

### ОФІЦІЙНИЙ РОЗДІЛ

**ПРО ПРОЕКТ «ЗЕЛЕНА КРАЇНА»**  
(Звернення науковців Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН до Президента України та профільних міністерств щодо заліснення території України)

3

About the Green Country project (Appeal of scientists of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet NAAS to the President of Ukraine and relevant ministries on afforestation of the territory of Ukraine)

### ГЕНЕТИКА ТА СЕЛЕКЦІЯ

**ПЕРСПЕКТИВИ Й МЕТОДИ ПОЛІПЛОЇДНОЇ СЕЛЕКЦІЇ НОВИХ ВИСОКОПРОДУКТИВНИХ КЛОНІВ МІСКАНТУСІВ У ПРИРОДНО-КЛІМАТИЧНИХ УМОВАХ УКРАЇНИ**  
Роїк М.В., Ковальчук Н.С., Зінченко О.А., Гументик М.Я., Гончарук Г.С.,

4

Prospects and methods of polyploid selection of new high-yielding miscanthus clones in the natural climatic conditions of Ukraine.  
M. V. Roik, N. S. Kovalchuk, O. A. Zinchenko, M. Ya. Humentyk, H. S. Honcharuk

### БІОЕНЕРГЕТИКА – В ДІЇ

**ЗАСТОСУВАННЯ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОПЛАСТИКУ**  
Роїк М.В., Сінченко В.М., Нурмухаммедов А.К., Ганженко О.М., Гументик М.Я.

13

Application of bioenergy cultures for bioplastic production  
Roik M. V., Sinchenko V.M., Nurmuhammedov A.K., Hanzhenko O.M., Humentyk M.Ya.

### НАСІННИЦТВО

**СОРТУВАННЯ НАСІННЯ ПРОСА ПРУТОПОДІБНОГО ЗА АЕРОДИНАМІЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ ЯК СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЙОГО ЯКОСТІ**  
Дрига В.В., Доронін В.А., Кравченко Ю.А., Доронін В.В.

16

Separation of switchgrass seeds by aerodynamic properties as a way of quality improvement  
Dryha V. V., Doronin V.A., Kravchenko Yu. A., Doronin V.V.

### ДОБРИВА

**ВПЛИВ ДОЗ ДОБРИВ НА БІОЕНЕРГЕТИЧНУ ПРОДУКТИВНІСТЬ СОРГО ЦУКРОВОГО**  
Іваніна В.В., Сипко А.О., Стрілець О.П., Зацерковна Н.С., Сінчук Г.А., Іванова О.Г., Коритник Р.М., Копчук К.М.,

21

Effect of fertilizer doses on bioenergy productivity of sugar sorghum  
Ivanina V.V., Sypko A.O., Strilets O.P., Zatserkovna N.S., Sinchuk G.A., Ivanova O.G., Korytnyk R.M., Korchuk K.M.

### ДОБРИВА

**ВПЛИВ АЗОТНИХ ДОБРИВ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БІОМАСИ ВЕРБИ ПРУТОВИДНОЇ**  
Вокальчук Б.М., Фучило Я.Д.

24

The influence of nitrogen fertilizers on the productivity of energy biomass of willow  
Vokalchuk B. M., Fuchilo Ya.D.

### БІОТЕХНОЛОГІЇ

**ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ В АГРОЛІСІВНИЦТВІ НА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ УГІДДЯХ ПОЛІССЯ УКРАЇНИ**  
Фучило Я.Д., Іванюк І.Д., Макух Я.П., Юхновський В.Ю., Ременюк С.О., Кусік В.М.,

28

Prospects of using pine in agriculture on agricultural land in Polissia of Ukraine  
Ya.D. Fuchylo, I.D. Ivaniuk, Ya.P. Makukh, V.Yu., Yukhnovskiy, S.O. Remeniuk, V.M. Kusik,

### ІСТОРІЯ БІОЕНЕРГЕТИКИ

**РОЛЬ ЖУРНАЛУ «ЦУКРОВІ БУРЯКИ» В ПОПУЛЯРИЗАЦІЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ «ЕНЕРГЕТИЧНИХ» КУЛЬТУР І ТЕХНОЛОГІЙ ЇХ ПЕРЕРОБЛАННЯ НА БІОПАЛИВО (1997 – 2018 РР.)**  
Ягольник О.О., Ягольник О.Г.

31

The role of the «Sugar Beet» magazine in popularization of agricultural energy crops and technologies of their processing for biofuel (1997–2018)  
Yaholnyk O.O., Yaholnyk O.H.

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

E-MAIL: [sugarbeet@ukr.net](mailto:sugarbeet@ukr.net), [Beta-vulgaris@ukr.net](mailto:Beta-vulgaris@ukr.net), © 2020 «БІОЕНЕРГЕТИКА/БІОENERGY»

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.-друк.аркушів 4. 36 стор. Тираж 200. Дизайн, верстка: Ягольник К. О.  
Рекомендовано до друку Вченою радою ІБКІЦБ НААН України, (протокол від 12 жовтня 2021 року).  
Видавництво та друк: ТОВ «Наш формат», м. Київ, 02105, проспект Миру 7/45. Пацюк А.О.



Всеукраїнський  
науково-виробничий журнал  
«БІОЕНЕРГЕТИКА/BIOENERGY»

№2 (18), 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).

# ПРО ПРОЕКТ «ЗЕЛЕНА КРАЇНА»

(Звернення науковців Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН до Президента України та профільних міністерств щодо залісення території України)

Президенту України  
**ЗЕЛЕНЬКОМУ Володимирі Олександровичу**  
Міністру аграрної політики та продовольства України  
**ЛЕЩЕНКУ Роману Миколайовичу**  
Міністру енергетики України  
**ГАЛУЩЕНКУ Герману Валерійовичу**

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків Національної академії аграрних наук України (ІБКІЦБ НААН) підтримує ініціативу щодо залісення території України. Реалізація екологічної ініціативи «Масштабне залісення України», відповідно до указу Президента України № 228/2021, сприятиме збільшенню поглинання та утримання вуглецю лісами, що передбачено Дорожньою картою кліматичних цілей України до 2030 року для імплементації Європейського Зеленого Курсу (European Green Deal). Ініційований проект «Зелена країна», спрямований на збереження та відтворення лісового фонду України, є логічним продовженням Указу Президента України № 722/2019 «Про цілі сталого розвитку України на період до 2030 року», в якому передбачено раціональне лісокористування, боротьбу з опустелюванням та деградацією земель.

Середня залісеність території України становить 15,7%, що є одним з найнижчих показників у Європі. Для досягнення оптимального рівня залісення в Україні необхідно висадити понад 2,2 млн. га лісів, що дозволить підняти середню залісеність до 19,5%.

Водночас, Україна не забезпечена в достатній кількості власними викопними джерелами енергії та змушена імпортувати енергоресурси на понад \$7,5 млрд. щорічно. Незважаючи на це, в Україні недостатньо уваги приділяється розвитку відновлювальних джерел енергії (ВДЕ), частка яких станом на 2019 рік склала лише 4,9%. Це значно менше порівняно з іншими країнами Європи. Тому створення плантацій біоенергетичних культур, сировина яких використовується для виробництва біопалива, дозволить зменшити залежність України від імпортованих енергоносіїв.

ІБКІЦБ НААН — державна науково-дослідна установа, яка у 2022 році відзначатиме свій 100-річний ювілей. Впродовж останніх 15 років наш Інститут проводить дослідження, спрямовані на створення сировинної бази для розвитку біоенергетики як складової частини ВДЕ.

ІБКІЦБ НААН є головною установою з виконання програми наукових досліджень НААН «Біоенергетичні ресурси», метою якої є створення нових високопродуктивних сортів та гібридів рослин біоенергетичного спрямування та розроблення ресурсоощадних технологій їх сталого плантаційного вирощування.

З огляду на це, ІБКІЦБ НААН пропонує частину лісових масивів, які плануються створити згідно проекту «Зелена країна», сформувати зі швидкорослих, високопродуктивних дерев, таких як енергетичні верба, тополя, акація, павловія тощо. Плантації енергетичних дерев будуть створюватись на малопродуктивних та деградованих землях, що сприятиме відновленню їх родючості. Такі насадження реалізуватимуться за технологіями плантаційного вирощування, що дозволить в короткий час сформувати значні площі деревних культур.

Важливу складовою частиною лісистості території є поєднання лісових смуг (ПЗЛС), але їхня кількість на даний час є недостатньою, а санітарний стан — незадовільний. В ІБКІЦБ НААН розроблено технологію відновлення ПЗЛС шляхом висаджування швидкорослих деревних порід і розроблені такі схеми їх вирощування, які б забезпечили отримання максимальної кількості енергетичної біомаси за умови виконання ними в повному обсязі екологічних функцій.

Плантації швидкорослих деревних культур здійснюватимуть поглинання й утримання вуглецю, а вирощена біомаса буде використовуватись для виробництва різних видів біопалив, що сприятиме розвитку ВДЕ. Таким чином досягається чотири цілі: 1 — створення плантацій деревних рослин, які виконують функції лісів; 2 — відновлення родючості малопродуктивних та деградованих земель; 3 — поновлення поєднання лісових смуг; 4 — формування сировинної бази для розвитку відновлювальних джерел енергії. Крім того, такий підхід дозволить залучити інвесторів до реалізації екологічної ініціативи «Масштабне залісення України».

Підтримуючи ініціативу щодо масштабного залісення території нашої держави, ми готові надати детальну інформацію стосовно наших пропозицій для вирішення цієї важливої проблеми. Водночас, просимо використати наш багаторічний досвід і науковий потенціал для реалізації проекту «Зелена країна».

**Директор ІБКІЦБ НААН України**  
**РОІК Микола Володимирович.**

**Від редакції.** Як відомо, в Україні з метою створення умов для підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів, покращення рівня життя населення внаслідок скорочення витрат на оплату енергетичних ресурсів та підвищення енергетичної незалежності держави, останнім часом ухвалено низку важливих документів, що мають позитивно вплинути на ситуацію в біоенергетичній галузі. Серед них є й ухвалений рік тому епохальний — як тоді здавалося — закон № 810-ІХ «Про внесення змін до деяких Законів України щодо удосконалення умов підтримки виробництва електроенергії з альтернативних джерел енергії». Але за рік, що минув після прийняття «зеленого» закону, в цій сфері мало що змінилось — швидше навпаки. Ухвалені програми й обіцянки, надані інвесторам та юридично закріплені в законі, не лише не виконуються, а навіть створюють додаткові бар'єри на шляху розвитку галузі.

Найболючіше питання — оплата за електроенергію з ВДЕ. Тобто, боргова криза в «зеленій» енергетиці України й досі залишається невирішеною, гальмується запуск «зелених» аукціонів, майже зупинилося надходження нових інвестицій в українську біоенергетику. Але замість того, щоб покращити становище суб'єктів господарювання в секторі ВДЕ, як це зазначено в законі 810-ІХ, уряд, нехтуючи своїми зобов'язаннями перед національними та міжнародними інвесторами в ВДЕ і фінансовими інституціями, ініціює введення ак-

ційного (додаткового) податку.

Проект «Зелена країна», ухвалений указом Президента України № 228/2021 (його мета — за 10 років збільшити площі лісів на один мільйон гектарів і висадити задля цього в найближчі три роки в Україні один мільярд дерев), може дещо поліпшити ситуацію в секторі ВДЕ України.

В контексті реакції суспільства на порушені в проекті проблеми, на наш погляд, особливо цінним є оприлюднене 5 липня 2021 року Звернення науковців Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН до Президента України та профільних міністерств. Як впливає з його змісту, продиктований цей документ не прагненням озвучити чергову декларацію «на злону дня», а переконанням людей, які його схвалили й підписали, що одним із шляхів послаблення кризи, навіть символом успіху на ринку «зеленої» енергії, можуть і повинні стати саме конкретні справи. Тобто, колектив однієї з найстаріших наукових установ України не просто продемонстрував підтримку та готовність «підставити плече» для втілення в життя амбітного проекту «Масштабне залісення України», а й запропонував своєрідну дорожню карту її реалізації згідно зі світовою практикою та механізми формування енергетичних плантацій із швидкорослих, високопродуктивних деревних рослин, таких як енергетичні верба, тополя, акація, павловія тощо на малопродуктивних та деградованих землях, щоб залучити інвесторів і в стислі терміни сформувати необ-

хідні площі деревних культур, які сприятимуть вирішенню одразу декількох проблем — отриманню додаткових ресурсів біомаси рослин для виробництва біопалива, поліпшенню екології та відновленню родючості ґрунтів. Тим більше, що науковці ІБКІЦБ спільно з міжнародними партнерами справді накопичили чималий досвід у справі розвитку відновлюваних джерел енергії, формування таких насаджень та модернізації комунальної інфраструктури й промисловості.

Більше того, автори Звернення прямо заявляють, що (цитуюмо): «ми готові надати детальну інформацію стосовно наших пропозицій для вирішення цієї важливої проблеми. Водночас, просимо використати наш багаторічний досвід і науковий потенціал для реалізації проекту «Зелена країна»».

Поза всякими сумнівами: ініціатива не тільки актуальна, а й конструктивна.

На жаль, пропозиція поки що не набула належного громадського резонансу.

Мало що відомо й про те, як відреагували на Звернення вчених чиновники у вищих ешелонах влади.

Зважаючи на важливість порушених питань, вміщуємо Звернення на шпальтах журналу, щоб ознайомити з його текстом і наших читачів.

Джерело: E-mail: sugarbeet@ukr.net, www.sugarbeet.com.ua; https://www.rbc.ua/ukr/news/. Режим доступу — 22 липня 2021; https://bio.gov.ua/uk/bioenergy/news/.

УДК 633.63..631.581.3

# ПЕРСПЕКТИВИ Й МЕТОДИ ПОЛІПЛОЇДНОЇ СЕЛЕКЦІЇ НОВИХ ВИСОКОПРОДУКТИВНИХ КЛОНІВ МІСКАНТУСІВ У ПРИРОДНО-КЛІМАТИЧНИХ УМОВАХ УКРАЇНИ

РОЇК М.В.,

академік НААН, д. с.-г. наук, ІБКіЦБ;

КОВАЛЬЧУК Н.С.,

зав. лаб. цитогенетики, с.н.с., ІБКіЦБ;

ЗІНЧЕНКО О.А.,

учений секретар адміністративного управління ІБКіЦБ к.с.-г. наук;

ГУМЕНТИК М.Я.,

зав. лаб. технології вирощування біоенергетичних культур ІБКіЦБ, к.с.-г. наук;

ГОНЧАРУК Г.С.,

зав. лаб. технології вирощування біоенергетичних культур Ялтушківської ДСС, к.с.-г. наук.

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

Тел. (044) 275-50-00, факс (044) 275-50-00. E-mail: sugarbeet@ukr.net, www.sugarbeet.com.ua.

## Постановка проблеми

Через високу врожайність і відсутність несприятливих факторів для екології, енергетичні злакові трави, такі як представники роду *Miscanthus*, є важливою енергетичною культурою для виробництва. Польові експерименти країн Європи демонструють, що міскантус може дати більший вихід енергії з одиниці площі в порівнянні з іншими енергетичними культурами, такими як однорічні сільськогосподарські культури й деревні породи та різні види багаторічних трав [1,2,3,4]. За класифікаційними характеристиками види міскантусів відносять до родини Poaceae роду *Miscanthus* Anderss [5]. Під нараховує близько 12 видів, серед яких найбільш цінними для виробництва біомаси є *M. sacchariflorus*, *M. sinensis*, *M. x giganteus*, і *M. floridulus* [6]. У Європі культивування *Miscanthus* — це вирощування, головним чином, *M. x giganteus* тропічного та субтропічного походження [6, 7]. *M. x giganteus* ( $2n=3x=57$ ) — міжвидовий гібрид, отриманий від природної гібридизації диплоїдного виду *M. sinensis* ( $2n=2x=38$ ) і тетраплоїда *M. sacchariflorus* ( $2n=3x=76$ ). Висока продуктивність біомаси отриманого триплоїда, за результатом аналізу літературних джерел, визначається насамперед ефектом гетерозису й об'єднанням трьох геномів, який виникає в гібридних комбінаціях [8]. Як наслідок, стерильний *M. x giganteus* відтворюється тільки вегетативним спо-

собом — ризомами, проростками кореневищ або в культурі *in vitro* [9, 10]. Особливість розмноження обмежує ризик його виходу з екосистеми та призводить до вкрай обмеженої генетичної різноманітності [11].

На даний час основними пріоритетними галузями є пошук дешевої біосировини, пошук нових вихідних матеріалів та нової зародкової плазми міскантусу, які б забезпечували, як високий приріст біомаси, так і високу її біоенергетичну цінність.

Селекція міскантусу ведеться, як в Західній Європі, так і в Америці. Згідно літературних даних, найінтенсивніша селекція гібридів міскантусу проводиться в трьох країнах — Швеції, Данії та Німеччині [12]. Використовуючи генотипи *Miscanthus sinensis* та *Miscanthus sacchariflorus* в селекційних центрах у вищезгаданих країнах були створені 15 гібридів міскантусу, що випробовувалися в різних кліматичних зонах Європи [13]. Визнано, що *Miscanthus sinensis* є найбільш зимостійким, ніж *Miscanthus giganteus* та *Miscanthus sacchariflorus* і більш підходить для Північної Європи. Найбільш продуктивними виявилися триплоїди — гібриди *Miscanthus sinensis* (4x) та *Miscanthus sacchariflorus* (2x) [14]. Для України такі дані відсутні. Селекціонери Medel Biotechnology та Tinplant Biotechnik створили два гібридних сорти міскантусу "Amur1" і "Nagara" з селекційної програми Tinplant в 2006 році. Ці нові сорти є результатом схрещування гібридів між *Miscanthus sacchariflorus* і *Miscanthus sinensis* та виявляють більшу ступінь зимостійкості, ніж *Miscanthus giganteus*.

Авто- і алополіплоїди відігравали певну роль у еволюції міскантусів і поліплоїдія, на думку дослідників біоенергетичних культур, швидше за все має центральне значення для розвитку селекції. Крім того вважають, що варіації терміну цвітіння, включаючи квітки короткого дня, дозволять селекціонерам оптимізувати місцеву адаптацію та вихід біомаси міскантусу, як це було зроблено для кукурудзи, сорго й арахісу [15]. Давно визнано, що поліплоїдизація амфідиплоїдів може привести до нових ізольованих видів за одну генерацію.

## Аналіз останніх досліджень і публікацій

За результатами проведених молекулярно-генетичних досліджень амери-

канських, корейських, китайських і європейських вчених, видоутворення міскантусу — складний і динамічний процес [16] Lindsay V. Clark et al (2015) показали рівень інтрогресії від тетраплоїдного *Miscanthus sinensis* (2x) до диплоїдного *M. sacchariflorus* (по всій Японії, так як більшість тетраплоїдів мали деяку кількість ДНК *M. sinensis*). Виявлені та ідентифіковані з використанням ДНК-технологій рідкісні диплоїдні форми з півночі Японії походження *M. sacchariflorus*. Більш того встановлено, що інтрогресія генів між диплоїдними та тетраплоїдними популяціями від диплоїдів до тетраплоїдів відбувається через нередуковані гамети або хромосомні перебудови (мости) і може мати великі еволюційні наслідки (Wang et al., 2014) [17]. Встановлено, що на материковій Азії в основному поширений диплоїдний *M. sacchariflorus* і він природно схрещується з *M. sinensis*, утворюючи диплоїдні гібриди, які раніше були названі *M. purpurascens* (Glowaska et al., 2014), але генетична структура залежала від природної ізоляції та ареалу поширення [18]. На відміну від інтрогресії між диплоїдними видами в північному Китаї, природний добір за результатами цитогенетичних та молекулярно-генетичних досліджень Lindsay V. Clark et al (2015) в умовах помірного морського клімату сприяв у південній Японії рекомбінації й, скоріше всього, геномним мутаціям, як результат складних тривалентних хромосомних асоціацій, спонукаючи до утворення біотипів з тетраплоїдним рівнем плоїдності геному та інтрогресією частини геному міскантусу китайського [16].

Серед вихідних матеріалів для дослідження в біоенергетичному процесі України — поліплоїдні ряди міскантусу, серед них *Miscanthus giganteus* (3x), *Miscanthus sinensis* (2x), *Miscanthus sacchariflorus* (2x). Сьогодні в Україні інтродуковані різні види міскантусу та інші енергетичні культури лише іноземного походження. На особливу увагу заслуговує клональне мікророзмноження міскантусу в умовах культури *in vitro* клонами та *in vivo* ризомами.

*Miscanthus x giganteus* ( $3n=57$ ) є високопродуктивним триплоїдним гібридом, який був виявлений в Японії в 1935 р. і завезений в Європу датським колекціонером рослин [12]. На даний час він поширений в багатьох країнах світу й має

значний потенціал в якості джерела енергії. За літературними джерелами, в світовій біоенергетиці вирощується два або три ідентичні клони, але, на думку дослідників, існує величезна ймовірність того, що широкомасштабне вирощування міскантусу на біомасу в Європі базується на використанні лише одного клону [6]. Аналогічна ситуація спостерігається в Північній Америці, де культивовані генотипи *M. x giganteus* були отримані за допомогою вегетативного розмноження від одного клону європейського походження [11]. Використовуючи ДНК-технології, Greef і ін. (1997) за методом AFLP, відібрали 31 зразок *M. x giganteus*, 11 клонів *M. sinensis* і 2 клони *M. sacchariflorus*, доцільних для вирощування в ботанічних садах і розсадниках Центральної Європи [8]. Незважаючи на відмінні ознаки, описані ботаніками та систематиками, генотиповий пул *M. x giganteus* не відзначається різноманітністю, і тільки три зразки з використанням ДНК-технологій вдалося ідентифікувати за молекулярно-генетичними маркерами [6]. Враховуючи ризики ідентичності єдиного клона цього гібриду в плані адаптаційного потенціалу та стійкості до епіфітотій, іноземні вчені активно проводять пошук нових клонів цього гібрида, який утворився від природного схрещування видів *Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) ( $4x=76$ ) і *Miscanthus sinensis* Anderss ( $2x=38$ ) із залученням адаптованих до природних умов нових селекційних матеріалів [19].

За допомогою цитологічних методів Honda також ідентифікував два природних триплоїда *Miscanthus* в районі міст Akashi і Sasayama (Японія), проте слід зазначити, що натепер не має інформації про нові популяції природних триплоїдів в Японії та в інших частинах Східної Азії. Методом хромосомного аналізу декілька рослин *M. sacchariflorus* зібрані від Північної до Південної Японії, і Hirayoshi звітував, що всі зразки *M. sacchariflorus* ( $2x=76$ ) були тетраплоїдами, які відрізнялись за рівнем плоїдності від *M. sacchariflorus* в Китаї [19]. За результатом цитологічного аналізу польських дослідників якраз *M. sacchariflorus* ( $2x$ ) поширений в Європі в ботанічних садах, але у нього є різні варіанти плоїдності, аж до гексаплоїдного [6]. Аналіз методом проточної цитофотометрії, проведений в тих же умовах, показав, що  $2C$  і  $4C$  піки еко-типів на гістограмах *M. sacchariflorus* і 11 різновидів *M. sinensis* були розташовані на тому ж каналі АП «Partec», що й диплоїдний стандарт [6].

В Європі й Азії проводяться селекційні дослідження для створення нових сортів міскантусу, так як усі потенційні

можливості цієї культури ще не вивчені. Стрімко зростає кількість зареєстрованих сортів з кожним роком, що свідчить про інтенсивність ведення селекційного процесу. Найбільш інтенсивні селекційні роботи проводять з отримання нових гібридів міскантусу в Данії, Німеччині та США. Серед основних не вирішених завдань в селекції міскантусу:

- вдосконалення систем розмноження з насіння;
- створення нових поліплоїдних вихідних матеріалів, які б забезпечили необхідні потреби селекційного процесу.

Адаптація до умов України на даний час диплоїдних видів міскантусу (*Miscanthus sinensis*, *Miscanthus sacchariflorus*) можуть при подвоєнні хромосом поповнити поліплоїдні ряди, забезпечуючи в процесі гібридизації отримання нових триплоїдних клонів.

Метою дослідження є переведення на поліплоїдний рівень *Miscanthus sinensis* ( $2x=38$ ) *Miscanthus sacchariflorus*, в умовах *in vitro* та створення поліплоїдних рядів міскантусу на основі диплоїдних інтродукованих видів, колекційних зразків Ялтушківської ДСС європейського походження.

Поліплоїдизація, розмноження та вкорінення отриманих методом експериментальної поліплоїдії нових тетраплоїдних форм *Miscanthus sinensis* і *Miscanthus sacchariflorus* проведено в лабораторії цитогенетики Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, стабілізація за рівнем плоїдності геному після індукції колхіцином та вдосконалення технологій вкорінення в ґрунті — у лабораторії вирощування біоенергетичних культур Ялтушківської ДСС (Україна).

#### Матеріали і методи досліджень

Серед вихідних матеріалів для поліплоїдизації, розмножені мікроклонально *in vitro*, ідентифіковані за рівнем плоїдності види іноземного походження, з використанням цитологічних і цитометричних методик:

— *Miscanthus sinensis* ecotype 1 «Poland»  $2x=38$ ;

— *Miscanthus sacchariflorus* ecotype 1 «Poland»  $2x=38$ ;

— *Miscanthus sinensis* new «Germany» ecotype 2 фірма «Jelitto»  $2x=38$ ;

— *Miscanthus giganteus* (три клони походження ecotype 1 «Poland», ecotype 2 «Austria», ecotype 3 «Great Britain»)  $3x=57$ ;

3 опису різних видів міскантусу ЯДСС ІБКІЦБ і біоенергетичних культур ІБКІЦБ:

*Miscanthus sacchariflorus* ecotype 1 «Poland» — міскантус цукровітковий є тетраплоїдним видом і компонентом схрещування для алотриплоїдного кло-

на *Miscanthus giganteus*. За ботанічними ознаками та характеристиками *M. sacchariflorus* має повзуче широке й товсте кореневище, поверхня листа густо опушена, міжвузля видно на стадії цвітіння волоті, має дрібне коричневе насіння, квітконіжка виростає на головному суцвітті з деяким розгалуженням, що співпадає з основними ботанічними ознаками та характеристиками Ka Yeon Lee (2012), Sacks (2013), Maksimović (2014) [6, 15, 20]. На думку корейських і американських дослідників міскантусів, для селекції продуктивних гібридів якраз *M. sacchariflorus* ( $2x=38$ ) може привести до отримання високої схожості насіння триплоїдних гібридів [6, 15, 20].

*Miscanthus sinensis* ecotype 1 «Poland» і ecotype 2 «Germany» фірма «Jelitto» — міскантус китайський на дослідному полі ІБКІЦБ упродовж першого року вегетації сформували стебла висотою 1,5–1,7 м. Мають ризоми довжиною 5–10 см. За гістограмами ДНК інтерфазних ядер у 2016 р. визначено диплоїдний рівень геному даного виду в порівнянні зі стандартним генотипом сорго зернове (вид *Sorghum bicolor*  $2x=20$ ). Волоть *M. sinensis* забарвлена в пурпуровий колір, кожна квітка виростає на головному суцвітті без розгалуження, нижня поверхня листа має білувату помітну середню жилку, міжвузля приховані листками.

*Miscanthus giganteus* ecotype 1 «Poland», ecotype 2 «Austria», ecotype 3 «Great Britain» — міскантус гігантський. Рослини цього виду дуже високі — до 5 м. Це природний триплоїд із кількістю хромосом ( $2x=57$ ). Триплоїдний рівень плоїдності геному всіх досліджувальних рослин міскантусу підтверджений за результатами аналізу на АП «Partec» і за кількістю хромосом апікальних меристем проростків підземних кореневищ (ризом).

#### Методики визначення рівня плоїдності геному видів роду *Miscanthus*

Узгоджена та нормалізована з раніше опублікованими основними систематичними показниками рівня плоїдності геному видів роду *Miscanthus*, методика визначення еталону за масою ядерної ДНК, яка передбачає контроль за кількістю хромосом на цитологічних препаратах та інтенсивність флюорисценції за гістограмами ДНК інтерфазних ядер АП «Partec». [21]

#### Цитологічні методи дослідження плоїдності підземних кореневищ і колекційних зразків насіння

Вихідні матеріали для поліплоїдизації визначали за кількістю хромосом, а також встановлювали еталон маси ДНК для цитометричних досліджень на АП «Partec» у представників роду *Miscanthus*:

із використанням методик розроблених в ІБКіЦБ [21, 22]. Зовнішнім стандартом були використані:

— диплоїдні вітчизняні сорти сорго зернового ( $2x=20$ ) сорт «Дніпровський», рід *Sorghum* — вид *Sorghum bicolor*;

— *Miscanthus sinensis* ecotype 1 «Poland» ( $2x=38$ );

— *Miscanthus giganteus* ecotype 1 «Poland», ecotype 2 «Austria», ecotype 3 «Great Britain».

**Метод флюорисцентної цитофотометрії для визначення плоідності представників роду *Miscanthus* в умовах in vitro та в польових умовах.**

Найбільш повне представлення про плоідність клітин рослинних тканин може дати цитофотометричне вивчення вмісту ДНК в клітинних ядрах. Метод проточної цитофотометрії дозволяє визначити мінливість за рівнем плоідності геному в рослинних тканинах і не залежить від випадковості поділу клітини, як цитологічний. Для достовірності контролю тетраплоїдного та міксоплоїдного рівня геному ми використовували інтродуковані триплоїдні колекційні зразки Ялтушківської ДСС (Україна) *Miscanthus giganteus* ecotype 1 «Poland» ( $2n=3x=57$ ), ecotype 2 «Austria»  $3x$ , ecotype 3 «Great Britain»  $3x$  різного еколого-географічного походження.

Встановлено, що для дослідження плоідності міскантусів можна використовувати вегетативні пагони, ризоми, листя, генеративні пагони, а також листки клонів із культури in vitro [21].

**Опис ДНК гістограм різних видів міскантусу із колекційних зразків Ялтушківської ДСС, як вихідного матеріалу для виділення поліплоїдних.**

Аналізували гістограми представників *Sorghum* ( $2x=20$ ) та диплоїдні колекційні зразки міскантусів *Miscanthus sinensis* ecotype 1 «Poland»  $2x=38$  і три-

плоїди *Miscanthus giganteus* ecotype 1 «Poland», ( $3x=57$ ) ecotype 2 ecotype 3 «Great Britain» ( $3x=57$ ) визначені за кількістю хромосом. Збільшення значення підсилення (FL1) підбираємо таким чином, щоб G1 пік досліджуваних ядер виділених із зовнішнього стандарту, в даному випадку диплоїдного сорго зернового (*Sorghum bicolor*), спостерігавсь на каналі 50 од. (G1) і 100 од. (G2) (рис. 1 а).

Встановлено, що для виду *Miscanthus sinensis* ecotype 2 «Germany» ( $2x=38$ ) відносно маси ДНК інтерфазних ядер зовнішніх стандартів, диплоїдному рівню геному відповідає кількісний клас на каналі 150 од. і клас клітинної субстанції (G2) синтетичного й постсинтетичного періоду клітинного циклу на каналі 300 од. (рис. 1 а, б, в). В якості об'єкту для аналізу були використані генеративні пагони, проростки кореневищ (ризом), відібрані в сформованій симпатричній популяції на основі колекційних зразків Ялтушківської ДСС. *Miscanthus giganteus* ( $3x$ ) ecotype 1 «Poland» і *Miscanthus giganteus* ( $3x$ ) ecotype 2 «Austria». Вони характеризувались розподілом за кількісним вмістом ядерної ДНК на каналах 200 од. (G1) і 400 од. (G2) згідно зовнішнього стандарту сорго зернового *Sorghum bicolor* (рис. 1 в).

**Створення колекції різних видів роду *Miscanthus* в умовах культури in vitro**

Для введення в стерильну культуру та розмноження клонами видів роду *Miscanthus* із метою колхіцинування й створення поліплоїдних рядів в умовах in vitro використана методика ІБКіЦБ (Роїк М. В., 2012 р.). Вводили в стерильну культуру найбільш важливі три види *Miscanthus sacchariflorus* ecotype 1 «Poland», *Miscanthus sinensis* ecotype 1 «Poland», *Miscanthus sinensis*

ecotype 2 «Germany», *Miscanthus giganteus* ecotype 1 «Poland» і ecotype 2 «Austria».

Для клонального мікророзмноження в якості первинних експлантів використані проростки насіння й паростки кореневищ (ризом) та рідкі селективні середовища з модифікацією складу макро- і мікросолей Мурасіре-Скуга з додаванням сахарози 30000 мг/л, БАП 0,2–0,5 мг/л, кінетину 0,2–0,5 мг/л, гібереліну 0,1 мг/л.

Диплоїдні й триплоїдні клони після 3–4 пасажів перенесли на селективне середовище з колхіцином для поліплоїдизації.

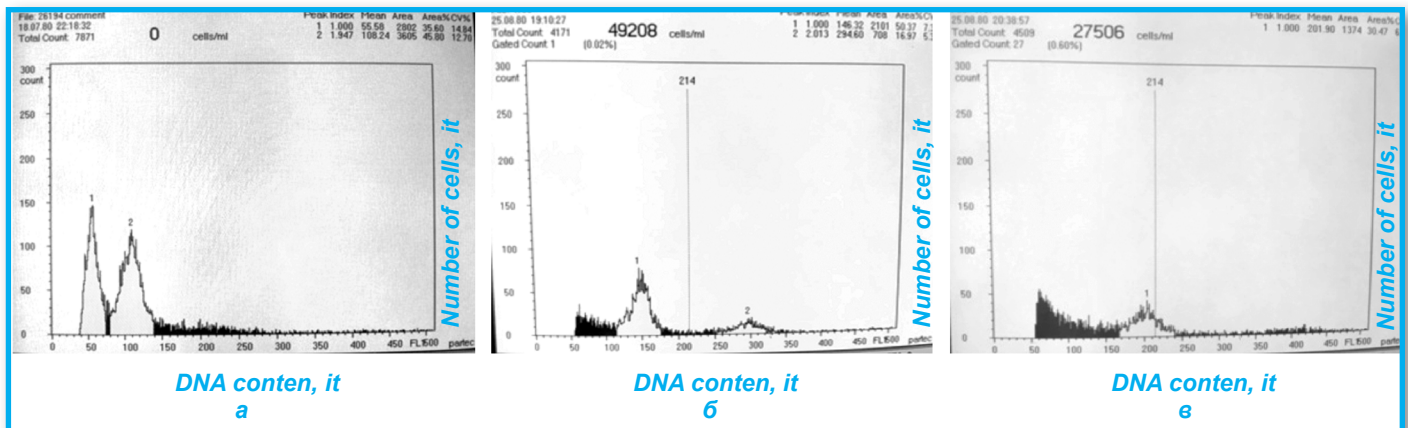
**Індукція нових тетраплоїдних форм представників роду *Miscanthus* in vitro**

**Поліплоїдизація різних видів роду *Miscanthus* в умовах рідких живильних середовищ з колхіцином**

Для поліплоїдизації в умовах in vitro мікропагонів експериментального матеріалу застосовано рідкі селективні середовища з колхіцином, відсоткова частка якого складає 0,05%. Досліджуваний термін експозиції від двох годин до трьох діб на середовищі з колхіцином. Через 14 діб паростки перенесли на середовище для регенерації клонів і стимулювання ростових процесів.

Експериментальний матеріал після дії колхіцину розмножували впродовж 3 пасажів на агаризованих середовищах із додаванням гормонів, біологічно активних речовин, сахарози для відновлення ростових процесів і відбирали за плоідністю з використанням АП «Partec». Тиражування виділених тетраплоїдних пагонів провели на живильних середовищах із додаванням 0,5 мг/л БАП, 0,1 мг/л гібереліну та 0,15 мг/л кінетину.

**Методика вкорінення й акліматизації, переведення в умови відкрито-**



**Рис. 1** Визначення плоідності представників роду *Miscanthus*: а) *Sorghum bicolor* ( $2x=20$ ) сорт «Дніпровський» як еталон визначення плоідності міскантусів за гістограмами ДНК інтерфазних ядер АП «Partec», б) гістограма ядерної ДНК *Miscanthus sinensis* ecotype 1 «Poland» з інтенсивністю флюорисценції тах ДНК на каналах 150 од. і 300 од.; в) гістограми ядерної ДНК *Miscanthus giganteus* ecotype 2 «Austria» з тах ДНК на каналах 200 од. і 400 од.

**го ґрунту селекційно-тепличного комплексу**

Пагони регенеровані й мікроклонально розмножені після дії колхіцину відбирали за морфологічним розвитком листків і переносили на середовище для вкорінення з додаванням фітогормонів НОК 1 мг/л, ІОК 0,2 мг/л, сахарози 20000 мг/л, агару 7,5 г/л і активованого вугілля 0,3 мг/л. Рослини вирощували в культуральній кімнаті при температурі 27 °С в фотоперіоді 16/8 год із холодним білим люмінесцентним освітленням. Коріння утворювалося впродовж 10–14 днів, в цей час рослини акліматизували протягом 7 днів в тепличних умовах ЯДСС для пересадки. Пересажували в ґрунтову суміш зі складом: на 100 кг ґрунту аміачної селітри (34%) — 40–50г, суперфосфату (19%) — 100–110 г, калійної солі (40%) — 30–40 г із приживлюваністю 99% за умов вологості 60–70% і температури повітря від 25 до 35 °С.

**Морфологічні спостереження.**

Після 14 діб акліматизації й вкорі-

нення в теплиці в умовах закритого ґрунту тетраплоїдні та диплоїдні пагони були пересаджені у вегетаційні сосуди й польові умови.

В ґрунтовій секції теплиці впродовж вегетаційного періоду температурні показники змінювались впродовж 2017–2019 років:

квітень-травень — від +16 °С до +20 °С;

червень — від +18 °С до +25 °С;

липень-серпень — від +30 °С до +55 °С;

вересень — від +25 °С до +30 °С;

жовтень — від +18 °С до +22 °С.

Рослини вирощували в квітні-жовтні та вимірювали висоту, кількість пагонів, ширину листової пластинки, особливості закладки генеративних пагонів, терміни цвітіння, розміри, фертильність і стерильність пилкових зерен. Для дослідження ефективності поліплоїдизації був використаний коефіцієнт подвоєння, що раніше визначався в процесі індукції тетраплоїдних форм міжвидових

гібридів *Allium fistulosum*, *Zyzipus jujuba*, *Paulownia tomentosa* [23].

**Методика визначення фертильності та стерильності пилкових зерен *M. sinensis* (2x, 4x) і *M. sacchariflorus* (2x, 4x).**

Розвиток чоловічого гаметофіта, фертильність пилкових зерен і здатність до запліднення вивчали з використанням модифікованих нами класичних методик оцетокармінового забарвлення, а також із залученням барвника метиленового синього (1980). Розчин метиленового синього готували в дистильованій воді з відсотковою часткою барвника 0,09%, 4%-оцетокармін готували у 45% оцтової кислоті та витримували на водяній бані впродовж 1 години за методикою Паушева (1980 рік) [24].

Препарати готували на предметному склі, відділяли пінцетом пиляки та переносили в розчин, накривали покривним склом і переглядали під мікроскопом за зб. 12x10; 12x20 "Polam" № 225 43 PZO Warshava. Розмір пилкових зерен вивча-

**Таблиця 1.**

**Показники життєздатності та індукції тетраплоїдів *M. sinensis* і *M. sacchariflorus* залежно від терміну експозиції в рідких живильних середовищах Мурасіге і Скуга з колхіцином 0,05%**

Вихідний матеріал, рік експозиції	Кі-сть досліджених клонів, шт	Термін експозиції, (год, доба)	Кількість експериментальних пагонів, (Тс), шт	із них життєздатних (Sc), шт	відсоток життєздатних пагонів** (S%) р±mp	Кі-сть регенованих***, шт	Аналіз плоідності отриманих регенерантів			Ефект поліплоїдизації**** (Db%)
							2x	4x	2x,4x	
<i>M. sinensis</i> ecotype 1 "Poland", 2017 контроль *	125	2 год	30	30	100±0	39	27	-	-	
		6 год	15	15	100±0	25	14	-	-	
		1 доба	30	30	100±0	37	29	-	-	
		2 доби	50	50	100±0	57	19	-	-	
<i>M. sinensis</i> ecotype 1 "Poland", 2017	197	2 год	21	15	71,42±9,85	20	5	7	8	35,0
		6 год	35	22	62,85±8,16	28	15	3	10	10,71
		1 доба	53	10	18,86±5,37	16	12	-	4	-
		2 доби	48	-	-	-	-	-	-	-
Miscanthus sinensis new «Germany» ecotype 2, фірми «Jelitto» 2018	175	2 год	29	19	65,52±8,82	22	4	6	12	27,3
		6 год	37	14	37,84±7,9	13	5	1	7	7,69
		1 доба	34	5	14,71±6,07	10	7	-	3	-
		2 доби	49	-	-	-	-	-	-	-
Miscanthus sacchariflorus ecotype 1 «Poland» №1 (2017)	184	2 год	31	27	87,09±6,02	26	21	-	5	4,76
		6 год	27	19	70,37±8,73	21	9	2	11	14,28
		1 доба	56	29	51,78±6,51	16	-	3	14	21,42
		2 доби	49	7	18,36±5,57	14	7	-	4	-
Miscanthus sacchariflorus ecotype 1 «Poland» №2, 2018	145	2 год	25	22	88,0±6,49	20	17	-	3	8,8
		6 год	23	19	82,17±7,9	17	6	2	10	9,09
		1 доба	35	17	48,57±8,4	22	7	5	13	31,25
		2 доби	23	9	39,13±10,17	16	1	-	10	-
		3 доби	39	1	2,56±5,26	2	2	-	-	-

Примітка:

\* контроль — культивування пагонів *Miscanthus sinensis* без дії колхіцину залежно від терміну експозиції в рідкому живильному середовищі;

\*\* відсоток життєздатності клонів (S%) = [кількість життєздатних пагонів після дії колхіцину (Sc) / кількість оброблених експлантів (Тс) x 100];

\*\*\* кількість пагонів регенованих упродовж двох пасажів

\*\*\*\* Ефект поліплоїдизації (Db%) = [кількість 4x пагонів / кількість регенованих пагонів 2x; 4x] x 100%

Таблиця 2.

Показники ефективності ризогенезу тетраплоїдних клонів *Miscanthus sacchariflorus* та *Miscanthus sinensis* залежно від експозиції на селективному середовищі з додаванням НОК 1 мг/л та ІОК 0,2 мг/л

Вихідний матеріал	Плоїдність	Експериментальні номери	Кількість висаджених пагонів, шт	Із них вкорінені, % $\pm$ mp
M. sinensis ecotype 1 "Poland"	(4x)	2/3-10-5, 2/3-10-3, 2/3-10-1	200	40,7 $\pm$ 3,47
M. sinensis new «Germany» ecotype 2	(4x, 2x)	2/3-10, 2/1	100	31,5 $\pm$ 4,66
M. sacchariflorus ecotype 1 «Poland»	(4x)	3/8-4, 3/8-2, 3/3, 3/4	200	91,5 $\pm$ 1,97
M. sinensis ecotype 1 "Poland"	(2x)	Msin2	50	56,7 $\pm$ 7,01
M. sacchariflorus ecotype 1 "Poland"	(2x)	Msac 4	50	33,4 $\pm$ 6,66

ли з використанням об'єкт-мікрометра й окуляр-мікрометра, ціна поділки об'єкт-мікрометра 0,01 мм=10 мкм, 1 окул/мкм=2,5 об'єкт-мікрометра, що дорівнює 25 мкм.

Досліджували по 10 вегетуючих рослин диплоїдів і тетраплоїдів *M. sinensis* і *M. sacchariflorus*. Аналізували 10 квіток для кожної рослини. Визначали середнє значення кількості пилкових зерен для кожної окремої рослини й відсоткове значення стерильних, фертильних і недорозвинених пилкових зерен у п'яти полях зору з використанням світлового мікроскопу "Polam" № 225 43 PZO Warshava.

#### Аналіз експериментальних даних

Для визначення достовірності різниці за життєздатністю кельтуральних пагонів, стерильністю та фертильністю пилко-

вих зерен між диплоїдними контрольними рослинами й тетраплоїдними формами *M. sacchariflorus* і *M. sinensis*, отриманими в результаті дії мутагенної поліплоїдируючої речовини колхіцину, розраховували похибку репрезентативності:

$$m_p = \pm \sqrt{\frac{P(100-P)}{N}}$$

Визначали  $t_d$  для встановлення  $t_{St}$  (Стьюдента) й достовірності різниці між двома дослідженими варіантами за формулою:

$$t_d = \frac{P_1 - P_2}{\sqrt{m_1^2 + m_2^2}}$$



Рис. 2. Депонування та вкорінення в тетраплоїдних клонів *M. sacchariflorus* (4x=76) та *M. sinensis* (4x=76) *in vitro*: а) вкорінення *Miscanthus sinensis* ecotype 1 "Poland" на агаризованих середовищах з НОК 1 мг/л, ІОК 0,2 мг/л; б) розмноження та вкорінення тетраплоїдної форми *Miscanthus sacchariflorus*.

Значні відмінності спостерігались для контрольних диплоїдних видів міскантусів після індукції нових тетраплоїдних форм за середнім відсотковим значенням стерильних і фертильних пилкових зерен на рівні достовірності 95 ( $P=0,05$ ). Відсоток життєздатності кельтуральних пагонів після індукції колхіцину визначали: життєздатність ( $S\%$ ) = [кількість розвинених пагонів ( $Sc$ )] / [кількість експериментальних пагонів ( $Tc$ ) \* 100%], ефект поліплоїдизації ( $Db\%$ ) = [кількість 4x пагонів ( $Db$ )] / [кількість 2x і 4x пагонів ( $Sp$ )] \* 100% за раніше розробленими методиками [23].

#### Результати і обговорення

Серед розмножених пагонів після дії колхіцину з відсотковою часткою 0,05%, показник життєздатності залежав від терміну експозиції в умовах рідких живильних середовищ. Для диференціації за рівнем плоїдності, виділення диплоїдних, тетраплоїдних і міксоплоїдних кельтуральних пагонів використана й узгоджена із зарубіжними методика флюорисцентної цитофотометрії з комп'ютерним забезпеченням АП "Partec" [21]. Показники життєздатності та ефективності поліплоїдизації для двох досліджуваних диплоїдних видів *M. sacchariflorus* і *M. sinensis* у зрівнянні з *M. sinensis* ecotype 1 "Poland" (2x=38), без внесення колхіцину, представлені в табл. 1.

Серед розмножених пагонів більшу життєздатність після дії колхіцину спостерігали у *M. sacchariflorus* ecotype 1 "Poland", відсоткова частка регенераційно-здатних кельтуральних рослин за терміну експозиції 1 доба становила: у 2017 році — 51,78 $\pm$ 6,51 і у 2018 році — 48,57 $\pm$ 8,4. У *M. sinensis* за терміном експозиції 1 доба життєздатні пагони мали значення, відповідно по роках, 18,86 $\pm$ 5,37 і 14,71 $\pm$ 6,07. Після відбору за плоїдністю впродовж 3 термінів пасажу та ідентифікації експериментального матеріалу за кількісним вмістом ДНК інтерфазних ядер виділені тетраплоїдні й міксоплоїдні форми та розмножені *in vitro* (рис. 2.).

Виділені тетраплоїдні й міксоплоїдні клони за селекційними номерами:

*Miscanthus sacchariflorus* (4x): 3/8-4, 3/8-2, 3/3, 3/4;

*Miscanthus sinensis* (4x): 2/3-10-5, 2/3-10-3, 2/3-10-1;

*Miscanthus sinensis* (4x, 2x): 2/3-10, 2/1.

Найкращі результати для вкорінення були отримані на середовищі з додаванням фітогормонів НОК 1 мг/л, ІОК 0,2 мг/л. Показники ефективності ризогенезу тетраплоїдних і диплоїдних клонів *M. sacchariflorus* та *M. sinensis* наведені в таб. 2.

Всього в 2017 році вкоріне-

но тетраплоїдних клонів *Miscanthus sacchariflorus* — 169 шт, *Miscanthus sinensis* — 51 шт.

На основі міксоплоїдних пагонів стабілізованих за тетраплоїдним рівнем плоїдності геному в умовах рідких живильних середовищ у 2018 році виділені та вкорінені тетраплоїдні рослини *M. sinensis* в кількості 100 шт.

Для проведення гібридизації в ґрунтових умовах СТК Ялтушківської ДСС вкорінені також вихідні диплоїдні форми: *Miscanthus sinensis* (2x) — 17 шт., *Miscanthus sacchariflorus* (2x) — 10 шт.

**Особливості росту й розвитку культуральних пагонів різного рівня плоїдності *M. sinensis* та *M. sacchariflorus* у ґрунтових умовах СТК ЯДСС**

Експериментальний матеріал був переданий у квітні 2017 року на ЯДСС і висаджений в ґрунт в польових умовах і в умовах СТК.

Для формування симпатричних популяцій вкорінені вегетуючі рослини були ізольовані в селекційні бокси. Запропоновані схеми валентних схрещувань:

*M. sinensis* (4x) x *M. sinensis* (2x);

*M. sacchariflorus* (4x) x *M. sinensis* (2x);

*M. sinensis* (4x) x *M. sacchariflorus* (2x).

На ефективність гібридизації впливають температурні показники й якість пилоквих зерен. Раніше встановлений термін формування триплоїдного ембріону від 7 тижнів до 11 тижнів від появи генеративних пагонів (К. Y. Lee, 2012). В умовах СТК ЯДСС активне цвітіння спостерігалось лише в диплоїдних клонів *M. sacchariflorus* та *M. sinensis*. Оскільки для представників роду *Miscanthus* є характерне перехресне запилення (запилення вітром) і самонесумісність, гібридизація може привести за даними дослідників міскантусу до високого відсотку схожості отриманого насіння за умов подолання температурних бар'єрів (Ка Yeon Lee, 2012).

Морфологічні особливості розвитку вегетативної маси нових тетраплоїдних біотехнологічних ліній міскантусів упродовж квітня 2017 року — вересня 2018



**Рис. 3** Ріст і розвиток вегетативної маси тетраплоїдних форм різних видів міскантусів на основі вкоріненних пагонів *in vitro* в умовах СТК: а) *M. sacchariflorus* (4x) 140–195 см; б) *M. sinensis* (4x) 130–160 см.

року зображено на рис. 3 (а, б).

Визначали кількість пагонів, висоту та ширину листків і термін цвітіння в умовах СТК і польових умовах в кінці першого й другого року вегетації.

Диплоїдні рослини *M. sinensis* (2x) досягали висотою 90–100 см, ширина листової пластинки 5–6 мм. Висота рослин тетраплоїдної форми впродовж першого року вегетації становила 100–120 см, кількість пагонів — 6–10 шт, максимальна ширина листової пластинки — 7–10 мм і не відрізнялась від диплоїдів, а впродовж другого року вегетації кількість пагонів у *M. sinensis* (4x) змінювалась від 39 шт до 50 шт, а висота вегетуючих рослин — від 130 см до 160 см.

Диплоїдні рослини *M. sacchariflorus* (2x) досягали висотою 110–130 см, ширина листової пластинки — 12–13 мм, кількість пагонів — від 11 шт. до 15 шт, а для тетраплоїдної форми висота рослин змінювалась від 140 до 195 см, кількість пагонів — 41–75 шт., максимальна ширина листової пластинки — 12–15 мм. Формування генеративних пагонів і волоті на перший рік вегетації спостерігалось лише в диплоїдних форм *M. sinensis* (2x) та *M.*

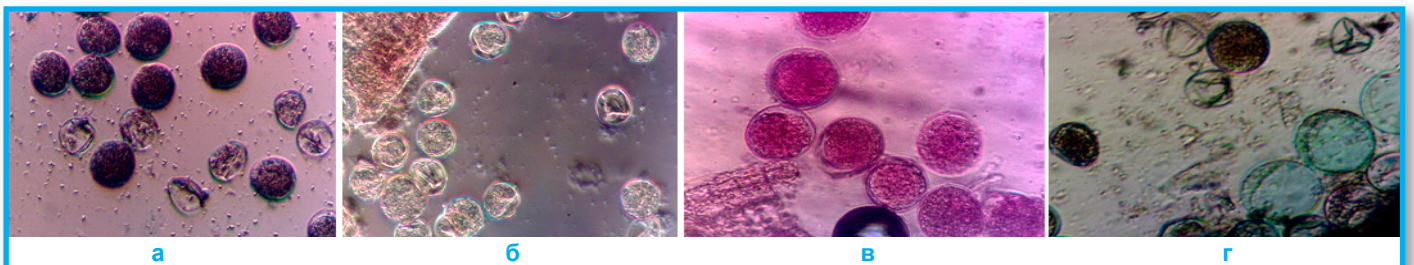
*sacchariflorus* (2x). У польових умовах тетраплоїдні форми міскантусів зацвіли на другий рік вегетації в кількості 50% від загального експериментального поліплоїдного матеріалу. В тепличних умовах зацвіли всі тетраплоїдні форми *M. sinensis* та 30% біотипів 4x *M. sacchariflorus*.

Особливості формування генеративної сфери були досліджені з використанням цитологічних методів, аналізу фертильності й стерильності пилоквих зерен, залежно від таймінгу, температурних показників кінця вересня 25–30 °С — і на початку жовтня 18–22 °С.

Серед основних ботанічних характеристик вкорінені тетраплоїдні культуральні пагонів другого року вегетації ми спостерігали:

*M. sinensis* (4x): компактне й менш розгалужене кореневище, нижня поверхня листа має помітну серединну жилку, густо опушена. Основа листа гладенька, міжвузля приховані листовими пластинками впродовж всієї вегетації, колоски мають квітконіжки на головному суцвітті без розгалуження;

*M. sacchariflorus* (4x): кореневище широкі та повзуче, основа листа гладенька,



**Рис. 4** Зображення фертильних і стерильних пилоквих зерен диплоїдних і тетраплоїдних форм *M. sinensis* та *M. sacchariflorus*: а) фертильні пилокві зерна розміром від 2,5 до 30 мкм у *M. sacchariflorus*; б) стерильні пилокві зерна в *M. sinensis* (2x) № 3; в) фертильні пилокві зерна в тетраплоїда *M. sacchariflorus* (4x); г) стадія вакулізації та високий відсоток дегенованих пилоквих зерен у *M. sinensis* (4x).



Таблиця 3.

Аналіз особливостей розвитку чоловічого гаметофіту тетраплоїдних форм *M. sinensis* (4x) та *M. sacchariflorus* (4x) в період цвітіння від 25 до 30 вересня 2019 року

Походження вихідного матеріалу	Плоїдність	Кількість рослин, шт	Всього пилкових зерен*, шт	із них, %		
				Стерильних $R \pm m$	нерозвинених** $R \pm m$	Фертильних $R \pm m$ ***
<i>M. sinensis</i> ecotype 1 «Poland»	2x	10	2104	8.61±0.61	-*	79.99±0.87
<i>M. sinensis</i> ecotype 1 «Poland»	4x	10	1505	56.5±1.27	20.0±1.03	13.5±0.44
<i>M. sacchariflorus</i> ecotype 1 «Poland»	2x	10	2851	9.54±0.17	-	90.46±0.55
<i>M. sacchariflorus</i> ecotype 1 «Poland»	4x	10	1015	35.8±1.48	30.7±1.45	35.5±1.5

міжвузля видно на стадії цвітіння, колоски мають квітконіжки на головному суцвітті з розгалуженням.

Встановлено, що розмір фертильних пилкових зерен у *M. sinensis* (2x) та *M. sacchariflorus* змінюється від 10 окул/мкм до 12 окул/мкм і варіює від 25 мкм до 30 мкм. У тетраплоїдних форм розмір пилкових зерен змінювався від 15 до 16 ок-мкм або 37,5–40 мкм. Фертильні та стерильні пилкові зерна диплоїдних і тетраплоїдних генеративних пагонів міскантусів зображено на рис. 4 (а, б, в, г).

Високі показники фертильності пилку спостерігали в період від 20 до 25 вересня з температурними показниками 25–30 °C і недорозвинуті були характерні для тетраплоїдних рослин за терміном цвітіння волоті від 10 до 15 жовтня.

Всі тетраплоїдні форми *M. sinensis* і *M. sacchariflorus* за стерильністю й фертильністю пилкових зерен розділились на три типи:

1. З присутністю фертильних пилкових зерен і розміром від 15–16 окул/мкм

або 37,5–40 мкм (рис. 4 в). Високофертильних форм не виявлено. Часто пиляки заповнені пилковими зернами, проте їх розтріскування та висипання не спостерігали.

2. Із дегенерацією тетраплоїдних пилкових зерен на стадії вакулізації й одноядерній стадії в процесі гаметогенезу (рис. 4 г).

3. Із стерильними пиляками та пилковими зернами.

Аналіз показників якості пилкоутворюючої здатності тетраплоїдних форм *M. sinensis* та *M. sacchariflorus* у порівнянні з диплоїдними вихідними формами на другий рік вегетації наведено в таблиці 3.

\* всього пилкових зерен — враховане середнє значення кількості пилкових зерен у 10 вегетуючих рослин (досліджено 10 квіток в 5 полях зору за збільшення мікроскопа 12,5\*20);

\*\* нерозвинені — враховано дегенерація пилкових зерен на стадії одноядерній і стадії вакулізації;

\*\*\*  $R \pm m$  — значення середнього від-

сотку  $R$  для кожної з 10 рослин за фертильними, стерильними та нерозвиненими пилковими зернами.

За результатами цитологічних досліджень, морфологічні особливості пилкових зерен від 20 по 25 вересня у вкорінених диплоїдних пагонів *M. sacchariflorus* і *M. sinensis* не відрізнялись упродовж першого й другого року вегетації, а відсоток фертильного пилку для *M. sacchariflorus* (2x) мав значення 90.46±0.55%, і для *M. sinensis* (2x) — 79.99±0.87%, і був значно вищим у порівнянні з тетраплоїдними формами, відповідно, 35.5±1.5% і 13.5±0.44% (табл. 3).

### Висновки

Розроблені селективні середовища з колхіцином 0,05% і вмістом сахарози 30000 мг/л, БАП 0,2–0,5 мг/л, кінетину 0,2–0,5 мг/л, гібереліну 0,1 мг/л для індукції тетраплоїдних біотехнологічних ліній *Miscanthus sinensis* (2n=4x=76) і *Miscanthus sacchariflorus* (2n=4x=76). Найкращі показники індукції тетраплоїдів для *Miscanthus sinensis* спостерігали за терміном експозиції колхіцину 2 доби з ефективністю поліплоїдизації (Db%) — 31,25% і 21,42%, а для *Miscanthus sacchariflorus* — 2 години і 6 годин із показниками 35,0% і 27,3%. Вкорінені тетраплоїдні лінії відрізнялись від диплоїдів більшою кількістю вегетативних пагонів, які впродовж двох років вегетації, змінювались для *Miscanthus sinensis* (4x) від 39 до 50 шт, з висотою рослин від 130 до 160 см, а для *Miscanthus sacchariflorus* (4x) від 41 до 75 шт, із висотою рослин від 140 см до 195 см та більшою шириною листової пластинки *Miscanthus sinensis* (4x) 7–10 мм, а *Miscanthus sacchariflorus* (4x) — 12–15 мм.

Для формування анізоплоїдних популяцій і гібридизації міскантусів різної плоїдності необхідно враховувати таймінг цвітіння нових тетраплоїдних форм *M. sinensis* та *M. sacchariflorus* упродовж останньої декади вересня другого року вегетації в природно-кліматичних умовах України.

### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Heaton E. A., Clifton-Brown J., Voigt T. B., Jones M. B. & Long S. P. (2004). *Miscanthus* for renewable energy generation: European Union experience and projections for Illinois. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 9, 433–451. DOI: 10.1023/B:MITI.0000038848.94134.be
2. Stampfl P. F., Clifton-Brown J. C., & Jones M. B. (2007). European-wide GIS-based modelling system for quantifying the feedstock from *Miscanthus* and the potential contribution to renewable energy targets. *Global Change Biology Bioenergy*, 13, 2283–2295. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2007.01419.x
3. Hastings A., Clifton-Brown J., Wattenbach M., Mitchell C. P., Stampfl P. & Smith P. (2009). Future energy potential of *Miscanthus* in Europe. *Global Change Biology Bioenergy*, 1, 180–196. DOI: 10.1111/j.1757-1707.2009.01012.x
4. Heaton E. A., Voigt T. & Long S. P. (2004). A quantitative review

comparing the yields of two candidate C4 perennial biomass crops in relation to nitrogen, temperature and water. *Biomass and Bioenergy*, 27, 21–30. DOI: 10.1016/j.biombioe.2003.10.005

5. Hodkinson T. R., Chase M. W., Lledo M. D., Salamin N. & Renvoise S. A. (2002). Phylogenetics of *Miscanthus*, *Saccharum* and related genera (Saccharinae, Andropogoneae, Poaceae) based on DNA sequences from ITS nuclear ribosomal DNA and plastid trnL intron and trnL-F intergenic spacers. *Plant Research*, 115, 381–392. DOI: 10.1007/s10265-002-0049-3

6. Maksimović J., Pivić R., Stanojković-Sebić A., Vučić-Kišgeci M. (2014). Planting density impact on weed infestation and the yield of *Miscanthus* grown on two soil types/Mol Biotechnol., Doi: 10.17221/234/2016-PSE

7. Zub H. W. & Brancourt-Hulmel M. (2010). Agronomic and physiological performances of different species of *Miscanthus*, a major energy crop: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30, 201–214. DOI: 10.1007/978-94-007-0394-0\_21

8. Greef J. M., Deuter M., Jung C. & Schondelmaier J. (1997). Genetic diversity of European *Miscanthus* species revealed by AFLP fingerprinting. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 44, 185–195. <https://doi.org/10.1023/A:1008693214629>

9. Atkinson C. J. (2009). Establishing perennial grass energy crops in the UK: A review of current propagation options for *Miscanthus*. *Biomass and Bioenergy*, 33, 752–759. DOI: 10.1016/j.biombioe.2009.01.005

10. Gubis'ova M., Gubis' J., Z'ofajova A., Miha'lik D. & Kraic J. (2013). Enhanced in vitro propagation of *Miscanthus 9 giganteus*. *Industrial Crops and Products*, 41, 279–282. DOI: 10.1016/j.indcrop.2012.05.004

11. Rayburn A. L., Crawford J., Rayburn C. M. & Juvik J. A. (2009). Genome size of three *Miscanthus* species. *Plant Molecular Biology Reporter*, 27, 184–188. DOI: 10.1007/s11105-008-0070-3

12. Lewandowski I. Combustion quality of biomass: practical relevance and experiments to modify the biomass quality of *Miscanthus x giganteus*/ Lewandowski I, Kicherer A. // *European Journal of Agronomy*.— 1997.— № 6.— P.163–177. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(96\)02044-8](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(96)02044-8)

13. Huisman W. Modeling of the equilibrium moisture content (EMC) of *Miscanthus (Miscanthus x giganteus)* / W. Huisman// *Biomass for energy, environment, agriculture and industry*. Oxford: Elsevier.— 1998.— P. 361–371

14. Chramiec-Głabik A. Cytogenetic analysis of *Miscanthus x giganteus* and its parent forms/ Chramiec-Głabik A., Grabowska-Joachimiak A., Sliwinska E., Legutko J., Kula A. *Caryologia*.— 2012.— 65, 3.— P. 234. DOI: 10.1080/00087114.2012.740192

15. Sacks E. J., Juvik J. A., Lin Q., Stewart J. R. & Yamada T. (2013). The gene pool of *Miscanthus* species and its improvement. In A. H. Paterson (Ed.), *Genomics of the Saccharinae* (Vol. 11, pp. 73–100), *Plant Genetics and Genomics: Crops and Models* New York: Springer. DOI: 10.1007/978-1-4419-5947-8\_4

16. Clark L. V., (2015) Genetic structure of *Miscanthus sinensis* and *Miscanthus sacchariflorus* in Japan indicates a gradient of bidirectional but asymmetric introgression. Clark L. V., Stewart J. R., Nishiwaki A., Toma Y., Kjeldsen J. B., Jørgensen U., Zhao H., Peng J., Yoo Ji H., Heo K., Yu Ch. Y., Yamada T. and Sacks E. J. *Journal of Experimental Botany*. doi:10.1093/jxb/eru511

17. Wang N, Borrell J. S., Bodles W. J. A., Kuttapitiya A., Nichols R. A., Buggs R. J. A. (2014). Molecular footprints of the Holocene retreat of dwarf birch in Britain. *Molecular Ecology* 23, 2771–2282, DOI: 10.1111/mec.12768.

18. Glowacka K, Clark LV, Adhikari S et al. (2014). Genetic variation in *Miscanthus x giganteus* and the importance of estimating genetic distance thresholds for differentiating clones. *GCB Bioenergy* doi: 10.1111/gcbb.12166.

19. Nishiwaki A. Discovery of natural *Miscanthus* (Poaceae) triploid plants in sympatric populations of *Miscanthus sacchariflorus* and *Miscanthus sinensis* in southern Japan./ Mizuguti A., Kawabata S, Yo Toma, Genki Ishigaki, Tomomi Miyashita, Toshihiko Yamada, Hiroya Matuura, Sachi Yamaguchi, A. Lane Rayburn, Ryo Akashi, J. Ryan Stewart. // *American Journal of Botany*.— 2011.-V.98.— P. 154–159. Doi:10.3732/ajb.1000258

20. K. Y. Lee. Botanical and germinating characteristics of *Miscanthus* species native to Korea/ Lee K. Y., Zhang L., Lee G.-J.// *Horticulture, Environment, and Biotechnology*.— 2012.— № 53.— P.49–54. DOI: 10.1007/s13580-012-0137-9

21. Roik M. V. *Miscanthus*: genetic diversity and a method of ploidy variability identification using fluorescent cytophotometry/ Roik M. V., Kovalchuk N. S. / *Agricultural Science and Practice* 2017/11, p. 19–27, ISSN: 2312–3370, DOI: <https://doi.org/10.15407/agrisp4.03.019>

22. Ковальчук Н. С., Роїк М. В., Недяк Т. М. Державний патент — Спосіб визначення структури каріотипу садивного матеріалу видів роду *Miscanthus* при вегетативному розмноженні підземними кореневищами та ризомами. — № u201805791 заявлено 24.05.2018, к/м 130413

23. Tang Zh.-Q., Chen D.-L., Song Zh.-J., He Y.-Ch., Cai D.-T. (2010). In vitro induction and identification of tetraploid plants of *Paulownia tomentosa*. *Plant Cell Tiss Organ Cult* 102:213–220. DOI 10.1007/s11240-010-9724-6

24. Pausheva Z. P. Practical course on plant cytology. Moscow: Kolos. 1980: p. 300.

**АНОТАЦІЯ**

УДК 633.63.631.581.3

**Перспективи й методи поліплоїдної селекції нових високопродуктивних клонів міскантусів у природно-кліматичних умовах України**  
Роїк М. В., академік НААН, д. с.-г. наук, ІБКІЦБ;  
Ковальчук Н. С., зав. лаб. цитогенетики, с. н. с., ІБКІЦБ;  
Зінченко О. А., учений секретар адміністративного управління ІБКІЦБ, к. с.-г. наук;  
Гументик М. Я., зав. лаб. технології вирощування біоенергетичних культур ІБКІЦБ, к. с.-г. наук;  
Гончарук Г. С., зав. лаб. технології вирощування біоенергетичних культур Ялтушківської ДСС, к. с.-г. наук.  
Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, вул.

Клінічна, 25, Київ, 03110, Україна

Тел. (044) 275–50–00, факс (044) 275–50–00. E-mail: sugarbeet@ukr.net; www.sugarbeet.com.ua.

**Мета.** Розширити ознакову колекцію вихідних матеріалів представників роду *Miscanthus* (Anderson) і генетичну базу для нових алотриплоїдних клонів, шляхом переведення на тетраплоїдний рівень компонентів для гібридизації, природних диких видів *Miscanthus sinensis* і *Miscanthus sacchariflorus*. **Методи.** Цитологічні, біотехнологічні, флюоресцентної цитофотометрії, польові, лабораторні. **Результати.** Встановлено ефективність поліплоїдизації для індукції нових тетраплоїдних форм міскантусів у рідких живильних середовищах із колхіцином, відсоткова частка якого складає 0,05%, а для стабілізації міксоплоїдних пагонів 0,005% упродовж 6 годин культивування. Досліджувальний термін експозиції для *Miscanthus sinensis* ( $2n=2x=38$ ) і *Miscanthus sacchariflorus* ( $2n=2x=38$ ) від 2 годин до 3 діб залежно від генетичного походження матеріалу, з переведенням на безгормональне середовище. Найкращі показники індукції тетраплоїдів для *Miscanthus sinensis* спостерігали за терміном експозиції колхіцину 2 доби з ефективною поліплоїдизації (Db%) — 31,25% і 21,42%, а для *Miscanthus sacchariflorus* — 2 години і 6 годин з показниками 35,0% і 27,3%. Вдосконалено технологію переведення вкоріненних культуральних пагонів у ґрунт в умовах СТК Ялтушківської ДСС і встановлено склад ґрунтової суміші, що забезпечувала 99% вкорінення культуральної розсади за умов вологості від 60–70% і температури повітря від 35 °С до 55 °С. **Висновки.** Створені нові тетраплоїдні біотехнологічні лінії *Miscanthus sinensis* ( $2n=4x=76$ ) і *Miscanthus sacchariflorus* ( $2n=4x=76$ ) в умовах рідких живильних середовищ із колхіцином із ваговою часткою 0,05%. Досліджено, що цвітіння нових тетраплоїдних клонів спостерігається в умовах України на другий рік вегетації впродовж останньої декади вересня та початку жовтня з формуванням фертильних пилкових зерен.

**Ключові слова:** *Miscanthus giganteus*, *Miscanthus sinensis*, *Miscanthus sacchariflorus*, аналізатор плідності (АП) «Partec», колхіцин, рівень плідності геному, культура in vivo та in vitro, біоенергетика, гістограми ядерної ДНК.

**ABSTRACT**

UDC633.63.631.581.3

**Prospects and methods of polyploid selection of new high-yielding miscanthus clones in the natural climatic conditions of Ukraine.**

M. V. Roik, Academician of NAAS, Doctor of Agricultural Sciences, IBCSB;

N. S. Kovalchuk, head of the Laboratory of Cytogenetics, IBCSB;  
O. A. Zinchenko, Secretary of the Administrative Department of the IBCSB, Candidate of Agricultural Sciences;

M. Ya. Humentyk, head of the Laboratory of the Cultivation Technologies for Bioenergy Crops, IBCSB, Candidate of Agricultural Sciences;

H. S. Honcharuk, head of the Laboratory of the Cultivation Technologies for Bioenergy Crops, Yaltushkiv EBS of the IBCSB, Candidate of Agricultural Sciences.

Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beets NAAS, 25 Klinichna St. Kyiv 03110, Ukraine

Tel. (+380) 44 275 50 00, (+380) 275 50 00. Email: sugarbeet@ukr.net; www.sugarbeet.com.ua

**Purpose.** Expanding the breeding trait collection of breeding genotypes of the genus *Miscanthus* (Anderson) and the genetic basis for new allotriploid clones by transferring components for hybridization of natural wild species *Miscanthus sinensis* and *Miscanthus sacchariflorus* to the tetraploid level.

**Methods.** Cytological, biotechnological, fluorescent cytophotometry, field, laboratory. **Results.** The efficiency of polyploidisation for induction of new tetraploid forms of *Miscanthus* in liquid nutrient media supplemented with colchicine (0.05% mass) and for stabilization of myxoploid shoots (0.005% mass) for 6 h of cultivation is examined. The period of exposure for *Miscanthus sinensis* ( $2x=2x=38$ ) and *Miscanthus sacchariflorus* ( $2x=2x=38$ ) varied from 2 hours to 3 days depending on the genetic origin of the material, with transfer to a hormonal environment. The best indicators of tetraploid induction for *Miscanthus sinensis* were observed for the exposure period of 2 days with polyploidization efficiency (Db%) of 31.25% and 21.42%, and for *Miscanthus sacchariflorus* 2 and 6 hours with 35.0% and 27.3%, respectively. The technology of transferring rooted shoots into the soil on the Yaltushkiv Experimental Breeding Farm was improved and the composition of the soil mixture that provided 99% rooting of culture seedlings at a humidity of 60–70% and air temperature of 35–55 °C was found. **Conclusions.** New biotechnological tetraploid lines of *Miscanthus sinensis* ( $2xn=4x=76$ ) and *Miscanthus sacchariflorus* ( $2xn=4x=76$ ) were created in the conditions of liquid nutrient media supplemented with colchicine (0.05% mass). It is investigated that flowering of new tetraploid clones in the conditions of Ukraine for the second year of vegetation occurs from late September to early October with formation of fertile pollen grains.

**Keywords:** *Miscanthus giganteus*, *Miscanthus sinensis*, *Miscanthus sacchariflorus*, PARTEC ploidy analyzer (PA), colchicine, genome ploidy level, in vivo and in vitro culture, bioenergy, nuclear DNA histograms.

# ЗАСТОСУВАННЯ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОПЛАСТИКА

РОЇК М.В.,  
СІНЧЕНКО В.М.,  
НУРМУХАММЕДОВ А.К.,  
ГАНЖЕНКО О.М.,  
ГУМЕНТИК М.Я.

Інститут біоенергетичних культур  
і цукрових буряків НААН, вул. Клінічна,  
25, Київ, 03110, Україна  
Тел. (044) 275-50-00, факс (044) 275-  
50-00. E-mail: sugarbeet@ukr.net: www.  
sugarbeet.com.ua.

Пластмаси є дешевим і довговічним матеріалом, що обумовило швидке зростання обсягів виробництва різних видів пластику. За останні 50 років у світі було виготовлено 6,3 млрд. тон пластику, з яких 9% переробили, 12% спалили, а решту 79% були викинуті, в кращому випадку на сміттєзвалища. Дослідження показують, що тіла 90% морських птахів містять пластикове сміття. На відміну від традиційного пластику біопластик виготовляється з відновлювальних джерел сировини, крім того — він швидко розкладається.

На сьогодні, в якості основної сировини для виробництва біопластику з альтернативних ресурсів розглядається целюлоза, яку можна використовувати в промисловості у вигляді регенованої целюлози й похідних целюлози (рис. 1).

Регенерація целюлози — це процес, в результаті якого целюлоза хімічно розчиняється й знову реструктурується у вигляді волокон або плівки. Найбільш відомими представниками цієї групи матеріалів є віскоза, віскозний шовк, а також деякі інші волокна. Для отримання плівок використовуються гідрат целюлози, найвідоміша серед них — целофан [1].

У промислового використанні важливу роль відіграють похідні целюлози. Їх поділяють на дві основні групи — прості ефіри целюлози й складні ефіри (естери) целюлози. Для виробництва біопластику складні ефіри целюлози мають значно більше значення. В основному складні ефіри целюлози отримують у результаті етерифікації целюлози органічними кислотами — ацетат целюлози (целюлоза з оцтовою кислотою), пропіонат целюлози (з пропіоновою кислотою) і бутират целюлози (з масляною кислотою).

Використання лігноцелюлозної біомаси для отримання біополімерів передбачає ферментативну або хімічну попередню обробку для його фракціонування на три основні компоненти — целюлоза, геміцелюлози та лігнін [2, 3]. Лігнін із трьох компонентів найбільш стійкий до деградації, а целюлоза — більш стійка до гідролізу в порівнянні з геміцелюлозами [4]. Різна лігноцелюлозна біомаса містить не

однакову кількість компонентів. Так, у ваті хлопку вміст целюлози досягає близько 95%, в деревних порід — від 40 до 55%, а вміст лігніну сягає більше 20%. У сільськогосподарських відходах целюлози містяться до 40%, лігніну — в середньому до 15% [5]. Біоенергетичні культури займають проміжне положення (табл. 1).

Метою процесу попередньої обробки біомаси є видалення лігніну та

Таблиця 1.

Типи лігноцелюлозних біомас та їх хімічний склад.

Лігноцелюлозна біомаса	Целюлоза (%)	Геміцелюлоза (%)	Лігнін (%)
Тверда деревина			
Дуб	40,4	35,9	24,1
Евкалипт	54,0	18,4	21,5
М'яка деревина			
Тополя	50,8-53,3	26,2-28,7	15,5-16,3
Сосна	42,0-50,1	24,0-27,0	20,0
Біоенергетичні культури			
Міскантус	45,0-52,0	24,0-32,0	9,0-12,0
Світчграсс	35,0-40,0	25,0-30,0	15,0-20,0
Сільськогосподарські відходи			
Пшенична солома	35,0-39,0	23,0-30,0	12,0-16,0
Ячмінна солома	36,0-43,0	24,0-33,0	6,3-9,8
Вівсяна солома	31,0-35,0	20,0-26,0	10,0-15,0
Житня солома	36,2-47,0	19,0-24,5	9,9-24,0
Початки кукурудзи	33,7-41,2	31,9-36,0	6,1-15,9
Стебла кукурудзи	35,0-39,6	16,8-35,0	7,0-18,4
Солома сорго	32,0-35,0	24,0-27,0	15,0-21,0

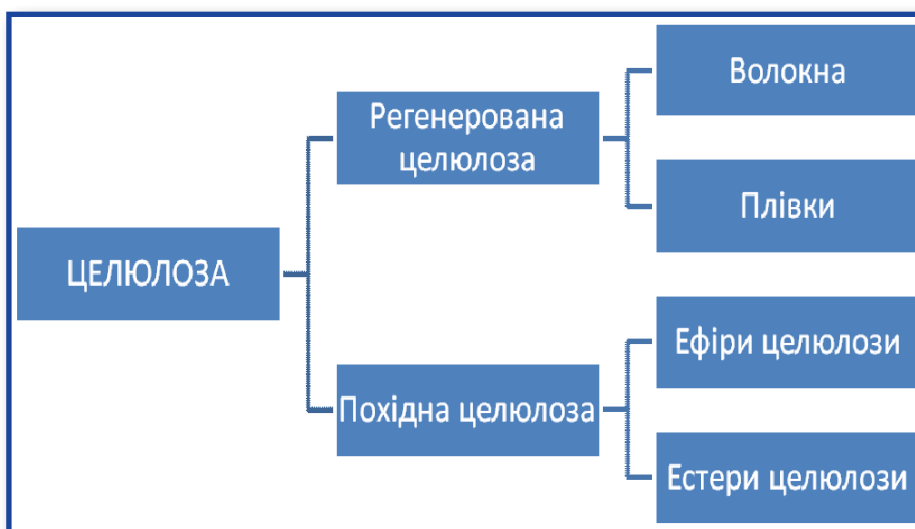


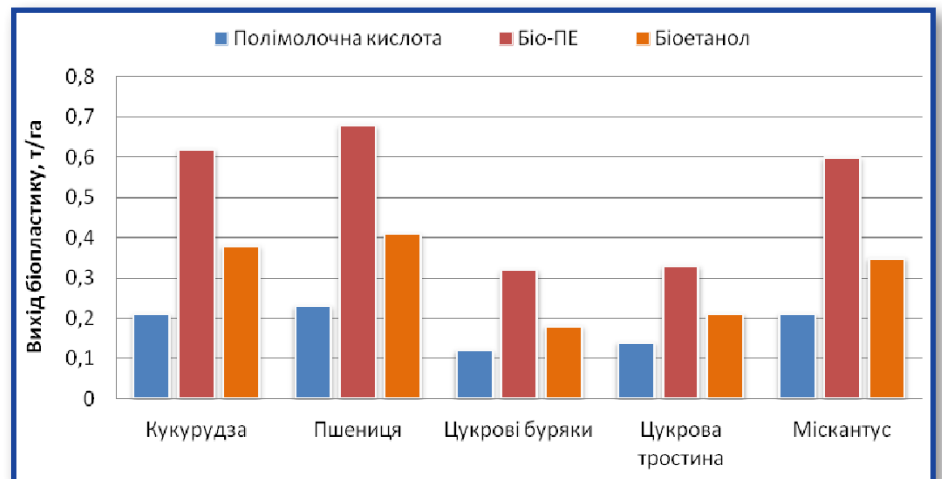
Рис. 1. Полімерні матеріали на основі целюлози [1]

геміцелюлози (тому цей вид попередньої обробки також називають делігніфікація), зниження кристалічності целюлози, а також збільшення пористості лігноцелюлозних матеріалів. Відомі різні типи методів делігніфікації, наприклад фізичні, фізико-хімічні, хімічні, біологічні та електричні або їх поєднання [6]. Але видалення лігніну вимагає значних витрат енергії й призводить до утворення великої кількості стічних вод [7]. З технічної точки зору процес видалення лігніну складний та затратний [8].

В університеті Вагенінгена проаналізували та порівнювали вихід біопластиків із різних сільськогосподарських культур і міскантусу (рис. 2). Встановлено, що біоенергетичні культури можуть бути доброю альтернативою для виробництва біопластику [9].

Біоенергетичні культури міскантус та світчграс, на відміну від сільськогосподарських відходів, можуть виявитися перспективним способом залучення нових джерел високоякісної целюлози для виробництва біопластика. Оскільки для сільськогосподарських відходів вартість кінцевої продукції формується витратами доставки сировини до виробництва. В той же час, міскантус і світчграс характеризуються багаторічною високою врожайністю [10, 11].

На сьогодні наявна значна кількість досліджень міскантусу, який позиціонується як перспективна целюлозовмісна сировина як для виробництва целюлози та біопластика, так і для біотехнологічного отримання розчинних вуглеводів і біопалива [12, 13, 14]. Так, наприклад, ще на початку 80-х років минулого сторіччя українськими вченими була спроба оцінити хімічний склад листа й стебла *Miscanthus sinensis* Andersson, які вже розглядали міскантус як сировину для целюлозно-паперової промисловості [15]. Для отримання целюлози П. Г. Кроткевич з колегами використовували пагони чотирирічних рослин, наданих Київським ботанічним садом АН УРСР. Дослідники розділили *Miscanthus sinensis* на морфологічні частини й, визначивши хімічний склад, виявили різницю в змісті целюлози в стеблі та листі 40,82% і 33,24% відповідно. Виділивши зразки целюлози натронним способом із листа і стебла окремо, автори показали, що характеристики отриманих целюлоз відповідають вимогам для виробництва різних видів паперу.



**Рис. 2** Ефективність використання земель для виробництва полімолочної кислоти, біо-ПЕ та біоетанолу

Дослідження Schäfer та ін. [16] показали, що різні частини рослини міскантусу (листя й стебла) та різні генотипи (*Miscanthus sacchariflorus*, *Miscanthus sinensis* × *Miscanthus sacchariflorus* hybrid, *Miscanthus* × *giganteus*, *Miscanthus sinensis* «Goliath») частково різняться за складом лігноцелюлозних компонентів, що демонструють деяку генетичну мінливість міскантусу. Хоча чіткої генетичної залежності з такими ознаками генотипів, як знижений вміст лігніну, типи зв'язків в полімерах лігніну, що впливають на ефективність оцукрювання біомаси, не виявлено. Наприклад, встановлено, що високий вміст лігніну (визначається як ABSL) в *Miscanthus giganteus* знижує ефективність оцукрювання. Однак лігніни, виділені з цього генотипу, містять значну кількість β-О-4-зв'язків, які можуть бути легко розщеплені під час процесів попередньої обробки для ефективного зниження вмісту лігніну.

Доведено, що вміст целюлози, геміцелюлози та лігніну для різних видів і генотипів міскантуса також залежить від строків збирання. За два періоди збору врожаю виявлено чіткі відмінності в складі клітинної стінки серед видів та генотипів *Miscanthus*. Вміст холоцелюлози (целюлоза + геміцелюлоза) коливається, як правило, від 76,20 до 82,76%, а лігніну — від 9,23 до 12,58%. Збирання Міскантуса в лютому, як правило, призводить до збільшення вмісту целюлози, геміцелюлози та лігніну та нижчого вмісту золи для більшості видів. [17]

Останнім часом біопластики, посилені лігніном, привернули увагу дослідників у всьому світі. Оскільки лігнін за-

ймає друге місце за змістом у біомасі рослин після целюлози й є найпоширенішим природним ароматичним ресурсом [18, 19]. Було підраховано, що в паперовій промисловості є близько 70 мільйонів тонн лігніну щорічно [20, 21]. Однак тільки 2% його переробляється й утилізується у вигляді лігніну, решта використовується як паливо [22].

Багато досліджень проводяться з метою використання лігніну в якості біокомпозиту в складі біопластику через його широкую доступність, високі механічні властивості, здатність до біорозкладання [23, 24, 25]. Лігнін може діяти як пластифікатор, стабілізатор або біосумісний агент, що надає біопластику різні властивості. Однак, через його складну структуру, можливість отримання технічного лігніну в даний час є складним завданням для використання лігніну в біопластику. Вважається, що прості модифікації лігноцелюлозних волокон, які істотно не змінюють хімічний вміст або склад волокон, дуже перспективні для створення більш функціональних груп волокон, схильних до взаємодії з біопластиком.

Отже, біоенергетичні культури міскантус і світчграс, на відміну від сільськогосподарських відходів, можуть виявитися перспективним способом залучення нових джерел високоякісної целюлози для виробництва біопластика. Оскільки для сільськогосподарських відходів вартість кінцевої продукції формується витратами доставки сировини до виробництва. В той же час, міскантус і світчграс характеризуються багаторічною високою врожайністю.

**СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.**

1. Endres, H.-J.; Siebert-Raths, A.: Technische Biopolymere, Carl Hanser Verlag, 2009.
2. Agbor, V.B., Cicek, N., Sparling, R., Berlin, A. and Levin, D.B. (2011) Biomass Pretreatment: Fundamentals toward Application. *Biotechnology Advances*, 29, 675–685. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2011.05.005>.
3. V. Menon and M. Rao, Trends in bioconversion of lignocellulose: Biofuels, platform chemicals & biorefinery concept, *Prog. Energy Combust. Sci.*, 2012, 38, 522–550.
4. Mäki-Arvela, P.; Anugwom, I.; Virtanen, P.; Sjöholm, R.; Mikkola, J. P., Dissolution of lignocellulosic materials and its constituents using ionic liquids — a review, *Industrial Crops and Products* 2010 Vol.32 No.3 pp.175–201.
5. F. Cherubini, The biorefinery concept: Using biomass instead of oil for producing energy and chemicals, *Energy Convers. Manage.*, 2010, 51, 1412–1421.
6. Ягодин В. И. Основы химии и технологии переработки древесной зелени. —Л.: Химия, 1981. — 224 с.
7. Шитов Ф. А. Технология целлюлозно-бумажного производства. — М.: Лесная промышленность, 1987. — 208 с.
8. Fink, H.-P.; Engelmann, G.; Ebert, A.: Lignin als Polymerwerkstoff, FNR-Fachgespräch Stoffliche Nutzung von Lignin, Berlin, March 2009.
9. Martien van den Oever, Molenveld K., Maarten van der Zee, Bos H, Bio-based and biodegradable plastics — Facts and Figures, Wageningen Food & Biobased Research number 1722, 65 p.
10. Вирощування біоенергетичних культур: монографія / за ред. к. с.-г. н. М. Я. Гументика / [М. Я. Гументик, Б. М. Радейко, Я. Д. Фучило, В. М. Сінченко, О. М. Ганженко та ін.]. — К.: ТОВ «ЦП «Компринт», 2018. — 178 с. (ISBN978-966-929-779-2)
11. 4. Міскантус в Україні: монографія / [М. В. Роїк, В. М. Сінченко, [В. І. Пиркін], В. М. Квак та ін.]. — К.: ФОП Ямчинський О. В., 2019–256 с. ISSN978-617-7804-11-5.
12. Arnoult, S., & Brancourt-Hulmel, M. (2015). A review on *Miscanthus* biomass production and composition for bioenergy use: Genotypic and environmental variability and implications for breeding. *BioEnergy Research*, 8, 502–526. <https://doi.org/10.1007/s12155-014-9524-7>.
13. Belmokhtar, N., Habrant, A., Lopes Ferreira, N., & Chabbert, B. (2013). Changes in phenolics distribution after chemical pretreatment and enzymatic conversion of *Miscanthus x giganteus* internode. *BioEnergy Research*, 6, 506–518. <https://doi.org/10.1007/s12155-012-9275-2>.
14. Xu, N., Zhang, W., Ren, S., Liu, F., Zhao, C., Liao, H., Peng, L. (2012). Hemicelluloses negatively affect lignocellulose crystallinity for high biomass digestibility under NaOH and H2SO4 pretreatments in *Miscanthus*. *Biotechnology for Biofuels*, 5, 58. <https://doi.org/10.1186/1754-6834-5-58>.
15. Кроткевич П.Г., Шумейко К. И., Волошина Л. А., Нестерчук Е. Н., Петрунь И. И. Морфологические особенности и химический состав *Miscanthus sinensis* Anderss как сырья для целлюлозно-бумажной промышленности // *Растит. ресурсы*. 1983. Т. XIX. Вып. 3. С. 321–323.
16. Schäfer J, Sattler M, Iqbal Y, Lewandowski I, Bunzel M. Characterization of *Miscanthus* cell wall polymers. *GCB Bioenergy*. 2019;11:191–205. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12538>
17. Brosse N., Dufour A., Meng X., *Miscanthus*: a fast-growing crop for biofuels and chemicals production, Society of Chemical Industry and John Wiley & Sons, Ltd | *Biofuels*, Bioprod. Bioref. (2012); DOI: 10.1002/bbb.
18. Holmgren, A.; Brunow, G.; Henriksson, G.; Zhang, L.; Ralph, J. Non-enzymatic reduction of quinone methides during oxidative coupling of monolignols: Implications for the origin of benzyl structures in lignins. *Org. Biomol. Chem.* 2006, 4, 3456–3461.
19. Duval, A.; Molina-Boisseau, S.; Chirat, C. Comparison of Kraft lignin and lignosulfonates addition to wheat gluten-based materials: Mechanical and thermal properties. *Ind. Crops Prod.* 2013, 49, 66–74.

20. Graupner, N. Application of lignin as natural adhesion promoter in cotton fibre-reinforced poly(lactic acid) (PLA) composites. *J. Mater. Sci.* 2008, 43, 5222–5229.
21. Laurichesse, S.; Avérous, L. Chemical modification of lignins: Towards biobased polymers. *Prog. Polym. Sci.* 2014, 39, 1266–1290.
22. Duval, A.; Lawoko, M. A review on lignin-based polymeric, micro- and nano-structured materials. *React. Funct. Polym.* 2014, 85, 78–96.
23. Klapiszewski, Ł.; Bula, K.; Sobczak, M.; Jesionowski, T. Influence of Processing Conditions on the Thermal Stability and Mechanical Properties of PP/Silica-Lignin Composites. *Int. J. Polym. Sci.* 2016, 2016, 1–9.
24. Nair, S.S.; Chen, H.; Peng, Y.; Huang, Y.; Yan, N. Poly(lactic acid) Biocomposites Reinforced with Nanocellulose Fibrils with High Lignin Content for Improved Mechanical, Thermal, and Barrier Properties. *ACS Sustain. Chem. Eng.* 2018, 6, 10058–10068.
25. Spiridon, I.; Leluk, K.; Resmerita, A.M.; Darie, R. N. Evaluation of PLA-lignin bioplastics properties before and after accelerated weathering. *Compos. Part B Eng.* 2015, 69, 342–349.

**АНОТАЦІЯ**

**Застосування біоенергетичних культур для виробництва біопластика**

Роїк М. В., Сінченко В. М., Нурмухаммедов А. К., Ганженко О. М., Гументик М. Я.

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

Тел. (044) 275-50-00, факс (044) 275-50-00. E-mail: [sugarbeet@ukr.net](mailto:sugarbeet@ukr.net); [www.sugarbeet.com.ua](http://www.sugarbeet.com.ua).

**Вступ.** На сьогодні альтернативні природні ресурси дедалі ширше застосовуються в якості основної промислової сировини, що використовується не тільки для виробництва біопалива та різних видів енергії, а й інших продуктів. Біоенергетичні культури міскантус і світчграс, які характеризуються багаторічною високою врожайністю, на відміну, наприклад, від сільськогосподарських відходів, можуть виявитися перспективним способом залучення нових джерел високоякісної целюлози й для виробництва біопластика. Новітні наукові дослідження міскантуса підтверджують гіпотезу українських учених 80-х років ХХ ст. та вчених інших країн, що сировина даної целюлозовмісної культури цілком позиціонується як матеріал для виробництва целюлози й біопластика, так і для біотехнологічного отримання розчинних вуглеводів і біопалива. **Висновок.** Встановлено: біоенергетичні культури міскантус і світчграс можуть виявитися перспективним способом залучення нових джерел високоякісної целюлози для виробництва біопластика.

**ABSTRACT**

**Application of bioenergy cultures for bioplastic production**

Roik M. V., Sinchenko V. M., Nurmuhammedov A. K., Hanzhenko O. M., Humentyk M. Ya.

Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet NAAS, 25 Klinichna St. Kyiv 03110, Ukraine

**Introduction.** Today alternative natural resources are increasingly used as the main industrial raw material used not only for the production of biofuels and various types of energy, but also other products. Bioenergy crops of *Miscanthus* and switchgrass, which are characterized by long-term high yields, in contrast to, for example, agricultural waste, can be a promising way to attract new sources of high quality cellulose and for the production of bioplastics. The latest scientific research of *Miscanthus* confirms the hypothesis of Ukrainian scientists of the 1980s and scientists from other countries that the raw material of this cellulose-containing crop is fully positioned as a material for the production of cellulose and bioplastics, and for biotechnological production of soluble carbohydrates and biofuels. **Conclusion.** It is proved that bioenergy crops of *Miscanthus* and switchgrass can be a promising way to attract new sources of high quality cellulose for bioplastics production.

УДК 633.179:631.53.01:631.559

# СОРТУВАННЯ НАСІННЯ ПРОСА ПРУТОПОДІБНОГО ЗА АЕРОДИНАМІЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ ЯК СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЙОГО ЯКОСТІ

ДРИГА В.В.,  
канд. с.-г. наук;  
ДОРОНІН В.А.,  
д.с.-г. наук;  
КРАВЧЕНКО Ю.А.,  
канд. с.-г. наук;  
ДОРОНІН В.В.,  
н.с.

Інститут біоенергетичних культур  
і цукрових буряків НААН, вул. Клінічна,  
25, Київ, 03110, Україна  
Тел. (044) 275-50-00, факс (044) 275-  
50-00. E-mail: sugarbeet@ukr.net: www.  
sugarbeet.com.ua.

**Постановка проблеми.** Просо прутоподібне — багаторічна трав'яниста рослина з родини тонконогових (Poaceae) роду просових, містить більш ніж 450 різних видів, що різняться за морфологічними ознаками генеративних органів та мають п'ять різних базових хромосомних чисел (від 8 до 15) [1].

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 [2]. Одним із таких способів є сортування насіння за аеродинамічними властивостями, за якого можна видалити біологічно-неповноцінне насіння, покращити його посівні якості й виділити насіння з високими врожайними властивостями [3].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Якість насіння формується не лише зі створенням нових сортів та умов його вирощування, але й у процесі передпосівної обробки, яка ґрунтується на видаленні домішок машинами, що працюють на основі різниці за фізико-механічними властивостями компонентів вороху [4]. Технологія передпосівної підготовки насіння більшості сільськогосподарських культур включає цілу низку технологічних операцій, а саме: очистку, шліфування, калібрування, сортування за аеродинамічними властивостями та питомою масою, обробку захисно-стимулюючими речовинами, інкрустацію й дражування [5]. Найчастіше для сортування використовують такі властивості, як розміри, форма, питома маса, особливості поверхні, аеродинамічні властивості (критична швидкість) тощо [6].

Просо прутоподібне має відносно малі розміри насіння з високим рівнем

стану спокою, що є одним із головних стримуючих факторів широкого впровадження проса прутоподібного у виробництво, тому технологічні прийоми передпосівної підготовки насіння мають бути направлені на зниження стану біологічного спокою насіння та підвищення інтенсивності його проростання. Тому розробка заходів зниження біологічного стану спокою і, відповідно, підвищення схожості насіння є актуальними.

До технологічних прийомів, які направлені на зниження стану спокою, відносяться шліфування (скарифікація) насіння, очистка його від крупних і мілких домішок, сортування за аеродинамічними властивостями, питомою масою та сукупністю цих ознак.

За очистки й сортування посівного матеріалу повітряним потоком (критичною швидкістю) за аеродинамічними властивостями відокремлення домішок від насіння культури досягається без значних втрат повноцінного насіння [7]. Критична швидкість — це швидкість потоку повітря в метрах, за якої дане тіло лишається в підвішеному стані. Для насіння, що сортується, вона визначається залежно від його абсолютної й питомої маси, які тісно пов'язані з біологічними особливостями насіння, схожістю, масою проростків і, в кінцевому разі, його продуктивністю. Відокремлюючи плоди повітряним потоком за різної швидкості, ми розділяємо їх на групи з різною господарською цінністю [8].



**Рис. 1.** Лабораторна аспіраційна колонка для сортування насіння за аеродинамічними властивостями.

**Ефективність сортування насіння проса прутоподібного за аеродинамічними властивостями (середнє по 5 дослідах, 2020 р.)**

Варіант – швидкість повітря в аспіраційно-му каналі, м/сек.	Вихід насіння, %	Маса 1000 насінин, г	*)Енергія проростання, %	*)Схожість, %
Контроль – без сортування	-	1,65	12	14
2,5	96,85	1,78	16	16
2,8	96,47	1,48	21	24
3,4	95,23	1,65	12	16
4,0	94,53	1,58	19	20
5,2	94,27	1,68	19	20
НІР0,05		0,10	4,5	3,9

\*) якість насіння визначали без попереднього охолодження

**Таблиця 2.**

**Якість насіння проса прутоподібного, що потрапило у відхід при сортуванні за аеродинамічними властивостями (середнє по 5 дослідах, 2020 р.)**

Варіант – швидкість повітря в аспіраційно-му каналі, м/сек.	Відхід насіння, %	Маса 1000 насінин, г	*)Енергія проростання, %	*)Схожість, %
2,5	1,51	0,15	0	0
2,8	1,67	0,18	1	1
3,4	2,27	0,25	0	0
4,0	2,63	0,28	0	0
5,2	5,73	0,40	0	0

\*) якість насіння визначали без попереднього охолодження



**Рис. 2.** Аспіраційна колонка для сортування насіння за аеродинамічними властивостями в промислових умовах

**Мета дослідження:** дослідити ефективність сортування насіння проса прутоподібного за аеродинамічними властивостями з метою підвищення його посівних якостей.

**Матеріали та методика досліджень.** Досліди з ефективності сортування насіння проса прутоподібного проводили в Інституті біоенергетичних культур і цукрових буряків упродовж 2020–2021 рр. із насінням за різних строків збирання (за побуріння волоті в 50, 75 та 100%), насінням зібраного з волотей першого й другого ярусів та насінням 1–5 років вегетації — сортів Морозко, Кейв-ін-рок та Санбурст. Схемою досліду передбачено сортування насіння за двома режимами з швидкості повітря в аспіраційному каналі від 2,5 до 5,2 м/сек. (за мінімальних втрат насіння підвищити його схожість) та від 5,6 до 8,82 м/сек. (значне підвищення швидкості для максимального збільшення схожості).

У лабораторних умовах сортування насіння проса прутоподібного проводили з використанням лабораторної аспіраційної колонки фірми «Петкус» (рис. 1), принцип роботи якої такий же, як і в промислових машинах.

Якість насіння очищеного та відходів — енергію проростання й схожість визначали за методикою, яка розроблена Інститутом біоенергетичних культур і цукрових буряків [9]. Статистичну обробку експериментальних даних здійснювали методами дисперсійного аналізу за методом Фішера [10] з використанням комп'ютерної програми Statistica 6.0 від StatSoft [11].

Результати досліджень. Технологічна схема підготовки насіння проса прутоподібного на відміну від технологій підготовки насіння інших сільськогосподарських культур простіша та включає менше технологічних операцій. Основним завданням передпосівної підготовки насіння є очистка від усіх домішок і покращення його фізико-механічних (збільшення маси насіння) й біологічних властивостей (підвищення енергії проростання та схожості насіння).

У виробничих умовах першим етапом передпосівної підготовки насіння є первинна (груба) очистка, яку проводять на повітряно-решітних машинах або інших очисних машинах, де видаляються всі великі й малі домішки, пил і занадто дрібне та дуже легке насіння.

Наступним етапом підготовки насіння є сортування за аеродинамічними властивостями з метою підвищення його схожості (рис. 2).

Раніше проведеними дослідженнями з'ясовано, що найвища інтенсивність проростання насіння була за його сортування при швидкості повітря в аспіраційному каналі 7 м/сек., яка становила від 21–35% на контролі до 27–45% після сортування. При цьому маса 1000 насінин збільшилася з 1,32 г (в контролі) до 1,62 г. Тобто в процесі сортування було видалене дрібне й легке насіння, що забезпечило підвищення маси 1000 насінин.

Насіння врожаю 2020 р., зібране за 100% ступеню дозрівання сорту Морозко, було крупнішим, маса 1000 насінин в контролі становила 1,65 г, що може свідчити про вищі показники його якості, тому було передбачено його сортування за тією ж схемою досліду, що й у попередніх дослідках, і за менших втрат насіння у відходах досягнути вищі показники його якості.

Зі збільшенням швидкості в каналі аспіраційної колонки з 2,5 до 5,2 м/сек. спостерігалася незначна зміна маси 1000 насінин, при цьому закономірного збільшення маси 1000 насінини зі збільшенням швидкості повітря не було відмічено (табл. 1).

Так, якщо в контролі маса 1000 насінин становила 1,65 г, то за максимальної швидкості повітря в аспіраційному каналі 5,2 м/сек. вона була 1,68 г (НІР0,05 = 0,10 г). За цього режиму сортування вихід насіння був найменшим і становив 94,27%. Енергія проростання та схожість насіння достовірно збільшувалися за всіх режимів сортування за винятком режиму зі швидкістю повітря в аспіраційному каналі 2,50 м/сек.

Маса 1000 насінин, яке потрапляло у відхід, закономірно підвищувалася зі збільшенням швидкості повітря в аспіраційному каналі з 0,15 г (швидкість повітря 2,50 м/сек.) до 0,40 г (швидкість повітря 5,2 м/сек.), а енергія проростання та схожість насіння були на рівні 0–1% (табл. 2).

На жаль, ці режими сортування не забезпечили очікуваних результатів із підвищення якості насіння, тому в 2021 р. були проведені дослідження з цим же насінням за режимів сортування зі значним збільшенням швидкості повітря в аспіраційному каналі — від 5,6 до 8,82 м/сек.

Установлено, що за сортування насіння проса прутіподібного за аеродинамічними властивостями зі швидкістю повітря в аспіраційному каналі від 5,60 до 7,49 м/сек. енергія проростання та схожість насіння істотно не збільшилася та була в межах, відповідно — від

39 до 44% та від 40 до 46% (табл. 3). Збільшення швидкості повітря до 7,87 м/сек. забезпечило істотне підвищення енергії проростання та схожості насіння порівняно з контролем і сортуван-

ням насіння зі швидкістю повітря 5,6 м/сек. та 7,49 м/сек., а втрати насіння у відхід збільшилися на 28,0% (рис. 4). Маса 1000 насінин очищеного насіння залежно від режимів його сортування

**Таблиця 3.**

**Ефективність сортування насіння проса прутіподібного за аеродинамічними властивостями (середнє по 5 дослідах, 2021 р.)**

Варіант – швидкість повітря в аспіраційному каналі, м/сек.	Маса 1000 насінин, г	*)Енергія проростання, %	*)Схожість, %
Контроль – без сортування	1,65	43	43
5,6	1,75	44	45
7,1	1,65	39	40
7,49	1,58	44	46
7,87	1,78	58	59
8,82	1,78	55	55
НІР0,05	0,2	8,3	8,7

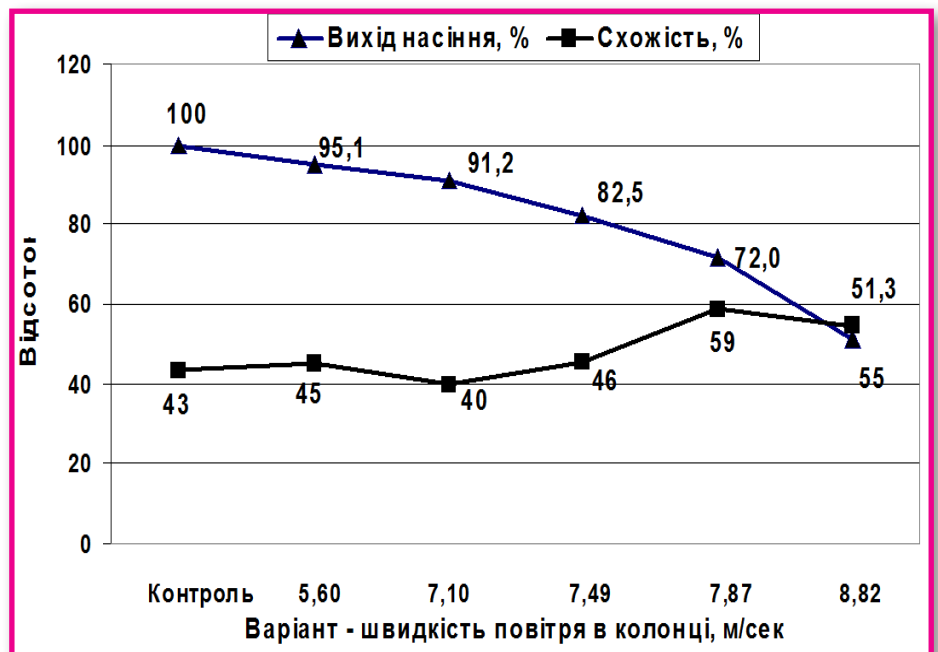
\*) якість насіння визначали без попереднього охолодження

**Таблиця 4.**

**Якість насіння проса прутіподібного, що потрапило у відхід при сортуванні за аеродинамічними властивостями (середнє по 5 дослідах, 2021 р.)**

Варіант – швидкість повітря в аспіраційному каналі, м/сек.	Маса 1000 насінин, г	*)Енергія проростання, %	*)Схожість, %
5,6	0,50	3,5	4
7,1	0,83	14	16
7,49	1,08	27	28
7,87	1,25	32,5	33
8,82	1,50	41,5	42
НІР0,05	0,2	8,4	8,7

\*) якість насіння визначали без попереднього охолодження



**Рис. 3.** Вихід насіння та його схожість при сортуванні за аеродинамічними властивостями (середнє по 5 дослідах, 2021 р.)

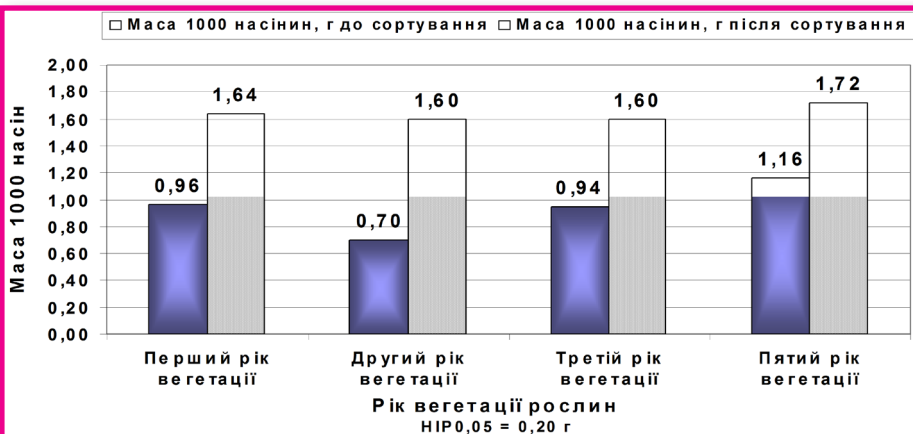


**Таблиця 5.** Вихід насіння (%) залежно від сортових особливостей та розміщення насіння на рослинах (середнє з 10 дослідів, 2019-2020 рр.)

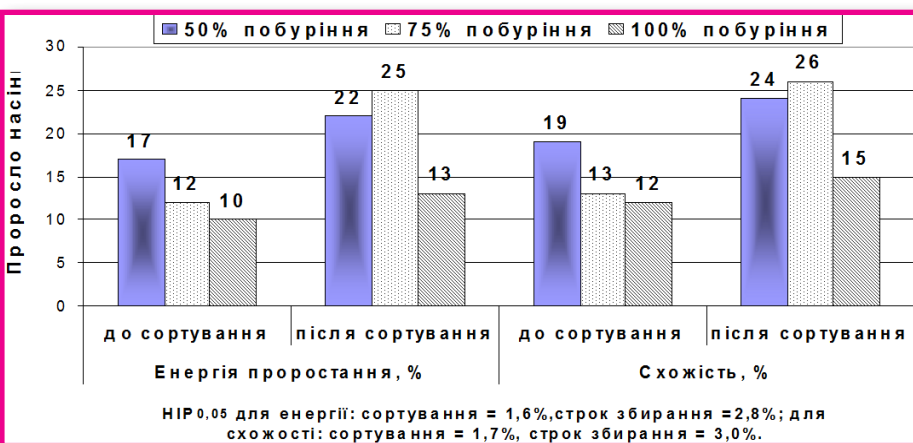
Сорт	Насіння зібране з волотей	
	першого ярусу	другого ярусу
Санбурст	90,7	89,9
Кейв-ін-Рок	93,1	91,8
Середнє	91,9	90,9
НІР0,05 заг.	8,5	
НІР0,05 СОРТ	3,2	
НІР0,05 ярус	3,7	

**Таблиця 6.** Якість насіння різних років вегетації залежно від його сортування за аеродинамічними властивостями

Рік вегетації	Енергія проростання, %		Схожість, %	
	до сортування	після сортування	до сортування	після сортування
Перший рік вегетації	1	36	1	37
Другий рік вегетації	1	73	1	73
Третій рік вегетації	2	57	3	59
П'ятий рік вегетації	4	77	4	77
НІР0,05	2	10,5	2	9,7



**Рис. 4.** Маса 1000 насінин різних років вегетації залежно від його сортування за аеродинамічними властивостями



**Рис. 5.** Якість насіння за різних строків збирання залежно від його сортування за аеродинамічними властивостями (середнє за 2018-2019 р.)

достовірно не змінювалася.

Збільшення швидкості повітря в аспіраційній колонці до 8,82 м/сек. не забезпечило достовірного підвищення схожості порівняно з сортуванням зі швидкістю 7,87 м/сек., але, порівняно з контролем, вона є достовірно вищою. Вихід очищеного насіння за цього режиму сортування зменшився в 1,4 рази, порівняно з сортуванням зі швидкістю повітря 7,87 м/сек. (рис. 3).

Підвищення схожості насіння проса прутоподібного та його маси 1000 насінин зумовлено відбором легкого та із нижчою схожістю насіння, про що свідчить якість відходу насіння. Зі збільшенням швидкості повітря в аспіраційному каналі достовірно підвищувалися енергія проростання, схожість та маса 1000 штук насіння, що потрапляло у відхід (табл. 4).

Між швидкістю повітря в аспіраційному каналі та кількістю очищеного насіння встановлено обернену тісну кореляцію. Коефіцієнт кореляції становить — 0,90, а між швидкістю повітря в аспіраційному каналі колонки та кількістю насіння, яке потрапляє у відхід — тісний прямий зв'язок, коефіцієнт кореляції становить 0,80.

Необхідно зазначити, що за збільшення маси 1000 насінин збільшувалася й схожість насіння. Найвищу схожість — 59% — мало насіння, маса 1000 штук якого була найвищою й становила 1,78 г. Ці результати гармонізують із дослідженнями Aiken G. E., Springer T. L. [12], які вказували, що крупніше насіння світчграсу за масою 1000 насінин здатне до більш швидкого проростання.

Важливим було виявити, яким може бути вихід насіння проса прутоподібного залежно від сортових особливостей та місця розміщення насіння на рослинах. Сортування проводили за швидкості повітря в аспіраційному каналі колонки 5,2 м/сек. З'ясовано, що істотної різниці з виходу насіння після сортування залежно від розміщення насіння на рослині не було. В середньому по двох сортах вихід насіння з волоті першого ярусу (волоті, які найбільш розвинуті та вищі інших) становив 91,9%, другого ярусу (волоті, які менш розвинуті й менші за висотою) — 90,9%, істотної різниці не було залежно від місця формування насіння. Насіння сорту Кейв-ін-рок було більш технологічним як із волоті першого ярусу, так і з волоті другого ярусу, що забезпечило достовірно більший його вихід за одного й того ж режиму сортування, як і сорту Санбурст (табл. 5).

За такого режиму сортування насіння у відхід було направлено 8,1% насіння, зібраного з волоті першого ярусу, і 9,1 — насіння з волоті другого ярусу. Навіть за незначного відходу енергія проростання та схожість насіння після сортування достовірно збільшилися.

Сортування насіння за аеродинамічними властивостями, яке було зібране в 2018 р. з насінників різних років вегетації, підтвердило високу ефективність цього технологічного заходу, енергія проростання та схожість достовірно підвищилися (табл. 6).

Сортування насіння всіх років вегетації рослин проводили за одного й того ж режиму — за швидкості повітря в аспіраційному каналі 5,2 м/сек. Енер-

гія проростання підвищилася від 1–4% до 36–77%, схожість, відповідно — від 1–4% до 37–77%. Значно збільшилася маса 1000 насінин (рис. 4).

Підвищення якості насіння зумовлено видаленням дуже легкого насіння, про що свідчить збільшення маси 1000 насінин.

Сортування за аеродинамічними властивостями насіння, зібраного залежно від строків його дозрівання, також забезпечило достовірне підвищення енергії проростання й схожості незалежно від строків його збирання (рис. 5).

Найменше підвищення енергії проростання й схожості після сортування було в насіння, яке зібране за побуріння 50% оплодня: енергія проростання та схожість збільшилися на

5% (НІР<sub>0,05</sub> сортування = 1,6 та 1,7%). Найбільшу ефективність отримано за сортування насіння, що зібране за 75% побуріння оплодня, енергія проростання й схожість збільшилися на 13%.

**Висновки.** Сортування насіння проса прутоподібного різних років вегетації, зібраного з волотей різних ярусів та строків дозрівання, забезпечувало достовірне підвищення його енергії проростання та схожості; його можна впроваджувати у виробництво, але він остаточно не вирішує проблеми зниження біологічного спокою насіння. Цей спосіб підготовки насіння до сівби можливий в кожному насінницькому господарстві, де є повітряно-решітні машини, які обладнані аспіраційним каналом.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Christian D. G., Elbersen H. W. Switchgrass (*Panicum virgatum* L.). In: N. El Bassam. Energy plant species. Their use and impact on environment and development. London: James and James publishers, 1998: 257–263.
2. Биология семян и семеноводство [перевод с польского Г. Н. Миросниченко]. М.: Колос, 1976. 415 с.
3. Доронін В. А., Карпук Л. М., Кравченко Ю. А. Передпосівна підготовка насіння як спосіб покращення його якості та продуктивних властивостей цукрових буряків. «Хелатні мікродобрива — 2007»: матеріали I Всеукраїнської спеціалізованої конференції (м. Київ 15 листопада 2007р.). Київ: НВЦ «Реаком». 2007. С. 24.
4. Доронін В. А. Біологічні особливості формування гібридного насіння цукрових буряків та способи підвищення його врожайності і якості. Київ: Поліпром, 2009. 299 с.
5. Доронін В. А., Поліщук В. В., Доронін А. В., та ін. Насінництво цукрових буряків. Умань: «Візаві» («Сочінський М. М.»), 2018. 380 с.
6. Брандербург Н. Р. Принципы и практика очистки семян: сортирование аппаратурой, которая учитывает размеры, форму, плотность и конечную скорость семян: Пер. с нем. М. 1980.
7. Ефримов А. Е. Эффективность калибровки семян односемянной сахарной свеклы. Львовская опытно-селекционная станция. сб. научных работ. Воронеж: 1965. Вып. 1. С. 133–135.
8. Задлер В. В. Качество семян сахарной свеклы как фактор урожайности: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: Киев, 1952. 12 с.
9. Доронін В. А., Кравченко Ю. А., Бусол М. В., Доронін В. В., Мандровська С. М., Гончарук Г. С. Визначення схожості насіння проса прутоподібного (світчграссу) *Panicum virgatum* L. (Методичні рекомендації) — К., ІБКЦБ НААН. 2015. 10 с.
10. Fisher R. A. Statistical methods for research workers. New Delhi: Cosmo Publications, 2006. 354 p.
11. Сайт компанії StatSoft, разработчика программы Statistica 6.0: <http://www.statsoft.ru/>.
12. Aiken G. E., Springer T. L. (1995). Seed size distribution, germination, and emergence of 6 switchgrass cultivars. J. Range Manage. 48. 455–458.

#### АНОТАЦІЯ

УДК 633.179: 631. 53.01:631.559

**Сортування насіння проса прутоподібного за аеродинамічними властивостями як спосіб підвищення його якості**

Дрига В. В., канд. с.-г. наук;  
Доронін В. А., д.с.-г. наук;  
Кравченко Ю. А., канд. с.-г. наук;  
Доронін В. В., н.с.

**Вступ.** У статті наведено результати досліджень із впливу режимів сортування насіння за аеродинамічними властивостями на його енергію проростання й схожість із метою зниження біологічного стану спокою насіння та значного підвищення якості. **Методи.** Лабораторний, вимірювально-ваговий, математично-статистичний. Результати. Зі збільшенням швидкості в каналі аспіраційної колонки з 2,5 до 5,2 м/сек. спостерігалася незначна зміна маси 1000 насінин, при цьому закономірного збільшення маси 1000 насінини зі збільшенням швид-

кості повітря не було відмічено. Так, якщо в контролі маса 1000 насінин становила 1,65 г, то за максимальної швидкості повітря в аспіраційному каналі 5,2 м/сек. вона була 1,68 г (НІР<sub>0,05</sub> = 0,10 г). Енергія проростання та схожість насіння достовірно збільшувалися за всіх режимів сортування, за винятком режиму зі швидкістю повітря в аспіраційному каналі 2,50 м/сек. Маса 1000 насінин, яке потрапляло у відхід закономірно підвищувалася зі збільшенням швидкості повітря в аспіраційному каналі з 0,15 г до 0,40 г, а енергія проростання та схожість насіння були на рівні 0–1%. Збільшення швидкості повітря до 7,87 м/сек. забезпечило істотне підвищення енергії проростання та схожості насіння порівняно з контролем та сортуванням насіння зі швидкістю повітря 5,6 м/сек. та 7,49 м/сек., а втрати насіння у відхід збільшилися на 28,0%. **Висновки.** Сортування насіння проса прутоподібного різних років вегетації, зібраного з волотей різних ярусів та строків дозрівання, забезпечувало достовірне підвищення його енергії проростання й схожості і його можна впроваджувати у виробництво, але він остаточно не вирішує проблеми зниження біологічного стану спокою насіння.

**Ключові слова:** стан спокою, енергія проростання, схожість, маса 1000 насінин, вихід насіння.

#### ABSTRACT

**Separation of switchgrass seeds by aerodynamic properties as a way of quality improvement**

Dryha V. V., PhD in Agriculture;  
Doronin V. A., Doctor of Agricultural Sciences;  
Kravchenko Yu. A., PhD in Agriculture;  
Doronin V. V., Researcher;  
Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet NAAS of Ukraine

**Purpose.** The article presents the research results on the effect of seed separation (by aerodynamic properties) regime on germination energy and germination in order to reduce the biological dormancy of seeds and significantly improve the quality. **Methods.** Laboratory, measuring and weighing, mathematical and statistical. Results. With speed increasing in the aspiration column channel from 2.5 to 5.2 m/sec there was a slight change in the 1000-seed weight. There was not dependency in increase in the 1000-seed weight along with increasing air velocity. Thus, if in the control the 1000-seed weight was 1.65 g, then at the maximum 5.2 m/sec air velocity in the aspiration channel it was 1.68 g (SSD<sub>0.05</sub> = 0.10 g). Germination energy and seed germination significantly increased in all separation modes except for the mode with 2.50 m/sec air velocity in the aspiration channel. The 1000-seed weight that fell into the waste naturally increased with increasing air velocity in the aspiration channel from 0.15 g to 0.40 g, and germination energy and seed similarity were at the level of 0–1%. Increasing the air speed to 7.87 m/sec provided a significant increase in seed germination energy and germination compared to the control and sorting of seeds at an air speed of 5.6 m/sec and 7.49 m/sec, and waste losses in waste increased by 28.0%. **Conclusions.** Separation of switchgrass seeds of different years of vegetation, collected from panicles of different tiers and maturation dates provided a significant increase in its germination energy and germination and can be introduced into production but it does not completely solve the problem of reducing the biological dormancy of seeds.

**Keywords:** dormancy, germination energy, germination, 1000-seed weight, seed yield.

УДК 663.63:631.81

# ВПЛИВ ДОЗ ДОБРИВ НА БІОЕНЕРГЕТИЧНУ ПРОДУКТИВНІСТЬ СОРГО ЦУКРОВОГО

ІВАНІНА В.В.,

д.с.-г.н., зав. лаб.;

СИПКО А.О.,

к.с.-г.н., с.н.с.;

СТРІЛЕЦЬ О.П.,

к.с.-г.н., с.н.с.;

ЗАЦЕРКОВНА Н.С.,

к.с.-г.н., с.н.с.;

СІНЧУК Г.А.,

н.с. (Інститут біоенергетичних культур  
і цукрових буряків НААН України);

ІВАНОВА О.Г.,

с.н.с.;

КОРИТНИК Р.М.,

с.н.с.;

КОПЧУК К.М.,

м.н.с.; (Іванівська дослідно-селекційна  
станція)Інститут біоенергетичних культур  
і цукрових буряків НААН України, вул.  
Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна,  
\*e-mail: v\_ivanina@meta.ua

**Вступ.** Упродовж останніх десятиліть альтернативна енергетика набуває дедалі ширшого розмаху [2]. Стрімке зростання населення, глобальні кліматичні зміни потребують пошуку джерел енергії здатних забезпечити енергетичні потреби людства, не спричиняючи значного навантаження на навколишнє середовище.

Сорго цукрове є однією з перспективних біоенергетичних культур, з сировини якого можна виробляти біоетанол, тверде паливо (брикети, пелети та ін.) та біогаз. За середньої врожайності 40 т/га з 1 гектара можна отримати 6–12 т спирту і 12–15 т побічної продукції [3]. Рослини сорго цукрового добре адаптовані до посушливих умов вирощування, його транспіраційний коефіцієнт становить 300, тоді як кукурудзи — 450, сої — 500, люцерни — 700. За посухо- та солестійкістю сорго цукрове займає перше місце в світі серед сільськогосподарських культур і здатне давати високі врожаї біомаси в усіх природно-кліматичних зонах України — від Степу до Полісся [4]. За даними державних сортовипробувальних станцій АР Крим, Херсонської, Миколаївської, Одеської областей, врожайність сорго цукрового на богарі перевищує врожайність куку-

рудзи на 19–58%, за зрошення — на 14–15% [8].

Отримання високих врожаїв біомаси сорго цукрового потребує достатнього мінерального живлення. Застосування добрив, оптимізація доз та способів їх внесення посилює фотосинтетичну активність, забезпечує інтенсивний ріст та розвиток рослин, істотно підвищує його врожайність [7]. Максимальних параметрів урожайності біомаси сорго цукрового досягали в фазі молочно-воскової стиглості, яка за умов зрошення становила понад 2450 г/м<sup>2</sup> [1]. У процесі накопичення біомаси рослини сорго цукрового інтенсивно поглинали калій, менш інтенсивно — азот і фосфор [5].

Метою досліджень було встановити оптимальні дози мінеральних добрив під сорго цукрове, які забезпечують максимальний вихід біоетанолу та інших видів біологічного палива за вирощування в умовах нестійкого зволоження Лісостепу України.

**Матеріали та методика.** Наукові дослідження проводили впродовж 2016–2020 рр. у тимчасовому польовому досліді на чорноземі типовому важкосуглинковому Іванівської дослідно-селекційної станції ІБКІЦБ.

Ґрунт дослідної ділянки — чорнозем типовий важкосуглинковий, який характеризується наступними агрохімічними показниками орного (0–30 см) шару: рН водне — 6,6–7,0, вміст гумусу за Тюрнімом — 4,5–4,7%, лужногидролізованого азоту — 180 мг/кг ґрунту, рухомих P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> і K<sub>2</sub>O за Чиріковим — 19–20 і 100–110 мг/кг ґрунту, ємність поглинання обмінних катіонів — 26–31 мг-екв/100 г ґрунту.

Розмір посівної ділянки — 100 м<sup>2</sup>, облікової — 73,1 м<sup>2</sup>. Розміщення повторень — ярусне чотирикратне.

В дослідженнях вирощували сорт Силосне 42 та гібрид Нектарний. Мінеральні добрива вносили з осені під глибоку оранку в формі амонійної селітри, суперфосфату простого гранульованого та калію хлористого. Вихід біоетанолу, твердого палива та енергетичну ємність біомаси сорго цукрового визначали за методичними рекомендаціями з вирощування й перероблення цукрового сорго [6].

**Результати і обговорення.** Вирощування сорго цукрового в умовах недостатнього зволоження (зона Лісостепу) на чорноземі типовому середньосуглинковому Іванівської ДСС показало, що мінеральне живлення є

Таблиця 1.

Динаміка накопичення цукрів у стеблах сорго цукрового за різних доз добрив, ДСС, 2016–2020 рр., %.

№ вар	Сорт (фактор А)	Дози добрив (фактор В)	Фаза росту і розвитку		
			цвітіння	молочна стиглість	воскова стиглість
1	Силосне 42	Без добрив (контроль)	4,8	9,3	10,3
2		N60P60K60	5,0	10,1	10,9
3		N90P90K90	5,4	11,3	11,6
4		N120P120K120	5,7	11,9	12,6
5	Нектарний	Без добрив (контроль)	5,8	12,2	13,2
6		N60P60K60	6,1	13,0	13,7
7		N90P90K90	6,5	13,9	14,4
8		N120P120K120	7,0	14,8	15,1
НІР05 (фактор А)			0,03	0,02	0,03
НІР05 (фактор В)			0,05	0,06	0,04
НІР05 (фактор А+В)			0,07	0,06	0,06

впливовим чинником, який визначає перебіг процесів накопичення цукрів у рослинах, їх біологічну та енергетичну продуктивність. За вирощування сорту Силосне 42 на природному фоні родючості вміст цукрів у стеблах сорго цукрового у фазі цвітіння становив 4,8%, молочної стиглості — 9,3%, воскової стиглості — 10,3%, гібриду Нектарний — 5,8%, 12,2% та 13,2%, відповідно. Сівба високопродуктивним гібридом Нектарний дозволила збільшити накопичення цукрів у рослинах на момент воскової стиглості на 2,9% (табл. 1).

Інтенсивність накопичення цукрів у рослинах значно зростала при застосуванні мінеральних добрив. За дози добрив N60P60K60 під глибоку оранку сорт Силосне-42 у фазі виходу в трубку містив цукрів у стеблах — 5,0%, молочної стиглості — 10,1%, воскової стиглості — 10,8%; гібрид Нектарний — відповідно 6,1%, 13,0% та 13,7%. Помірна доза мінеральних добрив підвищила вміст цукрів порівняно з контролем без добрив у фазі виходу в трубку — на 0,2–0,3%, молочної стиглості — на 0,8%, воскової стиглості — на 0,5–0,6%. При цьому гібрид Нектарний за вмістом цукрів перевищив сорт Силосне-42 у фазі виходу в трубку — на 1,1%, молочної стиглості — на 2,9%, воскової стиглості — на 2,8%.

За збільшення дози мінеральних добрив до N90P90K90 вміст цукрів порівняно з контролем без добрив підвищився у фазі виходу в трубку — на 0,6–0,7%, молочної стиглості — на 1,7–2,0%, воскової стиглості — на 1,2–1,3%. За підвищеної дози мінеральних добрив гібрид Нектарний зберігав перевагу в накопиченні цукрів порівняно з сортом Силосне 42, збільшивши їх вміст у стеблах у фазі воскової стиглості на 2,8%.

Позитивна динаміка накопичення цукрів у рослинах сорго цукрового зберігалась і за високих доз мінеральних добрив. За внесення N120P120K120 сорт Силосне-42 у фазі виходу в трубку містив цукрів у стеблах — 5,7%, молочної стиглості — 11,9%, воскової стиглості — 12,6%; гібрид Нектарний — 7,0%, 14,8% та 15,1%, відповідно. Високий фон мінерального живлення забезпечив максимальні показники накопичення цукрів у рослинах сорго цукрового з перевагою до контролю без

**Таблиця 2.** Продуктивність сорго цукрового за різних доз добрив ІДСС, 2016-2020 рр.

№ вар	Сорт (фактор А)	Дози добрив (фактор В)	Вміст сухої речовини, %		Врожайність зеленої маси, т/га
			листки	стебла	
1	Силосне 42	Без добрив (контроль)	29,5	19,9	55,2
2		N60P60K60	30,5	20,8	58,3
3		N90P90K90	32,1	22,3	64,7
4		N120P120K120	33,3	23,3	72,6
5	Нектарний	Без добрив (контроль)	30,5	21,6	62,8
6		N60P60K60	31,4	22,4	65,8
7		N90P90K90	32,9	23,7	73,8
8		N120P120K120	34,8	24,8	80,9
НІР05 (фактор А)			0,4	0,5	1,2
НІР05 (фактор В)			0,7	0,9	1,6
НІР05 (фактор А+В)			1,1	1,3	2,9

добрив у фазі воскової стиглості на 1,9–2,3%. Вирощування гібриду Нектарний збільшило вміст цукрів порівняно з сортом Силосне-42 на 2,5%.

Застосування добрив позитивно позначилось на біологічній врожайності сорго цукрового. За дози мінеральних добрив N60P60K60 врожайність зеленої маси сорту Силосне-42 у фазі воскової стиглості становила 58,3 т/га, гібриду Нектарний — 65,8 т/га з перевагою до контролю без добрив — 3,1 та 3,0, відповідно. За вирощування гібриду Нектарний врожайність була вищою на 7,5 т/га (табл. 2).

Рослини сорго цукрового істотно нарощували врожайність біомаси за високих доз мінеральних добрив. За дози N90P90K90 врожайність зеленої маси в фазі воскової стиглості порівняно з дозою N60P60K60 зростає на 6,4–8,0 т/га, за дози N120P120K120 — на 14,3–15,1 т/га.

Найвищу біологічну врожайність сорго цукрового отримали за вирощування гібриду Нектарний і внесення мінеральних добрив під глибоку оранку в дозі N120P120K120—80,9 т/га з перевагою до контролю 18,1 т/га. В умовах недостатнього зволоження

**Таблиця 3.** Вихід біопалива та енергії з сорго цукрового за різних доз добрив, ІДСС, 2016-2020 рр.

№ вар	Сорт (фактор А)	Дози добрив (фактор В)	Вихід, т/га			Вихід енергії, ГДж/га		Всього енергії, ГДж/га
			соку	біоетанолу	твердого палива	біоетанол	тверде паливо	
1	Силосне 42	Без добрив (контроль)	25,5	1,9	12,7	49	203	252
2		N60P60K60	27,2	2,1	13,9	53	223	276
3		N90P90K90	30,4	2,5	16,2	62	259	321
4		N120P120K120	34,5	2,9	18,8	73	300	373
5	Нектарний	Без добрив (контроль)	30,9	2,6	15,4	65	246	311
6		N60P60K60	32,5	2,8	16,8	69	269	338
7		N90P90K90	37,1	3,2	19,5	81	312	393
8		N120P120K120	41,2	3,7	22,2	91	355	446

на ґрунтах високого фону природної родючості (чорноземі типовому) сорго цукрове позитивно відгукувалось на внесення високих доз мінеральних добрив. Послідовне збільшення сумарної дози мінеральних добрив від 180 до 360 кг/га NPK супроводжувалося підвищенням біологічного врожаю та вмісту цукрів у стеблах сорго цукрового. Це є свідченням того, що рослини сорго цукрового здатні продуктивно засвоювати й переробляти значно більші дози мінеральних добрив, нарощуючи при цьому біологічну продуктивність. Це дає підстави вважати, що при визначенні оптимальних доз мінеральних добрив під сорго цукрове, варто керуватись екологічними та економічними чинниками, а не абсолютними показниками біологічної врожайності цієї культури.

Оцінка біоенергетичної продуктивності сорго цукрового показала, що його вирощування впродовж 2016–2020 років на чорноземі типовому без внесення добрив забезпечило вихід біоетанолу — 1,9–2,6 т/га, твердого палива — 12,7–15,4 т/га, сумарний вихід енергії — 252–311 ГДж/га. Вирощування гібриду Нектарний збільшило вихід біоетанолу порівняно з сор-

том Силосне-42 — на 0,7–0,9 т/га, сумарний вихід енергії — на 59–78 ГДж/га (табл. 3).

Біоенергетична продуктивність сорго цукрового значно зросла за застосування мінеральних добрив. За дози N60P60K60 вихід біоетанолу у сорту Силосне-42 становив 2,1 т/га, твердого палива — 13,9 т/га, сумарний вихід енергії — 276 ГДж/га; гібриду Нектарний — відповідно 2,8 т/га, 16,8 т/га та 338 ГДж/га. Помірна доза мінеральних добрив збільшила сумарний вихід енергії на 24–27 ГДж/га.

Збільшення дози добрив до N90P90K90 підвищило вихід біоетанолу порівняно з контролем без добрив — на 0,6 т/га, твердого палива — на 3,5–4,1 т/га, сумарний вихід енергії — на 66–69 ГДж/га. За вирощування гібриду Нектарний сумарний вихід енергії порівняно з сортом Силосне-42 був вищим на 72 ГДж/га за абсолютного показника 393 ГДж/га.

За дози добрив N120P120K120 сорго цукрове досягло максимальної біоенергетичної продуктивності: вихід біоетанолу — 2,9–3,7 т/га, твердого палива — 18,8–22,2 т/га, сумарний вихід енергії — 373–446 ГДж/га. На високому фоні удобрення гібрид

Нектарний забезпечив максимальні біоенергетичні параметри зі зростанням сумарного виходу енергії до сорту Силосне-42 — на 73 ГДж/га, до контролю без добрив — на 135 ГДж/га. За рахунок мінеральних добрив зростання сумарного виходу енергії було у 1,9 рази вищим, ніж за рахунок гібриду.

#### Висновки

1. В умовах недостатнього зволоження на чорноземі типовому сорго цукрове позитивно відгукується на внесення мінеральних добрив. Застосування добрив збільшило накопичення цукрів у стеблах рослин у фазі воскової стиглості — на 0,5–2,3%, врожайність біомаси — на 3,0–18,1 т/га, вихід біоетанолу — на 0,2–1,1 т/га, твердого палива — на 1,2–6,8 т/га, сумарний вихід енергії — 24–135 ГДж/га.

2. Максимальну біоенергетичну продуктивність сорго цукрового отримали за вирощування гібриду Нектарний та внесення дози мінеральних добрив N120P120K120: вихід біоетанолу — 3,7 т/га, твердого палива — 22,2 т/га, сумарний вихід енергії — 446 ГДж/га з перевищенням контролю без добрив — на 1,1 т/га, 6,8 т/га та 135 ГДж/га, відповідно.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Влащук А. М., Войташенко Д. П., Демченко Н. В. Продуктивність сорго багаторічного в умовах зрошення південного степу України. Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків. 2013. Вип. 19. С. 21–22.
2. Гелетуца Г. Г., Железна Т. А., Тишаев С. В. та ін. Концепція розвитку біоенергетики в Україні. Ін-т теплофізики НАН України, 2001. 14 с.
3. Григоренко Н. О. Цукрове сорго дає високі й стабільні врожаї зерна та зеленої маси за складних кліматичних умов. Зерно і хліб. 2011. № 3. С. 48–49.
4. Дукач В. Н. Технологические особенности возделывания сахарного (кормового) сорго. Агроекономіка України. 2009. № 6. С. 7–13.
5. Малиновский Б. Н. Сорго на Северном Кавказе. Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 1992. 200 с.
6. Методичні рекомендації з вирощування і перероблення цукрового сорго як сировини для виробництва різних видів біопалива в різних ґрунтово-кліматичних зонах України / О. М. Ганженко, Л. А. Правдива, Я. Д. Фучило, О. Б. Хіврич, П. Ю. Зиков, М. Я. Гументик, Г. С. Гончарук, В. М. Смірних, Ю. П. Дубовий, О. М. Атаманюк, О. Г. Іванова, В. Л. Гамандій, О. В. Яланський. — К.: ЦП КОМПРИНТ, 2020. — 20 с. ISBN978-617-8007-00-3
7. Собко О. О., Філіпів І. Д. Ефективність добрив залежно від густоти посіву сорго в умовах зрошення. Вісник с.-г. науки. 1978. № 9. С. 28–32.
8. Шепель Н. А. Сорго. Волгоград: Комитет по печати, 1994. 448 с.

#### АНОТАЦІЯ

УДК 663.63:631.81

#### Вплив доз добрив на біоенергетичну продуктивність сорго цукрового

Іваніна В. В., Сипко А. О., Стрілець О. П., Зацерковна Н. С., Сінчук Г. А., Іванова О. Г., Коритник Р. М., Копчук К. М.

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України (ІБКІЦБ НААН), вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна.

Встановлено, що сорго цукрове, за вирощування в умовах недо-

статнього зволоження на чорноземі типовому, позитивно відгукується на внесення мінеральних добрив. Застосування добрив збільшило накопичення цукрів у стеблах рослин у фазі воскової стиглості — на 0,5–2,3%, врожайність біомаси — на 3,0–18,1 т/га, вихід біоетанолу — на 0,2–1,1 т/га, твердого палива — на 1,2–6,8 т/га, сумарний вихід енергії — 24–135 ГДж/га. Максимальної біоенергетичної продуктивності сорго цукрового досягли за вирощування гібрида Нектарний та внесення N120P120K120: вихід біоетанолу — 3,7 т/га, твердого палива — 22,2 т/га, сумарний вихід енергії — 446 ГДж/га з перевищенням контролю без добрив — на 1,1 т/га, 6,8 т/га та 135 ГДж/га, відповідно.

**Ключові слова:** сорго цукрове, мінеральні добрива, біоенергетична продуктивність.

#### ABSTRACT

UDC663.63: 631.81

#### Effect of fertilizer doses on bioenergy productivity of sugar sorghum

Ivanina V. V., Sypko A. O., Strilets O. P., Zatserkovna N. S., Sinchuk H. A., Ivanova O. H., Korytnyk R. M., Kopychuk K. M.

Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet NAAS, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine.

It was found that sugar sorghum for growing in conditions of insufficient moisture on typical chernozem responds positively to the application of mineral fertilizers. The use of fertilizers increased the accumulation of sugars in plant stems in the phase of wax ripeness by 0.5–2.3%, biomass yield by 3.0–18.1 t/ha, bioethanol yield by 0.2–1.1 t/ha, solid fuel by 1.2–6.8 t/ha, total energy yield by 24–135 GJ/ha. The maximum bioenergy productivity of sugar sorghum was reached by growing hybrid 'Nektarnyi' and applying N120P120K120. The yield of bioethanol was 3.7 t/ha, solid fuel 22.2 t/ha, total energy yield 446 GJ/ha with excess of control without fertilizers by 1.1 t/ha, 6.8 t/ha and 135 GJ/ha, respectively.

**Keywords:** sugar sorghum, mineral fertilizers, bioenergy productivity.

УДК 630\*232+504.73:582.632.2

# ВПЛИВ АЗОТНИХ ДОБРИВ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БІОМАСИ ВЕРБИ ПРУТОВИДНОЇ

ВОКАЛЬЧУК Б. М. —

аспірант;

ФУЧИЛО Я. Д. —

доктор сільськогосподарських наук,  
професор.

Інститут біоенергетичних культур  
і цукрових буряків НААН, вул. Клінічна,  
25, м. Київ, 03141, Україна, e-mail:  
bv753m@gmail.com

**Актуальність.** Прогнози глобального використання енергії передбачають, що в Україні в наступні десятиліття біомаса стане важливим джерелом відновлюваної енергії. Тому важливе значення має аналіз світових рослинних ресурсів і добір найперспективніших рослин для використання в біоенергетичних цілях. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває науково-дослідна робота з дослідження, вивчення елементів технології вирощування енергетичних рослин [4, 7].

Серед енергетичних рослин для отримання енергетичної маси найчастіше використовують вербу прутувидну (*Salix viminalis* L.) та похідні від неї форми та гібриди [2, 4, 5, 8, 9, 10, 12]. Її біомасу використовують як для безпосереднього спалювання й отримання тепла [11], так і для перероблення на рідке паливо [12]. Для отримання позитивного результату при плантаційному вирощуванні енергетичної біомаси верби основну роль відіграють добір сорту для ґрунтово-кліматичних умов, у яких розташована плантація та застосування комплексу ефективних заходів щодо її створення, вирощування й експлуатації [2, 4, 5]. Під час вирощування енергетичних плантацій верби разом із заготовленою біомасою виноситься велика кількість поживних речовин, тому одним з найважливіших заходів, що сприяють забезпеченню високої врожайності плантацій, є їх удобрення [1, 4, 6]. В окремих іноземних літературних джерелах важливість удобрення для підвищення врожайності біомаси має суперечливі твердження і не має чітких вимог до проведення цього заходу [5].

В Україні на даний час вплив тих чи інших доз удобрення енергетичних плантацій верби прутувидної на її врожайність не встановлено через недостатню кількість таких досліджень.

Щорічне розкидання добрив на плантаціях верб має низку технічних проблем, оскільки верба росте досить щільно і до збору врожаю виростає заввишки до 8 м, тому оптимальним є внесення добрив після кожного циклу вегетації (як правило трирічного) відразу після збору врожаю, коли з'являється можливість застосування наземної техніки. На сьогоднішній день недостатньо вивченими є норми підживлення мінеральними добривами, зокрема азотними [2].

**Мета дослідження.** Визначити оптимальну норму азотних добрив для підживлення енергетичних плантацій верби прутувидної перед початком другого трирічного циклу вирощування в умовах Центрального Лісостепу України.

**Матеріали та методика досліджень.** Дослідження були закладені в 2018 р. на дослідному полі Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН (ІБКІЦБ), у ДП ДГ «Саливківське» (с. Ксаверівка Друга, Київської області), яке розташоване в зоні нестійкого зволоження Центрального Лісостепу України. Площа посадкової ділянки — 100 м<sup>2</sup>, облікової — 50 м<sup>2</sup>, повторність — триразова, розміщення ділянок — рендомізоване.

Вплив внесення азоту досліджували на двох сортах 'Тора' (шведської селекції [5, 10]) та 'Тернопільська' (української селекції [4]), висаджених у 2015 році. Живці в досліді висаджені спареними рядами, відстань між якими ста-

новила 0,75 м та міжряддями 1,5 м. Відстань між живцями в рядку становила 0,75 м, а густина садіння — 15 тис шт./га.

Після зрізання надземної трирічної біомаси плантації, навесні 2018 року в міжряддя була внесена аміачна селітра за наступною схемою: без внесення, 100 кг/га (N35) та 200 кг/га (N70). До і після внесення добрив проводили дискування міжрядь.

При проведенні досліджень використовувались традиційні методи досліджень [3]. Впродовж вегетації на досліді проводили спостереження за біометричними показниками рослин із визначенням висоти, приросту за висотою та маси пагонів.

**Результати досліджень і обговорення.** Внесення азоту сприяло активному початку вегетації та значному приросту надземної маси за висотою. В обох сортів за внесення аміачної селітри спостерігалось збільшення висоти рослин за місяцями, порівнянно з варіантом без їх застосування (рис. 1, 2). Також було виявлено, що на варіантах із внесенням N70 рослини мали довший вегетаційний період, і протягом вересня в них ще відбувався приріст у висоту.

Найбільший приріст рослин спостерігався в кінці травня-на початку червня у сорту 'Тора'. На варіантах без внесення добрив і за внесення N35 він становив 90 см, а на ділянці з внесенням N70—92 см. У сорту 'Тернопільська' приріст у цей період на контролі ста-

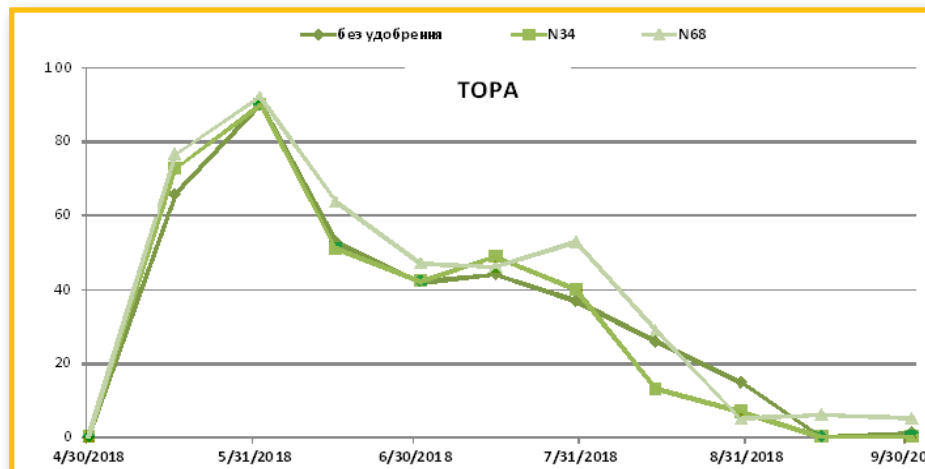
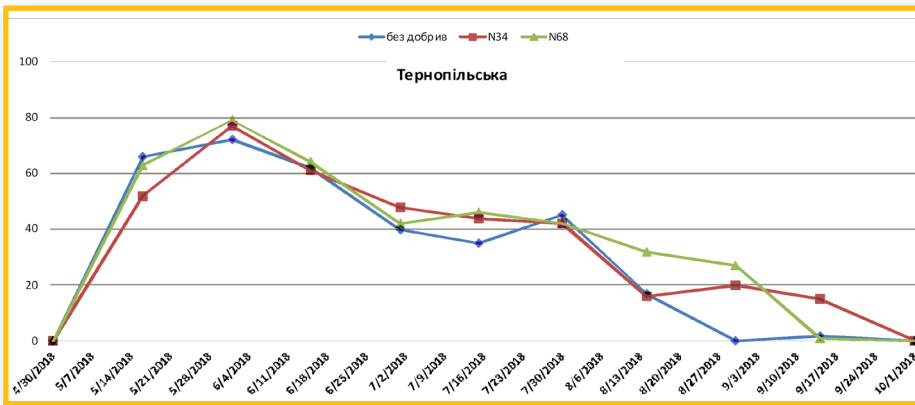


Рис. 1. Динаміка відростання пагонів верби прутувидної сорту 'Тора' протягом першого року вегетації залежно від внесення аміачної селітри (2018 р.)



**Рис. 2.** Динаміка відростання пагонів верби прутувидної сорту 'Тернопільська' протягом першого року вегетації залежно від внесення аміачної селітри (2018 р.)

новив 73 см, а за внесення азоту — 77 та 79 см, відповідно.

В кінці першого року вегетації найвищі рослини сформувалися в сорту 'Тора' (табл. 1) з внесенням N70—4,67 м, що більше варіанту без внесення добрив на 16%, де цей показник становив 3,96 м. За внесення N35 висота рослин в середньому становила 4,32 м, приріст до контролю (без внесення добрив) був більшим на 0,36 м або на 8%.

Формування більших за висотою рослин за застосування доз азоту спостерігалось й у сорту 'Тернопільська'. В даного сорту була зафіксована найнижча висота рослин на рівні 3,68 м на варіанті без внесення добрив. За внесення 35 кг/га д.р. добрив та 70 кг/га

д.р. висота сорту 'Тернопільська' становила 4,08 та 4,24 м відповідно, або 10 та 14% до варіанту без внесення добрив.

Розрахунок частки впливу факторів показав, що в перший рік після зрізу на висоту рослин верби прутувидної суттєвий вплив має удобрення азотними добривами — 65%, а частка впливу сортових особливостей — 26%.

Внесення азотних добрив сприяло кращому відростанню рослин, збільшенню приросту надземної маси в перший рік і покращенню біометричних показників у наступних роках. У 2019 році найвищі показники висоти залишилися в сорту 'Тора' з внесенням 200 кг/га аміачної селітри (N70) — 6,10 м (табл. 1). У варіанті без добрив

**Таблиця 1.**

**Середня висота енергетичних плантацій верби залежно від сортових особливостей та внесення добрив, м**

Сорт	Удобрення, кг/га д.р.			Середнє фактор Б (НІР05=1,1м)
	Без добрив	N35	N70	
2018				
Тора	3,96	4,32	4,67	4,32
Тернопільська	3,50	4,08	4,24	3,94
Середнє фактор А (НІР05=0,7м)	3,73	4,20	4,46	4,13
2019				
Тора	5,57	5,79	6,10	5,82
Тернопільська	4,56	5,23	5,53	5,11
Середнє фактор А (НІР05=0,7м)	5,07	5,51	5,82	5,47
2020				
Тора	6,29	6,52	6,78	6,53
Тернопільська	5,22	5,58	5,79	5,53
Середнє фактор А (НІР05=0,7м)	5,76	6,05	6,29	6,03
НІР05 загальна за роками: 2018 – 0,2 м; 2019 – 0,6 м; 2020 – 0,1 м				

висота становила 5,57 м. За внесення N35 висота рослин в середньому становила 5,79 м. Сорт 'Тернопільська' за другий рік вегетації також значно збільшив параметри висоти. Найвищі рослини спостерігалися у варіанті з внесенням дози добрив N70—5,53 м, за внесення N35 висота становила 5,23 м, а на контролі (без внесення добрив) — лише 4,56 м. При цьому спостерігається зменшення частки впливу добрив на висоту рослин верби до 39,2%, а частка впливу сортових особливостей стала переважати й становила 52,1%.

Протягом третього вегетаційного періоду (2020 р.) позитивний вплив добрив на середню висоту кущів ще спостерігався, але різниця між показниками висоти між варіантами досліду зменшилася. Найвищі рослини в кінці другого циклу вирощування з внесенням аміачної селітри сформував сорт 'Тора' у варіанті з максимальною дозою підживлення N70—6,78 м, що більше контролю на 8%, де показник висоти становив 6,29 м. За внесення дози азоту N35 висота рослин становила 6,52 м. Найнижчі рослини в кінці другого циклу вирощування було відмічено на контрольному варіанті сорту 'Тернопільська' — 5,22 м, а збільшення дози азоту до N35 та N70 сприяло збільшенню висоти до 5,58 м та 5,79 м відповідно. В третій рік вегетації спостерігається зменшення частки впливу добрив на висоту рослин верби прутувидної до 15,4%, а частка впливу сортових особливостей зростає до 82,9%.

Проведені дослідження також показали, що внесення аміачної селітри в нормах N35 та N70 мало суттєвий позитивний вплив на продуктивність біомаси. Як видно з наведених даних, продуктивність однорічної вербової біомаси значною мірою залежить від внесення мінеральних добрив (табл. 2).

Зокрема, в досліджуваних сортів вищі показники продуктивності отримані за внесення більшої із двох застосованих норм аміачної селітри — 70 кг діючої речовини на 1 га. При цьому, в сорту 'Тора' зростання становило 13,2 т/га, а у сорту 'Тернопільська' — 8,1 т/га. За внесення 100 кг/га азотних добрив зростання було не істотне й становило 5,6 та 0,8 т/га в сорту 'Тора' та 'Тернопільська' відповідно.

Розрахунок частки впливу досліджуваних чинників на продуктивність однорічної порослі енергетичних плантацій верби прутувидної показав, що впродовж першого року вегетації найбільший вплив на продуктивність має

внесення азотних — 51%, вплив сортових становив 38%.

Протягом другого року вегетації врожайність абсолютно сухої біомаси сорту 'Тора' становила 41,5–50,5 т/га залежно від дози внесення добрив. При цьому врожайність зростала з кожним збільшенням норми внесення добрив на 5,2 та 9,0 т/га відповідно. Врожайність сорту 'Тернопільська' на контрольному варіанті становила 31,2 т/га сухої біомаси. Внесення добрив зі збільшенням їх дози зумовило зростання врожайності на 4,6 та 8,8 т/га відповідно. Розрахунок частки впливу факторів на врожайність показує, що впродовж другого року вирощування частка впливу сортових особливостей вирівнялася з часткою впливу добрив (відповідно, 49,5 та 49,4%).

Найвищу врожайність в кінці другого циклу вирощування сформував сорт 'Тора' у варіанті з максимальною дозою підживлення N70–74,1 т/га, що більше контролю на 13%, де врожайність становила 65,3 т/га. За внесення N35 урожайність становила 68,1 т/га, що більше контрольного варіанту на 4%.

Сорт 'Тернопільська' виявився менш продуктивним. На варіантах із внесенням мінеральних добрив урожайність плантацій сорту 'Тернопільська' зростала порівняно до контролю без добрив (55,6 т/га) зі збільшенням їх дози на 3,7 та 9,3 т/га відповідно.

На нашу думку, різницю між варіантами удобрення в другий і третій роки вегетації можна пояснити тим, що аміачна селітра, яка має нітратну (NO<sub>3</sub>) та амонійну (NH<sub>4</sub>) форми азоту, значною мірою була поглинута рослинами в перший рік та сприяла закладанню потенціалу для формування потужних і стійких до стрес-факторів рослин у наступні роки вегетації.

В третій рік вегетації спостерігало-

Середня врожайність енергетичної верби залежно від сортових особливостей та внесення добрив, т/га

Таблиця 2.

Сорт	Удобрення, кг/га д.р.			Середнє фактор Б
	Без добрив	N35	N70	
2018				
Тора	20,4	26,0	33,6	26,7
Тернопільська	16,0	16,8	24,1	19,0
Середнє фактор А	18,2	21,4	28,9	22,8
2019				
Тора	41,7	47,4	53,2	45,4
Тернопільська	29,4	36,3	44,2	36,6
Середнє фактор А	35,6	41,9	48,7	41,0
2020				
Тора	65,3	68,1	74,1	69,2
Тернопільська	55,6	59,3	64,9	59,9
Середнє фактор А	60,5	63,7	69,5	65,6
HIP05 загальна за роками: 2018-6,4 т/га; 2019-3,7 т/га; 2020-1,1 т/га				

ся зменшення частки впливу добрив на висоту рослин верби прутювидної до 37,1%, а частка впливу сортових особливостей стала переважати й досягла 56,2%.

**Висновки.** Сортові особливості та внесення азотних добрив суттєво впливають на біометричні показники верби прутюподібної, а також на її врожайність протягом другого трирічного циклу вирощування.

Зі збільшенням дози внесення азотних добрив у всіх варіантах досліджу спостерігалося зростання середньої висоти кущів. Найвищі рослини в кінці другого циклу вирощування (6,78 м) сформував сорт 'Тора' на варіанті з максимальною дозою підживлення (N70), на контролі — 6,29 м, а за внесення азоту N35 висота рослин становила 6,52 м. Найнижчі рослини в кінці

другого циклу вирощування було відмічено на контрольному варіанті сорту 'Тернопільська' — 5,22 м. Застосування азоту в нормі N35 та N70 сприяло збільшенню висоти до 5,58 м та 5,79 м відповідно.

Найвищу врожайність в кінці другого циклу вирощування сформував сорт 'Тора' у варіанті з максимальною дозою підживлення (N70) — 74,1 т/га (24,7 т/га у рік), що більше контролю на 13%, де врожайність була на рівні 65,3 т/га (21,8 т/га у рік). За внесення N35 урожайність сухої біомаси становила 68,1 т/га (22,7 т/га у рік), що більше контрольного варіанту на 4%.

На контрольному варіанті сорту 'Тернопільська' врожайність становила 55,6 т/га (18,5 т/га у рік), а на варіантах із внесенням мінеральних добрив — зростала на 3,7 та 9,3 т/га відповідно.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Буданцов, П. Б. Применение минеральных удобрений для увеличения интенсивности роста черенковых саженцев ивы / П. Б. Буданцов, В. В. Чумаков., Э. В. Бердникова // Интенсиф. выращивания лесопосадоч. матер.: Тез. докл. Всерос. науч.-практ. конф. Йошкар-Ола 11–13 сент., 1996. — Йошкар-Ола, 1996. — С. 46–47.
- Енергетична верба: технологія вирощування та використання: монографія / за ред. В. М. Сінченка / [М. В. Роїк, В. М. Сінченко, Я. Д. Фучило та ін.]. — Вінниця: ТОВ «Нілан ЛТД», 2015. — 340 с.
- Методологія дослідження енергетичних плантацій верб і тополь: монографія / за ред. члена-кореспондента НААН В. М. Сінченка / [Я. Д. Фучило, В. М. Сінченко, О. М. Ганженко, М. Я. Гументик та ін.]. — К.: ТОВ «ЦП «Компринт», 2018. — 137 с. (ISBN978–966–929–733–4).
- Фучило, Я. Д., Сбитна, М. В. Верби України: біологія, екологія, використання. Київ: Компринт, 2017. 256 с.
- Abrahamson, L.P., T. A. Volk, R. F. Kopp, E. H. White, and J. L. Ballard. 2002. Willow biomass producer's handbook (Revised). SUNY-ESF, Syracuse, NY.
- Adegbidi HG, Briggs RD, Volk TA, White EH, Abrahamson LP

(2003) Effect of organic amendments and slow-release nitrogen fertilizer on willow biomass production and soil chemical characteristics. Biomass Bioenergy 25(4):389–398.

7. Labrecque M, Teodorescu TI, Daigle S (1997) Biomass productivity and wood energy of Salix species after 2 years growth in SRIC fertilized with wastewater sludge. Biomass Bioenergy 12(6):409–417.

8. Weger J., Havlíčková K., Bubeník J. Results of testing of native willows and poplars for short rotation coppice after three harvests. Aspects of Applied Biology. 2011. No. 112. P. 335–340.

9. Willebrand E., Verwijst T. Population dynamics of Willow coppice systems and their implications for management of short-rotation forest. The Forestry Chronicle. 1993. Vol. 69, No. 6. P. 699–704. doi: 10.5558/ffc69699–6.

10. Willow Varietal Identification Guide / B. Caslin, J. Finnan, A. McCracken (eds) / Crops Research Centre, Carlow & Agri-Food Bioscience Institute. Carlow, Ireland: Teagasc, 2012. 64 p.

11. Willows for Biomass Heating. URL: <http://www.sodui.lt/Willows-for-Biomass-Heating-707.html>.

12. Zamora D. S., Apostol K. G., Wyatt G. J. Biomass production



and potential ethanol yields of shrub willow hybrids and native willow accessions after a single 3-year harvest cycle on marginal lands in central Minnesota, USA. *Agroforestry Systems*. 2014. Vol. 88, Iss. 4. P. 593–606. doi: 10.1007/s10457-014-9693-6.

## REFERENCES

1. Budantsov, PB Application of mineral fertilizers to increase the growth intensity of willow cuttings / PB Budantsov, VV Chumakov, E. V. Berdnikov // *Intensif. cultivation of afforestation. Mater. : Tez. dokl. All-Russian. scientific-practical conf. Yoshkar-Ola Sept. 11–13, 1996.* — Yoshkar-Ola, 1996. — P. 46–47.
2. Energy willow: technology of cultivation and use. / ed. V. M. Sinchenko / [MV Roik, VM Sinchenko, Ya. D. Fuchylo and others]. — Vinnytsia: Nilan Ltd., 2015. — 340 p.
3. Methodology of research of energy plantations of willows and poplars: monograph / ed. Corresponding Member of NAAS VM Sinchenko / [Ya. D. Fuchylo, VM Sinchenko, OM Ganzenko, M. Ya. Humenyk and others]. — K.: TOB «ЦП» Компрінт», 2018. — 137 с. (ISBN978-966-929-733-4).
4. Fuchylo, Ya. D. & Sbytina, M. V. (2009). *Verby Ukrainy (biolohiia, ekolohiia, vykorystannia) [Willows of Ukraine: biology, ecology, use]*. Kyiv: Logos. [in Ukrainian].
5. Abrahamson, L.P., T. A. Volk, R. F. Kopp, E. H. White, and J. L. Ballard. 2002. *Willow biomass producer's handbook (Revised)*. SUNY-ESF, Syracuse, NY.
6. Adegbiyi HG, Briggs RD, Volk TA, White EH, Abrahamson LP (2003) Effect of organic amendments and slow-release nitrogen fertilizer on willow biomass production and soil chemical characteristics. *Biomass Bioenergy* 25(4):389–398.
7. Labrecque M, Teodorescu TI, Daigle S (1997) Biomass productivity and wood energy of *Salix* species after 2 years growth in SRIC fertilized with wastewater sludge. *Biomass Bioenergy* 12(6):409–417.
8. Weger J., Havlíčková K., Bubeník J. Results of testing of native willows and poplars for short rotation coppice after three harvests. *Aspects of Applied Biology*. 2011. No. 112. P. 335–340.
9. Willebrand E., Verwijst T. Population dynamics of Willow coppice systems and their implications for management of short-rotation forest. *The Forestry Chronicle*. 1993. Vol. 69, No. 6. P. 699–704. doi: 10.5558/tfc69699-6.
10. Willow Varietal Identification Guide / B. Caslin, J. Finnan, A. McCracken (eds) / Crops Research Centre, Carlow & Agri-Food Bioscience Institute. Carlow, Ireland: Teagasc, 2012. 64 p.
11. Willows for Biomass Heating. URL: <http://www.sodui.lt/Willows-for-Biomass-Heating-707.html>.
12. Zamora D. S., Apostol K. G., Wyatt G. J. Biomass production and potential ethanol yields of shrub willow hybrids and native willow accessions after a single 3-year harvest cycle on marginal lands in central Minnesota, USA. *Agroforestry Systems*. 2014. Vol. 88, Iss. 4. P. 593–606. doi: 10.1007/s10457-014-9693-6.

## АНОТАЦІЯ

УДК 630\*232+504.73:582.632.2

## Вплив азотних добрив на продуктивність енергетичної біомаси верби прутівидної

Вокальчук Б. М., аспірант;

Фучило Я. Д., доктор сільськогосподарських наук, професор.

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна, e-mail: [bv753m@gmail.com](mailto:bv753m@gmail.com)

**Мета.** Визначити оптимальну норму азотних добрив для підживлення енергетичних плантацій верби прутівидної перед початком другого трирічного циклу вирощування в умовах Центрального Лісостепу України. **Методи досліджень.** Польовий, аналітичний, статистичний. **Результати досліджень.** Внесення аміачної селітри сприяло активному початку вегетації та значному приросту надземної маси за висотою. В кінці першого року вегетації найвищі рослини сформувалися в сорту 'Тора' з внесенням N70–4,67 м, що більше ніж на контрольному варіанті (без внесення добрив) на 0,71 м, або на 16%. За внесення N35 середня висота рослин становила 4,32 м, що більше від контролю на 8%. Формування більших за висотою рослин за внесення більших доз азоту спостерігалася й у сорту 'Тернопільська'. Висота однорічної порослі цього сорту на контролі становила 3,68 м, за внесення N35–4,08 м, а за дози N70–4,24 м. В кінці другого циклу вирощування середня висота рослин сорту 'Тора' на контролі становила 6,29 м. Найвищими

виявилися рослини з внесенням аміачної селітри в максимальній дозі (N70) — 6,78 м, що більше контролю на 8%. За внесення N35 висота рослин становила 6,52 м. У сорту 'Тернопільська' найнижчі рослини в кінці другого циклу вирощування теж виявилися на контролі (5,22 м), а за збільшення дози азоту до N35 та N70 висота зростала, відповідно, до 5,58 та 5,79 м. При цьому спостерігалось зменшення частки впливу добрив на висоту рослин верби до 15,4%, а частка впливу сортових особливостей зростає до 82,9%. Також внесення азоту мало позитивний вплив на приріст біомаси. Врожайність сухої біомаси трирічних енергетичних плантацій верби в другому циклі вирощування на контролі (без внесення добрив) становила: у сорту 'Тора' — 65,3 т/га (21,8 т/га у рік) абсолютно сухої біомаси, а у сорту 'Тернопільська' — 55,6 т/га (18,5 т/га у рік). У варіанті з внесенням аміачної селітри у дозі N35 збільшувався до контролю в сорту 'Тора' на 2,8 т/га і на 3,7 т/га у сорту 'Тернопільська'. Підвищення дози азоту до N70 підвищувало врожайність сухої біомаси в сортів 'Тора' та 'Тернопільська', відповідно, на 8,8 т/га та 9,3 т/га порівняно з контролем. **Висновки.** Внесення аміачної селітри та сортові особливості мають суттєвий вплив на врожайність енергетичної біомаси верби. Із двох досліджуваних сортів верби прутівидної на вилугуваних чорноземях Центрального Лісостепу України більш інтенсивним ростом і вищою продуктивністю протягом другого трирічного циклу вирощування відзначався сорт 'Тора'. Рослини обох сортів відзначаються вищими показниками врожайності за внесення азоту в дозі 70 кг/га д.р.

**Ключові слова:** енергетична верба, сорт 'Тора', сорт 'Тернопільська', аміачна селітра, висота рослин, продуктивність біомаси.

## ABSTRACT

## Effects of nitrogen fertilizers on the productivity of energy biomass of willow

B. Vokalchuk, Ya. Fuchylo

Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet NAAS, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine, e-mail: [bv753m@gmail.com](mailto:bv753m@gmail.com)

**Purpose.** Determine the optimal rate of nitrogen fertilizers for fertilizing energy plantations of willow before the start of the second three-year cultivation cycle in the Central Forest-Steppe of Ukraine.

**Research methods.** Field, analytical, statistical. **Results and discussion.** Applying of ammonium nitrate contributed to the active beginning of the growing season and the increase in the plant mass in height. At the end of the first year of vegetation, the tallest plants were formed in variety 'Tora' using N70–4.67 m, which is more than in the control version (without fertilizer) by 0.71 m, or 16%. For N35, the average plant height was 4.32 m, which is 8% more than the control. The formation of more tall plants to restore more nitrogen was found in the variety 'Ternopilka'. Height of annual plant of this variety in control was 3.68 m, for application N35–4.08 m, and for dose N70–4.24 m. At the end of the second growing cycle, the average height of plants of the variety 'Tora' in control variant was 6.29 m. The highest plants with the distribution of ammonium nitrate in the maximum dose (N70) were 6.78 m, which is more than in control variant by 8%. For the application of N35, the height of plants of the plantation was 6.52 m and 5.79 m. In this case, the decrease in the share affects the height of plants up to 15.4%, and the share affects the varietal characteristics of growth up to 82.9%. Also nitrogen had a positive effect on biomass growth. The yield of dry biomass of three-year-old energy willow plantation in the other part of cyclic production under control (without fertilizers) was 65.3 t/ha (21.8 t/ha/year) of dry biomass in 'Tora' variety, and 55.6 t/ha (18.5 t/ha/year) in 'Ternopilka' variety. In the variants with the use of ammonium nitrate in the dose of N35, the indicator increased due to the control in variety 'Tora' by 2.8 t/ha and by 3.7 t/ha in the variety 'Ternopilka'. Increasing the nitrogen dose to N70 increases the yield of dry biomass in the varieties 'Tora' and 'Ternopilka' by 8.8 t/ha and 9.3 t/ha, respectively, compared to the control. **Conclusions.** The application of ammonium nitrate and varietal characteristics have a significant impact on the yield of energy biomass of willow. Of the two studied varieties of willow on chernozem soil of the Central Forest-Steppe of Ukraine, the variety 'Tora' was noted for more intensive growth and higher productivity during the second three-year growing cycle. Plants of both varieties are characterized by higher yields for nitrogen application at a dose of 70 kg/ha a.i.

**Keywords:** energy willow, variety 'Tora', variety 'Ternopilka', ammonium nitrate, plant height, productivity.

УДК 631.630\*266

# ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ В АГРОЛІСІВНИЦТВІ НА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ УГІДДЯХ ПОЛІССЯ УКРАЇНИ

Я. Д. ФУЧИЛО<sup>1,2</sup>,доктор сільськогосподарських наук,  
професор;І. Д. ІВАНЮК<sup>2</sup>,доктор сільськогосподарських наук,  
доцент;Я. П. МАКУХ<sup>1</sup>,

доктор сільськогосподарських наук, с.н.с.;

В. Ю. ЮХНОВСЬКИЙ<sup>3</sup>,доктор сільськогосподарських наук,  
професор;С. О. РЕМЕНЮК<sup>1</sup>,кандидат сільськогосподарських наук,  
с.н.с.;В. М. КУСІК<sup>2</sup>,

викладач.

<sup>1</sup>Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, м. Київ  
<sup>2</sup>Малинський фаховий коледж, с. Гамарня Житомирської області  
<sup>3</sup>Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ

**Постановка проблеми.** Проблема пошуку нових перспективних напрямків сталого та раціонального використання сільськогосподарських угідь в умовах зміни клімату може бути вирішена методами агролісівництва [2, 3, 4]. Агролісівництво (agroforestry) — відносно новий напрямок господарювання, який поєднує одночасне вирощування на одній і тій же ділянці деревних рослин і сільськогосподарських культур, або сільськогосподарських тварин. При цьому отримується деревина, енергетична біомаса, продукти побічного користування лісовими ресурсами й якісна сільськогосподарська продукція. Водночас аграрний ландшафт захищається від несприятливих природно-антропогенних впливів, збагачується біорізноманіття, підтримуються на збалансованому рівні економічні, екологічні, соціальні та природні ресурси. В умовах глобальних змін клімату агролісівництво визначається як тип кліматично-сприятливого землеробства, що доцільно

поєднує деревну рослинність (дерева і чагарники) із сільськогосподарськими об'єктами (культурами або тваринами) з метою підвищення еколого-економічної ефективності агроландшафтів [11].

Агролісівництво здатне збільшити виробництво біомаси з гектара на 40% в середньому (між 20 і 80% на регіональному рівні) завдяки збільшенню площі листової поверхні (фотосинтетично активної площі) на одиницю території, що дозволяє ефективніше використовувати сонячну енергію порівняно з відкритими ділянками [8, 9, 10].

**Головними типами агролісівництва є:**

**Лісопольові угіддя (silvoarable)** — поєднання дерев та сільськогосподарських (садових) культур на орних угіддях, у міжряддях алей дерев, що мають відповідну до технологій господарювання ширину. Деревина є додатковою продукцією, яка підвищує економічні показники, без істотного скорочення основного врожаю сільськогосподарських культур.

**Лісопасовищні угіддя (silvopastoral)** — сумісне вирощування дерев і травостанів на пасовищах (сінокосах) чи фуражних культур у міжряддях алей дерев чи їх біогруп. Деревина забезпечують тінь і захист тварин від вітру, спеки, створюють комфортні умови для худоби, скорочують смертність молодняка при їх відкритому утриманні.

**Агролісопасовища**

(**agrosilvopastoral**) — комбінування перших двох способів у різних поєднаннях відповідно до природних особливостей агроландшафтів.

Лісові ферми (forest farm) — культивування конкурентної для регіону продукції під наметом лісових ділянок з унікальним мікрокліматом.

Лісові сади (forest garden) — агрономічна система, яка заснована на використанні дерев, кущів і вічнозелених рослин. Вони змішуються таким чином, щоб імітувати структуру природного лісу — найстійкішого виду екосистеми в помірному кліматі.

Дослідження вчених багатьох розвинутих країн світу за останні 20–30 років підтвердили, що агролісівництво може бути біологічно продуктивнішим, прибутковішим і більш конкурентоздатним, ніж окремо взяті лісівництво або сільськогосподарські монокультури [5, 6, 7, 11, 12, 13, 14].

Зважаючи на тренд до ксерифікації клімату України, стає актуальним перехід до системи агролісівництва не лише в малолісних і посушливих південних регіонах країни, а й на Поліссі. Зокрема, ефективними тут можуть виявитися лісопольові угіддя з використанням у якості деревного виду традиційної для цього регіону сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.). Сосну в регіоні досліджень можна використовувати як у вигляді однорядних посадок із вирощуванням у широких міжряддях сільськогосподарської продукції, або по вершинах піщаних пагорбів, характерних для поліських ландшафтів, де через бідність

Таблиця 1.

Морфометрична характеристика трирічних культур сосни звичайної.

Морфометричні характеристики	Показники лісових культур сосни за роками			
	сіянці	1 (2019)	2 (2020)	3 (2021)
Висота, см	5,2±0,48	11,6±0,44	26,0±1,91	55,7±3,43
Приріст за висотою, см	5,2	6,4	14,4	29,7

і сухість ґрунтів ведення сільського господарства недоцільне, а соснові насадження сприятимуть поліпшенню екологічного стану довкілля та підвищенню врожайності сільськогосподарських культур.

Деревні рослини в системі агролісівництва в Україні, зважаючи на проблеми з енергетикою, можна використовувати також для отримання енергетичної біомаси [1]. У випадку з сосною біомаса може отримуватися під час проведення рубок догляду за насадженнями.

Метою проведених досліджень було вивчення особливостей вирощування насаджень сосни звичайної та перспектив їх використання в агролісівництві Житомирського Полісся на прикладі сільськогосподарських угідь Малинського фахового коледжу.

**Матеріал і методика досліджень.** Об'єктами досліджень були створені навесні 2019 року однорічними сіянцями лісові культури сосни звичайної на підвищених ділянках серед сільськогосподарських угідь. Обробіток ґрунту — прокладання борозен плугом ПКЛ-70. Садіння сіянців — вручну, під меч Колесо́ва. Розміщення садивних місць — 2,0 x 0,7 м. Незважаючи на проведені ручні догляди в ряду та механізовані у міжряддях, на весну 2021 року площа виявилася сильно забур'яненою пірієм повзучим, що могло призвести до загибелі насаджень, тому було прийнято рішення застосувати селективний системний гербіцид «Таргон Плюс», призначений для боротьби з однорічними та багаторічними злаковими бур'янами в посівах сільськогосподарських культур (буряка, сої, соняшника тощо). Гербіцид вносився в дозі, ре-

комендованій виробником. Щорічно, після завершення вегетаційного періоду, за традиційними методиками проводились дослідження приживлюваності та росту саджанців.

Другим дослідним об'єктом були дві ділянки зімкнутих культур сосни звичайної віком 15 років, які розташовані поряд із досліджуваними трирічними культурами й були свого часу створені за такою ж технологією, але які відрізняються за інтенсивністю догляду за ними на етапі проведення перших рубок догляду. Метою дослідження було встановлення морфометричних показників і продуктивності деревини та оцінити можливість їх впливу на прилеглі сільськогосподарські угіддя.

**Результати досліджень.** В результаті проведених досліджень на першому об'єкті було встановлено, що на час досліджень збереженість саджанців сосни становила 79,2%.

Висота надземної частини сіянців на час садіння становила 5,2±0,48 см, а після завершення третього вегетаційного періоду (вік рослин — 4 роки) їх середня висота зросла до 55,7±3,43 см (табл. 1).

Протягом першого періоду вегетації приріст рослин за висотою склав 6,4 см, а висота рослин — 11,6±0,44 см. Після завершення другого року вегетації висота рослин зросла до 26,0±1,91 см, а за наступний рік збільшилась більш ніж у 2 рази й досягла 55,7±3,43 см. Такий значний приріст, вочевидь, забезпечило знищення злакової рослинності застосованим гербіцидом, внаслідок чого покращилися умови росту саджанців.

Висока збереженість саджанців та їх інтенсивний ріст за останній веге-

таційний період дозволяють робити оптимістичні прогнози щодо їх майбутнього, особливо зважаючи на наявність поряд створених за схожою агротехнікою біотично-стійких 15-річних соснових насаджень (табл. 2).

Як видно з наведених даних, на дерново-підзолистих ґрунтах регіону досліджень створюються сприятливі умови для росту насаджень сосни звичайної. Тут вони характеризуються високими морфометричними показниками та значною продуктивністю деревини. Охарактеризовані в таблиці 2, 15-річні насадження були створені за початкової густоти 7,1 тис. сіянців на 1 га, а в подальшому — розрізнені, відповідно, до 2982 та 1691 шт./га, на час досліджень практично не відрізняються за показниками продуктивності (в густішому варіанті вона лише на 2,6% більша). В той же час, на 17,0% більша висота дерев та на 23,8% більший діаметр дозволяють рідкому насажденню мати більш позитивний вплив на оточуючі його сільськогосподарські угіддя, більш інтенсивно зростати в майбутньому й перевершити за продуктивністю густіший варіант. Це вказує на доцільність створювати в регіоні досліджень у якості лісівничої складової агроландшафтів насаджень сосни звичайної з густотою у віці 15 років близько 1700 дерев на 1 га.

**Висновки.** Агролісівництво, зважаючи на тренд клімату до підвищення температурного режиму, є основним шляхом поліпшення якості природного середовища та біологічного різноманіття як малолісних посушливих регіонів України, так і Полісся.

Сосна звичайна на дерново-підзолистих супіщаних ґрунтах Житомирського Полісся проявляє, за застосування ефективних заходів боротьби з небажаною рослинністю, інтенсивний ріст — як у перші роки після садіння сіянців, так і на пізніших етапах, що дозволяє широко застосовувати її насадження для поліпшення екологічного стану сільськогосподарських земель і додаткового отримання на них одночасно з сільськогосподарською продукцією деревини та енергетичної біомаси.

Таблиця 2.

Лісівничо-таксаційна характеристика 15-річних штучних насаджень сосни звичайної на сільськогосподарських угіддях Малинського фахового коледжу.

Умови догляду за насадженнями	Морфометричні показники насаджень			
	кількість дерев на 1 га, шт	середня висота дерев, м	середній діаметр дерев, см	запас, м3/га
Без проріджування	2986	5,3	10,1	79
З проведенням прочистки	1691	6,2	12,5	77
Різниця, %	43,4	-17,0	-23,8	2,6

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Роїк М. В., Фучило Я. Д., Ганженко О. М. Теоретичні та прикладні аспекти використання агролісомеліоративних насаджень України в енергетичних цілях // Біоенергетика / Bioenergy. № 1 (17). 2021. С. 5–8.
2. Юхновський В. Ю., Гладун Г. Б., Соваков О. В., Лобченко Г. О. Сучасний стан, проблеми і перспективи розвитку агролісівництва в Україні // Відтворення лісів та лісова меліорація в Україні: витоки, сучасний стан, виклики сьогодення та перспективи в умовах антропоцену: монографія / за заг. ред. проф. Ніколаєнка С. М. Київ: Ліра-К, 2019. 269–283.
3. Chirko CP, Gold MA, Nguyen PV, Jiang JP (1996) Influence of direction and distance from trees on wheat yield and photosynthetic photon flux density (Qp) in a Paulownia and wheat intercropping system. For Ecol Manage 83:171–180. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(96\)03721-8](https://doi.org/10.1016/0378-1127(96)03721-8).
4. Douglas G., Walcroft A., Hurst S. et al. Interactions between widely spaced young poplars (*Populus spp.*) and introduced pasture mixtures. Agroforestry Systems. 66(2). 2006. 165–178.
5. Dupraz C., Burgess P., Gavaland A. et al. Synthesis of the Silvoarable Agroforestry For Europe project. INRA-UMR System Editions. Montpellier. 2005. 254 p.
6. Garrett H., Buck L., Gold M. et al. Agroforestry: An Integrated Land-Use Management System for Production and Farmland Conservation. Resource Conservation Act (RCA) Appraisal of U. S. Agroforestry USDA Natural Resources Conservation Service, 1994. 58 p.
7. Hasanuzzaman M. Classification of agroforestry systems — [Електронний ресурс], режим доступу: <http://hasanuzzaman.webs.com/forstudents.htm>.
8. Moreno G, Aviron S, Berg S, Crous-Duran J, Franca A, Garcia de Jalon S, Hartel T, Mirck J, Pantera A, Palma JHN, Paulo JA, Re GA, Sanna F, Thenail C, Varga A, Viaud V, Burgess PJ (2018) Agroforestry systems of high nature and cultural value in Europe: provision of commercial goods and other ecosystem services. Agrofor Syst 92:877–891. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0126-1>.
9. Mosquera-Losada M., Moreno G., Pardini L. et al. Past, Present and Future of Agroforestry Systems in Europe. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://www.agrooof.net/agrooof\\_ressources /documents /201210\\_eu\\_agroforesterie.pdf](http://www.agrooof.net/agrooof_ressources /documents /201210_eu_agroforesterie.pdf).
10. Mosquera-Losada M-R., Pantera A., Rosati A., Amaral J., Smith J., Rigueiro-Rodn'guez A., Watte J., Dupraz C. What priorities for European Agroforestry? The First European agroforestry conference (Brussel, 9–10 October, 2012). 73.
11. Rigueiro-Rodriguez A., VcAdam J., Vosquera-Losada MR. Agroforestry in Europe Current Status and Future Prospect. Springer. 2009.
12. Reisner Y., de Filippi, Herzog F. et al. Target regions for silvoarable agroforestry in Europe. Ecological Engineering. 29(4). 2007. P. 401–418.
13. Sharma N., Singh R. Dry Matter Accumulation and Nutrient Uptake by Wheat (*Triticum aestivum L.*) under Poplar (*Populus deltoides*) Based Agroforestry System. Agronomy. 2012. Article ID359673. 1–7.
14. Stancheva J., Bencheva S., Petkova K. et al. Possibilities for agroforestry development in Bulgaria: Outlooks and limitations. Ecological Engineering. 29(4). 382–387.

**АНОТАЦІЯ**

УДК 631.630\*266

**Перспективи використання сосни звичайної в агролісівництві на сільськогосподарських угіддях Полісся України**

Фучило Я. Д.<sup>1,2</sup> — доктор сільськогосподарських наук, професор;

Іванюк І. Д.<sup>2</sup> — доктор сільськогосподарських наук, доцент;  
Макух Я. П.<sup>1</sup> — доктор сільськогосподарських наук, с.н.с.;  
Юхновський В.Ю., З — доктор сільськогосподарських наук, професор;

Ременюк С. О.<sup>1</sup> — кандидат сільськогосподарських наук, с.н.с.;  
Кусік В. М.<sup>2</sup> — викладач.

<sup>1</sup>Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, м. Київ.

<sup>2</sup>Малинський фаховий коледж, с. Гамарня Житомирської області.

<sup>3</sup>Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ.

**Мета.** Вивчення особливостей вирощування насаджень сосни звичайної та перспектив їх використання в агролісівництві Житомирського Полісся на прикладі сільськогосподарських угідь Малинського фахового коледжу. **Методи.** Польовий, лабораторний, аналітичний, статистичний. **Результати.** На дерново-підзолистих супіщаних ґрунтах Житомирського Полісся саджанців сосни після трьох років вирощування становить 79,2%, а висота — 55,7±3,43 см. Максимальний приріст за висотою спостерігався протягом третього року вирощування насадження, коли на початку вегетації за допомогою гербіциду «Таргон Плюс» було зменшено до мінімуму вплив злакової рослинності, внаслідок чого покращилися умови росту саджанців. Висока збереженість рослин сосни та їх інтенсивний ріст дозволяють робити оптимістичні прогнози щодо доцільності їх вирощування в якості лісової складової агроландшафтів, особливо зважаючи на наявність поряд створених за схожою агротехнікою біотично-стійких 15-річних соснових насаджень. Вони були створені за початкової густоти 7,1 тис. сіянців на 1 га, а в подальшому — розріджені, відповідно, до 2982 та 1691 шт./га. За практично однакових показників продуктивності більша висота дерев (на 17,0%) та більший їх середній діаметр (на 23,8%) дозволяють рідкому насадженню мати більш позитивний вплив на прилеглі сільськогосподарські угіддя, більш інтенсивно зростати й мати в майбутньому вищі показники продуктивності. Це вказує на доцільність створювати в регіоні досліджень у якості лісівничої складової агроландшафтів насаджень сосни звичайної з густотою у віці 15 років близько 1700 дерев на 1 га.

**Ключові слова:** агроландшафти, агролісівництво, сосна звичайна, гербіцид «Таргон Плюс», збереженість і висота саджанців, продуктивність біомаси

**ABSTRACT**

UDC631.630 \* 266

**Prospects of using pine in agriculture on agricultural land in Polissia of Ukraine**

Ya. D. Fuchylo<sup>1,2</sup>, Doctor of Agricultural Sciences, Professor;  
I. D. Ivaniuk<sup>2</sup>, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor;  
Ya. P. Makukh<sup>1</sup>, Doctor of Agricultural Sciences, Senior Research Fellow;

V. Yu., Yukhnovskiy<sup>3</sup>, Doctor of Agricultural Sciences, Professor;  
S. O. Remeniuk<sup>1</sup>, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Research Fellow;

V. M. Kusik<sup>2</sup>, lecturer.

<sup>1</sup>Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet NAAS of Ukraine, Kyiv

<sup>2</sup>Malynsky Vocational College, Hamarnya, Zhytomyr region

<sup>3</sup>National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine, Kyiv

**Goal.** Study of peculiarities of growing pine stands and prospects of their use in agroforestry of Zhytomyr Polissia on the example of agricultural lands of Malyn Vocational College. **Methods.** Field, laboratory, analytical, statistical. **Results.** On sod-podzolic sandy soils of Zhytomyr Polissia pine seedlings after three years of cultivation were 55.7 ± 3.43 cm in height. The maximum increase in height was observed during the third year of cultivation of the plantation, when at the beginning of the growing season with herbicide Targon Plus the impact of cereal vegetation reduced to a minimum, resulting in improved seedling growth conditions. The high preservation of pine plants and their intensive growth allow us to make optimistic forecasts about the feasibility of growing them as a forest component of agricultural landscapes, especially given the presence of biotically stable 15-year-old pine plantations created by similar agricultural techniques. They were laid at an initial density of 7.1 thousand seedlings per 1 ha, and later thinned to 2982 and 1691 plants/ha, respectively. With almost the same productivity indicators, higher tree height (by 17.0%) and larger average diameter (by 23.8%) allow thinner plantations to have a more positive impact on adjacent agricultural lands, grow more intensively and have higher productivity in the future. This indicates the expediency of pine plantations in the region of research as a forestry component of agrolandscapes a density at the age of 15 years of about 1700 trees per 1 ha.

**Keywords:** agrolandscapes, agroforestry, common pine, herbicide Targon Plus, safety and height of seedlings, biomass productivity

# РОЛЬ ЖУРНАЛУ «ЦУКРОВІ БУРЯКИ» В ПОПУЛЯРИЗАЦІЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ «ЕНЕРГЕТИЧНИХ» КУЛЬТУР І ТЕХНОЛОГІЙ ЇХ ПЕРЕРОБЛЕННЯ НА БІОПАЛИВО (1997–2018 рр.)

**ЯГОЛЬНИК О.О.** —

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

**ЯГОЛЬНИК О.Г.** —

член редколегії журналу в 1997–2018 рр.,  
екс-редактор журналу «Цукрові буряки».

Україна за часів СРСР, а потім і в роки незалежності, по праву вважалася лідером у галузі буряківництва й одержання якісного цукру.

Не секрет: неабияку роль у цьому відіграв один із флагманів національної та світової бурякоцукрової галузі — Інститут біоенергетичних культур та цукрових буряків (ІБКіЦБ) НААН України, вчені якого, до речі, першими в світі здобули видатну перемогу — створили однонасінні сорти цукрових буряків і зібрали найбільшу в світі колекцію з понад 300 зразків цукрових, кормових буряків та їх диких співродичів, що є донорами й джерелом цінних ознак, необхідних для створення нових сортів і гібридів. Більш ніж промовистим є й той факт, що діяльність цієї, чи не найстарішої в Україні, наукової установи, розташованої в одному з наймалювничіших куточків Києва — Батисьвій горі, висвітлено в тисячах і тисячах монографій, навчальних підручників та наукових статей, що вийшли в світ на різних континентах планети.

Але самі українські буряківники до 1997 року не мали свого професійного україномовного друкованого видання типу журналу чи газети, хоча й була нагальна потреба в такому виданні.

Вирішилася ця проблема, коли Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України (до грудня 2010 року — Інститут цукрових буряків) очолив молодий, але вже відомий селекціонер і генетик, д.с.-г. наук М. В. Роїк, який до цього, із травня 1980 року до 1993 року, обіймав важливі науково-управлінські посади в подільській глибинці, зокрема, завідував відділом селекції, працював заступником, а згодом і директором Ялтущківської ДСС.

Багаторічний досвід нового очільника інституту безпомилково підказував: рух уперед може забезпечити не тільки інтенсивне вивчення біологічних особливостей цукрових буряків як однієї з головних енергетичних культур, що продукують у руках кмітливих господарів, окрім цукру,

етанол та біогаз, а й інтродукція та вирощування інших видів рослин для розширення асортименту сільськогосподарських культур, технології їх перероблення, включаючи й питання, пов'язані з підвищенням рівня обізнаності населення з перевагами й потенціалом безмежного світу рослин. Відтак, одразу після прийняття Комплексної державної програми енергозбереження України (Документ N148 від 05.02.1997), незважаючи на фінансову скруту та чималі потенційні витрати, М. В. Роїк ініціював заснування першого в історії нашої держави професійного науково-виробничого видання для буряківників — журналу «Цукрові буряки» («ЦБ»).

І це, як виявилось, був правильний крок: країна й буряківники отримали видання, що дійсно стало комунікаційною платформою для виконання фахівцями своїх національних завдань і здійснення інших функцій, пов'язаних із розвитком галузі буряківництва, систематизацією інформації про досягнення з селекції й насінництва цукрових буряків та новітніх технологій їх виробництва, регулюванням взаємин між виробниками сировини й працівниками переробної промисловості, популяризацією досвіду галузі в цілому, а згодом і своєрідним «містком» у справі становлення й розвитку давно започаткованого, але навіть на сьогоднішній день маловивченого в Україні та світі напрямку, пов'язаного з вирощуванням цукрових буряків у взаємодії з іншими сільськогосподарськими культурами та технологіями їх прямого використання або ж у вигляді біомаси для виробництва біологічних палив та різних видів енергії.

Проілюструвати цю тезу можна на прикладі того ж таки журналу «Цукрові буряки». Адже, якщо уважно прослідкувати історію Інституту, то не можна не помітити одну промовисту деталь: окрім опікування цукровими буряками усі ці роки в його діяльності чітко проглядається ще одна пріоритетна лінія — пошук серед цукроносних, зернових, зернобобових, кормових, а також інших маловідомих рослин так званих «енергетичних» сільськогосподарських культур — потенційних носіїв відновлюваної енергії, накопиченої рослинами завдяки фотосинтезу.

Власне, дослідження із засвоєння рослинами сонячної енергії (фотосинтезу) та процесів цукронакопичення в цукрових буряків, за даними к.с.-г.н. 1.1. Бойко та ряду інших учених (Буряківництво і біоенергетика..., 2017, С. 83), розпо-

чалися в інституті «майже відразу після його заснування (1922 р.) під керівництвом академіка Є. П. Вотчала і професора В. В. Колкунова». На початку 30-х років ХХ ст. у структурі одного з підрозділів ВНІСП — Веселоподільської селекційної станції була навіть лабораторія селекції небурякових культур (Буряківництво і біоенергетика..., 2017, Мороз О. В., Смирних В. М., С. 194), яку з червня 1934 року до арешту КДБ в травні 1938 року очолював Д. П. Дузь-Крятченко — вчений, який, за свідченням Н. А. Неговського в КДБ УРСР у 1964 році, був безпідставно репресований (Д. П. Дузь-Крятченко помер у тюремній лікарні 28 квітня 1939 року). І коли в останні десятиріччя виробництво зажадало від науки більш предметної участі в розробці заходів, спрямованих на розвиток нової галузі за рахунок вирощування й перероблення так званих «енергетичних» культур, колективу вчених Інституту не довелося починати цю роботу з «нуля» — вони мали вже чималий досвід, який залишалось тільки розширити, щоб поглибити попередні напрацювання, пов'язані з вивченням і створенням нових сортів біоенергетичних культур, удосконаленням технологій їх вирощування та перероблення на біопаливо, забезпеченням обладнанням, розробкою принципів наукової перебудови сівозмін тощо.

Відомий український учений-біоенергетик В. С. Бондар, який «покроково» досліджував хронологію подій, пов'язаних із діяльністю ІБКіЦБ в контексті розвитку буряківництва та біоенергетики, фіксує й виявляють важливу роль інституту в культивуванні та створенні нових вітчизняних сортів і гібридів так званих «енергетичних» культур, формуванні та виконанні ПНД «Біоенергетичні ресурси» не тільки в наші дні. Скажімо, вже в 2007 р. на дослідних ділянках інституту висаджено перші зразки енергетичної верби, як сировини для біопалива; в 2008 році відбулася інтродукція світчграпу, в 2009 році — міскантусу.

У тому ж 2009 році відбулася ще одна пам'ятна для науковців інституту дата, що символізує процес «висівання» ними спільно з колегами з інших наукових установ «зерен енергетичної незалежності» — реалізація фантастичного на той час, першого в Києві проєкту «вирощування біосировини — виробництво біопалива — виготовлення твердопаливних котлів та застосування біопалива у вигляді пелет на енергетичних засобах (котлах) для опалення адміністративних будівель

інституту» в рамках програми «Розроблення та впровадження у виробництво сталих технологій вирощування й перероблення біомаси енергетичних культур і використання твердого біопалива як альтернативи викопним джерелам енергії», яку супроводжував потужний авторський науково-інженерний колектив — д.с.-г. наук, професор, академік НААН Я. М. Гадзало (НААН України), д.с.-г. наук, професор, академік НААН М. В. Роїк (ІБКІЦБ), доктор с.-г. наук, професор, член-кор. НААН В. М. Сінченко (ІБКІЦБ), д.б. наук, членкор. НААН України Н. В. Заїменко (Національний ботанічний сад ім. М. М. Гришка), к.т. наук О. М. Ганженко (ІБКІЦБ), к.с.-г. наук М. Я. Гументик (ІБКІЦБ), к.с.-г. наук В. М. Квак (ІБКІЦБ), керівник ТЗОВ «Наукове виробниче об'єднання «Еко-тех» В. А. Якубовський, директор компанії ТОВ «Салікс Енерджи» І. В. Гнап та ін. — що мав на меті привести в дію механізм, який зможе надати інституту можливість відмовитися від централізованого газового опалення й впровадити автономну систему обігрівання своїх службових приміщень та житлового фонду за рахунок відновлюваних джерел енергії, тобто, здійснити перехід від обігріву наукових корпусів і житлових будинків природним газом на опалення пелетами рослинного походження. Такий проєкт успішно втілено в життя; ось уже 12-й рік інститут використовує для своїх потреб альтернативне біопаливо (твердопаливні котли нового покоління, а також інше обладнання та комплектуючі, які також виготовлені за участі фахівців інституту).

Вочевидь, саме завдяки тому, що Інститут має історичні «корені» системного дослідження не лише проблематики вирощування цукрових буряків для отримання цукру, а й інших біоенергетичних культур, що використовуються для виробництва біодизеля, біоетанолу, біогазу й твердого палива, Національна академія аграрних наук України (НААН) перейменувала, дала флагманові буряківництва нову назву — «Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України», який одразу набув статусу головного наукового центру та координатора наукових досліджень НААН України по двох програмах досліджень — «Цукрові буряки» і «Біоенергетичні культури» (керівник обох програм — директор інституту, академік М. В. Роїк).

Якщо бути об'єктивним, то треба визнати: саме в наукових лабораторіях всесвітньо відомої наукової установи — ІБКІЦБ НААНУ, а також на полях її дослідно-селекційних станцій та господарств, започатковувався процес «переміщення» окремих так званих «енергетичних» сільськогосподарських культур у спеціальні біоенергетичні плантації, що, до речі, красномовно підтверджує й Золота медаль, якою інститут нагороджений за підсумками Міжнародного конкур-

су «Агро-2013» у номінації «За розробку засад використання сировинної бази для розвитку біоенергетики».

ІБКІЦБ, який є провідною установою з виконання програми наукових досліджень НААН України «Біоенергетичні ресурси», та мережа його дослідно-селекційних станцій і інших структурних підрозділів (Білоцерківська ДСС, Верхняцька ДСС, Веселоподільська ДСС, Іванівська ДСС, Уладово-Люлинецька ДСС, Ялтушківська ДСС, ДПДГ «Шевченківське», ДПДГ «Саливонківське», ДПДГ «Озерна») впродовж останніх 15 років системно проводять дослідження в царині ВДЕ, спрямовані на створення нових високопродуктивних сортів і гібридів так званих «енергетичних» рослин як сировинної бази для розвитку біоенергетики та їх сталого плантаційного вирощування. Наприклад, документально зафіксовано: станом на 2021 рік тільки на Дослідному полі ІБКІЦБ НААН України (Ксаверівка-2) виконуються 14 науково-дослідних завдань, у тому числі — 10 фундаментальних та 4 прикладних, значна частина яких зосереджена саме на вивченні біологічних та технологічних аспектів вирощування біоенергетичної маси низки культур: верби (11 сортів), тополі (9 сортів), міскантусу, проса прутovidного та інших. Створено тут і експериментальну полезахисну 4-рядну лісосмугу тополі з використанням 4-х сортів. Передбачається, що, крім повного виконання полезахисних функцій, вона буде інтенсивно використовуватись для отримання енергетичної біомаси — стане кінцевою ланкою замкнутого циклу технологічного циклу, своєрідним міні-полігоном для безпосереднього перероблення деревної маси верби, що заготовлена в процесі досліджень продуктивності енергетичних плантацій, на паливну тріску (див.: <https://bio.gov.ua/uk/bioenergy/news/>).

Тобто, є багато фактів, що дають підстави будь-якій неупередженій людині називати ІБКІЦБ серед першопрохідців становлення й розвитку сучасної біоаграрної науки.

На жаль, ці сторінки історії інституту, який у наступному році відзначатиме 100-річний ювілей від дня заснування, його унікальна роль і місце в розвитку «зеленої» (сільськогосподарської) біоенергетичної галузі України, якою, повторимося, науковці практично займаються від дня заснування інституту в 1922 році, ще не знайшли належного висвітлення.

Однак, спираючись на реальні писемні джерела можна, бодай частково, заповнити інформаційний вакуум у висвітленні даної теми й відновити деякі сторінки, що проливають світло на хронологію та окремі етапи розвитку біоенергетичної галузі в Україні, а також внесок у цю справу інституту, який не тільки створив — уперше в світовій науці й практиці — високопродуктивні конкурентоспроможні од-

нонасінні цукрові буряки та широко відомі нині сорти озимої пшениці, жита, гороху, вики ярої, проса й інших новітніх для України сільськогосподарських біоенергетичних культур, а й розробив низку сучасних енергоощадних біотехнологій їх вирощування та перероблення в біопаливо й різні види енергії.

Проілюструвати непересічну роль ІБКІЦБ НААН України в цих новаторських процесах можна, скажімо, й шляхом оглядового аналізу підшивки одного з найстаріших наукових видань — журналу «Цукрові Буряки» (1997–2018 рр.), який, по-суті, став першою в Україні комунікаційною платформою з популяризації перспектив нової галузі та практичного досвіду вітчизняних господарств і деяких зарубіжних країн у справі просування біоенергетичних культур і «зелених» технологій в економіку та залучення до нової справи цільової аудиторії агровиробників.

Втім, усе по-порядку.

Перший номер журналу «Цукрові буряки» вийшов у 1997 році й одним із перших у незалежній Україні був включений у 1998 р. до Переліку професійних наукових видань України, рекомендованих для публікації основних результатів докторських і кандидатських дисертацій по розділу «Сільськогосподарські науки».

Власне, з перших номерів журналу задекларував себе не просто як вузькогалузеве спеціалізоване тематичне видання буряково-цукрового комплексу, а й як своєрідний комунікаційний центр АПК. До сфери його інтересів увійшли моніторинг і комплексне висвітлення та розповсюдження в сконцентрованому виді найбільш важливої науково-обґрунтованої інформації про розвиток аграрного сектору України та суміжних галузей науки й виробництва в цілому.

Концепція журналу передбачала висвітлення не тільки блоку «технологічних» досліджень, виконаних у наукових установах, навчальних закладах, на підприємствах, що займаються проблематики вивчення та організації вирощування основних сільськогосподарських рослин. Журнал регулярно друкував огляди й статті прикладного характеру з проблем селекції, насінництва, захисту рослин, агроекології, фізіології та біотехнології, обробітку ґрунту, механізації, вирощування й переробки цукрових буряків та інших культур, в т.ч. й так званих «енергетичних» культур нової «галузі майбутнього» — сільськогосподарської біоенергетики. Інформаційно-тематичне «поле» журналу включало більш як 25 розділів і рубрик, у т.ч. й типу: «Нетрадиційні культури», «Біотехнології», «Селекція й генетика», «Агротехнології», «Біоенергетика» та ін. Авторами й зацікавленими читачами на всіх етапах існування журналу, що був практично доступний не лише в Україні, а й у ряді регіонів близького зарубіжжя, стали не сотні, а тисячі висококваліфіко-

ваних фахівців — і не тільки Інституту та його ДСС, а й учені, викладачі с.-г. учбових закладів і їхні молоді здобувачі наукових титулів — аспіранти, аграрна еліта АПК в особі сільськогосподарських керівників, фермери-творці високоврожайних сортів, інженерно-технічні працівники з різних куточків України, а також вчені з Росії, Казахстану, Німеччини, Швейцарії, Білорусі та інших країн.

На початку XXI ст., коли в світі активізувалися процеси реформування агропромислового комплексу, колектив видання також не залишився осторонь цих доленосних для України питань — розширив тематичне наповнення журналу за рахунок публікації пошуково-дослідницьких матеріалів із виробництва й переробки біоенергетичних культур, глибше охоплюючи сектор біоенергетики (потенціал біомаси, виробництво біопалив та різних видів електричної й теплової енергії, використання біопалив на транспорті, законодавство, стандарти та ін.) й залучаючи до свого авторського й читачького загалу фахівців наукових установ, навчальних закладів, підприємств, що мають цінний досвід вирощування біоенергетичних культур й перероблення біомаси відновлюваних і нетрадиційних джерел енергії.

Проілюструвати ці факти можна гортаючи сторінки «ЦБ» чи, бодай, переглянувши зміст самих його номерів.

Так, у 2-му й 6-му випусках за 1998 рік розміщено статті про технології виготовлення в часи Київської Русі «домашнього» спирту з жита, пшениці, ячменю, цукрових буряків, картоплі, цукру, меду (М. Прокопенко, С. 22) і про енергозберігаючий обробіток ґрунту (С. М. Тимошенко, В. В. Вербицький, С. 12–13). У 2000 (№ 13) надруковано статті про розвиток гарбузових культур і тютюництва, в № 14 — статтю «Співвідношення компонентів біомаси й їх зв'язок із продуктивністю гібридів» (В. А. Алексійчук, С. 8–9). В журналі «ЦБ» № 21 (2001) під рубрикою «Науковий пошук» вміщено статтю «Взаємозв'язок сухої речовини та інуліну в коренеплодах цикорію кореневого» (В. О. Борисюк, К. А. Маковецький, С. 8–9), а в № 22 — статті «Козлятник східний як передпопередник цукрових буряків (В. С. Савенко, 2001, С. 12–13) і «Медова трава — стевія» (В. Й. Стефанюк, С. 17).

У 2002 році під рубрикою «Нетрадиційні культури» надруковано статті: Яценко А. О. «Індивідуальна й спадкова мінливість господарсько-цінних ознак цикорію кореневого», № 1 (25), Савіна О. І. «Параметри фізіологічної моделі сорту тютюну для рентабельного ведення галузі», № 1 (25); Яценко А. О. Сливченко А. М. «Проблеми вирощування насіння цикорію кореневого», № 2 (26).

У 2003 (№ 28) під рубрикою «Нетрадиційні культури» надруковано статті «Густота рослин та її вплив на про-

дуктивність цикорію» (В. О. Борисюк, М. М. Зуєв, М. Я. Гументик, Ю. В. Миколук, С. 16) і «Сівба цикорію кореневого» (В. М. Кузьмич, С. 18), а також статтю «Перспективні сорти проса з високим виходом крупи» (С. М. Петриченко, В. Г. Матвієць, П. П. Шудря, С. 20–21), а в 29-му номері статтю «Селекція зернових, зернобобових і круп'яних культур» (Л. А. Кулик, С. А. Петриченко, 2003, С. 18–19).

Звертають на себе увагу й інші аналітичні оглядові статті на шпальтах журналу: «Цукроносні культури як сировина для виробництва етанолу» (М. Я. Гументик, В. С. Боднар, 2006. — № 6, С. 20–21); «Аспекти використання біоетанолу як альтернативного джерела енергії» (О. І. Присяжнюк, І. Л. Шевченко, 2009. — № 69, С. 14–16); «Перспективи вирощування багаторічних злакових культур для виробництва біопалива» (М. Я. Гументик — 2010. — № 4 (76), С. 21–22); Балан В. М., Сторожик Л. І. «Вирощування цукрового сорго як біоенергетичної культури» (В. М. Балан. — 2010. — № 5 (77) та ін.

Ряд публікацій, що охоплюють проблеми розвитку так званих спеціальних «енергетичних» рослин, вміщено, зокрема, під рубриками «Біоенергетика», «Нетрадиційні культури», «Наука і виробництво» в 6 випусках журналу «ЦБ» за 2011 рік, які підготували відомі автори: М. В. Роїк, В. Л. Курило, М. Я. Гументик, О. М. Ганженко («Роль і місце фітоенергетики в паливно-енергетичному комплексі України» (ЦБ, № 1/79); Л. І. Сторожик («Перспективи вирощування сорго цукрового, як альтернативного джерела енергії». ЦБ, № 2/80); О. В. Мороз, В. М. Смірних, В. Л. Курило, Ю. П. Герасименко, Н. А. Мостьовна, А. М. Горобець, М. І. Кулик («Світчграс як нова фітоенергетична культура». ЦБ, № 3/81); Н. Г. Гізбуллін («Біоенергетика — новий напрям досліджень». ЦБ, № 3/81); С. М. Петриченко, О. В. Герасименко, Г. С. Гончарук, В. В. Литвинюк, С. М. Мандровська («Перспективи вирощування світчграсу як альтернативного джерела енергії в Україні». ЦБ, № 4/82); В. Л. Курило, І. В. Гордієнко І. В. («Використання побічної продукції рисівництва як біоенергетичного ресурсу» — ЦБ, № 5/83); О. О. Ягольник «Ключові терміни біоенергетичної галузі». ЦБ, № 5/83) та ін.

Добрий десяток публікацій на теми біоенергетики вміщено й у випусках журналу «ЦБ» за 2012 рік: у № 1 — стаття «Продуктивність сорго цукрового для виробництва біопалива залежно від строків сівби та глибини загортання насіння» (В. Л. Курило, Л. А. Герасименко, С. 14–15), в №№ 2–3 (86–87) статті «Перспективи розвитку біоенергетики в Україні» (М. В. Роїк, В. Л. Курило, О. М. Ганженко, М. Я. Гументик, С. 6–8); «Місце й роль агрохімічної науки в розвитку буряківництва» (В. В. Іваніна, С. 22–24); «Виробництво біопалива: вплив мінеральних

добрих та ширини міжрядь на продуктивність цукрового сорго» (Л. В. Сичук, № 4 (88), С. 15–16); «Селекція цукрового сорго — резерв фітоенергетики» (В. І. Середя, № 4 (88), С. 16–17) та ін.

Не менш «урожайними» на публікації, що висвітлюють етапи становлення й розвиток «зеленої» біоенергетики, є й випуски журналу наступних років, коли світ після відомих нафто-газових криз вприпул зайнявся розвитком нової біоенергетичної галузі.

Активізувалися на дослідних полях та в лабораторіях ІБКЦБ й дослідження, пов'язані, образно кажучи, з «переміщенням» окремих сільськогосподарських культур подвійного використання (наприклад, цукрові буряки) та деяких новітніх і маловідомих для України так званих «енергетичних» культур (міскантус, світчграс, сорго цукрове, суданка, салекс та ін.) у спеціальні біоенергетичні плантації для отримання біомаси й перероблення її в різні види енергії, що згодом виокремилися в (біоенергетичну) фітоенергетичну галузь, й, по-суті, символізували прорив у формуванні нової біоенергетичної галузі України.

Зрештою, перелік цих публікацій можна продовжувати ще й ще, але за браком місця, мабуть, не варто, бо і наведених прикладів достатньо для підтвердження вищенаведеної тези.

Краще за будь-які слова про роль журналу «Цукрові Буряки» в популяризації сільськогосподарських «енергетичних» культур і технологій їх перероблення в біопаливо (1997–2018 рр.) можуть сказати цифри. За 22 роки в 121 номерах періодичного видання (1997–2018 рр.), згідно з даними одного із авторів цієї статті, беззмінного члена редколегії, а згодом редактора журналу, надруковано 1076 оригінальних наукових і науково-виробничих статей. Масштаб справляє враження не тільки з точки зору кількості, а й якості публікацій.

Ключове місце в наведеній статистиці зайняли, звичайно, публікації, присвячені цукровим бурякам (*Beta vulgaris*) — головній біоенергетичній рослині в Україні, що дає нам не тільки якісний цукор, а й є потужним джерелом для виробництва біопалива (з одного гектара цукрових буряків (за врожайності 60 т/га) можна отримати понад 4,6 тис. літрів біоетанолу — Прим. Авт.); при цьому кожна 5–6 стаття під рубриками типу «Нетрадиційні культури», «Біотехнології», «Селекція й генетика», «Агротехнології», «Біоенергетика» виходить за межі буряківництва й прямо чи опосередковано презентує інші рослинні культури, точніше — охоплює широке коло проблем розвитку так званих спеціальних «енергетичних» рослин з високою якістю олійної й целюлозної сировини (цукрове сорго, цикорій та інші цукрові), що прописані в угрупованнях злакових, технічних, кормових та інших культур, але

є цінними джерелами сировини для виробництва біоетанолу та інших видів палива, що прямо чи побіжно стимулювали й, по-суті, прискорювали формування нової біоенергетичної (фітоенергетичної) галузі України. Певний внесок у популяризацію знань та ідей, пов'язаних із розвитком не тільки традиційної буряко-цукрової, а й нової біоенергетичної галузей, як бачимо, зробив і один із найстаріших науково-виробничих видань — журнал «Цукрові Буряки».

Звичайно, журнал не забезпечував прямої комерційної віддачі, але він став невід'ємною частиною створюваної в інституті постійно діючої системи інформаційно-аналітичної підтримки його діяльності, стимулюючи збір, накопичення, моніторинг, обробку, поширення та супровід розміщених на паперових носіях да-

них про наукові дослідження, пов'язані з розробкою новітніх проблем у сфері буряківництва і біоенергетики, що позитивно впливали на їх розв'язання й формування економічного середовища, сприятливого для енергозбереження та створення загальноекономічних умов активізації енергозберігаючої діяльності на новому етапі, мали важливе значення для популяризації та засвоєння знань про економічні, екологічні і соціальні переваги паливно-енергетичних ресурсів, пов'язаних із використанням рослинної біомаси. Тим більше, що тодішній стан справ із забезпеченням інтересу громадськості до проблем енергозбереження характеризувався явно недостатньою увагою з боку держави; бракувало й навчальних, методичних, інформаційних та наукових видань, пов'язаних із вирощуванням так

званих «енергетичних» сільськогосподарських культур, отриманням їх біомаси, переробкою, транспортуванням, зберіганням і використанням паливно-енергетичних ресурсів.

Тобто, хоча в 2019 році «ЦБ» переформатовано й об'єднано з журналом «Біоенергетика/Bioenergy», крапку в історії журналу, мабуть, не варто ставити. Свого часу співробітники Лабораторії впровадження інформаційних технологій ІБКІЦБ здійснили повну ретроспективу журналу «ЦБ» в електронному варіанті, отже, видання й сьогодні, як кажуть, залишається в строю як джерело цінної інформації (сайт [journal.sugarbeet.gov.ua.](http://journal.sugarbeet.gov.ua)) для тих, хто вивчає історію розбудови вітчизняної біоенергетичної галузі та її пріоритетних напрямів, що мають непересічне значення для економіки країни.

#### БІБЛІОГРАФІЯ:

1. Журнал «Цукрові буряки». — 1997, 1998–2018. — №№ 1–120.
2. Буряківництво і біоенергетика в Україні: історія, наука, виробництво, люди (до 95-річчя ІБКІЦБ НААН України): монографія / за ред. академіка НААН України М. В. Роїка. Вінниця: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2017. 352 с. (Роїк М. В., 2017. — С. 9–23; Бондар В. С., 2017. — С. 74. 282–285; Бойко І. І., 2017. — С. 79–85; Буряківництво і біоенергетика..., 2017, Мороз О. В., Смірних В. М., С. 194).
3. Гументик М. Перспективи вирощування багаторічних злакових культур для виробництва біопалива / М. Гументик // Цукрові буряки. — 2010. — № 4. — С. 21–22.
4. Гізбуллін Н. Г. Біоенергетика — новий напрям досліджень / Н. Г. Гізбуллін // «Цукрові буряки» — 2011 — № 3 (81). — С. 6–7;
5. Ягольник О. О. Біоенергетична реформа в окремо взятому інституті / О. О. Ягольник, М. Я. Гументик // Журнал «Біоенергетика/Bioenergy» — 2017. — № 1(9). С. 11–14.
6. Марчук О. Якісні характеристики біоенергетичних культур / О. Марчук // Цукрові буряки. — 2017. — № 2. — С. 11–12;
7. Відновлювана енергетика в Україні: сьогодення та перспективи. Українська асоціація відновлюваної енергетики. URL: <https://vse.energy/docs/OEW-orgel.pdf>.
8. Електронні джерела (сайти): <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/148-97-%D0%BF#Text>; [Agravery.com](http://agravery.com); <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/10/Prezentatsiya-R5-UABIO.pdf>; <https://ru.qaz.wiki/wiki/Biofuel>; <http://www.uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-9-ua.pdf>; <https://bio.gov.ua/bioenergy/structural/>; [journal.sugarbeet.gov.ua.](http://journal.sugarbeet.gov.ua)

#### АНОТАЦІЯ

**Роль журналу «Цукрові буряки» в популяризації сільськогосподарських «енергетичних» культур і технологій їх перероблення на біопаливо (1997–2018 рр.)**

Ягольник О. О. — головний фахівець ІБКІЦБ НААН України, редактор журналу «Біоенергетика/Bioenergy»;

Ягольник О. Г. — экс-редактор журналу «Цукрові буряки», член редколегії журналу в 1997–2018 рр.

**Актуальність.** Україна в Російській імперії й за радянських часів, як відомо, займала лідируючі позиції в галузі виробництва буряків і цукру. Але до 1997 року українські буряківники не мали свого професійного україномовного друкованого видання, хоча й була в ньому нагальна потреба. Галузевий журнал «Цукрові буряки», що, по-суті, став першою в Україні комунікаційною платформою для здійснення виробничо-наукових та освітньо-роз'яснювальних функцій, пов'язаних із розвитком буряківництва й біоенергетики, був заснований у 1997 році. Журнал «ЦБ» одним із перших був включений у незалежній Україні в 1998 р. до Переліку професійних наукових видань України, рекомендованих для публікації основних результатів докторських і кандидатських дисертацій по розділу «Сільськогосподарські науки».

Ключове місце на шпальтах видання зайняли не тільки цукрові буряки (*Beta vulgaris*), а й висвітлення науково-дослідних робіт, пов'язаних із започаткуванням на дослідних полях і в наукових лабораторіях інституту процесу «переміщення» окремих сільськогосподарських культур подвійного використання (наприклад, цукрові буряки) та деяких новітніх і донедавна маловідомих для України так званих «енергетичних» культур (сорго цукрове, міскантус, світчграсс, суданка, салекс та ін. культури) у спеціальні біоенергетичні плантації з метою отримання біомаси й перероблення її в різні види енергії, що згодом стимулювали й, по-суті, символізували прорив у формуванні нової самостійної біоенергетичної (фітоенергетичної) галузі України. Всього за 22 роки існу-

вання журналу (в 2019 році «ЦБ» був об'єднаний із журналом «Біоенергетика/Bioenergy») на його шпальтах надруковано 1076 оригінальних наукових і науково-виробничих статей, авторами яких є не тільки вчені та практики галузі рослинництва, творці високоврожайних сортів України, а й зарубіжжя — Росії, Казахстану, Німеччини, Швейцарії, Білорусі та ін. країн; при цьому кожна 5–6 стаття, що вийшла в світ під рубриками типу «Традиційні культури», «Біотехнології», «Селекція й генетика», «Агротехнології» чи «Біоенергетика», прямо чи опосередковано охоплює проблеми розвитку так званих спеціальних «енергетичних» рослин. **Висновок.** Дослідження показує: один із найстаріших науково-виробничих видань — журнал «Цукрові буряки» — відіграв важливу й непересічну роль не тільки в розвитку буряко-цукрової галузі, а й у популяризації та становленні української біоенергетики. Його випуски й сьогодні доступні в електронному вигляді на офіційному інтернет-сайті ІБКІЦБ (див. [journal.sugarbeet.gov.ua.](http://journal.sugarbeet.gov.ua)).

#### ABSTRACT

**The role of the «Sugar Beet» magazine in popularization of agricultural energy crops and technologies of their processing for biofuel (1997–2018).**

Yaholnyk O. O., Chief expert, Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet NAAS, editor of BioenergyJournal;

Yaholnyk O. H., ex-editor of the Sugar Beet Journal, a member of the editorial board of the journal from 1997 to 2018.

**Introduction.** Ukraine in the Russian Empire and in Soviet times, as you know, occupied a leading position in the production of beets and sugar. But until 1997, Ukrainian beet growers did not have their own professional Ukrainian-language print publication, although there was an urgent need for it. The industry's magazine «Sugar Beet», which, in fact, became the first communication platform in Ukraine for the implementation of production-scientific and educational-explanatory functions related to the development of beet-growing and bioenergy, was founded in 1997. «Sugar Beet» was one of the first magazines in independent Ukraine in 1998 to be included in the List of Professional Scientific Publications of Ukraine Recommended for the Publication of the Main Results of Doctoral and Candidate's Dissertations in the Department of Agricultural Sciences.

The key place in the columns of the publication was occupied not only by sugar beets (*Beta vulgaris*), but also by the coverage of research work related to the launch of the process of moving some dual-application crops in the research fields and research laboratories of the institute located on Bati Hill, and some new and until recently little-known for Ukraine so-called «energy» crops (sugar sorghum, miscanthus, switchgrass, Sudan grass, salix, etc.), in special bioenergy plantations to obtain biomass and process it into various types of energy, which later stimulated and, in fact, symbolized a breakthrough in terms of forming a new independent bioenergy (phytoenergy) industry in Ukraine. 1076 original research and production articles were published in the columns, the authors of which are not only scientists and practitioners of the crop industry, but creators of high-yielding varieties in Ukraine and abroad — in Russia, Kazakhstan, Germany, Switzerland, Belarus and others countries. At the same time, each 5–6 articles published under the headings such as Non-traditional Crops, Biotechnology, Breeding and Genetics, Agrotechnology or Bioenergy directly or indirectly covers the problems of development of so-called special «energy» plants. **Conclusion.** The study shows that one of the oldest scientific and production editions — «Sugar Beet» — has played an important and timeless role not only in the development of the beet and sugar industry, but also in the history of Ukrainian bioenergy. Its issues are still available online on the official website of the IBCSB (see [journal.sugarbeet.gov.ua.](http://journal.sugarbeet.gov.ua)).