

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
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. Загальна характеристика, сортимент, ботаніко-біологічні та екологічні особливості енергетичних культур (Кулик М. І.)	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
Висновки до розділу 1	34
Література до розділу 1	36
РОЗДІЛ 2. Вивчення сорго цукрового для біопаливного напрямку використання (Попова О. П.)	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
Висновки до розділу 2	76
Література до розділу 2	78
РОЗДІЛ 3. Формування врожайності проса прутіподібного залежно від сорту та удосконалення елементів технології вирощування (Рошко І. І.)	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
Висновки до розділу 3	117
Література до розділу 3	119
РОЗДІЛ 4. Екологізація вирощування міскантусу гігантського (Дековець В. О.)	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
Висновки до розділу 4	162
Література до розділу 4	163
РОЗДІЛ 5. Вплив елементів технології вирощування на врожайність малопоширених енергетичних культур (Дьомін Д. Г.)	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
Висновки до розділу 5	210
Література до розділу 5	211
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	218
Відомості про авторів	220

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		Оригігатор	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 проса
прутоподібного**

Просо прутоподібне 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 проса прутоподібного

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 м². Агротехніка в досліді – відповідно до науково-практичних рекомендацій [32–34].

Стійкість рослин проса прутоподібного 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 прутоподібного: 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 прутоподібного 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 прутоподібного 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).

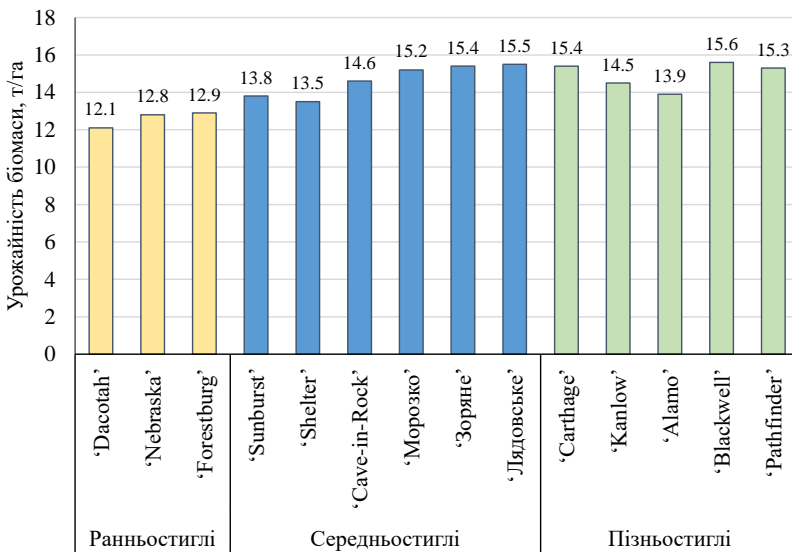


Рис. 3.5. Урожайність за сухою біомасою сортів проса прутоподібного, 2017–2021 рр.

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 прутноподібного, особливо при комплексному впливі агрозаходів вирощування [53].

До біометричних (кількісних) показників проса прутноподібного 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 прутноподібного 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 пряму лінійний 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 сортам проса прутоподібного 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 прутоподібного 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 прутоподібного 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 прутоподібного 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

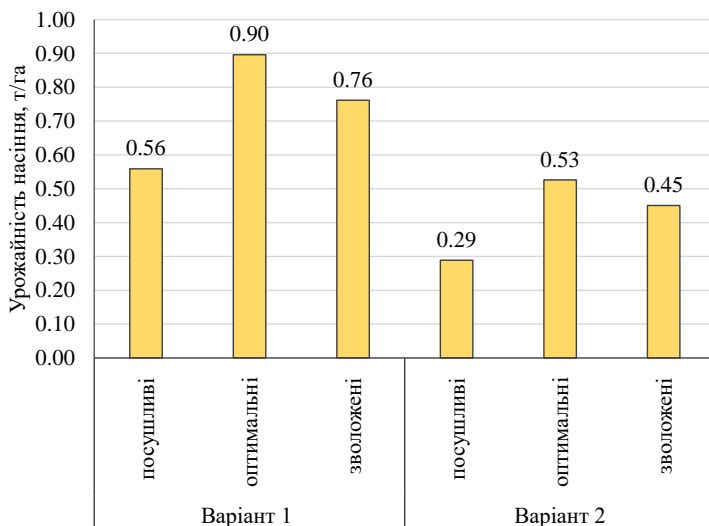
**Урожайність кондиційного насіння проса прутіподібного (т/га)
залежно від умов вирощування, 2012-2016 рр.**

Ґрунтові умови вирощування (фактор А)	Погодні умови вирощування (фактор Б)	Продуктивність насіння, кг/м ²	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 прутіподібного 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 прикоткований 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 ₀₅ (фактор А)	0,02	0,04	0,05	-
НІР ₀₅ (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 ₀₅ (фактор А)	0,07	0,04	0,08	-
НІР ₀₅ (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 ₀₅ (фактор А)	0,06	0,07	0,11	-
НР ₀₅ (фактор Б)	-	-	-	0,07

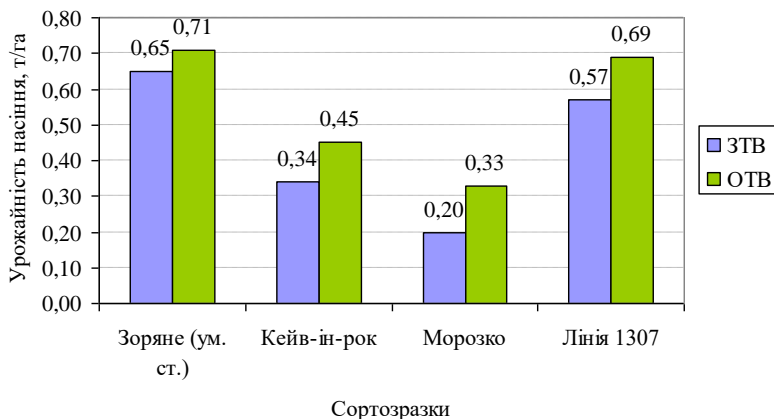
Таблиця 3.7

**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 ₀₅ (фактор А)	0,08	0,07	0,11	-
НР ₀₅ (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: “Аструя”, 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
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
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 прутноподібного (*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

24. Кулик М. І., Рахметов Д. Б., Рожко І. І., Сиплива Н. О. Вихідний матеріал проса прутноподібного (*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.