жученка підтверджують важливість еволюційно-генетичних, екологічних і біоенергетичних підходів у формуванні агробіоценотичної генетики, яка є важливою складовою екологічної генетики культурних рослин. Це обумовлено зростаючим інтересом до досліджень у галузі взаємодій фітоценозів культивованих рослин [7].

Екологічна пластичність сорту означає його здатність до стабільного вирощування високого врожаю, в порівнянні з іншими сортами, при різних погодних та агротехнічних умовах. Головна суть пластичності полягає в здатності генотипу змінювати розмір особливостей під впливом різних умов середовища, тоді як стабільність означає відсутність такої здатності до змін.

Одним з головних завдань, які стоять перед селекціонерами цукрового сорго, є створення ідеального генотипу рослин, який здатний постійно реалізовувати свій потенціал і мати певні морфологічні характеристики [8].

Тому, Одним з важливих напрямків у селекції цукрового сорго є створення сортів і гібридів, які відзначаються високою врожайністю і покращеною якістю біомаси. Це завдання можливо вирішити шляхом розробки пластичних сортів, які здатні надійно формувати стабільні врожаї біомаси та насіння навіть у суховершинних умовах [9]. У зв'язку з цим, важливо провести оцінку адаптивності сортів і гібридів цукрового сорго, зокрема щодо

врожайності біомаси та отримання біопалива з одиниці площі. Це актуальне завдання, оскільки виявлення сортів і гібридів цукрового сорго, які проявляють високу адаптивність, дозволить забезпечити стабільний рівень продуктивності незалежно від умов їх вирощування.

Україна має сприятливі ґрунтово-кліматичні умови для вирощування сорго на великих площах. Особливою перевагою сорго є його стабільна врожайність, яка перевищує врожайність кукурудзи. Розвиток насінництва сорго та використання інтенсивних технологій його вирощування є передумовою значного зростання продуктивності цієї цінної культури найближчі роки в Україні [10].

Науковці з Технологічного інституту Карлсруе (KIT) виявили, що цукрове сорго може бути використане для виробництва біогазу, біопалива і нових полімерів, а також заміни фосфорних добрив. Доктор Аднан Канбар у співпраці з професором Пітером Ніком з Ботанічного інституту KIT розробив новий сорт цукрового сорго під назвою KIT1. Даний сорт цукрового сорго, KIT1, характеризується високим вмістом цукру і добрим ростом в помірних кліматичних умовах. Його можна використовувати як джерело енергії для виробництва біогазу та біопалива, а також як основний матеріал для створення нових полімерів.

На українському ринку присутні 12 гібридів сорго американської селекції, які представлені різними типами: цукровим сорго (SS506, Sioux, Mohawk, G1990), зерновим сорго (Kato, Ponki, Tzuni, Yuki, Milo W, Yutami) та сорго-суданками (Koso, Ute BMR). Окрім того, в Україні активно працюють над виведенням середньостиглих гібридів сорго, які відрізняються хорошою стійкістю до низьких температур, швидким початковим ростом і розвитком рослин. Деякі приклади таких сортів і гібридів включають Силосне 42 Інституту зернових культур УААН, а також гібриди Зубр, Покров і Медове, що були розроблені в Одеському селекційному Центрі УААН. Ці сорти та гібриди відзначаються високим рівнем пристосованості до місцевих ґрунтово-кліматичних умов і є ідеальними для вирощування на силос і як зелений корм.

Вони також показують хорошу сумісність з кукурудзою при змішаних посівах [11].

Різні дослідження показують, що сорти та гібриди сорго розрізняються за показниками урожайності зеленої біомаси, які, в свою чергу, залежать від умов вирощування [12, 13]. Наприклад, виконані дослідження продуктивності різних сортів і гібридів цукрового сорго на дослідних ділянках Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН показали, що сорт Силосне 42 досягає найвищої врожайності зеленої маси при густоті 300 тисяч рослин на гектар (106,86 т/га). Це на 2,6 тонни на гектар більше, ніж у гібрида Фаворит, і на 3,01 тонни та 10,31 тонни на гектар більше, ніж у сорту Нектарний та гібрида Медовий. Серед розглянутих гібридів, гібриди Медовий та Фаворит виявилися найбільш цукровмісними, з вихідними показниками загальних цукрів 6,09 тонн на гектар та 5,57 тонн на гектар відповідно, при густоті посіву 300 тисяч рослин на гектарі. Проте, завдяки більшій врожайності зеленої маси, сорт Силосне 42 демонструє найвищий вихід біоетанолу – 501,19 літрів на гектар. Це на 71,28 літрів на гектар більше, ніж у гібрида Медовий, і на 14,7 літрів та 30,74 літрів на гектар більше, ніж у сорту Нектарний та Фаворит відповідно [14].

Дослідження показали, що серед гібридів цукрового сорго існує високопродуктивна група, яка включає гібриди Бізон, Зубр та Мамонт. Ці гібриди відрізняються високою врожайністю зеленої маси і максимальним вмістом розчинних вуглеводів. Це робить їх перспективною сировиною для виробництва нових продуктів харчування і біопалива. Сорти і гібриди сорго цукрового мають високий вміст цукрози в загальній структурі цукрів, що дає їм перевагу над моноцукрами. Так, гібрид Медовий має високий вміст цукрози (91,7 %) і низький вміст моноцукрів (8,3 %) серед загальної кількості цукрів. У сорту Силосне 42 співвідношення є зворотним – вміст цукрози складає 26,5 %, а моноцукрів – 73,5 %. У гібридів Зубр і Бізон співвідношення між цукрозою і моноцукрами були приблизно однаковими [15].

Дослідники В. Л. Курило та В. П. Ковальчук, що працюють в Інституті

біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, провели експерименти, які показали стійку тенденцію відставання сорту Силосне 42 сорго цукрового в порівнянні з гібридами Медовий, Нектарний та Фаворит як у фенологічних спостереженнях, так і за показниками продуктивності. Цей розбіжний результат може пояснюватися специфічними особливостями сорту Силосне 42 [16].

Зарубіжні наукові дослідження, проведені Реєм Рікодом та Алленом Арценоксом на Луїзіанській сільськогосподарській дослідній станції в США, також підтверджують різницю в показниках між гібридами і сортами. Вони вивчали гібриди M81E, Cowley та Wray. В результаті дослідження було встановлено, що гібрид M81E мав найвищу врожайність стебел (20,8 тонн на акр), тоді як гібриди Cowley (17,4 тонн на акр) та Wray (19,1 тонн на акр) мали менші показники. Відсоток листків до стебел також відрізнявся, з найнижчим значенням 8,4 % у гібрида M81E та вищими значеннями 11,7 % у гібрида Cowley та 11,4 % у гібрида Wray [17].

Експерименти, проведені в Міжнародному інституті дослідження зернових культур в Індії, підтверджують, що нові гібриди сорго цукрового демонструють високу врожайність та більш активну фотосинтетичну активність порівняно зі звичайними сортами, навіть за умов обмежених водних ресурсів. За результатами експериментів, вироблення цукру з гектара з сортів склало 1,7 тони, тоді як у гібридів цей показник становив 1,5 тони. Урожайність зерна також була значно вищою у гібридів, досягаючи 8,5 тонн, в порівнянні з 4,6 тоннами для сортів [18].

Головною вимогою до культур, які використовуються в біоенергетиці є якість продукції та забезпечення стабільної сировинної бази. Цьому сприяє сортові ресурси і агротехнологія. Всі соргові культури, які мають здатність накопичувати значну кількість розчинних вуглеводів у соку своїх стебел і формувати високий врожай біомаси, є придатними для використання у біоенергетиці [19, 20, 21].

Головними вимогами до сортів сорго є їх здатність пристосовуватися до

змінних умов та негативних факторів навколишнього середовища, таких як температура, шкідливі організми та інші екстремальні умови. Важливо, щоб сорти були пластичними, мали відповідну тривалість вегетаційного періоду, були холодостійкими, імунними до хвороб та шкідників, а також виявляли високу інтенсивність росту та стійкість до неблагоприятних умов.

Тому, виробники акцентують свою увагу на районованих сортах й гібридах сорго цукрового. Особливо це стосується сортименту української селекції. У порівнянні з іноземними сортами, вітчизняні сорти сорго більш пристосовані до місцевих умов ґрунту і клімату, і відзначаються високою стійкістю до посухи, вилягання і хвороб. Вони краще пристосовані до вирощування в посушливих регіонах та проявляють більшу життєздатність в умовах, що є типовими для більш вологої місцевості [22].

Проведення комплексних експериментів з сорговими культурами здійснюють у м. Дніпро (Дніпровський Інститут землеробства степових районів НААН України, Синельниківська і Генічеська ДС). А також: дослідні станції, в Одесі – селекційно-генетичний і сільськогосподарський інститути. Створені на їх базі високоврожайні сорти і гібриди сорго цукрового мають позитивні відгуки у виробників [23].

В цілому, вивчення сортів сорго цукрового є важливим напрямом досліджень, оскільки ця культура може бути важливим джерелом енергії та цукру, особливо в умовах зміни клімату та зростаючих потреб у стійких до посух та засолення культурах. Що і обумовлює її універсальність як культури.

Результати проведених досліджень українських вчених підтверджують думку про те, що врожайність сорго залежить від сортових властивостей, які проявляються різним чином під впливом різних агрозаходів. Гібриди мають більшу стійкість і адаптивність, що сприяє переважанню їх у показниках врожайності порівняно зі сортами. Тому, вивчення в перспективі нових сортів та гібридів сорго цукрового з урахування агротехнології їх вирощування за потенціалом врожайності є важливим і нагальним питанням сьогодення.

## 2.2. Вивчення сортів сорго цукрового

Одним із визначальних критеріїв одержання високих врожаїв є дотримання та своєчасного виконання усіх технологічних заходів за вирощування культури. Поряд з цим, використання для сівби сортів і гібридів з високим потенціалом врожайності та підвищеною адаптивністю до несприятливих абіотичних факторів зони вирощування сприятиме зростанню їх врожайності.

### 2.2.1. Матеріал та методика проведення досліджень

Наші дослідження були направлені на вивчення шляхів збільшення врожайності сорго цукрового залежно сортового складу.

Дослід, який був проведений на колекції енергетичних культур Полтавського державного аграрного університету, закладався за методом систематичних повторювань варіантів у експерименті: у кожному повторенні варіанти досліду розміщувались по ділянках послідовно [24]. Повторюваність дослідів – чотириразова. Площа облікової ділянки – 5 м<sup>2</sup>. Сівбу проводили на глибину 4–6 см, а ширина міжряддя становила 45 см, густина рослин при цьому була 20 штук на один рядок (рис. 2.2).



Рис 2.2. Сорго цукрове досліджуваних сортів

У досліді вивчалися наступні зареєстровані та районовані сорти сорго цукрового: Гулівер, Довіста, Зубр, Су, та Цукрове.

У дослідженнях проводили виконання як планових, так і поточних спостережень, обліків та аналізувань згідно загальноприйнятних та із застосуванням спеціальних наукових методик та рекомендацій виробництву [25, 26].

Визначення врожайності так званої «сирої» та «сухої» рослинної біомаси, а також облік насінневої продуктивності сорго цукрового визначали після скошування і збирання біомаси або насіння з кожної облікової ділянки досліді [27].

У ході виконання дослідження використовували також «Методику обліку площі листової поверхні рослин сільськогосподарських культур», визначення якої здійснювали відповідно за А. А. Ничипоревича (1):

$$S_n = 0,67 \times a \times b, \quad (1)$$

де  $S_n$  – площа одного листка,  $\text{см}^2$  ;

$a$  – найширша частина листка,  $\text{см}$ ;

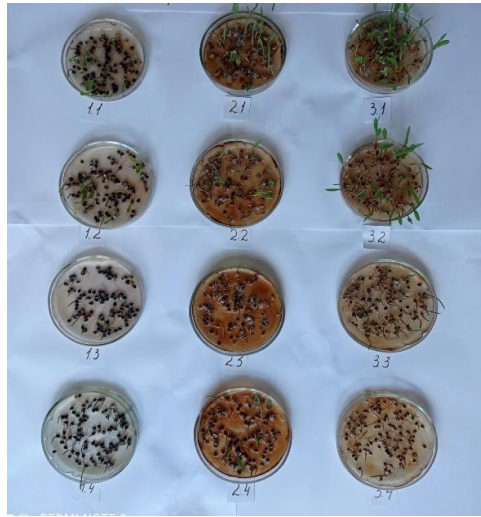
$b$  – довжина листка,  $\text{см}$ ;

0,67 – коефіцієнт, який відображає конфігурацію листка.

Отже, умови проведення досліджень є типовими для виконання досліджень з рослинами сорго цукрового, сама постановка та проведення польового експерименту відповідає методичним рекомендаціям, а супутні лабораторні аналізування здійснено відповідно прийнятих методик.

### **2.2.2. Посівні якості насіння та кількісні показники рослин сорго цукрового**

Як відомо, кращу польову схожість має насіння з високими показниками лабораторної схожості та енергії проростання насіння. Тому, нами було проведено аналіз лабораторної схожості насіння сортів та гібридів сорго цукрового перед сівбою досліджуваних сортів (рис. 2.3).



**Рис 2.3. Лабораторна схожість досліджуваних зразків сорго цукрового**

Посівні якості насіння, як його чистота та лабораторна схожість, досліджуваного сортименту сорго цукрового на початкових етапах експерименту дуже різнилися (табл. 2.1).

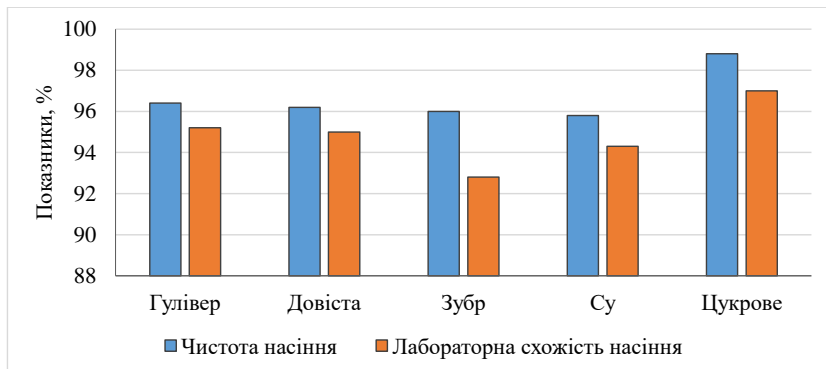
*Таблиця 2.1*

**Посівні якості насіння сорго цукрового залежно від сорту (%),  
середнє за 2021-2022 рр.**

Показники	Сорт					Середнє за показниками
	Гулівер	Довіста	Зубр	Су	Цукрове	
Чистота насіння	96,4	96,2	96,0	95,8	98,8	96,64
Лабораторна схожість насіння	95,2	95,0	92,8	94,3	97,0	94,86

У середньому чистота насіння досліджуваного сортименту сорго цукрового змінювалася у межах – від 95,8 до 98,8 %, показники лабораторної схожості – від 92,8 до 99,0 %. За цими даними посівний матеріал сорго відносимо до 1–2 класів якості насіння.

З-поміж сортів сорго цукрового, що були поставлені на вивчення, найліпші показники посівних якостей насіння забезпечили сорти Цукрове, менші, але поряд з цим на порівняно достатньо високому рівні – сорти Гулівер, Довіста та Су, а найменші – у сорту Зубр (рис. 3.1.).



**Рис. 3.1. Посівні якості насіння сорго цукрового залежно від сорту, середнє за 2021-2022рр.**

Приріст висоти рослин за сортами сорго цукрового у динаміці росту і розвитку рослин показав, що цей показник був найбільшим у міжфазні періоди: виходу в трубку – цвітіння та сходи-вихід у трубку у сорту Гулівер, Су, Цукрове (табл. 2.2).

*Таблиця 2.2*

**Динаміка приросту висоти рослин сорго цукрового сорту Гулівер (см), 2021-2022 рр.**

Рік	Міжфазний період			На час закінчення вегетації
	сходи-вихід у трубку	вихід в трубку-цвітіння	цвітіння-воскова стиглість	
2021	90,7	126,3	20,2	237,2
2022	92,4	129,6	23,1	245,1
Середнє	91,6	126,5	21,7	241,2

На час закінчення вегетації рослин у сорго цукрового сорту Гулівер висота рослин була на рівні 241,2 см (за роками варіювання було в межах – від 237,2 до 245,1 см). Найменший приріст рослин цього сорту спостерігали у період цвітіння – воскова стиглість.

У сорго сорту Довіста, аналогічно – найбільший приріст рослин у висоту сорго цукрового зафіксовано у міжфазний період виходу в трубку – цвітіння (115,1-109,6 см) та сходи – вихід у трубку (82,0-86,3 см) (табл. 2.3).

*Таблиця 2.3*

**Динаміка приросту висоти рослин сорго цукрового сорту Довіста (см), 2021-2022 рр.**

Рік	Міжфазний період			На час закінчення вегетації
	сходи-вихід у трубку	вихід в трубку-цвітіння	цвітіння-воскова стиглість	
2021	82,0	109,6	14,0	205,6
2022	86,3	115,1	19,5	220,9
Середнє	84,2	112,4	16,8	213,3

У загальному, за два роки досліджень на час закінчення вегетації рослин у сорту сорго цукрового Довіста висота стеблостою сягала 213,3 см (за роками варіювання за цим показником було у межах – від 205,6 до 220,9 см). Найменший приріст рослин цього сорту спостерігали у період цвітіння – воскова стиглість.

Динаміка максимального лінійного приросту рослин у сорту сорго цукрового сорту Зубр визначено у період виходу в трубку – цвітіння (107,0-111,1 см) та сходи – вихід у трубку (80,8-85,9 см).

Найменший цей показник був у міжфазний період цвітіння – воскова стиглість (табл. 2.4).

**Динаміка приросту висоти рослин сорго цукрового сорту Зубр  
(см), 2021-2022 рр.**

Рік	Міжфазний період			На час закінчення вегетації
	сходи-вихід у трубку	вихід в трубку-цвітіння	цвітіння-воскова стиглість	
2021	80,8	107,0	14,8	202,6
2022	85,9	111,1	19,9	216,9
Середнє	83,4	109,1	17,4	209,8

Встановлено, що на час закінчення вегетаційного періоду сорту сорго цукрового сорту Зубр висота стеблостою становила 209,8 см, а за роками досліджень цей показник змінювався від 202,6 до 216,9 см.

Динаміка приросту рослин сорго цукрового сорту Су наведена в табл. 2.5.

Таблиця 2.5

**Динаміка приросту висоти рослин сорго цукрового сорту Су  
(см), 2021-2022 рр.**

Рік	Міжфазний період			На час закінчення вегетації
	сходи-вихід у трубку	вихід в трубку-цвітіння	цвітіння-воскова стиглість	
2021	76,9	115,2	16,3	208,5
2022	79,3	119,6	21,6	220,5
Середнє	78,1	117,4	19,0	214,5

Спостереженнями визначено, що у сорту сорго цукрового під назвою Су, найбільшим приростом рослини у висоту характеризувалися у міжфазні період проміжку часі – від виходу рослин у трубку до цвітіння (115,2 – 119,6 см). Найменшим приріст рослин сорту Су зафіксували у міжфазний період цвітіння – воскова стиглість. Відмічено для сорту сорго цукрового сорту Су за висотою рослин на час завершення вегетаційного періоду становила 214,5 см, а за роками досліджень варіювала від 208,8 до 220,5 см.

Динаміка приросту висоти рослин для сорго цукрового сорту Цукрове за 2021-2022 роки була максимальною у період виходу в трубку-цвітіння, відповідно 116,2 та 120,6 см (табл. 32.6).

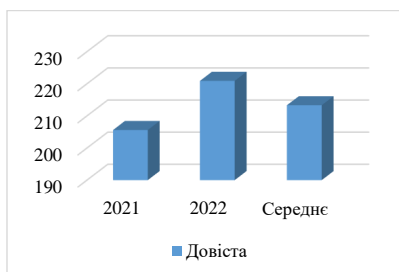
Таблиця 2.6

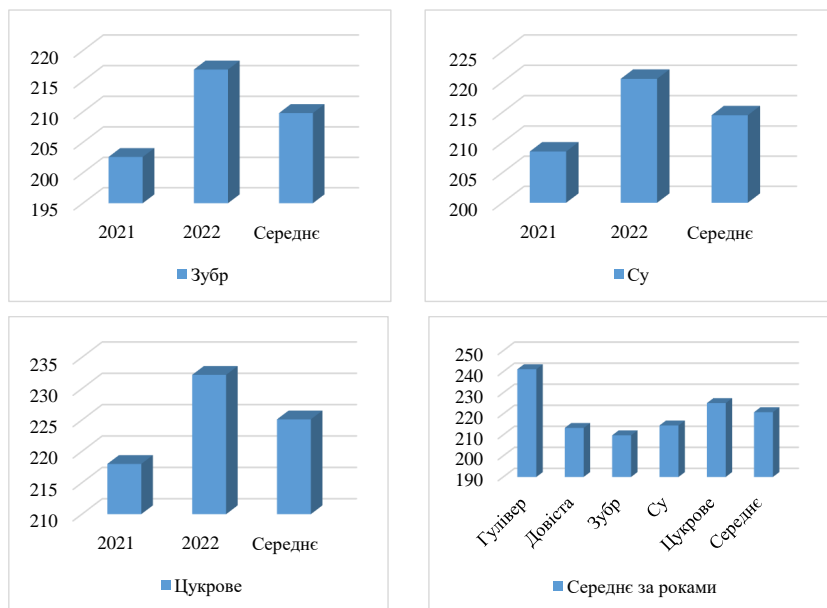
**Динаміка приросту висоти рослин сорго цукрового сорту Цукрове (см), 2021-2022 рр.**

Рік	Міжфазний період			На час закінчення вегетації
	сходи-вихід у трубку	вихід в трубку-цвітіння	цвітіння-воскова стиглість	
2021	84,3	116,2	17,5	218,0
2022	86,2	120,6	25,4	232,2
Середнє	85,3	118,4	21,5	225,1

Визначено, що за два роки дослідження для сорту Цукрове висота рослин сягала 225,1 см, при варіюванні за роками досліджень, відповідно років – 218,0 та 232,2 см.

У загальному, у розрізі двох років проведення експерименту, та у середньому за роки було встановлено, що приріст рослин у висоту за усіма сортами сорго цукрового суттєво відрізнявся (рис. 2.4).





**Рис. 2.4. Висота рослин сортів сорго цукрового на час закінчення вегетації, 2021-2022 рр.**

Отже, найбільшу висоту рослин забезпечують сорти сорго цукрового: Гулівер та Цукрове, значно менше сорт Довіста, Зубр і Су, відповідно – 213,3 см; 209,8 см і 214,5 см.

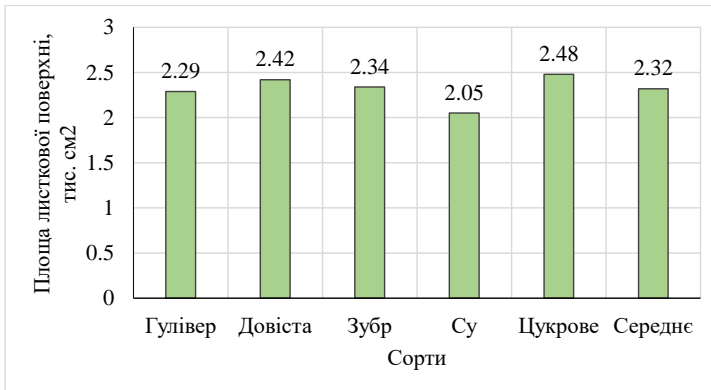
Найінтенсивніший приріст рослин усіх сортів сорго цукрового відбувається у період від виходу в трубку і аж до фази цвітіння. У період до досягання насіння відмічено суттєве зменшення лінійного приросту рослин сорго цукрового у висоту.

Встановлено, що висота стеблостою та його облиствленість обумовили певну площу листкової фотосинтезуючої поверхні агроценозу, яка за сортами сорго цукрового змінювалася у межах – від 2,04 до 2,49 тис. см<sup>2</sup> (табл. 2.7).

**Площа листкової поверхні сорго цукрового залежно від сорту  
(тис. см<sup>2</sup>), 2021-2022 рр.**

Рік	Сорт					Середнє за роки
	Гулівер	Довіста	Зубр	Су	Цукрове	
2021	2,20	2,39	2,25	2,04	2,46	2,27
2022	2,37	2,45	2,42	2,05	2,49	2,37
Середнє	2,29	2,42	2,34	2,05	2,48	2,32

Динаміка зміни площі листкової поверхні фітоценозу за сортами сорго цукрового у середньому варіювала від 2,04 до 2,49 тис. см<sup>2</sup>, з найбільшим значенням у сорту Цукрове, найменшим – у сорту Су. Площа листкової поверхні сортів сорго цукрового у середньому за два роки наведені на рис. 2.5.



**Рис. 2.5. Площа листкової поверхні сортів сорго цукрового, середнє за 2021-2022 рр.**

З-поміж сортів сорго цукрового, що вивчалися, найбільшу фотосинтетичну поверхню листкового фітоценозу формував сорт Цукрове – 2,48 тис. см<sup>2</sup> та сорт Довіста – 2,42 тис. см<sup>2</sup>. Меншим, але на високому рівні цей показник був у сорту Зубр (2,34 тис. см<sup>2</sup>), у інших сортів поставлених на вивчення – цей показник був суттєво меншим.

### 2.2.3. Урожайності біомаси й насіння сорго цукрового залежно від сорту

За визначення врожайності сухої біомаси досліджуваного сортименту сорго цукрового ми встановили мінливість даного показника в розрізі років дослідження та сортів – від 6,8 до 16,2 т/га. При цьому встановлено, що врожайність біомаси у сортів сорго цукрового формується значно вищою у 2022 році порівняно із 2021 роком (табл. 2.8).

Таблиця 2.8

**Урожайність біомаси сорго цукрового залежно від сорту (т/га),  
2021-2022 рр.**

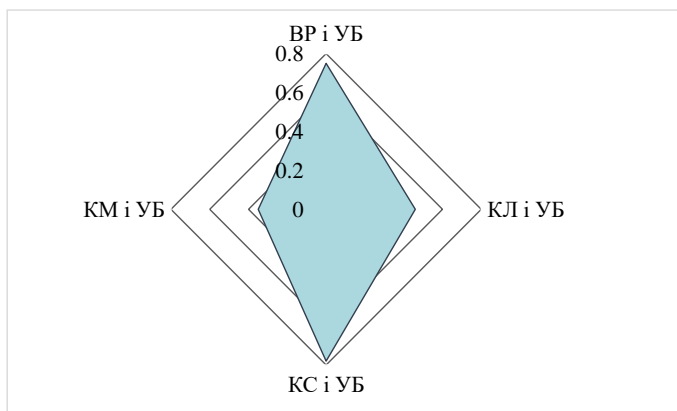
Рік	Сорт					Середнє за роки
	Гулівер	Довіста	Зубр	Су	Цукрове	
2021	14,5	7,2	12,4	6,8	8,5	9,9
2022	16,2	9,1	12,6	7,3	8,7	10,8
Середнє	15,4	8,2	12,5	7,1	8,6	10,3
НІР <sub>05</sub> (фактор А)	1,04	-	-	-	-	-
НІР <sub>05</sub> (фактор Б)	1,30	1,21	0,51	0,45	0,03	-

Отже, у середньому за два роки з-поміж сортів сорго цукрового найбільшу врожайність біомаси формують Гулівер і Зубр, відповідно за сортами 15,4 і 12,5 т/га, що істотно перевищує інші сорти.

Для встановлення напряму та сили зв'язку між кількісними показниками рослин та насінневою врожайністю сорго цукрового в розрізі досліджуваних сортів був проведений кореляційний аналіз.

Встановлено кореляцію:

- між висотою рослин і врожайністю біомаси ( $r = 0,78$ ) – зв'язок сильний;
- між кількістю листків і врожайністю біомаси ( $r = 0,35$ ) – зв'язок середній;
- між кількістю стебел і врожайністю біомаси ( $r = 0,80$ ) – зв'язок сильний;
- між кількістю міжвузлів і врожайністю біомаси ( $r = 0,17$ ) – зв'язок слабкий (рис. 2.6).



*Примітка:* ВР – висота рослин (см), КЛ – кількість листків (шт.), КС– кількість стебел (шт.), КМ – кількість міжвузлів (шт.), УБ – урожайність біомаси (т/га).

**Рис. 2.6. Кореляція між кількісними показниками рослин і врожайністю біомаси сортів сорго цукрового, 2021-2022 рр.**

Встановлено, що найбільшу врожайність насіння у забезпечують сорти сорго цукрового: ‘Зубр’ (4,01 т/га) і ‘Цукрове’ (3,46 т/га), істотно менше – інші сорти.

Результати визначення зв’язку між показниками дали змогу оцінити найбільш впливові чинники, що обумовлюють урожайність біомаси. Визначено, що на формування врожайності насіння досліджуваних сортів сорго цукрового мають істотний вплив: довжина волоті, маса 1000 насінин та кількість насіння з волоті.

На врожайність біомаси впливає як висота, так і густина стеблостою, що характерно для усіх досліджуваних сортів сорго цукрового. Водночас, сорго цукрове є перспективною біоенергетичною культурою, яке має високу пластичність і урожайність. Сучасні сорти та гібриди цієї культури, що рекомендовані для зони Лісостепу й Степу України, формують різну врожайність залежно від чинників навколишнього середовища та агротехнологічних заходів вирощування.

### **2.3. Вплив агротехнічних заходів на врожайність сорго цукрового**

Найефективніший спосіб досягнення високої продуктивності сорго цукрового – це оптимізація ширини міжрядь та густоти рослин. Але важливо уникати надмірного загущення, оскільки це може погіршити доступ рослин до необхідних поживних речовин, що призводить до низької якості врожаю. Неправильний підбір площі живлення та низькі норми висіву призводять до неефективного використання поля і поширення бур'янів на незайняті екологічні ніші. Тому оптимізація ширини міжрядь та норм висіву є актуальною задачею в рослинництві для досягнення найкращих результатів вирощування сорго цукрового.

Науково-обґрунтований вибір елементів агротехнології вирощування для сорго має важливе значення. Адже від ширини міжрядь та норм висіву сорго цукрового залежить його врожайність. На цей показник впливають також: ґрунтово-кліматичні умови, агрохімічні показники ґрунтів. Не менш важливим чинником є біологічні властивості сортів та гібридів. Тому, застосування агротехнічних заходів може сприяти оптимізації росту і розвитку рослин сорго цукрового на всіх стадіях органогенезу. Дослідження показують, що якщо створити сприятливі умови для формування зародків стеблових вузлів, міжвузлів і листків, то можна отримати більший врожай надземної маси рослин [28].

Відповідно до досліджень, використання широкорядної сівби з міжряддям 45 або 60 см за вирощування сорго цукрового дозволяє автоматизувати всі агротехнічні процеси, пов'язані з доглядом за посівами. Це також сприяє отриманню значної кількості зеленої маси рослин, що впливає на рівень врожаю. Тому, оптимізація просторового розташування рослин сорго на полі є ключовою умовою для досягнення високих і стабільних врожаїв. Якщо вирощувати сорго з низькими нормами висіву, рослини активно розростаються

в ширину, утворюючи багато бічних пагонів.

Варто відзначити, що коефіцієнт кущення рослин сорго залежить від їхнього виду. Зернові сорти сорго, як правило, мають вищий коефіцієнт кущення, який знаходиться в діапазоні від 2 до 5. У той час як для цукрового сорго характерний нижчий коефіцієнт кущення, який зазвичай становить від 1 до 2 [29].

Загалом розташування рослин сорго цукрового залежить від їх густоти і має важливий вплив на їх ріст і розвиток. А строки сівби та глибина загортання насіння впливають на кушіння, діаметр стебла, площу листової поверхні, чисту продуктивність фотосинтезу. Поряд з цим, погодні умови мають вплив на: динаміку накопичення вегетативної маси, сухої речовини й врожайності біомаси. Все це залежить не тільки від агробіологічних особливостей сорту, умов, але й мети вирощування [30, 31].

Більшість дослідників, які вивчали сорго цукрове, приходять до висновку, що норми висіву та ширина міжрядь повинні бути підібрані враховуючи особливості конкретних сортів. Дослідження різних сортів та гібридів сорго цукрового показують, що вони мають різну ефективність та здатність до отримання високого виходу сировини для біоенергетичних цілей. Оскільки вплив густоти рослин та ширини міжрядь на урожайність сорго цукрового є різним залежно від багатьох факторів, таких як гібрид, норми висіву та ґрунтово-кліматичні умови, вибір цих параметрів у технології вирощування має бути обдуманим. Це дозволить отримати високоякісну сировину для переробки на біопаливо.

Схожість насіння сорго залежить від різних факторів, таких як якість насіння, кліматичні умови, вплив людської діяльності, спосіб сівби, особливості сортів, норма висіву та інші. Українські вчені та наукові працівники проводили дослідження, щоб з'ясувати, як норма висіву впливає на схожість насіння. За даними Л. І. Сторожика, головні фактори, що впливають на схожість, це спосіб сівби та біологічні особливості гібриду, які становлять 39%, тоді як норма висіву впливає лише на 18%. Величина схожості насіння також значно

залежить від гідротермічних умов під час періоду від сівби до проростання насіння [32].

Іншим дослідниками встановлено, що сівозміна, вірний підбір строку сівби й системи живлення мають вплив на врожайність соргових культур [33].

Сорго цукрове володіє високим рівнем гнучкості та високою вимогливістю, що робить його стійким до посушливих умов та недостатку вологості в ґрунті. Це особливо важливо в степових та лісостепових регіонах України, де такі умови виникають досить часто. У таких умовах сорго цукрове має перевагу над іншими культурами, оскільки проявляє велику адаптивність і, за умови використання відповідної технології, завжди може забезпечувати стабільні врожаї [34]. Багато дослідників виявили, що цукрове сорго має позитивний вплив на формування агрофізичних та агрохімічних властивостей ґрунтів [35–37].

Отже, поряд із погодними умовами й сортовими особливостями сорго цукрового, окремі елементи технології вирощування мають значний вплив на ріст й розвиток рослин та формування ними високої врожайності біомаси.

## **2.4. Використання сорго цукрового для виробництва біопалив**

На даний момент, найбільші країни-виробники біопалива з сорго цукрового – це США, Бразилія, Індія, Китай та Мексика. Однак, інші країни також активно розвивають виробництво біопалива з сорго цукрового. До них належать: Україна, Південна Африка, Аргентина, Єгипет, Іспанія та багато інших. Рівень виробництва біопалива залежить від багатьох факторів, таких як доступність сировини, ефективність виробничих процесів, технологічний рівень та державна підтримка розвитку відновлюваної енергетики [38].

Виробництво біопалива з енергокультур є важливим з погляду економічної ефективності, зменшення залежності від імпорту нафти та зменшення викидів парникових газів. Крім того, сорго цукрове є відносно

недорогою культурою, що дозволяє знизити вартість виробництва біопалива [39].

На світовому рівні існує значна потреба у біопаливі, що пов'язана з проблемами екології, необхідністю зниження викидів парникових газів, а також з підвищенням вартості традиційних викопних видів палива, складнощами їх видобутку та вичерпанням наявних ресурсів. У зв'язку з чим, Енергетична стратегія України передбачає поступове використання АДЕ [40].

Завдяки своїм біологічним особливостям, сорго цукрове може бути успішно вирощуване в різних регіонах Лісостепу та Степу України. Україна має потенціал стати одним з провідних виробників цієї культури не тільки серед основних сільськогосподарських культур, але й серед біоенергетичних культур. Вирощування сорго цукрового дозволяє ефективніше використовувати природні ресурси, такі як ґрунт, волога, кліматичні умови, що сприяє збільшенню продуктивності та оптимізації виробництва.

Сучасні методи вирощування рослин спрямовані на збільшення врожайності культур при мінімізації економічних витрат. Пошук економічно вигідних технологій передбачає оцінку рекомендованих заходів вирощування, що є важливим етапом у сільськогосподарському виробництві. Останнім часом вирощування цієї культури стає все більш актуальною темою, оскільки зростає зацікавленість у використанні сорго цукрового як альтернативного джерела для виробництва біопалива [42].

В Україні для підвищення енергетичної безпеки держави та підвищення конкурентоспроможності виробленої продукції найліпшим на даний час є рослинний енергоресурс. Практичне впровадження – це виробництво біологічних видів палива [43].

Цукрове сорго серед однорічних енергетичних культур відзначається високою енергетичною ефективністю, що підтверджується декількома ключовими показниками.

По-перше, воно має значно вищий фотосинтетичний потенціал, ніж цукрові буряки, пшениця та інші культури. По-друге, цукрове сорго має низьку

водопотребу, що є перевагою порівняно з кукурудзою, ячменем та пшеницею. По- третє, його висока стійкість до посухи забезпечується за рахунок адаптації до умов недостатнього зволоження, сильної кореневої системи, щільного захисного епідермісу та білого воскового нальоту на листках у період спекотної погоди. Рослина також володіє високою стійкістю до посухи, завдяки своїй здатності зупинятися у рості та перебувати в анабіозі в умовах негативного середовища, до настання сприятливих умов. Для вирощування сорго достатньо низької норми висіву - від 5 до 7 кілограмів на гектар. Рослина має високу урожайність зеленої маси.

Крім того, з одного гектара посівної площі можна отримати від 4 до 5 тонн етанолу [44].

Однак, слід зазначити, що використання сорго цукрового для виробництва біопалива має свої вади та переваги. Наприклад, вирощування сорго цукрового для біопалива може конкурувати з вирощуванням харчових культур, таких як кукурудза, і може мати негативний вплив на джерела води та ґрунту. Однак, біопаливо з сорго цукрового може бути менш шкідливим для навколишнього середовища, ніж традиційні види палива, тому його використання може мати позитивний екологічний вплив [45].

Рослина цукрового сорго має різні частини, які можна використовувати для виробництва біопалива. Наприклад, зерно сорго цукрового містить значну кількість цукрів, включаючи сахарозу, глюкозу, фруктозу та розчинний крохмаль. Цей склад сприяє утворенню рідкого цукру, або сиропу, замість кристалізації, що характерно для цукрової тростини. Сік зі стебел цукрового сорго використовується для виробництва біоетанолу завдяки його високому вмісту цукрі. Рослина цукрового сорго має різні частини, які можна використовувати для виробництва біопалива. Наприклад, зерно сорго цукрового містить значну кількість цукрів, включаючи сахарозу, глюкозу, фруктозу та розчинний крохмаль. Цей склад сприяє утворенню рідкого цукру, або сиропу, замість кристалізації, що характерно для цукрової тростини. Сік зі стебел цукрового сорго використовується для виробництва біоетанолу завдяки

його високому вмісту цукрів. Окрім того, сорго цукрове може бути використане як сировина для виробництва біодизелю. Олія, яка міститься в насінні сорго, може бути видобута та перероблена на біодизель, який може використовуватися як альтернатива дизельному паливу [46].

З цукрового сорго можливо отримати до 4,5 т/га біоетанолу, з енергоємністю 112,5 ГДж/га (26,9 Гкал/га). За вологісті стебел сорго цукрового до 40 % – цінна рослинна сировина для виробництва твердих біопалив (паливних гранул або брикетів). З сухої біомаси сорго цукрового виробляють 25 т/га твердого біопалива з енергоємністю 400 ГДж (95,3 Гкал) [47].

Отримувані брикети з сорго цукрового містять склеюючу натуральну речовину – лігнін. Паливні брикети є універсальним джерелом палива, яке можна використовувати в різних типах опалювальних пристроїв, таких як топки, промислові котли і печі. Вони також відмінно горять у камінах, печах, грилях тощо. Великою перевагою брикету є постійність температури згорання протягом 2 год [48].

Вчені з Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН надали дані, згідно з якими вирощування цукрового сорго на площі 1 гектара може забезпечити вихід енергії більше ніж 500 ГДж. Це свідчить про великий потенціал використання цього виду культури в біоенергетиці. Отримані дані підтверджують перспективи використання цукрового сорго як джерела високоефективної енергії, що може сприяти розвитку стійкої і сталої енергетичної системи [49].

Цукрове сорго є високопродуктивною культурою, яка може бути використана для виробництва біогазу. Це дозволяє отримати найбільший вихід біогазу з одиниці площі серед інших сільськогосподарських рослин – до 17,6 тис. м<sup>3</sup>/га з вмістом метану 60 %. Залишки після біогазової ферментації містять значну кількість поживних речовин, таких як азот, фосфор, калій та мікроелементи. Ці залишки можуть бути використані як добрива, які мають схожу дію з мінеральними добривами. Таким чином, цукрове сорго може не

тільки забезпечити енергію у вигляді біогазу, але й стати цінним джерелом органічних добрив для підживлення рослин [50].

Для виробництва біогазу з цукрового сорго використовуються подрібнена зелена маса рослини, яка може бути подана безпосередньо від кормозбирального комбайна або у формі попередньо заготовленого силосу. Для забезпечення ефективності біогазових установок рекомендується засилосувати зібрану біомасу цукрового сорго. Збирання виконується у фазу формування і наливу зернівки, коли вміст сухої речовини є низьким. Проте, під час силосування може відбуватися витікання соку та активне бродіння, що негативно впливає на якість силосу та зменшує кількість отриманого біогазу [44]. Для уникнення цього проблеми рекомендується додавати більш сухі компоненти, наприклад солому, під час силосування цукрового сорго. Перед подачею зеленої маси або силосу цукрового сорго до біогазового реактора (метантенка), їх слід подрібнити, щоб збільшити інтенсивність процесу метаного зброджування та уникнути забивання рухомих елементів біогазового заводу рослинними залишками. Для виробництва біоетанолу з цукрового сорго використовуються порізані стебла завдовжки 15–25 см, які очищують від листків. Це досягається за допомогою комбайнів, які використовуються для збирання цукрової тростини. Зібрана біомаса транспортується до місця переробки, як правило, безпосередньо з комбайну або з місця тимчасового зберігання. Свіжий сік цукрового сорго, який не пастеризований, може зберігатись лише 2–3 години, тому необхідно мінімізувати період між виштовхуванням соку і його подальшою переробкою на біоетанол. Використання хімічних консервантів негативно впливає на процес отримання етанолу, а термічна обробка соку погіршує економічні показники та енергоємність готової продукції [51].

Для оцінки ефективності вирощування цукрового сорго для енергетичних цілей використовується інтегральний показник, який включає вихід біопалива (біоетанолу, біогазу, твердого біопалива) та вихід енергії. Згідно з літературними джерелами і дослідженнями, проведеними в Інституті

біоенергетичних культур і цукрових буряків, сік зі стебел цукрового сорго містить в середньому близько 15 % сухої речовини, з яких 13 % становить сахароза, 1 % – моноцукри, а 1 % – інші сухі речовини, такі як крохмаль і мінеральні речовини.

Для розрахунку виходу біоетанолу використовується спиртове бродіння, згідно з яким 1 молекула сахарози ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ ) разом з водою ( $H_2O$ ) перетворюється на 4 молекули етанолу ( $C_2H_5OH$ ) та 4 молекули вуглекислого газу ( $CO_2$ ). Таким чином, вихід біоетанолу з сахарози становить приблизно 53 %, а решта 47 % – це вуглекислий газ. Коефіцієнт  $b$  використовується для визначення виходу біоетанолу з сахарози і становить 0,53, що враховує домінування сахарози у стеблах цукрового сорго. У процесі виробництва на заводах можуть відбуватись втрати біоетанолу в межах 9–15 %, тому використовується коефіцієнт заводського виходу  $k$ , який приймається рівним 0,9. При використанні вальцевих пресів для отримання соку зі стебел цукрового сорго, вихід соку становить приблизно 50 % від врожаю стебел або 75 % від наявної у стеблах вологи [52].

На основі проведених досліджень відділу технологій вирощування біоенергетичних культур ІБКіЦБ було встановлено, що при врожайності стебел цукрового сорго 80 тонн на гектар і цукристості соку 16 %, можна отримати 3,05 т біоетанолу. Це відповідає енергетичному еквіваленту 76,25 ГДж[53].

Отже, вирощування цукрового сорго в сучасних умовах та його подальша переробка в біопаливо є перспективним і економічно вигідним напрямом. Цей підхід надає можливість забезпечити доступну сировину для енергетичної галузі в нашій країні.

## **2.5. Якісні характеристики рослинної сировини сорго цукрового**

Сорго цукрове є однією з важливих культур в світі, яка використовується для виробництва цукру, етанолу, кормів та інших продуктів. Збір рослинної

сировини сорго цукрового проводять на стадії технічної зрілості, коли кількість цукру у стеблі максимальна [54].

Основні якісні характеристики рослинної сировини сорго цукрового включають такі параметри як:

1. Вміст цукру у рослинній сировині сорго цукрового є основним показником якості. Він залежить від сорту рослини, погодних умов та виробничих технологій. Зазвичай вміст цукру у стеблах сорго цукрового становить від 15 до 20 %.

2. Вміст вологи. Вологість рослинної сировини сорго повинна бути у межах 10-15 %, оскільки високий рівень вологості може спричинити порушення якості та збереження продукту.

3. Масова частка зерна – зерно сорго цукрового містить багато білка та крохмалю і може бути використане для виробництва кормів та продуктів харчування. Масова частка зерна у рослинній сировині сорго цукрового може коливатись від 1 до 10 %.

4. Вміст волокон у рослинній сировині сорго цукрового повинен бути якнайнижчим, оскільки він знижує якість продукту. Зазвичай вміст волокон у стеблах сорго цукрового становить 8–15 %.

5. Кольорові показники. Колір рослинної сировини сорго цукрового може бути різним та залежить від сорту рослини та ступеня зрілості. Зазвичай, стебла сорго цукрового мають зелений колір, але при досягненні технічної зрілості можуть змінювати колір на жовтий або коричневий.

6. Вміст інших речовин у рослинній сировині сорго може містити інші речовини, такі як білки, жири, мінерали, вітаміни тощо. Вміст цих речовин також може впливати на якість продукту та його використання. Сорго цукрового містить ряд вітамінів та мінералів, таких як залізо, кальцій та вітамін С. Відповідний вміст цих речовин є важливим показником якості продукту.

7. Розмір та маса стебел сорго можуть варіюватись залежно від сорту рослини та умов вирощування. Більші стебла зазвичай містять більше цукру та забезпечують вищий вихід продукту.

8. Вміст кислот у рослинній сировині сорго цукрового повинен бути низьким, оскільки він може негативно впливати на якість продукту та збереження його властивостей.

9. Вміст інших домішок. Рослинна сировина сорго цукрового може містити інші домішки, такі як стеблі, листя, насіння тощо, які можуть погіршувати якість продукту та знижувати його вартість.

10. Міцність стебел сорго цукрового також є важливим показником якості рослинної сировини. Вона впливає на процес збирання та транспортування продукту.

Так, звичайно стан стиглості рослинної сировини сорго цукрового є важливим показником якості продукту. Він може бути визначений за кількістю цукру у стеблі рослини. Що більше цукру, тим більш якісна рослинна сировина. Оптимальний час збирання сорго цукрового зазвичай залежить від кліматичних умов та сорту рослини [55].

Збирання рослинної сировини проводять у два етапи. Перший етап – це зрізання стебел. Другий етап – це відокремлення суцвіття від стебла. Відокремлення волоті може бути проведене вручну або за допомогою спеціальної техніки.

Висота рослини може впливати на кількість та якість волотей. Високорослі рослини можуть мати більше суцвіть, але вони можуть бути менш якісними через менший вміст цукру. На відміну від цього, низькі рослини можуть мати менше волотей, але вони можуть бути більш якісними з точки зору вмісту цукру в китицях [56]. Кількість та розташування суцвіть також впливає на якість рослинної сировини сорго цукрового. Рослини, які мають більше волотей, що розташовані рівномірно на стеблах, можуть бути більш ефективними для збирання та мають вищу якість. Кліматичні умови також можуть впливати на якість сировини. Наприклад, тепла та волога погода може призвести до збільшення кількості біомаси, але зменшення вмісту цукру у волотях. На відміну від цього, прохолодна та суха погода може призвести до збільшення вмісту цукру в суцвіттях.

Збір рослинної сировини на правильній стадії зрілості. Усі ці характеристики повинні бути враховані при оцінці якості рослинної сировини сорго цукрового. Важливо відзначити, що якість продукту може варіюватися залежно від умов вирощування та обробки. Оптимальні умови вирощування та обробки повинні бути встановлені з метою отримання продукту високої якості з максимальним вихідом цукру. Здатність до зберігання рослинної сировини є важливим показником якості, оскільки вона повинна зберігатися протягом тривалого періоду без втрати якості та кількості цукру. Це може бути досягнуто за допомогою відповідного зберігання та контролю вологості, температури та освітлення [57].

Для покращення якості та отримання високоякісного цукру з сорго цукрового можуть використовуватися різні технології обробки сировини. Однією з таких технологій є ферментаційний процес, який дозволяє збільшити вміст сахарів у сировині та покращити якість отриманого цукру [58].

Нарешті, важливим аспектом є використання сучасних технологій та методів аналізування агросировини. Це сприятиме контролю якості біосировини на усіх етапах обробки й виробництва цукру. Такі методи можуть включати хімічний аналіз, спектроскопію, мікроскопію та ін. Важливим є також вибір відповідного сорту сорго цукрового: вони різняться за вміст цукру у сировині [59, 60].

Актуальними завданнями, які потребують наукового обґрунтування, є всебічне вивчення та впровадження нових та удосконалених елементів агротехнології цукрового сорго з метою отримання якісної рослинної сировини для виробництва біопалива.

Отже, для отримання якісної сировини сорго цукрового необхідно підібрати найбільш оптимальні технології та методи виробництва. Це дозволить забезпечити відповідну якість та безпеку рослинної сировини для виробництва біопалив.

## Висновки до розділу 2:

1. За останні 50 років посівні площі під сорго в світі збільшилися на 60 % і тенденція до сталого збільшення зберігається. З урахуванням світових тенденцій, що склалися у сфері агровиробництва, за сприятливих агрокліматичних умов Україна реально спроможна вирощувати більше зерна. При цьому значна частина зазначеного валу могло б складати цукрове сорго, що значною мірою стабілізує внутрішню продовольчу безпеку країни, укріпить загальносвітовий імідж держави в якості рівноправного гравця на зовнішньому аграрному ринку.

2. Дослідники встановили, що успішне вирощування цукрового сорго залежить від правильного вибору сорту або гібриду відповідно до конкретних умов вирощування. Агротехнологія вирощування цукрового сорго ґрунтується на раціональному використанні біологічних особливостей сорту, оптимальному обробленні ґрунту, системі удобрення й підживлення, встановленні належної норми висіву насіння, правильній густоті розміщення рослин та інших факторах.

3. З-поміж енергокультур для виробництва рідких біопалив однією із перспективних рослин є сорго цукрового, адже вони добре адаптовані до умов вирощування та здатні продукувати значний обсяг біомаси. Сорго цукрове є універсальною культурою за використанням: для харчових, енергетичних цілей, а також – у тваринництві та птахівництві.

4. Встановлено, що сорти 'Цукрове' і 'Тулівєр' показали найкращі показники щодо якості насіння та динаміки росту й розвитку рослин. Зокрема, вони мали високі показники посівних якостей. У той же час, сорт 'Зубр' демонстрував найнижчі показники посівних якостей насіння серед інших сортів, що були вивчені.

5. За результатами досліджень встановлено, що залежно від сортових властивостей і погодних умов вегетації висота рослин сортів сорго цукрового змінюється у межах від 202,6 до 237,2 см. Динаміка лінійного приросту стебла в усіх сортів сорго цукрового найбільшою була у період виходу у

трубку – цвітіння рослин. Найбільш високорослими рослини були у сорту ‘Гулівер’ (більше 2,3 м), значно меншими – у сорту ‘Цукрове’, а для сортів ‘Зубр’, ‘Довіста’ і ‘Су’ – цей показник був майже на однаковому рівні.

6. Визначено, що площа листкового апарату була найбільша у сорту ‘Цукрове’ (2,48 тис. см<sup>2</sup>) і ‘Довіста’ (2,42 тис. см<sup>2</sup>), меншим, але на високому рівні – у сорту ‘Зубр’ (2,34 тис. см<sup>2</sup>), суттєво менше – в усіх інших сортів поставлених на вивчення.

7. Встановлено, що найбільшу насінневу врожайність у перерахунку на гектарну норму забезпечують сорти сорго цукрового ‘Зубр’ (4,01 т/га) і ‘Цукрове’ (3,46 т/га), істотно менше – інші сорти. Обґрунтовано, що значний вклад у формування насінневої врожайності досліджуваних сортів сорго цукрового вносять наступні кількісні показники: довжина волоті, маса 1000 насінин та кількість насіння з волоті.

8. З-поміж сортів сорго цукрового найбільшу врожайність сухої біомаси формують ‘Гулівер’ і ‘Зубр’, відповідно за сортами 15,4 і 12,5 т/га. Встановлено тісний кореляційний зв'язок між висотою, густиною стеблостою та врожайністю біомаси сорго цукрового.

9. Якість рослинної сировини сорго цукрового залежить від багатьох факторів, таких як сорт рослини, умови вирощування, технології збору, хімічний склад, фізичні властивості, наявність шкідливих речовин та зберігання продукту.

10. На сьогодні залишаються недостатньо вивченими, залежно від реальних екологічних, виробничих та ресурсних умов, біологічні та технологічні особливості вирощування нових сортів та гібридів сорго цукрового. Що, на нашу думку, значною мірою зумовлює недостатній ступінь реалізації їх генетичного потенціалу продуктивності, технологічної якості та, певним чином, формує недостатній рівень популярності культури серед аграріїв.

## Література до розділу 2:

1. Байса І. П. Колекція сорго: формування, вивчення і використання зразків генофонду. Інтернет-джерело. *Режим доступу:* <https://institut-zerna.com/library/magazine2/5.pdf>
2. Каленська С. М., Гринюк І. П. Особливості росту і розвитку рослин сорго залежно від видових, сортових особливостей та удобрення культури в умовах Правобережного Лісостепу України. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2013. Вип. 17 (1). С. 359–362.
3. Рослинництво з основами технології переробки. Практикум [Текст] : навч. посіб. для студ. вищих навч. закл. / А. В. Мельник, В. І. Троценко, О. Г. Жатов [та ін] ; за ред. А. В. Мельника, В. І. Троценка. Суми: Університетська книга, 2008. 384 с.
4. Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні. *Режим доступу:* <https://sops.gov.ua/reestr-sortiv-roslin>
5. Ганженко О. М., Григоренко Н. О. Залежність продуктивності і вуглеводного складу від сортових особливостей та мінерального живлення цукрового сорго. *Цукор України*. 2011. № 4 (64). С. 27–32.
6. Рудник-Іващенко О. І., Сторожик Л. І. Стан і перспективи соргових культур в Україні. *Вісн. ЦНЗ АПВ Харківської обл.* 2011. Вип.10. С. 198–206.
7. Коваленко О. А., Чернова А. В., Моспаненко Т. О. Сорго цукрове, та його перспективи для зони Південного Степу України. *Матеріали наукової конференції*. Секція 1. Сільськогосподарські науки. URL: [http://econf.at.ua/publ/konferencija\\_2014\\_12\\_4\\_5/sekcija\\_1\\_silskogospodarski\\_nauki/sorgo\\_cukrove\\_ta\\_jogo\\_perspektivi\\_dlja\\_zoni\\_pivdenного\\_stepu\\_ukrajini/10-1-0-156](http://econf.at.ua/publ/konferencija_2014_12_4_5/sekcija_1_silskogospodarski_nauki/sorgo_cukrove_ta_jogo_perspektivi_dlja_zoni_pivdenного_stepu_ukrajini/10-1-0-156)
8. Атлас морфологічних ознак сорго двокольорового *Sorghum bicolor* L. Київ : Український інститут експертизи сортів рослин, 2017. С. 37.
9. Іващенко О. О., Рудник-Іващенко О. І. Перспективи вирощування кукурудзи і сорго. *Хімія. Агрономія. Сервіс*. 2011. № 12. С. 38–41.
10. Черенков А. В., Шевченко М. С., Дзюбецький Б. В. Соргові культури:

технологія, використання, гібриди та сорти: *рекомендації*. Дніпропетровськ: Роял Принт. 2011. 63 с.

11. Каталог сортів та гібридів Інституту сільського господарства степової зони НААН України : *наук.-метод. реком.* / А. В.Черенков, В. Ю.Черчель, М. С. Шевченко та ін. Д., 2013. 104 с.

12. Курило В. Л., Григоренко Н. О., Марчук О. О., Фуніна І. Р. Продуктивність сорго цукрового (*Sorghum saccharum* (L.) Pers.) залежно від сортових особливостей та різної густоти стояння рослин. *Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин*. №3. 2013. С. 8–12.

13. Ганженко О. М., Григоренко Н. О., Хіврич О. Б., Марчук О. О., Герасименко Л. А. Вплив сортових особливостей та мінерального живлення на урожайність і вуглеводний склад цукрового сорго. *Цукрові буряки*. 2011. № 5. С. 14–15.

14. Чернова А. В., Гамаюнова В. В., Коваленко О. А., Корхова М. М. Вміст сухої речовини в зеленій масі сорго цукрового залежно від сортових особливостей, норм висіву, біопрепарату та мікродобрив в умовах Південного Степу України. *Зрошуване землеробство*. 2020. Вип. № 73. С. 208-219.

15. Науково-теоретичні засади та практичні аспекти формування екологічнобезпечних технологій вирощування та переробки сорго в степовій зоні України : *монографія*. Херсон, 2017р. 208 с.

16. Курило В. Л., Ковальчук В. П., Григоренко Н. О., Марчук О. О. Продуктивність сортів та гібридів сорго цукрового залежно від рівня удобрення. *Цукрові буряки*. 2012. № 5. С. 11–13.

17. Ray Ricaud, Allen Arceneaux Sweet sorghum research on biomass and sugar production in 1990. University of Nebraska Linkoln, 1990. p. 136–139.

18. Belum VS Reddy, P Srinivasa Rao, A Ashok Kumar, P Sanjana Reddy, P Parthasarathy Rao, Kiran K Sharma, Michael Blummel and Ch Ravinder Reddy Sweet sorghum as a biofuel crop: Where are we now? Sweet sorghum for biofuel and strategies for its improvement. *Information Bulletin*, Patancheru, Andhra Pradesh, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. 2009. № 77.

19. Гунчак Т. І. Особливості вирощування сорго цукрового в якості сировини для виробництва біопалива в умовах Південно-Західного Лісостепу України. *Наук. пр. Ін-ту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН*. 2014. Вип. 21. С. 240–244.

20. Соргові культури: технологія, використання, гібриди та сорти / А. В. Черенков, М. С. Шевченко, Б. В. Дзюбецький та ін. Дніпропетровськ : Роял Принт, 2011. 64 с.

21. Мазур В. А., Мазур К. В. Розвиток біоенергетики в Україні та світі. *Зб. наук. пр. Вінницького держ. аграр. ун-ту*. 2010. Вип. 42. С. 65–70.

22. Ганженко О. М. Цукрове сорго. *The Ukrainian Farmer*. 2012. № 10. С. 42–44.

23. Бойко М. О. Агробіологічне обґрунтування елементів технології вирощування гібридів сорго зернового в Південному Степу України. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата сільськогосподарських наук по спеціальності 06.01.09 – рослинництво. Державний вищий навчальний заклад «Херсонський державний аграрний університет», Херсон, 2017. 230 с.

24. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1985. 336 с.

25. Ганженко Олександр, Курило Василь, Герасименко Людмила, та ін. Методичні рекомендації з технології вирощування і перероблення цукрового сорго як сировини для виробництва біопалива. К.: ЦП «Компринт, 2017. 24 с.

26. Науково-практичні аспекти польової експертизи сортів рослин на відмінність, однорідність та стабільність: *науково-методичні рекомендації* / Український інститут експертизи сортів рослин (Київ). Вінниця : ТОВ Твори, 2020. 26 с.

27. Кулик М. І., Галицька М. А. Алгоритм обрахунку доступного потенціалу агробіомаси та фітомаси енергетичних культур для виробництва біопалива: *науково-методичні рекомендації*. Полтава, 2018. 32 с.

28. Музика О. В. Формування врожаю сорго цукрового за вирощування як енергетичної культури в умовах Лісостепу правобережного. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата сільськогосподарських наук (доктора

філософії) за спеціальністю 06.01.09 «Рослинництво» (06 – Сільськогосподарські науки). Білоцерківський національний аграрний університет. Біла Церква, 2020. 170 с.

29. Курило В. Л. Продуктивність сорго цукрового (*Sorghum saccharatum* (L.) Pers.) залежно від сортових особливостей та різної густоти стояння рослин. *Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин*. 2013. № 3. С. 8–12.

30. Герасименко Л. А. Ріст та розвиток рослин сорго цукрового (*Sorghum saccharatum* L.) різних строків сівби та глибини загортання насіння в умовах центрального Лісостепу України. *Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин*. 2013. № 1. С. 76–78.

31. Курило В. Л., Герасименко Л. А. Вплив погодних умов на урожайність сорго цукрового залежно від строків сівби та глибини загортання насіння. *Збірник наук. праць. Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2011. Вип. 12. С. 74–78.

32. Сторожик Л. І., Музика О. В. Формування структурних показників урожаю сорго цукрового залежно від елементів технології вирощування. *Новітні агротехнології*. 2017. № 5. Інтернет-ресурс. *Режим доступу*: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/novagr\\_2017\\_5\\_11](http://nbuv.gov.ua/UJRN/novagr_2017_5_11)

33. Федорович Г. Т. Урожайність і якість соризу залежно від ланки сівозміни, строку сівби та системи живлення в умовах Півдня України : *автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук*: спец. 06.01.09«Рослинництво» Г.Т.Федорович. Х., 2010. 20 с.

34. Балан В. М., Сторожик Л. І. Вирощування цукрового сорго як біоенергетичної культури. *Цукрові буряки*. 2010. № 5 С. 14–15.

35. Тараріко Ю. О. Біоенергетичне аграрне виробництво в Лісостепу України. *Вісн. аграр. науки*. 2011. № 7. С. 9–13.

36. Фарафонов В. А., Зозуля О. Л. Сорго завойовує світ. *Агроном*. 2007. № 1. С. 24.

37. Шепель Н. А. Потенциал сорговых культур. *Кукуруза и сорго*. 1993. № 1. С. 4–6.

38. Калетнік Г. М. Біопаливна галузь і енергетична та продовольча безпека України. *Вісн. аграр. науки*. 2009. № 8. С. 62–64.

39. Напрями розвитку альтернативних джерел енергії: акцент на твердому біопаливі та гнучких технологіях його виготовлення : монографія / О. С. Полянський, О. В. Дьяконов, О. С. Скрипник та ін. [за заг. ред. В. І. Д'яконова] ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. 136 с.

40. Енергетична стратегія України на період до 2030 р. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 15 березня 2006 р. № 145-р.

41. Федорчук М. І., Коковіхін С. В., Каленська С. М., Рахметов Д. Б., Федорчук В. Г., Філіпова І. М., Пташинська О. В., Коваленко О. А., Дробітько А. В., Панфілова А. В. Науково-теоретичні засади та практичні аспекти формування екологічнобезпечних технологій вирощування та переробки сорго в степовій зоні України: *монографія*. Херсон. 2017. 208 с.

42. Мулярчук О. І. Технологія вирощування сорго цукрового для виробництва біопалива в умовах Поділля. *Вісник Центру наукового забезпечення АПВ Харківської області*. 2016. Вип. 20. С. 54–60.

43. Кулик М. І., Курило В. Л. Енергетичні культури для виробництва біопалива: *довідник*. Полтава: РВВ ПДАА, 2017. 74 с.

44. Кулик М. І. Енергетичні культури : Навч. посіб. Полтава: “Астра”, 2016. 154 с.

45. Сторожик Л. І., Будовський М. Д. Продуктивність сорго цукрового як джерела виробництва біопалива в сумісних посівах з іншими культурами. *Цукрові буряки*. 2016. № 2. С. 7–11.

46. Мулярчук О. І., Міщенко Ю. Г., Масик І. М., Давиденко Г. А. Біопаливо з цукрового сорго. *Вісник Сумського національного аграрного університету: Агрономія і біологія*. 2014. Вип. 3. С. 99–103.

47. Крайсвітній П. А., Рій О. В., Кулик М. І. Енергетичні культури для отримання біопалива: додатковий прибуток для господарств. *Хімія. Агрономія. Сервіс*. 2010. № 12. С. 40–43.

48. Калетнік Г. М., Пришляк В. М. Біопаливо: ефективність його виробництва та споживання в АПК України : *навч. посіб.* К.: Хай-Тек Прес, 2011. 310 с.

49. Федорчук М. І., Пташинська О. В. Продуктивність сорго цукрового в умовах Півдня України. *Інноваційні технології в рослинництві : матеріали наукової інтернет-конференції*, м. Кам'янець-Подільський, 15 травня 2018 р. ПДАТУ; МНАУ. С. 194–196.

50. Коновал Ю. О., Харгелія Д. Д., Карпутіна М. В. Цукрове сорго як альтернативна сировина для виробництва спирту. *Збірник наукових праць з актуальним проблем економічних наук*. м. Одеса, 3-4 червня 2016 р. С. 68–70.

51. Kurilo V., Marchuk A., Ivanovs S. Impact of agrotechnical methods up on the energetic productivity of sweet sorghum. *Journal of research and applications in agricultural engineering*. Poznan. 2015. No. 60 (2). P. 50–53.

52. Ганженко О. М. Теоретичні та агробіологічні основи формування продуктивності цукроносних культур для виробництва біопалива в лісостепу України. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора сільськогосподарських наук за спеціальністю 06.01.09 «Рослинництво». Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, Київ, 2021.

53. Олександрюк В. І., Омельченко Н. М., Кучерява В. А. Цукрове сорго як сировина для виробництва біоетанолу. Біологічні дослідження: *Збірник наукових праць*. 2015. С. 449–451.

54. Архипенко Ф. М., Слюсар С. М. Сорго – перспективи вирощування. *Агроном*. 2006. № 4 (14). С. 82–83.

55. Мороз О. В., Смірних В. М., Шопша Г. М. та ін. Сорго цукрове як фітоенергетична культура. *Агроном*. 2013. № 1. С. 204–205.

56. Бойко М. О. Перспективи виробництва сорго зернового на Півдні України. *Modern scientific researches and developments: theoretical value and practical results –2016: materials of international scientific and practical conference* (Bratislava, 15-18 March 2016). К.: LLC «NVP» Interservice», 2016. P. 23–24.

57. Макаров Л. Х. Соргові культури: *монографія*. Херсон: Айлант, 2006.

264 с.

58. Ганженко О. М., Зиков П. Ю Вплив способів отримання соку зі стебел цукрового сорго на його вихід та якість. *Цукрові буряки*. 2014. № 5. С. 14–16.

59. Ганженко О. М., Григоренко Н. О. Залежність продуктивності і вуглеводного складу від сортових особливостей та мінерального живлення цукрового сорго. *Цукор України*. 2011. № 4. С. 27–32.

60. Каленська С. М., Гринюк І. П. Вплив доз мінеральних добрив та сортових особливостей на вихід цукру та біостанолу із сорго цукрового в умовах Правобережного Лісостепу України. *Зб. наук. пр. ІБКІЦБ*. 2012. Вип. 15. С. 202–206.

## Розділ 3

# ФОРМУВАННЯ ВРОЖАЙНОСТІ ПРОСА ПРУТОПОДІБНОГО ЗАЛЕЖНО ВІД СОРТУ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ

(Рожко І. І.)

---

- 3.1. Значення і сортимент проса прутіоподібного (світчграсу)
- 3.2. Вплив сортових властивостей на формування врожайності проса прутіоподібного
- 3.3. Вплив умов вирощування на насінневу продуктивність проса прутіоподібного
- 3.4. Розробка елементів технології вирощування проса прутіоподібного
- 3.5. Вплив елементів технології вирощування на врожайність насіння проса прутіоподібного

### **3.1. Значення і сортимент проса прутіоподібного (світчграсу)**

Наявність в Україні маргінальних земель є передумовою для розширення площ вирощування енергетичних культур. Їх видове різноманіття, адаптивні властивості та високий потенціал врожайності обумовлюють необхідність використання рослинної сировини для виробництва біопалив.

Розглядаючи та аналізуючи досвід розвинутих країн спостерігаємо інтенсивне зростання виробництва біопалива та широке застосування енергокультур в агропромисловому комплексі. Біоенергетичне забезпечення сільської місцевості за кордоном базується перш за все на вирощуванні енергетичних культур та використанні інших місцевих ресурсів. Зважаючи на природну родючість ґрунтів, яка визначає економічну ефективність біоенергетики для України даний напрям є надзвичайно актуальним. Завдяки сприятливим ґрунтово-кліматичним умовам для вирощування рослин одним

із найбільш перспективних видів альтернативної енергетики в Україні є фітоенергетика.

Маючи родючі землі на своїй території, нажалі отримуємо як наслідок, надмірну їх розораність. У недалекому майбутньому вона може привести до високого рівня виснаженості ґрунтів. Тобто все частіше спостерігатимуться такі явища як опустелювання, підвищена кислотність, засоленість, ураження вітровою та водною ерозією. Такі ґрунти потребують рекультиваційних заходів, щоб в майбутньому поліпшити свої агро-хімічні показники та забезпечити високу врожайність польових культур [1].

Так, науковці В. В. Тишковець, С. І. Дорогунцов, П. Т. Саблук та інші вчені [2–4] дотримуються думки, що раціональне, екологічно безпечне землекористування може відбуватись у тому випадку коли 1/3 земель постійно залишатиметься в природному стані. З огляду на це, добре акліматизовані до певних умов багаторічні рослини, які формують високу врожайність фітомаси можуть забезпечити цю потребу. Окрім цього, за вирощування на малопродуктивних ґрунтах вони є кращими рослинами, які можна застосувати в даному випадку. До таких рослин відносять і енергетичні культури, що є багаторічними, добре адаптованими до умов вирощування. Цінним є те, що вони здатні швидко формувати надземну вегетативну масу. Також енергокультури: захищають ґрунти від різних видів ерозії, накопичують в них органічну речовину, покращують біологічне різноманіття і мікроклімат фітоценозу, використовуються для фіторемедіації забруднених земель. Але все ж таки основне призначення їх – це сировина для виробництва біопалив, а побічне – отримання продуктів з доданою вартістю [5] та ін.

Однією з перспективних та нових культур, яку науковці нашої країни рекомендують для вирощування і вирішення окреслених вище завдань є просо прутоподібне (*Panicum virgatum L.*) [6–8]. Ця рослина також є сировиною для виробництва біопалив [9].

Просо прутоподібне, або світчграс – прямостояча, теплолюбна і стійка до посухи та високої температури рослина. Висота стебел до 3,0 м. Число пагонів на рослині сягає до –35 шт (рис. 3.1)



Весняне відновлення вегетації  
світчграсу за оптимальних умов



Весняне відновлення вегетації  
світчграсу після заморозків

**Рис. 3.1. Загальний вигляд проса прутоподібного під час відновлення вегетації**

У залежності від морфологічної будови за формою рослини бувають прямі і напіврозлогі. Суцвіття – волоть. Кожен сорт проса прутоподібного відмінний від іншого за елементами структури та кількістю квіток у волоті. Після запилення та запліднення у таких квітках розвивається плід. У *Panicum virgatum* L його називають однонасінна дрібна зернівка [10].

В Україні дослідження проса прутоподібного розпочато з Веселоподільської дослідної станції (2008 р.), далі в 2009 р. були закладені досліди на Ялтушківській дослідно-селекційній станції, Інституті біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України. Пізніше, а саме в 2010 році на деградованих ґрунтах у покинутому кар'єрі були закладені досліди в Полтаві. У 2011 році була заснована масштабна комерційна ділянка проса прутоподібного у Львові при Інституті агротехніки [11].

У 2016 році за ініціативи та керівництва професора кафедри селекції, насінництва і генетики, доктора сільськогосподарських наук Максима

Івановича Кулика була закладена унікальна колекція енергетичних культур на базі Полтавського державного університету. Кількість сортозразків проса прутоподібного, як іноземної так і української селекції налічувала більше 10 (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

**Характеристика сортозразків проса прутоподібного [11]**

Назва		Оригінатор	Походження*	Плоїдність	Рік реєстрації
українська	латинська				
‘Картрадж’	‘Carthage’	Нью-Джерсі, Центр рослинних матеріалів	USA	8n	2006
‘Блеквелл’	‘Blackwell’	Центр росл. матеріалів, Служба охорони ґрунтів, Манхеттен, Канзас; Канзаська сільськогосп.-ка дослідна станція	USA	8n	1944
‘Патфіндер’	‘Pathfinder’	Небраська сільськогосподарська дослідна станція	USA	8n	1967
‘Шелтер’	‘Shelter’	Служба охорони ґрунтів; Корнельський університет; Відділ охорони навкол.-го середовища риб та дикої природи Нью-Йорка у Пенсильванії	USA	8n	1986
‘Кейв-ін-рок’	‘Cave-in-Rock’	Центр росл.-них матеріалів, Служба охорони ґрунтів, Міссурі, Міссурійська сільськогос.-ка дослідна станція	USA	8n	1973
‘Форестбург’	‘Forestburg’	Центр рослинних матеріалів, Служба охорони ґрунтів, Бісмарк, Дакота, штат Міннесота, сільськогосподарська дослідна станція	USA	4n	1987
‘Санбурст’	‘Sunburst’	Південна Дакота, Сільсько-господарська дослідна станція	USA	8n	1983
‘Дакота’	‘Dacotah’	Центр рослинних матеріалів, Служба охорони ґрунтів, Бісмарк, Дакота та Міннесота, сільськогосподарські дослідні станції	USA	4n	1989

Продовження табл. 3.1

Назва		Оригіатор	Походження	Плоїдність	Рік реєстрації
українська	латинська				
‘Небраска’	‘Nebraska’	Небраська с.-г. досл. станція; Відділ розплідників, Служба охорони ґрунтів	USA	4n	1949
‘Канлоу’	‘Kanlow’	Канзаська с.-г. досл. станція; Відділ науки про рослини	USA	4n	1963
‘Аламо’	‘Alamo’	Центр росл.-х матеріалів, Служба охорони ґрунтів, Нокс-Сіті, Техас; Техаська с.-г. досл.-на станція	USA	4n	1978
‘Морозко’	‘Morozko’	Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України	UA	4n	2015
‘Лядовське’	‘Lydivske’	Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України	UA	4n	2018
‘Зоряне’	‘Zoriane’	Національний ботанічний сад ім. М. М. Гришка НААН	UA	2n	2015

\* Примітка: USA – США, UA – Україна.

Родина тонконогових (Poaceae) включає в себе просо прутоподібне (*Panicum virgatum L.*) [12]. Рід *Panicum* містить більш ніж 450 різних видів. Вони різняться за морфологічними ознаками генеративних органів та мають п’ять різних базових хромосомних чисел (від 8 до 15 шт.) [13–15].

Як було зазначено вище, *Panicum virgatum L.* – інтродукована, багаторічна, трав’яниста рослина. Вона має високу продуктивність надземної вегетативної маси за багаторічного циклу використання. Розмноження рослин відбувається внаслідок поділу кореневищ та насінням (рис. 3.2).



Загальний вигляд насіння  
світчграсу



Загальний вигляд кореневища  
четвертого року вегетації

**Рис. 3.2. Загальний вигляд насіння та кореневища просо  
прутоподібного**

Просо прutoподобне вивчають в селекційних дослідження, використовують як біоенергетичну, кормову та технічну рослину (рис. 3.3). Ця рослина є очищувачем ґрунтів, а фітомаса – цінна сировина для виробництва твердих біопалив та лігноцелюлозного етанолу [16–18].



**Рис. 3.3. Напрями використання просо прutoподобного**

Просо прутоподібне також здатне підтримувати та поліпшувати якість землі за рахунок впливу на ґрунтовий вуглець. Науковими дослідженнями [19] встановлено зміну вмісту органічної речовини в ґрунті, зміну його структури та здатність стримувати ерозійні процеси на маргінальних землях [20–22].

Результати проведених досліджень в умовах центральної частини України [23, 24], свідчать про високу адаптивність інтродукованих сортів проса прутоподібного. Вони формують високі та стабільні врожаї фітомаси за рахунок елементів структури врожаю, під впливом абіотичних і біотичних чинників. Адже, поряд з потенціалом сортів, їх сортовими властивостями, несприятливі погодні умови можна частково нівелювати агротехнологічними заходами вирощування культур [25, 26].

Аналізуючи типовий набір характеристик проса прутоподібного відмітимо, що кожен сорт *Panicum virgatum* L відрізняється від іншого за генеративною частиною (рис. 3.4).



Загальний вигляд  
рослини під час цвітіння



Волоть проса  
прутоподібного



Збільшений вигляд  
колосків у фазі цвітіння

**Рис. 3.4. Зовнішній вигляд вегетативної та генеративної частини рослин проса прутоподібного**

Запорукою успіху в отриманні стабільної врожайності насіння проса прутоподібного є наявність сортів, адаптованих до різних умов та агробіологічних особливостей культури.

Встановлено, що сортові властивості, поряд із погодними умовами впливають на: тривалість вегетаційного періоду, показники зимо- і

посухостійкості, стійкості рослин до хвороб і шкідників, вміст хімічних речовин, що визначає різне їх призначення, врожайність біомаси та насіння [27].

Отже, використання того чи іншого сорту в значній мірі визначає ефективність застосування агротехнічних заходів вирощування культури. З огляду на це, правильний вибір сорту проса прутоподібного має важливе значення для інтенсивності росту і розвитку рослин та їх стійкості до несприятливих факторів задля стабільного отримання біомаси, як сировини для біопалива. Дане питання є актуальним на сьогодні і потребує детального вивчення та обґрунтування.

### **3.2. Вплив сортових властивостей на формування врожайності проса прутоподібного**

З метою встановлення впливу сортових властивостей на формування врожайності проса прутподібного в умовах центрального Лісостепу було проведено есперимент. Дослід (2017–2021 рр.) поєднував вивчення наступних сортозразків: височинного екотипу ‘Carthage’, ‘Shelter’, ‘Forestburg’, ‘Sunburst’, ‘Dacotah’, ‘Cave-in-Rock’, ‘Nebraska’, ‘Blackwell’, ‘Pathfinder’, ‘Морозко’, ‘Лядовське’ та ‘Зоряне’, до низовинного–‘Kanlow’ і ‘Alamo’.

Найбільша кількість опадів за декаду (78,8 мм) була у 2018 р. (третя декада липня), у 2017-му – 45,5 мм (перша декада січня), у 2019-му – 41,4 мм (перша декада жовтня), та у 2020 р. – 49,8 мм (перша декада червня). За період проведення експерименту спостерігалися періоди без опадів 19 разів (10,6 % часу): по три декади без опадів за рік було у 2019–2021 рр., чотири декади – у 2018 р. та шість декад без опадів було у 2017 р. Близькі до оптимального значення погодні умови за гідротермічним коефіцієнтом (ГТК) були у 2020 та у 2018 рр. (ГТК близький до 1).

Ділянки закладали на чорноземах типових, з вмістом гумусу на рівні 3,4 %. Експеримент мав рендомізоване розміщення варіантів у чотирикратній

повторності згідно з методикою дослідної справи в агрономії [28]. Також застосовували затверджені науково-практичні й методичні рекомендації та методики [29–31]. Облікова площа ділянки становила 5 м<sup>2</sup>. Агротехніка в досліді – відповідно до науково-практичних рекомендацій [32–34].

Стійкість рослин проса прутюподібного до посухи, морозостійкість та стійкість до вилягання визначали за п'ятибальною шкалою, де: один бал характеризував низьку стійкість, п'ять – високу [35].

Визначено фенологічні фази проса прутюподібного: сходи, кущіння, вихід у трубку, викидання волоті, цвітіння, формування і досягання насіння, закінчення вегетації. З урахуванням тривалості вегетаційного періоду встановлено дати початку росту і розвитку рослин *Panicum virgatum* L.

За тривалістю вегетаційного періоду сортозразки проса прутюподібного мають три групи. У ранньостиглих сортозразків тривалість вегетації становить менше 149 діб, середньостиглі – 150–170 діб, та пізньостиглі (понад 170 діб) (табл. 3.2)

Таблиця 3.2

**Групування сортів проса прутюподібного за тривалістю вегетаційного періоду (2017–2021 рр.)**

Група стиглості	Сортозразок*													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Ранньостиглі (до 150 діб)	+	+	+											
Середньостиглі (151–170 діб)				+	+	+	+	+	+					
Пізньостиглі (понад 171 діб)										+	+	+	+	+

\*1–‘Dacotah’, 2–‘Nebraska’, 3–‘Forestburg’, 4–‘Sunburst’, 5–‘Shelter’, 6–‘Cave-in-Rock’, 7–‘Морозко’, 8–‘Лядовське’, 9–‘Зоряне’, 10–‘Carthage’, 11–‘Kanlow’, 12–‘Alamo’, 13–‘Blackwell’, 14–‘Pathfinder’.

Відновлення вегетації проса прутоподібного розпочинається відносно одночасно по сортам – у 2–3 декаді квітня (окрім пізньостиглої групи). Кушіння –3 декада квітня. Вихід у трубку – 2 декада травня. Фаза викидання волоті змінюється в залежності від тривалості вегетаційного періоду. До прикладу, у сортозразка ‘Dacotah’ вона відмічена у 3 декаді травня, у сортозразків ‘Blackwell’, ‘Pathfinder’, ‘Cave-in-Rock’, ‘Nebraska’ – у 3 декаді червня. ‘Shelter’, ‘Forestburg’, ‘Sunburst’ – 1 декада липня, ‘Alamo’ та ‘Kanlow’ – 3 декада липня. Цвітіння розпочинається у 2 декаді липня (‘Dacotah’, ‘Nebraska’) та завершується у 3 декаді липня (‘Carthage’, ‘Blackwell’, ‘Pathfinder’, ‘Shelter’, ‘Cave-in-Rock’, ‘Forestburg’, ‘Sunburst’, ‘Alamo’).

Фенологічна фаза дозрівання насіння змінюється в залежності від сортозразка. У ‘Blackwell’, ‘Pathfinder’, ‘Dacotah’ дана фенофаза припадає на 3 дек. серпня. У ‘Forestburg’, ‘Sunburst’ –3 дек. вересня. У сортозразка ‘Nebraska’ – 1 дек.вересня. У ‘Shelter’, ‘Cave-in-Rock’, ‘Alamo’, ‘Carthage’ дозрівання насіння спостерігається на 1 дек.у жовтня, у ‘Kanlow’ – 2 дек. листопада.

Тривалість вегетаційного періоду проса прутоподібного різна. Залежить від кліматичних умов по всіх групах стиглості без виключення. Визначено, що сортозразки проса прутоподібного усіх груп стиглості характеризуються високою або середньою стійкістю до вилягання.

Встановлено, що до ранньостиглих сортів проса прутоподібного віднесені сортозразки ‘Dacotah’, ‘Nebraska’, ‘Forestburg’, до середньостиглих – ‘Sunburst’, ‘Shelter’, ‘Cave-in-Rock’, ‘Морозко’, ‘Лядовське’, ‘Зоряне’, а до пізньостиглих – ‘Carthage’, ‘Kanlow’, ‘Alamo’, ‘Blackwell’ і ‘Pathfinder’.

За морфо-біологічними характеристиками сортозразки проса прутоподібного поділяють на височинні та низинні типи. В свою чергу між собою вони різняться за продуктивністю та особливостями росту й розвитку рослин [36–38]. Низовинні типи проса прутоподібного у перший рік вегетації менш зимостійкі в порівнянні з височинним [39]. Для зведення до мінімуму ризику вимерзання рослин чи усунення даної проблеми виробники

використовують сівбу проса прутоподібного в суміші сортозразків височинних і низинних типів [40]. До прикладу, сорт ‘Kanlow’ висівають із сортом ‘Cave-in-Rock’, або ж сортом ‘Carthage’.

Зважаючи на біологічні особливості *Panicum virgatum L* у фазі завершення вегетації усі пластичні речовини переміщуються до вузла кущення та кореневої системи. Це сприяє успішній перезимівлі рослин. Суміші типів проса прутоподібного, як правило, характеризуються високими та стабільними показниками врожайності. За умови збору врожаю після закінчення вегетації височинні екотипи забезпечують добру перезимівлю рослин. По термінам такий збір припадає на пізньоосінній період, а саме після перших осінніх заморозків. Для забезпечення хорошої зимостійкості виробничники практикують висівання сорту ‘Kanlow’ разом з ‘Cave-in-Rock’.

Просо прутоподібне має дрібне насіння з високим рівнем стану спокою. За крупністю, насіння проса прутоподібного поділяють на: крупне – маса 1000 насінин  $\geq 1,8$  г, середнє – маса 1000 насінин 1,5–1,8 г, дрібне – маса 1000 насінин  $\leq 1,5$  г [40]. Основною проблемою дрібнонасінних сортів, є ризик низької польової схожості насіння та густоти стеблостою. Тому дану особливість слід враховувати на важко глинистих ґрунтах.

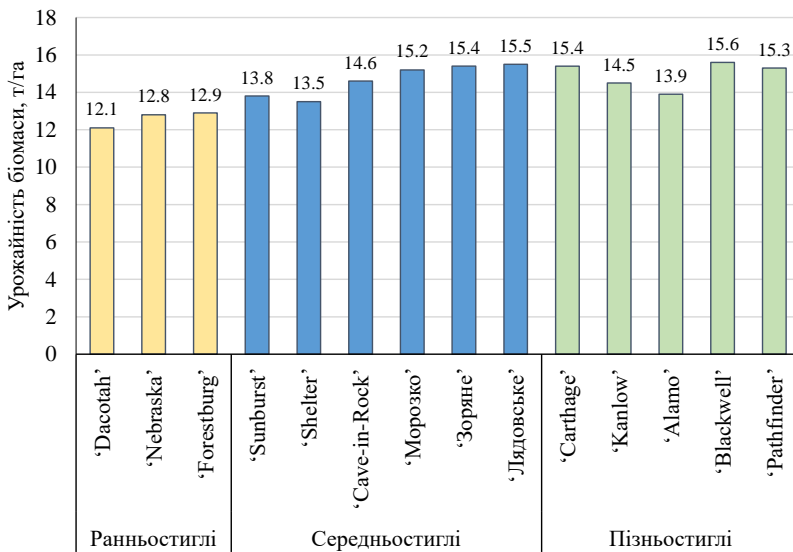
Типовим для височинних типів *Panicum virgatum L* є нижчий стеблостій в порівнянні з низовинними та тонші за діаметром стебла. Височинний тип краще адаптований до сухих і прохолодних умов. Поряд з цим, низинні типи краще ростуть та розвиваються в більш теплих, вологих місцях. Однак, низовинні мають переваги за продуктивністю. Сорти низинного типу є тетраплоїдними ( $2n = 4x = 36$ ). Височинні складаються з генотипів, які є і тетраплоїдними і октоплоїдами ( $2n = 8x = 72$ ). Нещодавно науковцями були виявлені лінії низинного екотипу – восьмиплоїдні [42].

За різних способів сортування насіння проса прутоподібного відмічаються найкращі посівні якості [43]. У зв’язку з високою зимостійкістю, врожайністю та придатністю до вирощування на різних типах ґрунтів науковці використовують для проведення досліджень як основний сортозразок ‘Cave-

in-Rock'. Він достатньо адаптований, проте в прохолодні роки може вимерзати [44, 45].

У наших дослідженнях з усіх досліджуваних сортозразків за адаптивними властивостями виокремлено 'Cave-in-Rock', 'Морозко', 'Лядовське' й 'Зоряне'. Дані сорти протягом років дослідження за показниками посухо- та морозостійкості, а також стійкістю до вилягання мали найвищі бали. Найменш адаптованими до умов вирощування виявилися сорти 'Kanlow' та 'Alamo'—на рівні 2 балів. Усі інші сорти проса прутоподібного мали проміжне значення за цим показником.

Встановлено, що врожайність сухої біомаси за роки дослідження варіювала від 12,1 до 15,6 т/га (рис. 3.5).



**Рис. 3.5. Урожайність за сухою біомасою сортів проса прутоподібного, 2017–2021 рр.**

Найвищу врожайність біомаси формували ‘Blackwell’, ‘Лядовське’, ‘Carthage’ і ‘Зоряне’, ‘Pathfinder’ і ‘Морозко’ відповідно 15,6; 15,5; 15,4; 15,4; 15,3 і 15,2 т/га.

Отже, при створенні нового матеріалу проса прутоподібного значне місце відведено вивченню вихідних форм та підбору пар для схрещування. Вихідним матеріалом для селекції сортів енергетичних культур відбираються більш продуктивні та стійкі до стресових умов рослини. Встановлено, що підбір сортів проса прутоподібного на основі відповідного типу збільшує життєздатність та продуктивність рослини. Тому, сорти мають обиратися на основі типу та широти походження.

### **3.3. Вплив умов вирощування на насіннєву продуктивність проса прутоподібного**

Зміна клімату є суттєвою проблемою в екологічному, економічному та соціальному напрямках люства. Підвищенні температури, зниження кількості опадів суттєво впливають на формування врожаю. Зміна клімату відбувається по всій території України, проте з певною варіативністю за регіонами. Причина їх полягає у значній площі України і різноманітності природних умов, які зумовлюють нерівномірність прояви кліматичних змін. Негативними наслідками впливу змін клімату на сільське господарство України є вірогідність збільшення в період вегетації посух та поширення цього явища у райони, які традиційно належать до достатньо зволжених. Такими є Полісся і північні райони Лісостепу. Встановлено, що в Лісостеповій зоні темпи підвищення температури вище, ніж в Степовій зоні [46, 47].

Як зазначалось вище, світчграс – посухостійкий багаторічний злак. Має спрощену технологію вирощування. Не потребує зрошення та вирощується при мінімальному застосуванню добрив. Такі біологічні особливості культури впливають відповідно на зменшення витрат енергії при вирощуванні. Як наслідок зменшується вартість виробництва і знижується кількість викидів

парникових газів. Крім того, просо прутоподібне невибаглива до ґрунтів рослина, яка не є конкурентом продовольчим культурам, адже вирощується на малопродуктивних землях [48].

Загальновідомо, що на життя рослин, їх ріст і розвиток впливають як біотичні так і абіотичні фактори. Для нормального росту і розвитку рослина має бути забезпечена: теплом, світлом, ґрунтом, водою, елементами живлення, оптимальним простором (площею живлення), відповідним доглядом.

Основною вимогою при вирощуванні *Panicum virgatum L.* в перший рік вегетації є боротьба з бур'янами. Тому підготовка ґрунту передбачає очищення поля від бур'янів з послідуною сівбою. Зазвичай у перший вегетаційний рік бур'янів з'являється настільки багато, що на полі їх складно відрізнити від сходів самого світчґрасу.

Відомо, що бур'яни суттєво впливають на ріст рослин проса прутоподібного. Тому, боротьба з ними на полі під час вегетації *Panicum virgatum L.* є дуже важливим агротехнічним заходом. Перший рік вегетації світчґрасу характеризується повільним ростом та слабо розвиненими сходами порівняно із бур'янами, які є однією із причин нерівномірного розвитку травостою, а іноді й повної загибелі рослин [49]. З послідуочими вегетаційними роками рослини проса прутоподібного пригнічують бур'яни в посівах. Це відбувається за рахунок інтенсивного кушення. Відбувається саморегуляція травостою. Це впливає на кінцеву врожайність фітомаси світчґрасу..

У даний час в Україні немає зареєстрованих гербіцидів для використання на посівах проса прутоподібного, тому їх знищують агротехнічними методами [50]. Проте у іноземних вчених така практика наявна. Вони рекомендують застосовувати квінклолак на посівах у фазі 3–4 листків. У випадку надмірної забур'яненості посівів рекомендують застосовувати спеціальні заходи. Зрізувати бур'яни вище рослин проса прутоподібного. За необхідності цей агрозахід можна проводити один-два рази протягом вегетації. Проте, його недоліком є небезпека травмування точки

росту рослини [51]. Отже, комплексний план боротьби з бур'янами є важливим і починається з боротьби з бур'янами ще за рік до сівби.

Загальновідомо, що формування високого врожаю є результатом фотосинтезу. У процесі якого з простих речовин утворюються багаті на енергію складні і різноманітні за хімічним складом органічні сполуки.

Інтенсивність накопичення органічної речовини залежить від величини листової поверхні. Визначається біометричними параметрами рослин і залежить від режиму їх живлення. Потужність та тривалість роботи асиміляційного апарату вирішальним фактором продуктивності фотосинтезу та зумовлює кількісні та якісні показники врожаю. Відомо, що площа листків найбільше зростає під впливом азотних добрив. Із застосуванням яких спостерігається збільшення як розміру, так і продуктивності асиміляційної поверхні рослин [52]. Що впливає на врожайність біомаси проса прутоподібного, особливо при комплексному впливі агрозаходів вирощування [53].

До біометричних (кількісних) показників проса прутоподібного відносять вегетативну частину рослин: висоту рослин, кількість стебел, кількість листків, довжину та ширину листків. Також сюди відносять генеративні елементи рослин: кількість волотей, довжину волоті, кількість гілочок першого порядку, масу зерна з волоті тощо.

Для проса прутоподібного типовим є два види врожайності: врожайність біомаси та насіння. Відомо, що врожайність сухої біомаси *Panicum virgatum L.* може сягати до 25 т/га, а насіння – 0,34–0,76 т/га. Вага насіння залежить не тільки від типових сорту властивостей, а й умов навколишнього середовища. Може варіюватись в межах 1,0–2,0 г на 1000 насінин.

Якість насіння культури залежить від багатьох чинників. Першочергово якість насіння залежить від терміну його зберігання. Численними дослідженнями по зберіганню насіння різних сільськогосподарських культур встановлено, що за тривалого його зберігання енергія проростання і схожість знижуються. Це зумовлено старінням насіння, тобто з комплексом

біохімічних і фізіологічних змін, які з часом призводять до часткової або повної втрати його здатності проростати. Інтенсивність процесу старіння залежить від початкової схожості, вологості, температури, чистоти насіння, наявності кисню і пошкодження насінневої оболонки [54, 55].

Насіння проса прутоподібного характеризується тривалим станом біологічного спокою. Саме він є одним з тих стримуючих факторів, що перешкоджають широкому впровадженні культури у виробництво. Стан спокою насіння зумовлений біологічними властивостями сортів та умовами вирощування культури. Як наслідок низька польова схожість насіння та нерівномірні сходи. Саме цей факт здержує впровадження *Panicum virgatum L.* у виробництво. Адже, без достатньої кількості високоякісного насіння або садивного матеріалу впровадження у виробництво не можливе [56].

Існує думка, що зі збільшенням терміну зберігання насіння проса прутоподібного схожість підвищується. Дослідженнями В. В. Дриги та ін. [57] з'ясовано, що насіння зібране з рослин, які вегетують від трьох до п'яти років характеризується нижчими показниками якості. Енергія проростання і схожість упродовж двох років зберігання такого насіння становить 59–68 %. У порівнянні з зібраним з рослин, які вегетують від семи до десяти років показники енергії проростання і схожості становлять 80–87 %. За зберігання упродовж двох років насіння, яке зібране з рослин, що вегетують десять років виявлено збільшення енергії проростання і схожості як в перший, так в другий рік його зберігання. Автори відмічають, що за роками досліджень, енергія проростання у даному випадку підвищилася з 57 % до 74 % (2019 р.), до 80 % (2020 р.), схожість – з 58 % до 77 % (2019 р.) та 80 % (2020 р.). За зберігання насіння, зібраного з рослин різних років вегетації упродовж двох років науковцями не виявлено підвищення його енергії проростання і схожості. Збільшення цих показників спостерігається лише в насіння, яке зібране з рослин 10 року вегетації.

В цілому, енергія проростання та схожість насіння проса прутоподібного залежать як від груп стиглості сортів, так і від суми ефективних температур в

період вегетації. Тому, для вирішення питання отримання високоякісного насіння сортів проса прутоподібного його доцільно вирощувати в інших ґрунтово-кліматичних умовах, сприятливих для формування якісного насіння культури, що забезпечується сумою ефективних температур [58].

Також Дрига В. В. відмічає, що оскільки формування якісного пилку залежить від сортових особливостей, умов вегетаційного періоду в фазі цвітіння та зав'язування насіння, то це може зумовлювати низьку схожість насіння. Якість пилку зумовлена його розмірами та життєздатністю. Схожість насіння підвищується зі збільшенням кількості життєздатного пилку. Розміри пилку залежать від сортових особливостей та кліматичних умов у фазу цвітіння. На формування пилкових зерен впливає температурний режим та забезпеченість рослин вологою [59].

Кореляційно-регресійний аналіз дозволяє встановити напрям і силу зв'язку між двома показниками [60]. Застосування такого аналізу показав, що врожайність насіння усіх сортів проса прутоподібного має сильний зв'язок з кількістю листків на рослині й довжиною прапорцевого листка. Середній – з іншими показники вегетативної частини рослин. Генеративні елементи рослин мають пряmolінійний кореляційний зв'язок із насінневою врожайністю. Маса насінневих лусок має обернений зв'язок із насінневою врожайністю насіння, що характерно для усіх сортів [61].

Стратегічним завданням сучасної селекції є створення сортів, які здатні ефективно використовувати біокліматичний ресурс конкретного регіону, виявляти толерантність до стресових умов, забезпечувати достатньо високу реалізацію генетичного потенціалу продуктивності. За постійної дії мінливих факторів нові високоадаптивні сорти мають гарантувати одержання стабільно високих врожаїв [62]. У науковому колі існує думка, що для одержання достовірної оцінки адаптивного потенціалу сортів доцільно проводити їх екологічне випробування в різноманітних середовищах із використанням різних статичних методів. Це допоможе селекціонеру обрати найбільш врожайні та адаптовані генотипи. Отже, для того, щоб максимально

використати потенціал сорту маємо оцінити за допомогою пластичності та стабільності його адаптивність.

Екологічна пластичність це середня реакцію сорту на зміну умов середовища, а стабільність – відхилення даних у кожному середовищі від середньої реакції. Ці параметри визначають особливості пристосування сорту злакових до умов навколишнього середовища. Відображають переваги та недоліки, його поведінку в різних умовах вирощування. Цінність зразків визначається за рангом генотипового ефекту, рангом коефіцієнту регресії і за їх сумою. Генотиповий ефект характеризує потенціал генотипу за конкретною ознакою в оптимальних умовах. Коефіцієнт регресії характеризує ступінь стабільності генотипового потенціалу за досліджуваною ознакою в несприятливих умовах. Чим вище значення генотипового ефекту та коефіцієнта регресії, тим вище ранг: 1 – високий; 2 – середній; 3 – низький ступінь стабільності. Найбільш цінними з селекційної точки зору є генотипи з сумарним рангом 2–3, оскільки вони поєднують високий генотиповий потенціал ознаки стійкості і стабільний прояв її за роками [63].

Цінними для виробництва є сорти з генетичним потенціалом ознаки та стабільністю її реалізації. Можливо, що сорти з відносно високим рангом пластичності будуть в кінцевому підсумку менш стійкими в середньому за роками, ніж з меншим генотиповим ефектом, але з більш стабільною реалізацією потенціалу ознаки стійкості рослин [64].

Використання регресійного аналізу дозволяє провести оцінку реакції сортів проса прутоподібного на зміну факторів зовнішнього середовища за допомогою коефіцієнта регресії ( $bi$ ). З-поміж сортів проса прутоподібного виокремлено генотипи з коефіцієнтом  $bi > 1$ . Такі відносять до високопластичних (відносно середньої групової); при  $1 < bi = 0$  генотип належить до відносно низькопластичного сорту. За умови не суттєвої відмінності показника пластичності сорту від одиниці, його відносять до середньопластичного. Показник адаптивності сорту оцінюють за допомогою

параметрів екологічної пластичності і стабільності. Вони характеризують рівень адаптації сорту до умов зовнішнього середовища [65].

Коефіцієнт регресії певного показника того чи іншого сорту за індексами середовища називають коефіцієнтом екологічної пластичності, а дисперсію щодо регресії – коефіцієнтом стабільності. Їх враховують при загальному групуванні того чи іншого сорту польових культур. Врожайність насіння по сортах проса прутіподібного за середніми даними варіює у межах – від 86,0 до 340,5 кг/га, що дозволяє оцінити їх за показниками стабільності сорту та виокремити найбільш пластичні [66].

Відповідно до значення коефіцієнта пластичності рослини усіх сортів проса прутіподібного умовно розподілено на групи. Перша - значення  $b_i$  наближається до одиниці. До другої групи відносяться сорти, у яких  $b_i \geq 1$ . Тобто вони проявляють пластичність до чинників навколишнього середовища в певних умовах вирощування. Всі сорти в яких  $b_i$  наближається до нуля віднесено до третьої групи.

Також, згідно встановленого генотипового ефекту використовують групування сортів проса прутіподібного за врожайністю насіння. Перша група сортів – це рослини нейтрального типу. Тут коефіцієнт пластичності наближений до одиниці (0,69–0,96), насіннева продуктивність в них стабільна.

За несприятливих умов у них знижується насіннева продуктивність, порівняно із рослинами другої групи (інтенсивного типу). Рослини сортів проса прутіподібного у яких варіант стабільності прямує до нуля, володіють вузькою пластичністю й специфічною адаптивністю лише до оптимальних умов, за яких дають високу стабільну насінневу продуктивність. До таких сортів відносяться ‘Дакота’, ‘Санберст’ і ‘Небраска’. Проте за несприятливих умов вона у них різко знижується. Представники даної групи вимогливі до високого рівня агротехніки. Лише за цих умов вони реалізують свій потенціал.

Особливістю рослин третьої групи помірно екстенсивного типу розвитку є те, що в них  $b_i > 1$ . Варіант стабільності наближається до нуля. Це

сортотразки ‘Канлоу’ та ‘Аламо’. Рослини широкоадаптивного спрямування. Характеризуються наближеною до стабільної насіннєвої продуктивності. Проте позитивно реагують на покращення умов вирощування. У цих сортів відмічена висока реакція мінливості рослин до чинників навколишнього середовища, що узгоджується з низькою стабільною врожайністю насіння.

До пластичних інтродукованих сортів проса прутіподібного, що здатні підвищувати врожайність та крупність насіння за сприятливих умов відносяться такі інтродуковані сорти: ‘Небраска’, ‘Картрадж’, ‘Дакота’, ‘Форесбург’ і ‘Блеквелл’. Сорти іноземної селекції: ‘Sunburst’, ‘Pathfinder’, ‘Shelter’, ‘Cave-in-Rock’, і ‘Nebraska’ менше реагують на несприятливі умови вирощування. Вони здатні реалізувати свій генетичний потенціал за формування більш крупного насіння та врожайності насіння.

За результатами наших попередніх досліджень встановлено, що ґрунтово-кліматичні умови мають вплив на врожайність насіння проса прутіподібного [67], табл. 3.3.

Таблиця 3.3

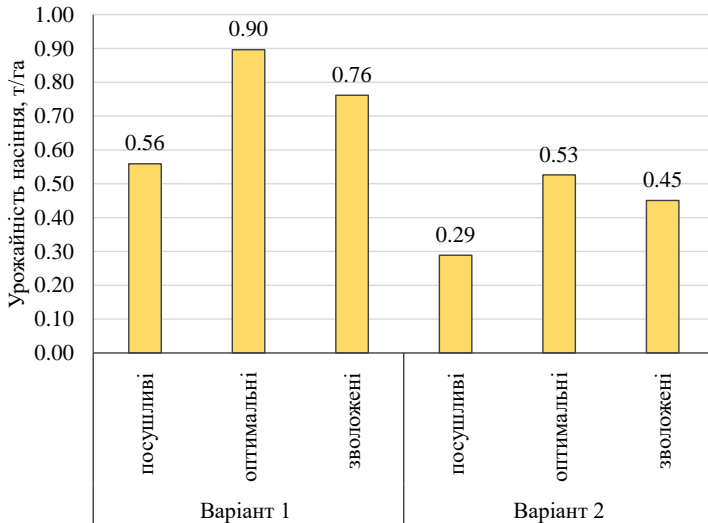
**Урожайність кондиційного насіння проса прутіподібного (т/га)  
залежно від умов вирощування, 2012-2016 рр.**

Ґрунтові умови вирощування (фактор А)	Погодні умови вирощування (фактор Б)	Продуктивність насіння, кг/м <sup>2</sup>	Урожайність насіння, т/га	+ / – до оптимальних умов року, %
Варіант 1	посушливі	0,056	0,559	-37,6
	оптимальні	0,090	0,896	-
	зволожені	0,077	0,762	-15,0
Середнє за роки		0,074	0,739	-
Варіант 2	посушливі	0,029	0,289	-45,1
	оптимальні	0,053	0,526	-
	зволожені	0,045	0,451	-14,3
Середнє за роки		0,042	0,422	-
НІР 05 (фактор А)		0,011	0,106	-
НІР 05 (фактор Б)		0,019	0,187	-
НІР 05 (фактор А і Б)		0,004	0,006	-

*Примітка:* варіант 1 – родючі ґрунти, варіант 2 – малопродуктивні ґрунти.

За аналізом морфологічних показників волоті та погодних умов, які склалися під час вегетації культури визначено, що найбільшу насінневу врожайність на родючих ґрунтах рослини проса прутоподібного формували у роки з ГТК періоду формування і досягання насіння близьким до оптимального (0,896 т/га). Середнє значення за даним показником зафіксовано у вологі роки (0,762 т/га). Менша врожайність насіння була у роки, які характеризувалися посушливими умовами. За врожайністю насіння суттєво нижчі показники зафіксовані на малопродуктивних ґрунтах. Урожайність насіння проса прутоподібного у посушливі роки варіювала від 0,289 т/га до 0,526 т/га, з найбільшим значенням у роки з ГТК близьким до 1. Поряд з цим, посушливі роки забезпечили рівень врожайності насіння на рівні 0,451 т/га.

Отже, перевага за насінневою врожайністю проса прутоподібного в усі роки дослідження спостерігається на більш родючих ґрунтах, порівняно із малопродуктивними за оптимальних погодних умов вегетації (рис. 3.6).



*Примітка:* варіант 1 – родючі ґрунти, варіант 2 – малопродуктивні ґрунти.

**Рис. 3.6. Урожайність кондиційного насіння проса прутоподібного, 2012-2016 рр.**

Також встановлено, що тенденція збільшення кількісних показників рослин проса прутоподібного спостерігається у більш зволжених роках з ГТК, або в умовах близьких до оптимальних – з ГТК близьким до 1,0. Слід враховувати, що вищу врожайність насіння просо прутоподібне формує під впливом довжини і кількості волотей на рослинах за умов зволоження, близьких до оптимальних.

### **3.4. Розробка елементів технології вирощування проса прутоподібного**

Послідовне застосування комплексу робіт, пов'язаних з отриманням рослинницької продукції в агрономії прийнято називати технологією вирощування культур. Вона залежить від біологічних особливостей культури, ґрунтово-кліматичних і погодних умов, технічного оснащення та організаційно-господарських можливостей тощо.

Складовими елементами будь-якої технології вирощування рослинницької продукції є: підбір попередників, сортів; підготовка насіння до сівби та сівба; система обробітку ґрунту (основного, передпосівного та догляду за посівами); захист рослин від шкідників, хвороб та бур'янів; застосування добрив та агрохімікатів; система збиральних робіт.

Основним в технології вирощування проса прутоподібного є: місце вирощування, добір сорту, обробіток ґрунту, наявність вологи в ґрунті на час сівби, його температурний режим, підготовка насіння, виведення насіння із стану спокою. Це обумовлюється строком сівби за оптимального поєднання факторів зовнішнього середовища регіону вирощування [68].

Перевагами вирощування біомаси світчграсу для навколишнього середовища є: боротьба з ерозією ґрунтів, відсутність потреби використання пестицидів, сприяння збереженню природних умов, поліпшення структури ґрунту та зменшення викидів парникових газів.

Розуміння вимог світчграсу до умов навколишнього середовища, впливу змін цих умов на продуктивність культури дає змогу раціонально розміщувати посіви у певних ґрунтово-кліматичних зонах. Підібрати оптимальні елементи технології вирощування культури з врахуванням майбутніх змін клімату.

Для реалізації продуктивного потенціалу сорту, слід враховувати не лише його вимогливість до факторів навколишнього середовища, але й визначити індивідуальну реакцію на окремі технологічні прийоми.

Для отримання високих урожаїв насіння провідне місце має якість посівного матеріалу. Найвищі врожаї доброякісного насіння отримують за висіву сортів, адаптованих до умов регіону. У свою чергу рослини, вирощені з високоякісного насіння, легше переносять несприятливі умови росту й розвитку, краще протистоять шкідникам і хворобам [69].

Встановлено, що значна кількість свіжозібраного насіння світчграсу зазвичай не проростає й може мати лише 10 % схожості. Для підвищення даного показника слід зберігати насіння в теплих або прохолодних умовах чи проводити стратифікацію. У це стимулює дозрівання зерна, в результаті чого розм'якшуються шари насінневої оболонки, прискоряться біохімічні процеси в зародку, що сприяє швидшому його проростанню.

Значна увага зарубіжних учених приділена поліпшенню допосівної підготовки насіння світчграсу. Іноземні дослідники розкривають питання підбору температурних факторів для прискорення пробудження насіння та поліпшення його схожості, завдяки застосуванню препаратів хімічного походження [70, 71]. Доведено, що тривалий стан спокою насіння проса пругоподібного можна зменшити. До прикладу, зберігаючи його за кімнатної температури терміном до чотирьох років. Однак, це може призвести до зменшення дружності сходів [41, 72].

Відомо, що чим більша маса 1000 насінин світчграсу, тим швидше проростання. Як результат рослини на початкових етапах росту і розвитку мають кращий стан і швидші темпи приросту, порівняно з менш ваговитим

насінням. З крупного насіння свічграсу утворюються більш розвинені проростки, рослини та зародкові корінці мають більш швидкий приріст [73].

Оскільки польова схожість насіння свічграсу не перевищує 50–55%, тому застосовують порівняно високі норми висіву насіння. Для забезпечення оптимальних умов вирощування насіння проса прутіподібного відсоток проростання має бути понад 75 % і бути не старішим 3 років. Визначено, що зберігання насіння проса прутіподібного при температурі 18 °С протягом кількох років (більше 2–3 років), залежно від умов вирощування материнських рослин – значно збільшує його схожість. В подальшому високоякісний насінневий матеріал проса прутіподібного може забезпечити кращі умови для росту і розвитку рослин на початкових етапах органогенезу. Також, сортування насіння проса прутіподібного за аеродинамічними властивостями та питомою масою забезпечує підвищення інтенсивності його проростання на 23–38 % [74, 75].

Рекомендована норма висіву проса прутіподібного коливається в межах 2,4–10,0 кг насіння посівної придатності на гектар. Визначено, що висівати насіння проса прутіподібного необхідно на вирівняний, чистий і прікоткований ґрунт на глибину близько 1 см [5, 50].

Строки сівби – важливий фактор успішного вирощування культури. Науковцями доведена ефективність як раннього, так і пізнього строку сівби. Рання сівба має переваги, оскільки через прохолодні і вологі ґрунтові умови прискорюється виведення насіння проса прутіподібного зі стану спокою. Як наслідок, зростає шанс достатнього зволоження для проростання насіння, появи сходів і розвитку коренів другого порядку за рахунок доступної вологи з ґрунту. Отже, до закінчення вегетації просо прутіподібне матиме достатньо часу для росту і розвитку рослин, проходження усіх етапів органогенезу, підвищуючи свою зимостійкість. Проте рання сівба має недолік. Низька температура ґрунту, призводить до повільного проростання насіння та росту проростків проса прутіподібного. Оптимальний строк сівби та норма висіву

насіння забезпечують необхідні умови для росту і розвитку рослин, а його продуктивність культури в значній мірі залежить від вологості ґрунту.

Науковці відмічають, що весняний обробіток ґрунту під світчграс повинен включати такі агротехнічні заходи: вирівнювання, розпушування та коткування поверхні поля. При цьому у розпушеному шарі ґрунту розмір грудочок визначається із виразу:  $d = (0,25...5) \times b$ , де  $d$  – розмір грудочок ґрунту, мм;  $b$  – товщина насіння, мм. Відтак грудочок такого розміру повинно бути не менше 80 %. Існує й інший спосіб вирощування проса прутоподібного. Відмінність його в тому, що сівбу здійснюють за відповідною схемою посіву сумісно з коткуванням шляхом створення овальних профілів рядків та комбінованої схеми чергування основних і технологічних міжрядь відповідно до ширини захвату посівного агрегату. Для сівби рекомендують використовувати очищене, з високою схожістю насіння [76].

За весняного строку сівби на другий рік вегетації просо прутоподібне формує врожайність від 8,7 до 11,5 т/га сухої біомаси. За літнього посіву цей показник суттєво зменшується. Оптимальні умови для світчграсу можна створити шляхом підбирання сортів з урахуванням агробіологічних особливостей регіону й погодних умов року. Щодо встановлення оптимального строку сівби то тут слід враховувати доступну кількість вологи в ґрунті, її відсоток використання для формування одиниці сухої маси з урахуванням площі живлення.

Фактором, що визначає врожайність світчграсу є ширина міжрядь. Вузькі міжряддя прискорюють закриття ґрунту навесні й збільшують кількість світла, що поглинається рослиною протягом вегетаційного періоду. Даний фактор впливає на врожайність культури та зменшує необхідність боротьби із забур'яненістю. За меншої площі живлення рослини швидше розростатимуться у міжрядді. Проте, в даному випадку виникає проблема самопроріджування, що знижує загальний об'єм біомаси з площі. Крім того у густого травостою більша можливість ураження хворобами й вилягання.

Вчені науково-технологічної лабораторії землеробства Буковинської державної сільськогосподарської дослідної станції НААН у 2014–2015 років проводили оригінальні дослідження. Вони вивчали особливості вирощування проса пругоподібного (світчграсу) та міскантусу для виробництва твердих видів палива. У досліді використовували різну ширину міжряддя, а саме: 0,15; 0,30 та 0,45 м. Також вони досліджували вплив мікродобрива Аватар 1, внесеного в дозі 1,0 л/га у фазі кушіння рослин, на ріст та продуктивність світчграсу. Дослідження виконували на схилі південно-західної експозиції крутизною від 4 до 7° на сірому лісовому середньозмитому пилувато-важкосуглинковому слабокислому ґрунті. В результаті дворічних досліджень авторами встановлено, що фактори ширини міжряддя та внесення мікродобрив на фази розвитку рослин світчграсу не впливають. На всіх варіантах досліді рослини розвивалися одночасно. Найкращий урожай світчграсу формується за використання ширини міжряддя 0,15 м. Нестача ґрунтової вологи та підвищення температури повітря негативно впливають на продуктивність світчграсу. В умовах зниження кількості опадів та стійкого підвищення температури повітря позакореневе підживлення рослин мікродобривом Аватар 1 у фазі кушіння не сприяло підвищенню продуктивності культури [77].

Зарубіжні науковці W. R. Osunraugh разом із співаторами порівнювали результати вирощування світчграсу за ширини міжрядь 15, 30 і 50 см. Ними доведено, що за посушливих умов посіви з широким міжряддям мають вищу урожайність. За широкого міжряддя досліджувані сорти світчграсу, дають більшу урожайність, порівняно з вузьким. Підвищення урожаю особливо помітне через декілька років [78].

Дослідження, проведені багатьма науковцями в умовах нашої країни, показують високу адаптивність інтродукованих сортів світчграсу. Науковці відмічають, що збільшення площі живлення на фоні зменшених норм висіву призводить до підвищення врожайності фітомаси. Вирощування світчграсу з міжряддям 80 см, порівняно з 20 см, збільшує врожайність та вміст вуглецю в

отриманій біомасі рослин. Сорти проса прутоподібного за широкорядного способу сівби, порівняно з вузькорядними, формують більшу урожайність.

Поряд з цим, М. Я. Гументик вивчав вирощування проса прутоподібного при комбінованій ширині міжряддя ( $0,4 \times 0,35 \times 0,45$  м). При даному способі вирощування були отримані найвищі показники за висотою, густрою стеблостою та продуктивністю культури [79].

У роботі С. М. Мандровської та В. М. Балан встановлено, що норма висіву насіння, сортові особливості та погодні умови вегетаційного періоду в умовах Центрального Лісостепу України взаємопов'язані. Авторами відмічено, що на малопродуктивних землях в окремі посушливі роки урожайність біомаси знижувалась на 17–40 %. У сприятливих за рівнем зволоження і температурним режимом – підвищувалась на 21–35 % [80].

Щодо вивчення добрив на посівах проса прутоподібного встановлено, що в перший рік не рекомендується використовувати добрива (особливо азот). Оскільки це активізує ріст бур'янів. На легких ґрунтах і в південних регіонах допустиме внесення незначної кількості азоту під час вегетаційного періоду першого року вирощування культури. У наступні роки удобрювати необхідно пізніше, коли бур'яни менше конкурують із світчграсом. У разі не використання азотного добрива повністю до кінця вегетаційного періоду його залишок може збільшити забур'яненість наступної весни.

Просо прутоподібне добре вбирає органічний азот, оскільки найвищі коефіцієнти приросту рослин проявляються за найвищої мінералізації органічного азоту. Високий рівень мінералізації і споживання проса прутоподібного може призвести до вилягання. На важких ґрунтах з високим вмістом азоту просо прутоподібне часто не реагує на азот протягом декількох років після першого року вирощування. Потреба проса прутоподібного в азоті на наступні роки становить лише 50 кг на гектар [81].

Американськими вченими відмічено, що для укорінених посівів світчграсу найкращим принципом для внесення азотних добрив є внесення в нормі, еквівалентній коефіцієнту отриманню урожаю. Близько 6–10 кг на тону

сухої речовини для осіннього збору урожаю і 4–8 кг – для весняного [82]. Також визначено, що світчграс слабо реагує на внесення фосфору, навіть на малопродуктивних ґрунтах. Водночас відмічено поліпшення мінерального живлення рослин за мікоризного симбіозу [83].

Науковці J. J. Vrejda, D. J. Parrish [84, 85] відмічають незначну дію на врожайність проса прутоподібного фосфорного живлення. Науковці відмічають, що для оптимального росту злаків достатньо 0,8 і 1,7 г/кг фосфору.

Просо прутоподібне має потенціал за вирощування як в монокультурі, так і в сумішах. При вирощуванні в монокультурі світчграс позитивно реагує на азотне підживлення та опади для усіх екотипів [86].

Відомі дослідження також, щодо часу збору врожаю проса прутоподібного на фураж та насіння. Застосовуючи азотне підживлення, можливо управляти посівами з метою отримання кормів та насіння з одного поля. Заготівля фітомаси на корм у травні призводить до зниження на 13–26 % врожаю насіння. Поряд із цим, збір врожаю зеленої маси світчграсу в червні зменшує щільність репродуктивних стебел на 28–53 % залежно від умов року та стану посівів. Це знижує врожайність насіння на 83–89 %. Тож, виробники повинні оцінювати стан посівів та збирати його на насіння, або відмовитися від врожаю насіння та використати фітомасу на корм тваринам.

Вивчаючи комплексний вплив агрозаходів на врожайність проса прутоподібного в Україні науковці стверджують, що кращими варіантами вирощування світчграсу є ширина міжряддя 45 см і застосування весняного підживлення рослин нормою азоту 30–45 кг/га. Внесення зменшених чи збільшених норм азоту не призводить до суттєвого підвищення врожайності, а навіть зменшує цей показник. Водночас на варіантах із більшою шириною міжряддя до 60 см істотної різниці між внесенням  $N_{45}$  і  $N_{60}$  не виявлено.

Отже, вирощування проса прутоподібного, як альтернативного джерела енергії потребує вивчення як сортів, так і елементів технології: строків й способів сівби, норми висіву насіння, способів його підготовки для сівби, густоти стояння рослин, ширини міжряддя, мінерального живлення та ін.

### **3.5. Вплив елементів технології вирощування на врожайність насіння проса прутоподібного**

Розробка елементів сортової технології вирощування проса прутоподібного для збільшення насінневої продуктивності світчграсу має важливе значення. Адже, згідно дослідження John J. Brejda разом зі співавторами [87], які вивчаючи агротехнологію проса прутоподібного визначили наступне. Використання азотного підживлення посівів дозволяє управляти посівами енергокультур на основі оцінки їх стану та часу збирання на насіння. Інші вчені [88] вивчаючи сорти ‘Cave-in-Rock’, ‘Blackwell’ і ‘Pathfinder’ за міжряддя 20, 60 і 100 см на фоні різних норм азоту (90 і 180 кг/га) для встановлення їх комплексного впливу на врожайність насіння. Було визначено, що в перший рік урожай насіння сорту ‘Cave-in-Rock’ становив 268 г, що на 54 % та 40 % більше, ніж для другого і третього сорту відповідно. На другий рік отримали збільшення врожайності насіння, відповідно сортів – 908, 319 і 388 кг/га. Більший вихід насіння забезпечується на збільшеному фоні азоту за умови зменшення ширини міжряддя. Врожайність насіння сортів ‘Blackwell’ та ‘Pathfinder’ була однаковою для всіх варіантів внесення азоту і ширини міжрядь. Найбільш пластичним до умов вирощування, з високою продуктивністю насіння виявився сорт ‘Cave-in-Rock’ на 2-й і 3-й рік вегетації на фоні збільшених доз добрив.

Враховуючи недостатньо обґрунтовано технологію вирощування проса прутоподібного на насіння, постала необхідність більш детального вивчення даного питання. Особливо це актуальним це питання є для умов України, на території якої іде інтенсивне закладання енергоплантацій, за одночасної нестачі посівного та посадкового матеріалу енергетичних культур.

Нашим дослідження встановлено, що оптимізація елементі технології вирощування проса прутоподібного на насіння дозволяє збільшити врожайність культури. Оптимізована технології вирощування проса прутоподібного на насіння поєднувала весняну сівбу насінневого матеріалу

визначеною нормою висіву насіння (5,7 кг/га) за широкорядного способу сівби та застосування весняного азотного підживлення рослин розрахунковою дозою азотних добрив. Цей комплекс агрозаходів залежно від сортових особливостей мав значний вплив на збільшення врожайності насіння проса прутіподібного, яка за роки дослідження змінювалася у межах – від 0,06 до 0,13 т/га (табл. 3.4–3.7, рис. 3.7).

Таблиця 3.4

**Урожайність насіння проса прутіподібного сорту ‘Зоряне’ залежно від елементів технології вирощування, т/га (2015-2019 рр.)**

Елементи технології вирощування (фактор А)	Роки (фактор Б)			Середнє за роки
	перший	другий	третій	
Звичайні	0,39	0,67	0,88	0,65
Оптимізовані	0,44	0,75	0,95	0,71
НІР <sub>05</sub> (фактор А)	0,02	0,04	0,05	-
НІР <sub>05</sub> (фактор Б)	-	-	-	0,02

Урожайність насіння проса прутіподібного сорту ‘Зоряне’ за оптимізованих елементів технології вирощування, порівняно із звичайною була доказово вища в усі роки дослідження. Так, прибавка врожаю порівняно із звичайною за оптимізованою технології вирощування в умовах першого року становила 0,44 т/га, у другому – 0,75 т/га й третього року – 0,95 т/га. Дана тенденція характерна і для сорту ‘Кейв-ін-рок’: відповідно років дослідження прибавка врожаю становила: 0,10; 0,13 і 0,11 т/га (табл. 3.5).

Таблиця 3.5

**Урожайність насіння проса прутіподібного сорту ‘Кейв-ін-рок’ залежно від елементів технології вирощування, т/га (2015-2019 рр.)**

Елементи технології вирощування (фактор А)	Роки (фактор Б)			Середнє за роки
	перший	другий	третій	
Звичайні	0,21	0,34	0,46	0,34
Оптимізовані	0,31	0,47	0,57	0,45
НІР <sub>05</sub> (фактор А)	0,07	0,04	0,08	-
НІР <sub>05</sub> (фактор Б)	-	-	-	0,05

Таблиця 3.6

**Урожайність насіння проса прутоподібного сорту ‘Морозко’  
залежно від елементів технології вирощування, т/га (2015-2019 рр.)**

Елементи технології вирощування (фактор А)	Роки (фактор Б)			Середнє за роки
	перший	другий	третій	
Звичайні	0,12	0,20	0,29	0,20
Оптимізовані	0,24	0,32	0,42	0,33
НР <sub>05</sub> (фактор А)	0,06	0,07	0,11	-
НР <sub>05</sub> (фактор Б)	-	-	-	0,07

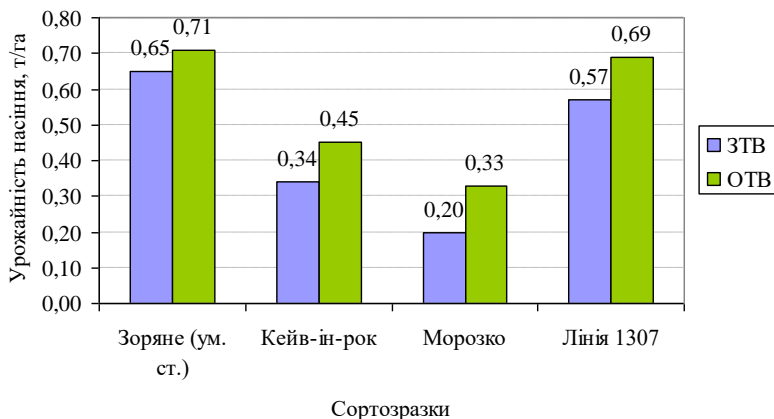
Таблиця 3.7

**Урожайність насіння проса прутоподібного ‘Лінії 1307’ залежно від  
елементів технології вирощування, т/га (2015-2019 рр.)**

Елементи технології вирощування (фактор А)	Роки (фактор Б)			Середнє за роки
	перший	другий	третій	
Звичайні	0,43	0,58	0,71	0,57
Оптимізовані	0,54	0,67	0,85	0,69
НР <sub>05</sub> (фактор А)	0,08	0,07	0,11	-
НР <sub>05</sub> (фактор Б)	-	-	-	0,09

У сорту ‘Морозко’ та Лінія ‘1307’ за оптимізованої технології їх вирощування отримали суттєве збільшення врожайності насіння проса прутоподібного першого року вегетації до 0,11–0,12 т/га, другого – 0,09–0,12 т/га, третього – 0,13–0,14 т/га.

Урожайність насіння досліджуваних сортів проса прутоподібного залежно від технології вирощування культури у середньому за 2015–2019 роки наведено на рис. 3.7.



*Примітка:* ЗТВ – звичайна технологія вирощування, ОТВ – оптимізована технологія вирощування.

**Рис. 3.7. Урожайність насіння проса прутюподібного залежно від технології вирощування культури, 2015-2019 рр.**

Застосування комплексу агрозаходів за оптимізованої технології вирощування проса прутюподібного, порівняно із звичайною технологією у середньому за три роки досліджень дозволяє суттєво збільшити врожайність насіння сорту ‘Зоряне’ до 0,71 т/га, ‘Кейв-ін-рок’ – до 0,45 т/га, ‘Морозко’ – до 0,33 т/га, і ‘Лінії 1307’ – до 0,69 т/га.

Отже, оптимізація елементів технології вирощування проса прутюподібного дозволяє збільшити врожай насіння в розрізі сортів від 0,06 до 0,13 т/га.

### ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3:

1. На даний час в Україні всебічно вивчаються за господарсько-цінними ознаками сортозразки іноземної селекції проса прутоподібного: ‘Carthage’, ‘Shelter’, ‘Forestburg’, ‘Sunburst’, ‘Dacotah’, ‘Cave-in-Rock’, ‘Nebraska’, ‘Blackwell’, ‘Pathfinder’, ‘Kanlow’ і ‘Alamo’. Та зареєстровані в Україні сорти: ‘Морозко’, ‘Лядовське’ та ‘Зоряне’.

2. Розвиток та продуктивність проса прутоподібного залежить від факторів життя в яких рослина знаходиться протягом періоду росту та розвитку. Сортові особливості культури, на фоні умов вирощування, мають відповідні реакції за використання чинників, які впливають на формування насінневої продуктивності та врожайності біомаси. Для забезпечення нормальної вегетації проса прутоподібного оптимальними погодними умовами у фази росту і розвитку культури є такі: міжфазний період «сходивкидання волоті» має бути надмірно зволеним, під час інтенсивного росту і розвитку рослин – близьким до оптимуму, фаза «цвітіння» – проходити за оптимального або наближеного до оптимального зволоження, а міжфазний період «формування та дозрівання насіння» має бути посушливим.

3. Викоремлено ранньостиглі сорти проса прутоподібного: ‘Dacotah’, ‘Sunburst’ і ‘Nebraska’, до середньостиглих – ‘Cave-in-Rock’, ‘Forestburg’, ‘Carthage’, ‘Shelter’, ‘Морозко’, ‘Зоряне’, ‘Лядовське’, до пізньостиглих – ‘Alamo’, ‘Kanlow’, ‘Blackwell’, ‘Pathfinder’.

4. Урожайність фітомаси проса прутоподібного обумовлюється густиною стеблостою і в значній мірі залежить від середньодобової температури повітря та гідротермічного коефіцієнта. Менш суттєвий вплив має кількість опадів за вегетаційний період.

5. За врожайністю сухої біомаси виокремлено сорти проса прутоподібного закордонної селекції – ‘Blackwell’, ‘Carthage’ і ‘Pathfinder’ та української – ‘Морозко’, ‘Зоряне’ і ‘Лядовське’. Ці ж сорти володіють комплексною стійкістю до абіо- та біотичних чинників.

6. Встановлена закономірність: за посушливих умов – зростає вплив висоти рослин, довжини волоті та маси 1000 насінин. Саме тих показників, що обумовлюють насінневу продуктивність проса прутоподібного. В цілому, урожай насіння більшою мірою обумовлюється погодно-кліматичними факторами. Проте насіннева продуктивність проса прутоподібного формується значно більшою на родючих ґрунтах, порівняно із збідненими на поживні речовини (малопродуктивних).

6. Застосування комплексу агрозаходів оптимізованої технології вирощування рослин проса прутоподібного, порівняно із звичайною, дозволяє суттєво збільшити врожайність як біомаси, так і насіння. Урожайність біомаси проса прутоподібного знаходиться у прямій залежності від ширини міжрядь та застосування весняного підживлення посівів нормою азоту 30–45 кг/га. Із збільшенням ширини міжрядь (до 45–60 см) підвищується урожайність проса прутоподібного.

7. Суттєве зростання врожайності насіння сортів проса прутоподібного відмічено за оптимізованої технології вирощування, що поєднує весняну сівбу насінневого матеріалу визначеною нормою висіву насіння (5,7 кг/га) за широкорядного способу сівби та щорічного весняного азотного підживлення посівів розрахунковою дозою азотних добрив.

### Література до розділу 3

1. Саблук П. Т. Розвиток земельних відносин в Україні. К.: *ННЦ ІАЕ*, 2006. 396 с.
2. Тишковець В. В. Моніторинг земель. *Методичні рекомендації*. Харків. 2009. 26 с.
3. Дорогунцов С. І. Екологія. *Підручник*. Для економічних вищих навчальних закладів і факультетів. Київ. 2005. 371 с.
4. Міщук Д. З., Остапчук С. М. Кількісна оцінка розораності земель України. *Студентський вісник НУВГП (2(2))*, 2014. С. 67–69 .
5. Кулик М. І. Енергетичні культури : *Навч. посіб.* Полтава: “Астроя”, 2016. 154 с.
6. Рахметов Д. Б. Роль нових культур у фітоенергетиці України. *Науковий вісник НАУ*. 2007. № 116. С. 13–20.
7. Петриченко С. М., Герасименко О. В., Гончарук Г. С., Литвинюк В. В., Мандровська С. М. Перспективи вирощування світчграсу як альтернативного джерела енергії в Україні. *Цукрові буряки*. 2011. № 4. С. 13–14. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Сб\\_2011\\_4\\_6](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Сб_2011_4_6)
8. Гументик М. Перспективи вирощування багаторічних злакових культур для виробництва біопалива. *Цукрові буряки*. 2010. № 4. С. 21–22.
9. Бондар В. С., Фурса А. В. Економічне обґрунтування технологій вирощування і переробки рослинної біосировини на тверді види палива. *Економіка АПК*. 2015. № 3. С. 22–27. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Е\\_апк\\_2015\\_3\\_5](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Е_апк_2015_3_5)
10. Дрига В. В., Доронін В. А., Гончарук Г. С., Балагура О. В. Особливості формування якості насіння сортозразків проса прутоподібного різних груп стиглості залежно від погодних умов. *Новітні агротехнології*. 2022. Т. 10, № 1. Режим доступу: <https://doi.org/10.47414/na.10.1.2022.264430>
11. Elbersen H. W., Kulyk M.I, Poppens R. P., Lesschen J. P., Kraisivitnii P., Galytska M., ... & Gerasymenko, O. V. (2013). Switchgrass Ukraine: overview of

switchgrass research and guidelines. *Wageningen UR-Food & Biobased Research*. PP. 26.

12. Moser L. E., Vogel K. P., Barnes R. F., et al. Switchgrass, Big Bluestem, and Indiangrass. In: *An introduction to grassland agriculture*. Iowa University Press. 1995. P. 409–420.

13. Barker R. E., Haas R. J., Berdahl J. D. and Jacobson E. T. (1990). Registration of 'Dacotah' switchgrass. *Crop Sci*. V. 30. P. 1158.

14. Samson R. A., Omielan J. A. (1992). Switchgrass: A potential biomass energy crop for ethanol production. *Thirteenth North American Prairie Conference*. Windsor, Ontario. P. 253–258

15. Wullschleger S. D., Sanderson M. A., McLaughlin S. B., Biradar D. P. and A. L. Rayburn. (1996). Photosynthetic rates and ploidy levels among populations of switchgrass. *Crop Sci*. 36 : 306–312.

16. Кулик М. І., Рожко І. І. Інтродуковані та зареєстровані сорти проса прутоподібного (*Panicum virgatum L.*) як вихідний матеріал для селекції за продуктивністю біомаси. *Plant varieties studying and protection*. Вип. 18 (2), 2022. С. 136–147.

17. Рахметов, Д. Б., Вергун, О. М., Рахметова, С. О. *Panicum virgatum L.*—перспективний інтродуцент у Національному ботанічному саду ім. ММ Гришка НАН України. *Інтродукція рослин*. 2014, (3). С. 3–14.

18. Галицька М. А., Кулик М. І., Колеснікова Л. А. Інтенсивність асиміляції карбону при вирощуванні енергетичних культур в умовах Лісостепу України. *Збірник матеріалів II Міжнародної науково-практичної конференції: Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку* (26 червня 2020 р.), Полтава. 2020. С. 127–130.

19. Liebig, M. A., Schmer, M. R., Vogel, K. P., & Mitchell, R. B. (2008). Soil carbon storage by switchgrass grown for bioenergy. *Bioenergy Research*, 1, 215–222. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12155-008-9019-5>

20. Галицька М. А., Писаренко П. В., Кулик М. І. Гуміфікаційно-мінералізаційні процеси як показник акумуляції карбону в ґрунтах. *Таврійський науковий вісник*. Херсон, 2018. Вип. № 102. С. 130–136.

21. Галицька М. А., Кулик М. І., Дековець В. О. Екологічна стійкість ґрунту при вирощуванні енергетичних культур. *Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку: збірник матеріалів IV Міжнародної науково-практичної конференції*. (Полтава, 27 травня 2022). Полтава: Полтавський державний аграрний університет, 2022. С. 17–22.

22. Maryna Galytska, Maksym Kulyk, Dzhamal Rakhmetov, Vasyl Kurylo, Plona Rozhko (2021). Effect of cultivation method of *Panicum virgatum L.* and soil organic matter content on the biomass yield. *Zemdirbyste-Agriculture*. Vol. 108 (3) : 247–254. DOI 10.13080/z-a.2021.108.032

23. Мандровська С. М., Балан В. М. Продуктивність проса прутіподібного (*Panicum virgatum L.*) залежно від норми висіву та сортових особливостей. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2015. Вип. 23. С. 44–49. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpicb\\_2015\\_23\\_9](http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpicb_2015_23_9)

24. Кулик М. І., Рахметов Д. Б., Рожко І. І., Сиплива Н. О. Вихідний матеріал проса прутіподібного (*Panicum virgatum L.*) за комплексом господарсько-цінних ознак в умовах центрального Лісостепу України. *Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин*. Том 15, Вип. № 4, 2019. С. 354–364.

25. Шелепов, В. В., Іщенко, В. І., Чебаков, М. П., Лебедєва, Г. Д. Сорт і його значення в підвищенні врожайності. *Plant varieties studying and protection*, 2006. Вип. 3. С. 108–115.

26. Адаптація агротехнологій до змін клімату: ґрунтово-агрохімічні аспекти; за наук. ред. С. А. Балюка, В. В. Медведєва, Б. С. Носка. Харків: 2018. 363 с.

27. Кулик М. І., Рожко І. І., Сиплива Н. О., Божок Ю. О. Агробіологічні особливості формування врожайності та якості насіння проса прутоподібного. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*, 2019. Вип. 4 (104). С. 51–60.

28. Тимошенко І. І., Майшук З. М., Косилович Г. О. Основи наукових досліджень в агрономії. Львів : ЛДАУ, 2004. 111 с.

29. Роїк М., Рахметов Д., Гончаренко С. та ін. Методика проведення експертизи сортів проса прутоподібного (*Panicum virgatum* L.) на відмінність, однорідність і стабільність. Київ, 2014. С. 637–651.

30. Parrish D. J., & Fike J. H. (2009). Selecting, establishing and managing switchgrass (*Panicum virgatum*) for biofuels. *Biofuels Methods in Molecular Biology (Methods and Protocols)* / J. Mielenz (Ed.). Totowa, NJ : Humana Press, Vol. 581. P. 27–40. doi: 10.1007/978-1-60761-214-8\_2

31. Методика державного сортовипробування сільськогосподарських культур. Вип. 1. Загальна частина / за ред. В. В. Волкодава. Київ, 2000. 100 с.

32. Курило В. Л., Гументик М. Я., Гончарук Г. С. та ін. Методичні рекомендації з проведення основного та передпосівного обробітків ґрунту і сівби проса лозовидного. Київ : ІБКіЦБ, 2012. 28 с.

33. McLaughlin S. B., Kszos L. A. (2005). Development of switchgrass (*Panicum virgatum*) as a bioenergy feedstock in the United States. *Biomass and Bioenergy*. Vol. 28, Iss. 6. P. 515–535. doi: 10.1016/j.biombioe.2004.05.006

34. Кулик М. І., Рахметов Д. Б., Курило В. Л. Методика проведення польових та лабораторних досліджень з просом прутоподібним (*Panicum virgatum* L.). Полтава : РВВ ПДАА, 2017. 24 с.

35. Kulyk, M., & Elbersen, W. (2012). Methods of calculation productivity phytomass for switchgrass in Ukraine. *Poltava*, 10 p.

36. Філіпась Л. П., Горобець А. М., Мандровська С. М. Продуктивність різних сортів світчграсу. *Збірник наукових праць Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2012. Вип. 14. С. 359–361.

37. Думич В. В., Журба Г. І., Курило В. Л. Динаміка росту світчграсу в ґрунтово-кліматичних умовах Полісся України. *Наукові праці інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2013. Вип. 19. С. 43–45.

38. Кулик М. І. Ботанічні особливості та характеристика екотипів проса лозовидного. *Матеріали восьмої 164 міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції «Простір і час сучасної науки»*, 18 – 19 квітня 2012 р. Київ. 2012. С. 6–7.

39. Zhang Z, Zalapa J. E, Jakubowski A. R et al ( 2011) Natural hybrids and gene flow between upland and lowland switchgrass. *Crop Sci.*, 51 : 2626–2641.

40. Casler M. R, Sosa S., Hofmann L., Mayton H., Ernst C., Adler P., Boe A. R., Bonos S. A (2017). Biomass yield of switchgrass cultivars under highvs. low-input conditions. *Crop. Sci.*, 57 : 821–832. <https://doi.org/10.2135/cropsci2016.08.0698>

41. Кулик М. І., Рожко І. І. Урожайні властивості та посівні якості насіння проса прутоподібного залежно від умов вирощування. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2018. Вип. 2 ( 89). С. 78–84.

42. Zalapa J. E, Price D. L, Kaeppler S. M, Tobias C. M, Okada M, Casler M. D. (2011). Hierarchical classification of switchgrass genotypes using SSR and chloroplast sequences: ecotypes, ploidies, gene pools, and cultivars. *Theor. Appl. Genet.*, 122: 805–817.

43. Доронін В. А., Кравченко Ю. А., Бусол М. В. та ін. Якість насіння світчграсу залежно від способів його сортування. *Наукові праці ІБКіЦБ*, 2013. Вип. 19. С. 28–32.

44. Aiken G. E., Springer T. L. (1995). Seed size distribution, germination, and emergence of 6 switchgrass cultivars. *J. Range Manage.* 48. 455–458.

45. Green J. C., Bransby D. I. (1995). Effects of seed size on germination and seedling growth of Alamo switchgrass. *Soc. for Range Management, Denver, Vol. 1.* 183–184.

46. Стефановська Т. Р., Підліснюк В. В. Оцінка вразливості до змін клімату сільського господарства України. *Екологічна безпека*. 2010. № 9. С. 62–66.

47. Адаменко Т. І. Агрокліматичне зонування території України з врахуванням зміни клімату. Київ : ТОВ «РІА»БЛПЦ. 2014. 18 с.

48. Elbersen W, Kulyk M at all. Switchgrass Ukraine: overview of switchgrass research and guidelines. *Wageningen UR Food & Biobased Research*, viewed 17 February 2016, 26 p.

49. Кулик М. І., Elbersen Н. W., Крайсвітній П. А. та ін. Ботаніко-біологічні особливості проса лозовидного (*Panicum virgatum* L.). *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Біоенергетика: вирощування енергетичних культур, виробництво та використання біопалива»*. Київ: Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків, 2011. С. 25–27.

50. Курило В. Л., Гончарук Г. С., Гументик М. Я. Удосконалення елементів технології вирощування проса прутоподібного. *Біоенергетика*. 2014. № 2. С. 28–30.

51. Minelli M., Rapparini L, Venturi G. Weed management in switchgrass crop. In: Swaaij WPM, Fjallstrom T, Helm P, Grassi A (eds). *2nd world biomass conference*, Rome. 2004. Vol 2: 439–441.

52. Jules F. Cacho, Jeremy Feinstein, Colleen R. Zumpf, Yuki Hamada, Daniel J. Lee , Nictor L. Namoi, DoKyoung Lee, Nicholas N. Boersma, Emily A. Heaton, John J. Quinn andCristina Negri (2023). Predicting Biomass Yields of Advanced Switchgrass Cultivars for Bioenergy and Ecosystem Services Using Machine Learning. *Energies*, 16(10). PP. 4168. <https://doi.org/10.3390/en16104168>

53. Кулик М. І. Аналіз комплексного впливу агрозаходів на урожайність проса прутоподібного в умовах центрального Лісостепу України. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2018. Вип. 3 (90). С. 74–86.

54. Силенко О. С., Роговий О. Ю. Вивчення та аналіз показників лабораторної і польової схожості насіння ex-situ колекцій середньострокового зберігання. *Вісник Центру наукового забезпечення АПВ Харківської області*.

2013. Вип. 14. С. 114–121. Режим доступу:  
[http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vcnzapv\\_2013\\_14\\_17](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vcnzapv_2013_14_17)

55. Роїк М. В., Гізбуллін Н. Г., Балан В. М., Доронін В. А. та ін. Порядок ведення насінництва цукрових буряків. *Цукрові буряки*. 2008. Вип. (5), С. 7–9.

56. Дрига В. В., Доронін В. А., Гончарук Г. С., Балагура О. В. Особливості формування якості насіння сортозразків проса прутоподібного різних груп стиглості залежно від погодних умов. *Новітні агротехнології*, 10 (1). 2022. Режим доступу: <https://doi.org/10.47414/na.10.1.2022.264341>.

57. Дрига В. В., Кравченко Ю. А., Доронін В. А. Якість насіння проса прутоподібного (*Panicum virgatum L.*) залежно від строку його зберігання. *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції Аграрна освіта та наука: досягнення, роль, фактори росту «Інноваційні технології в агрономії, землеустрої, лісовому та садово-парковому господарстві»*. Збірник наукових праць. Біла Церква. 2020. С. 13–15.

58. Дрига В. В. Вплив сортових особливостей та умов вирощування на якість насіння проса пупоподібного (*Panicum virgatum L.*). *Матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції “Шляхи інноваційного розвитку агровиробництва в Україні”*: зб.наук.праць. Рівне. 2022. С. 44–46.

59. Дрига В. В. Вплив сортових особливостей та умов вирощування проса прутоподібного (*Panicum virgatum L.*) на якість пилку. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. Вип. 100 (1). 2022. С. 75–81. <https://journal.udau.edu.ua/assets/files/100/9.pdf>

60. Гайдаєнко О. М., Коваленко Л. А. Застосування кореляційно-регресійного аналізу для прогнозування результатів діяльності підприємства. *Облік, економіка, менеджмент: наукові нотатки*. 2017. Вип. 1 (13). С.16–22.

61. Рожко І. І. Рівень формування і мінливість елементів насінневої продуктивності проса прутоподібного (*Panicum virgatum L.*) в умовах центрального Лісостепу України.: дисертація... д.філософ : 201 - Аграрні науки

та продовольство. Агрономія. Полтавський державний аграрний університет. 202. 155 с.

62. Марухняк А. Я. Кореляційні зв'язки між продуктивністю та параметрами екологічної адаптивності у зразків вівса / [А. Я. Марухняк, А. О. Дацько, Ю. А. Лісова, Г. І. Марухняк] / *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. Львів–Оброшино, 2014. Вип. 56, Ч. І. С. 123–135.

63. Василюк П. М. Оцінка стабільності та пластичності показників продуктивності та якості нових сортів пшениці м'якої озимої в умовах Лісостепу України. *Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин*. 2014. № 1. С. 15–18. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/stopnsr\\_2014\\_1\\_5](http://nbuv.gov.ua/UJRN/stopnsr_2014_1_5).

64. Присяжнюк Л. М., Шовгун О. О, Король Л. В., Коровко І. І. Оцінка показників стабільності й пластичності нових гібридів кукурудзи (*Zea mays* L.) в умовах Полісся та степу України. *Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин*. 2016. № 2. С. 16–21. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/stopnsr\\_2016\\_2\\_5](http://nbuv.gov.ua/UJRN/stopnsr_2016_2_5).

65. Сокол Т. В., Петренкова В. П., Кобизева Л. Н. Екологічна пластичність та стабільність зразків генофонду гороху за стійкістю до хвороб та шкідників зерна. *Селекція і насінництво*. 2012. Вип. 101. С. 20–29.

66. Рожко І. І., Кулик М. І. Урожайність насіння сортів проса прутоподібного (*Panicum Virgatum* L.) залежно від кількісних показників рослин. *Таврійський науковий вісник*. 2021. Вип. № 119. С. 111–122.

DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.119.15>

67. Кулик М. І., Рожко І. І. Закономірності формування урожайності насіння проса прутоподібного в умовах Лісостепу України. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. Вип. 4 (91), 2018. С. 85–99.

68. Вольвач О. В., Жигайло О. Л., Колосовська В. В., Ярмолінський О. Ю. Агрокліматична оцінка перспектив вирощування світчграсу (*panicum virgatum*) в Лісостепових областях за умов зміни клімату. *Екологічні науки*. 2022. Вип. 3(42). С. 123–130. <http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2022/3/20.pdf>

69. Писаренко П. В., Кулик М. І., Elbersen W. H. та ін. Методичні рекомендації по технології вирощування енергетичних культур (світчграсу) в умовах України. Полтава : Полтавська ДАА, 2011. 40 с.

70. Janine Haynes G., Wallace G. Pill, Thomas A. ( 1997). Seed treatments Improve the Germination and Seedling Emergence of Switchgrass (*Panicum virgatum* L.) *Hort Science: Seed Technology*. N 32(7). P. 1222–1226.

71. Jana J. Beckman, Lowell E. Moser, Keith Kubik, Steven S. ( 1993). Waller Big bluestem and switchgrass establishment as influenced by seed priming. *Agron. J. V. 85*. P. 199–202.

72. Доронін, В. А., Кравченко, Ю. А., Дрига, В. В., Доронін, В. В., Гончарук, Г. С. Визначення якості насіння проса прутіподібного (*Panicum virgatum* L.). *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2021, (29). С. 113–118. <https://doi.org/10.47414/np.29.2021.244433>

73. Кулик М. І., Рожко І. І. Мінливість кількісних ознак проса прутіподібного залежно від сорту та умов вирощування. *Еколого-генетичні аспекти в селекції польових культур в умовах змін клімату: Матеріали міжнародної науково-практичної конференції присвяченої 90-річчю з дня народження генетика, селекціонера, професора М. М. Чекаліна (18–19 квітня 2019 р.)*. Полтавська державна аграрна академія. Полтава, 2019. С. 33–34.

74. Дрига В. В., Доронін В. А., Кравченко Ю. А., Доронін В. В. Сортуння насіння проса прутіподібного за аеродинамічними властивостями як спосіб підвищення його якості. *Біоенергетика*. 2021 (2). С. 16–20.

75. Кулик М. І., Білявська Л. Г., Рожко І. І., Ритченко А. В. Урожайні властивості насіння сортів проса прутіподібного залежно від умов вирощування. *Аграрні інновації*. 2022. Вип. 16. С. 117–125. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.16.18>

76. Гументик М. Я. Розробка елементів технології вирощування проса прутіподібного «*Panicum virgatum* L» в умовах Лісостепу України [Електронний ресурс]. *Збірник наукових праць Львівського національного*

аграрного університету. 2014. Режим доступу:  
<http://www.lnau.lviv.ua/lnau/attachments/1967>

77. Осадчук В. Д., Гунчак Т. І., Сандуляк Т. М. Особливості вирощування світчграсу як енергетичної культури в умовах Буковини. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2017, (61). С. 102–112.  
<https://phzt-journal.isgkr.com.ua/wp-content/uploads/zbirnik/61ua/11.pdf>

78. Ocumpaugh W. R., Sanderson M. A., Hussey M. A., Read J. C., Tischler C. R. and R. L. Reed (1997). Evaluation of switchgrass cultivars and cultural methods for biomass production in the southcentral U.S. Final report. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN. contract №19X-SL128C

79. Курило В. Л., Ганженко О. М., Гументик М. Я. та ін. Спосіб передпосівного обробітку ґрунту під світчграc. Патент на корисну модель 74261 Україна, МПК А01В 79/00. 2012. Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН. бюл. № 20.

80. Мандровська С. М., Балан В. М. Продуктивність проса прутоподібного (*Panicum virgatum* L.) залежно від норми висіву та сортових особливостей. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2015. Вип. 23. С. 44–49. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpicb\\_2015\\_23\\_9](http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpicb_2015_23_9).

81. Кулик М. І. Ботаніко-біологічна характеристика, особливості вирощування та використання енергетичних культур. Частина перша: світчграc (просо лозоподібне) : *довідник*. Полтава, 2014. 130 с

82. Muir J. P, Sanderson M. A, Ocumpaugh W. R, Jones R. M, Reed R. L (2001) Biomass production of ‘Alamo’ switchgrass in response to nitrogen, phosphorus, and row spacing. *Agron J.* 93 : 896–901.

83. Clark R. B ( 2002) Differences among mycorrhizal fungi for mineral uptake per root length of switchgrass grown in acidic soil. *J. Plant Nutr.* V. 25 : 1753–1772.

84. Brejda J. J. (2000). Fertilization of native warm-season grasses. In: Moore K. J, Anderson B. E (eds) Native warm-season grasses: research trends and issues. CSSA Spec Publ 30. CSSA, Madison, WI.

85. Lemus R., Parrish D. J., Wolf D. D. (2009). Nutrient uptake by ‘Alamo’ switchgrass used as an energy crop. *Bioenerg Res.* 2 : 37–50.

86. Кулик М. І., Дьомін Д. Г. Спосіб вирощування проса прутоподібного (світчґрасу) з конюшиною червоною: пат. № 141973; № заявки u2019 08823; заявл. 22.07.2019, опублік. 12.05.2020, Бюл. № 9.

87. Brejda J. J., Brown J. R., Wyman G. W., Schumacher W. K. (1994). Management of switchgrass for forage and seed production. *J. Range Manage.* Vol. 47: 22–27.

88. Kassel P. C., Mullen R. E., Bailey T. B. (1983). Seed yield response of three switchgrass cultivars for different management practices. *Agronomy Journal.* Vol. 77, № 2 : 214–218.

## Розділ 4

# ЕКОЛОГІЗАЦІЯ ВИРОЩУВАННЯ МІСКАНТУСУ ГІГАНТСЬКОГО (Дековець В. О.)

---

---

4.1. Значення та сортимент міскантусу гігантського

4.2. Вплив умов вирощування на вихід садового матеріалу (ризом) та врожайність біомаси міскантусу гігантського

4.3. Вплив схеми висаджування на вихід садового матеріалу (ризом) та врожайність біомаси міскантусу гігантського

4.3.1. Вплив схеми висаджування ризом міскантусу гігантського на їх вихід, як садового матеріалу

4.3.2. Мінливість врожайності біомаси міскантусу гігантського залежно від схеми висаджування ризом

4.4. Урожайність біомаси міскантусу гігантського залежно від сумісного вирощування з бобовими культурами

4.5. Вплив біологізації технології вирощування міскантусу гігантського на врожайність біомаси

### 4.1. Значення та сортимент міскантусу гігантського

На сьогоднішній день, для зменшення залежності від викопних джерел енергії в країнах, що розвиваються, виникає необхідність розвитку власного виробництва альтернативних видів палива. Це визначено як пріоритетне завдання «Зеленого курсу» Європейського Союзу та України. Також це питання актуальне щодо особливостей вирощування енергетичних культур з екологічного погляду. Ці культури здатні покращувати ґрунти та стабільно забезпечити високий та стійкий урожай біомаси, як сировина для виробництва біопалива [1–3].

Проблему поступового виснаження непоновлюваних джерел енергії (нафта, газ, вугілля) у світі в своїх працях обґрунтовують Tian, S. Sacho разом із співавторами. Вони відмічають, що сьогоднішня світова потреба в енергії забезпечується ресурсом нафти (35 %), вугілля (23 %), природного газу (21 %) та ядерного палива (7 %). Як відомо, усі ці ресурси є непоновлюваними та

мають неспинну тенденцію до виснаження [4]. Враховуючи це, світова наукова спільнота прагне збільшити відсоток в структурі АДЕ за рахунок рослинної енергоємної сировини [5–7].

Авторами встановлено, що поряд із сільськогосподарськими культурами, енергетичні – здатні формувати значний обсяг біомаси для біопаливного використання. Це дозволить знизити енергетичну залежність територіальних громад та підвищити добробут населення [8–10].

Встановлено, що для виробництва біопалив в Україні наявна значна база рослинної сировини: рослинні рештки, відходи деревини, промисловості та надземна вегетативна маса енергетичних культур [11, 12]. Енергетичні культури – це рослини, що у переважній своїй більшості є багаторічниками. Вони добре адаптовані до умов вирощування, забезпечуючи сталу врожайність фітомаси за їх культивування на маргінальних землях [13–15]. З-поміж таких рослин найбільші площі займають: міскантус гігантський, просо прутоподібне (світчграс) і клони верби [16].

Міскантус відносять до родини тонконогові (*Poaceae*). Рослини формують дуже високі стебла – до п’яти метрів, що утворюють біомасу (надземну вегетативну масу) [17]. Міскантус гігантський – гібрид природного походження між *Miscanthus sinensis* і *Miscanthus saccharifolius*. Визначено, що його материнською формою є *Miscanthus saccharifolius* [18, 19]. Він розмножується тільки вегетативно і є найпоширенішим видом на території нашої країни.

Поряд із інтродукованим сортиментом, в Україні наявні сорти міскантусів:

- гігантський (Верум / Verum, Біотех / Biotekh, Осінній зорецвіт / Osinnii zoretsvit, Гулівер / Huliver);
- цукровітковий (Снігова королева / Snihova koroleva, Снігопад / Snihopad);
- китайський (Місячний промінь / Misiachnyi promin; Велетень / Veleten) [20].

Дані сорти міскантусу внесені в реєстр сортів рослин в 2014, 2015 та 2017 роки та рекомендовані для вирощування в умовах Степу, Лісостепу та Полісся України.

Надземну фітомасу міскантусу використовують для виробництва біопалив, фітореMediaції ґрунтів та отримання додаткових продуктів [21–23], рис. 4.1.



**Рис. 4.1. Напрями використання міскантусу**

У перший рік врожай культури не збирають: пагони скошують та залишають як мульчу на поверхні ґрунту. З другого року розпочинають отримувати промисловий врожай, що може сягати до 60 т/га (на плантаціях з *in vitro*), або до 20 т/га (закладених ризомами) [24, 25].

Термін експлуатації насаджень міскантусу – близько 30 років. Зібрані та подрібнені силосними комбайнами на щепу стебла та листки міскантус – готове паливо для промислових котельнь. Біомаса міскантусу з одного гектара еквівалентна тій кількості тепла, що продукує газ обсягом 50–60 тис. м<sup>3</sup>, або виділяє при спалюванні 60–90 т вугілля [26].

Для прикладу, у США біржова вартість біомаси міскантусу становить 65 дол./т, у Європі – 70 євро/т. При цьому визначено, що вирощування міскантусу гігантського у 7–12 разів ефективніше, ніж вирощування лісу. Також за кордоном економічно вигідним є створення енергонасаджень міскантусу за використання садивного матеріалу створеним *in vitro* [27].

#### **4.2. Вплив умов вирощування на вихід садивного матеріалу (ризом) та врожайність біомаси міскантусу гігантського**

Рослини міскантусу є адаптованими до умов вирощування й по максимуму їх використовують для свого росту і розвитку. На цей процес також мають вплив елементи агротехнології вирощування даної культури, що відрізняються в різних ґрунтово-кліматичних зонах культивування [28].

Визначено, що з-поміж існуючих способів розмноження видового різноманіття міскантусу найліпшим є вегетативний або розсадний. Найкращий садивний матеріал для вкорінення є ризоми, що мають 5-6 ростові бруньки. Їх отримують з багаторічних кореневищ третього-четвертого років вегетації. Ризоми, перед висаджуванням поділяють на сегменти. Залежно від ґрунтово-кліматичних зон та умов вирощування ширина міжрядь для міскантусу може бути в межах – від 50 до 110 см. Відстань між рослинами в рядках має становити від 45 до 70 см (навіть до 90 см). Глибина заробки ризом у ґрунт – 7–12 см. На цей показник впливає механічний стан та вологозабезпеченість ґрунту. Для розмноження рослин міскантусу ризомами найоптимальнішим строком є ранньовесняний. При такому строковій висаджування досягається значний відсоток приживлюваності. За багаторічний період дослідження встановлено, що рослини міскантусу добре приживлюються також у пізньовесняних та за літніх строках висаджування ризом [29].

Для прискороного розмноження міскантусу використовують і біотехнологічні методи (в культурі *in vitro*). Живцювання рослин (частинами

зелених пагонів) також є перспективним напрямом розмноження цієї культури. Встановлено, що окрім міскантусу гігантського, всі інші види можуть розмножувати генеративно – через насінням [30].

Приживлюваність ризом міскантусу залежить як від якості садивного матеріалу. На цей показник має вплив погодні умови року та строк висаджування. Все це впливає час з'явлення сходів. Науковці за період дослідження спостерігали найвищу приживлюваність за висаджування ризом з 9 і більше бруньок. Також умови вегетації міскантусу впливали на приживлюваність ризом. Що також відобразилося на швидкості наростання наземної вегетативної маси рослин та кореневої системи. Вчені встановили динаміку зростання ваги кореневищ в різні фази росту й розвитку рослин міскантусу. У порівнянні з контролем вага маточників зросла на 41,4 г (кущіння), а на час закінчення вегетації – на 855,2 г. Що сприяло збільшення кількості бруньок на вегетативних органах розмноження та поліпшило якість садивного матеріалу [31].

Наші дослідження підтвердили гіпотезу про те, біометричні (кількісні) показники енергорослин мають вплив на їх врожайність. Відмічено збільшення врожаю біомаси, що забезпечував міскантус, світчграс, сорго, сіда та щавнат. Що також залежало від вмісту сухої речовини в біомасі на час збирання. В розрізі досліджуваних енергетичних культур цей показник змінювався в межах від 65,4 до 78,3 %. Поряд з цим, висоти та густина стеблостою має суттєвий вплив на формування врожайності представників родини тонконогові (багаторічне й цукрове сорго, міскантус, просо прутоподібне) [32].

Результатами досліджень інших авторів визначено, що мінливість кількісних показників енергетичних культур залежить від застосовуваних елементів агротехнології. Що пов'язують із погодними умовами вегетації та міжвидові відмінності культур. Автори відмічають збільшення кореневої системи, відростання нових пагонів зі сплячих бруньок та ін. [33].

Дослідженнями М. Я. Гументика визначено результативність змішаних посівів проса прутоподібного, що вирощувався з міскантусом гігантським. Цей спосіб вирощування дозволив збільшити врожайність та вихід біомаси. Що також збільшило енергопродуктивність плантації. Відмічено також зменшення відсотку вилягання проса прутоподібного протягом зимового періоду. Окрім цього цей спосіб вирощування енергокультур забезпечує раціональне використання площі енергоплантації та сприяє економії виробничих витрат при збиранні біомаси [34].

У інших наших дослідженнях визначено ефективність сумісного вирощування бобових культур із просом прутоподібного [35], а також з міскантусом гігантським [36]. Цей спосіб вирощування енергокультур сприяє зростанню вмісту органічної речовини у ґрунті та збільшує врожайності біомаси [37].

Інші дослідники: М. М. Харитонов та М. Г. Бабенко визначили найліпші умови для вирощування міскантусу на маргінальних землях. Згідно їхніх досліджень визначено, що застосування добрив та проведення поливу міскантусових насаджень дозволяє збільшити врожайність культури [38].

Іншими дослідженнями встановлено, що міскантус, арундо тростинного (*Phalaris arundinacea L.*) і проса прутоподібне мають значний потенціал виробництва біомаси в Європі. Визначено, що врожай сухої біомаси цих рослин може варіювати від 59,6 до 173,6 млн тон/рік. Вирощування цих культур на зрошенні значно збільшить біомаси (від 205,4 до 368,8 млн. т/рік) [39]. Що є значним внеском в енергетичну енергонезалежність європейських країн.

Зарубіжні автори Х. С. Вахтер і М. Масáк разом із співавторами провівши вивчення врожайності енергетичних культур встановили певні закономірності [40]. Автори визначили взаємозалежність між агрозаходами вирощування та погодними умовами вегетації енергокультур. Вони встановили їх значний вплив на формування врожаю проса прутоподібного й міскантусу гігантського [41, 42].

Інші автори встановили виніс елементів мін.живлення з біомасою міскантусу. Встановлено, що врожай 20 т/га біомаси виносить з одного гектара: азот (60 кг/га), фосфор (6 кг/га), та калій (80 кг/га) [43]. У зв'язку з чим, щорічне підживлення посівів є обов'язковим агрозаходом за вирощування міскантусу, особливо на маргінальних землях.

Обґрунтовано, що весняне підживлення міскантусу гігантського за вирощування рослин квадратним способом (60 × 60 см) є дієвим заходом підвищення врожаю. Елементи структури врожаю також впливають на цей показник. Так, 79,0 % врожайності міскантусу гігантського залежить від висоти рослин за коефіцієнта кореляції  $r$  0,89 та на 82,0 % – від кількості стебел за коефіцієнта кореляції  $r$  0,91 [44].

Як стверджують С. Г. Димитров та В. Т. Саблук [45] застосування мікоризоутворювальних грибів і азотфіксуєчих мікроорганізмів мають вплив на листко-стеблову масу міскантусу гігантського. Ефективність прикореневого внесення призводить до збільшення облиствленості фітоценозів і зростанню врожаю біомаси. При цьому зафіксовано зростання Фотосинтетична поверхня зростає на 4,0–21,9 % у порівнянні з контролем. При цьому чиста продуктивність фотосинтезу теж зростає (на 3,6–22,0 %).

Також авторами визначено, що за сумісного вирощування злакових і бобових культур буде вищою врожайність порівняно із одновидовими посівами. Це пов'язано з тим, що люпин утворює щільний ценоз і виступає як біогербіцидний екран – затінюючи бур'яни [46, 47]. Цей спосіб вирощування впливає й на збільшення врожайності біомаси енергокультур за вирощування міскантусу сумісного з люпином [48].

Отже, відповідно біологічним особливостям, що притаманні рослинам, визначено, що міскантус гігантський здатний формувати вегетативні органи розмноження (ризом) за різних умов вирощування культури. За вегетаційні періоди рослини забезпечують потужний стеблостій та формують відповідний врожай біомаси. Поряд з цим, за встановлення закономірностей формування врожайності біомаси міскантусу гігантського, на основі вдосконалення

технології вирощування, дозволить забезпечити екологічність й сталість виробництва біомаси. Яка, в свою чергу є відмінною сировиною для виробництва біопалив та забезпечення енергією споживачів.

### **4.3. Вплив схеми висаджування на вихід садивного матеріалу (ризом) та врожайність біомаси міскантусу гігантського**

Місце проведення досліджень розташоване на території ботанічного саду ім. В. Г. Короленка (м. Полтава). Колекція налічує значну кількість різних генотипів міскантусу та містить й досліди з вивчення елементів біологізації. Що передбачає вивчення впливу різних екоцифників на врожайність міскантусу гігантського. Полеві досліди закладено ще у 2015 році. Протягом послідувачих років (2016–2022 рр.) проводили щорічні спостереження та аналізування рослин.

З метою вивчення впливу умов вирощування на вихід садивного матеріалу (ризом) та врожайність біомаси міскантусу гігантського було проведено даний експеримент.

Ураховуючи мету дослідження ми вирішували наступні *завдання*:

- 1) провести садіння ризом міскантусу гігантського за найбільш раціональними схемами;
- 2) визначити приживлюваність ризом міскантусу залежно від обраної схеми висаджування;
- 3) встановити оптимальну ширину міжрядь та густоту стояння рослин для забезпечення найбільшого виходу ризом міскантусу.
- 4) встановити вплив схеми висаджування ризом на врожайність біомаси міскантусу гігантського.

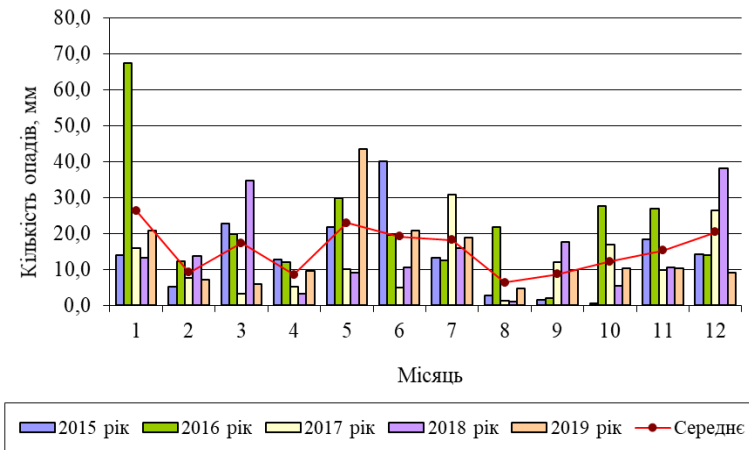
Дослідження з обґрунтування агротехнічних прийомів вирощування ризом міскантусу гігантського здійснювали шляхом рендомізованого розміщення ділянок [49–51]. Повторність досліду чотирикратна.

Експеримент поєднував два досліді: перший – з вивчення впливу схеми висаджування ризом на вихід садивного матеріалу міскантусу, а другий – вплив густоти насаджень на врожайність біомаси міскантусу.

Досліді 1 і 2 передбачали вивчення наступних чинників: варіант 1 – схема висаджування ризом 30 × 30 см, варіант 2 – схема висаджування ризом 45 × 45 см, варіант 3 – схема висаджування ризом 60×60 см, варіант 4 – схема висаджування ризом 75 × 75 см.

Ґрунтовий покрив дослідних ділянок – чорнозем типовий, важко суглинковий, з умістом 3,2 % гумусу, та кислотність ґрунту на рівні 9,0. Рослини міскантусу мало реагували на цю особливість, росли і розвиток та вегетаційні періоди проходили послідовно.

Погодні умови за роки проведення дослідження відзначалися нерівномірністю (рис. 4.2-4.3).

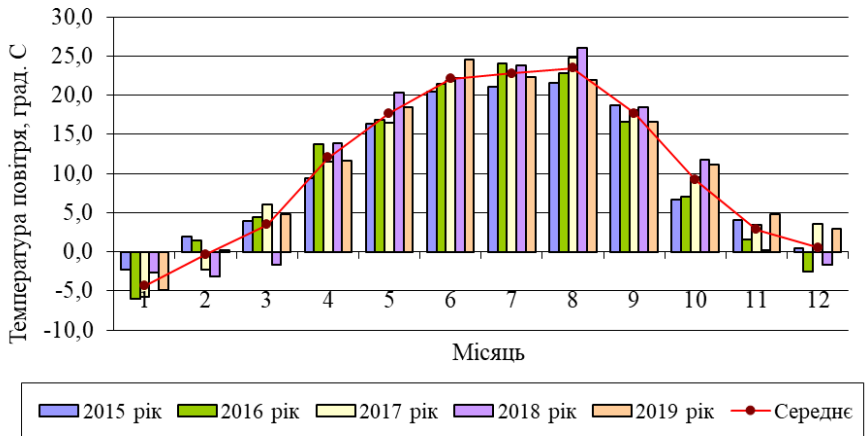


**Рис. 4.2. Умови погоди місяця проведення досліджень: середньомісячна кількість опадів, мм, 2015-2019 рр.**

В окремі періоду вегетації рослин, порівняно з середньо багаторічними даними вони мали значне відхилення. Визначено, що протягом періоду

вегетації міскантусу гігантського (квітень-жовтень) окремі роки травня і червня були надмірно зволженими (або на рівні норми), а кількість опадів протягом липня-вересня була нижчою середньобагаторічних показників. Виключенням є лише червень 2017 року, липень 2017 року та серпень і жовтень 2016 року в які зафіксовано зниження кількості опадів.

Середньомісячна температура повітря протягом вегетаційного періоду відповідала середньобагаторічним показникам. Відмічено відхилення температури повітря від норми у квітні й травні 2016 і 2018 років, а також місяці червні 2019 року та серпня 2018 року.



**Рис. 4.3. Умови погоди місяця проведення досліджень: середньомісячна температура повітря, °С, 2015-2019 рр.**

Найбільш інформативним показником, за яким характеризують погодні умови – це гідро-термічний коефіцієнт (ГТК). Визначено, що найбільш посушливими роками у періоди багаторічної вегетації міскантусу гігантського були 2017 і 2019 роки. ГТК на рівні 1,0 – це 2015 і 2018 рр., а значно вище середніх показників – 2016 р.

### **4.3.1. Вплив схеми висаджування ризом міскантусу гігантського на їх вихід, як садивного матеріалу**

Після висаджування садивного матеріалу (ризом) міскантусу гігантського ми провели спостереження за рослинами на початкових етапах вегетації.

Спостереженнями з'ясовано, що ризоми міскантусу розпочинають проростати за температури ґрунту більше  $+6-8^{\circ}\text{C}$ , а найінтенсивніше проростання спостерігається при нагріванні ґрунту до  $+15-16^{\circ}\text{C}$ .

Визначено, що у перший рік вегетації, на початкових етапах органогенезу, корені міскантусу із ризом відростають повільно, заглиблюючись в ґрунтовий профіль на глибину не більше ніж на 12–15 см. Це залежить також і від вологості та ґрунту.

Рослини міскантусу на початкових етапах протягом 2–3 тижнів розвиваються досить повільно. Встановлено, що найліпші умови початкової вегетації створюються за садіння ризом у ранньовесняний період (що припадає на 2–3 декаду квітня).

В подальшому, за росту й розвитку рослин, спостерігається дуже швидкий приріст кореневої системи міскантусу, аж до осіннього періоду. В цей період вони досягають значної глибини. Визначено, що на закінчення вегетації рослин міскантусу кореневище майже в два рази за обсягом переважає надземну вегетативну масу рослин.

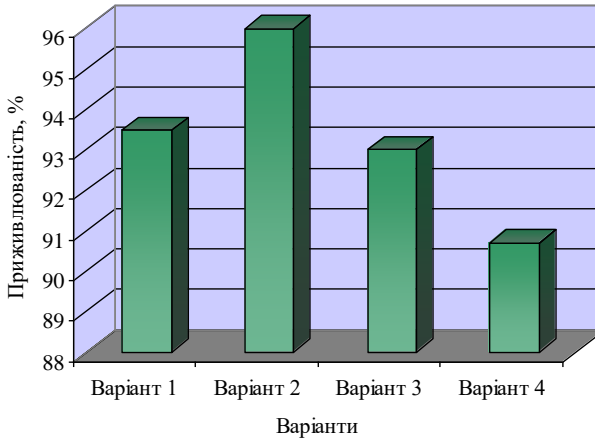
Наш експерименти підтвердили гіпотезу про те, що вибір оптимальної схеми висаджування ризом, поряд із температурою та вологістю ґрунту, впливає на їх приживлюваність. Даний показник за варіантами дослід у рослин міскантусу варіював – від 90,7 % до 96,0 %. При цьому визначено, що більша площа живлення зменшує відсоток приживлюваність ризом міскантусу гігантського (табл. 4.1).

**Приживлюваність ризом міскантусу гігантського залежно від  
схеми садіння ризом (%), 2018-2020 рр.**

Варіанти	Рік			Середнє за роки
	2018	2019	2020	
Варіант 1	93,7	93,4	93,3	93,5
Варіант 2	96,2	95,5	96,4	96,0
Варіант 3	93,3	92,7	93,1	93,0
Варіант 4	91,1	90,5	90,5	90,7
НІР <sub>05</sub>	0,22	0,51	0,74	-

*Примітка:* варіант 1 – схема висаджування ризом 30×30 см, варіант 2 – схема висаджування ризом 45×45 см, варіант 3 – схема висаджування ризом 60×60 см, варіант 4 – схема висаджування ризом 75×75 см.

Встановлено, що найліпше приживлюваність ризом міскантусу (96,0 %) спостерігалось за розміщення їх згідно схеми 45 × 45 см. Як більш зріджені насадження (30 × 30 см), так і більш загущені насадження (60 × 60 і 75 × 75) призводили до зниження даного показника – від 2,5 до 5,3 %. Дана тенденція відмічена в усі роки проведення експерименту (рис. 4.4).



**Рис. 4.4. Приживлюваність ризом міскантусу гігантського,  
середнє за 2018-2020 рр.**

В середньому за роки показник «маса кореневищ» міскантусу гігантського залежно від схеми садіння ризом варіював – від 341,2 г (на контрольних варіантах) до 564,0 г – на варіантах збільшеної площі живлення рослин (75 × 75 см).

Біометричні показники ризом (маса кореневищ, кількість ризом, їх маса, та ін.) залежно від способу їхнього вирощування наведено в табл. 4.2–4.4.

Таблиця 4.2

**Маса кореневищ міскантусу гігантського  
залежно від схеми садіння ризом (г), 2018-2020 рр.**

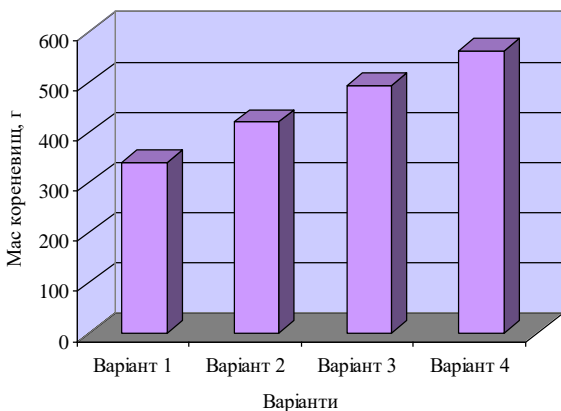
Варіанти	Рік			Середнє за роки
	2018	2019	2020	
Варіант 1	340,6	340,0	342,3	341,2
Варіант 2	423,0	421,2	421,7	422,0
Варіант 3	497,2	493,1	494,8	495,0
Варіант 4	564,5	563,5	564,0	564,0
НІР <sub>05</sub>	20,9	40,2	33,7	-

*Примітка:* варіант 1 – схема висаджування ризом 30×30 см, варіант 2 – схема висаджування ризом 45×45 см, варіант 3 – схема висаджування ризом 60×60 см, варіант 4 – схема висаджування ризом 75×75 см.

За роками дослідження визначено закономірність: зростання площі живлення рослин міскантусу гігантського дозволяє отримати більшу масу кореневищ з більш ваговитими ризомами. Для першого року вегетації маса кореневища міскантусу варіювала у межах – від 340,6 до 564,5 г, другого – від – від 340,0 до 563,5 г, третього – від – від 342,3 до 564,0 г. При цьому максимальні значення за даним показником були за схеми висаджування ризом 75 × 75 см.

Максимальне значення показником «масу кореневищ» отримали на варіантах за схеми висаджування ризом міскантусу 75 × 75 см (564,0 г), а найменше – на варіанті 1 – за схеми 30 × 30 см (341,2 г). Істотно менша вага кореневищ була на варіанті 2 (45 × 45 см) – на рівні 422,0 г.

Середня маса кореневищ міскантусу за три роки дослідження за варіантами досліду наведена на рис. 4.5.



**Рис. 4.5. Маса кореневищ міскантусу гігантського, середнє за 2018-2020 рр.**

Кількість ризом із кореневищ міскантусу також залежала від густоти рослин: із її збільшенням даний показник знижувався, та навпаки (табл. 4.3).

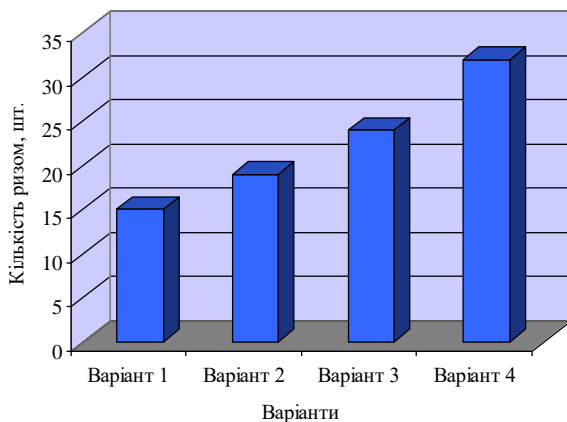
*Таблиця 4.3*

**Кількість ризом міскантусу гігантського залежно від схеми садіння ризом (шт.), 2018-2020 рр.**

Варіанти	Рік			Середнє за роки
	2018	2019	2020	
Варіант 1	13,8	16	15,1	15,0
Варіант 2	19,5	18,5	19,1	19,0
Варіант 3	24,3	23,4	24,4	24,0
Варіант 4	32,1	31,9	32,0	32,0
НІР <sub>05</sub>	2,5	4,7	3,6	-

*Примітка:* варіант 1 – схема висаджування ризом 30×30 см, варіант 2 – схема висаджування ризом 45×45 см, варіант 3 – схема висаджування ризом 60×60 см, варіант 4 – схема висаджування ризом 75×75 см.

Нашими дослідженнями встановлено, що збільшення площі живлення рослин міскантусу гігантського від  $30 \times 30$  см до  $75 \times 75$  см суттєво впливає на вихід ризом – від 15,0 до 32,0 шт./рослину. При цьому визначено, що загущені посіви міскантусу гігантського дозволили забезпечити мінімальний вихід ризом, а от більш розріджені – максимальну їх кількість (рис. 4.6). Що пов'язуємо із розвитком кореневої системи у тому просторі, що було забезпечено схемою висаджування садивного матеріалу міскантусу гігантського.



*Примітка:* варіант 1 – схема висаджування ризом  $30 \times 30$  см, варіант 2 – схема висаджування ризом  $45 \times 45$  см, варіант 3 – схема висаджування ризом  $60 \times 60$  см, варіант 4 – схема висаджування ризом  $75 \times 75$  см.

**Рис. 4.6. Кількість ризом міскантусу гігантського, середнє за 2018-2020 рр.**

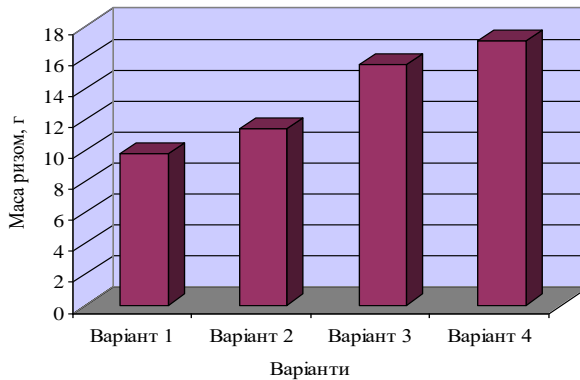
Середня маса ризом із кореневищ міскантусу гігантського залежно від схеми садіння в розрізі років досліджень, та у середньому за роки мала тенденцію до зміни. У середньому за три роки більш ваговиті ризоми міскантусу (17,1 г) отримали на варіантах за схеми висаджування садивного матеріалу  $75 \times 75$  см, на інших варіантах це показник був істотно нижчим і становив – 9,8-15,6 г (табл. 4.4).

**Маса ризом міскантусу гігантського  
залежно від схеми садіння ризом (г), 2018-2020 рр.**

Варіанти	Рік			Середнє за роки
	2018	2019	2020	
Варіант 1	9,5	9,3	10,5	9,8
Варіант 2	11,6	11,2	11,5	11,4
Варіант 3	15,6	15,2	15,9	15,6
Варіант 4	17,3	16,2	17,5	17,1
НІР <sub>05</sub>	1,2	1,4	0,3	-

*Примітка:* варіант 1 – схема висаджування ризом 30×30 см, варіант 2 – схема висаджування ризом 45×45 см, варіант 3 – схема висаджування ризом 60×60 см, варіант 4 – схема висаджування ризом 75×75 см.

Варіанти збільшеної площі живлення рослин у середньому за три роки забезпечили найбільшу вагу ризом із кореневищ міскантусу гігантського (рис. 4.7).



**Рис. 4.7. Маса ризом міскантусу гігантського, середнє за 2018-2020 рр.**

Розрахунками встановлено, що залежно від схеми садіння ризом отримали різну густоту рослин міскантусу гігантського (табл. 4.5).

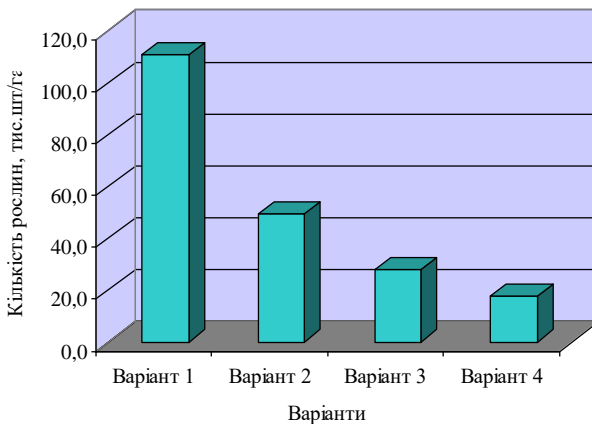
**Густота рослин міскантусу гігантського  
залежно від схеми садіння ризом, 2018-2020 рр.**

Варіанти	Схема висаджування		Площа живлення однієї рослини, м <sup>2</sup>	Кількість рослин на 1 га, шт.
	ширина міжряддя, см	відстань між рослинами в рядку		
Варіант 1	30	30	0,09	111111,1
Варіант 2	45	45	0,20	49382,7
Варіант 3	60	60	0,36	27777,8
Варіант 4	75	75	0,56	17777,8

*Примітка:* варіант 1 – схема висаджування ризом 30×30 см, варіант 2 – схема висаджування ризом 45×45 см, варіант 3 – схема висаджування ризом 60×60 см, варіант 4 – схема висаджування ризом 75×75 см.

Встановлена залежність: із зменшенням площі живлення рослин зростає кількість рослин міскантусу гігантського на 1 га, та навпаки.

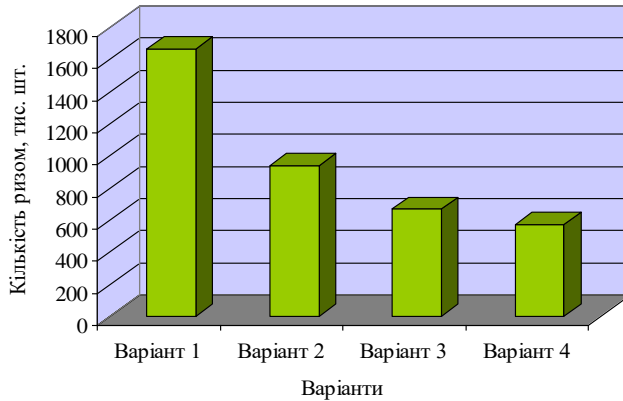
Найбільша густота рослин визначена на варіанті 1 за схеми висаджування ризом 30 × 30 см – 111,1 тис. шт./га, а найменша – на варіанті 4 за схеми 75 × 75 см – 17,8 тис. шт./га. Середнє значення за даним показником отримали на варіантах 2 і 3, відповідно 49,4 та 27,8 тис. шт./га (рис. 4.8).



**Рис. 4.8. Кількість рослин міскантусу гігантського на 1 га, середнє за 2018-2020 рр.**

За результатами обрахунків визначено, що найбільший вихід (кількість із 1 га) ризом міскантусу гігантського ми отримали на загущених насадженнях міскантусу (1666,667 тис. шт.), значно менше на усіх інших варіантах експерименту, їхня кількість становила – від 568,9 до 938,3 тис. шт.

У загальному визначено вихід загальної кількість ризом із кореневищ міскантусу із урахуванням густоти насаджень (рис. 4.9).

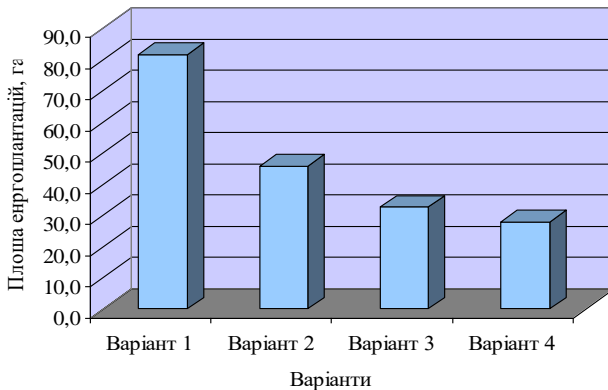


**Рис. 4.9. Вихід загальної кількість ризом із кореневищ міскантусу гігантського залежно від схеми висаджування, середнє за 2018-2020 рр.**

Шляхом розрахунків визначено, що для закладки нових енергоплантацій на 1 га необхідно 20 408 ризом міскантусу гігантського. Тому, ми визначили площу, яку може забезпечити певна кількість садивного матеріалу міскантусу гігантського залежно від схеми їх висаджування.

Отже, за вирощування ризом за схеми  $30 \times 30$  (варіант 1) можливо отримати посадкового матеріалу для закладки 81,7 га нових енергоплантацій, за схеми  $45 \times 45$  (варіант 2) – 46,0 га, за схеми  $60 \times 60$  (варіант 3) – 32,7 га, за схеми  $75 \times 75$  (варіант 4) – 27,9 га.

Орієнтовні площі енергоплантацій, яку можна закласти садивним матеріалом міскантусу гігантського, отриманим із маточних насаджень за різної площі живлення рослин наведено на рис. 4.10.



**Рис. 4.10. Площа нових енергоплантацій, яку можна закласти садивним матеріалом міскантусу гігантського отриманим із маточних насаджень**

Отже, найбільшу кількість садивного матеріалу отримують з маточників за загущеного розміщення рослин міскантусу гігантського на площі (30 × 30 см), найменшу – за схеми 75 × 75см.

#### **4.3.2. Мінливість врожайності біомаси міскантусу гігантського залежно від схеми висаджування ризом**

Поряд із вивченням садивного матеріалу, в окремому досліді протягом трьох років досліджували мінливість врожайності біомаси міскантусу гігантського залежно від схеми висаджування ризом.

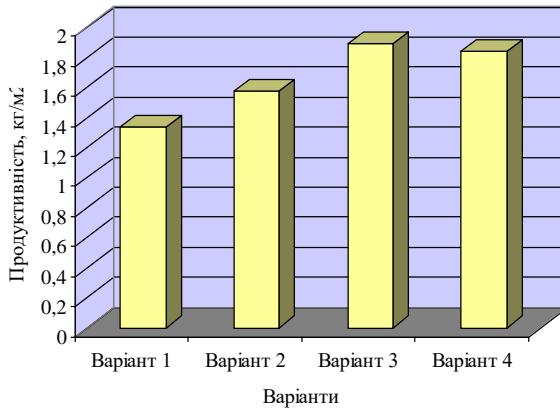
За результатами трьохрічних досліджень встановлено, що схема висаджування ризомів, яка обумовлює певну площу живлення рослин міскантусу гігантського також впливає на їхню продуктивність та загальну врожайність біомаси (табл. 4.6–4.7).

**Продуктивність біомаси міскантусу гігантського  
залежно від схеми садіння ризом (кг/м<sup>2</sup>), 2018-2020 рр.**

Варіанти	Рік			Середнє за роки
	2018	2019	2020	
Варіант 1	1,37	1,32	1,34	1,34
Варіант 2	1,61	1,54	1,60	1,58
Варіант 3	1,90	1,88	1,89	1,89
Варіант 4	1,87	1,84	1,82	1,84
НІР <sub>05</sub>	0,03	0,02	0,03	-

*Примітка:* варіант 1 – схема висаджування ризом 30×30 см, варіант 2 – схема висаджування ризом 45×45 см, варіант 3 – схема висаджування ризом 60×60 см, варіант 4 – схема висаджування ризом 75×75 см.

Найбільшу продуктивність міскантус формує за площі живлення 60 × 60 см та 75 × 75 см, що відповідно становить 1,89-1,84 кг/м<sup>2</sup>. На інших варіантах досліджень – отримали суттєво нижчі значення – менше 1,8 кг/м<sup>2</sup> (рис. 4.11).



*Примітка:* варіант 1 – схема висаджування ризом 30×30 см, варіант 2 – схема висаджування ризом 45×45 см, варіант 3 – схема висаджування ризом 60×60 см, варіант 4 – схема висаджування ризом 75×75 см.

**Рис. 4.11. Продуктивність міскантусу гігантського,  
середнє за 2018-2020 рр.**

Після перерахунку на гектарну норму ми визначили найбільш оптимальну площу живлення рослин задля отримання високої врожайності біомаси міскантусу (табл. 4.7).

Таблиця 4.7

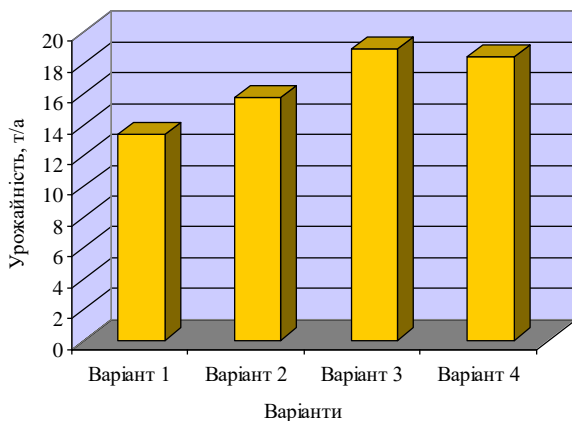
**Урожайність біомаси міскантусу гігантського  
залежно від схеми садіння ризом (т/га), 2018-2020 рр.**

Варіанти	Рік			Середнє за роки
	2018	2019	2020	
Варіант 1	13,70	13,20	13,40	13,4
Варіант 2	16,10	15,40	16,00	15,8
Варіант 3	19,00	18,80	18,90	18,9
Варіант 4	18,70	18,40	18,20	18,4
НІР <sub>05</sub>	1,05	1,11	0,19	-

*Примітка:* варіант 1 – схема висаджування ризом 30×30 см, варіант 2 – схема висаджування ризом 45×45 см, варіант 3 – схема висаджування ризом 60×60 см, варіант 4 – схема висаджування ризом 75×75 см.

При вирощуванні рослин міскантусу за схеми 30 × 30 см в усі роки дослідження отримали найнижчу врожайність, що не перевищувала 14,0 т/га. Із збільшенням площі живлення рослин даний показник зростав на варіантах схеми висаджування 45 × 45 см – до 15,4–16,0 т/га, за схеми 60 × 60 см – до 18,8–19,0 т/га, за схеми 75 × 75 см – до 18,2–18,7 т/га.

У середньому за три роки найбільшу врожайність біомаси міскантус гігантський забезпечив на варіантах досліді за площі живлення рослин 60 × 60 см і 75 × 75 см – в межах 18,9–18,4 т/га. На інших варіантах досліді – цей показник мав істотно нижчі значення (рис. 4.12).



**Рис. 4.12. Урожайність біомаси міскантусу, середнє за 2018-2020 рр.**

Отже, для отримання значної кількості якісного посадкового матеріалу міскантус гігантський рекомендовано вирощувати за схеми  $30 \times 30$  см, а для отримання високої врожайності біомаси – найбільш оптимальною є площа живлення рослин від  $0,36$  до  $0,56$  м<sup>2</sup> ( $60 \times 60$  см і  $75 \times 75$  см).

#### **4.4. Урожайність біомаси міскантусу гігантського залежно від сумісного вирощування з бобовими культурами**

Дослід з вивчення впливу сумісного вирощування з бобовими культурами на врожайність біомаси міскантусу гігантського проводився на «Колекції енергетичних культур» Полтавського державного аграрного університету.

Метою дослідження було вивчення особливостей формування врожайності біомаси міскантусу гігантського залежно від кількісних показників рослин на фоні різних способів вирощування з бобовими культурами.

Ґрунти ділянок де були закладені досліді – чорноземи типові. Вони містять гумусу на рівні  $3,4$  %, вміст азоту становить  $192,5$  мг/кг, фосфору –

616,0 мг/кг, калію – 775,0 мг/кг, кальцію – 12,6 мг/кг, магнію – 1,3 мг/кг, сірки – 10,1 мг/кг. Кислотність за рН є нейтральною і становить 7,2.

Експеримент здійснено в умовах центрального Лісостепу України на базі Полтавського державного аграрного університету при застосуванні методики дослідної справи в агрономії [49, 50]. Дослідження проводили з сортом міскантусу гігантського Гулівер (рис. 4.13).

У схемі польового досліді вивчали: фактор А – рік (2016–2021 рр.), фактор В – способи вирощування міскантусу гігантського: варіант 1 – одновидові насадження міскантусу (контроль), варіант 2 – вирощування міскантусу сумісно з багаторічним люпином (лат. *Lupinus perennis L.*), 3 варіант – вирощування міскантусу сумісно з люцерною серповидною (лат. *Medicago falcata L.*), 4 варіант – вирощування міскантусу сумісно з конюшиною червоною (лат. *Trifolium pratense L.*).



а – відновлення весняної вегетації

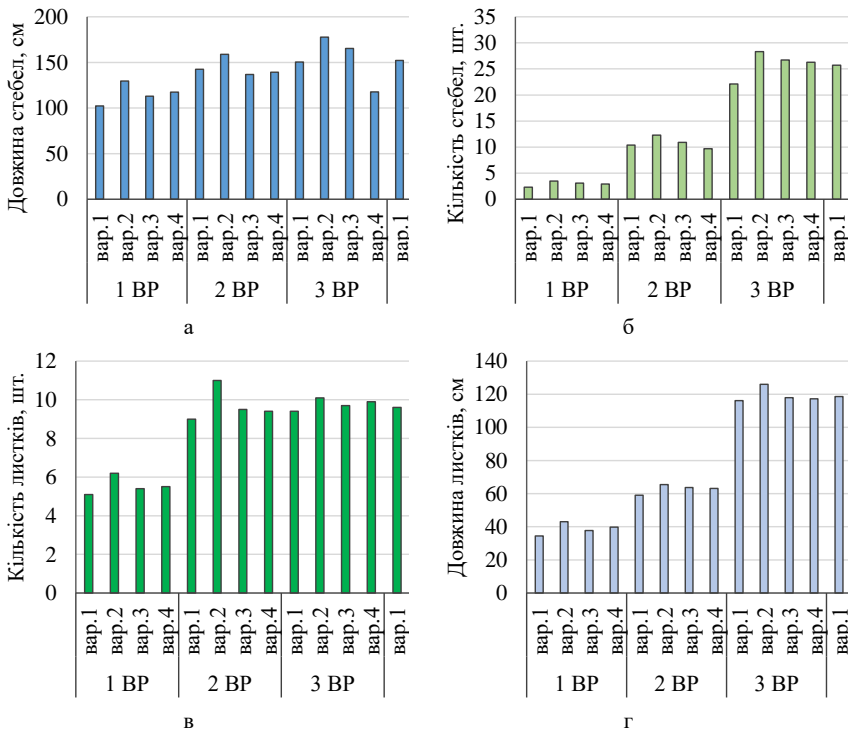
б – літня вегетація рослин

**Рис. 4.13.** Дослід з вивчення сумісного вирощування міскантусу гігантського з бобовими культурами

Обробіток ґрунту, догляд за насадженнями, облік кількісних показників міскантусу гігантського здійснювали відповідно затверджених науково-практичних рекомендацій [51–53] та наукових методик [54–55].

Кореляційно-регресійний аналіз дозволив встановити суттєві зв'язки між кількісними показниками. Застосування дисперсійного аналізу дозволило використання програми *Statistica*.

За результатами досліджень встановлено, що способи вирощування міскантусу мають суттєвий вплив на кількісні показники рослин. Вони варіювали в досить широких межах і змінювались в межах факторів які вивчали (табл. 4.8).

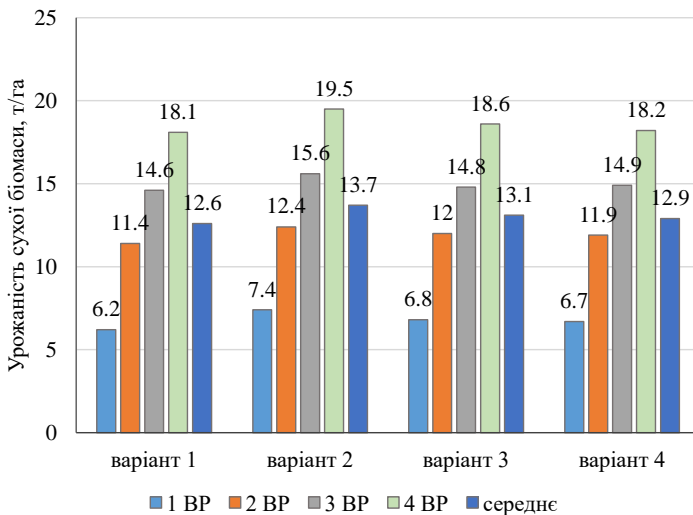


\*Примітка: вар. 1 – одновидові насадження міскантусу (контроль), вар. 2 – сумісне вирощування міскантусу з багаторічним люпином, вар. 3 – сумісне вирощування міскантусу з люцерною серповидною, вар. 4 – сумісне вирощування міскантусу з конюшиною червоною.

**Рис. 4.14.** Кількісні показники рослин міскантусу гігантського: а – довжина стебла (см), б - кількість стебел в кущі (шт.), в - кількість листків на стеблі (шт), г – середня довжина листка (см), 2016-2021 рр.

Незалежно від умов року дослідження найбільші біометричні показники рослин міскантус забезпечив за сумісного вирощування з люпином. На цих варіантах довжина листків була 112,9–184,3 см, їх кількість 5,4–10,4 шт./рослину, кількість стебел – на рівні 2,9–32,9 шт., а їх довжину 37,7–130,1 см. Одновидові насадження міскантусу (контроль) мали значно нижчі ці показники.

Встановлено, що спосіб вирощування суттєво впливає на продуктивність міскантусу. Особливо на рівень сухої біомаси (табл. 4.15).

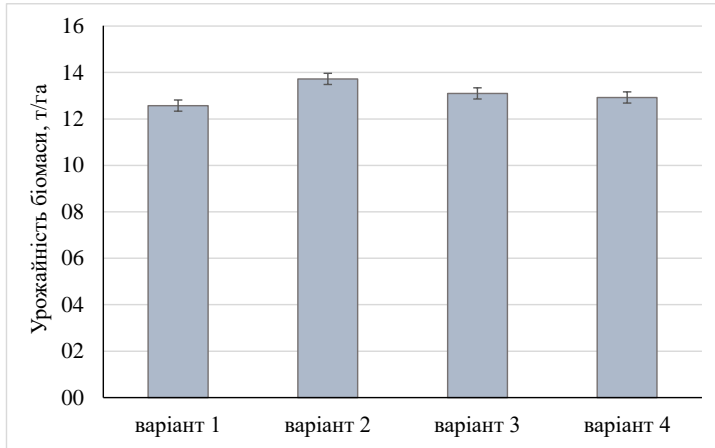


*\*Примітка:* вар. 1 – одновидові насадження міскантусу (контроль), вар. 2 – сумісне вирощування міскантусу з багаторічним люпином, вар. 3 – сумісне вирощування міскантусу з люцерною серповидною, вар. 4 – сумісне вирощування міскантусу з конюшиною червоною.

**Рис. 4.15. Урожайність міскантусу гігантського за сухою біомасою першого-четвертого років вегетації (т/га), 2016-2021 рр.**

Встановлено, що врожайність сухої біомаси міскантусу гігантського залежить від способу вирощування культури та має чіткий тренд до щорічного збільшення. Відмічено зростання цього показника від 6,7 т/га (перший рік), до 18,1 т/га – на четвертий рік (контроль). Сівба бобового компонента в

насадженнях міскантусу суттєво збільшує врожайність його біомаси – від 6,8–7,2 т/га у перший рік, до 18,2–19,5 т/га – на четвертий рік. Вид бобової культури також має вплив на рівень врожайності основної – міскантусу гігантського (рис. 4.14).

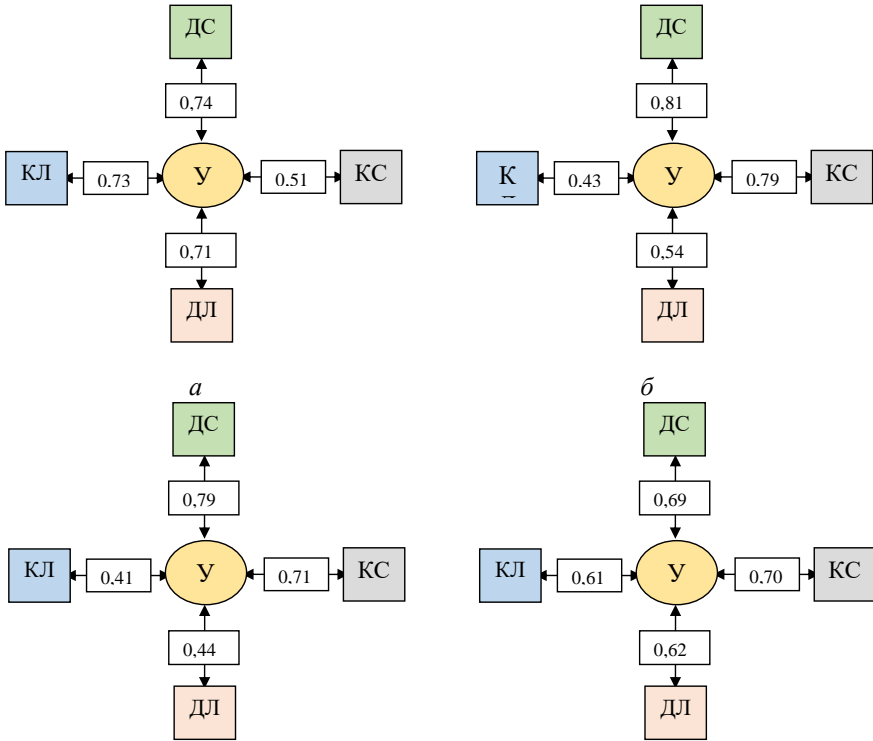


\*Примітка: вар. 1 – одновидові насадження міскантусу (контроль), вар. 2 – сумісне вирощування міскантусу з багаторічним люпином, вар. 3 – сумісне вирощування міскантусу з люцерною серповидною, вар. 4 – сумісне вирощування міскантусу з конюшиною червоною. НР<sub>05</sub> 0,21.

**Рис. 4.14. Урожайність біомаси міскантусу гігантського, у середньому за 2016-2021 рр.**

Найбільшу врожайність сухої біомаси за усі роки дослідження (13,7 т/га) в середньому отримали на варіантах за вирощування міскантусу сумісного з люпином. За сумісного культивування з люцерною цей показник був на рівні 12,9 т/га, з конюшиною 13,1 т/га, на контролі – 12,6 т/га.

Графічне відображення кореляційно-регресійного аналізу між кількісними показниками рослин та врожайністю біомаси міскантусу гігантського наведено на рис. 4.15.



\*Примітка: У – урожайність біомаси, (т/га); ДС – довжина стебла, (см); КС – кількість стебел (шт/рослину); ДЛ – довжина листка (см); КЛ – кількість листків (шт/рослину)

**Рис. 4.15. Залежність між кількісними показниками рослин і врожайністю сухої біомаси міскантусу за різних варіантів вирощування:**

- а – однорядові насадження міскантусу (контроль),
- б – сумісне вирощування міскантусу з люпином багаторічний,
- в – сумісне вирощування міскантусу з люцерною серповидною,
- г – сумісне вирощування міскантусу з конюшиною червоною.

Отже встановлено наступну залежність для міскантусу гігантського: довжина та кількість стебел на рослині мають сильний вплив на врожайність біомаси за сильного коефіцієнта кореляції ( $r > 0,7$ ). Середньою мірою на врожайність має довжина листків ( $r = 0,44...0,62$ ) а також їх кількість на одній рослині ( $r = 0,41...0,61$ ),

## **4.5. Вплив біологізації технології вирощування міскантусу гігантського на врожайність біомаси**

З метою визначення способів збільшення врожаю біомаси міскантусу гігантського (з урахуванням мінерального, мікробіологічного та біологічного живлення рослин) у виробничих умовах центр. частини Лісостепу здійснено відповідні дослідження.

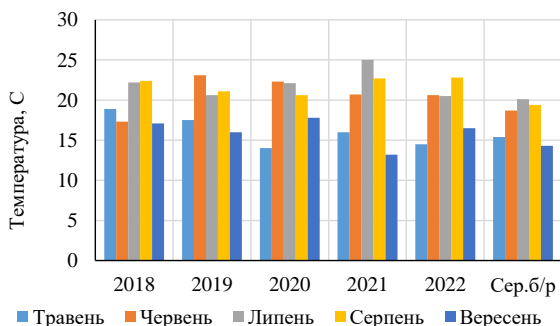
З урахуванням мети дослідження на вивчення поставлені такі завдання:

1. Виявити зв'язок між врожайністю біомаси міскантусу гігантського та способу живлення рослин у фітоценозі.
2. Обґрунтувати рівень врожайності за сухою біомасою та вплив на цей показник умісту вологи рослинній сировині міскантусу гігантського.
3. Визначити комплексний вплив досліджуваних чинників на врожайність біомаси міскантусу гігантського.

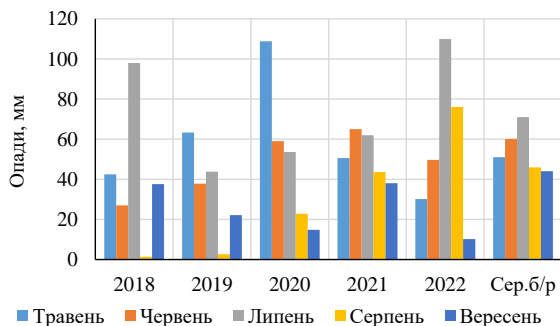
Дослідження здійснювалися впродовж 2018–2022 років. Польові експерименти провели у виробничих умовах відповідно загальноприйнятої методики дослідної справи в агрономії [56].

За вирощування міскантусу гігантського було дотримано усі агротехнологічні операції. В осінній період здійснено обробіток ґрунту по типу напівпару, навесні – закриття вологи і передсадильна культивування. Різими висаджували в ґрунт при настанні сприятливих погодних умов. Догляд за рослинами – прополювання у міру з'явлення бур'янів. Збирали біомасу по завершенню вегетації рослин міскантусу гігантського.

Погодні умови відрізнялися від середньо-багаторічних даних протягом років досліджень та в розрізі місяців. Відмічали температурні коливання та мінливість кількості опадів в різні періоди росту й розвитку рослин міскантусу гігантського (рис. 4.16).



а



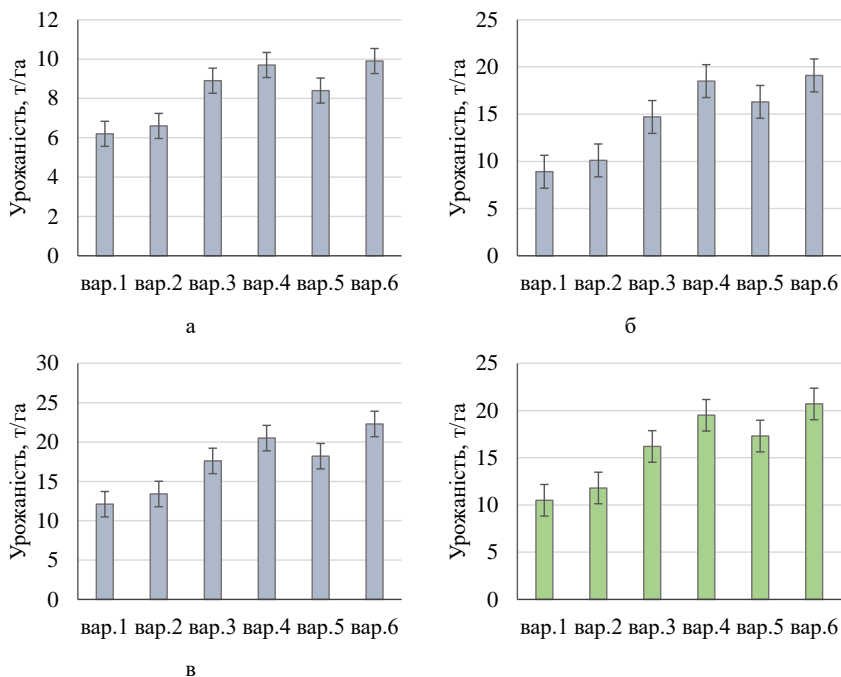
б

**Рис. 4.16. Температура повітря (а) та кількість опадів (б) за вегетаційний період міскантусу гігантського, 2018-2022 рр.**

Дослідження в польових умовах проведено відповідно до методичних наукових рекомендацій [57, 58]. Варіанти в межах чотирьох повторень розміщували рендомізованим методом. Досліджувані варіанти поєднували: вар. 1 (контроль) – без прополювання бур'янів, без удобрення; вар. 2 – прополювання бур'янів, без удобрення; вар. 3 – внесення мінеральних добрив у підживленні; вар. 4 – вирощування міскантусу гігантського з люпином; вар. 5 – позакоренева обробка мікоризним препаратом (Мікофренд); вар. 6 – вирощування міскантусу гігантського з люпином та позакоренева обробка мікоризним препаратом (Мікофренд).

Урожай біомаси визначали з урахуванням вологості рослинної сировини [59]. Отримані результати досліджень оброблено в Statistica 6.0 [60].

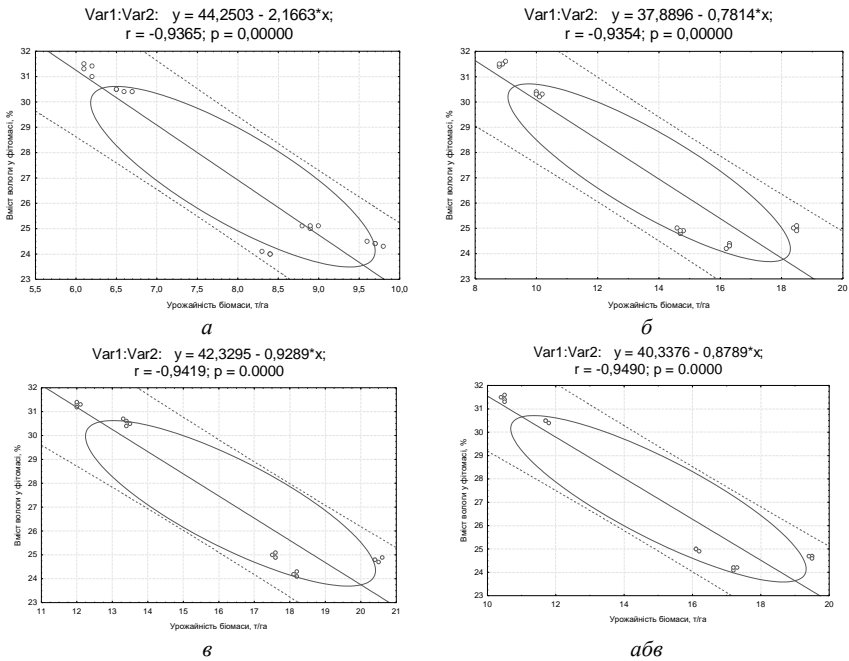
За результатами досліджень встановлено, що врожайність сухої біомаси міскантусу гігантського змінювалася за роками та варіантами експерименту (рим. 4.17).



**Рис. 4.17. Вплив різних фонів живлення рослин на врожайність біомаси міскантусу гігантського: а – перший рік, б – другий рік, в – третій рік, абв – середнє за роки, 2018-2022 рр.**

У перший рік вегетації врожайність була в межах від 6,2 до 9,9 т/га, на другий – від 8,9 до 19,1 на третій – від 12,4 до 22,3 т/га. В усі роки проведення експерименту доказово вищий рівень врожаю міскантусу був за вирощування з люпином і внесення мікробіологічного препарату (19,1-22,3 т/га). Лише тільки мінеральне підживлення фітоценозів суттєво не збільшувало врожай порівняно із контролем.

Вміст вологи у фітомасі міскантусу гігантського на час збирання врожаю має значний вплив на вихід сухої біомаси (рис. 4.18).

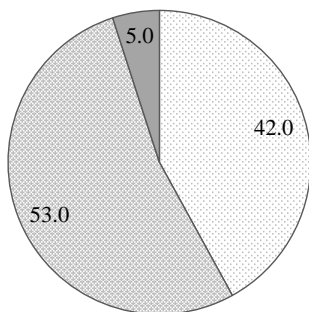


Примітка: а – 1 рік вегетації, б – 2 рік вегетації, в – 3 рік вегетації, абв – за три роки.

**Рис. 4.18. Залежності між умістом вологи та врожайністю біомаси міскантусу гігантського, 2018-2022 рр.**

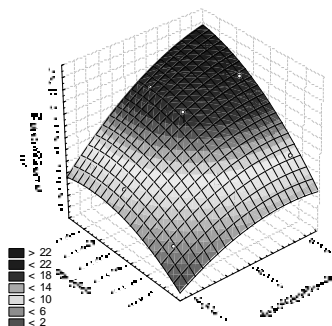
Визначено сильний кореляційний зв'язок ( $r = 0,95$ ) за рівняння регресії:  $y = 40,34 - 0,88 \times x$  між умістом вологи та врожайністю біомаси міскантусу гігантського. Тобто із збільшенням одного показника – буде зростати інший, та навпаки.

Згідно багатомірного зв'язку визначено ефективність біологічного, порівняно із мінеральним підживлення насаджень міскантусу. Він описується наступним рівнянням регресії  $Z = -612,8814 + 4,5292 \times x + 1,5874 \times y$  (рис. 4.196).



□ рік    ▨ варіанти    ■ взаємодія

*a*



*b*

**Рис. 4.19. Вплив досліджуваних факторів на врожайність біомаси міскантусу гігантського, середнє за 2018-2022 рр.**

Отже, ми підтвердили гіпотезу, що негативний вплив погодних умов вегетації міскантусу гігантського можливо частково нівелювати застосуванням сумісних насаджень з бобовими культурами та весняного підживлення рослин.

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4

1. Площа живлення рослин міскантусу гігантського має значний вплив на відсоток тих ризом, що прижилися та дали початок росту новим пагонам. Встановлено, що схема висаджування садивного матеріалу  $45 \times 45$  см мали вплив на показники за приживлюваністю (96,0 %), а на найбільші вихід ризом (32,0 шт./рослину) та їх вага (17,1 г) – за схеми висаджування  $75 \times 75$  см

2. Для отримання значного обсягу біомаси з одиниці площі рекомендовано вирощувати міскантус гігантський за схеми висаджування  $60 \times 60$  см і  $75 \times 75$  см – в межах 18,9–18,4 т/га, що відповідає площі живлення рослини 0,36 до 0,56 м<sup>2</sup> відповідно.

3. На зростання кількісних показників рослин міскантусу гігантського суттєвий вплив має спосіб вирощування. Обґрунтовано, що сумісне вирощуванні міскантусу з бобовими культура (люпин, люцерна, конюшина) впливає як на біометричні показники, так і на врожайність енергокультури. Що підтверджено кореляційними зв'язками. Найбільше значення цих показників та врожайності біомаси зафіксовано на варіантах сумісного з люпином багаторічним (13,7 т/га), дещо менше, але на високому рівні – з люцерною (12,9 т/га) та конюшиною (13,1т/га).

4. Більш суттєве зростання врожаю міскантусу гігантського відмічена за вирощування його з люпином та використання Мікофренд (доза 0,2 л/га) для підживлення насаджень. При цьому врожайність біомаси сягає на рівні або більше 20,0 т/га).

5. Застосування весняного підживлення рослин міскантусу дозволяє частково нівелювати вплив погодних умов вегетаційного періоду та збільшити продуктивність культури. Вміст вологи у надземній вегетативній масі також має суттєвий вплив на врожайність біомаси.

#### Література до розділу 4

1. Роїк М. В., Сінченко В. М., Пиркін В. І. et al. Міскантус в Україні: монографія. Київ: ФОП Ямчинський О. В. 2019. 256 с.
2. Kalinichenko A., Kalinichenko O., Kulyk M. (2017). Assessment of available potential of agrobiomass and energy crops phytomass for biofuel production in Ukraine. In: I. Pietkun-Greber, P. Ratusznego, red. *Odnawialne źródła energii: teoria i praktyka: Monograph*, Opole, Kijów, том II, с. 163–179.
3. Maroš Korenko, Volodymyr Bulgakov, Vasyl Kurylo, Maksym Kulyk, Alexander Kalinichanko, Yevhen Ihnatiev, Eva Matušeková (2021). Formation of Crop Yields of Energy Crops Depending on the Soil and Weather Conditions. *Acta Technologica Agriculturae*, 24 (1) : 41–47. DOI: <https://doi.org/10.2478/ata-2021-0007>
4. Tian S., Cacho J. F., Youssef M. A., Chescheir G. M., Fischer M., Nettles J. E., King, J. S. Switchgrass growth and pine–switchgrass interactions in established intercropping systems. *GCB Bioenergy*, 2017. Vol. 9. P. 845–857. doi.org/10.1111/ gcb.12381
5. Mehmooda M., Ibrahim M., Rashid U., Nawaz M., Alib S., Hussaina A., Gulle M. Biomass production for bioenergy using marginal lands. *Sustainable Production and Consumption*. 2017. Vol. 9. P. 3–21. doi.org/10.1016/j.spc.2016.08.003
6. Kurylo V. L., Roik M. V., Hanzhenko O. M. Bioenergy in Ukraine: status and prospects for development. *Bioenerhetyka*, 2013. Vol. 1. P. 5–10.
7. McLaughlin S. B., Walsh M. E. (1998) Evaluating environmental consequences of producing herbaceous crops for bioenergy. *Biomass and Bioenergy*, 14: 317–324.
8. Демин Д., Зудиков А., Кулик М. В. в поисках энергии. Новая технология выращивания мискантуса. *Зерно: Всеукраинский журнал современного агропромышленника*. 2017. № 2. С. 96–99.
9. Кулик М. І., Курило В. Л. Енергетичні культури для виробництва біопалива: довідник. Полтава: РВВ ПДАА, 2017. 74 с.

10. 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 «Астрія», 2019. 128 с.

11. Кулик М. І., Падалка В. В. Розвиток біоенергетики на основі рослинного енергетичного ресурсу (на прикладі Полтавської області). *Управління стратегіями випереджаючого інноваційного розвитку : монографія* / за ред. к.е.н., доцента Н. С. Ілляшенко. Суми: Триторія, 2020. С. 109–118.

12. Tryboi Aleksandra V. Efficient biomass value chains for heat production from energy crops in Ukraine. *ENERGETIKA*. 2018. Т. 64. Vol. 2: 84–92. DOI: <https://doi.org/10.6001/energetika.v64i2.3782>

13. Дековець В. О., Кулик М. І. Екологічні особливості та агрозаходи вирощування біомаси міскантусу гігантського для забезпечення енергоефективності сільських територій. *Енергоефективність і енергонезалежність сільських територій: передумови формування та функціонування : колективна монографія* ; за ред. Т. О. Чайки, І. О. Яснолоб, О. О. Горба. Полтава : Видавництво ПП «Астрія», 2020. С. 102–115.

14. Kulyk Maksym, Kalinichenko Aleksandr, Dekovetz Vitalii. Efficiency of energy crops cultivation for business development in Ukraine. *Organization and management in the services' sphere on selected examples* / Editors: Tetyana Nestorenko, Tadeusz Pokusa. Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole, 2020: 36–45. ISBN 978-83-66567-02-3. [http://pedagogika.wszia.opole.pl/ebook/3\\_2020.pdf](http://pedagogika.wszia.opole.pl/ebook/3_2020.pdf)

15. Kulyk Maksym, Dekovets Vitaly, Rozhko Ilona, Demin Dmitry, Onoprienko Alexander. The role of innovations in the development and management during the optimization of cultivation technologies of industrial crops in the post-coronavirus world. *The role of information and technology in the construction of the post-coronavirus world* : Monograph / Edited by Magdalena Gawron-Lapuszek, Andrii Karpenko. Katowicach (Polska): Publishing House of Katowice School of Technology, 2020: 173–185. ISBN 978-83-957298-5-0

16. Кулик М. І. Енергетичні культури: навчальний посібник. Полтава : Астроя, 2016. 154 с.
17. Costanza J. K., Abt R. C., Mckerrow A. J., Collazo J. A. Bioenergy production and forest landscape change in the southeastern United States. *GCB Bioenergy*, 2017. Vol. 9. P. 924–939. doi.org/10.1111/gcbb.12386
18. Курило В. Л., Рахметов Д. Б., Кулик М. І. Біологічні особливості та потенціал урожайності енергетичних культур родини тонконогових в умовах України. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. Вип. 1 (88), 2018. С. 11–17. DOI 10.31210/visnyk2018.01.01
19. Chramiec-Głabik A., Grabowska-Joachimiak A., Sliwinska E., Legutko J., Kula A. Cytogenetic analysis of *Miscanthus × giganteus* and its parent forms. *Caryologia*, 2012. Vol. 65, no. 3. P. 234–242.
20. Інтернет джерело: Інформаційно-довідкова система «Сорт». *Режим доступу*: <http://sort.sops.gov.ua/search/search>
21. Kulyk M., Galytska M., Samoylik M., Zhornyk I. Phytoremediation aspects of energy crops use in Ukraine. *Agrology*, 2019. Vol. 1, no. 4. P. 373–381. <http://dspace.pdaa.edu.ua:8080/handle/123456789/4157>
22. Samson R., Mani S., Boddey R., Sokhansanj S., Quesada D., Urquiaga S. The potential of C4 perennial grasses for developing a global BIOHEAT industry. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2005. Vol. 24. P. 461–495. doi.org/10.1080/07352680500316508
23. Kalinichenko A., Kalinichenko O., Kulyk M. 2017. Assessment of available potential of agro-biomass and energy crops phytomass for biofuel production in Ukraine. *Odnawialne źródła energii: teoria i praktyka. Monograph / pod red. I. Pietkun-Greber, P. Ratusznego, Uniwersytet Opolski: Opole, Kijów, Tom II: 163–179. DOI: <http://dspace.pdaa.edu.ua:8080/handle/123456789/343>*.
24. Кулик М. Однажды посеяв, многократно соберем. *Зерно: Всеукраинский журнал современного агропромышленника*. 2014. № 3. С. 99–102.

25. Lewandowski I., Clifton-Brown J., Trindade L.M., Van Der Linden G.C., Schwarz K.U., Müller-Sämann K., Anisimov A., Chen C.L., Dolstra O., Donnison I.S., et al. Progress on optimizing miscanthus biomass production for the european bioeconomy: Results of the EU FP7 project OPTIMISC. *Front. Plant Sci.* 2016. 7 : 1–23. doi: 10.3389/fpls.2016.01620.
26. Поїк М. В., Ганженко О. М., Тимошук В. Л. Концепція виробництва твердого біопалива з біоенергетичних рослин в Україні. *Біоенергетика*. 2015. Вип. 1. С. 5–8.
27. Kasper van der Cruijssen, Mohamad Al Hassan, Gijs van Erven, Oene Dolstra, and Luisa M. Trindade. Breeding Targets to Improve Biomass Quality in Miscanthus. *Molecules*. 2021 Jan; 26 (2): 254. doi: [10.3390/molecules26020254](https://doi.org/10.3390/molecules26020254)
28. Курило В. Л., Кулик М. І., Калініченко О. В. Енергетичні культури : підручник. Полтава: ПП “Астрія”, 2019. 320 с.
29. Рахметов Д.Б., Каленська С.М., Федорчук М.І., Рахметов С.Д., Коковіхін С.В., Федорчук Є.М., Федорчук В.Г., Поливода О.М. Методичні рекомендації з оптимізації технології вирощування міскантусу в різних ґрунтово-кліматичних зонах України. Херсон. 2017. 23 с.
30. Інтернет-джерело. Planting and Growing Miscanthus [Електронний ресурс].2007. *Режим доступу*: <http://defra.gov.uk>.
31. Щербакова Т. О., Рахметов Д. Б. Морфологічні особливості монокарпічних видів *Miscanthus Anderss.* у зв’язку з інтродукцією в Лісостепу та Поліссі України. *Інтродукція рослин*. 2014. Вип. № 2 (62). С.3–9.
32. Kulyk Maksym, Shokalo Natalia, Dinets Olha. Morphometric indices of plants, biological peculiarities and productivity of industrial energy crops. *Development of modern science: the experience of European countries and prospects for Ukraine: monograph* / edited by authors. 3rd ed. Riga, Latvia: «Baltija Publishing», 2019: 411–431. URL: <https://doi.org/10.30525/978-9934-571-78-7>
33. Гументик М. Я., Квак В. М., Замойський О. І., та ін. (2015) Вплив елементів механізованої технології вирощування на продуктивність біомаси

міскантусу. *Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету*. Вип. 4, С. 50–54.

34. Гументик М. Я. (2019) Особливості технології змішаного вирощування біоенергетичних злакових культур для виробництва біопалива. *Біоенергетика*. вип. 1(13), С. 16–18.

35. Taranenکو A., Kulyk M., Galytska M., Taranenکو S. (2019) Effect of cultivation technology on switchgrass (*Panicum virgatum* L.) productivity in marginal lands in Ukraine. *Acta Agrobot*, 72 (3), pp. 1786. DOI: <https://doi.org/10.5586/aa.1786>

36. Дековець В. О., Кулик М. І., Галицька М. А. Біологізація технології вирощування міскантусу гігантського на біопаливо. *Аграрні інновації*. 2021. Вип. 10. С. 23-28. DOI <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2021.10.4>

37. Галицька М. А., Писаренко П. В., Кулик М. І. Гуміфікаційно-мінералізаційні процеси як показник акумуляції карбону в ґрунтах. *Таврійський науковий вісник*. Херсон, 2018. Вип. № 102. С. 130–136.

38. Харитонов М. М., Бабенко М. Г. (2018) Придатність різних едафічних конструкцій моделей техноземів для вирощування *Miscanthus × giganteus*. Рациональне використання ресурсів в умовах екологічно стабільних територій : *колективна монографія* / за ред. П.В. Писаренка, Т.О. Чайки, І.О. Яснолоб. П. : ТОВ НВП «Укрпромторгсервіс», С. 106–113.

39. Baptiste Giroux (2020). Bioenergy feedstock production on abandoned agricultural land in Europe: A spatially explicit life cycle analysis. Norwegian University of Science and Technology Faculty of Engineering. Department of Energy and Process Engineering. P. 45.

40. Kulyk Maksym, Kalinichenko Oleksandr, Dekovetz Vitalii. (2020). Efficiency of energy crops cultivation for business development in Ukraine. *Organization and management in the services' sphere on selected examples* / Editors: Tetyana Nestorenko, Tadeusz Pokusa. Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole, 2020. P. 36–45. ISBN 978-83-66567-02-3. [http://pedagogika.wszia.opole.pl/ebook/3\\_2020.pdf](http://pedagogika.wszia.opole.pl/ebook/3_2020.pdf)

41. Macák M., Nozdrovický L., Hussein A. Effect of preheating and different moisture content of input materials on durability of pellets made from different phytomass content. *Acta Technologica Agriculturae*, 2015. Vol. 18. P. 22–27.

42. Baxter X. C., Darvell L. I., Jones J. M., Barraclough T., Yates N. E., Shield I. Miscanthus combustion properties and variations with Miscanthus agronomy. *Fue.* 2014. Vol. 117, part A. P. 851–869. doi.org/10.1016/j.fuel.2013.09.003

43. Романчук Л. Д., Зінченко В. О., Василюк Т. П. Особливості вирощування енергетичних культур в умовах Полісся України: з кн. *Перспективи розвитку альтернативної енергетики на Поліссі України* / відп. ред. О. В. Скидан. К.: Центр учбової літератури, 2014. С. 81–111.

44. Кулик М. І., Сиплива Н. О., Рожко І. І. Урожайність та ефективність виробництва біомаси енергетичних культур залежно від елементів технології вирощування. *Таврійський науковий вісник*. Вип. 104, 2019. С. 148–159. URI: <http://dspace.pdaa.edu.ua:8080/handle/123456789/8607>

45. Димитров С. Г., Саблук В. Т. Зростання накопичення сухої біомаси злакових біоенергетичних культур за мікоризації їх кореневої системи. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Агрономія і біологія»*, 2021. Випуск 4 (46), С. 3–8.

46. Шувар А. М., Рудацька Н. М., Беген Л. Л. Особливості формування елементів структури сумішок зернових і зернобобових культур. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2021. Вип. 69 (2). С. 108–122. DOI: 10.32636/01308521.2021-(69)-2-7

47. Голодна А. В., Олійник К. М. Формування продуктивності люпину вузьколистого і пшениці ярої за сумісного вирощування. *Корми і кормовиробництво*. 2016. Вип. 82. С. 142–148.

48. Дековец Віталій, Кулик Максим, Сипливая Наталия. Особенности формирования урожайности биомассы мискантуса гигантского при совместном выращивании с бобовыми культурами. *Stinta Agricola*. Vol. 2 (2021). С. 71–78. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.5834616>

49. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) Б. А. Доспехов. Изд. 5-е, перераб. и доп. М. : Агропромиздат, 1985. 351 с.

50. Єщенко В. О. Основи наукових досліджень в агрономії В. О. Єщенко П. Г. Копитко, В. П. Опришко, та ін. Київ: Дія, 2005. 288 с.

51. Рахметов Д. Б., Каленська С. М., Федорчук М. І., та ін. Методичні рекомендації з оптимізації технології вирощування міскантусу в різних ґрунтово-кліматичних зонах України. Херсон. Видавничий центр «Колос» ДВНЗ «Херсонський державний аграрний університет», 2017. 23 с.

52. Курило В. Л., Ганженко О. М., Гументик М. Я., Квак В. М., Замойський О. І., Зиков П. Ю. Методичні рекомендації з проведення передсадильного обробітку ґрунту і садіння ризомів міскантусу. ІБКіЦБ НААН. К. 2012. 15 с

53. Курило В. Л., Ганженко О. М., Гументик М. Я., Квак В. М., Зиков П. Ю., Фучило Я. Д., Хіврич О. Б., Гончарук Г. С., Смірних В. М., Горобець А. М., Дубовий Ю. П., Замойський О. І. Методичні рекомендації з технології вирощування і перероблення міскантусу гігантського. Київ : Компринт, 2016. 40 с.

54. Хіврич О. Б. Ганженко О. М., Квак В. М., Гументик М. Я., Фучило Я. Д., Цвигун Г. В. Методичні рекомендації з використання технічних засобів під час вирощування міскантусу гігантського. Київ, 2021. 25 с.

55. Зінченко В. О., Роїк М. В., Рахметов Д. Б., Гонтаренко С. М., Курило В. Л., Гументик М. Я., Ганженко О. М., Квак В. М. Методика проведення експертизи сортів міскантусу гігантського (*Miscanthus × giganteus* J.M. Greef & Deuter ex Hodkinson & Renvoize) на відмінність, однорідність і стабільність., УІЕСР. 2012. 16 с.

56. Рожков А. О., Пузік В. К., Каленська С. М. та ін. Дослідна справа в агрономії: навч. посіб.: у 2 кн. *Кн. 1. Теоретичні аспекти дослідної справи* ; за ред. А. О. Рожкова. Харків: Майдан, 2016. 316 с.

57. Хіврич О. Б., Ганженко О. М., Квак В. М., Гументик М. Я., Фучило Я. Д., Цвигун Г. В. Методичні рекомендації з використання технічних засобів під час вирощування міскантусу гігантського. Київ, 2021. 25 с.

57. Курило В. Л., Ганженко О. М., Гументик М. Я. та ін. Методичні рекомендації з технології вирощування і перероблення міскантусу гігантського. Київ: Компринт, 2016. 40 с.

59. Kulyk M. I., Rakhmetov D. B., Kurylo V. L. Methodology of conducting field and laboratory researches with switchgrass (*Panicum virgatum* L.). Poltava, 2017. 24 p. URI: <http://dspace.pdaa.edu.ua:8080/handle/123456789/7586>

60. Рожков А. О., Пузік В. К., Каленська С. М. та ін. Дослідна справа в агрономії: навч. посіб.: у 2 кн. – Кн. 2. *Статистична обробка результатів досліджень*; за ред. А. О. Рожкова. Харків: Майдан, 2016. 352 с.

## 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°С 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. Рoste 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-блуестему та Індіанграсу [10]. Базуючись на цих дослідях, можна припустити доцільність інтродукування біг-блуестему (поряд з світчграсом) в Степовій та Лісостеповій зонах України.

З метою визначення генетичного та екологічного впливу рівня опадів, п'ять екотипів біг-блуестему і сенд-блуестему [*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-блуестему 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-блуестему 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-блуестему (*Andropogon gerardii* Vitman) та сенд-блуестему (*Andropogon gerardii* var. *paucipilus* (Nash) Fern.). Для цього біг-блуестем

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)

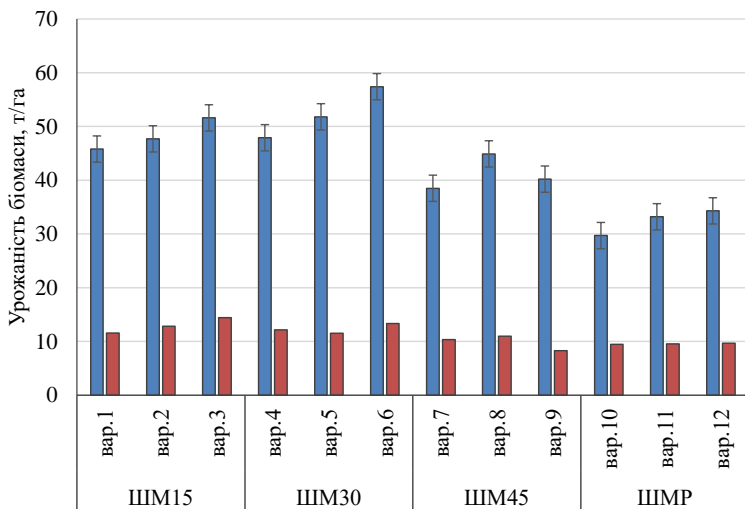
б)

**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.

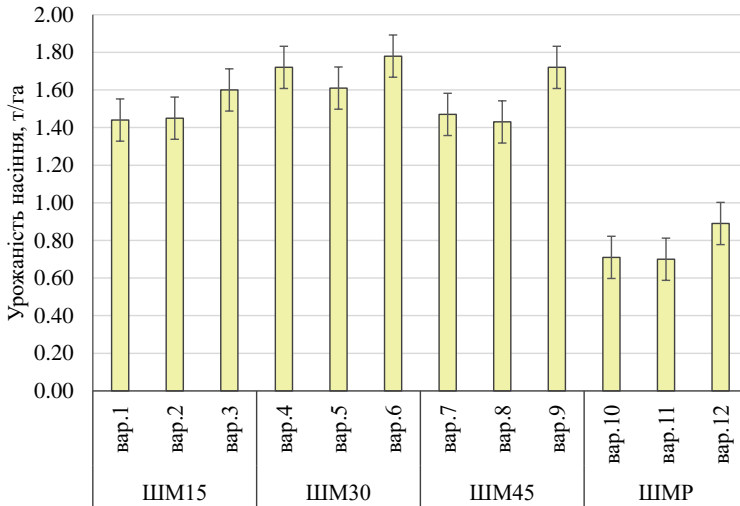
Трава Колумба, як всі соргові культури на початкових етапах (від сівби до кущення) розвивається досить повільно, що має вплив на врожайність за наявності забур'яненості насаджень. Не зважаючи на інтенсивний ріст сорго, у порівнянні зі злаковим різнотрав'ям бур'янів, при значній засміченості ділянок,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

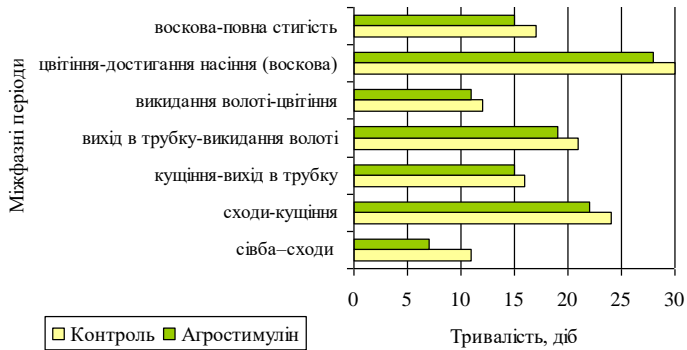
У зв'язку з чим, з метою визначення впливу варіантів застосування препарату “Агростимулін”, як елементу технології вирощування на врожайність насіння сортів сорго багаторічного ми провели дослідження.

*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.

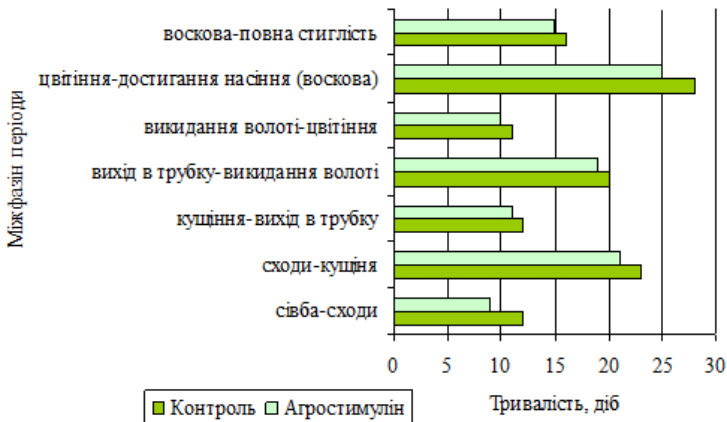
Під час проведення експерименту були застосовані як загальнонаукові методи, так і спеціальні методи. До останніх відносимо: лабораторний – визначення мінливості кількісних показників рослин (структурний аналіз елементів продуктивності). Польовий метод передбачав визначення взаємодії предмету з об'єктом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



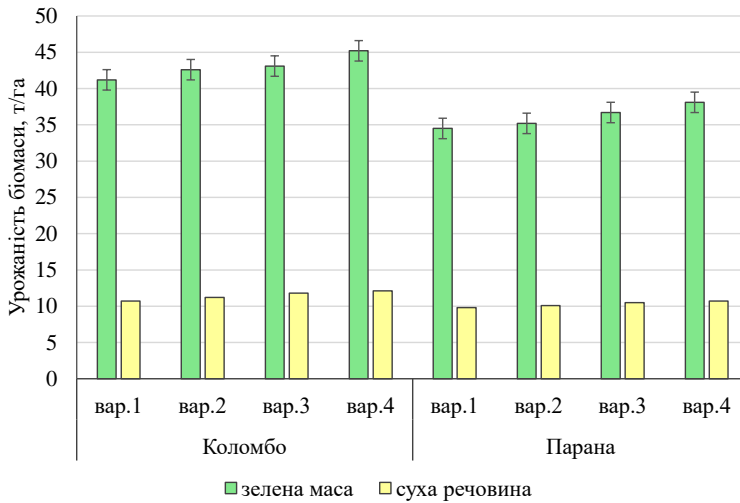
**Рис. 5.7. Тривалість міжфазних періодів сорго багаторічного сорту Парана, середнє за 2018-2020 рр.**

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).

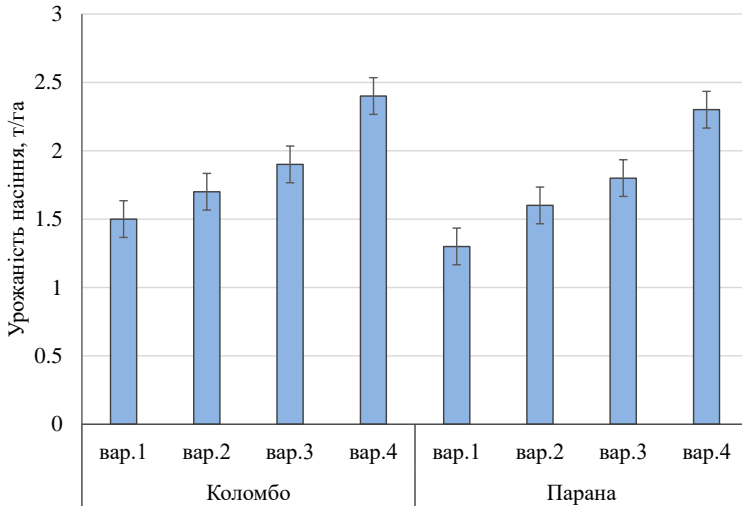


*Примітка:* варіант 1 – контроль, варіант 2 – допосівна обробка насіння препаратом Агростимулін, варіант 3 – позакоренева обробка посівів препаратом Агростимулін, варіант 4 – допосівна обробка насіння та посівів препаратом Агростимулін.

**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 мас 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 енергоємності 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.

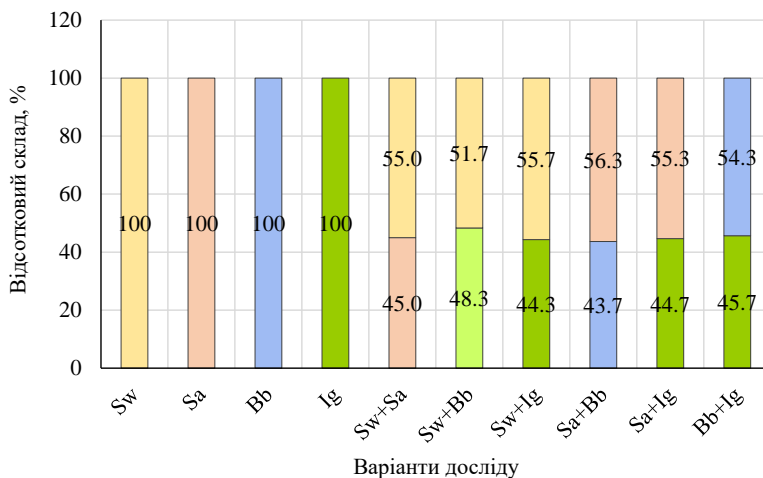
Варіанти досліду поєднували: Sw – одновидові посіви світчграсу (варіант 1, контроль), Sa – одновидові посіви сорго багаторічного (варіант 2, ум. контроль), Bb – одновидові посіви Біг-блуестему (варіант 3, ум. контроль), Ig – одновидові посіви індіанграсу (варіант 4, контроль), Sw+Sa – сумісні посіви 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:*

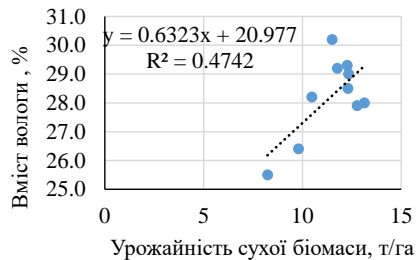
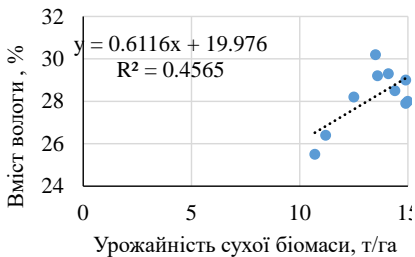
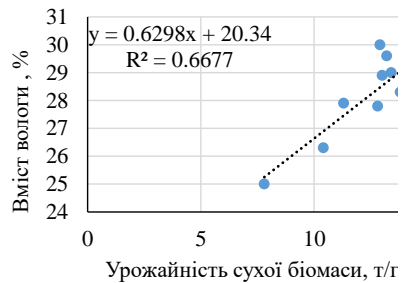
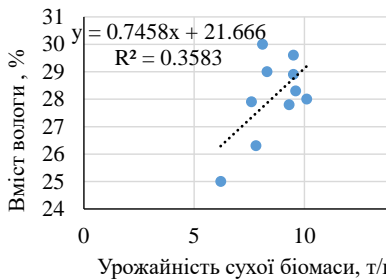
- Sw – одновидові посіви світчграсу (варіант 1, контроль),
- Sa – одновидові посіви сорго багаторічного (варіант 2, ум. контроль),
- Bb – одновидові посіви Біг-блюестему (варіант 3, ум. контроль),
- Ig – одновидові посіви індіанграсу (варіант 4, ум. контроль),
- Sw+Sa – сумісні посіви світчграсу та сорго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

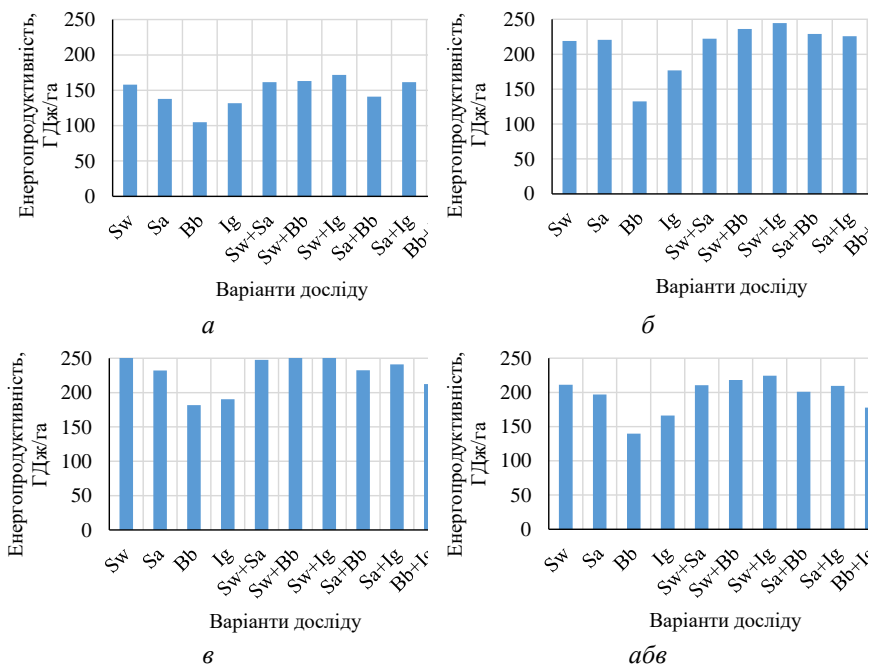


*Примітка:* а – перший рік дослідження, б – другий рік дослідження, в – третій рік дослідження, абв – за три роки дослідження.

**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 варіантів 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 inVt<sub>ro</sub> 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. Залишають 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](https://www.researchgate.net/publication/267262509)
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.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Визначено, що біологічні особливості енергетичних культур відповідають умовам вирощування різних ґрунтово-кліматичних зон України. Наявні зареєстровані сортові ресурси енергорослин: 26 видів деревних та 32 – трав'янистих культур, що різняться за господарсько-цінними ознаками. Адаптивність рослин, їх багаторічність та невибагливість до умов агротехнології вирощування, з урахуванням високої врожайності енергетичних культур, обумовлює використання їх біомаси як сировини для виробництва різних біопалив. При цьому забезпечується сталість щорічного надходження біомаси, можливість отримання продуктів із доданою вартістю, дотримання екологічних складових за збалансованого природокористування та захисту довкілля.

2. З-поміж енергокультур для виробництва рідких й твердих біопалив однією із перспективних рослин є сорго цукрове. Обґрунтовано, що найбільшу врожайність надземної вегетативної маси за сухим залишком формують сорти 'Гулівер' (15,4 т/га) і 'Зубр' (12,5 т/га). На продуктивність сортів суттєвий вплив має висота та густина стеблостою. Оптимальні значення цих біометричних показників для агрофітоценозу сорго цукрового забезпечується: строком сівби, нормою висіву насіння та шириною міжряддя.


3. Встановлено, що сортові властивості проса прутоподібного, поряд із погодними умовами впливають на: тривалість вегетаційного періоду, показники зимо- і посухостійкості, стійкості рослин до хвороб і шкідників. Різні сорти проса прутоподібного формують неоднакову врожайність біомаси (в межах – від 12,1 до 15,6 т/га) та насіння (від 0,29 до 0,76 т/га). Сорти української селекції ('Морозко', 'Зоряне' і 'Лядовське'), поряд із зарубіжними ('Blackwell', 'Carthage' і 'Pathfinder') в умовах України забезпечують високу врожайність біомаси й насіння. Погодні умови та агротехнологія вирощування культури має значний вплив на ці показники.


4. Площа живлення рослин міскантусу гігантського має істотний вплив на: вихід садивного матеріалу (найбільш оптимальна – це  $45 \times 45$  см) та врожайність за сухою біомасою ( $75 \times 75$  см). Для зменшення впливу на довкілля рекомендовано сумісне вирощування міскантусу разом з бобовими культурами на одній площі. При цьому спостерігається збільшення врожайності біомаси (до 14,0 т/га), що також залежить і від кількісних показників рослин. Вищий рівень врожаю міскантусу гігантського за сухою масою (до 20,0 т/га) можливо досягти за сумісного вирощування злюпином та щорічного весняного підживлення нергоплантацій мікоризним препаратом Мікофренд.


5. Вирощування на маргінальних землях малопоширених енергетичних культур (*Indiangrass*, *Andropogon gerardii* Vitman., *Sorghastrum nutans* L.) дозволяє додатково отримати якісні рослини сировину. Встановлено вплив сумісного вирощування енергокультур на врожайність їхньої надземної вегетативної фітомаси та енергопродуктивності посівів. За обсягом сухої біомаси виокремлено найбільш врожайні травосумішки малопоширених енергетичних культур: світчграс та індіанграс (13,1 т/га), світчграс та біг-блюестем (12,8 т/га), індіанграс та біг-блюестем (12,5 т/га). Ці ж варіанти сумісних посівів енергокультур забезпечили й високу енергопродуктивність – від 217,6 до 224,0 ГДж/га.


6. Рекомендовано подальше вивчення світчграсу, сорго цукрового й багаторічного, індіанграсу і біг-блюестему при інтродукції: а) визначення впливу підживлення на врожайність біомаси й насіння; б) визначення насіннєвої продуктивності й термінів збору насіння в умовах Лісостепу й Степу України; в) визначення впливу елементів технології на врожайність біомаси; г) особливості виробництва біосировини енергетичних культур.


## Відомості про авторів

**Кулик Максим Іванович** – доктор сільськогосподарських наук, професор, професор кафедри селекції, насінництва і генетики Полтавського державного аграрного університету, ORCID  [0000-0003-0394-5846](https://orcid.org/0000-0003-0394-5846) м. Полтава. *e-mail*: maksym.kulyk@pdaa.edu.ua

**Попова Оксана Павлівна** – здобувач вищої освіти ступеня доктор філософії кафедри селекції, насінництва і генетики Полтавського державного аграрного університету, ORCID  [0000-0001-6285-654X](https://orcid.org/0000-0001-6285-654X) м. Полтава. *e-mail*: oks27071994@gmail.com

**Рожко Ілона Іванівна** – доктор філософії, старший викладач кафедри селекції, насінництва і генетики Полтавського державного аграрного університету, ORCID  [0000-0002-0646-4004](https://orcid.org/0000-0002-0646-4004) м. Полтава. *e-mail*: ilona.rozhko@pdaa.edu.ua

**Дековець Віталій Олександрович** – здобувач вищої освіти ступеня доктор філософії кафедри селекції, насінництва і генетики Полтавського державного аграрного університету, ORCID  [0000-0003-3537-5016](https://orcid.org/0000-0003-3537-5016) м. Полтава. *e-mail*: dekovets1994@i.ua

**Дьомін Дмитро Геннадійович** – здобувач вищої освіти ступеня доктор філософії кафедри селекції, насінництва і генетики Полтавського державного аграрного університету, ORCID  [0000-0003-3537-5016](https://orcid.org/0000-0003-3537-5016) м. Полтава. *e-mail*: dag@ukr.net

Підписано до друку 06.07.2023 р.  
Формат 60x84/16. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman.  
Друк різнографічний. Умовн. друк. арк. 12,8.  
Наклад 100 прим. Замовлення 2023-156

**Видавництво ПП «Астрия»**  
36014, м. Полтава, вул. Шведська, 20, кв. 4  
Тел.: +38 (0532) 509-167, 611-694  
E-mail: [astraya.pl.ua@gmail.com](mailto:astraya.pl.ua@gmail.com), веб-сайт: [astraya.pl.ua](http://astraya.pl.ua)  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 5599 від 19.09.2017 р.

**Друк ПП «Астрия»**  
36014, м. Полтава, вул. Шведська, 20, кв. 4  
Тел.: +38 (0532) 509-167, 611-694  
Дата державної реєстрації та номер запису в ЄДР  
14.12.1999 р. № 1 588 120 0000 010089