

УДК 633.282:504.062:676.1.022

МІСКАНТУС ГІГАНТЕУС: ГОРИЗОНТИ ІННОВАЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

РОЇК М.В. –

д.с.-г.наук, професор, академік НААН,
директор інституту
ORCID0001-7221-6247;

КРАВЧУК В.І. –

д.т.наук, професор, академік НААН,
завідувач лабораторії інституту
ORCID0000-0002-7991-0351

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

*e-mail: kravchukvi@ukr.net

Постановка проблеми. Зміна клімату та загострення екологічних проблем у світі спонукають людство дедалі більше уваги приділяти пошуку шляхів вирішення двоєдиної задачі — виробництва поновлюваної енергії, накопиченої біоенергетичними рослинами завдяки фотосинтезу та використання для вирощування таких рослин на маргінальних (малопродуктивних) землях. Біомаса енергетичних культур є відновлювальним джерелом енергії з нульовим балансом вуглекислого газу та метану для природи, а їх вирощування на маргінальних землях зберігає від ерозії гумусний шар і загалом покращує екологічний та енергетичний стан у країні [1, 4, 7, 9, 12, 15].

Однією з таких найперспективніших рослин є міскантус гігантський (*Miscanthus giganteus*) [2]. З огляду на це, у НБС НАН України та ІБКЦБ НААН України створено цінний генофонд міскантуса (понад 20 таксонів), які характеризуються скоростиглістю, посухостійкістю, високою врожайністю фітомаси, підвищеним вмістом вуглеводнів у надземній масі.

В ІБКЦБ створені нові високопродуктивні й адаптовані до умов України сорти міскантуса «Осінній зорецвіт» та «Прометей», які занесені в Державний реєстр сортів України.

На протязі останніх років у ІБКЦБ досконало досліджено: ботанічні характеристики рослин роду міскантус; агро-технічні основи культивування; селекцію міскантуса з елементами біотехнології; особливості формування садивного матеріалу; технології вирощування, перероблення біомаси міскантуса гігантського та економічну ефективність таких технологій. Одночасно встановлено, що міскантус як целюлозна та лігіноцелюлозна біомаса може вирішувати складні проблеми сучасності шляхом використання в інших важливих галузях економіки України, зо-

крема виробництва паперу, пластику і навіть бездимного пороку.

Результати досліджень. Основні результати досліджень перевірені й підтверджені практикою, мають конкретні параметри, на яких варто поставити акценти [11, 13, 14, 15, 17]: міскантус гігантський рекомендовано вирощувати на маргінальних (малопродуктивних) землях, яких в Україні налічується від 3 до 5 млн. гектарів; щільність посадки — 14,0...16,0 тис/га; проростає на попередньо підготовленому ґрунті (оранка, знищення бур'янів) у квітні, коли температура ґрунту на глибині 10 см досягає 10...12 °С; за вегетаційний період потребує близько 700 мм опадів (на 1 кг сухої маси — близько 250 л води); ріст міскантуса мало залежить від збагачення ґрунту азотом, а рівень калію рекомендовано перевіряти кожні п'ять років; не проводиться щорічна культивування; урожайність при вологості 8...15% складає в середньому 25...30 т сухої маси з гектара; висота стебел досягає 4-х метрів, а діаметр — до 2 см; збирання проводиться кормозбиральними комбайнами по

закінченні вегетаційного періоду в жовтні-листопаді (за наявності сушарки), або в кінці березня-початку квітня з подальшим природним висушуванням; термін експлуатації промислової плантації — 20...25 роки, в т.ч. 3 роки до виходу на промислову продуктивність; використовується у вигляді січки, гранул та брикетів; рекомендована відстань від поля до пункту переробки або котлів — до 50 км; одна тонна гранул еквівалентна: 515 м³ газу; 800 кг кам'яного вугілля; 400 кг дизельного палива; 450 кг нафти або 1,2 т деревини; гранули міскантуса мають теплотворну здатність 17,0–19,0 МДж/кг, що є одним із кращих показників (табл. 1) серед біоенергетичних культур та різних видів сировини; крім того він очищує ґрунт від хімічних забруднювачів (пестицидів) і радіонуклідів; має здатність поглинати важкі метали з ґрунту; при спалюванні виділяється набагато менше CO₂ ніж рослина поглинає в процесі вегетації; не погіршує ситуацію з парниковим ефектом.

Бізнес на міскантусі — «довгі гроші», які почнуть повертатись через два-три

Таблиця 1

Теплотворна характеристика різних видів сировини за балансової вологості (10%, відповідно до міжнародного стандарту DIN Plus)[13]

Види сировини	Теплотворна здатність палива, МДж/кг
Гранули з міскантуса	17,0-19,0
Брикети з деревини	16,8-21,0
Гранули з деревини	16,0-19,5
Дрова	10,2...12,2
Тріски дерев, опилки	10,5-12,0
Гілки плодкових дерев	10,5
Гранули зі стебел соняшника, кукурудзи	17,0
Брикети з лузги соняшнику	21,0-21,8
Гранули з лузги соняшнику	18,5-20,0
Солома	10,5-12,5
Солома в тюках	14,2
Солома зернових культур	10,5
Брикети з соломи	15,4-21,0
Гранули з соломи	14,0...18,8
Кам'яне вугілля	27,0-30,0
Мазут	41,0
Буре вугілля	27,0
Кора	19,5
Сухий торф	14,7

Таблиця 2.

Типи лігноцелюлозних біомас та їхній хімічний склад [17]

Лігноцелюлозна біомаса	Целюлоза (%)	Геміцелюлоза (%)	Лігнін (%)
Тверда деревина			
Дуб	40,4	35,9	24,1
Евкالیпт	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
Світчграс	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
Пчатки 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

роки, проте процес повернення надійний та інтенсивний з рівнем рентабельності від 20 до 30 відсотків.

Важливо відмітити, що використання міскантусу не обмежується твердими видами біопалива. Проводяться масові дослідження біохімічних та фізіологічних особливостей рослин міскантусу гігантського та цукроквіткового, на основі яких обидва види пропонуються як джерело для отримання біоетанолу та целюлози.

Генетичні дослідження рослин міскантусу гігантського розвиваються в декількох основних напрямках [20, 3, 5], зокрема як: сировини для біопалива; декоративної рослини (різної висоти, габітусу, з різ-

номанітною формою та кольором волоті, забарвлення листків); джерела целюлози, лігніну, геміцелюлози, з високою врожайністю сухої біомаси, підвищеною посухостійкістю та зимостійкістю.

Міскантус за вмістом целюлози, геміцелюлози та лігніну, як і за теплоємністю — займає лідируюче місце серед лігноцелюлозних біомас (табл. 2).

Хімічний склад та фізичні властивості целюлози (табл. 3) сприяють надзвичайно широкому її використанню в різних галузях економіки України й світу.

Загальновідоме традиційне та багаторічне застосування целюлози [19] для виробництва: паперу й картону; в якості

наповнювача в таблетках у фармацевтиці; отримання штучних волокон (віскозного, ацетатного, мідно-аміачного шовку, штучного хутра; виготовлення тканин (бавовна, яка більшою частиною складається із целюлози — 95–98%); виробництва пластмас, оргскла, кіно- та фотоплівки; лаків; виготовлення ниток і канатів; столярних виробів; виробництва бездимного порошу.

В останні роки інтенсивно розвиваються нові напрями використання целюлози в галузях промисловості, які мають важливе значення для здійснення програми відродження України в післявоєнний час:

* **Целюлозна мікроармуюча добавка** [8] для будівництва як добавка до бетону, сухих будівельних сумішей, фарби, бітумних мастик, асфальтобетону тощо.

* **Виробництво біопластику** [17], який можна використовувати в промисловості у вигляді регенованої целюлози (волокна, плівка) та похідних целюлози — прості ефіри й складні ефіри (естери) целюлози. На відміну від традиційного пластику біопластик, що виготовляється із біоенергетичної сировини (міскантус, світчграс), має властивість швидко розкладатися, а, отже, сприяє екологічному захисту довкілля (сміттєзвалища), повітря (спалювання) та водного простору (дрейфуючого пластикового сміття) тощо.

* **Деструктор целюлози** (ДЦ), що розроблений Інститутом агроєкології та природокористування НААН [8]. Призначений для обробки стерні та ґрунту після збирання врожаю зернових, зернобобових, олійних, овочевих та інших культур. Використання ДЦ дає змогу прискорити розкладання рослинних решток, залишаючи у ґрунті вуглець та азот рослинного походження, знизити розвиток фітопатогенів; покращити родючість ґрунту. Завдяки природним вітамінам, ферментам, амінокислотам та мікроелементам можна збільшити продуктивність сільськогосподарських культур на 10–30 відсотків.

Окремо слід виділити значення **азотно-кислих ефірів целюлози** [10, 16, 18]. Вони виходять при дії на целюлозу азотної кислоти в присутності сірчаної кислоти. Залежно від концентрації азотної кислоти та від інших умов у реакцію вступають одна, дві або всі три гідроксильні групи кожної ланки молекули целюлози. Нітрати целюлози мають надзвичайну горючість, а тринітрат целюлози, так званий піроксилін — сильно вибухова речовина, що застосовується для виробництва бездимного порошу. Піроксилінові порохи використовуються у вогнепальній зброї та артилерії, а також у твердопаливних ракетних двигунах. Перевагою цього типу вибухової речовини є можливість довготривалого зберігання за різних температурних режимів та пори року.

Таблиця 3.

Фізичні властивості целюлози [19]

Назва параметра	Значення
Колір	білий
Запах	без запаху
Смак	без смаку
Агрегатний стан (при 20°C і атмосферному тиску 1 атм.)	тверда речовина
Щільність (при 20°C і атмосферному тиску 1 атм.), г/см ³	1,52-1,54
Температура розкладання, °C	210
Температура плавлення, °C	467
Температура загоряння, °C	275
Температура самозагоряння, °C	420
Питома теплота згоряння, МДж/кг	16,40
Молярна маса мономерного ланцюга целюлози C ₆ H ₁₂ O ₅ , г/моль	162,1406

Отже, широке впровадження згаданих інноваційних технологій є вимогою часу розвитку економіки суспільства. А збільшення площ вирощування біоенергетичних культур вимагає розвитку селекції та технологій, адаптованих до різних зонально-кліматичних умов, забезпечення достатньою кількістю садивного матеріалу.

У ІБКЦБ затверджено план розширення площ розсадників біоенергетичних культур (міскантус, свічграс, верба, тополя, павловнія) у дослідно-селекційних станціях (Білоцерківська, Ялтушківська, Веселопопільська, Уладово-Люлинецька) та дослідних господарствах («Саливонків-

ське», «Шевченківське») мережі Інституту із 69,0 га у 2023 році до 772,0 га у 2025 році, в тому числі міскантусу — з 12,0 до 230,3 га відповідно.

Висновки:

Міскантус гігантський — проста рослина, що може вирішити складні проблеми сучасності: у багаторічному технологічному процесі вирощування на одному полі не вимагає добрив, не виснажує й не забруднює землю; має практично найвищу теплотворну здатність (17,0–19,0 МДж/кг) серед інших біоенергетичних культур; як лігноцелюзна біомаса з високим відсотковим вмістом целюлози (45,0–52,0%), геміцелюлози (24,0–32,0%) та лігніну (9,0–

12,0%) є сировиною (за відповідної переробки) для целюлозно-паперової, легкої, лісохімічної, будівельної, комунальної промисловостей, а також для виробництва вибухівки, і, що важливо, може зберегти ліси та запобігти розвитку екологічних катастроф.

Є велика вірогідність, що за умов інтенсивного розвитку селекції та технологій, адаптованих до різних зонально-кліматичних умов, поля міскантусу в найближчому майбутньому матимуть тенденцію різкого збільшення для виконання місії енергозбереження та екологізабезпечення в землеробстві та промисловості.

ЛІТЕРАТУРА

1. Khan Z., Ali S., Umar M. et al. Consumption-based carbon emissions and International trade in G7 countries: The role of Environmental innovation and Renewable energy. *Science Of The Total Environment*. 2020. Vol. 730. N138945. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.138945
2. Lewandowski I. Miscanthus: European experience with a novel energy crop // *Biomass & Bioenergy*. — 2000. — Vol. 19, N4. — P. 210–217.
3. Lewandowski I. The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. *Biomass and Bioenergy* / Lewandowski I., Scurlock J. M. O., Lindvall E. and Christou Myrsini. // *Biomass & Bioenergy*. — 2003. — 25, N25. — P. 335–361.
4. Ritchie H., Roser M. Emissions by sector. *Our World in Data*. 2021. URL: ourworldindata.org/emissions-by-sector
5. Scally L. Origins and taxonomy of Miscanthus / Scally L., Hodkinson T., Jones M. B. // *Miscanthus for energy and fibre*. — 2001. — P. 1–9.
6. Slomka A., Sterility of Miscanthus giganteus results from hybrid incompatibility / Slomka A., Kuta E., Plazek A. et al. // *Acta Biologica Cracoviensis. Series Botanica*. — 2012. — 54, N1 — P. 113–120.
7. Ганженко О.М., Кравчук В.І. Агроекологічні предумови розвитку
8. Деструктор целлюлози (ДЦ) — забота о вашей земле // *Пропозиція*. — 2017. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.propozitsiya.com/ru/destruktory-cellyulozy-dc-zabota-o-vashey-zemle&ved=2ahUKEwiXwbV67f9AhUCmlsKHUfCCOEQFNoECAoQAg&usq=AOvVaw2SSTXvswdlGE7LGK4aUdvl>
9. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». Розпорядження Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. № 605-р. URL: zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80#Text
10. Изготовление Чёрного Пороха — Революционное Действие — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://www.revbel.org/2011/12/izgotovlenie-chyornogo-poroha&ved=2ahUKEwj0_6ic77f9AhVpilsKHeWkBB4QFnoECAgQAg&usq=AOvVaw0OtCj4MYo1e16FyMbhe6kK
11. Кравчук В.І. Проблематика виробництва садивного матеріалу міскантусу гігантського / В.І. Кравчук, В.М. Квас, Г.В. Цвігун, М.В. Іванюта, Н.О. Кононюк, О.М. Атаманюк, Ю.О. Гуменюк // *Біоенергетика*. — 2022. — № 1–2. — С. 35–42.
12. Кравчук В.І., Ганженко О.М., Гуменюк Ю.І. Біоенергетика: сучасність і прогноз техніко-технологічних інновацій. «Аграрна енергетика в XXI сторіччі: досягнення і перспективи розвитку»: матеріали міжнародної науково-практичної конференції, 14 листопада 2022 року. Білоцерківський НАУ. с. 9–13.
13. Міскантус гігантський: гарячеє предложение // *Пропозиція*. — 2017. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://www.propozitsiya.com/ru/miskantus-gigantskiy-goryachee-predlozhenie&ved=2ahUKEwiRja7n6rf9AhUPqlsKHTJLAtUQFnoECAgQAg&usq=AOvVaw0V-1v-oGohaQZfT0_uoId
14. Міскантус: секреты выращивания биотоплива от самых опытных. // *Пропозиція*. — 2018. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://www.propozitsiya.com/ru/miskantus-sekrety-vyrashchivaniya-biotopliva-ot-samyh-opytnykh&ved=2ahUKEwiRj-uc57f9AhUQ_0Kb0VBSUQFnoECAEQAg&usq=AOvVaw0H82mQEU7fVl_V8ZVXx5dP
15. Міскантус в Україні: Монографія / [М.В. Роїк, В.М. Сінченко, В.І. Пиркін, В.М. Квас та ін.]. — К.: ФОП Ямчинський О.В., 2019. — 256 с.
16. На заводі «Зірка» відновлять виробництво піроксилинових порохів — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.mil.in.ua/uk/news/na-zavodi-zirka-vidnovlyat-vyrobnytstvo-piroksylinovyh-porohiv&ved=2ahUKEwickKH8Lf9AhWtYsKHV6VAmAQFnoECAMQAg&usq=AOvVaw3187w0sdXg8TAb54f9pdK0>
17. Роїк М.В. Застосування біоенергетичних культур для виробництва біопластику / М.В. Роїк, В.М. Сінченко, А.К. Нурмухамедов, О.М. Ганженко, М.Я. Гуменюк // *Біоенергетика*. — 2021. — № 2. — С. 13–15.
18. Титаренко А.І. Хімічні властивості целюлози й її застосування. (2010) — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://weblib.pp.ua/tsellyuloza-fizicheskie-svoystva-17586.html>
19. Целлюлоза: свойства, получение и применение — [Електронний

ресурс]. — Режим доступу: <https://www.xn-80aaaftebbc3auk2aepkhr3ewjpa.xn--p1ai/tsellyuloza-svoystva-poluchenie-i-primenenie&ved=2ahUKEwjVn4OT7f9AhXPDRAIHejFA9QQFnoECAgQAg&usq=AOvVaw1uWLP1KaMSZ7WBDWkRuVT>

20. Шумный В. К. Новая форма мискантуса китайского (Веерника китайского *miscanthus sinensis anders.*) как перспективный источник целлюлозосодержащего сырья / Шумный В. К., Вепрев С. Г., Нечипоренко Н. Н., Горючакская Т. Н. и др. // *Вестник ВОГиС*. — 2010. — Том 14. № 1. — С. 122–126.

АНОТАЦІЯ

УДК 633.282:504.062:676.1.022

МІСКАНТУС ГІГАНТСЬКИЙ: ГОРИЗОНТИ ІННОВАЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ

РОІК М.В., КРАВЧУК В.І.

Мета. Обґрунтування перспективних напрямків інноваційного дослідження з використанням міскантусу гігантського на біопаливо і, як сировини з високим вмістом целюлози — у різних галузях промисловості з метою збереження лісів та запобігання розвитку екологічних катастроф.

Матеріали та методика. Аналіз теоретичних і експериментальних досліджень, існуючих практик щодо перспективних сортів міскантусу гігантського, генетичних досліджень, хімічного складу, фізичних властивостей та використання.

Результати. Показані ботанічні характеристики рослин виду міскантус гігантський, хімічний склад, технологія вирощування та перероблення на біопаливо, його здатність до підвищення родючості ґрунту та очищення від хімічних забруднень (пестицидів) і радіонуклідів, обґрунтовано доцільність використання біомаси міскантусу, як джерело для отримання целюлози, що сприяє надзвичайно широкому використанню в різних галузях економіки України.

Висновки. Міскантус гігантський — надзвичайно перспективна рослина, що може вирішувати складні проблеми:

— в технологічному процесі вирощування сприяє покращенню екологічних процесів землеробства, має високу теплотворну здатність для твердого палива й біогазу;

— як біомаса з високим вмістом целюлози та лігноцелюлози є сировиною для багатьох галузей промисловості та сприяє збереженню лісів і запобігає розвитку екологічних катастроф.

Ключові слова: *Miscanthus Giganteus*, селекція, технологія вирощування, біоенергетика, целюлозовмісні продукти.

ABSTRACT

UDC633.282:504.062:676.1.022

Miscanthus × giganteus: horizons of innovative research and implementation

Roik M.V., Kravchuk V.I.

Purpose. To substantiate promising areas of innovative research on the utilization of *Miscanthus × giganteus* as a feedstock with a high cellulose content in various industries in order to preserve forests and prevent the development of environmental disasters. **Methods.** The analysis of theoretical and experimental studies, existing practices regarding promising varieties of *Miscanthus × giganteus*, genetic studies, chemical composition, physical properties and use. **Results.** The botanical and chemical characteristics of *Miscanthus* plants, chemical composition, technology of cultivation and processing into solid biofuels, the ability to clean the soil from chemical contaminants (pesticides) and radionuclides are shown, and the expediency of using *Miscanthus* biomass as a source for bioethanol and cellulose production is proved, which contributes to its extremely wide use in various sectors of the Ukrainian economy. **Conclusions.** *Miscanthus × giganteus* is a simple plant that can solve complex problems: in the technological process of cultivation, it contributes to the improvement of ecological processes of agriculture; it has a high calorific value as solid fuels and biogas; as a lignocellulose, biomass with a high cellulose content is a good feedstock for many applications and contributes to forest conservation and the prevention of environmental disasters.

Keywords: *Miscanthus × giganteus*, selection, cultivation technology, bioenergy, cellulose-containing products.