

# БІОЕНЕРГЕТИКА

BI ENERGY • №1(17), 2021

Журнал виробників біоенергетичних культур та біопалива



#### ОФІЦІЙНИЙ РОЗДІЛ

##### МЕМОРАНДУМ ЗАКРІПИВ СПІВПРАЦЮ НАУКОВЦІВ І УПРАВЛІНЦІВ

Memorandum confirmed cooperation between scientists and managers

4

##### ДЖЕРЕЛА БІОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИРОВИНИ

##### ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ АГРОЛІСОМЕЛІОРАТИВНИХ НАСАДЖЕНЬ УКРАЇНИ В ЕНЕРГЕТИЧНИХ ЦІЛЯХ

РОІК М.В.,  
ФУЧИЛО Я.Д., ГАНЖЕНКО О.М.

Theoretical and applied aspects of the use of agricultural and forest meliorative plantations of Ukraine for energy purposes

5

#### БІОТЕХНОЛОГІЇ

##### УДОСКОНАЛЕНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОЩУВАННЯ НАСІННЯ БУРЯКІВ КОРМОВИХ У ЦЕНТРАЛЬНОМУ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

БАЛАГУРА О. В., БАЛАН В. М.,  
ДОРОНІН В. А., ВОЛОХА М. П.

Advanced technology of growing fodder beet seeds in the Central Forest Steppe of Ukraine

9

#### БІОЕНЕРГЕТИЧНІ КУЛЬТУРИ

##### ВИРОЩУВАННЯ ГІГАНТСЬКОГО МІСКАНТУСУ НА ПОЛІССІ НА РАДІОАКТИВНО ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТАХ

КВАК В.М., ПОТАПЕНКО Л.В.,  
СКАЧОК Л.М., ГОРБАЧЕНКО Н.І.

Growing giant miscanthus in Polissya on radioactively contaminated soils

12

#### НАСІННИЦТВО І БІОЕНЕРГЕТИКА

##### СТРАТИФІКАЦІЯ ЯК СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ СХОЖОСТІ НАСІННЯ ПРОСА ПРУТОПОДІБНОГО (PANICUM VIRGATUM L.)

ДРИГА В.В.

Stratification as a way to increase germination of switchgrass seeds (Panicum virgatum L.)

16

#### МІЖНАРОДНИЙ ДОСВІД

##### ШИРОКИЙ ВПЛИВ ВИЛУЧЕННЯ КУКУРУДЗИННЯ І ПШЕНИЧНОЇ СОЛОМИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОПАЛИВА НА ПРОДУКТИВНІСТЬ КУЛЬТУР, ЗДОРОВ'Я ҐРУНТУ І

##### ВИКИДИ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ – ОГЛЯД

МАРТІН БАТТАЛЬЯ, ВЕЙД ТОМАСОН,  
ДЖОН Х. ФІКЕ, ГРИГОРІЙ К. ЕВАНІЛО,  
МОРИЦ ФОН КОССЕЛЬ, ЕМРЕ БАБУР,  
ЯСІР ІКБАЛ, АНДРЕ А. ДІАТТА

The broad impacts of corn stover and wheat straw removal for biofuel production on crop productivity, soil health and greenhouse gases emissions

19

#### ЛІДЕРИ БІОЕНЕРГЕТИКИ

##### ЛАУРЕАТИ ДЕРЖАВНОЇ ПРЕМІЇ – ВЧЕНІ Й ФАХІВЦІ БІОЕНЕРГЕТИЧНОЇ ГАЛУЗІ

ЯГОЛЬНИК О.О.

State award winners: researchers and experts in bioenergy

26

#### «ЗЕЛЕНІ» ЖНИВА-2021

##### НА КИЇВЩИНІ СТАРТУВАЛИ ВЕСНЯНІ «ЕНЕРГЕТИЧНІ ЖНИВА»

Spring «energy harvest» started in Kyiv region

27

#### «ЗЕЛЕНІ» ТАРИФИ

##### ВИРОБНИКИ «ЗЕЛЕНОЇ» ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ВІДСУДИЛИ В ДП «ГАРПОК» 700 МЛН ГРН

Green electricity producers won a UAH 700 million payout against НАПРОК

28

#### ІЗ ІНШИХ ДЖЕРЕЛ

##### ДО 2045 РОКУ КАЛІФОРНІЯ НАЗАВЖДИ ПРИПИНИТЬ ВИДОБУТОК НАФТИ, А ЦІНА НА НАФТУ ВПАДЕ ДО \$10 ЗА БАРЕЛЬ

BY 2045, CALIFORNIA WILL SUSPEND OIL PRODUCTION FOREVER, AND THE PRICE OF OIL WILL FALL TO \$ 10 PER BARREL

28

#### НА ВАШУ КНИЖКОВУ ПОЛИЦЮ

##### РЕКОМЕНДАЦІЇ З ВИРОЩУВАННЯ ПАВЛОВНІЇ

ОЛЕКСАНДРОВ Я.Г.

Growing paulownia: tips

29

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ: 03110, м.КИЇВ-110, вул.КЛИНИЧНА, 25,  
ТЕЛ. (044) 275-50-00

E-MAIL: sugarbeet@ukr.net, Beta-vulgaris@ukr.net, © 2020 «БІОЕНЕРГЕТИКА/BIOENERGY»

Дата реєстрації у Державній реєстраційній службі України (наказ № 525). Номер свідоцтва - 18781 ПР серія КВ від 14.11.2011 р.  
Формат 60x84 1/8. Ум.-друж.аркушів 4,5. 38 стор. Тираж 200. Дизайн, верстка: Ягольник К. О.

Рекомендовано до друку Вченою радою ІБКіЦБ НААН України. (дистанційний режим)

Видавництво та друк: ТОВ «Наш формат», м. Київ, 02105, проспект Миру 7/45. Пацюк А.О.

#### Всеукраїнський науково-виробничий журнал «БІОЕНЕРГЕТИКА/BIOENERGY»

№1 (17), 2021 рік

#### ЗАСНОВНИК

Інститут біоенергетичних культур  
і цукрових буряків НААН України

Видається з 2013 року

#### ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР

М.В. РОІК

#### ЗАСТУПНИК

#### ГОЛОВНОГО РЕДАКТОРА

О.І.ПРИСЯЖНИК

#### РЕДАКТОР

О.О. ЯГОЛЬНИК

#### РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

РОІК М. В. -

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, доктор с.-г. наук, професор, академік НААН, Україна;

СІНЧЕНКО В. М. -

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, доктор с.-г. наук, член-кореспондент НААН, Україна;

ДОРОНІН В. А. -

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, доктор с.-г. наук, професор, Україна;

ГУМЕНТИК М. Я. -

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, кандидат с.-г. наук, старший науковий співробітник, Україна;

КВАК В. М. -

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, кандидат с.-г. наук, старший науковий співробітник, Україна;

ФУЧИЛО Я. Д. -

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, доктор с.-г. наук, професор, Україна;

OECHSNER HANS -

PhD, State Institute of Agricultural Engineering and Bioenergy, University of Hohenheim, Stuttgart, Germany.

Журнал «Біоенергетика/Bioenergy» включено до Переліку фахових наукових видань України (категорія Б), в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук (Наказ МОН України № 420 від 15.04.2021 р., сільськогосподарські спеціальності – 201).

# МЕМОРАНДУМ

## ЗАКРІПИВ СПІВПРАЦЮ НАУКОВЦІВ І УПРАВЛІНЦІВ

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, який багато років плідно й активно розробляє ідеї та ініціативи, спрямовані на подальший розвиток нового для економіки напрямку, розглядається в Україні й світі як один із пріоритетних стратегічних центрів розвитку біоенергетичної галузі. Цінує співпрацю з Інститутом і поважна урядова структура — Держенергоефективності України, яка неодноразово долучалася до різних науково-практичних заходів, що проводилися його вченими. Відповідальні працівники Агентства на чолі з Юрієм Шафаренком, заступником Голови Держенергоефективності, брали участь і в робочій нараді з питань технології вирощування різних сортів біоенергетичних культур для виробництва біопалива, яка відбулася 30 березня 2021 р. на дослідному полігоні ІБКіЦБ.

Під час наради відзначалося: в 2020 р. Україна спожила 28,2 млрд. м<sup>3</sup> газу. Близько 40% від цієї кількості було імпортовано. Всього за «чужі» нафтопродукти, природний газ та вугілля витрачено 7,5 млрд. доларів. Ці кошти, за переконанням її учасників, могли б залишитися в економіці країни, якби ми використовували весь потенціал місцевих джерел енергії. «Лише завдяки біоенергетиці можна замінити в еквіваленті 37 млрд. м<sup>3</sup> газу у рік. Половини цього потенціалу достатньо, щоб відмовитися від імпорту блакитного палива, який у 2020 р. склав 15,9 млрд. м<sup>3</sup>», — підкреслив Юрій Шафаренко (Режим доступу: <https://saee.gov.ua/uk/news/3774>).

Навіть високопосадовець і переконливі аргументи на підтвердження своїх слів. «В Україні налічується близько 4 млн. га малопродуктивних та деградованих земель, які вважаються непридатними для сільськогосподарських культур і часто залишаються незадіяними, хоча, за визнанням експертів, такі землі можна успішно використовувати саме для вирощування енергетичних культур, що дозволить одночасно вирішувати ряд глобальних проблем: отримувати прибуток з деградованих земель та поступово відновлювати їх родючість без додаткових витрат бюджету; замінювати імпортний газ місцевими видами палива та сприяти декарбонізації процесу

виробництва теплової енергії; створювати нові робочі місця й збільшувати надходження до бюджетів всіх рівнів. Тобто, питання використання енергорослин як джерела біомаси — актуальне як ніколи. Між тим, станом на 2019 рік плантації енергетичних рослин складала лише 6400 га.

Щоб покращити умови роботи в цій сфері й активізувати розвиток ВДЕ, Держенергоефективності спільно з Міненерго розробили концепцію нової державної програми з енергоефективності на 2022–2026 роки, в рамках якої планується надавати компенсації за кредитами на закладання плантацій енергорослин, а також розробити відповідні законопроекти для покращення умов вирощування енергорослин, зокрема збільшення строку оренди земельних ділянок та зменшення розміру орендної плати, використання малородючої землі для енергетичних потреб, заміщення імпорту газу, скорочення викидів парникових газів, покращенню економічного становища регіонів тощо.

Ще один потенційно важливий інструмент підтримки нової сфери — багаторічні напрацювання вчених ІБКіЦБ НААН України, які нагромадили чималі досвід щодо вирощування сільськогосподарських культур в енергетичних цілях та розвитку біоіндустрії в цілому, тиражування якого може суттєво прискорити розвиток біоенергетики. За словами Михайла Гументика, завідувача відділом ІБКіЦБ-директора ГО НТЦ «Біоенергія», тут і нині наразі триває робота над 30-ма дослідними ділянками для вирощування найбільш продуктивних сортів біоенергетичних культур.

Зважаючи на ці й інші факти, Держенергоефективності та ІБКіЦБ НААН України домовилися налагодити постійну й тісну співпрацю для активізації функціонування цієї сфери. В процесі спілкування народилася й спільна ініціатива: об'єднати зусилля управлінців та науковців провідної наукової установи країни, щоб створити більш сприятливі умови для прискореного розвитку сільськогосподарської біоенергетики.

У квітні прагнення сторін разом працювати над завданнями, що допоможуть зняти деякі бар'єри щодо розвитку галузі, сторони офіційно за-

кріпили в спеціальному документі — Меморандумі про співробітництво. В рамках Меморандуму, який підписали в.о. Голови Держенергоефективності Костянтин Гура й директор Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України д-р с.-г. наук, професор, академік НААН України Микола Роїк, сторони домовилися тісно співпрацювати та ефективно використовувати науково-технічний потенціал Інституту, щоб сприяти активному розвитку біоенергетики України.

«Для нас важливо об'єднати зусилля з Інститутом біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України. Адже маємо спільний вектор руху — розвиток біоенергетики... Необхідно активізувати сферу вирощування енергорослин і таким чином не лише сприяти заміщенню газу, а й дати змогу громадам отримувати прибуток із малопродуктивних земель і відновлювати їхню родючість», — наголосив К. Гура під час цієї події.

В рамках Меморандуму сторони вже визначили низку спільних ініціатив та ключових питань співпраці, які намічено реалізувати найближчим часом для подальшого розвитку сфери вирощування енергетичних рослин і поширення кращих практик використання біомаси. Особливу увагу сторони планують приділити вирощуванню біоенергетичних рослин на малопродуктивних землях як ресурсу для заміщення газу, залученню інвестицій у проекти вирощування енергетичних культур, нарощуванню й об'єднанню зусиль, спрямованих на ефективне співробітництво й розвиток біоенергетики за кращими світовими практиками.

В свою чергу, заступник директора Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України Віктор Сінченко представив присутнім напрямки роботи Інституту та запевнив у готовності ділитися досвідом щодо особливостей вирощування біоенергетичних рослин.

Сторони домовились про співпрацю на основі принципів зацікавленості та партнерства, які сприятимуть забезпеченню підвищення енергоефективності та розвитку відновлюваної енергетики України.

*Оглядач журналу  
«Біоенергетика/Bioenergy».*

УДК 631.6.02: 662.631

# ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ АГРОЛІСОМЕЛІОРАТИВНИХ НАСАДЖЕНЬ УКРАЇНИ В ЕНЕРГЕТИЧНИХ ЦІЛЯХ

РОЇК М.В.,  
ФУЧИЛО Я.Д.,  
ГАНЖЕНКО О.М.

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України.

**Вступ.** Збереження й охорона орних земель належать до пріоритетів держави та є важливою умовою забезпечення збалансованого розвитку агроландшафтів і підвищення врожайності сільськогосподарських культур [1, 2, 3, 4]. Проблеми сучасних агроландшафтів України, в першу чергу, пов'язані з надмірною розораністю земельних угідь, неефективним використанням земель, при якому ігноруються оптимальні параметри екологічних і соціально-економічних функцій територій, незадовільно проводяться меліоративні та протиерозійні заходи.

Екологічний каркас агроландшафтів створюють полезахисні лісові смуги (ПЗЛС), але їхня кількість та санітарний стан не відповідають сучасним вимогам. Середня полезахисна лісистість в Україні становить 1,3–1,5%, а оптимальна — 3–4,5% в залежності від природно-кліматичної зони [5, 6, 7]. Отже, для надійного захисту агроландшафтів площа ПЗЛС повинна збільшитись у 2–3 рази. Натомість площа наявних ПЗЛС зменшилася порівняно з 1990 роком на 90% [8].

За офіційними статистичними даними, на сьогодні в Україні налічується близько 446 тис. га ПЗЛС. Найбільші площі знаходяться у Запорізькій (51,9 тис. га), Одеській (50 тис. га) та Дніпропетровській областях (42,5 тис. га), тоді як в Івано-Франківській, Рівненській та Чернівецькій областях ПЗЛС взагалі відсутні. Ряд спеціалістів вважають офіційні дані статистики недостовірними, посилаючись на те, що полезахисні лісові насадження знають незаконних рубок, а державний облік ПЗЛС не здійснювався з 1976 р. [9, 10]. Реальну площу ПЗЛС фахівці наразі оцінюють у близько 350 тис. га, а для досягнення нормативних показників необхідно відтворити ще 700 тис. га. Під захистом ПЗЛС в Україні перебувають мільйони гектарів орних угідь (1 га лісосмуги захищає 20–30 га рілля), що забезпечує підвищення ефективності використання цих угідь та знижує собівартість продукції рослинництва. Для того, щоб стабілізувати кількість ПЗЛС і не допустити їх зменшення необхідно створювати приблизно 6–7 тис. га лісосмуг щорічно [2].

У ПЗЛС впродовж усього періоду їх існування проводять догляд, який полягає у вирубуванні частини кущів, дерев і гілок з метою оздоровлення насаджень і поліпшення виконання ними екологічних функцій [11]. При цьому заготовлюється значна кількість деревини, яку можна майже повністю застосувати на потреби енергетики, не порушуючи критеріїв сталого розвитку.

Зважаючи на те, що більшість полезахисних насаджень були створені у 50–70 роках ХХ століття, на даний час частина з них досягають критичного віку та потребують реконструкції. Згідно експертних оцінок, при виконанні робіт із реконструкції ПЗЛС можна отримувати 100–200 м<sup>3</sup> низькосортної деревини з 1 га, що в масштабах країни становить близько 78 млн. м<sup>3</sup> або 54,6 млн. т. [12]. Заходи з відновлення ПЗЛС триватимуть 15–25 років, при цьому річний обсяг низькосортної деревини, доступний для енергетичного використання, становитиме 3,9 млн. м<sup>3</sup>/рік, або 2,73 млн. т/рік (0,93 млн. т у.п./рік) [12].

Метою проведених досліджень було розроблення теоретичних основ та практичних заходів використання агролісомеліоративних насаджень України в енергетичних цілях.

**Матеріали та методи досліджень.** Матеріалом досліджень були літературні джерела та нормативні документи щодо стану й перспектив ПЗЛС України [1, 2, 8, 12, 13], конструкції ПЗЛС і результати дослідження лісосмуг, проведені в різних ґрунтово-кліматичних зонах України [10, 11, 14]. Методика досліджень передбачала на основі аналізу існуючої інформації, багаторічного виробничого та наукового досвіду розробити схеми ПЗЛС, які, за повного виконання екологічних функцій, зможуть максимально використовуватися для отримання енергетичної сировини.

**Результати досліджень.** Зважаючи на високу актуальність використання ПЗЛС як джерела енергетичної біомаси, важливим завданням аграрної науки є запровадження у захисні лісові смуги швидкорослих деревних порід (верба, тополя, акація, клен) і розроблення таких схем їх вирощування, які забезпечили б отримання максимальної кількості енергетичної біомаси, за умови виконання ними у повному обсязі екологічних функцій.

Тополі й верби особливо доцільно використовувати для створення водоохоронних захисних насаджень під час озе-

лення прибережної зони річок і ставків, створення захисних лісових насаджень на яружно-балкових землях. Такі насадження, за науково обґрунтованої системи їх використання, можуть продукувати таку ж кількість деревної маси як і традиційні енергетичні плантації й при цьому в повному обсязі виконувати водоохоронні та інші корисні функції.

**Верба (Salix L.)** — рід рослин, що включає дерева й кущі різного розміру. Для створення енергетичних плантацій найчастіше використовують вербу прутувидну (*S. viminalis*) — високий кущ, плантації якого здатні продукувати до 18–20 т/га сухої біомаси в рік. Важливою ознакою верби, що сприяє її значному поширенню, є здатність легко розмножуватися стебловими живцями.

**Тополь (Populus L.)** — рід близький до верби, рослини якого теж легко розмножуються вегетативно, але, на відміну від верби, їх насадження також успішно поновлюються кореневими паростками. За продуктивністю тополя не поступається вербі. На отримання енергетичної біомаси використовують в основному гібриди тополі чорної та дельтовидної, відомі під загальною назвою «тополя євроамериканська» (*Populus euramericana*).

У південних районах України до енергетичних культур можна також віднести акацію білу, клен ясенелистий та інші. Акація біла або Робінія псевдоакація (*Robinia pseudoacacia*) — швидкорослий, світлолюбний, посухостійкий, маловибагливий до ґрунтів азотофіксуючий північноамериканський деревний вид, здатний витримувати хлоридне й сульфатне засолення ґрунту в зоні максимального поширення коріння до 1,76% і солонцюватість (натрій) до 0,24% породи. Легко поновлюється після зрізання пневною й кореневою порослю, тому його не бажано висаджувати в крайні ряди лісосмуг. Замість акації в крайні ряди полезахисних насаджень степової зони доцільно вводити інший північноамериканський екзот — клен ясенелистий (*Acer negundo*), який здатний успішно рости у жорстких умовах півдня України та формувати значну кількість енергетичної біомаси, але не утворює кореневих паростків. До негативу цього виду слід віднести його значну насінневу продуктивність, що може спричиняти засмічення полів.

Вибір тих чи інших деревних рослин для садіння в лісових смугах проводиться з урахуванням ґрунтових і кліматичних

умов. Однією з найважливіших деревних рослин для створення поєданих лісових смуг на території України є дуб звичайний. Він виступає головною породою у всіх зонах на ґрунтах глинистого й суглинкового механічного складу. На піщаних ґрунтах його замінюють сосна звичайна або кримська і береза повисла, а на засолених — акація біла, гледичія триколючкова, маслинка вузьколиста.

Нижче наведено кілька основних варіантів лісових смуг із частковим використанням їх для отримання енергетичної сировини в трьох основних природно-кліматичних зонах України: в Степу, Лісостепу та Поліссі.

У степових регіонах України для зменшення інтенсивності випаровування вологи з ґрунту до складу поєданих лісових смуг вводяться чагарники. На чорноземних і каштанових ґрунтах дуб звичайний вирощується в 9-рядних поєданих лісових смугах разом зі супутніми деревними породами та чагарниками. Для отримання в стислі терміни енергетичної деревної біомаси, класичні лісові смуги доцільно трансформувати, розмістивши по обидва боки здвоєні ряди швидкозростаючих енергетичних культур, які забезпечать ефективність смуг у молодому віці, а надалі їх надземну частину можна з періодичністю в 2–4 роки зрізати на отримання біомаси (рис. 1).

Перевагою поєданих лісових смуг із чистими рядами дуба та інших деревних порід є менші витрати праці на створення, доповнення й догляди (освітлення дуба), а смуги зі змішанням порід у рядах відзначаються більшою кількістю рядів дуба та більш рівномірним розподілом його по площі.

У відносно забезпечених вологою зонах Лісостепу та Полісся найчастіше висаджують лише деревні види, з введенням у крайні спарені ряди енергетичних культур (рис. 2).

12-рядні лісові смуги, в яких чисті ряди дуба чергуються з рядами, де супутні породи висаджені з чагарником, придатні для вирощування в усіх зонах України. З метою отримання додаткової енергетичної біомаси в них у крайні ряди теж доцільно вводити енергетичні культури (рис. 3).

Ще більш наближеним до енергетичного варіанту лісової смуги є коридорний спосіб, який передбачає вирощування дуба в коридорах, утворених рядами супутніх і енергетичних порід. При цьому спарені ряди швидкозростаючих енергетичних культур не тільки забезпечують ефективність лісових смуг із молодого віку, але й покращують умови зростання дуба в перші 5–10 років. В подальшому їх доцільно поступово вирубувати для отримання енергетичної деревної маси (рис. 4).

У першому варіанті лісової смуги (рис. 4а) у 1–2-му, 6–7-му та 11–12-му

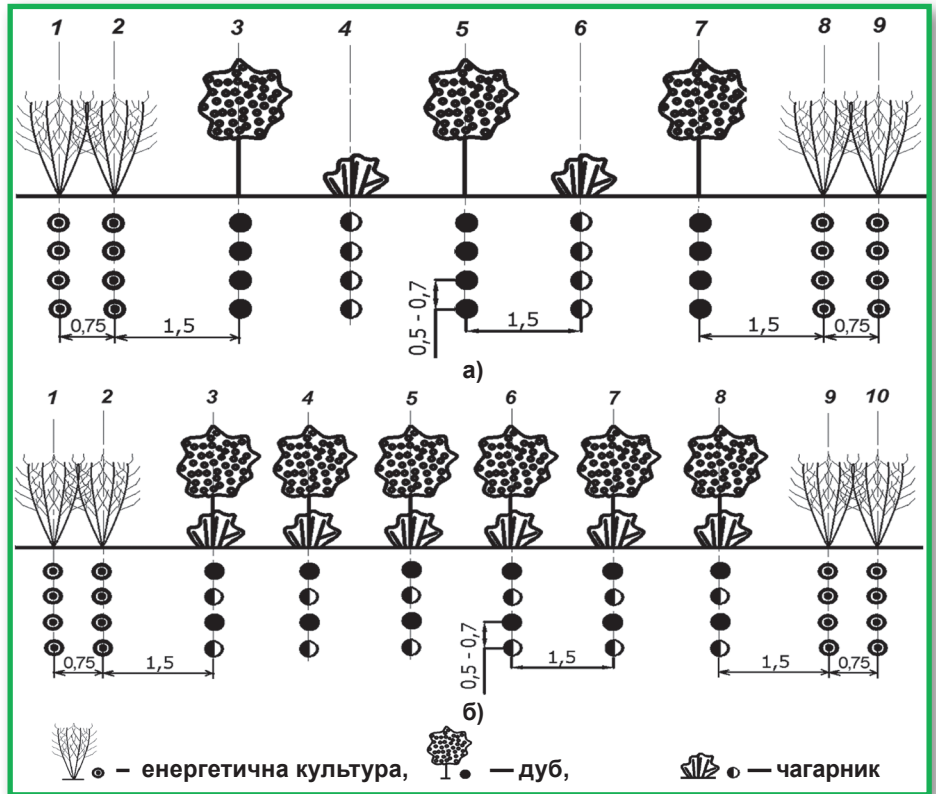


Рис. 1. Варіанти розміщення дуба, чагарників та енергетичних культур у поєданих лісових смугах у степовій зоні:

а) — чистими рядами; б) — зі змішанням в рядах

рядях вирощується швидкозростаюча енергетична порода в чергуванні з чагарником (лісовим або плодovým); у 3-му, 5-му, 8-му та 10-му рядах — супутні дубу

породи, в лісостепових районах — чистими рядами, а в степових — в чергуванні з чагарником; у 4-му і 9-му рядах висіваються чистими рядами жолуді дуба.

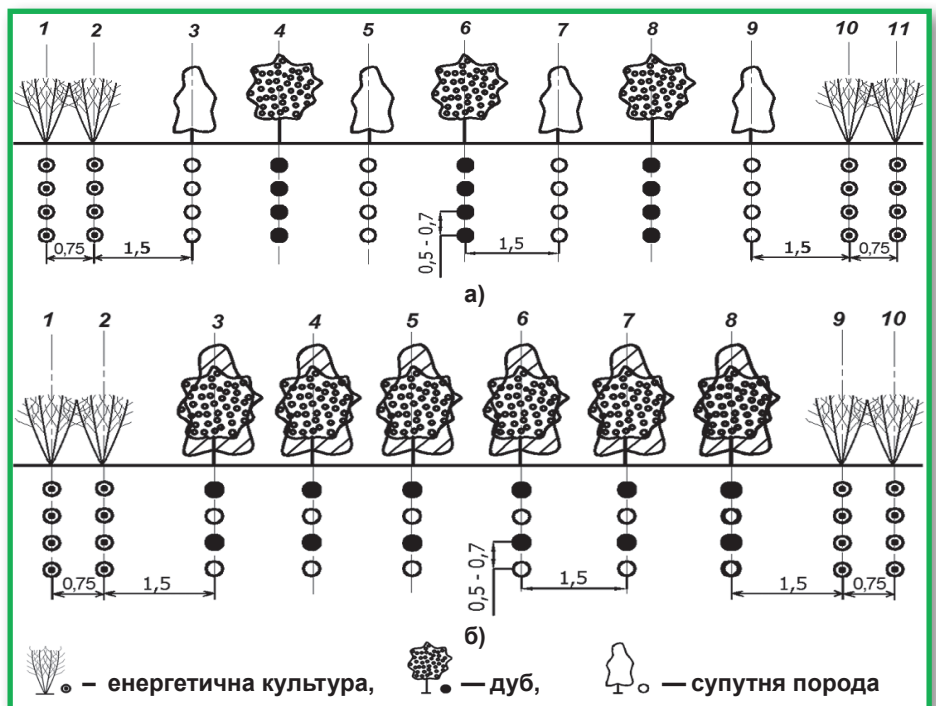
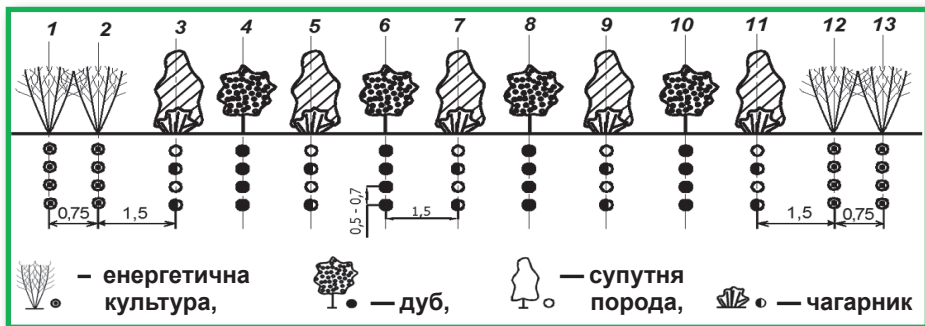
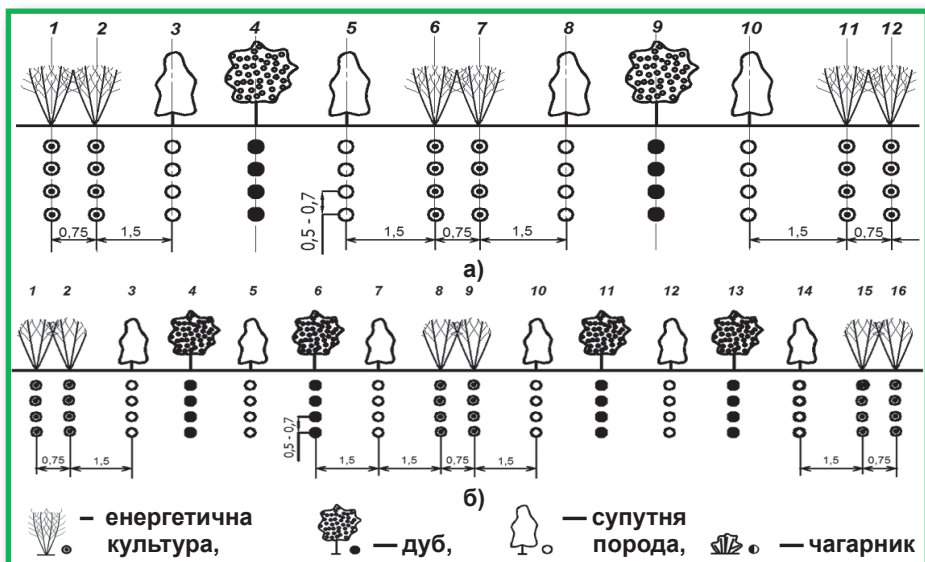


Рис. 2. Варіанти розміщення дуба, супутніх і енергетичних порід у поєданих лісових смугах Полісся та Лісостепу

а) — чистими рядами; б) — зі змішанням в рядах

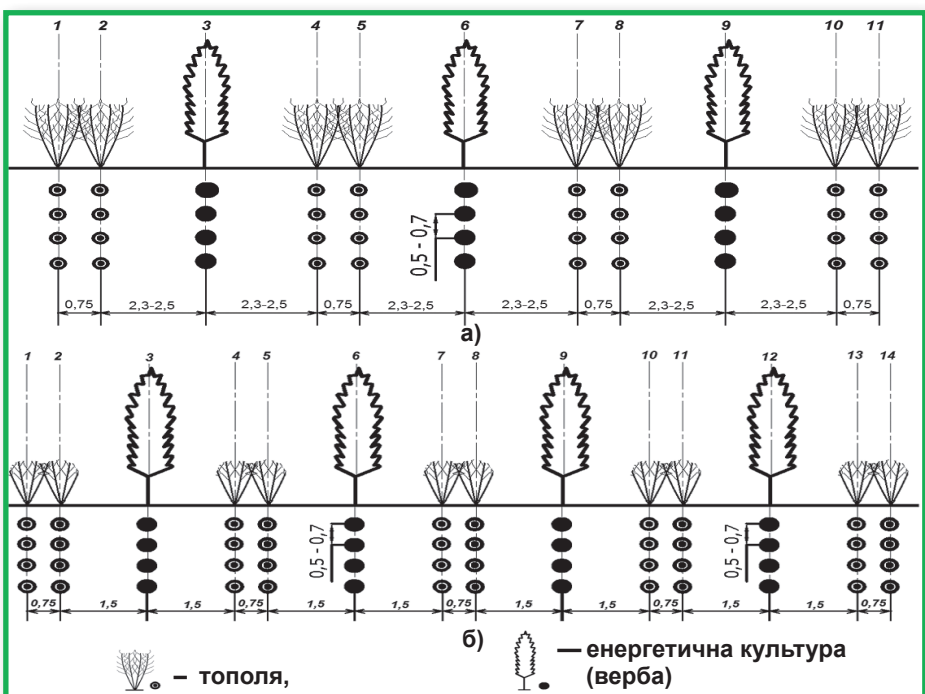


**Рис. 3.** Схема розміщення енергетичних культур, дуба, супутніх і чагарникових порід в трансформованій 12-рядній полезахисній лісосмузі (для всіх зон України)



**Рис. 4.** Варіанти полезахисних лісосмуг із розміщення дуба, супутніх та енергетичних порід коридорним способом:

а) — модифікована 9-рядна лісосмуга; б) — модифікована 13-рядна лісосмуга



**Рис. 5.** Схема розміщення тополі і верби: а) — 7-рядних лісосмугах; б) — 9-рядних лісосмугах

У другому варіанті (рис. 4б) швидко-рослі енергетичні породи розміщуються у 1–2-му, 8–9-му та 15–16 рядках, а в 3-му, 5-му, 7-му, 10-му, 12-му та 14-му рядках — супутні дубу породи (в лісостепових районах — у чистому вигляді, а в степових — у чергуванні з чагарником); в 4-й, 6-й, 11-й та 13-й ряди — висіваються чистими рядами жолуді дуба.

У випадку вирощування в сусідніх із дубом рядах в'яза, ільма, береста, клена, ясена звичайного та інших швидкокорслих дерев, для недопущення затінення рядів дуба, слід проводити періодичні рубки догляду з систематичним отриманням енергетичної деревної сировини.

Тополу як головну породу рекомендується висаджувати в умовах достатнього зволоження чистими рядами, чергуючи її з чистими рядами супутніх (липа, клен гостролистий, клен татарський, в'яз звичайний, груша та ін.) або чагарникових порід (акація жовта, ліщина, жимолость татарська і ін.). Для максимального накопичення енергетичної маси, в таких лісосмугах, замість рядів супутніх і чагарникових рослин можна ввести спарені ряди енергетичної верби (рис. 5а). При цьому енергетичну сировину можна заготовляти починаючи з 3-річного віку по черговим вибиранням спарених рядів через кожні 2–4 роки в такій послідовності: 1–2-й, 7–8-й, 4–5-й, 10–11-й.

Ефективною в лісозахисному й енергетичному плані є схожа з попередньою 11- чи 14-рядна лісосмуга з шириною міжрядь 1,5 м (рис. 5б). Тополу в цьому випадку теж рекомендується висаджувати чистими рядами, чергуючи її з чистими рядами супутніх порід (верба біла, в'яз звичайний, клен гостролистий, клен ясенелистий).

При цьому заготівля енергетичної біомаси відбувається з періодичністю 2–4 роки вирубуванням рядів у такій послідовності: 4–5-й, 10–11-й, 1–2-й, 7–8-й, 13–14-й.

Такого типу насадження верб і тополь можна використовувати також в умовах гідрографічної мережі для захисту водойм та призупинення ерозії ґрунтів, при цьому у них можна налагодити систематичне отримання значної кількості енергетичної біомаси.

Також ефективну схему вирощування енергетичної біомаси можна реалізувати під час облаштування мулофільтрів на конусах виносу ярів, балок і т. п. Мулофільтр розміщують вище водойми поперек дна балочної мережі між прирічковими чи приставковими лісосмугами. Він поділяється на два сектори, що з'єднують краї лісосмуг. Перший сектор, з боку течії, має поперечний тин, потім другий тин — приблизно через 50 м і третій — по контуру бордюрно залужованої смуги (рис. 6).

У проміжках між тинами розміщують енергетичні плантації чагарникових верб.

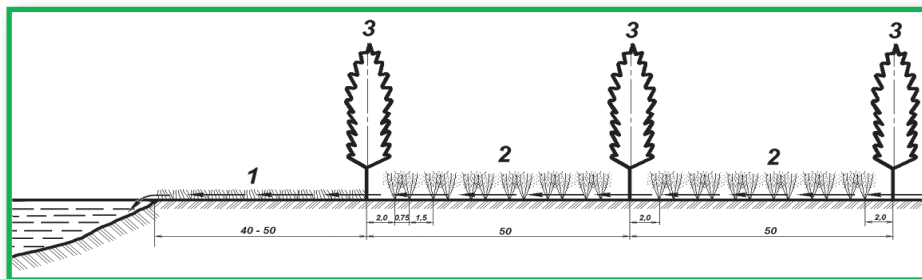
Садіння живців проводять у рівень з поверхнею ґрунту з інтервалами між рослинами у рядку 20–30 см [10]. Збирання біомаси проводять кожні 2–4 роки. Така схема забезпечує повне виконання насаджень ґрунто- і водозахисних функцій і отримання значних об'ємів енергетичної маси. При цьому висока продуктивність підтримується тривалий час щорічними відкладеннями поживних речовин, змитих із верхніх частин водозбору.

За результатами проведених досліджень отримано патент на корисну модель «Спосіб створення полезахисних лісосмуг» (№ 142244 від 25.05.2020 р.).

### Висновки

1. Захисні лісові насадження, крім позитивного впливу на мікроклімат довкілля й суттєве підвищення продуктивності сільськогосподарських угідь, можуть також відігравати важливу роль джерела біоенергетичної сировини.

2. На сьогодні лісові наса-



**Рис. 6.** Схема розміщення деревоподібних і чагарникових верб у мулофільтрі: 1 — залужена смуга; 2 — плантація чагарникових верб; 3 — ряди деревоподібних верб або тополі; — напрям течії

дження з різних причин втрачають свої функції та потребують проведення реконструктивних заходів. При цьому, одночасно з відновленням захисних насаджень, буде змога отримати близько 54,6 млн. т деревини для енергетичних потреб і сформувати нові захисні насадження, що, одночасно з покращенням

екологічного стану довкілля, дозволить створити надійну сировинну базу для біоенергетики.

3. Наведені в статті схеми розміщення дерев можна застосувати на етапі відновлення й розширення системи полезахисних насаджень для підвищення їх енергетичної ролі.

### ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА:

1. Заришняк А. С. Сучасні проблеми агролісомеліорації в Україні та шляхи їх вирішення / А. С. Заришняк, О. І. Фурдичко // Аграрний тиждень. — 2011. — № 8. — С. 12.
2. Опенько І. А. Еколого-економічні засади раціонального використання та охорони земель під полезахисними лісовими насадженнями: Монографія. / Опенько І. А., Євсюков Т. О. — К.: «Компринт», 2016. — 183 с.
3. Фурдичко О. І. Наукові основи функціонування системи захисних лісів і захисних лісових насаджень в агроландшафтах України / О. І. Фурдичко, А. П. Стадник // Агроекологічний журнал. — 2010. — № 4. — С. 5–12.
4. Роїк М. В. Сучасні науково обґрунтовані підходи до використання землі // Вісник аграрної науки. — 2003. — № 1. — С. 6–16.
5. Лукіша В. В. Екологічні функції полезахисних лісових насаджень / В. В. Лукіша // Екологічні науки, 2013, № 2, С. 56–64. <http://ecoj.dea.gov.ua/wp-content/uploads/2013/02/shelter.pdf>
6. Пилипенко О. І. Обґрунтування параметрів оптимальної полезахисної лісосмуги / О. І. Пилипенко, В. Ю. Юхновський // Науковий вісник НАУ. — К.: НАУ, 1998. — Вип. 10. — С. 326–342.
7. Стадник А. П. Проблеми захисного лісорозведення і агролісомеліорації в Україні та шляхи їх вирішення / А. П. Стадник // Агробіологія. — 2012. — № 8. — С. 153–157. [http://www.irisb-nbuu.gov.ua/cgibin/irisb\\_nbuu/cgibirbis\\_64.exe?I21DBN=L1NK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP\\_meta&C21COM=S&S21P03=FILE=&S21STR=agr\\_2012\\_8\\_40](http://www.irisb-nbuu.gov.ua/cgibin/irisb_nbuu/cgibirbis_64.exe?I21DBN=L1NK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&S21P03=FILE=&S21STR=agr_2012_8_40)
8. Лицур І. Як не допустити зникнення захисних лісових смуг із закінченням земельної реформи? / І. Лицур <http://ua-ekonomist.com/11548-yak-ne-dopustiti-zniknennya-polezahisnih-lisovih-smug-z-zaknchennyamzemelnoyi-reformi.html>
9. Назаренко В. Чому полезахисні лісосмуги нікому не потрібні? / В. Назаренко <http://www.gorod.cn.ua/news/gorod-i-region/37379-chomu-polezahisni-lisosmug-nikomu-ne-potribni.html>
10. Харитонов Г. А. Лесомеліорація водних угодій / Г. А. Харитонов. — Москва: Лесн. пром-сть, 1976. — 168 с.
11. Агролісомеліорація: практикум / С. В. Роговський, І. Д. Василенко, В. М. Черняк, В. М. Хрик; за ред. В. Ю. Юхновського. — К.: Фітосоціоцентр, 2011. — 292 с.
12. Желізна Т. А. Аналіз додаткових джерел деревного палива в Україні: Аналітична записка БАУ № 15 01.04.2016 / Т. А. Желізна, А. І. Баштовий, Г. Г. Гелетуша. Публікація доступна на: [www.uabio.org/activity/uabio-analytics](http://www.uabio.org/activity/uabio-analytics)
13. Звірко В. Полезахисні лісосмуги самі потребують захисту / В. Звірко, Т. Колядинська // Землепорядний вісник. — 2012. — № 9. — С. 5–8.
14. Шляхи вирішення проблем полезахисного лісорозведення / В. Ю. Юхновський, В. М. Малюга, М. О. Штофель, С. М. Дударець <http://nubip.edu.ua/sites/default/files/u39/CNFNNZ.pdf>.

### АНОТАЦІЯ

УДК 631.6.02: 662.631

#### Теоретичні та прикладні аспекти використання агролісомеліоративних насаджень України в енергетичних цілях

Роїк М. В., Фучило Я. Д., Ганженко О. М.

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України. 03110, Київ, вул. Клінічна, 25.

Захисні лісові насадження є важливою складовою частиною лісоаграрних ландшафтів, одним із найефективніших, довгострокових і відносно недорогих заходів боротьби з вітровою та водною ерозією ґрунтів. Вони позитивно впливають на мікроклімат прилеглих територій і здатні суттєво підвищити врожайність сільськогосподарських культур. Також, за певних умов, вони можуть стати важливим джерелом сировини для біоенергетики. **Мета.** Розроблення теоретичних основ та практичних заходів використання агролісомеліоративних насаджень України в енергетичних цілях. **Методи.** В процесі проведення досліджень передбачалося на ос-

нові аналізу існуючої інформації, багаторічного виробничого та наукового досвіду розробити схеми полезахисних лісових насаджень, які, за повного виконання екологічних функцій, зможуть використовуватися для отримання енергетичної сировини. **Результати.** Встановлено, що для одночасного використання полезахисних лісових насаджень як джерела енергетичної біомаси необхідно ввести до їх складу швидкозрілі деревні рослини (верба, тополя, акація, клен та інші) рядами або кучками, які передбачається періодично зрізувати на отримання біомаси. Такі рослини потім інтенсивно відновлюються порослю від пнів. Основний каркас таких насаджень, для тривалого і постійного виконання ними полезахисних функцій, переважно складають ряди дерев дуба звичайного. **Висновки.** Захисні лісові насадження, крім позитивного впливу на мікроклімат довкілля та суттєве підвищення продуктивності сільськогосподарських угідь, можуть також відігравати важливу роль джерела біоенергетичної сировини. На сьогодні лісові насадження з різних причин втрачають свої функції й потребують проведення реконструктивних заходів. При цьому, одночасно з відновленням захисних насаджень, буде змога отримати близько 54,6 млн. т деревини для енергетичних потреб і сформувати нові захисні насадження, що, одночасно з покращенням екологічного стану довкілля, дозволить створити надійну сировинну базу для біоенергетики. Наведені в статті схеми можна застосувати на етапі відновлення та розширення системи полезахисних насаджень для підвищення їх енергетичної ролі.

**Ключові слова:** полезахисні лісові насадження, біомаса, біопаливо, схема змішування деревних рослин.

### ABSTRACT

UDC631.6.02: 662.631

#### Theoretical and applied aspects of the use of agricultural and forest meliorative plantations of Ukraine for energy purposes

Roik M. V., Fuchylo Ya. D., Hanzhenko O. M.

Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the National Academy of Sciences of Ukraine. 03110, Kyiv, 25 Klinichna St.

Protective forest plantations are an important part of forest-agricultural landscapes and one of the most effective long-term and relatively inexpensive measures to combat wind and water soil erosion. They have a positive effect on the microclimate of the surrounding areas and can significantly increase crop yields. Also, under certain conditions, they can become an important source of bioenergy feedstock. **Goal.** Development of theoretical bases and practical measures of the use of agroforestry reclamation plantations of Ukraine for energy purposes. **Methods.** In the course of the research it was envisaged to develop schemes of protective forest plantations on the basis of the analysis of the existing information, long-term production and scientific experience which, at full performance of ecological functions, can be used for obtaining bioenergy feedstock. **Results.** It is established that for the simultaneous use of protective forest plantations as a source of energy biomass it is necessary to include fast-growing woody plants (willow, poplar, acacia, maple, etc.) in rows or backstage, which are expected to be periodically cut for biomass. Such plants are then intensively restored by growth from stumps. The basis of such plantations for long-term and permanent performance of their protective functions should mainly consist of the rows of oak trees. **Conclusions.** Protective forest plantations, in addition to the positive impact on the microclimate of the environment and a significant increase in the productivity of agricultural land, can also play an important role as a source of bioenergy feedstock. Today, forest protection plantations are losing their functions for various reasons and need to be reconstructed. At the same time, along with the restoration of protective plantations, it will be possible to obtain about 54.6 million tons of wood for energy needs and form new protective plantations, which, along with improving the ecological environment, will create a reliable feedstock base for bioenergy. The schemes presented in the article can be applied at the stage of restoration and expansion of the field protection system to increase their energy role.

**Keywords:** field protective forest plantations, biomass, biofuel, scheme of mixed woody plantations.

УДК 633.63.631.171.12

# УДОСКОНАЛЕНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОЩУВАННЯ НАСІННЯ БУРЯКІВ КОРМОВИХ У ЦЕНТРАЛЬНОМУ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

**БАЛАГУРА О. В.** –

д. с.-г. н., директор ДП ДГ «Шевченківське»,

**БАЛАН В. М.** –

д. с.-г. н., професор, г. н. с.,

**ДОРОНІН В. А.** –

д. с.-г. н., професор, завідувач лабораторії,

**ВОЛОХА М. П.** –

д. т. н., с. н. с.

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України. 03110, Київ, вул. Клінічна, 25.

**Постановка проблеми.** Прискорений розвиток тваринництва, особливо великої рогатої худоби, потребує значної кількості соковитих кормів, серед яких одними з найкращих є коренеплоди буряків кормових. Цінним кормом є також листкова маса буряків кормових, яка за вмістом сухої речовини не дуже відрізняється від коренеплодів, але в ній міститься більше протеїну, клітковини, коротину та вітаміну С. Листкова маса є цінним вітамінним кормом як свіжою, так і засилосованою. За врожайності коренеплодів 500 ц і 150 ц листків з гектара кормові буряки дають 67–70 кормових одиниць [7].

Наразі в Реєстр сортів України внесено понад 20 сортів і гібридів буряків кормових. Оперативне їх впровадження у виробництво дозволить суттєво підвищити збір соковитих кормів з одиниці площі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відомі висадкові способи вирощування насіння буряків кормових, коли у перший рік висівають насіння й збирають маточні коренеплоди, які після зимового зберігання використовують для садіння з метою одержання насіння [4, 5], а також технології вирощування насіння буряків кормових безвисадковим способом [2, 3].

Вирощування насіння буряків кормових у ДП ДГ «Шевченківське» за адаптивною технологією в середньому за 2010–2014 рр. (сорт Веселка) забезпечило вихід маточників 321 тис/га, урожайність насіння — 1,8 т/га, схожість 92% [5, 6].

**Мета дослідження.** На основі вивчення агрокліматичних показни-

ків, закономірностей росту й розвитку рослин удосконалити технологію вирощування насіння буряків кормових в умовах Центрального Лісостепу України.

**Матеріали та методика досліджень.** Методи дослідження — польовий, лабораторний, аналітичний та статистичний. Досліди проводили в ДП ДГ «Шевченківське» Тетіївського району Київської області (2018–2020 рр., сорт Веселка). Площа посівної ділянки — 150–200 м<sup>2</sup>, заліскової — 100 м<sup>2</sup>, повторність — 4-х разова.

Схема дослідів передбачала вивчення вирощування маточників і насінників за: 1) звичайною технологією (контроль), яка включала вирощування маточників за весняної сівби з шириною міжряддя 45 см і нормою висіву насіння 15–20 шт/м, зберігання маточників у тимчасових чи стаціонарних сховищах, посадку їх весною з площею живлення 70×20–70×35 см; 2) удосконаленою безвисадковою технологією, що включає:

**а)** сівбу в першій декаді травня насіння буряків одночасно з насінням покривної культури, яке засипають в ємності для туків бурякових (овочевих) сівалок за ширини міжряддя 60 см, норми висіву насіння буряків 50–60 шт/м, покривної культури (кукурудзи) — 8–12 шт/м рядка;

**б)** догляд за підпокровними посі-

вами (міжрядні рихлення);

**в)** терміни збирання покривної культури (рекомендовані для даної зони й залежно від цілі використання);

**г)** за настанням стійкого похолодання — підгортання рослин землею з одночасним підживленням добривами з розрахунку N40–50 P60–90 K30–50 кг/га д.р. лапами-підгортачами просяпних культиваторів УСМК-5,4Б чи КОЗР-5,4 з таким розрахунком, аби шар землі над головками коренеплодів не перевищував 6–8 см, а листки були вкриті не більше, ніж на половину висоти;

**д)** після перезимівлі вносили локально азотні добрива із розрахунку N80–120 кг/га д.р. і боронували посіви важкими чи середніми боронами попереку рядків або по діагоналі, а у фазі добре розвиненої розетки агрегатом у складі МТЗ-1025+УСМК-5,4Б (КРН 56–02) вносили в міжряддя азотно-фосфорні добрива із розрахунку N20–30 P40–60 кг/га д.р.;

**е)** у період масового стеблуння (висота насінників 40–50 см) проводили чеканку, тобто механізоване зрізування верхівок стебел на 5–10 см жаткою КС-2,1;

**є)** у період цвітіння насінників — дво-триразове механізоване додаткове заповнення (ДЗ).

**Результати дослідження та їх обговорення.** Різні способи посіву



Рис. 1. Вигляд рослин буряків, що були вирощені під покривом кукурудзи



маточників впливають на показники росту рослин. За весняної підпокривної сівби після збирання покривної культури рослини буряків мали добре розвинений листовий апарат витягнутої форми з невеликими коренеплодами (рис. 1).

Як показав аналіз проб рослин перед збиранням, фракція коренеплодів 10–25 г була основною (80%). При цьому в коренеплоді, що були вирощені під покривом кукурудзи, в середньому за три роки також був більшим вміст сухої речовини (20–22%) та цукру (16–17%).

Згідно з методикою ІБКіЦБ [6], збереженість рослин у зимовий період визначали весною по кількості живих рослин на визначеному відрізку рядка, на контролі — після зберігання в сховищах (кагатах). У середньому за три роки збереженість рослин за вдосконаленою технологією становила 93%, на контролі — 87%. Збереженість по роках була наступною: у 2018 р. — 89%, 2019–94%, 2020–96%, на контролі — 87%, 96 і 78% відповідно.

Вивчення в цьому контексті динаміки густоти стояння рослин показало наступне: в середньому за три роки, густота стояння за підпокривної сівби після сходів становила 226 тис/га, перед зимівлею — 210 тис/га, після перезимівлі — 182 тис/га, перед збиранням — 180 тис/га. Деяко більше випадання рослин за підпокривної сівби в період від повних сходів до зимівлі обумовлено наступними причинами: 1) довжиною вегетаційного періоду на протязі якого відбувається самозрідженість рослин в боротьбі за виживання; 2) травмуванням рослин під час збирання покривної культури; 3) деяке пригнічення рослин покривною культурою. Проте завдяки високій збереженості рослин у зимовий період густота стояння рослин перед збиранням була в межах 177–180 тис/га. Таким чином, один із важливих показників безвисадкової технології вирощування насіння буряків — отримання оптимальної густоти стояння — успішно здійснюється за весняної підпокривної сівби. Більш інтенсивний ріст і розвиток насінників за підпокривної сівби обумовили підвищення врожаю та якості насіння (табл. 1).

Як видно із наведених даних, в середньому за 2018–2020 рр. за вдосконаленою технологією збереженість рослин у зимовий період підвищилась на 6%, що забезпечило густоту стояння перед збиранням 180 тис/га, урожайність насіння підвищилась на 04 т/га, схожість — на 7%, маса 1000 клубочків — на 1,5 г порівняно із звичайною технологією.

Впродовж 2019–2020 рр. проводили виробничу перевірку вдосконаленої технології вирощування насіння буряків кормових, яка повністю підтвердила дані польових дослідів. У середньому за два роки збереженість у зимовий період становила 95% (на контролі 87%), урожайність насіння — 1,9 т/га (на контролі 1,5 т/га), схожість — 92% (на контролі — 87%), маса 1000 клубочків — 16,2 г (на контролі 14,8 г), а собівартість насіння зменшилась з 9654,6 грн/т (контроль) до 4120 грн/т (за вдоско-

наленою технологією), прибуток від реалізації насіння склав, відповідно, 2337 і 7963 грн/га.

За рахунок додаткової листової маси буряків підвищується загальна врожайність зеленої маси кукурудзи, яка становила в середньому за два роки 7,5 т/га (рис. 2), а прибуток від вирощування зеленої маси кукурудзи становив 1170 грн/га.

В цілому ж сумарний прибуток за вдосконаленою технологією складає 9133 грн/га, що в 3,9 більше, ніж на контролі (табл. 2).

Таблиця 1

**Ефективність удосконаленої технології вирощування насіння буряків кормових (ДП ДГ «Шевченківське» ІБКіЦБ НААН, середнє за 2015-2017 рр., сорт Веселка)**

Показники	Звичайна технологія – контроль	Удосконалена технологія
Збереженість у зимовий період, %	87	95
Густота стояння перед збиранням, тис/га	25,7	180
Урожайність насіння, т/га	1,5	1,9
Схожість, %	85	92
Маса 1000 клубочків, г	14,7	16,2

Таблиця 2

**Економічна ефективність різних технологій вирощування насіння буряків кормових (ДП ДГ «Шевченківське» ІБКіЦБ НААН, середнє за 2019-2020 рр., сорт Веселка)**

№ п/п	Показники	Звичайна технологія – контроль	Удосконалена технологія
1	Площа, га	1,0	1,0
2	Збереженість у зимовий період, %	87	95
3	Густота стояння перед збиранням, тис/га	25,8	180
4	Урожайність насіння, т/га	1,5	1,9
5	Схожість, %	84	92
6	Маса 1000 клубочків, г	14,8	16,2
7	Собівартість, грн/т	9654,6	4120
8	Прибуток від реалізації насіння, грн/га	2337	7963
9	Урожайність зеленої маси кукурудзи, т/га	-	7,5
10	Прибуток від вирощування зеленої маси кукурудзи, грн/га	-	1170
11	Сумарний прибуток, грн/га	2337	9133



**Рис. 2.** Збирання покривної культури – кукурудзи

**Висновки**

1. Проведені дослідження дають підставу вважати, що у Центральному Лісостепу України цілком можливе вирощування насіння буряків кормових за безвисадкової технології шляхом весняної сівби під покрив кукурудзи.

2. За весняної підпокривної сівби безвисадкові насінники набувають нових біологічних ознак. Завдяки подовженому вегетаційному періоду до настання стійкого похолодання формуються дещо більші за масою, з добре розвиненим листовим апаратом дерев'янисті коренеплоди, які характеризуються підвище-

ним вмістом сухих речовин (20–22%) та цукру (16–17%). Ці біологічні особливості, а також покращення мікроклімату поля завдяки залишенні після збирання покривної культури стерні, сприяють підвищенню збереженості безвисадковим насінників у зимовий період. За роки дослідження збереженість рослин становила 89–96%, що забезпечило густоту стояння рослин перед збиранням 177–180 тис/га.

3. За роки досліджень за вдосконаленої технології врожайність насіння була в межах 1,6–2,2 т/га (на контролі 1,2–1,8 т/га); схожість — 90–94% (на контролі 84–88%), маса

1000 клубочків — 16,0–16,4 г (на контролі 14,6–15,0 г).

4. Виробнича перевірка вдосконаленої технології повністю підтвердила дані польових дослідів. В середньому за 2019–2020 рр. урожайність насіння становила 1,9 т/га (на контролі — 1,5 т/га), його собівартість зменшилась у 2,3 рази порівняно з контролем, прибуток від реалізації насіння склав 7963 грн/га проти 2337 грн/га на контролі. Сумарний прибуток за вдосконаленої технології, завдяки в т.ч. прибутку від зеленої маси кукурудзи, склав 9133 грн/га, що в 3,8 рази більше, ніж на контролі.

**ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА**

1. Балан В. М., Рогачов М. О., Тарабрин О. Є. Прискорене розмноження насіння буряків кормових. Висновки НДР за 1993 рік. К.: 1994. С. 115–118.  
 2. Балан В. М., Тарабрин О. Є., Корнейчук А. В. Біологія і агротехніка безвисадочних семенників коренеплодних культур в орошуваних умовах юга України. К.: Нора — принт. 2001. 350 с.  
 3. Балан В. М., Доронін В. А., Орлов С. Д. та ін. Технологія вирощування насіння кормових буряків безвисадковим способом. Методичні рекомендації. К.: ІБКЦБ НААН. 2010. 28 с.  
 4. Балагура О. В., Балан В. М., Волоха М. П. Прискорене розмноження сортів і гібридів буряків кормових. Наукові доповіді НУБіП України. 2019. № 5. С. 4–6.  
 5. Балан В. М., Балагура О. В., Волоха М. П. Адаптивна технологія вирощування маточників і насінників буряків кормових. Біоенергетика. 2020. № 1(15). С. 21–23.  
 6. Корнієнко С. І., Балан В. М., Пузік М. М. та ін. Технологія вирощування насіння цукрових і кормових буряків у Східному Лісостепу України. Методичні рекомендації. Харків.: ХНАУ ім Докучаєва. 2012. 40 с.  
 7. Роїк М. В. Буряки. К.: ЦБ УААН XXI вік. РІА: Труд. К. 2001. 320 с.

**АНОТАЦІЯ**

УДК 633.63.631.171.12

**Удосконалена технологія вирощування насіння буряків кормових у Центральному Лісостепу України**

Балагура О. В. — д. с.-г. н., директор ДП ДГ «Шевченківське», Балан В. М. — д. с.-г. н., професор, г. н. с., Доронін В. А. — д. с.-г. н., професор, завідувач лабораторії, Волоха М. П. — д. т. н., с. н. с.

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України 03141, м. Київ, вул. Клінічна, 25

**Мета.** На основі вивчення агрокліматичних показників, закономірностей росту й розвитку рослин удосконалити технологію вирощування буряків кормових в умовах Центрального Лісостепу України. **Методи.** Лабораторно-польовий, аналітичний, статистичний. **Результати.** Стаття присвячена теоретично-експериментальному обґрунтуванню параметрів удосконаленої технології вирощування насіння буряків кормових шляхом весняної сівби під покрив кукурудзи. За такої технології насінники набувають нових біологічних ознак: до настання стійкого похолодання формуються дещо більші за масою з добре розвиненим листовим апаратом дерев'янисті коренеплоди з підвищеним вмістом сухих речовин (20–22%) та цукру (16–17%); завдяки залишенні стерні після збирання покривної культури (кукурудзи) підвищується збереженість рослин у зимовий період, яка за роки досліджень становила 89–96%, що забезпечило густоту стояння перед збиранням 177–180 тис/га, урожайність насіння 1,6–2,2 т/га зі схожістю 90–94%. Виробнича перевірка вдосконаленої технології повністю підтвердила польові дослідження. В середньому за два роки врожайність насіння становила 1,9 т/га (на контролі — 1,5 т/га), собівартість його зменшилась у 2,3 рази порівняно з контролем, прибуток від реалізації насіння склав 7963 грн/га (на контролі — 2337 грн/га). Сумарний прибуток за вдосконаленої технології в т.ч. завдяки прибутку від зеленої маси кукурудзи, склав 9133 грн/га, що в 3,9 рази більше, ніж на контролі. **Висновки.** У Центральному Лісостепу України вирощування насіння буряків кормових доцільно проводити за вдосконаленою технологією, яка передбачає: 1) сівбу маточників у першій декаді травня під покрив кукурудзи буряковими (овочевими) сівалками (в насінневі ємності засипають насіння буряків, у тукові — насіння кукурудзи); ширина міжряддя — 60 см, норма висіву насіння буряків — 50–

60 шт/м, кукурудзи — 8–12 шт/м рядка; 2) збирання кукурудзи перед зимівлею в строки, рекомендовані для даної зони і залежно від цілі використання; 3) за настання стійкого похолодання підгортання рослин із одночасним підживленням (N40–50 P60–90 K30–50 кг/га д. р.) лапами-підгортачами просапних культиваторів (УСМК-5.4Б, КОЗР-5.4 та ін.); 4) після перезимівлі — локальне внесення азотних добрив (N80–120 кг/га д. р.) + боронування важкими або середніми боронами впоперек рядків або по діагоналі; 5) у фазі добре розвиненої розетки внесення в міжряддя (локально) азотно-фосфорних добрив (N20–30 P40–60 кг/га д. р.) агрегатами МТЗ-1025+УСМК-5.4Б (КРН 56–02); 6) у період масового стеблуння — чеканку рослин (МТЗ-1025+КС-2,1); 7) у період цвітіння — дво-триразове додаткове запилення.

**Ключові слова:** удосконалена технологія, буряки кормові, кукурудза, строки сівби, норма висіву, ширина міжряддя, густа стояння, збереженість у зимовий період, урожайність і якість насіння.

**ABSTRACT**

UDC633.63.631.171.12

**Advanced technology of growing fodder beet seeds in the Central Forest Steppe of Ukraine**

Balahura O. V., Balan V. M., Doronin V. A., Volokha M. P.

Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the National Academy of Sciences of Ukraine. 03110, Kyiv, 25 Klinichna St.

**Goal.** To improve the technology of growing fodder beets in the Central Forest-Steppe of Ukraine based on the study of agro-climatic indicators, patterns of plant growth and development. **Methods.** Laboratory and field, analytical, statistical. **Results.** The article is devoted to the theoretical and experimental substantiation of the parameters of the advanced technology of growing fodder beet seeds by spring sowing under the cover of corn. With this technology, seed bearing plants acquire new biological characteristics: before the onset of stable cooling, slightly larger woody roots with a high content of dry matter (20–22%) and sugar (16–17%) are formed with a well-developed leaf apparatus; due to the remaining stubble after harvesting cover crops (corn) increases the safety of plants in winter, which over the years of research was 89–96%, which provided a plant stand density at harvest of 177–180 thousand/ha, seed yield of 1.6–2.2 t/ha with a germination of 90–94%. Production testing of advanced technology has fully confirmed the field research. On average for two years the seed yield was 1.9 t/ha (control 1.5 t/ha), its cost decreased by 2.3 times compared to the control, the profit from the sale of seeds amounted to 7963 UAH/ha (control 2337 UAH/ha). The total profit on advanced technology, including due to the profit from the green mass of corn, amounted to 9133 UAH/ha, which is 3.9 times higher than in the control. **Conclusions.** In the Central Forest-Steppe of Ukraine, it is expedient to grow fodder beet seeds according to an advanced technology, which stipulates row spacing of 60 cm, seeding rate of beet seeds per 1 m of a row 50–60 and corn 8–12; 2) harvesting corn before wintering at the time recommended for this area and depending on the purpose of use; 3) at the onset of stable cooling — hilling plants with simultaneous feeding (N40–50 P60–90 K30–50 kg/ha etc.) with paws-hillers of row cultivators (USMK-5.4B, KOZP-5.4, etc.); 4) after overwintering — local application of nitrogen fertilizers (N80–120 kg/ha, etc.) + harrowing with heavy or medium harrows across the rows or diagonally; 5) in the stage of a well-developed rosette — application of inter-row (local) nitrogen-phosphorus fertilizers (N20–30, P40–60 kg/ha, etc.) using MT3-1025+USMK-5.4B (KRN 56–02); 6) in the stage of mass stalking — removing of top foliage using MT3-1025+KC-2,1; 7) during flowering — two or three additional pollination.

**Keywords:** advanced technology, fodder beets, corn, sowing dates, sowing rate, row spacing, standing density, winter storage, seed yield and quality.

УДК 504.064.4:633.282:620.952

# ВИРОЩУВАННЯ МІСКАНТУСУ ГІГАНТСЬКОГО В УМОВАХ ПОЛІССЯ НА РАДІОАКТИВНО ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТАХ

КВАК В.М.<sup>1</sup>,  
ПОТАПЕНКО Л.В.<sup>2\*</sup>,  
СКАЧОК Л.М.<sup>2</sup>,  
ГОРБАЧЕНКО Н.І.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, 03110, м. Київ, вул. Клінічна, 25.

<sup>2</sup>Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН, 14027, м. Чернігів, вул. Шевченко, 97,

\*e-mail: potapienko74@ukr.net

**Вступ.** Чорнобильська катастрофа була найбільшою техногенною катастрофою, яка трапилася в зоні розвинутого аграрного виробництва. Одним з її негативних наслідків стало радіоактивне забруднення сільськогосподарських угідь, з яких найбільшого забруднення зазнали ґрунти Поліської зони (90%) [1].

В Україні радіоактивного забруднення зазнало 5345,4 тис. га (4,8% загальної площі), яке охопило 12 областей і 74 адміністративних районів [2]; з них 22 райони знаходяться в Чернігівській області. За результатами досліджень Чернігівської філії ДУ «Інститут охорони ґрунтів України» на стаціонарних контрольних ділянках, середній показник щільності забруднення ґрунту <sup>137</sup>Cs перевищив доварійний рівень у 12 разів, <sup>90</sup>Sr — у 5 разів. Серед забруднених сільськогосподарських територій найбільша кількість припадає на дерново-підзолисті ґрунти (43,6%), які характеризуються низьким рівнем родючості, підвищеною кислотністю та високою мобільністю радіонуклідів [3].

За час, що минув після Чорнобильської катастрофи ситуація змінилась у бік її покращення внаслідок проведеного комплексу заходів із послаблення наслідків аварії, фізичного розпаду радіонуклідів, змиву їх атмосферними опадами. В Чернігівській області станом на 2012 рік забруднення <sup>137</sup>Cs вище 1 Кі/км<sup>2</sup> становило 44 тис. га або 2,4% угідь та <sup>90</sup>Sr вище 0,02 Кі/км<sup>2</sup>–1624 тис. га або 88% угідь [4].

На забруднених територіях неможливе вирощування культур харчового призначення та обмежено вирощування кормових культур. Проте, на цих територіях можливе вирощування рослин на

промислові та енергетичні потреби. Окремими дослідниками пропонується вирощувати на радіоактивно забруднених ґрунтах міскантус гігантський (*Miscanthus giganteus* A.) [5, 6], який упродовж вегетації потребує мінімальної кількості мінеральних добрив завдяки активному розвитку кореневої системи, здатної проникати досить глибоко та використовувати поживні речовини з глибших горизонтів ґрунту [7]. Крім того, поживні речовини, які накопичуються в ризомах, використовуються повторно в новому вегетаційному періоді [8].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Нагромадження радіонуклідів у рослинницькій продукції залежить від щільності забруднення земель (Кі/км<sup>2</sup>), механічного складу ґрунту, вмісту в ньому біогенних елементів та коефіцієнту переходу (КП). Тому для ведення сільськогосподарського виробництва на забруднених радіоактивними речовинами ґрунтах важливо застосовувати, в першу чергу, такі агротехнічні й агрохімічні заходи, які знижують рівень забруднення продукції, проведення яких не потребує значних змін існуючих технологій вирощування сільськогосподарських культур. Найпоширенішими і найдоступнішими серед цих заходів є агрохімічні, а саме: вапнування, внесення підвищених доз фосфорно-калійних і органічних добрив та застосування мікродобрив [9].

Рівень забруднення врожаю однієї й тієї ж культури перш за все залежить від типу ґрунту та щільності забруднен-

ня. Накопичення радіонуклідів рослинами буде меншим на краще окультуреному ґрунті. Тому перехід радіонуклідів із чорноземів у рослини в 20–25 разів менший, ніж із дерново-підзолистих ґрунтів [10].

Внесення мінеральних добрив у дозі N<sup>60</sup>P<sup>90</sup>K<sup>120</sup> на ґрунтах дерново-підзолистого типу знижує забруднення продукції <sup>137</sup>Cs в 1,5–2,0 рази. Внесення вапна ефективно в дозах, що забезпечують нейтралізацію кислотності ґрунтового розчину з розрахунку 1,5 норми CaCO<sub>3</sub>. На полях, де прогнозована активність <sup>137</sup>Cs у продукції перевищуватиме ДР-2006, необхідно проводити вапнування в нормах за гідролітичною кислотністю, внесення гною (50–80 т/га), застосування мінеральних добрив (N<sup>60</sup>P<sup>90</sup>K<sup>120</sup>), які знижують забруднення продукції <sup>137</sup>Cs при сумісному їх застосуванні в 2,5–4,0 рази [11].

Внесення підвищених норм фосфорних добрив на радіоактивно забруднених ґрунтах створює резерви фосфору, зменшуючи надходження <sup>90</sup>Sr в рослини.

Рослини міскантуса накопичують незначну кількість радіоактивного ізотопу <sup>137</sup>Cs. За розрахунками коефіцієнтів переходу <sup>137</sup>Cs із ґрунту в рослини міскантуса можна стверджувати, що їх значення перебувають у межах 0,22–0,10 (Бк/кг/кБк/м<sup>2</sup>), які близькі до значень коефіцієнтів переходу <sup>137</sup>Cs у зернових культур (пшениці озимої, жита, ячменю).

Тому надзвичайно актуальним є розробка сучасних технологій виробництва перспективних відновлювальних джерел біопалива та впровадження їх у енерге-

Таблиця 1

Вміст <sup>90</sup>Sr в ґрунті та біомасі міскантуса залежно від агротехнічних прийомів вирощування (2016-2018 рр.)

№ вар.	Варіант	<sup>90</sup> Sr, Бк/кг		Система: ґрунт-рослина	
		ґрунт	біомаса	КН	КП
1	Контроль (умовно чистий ґрунт)	2,21±0,09	0,09±0,01	0,04	0,13
2	Забруднений радіонуклідами ґрунт	10,64±0,66	0,54±0,01	0,05	0,17
3	Забруднений ґрунт + NPK + «Поліміксобактерин» + «БіоМАГ»	9,69±0,66	0,49±0,02	0,05	0,16
4	Забруднений ґрунт + NPK + дефека́т + «Поліміксобактерин» + «БіоМАГ»	9,22±0,37	0,46±0,01	0,05	0,15

тичну галузь України на сільськогосподарських територіях, забруднених радіоактивними ізотопами, для подальшого відтворення їх родючості та безпечності. В зв'язку з цим основною метою досліджень було створення таких умов вирощування, які сприяли отриманню біомаси міскантусу з допустимим вмістом <sup>137</sup>Cs і <sup>90</sup>Sr для подальшого використання при виготовленні твердого біопалива.

Метою досліджень було дослідити накопичення радіонуклідів у біомасі міскантусу гігантського залежно від агротехнічних прийомів вирощування його на радіоактивно забруднених ґрунтах в умовах Полісся.

**Матеріали і методика досліджень.** Дослідження проводились (2016-2018 рр.) у стаціонарній лізиметричній установці у Відділі наукового забезпечення агропромислового виробництва (с. Прогрес) Інституту сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН. За конструкцією лізиметри — бетонні, за типом — насипні з п'ятишаровою гідроізоляцією. Заповнення ґрунтом проводили, починаючи з материнської породи, з урахуванням потужності кожного генетичного горизонту при їх природному розміщенні. Шар ґрунту однієї чарунки — 155 см, його маса — 10,5 т. Посівна площа лізиметричної чарунки — 3,8 м<sup>2</sup>.

Схема досліду включала чотири варіанти: 1. Контроль (умовно чистий ґрунт); 2. Забруднений радіонуклідами ґрунт; 3. Забруднений радіонуклідами ґрунт + NPK + «БіоМАГ» + «Поліміксобактерин»; 4. Еквівалентно вар. 3 + дефекаат. Агрохімічні аналізи ґрунту проводили за загальноприйнятими методиками [12]. Активність <sup>137</sup>Cs у ґрунті, рослинах та лізиметричних водах визначали за загальноприйнятною методикою із застосуванням аналізатору імпульсів СЕГ 0,5. Вміст <sup>90</sup>Sr у зразках ґрунту визначали згідно «Методические указания по определению <sup>90</sup>Sr и <sup>137</sup>Cs в почвах и растениях» [13], у рослинних зразках — «Методика измерения активности радионуклидов в счетных образцах

на сцинтилляционном бетта-спектрометре с использованием программного обеспечения «Прогресс» [14].

ґрунт у варіанті 1 — дерново-підзолистий, супіщаний. Орний шар характеризується вмістом: гумусу — 1,15%; азоту, що легко гідролізується — 60 мг; рухомого фосфору — 190 мг; обмінного калію — 60 мг на кг ґрунту;

pHсол — 5,5. Щільність забруднення радіонуклідом <sup>137</sup>Cs склала 0,89 Кі/км<sup>2</sup> та одночасно радіонуклідом <sup>90</sup>Sr — 0,019 Кі/км<sup>2</sup>.

У варіантах 2–4 орний шар ґрунту замінювали на ґрунт, забруднений радіонуклідами з території Пакульської сільської ради Чернігівської області. ґрунт дерново-підзолистий, глеуватий, супіщаний, який характеризується вмістом: гумусу — 1,21%; азоту, що легко гідролізується — 68 мг; рухомого фосфору — 142 мг; обмінного калію — 76 мг на кг ґрунту; pHсол — 5,7. Щільність забруднення ґрунту радіонуклідом <sup>137</sup>Cs склала 3,00 Кі/км<sup>2</sup> та <sup>90</sup>Sr — 0,08 Кі/км<sup>2</sup>.

Перед посадкою міскантусу в ґрунт вносили мінеральні добрива — N<sup>45</sup>P<sup>45</sup>K<sup>45</sup> та проводили вапнування дефекаатом із вмістом вуглекислого кальцію (CaCO<sub>3</sub>) 60% на суху речовину 5,0 т/га. Ризомі обробляли «Поліміксобактерином», 3 л/т та «БіоМАГом», 2 л/т. «Поліміксобактерин» — мікробний препарат на основі фосфатмобілізівної бактерії *Raenibacillus polytuxa* KB. Механізм дії препарату пов'язаний із властивістю бактерій продукувати органічні кислоти та фермент фосфатазу, що сприяє розчиненню важкорозчинних мінеральних і органічних фосфатів ґрунту та добрив, унаслідок чого активізується процес засвоєння фосфору рослинами. Крім того, бактерії продукують фітогормональні речовини, які стимулюють ріст і розвиток рослин [15]. «БіоМАГ» — це органо-мінеральне, екологічно-безпечне добриво нового покоління на основі сапропелю, яке є біологічно активною речовиною з набором мікро- і макроелементів.

Таблиця 2

Вміст <sup>137</sup>Cs у ґрунті та біомасі міскантусу залежно від агротехнічних прийомів вирощування (2016-2018 рр.)

№ вар.	Варіанти досліду	<sup>137</sup> Cs, Бк/кг		Система: ґрунт-рослина	
		ґрунт	біомаса	КН	КП
1	Контроль (умовно чистий ґрунт)	72,2±5,7	4,9±0,42	0,07	0,23
2	Забруднений радіонуклідами ґрунт	242,3±6,8	18,6±0,90	0,08	0,26
3	Забруднений ґрунт + NPK + «Поліміксобактерин» + «БіоМАГ»	228,9±20,3	16,4±1,31	0,07	0,24
4	Забруднений ґрунт + NPK + дефекаат + «Поліміксобактерин» + «БіоМАГ»	204,0±8,3	14,7±1,14	0,07	0,24

Погодні умови впродовж вегетаційного періоду міскантусу характеризувалися підвищенням середньодобової температури на 1,6 3,4 °C порівняно з середньобагатрічними показниками та дефіцитом вологи — 40% від середньобагаторічної норми (142 мм).

Результати досліджень. Надходження радіонуклідів із ґрунту в рослини перш за все залежить від їх концентрації в ґрунті та видових особливостей культур. Зі збільшенням їх вмісту в ґрунті збільшувалось їх накопичення у господарсько-цінній частині рослин.

У середньому за роки досліджень, у варіантах, де біоенергетичну культуру вирощували на забрудненому радіонуклідами ґрунті, спостерігали накопичення <sup>90</sup>Sr в біомасі в межах 0,46–0,54 Бк/кг (табл. 1), що не перевищувало допустимий рівень для зерна злакових — 20 Бк/кг [16].

Накопичення <sup>90</sup>Sr в рослинах міскантусу на забрудненому радіонуклідами ґрунті було найменшим у варіанті, де застосовували мінеральні добрива поєднано з вапнуванням і за обробки ризомів міскантусу мікробним препаратом «Поліміксобактерин» і органо-мінеральним добривом «БіоМАГ», та становило 0,46 Бк/кг, що на 0,08 Бк/кг менше за показник варіанту 2, коефіцієнт накопичення (КН), відповідно, склав — 0,05, а коефіцієнт переходу (КП) — 0,15.

У контрольному варіанті (умовно чистий ґрунт) відмічено найменший показник вмісту <sup>90</sup>Sr як у ґрунті — 2,2 Бк/кг, так і в рослинах — 0,09 Бк/кг. Проте коефіцієнт переходу при цьому був дещо нижчим порівняно з варіантами 2–4 і становив — 0,13 в системі «ґрунт-рослина».

При застосуванні на забрудненому радіонуклідами ґрунті мінеральних добрив поєднано з вапнуванням та за обробки ризомів міскантусу мікробним препаратом «Поліміксобактерин» і органо-мінеральним добривом «БіоМАГ» коефіцієнт переходу зменшувався на 47% порівняно з варіантом 2.

У проведених нами дослідженнях, у варіантах, де біоенергетичну культуру вирощували на забруднених ґрунтах, спостерігали накопичення радіоактивного <sup>137</sup>Cs в біомасі в межах 23,3 27,8 Бк/кг (табл. 2).

Слід відмітити, що в усіх варіантах досліду вміст <sup>137</sup>Cs не перевищував допустимий рівень радіоактивного цезію для зерна злакових (ДР — 50 Бк/кг) [17]. Накопичення радіонуклідів у біомасі міскантусу на забруднених ґрунтах було найменшим на варіанті при застосуванні мінеральних добрив разом із вапнуванням та за обробки ризомів міскантусу мікробним препаратом «Поліміксобактерин» і органо-мінеральним добривом «БіоМАГ» та становило 23,3 Бк/кг, коефіцієнт накопичення (КН) — 0,06, коефі-

цієнт поглинання (КП) — 0,21.

На контрольному варіанті (незабруднений ґрунт) було зафіксовано найменший показник вмісту радіонуклідів як в ґрунті — 110 Бк/кг, так і в біомасі — 8,0. Проте, коефіцієнт переходу був на рівні варіантів із забрудненого ґрунту й становив — 0,24.

У стаціонарній лізиметричній установці, в середньому за роки досліджень, отримано максимальну врожайність біомаси міскантусу у варіанті, де перед садінням вносили мінеральні добрива разом із дефекатом, а ризоми обробляли «Поліміксобактерином» поєднано з «БіоМАГом» — 27,1 т/га, що вище від показника контролю на 26% (табл. 3).

Відповідно, на цьому ж варіанті отримано найбільшу врожайність сухої речовини — 9,96 т/га, вихід твердого біопалива — 10,96 т/га та вихід енергії — 175,3 ГДж.

У середньому за трирічними даними врожайність біомаси у варіанті, де в забруднений радіонуклідами ґрунт вносили

мінеральні добрива разом із дефекатом, а ризоми обробляли «Поліміксобактерином» поєднано з «БіоМАГом», перевищила врожайність у варіанті 2 (забруднений радіонуклідами ґрунт) — на 4,1 т/га (18%), урожайність сухої речовини — на 1,58 т/га (19%), вихід твердого палива — на 1,75 т/га та по виходу енергії — на 27,9 ГДж.

Порівнюючи врожайність біомаси на варіантах 1 і 2 можна відмітити, що врожайність у варіанті 2 була вищою на 1,5 т/га, врожайність сухої речовини — на 0,6 т/га, вихід твердого біопалива — на 0,65 т/га і вихід енергії — на 10,5 ГДж порівняно з контролем (умовно чистий ґрунт).

**Висновки.** 1. Встановлено, що вміст радіоактивних ізотопів у біомасі міскантусу на забруднених радіонуклідами ґрунтах знаходився в межах: для  $^{137}\text{Cs}$  — 14,7–18,6 Бк/кг,  $^{90}\text{Sr}$  — 0,46–0,54 Бк/кг, що нижче ДР.

2. Досліджено, що застосування мінерального підживлення в комплексі з вап-

нуванням, інокуляцією ризомів мікробним препаратом «Поліміксобактерин» і допосадковою обробкою орґано-мінеральним добривом «БіоМАГ» сприяло зменшенню надходження радіонуклідів до біомаси, відповідно на 21% і 15% порівняно з показниками, що отримані на забрудненому радіоактивними речовинами ґрунті.

3. За використання агротехнічних прийомів: мінеральні добрива + дефекаат + «Поліміксобактерин» + «БіоМАГ» одержані коефіцієнти переходу радіонуклідів у біомасу міскантусу по  $^{90}\text{Sr}$  — 0,15 та по  $^{137}\text{Cs}$  — 0,24.

4. В середньому за роки досліджень максимальну врожайність біомаси було отримано на варіанті, де забруднений ґрунт підживлювали мінеральними добривами разом із дефекатом, а ризоми були оброблені «Поліміксобактерином» поєднано з «БіоМАГом», яка становить — 27,1 т/га, що вище від контролю на 26%, урожайність сухої речовини — 9,96 т/га, вихід твердого біопалива — 10,96 т/га та вихід енергії — 175,3 ГДж.

Таблиця 3

Вплив агротехнічних прийомів на продуктивність рослин міскантусу

№ вар.	Варіанти досліджу	Урожайність біомаси за роками, т/га			Урожайність сухої речовини (середнє)		Вихід твердого палива, т/га	Вихід енергії, ГДж
		2016 рік	2017 рік	2018 рік	т/га	приріст, %		
1	Контроль (умовно чистий ґрунт)	7,53±0,76	22,0±1,53	35,1±1,34	7,78	100	8,56	136,9
2	Забруднений радіонуклідами ґрунт	7,92±0,46	23,3±1,18	37,7±1,73	8,38	108	9,21	147,4
3	Забруднений ґрунт + NPK + «Поліміксобактерин» + «БіоМАГ»	8,14±0,49	24,5±1,78	40,4±1,03	9,05	116	9,95	159,2
4	Забруднений ґрунт + NPK + дефекаат + «Поліміксобактерин» + «БіоМАГ»	8,76±0,75	27,2±1,21	45,3±1,27	9,96	128	10,96	175,3

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Веремієнко С. І., Мороз О. С. Розробка методики прогнозування вмісту радіонуклідів у сільськогосподарській продукції. Вісник ЖНАЕ. Екологія та охорона навколишнього середовища. 2016. № 1 (53), т. 1. С. 15–22.
2. Тридцять років Чорнобильської катастрофи: радіологічні та медичні наслідки: Національна доповідь України. К., 2016. 177 с.
3. Мельник А. І. Особливості ведення сільськогосподарського виробництва в умовах радіоактивного забруднення. Наукові основи агропромислового виробництва Чернігівської області; за ред. І. В. Гриника, А. Г. Бардакова. Чернігів: РВК «Деснянська правда», 2004. С. 267–288.
4. Двадцять п'ять років Чорнобильської катастрофи: безпека майбутнього: Національна доповідь України. К.: КІМ, 2011. 346 с.
5. Курило В. Л., Гументик М. Я., Квак В. М., Дубовий Ю. П. Удосконалення елементів технології вирощування міскантусу в умовах Центрального Лісостепу України для виробництва твердого біопалива. Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків. 2016. Вип. 24. С. 77–85.
6. Nishiwaki A., Mizuguti A., Kuwabara S. Discovery of natural *Miscanthus* (Poaceae) triploid plants in sympatric populations of *Miscanthus sacchariflorus* and *Miscanthus sinensis* in southern Japan. *American Journal of Botany*. 2011. vol. 98. P. 154–159.
7. Ратошнюк Т. М. Особливості землекористування в радіоактивно забрудненому регіоні. Наслідки аварії на ЧАЕС: реалії сьогодення. Збірник доповідей учасників Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю, 25–27 березня 2019 року, м. Житомир. Житомир, ІСГП НААН. С. 59–62.
8. Кочик Г. М., Мельничук А. О., Гуреля В. В., Кучер Г. А. Сучас-

ний стан радіоактивно забруднених територій: ключові проблеми та шляхи їх вирішення. Наслідки аварії на ЧАЕС: реалії сьогодення. Збірник доповідей учасників Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю, 25–27 березня 2019 року, м. Житомир. Житомир, ІСГП НААН. С. 3–16.

9. Роїк М. В., Сінченко В. М., Івашенко О. О. та ін. Міскантус в Україні. К.: ТОВ «ЦП «Компрінт», 2019. 256 с.

10. Мельник А. І. Агрохімічний стан ґрунтів та застосування добрив у Чернігівській області (інформаційно-аналітичний довідник). Чернігів, 2012. 92 с.

11. Роїк М. В., Ганженко О. М., Тимошук В. А. Концепція виробництва твердого біопалива з біоенергетичних рослин в Україні. Біоенергетика. 2015. № 1. С. 5–8.

12. Ковальчук В. П., Васильєв В. Г., Бойко Л. В., Зосимов В. Д. Сборник методов исследования почв и растений — К.: Труд-ГриПол-XXI вік, 2010–252 с.

13. Методические указания по определению  $^{90}\text{Sr}$  и цезия-137 в почвах и растениях. М., 1985. 62 с.

14. Методика измерения активности радионуклидов в счетных образцах на сцинтилляционном бетта-спектрометре с использованием программного обеспечения «Прогресс». М.: ГНМЦ ВНИИФТРИ, 2003. 30 с.

15. Волкогон В. В., Заришняк В. С., Пилипенко Л. А. та ін. Мікробні препарати в сучасних агротехнологіях: науково-практичні рекомендації; за ред. В. В. Волкогона. Київ, 2015. 248 с.

16. Державні гігієнічні нормативи. Допустимі рівні вмісту радіонуклідів  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  у продуктах харчування та питної води (ДР-2006). Офіційний вісник України від 02.08.2006. 2006. № 29. Ст. 2114. С. 142–150.

## REFERENCES

- Veremienko, S. I. & Moroz, O. S. (2016). Rozrobka metodyky prohnozuvannya vmistu radionuklidiv u silskohospodarskii produktsii [Development of methods for forecasting the content of radionuclides in agricultural products]. *Visnyk ZhNAE. Ekolohiia ta okhrona navkolyshnoho seredovyshcha*. № 1 (53), Vol. 1 15–22 [in Ukrainian].
- Trydtsiat rokiv Chornobylskoi katastrofy: radiolohichni ta medychni naslidky: Natsionalna dopovid Ukrainy [Thirty years of the Chernobyl disaster: radiological and medical consequences: National report of Ukraine]. (2016). Kiev: 177 s. [in Ukrainian].
- Melnyk A. I. Osoblyvosti vedennia silskohospodarskoho vyrobnytstva v umovakh radioaktyvnoho zabrudnennia. Naukovi osnovy ahropromysloвого vyrobnytstva Chernihivskoi oblasti [Features of agricultural production in terms of radioactive contamination. Scientific bases of agro-industrial production of Chernihiv region]. (2004). I. V. Hrynyka, A. H. Bardakova. Chernihiv: RVK «Desnianska pravda», S. 267–288. [in Ukrainian].
- Dvadsiat piat rokiv Chornobylskoi katastrofy: bezpeka maibutnoho: Natsionalna dopovid Ukrainy [Twenty-Five Years of the Chernobyl Accident: The Security of the Future: A National Report from Ukraine.]. (2011). Kiev: KIM, 346 s. [in Ukrainian].
- Kurylo V. L., Humentyk M. Ya., Kvak V. M., Dubovy Yu. P. (2016). Udoshkonalennia elementiv tekhnologii vyroshchuvannya miskantusu v umovakh Tsentralnoho Lisostepu Ukrainy dlia vyrobnytstva tverdogo biopalyva. *Nauk. praci Inst. bioenerg. kul't. cukrov. burakiv* [Scientific papers of the Institute of bioenergy crops and sugar beet], 24, 77–85. [in Ukrainian].
- Nishiwaki A., Mizuguti A., Kuwabara S. (2011). Discovery of natural *Miscanthus* (Poaceae) triploid plants in sympatric populations of *Miscanthus sacchariflorus* and *Miscanthus sinensis* in southern Japan. *American Journal of Botany*. vol. 98. P. 154–159.
- Ratoshniuk T. M. (2019). Features of land use in a radioactively contaminated region. In *Zbirnyk dopovidei uchasnykiv Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii z mizhnarodnoiu uchastiu* [Consequences of the Chernobyl accident: the realities of today. Collection of reports of the participants of the All-Ukrainian scientific-practical conference with international participation], (pp. 59–62). March 25–27, 2019, Zhytomyr, Ukrainian [in Ukrainian].
- Kochyk H. M., Melnychuk A. O., Hurelia V. V., Kucher H. A. (2019). The current state of radioactively contaminated areas: key problems and ways to solve them. In *Zbirnyk dopovidei uchasnykiv Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii z mizhnarodnoiu uchastiu* [Consequences of the Chernobyl accident: the realities of today. Collection of reports of the participants of the All-Ukrainian scientific-practical conference with international participation], (pp. 3–16). March 25–27, 2019, Zhytomyr, Ukrainian [in Ukrainian].
- Roik M. V., Sinchenko V. M., Ivashchenko O. O. (2019) *Miskantus v Ukraini* [Miscanthus in Ukraine]. Kiev: TOV «TsP «Komprint». [in Ukrainian].
- Melnyk A. I. (2012). *Ahrokhimichnyi stan gruntiv ta zastosuvannya dobryv u Chernihivskii oblasti (informatsiino-analitychnyi dovidnyk)* [Agrochemical condition of soils and fertilizer application in Chernihiv region (information-analytical reference book)]. Chernihiv. [in Ukrainian].
- Roik M. V., Hanzhenko O. M., Tymoshchuk V. A. (2015). The concept of solid biofuel production from bioenergy plants in Ukraine. *Bioenerhetyka* [Bioenergy], 1, 5–8. [in Ukrainian].
- Koval'chuk V. P., Vasil'ev V. G., Boyko L. V., Zosimov V. D. (2010). *Sbornik metodov issledovaniya pochv i rastenyi* [Collection of methods for the study of soils and plants]. Kiev: Trud-HryPol- XXI vik. [in Russian].
- Metodycheskye ukazaniya po opredeleniyu  $^{90}\text{Sr}$  y tseyzia-137 v pochvakh y rastenyakh [Guidelines for the determination of  $^{90}\text{Sr}$  and cesium-137 in soils and plants]. (1985). Moskva. [in Russian].
- Metodika izmereniya aktivnosti radionuklidov v schetnykh obraztsakh na stsintillyatsionnom beta-spektrometri s ispol'zovaniem programnogo obespecheniya «Progress». (2003). Moskva: GNMTS VNIIFTRI. [in Russian].
- Volkohon V. V., Zaryshniak V. S., Pylypenko L. A. (2015). *Mikrobnii preparaty v suchasnykh ahrotekhnolohiyakh: naukovo-praktychni rekomendatsii* [Microbial preparations in modern agrotechnologies: scientific and practical recommendations]. V. V. Volkohona. Kyiv. [in Ukrainian].
- Derzhavni hihienichni normatyvy. Dopustymi rivni vmistu radionuklidiv  $^{137}\text{Cs}$  ta  $^{90}\text{Sr}$  u produktakh kharchuvannya ta pytnoi vody (DR-2006). (2006). *Ofitsiynyi visnyk Ukrainy vid 02.08.2006*. [Official Gazette of Ukraine dated August 2, 2006]. 29. St. 2114, 142–150. [in Ukrainian].

## АНОТАЦІЯ

УДК 504.064.4: 633.282: 620.952

## Вирощування міскантусу гігантського в умовах Полісся на радіоактивно забруднених ґрунтах

Квак В. М.<sup>1</sup>, Потепенко Л. В.<sup>2</sup>, Скачок Л. М.<sup>2</sup>, Горбаченко Н. І.<sup>2</sup><sup>1</sup>Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН. 03110, м. Київ, вул. Клінічна, 25.<sup>2</sup>Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН; 14027, м. Чернігів, вул. Шевченко, 97, \*e-mail: potapienko74@ukr.net

**Мета.** Дослідити накопичення радіонуклідів  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$  у біомасі міскантусу гігантського залежно від агротехнічних прийомів вирощування його на радіоактивно забруднених ґрунтах в умовах Полісся. **Методи дослідження:** біоморфологічний, радіометричний, лізометричний, статистичний, порівняльно-обчислювальний. **Результати.** В статті відображено результати досліджень із вивчення накопичення радіонуклідів  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$  у біомасі міскантусу гігантського. Встановлено, що у варіантах, де біоенергетичну культуру вирощували на забруднених радіонуклідами ґрунтах, спостерігали накопичення в біомасі  $^{137}\text{Cs}$  в межах 14,7–18,6 Бк/кг і  $^{90}\text{Sr}$  — 0,46–0,54 Бк/кг. Застосування мінеральних добрив разом із вапнуванням та за инокуляції ризом міскантусу гігантського мікробним препаратом «Поліміксобактерин» і обробки органо-мінеральним добривом «БіоМАГ» сприяло зменшенню накопичення радіонуклідів у біомасі міскантусу гігантського по  $^{90}\text{Sr}$  — на 15% та по  $^{137}\text{Cs}$  — 21%. Досліджено, що використання цих агротехнічних прийомів сприяло формуванню врожайності сухої біомаси на рівні 9,96 т/га в середньому за три роки вирощування, що на 28% перевищує контроль. **Висновок.** Встановлено, що застосування мінерального підживлення в комплексі з вапнуванням, инокуляцією ризом міскантусу гігантського мікробним препаратом «Поліміксобактерин» і передпосадковою обробкою органо-мінеральним добривом «БіоМАГ» сприяє істотному підвищенню врожайності сухої біомаси, зменшенню вмісту  $^{90}\text{Sr}$  і  $^{137}\text{Cs}$  у біомасі. Накопичення цих радіоактивних ізотопів у біомасі міскантусу гігантського при вирощуванні на забруднених радіонуклідами ґрунтах не перевищувало допустимий рівень для зерна злакових, а застосування агротехнічних прийомів сприяло зниженню вмісту  $^{90}\text{Sr}$  — на 9–15% та  $^{137}\text{Cs}$  — на 12–21% порівняно з контрольними варіантами. За використання мінеральних добрив разом із вапнуванням і за инокуляції ризом міскантусу гігантського «Поліміксобактерином» та обробки органо-мінеральним добривом «БіоМАГ» було отримано найменші коефіцієнти переходу радіонуклідів у біомасу міскантусу гігантського як по  $^{90}\text{Sr}$  — 0,15 так і по  $^{137}\text{Cs}$  — 0,24.

**Ключові слова:** мінеральні добрива, біомаса, біопаливо, радіонукліди, елементи технології.

## ABSTRACT

UDC504.064.4:633.282:620.952

## Growing giant miscanthus in Polissya on radioactively contaminated soils

Kvak V. M.<sup>1</sup>, Potapenko L. V.<sup>2</sup>, Skachok L. M.<sup>2</sup>, Gorbachenko N. I.<sup>2</sup><sup>1</sup> Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet NAAS of Ukraine; 25 Klinichna Str., Kyiv, 03141, Ukraine<sup>2</sup> Institute of Agricultural Microbiology and Agroindustrial Production of NAAS; 14027, Chernihiv, street Shevchenko, 97,

\*e-mail: potapienko74@ukr.net

**Purpose.** Investigate the accumulation of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  radionuclides in the biomass of giant miscanthus depending on the agronomic methods of growing it on radioactively contaminated soils in Polissia. **Method.** Biomorphological, radiometric, lysometric, statistical, comparative and computational. **Results.** The article presents the results of research to study the accumulation of radionuclides  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in the biomass of giant miscanthus. It was found that in the variants where the bioenergy crop was grown on soils contaminated with radionuclides, the accumulation of  $^{137}\text{Cs}$  in the biomass in the range of 14.7–18.6 Bq/kg and  $^{90}\text{Sr}$  — 0.46–0.54 Bq/kg was observed. The use of mineral fertilizers together with liming and inoculation with giant miscanthus with the microbial preparation *Polymyxobacterin* and treatment with organo-mineral fertilizer *BioMAG* helped to reduce the accumulation of radionuclides in the biomass of giant miscanthus as following:  $^{90}\text{Sr}$  — by 15% and  $^{137}\text{Cs}$  by 21%. It was investigated that the use of these agronomic techniques contributed to the formation of dry biomass yield at the level of 9.96 t/ha on average over three years of cultivation, which is 28% higher than the control. **Conclusion.** It is established that the use of mineral fertilization in combination with liming, inoculation of rhizomes of giant miscanthus with the microbial drug *Polymyxobacterin* and pre-planting treatment with organo-mineral fertilizer *BioMAG* contributes to a significant increase in dry biomass yield with reducing  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$ . The accumulation of these radioactive isotopes in the biomass of giant miscanthus when grown on radionuclide-contaminated soils did not exceed the permissible level for cereal grains, and the use of agronomic techniques helped to reduce the content of  $^{90}\text{Sr}$  by 9–15% and  $^{137}\text{Cs}$  by 12–21% compared to control. The lowest coefficients of radionuclide conversion into biomass of giant miscanthus were obtained for both  $^{90}\text{Sr}$  (0.15) and  $^{137}\text{Cs}$  (0.24) for the use of mineral fertilizers together with liming and inoculation of giant miscanthus rhizomes with *Polymyxobacterin* and treatment with *BioMAG* organo-mineral fertilizer.

**Keywords:** mineral fertilizers, biomass, biofuel, radionuclides, elements of technology.

УДК 633.179: 631.53.01:631.559

# СТРАТИФІКАЦІЯ

## ЯК СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ СХОЖОСТІ НАСІННЯ

### ПРОСА ПРУТОПОДІБНОГО (*PANICUM VIRGATUM L.*)

ДРИГА В.В.,

канд. с.-г. наук

(e-mail: vikadrynika@mail.ru).

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, 03110, м. Київ, вул. Клінічна, 25.

**Постановка проблеми.** Сьогодні перед людством стоїть важливе питання: раціональне використання запасів палива та зменшення впливу парникових газів на навколишнє середовище. Вчені розраховували, що обмеження змін клімату й утримання його на безпечному рівні, за якого можна уникнути небезпеки для існування екосистем, у XXI столітті слід використовувати лише чверть обсягу викопного палива, яке нині вважається економічно вигідним для споживання [1]. Недостатня забезпеченість нашої країни традиційними власними енергоносіями зобов'язує не лише економно їх використовувати, а й шукати нові альтернативні джерела енергії. В Україні екологічно чиста біоенергія складає всього 3% [2]. Вагомою альтернативою традиційному пальному на сьогодні є біопаливо [3]. Ґрунтово-кліматичні умови України сприятливі для вирощування біоенергетичних культур і вона має великий потенціал створення стабільного ринку енергетичних культур та використання їх сировини для виробництва біопалива [4]. Перспективними видами біоенергетики є використання біомаси рослинного походження — фітоенергетика [5]. Практичний інтерес для виготовлення біопалива з фітомаси представляє багаторічна злакова культура — просо прутіподібне, якому властиві відносно висока врожайність, низька потреба у воді та підживленні, надійна продуктивність у широкому географічному ареалі, зменшена ерозія ґрунту, поглинання вуглецю та покращення середовища існування дикої природи [6]. Розмножується культура переважно насінням, яке характеризується великим станом спокою, що призводить до низької польової схожості та отримання нерівномірних сходів. Це є головним стримуючим фактором широкого впровадження проса прутіподібного у виробництво. Тому розробка способів зниження біологічного стану спокою насіння та підвищення його схо-

жості є актуальним і має теоретичне та практичне значення, що й було метою досліджень.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Стан органічного спокою притаманний цілому ряду культур: насінню салату, яке перебуваючи у вимушеному спокої, за сприятливих умов проростає вже на 3–5 день, а за глибокого органічного спокою не проростає навіть за сприятливих умов [7], залежно від видового складу злакових багаторічних трав тривалість спокою насіння становить: у костриці тонколистої — 120–158 діб, пирію середнього — 79–85 діб, стоколосу прибережного — 58–90 діб, житняка гребінчастого — 63–117 діб та регнерії шорсткостеблової — 84–113 діб [8], насінню видів роду *Vitex* характерний глибокий фізіологічний спокій із подвійним механізмом гальмування його проростання. Подвійний механізм гальмування проростання насіння є особливий недорозвинутий стан зародка та знижена газопроникність насінневої оболонки [9]. У багатьох видів рослин насіння відразу після його дозрівання не здатне до проростання, наприклад у зернових культур, оскільки знаходиться в стані глибокого спокою.

Стан спокою в рослин буває тривалим (глибоким) і вимушеним. За глибо-

кого стану спокою насіння або бруньки на продуктивних органах не проростають навіть за сприятливих умов. Вимушеним стан спокою буває тоді, коли насіння й бруньки здатні проростати, але для цього немає відповідних умов — низькі температури, нестача води, повітря [10]. Вихід насіння зі стану спокою можливий за впливу широкого спектру ендогенних та екзогенних чинників. Серед екзогенних чинників важливе місце посідають температурний, водний і світловий режими [11], серед ендогенних — фітогормональна система, що регулює метаболізм і сигналінг при переході насіння зі стану спокою до проростання [12–14]. Фітогормони контролюють і координують поділ, ріст та диференціації клітин а також приймають участь у регуляції процесів спокою та проростання насіння [14, 15].

Стан спокою можна порушити різними способами, але більшість із них ґрунтується на створенні стресових умов у період проростання насіння або ж до початку його проростання: низькими або перемінними температурами, дією світла або темноти; дією різних екологічних факторів; після дозрівання зародку [16, 17]. За даними Г. Сельє [18], стрес — це сукупність усіх неспецифічних змін, які відбуваються

Таблиця 1.

Якість насіння проса прутіподібного залежно від умов його пророщування (середнє з 3 дослідів, 2019-2020 рр.)

Варіант		Енергія проростання, %	Схожість, %
умови пророщування (фактор А)	сорт (фактор В)		
За температури 20 °С	Форесбург	72	74
	Аламо	67	74
	Кейв-ін-Рок	64	67
	Морозко	83	85
Середнє		72	75
Попереднє охолодження упродовж 7 діб за температури 10 °С з пророщуванням за температури 20 °С	Форесбург	78	79
	Аламо	74	75
	Кейв-ін-Рок	72	74
	Морозко	88	88
Середнє		77	79
НІР0,05 заг.		2,3	2,5
НІР0,05 охолодження		1,1	1,2
НІР0,05 сорт		1,6	1,7

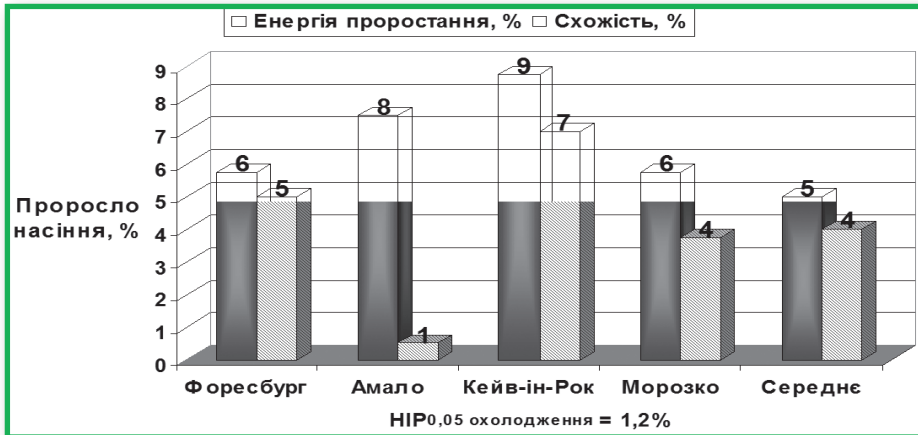


Рис. 1. Приріст енергії проростання та схожості залежно від стратифікації її сортових особливостей

в організмі за впливу на нього різних чинників. Одним зі способів зниження біологічного стану спокою насіння і, відповідно, підвищення його енергії проростання і схожості є застосування стратифікації — штучного створення періоду природного зимового спокою, умов низької температури та підвищеної вологості. Перебування насіння в таких умовах певний період за подальшого пророщування його в теплих умовах сприяє зменшенню стану його спокою й підвищенню схожості.

Метою досліджень було дослідити вплив стратифікації насіння на його енергію проростання та схожість залежно від сортових особливостей преса прутноподібного.

**Матеріали та методика досліджень.** Програмою досліджень передбачено вивчення впливу стратифікації насіння на його енергію проростання та схожість залежно від сортових особливостей. Дослідження проводили в Інституті біоенергетичних культур і цу-

крових буряків НААН в 2019–2020 рр. З метою визначення реакції різних генотипів на стратифікацію — дію пониженої температури на схожість насіння був проведений дослід із насінням чотирьох сортів. різних груп стиглості: сорти американського походження: Форесбург (Forestburg) — ранній, Кейв-ін-рок (Cave-in-rock) — середньопізній, Аламо (Alamo) — пізній та українського походження Морозко — середньопізній, яке було вирощене в умовах Ялтушківської ДСС.

Стратифікацію проводили шляхом висіву насіння на вологий субстрат (папір), охолодження його за температури 10 °С протягом 7 діб, після чого пророщування в термостаті за температури 20 °С. Період попереднього охолодження не входив у термін визначення схожості. Підрахунки пророслого насіння проводили лише при його пророщування за постійної температури 20 °С на 10 (енергія проростання) та 150С (схожість) добу згідно з методи-

кою Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків [19]. Статистичну обробку експериментальних даних здійснювали методами дисперсійного аналізу за методом Фішера [20] з використанням комп'ютерної програми Statistica 6.0 від StatSoft [21].

**Результати досліджень.** З'ясовано, що стратифікація — охолодження насіння впродовж 7 діб за температури 10 °С і пророщуванням його за температури 20 °С забезпечило достовірне підвищення енергії проростання й схожості насіння всіх сортів, що вивчали. У середньому по сортах енергія проростання збільшилася на 5%, а схожість — на 4% (табл. 1).

Стратифікація насіння по різному впливала на його якість залежно від сортових особливостей, при цьому не спостерігалось закономірних змін його якості залежно від груп стиглості сортів преса прутноподібного. Найвищі показники якості (85–88%) як за пророщування без охолодження насіння, так і з його охолодженням отримано в середньопізнього сорту українського походження Морозко, найнижчі — в середньопізнього сорту американського походження Кейв-ін-рок (67–74%).

Схожість насіння раннього сорту Фаресбург та пізнього Аламо були на рівні 74–79%. Виявлено, що між енергією проростання та схожістю до стратифікації й після її проведення є тісна кореляція, коефіцієнт кореляції становить, відповідно — 0,99 та 0,93. Тобто, енергія проростання та схожість насіння достовірно підвищилися в усіх сортів після стратифікації й цей захід передпосівної підготовки насіння більше впливав на енергію проростання (рис. 1).

Найбільший приріст енергії проростання отримано за стратифікації насіння сортів Кейв-ін-рок (9%) та Аламо (8%), приріст енергії проростання сортів Форесбург та Морозко був однаковим і становив 6%. Схожість насіння також достовірно підвищувалася в усіх сортів, але приріст цього показника був меншим, а в сорту Аламо він становив лише 1%.

Аналіз факторів, які впливали на якість насіння, показав, що вплив стратифікації на енергію проростання становив 20%, а на схожість 10% (рис. 2).

Найбільше впливали на якість насіння сортові особливості: на енергію проростання він становив 77%, на схожість — 82%.

**Висновки.** Стратифікація насіння — попереднє його охолодження у вологому ложі за пониженої температури 10 °С упродовж 7 діб і подальше пророщування за постійної температури 20 °С — забезпечило зниження біологічного стану спокою насіння та

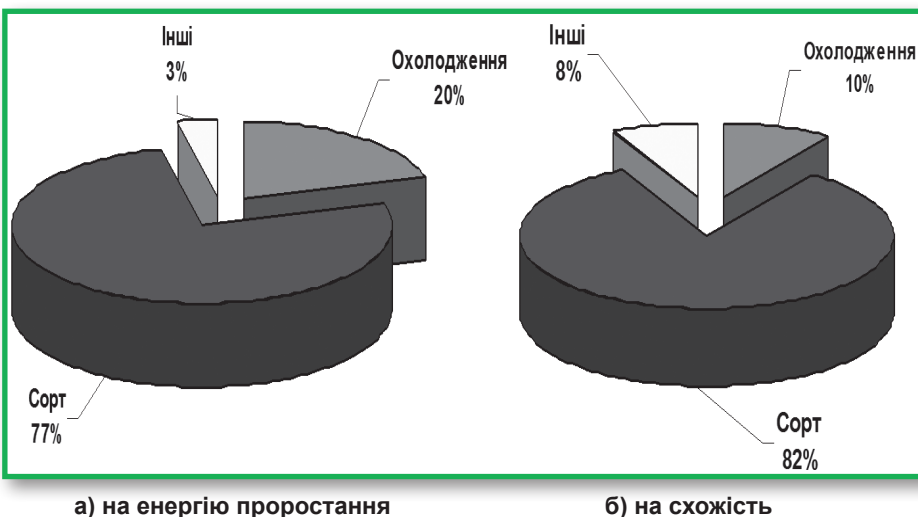


Рис. 2. Вплив факторів на якість насіння



підвищення енергії проростання на 5%, схожості — на 4%. Цей захід передпосівної підготовки насіння більше впливав на енергію проростання, ніж на схожість, частка впливу становила 20%. Але цей спосіб зниження стану спокою

не забезпечує повного вирішення зниження біологічного стану спокою насіння. За даними Shen ZX, Parrish DJ, Wolf DD, Welbaum DE [22], стратифікацію насіння неможливо застосувати у виробничих умовах, оскільки вологе

насіння для механічного висіву необхідно підсушувати до силучого стану, а після його висушування ефект зниження стану втрачається й попередньо охолоджене насіння повертається до стану спокою.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України «Про Єдиний митний тариф» № 2097-XII від 05.02.1992р. URL: [www.rada.gov.ua](http://www.rada.gov.ua).
2. Пояснювальна записка до Закону України про зменшення споживання природного газу стосовно котлів на біомасі та інших видах місцевого палива. URL: [http://www.journal.esco.co.ua/2006\\_2/art123.htm](http://www.journal.esco.co.ua/2006_2/art123.htm).
3. Сінченко В. М., Гументик М. Я., Бондар В. С. Перспективи технології виробництва біопалива. Біоенергетика № 2(4). Київ. 2014. С. 13.
4. Курило В. Л., Роїк М. В., Ганженко О. М. Біоенергетика в Україні: стан та перспективи розвитку. Біоенергетика. 2013. № 1. С. 5–10.
5. Талавиря М. П., Барановська О. Д., Добрівська М. В. та ін. Розвиток та застосування різних видів біоенергетики: [Монографія]. Ніжин: Видавець ПП Лисенко М. М., 2012. 180 с.
6. Switchgrass — practical issues in developing a fuel crop Yogendra N. Shastri, Alan C. Hansen, Luis F. Rodriguez and K. C. Ting Address: Energy Biosciences Institute and Department of Agricultural and Biological Engineering, 1206 W. Gregory Drive, 1119 IGB, Urbana, IL 61801, USA
7. Лещук Н. В., Шлак Л. А. Вплив стану спокою насіння салату (*Lactuca sativa* L.) на зміни його анатомічної будови і хімічного складу. Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин. 2005. № 2. С. 21–27.
8. Бугайов В. В. Особливості проростання та зберігання насіння малопоширених видів злакових багаторічних трав. автореф. дис. канд. с.-г. наук: спец. 06.01.05. «Селекція і насінництво» / Ін-т біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН. Київ, 2015. 19 с.
9. Левчик Н. Я. Природа глибокого спокою насіння представників роду *Vitex* L. Та практичний досвід його подолання. Вісник Українського товариства генетиків і селекціонерів. 2013. Том 11. С. 58–67.
10. Барабаш О. Ю., Тараненко Л. К., Сич З. Д. Біологічні основи овочівництва. Київ: Арістей, 2005. 350 с.
11. Николаева М. Г. Лянгузова И. В., Поздова Л. М. Биология семян. СПб: НИИ химии СПбГУ, 1999. 232 с.
12. Bewley, J.D. & Black, M. (1994). *Seeds: Physiology of Development and Germination*. Berlin: Springer doi: <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-1002-8>
13. Liu, A., Gao, F., Kanno, Y., Jordan, M., Kamiya, Y., Seo, M. & Ayele, B. (2013). Regulation of wheat seed dormancy by after-ripening is mediated by specific transcriptional switches that induce changes in seed hormone metabolism and signaling. *PLoS One*, 8, e56570. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0056570>.
14. Shu, K., Liu, X., Xie, Q. & He, Z. (2016). Two Faces of One Seed: Hormonal Regulation of Dormancy and Germination. *Mol. Plant.*, 69, pp. 34–45. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2015.08.010>
15. Graeber, K., Nakabayashi, K., Miatton, E., Leubner-Metzger, G. & Soppe, W. (2012). Molecular mechanisms of seed dormancy. *Plant Cell Environ.*, 35 (10), pp. 1769–1786. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2012.02542.x>
16. Биология семян и семеноводство [перевод с польского Г. Н. Мирошниченко]. М.: Колос, 1976. 415 с.
17. *Vy'ology' ya semyan y' semenovodstvo* [perevod s pol'skogo G. N. My' roshny' chenko]. М.: Kolos, 1976. 415 с.
18. Селье Г. Очерки об адаптационном синдроме. Москва: Медгиз, 1960. 254 с.
19. Доронін В. А., Кравченко Ю. А., Бусол М. В., Доронін В. В., Мандровська С. М., Гончарук Г. С. Визначення схожості насіння проса прутноподібного (свічграсу) *Panicum virgatum* L. (Методичні рекомендації) — К., ІБКІЦБ НААН. 2015. 10 с.
20. Fisher R. A. *Statistical methods for research workers*. New Delhi: Cosmo Publications, 2006. 354 p.
21. Сайт компанії StatSoft, розробочка программи Statistica 6.0: <http://www.statsoft.ru/>.
22. Shen ZX, Parrish DJ, Wolf DD, Welbaum DE. Stratification in switchgrass seeds is reversed and hastened by drying. *Crop Sci* 2001;41(5):1546e51.

### АНОТАЦІЯ

УДК 633.179: 631. 53.01:631.559

Стратифікація як спосіб підвищення схожості насіння проса прутноподібного (*Panicum virgatum* L.)

Дрига В. В., канд. с.-х. наук; e-mail: vikadrynika@mail.ru

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, (Київ, Україна)

У статті наведено результати досліджень із впливу стратифікації насіння на його енергію проростання та схожість залежно від сортових особливостей із метою зниження біологічного стану спокою насіння та значне підвищення схожості. **Методи.** Лабораторний, вимірювально-ваговий, математично-статистичний. **Результати.** Визначення реакції різних генотипів на стратифікацію — дію пониженої температури на схожість насіння проводили з насінням чотирьох сортів, різних груп стиглості: сорти американського походження Форесбург (Forestburg) — ранній, Кейв-ін-рок (Cave-in-rock) — середньопізній, Аламо (Alamo) — пізній та українського походження Морозко — середньопізній. З'ясовано, що стратифікація — охолодження насіння впродовж 7 днів за температури 10 °С і пророщуванням його за температури 20 °С — забезпечила достовірне підвищення енергії проростання та схожості насіння всіх сортів, що вивчали. В середньому по сортах енергія проростання збільшилася на 5%, а схожість — на 4%. Стратифікація насіння по різному впливала на його якість залежно від сортових особливостей, при цьому не зазначено закономірних змін його якості залежно від груп стиглості проса прутноподібного. Виявлено, що стратифікація більше впливала на енергію проростання, частка впливу становила 20%. **Висновки.** З'ясовано, що стратифікація забезпечила достовірне підвищення енергії проростання й схожості насіння всіх сортів, що вивчали. В середньому по сортах енергія проростання збільшилася на 5%, а схожість — на 4%. Проте цей захід не забезпечує повного вирішення зниження біологічного стану спокою насіння.

**Ключові слова:** стратифікація, стан спокою, якість насіння, енергія проростання, схожість.

### ABSTRACT

UDC633.179: 631. 53.01:631.559

**Stratification as a way to increase the germination of switchgrass seeds (*Panicum virgatum* L.)**

Dryga V. V., candidate of agricultural sciences

Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet NAAS of Ukraine; 25 Klinichna Str., Kyiv, 03141, Ukraine

**Introduction.** There is a practical interest in biofuels production from biomass of perennial cereal grasses such as switchgrass, which is characterized by relatively high yields, low water and fertilization demand, reliable productivity in a wide geographical area, reduced soil erosion, carbon sequestration and improved wildlife habitat. The crop is propagated mainly by seeds, which is characterized by a long dormancy period, which leads to low field germination and uneven germination. **Methods.** Laboratory, visual, measuring and weighing, mathematical and statistical. **Results.** The main restraining factor in switchgrass widespread introduction into production and one of the ways to reduce the biological state of rest is stratification. Therefore, the aim of the research was to investigate the influence of seed stratification on the seed vigour and germination depending on the switchgrass varietal characteristics. The article presents the results of research on the seed stratification influence on its vigor and germination depending on varietal characteristics in order to reduce the biological dormancy of seeds and significantly increase germination. Determination of the response of different genotypes to stratification, the effect of low temperature on seed germination was carried out using seeds of four varieties of different groups of maturity: American origin varieties Foresburg — early, Cave-in-rock — mid-late, Alamo — late and Ukrainian origin Morozko — mid-late. Stratification, i.e. cooling seeds for 7 days at a temperature of 10°C and germination at a temperature of 20°C provided a significant increase in seed vigour and seed germination of all studied varieties. On average, the germination energy increased by 5% and germination by 4%. Seeds stratification differently affected seeds quality depending on varietal characteristics, while no natural changes in the seed quality by maturity groups were observed. It was found that stratification had a greater impact on germination energy, with the share of impact being 20%. **Conclusions.** Stratification provided a significant increase in seed vigour and germination in all studied varieties. On average, seed vigour increased by 5% and germination by 4%. But this measure does not provide a complete solution to reduce the biological state of seed dormancy.

**Keywords:** stratification, dormancy, seed quality, seed vigor, germination.

# ШИРОКИЙ ВПЛИВ ВИЛУЧЕННЯ КУКУРУДЗИНИ І ПШЕНИЧНОЇ СОЛОМИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОПАЛИВА НА ПРОДУКТИВНІСТЬ КУЛЬТУР, ЗДОРОВ'Я ГРУНТУ І ВИКИДИ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ – ОГЛЯД

Мартін Батталія,  
Бейд Томасон,  
Джон Х. Фіке,  
Григорій К. Еваніло,  
Моріц фон Коссель,  
Емре Бабур,  
Ясір Ікбал,  
Андре А. Діатта

(Переклад з англ. мови на українську.  
Перекладач: Оксана Маляренко.

Виконано: 3.02.2021).

Оригінальна стаття: Battaglia, M., Thomason, W, Fike, JH, et al. *The broad impacts of corn stover and wheat straw removal for biofuel production on crop productivity, soil health and greenhouse gas emissions: A review. GCB Bioenergy. 2020; 13: 45–57. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12774>*

## 1. ВСТУП

Протягом останнього десятиліття економічні й екологічні проблеми викликають підвищений інтерес до використання рослинних залишків як відновлюваного джерела енергії (Barros et al., 2020; Sharma et al., 2020). І хоча багато культур є хорошими кандидатами для отримання біопалива (Battaglia et al., 2019a; Von Cossel et al., 2019; P. Kumar et al., 2019; S. Kumar et al., 2019), залишки кукурудзи й пшениці отримали найбільшу увагу через їх низьку вартість та широку доступність (U. S. Department of Energy, 2011; Battaglia et al., 2017, 2018a). Очікується, що кукурудзиння відіграватиме центральну роль у зменшенні залежності від викопного палива (Sindelar, 2012). У США кукурудзиння може забезпечити від 90 до 196 млн. т біомаси на рік (Walsh et al., 2000; Gallagher et al., 2003; Graham et al., 2007), а солома пшениці та ячменю — близько 71 млн. т біомаси на рік (Tarkalson et al., 2009). У 2011 році дані були оновлені (U. S. Department of Energy, 2011): від 117 до 127 млн. т біомаси кукурудзиння очікується у 2030 році. Ціна на кукурудзиння коливається від 55 до 65 доларів США за 1 т сухої речовини. За тих самих цін, але за сценарію високої врожайності, який передбачає щорічне зростання врожайності кукурудзи на 1%, обсяги постачання кукурудзиння ста-

новитимуть від 207 до 246 млн. т на рік на період 2022–2030 рр.

Біопаливо з целюлозної сировини може сприяти зменшенню стурбованості щодо використання зернових культур для виробництва біопалива (Teppenbaum, 2008; Thompson, 2012). Використання поживних залишків може як збільшити, так і урізноманітнити доходи фермерських господарств, а залежно від кінцевої продукції — може ще й зменшити споживання викопного палива й викиди парникових газів (ПГ) (Wilhelm et al., 2004). Оскільки господарства, які вирощують зернові культури, певною мірою «субсидують» кукурудзиння й солому, витрати на виробництво рослинних залишків обмежені. Щобільше, збирання залишків та зерна разом зменшує потребу в перепофільованні земельних угідь, пов'язане з необхідністю спеціального вирощування енергетичних культур.

І хоча збирання залишків може мати переваги, наприклад, зменшення тиску шкідників та хвороб (Wilhelm et al., 2004), виникає стурбованість щодо можливого негативного впливу, оскільки ці залишки є джерелами вуглецю для ґрунту, який є важливим природним ресурсом (Su et al., 2020). Рослинні залишки сприяють формуванню сільськогосподарської продуктивності шляхом зменшення ерозії ґрунту та покращення його фізичних властивостей (Wilhelm et al., 2007; Raffa et al., 2014) через їх позитивний вплив на органічний вуглець ґрунту (SOC), доступність поживних речовин, насипну щільність, вологоутримуючу здатність, інфільтрацію води (Barber, 1979; Franzluebbers, 2002; Blanco-Canqui and Lal, 2009; Kenney, 2011; Zhang et al., 2020). Однак все ще існує багато компромісів та невпевненості щодо залежності від агрономічних факторів (наприклад, управління поживними залишками, інтенсивність обробітку ґрунту, норми внесення добрив) і абіотичних (наприклад, характеристики ґрунту, кліматичні умови). Отже, метою цього огляду є узагальнення сучасних уявлень про вплив вилучення кукурудзиння й пшеничної соломи для виробництва біопалива на стійкість сільськогосподарської системи з прицілом на оцінювання (I) агротехнічних показників, (II) якісних характеристик ґрунту й (III) викидів парникових газів.

## 2. ВПЛИВ УПРАВЛІННЯ РОСЛИННИМИ ЗАЛИШКАМИ НА АГРОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ

Стратегії управління рослинними залишками можуть мати значний довгостроковий вплив на агрономічні показники в будь-якому напрямку (Таблиця). Одне з перших польових досліджень, спрямованих на з'ясування впливу управління залишками рослин на агрономічні показники, було проведене Morachan et al. (1972) в Айові. В цьому дослідженні п'ять варіантів повернення кукурудзиння (0, 2, 4, 8 та 16 т/га на рік) досліджували протягом 13 років у монопописах кукурудзи на мулистоглинистому суглинчастому ґрунті. Протягом перших 9 років різниці врожайності зерна між варіантами не було виявлено. Однак у подальші роки спостерігалось зменшення врожайності зерна в більшості варіантів разом із зростанням частки повернення кукурудзиння в ґрунт.

Morachan et al. (1972) запропонували два варіанти пояснення цього явища: по-перше, висока частка повернення кукурудзиння могла стати причиною зниження рН ґрунту, що могло спричинити дефіцит Ca у рослин, зумовлений вивільненням Al; по-друге, збільшення балансу K/Ca та K/Ca + Mg у листі при поверненні залишків могло спричинити серйозний дисбаланс катіонів у рослинах і, отже, поганий ріст рослин і згодом низьку врожайність зерна. Через чотири роки після припинення експерименту спостерігали максимальну врожайність зерна у варіантах із поверненням 8 і 16 т/га кукурудзиння (Morachan et al., 1972), що могло бути результатом високого вмісту поживних речовин у залишках; при цьому ділянки після завершення експерименту не удобрювалися (Larson et al., 1972).

У 3-річному дослідженні на глинисто-суглинчастих ґрунтах у штаті Небраска з варіантами повернення кукурудзиння 0, 50, 100 та 150%, Doran et al. (1984) спостерігали зниження врожайності на 21% при нульовій частці повернення, порівняно з максимальною врожайністю, досягнутою при поверненні 100 і 150% залишків. Варіації врожайності зерна на третій рік частково пояснювалися зменшенням доступної води на 52% та 59% у червні та липні на ділянках без повернення кукурудзиння. В цей

час посіви кукурудзи були на стадіях викидання волоті й появи стовпців пестиків (Abendroth et al., 2011), критичними для врожайності зерна стадіях, коли наявність абіотичних або біотичних обмежень або і те й інше разом може суттєво знизити врожайність (Claassen and Shaw, 1970; Hall et al., 1981; NeSmith and Ritchie, 1992; Battaglia et al., 2018b, 2019b, c).

Wilhelm et al. (1986) продовжив роботу, розпочату Doran et al. (1984) у наступні 4 роки, (1980–1983), замінивши сівозміну кукурудза — сорго (*Sorghum bicolor* L. Moench) — соя (*Glycine max* L. Merr.) вирощуванням кукурудзи в монокультурі. Врожайність зерна протягом першого й четвертого року не залежала від варіанту, ймовірно, через вплив температури повітря, яка була вище середньої, та опадів нижче середнього за період вегетації. Однак для кожної тонни на гектар залишків, повернених у діапазоні від 0 до 8 т/га, урожайність зерна зростала на 0,32 т/га на другий рік та 0,26 т/га на третій (Wilhelm et al., 1986).

Karlen et al. (1984) протягом 3 років досліджували вплив трьох варіантів вилучення кукурудзиння (тобто 0, 66 і 90%) за ґрунтоощадного обробітку ґрунту на супіщаних ґрунтах Південної Кароліни. На ділянках без зрошення вилучення до 90% кукурудзиння не знижувало врожайність зерна в перший рік, зменшувало на другий та збільшувало на третій рік, порівняно з 0% вилучення залишків. На ділянках із зрошенням у перший рік вилучення 66% або 90% залишків забезпечило більшу врожайність, ніж вилучення 0%, але не мало впливу протягом наступних двох років. Karlen et al. (1984) припустили, що тонший шар покриву ґрунту при високих відсотках вилучення залишків міг бути причиною збільшення дефіциту води в другий (посушливий) рік, що, в свою чергу, може пояснити зменшення врожайності зерна з вилученням 90% залишків. Коли волога не була обмеженою, вилучення поживних залишків не впливало на врожайність зерна в умовах без зрошення.

Про подібні результати повідомляють і Linden et al. (2000), які проводили дослідження з вирощуванням кукурудзи на муловому суглинку в штаті Міннесота. У варіантах, коли вилучали всі поживні рештки, порівняно зі 100% поверненням, урожайність зерна кукурудзи зменшувалася на 18% у сухі роки 12-річного періоду. Врожайність зерна кукурудзи не змінювалася залежно від управління залишками у всіх 24 варіантах обробітку ґрунту, коли вода не була обмежуючим фактором. Подібні результати були отримані в різних варіантах управління пшеничною соломою в умовах зрошення. В експерименті на дрібно-піщаному суглинку ґрунту на Техаських горбистих рівнинах, Bordovsky et al. (1998) спостерігали 6% збільшення врожайності зерна пшениці на зрошуваних після повного вилучення соломи порівняно з нульовим вилученням протягом 8 років. Можливо, це було результатом рівномірніших посівів за меншої кількості залишків на поверхні ґрунту. Незалежно від стану вологозабезпечення протягом вегета-

ції, повне вилучення залишків у посушливих умовах не впливало на врожайність пшениці в усі роки дослідження, порівняно з нульовим вилученням (Bordovsky et al., 1998).

Blanco-Canqui et al. (2006) досліджували вплив шести варіантів вилучення кукурудзиння на врожайність кукурудзи у двох місцях з муловими суглинками й одному з глинисто-суглинним ґрунтом протягом 2 років у штаті Огайо. Незалежно від текстури ґрунту, протягом першого року не було різниці у врожайності між варіантами. На другий рік урожайність зерна в варіантах не відрізнялася для мулисто-суглинних та глинисто-суглинних ґрунтів із нахилом менше 2%. Урожайність зерна на мулистому суглинку з ~ 10% ухилом і no-till була на 21% нижчою за 0 і 25% повернення залишків, порівняно з варіантами 50, 75, 100 і 200% повернення. Вчені пояснили ці ефекти нижчим вмістом вологи в ґрунті та підвищеною температурою ґрунту на виражених схилах, коли на поверхні ґрунту було мало або взагалі не було кукурудзиння. Це свідчить про те, що до 50% залишків може бути потенційно вилучено без впливу на врожайність зерна в короткостроковій перспективі ( $\leq 2$  роки), хоча це також залежатиме від типу ґрунту, рельєфу та попереднього управління залишками. Подібні результати повідомляють і Power et al. (1986), які виявили, що температура ґрунту нижча до 7 °C при повному поверненні кукурудзиння порівняно з повним вилученням через зменшення затримання сонячного випромінювання голим ґрунтом.

Видалення залишків із поля може призвести до швидшої появи сходів кукурудзи (Wilhelm et al., 1986; Swan et al., 1987; Vetsch and Randall, 2002), особливо в регіонах із коротким і прохолодним весняним сезоном. Dam et al. (2005) спостерігали повільнішу на 14–63%, появу сходів ярої кукурудзи в центральній Канаді на ділянках з no-till + повне повернення залишків, порівняно з варіантом no-till + повне вилучення залишків та із традиційним обробітком ґрунту з/або без вилучення залишків, через покрив ґрунту й нижчу температуру ґрунту (Dam et al., 2005). Про подібні висновки повідомляли Swan et al. (1987), які проводили дослідження у Вісконсіні та Міннесоті з різними системами обробітку ґрунту та вилученням поживних залишків: на двох ділянках кількість градусо-днів росту від посадки до стадії V6 лінійно зменшувалась із збільшенням ґрунтового покриву. На кожну одиницю збільшення відсотка повернення залишків кількість градусо-днів росту зменшилась на 0,82 одиниці на цих двох ділянках, а на третій зменшилась на 0,53 одиниці. Збільшення відсотка повернення залишків збільшувало кількість градусо-днів росту, необхідних для досягнення як 80% схожості, так і стадії V6. Збільшення відсотка повернення залишків на одиницю, відповідно, збільшувало кількість градусо-днів росту, необхідних для завершення стадії сівба-сходи та сівба-V6, відповідно, на 0,18–0,51 та 0,51–0,81 одиниць (Swan et al., 1987). Подібним чином Schneider і Gupta (1985) виявили, що сходи

кукурудзи з'являються швидше у варіантах з найменшим покривом ґрунту залишками. В іншому 7-річному експерименті Swan et al. (1994) встановили, що 200% повернення кукурудзиння зменшило густоту рослин на час збору врожаю на 5% та збільшило вологість зерна на 4% на двох ділянках із муловим суглинним ґрунтом у штаті Вісконсин, порівняно з поверненням 100%.

Power та ін. (1998) виявили, що повернення 150% від загальної кількості залишків справило найбільший вплив на врожайність протягом 10-річного періоду, збільшуючи врожайність зерна на 16% порівняно з повним вилученням. Однак, у довгостроковому періоді відмінності у варіантах від 0 до 100% повернення не були суттєвими. Щобільше, на ці результати не впливали ні час та інші агрозаходи, такі як обробіток ґрунту, азотне удобрення або покривні культури. Швидше за все, вони відображають довгострокові зміни властивостей ґрунту, мікробної активності та швидкості мінералізації N ґрунту. І навпаки, Dam et al. (2005) не виявили довготривалого впливу залишків ані на врожайність зерна кукурудзи, ані на врожайність сухих речовин у експерименті з факторіальним розташуванням рослинних залишків (2 рівні: без залишків та з ними) та обробітку ґрунту (3 рівні: без обробітку, зменшений обробіток та ґрунтоощадний обробіток ґрунту) в Канаді. У цьому експерименті значну взаємодію залишків ґрунту й врожайності зерна та сухих речовин кукурудзи було виявлено лише у 2 з 12 років. Коли виникали відмінності, варіанти без залишків опинялися серед варіантів з максимальною врожайністю

### 3. ВПЛИВ УПРАВЛІННЯ ЗАЛИШКАМИ РОСЛИН НА ЯКІСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ҐРУНТУ

Серед екологічних аспектів, для систем виробництва біомаси одним із найважливіших є вплив на такі параметри якості ґрунту, як вміст органічних речовин в ґрунті (soil organic matter, SOM) та вміст органічного вуглецю (soil organic carbon, SOC), баланс поживних речовин, pH ґрунту, агрегатна стійкість та вологоутримуюча здатність ґрунту (Li et al., 2019; Chen et al., 2020; Guan et al., 2020; Kan et al., 2020; Su et al., 2020; Susser et al., 2020).

#### 3.1. Вплив управління залишками рослин на SOM, SOC і POM

SOM і SOC є найбільш широко вивченими показниками для визначення наслідків вилучення поживних залишків культур (Zhang et al., 2020), і на них сильно впливає управління залишками рослин (Huggins et al., 1998; Benjamin et al., 2008; Kendall et al., 2015; Zhang et al., 2020). Barber (1979) вивчав ефект повернення 0, 100 і 200% кукурудзиння і варіант із паром протягом 6 років, а потім ще 5 років 100% повернення кукурудзиння в моновиращуванні кукурудзи, тобто сумарно протягом 11 років, на муловому суглинку ґрунті в Індіані. У шарі ґрун-

ту 0–15 см SOM був найбільшим (~ 3,4%) у варіанті із поверненням залишків 200% через 6 і 11 років. Повернення кукурудзиння 0% і 100% зменшило SOM у шарі ґрунту 0–15 см на 18% та 11%, порівняно з поверненням 200%. Різниця між 0% до 100% повернення стала очевидною лише наприкінці 11-го року, коли 0% повернення зменшило SOM на 10%. Ці результати, ймовірно, відображають роль кореневої системи рослин у підтримку SOC у попередні роки.

Реакція на вилучення залишків часто залежить від шару ґрунту та системи обробки ґрунту. Вилучення всього кукурудзиння зменшувало SOC на 21–34% у ґрунтового профілі (вимірюється з кроком 20 см до глибини 60 см) у мулистому глинистому суглинку за тривалої практики no-till. Вилучення залишків не зменшувало SOC в шарах ґрунту за традиційного обробітку ґрунту, але значення SOC за повного вилучення кукурудзиння й традиційного обробітку ґрунту були на 15–35% нижчими, ніж у подібних варіантах із no-till. Найвищий показник SOC у всіх варіантах спостерігався за повного повернення залишків і no-till (Dendooven et al., 2012).

Незалежно від системи обробітку ґрунту, вміст SOC зменшувався у поверхневих шарах ґрунту при повному вилученні залишків (14% і 4% у шарах 0–5 см і 5–15 см, відповідно), але не відрізнявся у глибших шарах (15–30 см і 30–60 см) на глинисто-суглинистих ґрунтах у Міннесоті (Sindelar, 2012). У мулово-суглинистому ґрунті з 10% ухилом в штаті Огайо, SOC зменшився на 27% у шарі 10–20 см при вилученні залишків  $\geq 75\%$ . На муристо-суглинистих та глинисто-суглинистих ґрунтах із помірним (<2%) ухилом, різні частки вилучення залишків не впливали на SOC на глибині від 10 до 20 см. На всіх трьох ґрунтах вилучення залишків  $\geq 75\%$  зменшило SOC на 20–30% у верхньому 10-см шарі ґрунту (Blanco-Canqui and Lal, 2009).

Blanco-Canqui et al. (2006a) вивчали тривалу практику no-till на мулово-суглинистих та глинисто-суглинистих ґрунтах у штаті Огайо. Вони помітили, що показники вилучення залишків до 1,25 т на гектар знижували SOC і погіршували структуру ґрунту всього лише через рік у ґрунті з крупною текстурою, але практично не впливали на ґрунт із тонкою текстурою. У 12-річному експерименті з монокультуванням кукурудзи в Канаді, Liang et al. (1998) виявили, що затримання C в залишках було на 81–175% вище, а його колообіг повільніший у глині, ніж у ґрунтах грубої текстури. Хоча це може частково пояснити відсутність короткочасних змін рівня SOC у глинисто-суглинистих ґрунтах, виявлених Blanco-Canqui et al. (2006a) і Johnson et al. (2013), проте суперечить змінам, про які повідомляє Sindelar (2012) щодо подібних ґрунтів. За даними Blanco-Canqui et al. (2006a), ґрунти, в яких короткочасні зміни рівня SOC менш ймовірні, могли досягти рівноважного стану, який захищає їх від змін при поверненні або вилученні кукурудзиння (Blanco-Canqui et al., 2006a). Базові рівні SOC у шарі ґрунту 0–5 см були набагато меншими (тобто 2,5 г/кг ґрунту) в експе-

рименті, проведеному Sindelar (2012), порівняно зі значеннями, отриманими двома іншими авторами (20–30 г/кг).

Фракція розсіяної органічної речовини (particulate organic matter, POM), що складається з дрібних рослинних та мікробних решток на ранніх стадіях гуміфікації (Bernard et al., 1996; Carter, 2002), дуже чутлива до змін вмісту C (Gregorich та Janzen, 1996) та управління залишками (Cambardella and Elliot, 1992; Sequeira and Alley, 2011). Фракція POM має приблизний час колообігу від одного до восьми років (Carter, 2000) і може становити до 45% активного SOM (Carter et al., 1998).

Johnson et al. (2013) досліджували реакцію POM і SOC на частку повернення кукурудзиння (повне повернення ~ 7,8 т/га, середнє ~ 3,8 т/га, низьке ~ 1,5 т/га) та спосіб обробітку ґрунту: чизельний плуг, 10 років, no-till, 1-й рік, у двох шарах (0–5 см і 5–10 см) на глинисто-суглинистому ґрунті в Міннесоті. У більшості варіантів POM не відрізнявся за варіантами частки повернення залишків, незалежно від системи обробітку ґрунту, і зменшився тільки при тривалому no-till у шарі 0–5 см із низькою часткою повернення залишків у одному варіанті з 18. Johnson et al. (2013) дійшли висновку, що виявлення зміни рівнів SOC і POM, як реакції на управління залишками, може настати через більше ніж 3 роки на глинисто-суглинистих ґрунтах і що рівень POM за довготривалої практики no-till може бути знижений за три або менше циклів повернення кукурудзиння, якщо повертається невелика його частка. На противагу цьому Sindelar (2012) досліджував короткочасні зміни SOM і POM, як реакцію на вилучення залишків на глинисто-суглинистому ґрунті в Міннесоті. Тут POM був більш чутливим, ніж SOC, до управління залишками, і зміни спостерігались на глибині 30 см. Sindelar (2012) дійшов висновку, що вилучення кукурудзиння при безперервному вирощуванні кукурудзи може негативно вплинути на SOM і POM у межах 3 років у ґрунтах із дрібною текстурою. Інші вчені також повідомляли про зниження рівня SOM і SOC при вилученні залишків кукурудзи (Dolan et al., 2006; Moebius-Clune et al., 2008; Kim et al. 2009; Kenney, 2011; Baker et al., 2014). З іншого боку, повернення рослинних залишків призвело від позитивного (Clapp et al., 2000) до незначного ефекту або взагалі не мало впливу (Johnson and Chamber, 1996; Nicholson et al., 1997). Можливо, менший внесок вуглецю поверхневих (порівняно з кореневими) залишків у вміст POM та SOC робить менш очевидною появу змін за різної частки повернення залишків. У штучному експерименті з no-till Gale і Cambardella (1998) продемонстрували, що 66% 14C у поверхневих залишках було продуктом дихання — вуглекислим газом (CO<sub>2</sub>) — після 360-денного розкладання, тоді як 11% залишалось на поверхні й 16% у ґрунті. На противагу цьому, 56% утвореного з коренів 14C у ґрунті виділялися у вигляді CO<sub>2</sub>, а 42% залишалось у ґрунті. Великі (500–2000 мкм) і малі (53–500 мкм) фракції POM містили від 11 до 16% похід-

ного від коренів 14C, а менше 3% 14C походило від залишків на поверхні. Ці тенденції узгоджуються з висновками Larson et al. (1972) і Barber (1979), які повідомляли про те, що з коренів походить більша частка C, який формує SOM (23% і 18%), ніж із залишків на поверхні (18% і 8–11%).

Негативні наслідки вилучення пшеничної соломи на SOC та SOM були менш очевидними. У 14-річному дослідженні на муристо-глинистих суглинках із борозневим зрошенням у Техасі, Undersander і Reiger (1985) не виявили відмінностей у SOM у шарах ґрунту 0–15 см і 15–30 см при порівнянні варіантів з 0% і 100% вилученням пшеничної соломи. Незалежно від управління соломою, Bordovsky et al. (1999) повідомили про зростання SOC на глибині від 0 до 7,5 см впродовж 11-річного дослідження на дрібно-піщаному суглинистому ґрунті зі зрошенням в Техасі. Однак це зростання відбувалося інтенсивніше, коли солому не вилучали. В Ірані, Bahrani et al. (2002) не спостерігали зменшення SOC у верхньому 30-см шарі ґрунту після вилучення всієї соломи.

Хоча у Вірджинії її не проводилося польових досліджень із вивчення впливу видалення залишків на параметри якості ґрунту, деякі автори вивчали вплив інших агрозходів. У експерименті, проведеному у прибережній рівнинній частині штату Вірджинія на супіщаних ґрунтах з no-till, Spargo et al. (2012) встановили, що загальний вміст SOC і N лінійно збільшувався з плином часу за no-till у шарах 0–2,5 і 2,5–7,5 см. У шарі 7,5–15 см змін у вмісті C та N не було виявлено. Подібним чином, лінійне збільшення фракцій POM-C та POM-N з плином часу за no-till повідомлялося для шару 0–2,5 см, але не для 2,5–7,5 см і 7,5–15 см. Sequeira і Alley (2011), працюючи в провінції Вірджинія, вивчали короткочасні наслідки типу сівозміни, способів обробітку ґрунту й управління проміжними культурами на вміст POM-N та N у верхньому 15-см шарі ґрунту. Органічний азот ґрунту, як у сипкому ґрунті, так і у фракції POM, не зазнав впливу будь-якої комбінації факторів, тоді як на SOC впливало лише управління проміжними культурами. Загалом, в обох басейнах SOC і POM було значно більше C тоді, коли проміжна культура (жито) залишалася на полі, порівняно з хімічним знищенням.

### 3.2. Управління поживними залишками впливає на баланс поживних речовин, pH і

#### потужність катіонообміну

За умов стурбованості щодо короткочасного збільшення рівня винесення поживних речовин із поживними залишками слід враховувати баланс між поверненням вуглецю в ґрунт і винесенням поживних речовин та витратами на їх компенсацію (Battaglia et al., 2018a). Зокрема це стосується N і P, які є обмежуваними факторами для формування врожайності (Ketterings and Czymmek, 2007; Adeyemi et al., 2020; Adnan et al., 2020; Diatta et al., 2020).

Blanco-Canqui і Lal (2009) виявили, що

лише повне вилучення кукурудзиння зменшило вміст N у ґрунті, але на цю реакцію значною мірою вплинула текстура ґрунту. При повному видаленні залишків вміст загального N зменшився в мулових суглинках, але не в глинисто-суглинистому ґрунті, і ці тенденції були більш помітними скоріше в шарі 0–10 см, аніж у 10–20 см. Подібним чином Karlen et al. (1994) виявили найнижчий вміст NO<sub>3</sub> у шарах 0–2,5 см і 2,5–7,5 см у мулово-суглинистому ґрунті у штаті Вісконсин за 0% повернення залишків кукурудзи порівняно з 100% і 200%. Однак збільшення кількості повернених залишків може збільшити іммобілізацію N, що може вилитися в необхідність додаткового внесення N (Power and Doran, 1988; Fontaine et al., 2020).

Вміст доступного P, здається, зазнає набагато меншого впливу управління поживними залишками рослин, незалежно від текстури ґрунту. Blanco-Canqui і Lal (2009) повідомляли про значне зменшення (40%) P у 10-см шарі мулистого суглинку лише за 100% вилучення кукурудзиння (Blanco-Canqui and Lal, 2009). На вміст доступного P у шарах ґрунту не впливав спосіб управління залишками на супіщаних ґрунтах у Південній Кароліні (Karlen et al., 1984) та мулових суглинистих ґрунтах у Вісконсині (Karlen et al., 1994). З іншого боку, ґрунтовий K реагував на управління залишками із більшою мінливістю, ніж доступний P, незалежно від текстури ґрунту. На глибині від 0 до 10 см, видалення 75 і 100% кукурудзиння зменшило вміст екстрагованого K у мулових суглинках із ухилом 2% або 10% та глинистих суглинках із ухилом <1% (Blanco-Canqui and Lal, 2009). Подібним чином Moraghan et al. (1972) спостерігали зниження вмісту екстрагованого K на 16% та 53% при повному вилученні кукурудзиння, порівняно з варіантами повернення, відповідно, 4 і 16 тон на гектар протягом 11 років на мулисто-глинистому суглинистому ґрунті. Karlen et al. (1984) встановили, що вилучення 66% та 90% залишків кукурудзи протягом 2 років зменшує вміст екстрагованого K ґрунту на глибині від 5 до 20 см у піщаному суглинистому ґрунті в Південній Кароліні, але не впливає на вміст K в шарі 0–5 см, а також 20–40 см і 40–90 см. У цьому дослідженні вміст екстрагованих Ca, Mg і Mn ґрунту, у більшості варіантів, не реагував на управління залишками (Karlen et al., 1984). В іншому дослідженні вміст Ca, Mg а також катіонний обмін у шарі 0–10 см ґрунтів з 10% ухилом зменшилися лише при 100% видаленні кукурудзиння (Blanco-Canqui and Lal, 2009). рН ґрунту збільшився лише в двох варіантах із повним вилученням кукурудзиння. У більшості варіантів, на рН ґрунту не впливала частка вилученням кукурудзиння, так само як і в дослідженні Karlen et al. (1984).

Подібним чином Moraghan et al. (1972) повідомляли про суттєво нижчий рівень рН (4,8) за повернення 16 тон залишків на гектар проти рН 5,3 за нульового повернення. Таким чином, такі параметри, як вміст Ca, Mg, доступного P, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, потужність катіонного обміну, ймовірно, менше залежать від управління залишками, порівняно з екстрагованим K і загальним N. Найбільші відмін-

ності, як правило, відбуваються при близькому до 100% вилученні залишків у шарі ґрунту 0–10 см. Однак ці реакції можуть сильно залежати від ухилу ділянки, текстури й шару ґрунту.

### 3.3. Вплив управління рослинними залишками на ерозію ґрунту та характеристики стічних вод

Захист від потенційної ерозії ґрунту поруч із впливом на якість ґрунту та води є однією з основних проблем, пов'язаних із збиранням поживних залишків рослин для альтернативного застосування (McAloon et al., 2000; Mann et al., 2002; Andrews, 2006). Проте, в небагатьох експериментах ці параметри вивчали разом за різними схемами управління залишками. Lindstrom (1986) провів експерименти на суглинистому ґрунті в Міннесоті та мулисто-глинисто-суглинистому ґрунті в Південній Дакоті, щоб визначити взаємозв'язок між стоком води та втратою ґрунту в результаті зміни кількості залишків кукурудзи, що залишаються на поверхні поля. Lindstrom (1986) виявив зменшення стоку води та ерозії ґрунту із збільшенням кількості залишків, залишених на поверхні ґрунту, приблизно до 70% рівня повернення. Повернення залишків понад 70% не призводило до подальшого зменшення стоку або вимивання ґрунту. Щобільше, значення енергії опадів, необхідної для запуску процесу стоку, було вищим, коли залишки залишалися на поверхні (Lindstrom et al., 1984). Управління залишками також може вплинути на кількість P у стічній воді, і спроби зменшення цього ризику тривають вже протягом останніх 20 років (Czymmek et al., 2020). Grande et al. (2005) встановили, що вміст загального P і екстрагованого активного P у стічних водах були обернено залежними від кількості поживних решток, що залишалися на поверхні. Однак, кількість поживних решток може збільшити довгострокову мікробну активність ґрунту і, таким чином, збільшити вміст доступного для рослин P (Susser et al., 2020), що є ще одним свідченням того, що управління поживними залишками слід розглядати зважено.

### 3.4. Вплив управління залишками рослин на вміст доступної води, агрегатну стійкість та насипну щільність ґрунту

У 4-річному дослідженні на мулисто-глинистому суглинистому ґрунті в штаті Небраска з безперервним вирощуванням кукурудзи при поверненнях 0, 50, 100 і 150% поживних залишків, Wilhelm et al. (1986) встановили, що 100% повернення збільшує вміст доступної ґрунтової вологи (тобто, кількість води з характеристиками між -0,03 і -1,50 МПа на глибині 0–1,8 м) на час сівби, на 25% і 13% порівняно з 0% і 50% поверненням. Щобільше, для кожної поверненої тони поживних залишків на гектар було розраховано збільшення доступної води в ґрунті на 6 мм на час сівби. Підвищення рівня повернення кукурудзиння знижує температуру ґрунту на глибині 5 см, що

позитивно впливає на утримання води, подібно до того як повідомляли Power et al. (1986) з Небраски і Blanco-Canqui et al. (2006b) з Огайо. При додаванні до моделі для розрахунку врожайності зерна й поживних залишків кукурудзи фактор температури ґрунту та фактор доступної вологи становили, відповідно, 80% і 90% від загальної варіації врожайності. Повернення кукурудзиння також може мати позитивний вплив на вміст доступної вологи в ґрунті при пізньому вирощуванні культури. В 3-річному дослідженні в Небрасці, Doran et al. (1984) встановили збільшення вмісту доступної вологи в ґрунті більше ніж на 100% протягом критичного періоду для розвитку кукурудзи, коли було повернено 100% залишків, порівняно з 0% повернення.

Взаємозв'язок між утворенням, стабілізацією, колообігом SOM та біологічною активністю й сукупною динамікою вивчався ще з початку 1900-х років (Six et al., 2004). Агрегатна стійкість ґрунту є результатом сил притягання, що підтримують частинки ґрунту разом проти руйнівної дії води, вітру та управління вирощуванням (Amezketta, 1999; Six et al., 2004). Вилучення кукурудзиння на рівні  $\geq 50\%$  знижувало агрегатну стійкість води в деяких дослідженнях (Bordovsky et al., 1999; Blanco-Canqui and Lal, 2009), але не мало впливу в інших (Karlen et al., 1994; Hammerbeck et al., 2012). У довгостроковому дослідженні, проведеному Bordovsky et al. (1999) у Техасі, показники мікроагрегації були на 15% і на 19% вищими при поверненні залишків, як у не зрошуваних (27,1 проти 23,5 г/кг), так і в зрошуваних умовах (32,3 проти 27,1 г/кг). Karlen et al. (1994) не виявили різниці у відсотковому співвідношенні стійких до води агрегатів у варіантах від 0% до 100% повернення кукурудзиння протягом 10-річного експерименту у Вісконсині. І навпаки, у варіантах, які передбачали 200% повернення залишків, збільшилась кількість водостійких ґрунтових агрегатів на 38% порівняно з повернення залишків 0 та 100%. В експерименті в кукурудзяно-соевій сівозміні на мулисто-глинистих суглинках у Південній Дакоті, Hammerbeck et al. (2012) встановили збільшення на агрегатній стійкості води 40% для розмірів агрегатів від 0,84 до 2,0 мм при нульовому вилученні залишків порівняно з поверненням > 4,0 т/га. Однак управління залишками в цьому дослідженні не впливало на агрегатну стійкість води для інших розмірів агрегатів.

Докази про вплив управління кукурудзяними залишками на насипну щільність ґрунту суперечливі. В експерименті на муловому суглинистому ґрунті в штаті Міннесота, Clapp et al. (2000) виявили її зниження наприкінці 13-го року експерименту в шарі 0–5 см при 100% поверненні залишків за системи no-till, на противагу системам полицевого та чизельного обробітку. Однак 100% повернення збільшило насипну щільність ґрунту на глибині від 20 до 40 см для всіх системи обробітку ґрунту. Подібні результати були отримані в кінці 22-го року експерименту, коли насипна щільність ґрунту зменшилася на 6% у шарах 0–5 см і 5–10 см, але збільшилася на 5% у шарі 30–45 см

при поверненні 100% кукурудзиння (Dolan et al., 2006). Ці результати узгоджуються з висновками Sindelar (2012), де 100% повернення кукурудзиння зменшило насипну щільність ґрунту на 0,26 та 0,14 г/см<sup>3</sup> у шарах 0–5 см і 5–15 см. І навпаки, 0% і 100% повернення залишків не змінило насипну щільність ґрунту у шарі 0–20 см у Квебеку (Dam et al., 2005) та у шарі 0–50 см ґрунту в Айові (Karlen et al., 1994).

#### 4. ВПЛИВ УПРАВЛІННЯ ЗАЛИШКАМИ РОСЛИН НА ВИКИДИ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ

Однією з головних цілей систем виробництва біоенергії є пом'якшення прогнозованих змін клімату в глобальному масштабі (Baker et al., 2014). Однак вилучення поживних залишків може мати згубні наслідки через вплив на ґрунтові процеси, що може збільшити утворення парникових газів, особливо оксиду азоту (N<sub>2</sub>O) (Carter et al., 2002; Baker et al., 2014). Крім того, деякі автори заявляють, що викиди N<sub>2</sub>O в результаті виробництва біопалива можуть врівноважити зменшення глобального потепління в результаті заміни викопного палива (Carter et al., 2002; Crutzen et al., 2008).

##### 4.1. Потіки CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> та N<sub>2</sub>O за різного управління залишками кукурудзи

CO<sub>2</sub> є найбільшим фактором, що сприяє глобальному потеплінню, і, як очікується, він буде посилюватись і в майбутньому (Houghton, 2007). N<sub>2</sub>O, який утворюється в значно меншій кількості, ніж CO<sub>2</sub>, є стійкішим компонентом парникових газів і головним фактором, що сприяє зміні клімату (Gentile et al., 2008), з потенціалом глобального потепління (GWP) в 265–310 разів більшим за CO<sub>2</sub>. Метан (CH<sub>4</sub>) має менший термін існування, ніж CO<sub>2</sub>, але, за оцінками, його GWP у 28–36 разів більше, ніж CO<sub>2</sub> (EPA, 2017). Потіки N<sub>2</sub>O й CO<sub>2</sub> вимірювали у дворічному дослідженні в Міннесоті (Baker et al., 2014). Вчені дійшли висновку, що повне вилучення кукурудзиння може мати незначний вплив на потік N<sub>2</sub>O з ґрунту. Повне вилучення кукурудзиння зменшило потік CO<sub>2</sub> з ґрунту на 10%, але це зменшення не компенсувало вилучення C із системи порівняно з нульовим або проміжним варіантом вилучення кукурудзиння, що означало чисту втрату C із системи. Працюючи над тим самим проектом, Jin et al. (2014) узагальнили дані потоків парникових газів ґрунту в дев'яти системах вирощування кукурудзи з різним управлінням поживними рештками. В цілому, вилучення кукурудзиння зменшило викиди CO<sub>2</sub> на 4%, подібно до результатів Baker et al. (2014). Крім того, Jin et al. (2014) повідомили про зменшення вмісту N<sub>2</sub>O на 7% порівняно з відсутністю вилучення кукурудзиння. Jin et al. (2014) дійшли висновку, що зниження викидів парникових газів у відповідь на вилучення кукурудзиння може озна-

чати незрозумілий ефект зниження вмісту C і N, а також мікрокліматичні відмінності, пов'язані з просторовими змінами ґрунтового покриву. В іншому дослідженні повне вилучення кукурудзиння зменшило потоки CO<sub>2</sub> та N<sub>2</sub>O, відповідно, на 11% та 36%, незалежно від системи обробітку ґрунту, на мулисто-глинистому суглинку в Мексиці. У цьому дослідженні ані система обробітку ґрунту, ані управління залишками не впливали на потоки CH<sub>4</sub> із ґрунту (Dendooven et al., 2012). Подібним чином Abalos et al. (2013) повідомляли про зниження потоків N<sub>2</sub>O на 51% без вилучення кукурудзиння, порівняно з поверненням ~10,5 т/га кукурудзиння на глинисто-суглинковому ґрунті в Іспанії. На відміну від Dendooven et al. (2012), Baker et al. (2014) і Jin et al. (2014), вилучення кукурудзиння не вплинуло на потік CO<sub>2</sub> з ґрунту в дослідженні Abalos et al. (2013).

Повернення рослинних залишків призвело до змішаного впливу на викиди N<sub>2</sub>O, які, в основному, сильно залежать від структури ґрунту, якості сировини та зміни клімату (Yuan et al., 2020). Gentile et al. (2008) визначали зменшення викидів N<sub>2</sub>O, що походить від застосування сечовини (120 кг N/га) з низькоякісною сировиною кукурудзи (42% C, 1,3% N, співвідношення C: N31, 3,1% лігніну, 1,1% поліфенолів) при поверненні ~9,5 т/га кукурудзиння на двох текстурних видах ґрунтів у Зімбабве, що, ймовірно, пояснюється збільшенням іммобілізації N від добрива. І навпаки, інтерактивні ефекти після застосування сечовини з кукурудзинням збільшили втрати N<sub>2</sub>O на двох текстурних видах ґрунтів у Гані та Кенії, порівняно із застосуванням самого лише добрива. В цьому випадку, збільшення потоків N<sub>2</sub>O при внесенні сечовини + кукурудзиння пояснювалось збільшенням потоків N<sub>2</sub>O від добрива й ґрунту. На думку авторів, така реакція може означати, що денітрифікація була головним фактором, що контролює потоки N<sub>2</sub>O в ґрунтах із дрібною текстурою, де додавання поживного залишку швидко виснажує рівень O<sub>2</sub> через підвищення мікробної активності (Tiedje et al., 1984). Додавання високоякісних поживних залишків із низьким співвідношенням C: N збільшило викиди N<sub>2</sub>O для всіх текстур ґрунту (Gentile et al., 2008). Подібним чином Huang et al. (2004) повідомили про збільшення потоків як N<sub>2</sub>O, так і C<sub>2</sub>O після включення поживних залишків у 21-денне інкубаційне дослідження з тонкофактурним мулисто-глинистим ґрунтом, незалежно від типу використовуваних залишків. Його інтенсивність кількісно залежала від співвідношення C: N у використовуваних залишках (діапазон C: N8–118 і 57–63, відповідно, для кукурудзиння та пшеничної соломи), при цьому потоки обох газів негативно корелювали (r > 0,78) із співвідношенням C: N (Huang et al., 2004), подібно до нещодавніх повідомлень Lin et al. (2013) і Shan and Yan (2013).

##### 4.2. Потіки CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> і N<sub>2</sub>O за різного управління пшеничною соломою

Вилучення залишків пшеничної соломи

також може зменшити потік парникових газів із ґрунту. Lenka і Lal (2013) вивчали вплив трьох варіантів повернення соломи (0, 8 та 16 т/га на рік) та двох норм удобрення (0 та 244 кг N/га на рік) на потоки CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O і CH<sub>4</sub> у 15-річному дослідженні з управління поживними залишками в Огайо. Протягом 15 років тут використовували тюковану сушену на повітрі пшеничну солому із зовнішніх джерел. Було виявлено значну взаємодію пшеничної соломи з добривами для всіх трьох видів парникових газів. Добові потоки CO<sub>2</sub> та N<sub>2</sub>O були найнижчими для 0 та 8 т/га на рік, у середньому 1,587 г CO<sub>2</sub> м<sup>2</sup> та 0,510 мг N<sub>2</sub>O м<sup>2</sup> на день, відповідно. Використання 16 т/га соломи збільшило потоки CO<sub>2</sub> і N<sub>2</sub>O, відповідно, як на неудобренних (+30% і 52%), так і на удобренних ділянках (+45% і 100%). ґрунти, які не отримували пшеничної соломи за обох норм удобрення, виділяли від –2,390 до –2,790 мг CH<sub>4</sub> на 1 м<sup>2</sup> на день. Включення 8 та 16 т/га соломи з добривом та без нього призвело до вивільнення CH<sub>4</sub> (0,108–3,153 мг CH<sub>4</sub> м<sup>2</sup> на день) у найбільших кількостях, коли внеслось добриво (Lenka та Lal, 2013).

#### 5. ВИСНОВКИ

У цьому огляді ми висвітлили різноманітні позитивні та негативні аспекти сталості, пов'язані з вилученням поживних рослинних залишків для розширеного використання. Цілеспрямоване встановлення порогових значень може забезпечити видалення не надто великої кількості залишків для підтримки загальної стійкості агроєкосистеми й якості ґрунту, оскільки вона впливає на продуктивність сільськогосподарських культур та потоки парникових газів. Однак у майбутньому залишається з'ясувати, чи достатньо просто повернути поживні залишки на пізнішому етапі, щоб забезпечити підтримку загальної стійкості, чи потрібно розділяти використовувані й невикористовувані залишки під час збору врожаю. Останнє викликає особливі технічні проблеми, які потрібно було б додатково вивчити перед впровадженням більш стійкого вилучення рослинних залишків на регіональному рівні. Крім того, досі є мало емпіричних доказів взаємодії відповідних параметрів, що впливають на вилучення залишків, таких як продуктивність культур, викиди парникових газів, баланс поживних речовин, сукупна стабільність, насипна щільність ґрунту та доступна волога. Незважаючи на ці виявлені технічні та агрономічні проблеми та залежно від конкретних умов, таких як тип ґрунту, SOM і рельєф, очікується, що 30% поживних рослинних залишків може бути використані для розширеного використання в біоекономіці без зменшення загальної стійкості агроєкосистеми. Отже, є всі підстави вважати, що поживні залишки пшениці й кукурудзи можуть відігравати ключову роль для досягнення процвітаючої майбутньої біоекономіки шляхом диверсифікації сировинних ресурсів, проте норми вилучення залишків повинні бути ретельно продумані.

## ПЕРЕЛІК ДжЕРЕЛ

- Abalos, D., A. Sanz-Cobena, L. Garcia-Torres, J.W. van Groenigen, and A. Vallejo. 2013. Role of maize stover incorporation on nitrogen oxide emissions in a non-irrigated Mediterranean barley field. *Plant Soil* 364: 357–371.
- Abendroth, L.J., R. W. Elmore, M. J. Boyer, and S. K. Marlay. 2011. Corn growth and development. PMR1009. Iowa State University Extension, Ames, Iowa.
- Adeyemi, O., R. Keshavarz-Afshar, E. Jahanzad, M. L. Battaglia, Y. Luo, and A. Sadeghpour. 2020. Effect of wheat cover crop and split nitrogen application on corn yield and nitrogen use efficiency. *Agronomy* 10, 1081. doi:10.3390/agronomy10081081
- Adnan, M., S. Fahad, M. Zamin, S. Shah, I. A. Mian, S. Danish, M. Zafar-ul-Hye, M. L. Battaglia, R.M.M. Naz, B. Saeed, S. Saud, I. Ahmad, Z. Yue, M. Brtnicky, J. Holatko, R. Datta. 2020. Coupling Phosphate-Solubilizing Bacteria with Phosphorus Supplements Improve Maize Phosphorus Acquisition and Growth under Lime Induced Salinity Stress. *Plants* 9, 900. https://doi.org/10.3390/plants9070900
- Amúzketa, E. 1999. Soil Aggregate Stability: A Review. *J. Sustain. Agric.* 14: 83–151.
- Andrews, S.S. 2006. Crop Residue Removal for Biomass Energy Production: Effects on Soils and Recommendations. USDA-Natural Resource Conservation Service. At: [https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/nrcs142p2\\_053255.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_053255.pdf) (accessed: 8/12/2020).
- Bahrani, M.J., M. Kheradnam, Y. Emam, H. Ghadiri, and M. T. Assad. 2002. Effect of tillage methods on wheat yield and yield components in continuous wheat cropping. *Exper. Agric.* 38: 389–395.
- Baker, J.M., J. Fassbinder, and J. A. Lamb. 2014. The impact of corn stover removal on N<sub>2</sub>O emission and soil respiration: an investigation with automated chambers. *BioEnergy Res.* 7: 503–508.
- Barber, S.A. 1979. Corn residue management and soil organic matter. *Agron. J.* 71: 625–627. Barros, M.V., R. Salvador, A.C. de Francisco, and C. M. Piekarski, 2020. Mapping of research lines on circular economy practices in agriculture: From waste to energy. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 131, 109958. https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109958.
- Battaglia, M., J. Fike, W. Fike, A. Sadeghpour, and A. Diatta. 2019a. Miscanthus C<sub>4</sub>giganteus biomass yield and quality in the Virginia Piedmont. *Grassl Sci.* 1–10. https://doi.org/10.1111/grs.12237.
- Battaglia, M.L., G. Groover, and W. E. Thomason. 2017. Value and implications of corn stover removal from Virginia fields. Virginia Cooperative Extension Publication CSES-180.
- Battaglia, M.L., G. Groover, and W. E. Thomason. 2018a. Harvesting and nutrient replacement costs associated with corn stover removal in Virginia. Virginia Cooperative Extension Publication. CSES-229NP.
- Battaglia, M.L., C. Lee, and W. Thomason. 2018b. Corn yield components and yield responses to defoliation at different row widths. *Agron. J.* 110: 1–16. doi:10.2134/agronj2017.06.0322
- Battaglia, M., C. Lee, W. Thomason, J. Fike and A. Sadeghpour. 2019b. Hail damage impacts on corn productivity: a review. *Crop Sci.* 59: 1–14. doi: 10.2135/cropsci2018.04.0285.
- Battaglia, M.L., C. Lee, W. Thomason, and J. Van Mellekom. 2019c. Effects of corn row width and defoliation timing and intensity on canopy light interception. *Crop Sci.* 59: 1718–1731. doi: 10.2135/cropsci2018.05.0337.
- Benjamin, J.G., A. D. Halvorson, D. C. Nielsen, and M. M. Mikha. 2008. Crop management effects on crop residue production and changes in soil organic matter in the central Great Plains. *Agron. J.* 102: 990–997.
- Bernard, E., C. Chenu, J. Balesdent, P. Puget, and D. Arrouays. 1996. Fate of particulate organic matter in soil aggregates during cultivation. *Eur. J. Soil Sci.* 47: 495–503.
- Blanco-Canqui, H., and R. Lal. 2009. Corn stover removal for expanded uses reduces soil fertility and structural stability. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73: 418–426.
- Blanco-Canqui, H., R. Lal, R. C. Izaurralde, and L. B. Owens. 2006a. Rapid changes in soil carbon and structural properties due to stover removal from no-till corn plots. *Soil Sci.* 171: 468–482.
- Blanco-Canqui, H., R. Lal, W. M. Post, and L. B. Owens. 2006b. Changes in long-term no-till corn growth and yield under different rates of stover mulch. *Agron. J.* 98: 1128–1136.
- Bordovsky, D.G., M. Choudhary, and C. J. Gerard. 1998. Tillage Effects on Grain Sorghum and Wheat Yields in the Texas Rolling Plains. *Agron. J.* 90: 638–643.
- Bordovsky, D.G., M. Choudhary, and C. J. Gerard. 1999. Effect of tillage, cropping, and residue management on soil properties in the Texas Rolling Plains. *Soil Sci.* 164 (5): 331–340.
- Cambardella, C.A., and E. T. Elliot. 1992. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 777–783.
- Carter, M.R. 2002. Soil Quality for Sustainable Land Management: Organic Matter and Aggregation Interactions that Maintain Soil Functions. *Agron. J.* 94: 38–47.
- Carter, M.R., E. G. Gregorich, D. A. Angers, R. G. Donald, and M. A. Bolinder. 1998. Organic C and N storage, and organic C fractions in adjacent cultivated and forested soils of eastern Canada. *Soil Tillage Res.* 47: 253–261.
- Chen, S., X. Zhang, L. Shao, H. Sun, J. Niu, and X. Liu, 2020. Effects of straw and manure management on soil and crop performance in North China Plain. *CATENA* 187, 104359. https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104359.
- Clapp, C.E., R. R. Allmaras, M. F. Layese, D. R. Linden, and R. H. Dowdy. 2000. Soil organic carbon and 13-C abundance as related to tillage, crop residue, and nitrogen fertilizer under continuous corn management in Minnesota. *Soil Tillage Res.* 55: 127–142.
- Claassen, M.M., and R. H. Shaw. 1970. Water deficits effects on corn. II. Grain components. *Agron. J.* 62: 652–655.
- Cruzten, P.J., A. R. Mosier, K. A. Smith, and W. Winiwater. 2008. N<sub>2</sub>O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. *Atmos. Chem. Phys.* 8: 389–395.
- Curtin, D., and P. M. Fraser. 2003. Soil organic matter as influenced by straw management practices and inclusion of grass and clover seed crops in cereal rotations. *Aust J Soil Res.* 41 (1): 65–106.
- Czymmek, K., Q. Ketterings, M. Ros, M. Battaglia, S. Cela, S. Crittenden, D. Gates, T. Walter, S. Latessa, L. Klaiber, and G. Albrecht. 2020. The New York Phosphorus Index 2.0. *Agronomy Fact Sheet Series. Fact Sheet #110.* Cornell University Cooperative Extension.
- Dam, R.F., B. B. Mehdi, M.S.E. Burgess, C. A. Madramootoo, G. R. Mehuys, and I. R. Callum. 2005. Soil bulk density and crop yield under eleven consecutive years of corn with different tillage and residue practices in a sandy loam soil in central Canada. *Soil Tillage Res.* 84 (1): 41–53.
- Diatta, A.A., W. E. Thomason, O. Abaye, T. L. Thompson, M. L. Battaglia, L. J. Vaughan, M. Lo, and J.F.D.C Leme. 2020. Assessment of nitrogen fixation by mungbean genotypes in different soil extures using 15N natural abundance method. *J. Soil Sci. Plant Nut.* doi.org/10.1007/s42729-020-00290-2
- Dendooven, L., L. Patco-Zььciga, N. Verhulst, M. Luna-Guido, R. Marsch, and B. Govaerts. 2012. Global warming potential of agricultural systems with contrasting tillage and residue management in the central highlands of Mexico. *Agric. Ecosyst. Environ.* 152: 50–58.
- Dolan, M.S., C. E. Clapp, R. R. Almaras, J. M. Baker, and J.A.E. Molina. 2006. Soil organic carbon and nitrogen in a Minnesota soil as related to tillage, residue and nitrogen management. *Soil and Tillage Res.* 89: 221–231.
- Doran, J.W., W. W. Wilhelm, and J. F. Power. 1984. Crop residue removal and soil productivity with no-till corn, sorghum, and soybean. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 640–645.
- EPA. 2017. Greenhouse Gas Emissions. Understanding Global Warming Potentials. United States Environmental Protection Agency. At: <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials> (updated: 02/14/17; accessed: 8/12/2020).
- Fontaine, D., J. Eriksen, and P. Surense, 2020. Cover crop and cereal straw management influence the residual nitrogen effect. *Eur. J. Agron.* 118, 126100. https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126100
- Franzuebbers, A.J. 2002. Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. *Soil Tillage Res.* 66: 197–205.
- Gale, W.J., and C. A. Cambardella. 1998. Carbon Dynamics of Surface Residue- and Root-derived Organic Matter under Simulated No-till. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 190–195.
- Gallaher, P., M. Dikemander, J. Fritz, E. Wailes, W. Gauthier, and H. Shapouri. 2003. Biomass from crop residues: cost and supply estimates. USDA, Office of the Chief Economist, Energy Policy and New Uses. Agricultural economic report 819. USDA, Washington, DC. At: <http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/340631/ae030819.pdf> (accessed 8/12/2020).
- Gentile, R., B. Vanlauwe, P. Chivenge, and J. Six. 2008. Interactive effects from combining fertilizer and organic residue inputs on nitrogen transformations. *Soil Biol. Biochem.* 40: 2375–2384.
- Graham, R.L., R. Nelson, J. Sheenan, R. D. Perlack, and L. L. Wright. 2007. Current and potential U.S. corn stover supplies. *Agron. J.* 99: 1–11.
- Grande, J.D., K. Karthikeyan, P. S. Miller, and J. M. Powell. 2005. Corn residue level and manure application timing effects on phosphorus losses in runoff. *J. Environ. Qual.* 34: 1620–1631.
- Gregorich, E.G., and H. H. Janzen. 1996. Storage of soil carbon in the light fraction and macroorganic matter. p. 167–190. In M. R. Carter and B. A. Stewart (ed.) *Structure and organic matter storage in agricultural soils.* Lewis Publ., CRC Press, Boca Raton, FL.
- Guan, X.-K., L. Wei, N. C. Turner, S.-C. Ma, M.-D. Yang, T.-C. Wang, 2020. Improved straw management practices promote in situ straw decomposition and nutrient release, and increase crop production. *J. Clean. Prod.* 250, 119514.
- Hall, A.J., J. H. Lemcoff, and N. Trapani. 1981. Water stress before and during flowering in maize and its effects on yield, its components, and their determinants. *Maydica* 26: 19–38.
- Hammerbeck, A.L., S. J. Stetson, S. L. Osborne, T. E. Schumacher, and J. L. Pikul, Jr. 2012. Corn Residue Removal Impact on Soil Aggregates in a No-Till Corn/Soybean Rotation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 76: 1390–1398.
- Houghton, R. A. 2007. Balancing the global carbon budget. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 35: 313–347.
- Huang, Y., J. Zou, X. Zheng, Y. Wang, and X. Xu. 2004. Nitrous oxide emissions as influenced by amendment of plant residues with different C: N ratios. *Soil Biol. Biochem.* 36: 973–981.
- Huggins, D.R., C. E. Clapp, R. R. Allmaras, J. A. Lamb, and M. F. Layese. 1998. Carbon dynamics in corn-soybean sequences as estimated from natural carbon-13 abundance. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62: 195–203.
- Jin, V.L., J. M. Baker, J.M.F. Johnson, D. L. Karlen, R. M. Lehman, S. L. Osborne, T. J. Sauer, D. E. Stott, G. E. Varvel, R. T. Venterea, M. R. Schmer, and B. J. Wienhold. 2014. Soil greenhouse gas emissions in response to corn stover removal and tillage management across the US Corn Belt. *BioEnergy Res.* 7: 517–527.
- Johnson, J.M.F., V. Acosta-Martinez, C. A. Cambardella, and N. W. Barbour. 2013. Crop and soil responses to using corn stover as a bioenergy feedstock: observations from the Northern US Corn Belt. *Agric. J.* 3: 72–89.
- Johnson, P.A., and B. J. Chamber. 1996. Effects of husbandry on soil organic matter. *Soil Use Manage.* 13: 102–103.
- Kan, Z.-R., C. He, Q.-Y. Liu, B.-Y. Liu, A. L. Virk, J.-Y. Qi, X. Zhao, H.-L. Zhang, 2020. Carbon mineralization and its temperature sensitivity under no-till and straw returning in a wheat-maize cropping system. *Geoderma* 377, 114610. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114610.
- Karlen, D.L., P. G. Hunt, and R. B. Campbell. 1984. Crop residue removal effects on corn yield and fertility of a Norfolk sandy loam. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 868–872.
- Karlen, D.L., N. C. Wollenhaupt, D. C. Erbach, E. C. Berry, J. B. Swan, N. S. Eash, and J. L. Jordahl. 1994. Crop residue effects on soil quality following 10 years of no-till corn. *Soil Tillage Res.* 31:149–167.
- Kendall, J.R.A., D. S. Long, H. P. Collins, F. J. Pierce, A. Chatterjee, J. L. Smith, and S. L. Young. 2015. Soil carbon dynamics of transition to Pacific Northwest cellulosic ethanol feedstock production. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 79:272–281.
- Kenney, I.T. 2011. Regional assessment of short-term impacts of corn stover removal for bioenergy on soil quality and crop production. MSc. thesis, Kansas State University, Manhattan, KS.
- Ketterings, Q., and K. Czymmek. 2007. Removal of Phosphorus by Field Crops. *Agronomy Fact Sheet Series. Fact Sheet #28.* Cornell University Cooperative Extension.
- Kim, S., and B. E. Dale. 2004. Global potential bioethanol production from wasted crops and crop residues. *Biomass and Bioenergy* 26: 361–375.
- Kim, S., B. E. Dale, and R. Jenkins. 2009. Life cycle assessment of corn grain and corn stover in the United States. *Int. J. Life Cycle Assess.* 14: 160–174.
- Kumar, P., L. Lai, M. L. Battaglia, S. Kumar, V. Owens, J. Fike, J. Galbraith, C. O. Hong, R. Faris, R.
- Crawford, J. Crawford, J. Hansen, H. Mayton, and D. Viands. 2019. Impacts of nitrogen fertilization rate and landscape position on select soil properties in switchgrass field at four sites in the USA. *CATENA* 180: 183–193.
- Kumar, S., L. Lai, P. Kumar, Y.M.V. Feliciano, M. L. Battaglia, C. O. Hong, V. N. Owens, J. Fike, R.
- Farris, and J. Galbraith. 2019. Impacts of nitrogen rate and landscape position on soils and switchgrass root growth parameters. *Agron. J.* 111(3): 1046–1059. Larson, W.E., Y. B. Morahan, C. E. Clapp, and W. H. Pierre. 1972. Effects of increasing amounts of organic residues on continuous corn: II. Organic carbon, nitrogen, phosphorus, and sulfur. *Agron. J.* 64: 204–209. Lenka, N.K., and R. Lal. 2013. Soil aggregation and greenhouse gas flux after 15 years of wheat straw and fertilizer management in a no-till system. *Soil Tillage*

Res. 126: 78–89.

Li, S., X. Li, W. Zhu, J. Chen, X. Tian, and J. Shi. 2019. Does Straw Return Strategy Influence Soil Carbon Sequestration and Labile Fractions? *Agron. J.* 111: 897–906. <https://doi.org/10.2134/agronj2018.08.0484>.

Liang, B.C., E. G. Gregorich, A. F. MacKenzie, M. Schnitzer, R. P. Voroney, C. M. Monreal, and R. P. Beyaert. 1998. Retention and turnover of corn residue carbon in some eastern Canadian soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62: 1361–1366.

Lin, S., J. Iqbal, R. Hu, M. Shaaban, J. Cai, and X. Chen. 2013. Nitrous oxide emissions from yellow brown soil as affected by incorporation of crop residues with different carbon-to-nitrogen ratios: a case study in central China. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 65: 183–192.

Linden, D.R., C. E. Clapp, and R. H. Dowdy. 2000. Long-term corn grain and stover yields as a function of tillage and residue removal in east central Minnesota. *Soil Tillage Res.* 56: 167–174.

Lindstrom, M.J. 1986. Effects of residue harvesting on water runoff, soil erosion and nutrient loss. *Agric. Ecosyst. Environ.* 16: 103–112.

Lindstrom, M.J., W. B. Voorhees, and C. A. Onstad. 1984. Tillage systems and residue cover effects on infiltration in northwestern Corn Belt soils. *Journal of Soil and Water Conservation Jan.-Feb.*: 64–68.

Mann, L., V. Tolbert, and J. Cushman. 2002. Potential environmental effects of corn (Zea mays L.) stover removal with emphasis on soil organic matter and erosion. *Agric. Ecosyst. Environ.* 89: 149–166.

McAloon, A., F. Taylor, W. Yee, K. Ibsen, and R. Wooley. 2000. Determining the cost of producing ethanol from cornstarch and lignocellulosic feedstocks. Tech. Rep. NREL/TP-580-28893. Natl. Renewable Energy Lab., Golden, CO. At: <https://www.nrel.gov/docs/fy01osti/28893.pdf> (accessed: 8/12/2020).

Moebius-Clune, B.N., H.M. van Es, O. J. Idoro, R. R. Schindelbeck, D. J. Moebius-Clune, D. W. Wolfe, G. S. Abawi, J. E. Thies, B. K. Gugino, and R. Lucey. 2008. Long-term effects of harvesting maize stover and tillage on soil quality. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72: 960–969.

Morachan, Y.B., W. C. Moldenhauer, and W. E. Larson. 1972. Effects of increasing amounts of organic residues on continuous corn: I. Yields and soil physical properties. *Agron. J.* 64: 199–203.

NeSmith, D.S., and J. T. Ritchie. 1992. Short- and long-term responses of corn to a pre-anthesis soil water deficit. *Agron. J.* 84: 107–113.

Nicholson, F.A., B. J. Chambers, A. R. Mills, and P. J. Strachan. 1997. Effects of repeated straw incorporation on crop fertilizer nitrogen requirements, soil mineral nitrogen and nitrate leaching losses. *Soil Use Management* 13: 136–142.

Power, J.F. and J. W. Doran. 1988. Role of crop residue management in nitrogen cycling and use. In *Cropping Strategies for Efficient Use of Water and Nitrogen*. Ed. Hargrove et al., pp 101–113. ASA Spec. Publ. 51, ASA CSA and SSSA, Madison, WI.

Power, J.F., J. W. Doran, and W. W. Wilhelm. 1986. Crop residue effects on soil environment and dryland maize and soybean production. *Soil Tillage Res.* 8: 101–111.

Power, J.F., P. T. Koerner, J. W. Doran, and W. W. Wilhelm. 1998. Residual effects of crop residues on grain production and selected soil properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62: 1393–1397.

Raffa, D.W., A. Bogdanski, O. Dubois, and P. Tittonell. 2014. Take it or Leave it? Towards a decision support tool on sustainable crop residue use. Part 1: Soil management. Environment and natural resources management working paper No. 61 Energy. 110 p. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. At: <http://www.fao.org/3/a-i4210e.pdf> (accessed: 8/12/2020).

Schneider, E. C., and S. C. Gupta. 1985. Corn Emergence as Influenced by Soil Temperature, Matric Potential, and Aggregate Size Distribution. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 415–422.

Sequeira, C.H., and M. M. Alley. 2011. Soil organic matter fractions as indices of soil quality changes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 75: 1766–1773.

Sequeira, C.H., M. M. Alley, and B. P. Jones. 2011. Evaluation of potentially labile soil organic carbon and nitrogen fractionation procedures. *Soil Biol. Biochem.* 43: 438–444.

Shan, J., and X. Yan. 2013. Effects of crop residue returning on nitrous oxide emissions in agricultural soils. *Atmos. Environ.* 71: 170–175.

Sharma, B., C. Larroche, and C.-G. Dussap. 2020. Comprehensive assessment of 2G bioethanol production. *Bioresour. Technol.* 313: 123630. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123630>

Sindelar, A.J. 2012. Stover, tillage, and nitrogen management in continuous corn for grain, ethanol, and soil carbon. Ph.D. diss., University of Minnesota, Minneapolis, MN.

Six, J., H. Bossuyt, S. Degryze, and K. Denef. 2004. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil Tillage Res.* 79: 7–31.

Spargo, J.T., M. A. Cavigelli, M. M. Alley, J. E. Maul, J. S. Buyer, C. H. Sequeira and R. F. Follet. 2012. Changes in soil organic carbon and nitrogen fractions with duration of no-tillage management. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 76: 1624–1633.

Su, Y., M. Yu, H. Xi, J. Lv, Z. Ma, C. Kou, and A. Shen. 2020. Soil microbial community shifts with long-term of different straw return in wheat-corn rotation system. *Sci. Rep.* 10: 6360. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63409-6>.

Susser, J.R., S. L. Pelini, and M. N. Weintraub. 2020. Can we reduce phosphorus runoff from agricultural fields by stimulating soil biota? *J. Environ. Qual.* 49: 933–944. <https://doi.org/10.1002/jeq2.20104>.

Swan, J.B., R. L. Higgs, T. B. Bailey, N. C. Wollenhaupt, W. L. Paulson, and A. E. Peterson. 1994. Surface Residue and In-Row Treatment Effects on Long-Term No-Tillage Continuous Corn. *Agron. J.* 86: 711–718.

Swan, J.B., E. C. Schneider, J. F. Moncrief, W. H. Paulson, and A. E. Peterson. 1987. Estimating Corn Growth, Yield, and Grain Moisture from Air Growing Degree Days and Residue Cover. *Agron. J.* 79: 53–60.

Tarkalson, D.D., B. Brown, H. Kok, and D. L. Bjorneberg. 2009. Impact of Removing Straw from Wheat and Barley Fields: A Literature Review. *Better crops* 93 (3): 17–19.

Tenenbaum, D.J. 2008. Food vs. Fuel: Diversion of Crops Could Cause More Hunger. *Environ. Health Perspect.* 116(6): A254–A257.

Thompson, P.B. 2012. The Agricultural Ethics of Biofuels: The Food vs. Fuel Debate. *Agriculture J.* 2: 339–58. Tiedje, J.M., A. J. Sexton, T. B. Parkin, N. P. Revsbech, and D. R. Shelton. 1984. Anaerobic processes in soil. *Plant and Soil* 76: 197–212.

Undersander, D.J., and C. Reiger. 1985. Effect of wheat residue management on continuous production of irrigated winter wheat. *Agron J.* 77: 508–511.

U. S. Department of Energy. 2011. U. S. Billion-Ton Update: Biomass Supply for a Bioenergy and Bioproducts Industry. R. D. Perlack and B. J. Stokes (Leads), ORNL/TM-2011/224. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN. 227p. At: [http://www.eesi.org/files/billion\\_ton\\_update.pdf](http://www.eesi.org/files/billion_ton_update.pdf) (accessed: 8/12/2020).

Vetsch, J.A., and G. W. Randall. 2002. Corn production as affected by tillage system and starter fertilizer. *Agron. J.* 94: 532–540.

Von Cossel, M., I. Lewandowski, B. Elbersen, I. Staritsky, M. Van Eupen, Y. Iqbal, S. Mantel, D. Scordia, G. Testa, S. L. Cosentino, O. Maliarenko, I. Eleftheriadis, F. Zanetti, A. Montu, D. Lazzina, S. Neimane, I. Lamy, L. Ciadamiro, M. Sanz, J. E. Carrasco, P. Ciria, I. McCallum, L. M. Trindade, E. N. Van Loo, W. Elbersen, A. L. Fernando, E. G. Papazoglou, and E. Alexopoulou. 2019. Marginal agricultural land low-input systems for biomass production. *Energy* 12: 3123. <https://doi.org/10.3390/en12163123>

Walsh, M.E., R. L. Perlack, A. Turhollow, D.G. de la Torre Ugarte, D. A. Becker, R. L. Graham, S. E. Slinsky, and D. E. Ray. 2000. Biomass feedstock availability in the United States: 1999 state level analysis. Oak Ridge National Lab., Oak Ridge, TN. At: <https://www.nrc.gov/docs/ML0719/ML071930137.pdf> (accessed 8/12/2020).

Wilhelm, W.W., J. W. Doran, and J. F. Power. 1986. Corn and soybean yield response to crop residue management under no-tillage production systems. *Agron. J.* 78: 184–189.

Wilhelm, W.W., J. M. Johnson, J. L. Hatfield, W. B. Voorhees, and D. R. Linden. 2004. Crop and soil productivity response to corn residue removal: a literature review. *Agron. J.* 96: 1–17.

Yuan, M., K. D. Greer, E. D. Nafziger, M. B. Villamil, and C. M. Pittelkow. 2018. Soil N<sub>2</sub>O emissions affected by long-term residue removal and no-till practices in continuous corn. *GCB Bioenergy* 10: 972–985. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12564>.

Zhang, L., X. Chen, Y. Xu, M. Jin, X. Ye, H. Gao, W. Chu, J. Mao, and M. L. Thompson. 2020. Soil labile organic carbon fractions and soil enzyme activities after 10 years of continuous fertilization and wheat residue incorporation. *Sci. Rep.* 10, 11318. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68163-3>.

Wilhelm, W.W., J.M.F. Johnson, D. L. Karlen, and D. T. Lightle. 2007. Corn stover to sustain soil organic carbon further constrains biomass supply. *Agron. J.* 99(6): 1665–1667.

## АНОТАЦІЯ

**Широкий вплив вилучення кукурудзиння і пшеничної соломи для виробництва біопалива на продуктивність культур, здоров'я ґрунту і викиди парникових газів — огляд.**

Мартін Батталія, Вейд Томасон, Джон Х. Фіке, Грегорі К. Еваніло, Моріц фон Коссель, Емре Бабур, Ясір Ікбал, Андре А. Діатта.

Виробництво біопалива з поживних решток є загально визнаним важливим компонентом розвитку біоєкономіки, проте вилучення поживних залишків все ще викликає багато питань щодо стійкості сільськогосподарської системи. Тому в цьому дослідженні розглядається вилучення поживних рослинних залишків для виробництва біопалива з точки зору рослинництва, стану ґрунту й вивільнення парникових газів. У переважній більшості досліджень наведено мало доказів того, що управління залишками має довгостроковий вплив на врожайність зерна, за умови, якщо доступна волога не обмежена. За роки, коли волога не була обмежуючим фактором, у більшості досліджень при вилученні залишків кукурудзи й пшениці  $\geq 90\%$ , врожайність зерна була подібною або вищою, ніж без вилучення. І навпаки, у деяких дослідженнях, коли волога була обмеженою, урожайність зерна кукурудзи знижувалася до  $21\%$  із видаленням залишків  $\geq 90\%$ . Зміни в органічних фракціях ґрунту й балансі поживних речовин залежали, значною мірою, від кількості повернутих залишків, текстури й шару ґрунту, ухилу поля й способу обробки ґрунту. Зменшення вмісту органічних фракцій відбувалося переважно при повному видаленні залишків, у шарі 15–30 см, у ґрунтах з дрібною текстурою. Ерозія ґрунту, стікання води й вимивання поживних речовин, таких як загальний азот (N) і екстрагований калій, зменшувалося, коли видаляється не більше  $80\%$  поживних залишків. Вплив управління поживними залишками на насипну щільність ґрунту значно варіював залежно від шару ґрунту, управління залишками та системи обробки ґрунту, з коефіцієнтом вилучення залишків менше  $50\%$ , що допомагає підтримувати агрегатну стійкість ґрунту. Зниження потоків CO<sub>2</sub> і N<sub>2</sub>O, як правило, відбувалося після повного вилучення залишків. Повернення пшеничної соломи, як правило, збільшувало викиди CH<sub>4</sub> та викиди CO<sub>2</sub> і N<sub>2</sub>O були максимальними при поверненні пшеничної соломи в кількості 8 тон на гектар, незалежно від норми внесення N. Тому перед використанням рослинних залишків для виробництва біопалива слід завжди перевіряти, чи можна підтримувати нейтральну або позитивну стійкість в умовах конкретних ділянок.

**Ключові слова:** біоєкономіка, біоенергетика, адаптація до кліматичних змін, урожайність сільськогосподарських культур, природні ресурси, екологічна стійкість, пом'якшення викидів парникових газів, кругообіг поживних речовин, поживні залишки, здоров'я ґрунту.

## ABSTRACT

**The broad impacts of corn stover and wheat straw removal for biofuel production on crop productivity, soil health and greenhouse gases emissions**

Martin Battaglia, Wade Thomason, John H. Fike, Gregory K. Evanilo, Moritz von Kossel, Emre Babur, Yasser Iqbal, Andre A. Diatta

Biofuel production from crop residues is widely recognized as an essential component of developing a bioeconomy, but the removal of crop residues still raises many questions about the sustainability of the cropping system. Therefore, this study reviews the sustainability effects of crop residues removal for biofuel production in terms of crop production, soil health and greenhouse gas emissions. Most studies found little evidence that residue management had long-term impacts on grain yield unless the available water is limited. In years when water was not limiting, corn and wheat removal rates  $\geq 90\%$  produced similar or greater grain yield than no removal in most studies. Conversely, when water was limiting, corn grain yield decreased up to  $21\%$  with stover removal  $\geq 90\%$  in some studies. Changes in soil organic fractions and nutrients depended largely on the amount of residue returned, soil depth and texture, slope and tillage. Reductions in organic fractions occurred primarily with complete stover removal, in the top 15 to 30-cm in fine-textured soils. Soil erosion, water run-off and leaching of nutrients such as total nitrogen (N) and extractable soil potassium decreased when no more than  $30\%$  of crop residues were removed. Stover management effects on soil bulk density varied considerably depending on soil layer, and residue and tillage management, with removal rates of less than  $50\%$  helping to maintain the soil aggregate stability. Reductions in CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O fluxes typically occurred following complete residue removal. The use of wheat straw typically increased CH<sub>4</sub> emissions, and above or equal to  $8 \text{ Mg ha}^{-1}$  wheat straw led to the largest CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O emissions, regardless of N rates. Before using crop residues for biofuel production, it should therefore always be checked whether neutral to positive sustainability effects can be maintained under the site-specific conditions.

**Keywords:** bioeconomy, bioenergy, adaptation to climate change, crop yield, natural resources, environmental sustainability, greenhouse gas emission mitigation, nutrient cycle, crop residues, soil health.



# ЛАУРЕАТИ ДЕРЖАВНОЇ ПРЕМІЇ – ВЧЕНІ Й ФАХІВЦІ БІОЕНЕРГЕТИЧНОЇ ГАЛУЗІ

**ЯГОЛЬНИК О.О.,**

головний фахівець ІБКіЦБ НААН України,  
редактор журналу «Біоенергетика/  
Bioenergy»

Число «30», мабуть, справді щасливе для відомого дослідника проблем виробництва енергії з біологічних видів палива при спалюванні та анаеробному збродженні шляхом розроблення науково-технічних засад процесів заготівлі, обробці аграрної біомаси та її перероблянні у біопалива й палко-го пропагандиста біоенергетичної галузі і, до речі, нашого постійного автора Г. Г. Гелету-хи.

30 листопада 2017 року вийшов у світ журнал «Біоенергетика/Bioenergy», в якому надруковано інформацію, що завідувач лабораторії теплофізичних проблем біоенергетики Інституту технічної теплофізики НАН України, голова правління ГС «Біоенергетична асоціація України» Г. Г. Гелету-ха отримав спеціальну відзнаку — став першим лауреатом професійної нагороди в галузі біоенергетики «Золотий міскантус».

30 грудня 2020 р. вийшов Указ Президента України № 608/2020 «Про присудження Державних премій України в галузі науки і техніки 2020 року», в якому є повідомлення, що одним із лауреатів Державної премії України став Г. Г. Гелету-ха. А 30 березня 2021 року спеціалізована вчена рада Інституту технічної теплофізики НАН України розглянула дисертацію Г. Г. Гелету-ха на тему «Науково-технічні засади виробництва енергії з біологічних видів палива», в якій, за визнанням автора, проаналізовано ключові роботи з наукових аспектів виробництва енергії з біологічних видів палива відомих вітчизняних вчених Блюма Я. Б., Роїка М. В., Рахметова Д. Б., Забарного Г. М., Карпа І. М., П'яних К. С., Кудрі С. О., Лакіди П. І., Калетника Г. М., Ткаченко С. Й., Губінського М. В., Дубровіна В. О., Мельничука М. Д., Голуба Г. А., Кухарця С. М., Жовміра М. М., Желізно Т. А., Драгнєва С. В., Матвєєва Ю. Б., Кучерука П. П., а також ряду закордонних вчених й на основі даного аналізу визначено основні методичні, технологічні та організаційні проблеми, вирішення яких необхідне для широкої й успішної реалізації біоенергетичних проєктів в Україні. Вчена рада одногосно ухвалила рішення щодо присудження Георгію Георгійовичу Гелету-сі наукового ступеня доктора технічних наук із спеціальності 05.14.08 — перетворюван-ня відновлюваних видів енергії. (Дисертація, автореферат та відеозапис захисту доступні за посиланням: <http://itff.kiev.ua/geletuxa-georgij-georgijovich/>).

Варто наголосити: крім Г. Г. Гелету-хи в списку виконавців комплексного науково-експериментального дослідження «Розробка та впровадження ресурсозберігаючих технологій та енергоефективного обладнання для виробництва і споживання альтернатив-

них видів палива» — є ще 6 його колег (іме-на ряду з них, до речі, також відомі читачам нашого видання за їхніми науковими публікаціями в журналі). Це — д. т. наук, завідувач лабораторії Інституту технічної теплофізики НАНУ Ж. О. Петрова, к. т. наук, провідний науковий співробітник Інституту технічної теплофізики НАН України Т. А. Желізна; к. т. наук, провідний науковий співробітник Інституту технічної теплофізики НАН України Д. М. Корінчук; д. т. наук, завідувач відділу Інституту газу НАН України К. Є. П'яних; генеральний директор ТОВ «Котлозавод «Крігер» Л. Ф. Крігер; директор ТОВ «Волинь-Кальвіс» А. М. Понікарчук і виконавчий директор ТОВ «Кліар Енерджі» С. Д. Савчук. (Матеріали, представлені на премію, доступні за посиланням: <http://www.kdpu-nt.gov.ua/uk/content/tehnologiyi-ta-obladnannya-dlya-vyrobnystva-i-spozhyvannya-alternatyvnyh-vydiv-palyva/>).

Наукова новизна, перелік та зміст виконаних досліджень і експериментальних розробок більш ніж переконливі. Вчені, зокрема: 1) запропонували методику оцінювання енергетичного потенціалу біомаси, придатної для використання в Україні; 2) розробили склад та режими виробництва композиційного біопалива з рослинної біомаси та торфу; 3) дослідили процес вигорання часток твердого біопалива (тирси та лушпиння соняшника) в потоці й провели аналіз його залежності від їх вологості та фракційного складу; 4) виконали комплексний аналіз енергетичної та екологічної ефективності технологій виробництва теплової енергії з біомаси за весь період життєвого циклу проєкта; 5) розробили комплексну методику та провели широкі експериментальні дослідження газоутворення на звалищах та полігонах України; 6) розробили інноваційну ресурсозберігаючу технологію комплексної переробки торфу на композиційне паливо та гумінові добрива; 7) розробили технологію ефективного спалювання низькоякісних видів біопалива в топках з ретортного подачею палива і решітками допалювання, а також технологію заміщення природного газу біомасою у великих обертових печах і технології спалювання твердого біопалива вологістю до 55% на рухомих колосникових решітках.

Важливо підкреслити: аналіз енергетичної та екологічної ефективності технологій виробництва теплової та електричної енергії з таких видів твердої біомаси як тріска та гранули з лісосічних відходів, тюкована со-лома та гранули з неї, а також технологічних ланцюгів вирощування і використання біомаси таких енергетичних культур, як верба й міскантус для виробництва теплової та електричної енергії в умовах України проведено вперше.

Так само вперше в світі розроблено, побудовано й досліджено пілотну експериментальну піролізу установку шнекового типу. Обґрунтовано необхідні температурні умови

та інтенсивність нагріву біомаси, досліджено фізико-хімічні властивості рідкого палива та побічних продуктів (пірогазу, вуглистога залишку). Відтак, розроблені технології та обладнання за короткий час знайшли застосування не тільки в Україні, а й за кордоном.

За результатами комплексного дослідження й аналізу цих та інших проблем розвитку галузі вчені обґрунтували доцільність будівництва в Україні котельні і ТЕЦ на біомасі та показали, що сучасні ефективні технології виробництва енергії з біомаси повністю задовольняють вимогам сталого розвитку згідно Директиви ЄС 28/2009. Розроблено й налагоджено серійний випуск твердопаливних водогрійних, парових і термомасляних котлів для спалювання палива вологістю до 55% на рухомій колосниковій решітці. Активно долучилися автори й до формування законодавчого поля біоенергетики (зокрема, ЗУ «Про альтернативні джерела енергії», «Про альтернативні види палива», «Про теплопостачання», ряд інших нормативно-правових актів) та оцінювання енергетичного потенціалу біомаси країни, який становив у 2018 році близько 23 млн. т н. е./рік. Цей показник лів в основу формування енергетичної політики України й розробку енергетичної стратегії України на період до 2035 року, де зафіксовано ціль із розвитку сектору біоенергетики — 11 млн. т н. е. постачання первинної енергії у 2035.

За період 2000–2019 рр. розроблено й впроваджено понад 5000 котлів і 6 обертових печей на біомасі, 15 ТЕС/ТЕЦ на біомасі та біогазі, 12 систем збирання та утилізації біогазу на полігонах ТПВ. Сумарне заміщення природного газу — 4,2 млрд. м<sup>3</sup>. Розрахунковий економічний ефект — 4,8 млрд. грн. Орім того, отримано 25 патентів України на корисні моделі, продано ліцензію на два патенти України у В'єтнам, 29 водогрійних котлів загальною потужністю 47 МВт поставлено до Великобританії та 52 котли загальною потужністю 91 МВт до Франції. Виконавцями роботи «Розробка та впровадження ресурсозберігаючих технологій та енергоефективного обладнання для виробництва і споживання альтернативних видів палива» опубліковано: 10 монографій (1 — за кордоном), 25 посібників, 177 наукових статей (у т. ч. 11 публікацій у Scopus, 1 — у Web of Science, 2 — в журналі «Біоенергетика/Bioenergy»). Загальна кількість цитувань та посилань на публікації авторів/індекс роботи, згідно баз даних складає відповідно: Web of Science — 3/2, Scopus — 23/4, Google Scholar — 2513/30. І весь цей фантастичний обсяг науково-дослідних і практичних робіт виконано розумом, талантом, руками «чудової сімки» українських учених біоенергетиків і практиків — лідерів галузі. Тож побажаймо нових успіхів, перемог і нагород учасникам творчого колективу, серед яких 4 удостоєні нагород і номінацій «Золотий міскантус».

# НА КИЇВЩИНІ СТАРТУВАЛИ ВЕСНЯНІ «ЕНЕРГЕТИЧНІ ЖНИВА»

Український науково-дослідний інститут прогнозування та випробування техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва імені Леоніда Погорілого (УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого) багато років опікується проблемами механізації сільського господарства. Крім цього, віднедавна інститут займається й розробкою системи машин для біоіндустрії, досліджує технології вирощування та збирання врожаю багаторічних так званих «енергетичних» культур, щоб забезпечити отримання з одиниці площі максимальної кількості сировини для виробництва теплової енергії.

Починаючи з 2014 року, на угіддях УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого у Дослідницькому функціонують також демонстраційний та виробничий полігони багаторічних біоенергетичних культур. На майже 9-гектарній площі розміщено міскантус, вербу енергетичну (два ботанічних види, шість селекційних сортів), тополі енергетичну та павловнію. І якщо раніше дехто тільки з теорії знав, що енергетичні культури — вагомий ресурс для заміщення викопних видів палива та генерації енергії, то нині в цьому можна перекопати й вочевидь. За 7 років науковцями установи розроблено й освоєно технології вирощування енергетичних рослин, закладено їх промислові плантації, проведено економічні розрахунки використання біоенергетичного конвеєра — послідовних організаційно-економічних і технологічних операцій від закладання плантації енергетичних культур до кінцевого використання фітомаси — спалювання в котлах вітчизняного виробництва, що у 2–2,5 рази дешевше за аналогічне обладнання іноземного виробництва. На даний час в УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого досліджено повний цикл техніко-технологічних рішень із вирощування енергетичних культур, збирання врожаю та використання його для виробництва теплової енергії — настала пора збирання енергетичних культур.

Більше того, 9 квітня 2021 року у відомій науковій установі прямо в польових умовах (сміт Дослідницьке, Білоцерківський р-н, Київська область) відбулося одразу дві події — презентація дослідних плантацій енергетичних культур і, власне, безпосередньо стартували «енергетичні жнива» — збирання енергетичних культур: міскантусу, тополі та верби для виробництва палива та енергії.

Долучилися до цих нестандартних заходів крім самих «іменинників-науковців» також представники Міністерства розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України, Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України, територіальних громад Київщини та ЗМІ. Представив дослідні й виробничі плантації міскантусу, тополі, енергетичної верби й павловнії, а також ознайомив із апробованими технологіями вирощування, збиран-



Рис. 1. Збирання міскантусу

ня та використання енергетичних культур директор УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, д.т. наук, професор, член-кореспондент НААНУ В. І. Кравчук.

Вражають і цифри та основні результати досліджень, які під час презентації озвучив заступник директора інституту Микола Новохацький. Так, наприклад, посадки

енергії приблизно 7–10 тис. м<sup>3</sup> природного газу (Режим доступу: <https://sae.gov.ua/uk/news/3768>; <http://www.ndipvt.com.ua/85>).

На цей час, в УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого реалізовано й пілотний проект забезпечення тепловою енергією адміністративних об'єктів із використанням поновлюваних енергетичних джерел.



Рис. 2. Полігон енергетичних культур УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого.

міскантусу першого року вирощування формують на ґрунтах Київщини 1,9–3,0 т/га абсолютно сухої речовини надземної маси, плантації міскантусу другого року вирощування — від 13,3 до 20,9 т/га, третього та наступних років вирощування — 16,5–26,0 т/га абсолютно сухої речовини. Плантації верби лозовидної на кінець третього року вегетації формують 61,3 т/га деревини, а верби тритичинкової — 60,2 т/га. Середня щорічна врожайність: міскантусу — 24 т/га; енергетичної верби — 60 т/га (один раз у три роки). Енергетична цінність: міскантусу — 17 ГДж/т; енергетичної верби — 20 ГДж/т. Отже, енергія отримана з 1 га зазначених енергетичних культур є еквівалентом

У найближчих планах інституту — продовжувати дослідження всього циклу: від вирощування енергокультур до виробництва енергії та завершення будівництва котельні, щоб напряду використовувати врожай енергокультур для опалення будівель інституту та зменшити залежність від природного газу.

Судячи з усього, УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого підготовлений й до того, щоб впровадити набутий досвід у сільськогосподарських підприємствах, кооперативах, на об'єктах об'єднаних територіальних громад інших регіонів країни, які хочуть зміцнити свою економіку й бути енергонезалежними.

Кор. журналу «Біоенергетика/Bioenergy».

## ВИРОБНИКИ «ЗЕЛЕНОЇ» ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ВІДСУДИЛИ В ДП «ГАРПОК» 700 МЛН. ГРН

Згідно з підписаним торік Меморандумом між урядом та виробниками енергії з відновлювальних джерел, останні мали отримати оплату 40% заборгованості або 8,96 млрд. грн у IV кварталі 2020 року. Решта 60% заборгованості має бути сплачена рівними частинами цього року по 15% або 3,36 млрд. грн щоквартально. 29 квітня ДП «ГарПок» отримало 1 млрд. грн від «Укренерго» для погашення заборгованості за 2020 рік. Кошти стали фінальним перерахуванням у рамках виділеного «Укренерго» кредиту та були в рівній пропорції розподілені між виробниками з ВДЕ та ДП «НАЕК «Енергоатом» згідно з настановою НКРЕКП. Актуальний рівень оплати електроенергії з ВДЕ за 2020 рік — 66%. Крім того, підприємство виконало доплату за поточний рік: «зелена» електроенергія січня, лютого та березня наразі оплачена на 93%. Здійснити 100-відсоткові розрахунки станом на 2021 рік «Гарантований покупець» не зміг. Як констатувала Українська асоціація відновлюваної енергії, за підсумками I кварталу уряд виконав свої зобов'язання за Меморандумом менш ніж на половину. «Фактичний рівень погашення заборгованості перед виробниками ВДЕ складає 37,6% від обіцяного», — підрахували в асоціації, додавши, що не всі виробники «зеленої» енергетики отримали виплати: борги ряду з них «Гарпок» не визнає. Це й змусило одну зі сторін звернутися до суду щодо стягнення заборгованості.

Вітчизняна Феміда стала на бік виробників «зеленої енергії». Із кінця 2020 року були задоволені позови 20 підприємств — виробників «зеленої» електроенергії до ДП «ГарПок».

У квітні 2021 року господарський суд м. Києва задовольнив ще низку позовів виробників «зеленої» електроенергії до держпідприємства «Гарантований покупець» (ДП «ГарПок») про стягнення заборгованості за «зеленим» тарифом, у т.ч. ТОВ «Аякс Дніпро» — на 47,3 млн. грн (справа № 910/15672/20); ТОВ «Дніпроукренерго» — 25,7 млн. грн (справа № 910/1177/21); ТОВ «Евда Енерго» — 16,3 млн. грн (справа № 910/14750/20); ТОВ «Астерія Солар» — 14,4 млн. грн (справа № 910/11912/20).

Як повідомив Finbalance, раніше виробники «зеленої» електроенергії відсудили в ДП «ГарПок» 600 млн. грн заборгованості за «зеленим» тарифом. З урахуванням вказаних вище чотирьох справ, на підставі судових рішень з ДП «ГарПок» загалом має бути стягнуто 700 млн. грн боргу.

За даними Finbalance, проти України також подано перший позов у міжнародний арбітраж щодо «зеленого» тарифу. Позивач — компанія Modus Energy International B. V. — вважає, що держава порушила договір до Енергетичної хартії та просить стягнути з України не менше 11,5 млн. євро.

(За матеріалами інтернет-сайту.  
Джерело: <http://finbalance.com.ua/news>).

### ІЗ ІНШИХ ДЖЕРЕЛ

## ДО 2045 РОКУ КАЛІФОРНІЯ НАЗАВЖДИ ПРИПИНІТЬ ВИДОБУТОК НАФТИ, А ЦІНА НА НАФТУ ВПАДЕ ДО \$10 ЗА БАРЕЛЬ

Для багатьох людей старшого покоління слово «Каліфорнія» ще зі шкільної лави асоціюється з терміном «нафтове Ельдорадо». Каліфорнія — сьомий за розмірами видобутку сирої нафти штат в США. У 2020 році на її території було видобуто 145 млн. барелів нафти. Це відповідає приблизно 1,5 доби поточного світового споживання нафти. Але в перші дні цього року травня оприлюднено сенсаційну інформацію (Ярослава Денькович, Режим доступу: <https://kosatka.media/uk/category/neft/news/>) про те, що губернатор Каліфорнії Гевін Ньюсом оголосив про намір штату відмовитися від видобутку нафти в рамках Плану оцінки зміни клімату, націленого на скорочення викидів парникових газів і досягнення вуглецевої нейтральності штату й повністю заборонити видобуток нафти

у штаті до 2045 року, повідомляє «Хайтек+».

При цьому видача нових дозволів на видобуток методом гідророзриву пласта буде припинена вже з січня 2024 року. Наступні 20 років видобуток зможуть вести тільки ті, хто встигне отримати ліцензію. Втім, з урахуванням прогнозів падіння цін на нафту, велика ймовірність, що видобуток нафти буде припинений у багатьох штатах США набагато раніше з економічних причин. В якості першого кроку губернатор наказав Департаменту охорони природи Каліфорнії припинити видачу нових дозволів на гідророзрив пласта до січня 2024 року. Далі буде працювати поетапний план скорочення видобутку нафти аж до його повної зупинки через 21 рік.

## В УКРАЇНІ З'ЯВИВСЯ НОВИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Уряд підтримав пропозицію МОН України щодо утворення Державного біотехнологічного університету. Відповідне розпорядження КМУ ухвалено 12 травня 2021 року.

Новий регіональний університет діятиме на Харківщині з метою задоволення потреб ринку праці у відповідних фахівцях та покращення конкурентних можливостей здобуття якісної вищої освіти. До новоутвореного Державного біотехнологічного університету приєднуються: чотири добре відомі в країні вже існуючі учбові заклади: Харківський національний

технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка; Харківська державна зооветеринарна академія; Харківський національний аграрний університет ім. В. В. Докучаєва; Харківський державний університет харчування та торгівлі.

Здобувачі вищої освіти та інші особи, які навчаються в зазначених закладах освіти, продовжуватимуть навчання в новоутвореному університеті за обраними спеціальностями та джерелами фінансування. Фінансування університету буде здійснюватися в межах видатків, передбачених МОН.

# РЕКОМЕНДАЦІЇ З ВИРОЩУВАННЯ ПАВЛОВНІЇ

**Я. Г. ОЛЕКСАНДРОВ,**  
оглядач журналу  
«Біоенергетика/Bioenergy».

Дефіцит палива та екологічні проблеми спонукають сучасну біоенергетичну аграрну науку наполегливо й цілеспрямовано вишукувати нові ВДЕ, в т.ч. й серед біоенергетичних культур, сировина яких може бути використана для «трансформації енергії сонця в доступні для господарської діяльності форми». Створення плантацій біоенергетичних культур для виробництва біомаси стає актуальним особливо в регіонах, у яких є надлишок низькопродуктивних земель, що не можуть бути використані для вирощування польових сільськогосподарських культур.

Однією з найперспективніших культур для виробництва біопалива є маловідома павловнія (Paulownia).

«Рекомендації з технології вирощування та використання павловнії в умовах Лісостепу України» – так називається монографічний посібник, який підготували й щойно випустили в світ Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України та Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України (авторський колектив: М. В. Роїк, Ю. А. Шафаренко, В. М. Сінченко, М. Я. Гументик, О. М. Ганженко, Я. Д. Фучило, В. С. Бондар, А. В. Фурса, В. М. Квак, Г. С. Гончарук, М. М. Харитонов, В. І. Лопушняк, М.І. Федорчук, О. В. Балагура, Л.І. Сторожик, О.М. Грищенко, В. В. Чернуський, С. М. Мандровська, Н. С. Ковальчук, Н. С. Бех, М. О. Корнєєва, В. М. Кателєвський, В. М. Гументик, О. Ю. Кукош). У невеликій за обсягом книзі викладено,

як кажуть, від «А» до «Я» всі основні підходи з технології вирощування та збирання нової для України біоенергетичної, кормової та медоносної культури, яка може бути з успіхом використана сільськогосподарськими підприємствами, фермерськими та особистими господарствами в якості вискоєфективної сировини для виготовлення твердих видів біопалива, отримання деревини та виготовлення будівельних матеріалів і меблів (Літ.: Рекомендації з технології вирощування тавикористання павловніїв умовах Лісостепу України / за редакцією М.Я.Гументика, О.О.Ягольника. – К.: Компрінт, 2020. – 68 с.).

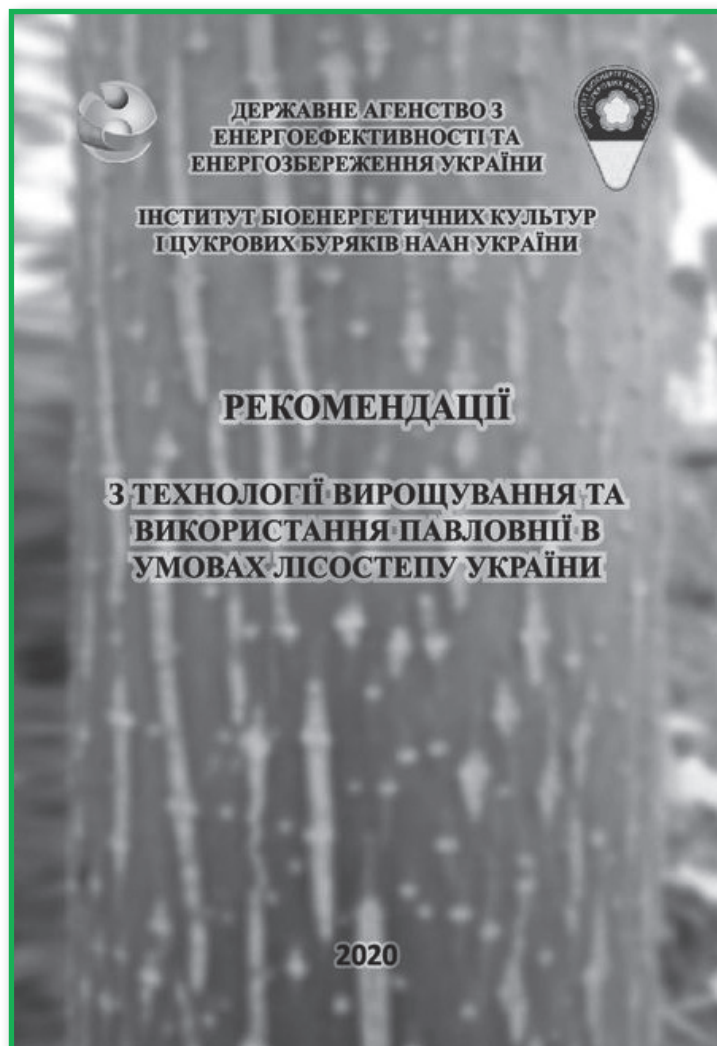
З нагоди завершення роботи над посібником та з метою обговорення подальшої співпраці в Дер-

женергоефективності відбулася навіть зустріч співавторів (детальніше див. : сайти (<https://saee.gov.ua/uk/news/3727>);<https://www.ukrinform.ua/rubric-yakisne-zhyttia/3214286>. Режим доступу: [https://bio.gov.ua/sites/default/files/documentation/pavlovniya\\_26\\_03\\_2021.pdf](https://bio.gov.ua/sites/default/files/documentation/pavlovniya_26_03_2021.pdf)).

В чому особливість видання про одну з маловивчених, але чи не найперспективніших у плані продуктивності енергетичних культур?

По-перше, в Україні й країнах ближнього зарубіжжя – це, схоже, перша друкована праця про сучасну павловнію. Як пояснює завідувач відділу ІБКіЦБ, кандидат с. –г. наук М. Я. Гументик, її, можна сказати, «хрещений батько» та співавтор видання, який доклав чимало зусиль, щоб

акредитувати цю культуру на українських землях, павловнія має чимало переваг порівняно з іншими енергетичними культурами. Це не тільки швидкоростуча (5-6 м у висоту в рік), а й довговічна (до 50 років) рослина, з наростанням одного дерева 0,4-0,6 м<sup>3</sup> деревини за п'ятирічний цикл – росте швидше, ніж верба, а щорічний приріст біомаси павловнії взагалі не має собі рівних – вже за п'ять років досягає 20 й більше метрів. Окрім того, павловнія здатна поглинати в декілька разів більше CO<sub>2</sub>, ніж будь-яка інша культура, а її листя відзначається високою кормовою цінністю – може використовуватися для годівлі тварин й містить майже 20 % протеїнів, воно багате азотом (після опадання забезпечує ґрунт поживними речовинами), може також використовуватися для приготування компосту. Сучасні технології плантаційного вирощування ділової деревини дозволяють за 5-річний період із 1 га отримати від 400 до 500 м<sup>3</sup> якісної деревини. Крім цього, насадження цієї культури здатні відновлю-



вати деградовані та малопродуктивні землі, значно поліпшуючи показники родючості ґрунту – в Україні налічується близько 4 млн га малородючих земель, які не придатні для сільськогосподарських культур, проте можуть бути ефективно використані для вирощування енергетичних рослин (верби, павловнії тощо). Задіявши зазначений потенціал в енергетичних цілях, можна, за розрахунками Юрія Шафаренка, замінити близько 20 млрд м<sup>3</sup> газу в рік.

По-друге, дане видання розповідає про перший науково-практичний досвід із розроблення та впровадження механізованої енергоощадної технології вирощування павловнії, що, безперечно, сприятиме сільськогосподарським виробникам у створенні й управлінні промисловими плантаціями цієї культури. Особливо цінним є те, що агротехнологічні рекомендації висвітлюють процес вирощування павловнії в ґрунтово-кліматичних умовах України. При цьому автори діляться досвідом, який нагромадили в процесі власноручного вирощування садивного матеріалу на промислових плантаціях, починаючи від вибору місця під плантацію павловнії, обробітку ґрунту для її висаджування, оранки, вирівнювання й дискування поля, підготовки схеми закладання саджанців, догляду за рослинами, захисту плантації від бур'янів, шкідників та хвороб, розпушування ґрунту в міжряддях рослин, пасинкування дерев до операцій, пов'язаними з технологічними зрізами стовбурів та збиранням біомаси й її сумісного вирощування з іншими сільськогосподарськими культурами до, власне, фінішного використання деревини й біомаси для виробництва біопалива.

По-третє, в методичних рекомендаціях викладено координуючо-узagalнені біологічні особливості культури та основні підходи до технології вирощування й збирання нової для України біоенергетичної культури, що може бути використана сільськогосподарськими підприємствами, фермерськими та особистими господарствами як високоякісна сировина для виготовлення твердих видів біопалива, отримання деревини для

виготовлення будівельних матеріалів, меблів і як кормова культура та медонос. Це справді корисна інформація як для сільськогосподарських виробників, так і для девелоперів біоенергетичних проектів, науковців, аспірантів, студентів, фермерів, підприємців, аматорів та прихильників зеленої енергетики.

По-четверте, в монографічному виданні вміщено короткий глосарій термінів та визначень понять, що, як відомо, ще тільки входять в обіг і не набули належного поширення в літературі. Деякі з них наводимо нижче.

Альтернативні види палива – тверді, рідкі та газоподібні палива, які є альтернативою відповідним традиційним видам палива, що виробля-



ються з нетрадиційних джерел та видів енергетичної сировини.

**Альтернативні джерела енергії** – не викопні джерела енергії, що постійно існують або періодично з'являються в навколишньому природному середовищі, такі як: енергія сонця, вітру, геотермальна, аеротермальна, гідротермальна, енергія хвиль та припливів, гідроенергія, енергія біомаси, газу з органічних відходів, газу з каналізаційно-очисних станцій, біогазів.

**Біоенергетика** – галузь енергетики, яка базується на використанні біопалива, що виготовляється з нової біомаси.

**Біоенергетична плантація** – спеціальна висаджена на відповідних площах швидкоросла деревна рослинність для одержання біомаси, з якої може бути виготовлене біопаливо.

**Біоенергетичні культури** – деревні, трав'яні та водоростеві рослини, сировина яких використовується для виробництва біопалива й різних видів енергії.

**Біологічні види палива** (біопалива) – тверді, рідкі та газоподібні

палива, що виготовлені з біологічно-відновлюваної сировини (біомаси) й використовуються як паливо або компонент інших видів палива.

**Біомаса** – не викопна біологічно-відновлювана речовина органічного походження у вигляді продуктів, відходів і залишків лісового, сільськогосподарства (рослинництва й тваринництва), рибного господарства та технологічно пов'язаних із ними галузей промисловості, а також промислової чи побутової відходів, здатні до біологічного розкладу.

**Вегетаційний період** – термін росту та розвитку конкретного сорту або виду рослини від масових сходів до дозрівання й збирання врожаю. Тривалість вегетації визначає й ка-

тегорію біологічної істигlosti культури за певних кліматичних умов.

**Кореневий живець** – відрізок кореня рослини, який використовується як садивний матеріал під час вегетативного розмноження. Кореневі паростки – молоді рослини, що утворилися на коренях дерев відпридаткових бруньок.

**Мікроклональне розмноження рослин** – вегетативне (масове) розмноження рослин у стерильних умовах *in vitro*, що забезпечує збереження генетично-однорідного матеріалу і виключає появу генетично змінених форм.

**Морфогенез** (від грец. *Morphê* – «форма» і *genesis* – «утворення») в біології – процес виникнення й розвитку органів, систем і частин тіла організмів під час їх індивідуального розвитку (онтогенезу).

**Пагін** – один із основних органів вищих рослин (приспосований до асиміляції, транспірації й розмноження, який відростає від кореневища та має листостеблову структуру (стебло, листки, бруньки). Місце прикріплення листка на пагоні називають вузлом, ділянку пагона між вузлами – міжвузлям.

**Пасинок** – бічний пагін рослини, що розвивається з прилистокової бічної або пазушної бруньки..

**Субстрат** – середовище (напр., ґрунт, пісок, камінь, торф, галька, тирса, перліт, вермикуліт, агар), на якому закріплені та зростають рослинні організми.